

# 11063 EMS

## Microchip

### 单相和多相电表方案

# 目标

1. 数字设计 ... 使用 Microchip 电能计量芯片和单片机设计符合 ICE 标准的电表混合信号及数字信号部分
2. 模拟设计 ... 获得一些符合 IEC 标准的强壮电表设计的模拟部分的提示
3. *校正和测试* ... 理解如何去校正和测试你所设计的电表，并使其达到 IEC 要求

成为一个更好的电表设计者并使您的设计更具有竞争力

# 日程安排

- 设计目标
  - 电能测量
  - 谐波，功率因数，我们为什么要关心？
    - 效率，电力消耗监测
- **Microchip**的电表方案
  1. 电能计量芯片MCP390X简介
  2. 无需MCU的低端单相电表方案
  3. 基于PIC18F2520的中端电表方案
  4. 基于dsPIC<sup>®</sup>带谐波分析的高端电表方案
- 模拟部分的强壮设计
  - IEC要求
  - 抗EMC干扰



UNIVERSITY OF MICROCHIP  
**UOFM**  
MASTERS 2007  
第八届中国技术精英年会

# 设计目标

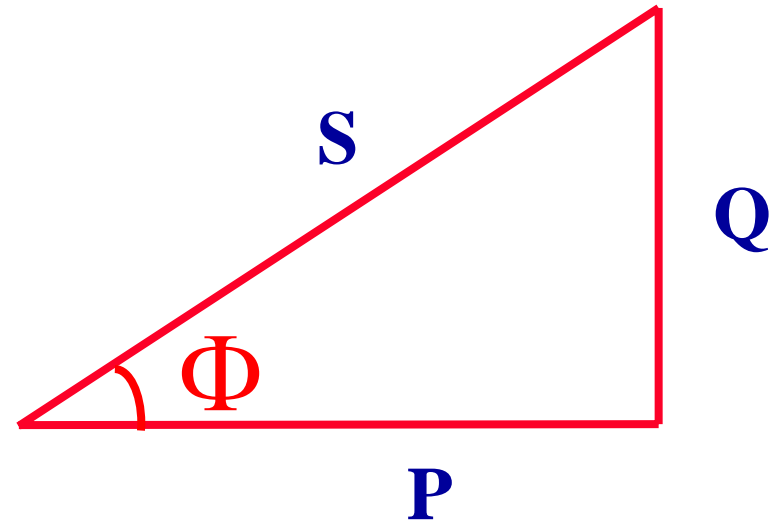
# 功率三角

- 对于没有畸变的纯正弦输入，视在功率、有功功率和无功功率构成了功率三角。

$$P = S \cdot \cos \Phi \quad (\text{有功})$$

$$Q = S \cdot \sin \Phi \quad (\text{无功})$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{视在})$$



# 单相有功功率

- 电工技术的基本原理，有功功率定义为：

$$P = V_{RMS} I_{RMS} \cos \Phi \quad \text{Unit: W}$$

V & I 夹角

- 有功功率是给定相的平均功率
- 对于非正弦周期信号，有功功率定义为：

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) i(t) dt$$

T 是时间周期， $v(t)$ 和 $i(t)$ 为指定时间点的瞬时值

# 单相无功功率

- 无功功率定义为：

$$Q = V_{RMS} I_{RMS} \sin \Phi \quad \text{unit: VAR}$$

( $\Phi$  是电压和电流之间的相位差)

- 用来测量感性电路的电能交换。在电路中，电感和电容不会造成能量损失，只是和电源间进行能量交换。
- 上述等式还可以写成下面的形式：

$$Q = V_{RMS} I_{RMS} \cos(90^\circ - \Phi)$$

# 视在功率

- 视在功率（**S**）定义为**RMS**电压和**RMS**电流的乘积

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

单位： VA

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S \neq P + Q$$



# 电能

- 有功电能是有功功率对时间的积分，可以用下式来表示：

$$W = \int_0^T P(t)dt \quad \text{单位: kWh, 即千瓦时}$$

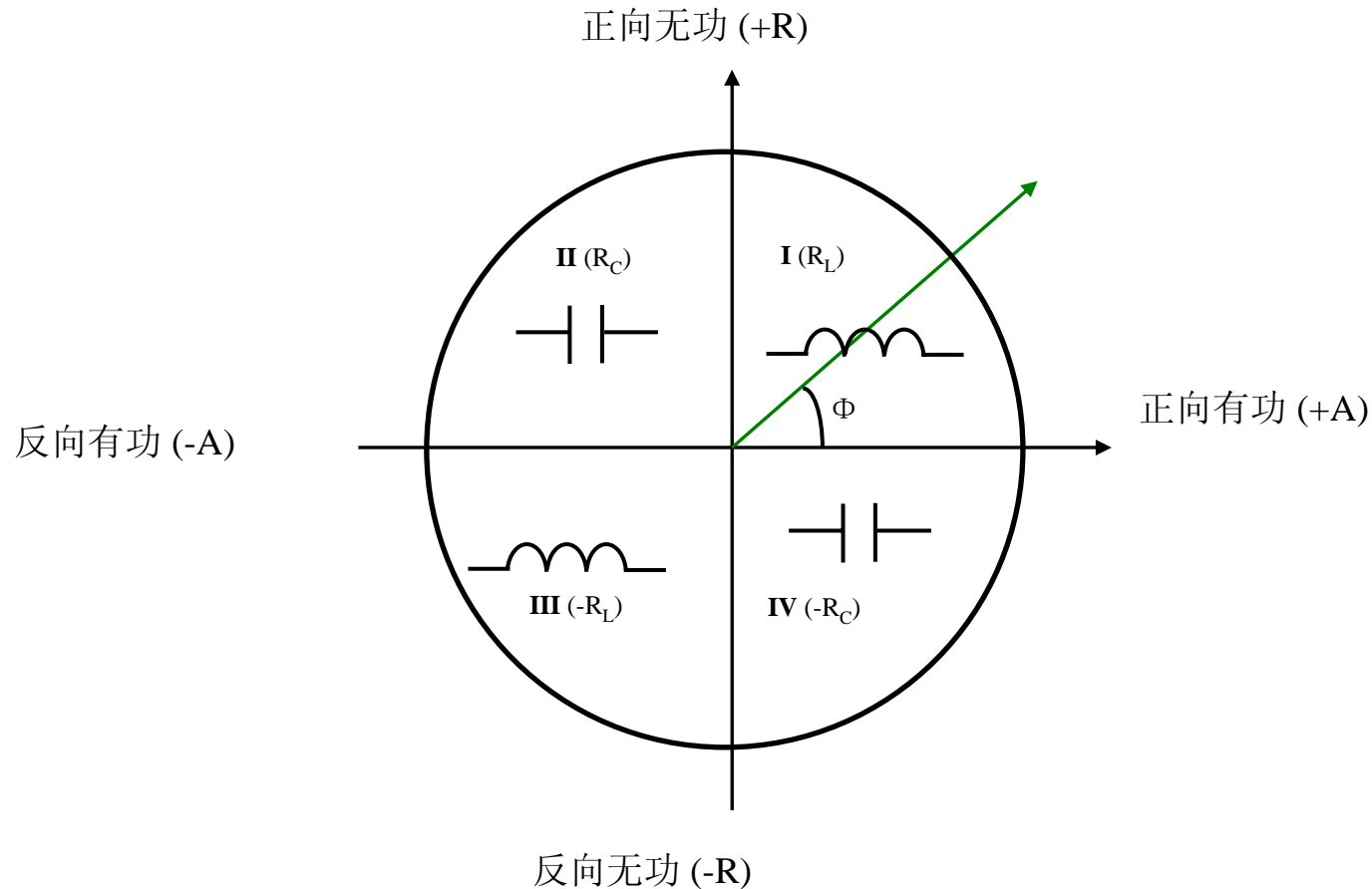
- 无功电能是无功功率对时间的积分，表达式为：

$$VAR = \int_0^T Q(t)dt$$

- 对于三相线路，总电能为各分相电能之和

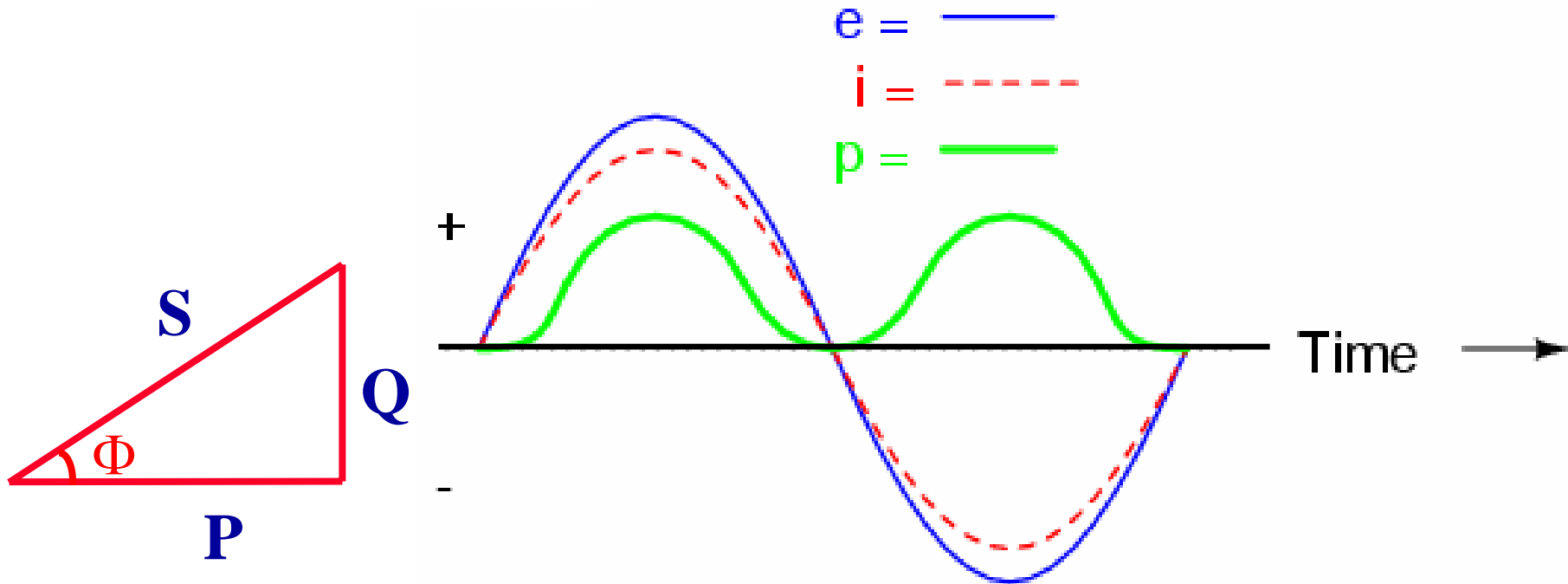
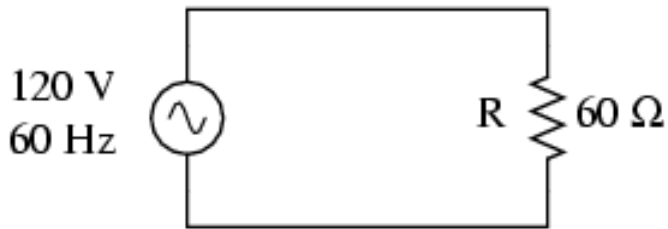
# 能量交换

## ● 能量交换的四种情况：



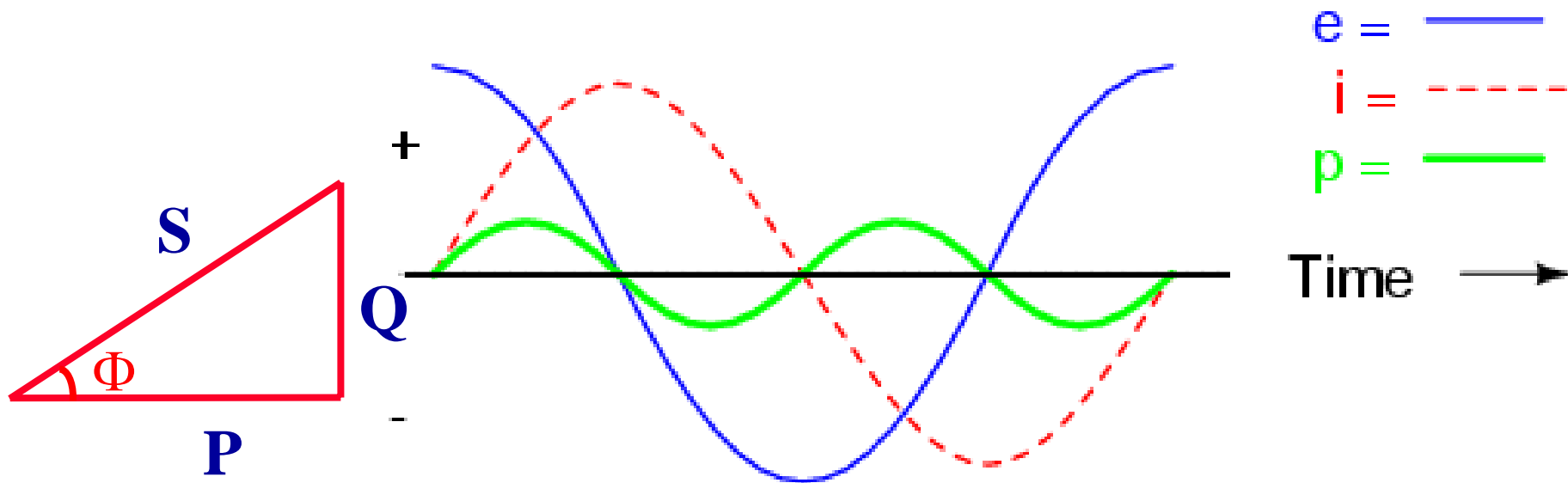
# 纯阻性负载

- (P) 有功功率 = 240W
- (Q) 无功功率 = 0 VAR
- (S) 视在功率 = 240 VA



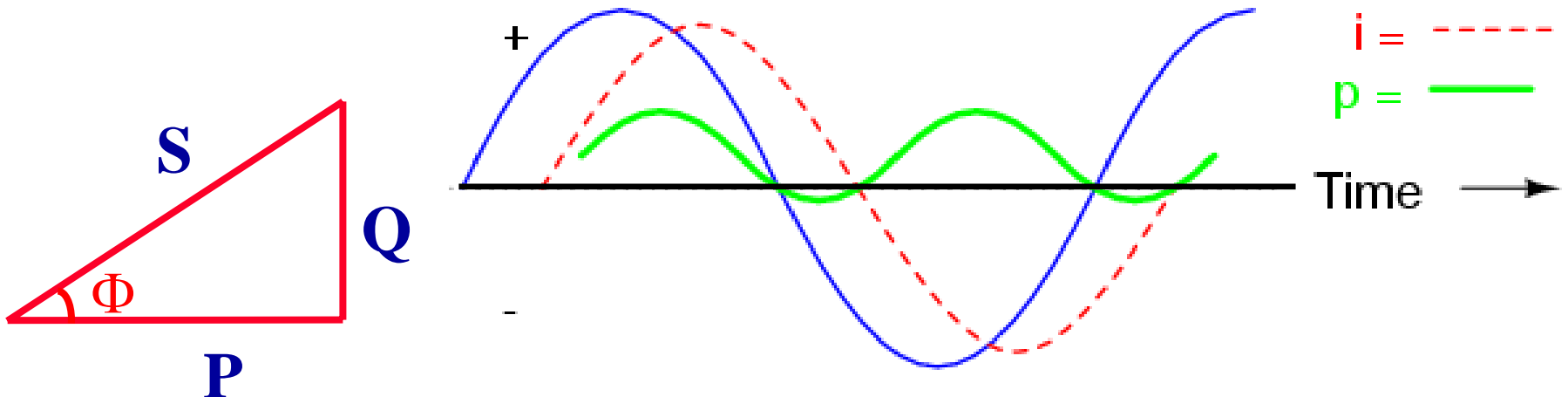
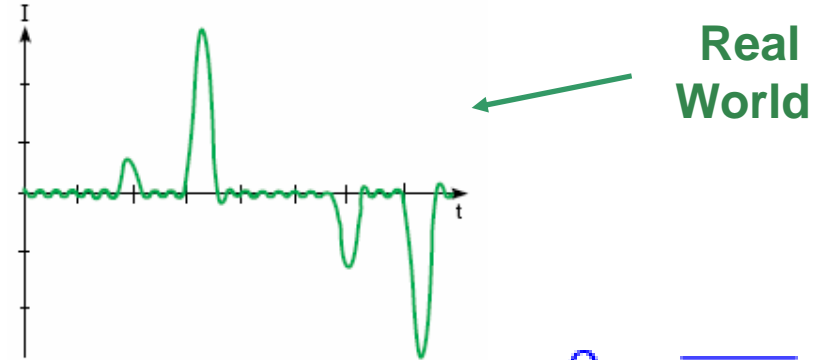
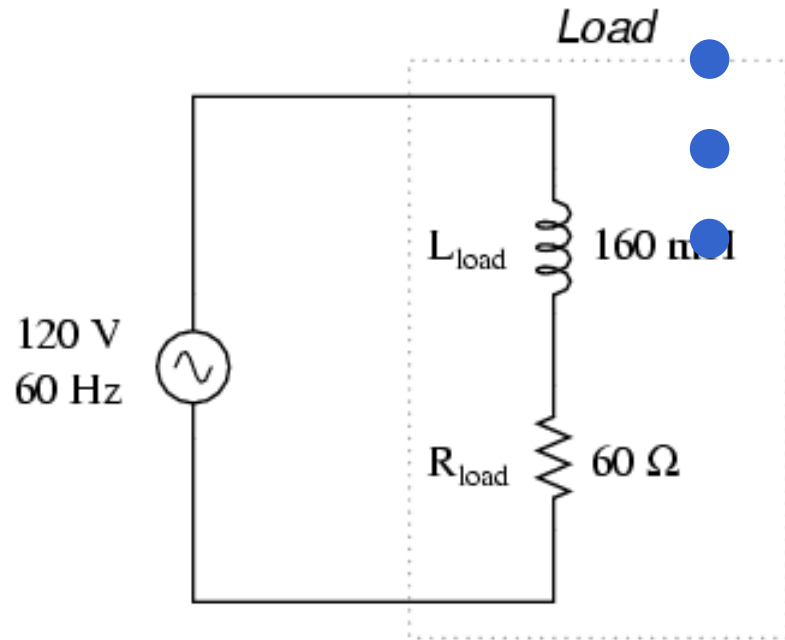
# 纯感性负载

- (P) 有功功率 = 0
- (Q) 无功功率 = 238.68 VAR
- (S) 视在功率 = 238.68 VA



# RL混合负载

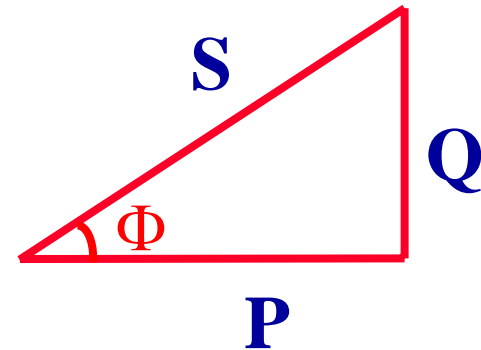
- (P) 有功功率 = 119.365 W
- (Q) 无功功率 = 119.998 VAR
- (S) 视在功率 = 169.256 VA



# 功率因数

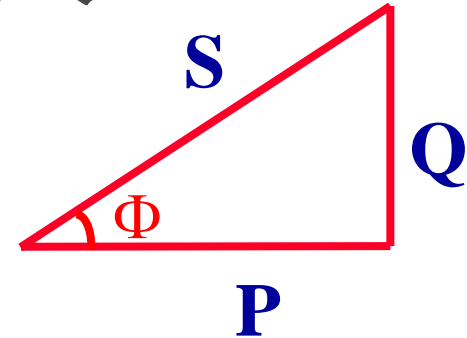
- 真实功率因数定义为有功功率与视在功率的比值

$$PF_{TRUE} = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$



# S、P和Q—为什么关心？

- 由于无功功率和谐波的存在，使得输电电缆需要更大的规格
- 使得变压器过热



$I_{RMS}$  →



PF ~ 1



$I_{RMS}$  →



PF << 1

# 目标总结

- 有功功率、无功功率和视在功率
  - $I_{RMS}$ ,  $V_{RMS}$ , 谐波畸变
  - 50或60 Hz不是转换和计算的上限
- 正确计算功率、电能、**THD**以及其他有**A/D**精度和带宽要求的电参量
  - 16位MCP390x计量芯片, 14 ksps采样速率和82 dB信噪比及失真 (Signal-to-Noise And Distortion, **SINAD**) 可以达到前述要求
  - PIC<sup>®</sup> MCU计算流程



# 日程安排

- 设计目标
  - 电能测量
  - 谐波，功率因数，我们为什么要关心？
    - 效率，电力消耗监测
- **Microchip**的电表方案
  1. 电能计量芯片MCP390X简介
  2. 无需MCU的低端单相电表方案
  3. 基于PIC18F2520的中端电表方案
  4. 基于dsPIC带谐波分析的高端电表方案
- 模拟部分的强壮设计
  - IEC要求
  - 抗EMC干扰

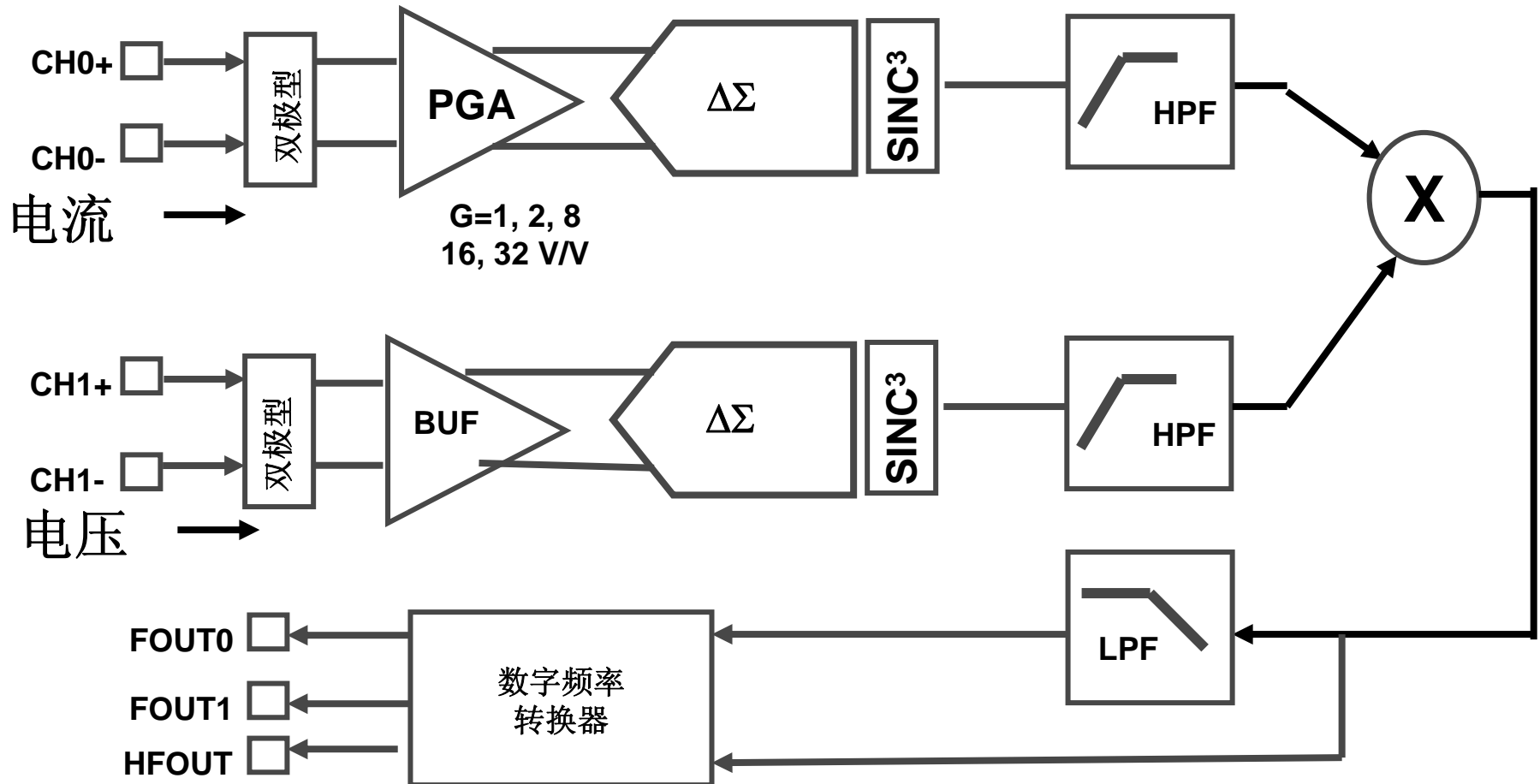


UNIVERSITY OF MICROCHIP  
**UOFM**  
MASTERS 2007  
第八届中国技术精英年会

# Microchip 电表方案

# MCP390X系列计量芯片

- **MCP3905A/05L/06A/09**
- 在500: 1或1000: 1的动态范围内测量精度达到**0.1%**
- 符合**IEC62053** 电表精度要求
  - Class 2, Class 1, Class 0.5, Class 0.2



# MCP390X 系列电能计量芯片

- **MCP390X系列含有2个16位 $\Delta$ - $\Sigma$  ADC。**

- 0.1%测量误差

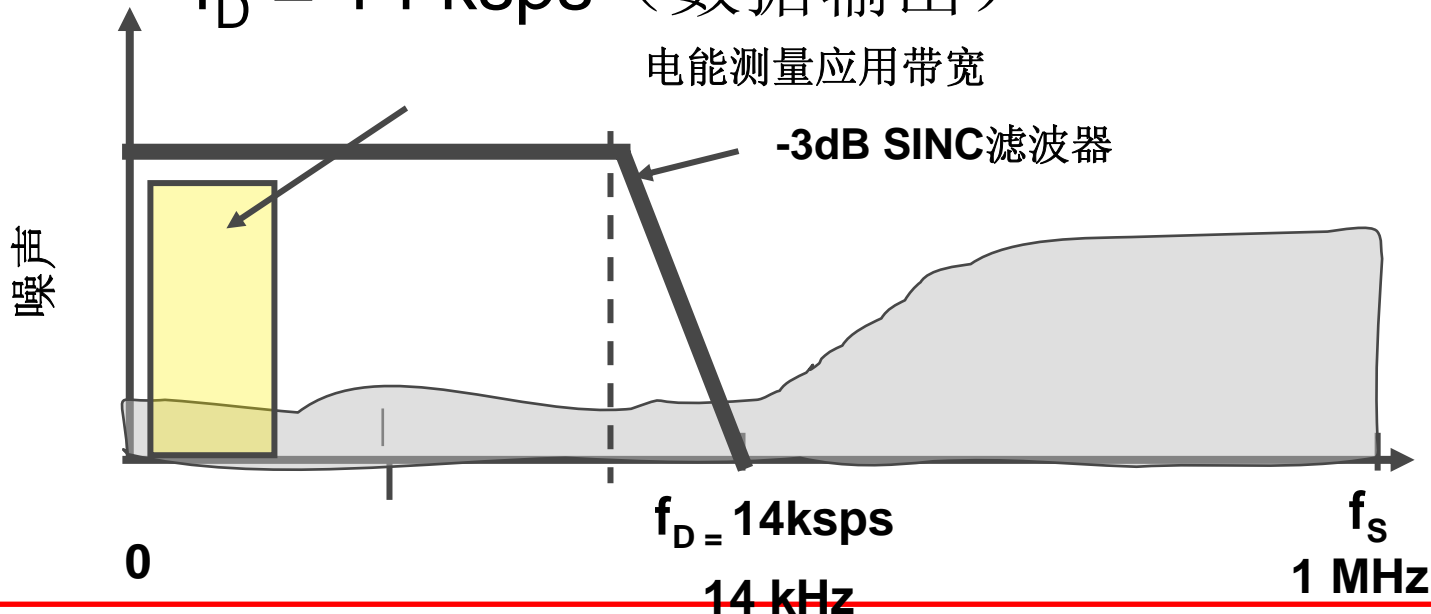
- **500:1 动态范围 (MCP3905A/05L)**

- **1000:1 动态范围 (MCP3906A/09)**

- 过采样1 MHz (4 MHz时钟)

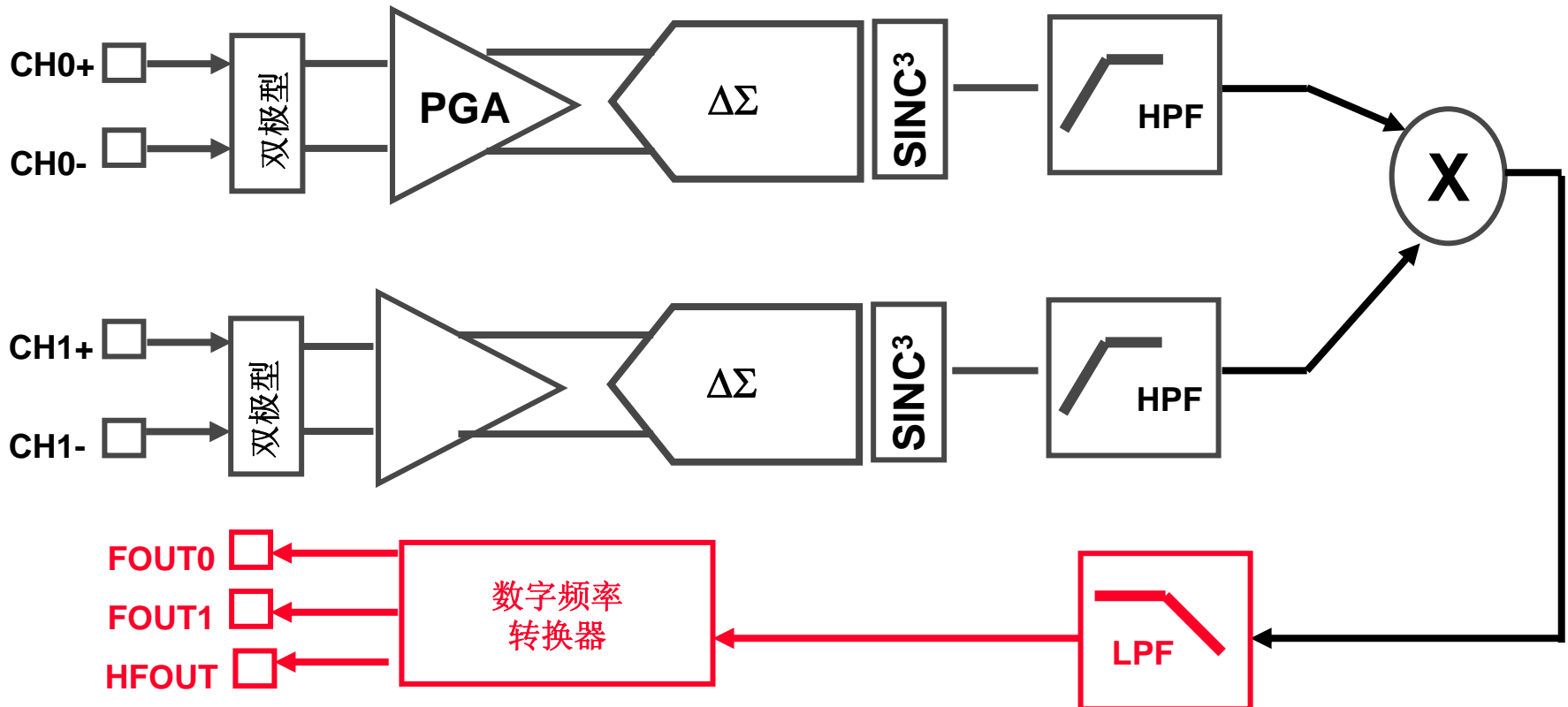
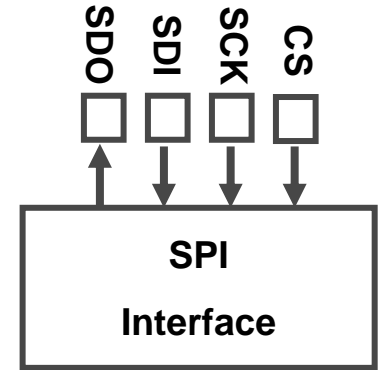
- $f_S = 1 \text{ MHz}$  (采样速率)

- $f_D = 14 \text{ ksp/s}$  (数据输出)



# MCP390X

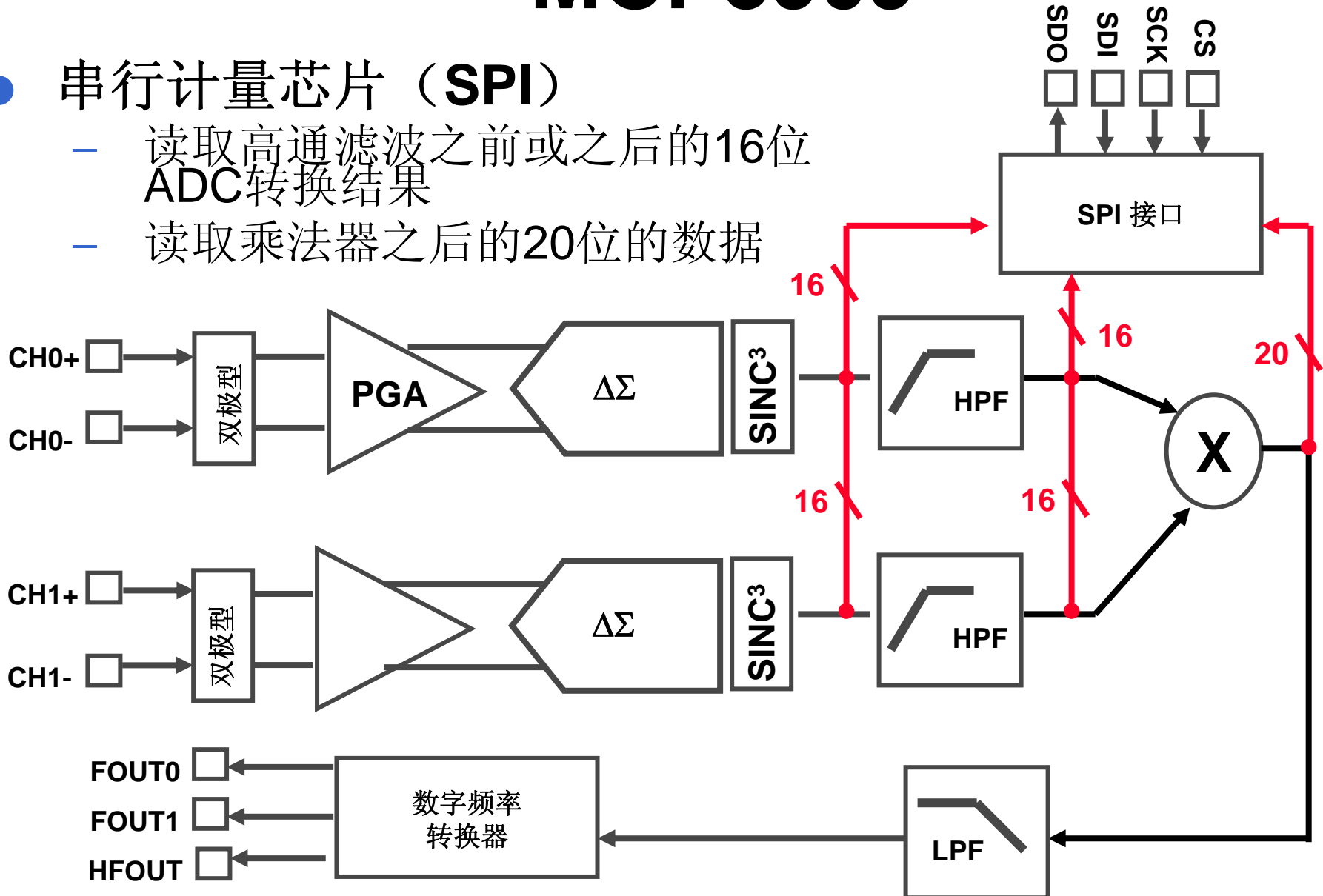
- 所有芯片都有有功脉冲输出
  - MCP3909具有双功能（串行/脉冲）
  - 直接驱动机械计数器



# MCP3909

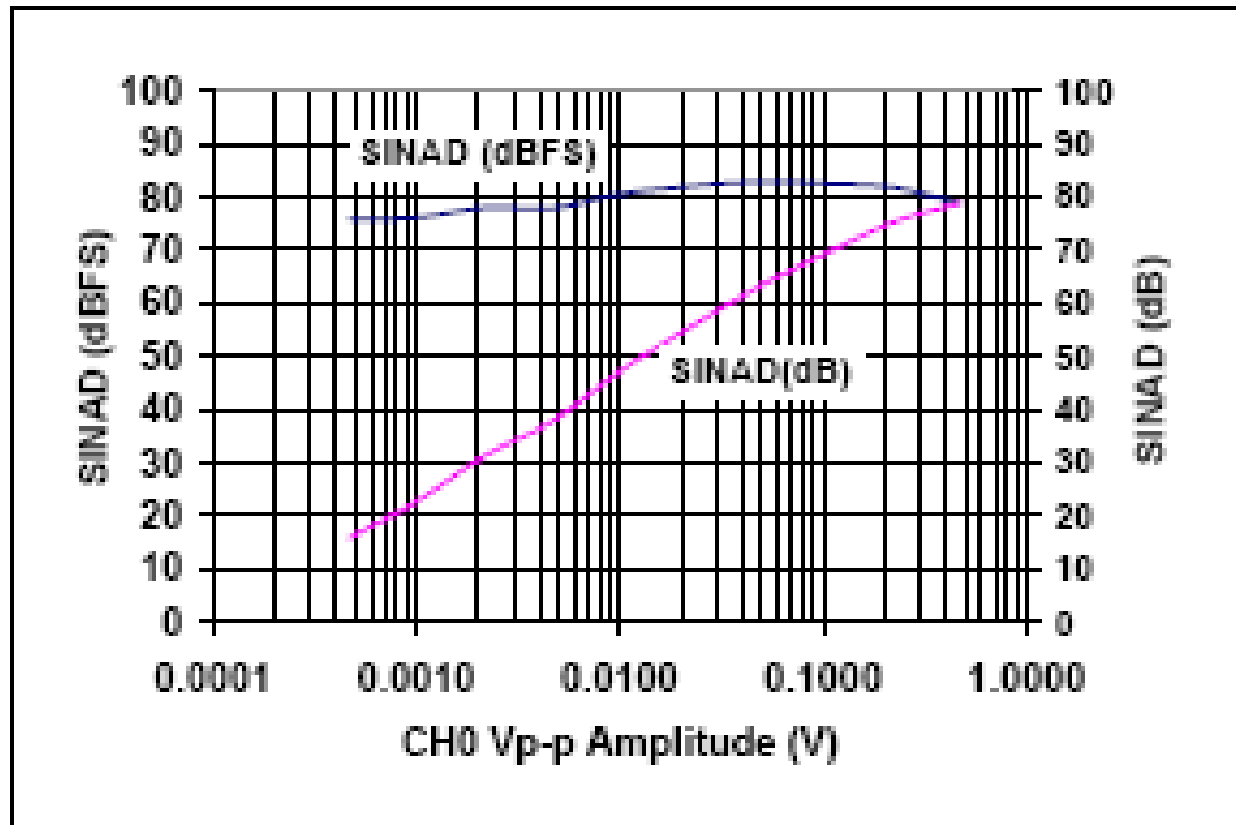
## ● 串行计量芯片 (SPI)

- 读取高通滤波之前或之后的16位ADC转换结果
- 读取乘法器之后的20位的数据



# MCP3909 ADC性能

- **SINAD = 信噪比加失真**



# 基于MCP3905A/06A 的单相电表参考设计

- 直接连接到输入，不需要互感器
- 板上电源
- 电阻网络和输出LED用来校正
- 放大倍数和频率选择-零电阻





# 日程安排

- 设计目标
  - 电能测量
  - 谐波，功率因数，我们为什么要关心？
    - 效率，电力消耗监测
- **Microchip**的电表方案
  1. 电能计量芯片MCP390X简介
  2. 无需MCU的低端单相电表方案
  3. 基于PIC18F2520的中端电表方案
  4. 基于dsPIC带谐波分析的高端电表方案
- 模拟部分的强壮设计
  - IEC要求
  - 抗EMC干扰

# MCP3909 / PIC18F

## 电表方案

# PIC18F2520 / MCP3909

- 工业商业用中档三相电表
- 分配变压器或变电站
- 电力质量检测设备
- 测量仪器
- 非电表类应用
- 接口
  - USB和RS/232
- PC 软件
  - 使用USB校验和读取测量值



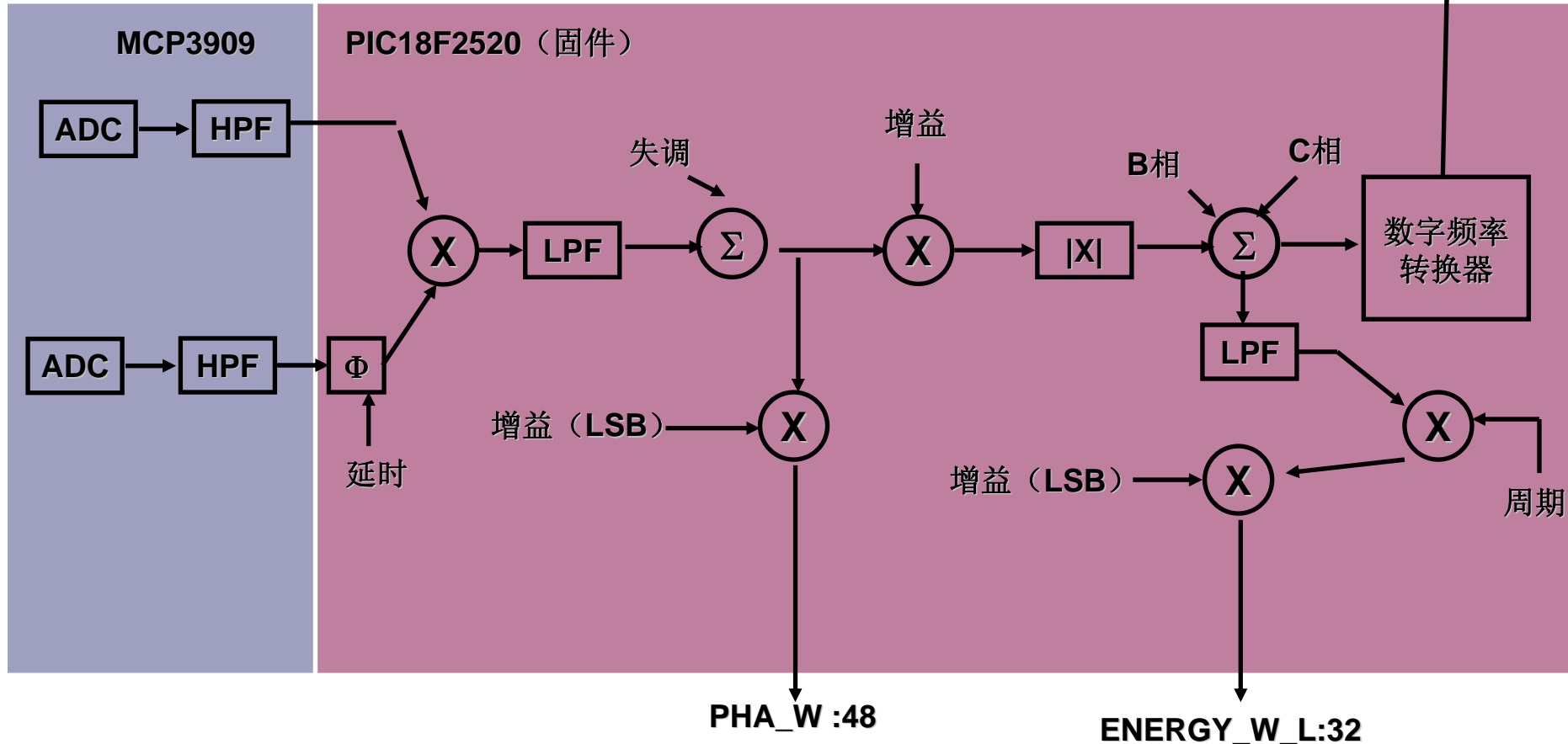
# PIC18F2520 / MCP3909

- 全功能三相电表参考设计：  
MCP3909+PIC18F2520  
(7K闪存)
- 有功电能脉冲输出，有功功率、视在功率、RMS电压和RMS电流计算
- 62个电参量寄存器
- 54个校正寄存器
- 易用的“储存”命令，保存校正寄存器到EEPROM中
- 高精度16位ADC，每周期128次采样
- PLL电路

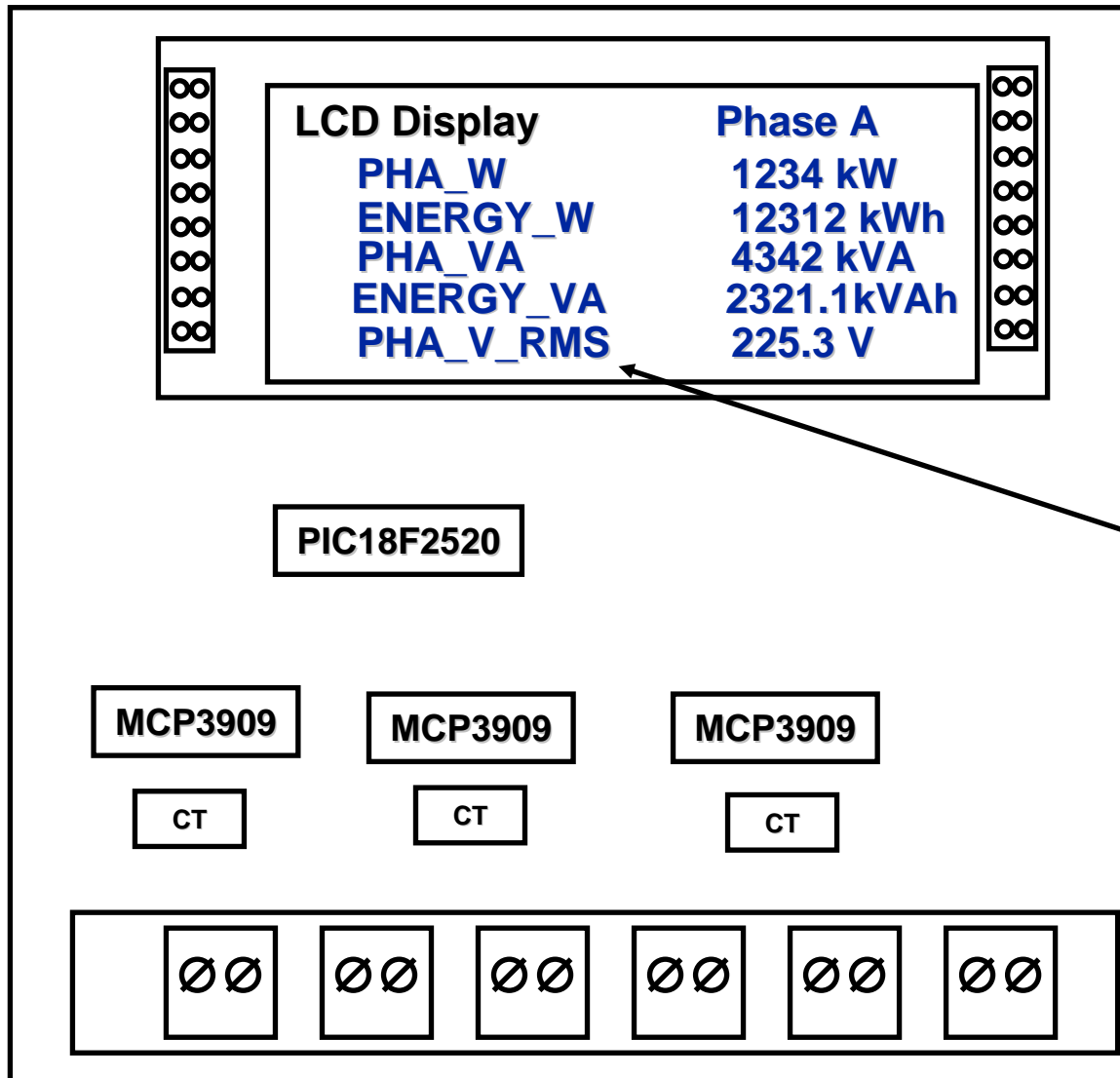


# 有功功率的数字信号处理流程

## ● 固件解决方案 = 可配置



# 参数存在闪存中的优点



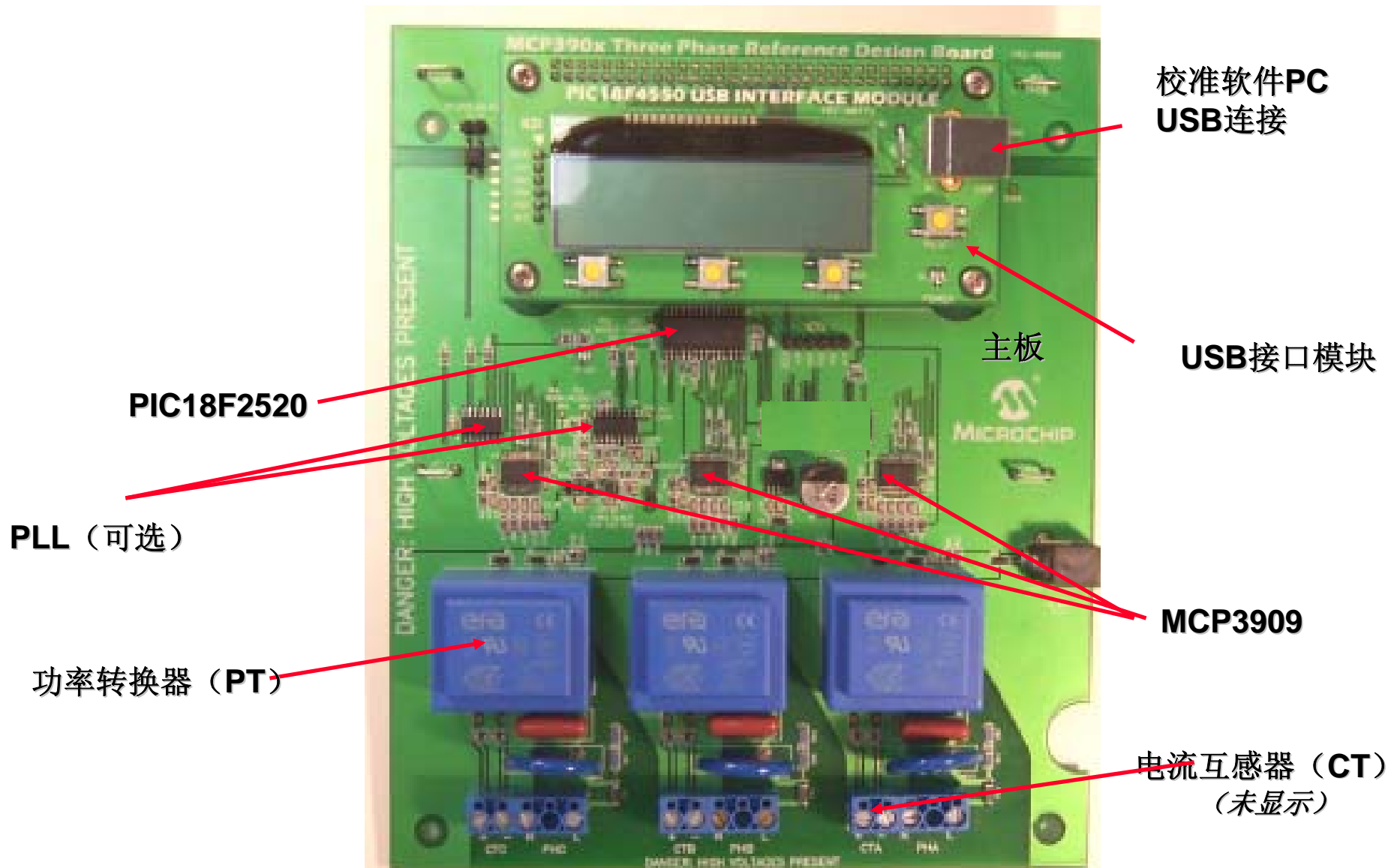
寄存器的值可以显示

**PIC18F** 将所有的校正和修正系数都保存在 **FLASH**

# 设计要求

- 输入：**3相4线**，频率**50或60 Hz**
- 频率范围：**45-65 Hz**
- **128次采样 / 周期**
- 输入电压范围“**176-300V**”
- 额定电流 ( $I_b$ )：**3 X 5(10)A**
  - 可以通过校表软件修改
- 启动电流：**0.001  $I_b$**
- 有功电能：**0-13200W**
- 脉冲常数：**3200**
  - 可以通过校表软件修改

# PIC18F2520 / MCP3909

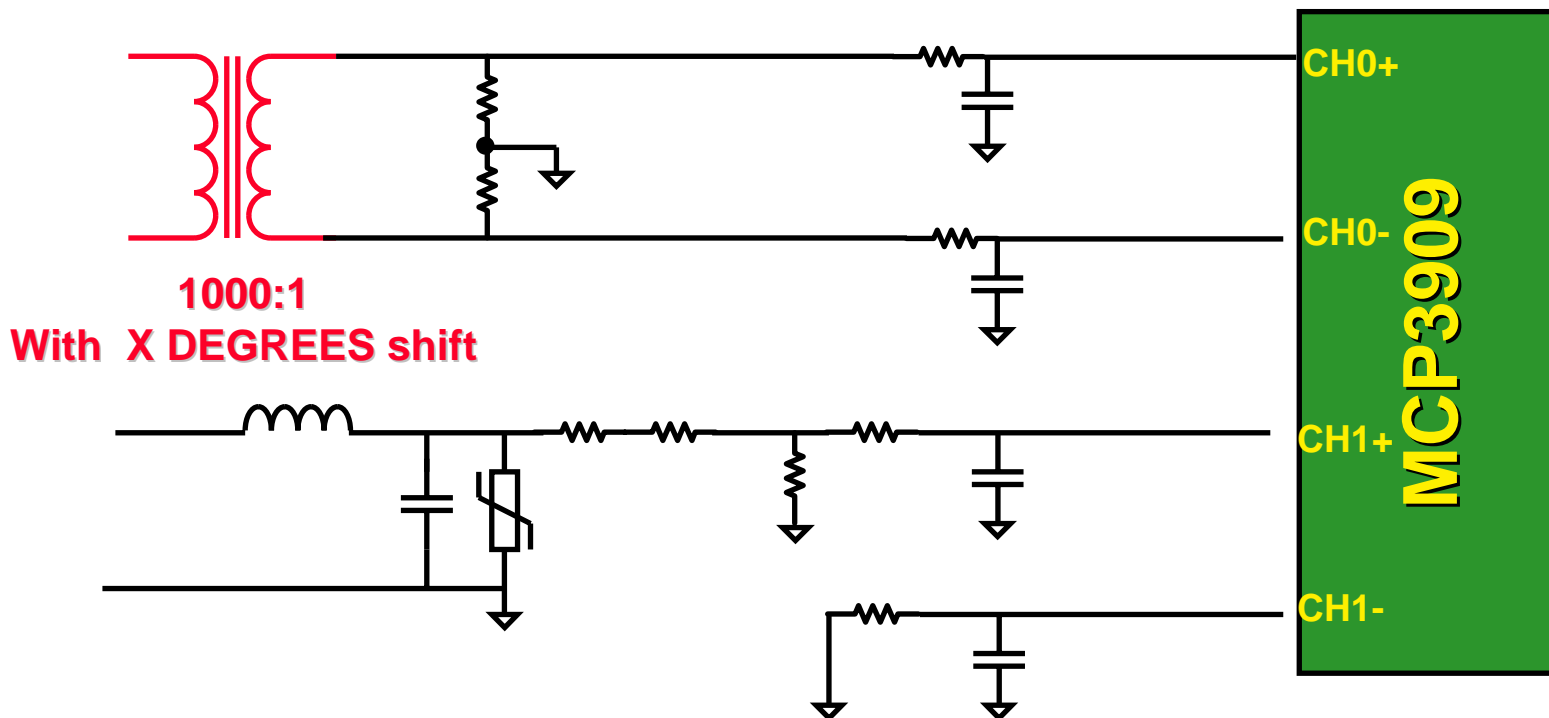




# CT引入的角差

- 有功  $P = S * \cos(\Phi)$
- $PF = 1$  (0 度) 时, 0.2度引起的误差不大 ( $<0.00001\%$ )
- $PF = -0.5$  (60 度) 时, 0.2度引起的误差为0.61%

$$\% \text{ Error} = \left( \frac{\cos(\phi) - \cos(\phi + \phi_e)}{\cos(\phi)} \right) \bullet 100\%$$



# 电流互感器的选择

- **PIC18F参考设计**

- SCT254GB

- **dsPIC33F参考设计**

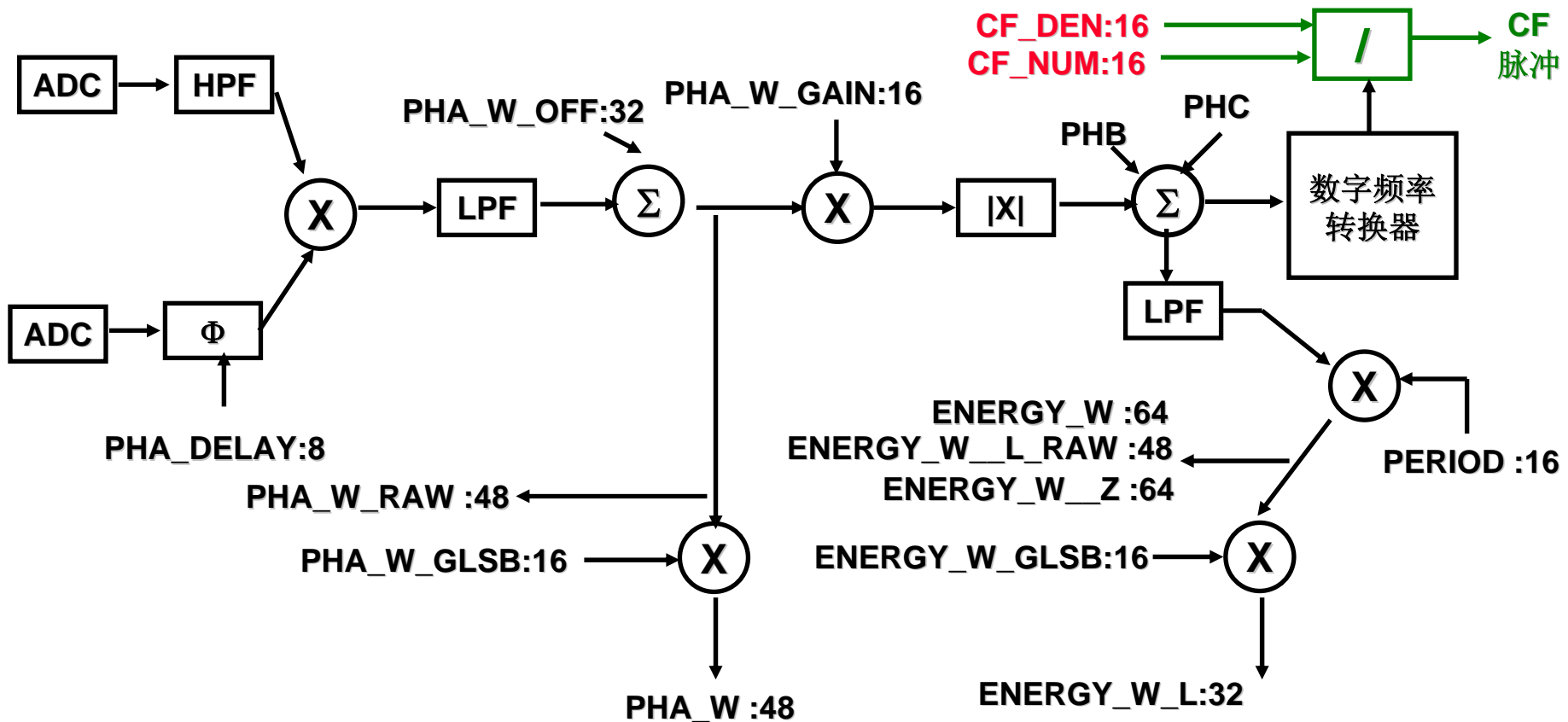
- SY070401
- SCT254GB
- SCT254FK

[www.yhehua.com](http://www.yhehua.com)

[www.vacuumschmelze.com](http://www.vacuumschmelze.com)

# 脉冲输出

- 脉冲频率与有功功率成正比
- 功能上等同于**MCP3905A/06A/09 CF**输出



# 日程安排

- 设计目标
  - 电能测量
  - 谐波，功率因数，我们为什么要关心？
    - 效率，电力消耗监测
- **Microchip**的电表方案
  1. 电能计量芯片MCP390X简介
  2. 无需MCU的低端单相电表方案
  3. 基于PIC18F2520的中端电表方案
  4. 基于dsPIC带谐波分析的高端电表方案
- 模拟部分的强壮设计
  - IEC要求
  - 抗EMC干扰

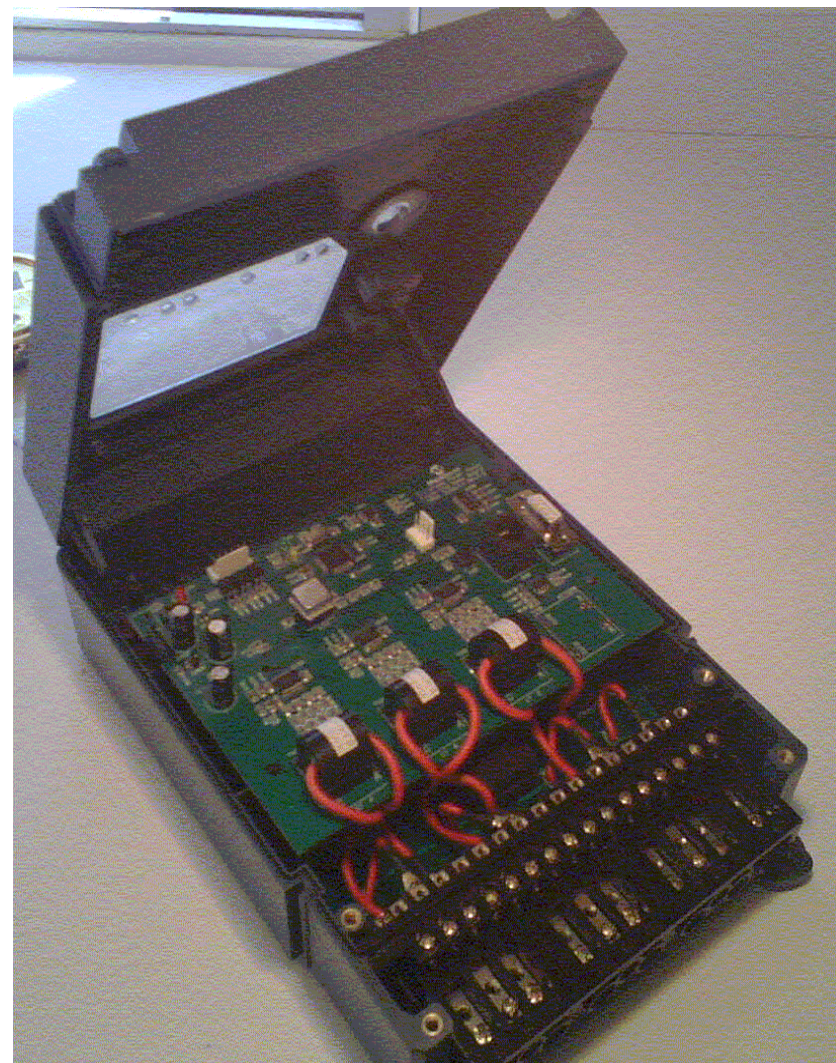


UNIVERSITY OF MICROCHIP  
**UOFM**  
MASTERS 2007  
第八届中国技术精英年会

# MCP3909 / dsPIC<sup>®</sup> 高端电表方案

# 概述

- 工业或商业高端**3**相电能表
- 最高到**31**次的谐波分析
- 每相畸变测量
- 每个通道的信号数据
- 分配变压器和变电站
- 电力质量检测设备
- 断路器及其他保护装置
- 接口
  - RS/232
- PC 软件
  - 校正和读取测量结果





# 概述

- 输入：**3相4线，50 Hz**
- 频率范围：**47~53HZ**
- 采样速率：**3.2 ksp/s**
- 电压范围：**176-300V，精度等级0.2**
- 额定电流 ( $I_b$ )：**3 X 5(20)A，精度等级0.2**
- 启动电流：**0.001  $I_b$**
- 有功：**0-13200W，精度等级0.2**
- 无功：**0-13200Var，精度等级0.5**
- 脉冲常数：**3200**
- 频率测量：**精度等级0.5，最大误差0.05 Hz**

# 谐波分析

- 畸变的波形可以用一系列的不同频率的正弦波形叠加近似而成。与畸变波形周期相同的**Sin( $\omega t$ )**是基波，其余的叫做谐波。
- 含有谐波的电压和电流可以由下式来表达：

$$u(t) = u_0 + \sum_{k=1}^N \sqrt{2}u_k * \sin(k\omega t + \alpha_k)$$
$$i(t) = i_0 + \sum_{k=1}^N \sqrt{2}i_k * \sin(k\omega t + \beta_k)$$

**$u_0$** 和 **$i_0$** 分别为电压和电流直流分量。  
**K**为谐波的序号,  **$k= 1,2,3...$**



# 谐波分量

- 畸变波形的谐波可以由以下三个参数来描述：谐波分量、畸变率和单词谐波含量。
- 谐波分量就是所有谐波有效值的均方根值, 表达式定义为：

$$U_H = \sqrt{\sum_{k=2}^{k=N} U_k^2}$$

# 谐波与畸变率

- 畸变率是谐波分量与基波的比值（%），表示为：

$$THD_U = \frac{U_H}{U_1} \times 100\%$$

- 单次谐波含量为该次谐波与基波的比值（%），表示为：

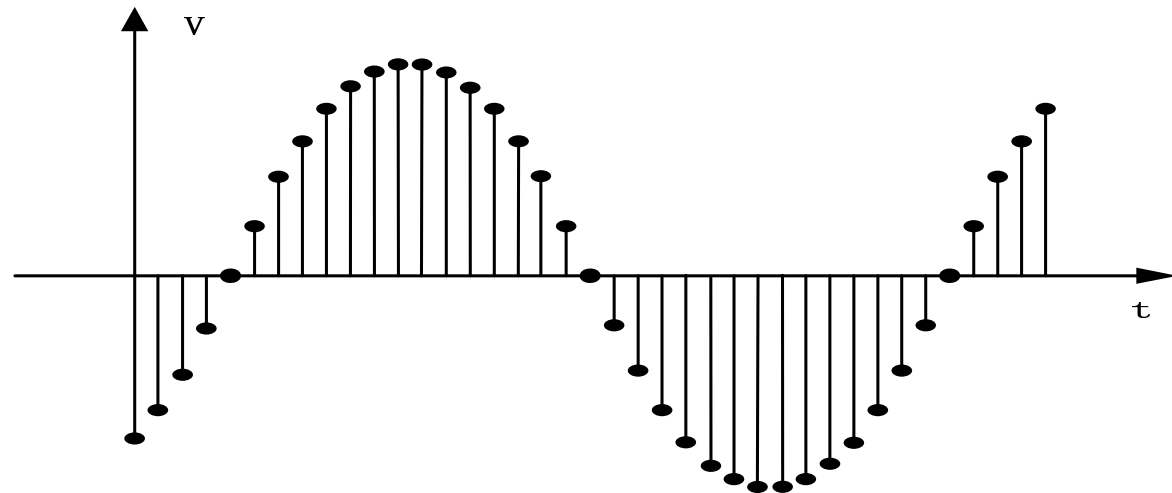
$$HD_{U_k} = \frac{U_k}{U_1} \times 100\%$$

- 类似的，电流谐波可以同样表示

# 同步采样原理与实现

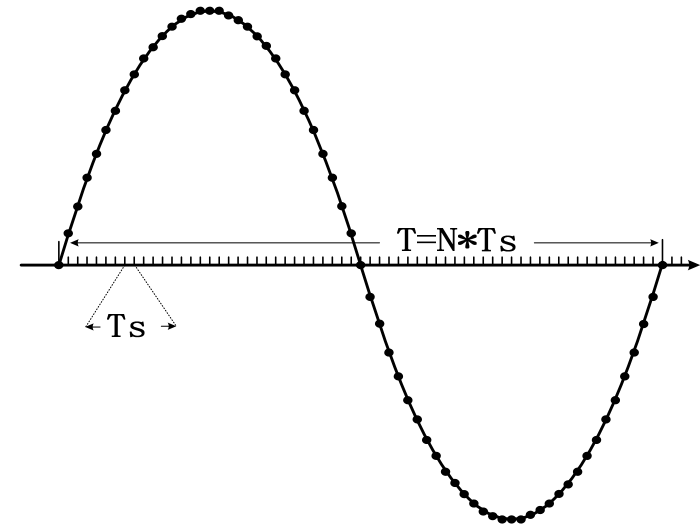
# 信号离散化

- 模拟量在数字式仪表中不能直接处理，需要要经过**A/D**转换，进行离散化。
- 因为模拟量是周期性的，所以只要采集一个完整周期模拟量，得到的离散数据就可以完整地体现模拟量的特征。

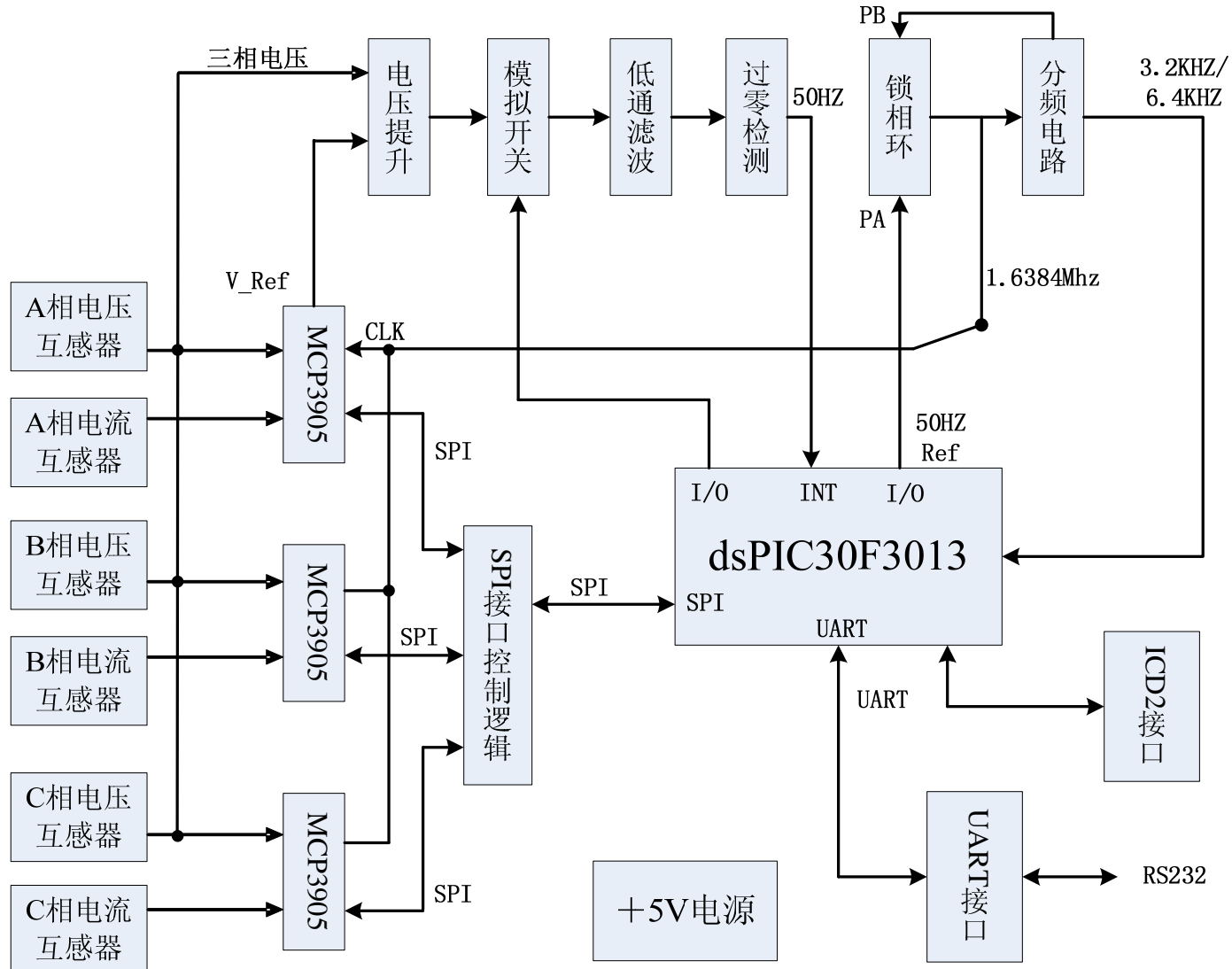


# 同步采样方法

- 同步采样是指对周期为 **$T$** 的交流信号，按照采样间隔 **$T_s$** 对其进行等间隔采样，每个周期采样点数为 **$N$** ，并且 **$N = T/T_s$** 。
- 同步采样法是一种**等间隔同步采样**，其优点在于当满足严格的同步采样时，理论上没有方法误差。此时的测量误差主要取决于**A/D转换**、计算机的运算等环节及干扰所产生的误差。



# 同步采样方法的硬件电路



# 同步采样方法的缺点

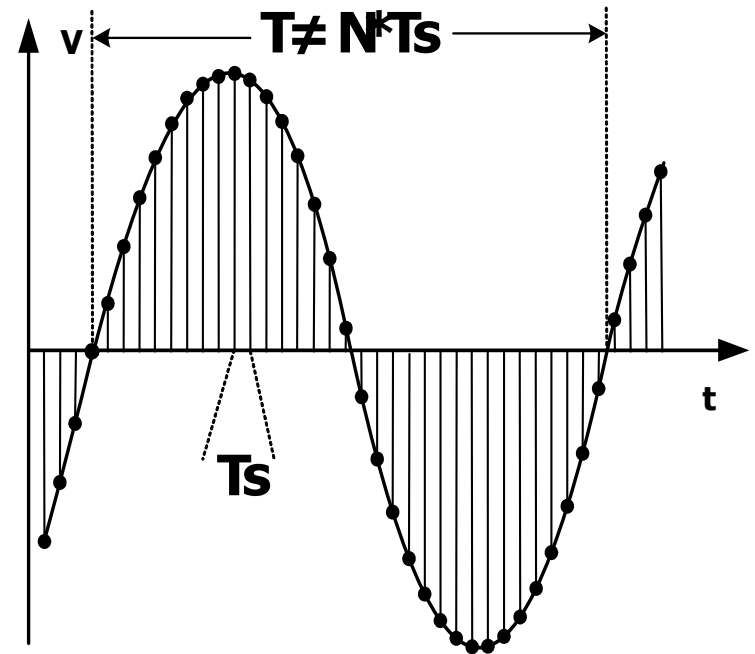
- 锁相环输出频率存在滞后于电网频率的情况，使得系统存在同步误差，严格的同步采样是难以实现的
- 谐波量较大的时候，容易造成硬件锁相环电路的跟踪误差或采样频率软件自动锁定误差同步采样缺点
- 增加调试时间
- 增加硬件成本
- 降低系统可靠性

# 准同步采样原理与实现



# 准同步采样方法

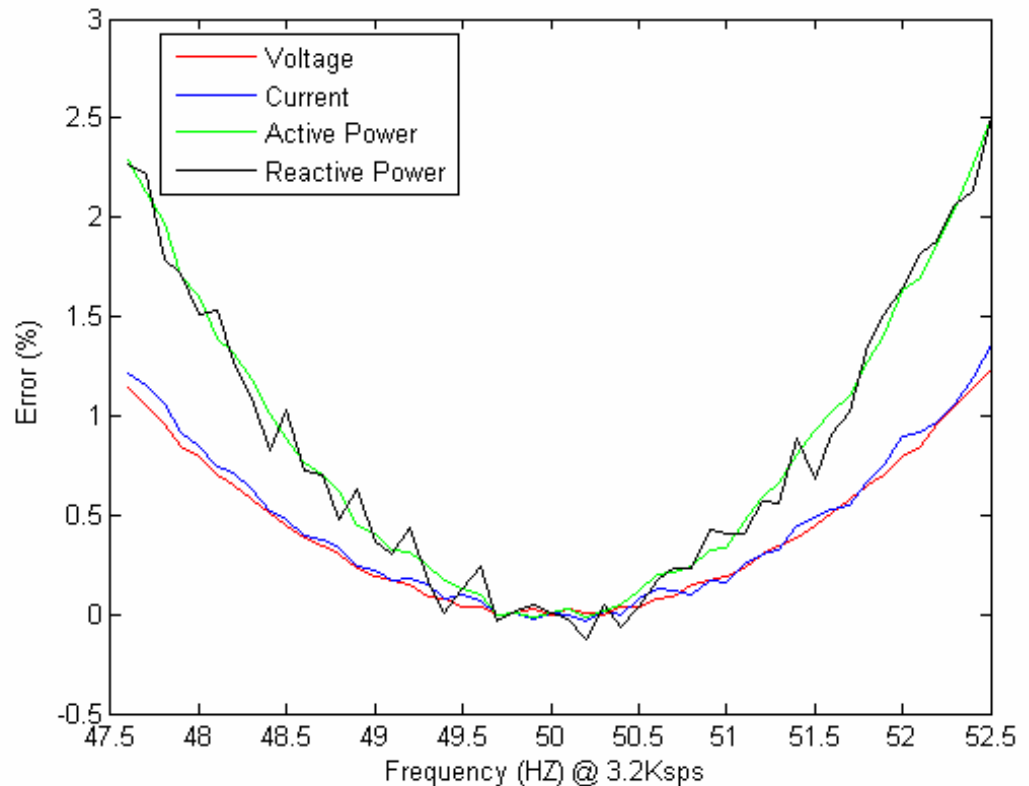
- 准同步采样法是在同步采样法的基础上发展出来的，通过适当增加采样点数及采用相应的算法进行数据处理的一种方法
- 准同步采样法的采样周期与电网周期不完全同步，但是非常接近
- 为减少非同步带来的测量误差，可以在数据处理时通过增加迭代次数来提高测量准确度



# 提高准同步算法测量精度

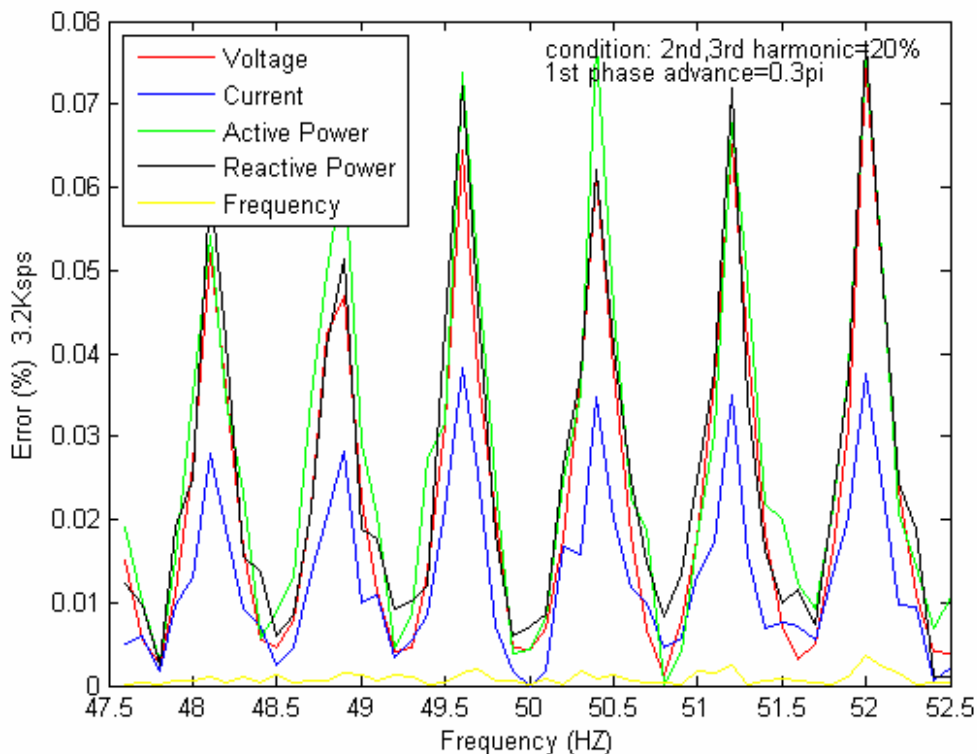
- 准同步算法测量精度与被测信号周期和采样周期的偏移大小有关

右图表示在**20 ms**采样周期（每周期完成**64**点采样）条件下，被测量信号的频率偏移对测量精度的影响



# 提高准同步算法测量精度

- 改进方法一：分段处理，设立多个中心频率点





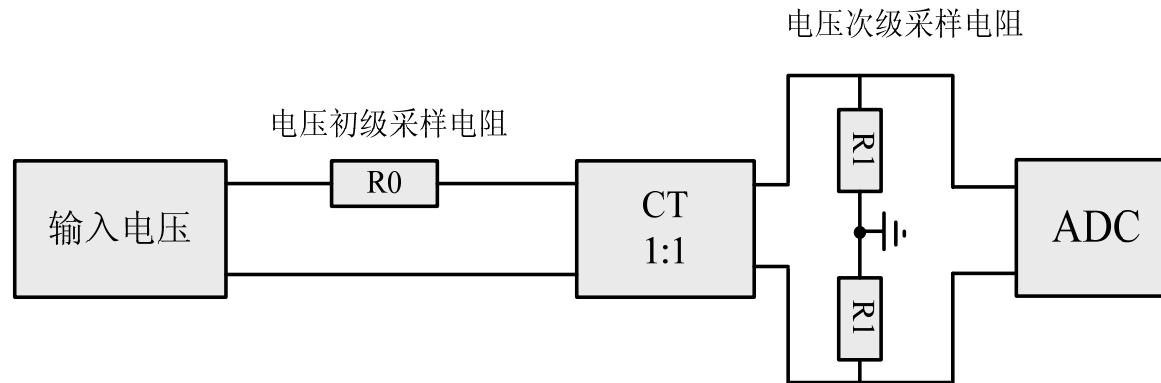
UNIVERSITY OF MICROCHIP  
**UOFM**  
MASTERS 2007  
第八届中国技术精英年会

# 精度校准

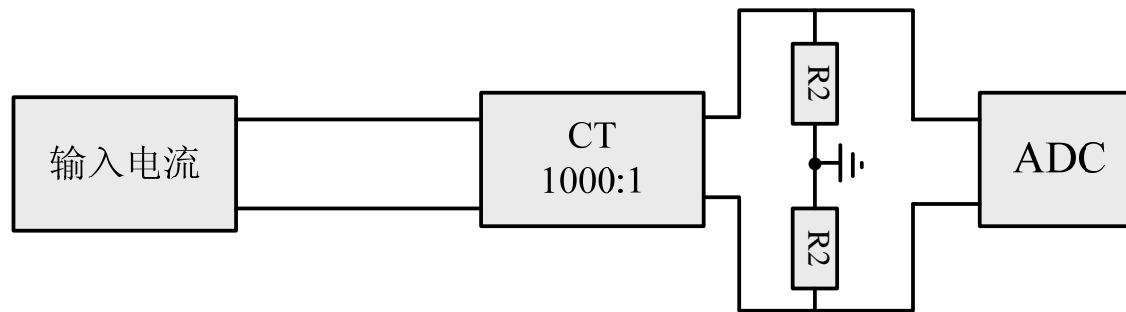
# 误差来源

- 电能计量装置综合误差是由三部分组成
  - 电压互感器二次导线压降引起的误差
  - 电压、电流互感器的合成误差
    - ✓ 比差
    - ✓ 角差
  - 计量误差
    - ✓ 取样电阻
    - ✓ **PGA**
    - ✓ 计算方法

# 电流、电压信号的测量



$$V_{in} = \left( \frac{R_0 \cdot Ratio_{PT}}{2 \cdot R_1} \cdot \frac{Full\_Scale}{32768} \right) \cdot ADC_{out} = K_1 \cdot ADC_{out}$$



电流次级采样电阻

$$I_{in} = \left( \frac{Ratio_{CT}}{2 \cdot R_2} \cdot \frac{Full\_Scale}{32768} \right) \cdot ADC_{out} = K_2 \cdot ADC_{out}$$

# 互感器角差

- 电流互感器的误差是复数，常用两个互相垂直的分量比值差 ( $f$ ) 和相位差 ( $\phi$ ) 来表示。

$$\varepsilon = f + j\phi$$

- 比差值又称为比差，比差的百分值用下式表示：

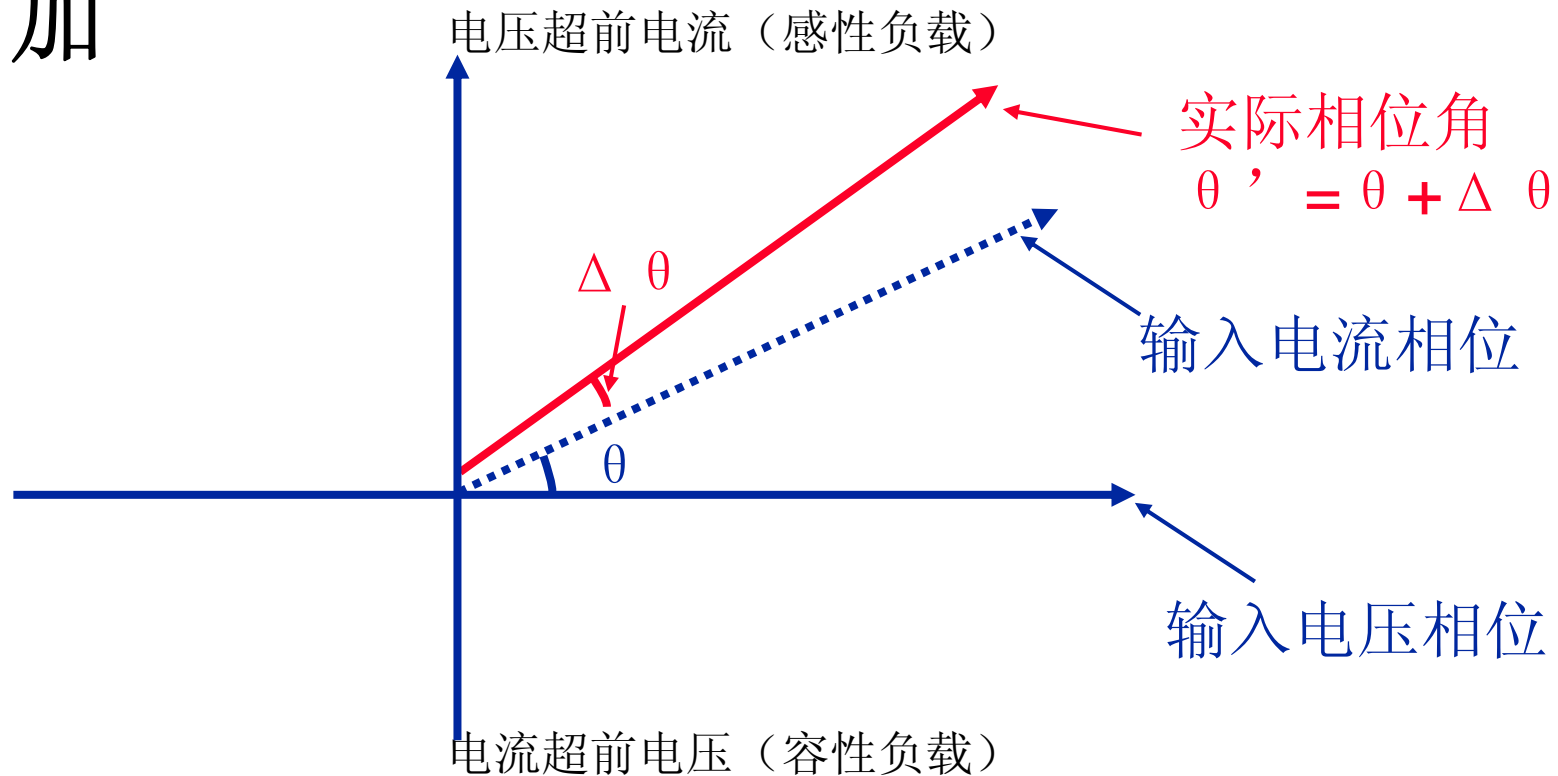
$$f = \frac{(K_n \cdot I_2 - I_1)}{I_1} \times 100\%$$

$K_n$  为额定电流比， $I_1$  为一次电流， $I_2$  为测量条件下，通过  $I_1$  时的二次电流。

- 相位差又称角差或相差，角差表达的是一次电流向量与二次电流向量的相位差，其单位是“分”。

# 相差引起的功率测量误差

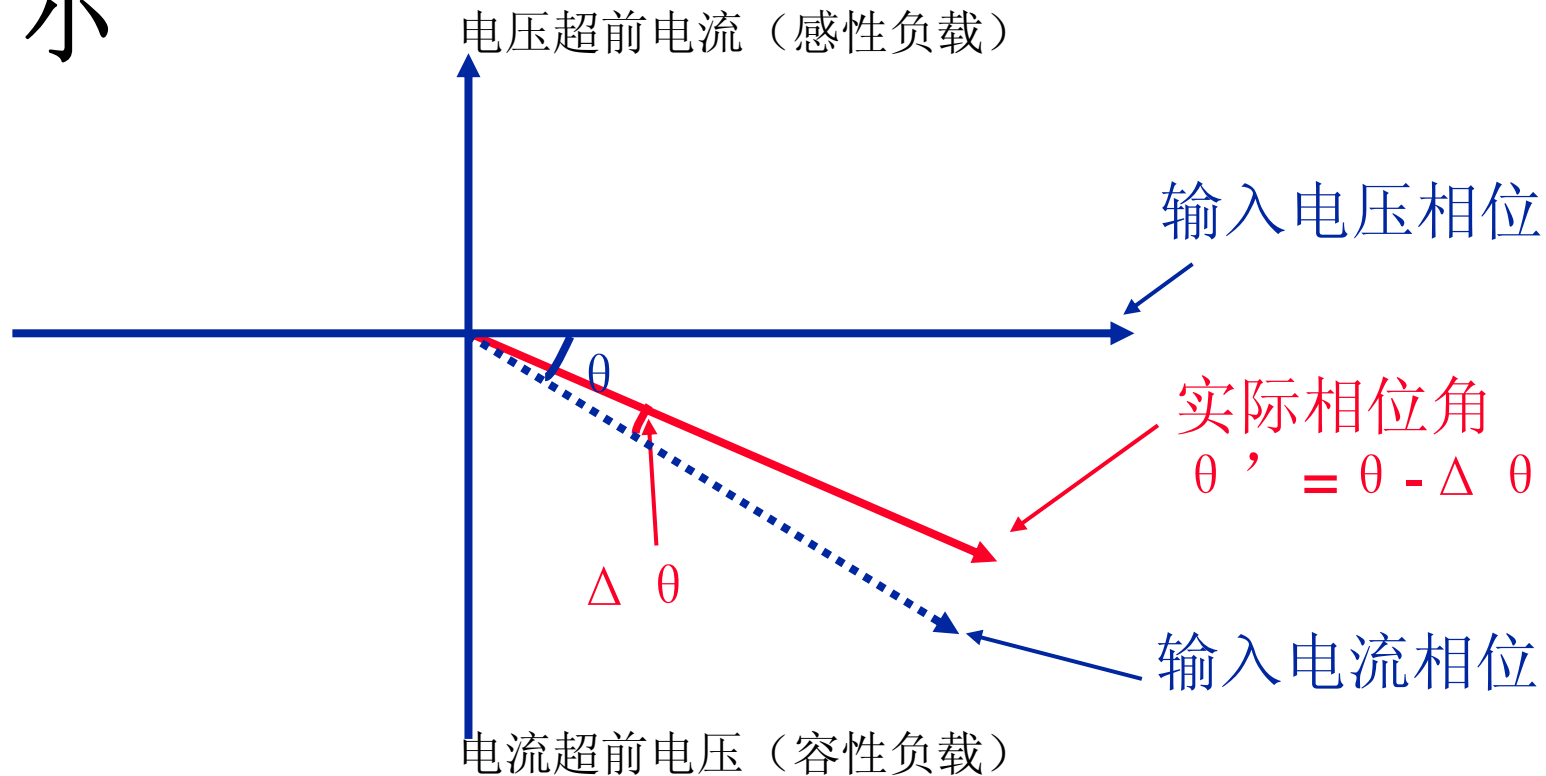
- 在感性负载时，引起实际相位角增大，导致测量的有功功率减小，无功功率增加





# 相差引起的功率测量误差

- 在容性负载时，引起实际相位角减小，导致测量的有功功率增加，无功功率减小



# 电流电压的线性度校准

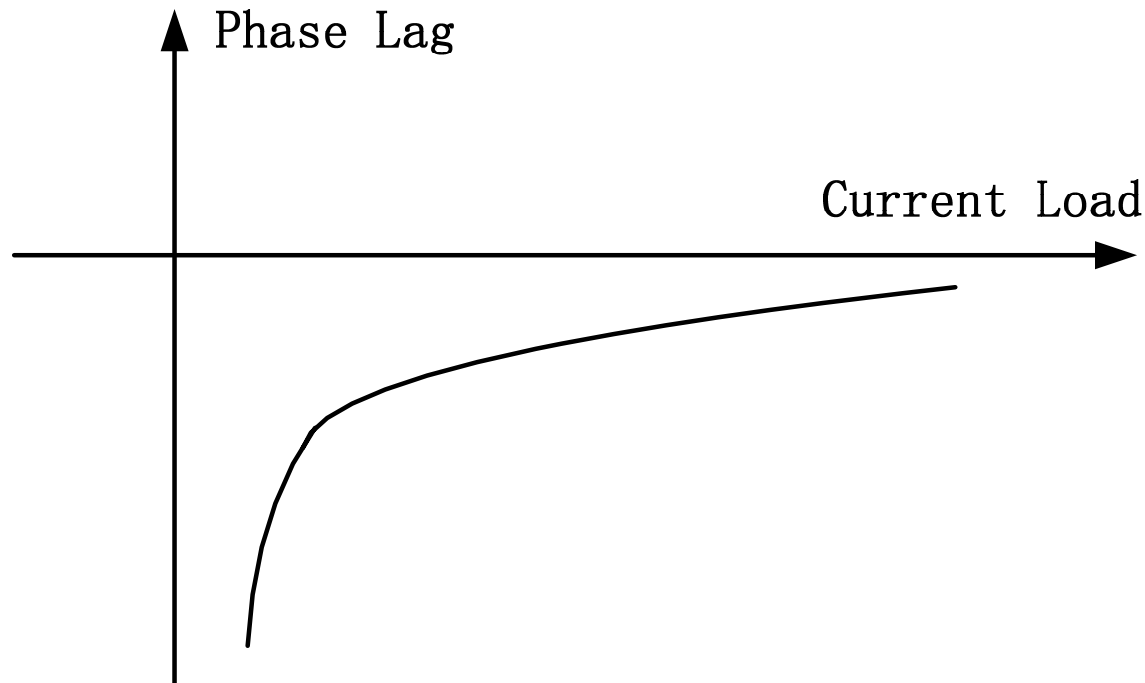
- 电流电压测量的校准和电能测量的校准是独立的，电流电压的校准不会影响电能计量，但会影响电流分段的选择
- 校准各相电流通道的比例系数**K1**和电压通道比例系数**K2**
  - 输入电流动态范围较大（1:5000），需要选用PGA的不同增益，在不同增益条件下需要分别校准
  - 输入电压动态范围较小，可在100%电压输入条件下进行单点校准即可
- 校准时，将校准设备的瞬时值输入给计量前端，由计量前端计算出比例系数

# 视在功率校准

- 视在功率校准，为什么？
  - 校表台的输出的精度限制
- 怎么办？
  - 可利用一段时间内的电能测量误差来进行校准，以实现高精度的视在功率校准。
  - 计量前端输出能量脉冲（有功/无功电能脉冲），校表设备将计量在数个电能脉冲时间内，标准表计量的能量和计量前端计量的能量之间的差值
  - 为消除互感器相差的影响，视在功率校准时输出的能量脉冲为视在电能脉冲（实际上在**PF = 1.0**条件下，视在电能十分接近有功电能）
  - 为提高测量精度，满足电流的大动态范围要求，通常将电流分成多个分区进行校准
- 功率校准是在**PF = 1.0**时逐相进行的

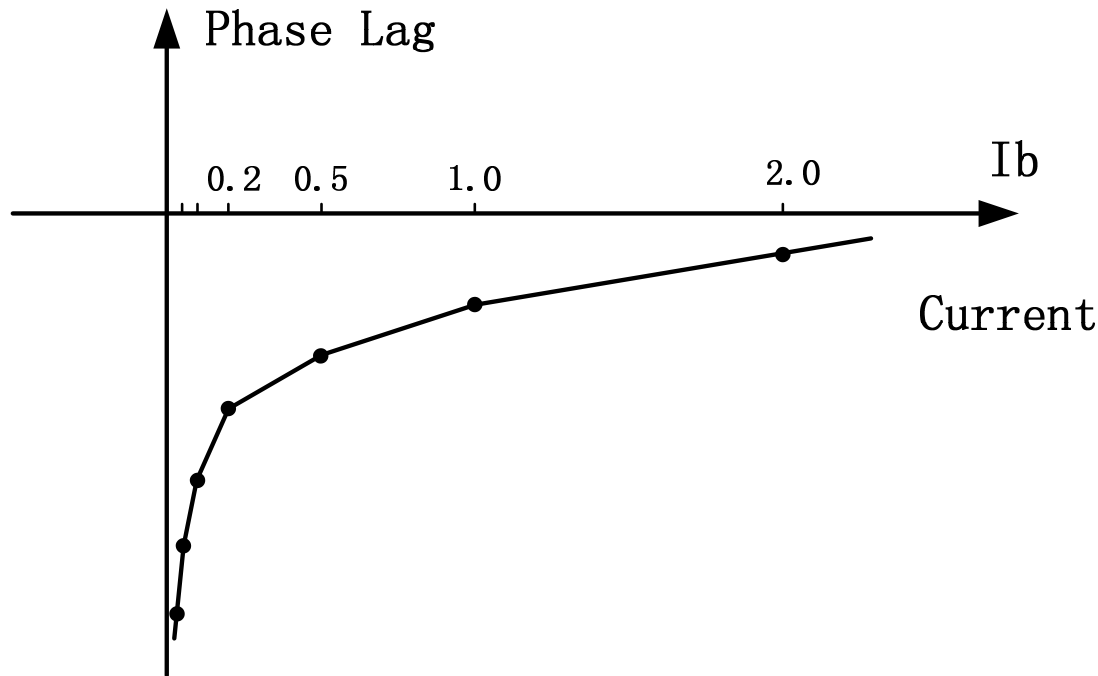
# 相差校准

- 相差大小和负载电流是相关的。通常，相差将随着负载电流的减小而增大，并且在小电流负载时候变化非常大。



# 相差校准 (续)

- 为保证电能测量精度，通常根据负载电流大小进行分区处理

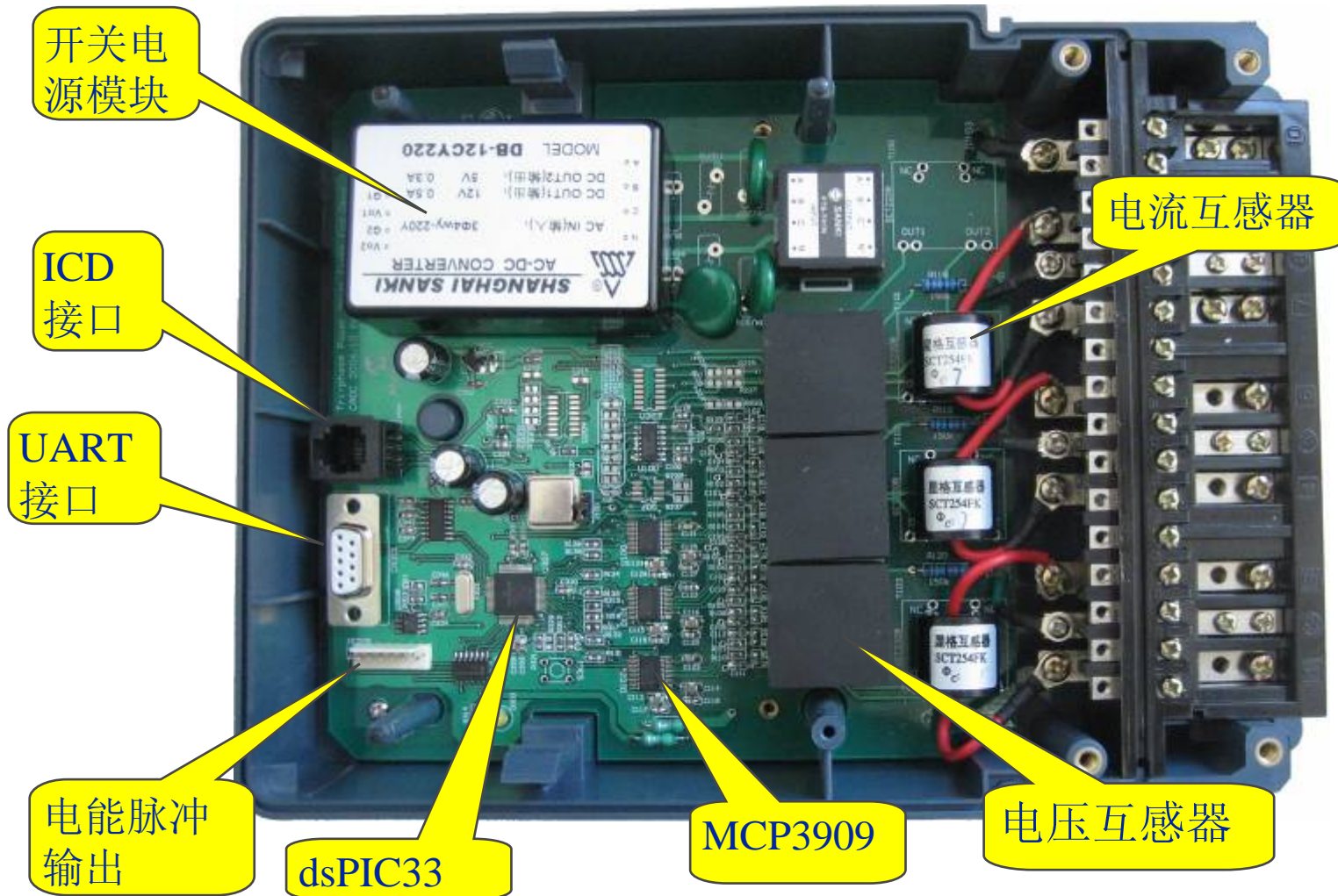




UNIVERSITY OF MICROCHIP  
**UoM**  
MASTERS 2007  
第八届中国技术精英年会

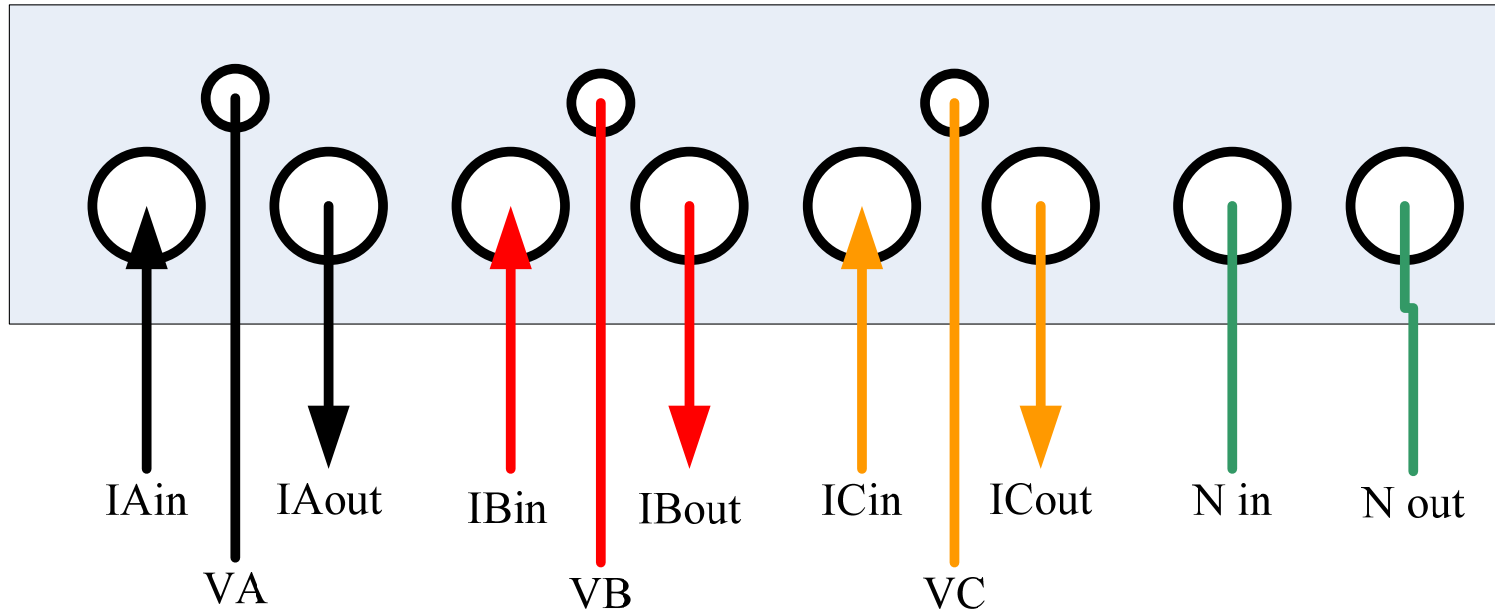
# 演示板及辅助软件

# 演示板介绍





# 接线





# 辅助软件使用

- 辅助软件**PM\_Viewer**的功能—用于模拟上位机
  - 通过**RS232**进行通讯
  - 发送查询命令
  - 参数校准
  - 显示电参量
  - 显示谐波数据

# 辅助软件的使用

- 运行环境
  - 硬件RS232串口
  - Windows2000/XP

# 基本参数

The screenshot shows the PI Viewer software interface. The title bar reads 'PI Viewer' and the menu bar includes 'Comm Port', 'Link', 'Work Mode', 'Refresh Speed', 'Calibration', and 'Exit'. The main window is divided into several sections:

- Basic Parameters:** A section containing eight rows of parameters, each with a label and a text input field. The values are: Total Apparent(VA) 0, Total Active(W) 0, Total Reactive(Var) 0, Total Power Factor 0, Frequency(Hz) 0, Voltage Phase Order Normal, Current Phase Order Normal, and Neutral Current(A) 0.
- Phase Data:** A section with three columns labeled 'Phase A', 'Phase B', and 'Phase C'. Each column contains seven rows of parameters: Voltage(V), Current(A), Active Power(W), Reactive Power(VAR), Apparent Power(VA), Power Factor, and Power Supply Status. All values are 0, except for the Power Supply Status which is 'Normal'.
- Work Status:** A section containing a dropdown menu set to 'Basic Parameters', a text input field set to '1 second', and two buttons labeled 'Start Test' and 'Stop Test'.
- Footer:** A status bar at the bottom left shows 'COM1', '2007-1-8', and '22:44'. The Microchip CAD/C logo is visible in the bottom right.

# 谐波分量显示

**PI\_Viewer**  
 Comm Port Link Work Mode Refresh Speed Calibration Exit

**Phase A Harmonic**

	Voltage(%)	Current(%)	Voltage(%)	Current(%)	Voltage(%)	Current(%)
2	0	0	12	0	22	0
3	0	0	13	0	23	0
4	0	0	14	0	24	0
5	0	0	15	0	25	0
6	0	0	16	0	26	0
7	0	0	17	0	27	0
8	0	0	18	0	28	0
9	0	0	19	0	29	0
10	0	0	20	0	30	0
11	0	0	21	0	31	0

**Work Status**

Phase A Harmonic

1 second

Start Test      Stop Test

**MICROCHIP**  
 CAD/CDC

COM1      2007-1-8      22:46

# 校准设置

The screenshot shows the PI\_Viewer software interface. The title bar reads "PI\_Viewer" and includes standard window control buttons. Below the title bar is a menu bar with options: "Comm Port", "Link", "Work Mode", "Refresh Speed", "Calibration", and "Exit".

The main interface is divided into two primary sections:

- Calibration Setup:** This section contains two sub-sections:
  - Pulse Constant:** Features an "Input" text box and a "Set" button.
  - Working Mode:** Contains two radio button options: "Normal Measurement Mode" (which is selected) and "Calibration Mode". A "Set" button is located to the right of these options.
- Work Status:** This section contains two text boxes:
  - The top box displays "Setup Pulse Constant".
  - The bottom box displays "1 second".

At the bottom center of the main area is a "close window" button. In the bottom right corner, the Microchip CAD/C logo is displayed.

At the very bottom of the window, there is a status bar with the following information: "COM1", "2007-2-1", and "14:01".

# 电流电压校准

The screenshot shows the PI\_Viewer software interface. The title bar reads "PI\_Viewer" and the menu bar includes "Comm Port", "Link", "Work Mode", "Refresh Speed", "Calibration", and "Exit".

**Current / Voltage Calibration**

- Region Select:** Radio buttons for "100%" (selected) and "10%".
- Phase select:** Radio buttons for "Phase A" (selected), "Phase B", and "Phase C".
- Channel Select:** Radio buttons for "Voltage" (selected) and "Current".

**Work Status:**

- Text box: "Linearity Calibration"
- Text box: "1 second"

**Condition:**  
3 phs balance, Voltage 100%, Current 100%, PF=1.0

**Standard Meter Value:** Text box containing "220.00".

**Buttons:** "Set", "Reset Initial Value", and "Close Window".

**Microchip CAD/C** logo is located in the bottom right corner.

**Status Bar:** COM1 | 2007-1-29 | 11:01 | Communication Error! !Command:101

# 视在功率校准

The screenshot shows the 'PI Viewer' application window. The title bar includes standard window controls and the text 'PI Viewer'. The menu bar contains 'Comm Port', 'Link', 'Work Mode', 'Refresh Speed', 'Calibration', and 'Exit'. The main interface is divided into several sections:

- Apparent Power Calibration:**
  - Region Select:** A vertical list of radio buttons for Region 1 through Region 7. Region 1 is selected.
  - Phase Select:** A vertical list of radio buttons for Phase A, Phase B, and Phase C. Phase A is selected.
  - Error Input:** A text box containing '0.0' followed by a '%' sign, and a 'Set' button below it.
- Work Status:** A section on the right with two text boxes. The top one contains 'Apparent Power Calibr' and the bottom one contains '1 second'.
- Buttons:** Three buttons are located at the bottom of the calibration section: 'Set Apparent', 'Reset Initial Value', and 'Close Window'.
- Condition:** Red text at the bottom left reads: 'Condition: Phase A , PF=1.0 , 2%Ib Please click "Set Apparent" button before calibration'.
- Logo:** The Microchip CAD/CDC logo is in the bottom right corner.
- Status Bar:** At the very bottom, a status bar shows 'COM1', '2007-1-29', '10:53', and 'Communication Error! Command:101'.



# 相差校准

The screenshot shows the 'PI Viewer' software window. The title bar includes 'PI Viewer' and standard window controls. The menu bar contains 'Comm Port', 'Link', 'Work Mode', 'Refresh Speed', 'Calibration', and 'Exit'. The main interface is divided into several sections:

- Phase Lag Calibration:**
  - Current Region Select:** A list of radio buttons for Region 1 through Region 7. Region 1 is selected.
  - Phase Select:** A list of radio buttons for Phase A, Phase B, and Phase C. Phase A is selected.
  - Reset Initial Value:** A button located below the phase select options.
  - Condition:** Text indicating 'Phs A , PF=0.5L , 2%Ib'.
  - Error:** A text field showing '0.0' followed by a '%' symbol.
  - Set:** A button to apply the current settings.
  - close window:** A button to close the calibration window.
- Work Status:**
  - A text field showing 'Phase Lag Calibration'.
  - A text field showing '1 second'.

At the bottom of the window, there is a status bar with the following information: 'COM1', '2007-1-29', '11:00', and 'Communication Error1 !Command:101'. The Microchip CAD/CDC logo is visible in the bottom right corner of the main window area.





UNIVERSITY OF MICROCHIP  
**UOFM**  
MASTERS 2007  
第八届中国技术精英年会

# 演示和测试结果

# 日程安排

- 设计目标
  - 电能测量
  - 谐波，功率因数，我们为什么要关心？
    - 效率，电力消耗监测
- **Microchip**的电表方案
  1. 电能计量芯片MCP390X简介
  2. 无需MCU的低端单相电表方案
  3. 基于PIC18F2520 的中端电表方案
  4. 基于dsPIC<sup>®</sup>带谐波分析的高端电表方案
- 模拟部分的强壮设计
  - IEC要求
  - 抗EMC干扰

# 模拟部分抗干扰设计

# IEC规范： 抗电磁干扰性

## ● IEC62053 部分规定

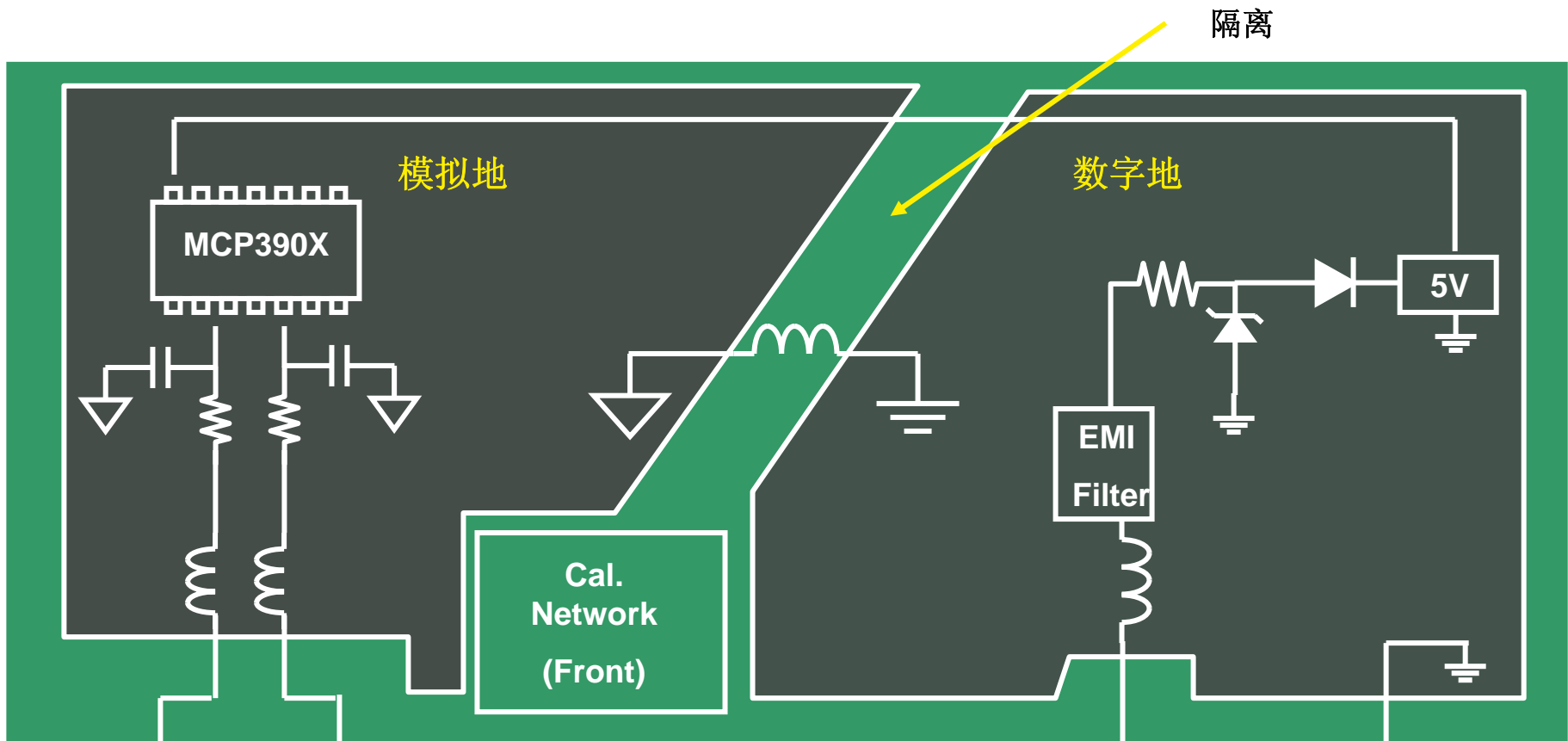
- 传导 (EFT)
- 电磁辐射 (EMI)
- 静电放电 (ESD)

不损坏或影响表计

模拟和混合信号 (A/D) 电路必须  
恰当设计

# IEC抗干扰要求： 怎样才能通过？

## ● 典型的电能表IC设计



# 抗EMC干扰

## ESD

- 8 kV接触放电
- 10次放电 (每个极性)

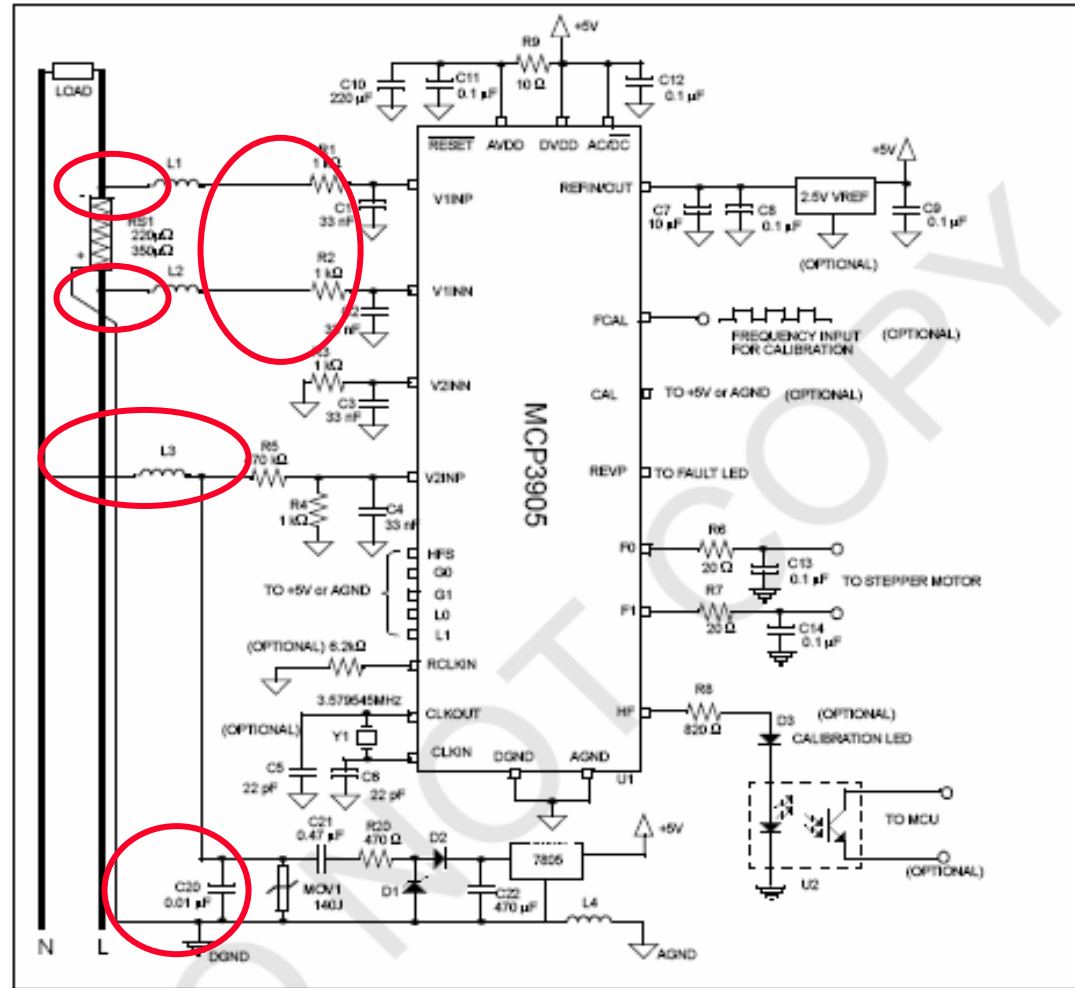
## HF高频

- 10 V/m, 带宽从80 MHz到1 GHz

## EFT

- 2kV脉冲
  - 10分钟
  - 持续1s的脉冲群, 间隔为300 ms
- 4kV脉冲
  - 耐受60秒

模拟设计窍门



EXAMPLE 11-1: SIMPLE WATT-HOUR METER USING MCP3905



UNIVERSITY OF MICROCHIP  
**UOFM**  
MASTERS 2007  
第八届中国技术精英年会

# 总结

# 总结

- 经过证实/确认的模拟部分性能
  - 适用于电能计量芯片无可比拟的ADC性能
    - **MCP3905A/06A/09**带有**SNR**为**82 dB**的**ADC**
    - 竞争对手的典型值为**60 dB**
    - 测量误差典型值为**0.1%** ,优于**IEC**对所有级别电能表的设计要求
- 工业领域领先的**MCU**供应商
  - Microchip*的**PIC<sup>®</sup> MCU**和**dsPIC<sup>®</sup> DSC**可为电能表设计提供多样的选项
    - 用于读表和校准的连接接口, 如**USB**、以太网、**CAN**、红外、无线射频和**MIWI**协议
    - 多种**MEMORY**技术: 闪存、**OTP**、**ROM**
    - 简单方便的移植
- 应用支持和电能表参考设计
  - **Microchip**电能表演示是全功能的电能表!
  - 竞争对手采用**ROM**形式的芯片, 而**Microchip**采用的是闪存的, 可降低系统成本并缩短校表时间





UNIVERSITY OF MICROCHIP  
**UOFM**  
MASTERS 2007  
第八届中国技术精英年会

# 参考材料

# 3相电路里的电压和电流定义

- 在3相电系统里，正弦电压和电流如下定义：

$$v_A = \sqrt{2}V_A \sin(\omega t)$$

$$i_A = \sqrt{2}I_A \sin(\omega t)$$

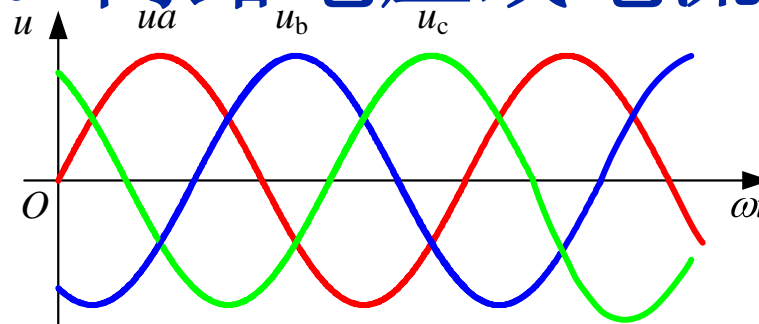
$$v_B = \sqrt{2}V_B \sin(\omega t - 120)$$

$$i_B = \sqrt{2}I_B \sin(\omega t - 120)$$

$$v_C = \sqrt{2}V_C \sin(\omega t + 120)$$

$$i_C = \sqrt{2}I_C \sin(\omega t + 120)$$

- 在这里  $v_A$ 、 $v_B$  和  $v_C$  是瞬时值， $U_A$ 、 $U_B$  和  $U_C$  为有效值。两路电压或电流间的相差为  $120^\circ$



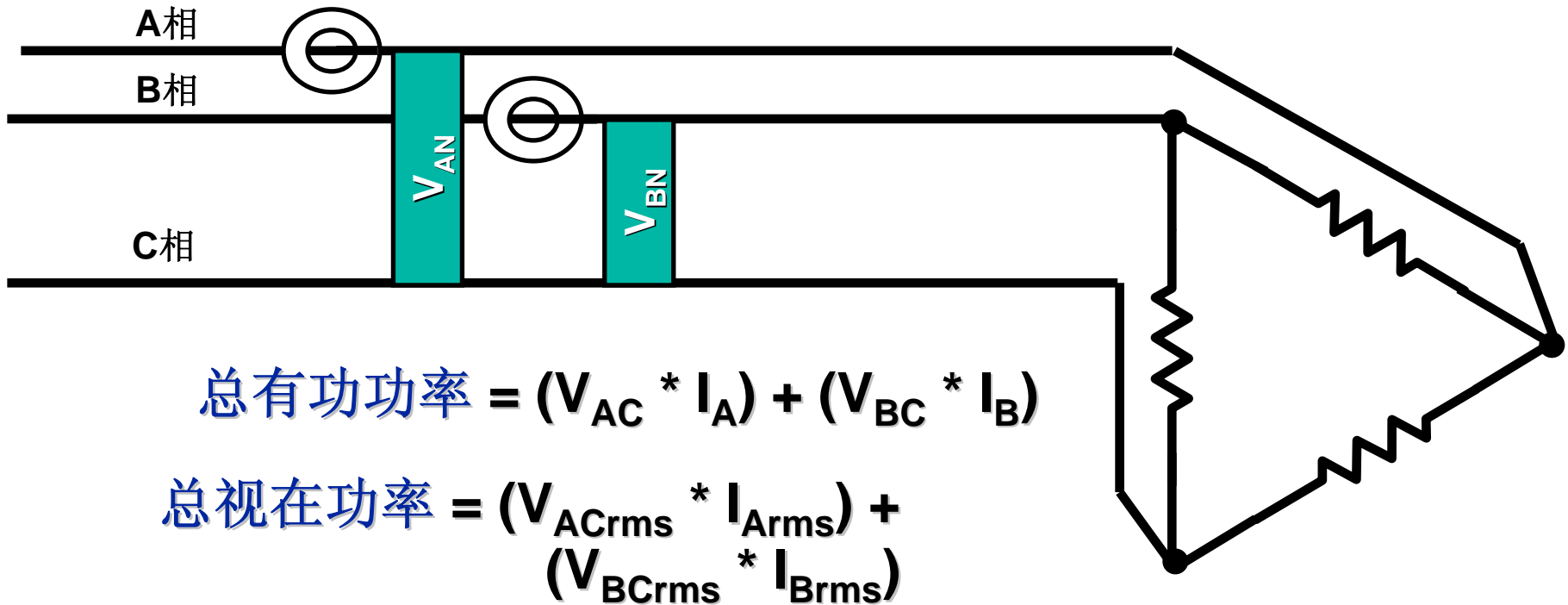
# 非正弦周期信号的电压和电流定义

- 由于非线性负载和元件的存在，在电路中会产生非正弦周期的信号
- 交流电压和电流可以通过有效值，平均值和峰值来表述。但是实际上，特别是非正弦信号，会更多的使用有效值
- 非正弦周期信号的电压/电流有效值的定义：

$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

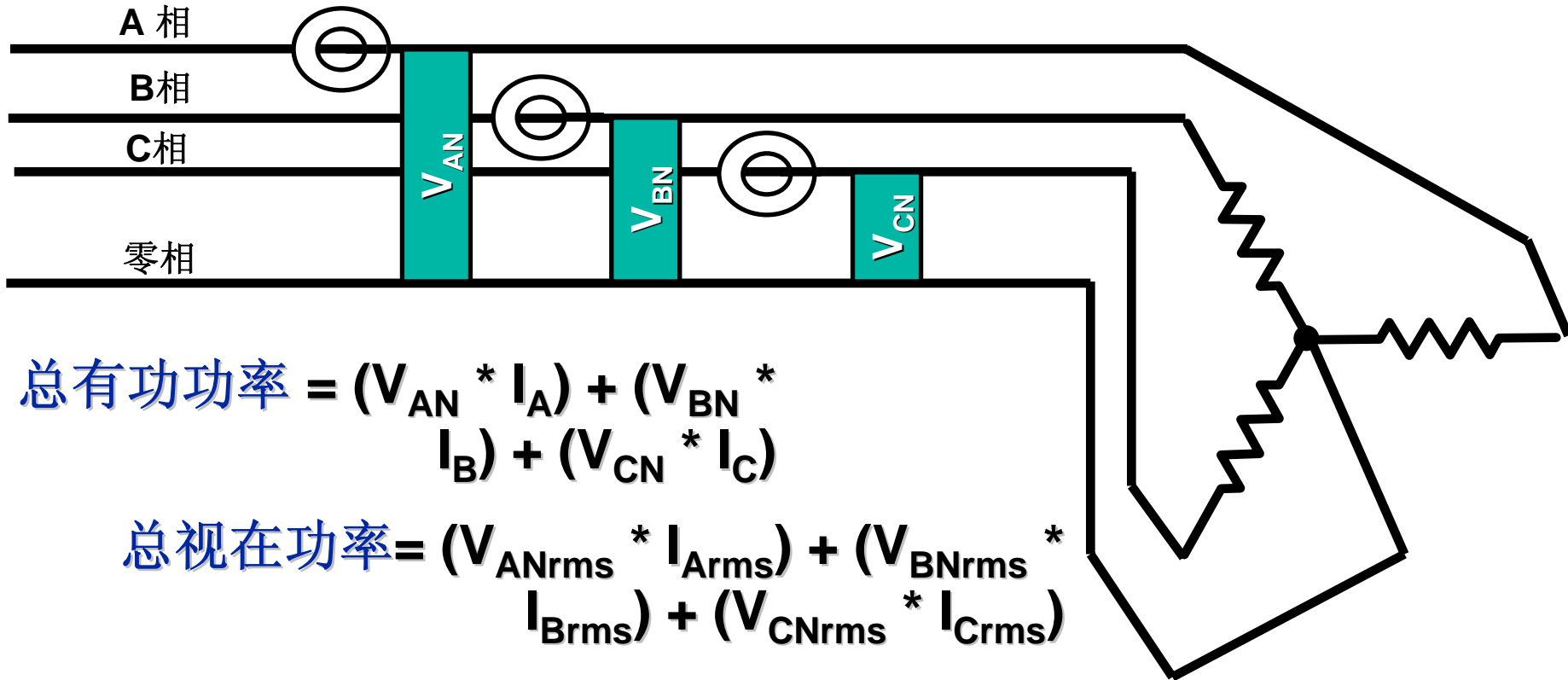
# 三相三线三角形接法

- 共4个测量量



# 三相四线Y形接法

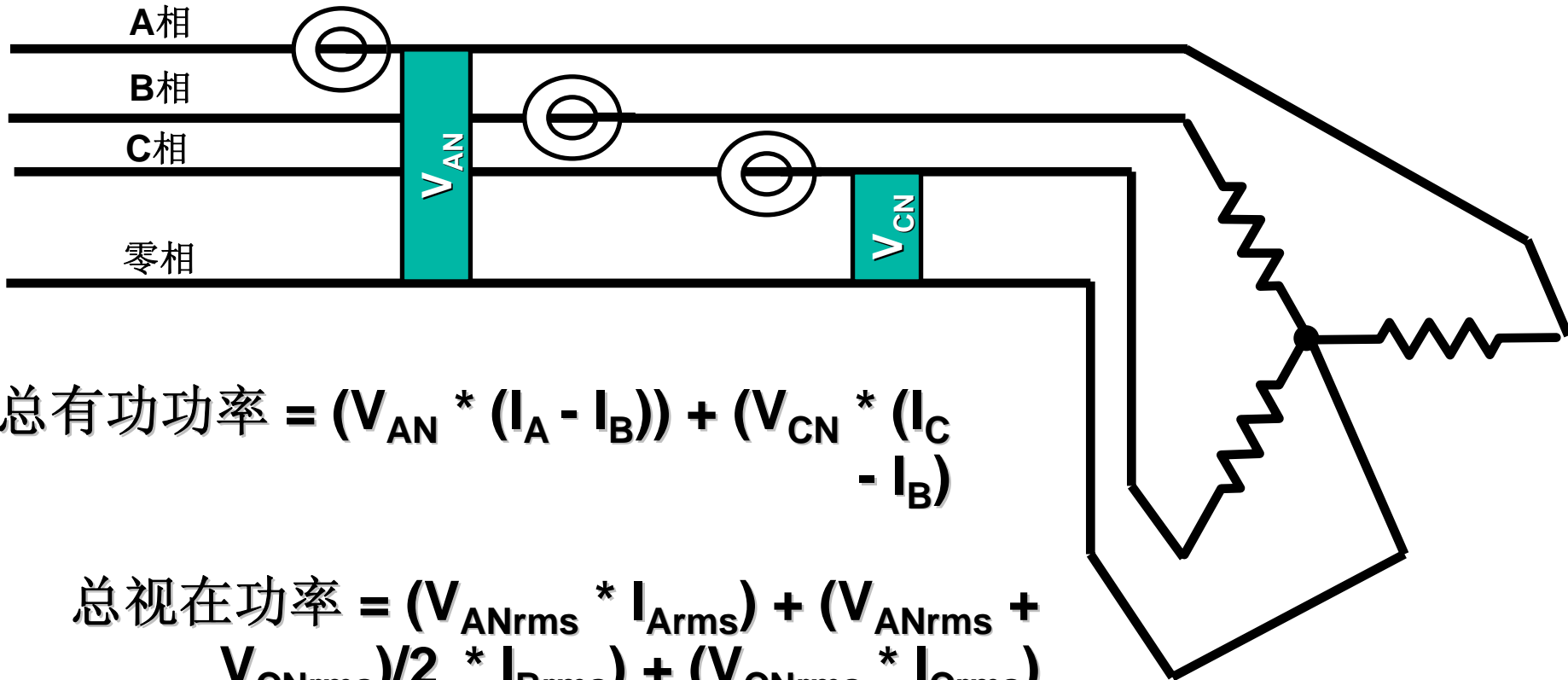
## ● 共6个测量量



# 三相四线Y形接法

## 2个电压传感器

- 5个测量量



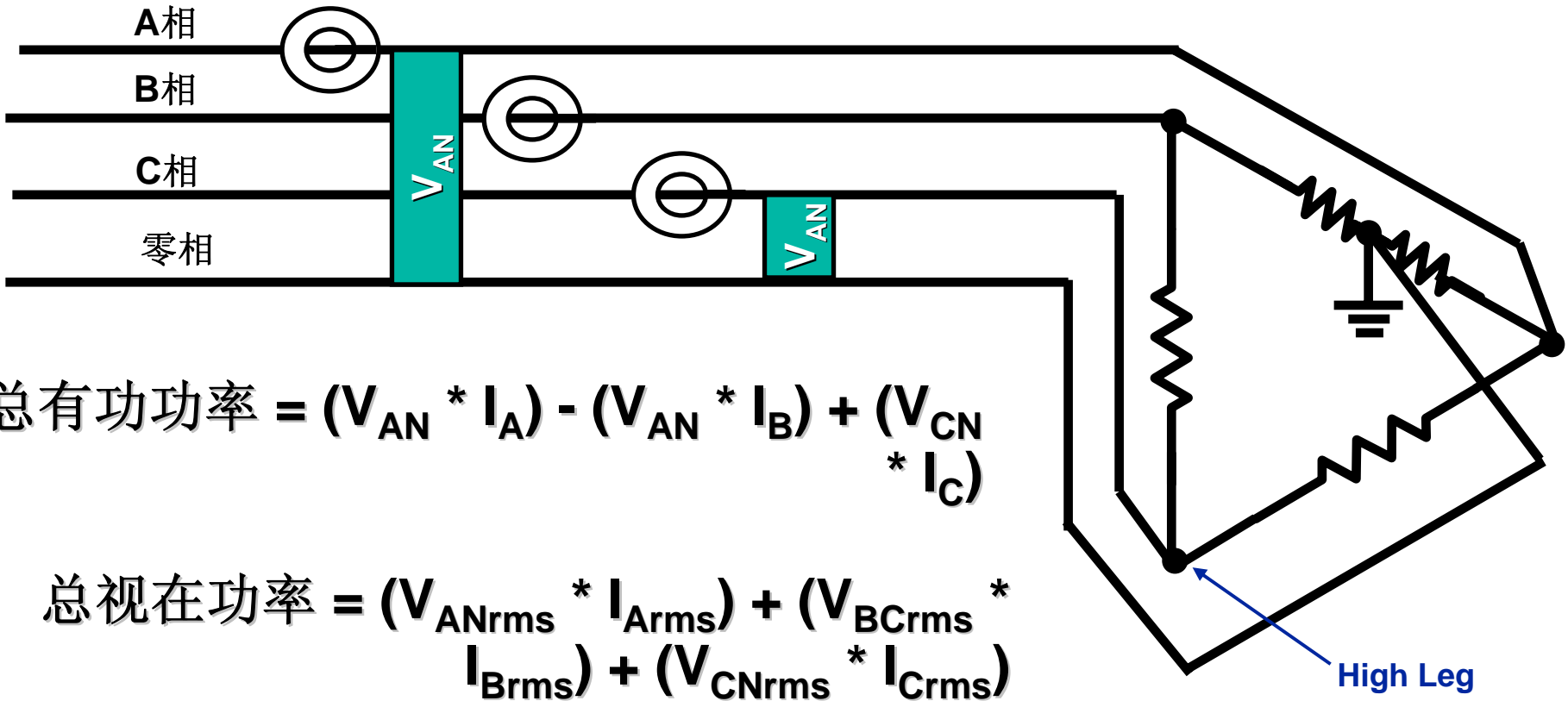
$$\text{总有功功率} = (V_{AN} * (I_A - I_B)) + (V_{CN} * (I_C - I_B))$$

$$\text{总视在功率} = (V_{ANrms} * I_{Arms}) + (V_{ANrms} + V_{CNrms})/2 * I_{Brms} + (V_{CNrms} * I_{Crms})$$

# 三相四线三角形接法

## 中心抽头A-B

### ● 5个测量量



$$\text{总有功功率} = (V_{AN} * I_A) - (V_{AN} * I_B) + (V_{CN} * I_C)$$

$$\text{总视在功率} = (V_{ANrms} * I_{Arms}) + (V_{BCrms} * I_{Brms}) + (V_{CNrms} * I_{Crms})$$

# IEC规范的其他要求

## ● 潜动

- 在规定的最小测试时间 $d_T$ 内表计发出的脉冲不应该多于一个
- 目的：电表在某一个阈值下不应连续计量能量，例如，不能累积一个长时间的非常小的信号。

## ● 启动电流

- 在 $0.1\% I_n$ 和功率因数为1的条件下电表应启动并连续计量

- 如果表设计为双向都计量，那么在每个电能方向都要测试



# 空载阈值潜动试验

- 例如，对1级，220V，5(60) A，脉冲常数为3200的表， $\Delta t$ 为14分钟，即1.2 mHz
- 根据MCP390X数据手册规范，输出频率最小为0.0015%  $F_{OUT}$ 
  - MCP390X有一个40比特的内部计数器，可以将低于由F2、F1和F0所设定的频率的输出屏蔽

来自IEC规范

$$\Delta t \geq \frac{600 \times 10^6}{k m U_n I_{max}} \text{ [min] for meters of class 1}$$

$$\Delta t \geq \frac{480 \times 10^6}{k m U I} \text{ [min] for meters of class 2}$$

$k$  is the number of pulses emitted by the output device of the meter per kilowatthour (imp/kW·h);

$m$  is the number of measuring elements;

$U_n$  is the reference voltage in volts;

$I_{max}$  is the maximum current in amperes.

# IEC 62053在含有谐波时的精度要求 (-21, -22, -23)

## ● IEC测试条件

- 基波电流:  $I_1 = 0.5 I_{max}$
- 基波电压:  $U_1 = U_n$
- 基波功率因数: 1
- 5次电压谐波含量:  $U_5 = 10\%$  基波电压
- 5次电流谐波含量:  $I_5 = 40\%$  基波电流
- 谐波功率因数: 1
- 谐波与基波同相位

5次谐波所产生的谐波功率为  $P_5 = 0,1 U_1 \times 0,4 I_1 = 0,04 P_1$ ,  
即总有功功率 =  $1,04 P_1$  (基波和谐波)

# 什么样的测试？

- 电压电流谐波基本测试
  - $PF = 1$
  - 5次电压谐波含量10%
  - 5次电流谐波含量40%
- 交流线路中的直流成分和偶次谐波（不适用于接互感器的电表）
  - 半波整流电路
  - 只在IEC62053-21 -23中有要求
- 交流线路中的奇次谐波和次谐波

# 商标

**Microchip的名称和徽标组合、Microchip徽标、Accuron、dsPIC、KeeLoq、KeeLoq徽标、microID、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、PRO MATE、rfPIC和SmartShunt均为Microchip Technology Incorporated在美国和其他国家或地区的注册商标。**

**AmpLab、FilterLab、Linear Active Thermistor、Migratable Memory、MXDEV、MXLAB、SEEVAL、SmartSensor和The Embedded Control Solutions Company均为Microchip Technology Incorporated在美国的注册商标。**

**Analog-for-the-Digital Age、Application Maestro、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、dsPICworks、dsSPEAK、ECAN、ECONOMONITOR、FanSense、FlexROM、fuzzyLAB、In-Circuit Serial Programming、ICSP、ICEPIC、Mindi、MiWi、MPASM、MPLAB Certified徽标、MPLIB、MPLINK、PICKit、PICDEM、PICDEM.net、PICLAB、PICtail、PowerCal、PowerInfo、PowerMate、PowerTool、REAL ICE、rfLAB、Select Mode、Smart Serial、SmartTel、Total Endurance、UNI/O、WiperLock和ZENA均为Microchip Technology Incorporated在美国和其他国家或地区的商标。**

**SQTP是Microchip Technology Incorporated在美国的服务标记。**

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。