



CHINA MASTERS

第十二届中国技术精英年会

C12L14 PS6

基于dsPIC[®] DSC的数字电源转换：
并网太阳能微型逆变器



中国技术精英年会

课程目标

当您完成此课程后，您将了解：

- 光伏电池和PV电池板的工作特性
- 太阳能逆变器/微型逆变器设计中使用的不同方案
- 数控太阳能微型逆变器设计的实现细节



中国技术精英年会

课程安排

- 背景知识
- 太阳能电池和电池板的特性
- 太阳能逆变器系统简介
- **Microchip**太阳能微型逆变器简介
- **dsPIC33FJ “GS”** 系列单片机
- 太阳能微型逆变器的数字实现
- 演示
- 总结



中国技术精英年会

为什么选择太阳能？

- PV系统可产生清洁、可再生电力，取代了煤炭、石油和核能产生的能量
- 硅是地球上第二大丰富的元素
- 减少/无需电费



中国技术精英年会

太阳能产业的近期发展

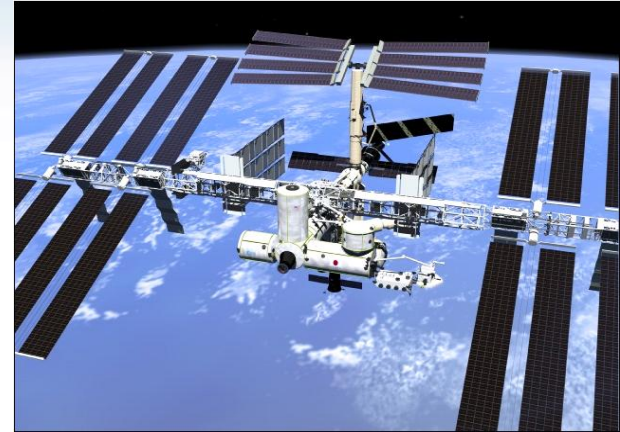
- 太阳能电池板的成本不断下降
- 太阳能电池的效率不断上升
- PV技术被证实是稳定可靠的
- PV电池板的使用寿命长达30年



中国技术精英年会

太阳能应用

- 小规模
 - 手表和计算器
 - 个人电子设备
- 中等规模
 - 照明和电池充电器
 - 汽车
- 大规模 (KW)
 - 商务楼和住宅
 - 航空飞船
- 超大规模 (MW-GW)





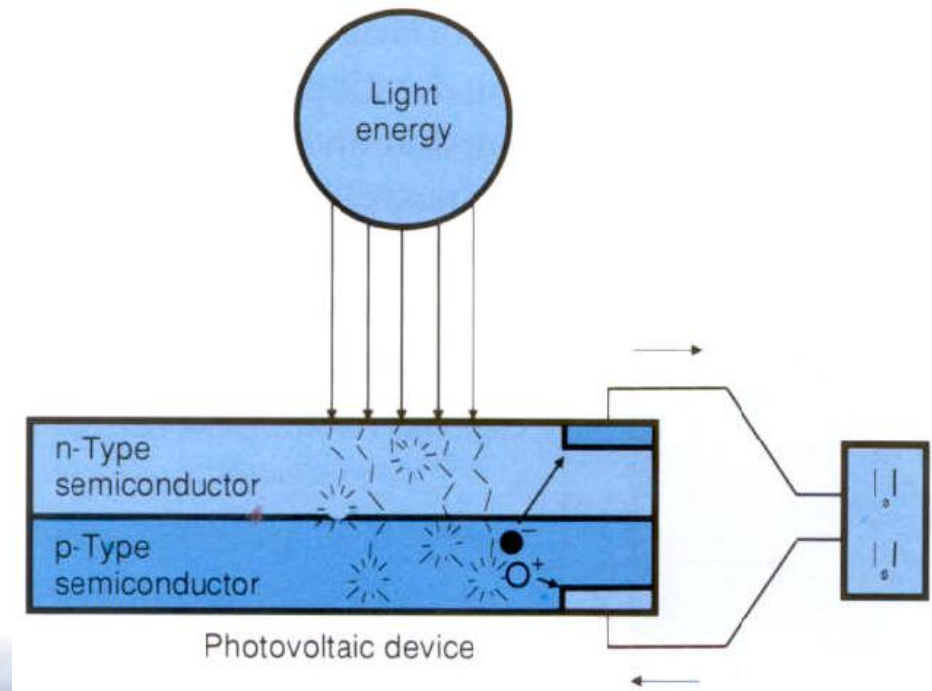
中国技术精英年会

课程安排

- 背景知识
- 太阳能电池和电池板的特性
- 太阳能逆变器系统简介
- Microchip太阳能微型逆变器简介
- dsPIC33FJ “GS” 系列单片机
- 太阳能微型逆变器的数字实现
- 演示
- 总结

光伏效应

- 光伏效应是指光到电的直接转换
- 光子的能量传输到电子上，从而使电子可自由运动并在电路中形成电流

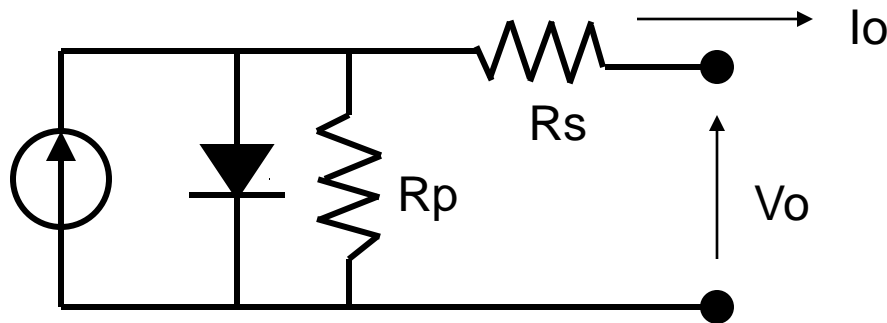




中国技术精英年会

太阳能电池特性

- 太阳能电池是电流源，不是电压源
- 电流的大小取决于太阳的照度
- R_s 和 R_p 为寄生电阻，理论上一个为零，另一个为无穷大



$$V_o \sim 0.5V$$
$$I_o \sim 1 - 3A$$

太阳能电池的简化电路模型



中国技术精英年会

太阳能电池特性（续）

- 太阳能电池串联将增加输出电压。例如，单节电池的输出电压约为0.5V，一个模块中有36节电池，那么总输出电压约为18Vdc。36节电池一般用于电池充电应用。
- 输出电流受到电池的最低驱动电流限制
- 太阳能电池并联将增加总输出电流



中国技术精英年会

电池遮蔽

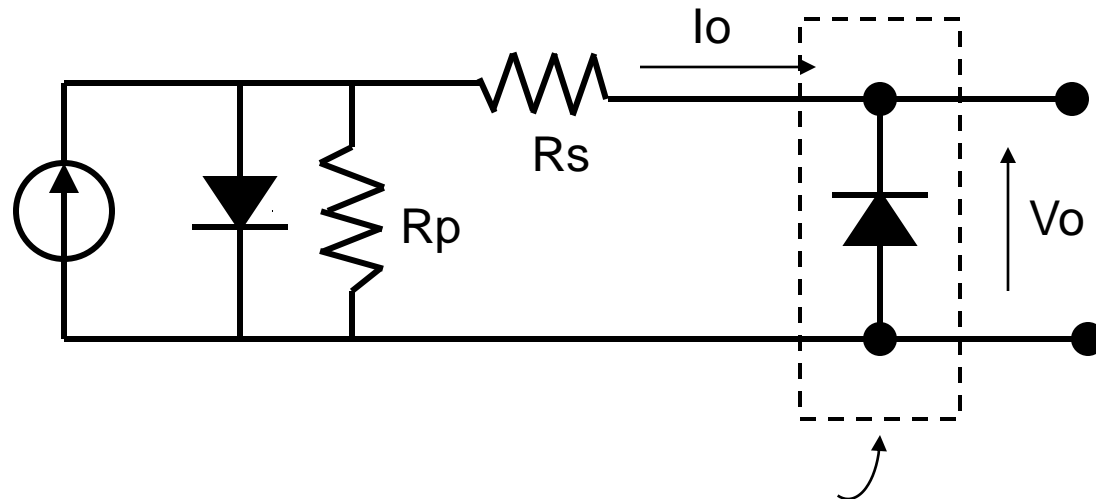
- 当电池受遮蔽时会发生什么？
 - PV电池板对遮蔽十分敏感
 - 单节电池被部分遮蔽将降低所有电池（串联）的功率
 - 受遮蔽电池输出的减少量与受遮蔽的数量成正比
 - 由正常的太阳能电池所产生的全部功率将作用在被完全遮蔽的电池上，从而可能引起受遮蔽电池发生损坏——热斑



中国技术精英年会

太阳能电池——旁路二极管

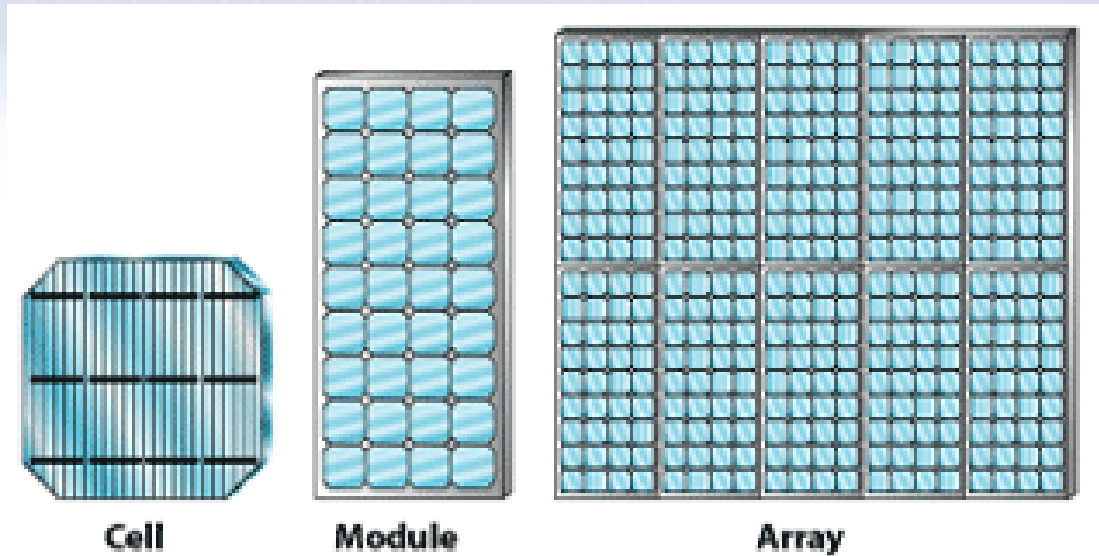
通过增加一个旁路二极管来限制压降，可以保护处于遮蔽状态下的太阳能电池，并且可以最大限度地降低相关的功率损耗。



太阳能电池外部连接的旁路二极管

一般，每15-20个太阳能电池提供一个旁路二极管，用以防止电池在受遮蔽时发生损坏。

太阳能PV（模块化）



电池——构建PV系统的区块，典型值为1~3W

模块——多个电池连接在一起（通常为串联）以增加输出电压

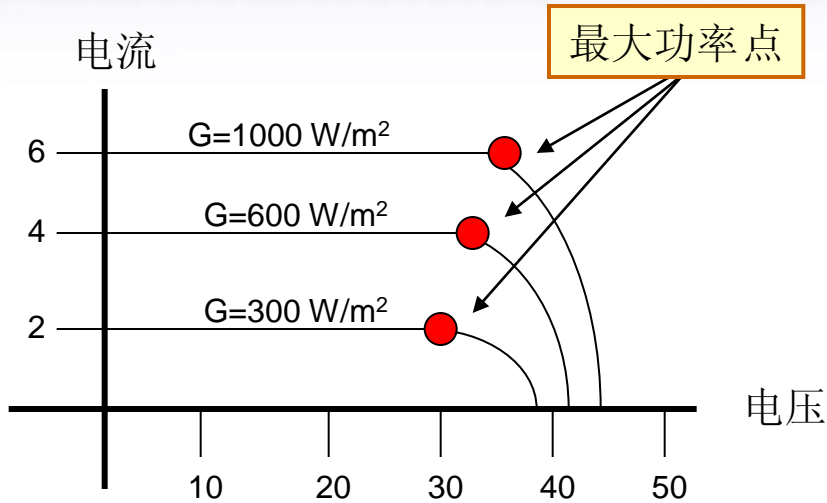
阵列——多个模块相连以增加总输出功率（例如300-900Vdc和5-20A dc）



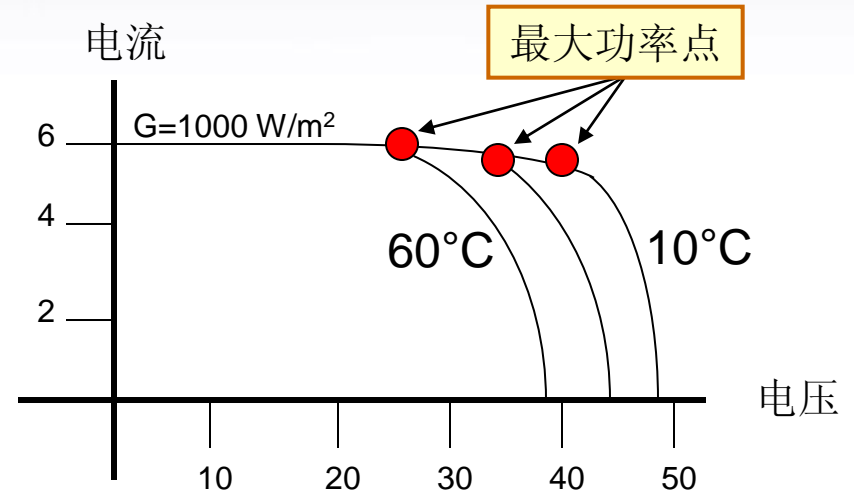
中国技术精英年会

太阳能电池板的工作特性

太阳能电池板的输出因光照和温度而改变



I-V与照度曲线 (36节电池串列)



I-V与温度曲线 (36节电池串列)

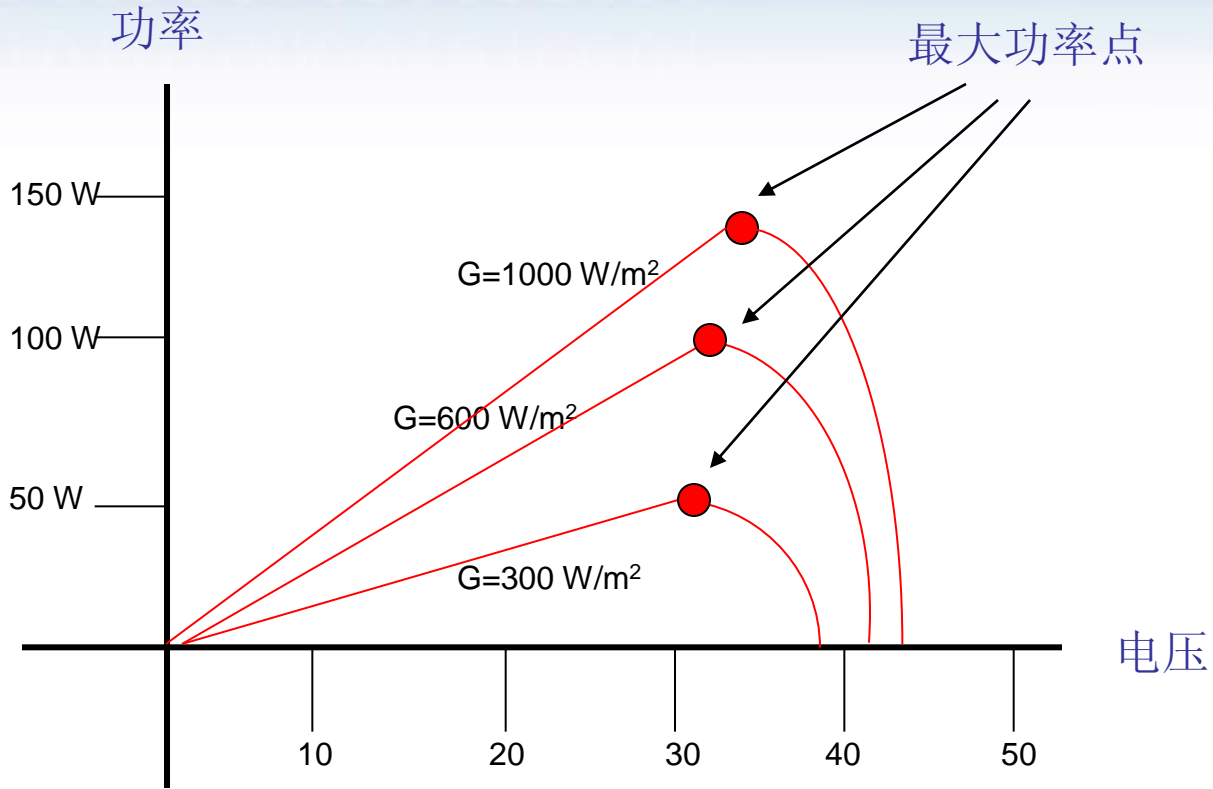
最大功率点跟踪算法 (MPPT)

- 一种闭环算法，连续地调节输出功率使得太阳能电池板工作在最大功率 (从输入端测得)



中国技术精英年会

太阳能电池板工作的功率曲线



P-V与照度曲线
(36节电池串列)



中国技术精英年会

课程安排

- 背景知识
- 太阳能电池和电池板的特性
- 太阳能逆变器系统简介
- Microchip太阳能微型逆变器简介
- dsPIC33FJ “GS” 系列单片机
- 太阳能微型逆变器的数字实现
- 演示
- 总结



中国技术精英年会

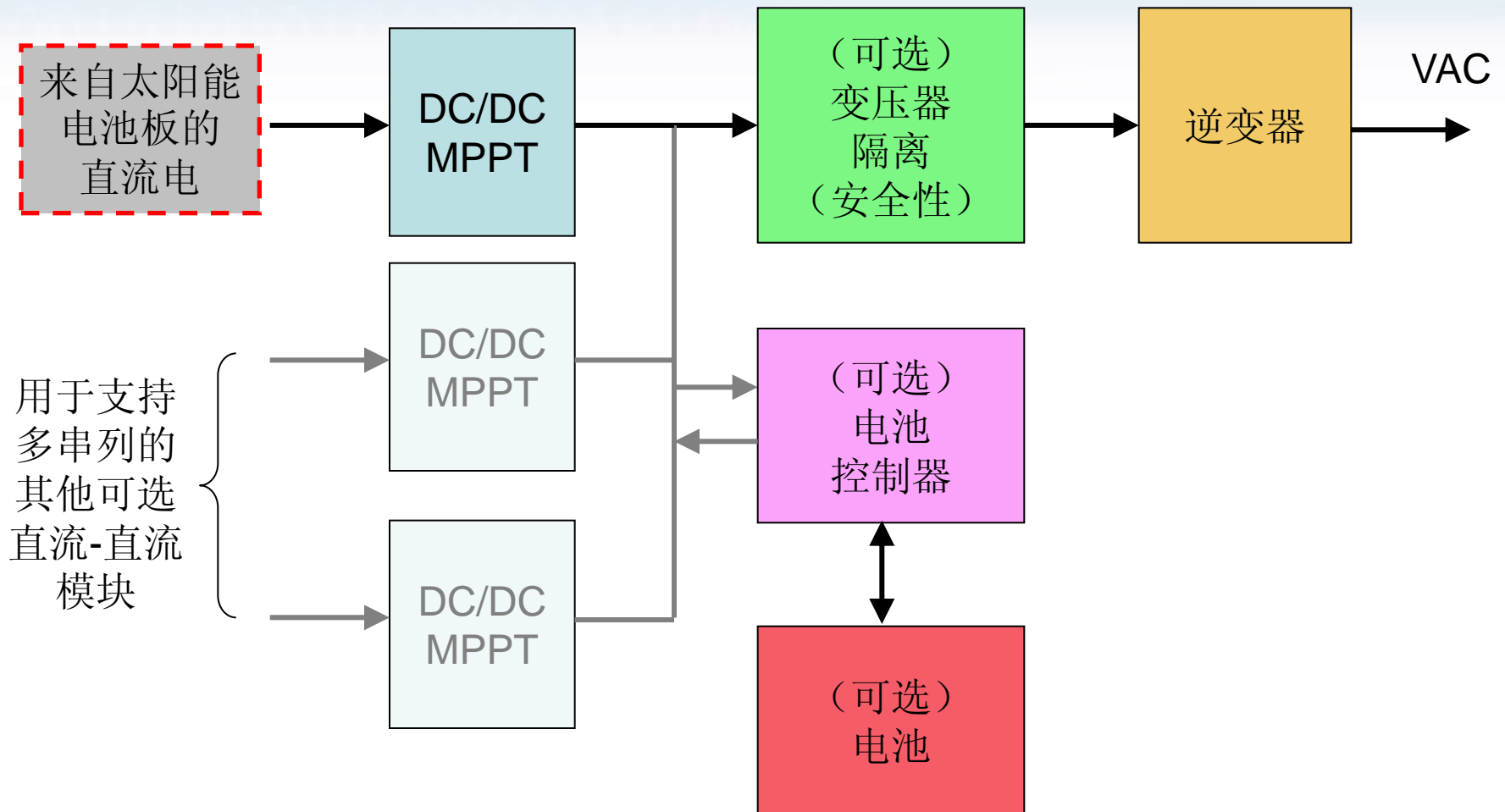
常见太阳能转换器要求

- **MPPT**——需要最大功率点跟踪算法，以优化太阳能电池板的能量利用
- **系统效率：93% - 95%**（越高越好）
- **宽直流输入电压范围**
- **安全性**——故障检测和防止孤岛运行
- **通信功能**
- **交流品质（THD<5%）** ——符合**IEEE 519**标准



中国技术精英年会

高级太阳能逆变器系统框图

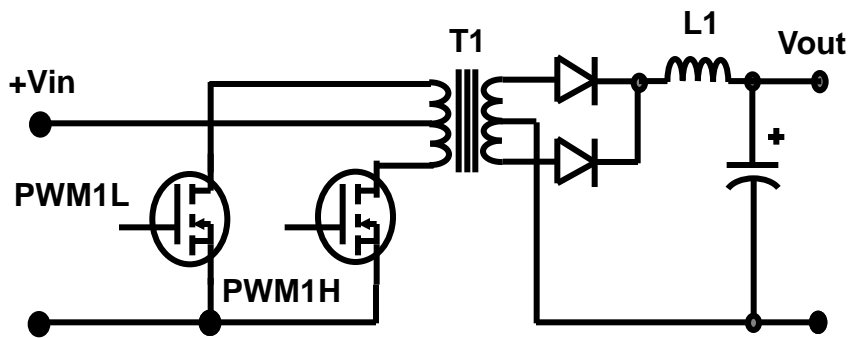




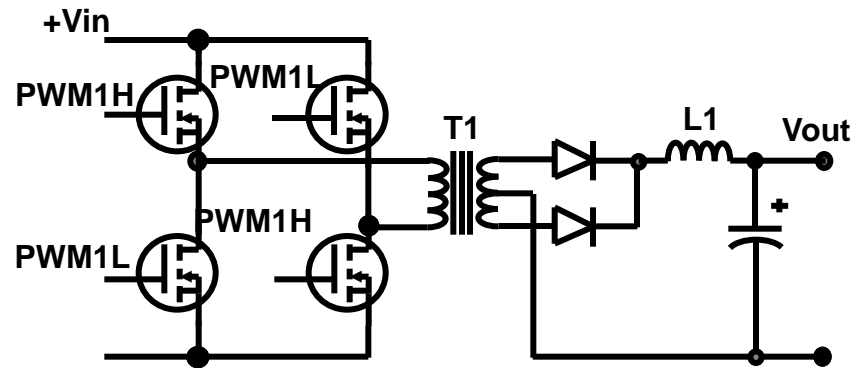
中国技术精英年会

直流-直流升压架构

- 目标：
 - 将PV电池板的低电压转换到高电压直流总线
 - 提供最大功率点（**Maximum Power Point**）的参考电流
- 常用的拓扑结构：
 - 推挽
 - 全桥



推挽转换器



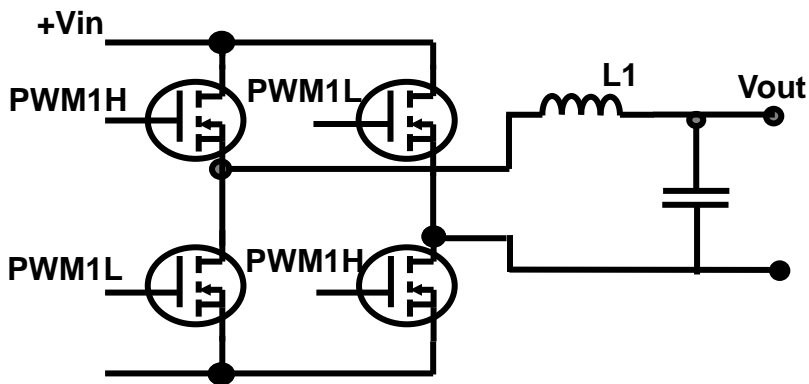
全桥转换器



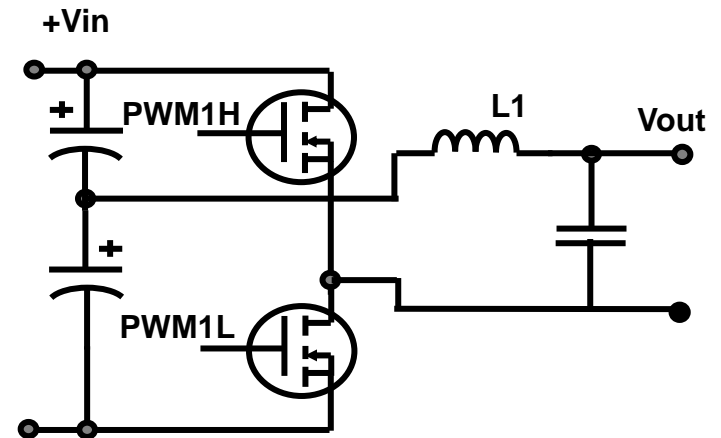
中国技术精英年会

直流-交流逆变器

- 目标：
 - 向电网输送正弦交流电
 - 将逆变器输出电压与电网电压同步
- 常用的拓扑结构：
 - 全桥
 - 半桥



全桥逆变器



半桥逆变器



中国技术精英年会

太阳能逆变器发展趋势

1. 从集中式逆变器向分布式逆变器转变，以优化能量采集。
2. 将转换器集成到太阳能电池板模块中，以降低安装成本。
3. 降低逆变器温度以提高系统可靠性（从5年提升至20年）。
4. 软开关取代硬开关以提高效率并降低热耗散。
5. 并网逆变器使许多应用可以省去电池。电池非常昂贵，需要维护，而且寿命短。
6. 微型逆变器的功率较低（几百瓦），这有助于降低内部温度和提高可靠性。



中国技术精英年会

课程安排

- 背景知识
- 太阳能电池和电池板的特性
- 太阳能逆变器系统简介
- **Microchip**太阳能微型逆变器简介
- dsPIC33FJ “GS” 系列单片机
- 太阳能微型逆变器的数字实现
- 演示
- 总结



中国技术精英年会

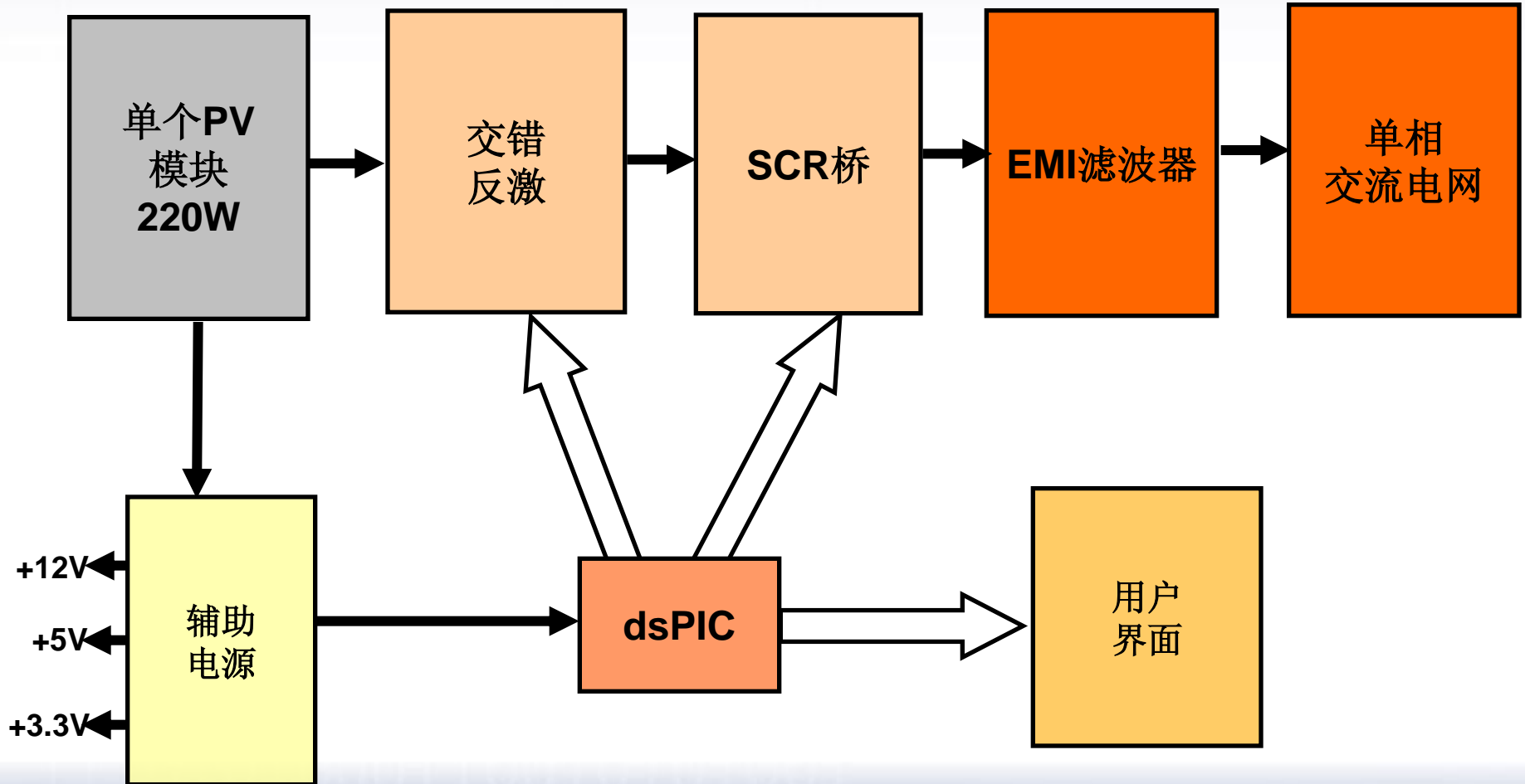
Microchip并网 太阳能微型逆变器技术规范

- PV输入功率：220W（最大值）
- 最大输出功率：185W
- 开环PV电压：55Vdc（最大值）
- 最大功率点跟踪：99%
- MPPT电压：25Vdc – 45Vdc
- 交流输出电压范围
 - 180Vac – 264Vac（47Hz – 53Hz）
 - 90Vac – 140Vac（57Hz – 63Hz）
- 输出ITHD：< 5%
- 输出功率因数：> 0.95
- 目标峰值效率：> 94%（220V单位）

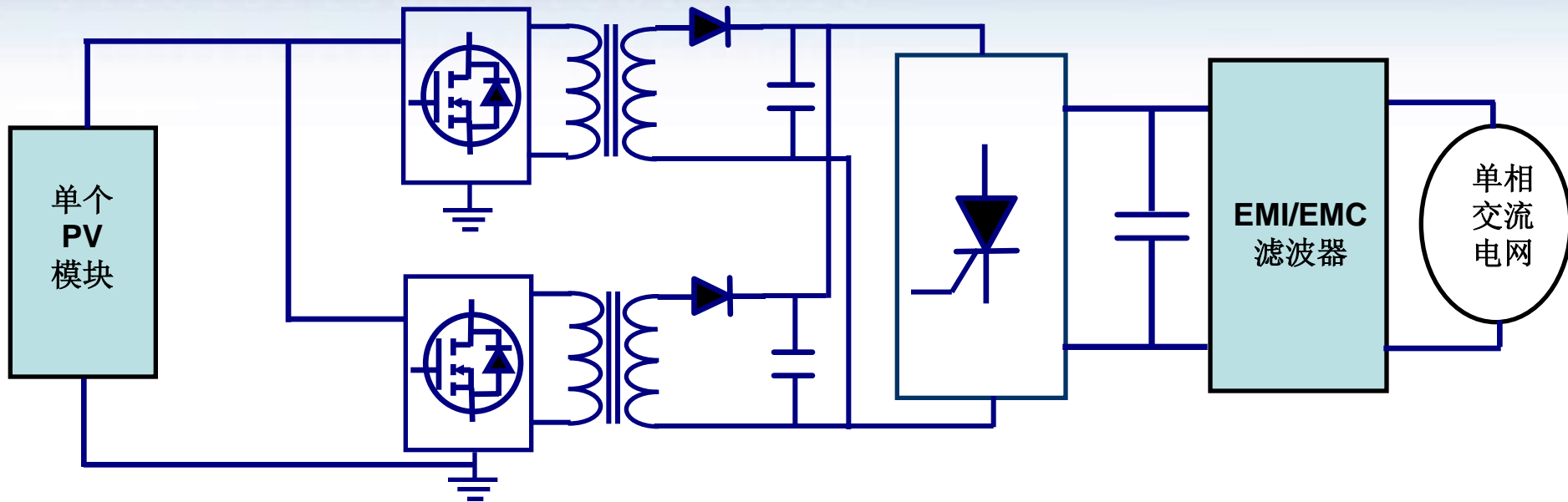


中国技术精英年会

微型逆变器框图

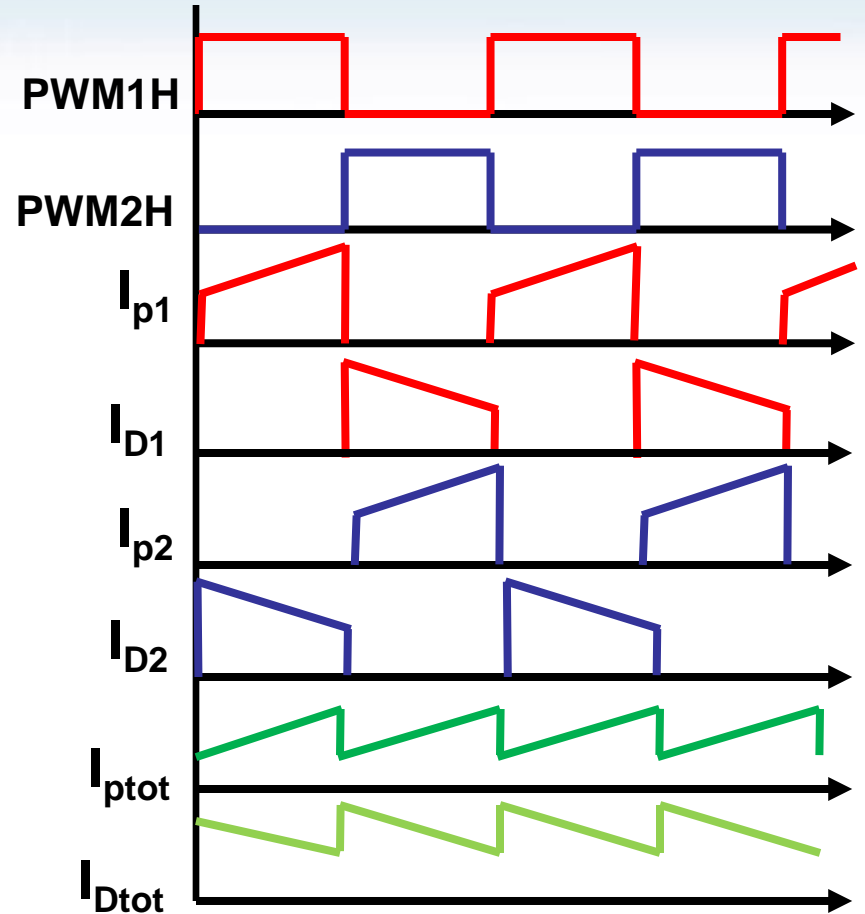
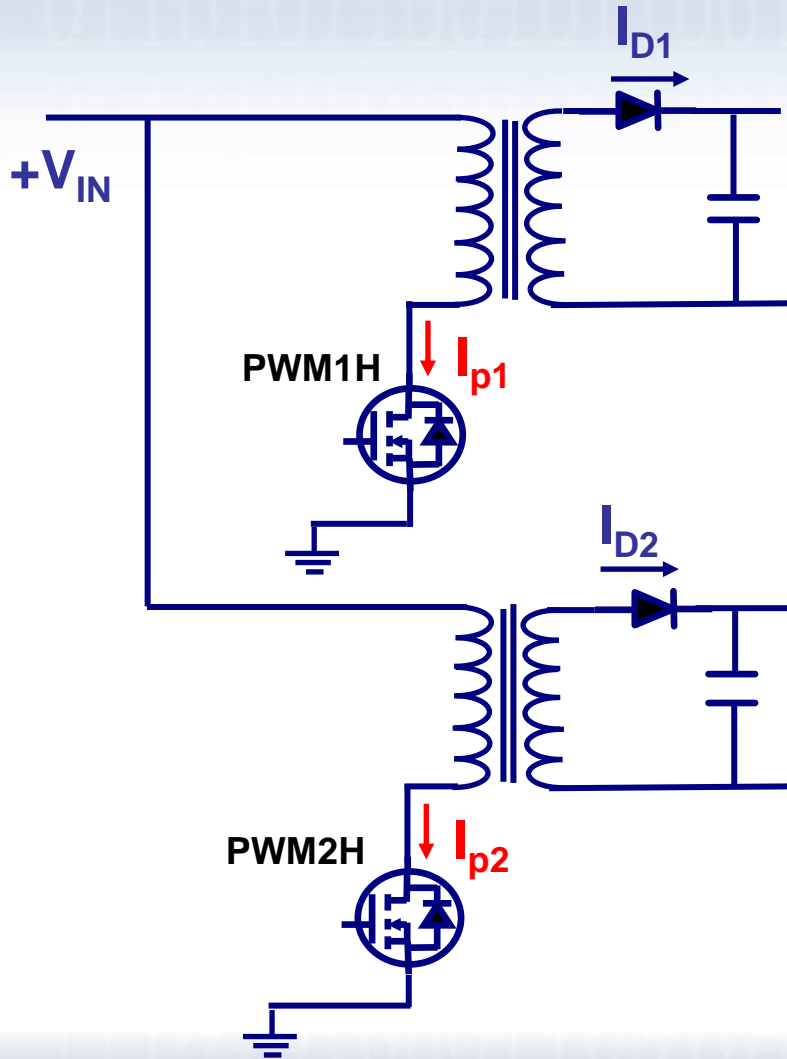


微型逆变器原理图



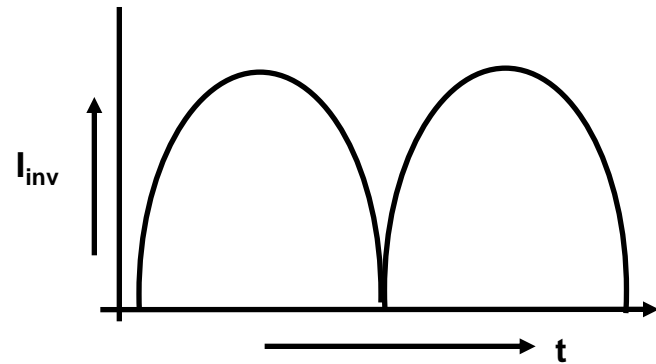
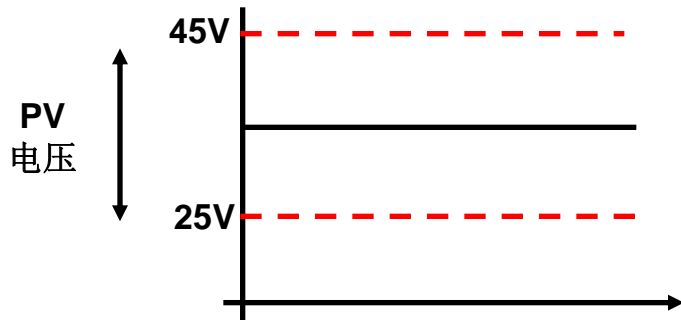
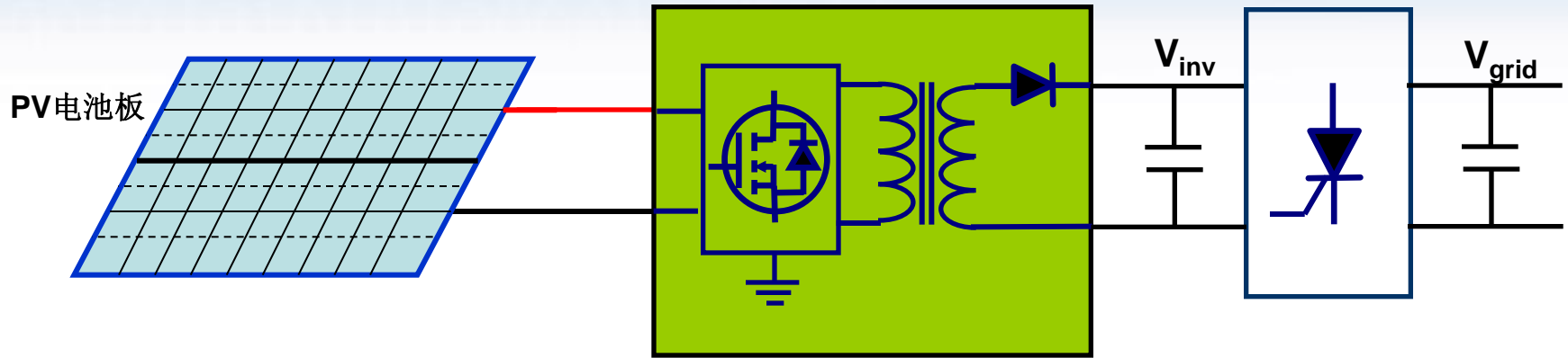
- 单极升压MPPT + 逆变器拓扑
- 用于交错反激的正弦调制驱动技术
- SCR桥使由反激产生的整流正弦波变换方向
- 交错反激开关频率 = 114 kHz
- 控制环频率 = 57 kHz

微型逆变器工作原理

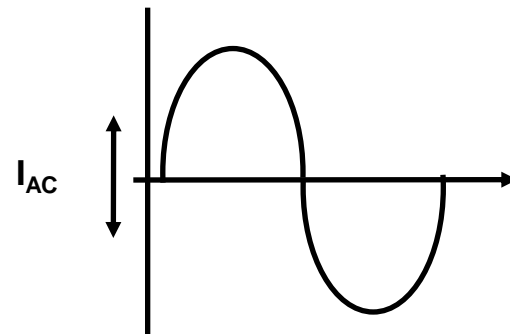
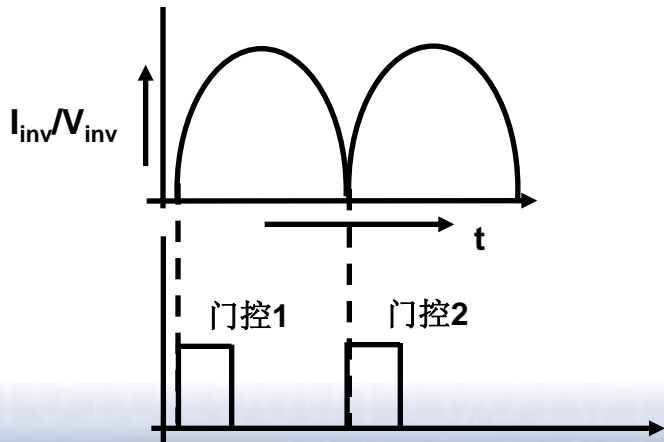
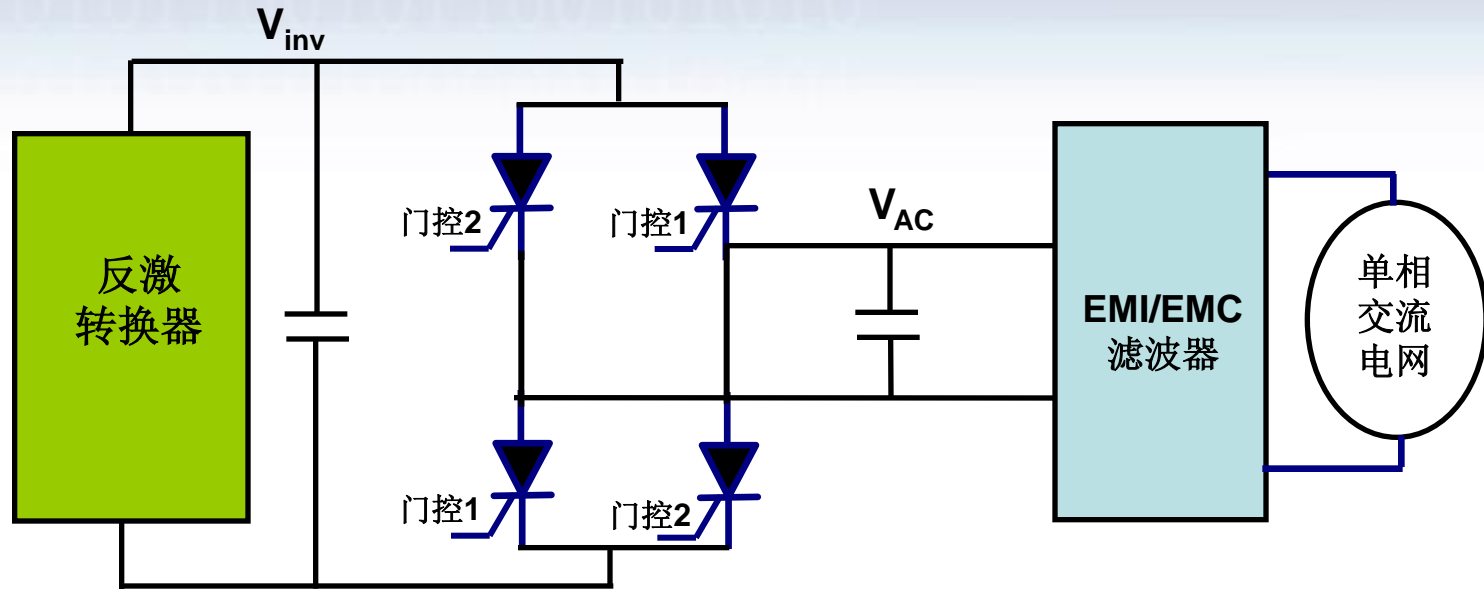


微型逆变器工作原理

反激转换器



微型逆变器工作原理





中国技术精英年会

交错反激方法

- 交错反激共用输入和输出电流，这可以降低铜损耗和铁芯损耗
- 降低整流二极管导通损耗
- 交错反激降低输出电流纹波，从而降低ITHD
- 交错反激降低输入电流纹波，从而延长电容使用寿命



中国技术精英年会

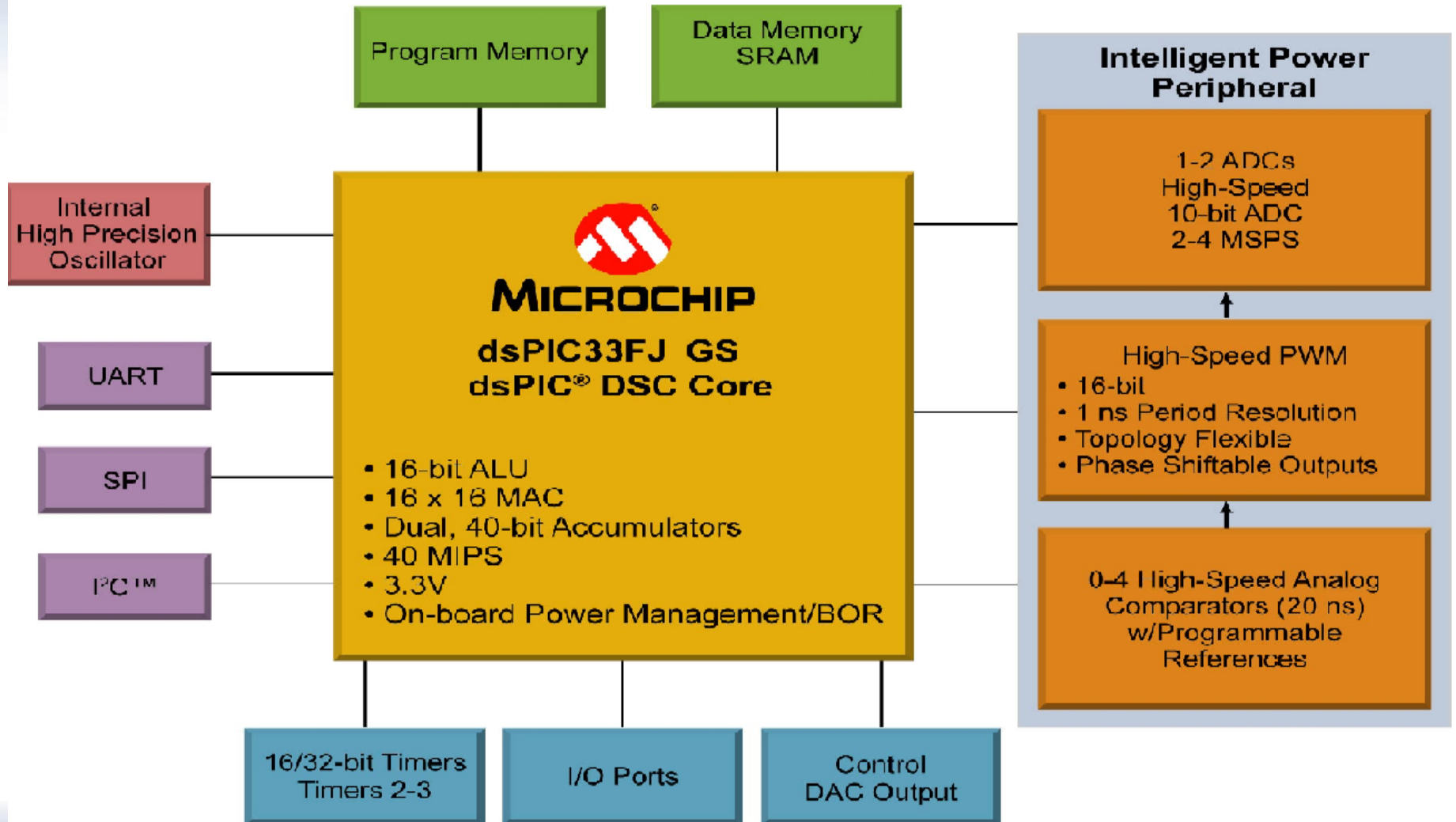
课程安排

- 背景知识
- 太阳能电池和电池板的特性
- 太阳能逆变器系统简介
- Microchip太阳能微型逆变器简介
- **dsPIC33FJ “GS” 系列单片机**
- 太阳能微型逆变器的数字实现
- 演示
- 总结



中国技术精英年会

用于数字电源的dsPIC® DSC

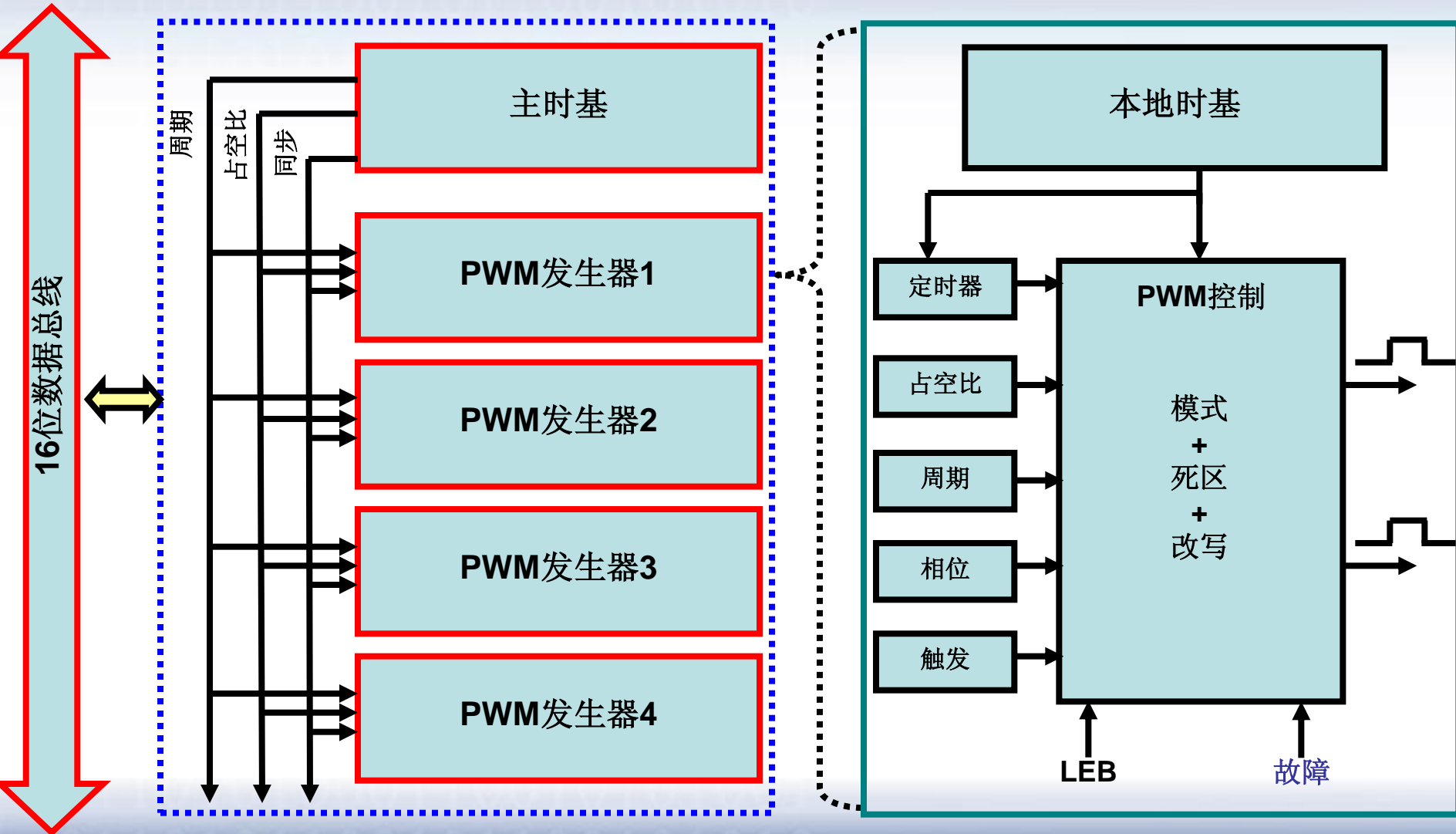




中国技术精英年会

Microchip SMPS dsPIC® DSC

高速PWM





中国技术精英年会

Microchip SMPS dsPIC® DSC

高速PWM特性

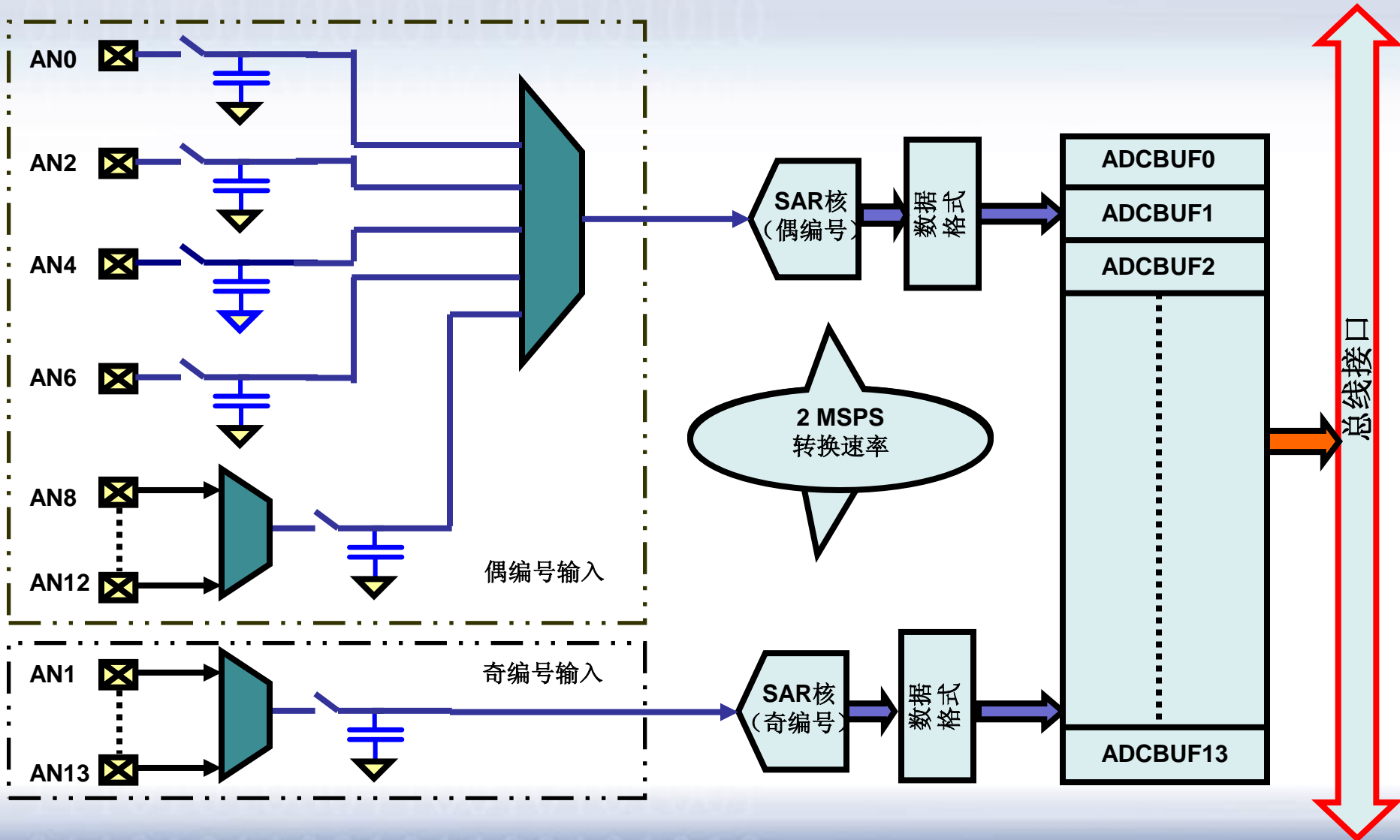
- 占空比、相位、周期和死区的分辨率为1.04 ns
- 支持所有主要的SMPS拓扑
- 丰富的故障处理
- 前沿消隐（LEB）
- PWM改写
- 外部同步
- 可配置PWM模式（逐周期和电流复位等）
- PWM捕捉（有助于计算当前波形斜率）
- PWM输出交换功能



中国技术精英年会

Microchip SMPS dsPIC® DSC

高速ADC





中国技术精英年会

Microchip SMPS dsPIC® DSC

高速ADC

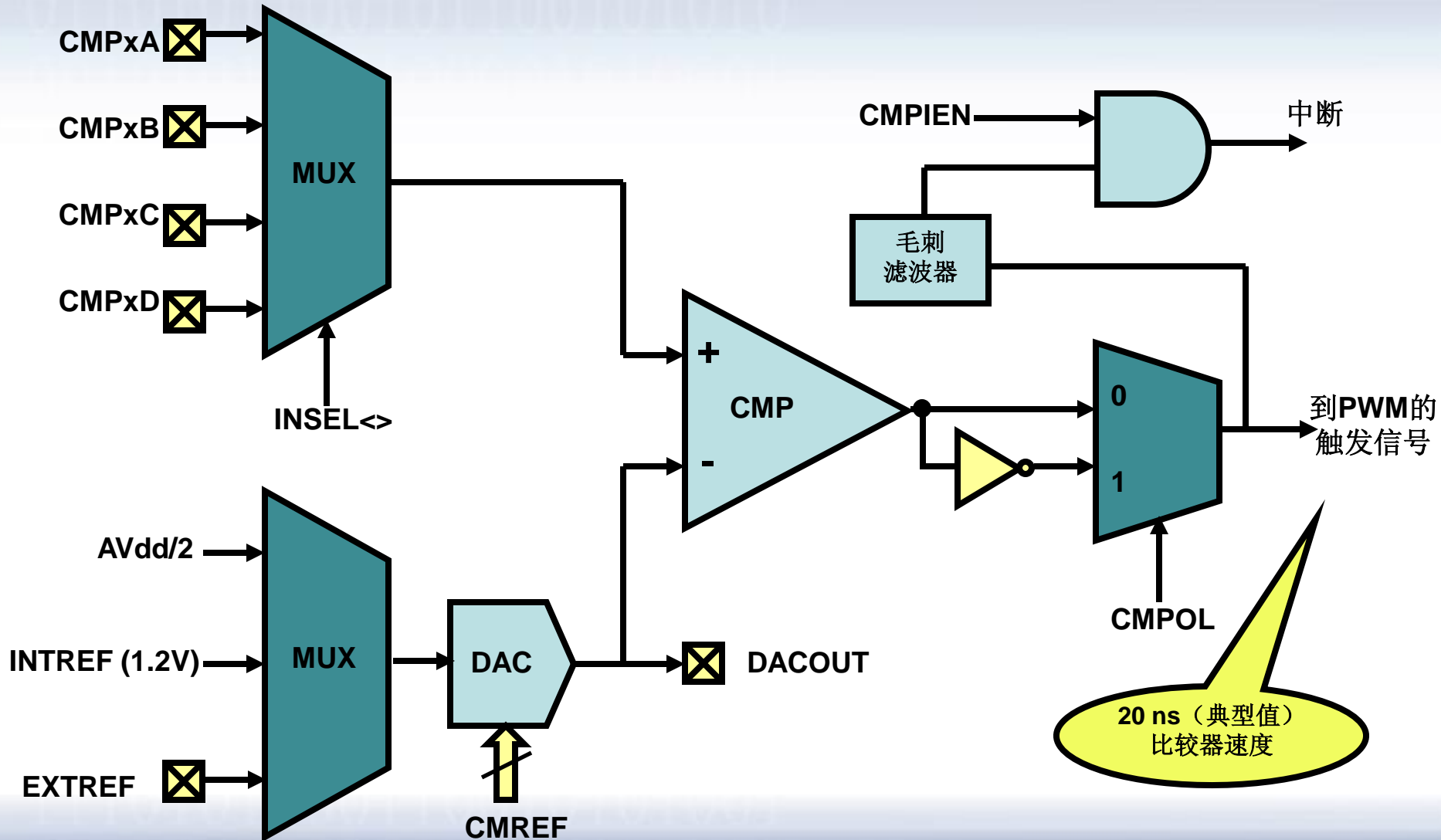
- 2-4 MSPS采样+转换速率
- 每个模拟输入对都具有独立的触发源选择
- 每个模拟输入对都具有专用中断服务请求
- 多个触发源
- 每个模拟输入都具有专用的结果寄存器
- 监视内部和外部比较器参考电压
- 每个模拟输入对可独立启动转换



中国技术精英年会

Microchip SMPS dsPIC® DSC

高速模拟比较器





中国技术精英年会

Microchip SMPS dsPIC® DSC

高速模拟比较器

- 由于不需要CPU干预，可免去软件开销
- 高速工作，典型延时为20 ns
- 可编程输出极性
- 多个参考电压
- 中断产生功能
- 对高速PWM提供功能支持
- 每个模拟比较器都具有专用的10位DAC
- 可以监视DAC输出



中国技术精英年会

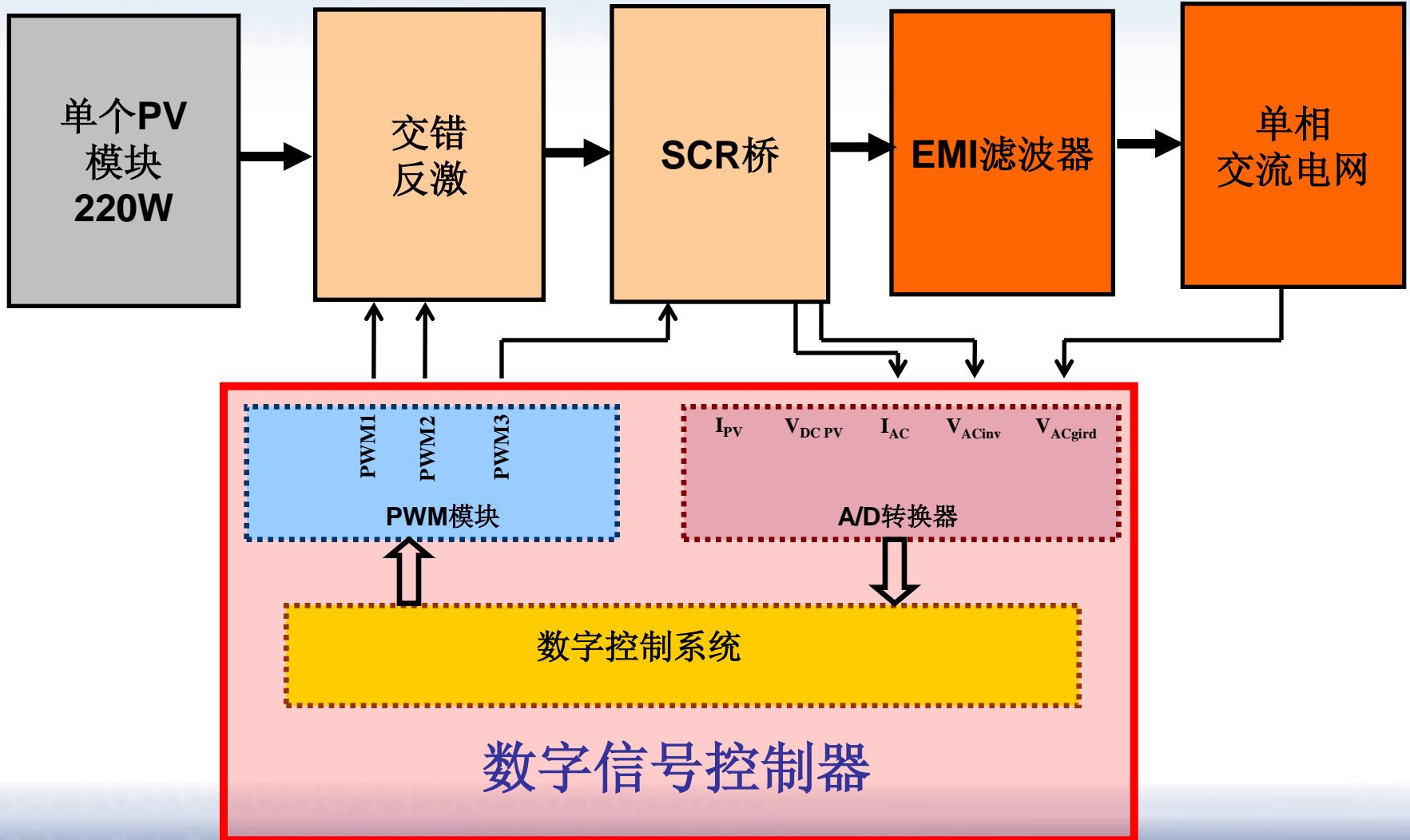
课程安排

- 背景知识
- 太阳能电池和电池板的特性
- 太阳能逆变器系统简介
- **Microchip**太阳能微型逆变器简介
- **dsPIC33FJ “GS”** 系列单片机
- **太阳能微型逆变器的数字实现**
- 演示
- 总结



中国技术精英年会

太阳能微型逆变器





中国技术精英年会

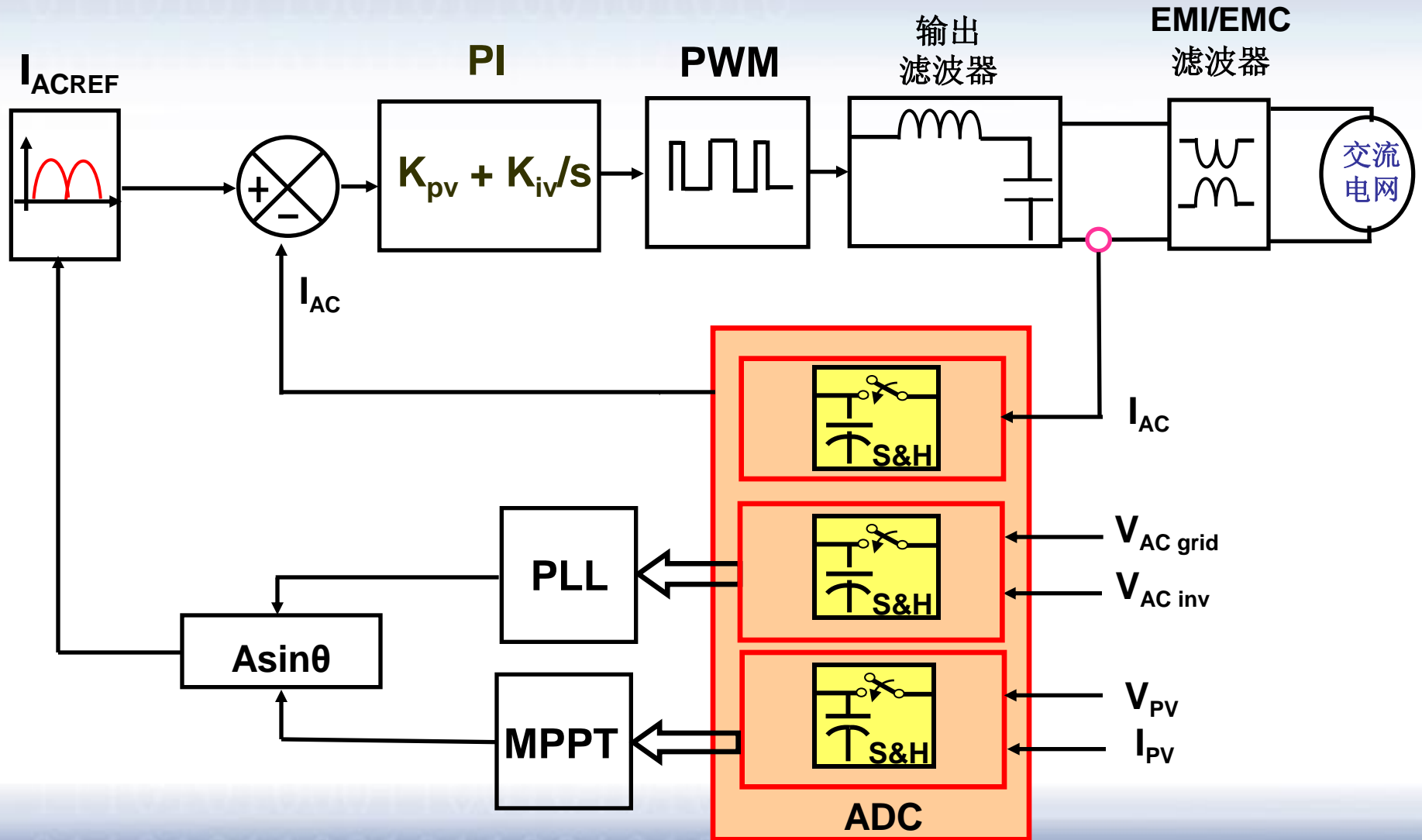
控制环

- 计算PWM MOSFET需要的占空比
 - PI补偿器
- 测量PV功率并计算逆变器输出参考电流，以实现MPPT
- 计算均流的 Δ 占空比周期
 - PI补偿器



中国技术精英年会

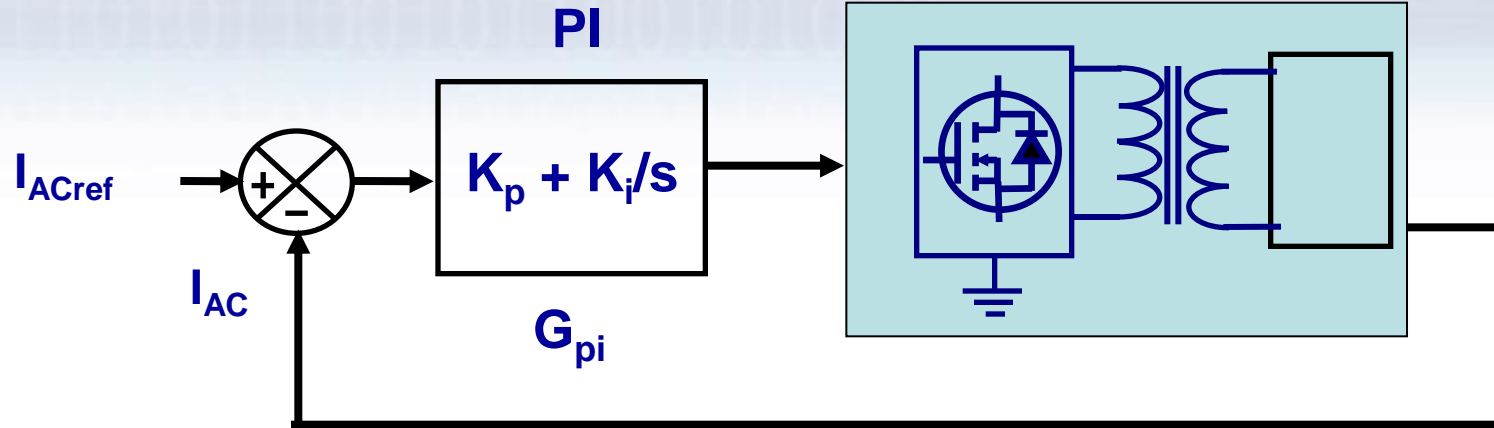
控制环——框图





中国技术精英年会

控制环——建模



$$\frac{I_{ACref}}{I_{AC}} = \frac{(sK_p + K_i)}{s^2L + s(K_p + R_p) + K_i}$$

特征方程



中国技术精英年会

控制环——建模

特征方程: $s^2L + s(K_p + R_p) + K_i$

- 特征方程决定系统性能
- 特征方程是二次方程
- 两个未知量（增益） K_p 和 K_i
- 两次方程将有两个根
- 通过求解两个联立方程来确定增益
- $-2pf1$ 和 $-2pf2$ 是特征方程的根， $f1$ 和 $f2$ 是其带宽
- 带宽由一个大于4的因数分隔， $f1 > f2$



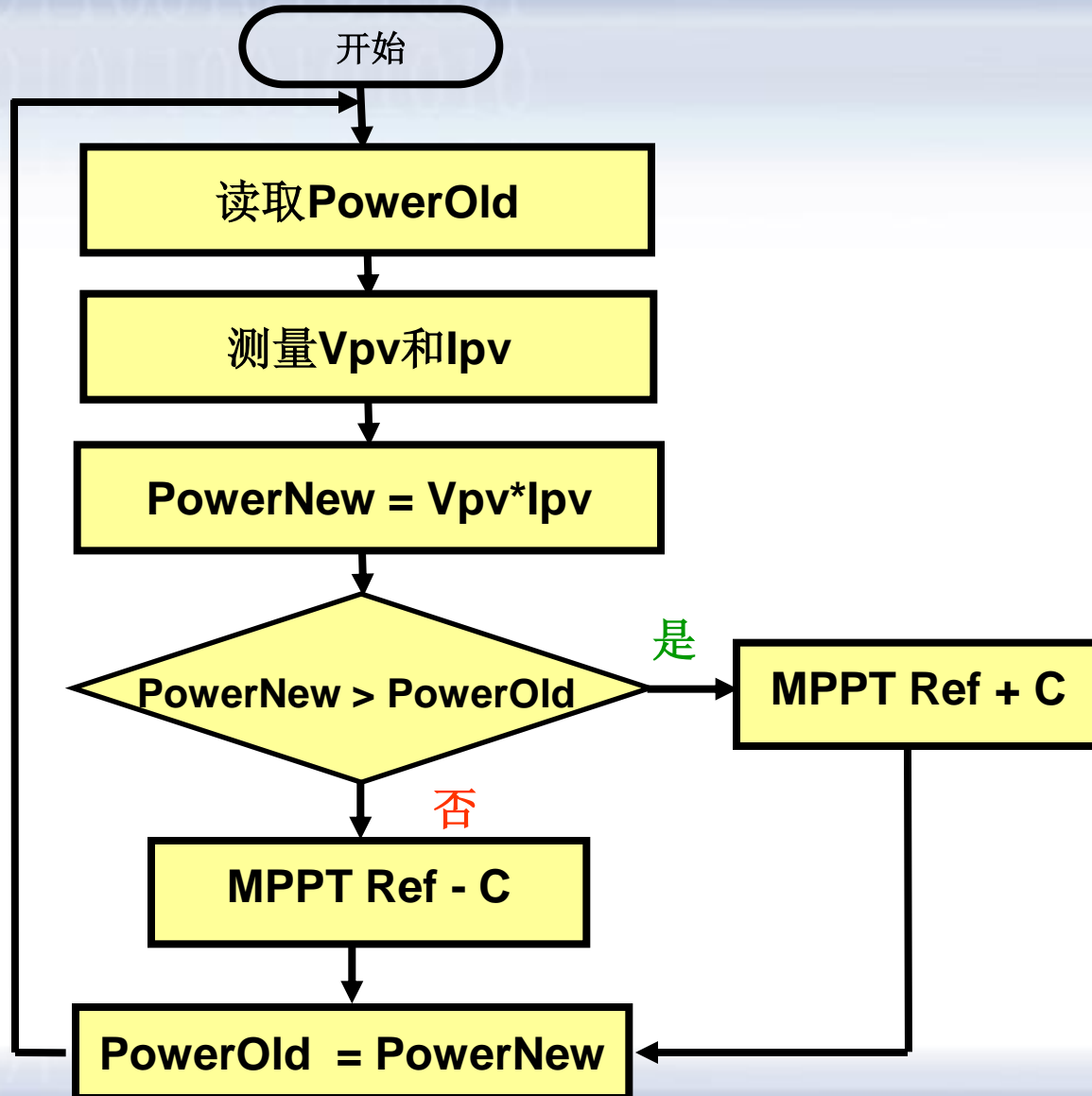
中国技术精英年会

最大功率点跟踪



中国技术精英年会

控制环——MPPT

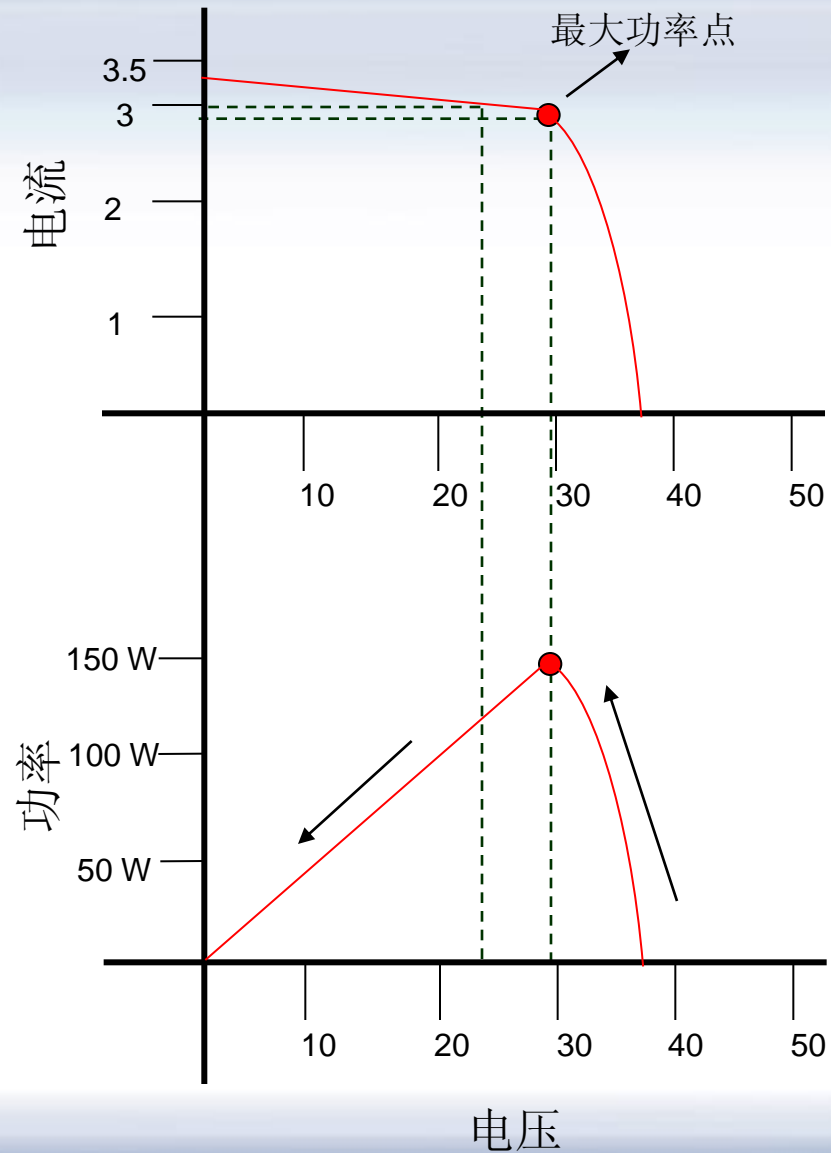




中国技术精英年会

控制环——MPPT

- 连续监视PowerNew，并通过不断修改 I_{ACref} 来跟踪MPP点
- 在MPP点左侧的微小电流变化量将导致较大的PV电压变化

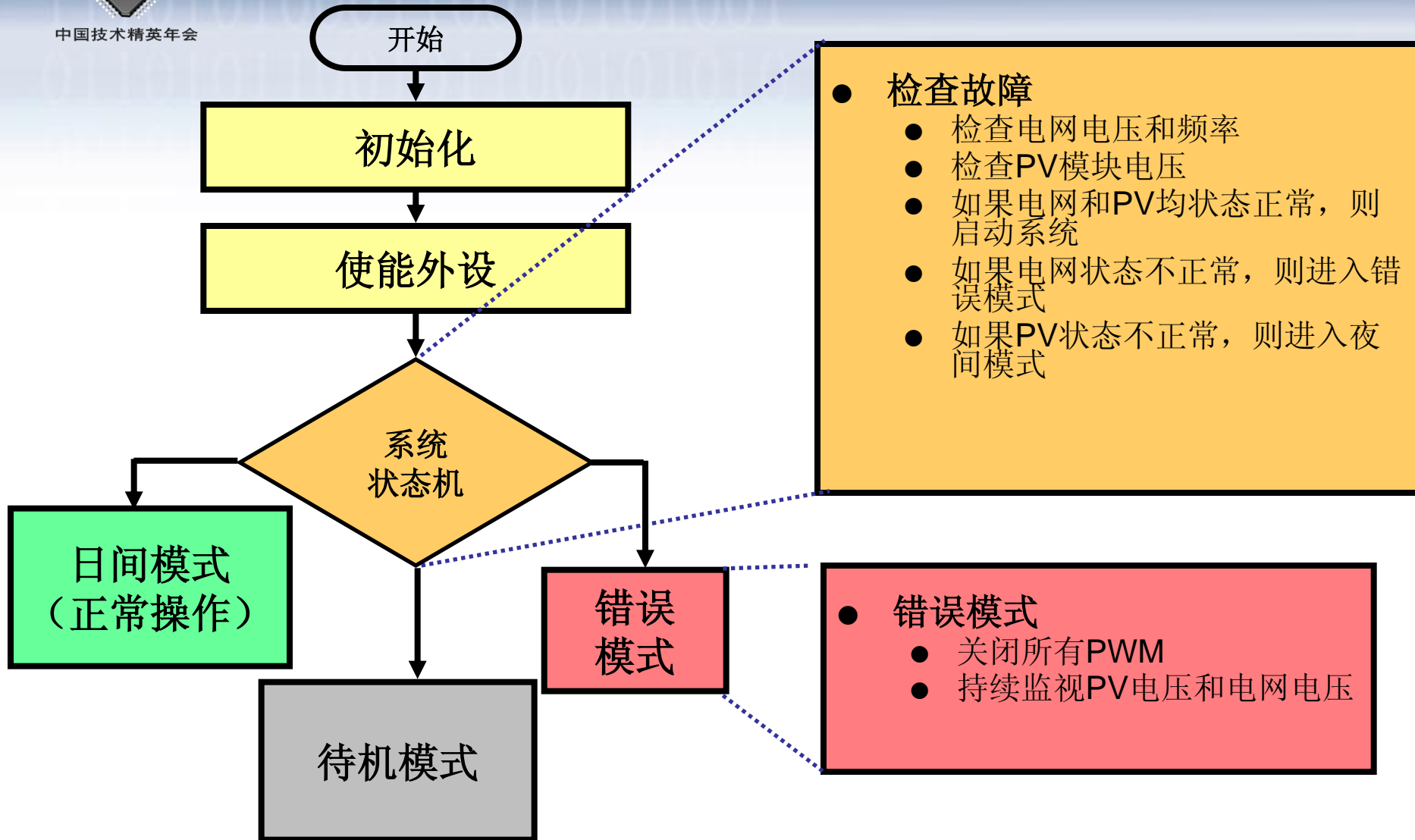




中国技术精英年会

软件结构

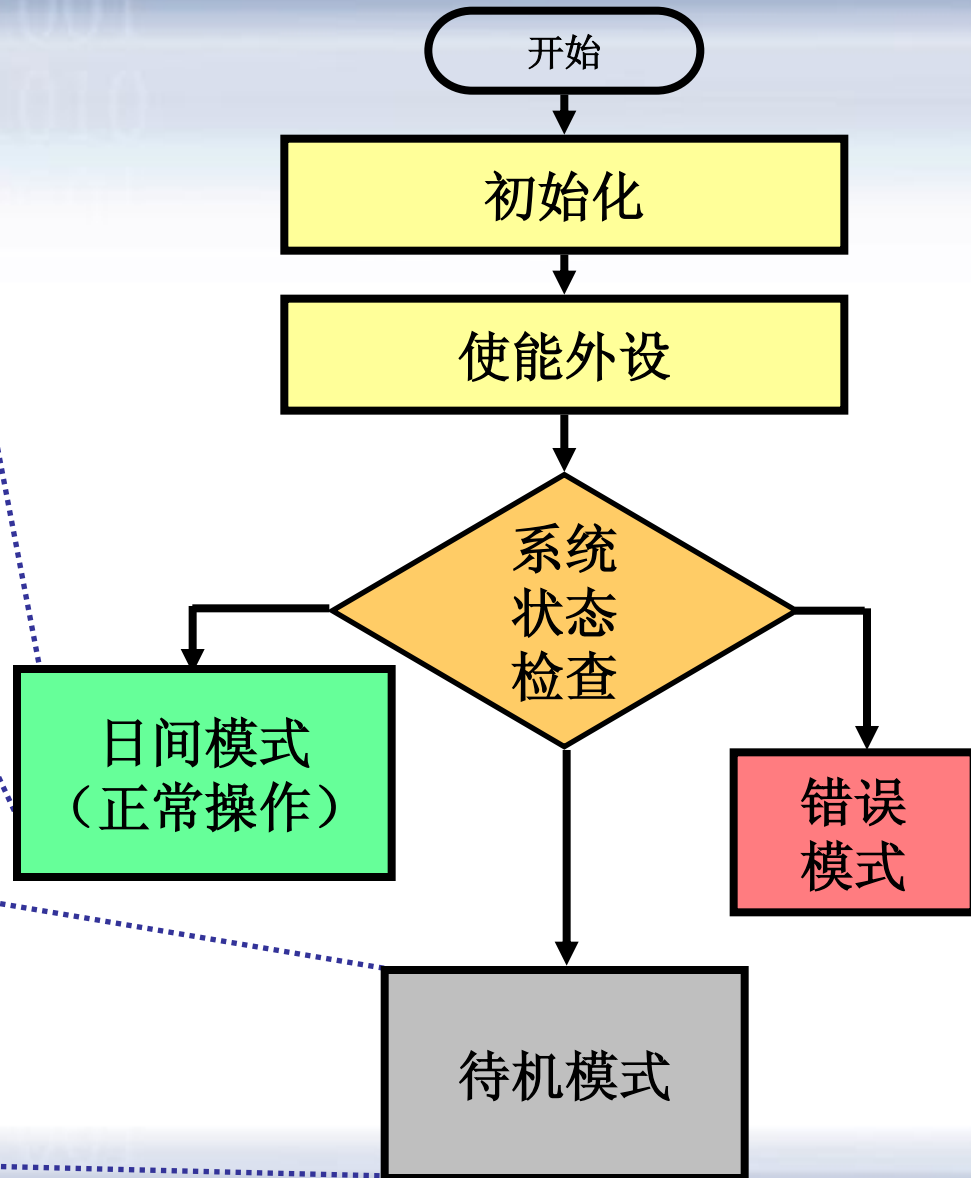
软件结构



软件结构

- 日间模式：
 - 测量反馈信号
 - 产生正弦参考电流
 - 将逆变器输出与电网同步
 - 计算MPP电流
 - 计算反激转换器的占空比
 - 平衡两个反激转换器上的电流

- 待机模式：
 - 关闭所有PWM
 - 持续监视PV电压和电网电压





中国技术精英年会

课程安排

- 背景知识
- 太阳能电池和电池板的特性
- 太阳能逆变器系统简介
- **Microchip**太阳能微型逆变器简介
- **dsPIC33FJ “GS”** 系列单片机
- 太阳能微型逆变器的数字实现
- **演示**
- **总结**



中国技术精英年会

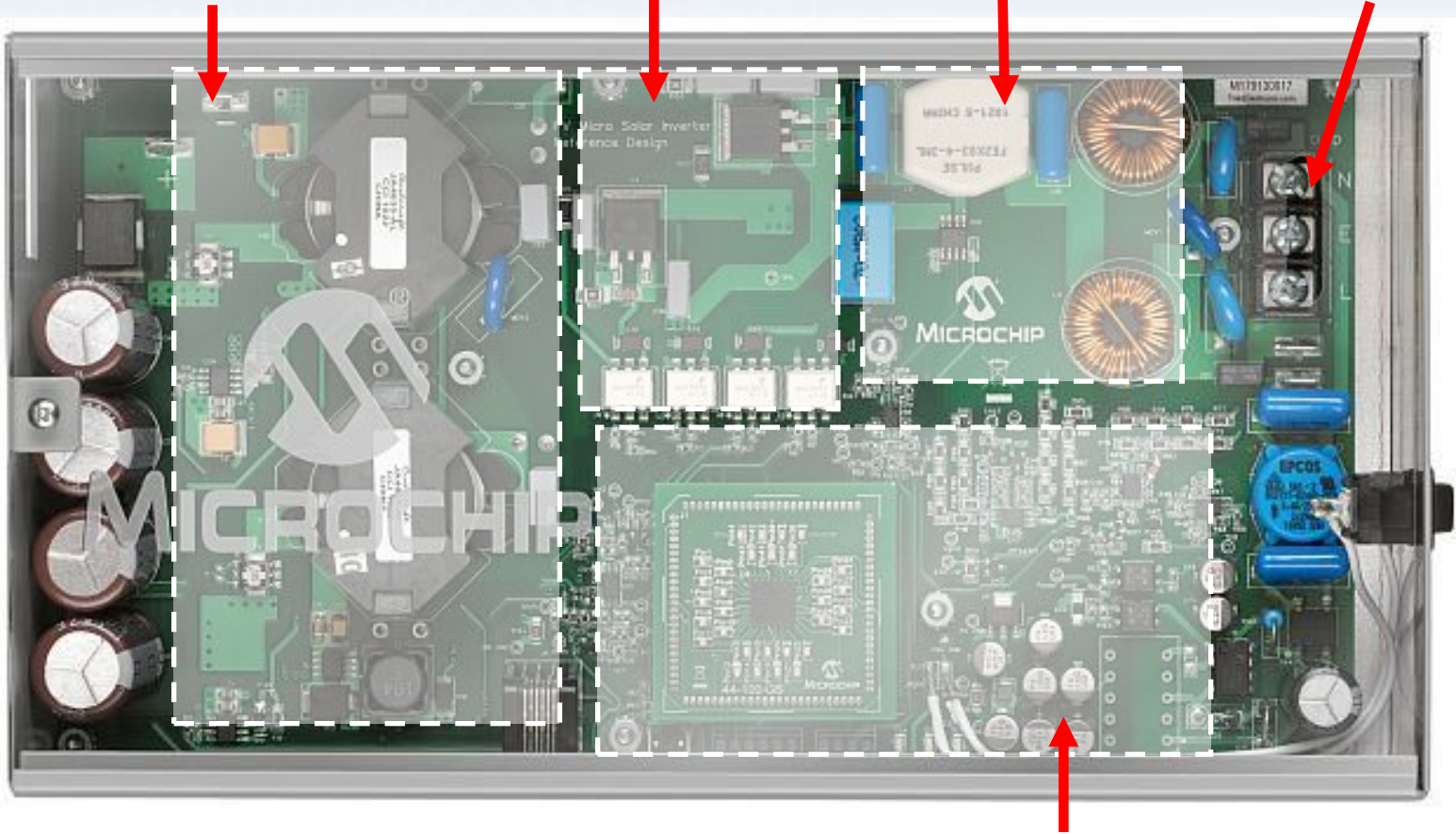
元件布局

反激逆变器

SCR桥

EMI/EMC滤波器

电网接口



反激和控制



中国技术精英年会

演示

- 输出电流
- 功率因数和ITHD
- MPPT跟踪
- 防止孤岛运行



中国技术精英年会

课程安排

- 背景知识
- 太阳能电池和电池板的特性
- 太阳能逆变器系统简介
- **Microchip**太阳能微型逆变器简介
- **dsPIC33FJ “GS”** 系列单片机
- 太阳能微型逆变器的数字实现
- 演示
- **总结**



中国技术精英年会

总结

- 今天我们讨论了：
 - 光伏电池和PV电池板的不同工作特性
 - 太阳能应用中的不同电源级
 - dsPIC33F “GS” 数字信号控制器的电源外设
 - Microchip数控太阳能微型逆变器的实现细节



中国技术精英年会

参考资源

- www.microchip.com
- AN1338——使用dsPIC®数字信号控制器的并网太阳能微型逆变器参考设计
- www.pveducation.org
- <http://photovoltaics.sandia.gov/docs/PVFEffIntroduction.htm>



中国技术精英年会

商标

Microchip的名称和徽标组合、**Microchip**徽标、**dsPIC**、**KeeLoq**、**KeeLoq**徽标、**MPLAB**、**PIC**、**PICmicro**、**PICSTART**、**PIC32**徽标、**rfPIC**和**UNI/O**均为**Microchip Technology Inc.**在美国和其他国家或地区的注册商标。

FilterLab、**Hampshire**、**HI-TECH C**、**Linear Active Thermistor**、**MXDEV**、**MXLAB**、**SEEVAL**和**The Embedded Control Solutions Company**均为**Microchip Technology Inc.**在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、**Application Maestro**、**chipKIT**、**chipKIT**徽标、**CodeGuard**、**dsPICDEM**、**dsPICDEM.net**、**dsPICworks**、**dsSPEAK**、**ECAN**、**ECONOMONITOR**、**FanSense**、**HI-TIDE**、**In-Circuit Serial Programming**、**ICSP**、**Mindi**、**MiWi**、**MPASM**、**MPLAB Certified**徽标、**MPLIB**、**MPLINK**、**mTouch**、**Omniscient Code Generation**、**PICC**、**PICC-18**、**PICDEM**、**PICDEM.net**、**PICKit**、**PICtail**、**REAL ICE**、**rfLAB**、**Select Mode**、**Total Endurance**、**TSHARC**、**UniWinDriver**、**WiperLock**和**ZENA**均为**Microchip Technology Inc.**在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP是**Microchip Technology Inc.**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。

©2011, **Microchip Technology Inc.**版权所有。