

Microchip车载充电方案 助力中国新能源汽车发展



A Leading Provider of Smart, Connected and Secure Embedded Control Solutions



演讲嘉宾：徐乃洲，主管应用工程师

2024年9月27日



SMART | CONNECTED | SECURE

dsPIC33汽车DSC

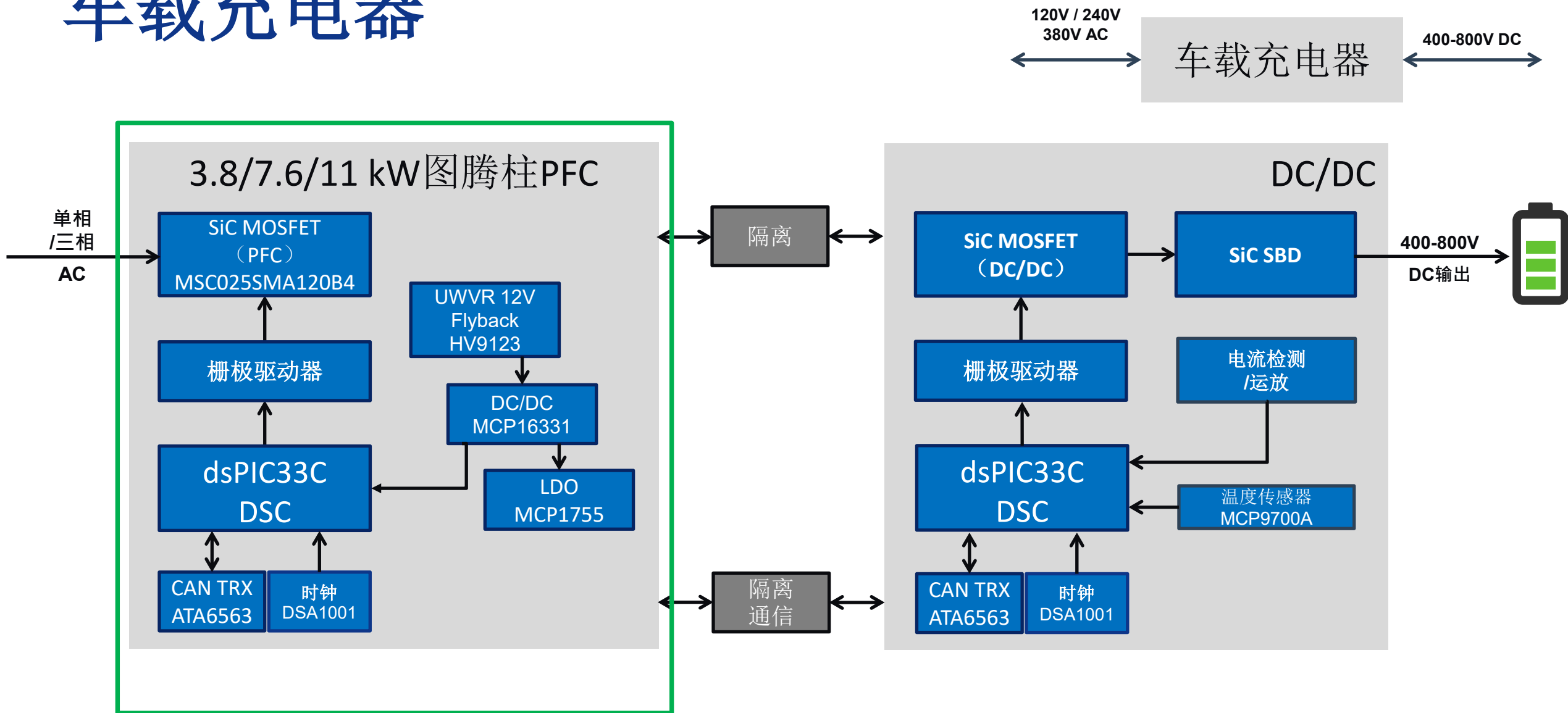


车载充电器

针对汽车应用的dsPIC33 数字信号控制器



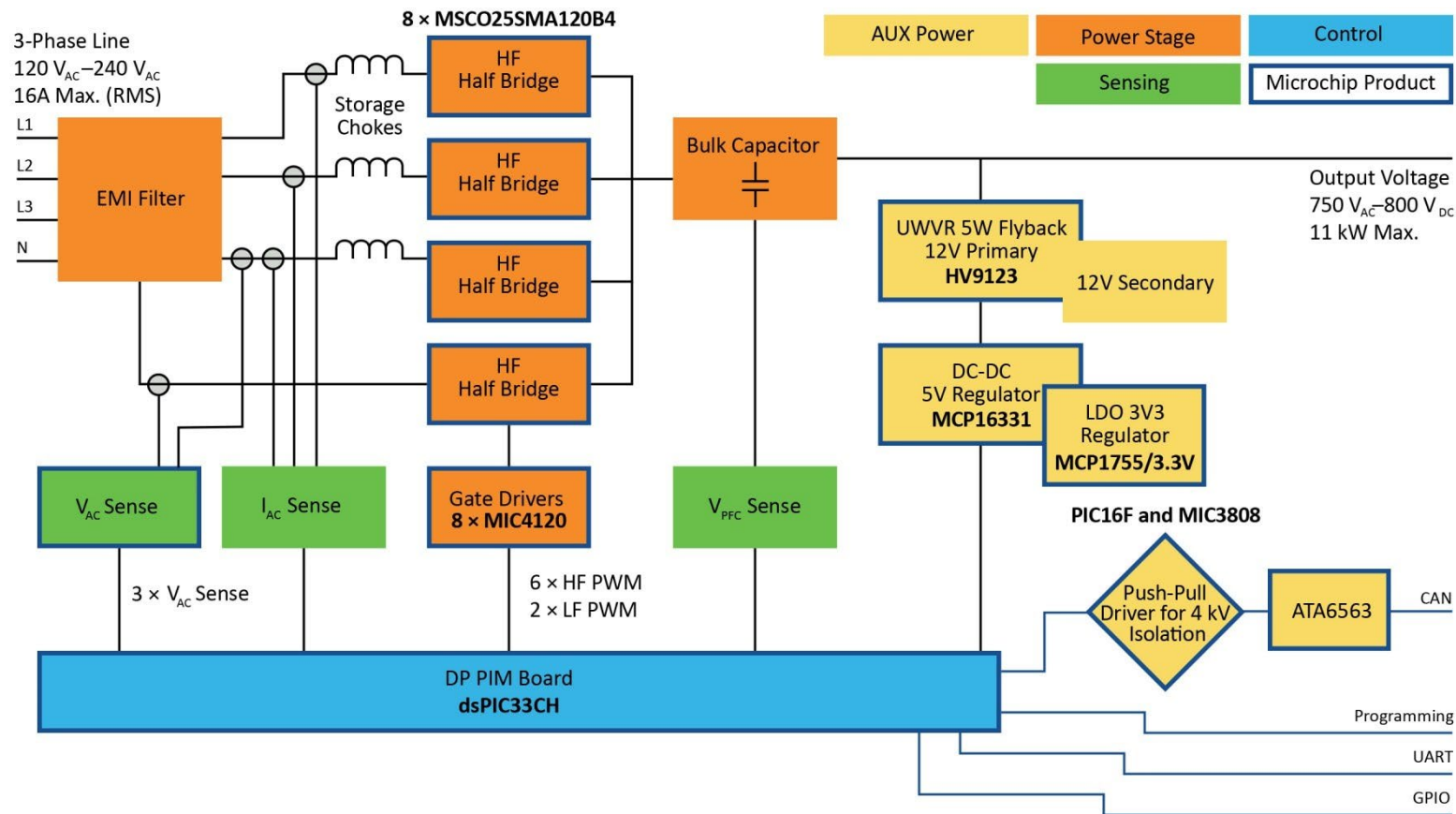
车载充电器



11 kW 图腾柱PFC开发系统

特性

- **3相交流电源**
 - 2级：3相交流电源，11 kW
 - 双向运行
- 采用dsPIC33 DP PIM和用于SiC电源MOSFET的新款FET PIM
- 达到AEC-Q100标准的组件
- 强制风冷
- 供评估的开发板
 - 可配置为低压或标称电压运行



图腾柱PFC演示应用

- 包含低压变压器（220/115V输入，降至 23V AC/相）
 - 低压变压器：3相输入，3相输出
- LV PFC开发板生成直流电压（75V DC/相），75V是负载电压
- 也可运行于高压和最大功率
- 三相大功率运行的挑战

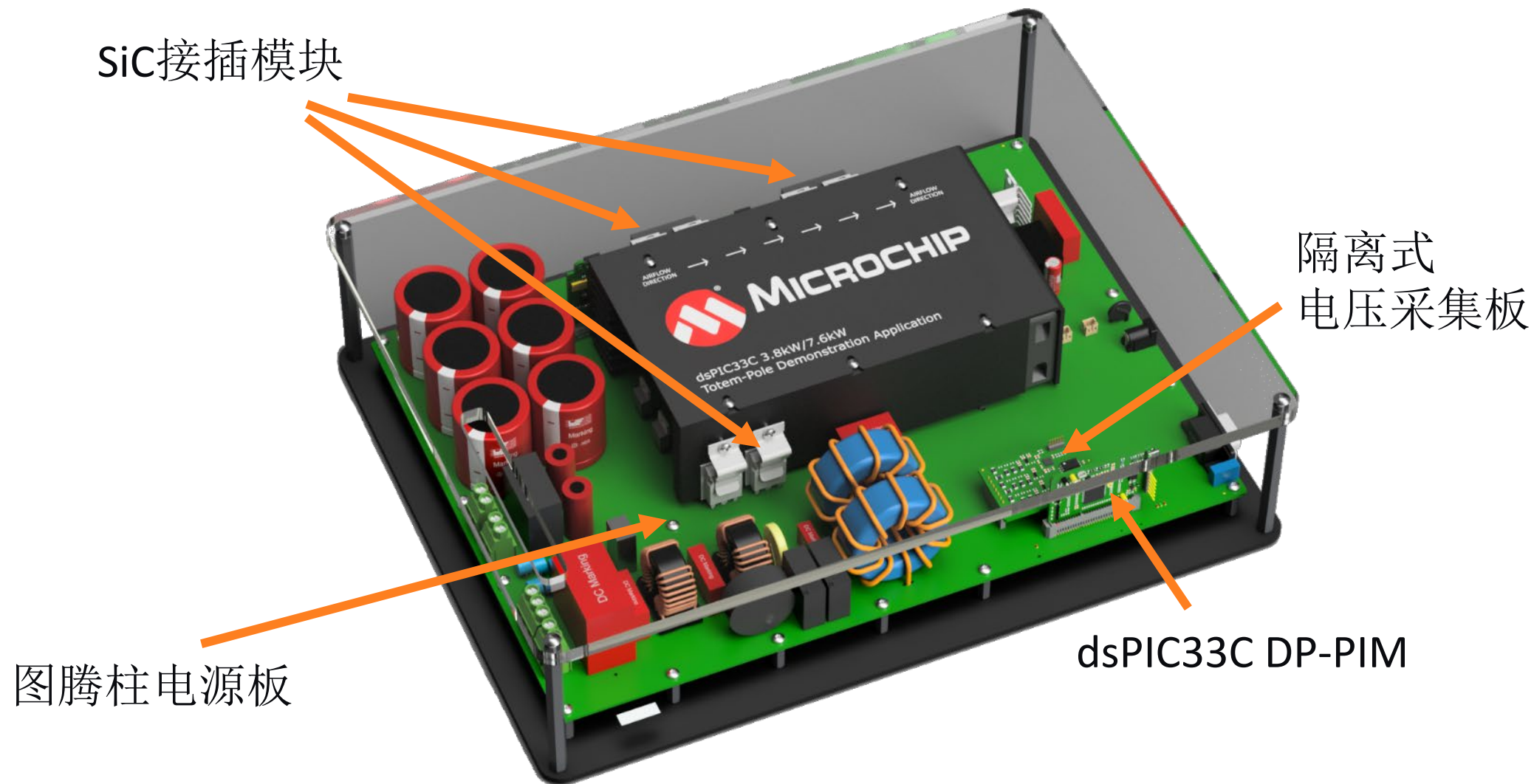


提供的资源



- 联系我们，获取
 - 设计文件
 - 评估模块样例
 - 演示
- 硬件设计支持
 - 用作设计基础
 - 可重用的“构建模块”
- 固件和算法支持
 - 用作设计基础
 - 可重用的“构建模块”

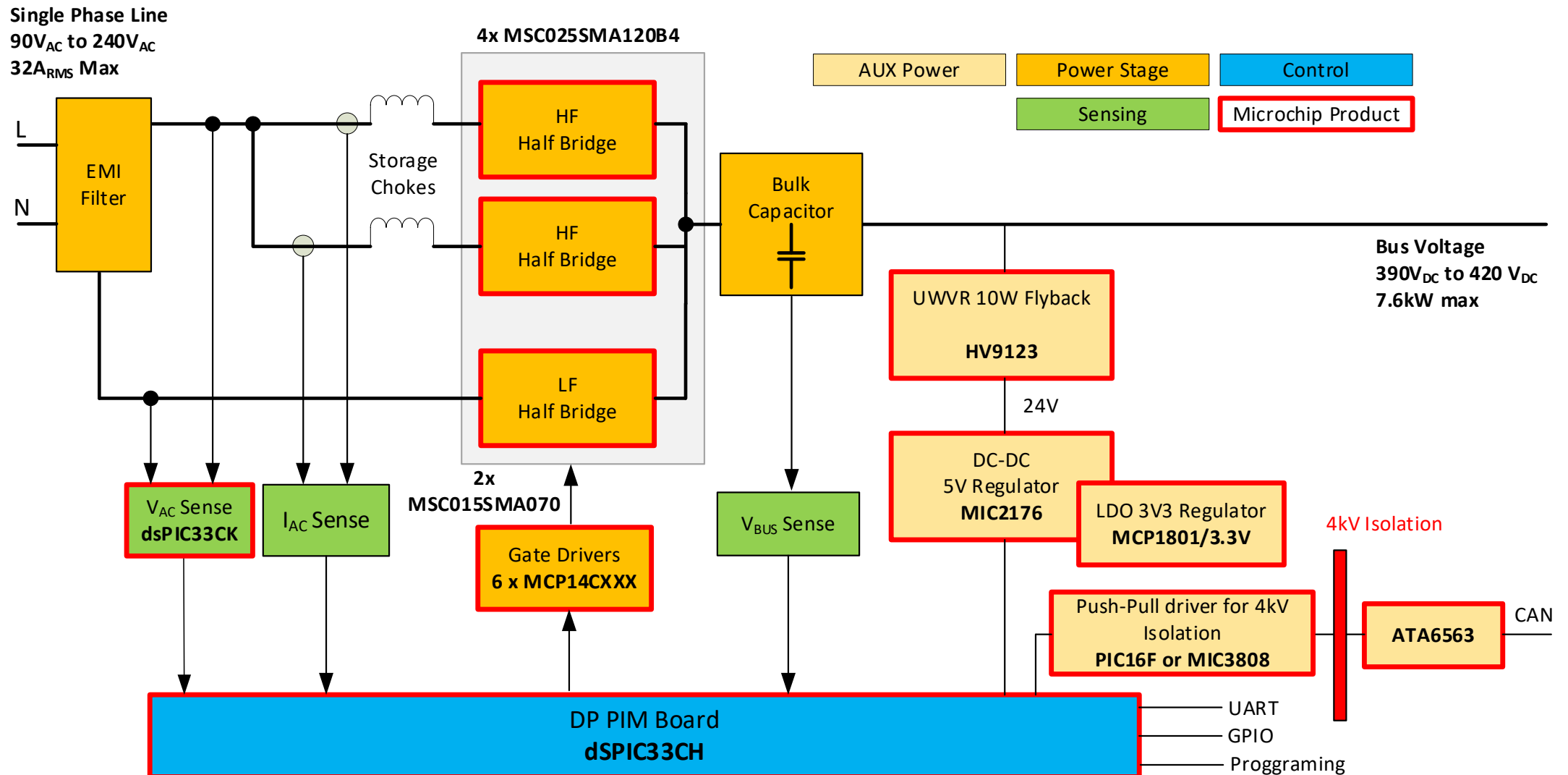
dsPIC33C单相3.8 kW/7.6 kW PFC/逆变器



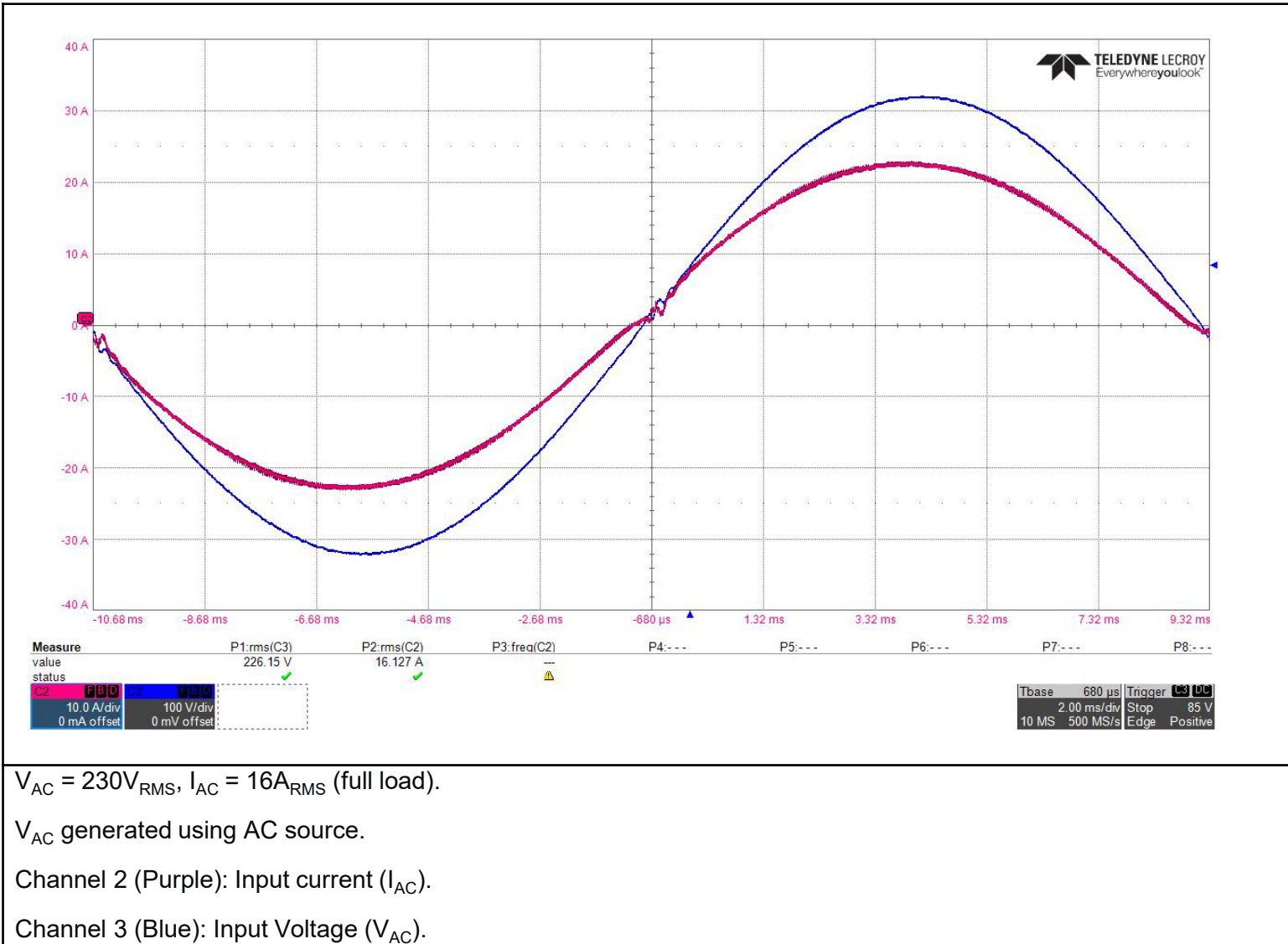
主要规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	注释
AC电压	90	230	265	V _{DC}	也支持DC运行模式
AC电流			16	A _{RMS}	交错式运行 $32A_{RMS}$
DC母线电压	390		420	V	
DC母线电流			10	A	
输出功率（非交错式）			3.8	kW	高压线
输出功率（交错式）			7.4	kW	高压线
工作线频率	47	50	65	Hz	
开关频率		100		kHz	演示运行于100 kHz
效率			98.5	%	
保持时间			10	ms	
浪涌电流			30	A _{PEAK}	
启动时间			2	s	
工作环境温度	-40		50	°C	

框图



PFC: 主要波形



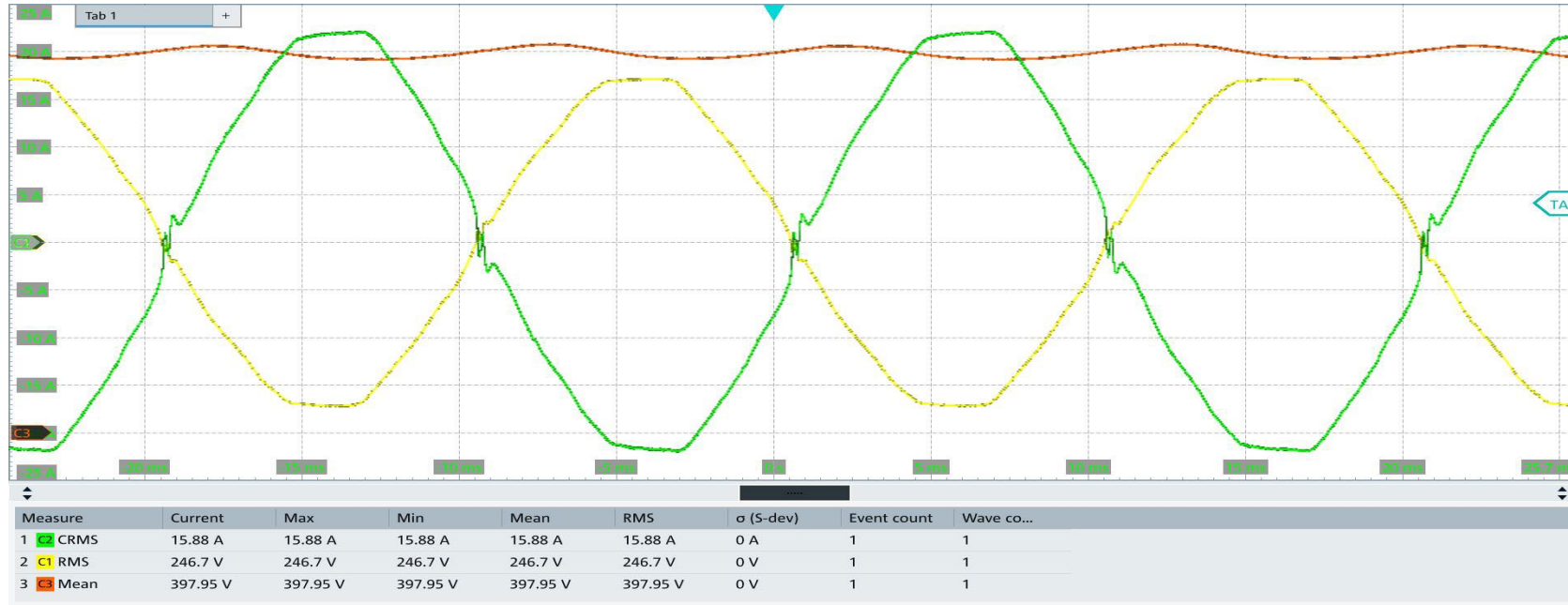
$V_{AC} = 230V_{RMS}$, $I_{AC} = 16A_{RMS}$ (full load).

V_{AC} generated using AC source.

Channel 2 (Purple): Input current (I_{AC}).

Channel 3 (Blue): Input Voltage (V_{AC}).

并网逆变器：主要波形



Grid tied inverter waveforms, 230Vac, full load.

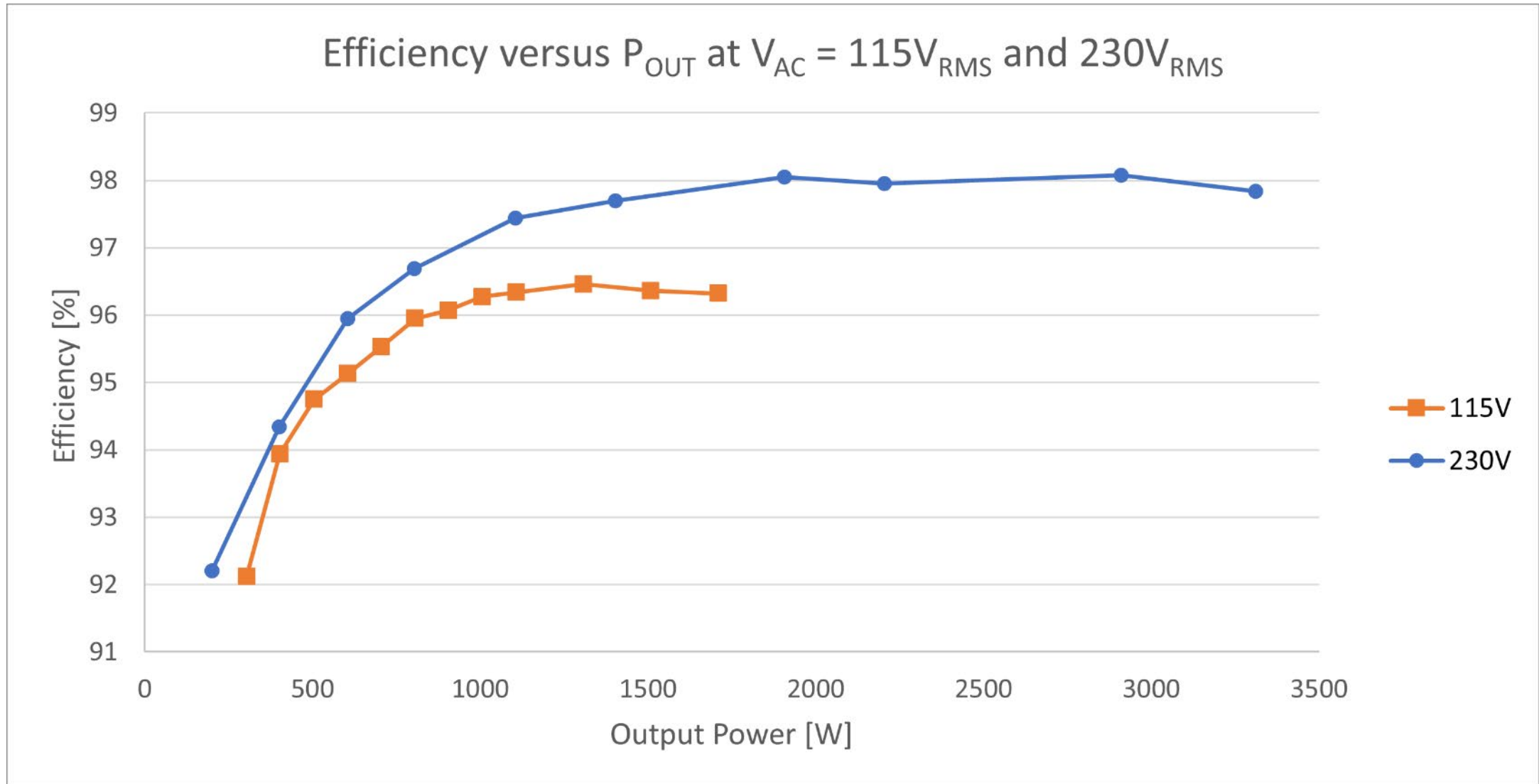
Channel 1 (Yellow): V_{AC}

Channel 2 (Green): I_{AC}

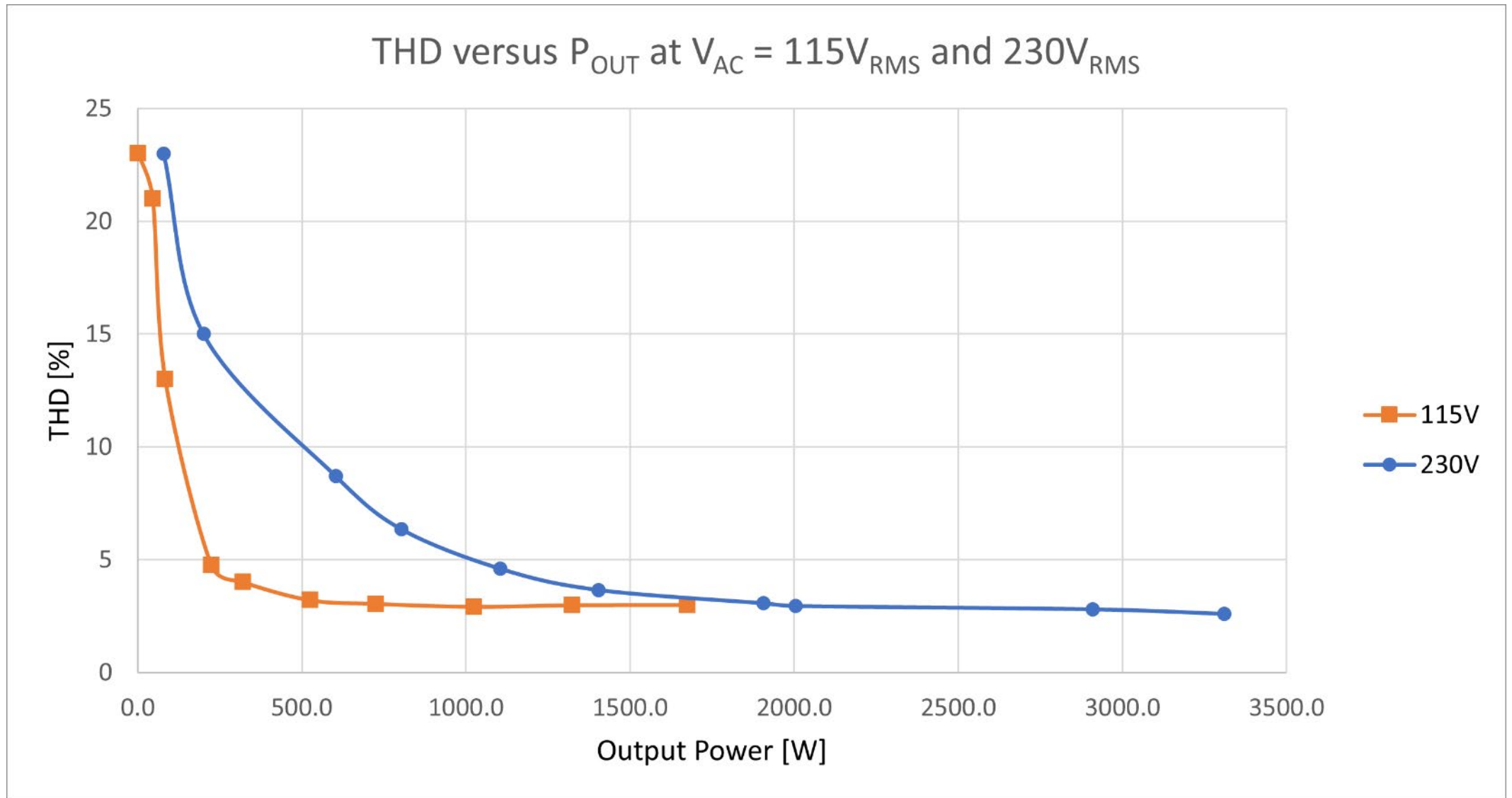
Channel 3 (Blue): V_{BUS} (DC voltage)

For this test, the AC terminals were connected to AC main via a transformer.

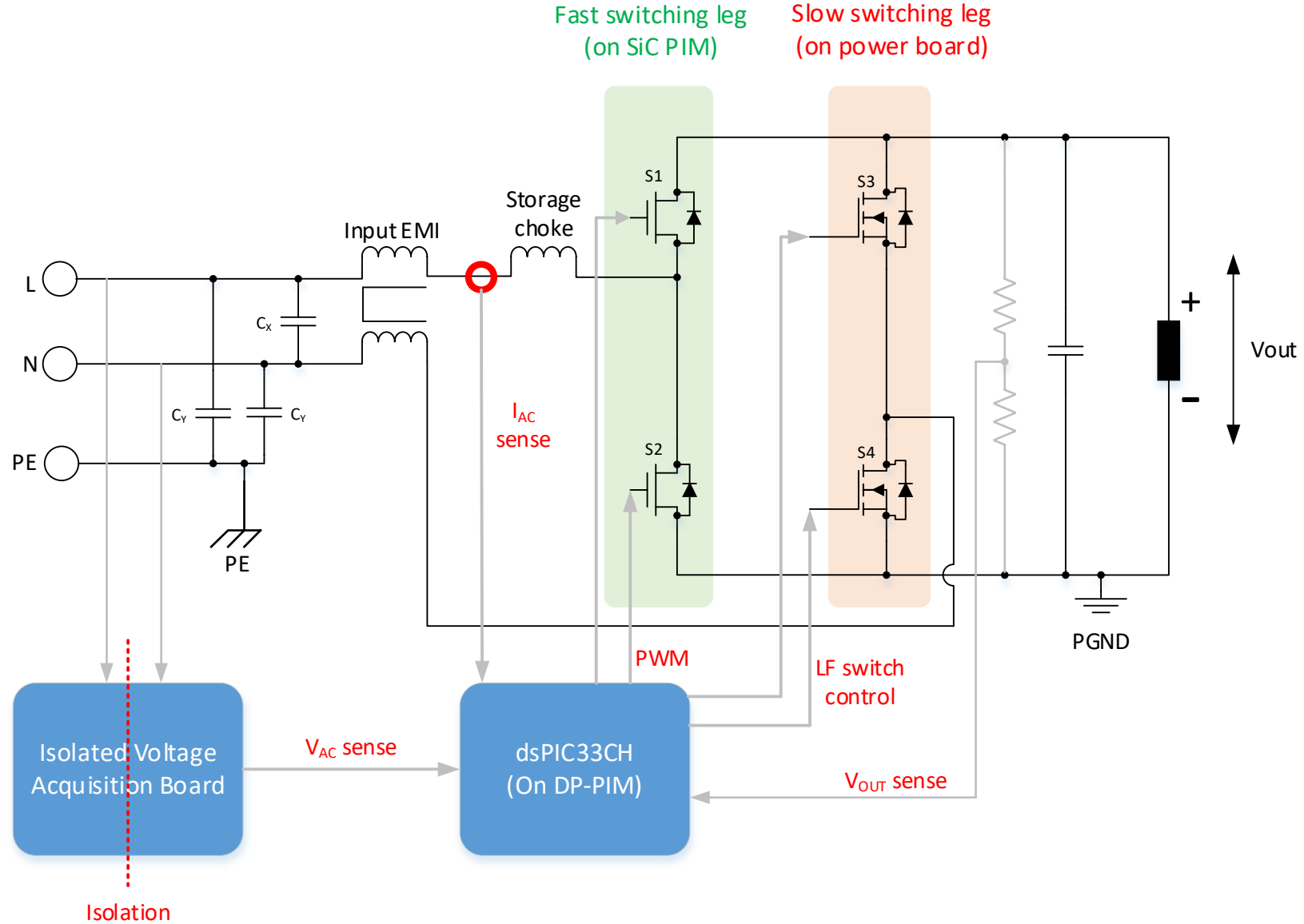
PFC效率



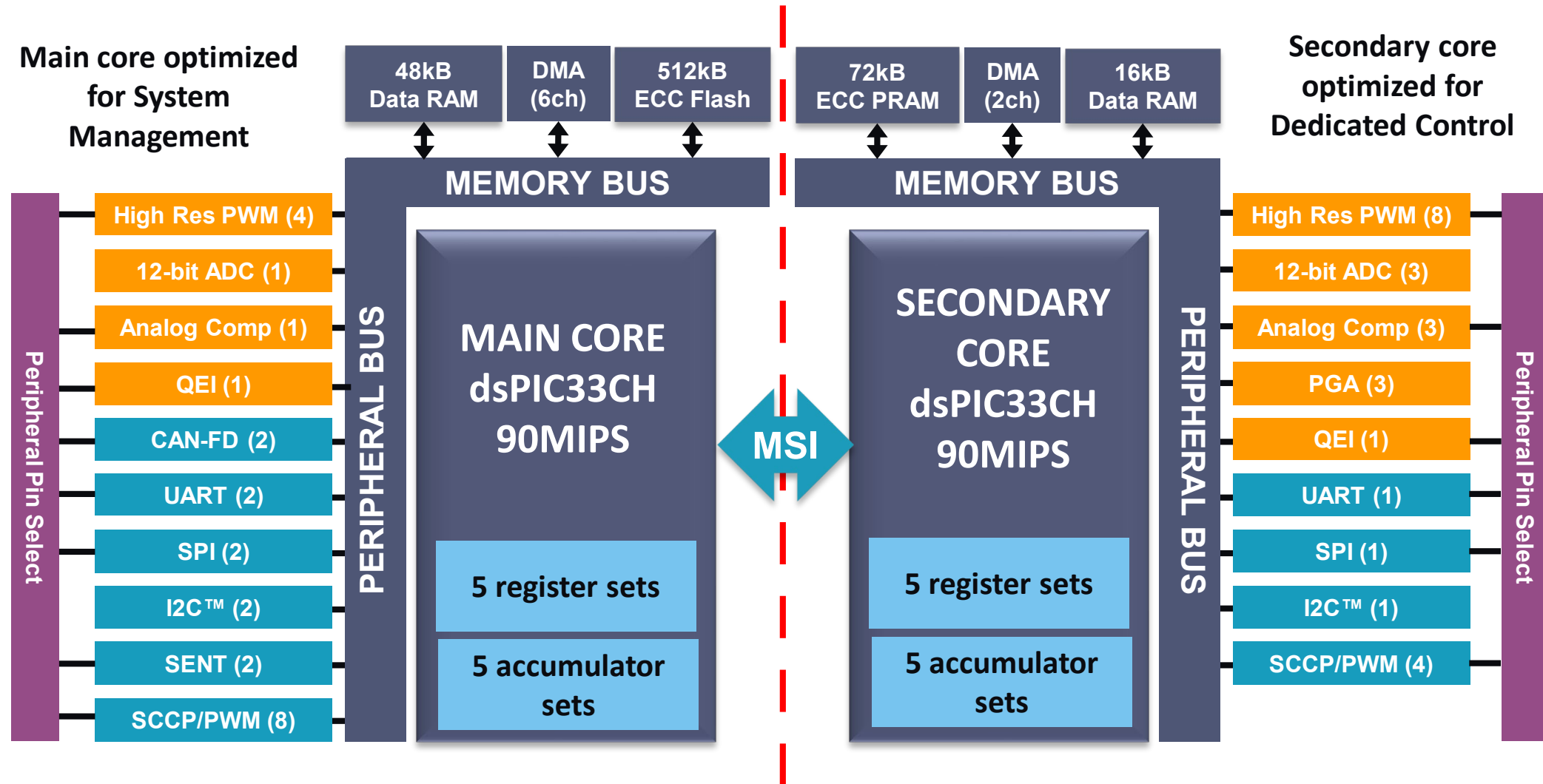
PFC THD



主控制器

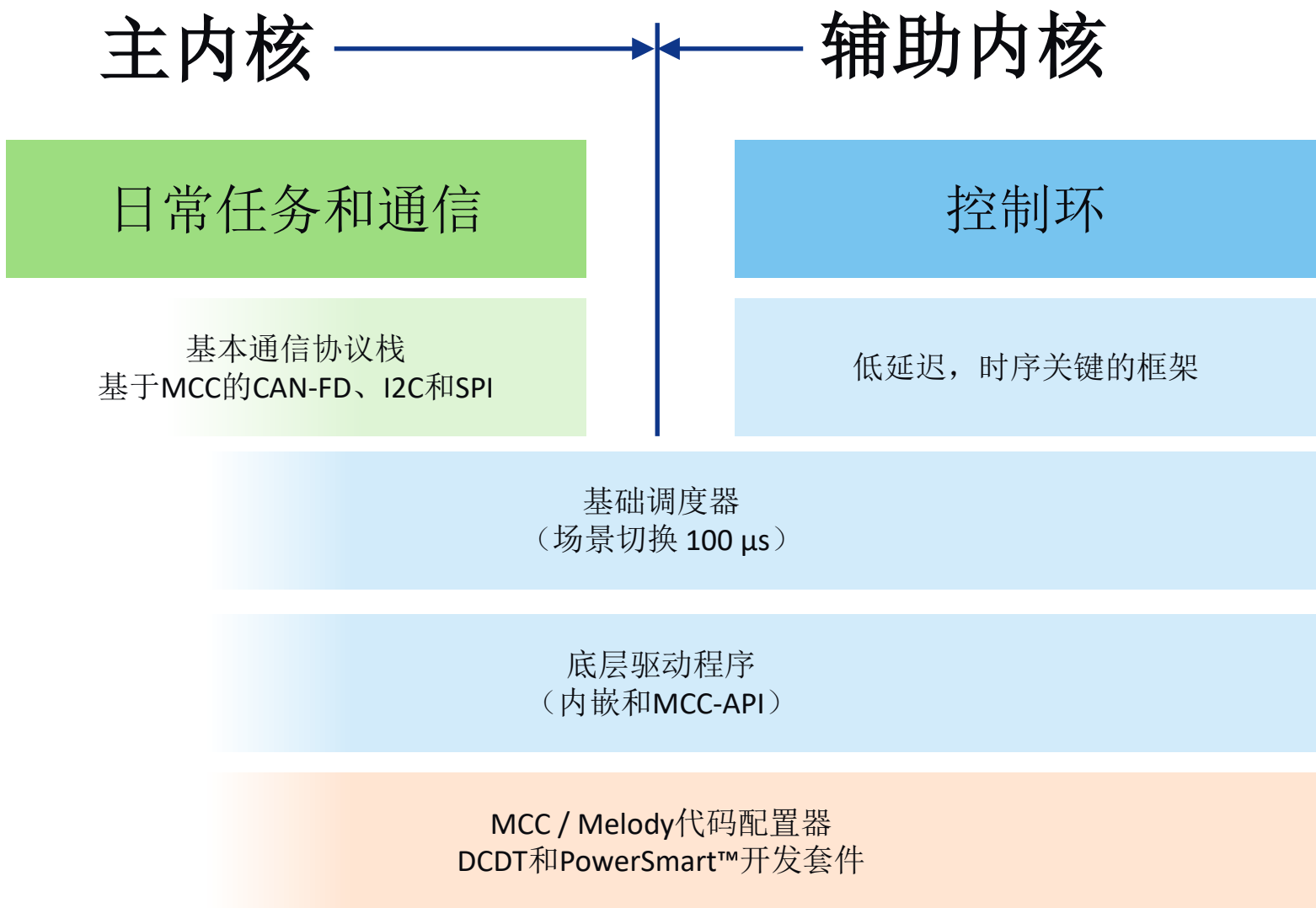


dsPIC33CH双核DSC

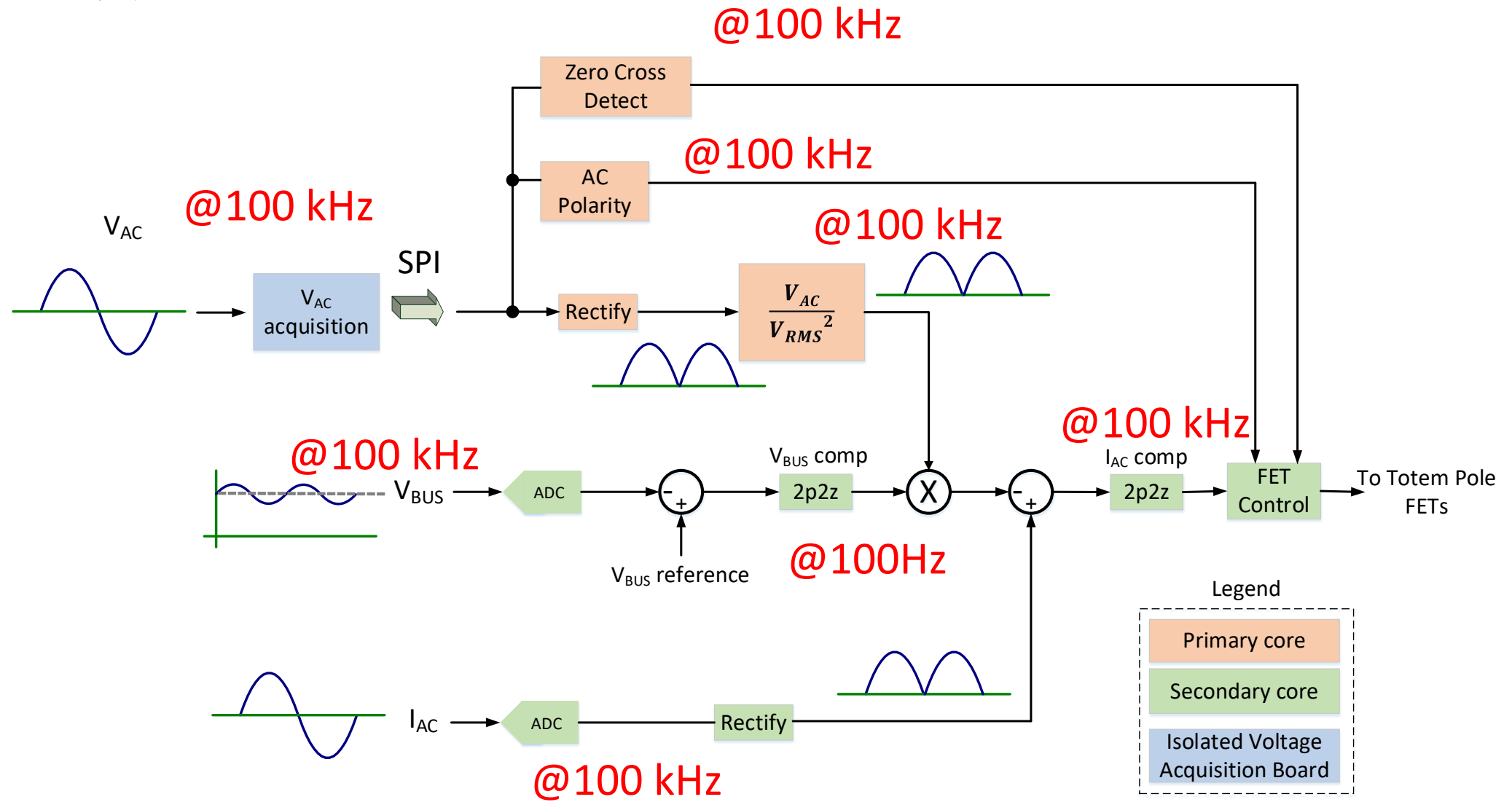


dsPIC33CH512MP508 Device Shown

dsPIC33CH双核DSC的任务汇总



PFC固件



dsPIC33CH辅助内核的ISR时序

4.3 μ s

▼ Single Phase

☒ PFC Mode
Power Factor Correction using average current mode control

☐ Grid Tied Inverter Mode
Power transfer from DC to AC terminal

☒ Synchronous Rectifier
When enabled, synchronous rectifier reduces power consumption in light load

☒ Closed Loop
Average Current mode Control with feedback

☒ Duty Ratio Feed Forward
Pre-calculate the duty ratio based on the reference current

☐ AC-Cycle-Skipping
Reduce power consumption in light load

☐ Adaptive Stepresponse
Can improve transient response during load regulation

☐ Power Smart
Use PowerSmart[™] for compensation

☐ Auto Start
Application starts automatically if the device is in Sleep mode

4.3 μ s

▼ Single Phase

☐ PFC Mode
Power Factor Correction using average current mode control

☒ Grid Tied Inverter Mode
Power transfer from DC to AC terminal

☒ Synchronous Rectifier
When enabled, synchronous rectifier reduces power consumption in light load

☒ Closed Loop
Average Current mode Control with feedback

☐ Duty Ratio Feed Forward
Pre-calculate the duty ratio based on the reference current

☐ AC-Cycle-Skipping
Reduce power consumption in light load

☐ Adaptive Stepresponse
Can improve transient response during load regulation

☐ Power Smart
Use PowerSmart[™] for compensation

☐ Auto Start
Application starts automatically if the device is in Sleep mode

7.6 μ s

▼ Three Phase

☒ PFC Mode
Power Factor Correction using average current mode control

☐ Grid Tied Inverter Mode
Power transfer from DC to AC terminal

☒ Synchronous Rectifier
When enabled, synchronous rectifier reduces power consumption in light load

☒ Closed Loop
Average Current mode Control with feedback

☐ Duty Ratio Feed Forward
Pre-calculate the duty ratio based on the reference current

☐ AC-Cycle-Skipping
Reduce power consumption in light load

☐ Adaptive Stepresponse
Can improve transient response during load regulation

☐ Power Smart
Use PowerSmart[™] for compensation

☐ Auto Start
Application starts automatically if the device is in Sleep mode

7.9 μ s

▼ Three Phase

☐ PFC Mode
Power Factor Correction using average current mode control

☒ Grid Tied Inverter Mode
Power transfer from DC to AC terminal

☒ Synchronous Rectifier
When enabled, synchronous rectifier reduces power consumption in light load

☒ Closed Loop
Average Current mode Control with feedback

☐ Duty Ratio Feed Forward
Pre-calculate the duty ratio based on the reference current

☐ AC-Cycle-Skipping
Reduce power consumption in light load

☐ Adaptive Stepresponse
Can improve transient response during load regulation

☐ Power Smart
Use PowerSmart[™] for compensation

☐ Auto Start
Application starts automatically if the device is in Sleep mode

6.4 μ s

▼ Single Phase Interleaved

☒ PFC Mode
Power Factor Correction using average current mode control

☒ Synchronous Rectifier
When enabled, synchronous rectifier reduces power consumption in light load

☒ Closed Loop
Average Current mode Control with feedback

☒ Duty Ratio Feed Forward
Pre-calculate the duty ratio based on the reference current

☐ AC-Cycle-Skipping
Reduce power consumption in light load

☐ Adaptive Stepresponse
Can improve transient response during load regulation

☐ Power Smart
Use PowerSmart[™] for compensation

☐ Auto Start
Application starts automatically if the device is in Sleep mode

DAB双向DC/DC

整个电路板组装的硬件图



DAB双向DC/DC

电气特性

参数	单位	最小值	典型值	最大值
输入工作电压范围	[V]	200 ⁽¹⁾	750	850
工作输入电压范围（满功率）	[V]	700	750	850
输出电流	[A]	0	-	27 ⁽²⁾
输出功率	[kW]			10.8
开关频率	[kHz]	65	100	230

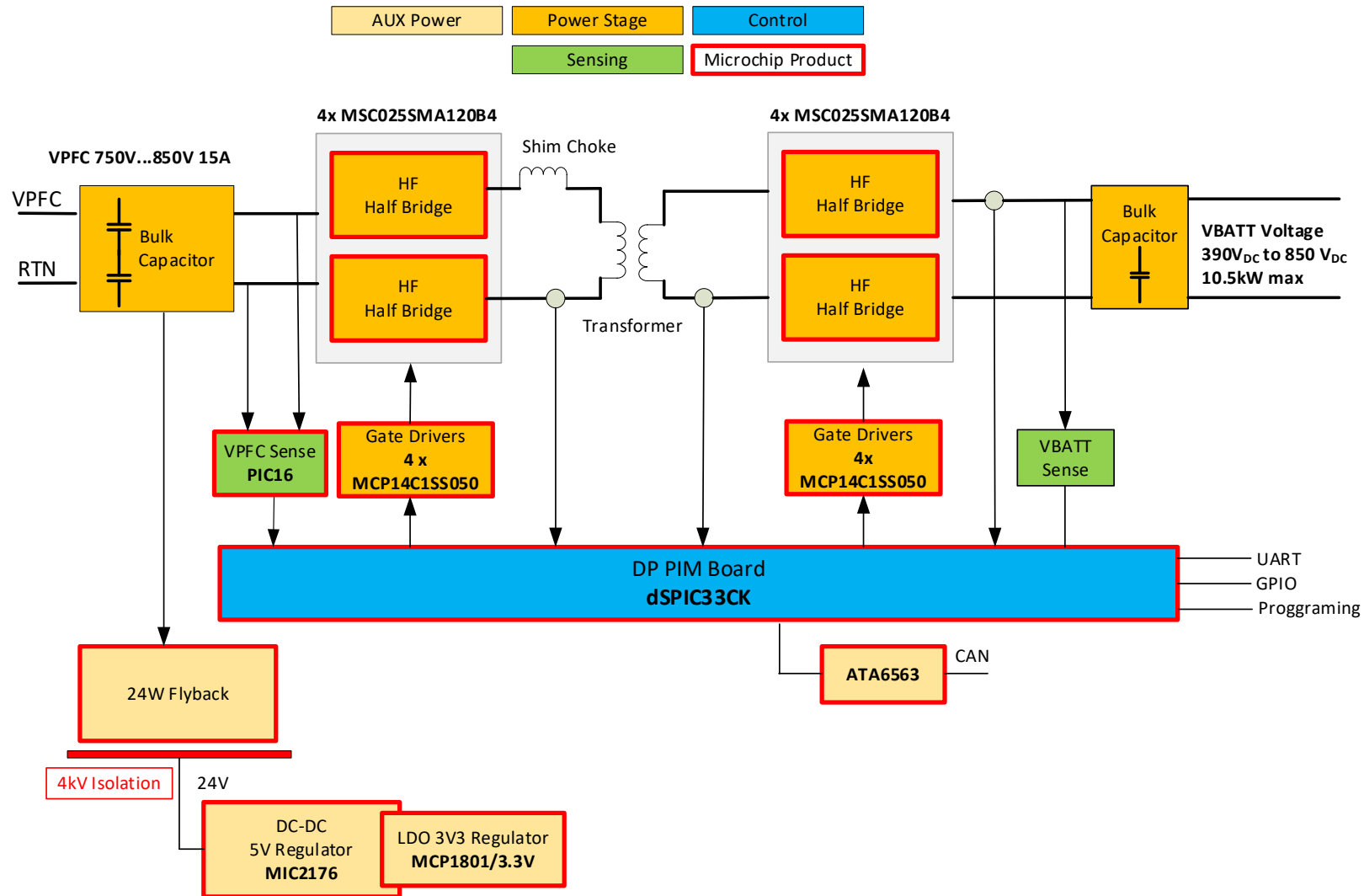
注：

(1) 如果使用外部24V辅助电源，可以从0V开始运行功率级。

(2) $V_{OUT} = 400V$ 时的最大电流。当 $V_{OUT} > 400V$ 时， $I_{OUT(MAX)}$ 会稍低（受最大功率限制）。

DAB双向DC/DC

硬件框图



DAB双向DC/DC

硬件SiC FET接插模块

MSC025SMA120B4

MSC040SMA120B4

IXYS驱动器

Microchip驱动器

4L PCB 1.65 mm

105 um铜外层

70 um内层

70 x 55 mm



SiC FET PIM – MSC025SMA120B4

通用半桥电路板，带有 SiC FET、栅极驱动器、辅助电源、信号隔离、温度检测 and 智能功能，等等
此板用于提供电源转换的开关支路和整流器支路。

规格

$4.5V < V_{dd} < 5.5V$

4 kV隔离，4 pF_{max}

温度检测，I2C通信

电压驱动 (+20/-5V)

DAB双向DC/DC

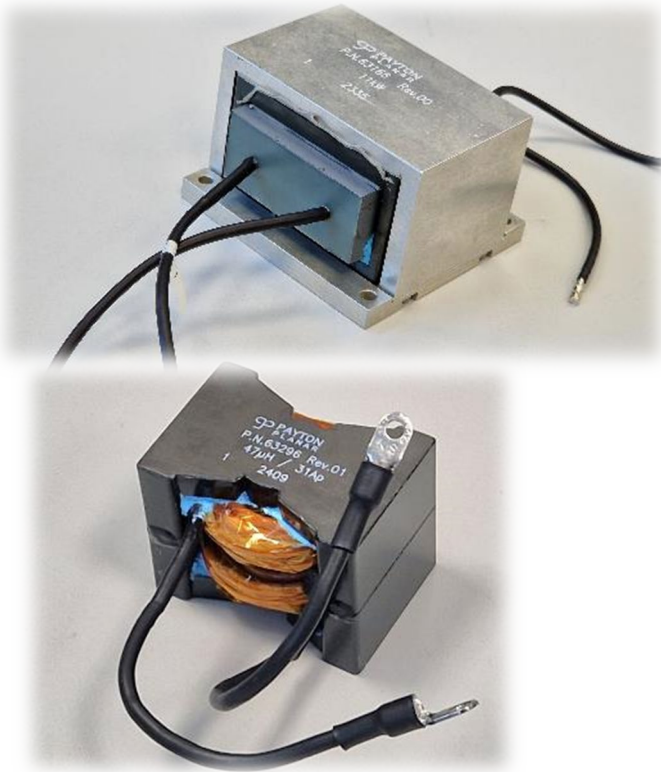
变压器和垫片电感规格

变压器规格

说明	单位	最小值	标称值	最大值	注释
初级电感	[uH]		2000		+5%
漏电感	[uH]			30	
伏秒数	[Vus]		3920		
匝数比		1.35:1		1.45:1	取决于物理上如何实现
耦合电容	[pF]			50	
初级电流	[Arms]			22	@100 kHz
次级电流	[Arms]			31	@100 kHz
初级承受电压	[V]	1000			
次级承受电压	[V]	1000			
初级-次级隔离电压	[kVrms]	4			
初级电压	[V]	650	750	850	
次级电压	[V]	400		850	
工作频率	[kHz]	65	100	230	
功率损耗	[W]			100	

垫片电感规格

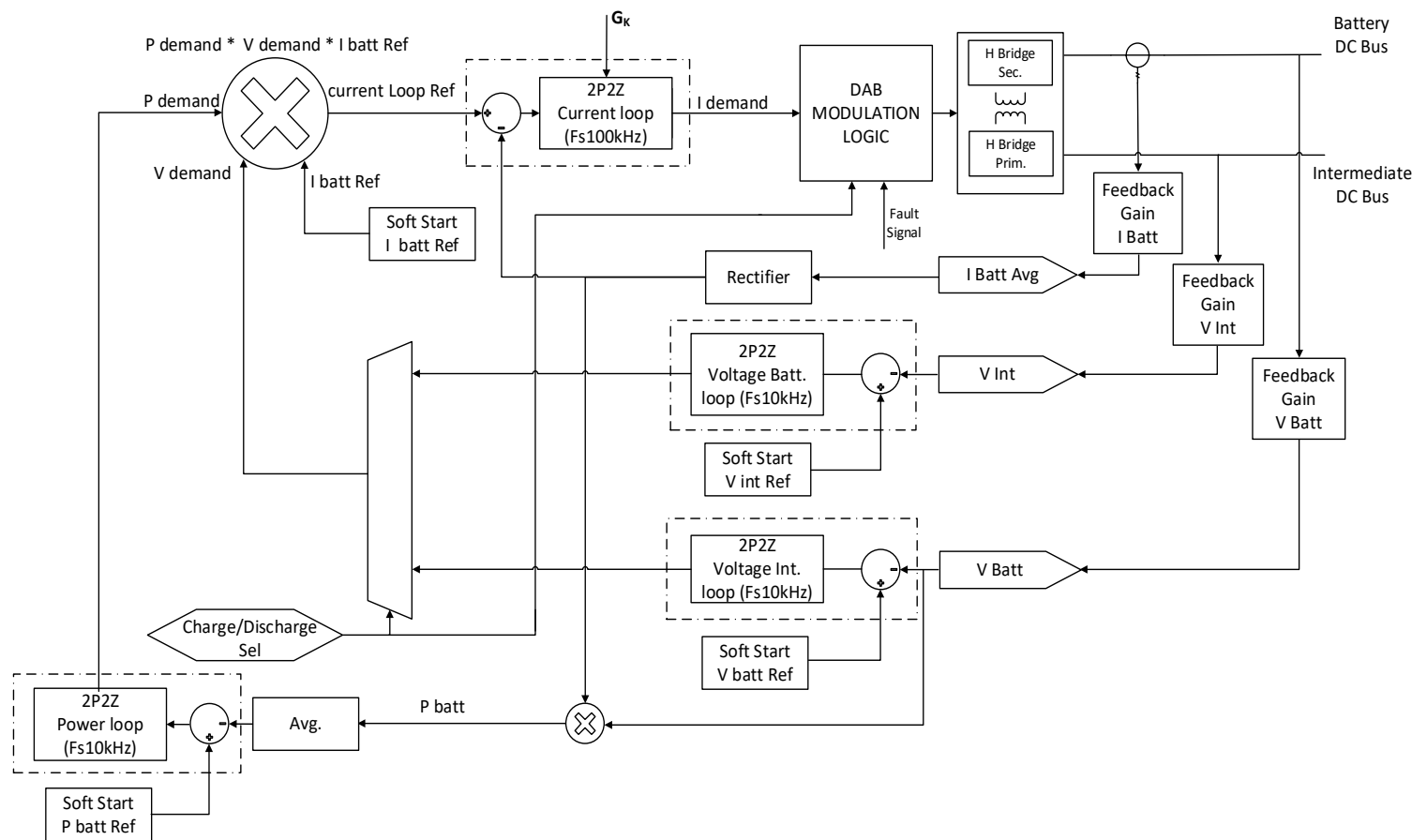
说明	单位	最小值	标称值	最大值	注释
电感	[uH]		47		+5% @31A峰值
电流	[Arms]		20		
峰值电流	[App]			62	@ 100 kHz
寄生电容	[pF]			50	尽可能的小
承受电压	[V]	2000			
工作频率	[kHz]	65	100	230	
功率损耗	[W]			30	



变压器和垫片电感
Payton P.N

DAB双向DC/DC

闭环控制反馈回路



充电方向:

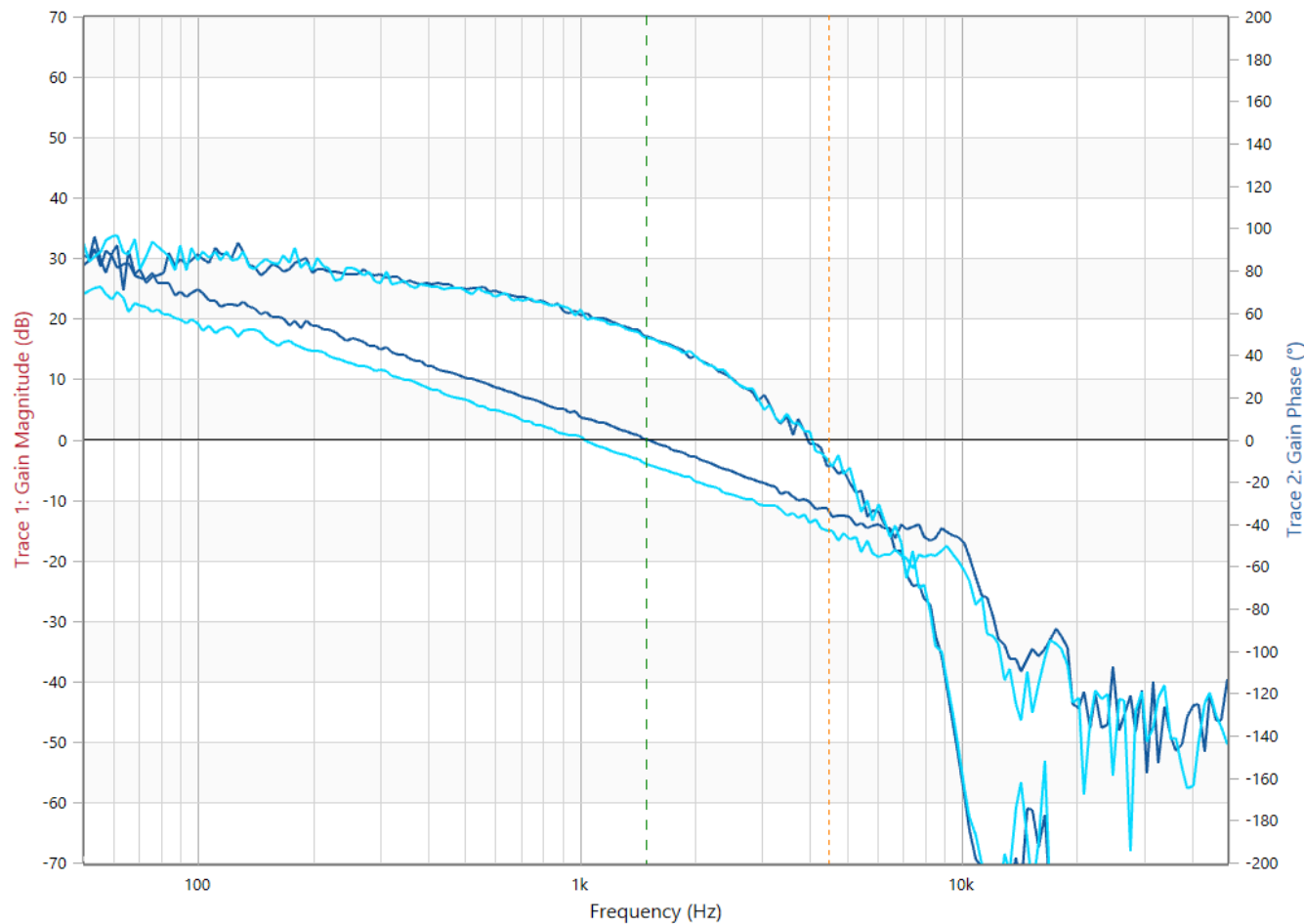
- 电流环路（整流电流检测器值）
- 电池电压环路（调节电池电压。充电结束条件和断开电线等）
- 功率环路（根据不同充电配置，可调节的功率限值）

放电方向:

- 电流环路（整流电流检测器值）
- 中间电压环路（调节中间电压，同时电源流向逆变器 and 电网）
- 功率环路（根据不同放电配置，可调节的功率限值）

DAB双向DC/DC

Bode 100测量电流环路



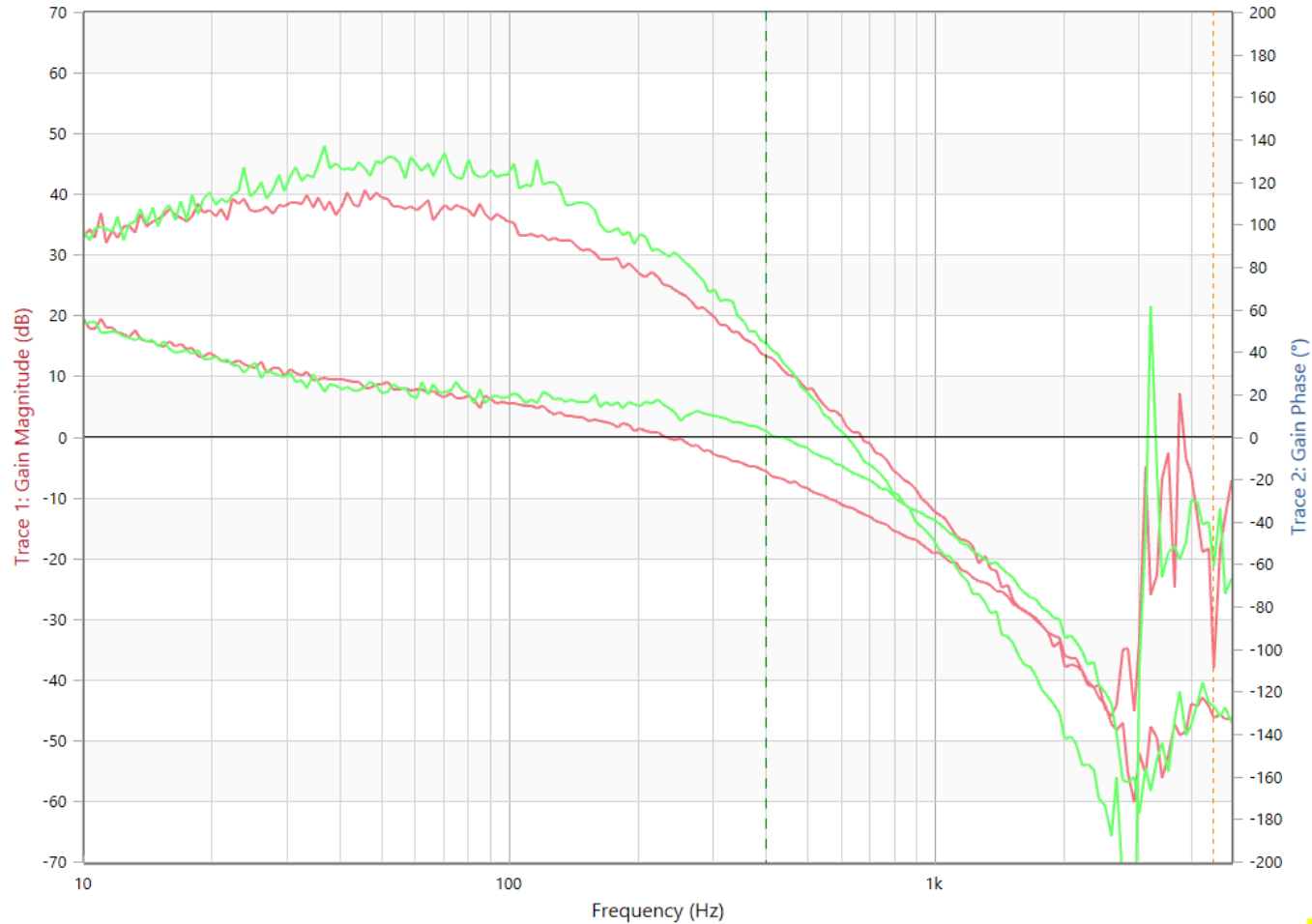
电流环路补偿器的Bode 100图
(穿越频率位于1.6 kHz, 50°相位裕度)

具有增益补偿的电流环路响应, 充电方向

- 黑色线表示200 Vin的情况
- 蓝色线表示400 Vin的情况

DAB双向DC/DC

Bode 100测量电压环路



电压环路补偿器的Bode100图
(穿越频率位于400 Hz, 50° 相位裕度)

电池电压环路响应, 充电方向

- 红色线为增加了100 μ F电容的情况
- 绿色线为无额外电容的情况

DAB双向DC/DC

首次原型测量

V in (V)	V out (V)	I in (A)	I out (A)	Pin (W)	Pout (W)	efficiency (%)
200	140	4.01	5.51	801	776	0.968789014
330	370	2.93	2.5	967	929	0.960703206
300	201	3.27	4.75	981	954	0.972477064
400	201	2.59	5.03	1038	1010	0.973025048
400	301	3	3.86	1201	1165	0.970024979
400	271	3.14	4.54	1257	1228	0.976929196
400	201	3.78	7.36	1519	1475	0.971033575
400	201	3.89	7.52	1555	1510	0.971061093
400	301	4.51	5.83	1807	1756	0.971776425
400	301	5.36	6.91	2144	2082	0.97108209
580	401	3.79	5.35	2201	2140	0.972285325
580	401	4.03	5.67	2340	2276	0.972649573
579	401	4.36	6.38	2527	2458	0.972694895
579	401	5.33	7.47	3085	3000	0.972447326
579	401	5.94	8.56	3437	3340	0.971777713
579	402	6.89	9.67	3992	3878	0.971442886
579	302	7.52	14.01	4357	4230	0.970851503
579	402	7.66	10.74	4437	4310	0.971377057
579	332	8.23	13.96	4764	4630	0.971872376
579	342	8.49	13.96	4914	4774	0.971509972
579	402	9.16	12.81	5302	5148	0.970954357
579	382	9.41	13.87	5452	5295	0.971203228
579	401	9.88	13.86	5723	5559	0.971343701
498	402	12.52	15.01	6234	6032	0.967597048
532	402	13.11	16.72	6976	6728	0.964449541

一组涵盖更多样化功率和电压范围的测量值

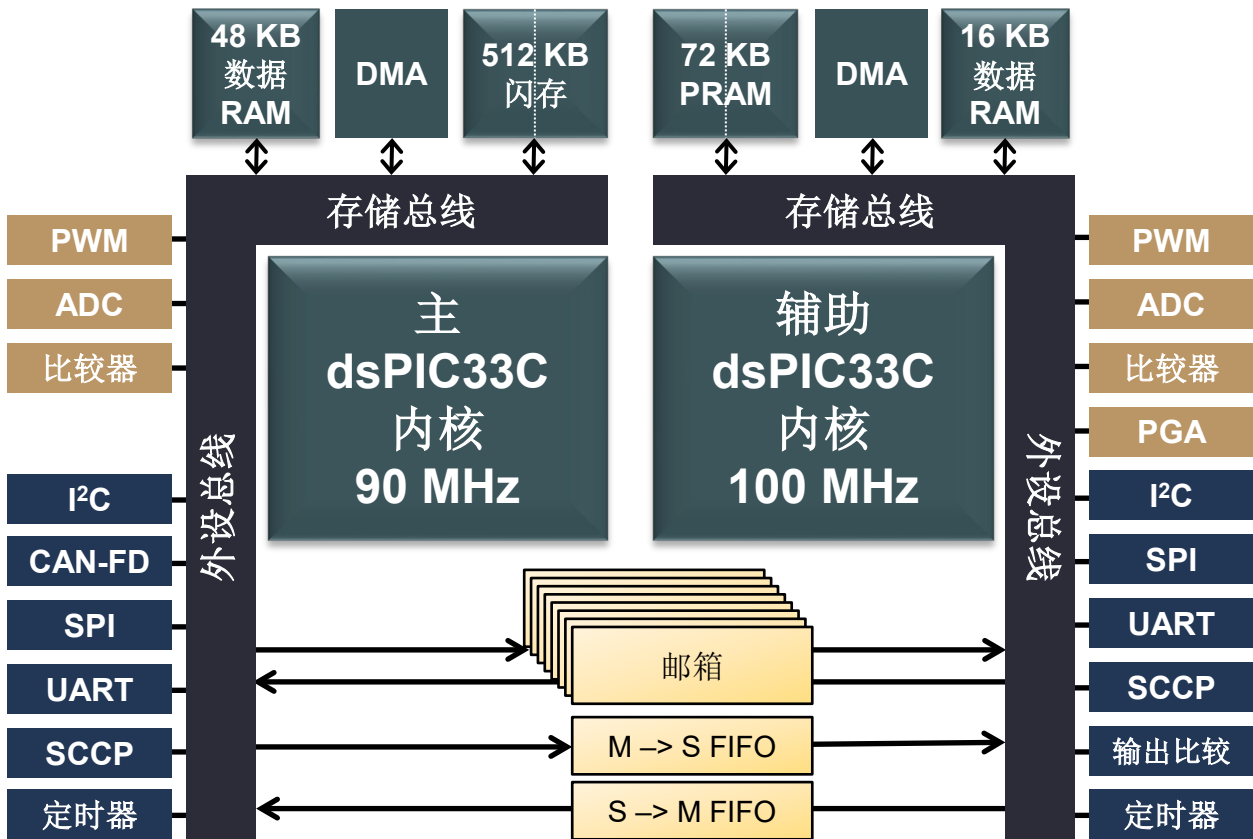
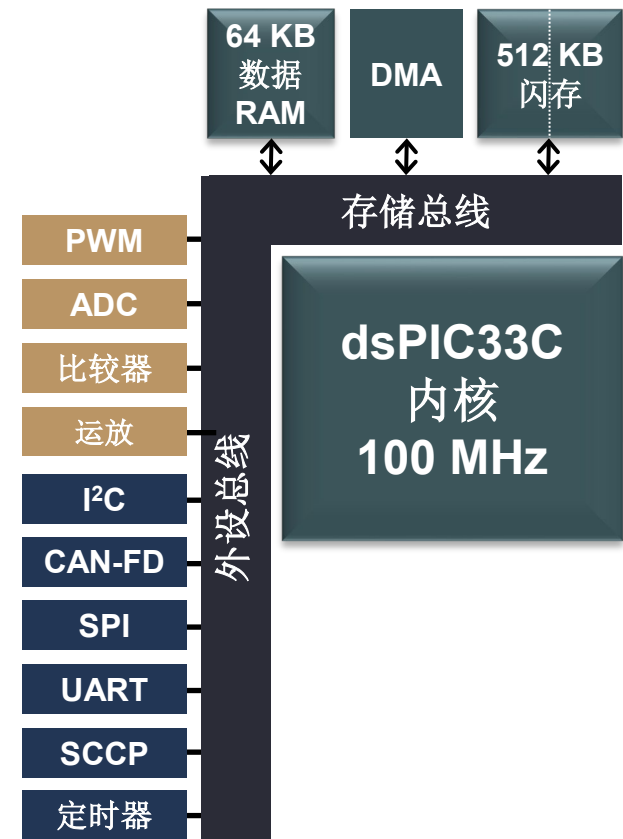
整体效率达97%

效率的精细调节以及模式转换优化将在最终的设计中完成

dsPIC33C系列

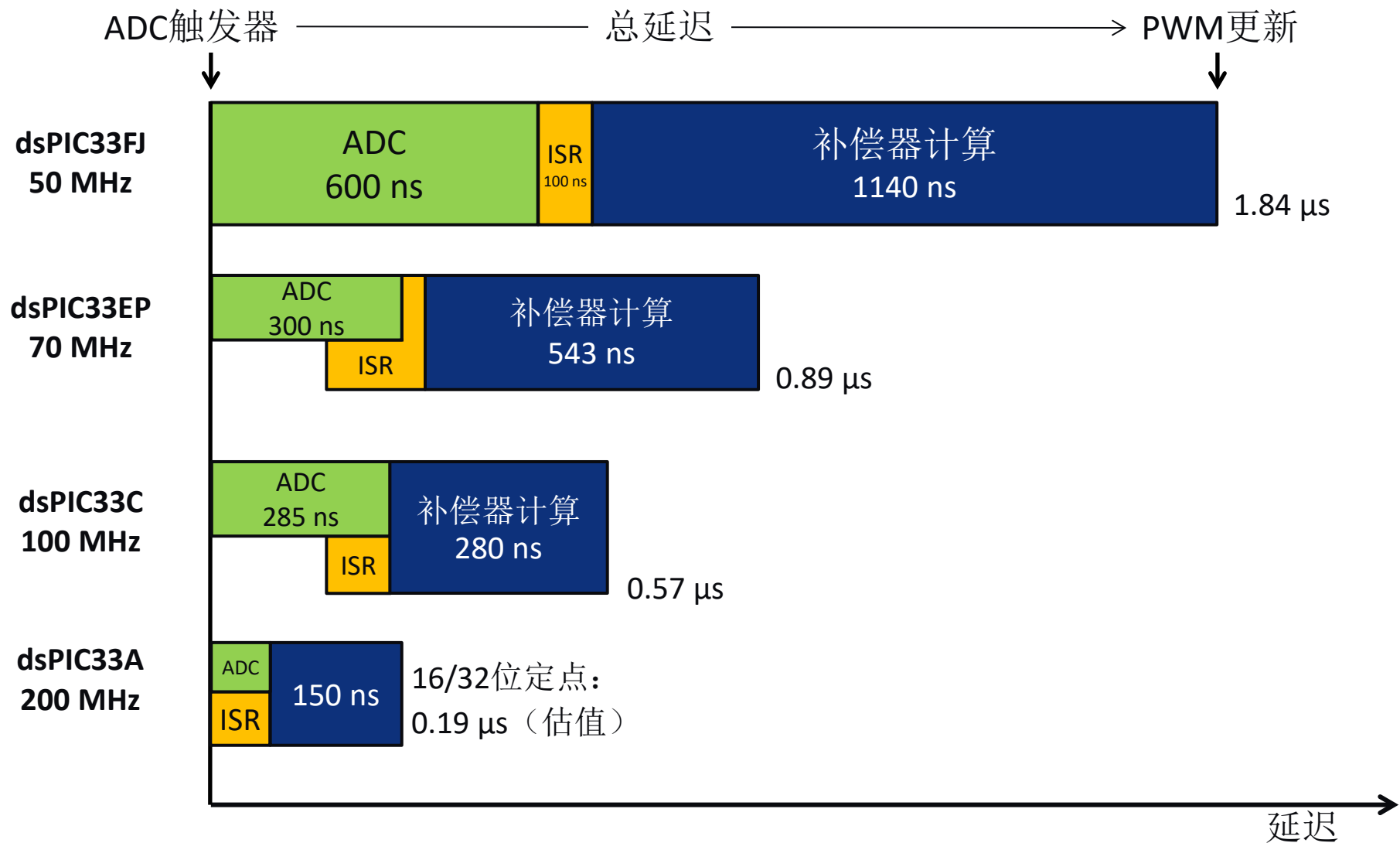
单核dsPIC33CK

双核dsPIC33CH



dsPIC33性能提升

以数字电源3P3Z为例

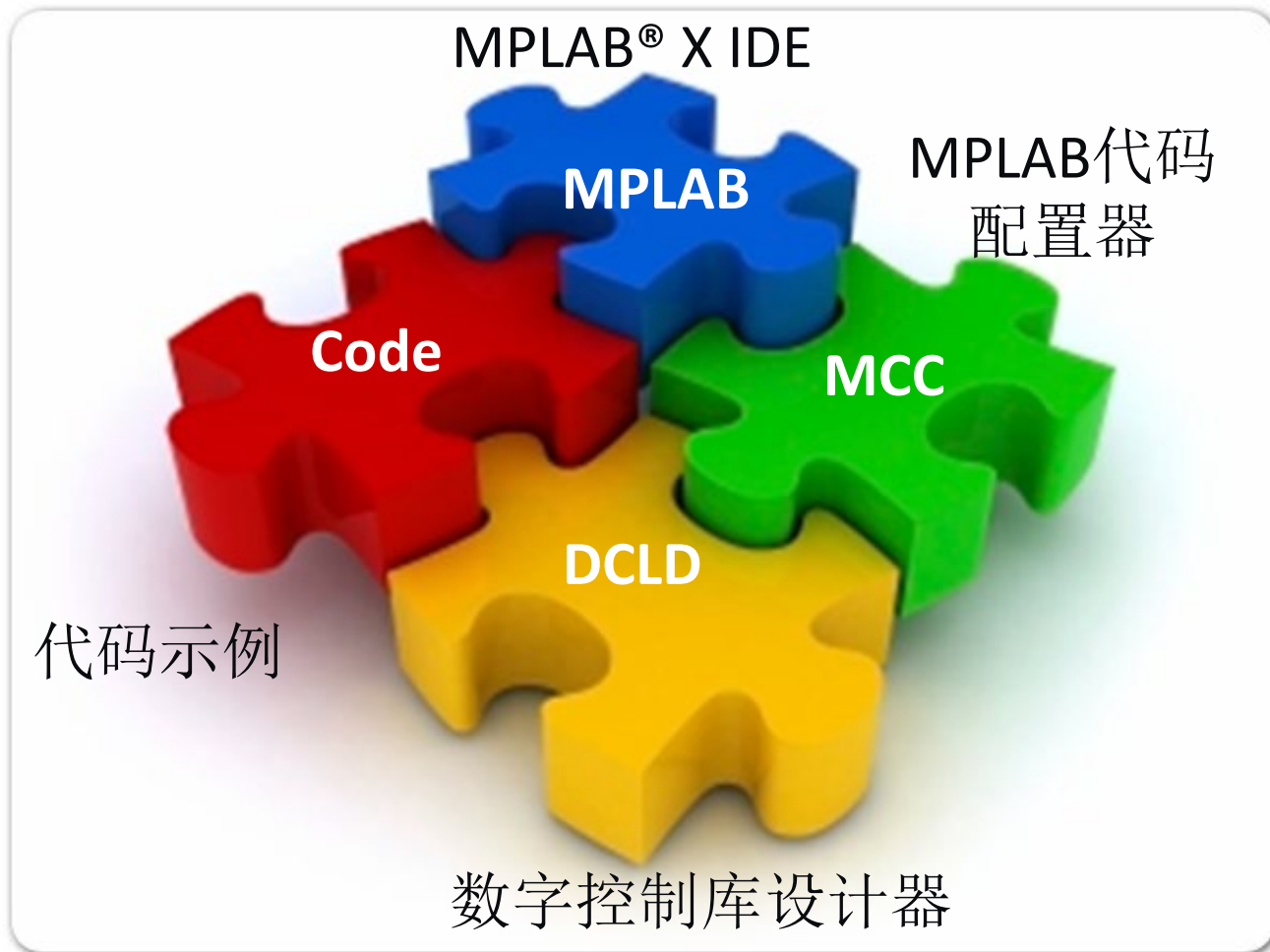


PowerSmart™开发套件

通往获得正常工作电源的捷径



- 创建MPLAB® X项目
- 通过MPLAB代码配置器（MCC）GUI配置器件
- 添加状态机和软启动等示例代码片段
- 通过PowerSmart™数字控制库设计器（DCLD）GUI创建P项环路测量代码
- 测量被控对象的极点和零点
- 利用PowerSmart DCLD创建最终的补偿器汇编代码



dsPIC33基于模型的工具

用于数字电源设计

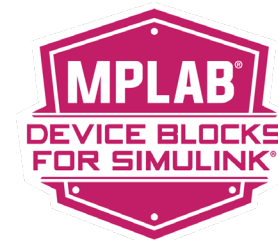
- **PLECS——专用的电力电子仿真平台**

- 电域、磁域和热域
- 时域、频域和谱域分析
- 功能强大的分析工具
- 仿真脚本
- PLECS编码器根据PLECS模块组或PLECS独立模型，生成通用ANSI-C代码



- **MATLAB® / Simulink®**

- 针对Simulink的MPLAB®器件模块
- 库模块可配置外设，并通过嵌入式编码器将代码插入MathWorks生成的代码
- 更全面的dsPIC33电机控制解决方案



谢谢！
