

数字电源控制原理及 XMC数字电源实例

2014英飞凌XMC 微控制器巡回研讨会



数字电源控制原理及XMC数字电源实例

- 数字电源控制
- XMC之于数字电源
- XMC数字电源实例
 - Buck Converter
 - PFC Converter
 - Flyback Converter
 - LLC Converter
- 小结

数字电源控制原理及XMC数字电源实例

■ 数字电源控制

■ XMC之于数字电源

■ XMC数字电源实例

- Buck Converter

- PFC Converter

- Flyback Converter

- LLC Converter

■ 小结

电源技术发展趋势 — 高效、高频、高精度

■ 高效率



80 PLUS 等级	效率(230V)			
负载程度	10%	20%	50%	100%
铜牌	-	81%	85%	81%
银牌	-	85%	89%	85%
金牌	-	88%	92%	88%
白金	-	90%	94%	91%
钛金	90%	94%	96%	91%

数字电源

■ 高频率

□ 开关频率 & 铜

□ 国际铜价在过去十年内上涨了约**5**倍



■ 高精度

■ 服务器电源，通讯电源等

Phoenix DC-DC Quint PS/24DC/24DC

Output: 24VDC +/-1%

Output variance: +/-1% @static load 10-90%

Output variance: +/-2% @dynamic load 10-90%

Output variance: +/-0.1% @input variance +/-10%



数字化控制

ASIC

- 专用性
- 参数配置及优化选项固定，无需修改
- 用量大
- 成本低

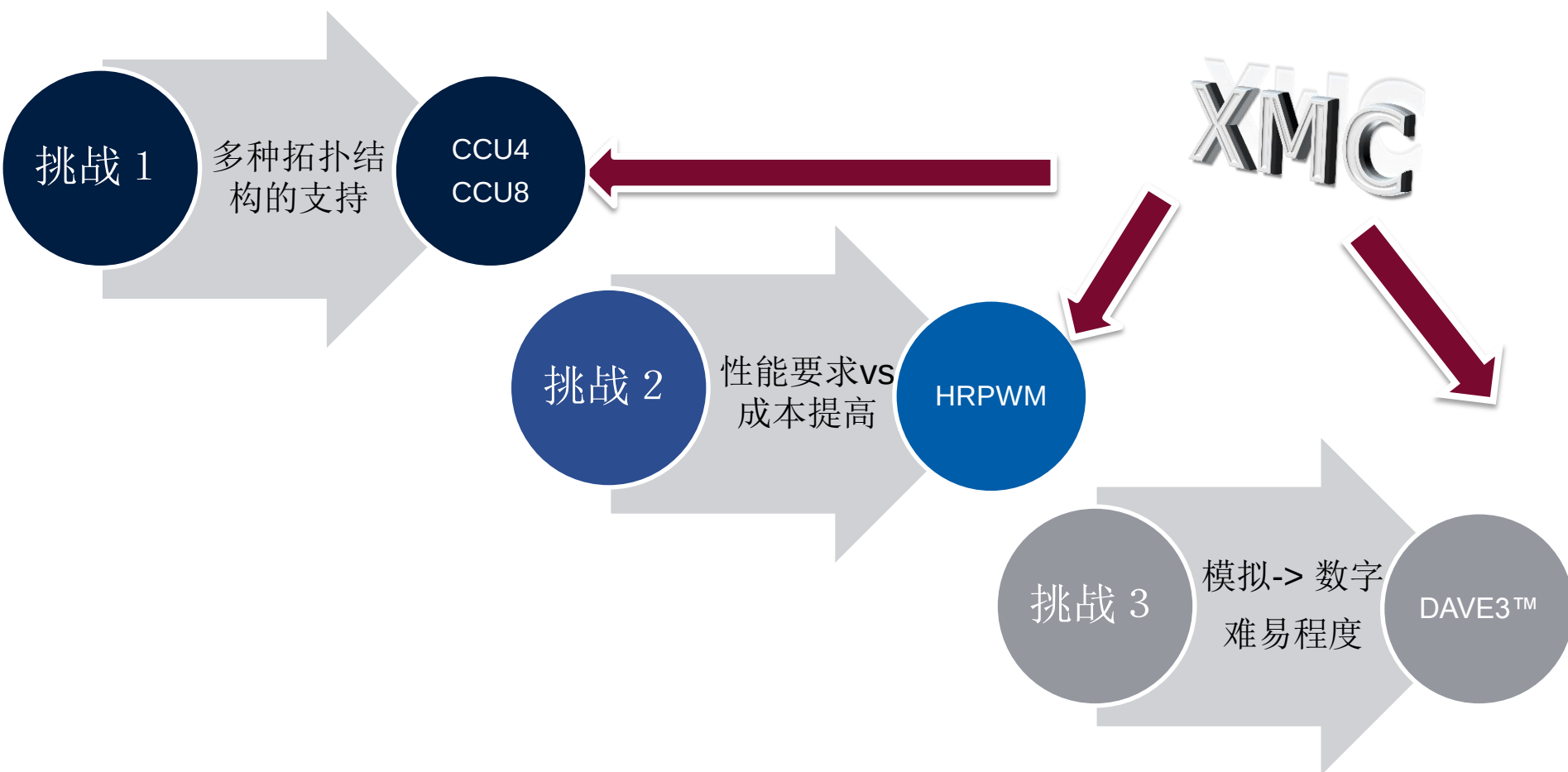


微控制器

- 平台化方式
- 灵活性
- 通讯功能
- 人机交互



数字化控制面临的挑战



数字电源控制原理及XMC数字电源实例

■ 数字电源控制

■ XMC之于数字电源

■ XMC数字电源实例

- Buck Converter

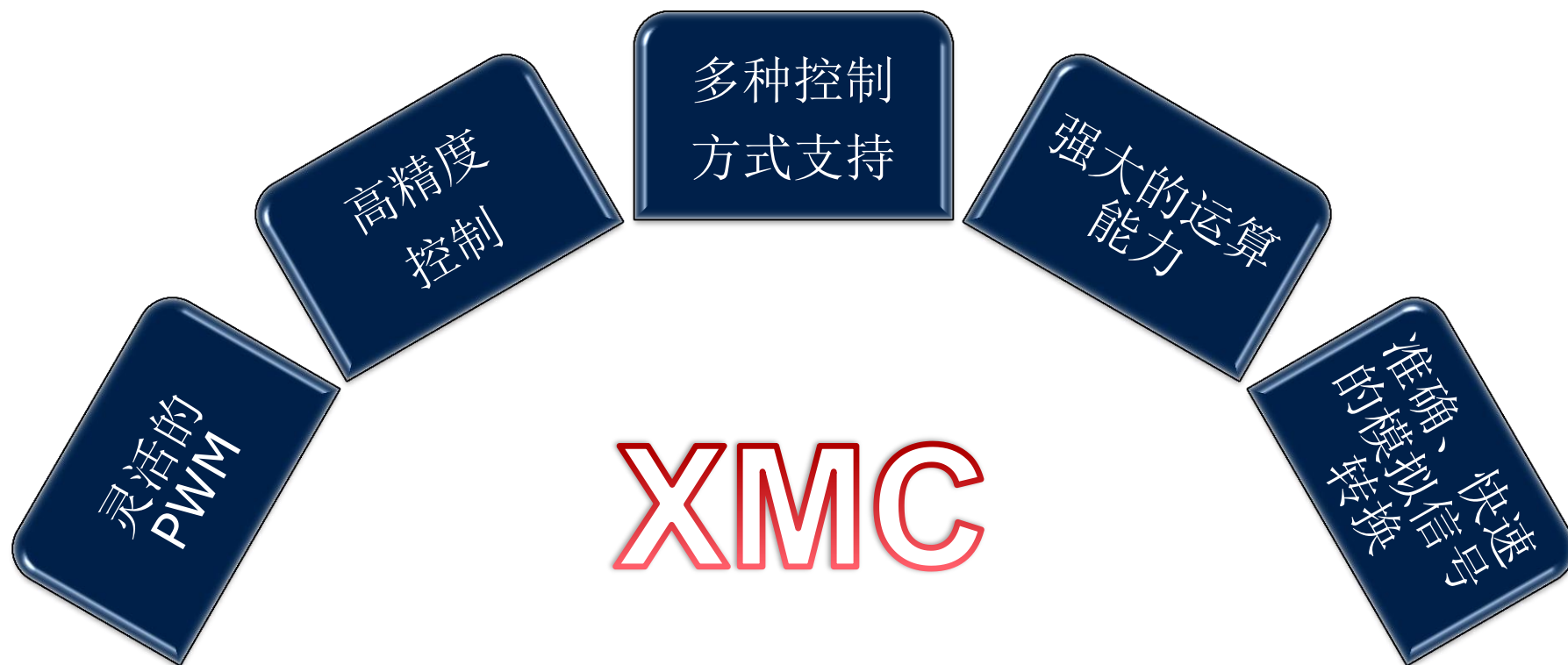
- PFC Converter

- Flyback Converter

- LLC Converter

■ 小结

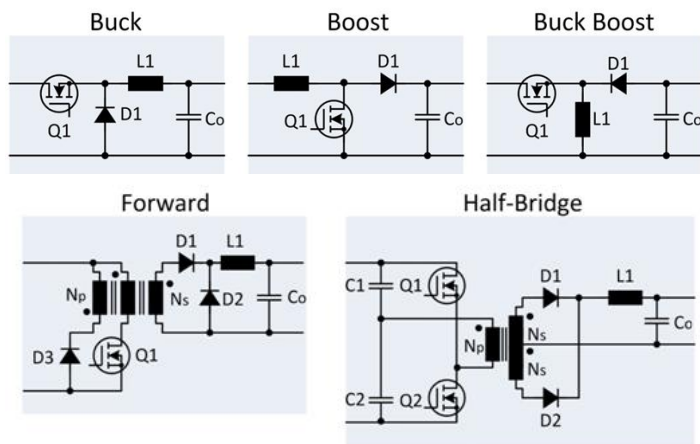
数字电源控制



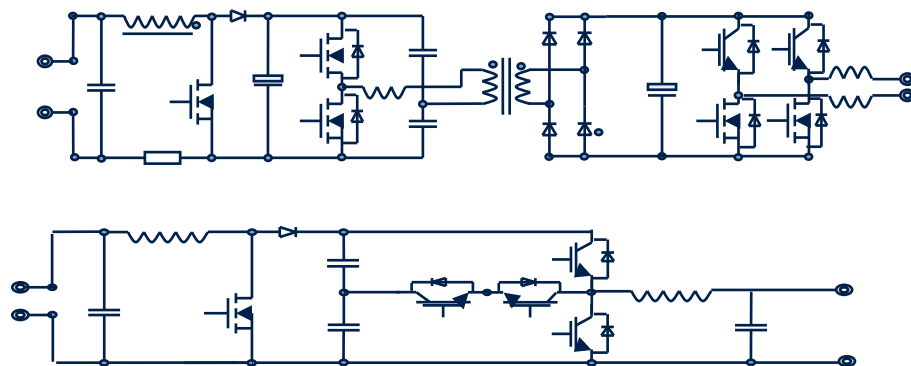
灵活的PWM

拓扑结构及PWM需求

■ 基本拓扑



■ 复杂拓扑



CCU4

SMPS脉冲生成 (周期, 非周期)

多Buck/Boost 逆变器 (独立频率)

三相交错DC/DC 逆变器

ZVS全桥逆变器

峰值电流控制 (Buck逆变器)

外部模拟信号测量

内部、外部信号捕获

CCU4 CCU8

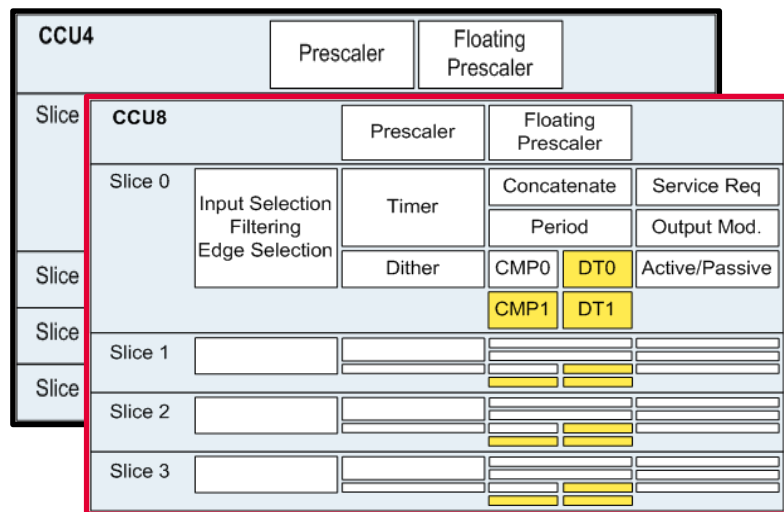
CCU8

三电平逆变器 (光伏逆变器)

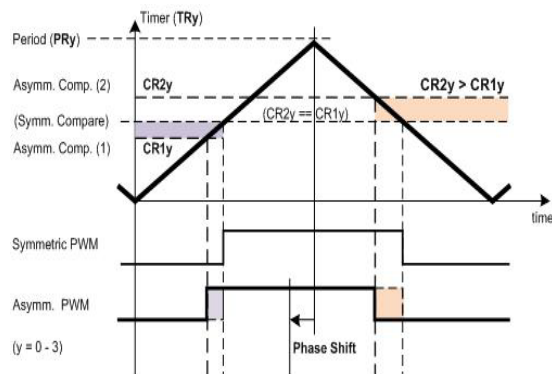
多半桥、全桥逆变器

非对称PWM生成

XMC PWM生成单元 — CCU4/8

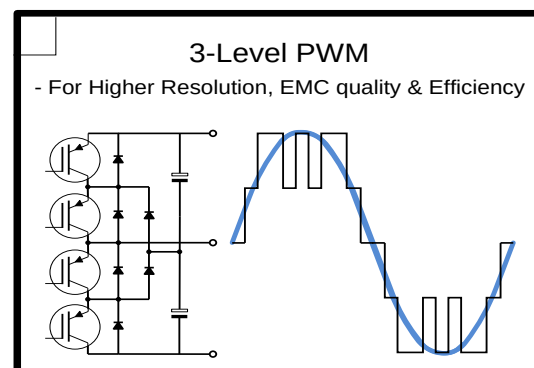


- 灵活的PWM生成
- 丰富的PWM通道
- 灵活的内部配合
- 支持外部控制



DEV_CCU8_14_Compare_Asymmetric_PWM_Center_Aligned.vsd

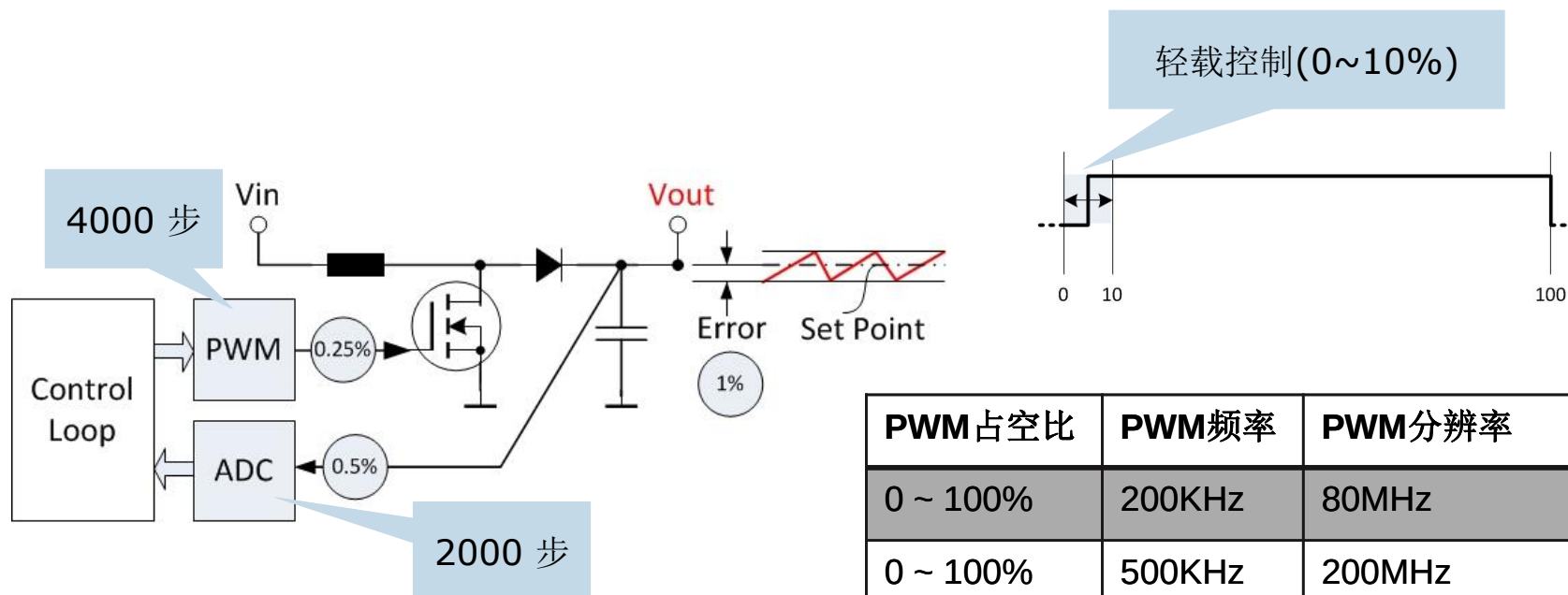
移相控制



三电平控制

高分辨率控制

高分辨率控制



PWM占空比	PWM频率	PWM分辨率
0 ~ 100%	200KHz	80MHz
0 ~ 100%	500KHz	200MHz
0 ~ 100%	1500KHz	600MHz
0 ~ 10%	200KHz	800MHz
0 ~ 10%	500KHz	2000MHz
0 ~ 10%	1500KHz	6000MHz



XMC4200/4100
HRPWM: **150ps** (6.67 GHz)

高分辨率PWM模块(HRPWM)

■ HRPWM 模块集成

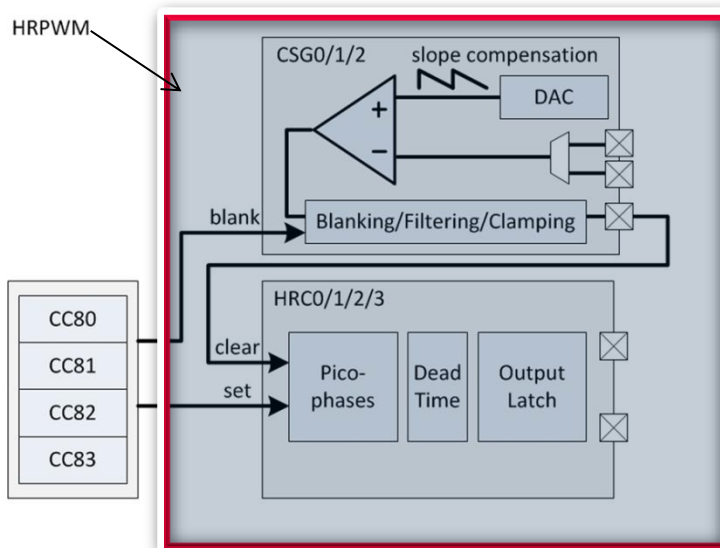
□ 四路HRPWM通道(HRC)

→ 150ps分辨率（周期、占空比）

□ 三个CSG单元

→ 硬件比较器，斜坡补偿生成

□ 支持高频硬件模拟控制



高分辨率PWM效果

普通精度PWM调制

高精度
高稳定性

HRPWM调制

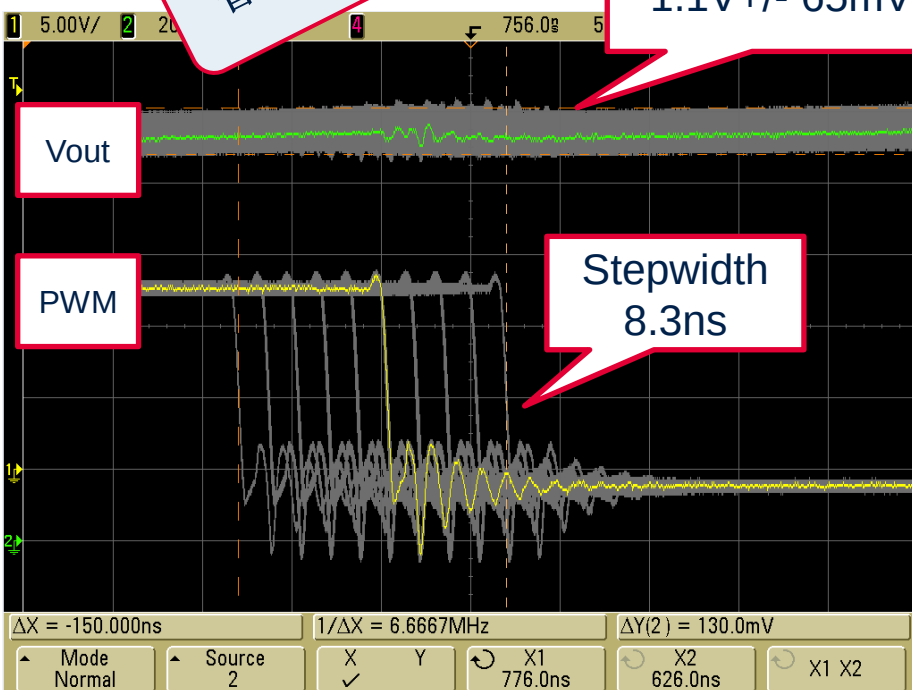
普通PWM

1.1V +/- 65mV

Vout

PWM

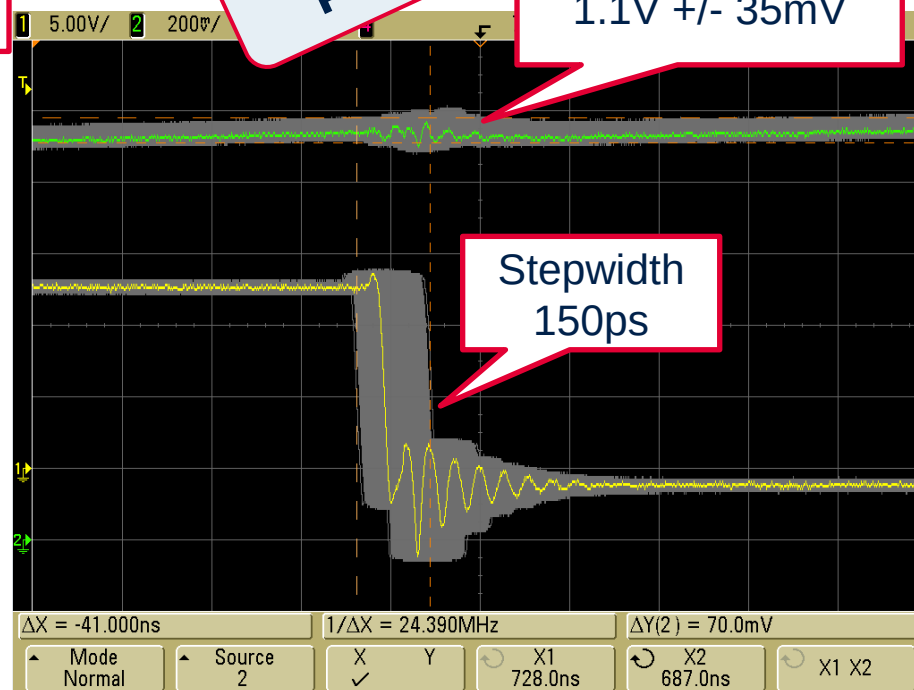
Stepwidth
8.3ns



高分辨率
PWM

1.1V +/- 35mV

Stepwidth
150ps



—Buck变换器，电压模式，XMC4400

多种控制方式支持

数字电源常见控制方式

控制方式	拓扑结构	响应速度	特性
电压模式	Buck, Forward	慢	•非逐周期控制 •反馈量信号幅值大，易采样
电流模式	Boost, Flyback, Push-Pull, Half- and Full-bridge, LLC	快	•逐周期控制 •反馈信号幅值小，需增加放大电路

■ 电压模式控制

- 计算量小，普通微控制器即可实现

➡ **XMC1000/4000**

■ 电流模式控制

- 平均电流模式

└ 逐周期控制，计算量大，CPU负荷高

- 峰值电流控制： 比较器支持+斜坡补偿

➡ **XMC4000**
➡ **XMC1000**

精准、快速的计算



XMC运算能力

■ XMC4000系列

- 32位Cortex-M4内核
- Cache: 程序执行速度(80~120MHz)
- 单精度浮点运算单元FPU
 - 与HRPWM配合提高控制精度

■ XMC1000系列

- 32位Cortex-M0内核
- 32MHz, 16K字节RAM
 - 程序运行速度(32MHz)
- 硬件32位除法及三角运算单元(MATH)

■ ARM CMSIS Lib Support

[CMSIS_V3P00.zip]

- CMSIS
 - Documentation
 - DSP_Lib
 - Examples
 - Source
 - ARM
 - BasicMathFunctions
 - CommonTables
 - ComplexMathFunctions
 - ControllerFunctions
 - FastMathFunctions
 - FilteringFunctions
 - G++
 - GCC
 - MatrixFunctions
 - StatisticsFunctions
 - SupportFunctions
 - TransformFunctions
- Include
 - Lib
 - RTOS
 - SVD
 - Device
 - arm_biquad_cascade_df1_32x64_init_q31.c
 - arm_biquad_cascade_df1_32x64_q31.c
 - arm_biquad_cascade_df1_f32.c
 - arm_biquad_cascade_df1_fast_q15.c
 - arm_biquad_cascade_df1_fast_q31.c
 - arm_biquad_cascade_df1_init_f32.c
 - arm_biquad_cascade_df1_init_q15.c
 - arm_biquad_cascade_df1_init_q31.c
 - arm_biquad_cascade_df1_q15.c
 - arm_biquad_cascade_df1_q31.c
 - arm_biquad_cascade_df2T_f32.c
 - arm_biquad_cascade_df2T_init_f32.c
 - arm_conv_f32.c
 - arm_conv_fast_q15.c
 - arm_conv_fast_q31.c
 - arm_conv_partial_f32.c
 - arm_conv_partial_fast_q15.c
 - arm_conv_partial_fast_q31.c
 - arm_conv_partial_q15.c
 - arm_conv_partial_q31.c
 - arm_conv_q15.c
 - arm_conv_q31.c
 - arm_conv_q7.c
 - arm_correlate_f32.c
 - arm_correlate_fast_q15.c
 - arm_correlate_fast_q31.c
 - arm_correlate_q15.c
 - arm_correlate_q31.c
 - arm_correlate_q7.c
 - arm_fir_decimate_f32.c
 - arm_fir_decimate_fast_q15.c
 - arm_fir_decimate_fast_q31.c
 - arm_fir_decimate_init_f32.c
 - arm_fir_decimate_init_q15.c
 - arm_fir_decimate_init_q31.c
 - arm_fir_decimate_q15.c
 - arm_fir_decimate_q31.c
 - arm_fir_f32.c
 - arm_fir_fast_q15.c
 - arm_fir_fast_q31.c
 - arm_fir_init_f32.c
 - arm_fir_init_q15.c
 - arm_fir_init_q31.c
 - arm_fir_init_q7.c
 - arm_fir_interpolate_f32.c
 - arm_fir_interpolate_init_f32.c
 - arm_fir_interpolate_init_q15.c
 - arm_fir_interpolate_init_q31.c
 - arm_fir_interpolate_q15.c
 - arm_fir_interpolate_q31.c
 - arm_fir_lattice_f32.c
 - arm_fir_lattice_init_f32.c
 - arm_fir_lattice_init_q15.c
 - arm_fir_lattice_init_q31.c
 - arm_fir_lattice_q15.c
 - arm_fir_lattice_q31.c
 - arm_fir_lattice_q7.c
 - arm_lms_f32.c
 - arm_lms_init_f32.c
 - arm_lms_init_q15.c
 - arm_lms_init_q31.c
 - arm_lms_norm_f32.c
 - arm_lms_norm_init_f32.c
 - arm_lms_norm_init_q15.c
 - arm_lms_norm_init_q31.c
 - arm_lms_norm_q15.c
 - arm_lms_norm_q31.c
 - arm_lms_q15.c
 - arm_lms_q31.c

CMSIS DSP Lib 下载地址
<http://www.onarm.com/>

模拟量转换

XMC ADC

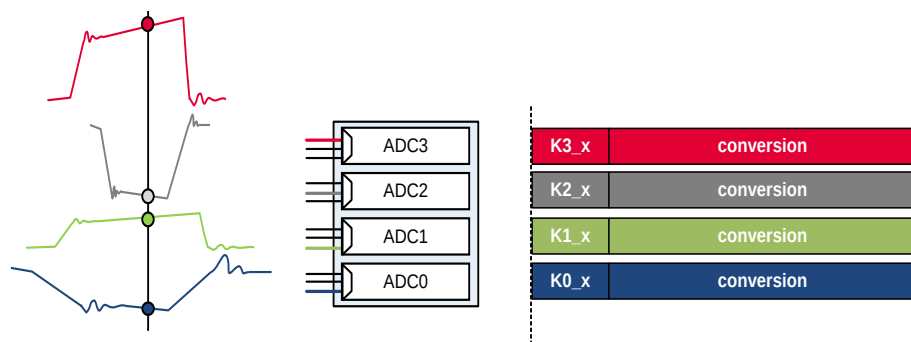
■ 高性能12位ADC

- 快速转换: XMC4000(2MSPS), XMC1000(1.28MSPS)
- 多核 / 双采样保持机制
- 灵活的转换请求方式: 队列、扫描、后台运行
- 硬件事件触发(PWM、外部触发等)
- 灵活的结果处理及滤波: 硬件支持多次平均, FIR, IIR滤波, 边界检测

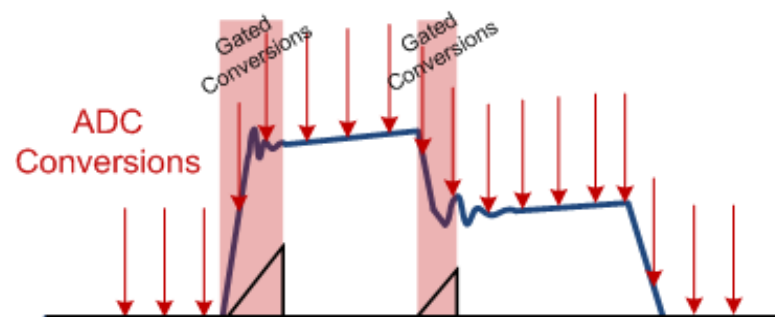
电气参数	XMC4000	XMC1000
内核个数	2~4	1 (双采样保持单元)
转换分辨率	12位	12位
参考电压范围	1.0 ~ 3.65V	1.8~5.5V
采样时间	min. 67ns	Min. 93.7ns
转换时间	min. 483ns @ 12Bit	Min. 562.5ns @ 12Bit

XMC ADC

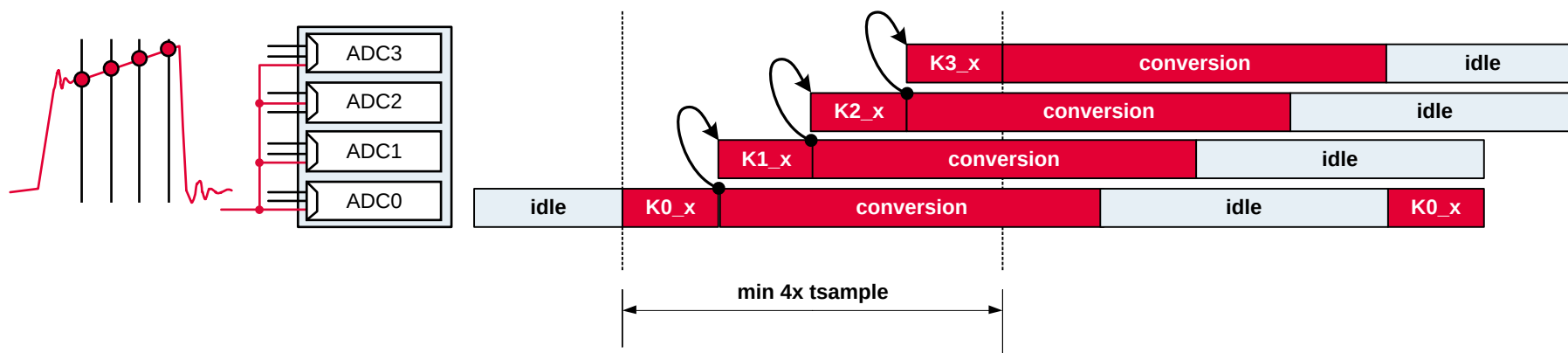
■ 同步采样



■ 灵活的触发、门控机制，可避开干扰准确采样



■ Burst模式连续转换 4 个通道，提高采样率



数字电源控制原理及XMC数字电源实例

■ 数字电源控制

■ XMC之于数字电源

■ XMC数字电源实例

- Buck Converter

- PFC Converter

- Flyback Converter

- LLC Converter

■ 小结

数字电源控制原理及XMC数字电源实例

■ 数字电源控制

■ XMC之于数字电源

■ XMC数字电源实例

□ Buck Converter

□ PFC Converter

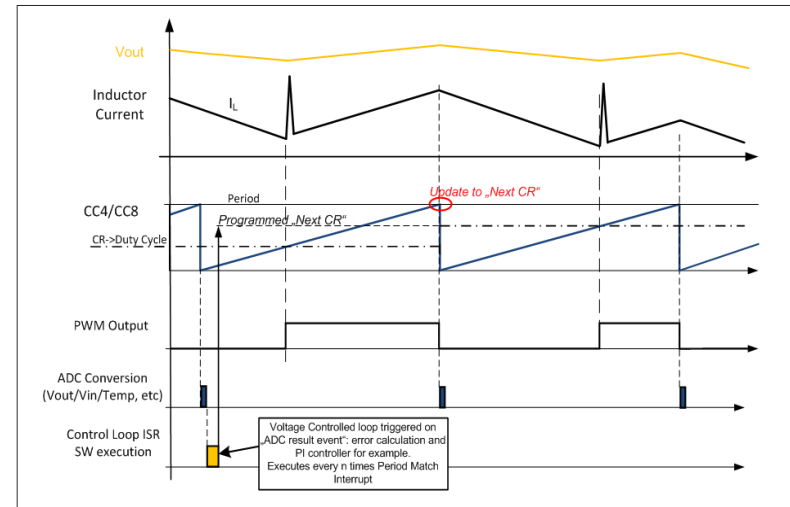
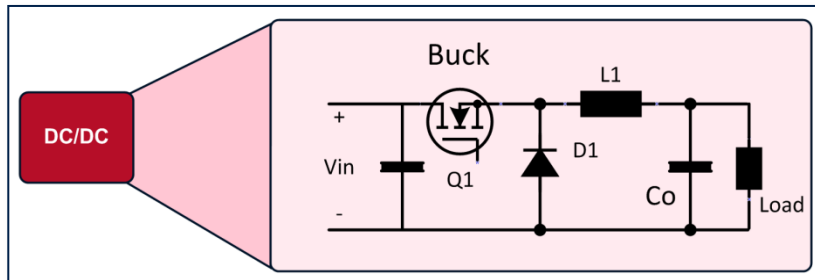
□ Flyback Converter

□ LLC Converter

■ 小结

Buck Converter

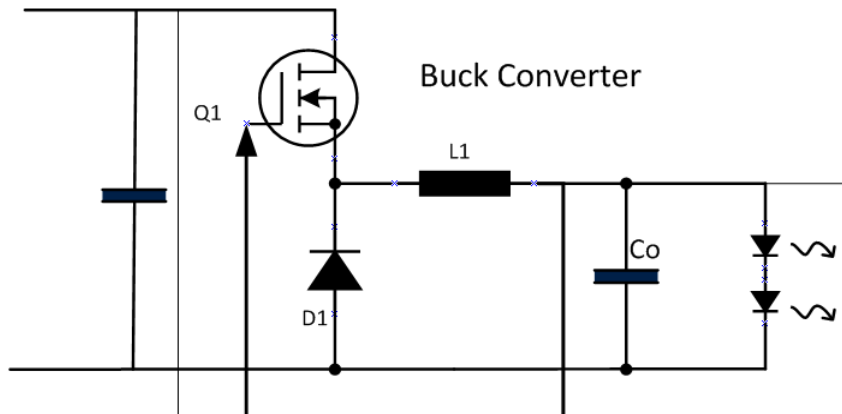
降压: $V_{out} < V_{in}$



■ 控制方式

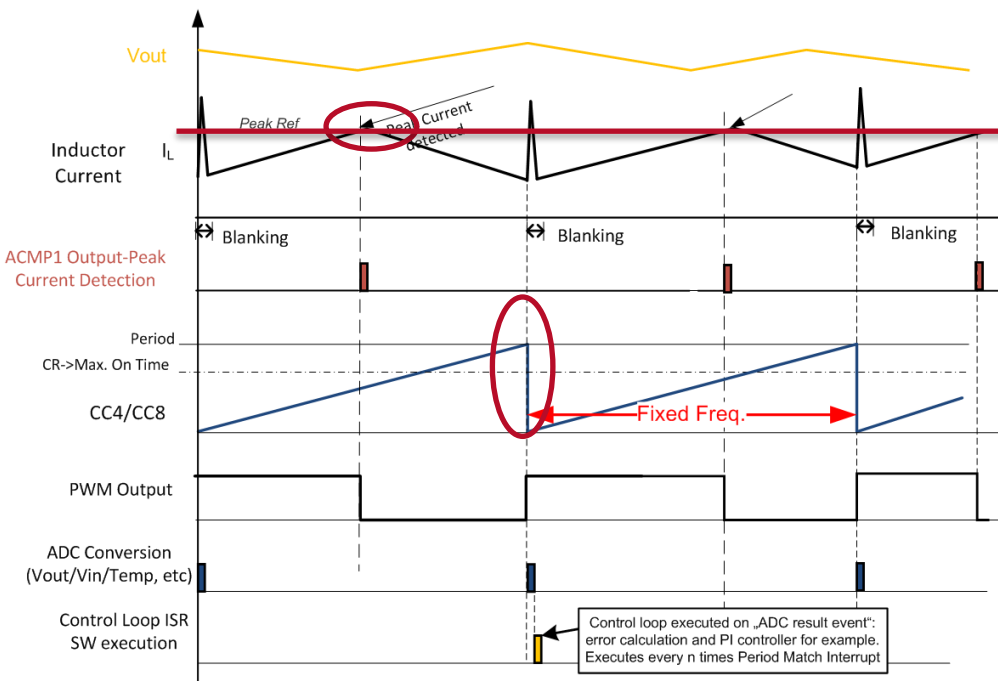
- 电压控制：根据输出电压控制PWM占空比
- 电流控制：检测并控制电流
 - 电流内环，电压外环
 - 峰值电流控制，平均电流控制

Buck Converter — 峰值电流控制



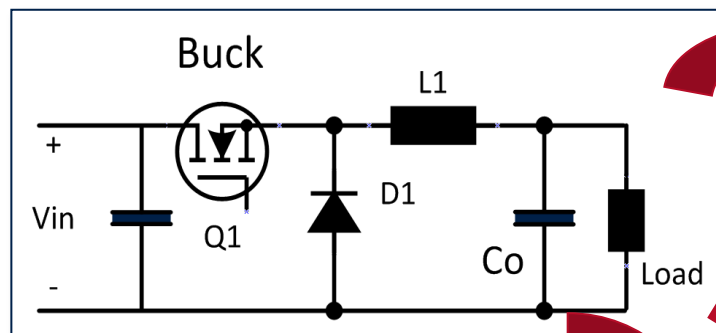
■ 峰值电流控制（定频）

- 利用快速模拟比较器检测峰值电流
当达到比较值时，关闭PWM
- 定时器溢出时重新输出启动PWM
输出（定频）
- 控制环控制峰值电流参考值



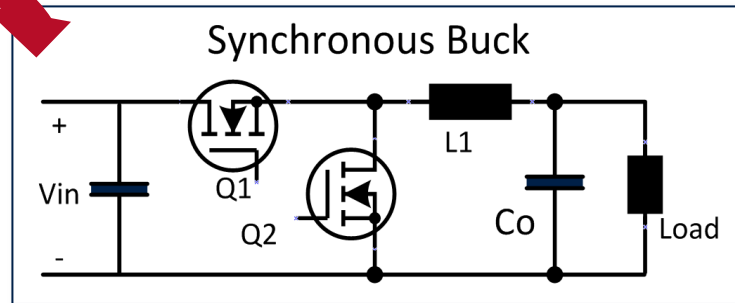
其他Buck变换器

■ 其他形式



减少二极管上的损耗
($P_{Loss} = V_F \times I_{IL}$)

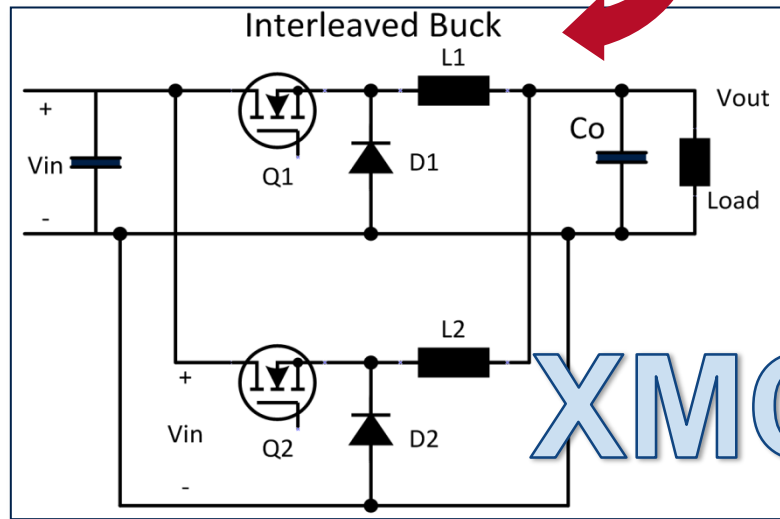
XMC:
使用CCU8的互补PWM (Q2)



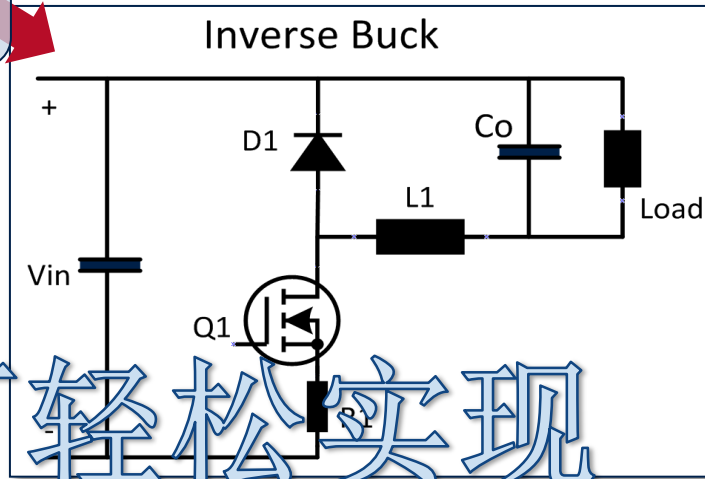
XMC:
180° 移相 PWM (Q2)

减小输出纹波

电流检测容易



XMC:
直接通过A/D或CMP检测R1上的电流IL



XMC均可轻松实现

数字电源控制原理及XMC数字电源实例

■ 数字电源控制

■ XMC之于数字电源

■ XMC数字电源实例

- Buck Converter

- PFC Converter

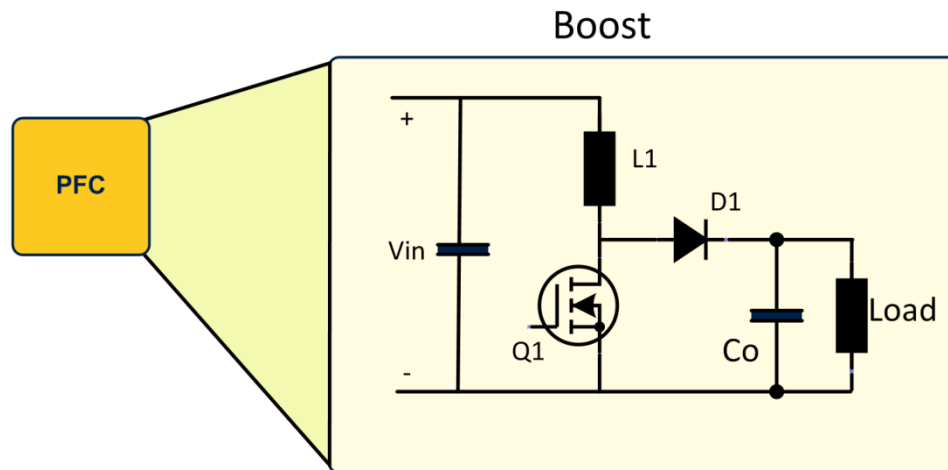
- Flyback Converter

- LLC Converter

■ 小结

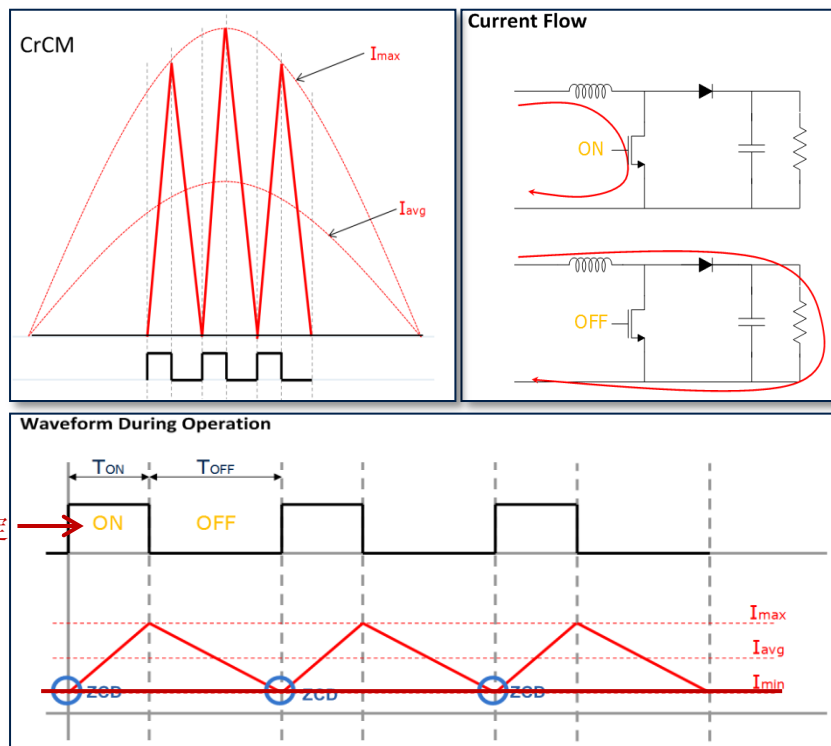
功率因素校正 — PFC

升压: $V_{out} > V_{in}$



功率因素校正 — PFC

■ 临界电流连续模式(CrCM)



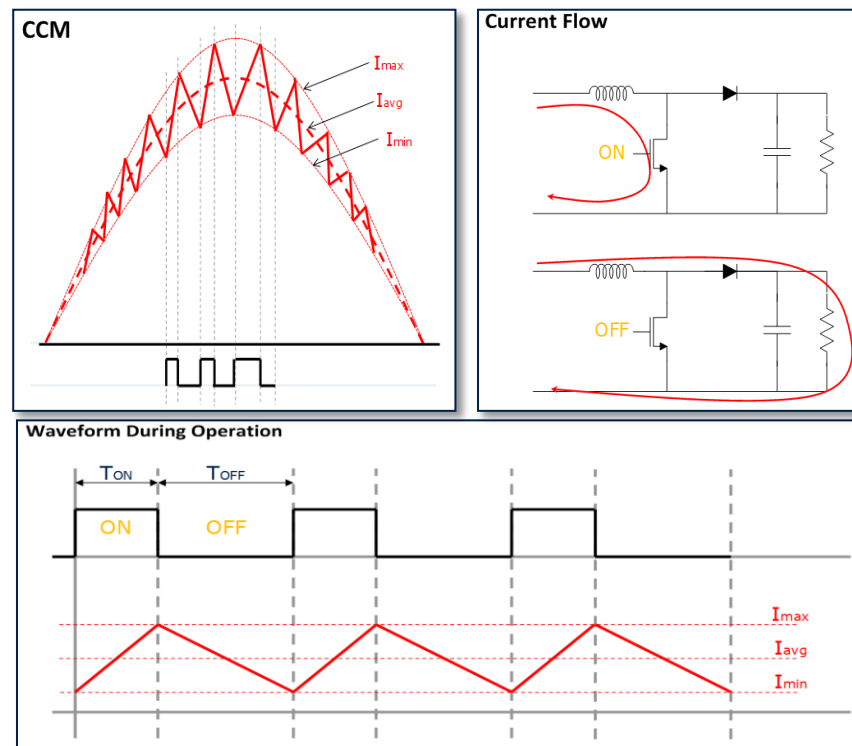
检测电流过零点 (ZCD)

恒定开通时间控制

实现容易, 适用于中小功率应用

■ 电流连续模式 (CCM)

■ 平均电流控制

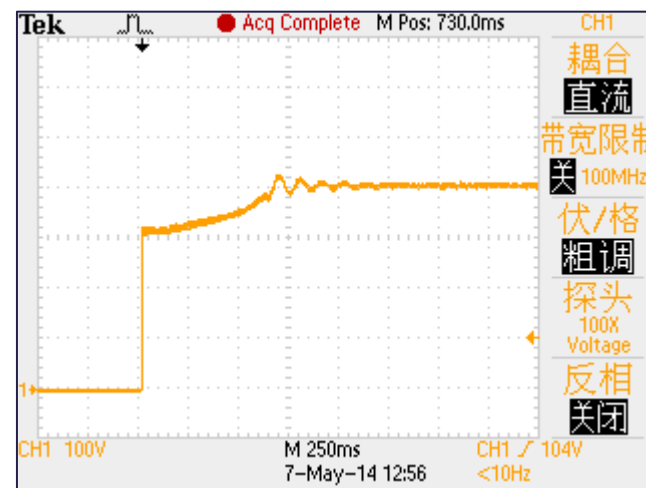
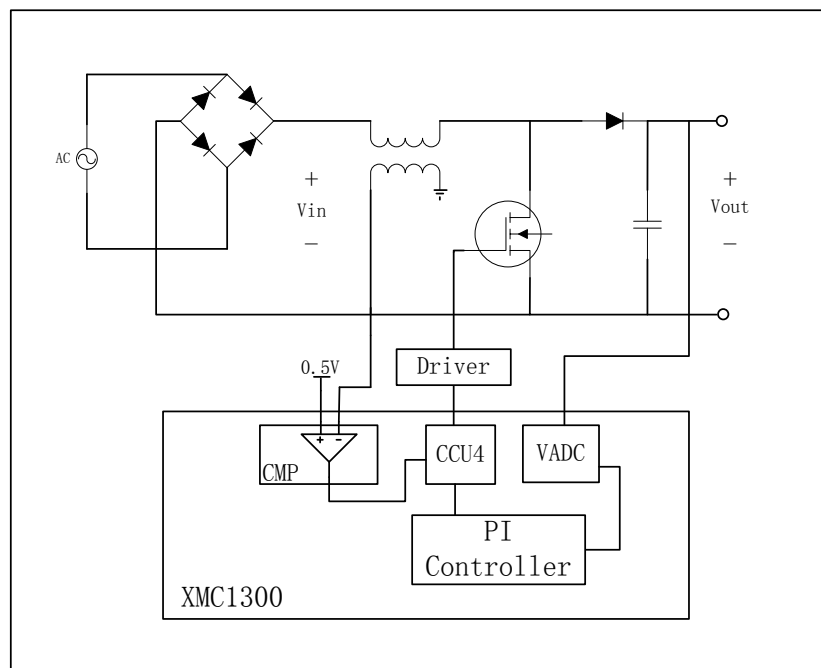


实时电流控制

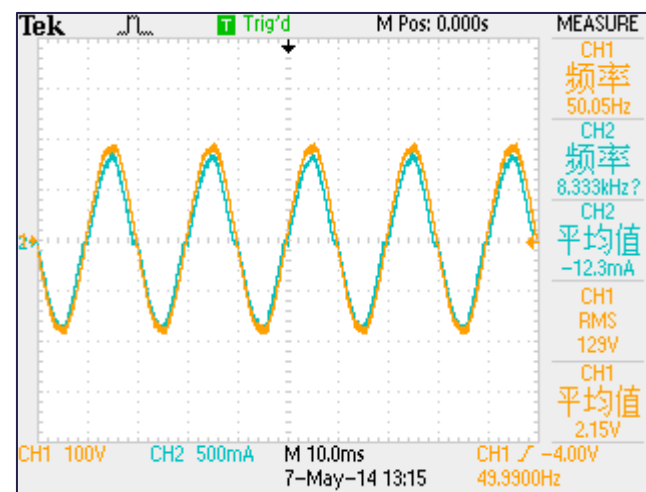
电流连续、谐波小

适合于中大功率应用

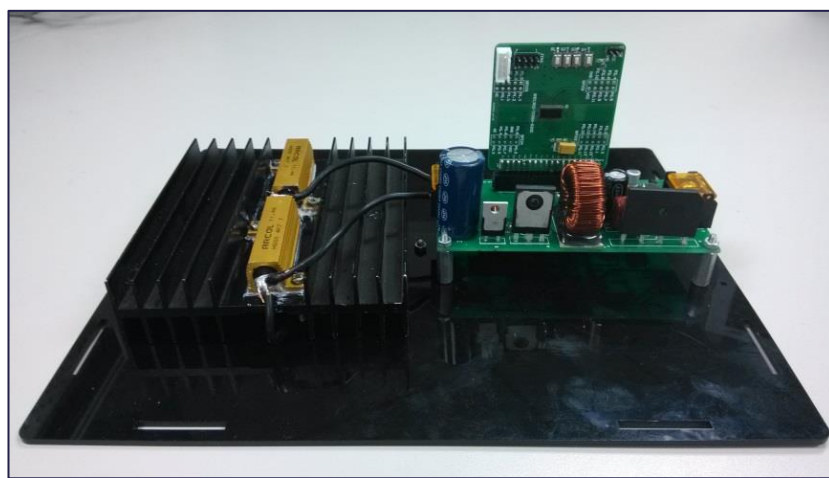
XMC13 CrCM PFC 参考设计



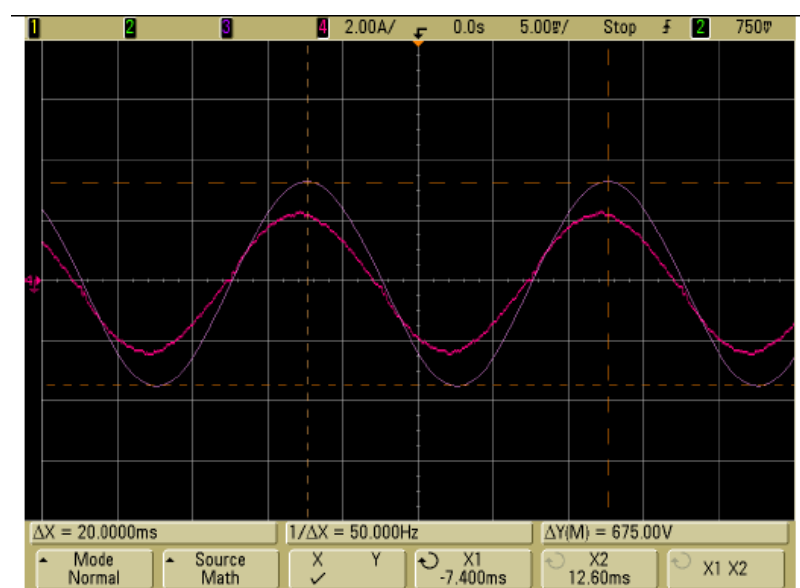
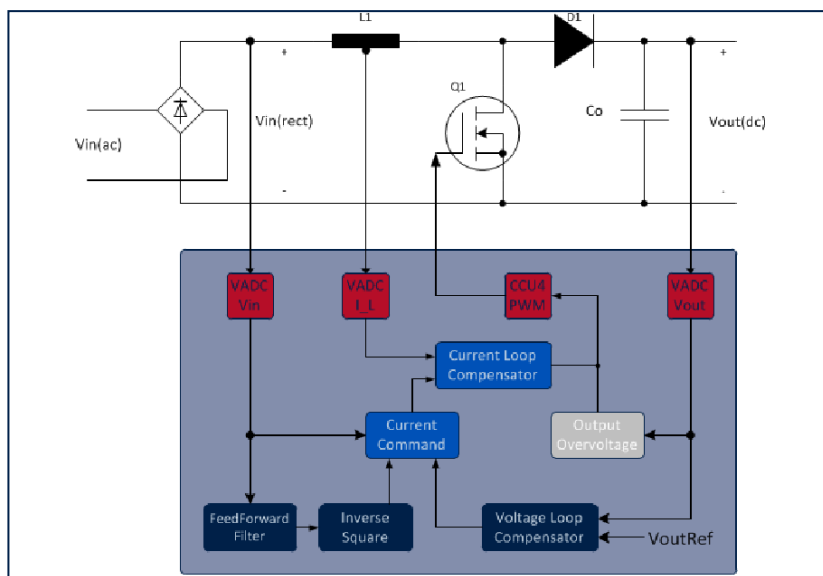
输出电压—软启动



电流vs电压



XMC4000 CCM PFC 参考设计



电流 VS 电压

Table 4 Power Factor and THD at high line (230Vac) and 50Hz mains frequency

Vin (V)	Load									
	10%		20%		50%		75%		100%	
	PF	THD (%)	PF	THD (%)	PF	THD (%)	PF	THD (%)	PF	THD (%)
200	0.92	32.6	0.91	30.0	0.99	13.6	1.00	6.6	1.00	4.9
220	0.48	32.8	0.93	31.0	0.98	16.6	0.99	9.5	1.00	5.3
230	0.40	32.1	0.93	33.0	0.98	16.7	0.99	10.3	1.00	5.5
240	0.60	32.6	0.93	34.6	0.98	20.5	0.99	10.2	1.00	6.3

[Application Guide - XMC4000 - Digital Power Factor Correction \(PFC\) using XMC4400](#)

数字电源控制原理及XMC数字电源实例

■ 数字电源控制

■ XMC之于数字电源

■ XMC数字电源实例

- Buck Converter

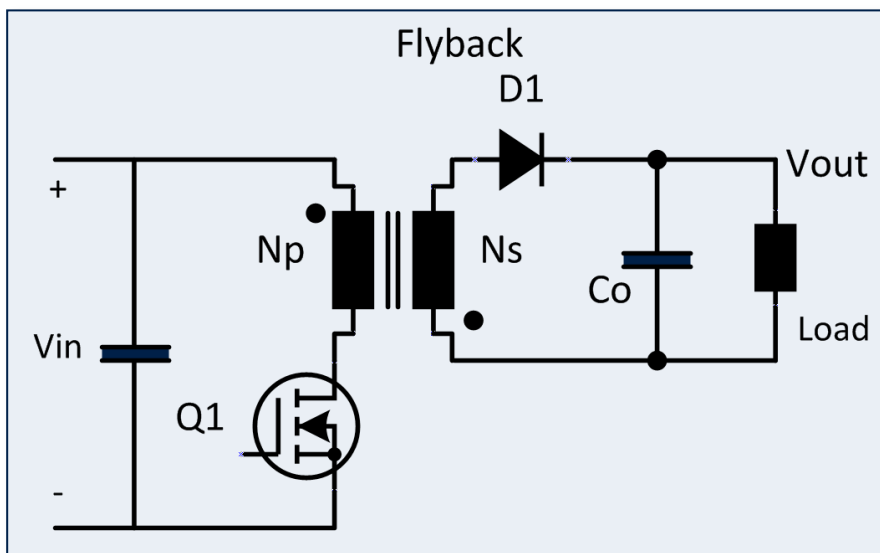
- PFC Converter

- Flyback Converter**

- LLC Converter

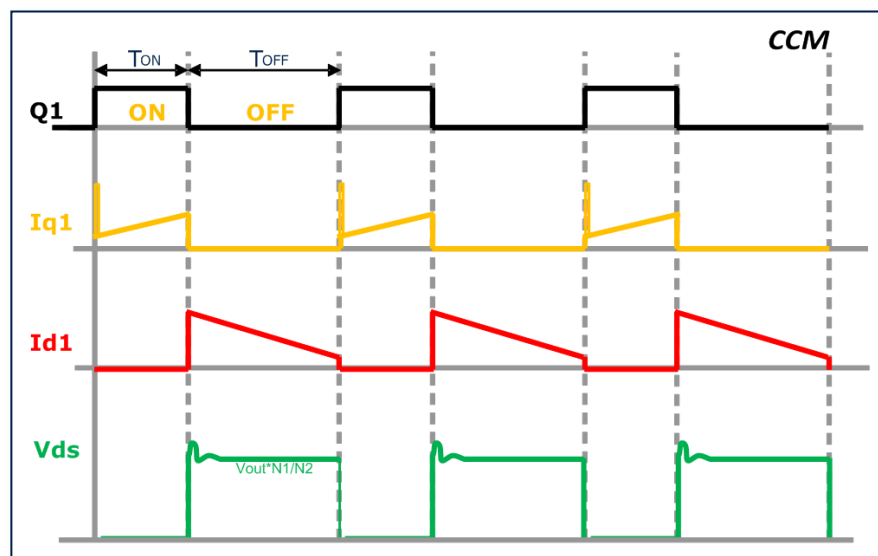
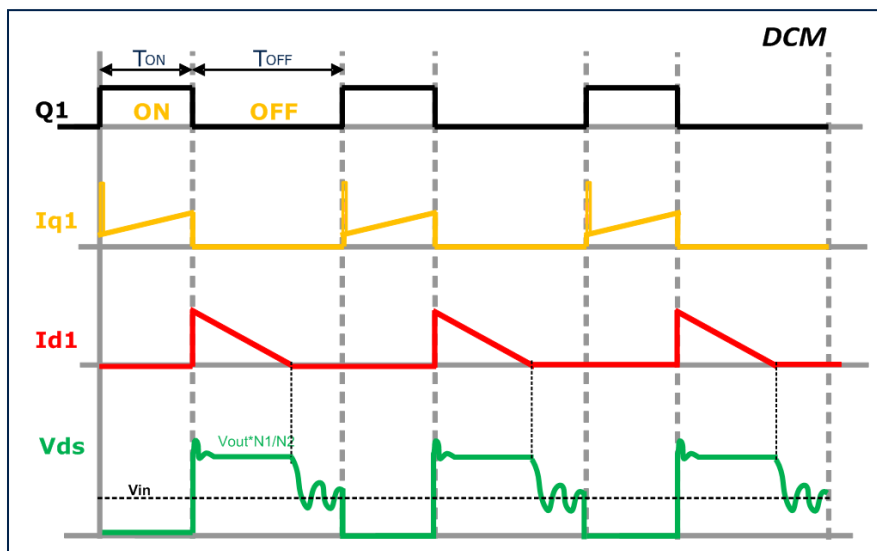
■ 小结

Flyback Converter — 工作模式

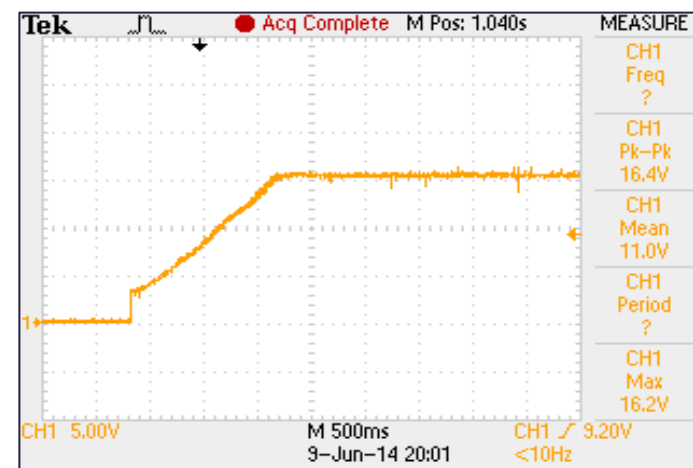
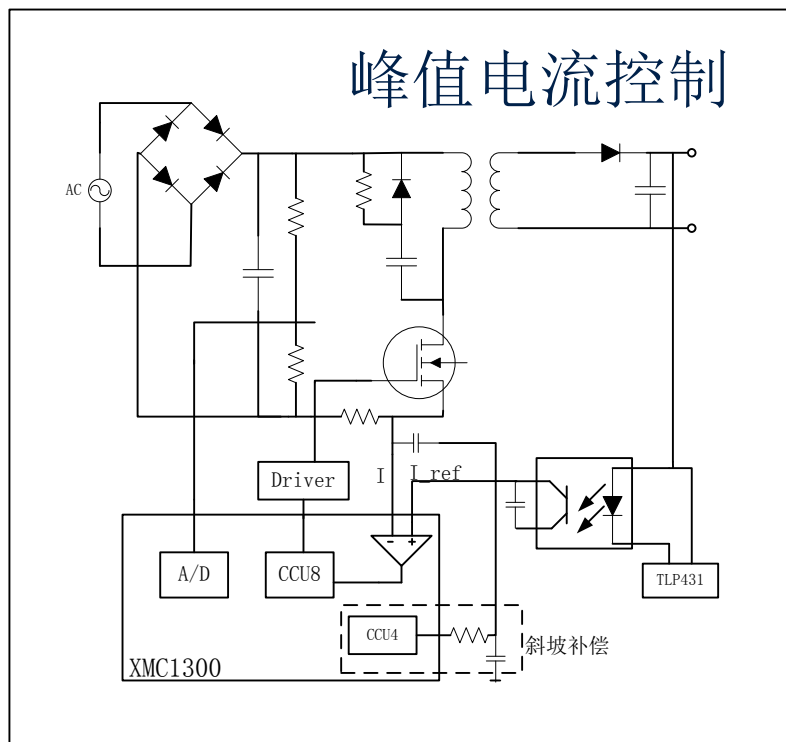


■ 工作方式

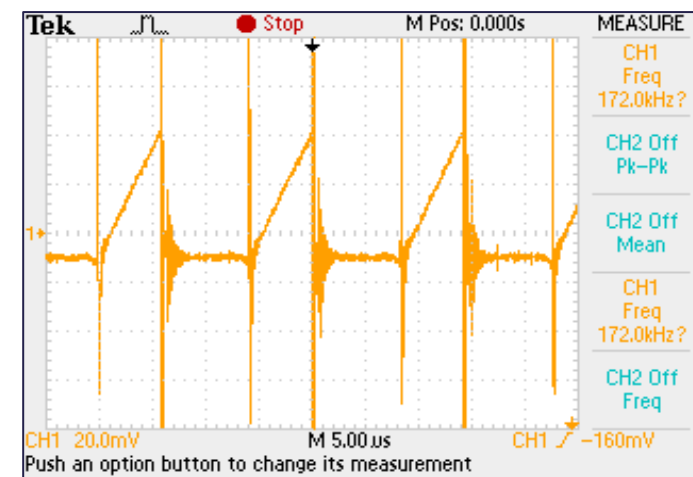
- CCM – 连续模式
- DCM – 断续模式
- 准谐振 Quasi-resonant



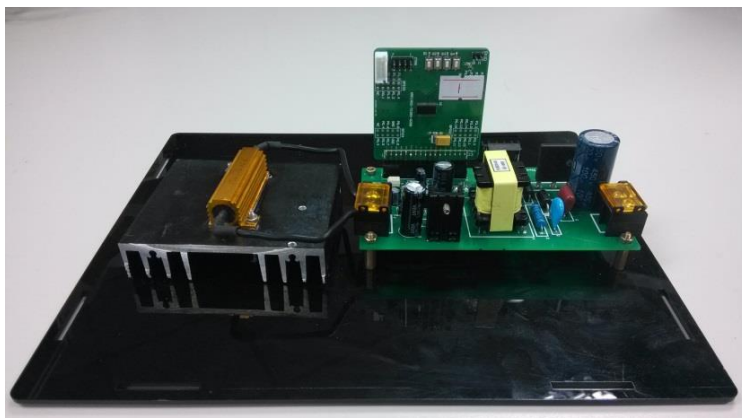
XMC13 Flyback变换器参考设计



输出电压—软启动



MOSFET电流



数字电源控制原理及XMC数字电源实例

■ 数字电源控制

■ XMC之于数字电源

■ XMC数字电源实例

- Buck Converter

- PFC Converter

- Flyback Converter

- LLC Converter

■ 小结

LLC Converter

■ 当前电源应用中最流行的高压**DC/DC**拓扑结构

□ LED电源, 服务器电源, 通讯电源

■ 极高的效率 (高于 98%!!)

■ LLC拓扑

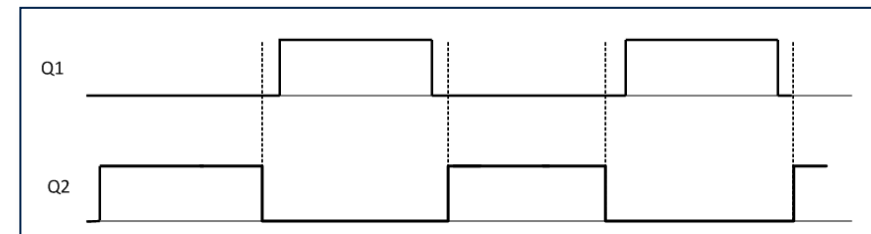
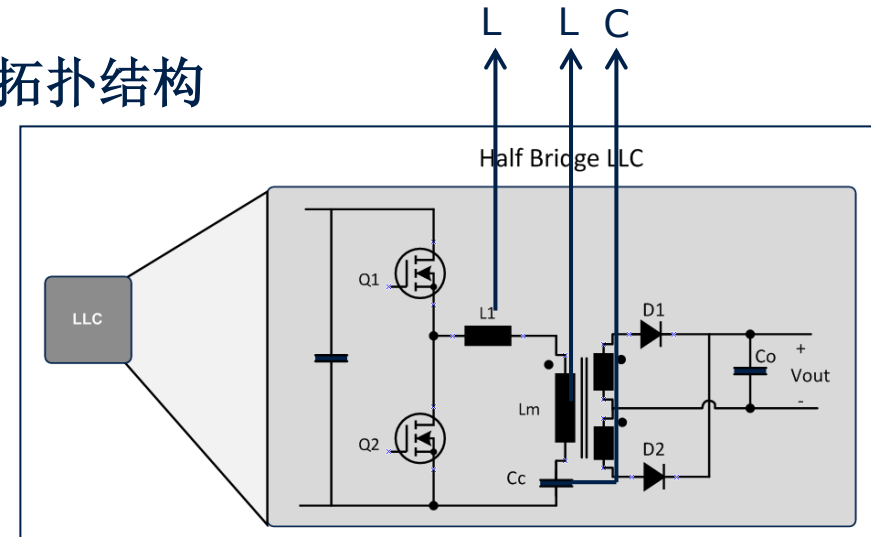
□ 半桥结构

□ 固定占空比: 50%

□ 控制开关频率以控制功率

□ 副边同步整流

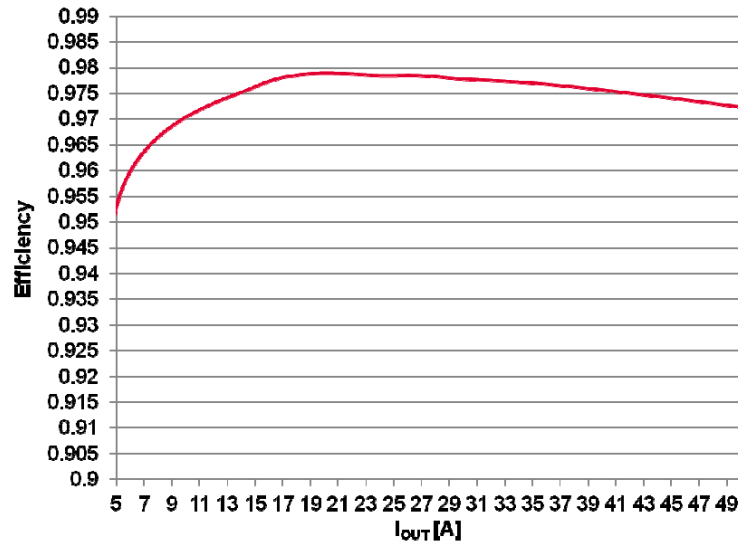
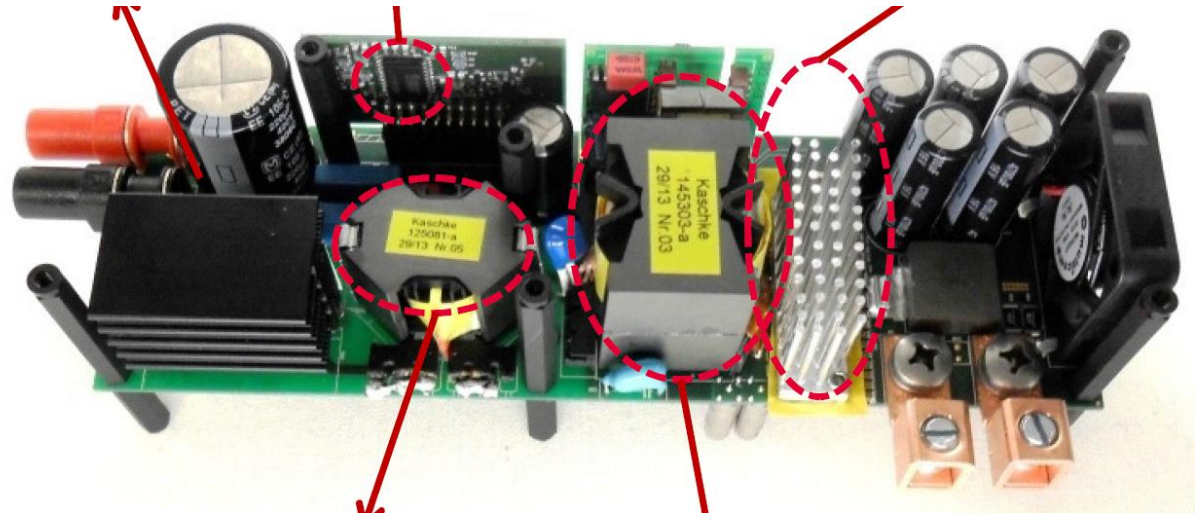
— 进一步提高效率



预计将来80%的
高效率, 高功率应用会使用LLC

LLC Converter

■ XMC42 LLC 参考设计



XMC1300参考设计
正在准备中

数字电源控制原理及XMC数字电源实例

■ 数字电源控制

■ XMC之于数字电源

■ XMC数字电源实例

- Buck Converter

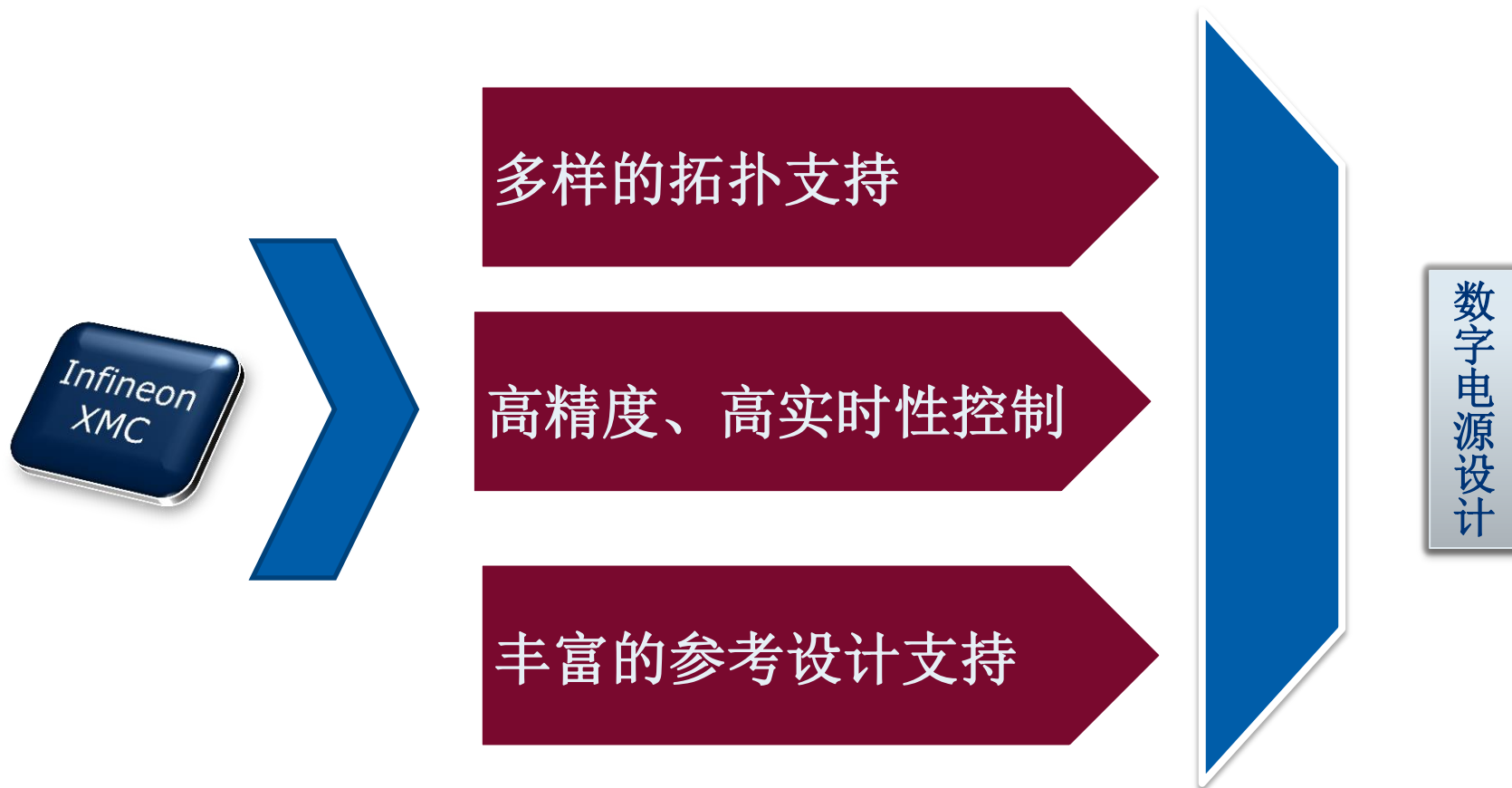
- PFC Converter

- Flyback Converter

- LLC Converter

■ 小结

数字电源控制原理及XMC数字电源实例



一颗“芯”，无限域 — XMC



One Platform, countless solutions