

# FPGA 大电流电源的恒定导通时间(COT) 控制

2025

Monolithic Power Systems, Inc.



# 公司简介

MPS — 全球基于芯片技术的电源解决方案公司

运营总部 — 成都, 中国

## 创立时间

# 1997

硅谷, 2004年上市

NASDAQ: MPWR

S&P 500

## 员工

# 3,600+

全球

## 营收

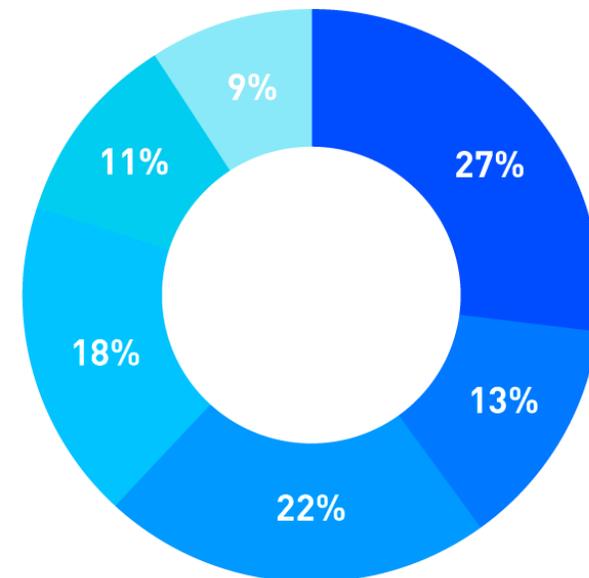
# \$1.8B

2023年 (相比2022年增长1.5%)

## 产品

# 4,000+

涉及云计算、汽车、工业和消费类电子等领域等多个领域



- Storage and Computing
- Consumer
- Automotive
- Enterprise Data
- Communications
- Industrial/Other



# 全球布局



柯克兰, 美国



圣何塞, 美国



底特律, 美国



Enschede, Netherlands



埃滕海姆, 德国



成都, 中国



# 产品系列

## AC/DC 功率转换

- 高压降压 (Buck) 调节器
- 高压 LDO
- 反激控制器
- 反激同步整流器
- 有源 PFC 控制器
- LLC 谐振转换控制器
- LLC 同步整流器
- PFC & LLC 组合控制器
- X 电容泄放器

## 显示器背光电源

- 背光驱动
- 电致发光驱动
- 闪光灯驱动
- LCD 电源

## AI & 计算电源

- CPU & GPU 核心供电
- 大电流 DrMOS
  - 90A DrMOS, 采用 4mmx6mm 封装
- 60A POL 模块, 采用 6mmx6mm 封装
- 60V 中转母线变换器模块
- Z-轴多相供电模块

## DC/DC 功率转换

- 升压 (Boost)
- 降压 (Buck)
- 升降压 (Buck-Boost)
- PMIC
- 以太网供电 (POE)
  - 供电设备 (PSE)
  - 受电设备

## 功率磁性元器件

- 一体成型电感
- 半屏蔽电感

## 电熔丝, USB & 负载开关

- 可编程电流限高达 50A
- 可调节转换速率
- 反向电流阻断功能
- 输出放电功能 (负载开关)
- 集成自动检测功能
- 引脚可兼容
- 可并联10台设备
- 支持数字接口命令和控制
- 支持 USB-C 和 USB-D

## 电机驱动、位置&电流传感器

- 直流无刷电机驱动
- 步进电机驱动
- 直流有刷电机/电磁阀驱动器
- 半桥/全桥/三相功率级
- 磁性角度位置传感器
- 电流传感器, 5A-50A 隔离电流采样

## 汽车(AEC-Q100) & 工业

- DC/DC
- LED 照明
- 电源模块
- 电机驱动
- 角度位置和3D位置传感器
- USB 充电
- 无线充
- 显示器背光电源
- 精密模拟
- ADAS 核心电源
- 监控器
- 负载开关
- 隔离式电流传感器, 50A至400A
- Class-D音频
- 电熔丝, 高边开关

## 电池管理

- 电池监控 & 保护芯片
- 电量计
- 主动均衡
- 开关充电芯片: 降压 (Buck)、升压 (Boost)、升降压 (Buck-Boost)
- 线性充电芯片

## D 类音频

- 数字控制器和处理器
- 模拟输入 D 类音频放大器
- PWM 输入功率级

## 隔离电源

- 隔离栅极驱动
- 隔离电源模块
- 集成电源的数字隔离器
- 数字隔离器
- 集成电流传感器, 50A至400A
- 图腾柱 PFC/LLC 控制器

## 电源模块

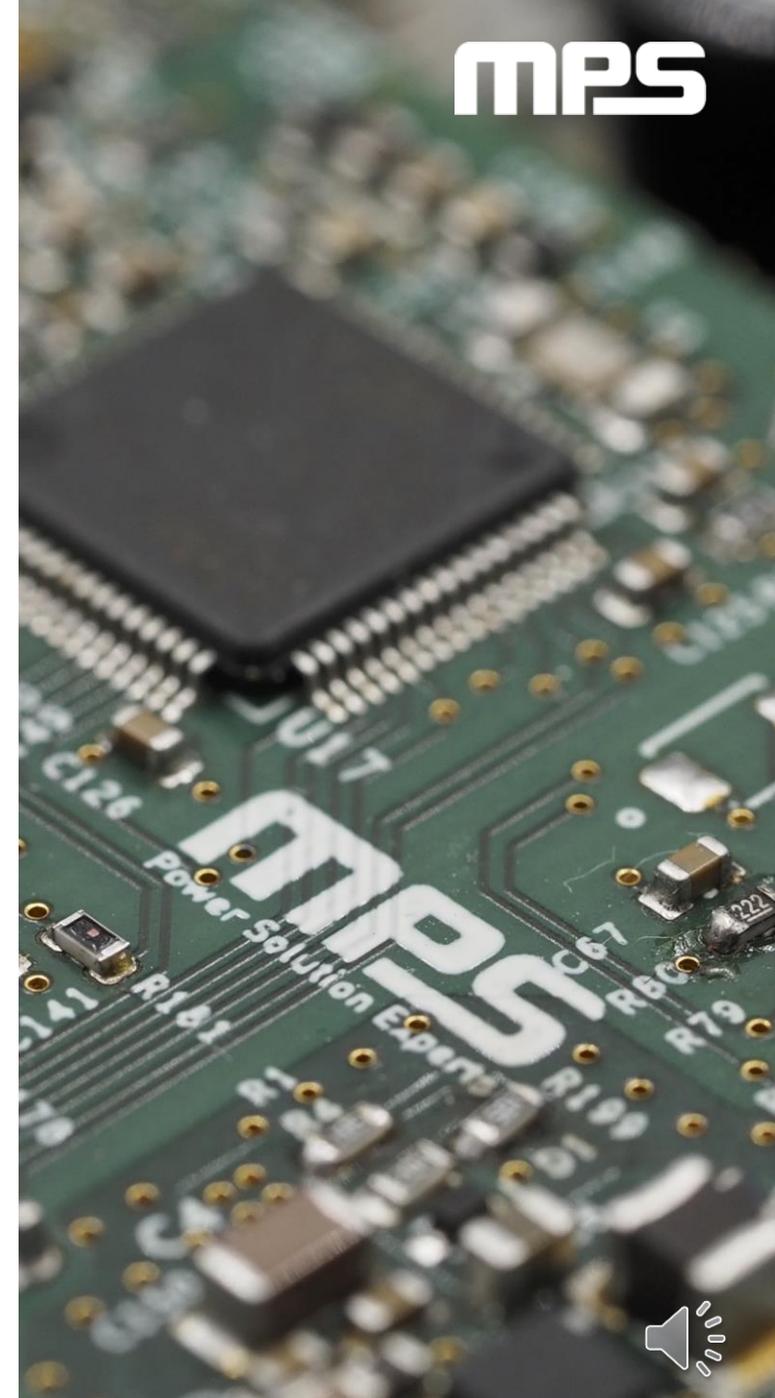
- 6V, 600mA 至 100A
- 16V, 600mA 至 1000A+
- 36V, 600mA 至 24A
- 55V, 1A 至 3A
- 80V, 600mA

## LED 照明

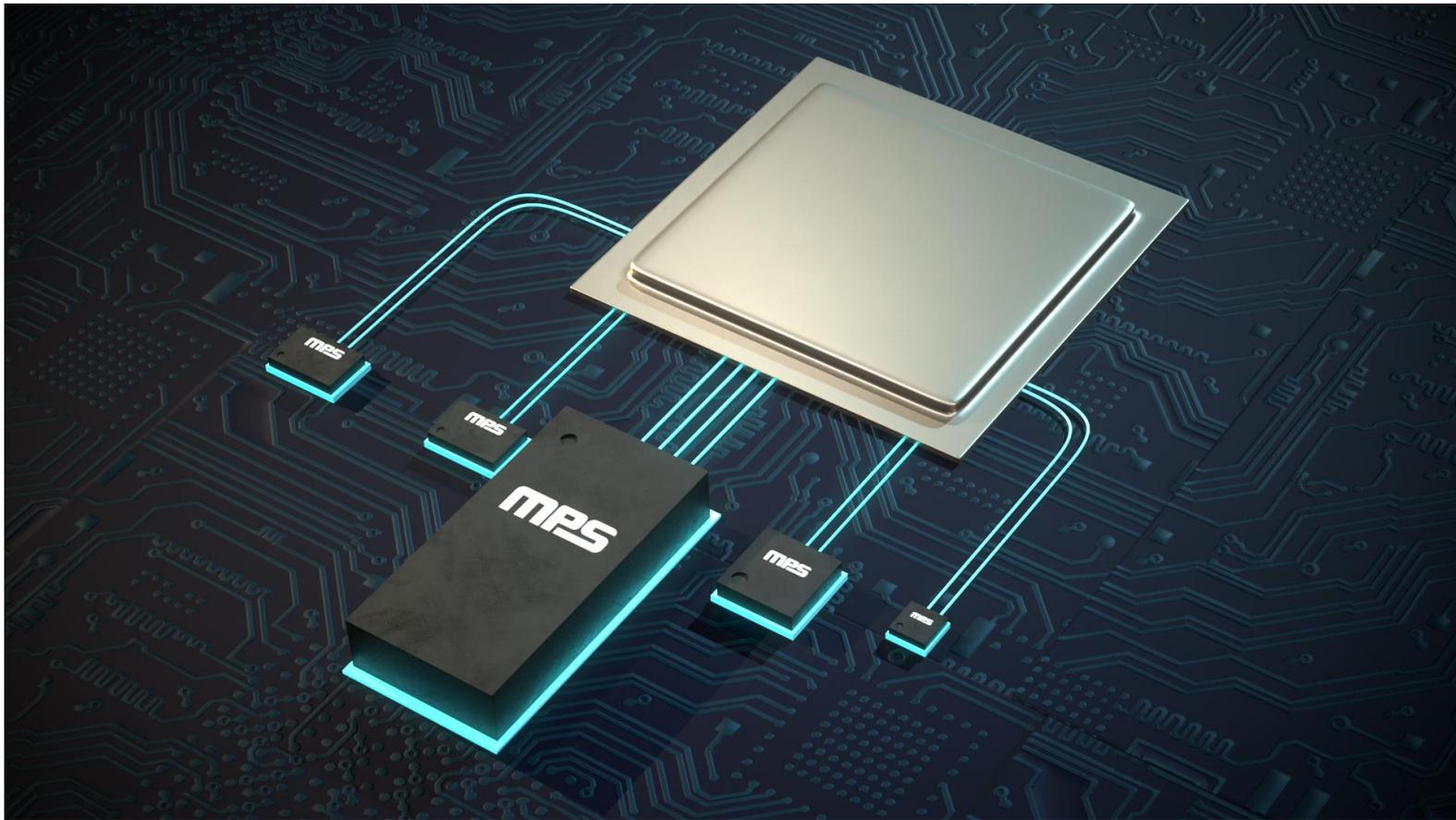
- TRIAC 可调光 AC/DC LED 控制器
- PWM 和模拟可调光 AC/DC LED 控制器
- DC/DC LED 控制器: 降压 (Buck)、升压 (Boost) 和升降压 (Buck-Boost)
- LED 防护 IC
- IR LED 驱动器

## 精密模拟

- 模数转换器 (ADC)
- 模拟开关
- 电流采样放大器
- 运算放大器
- 电压基准



# FPGA/SoC 电源要求



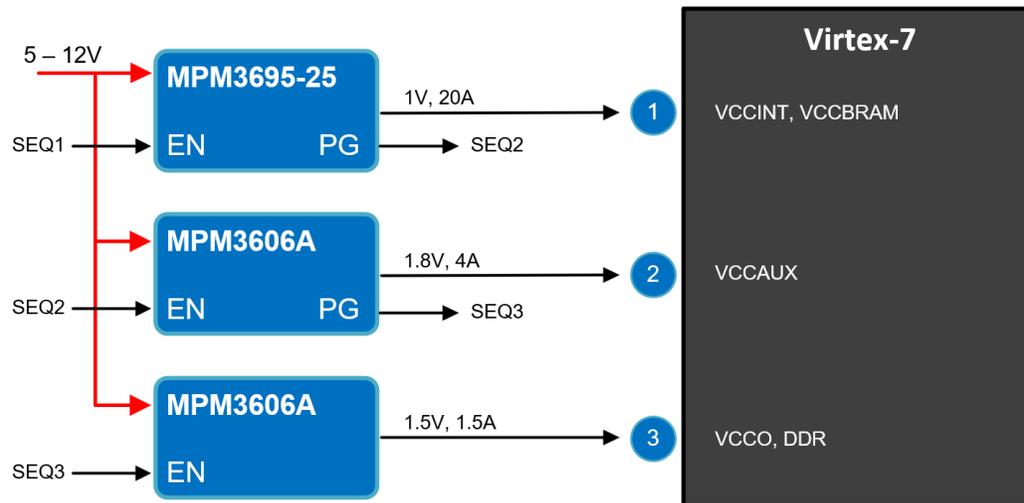
- 大电流
- 低核心电压
- 精确电压调节

# 示例: Virtex-7

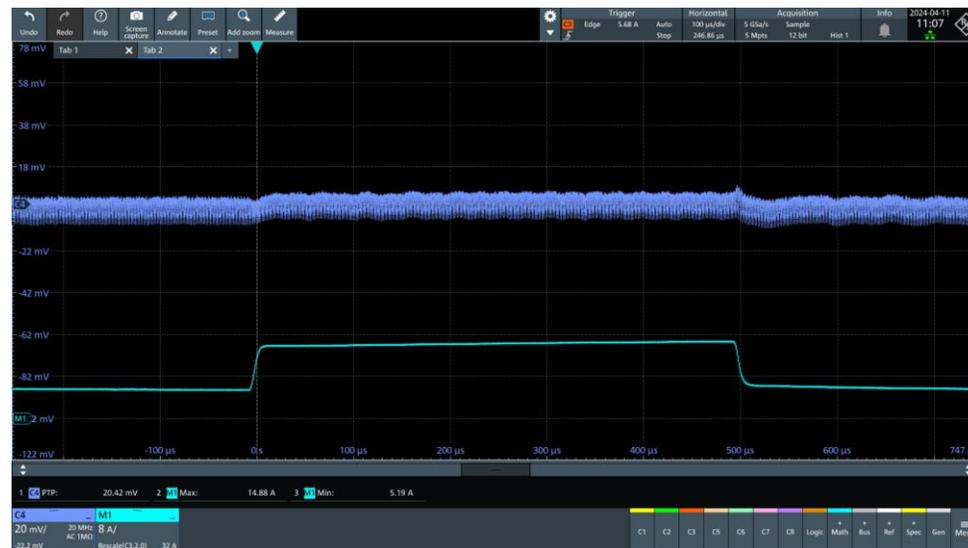
VCCINT 稳定性要求: 3% (30mV)

## MPM3695-25

- 3V至16V VIN范围
- 20A连续电流
- 可通过PMBus / I2C 进行监控和控制
- COT 可实现快速瞬态响应
- 0°C 至 70°C范围内具有 1% 参考电压精度
- 输出电压远程采样
- 支持并联运行以提供50A电流
- 10mm x 12mm x 4mm

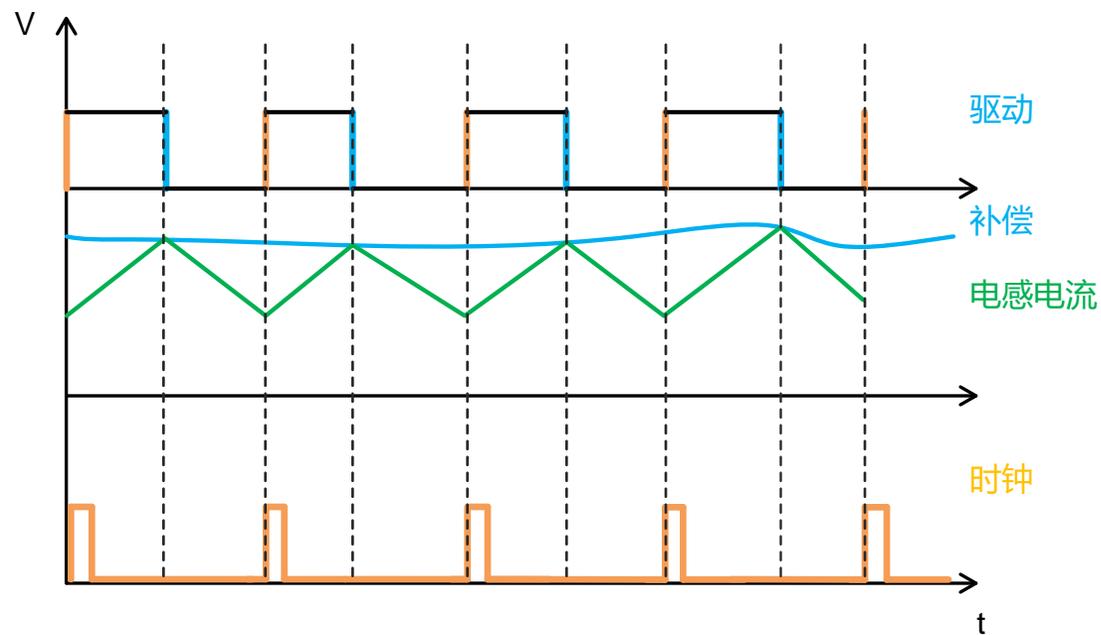
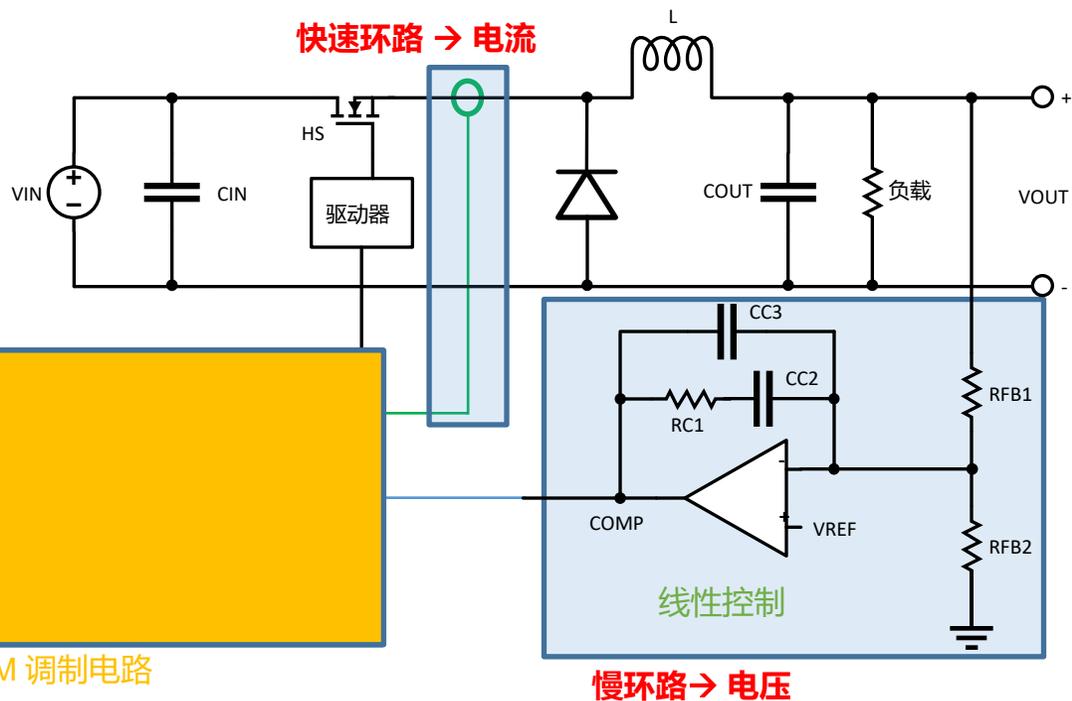


$$V_{OUT} = 1V$$
$$V_{pk-pk} = 20mV$$
$$I_{OUT} = 5A - 15A$$



# 恒定导通时间控制简介

# 峰值电流模式控制基本原理



误差放大器输出(**COMP**) 决定下一个周期的  $I_{pk}$

如果  $V_{COMP}$  增大 →  $I_{pk}$  增大 → 占空比增大

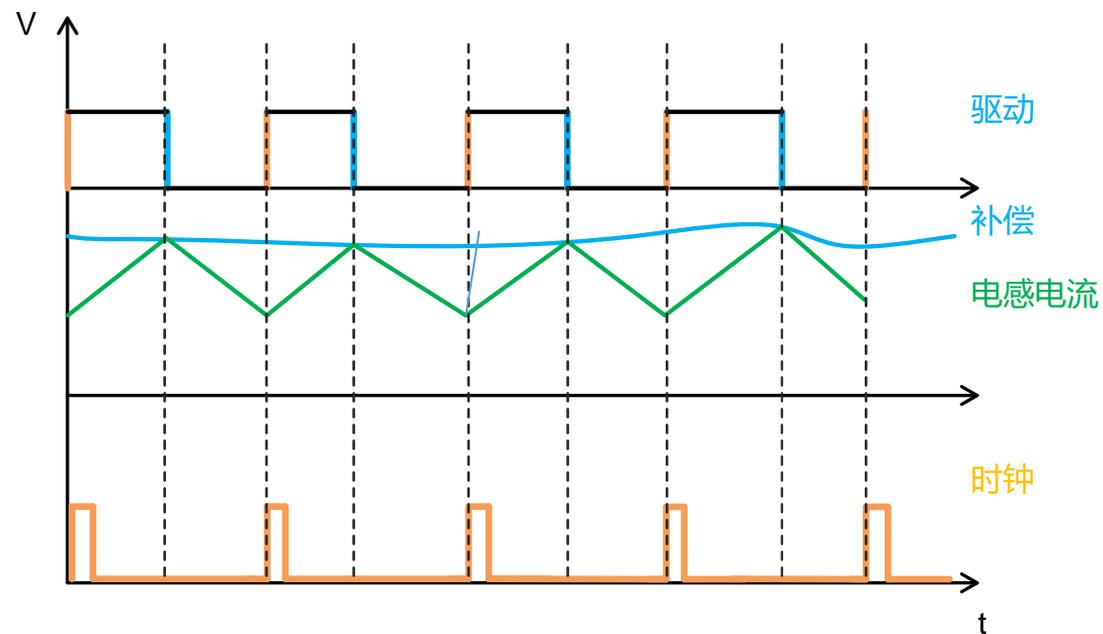
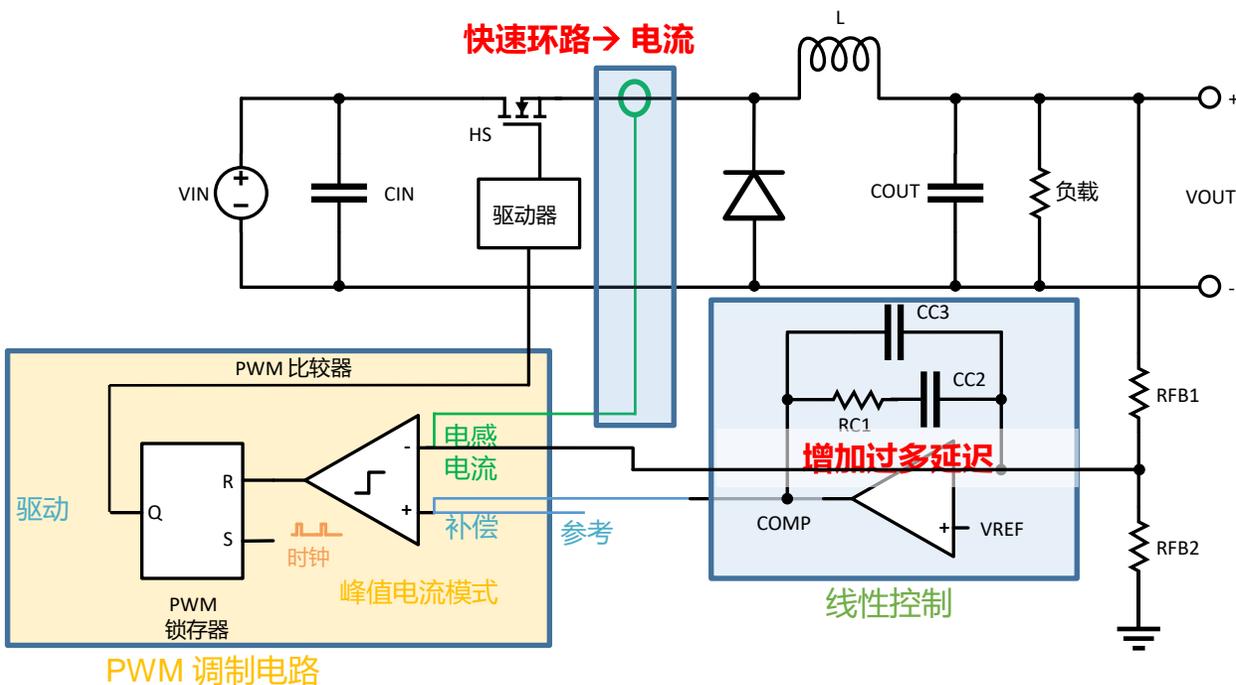
如果  $V_{IN}$  下降 → 占空比增大直至达到所需的  $I_{pk}$  → 维持  $V_{OUT}$

# 峰值电流模式控制对某些应用而言不够快

对于需要快速瞬态响应的应用，电流模式控制不够快。

- **目的:** 更快瞬态响应
- **思考:** 是不是可以不等时钟?
- **解决方案:** 解决了导通时间，但允许频率改变。

➔ 恒定导通时间控制



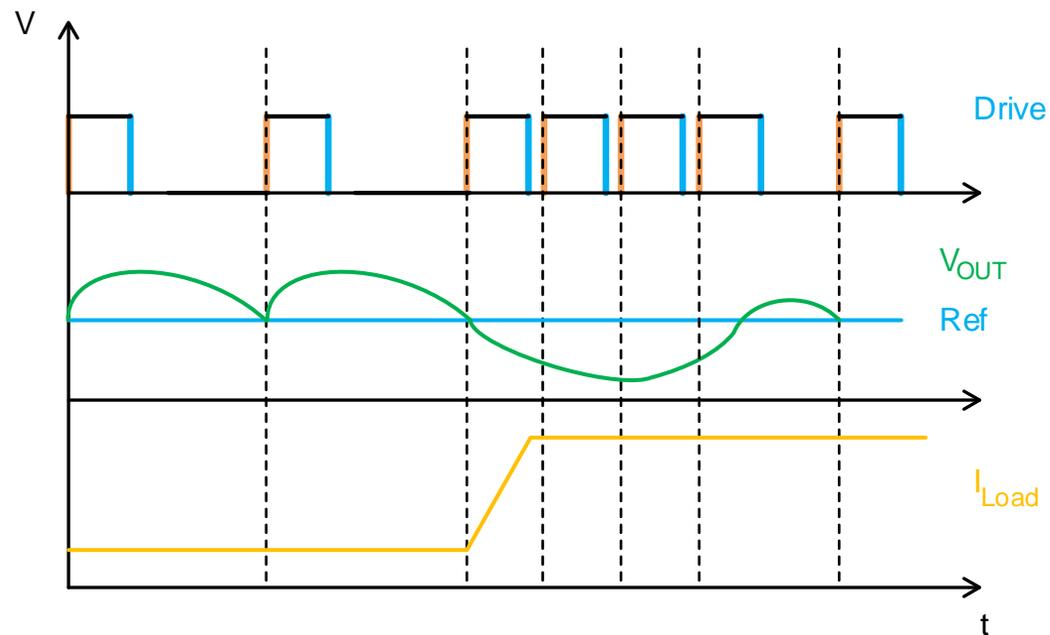
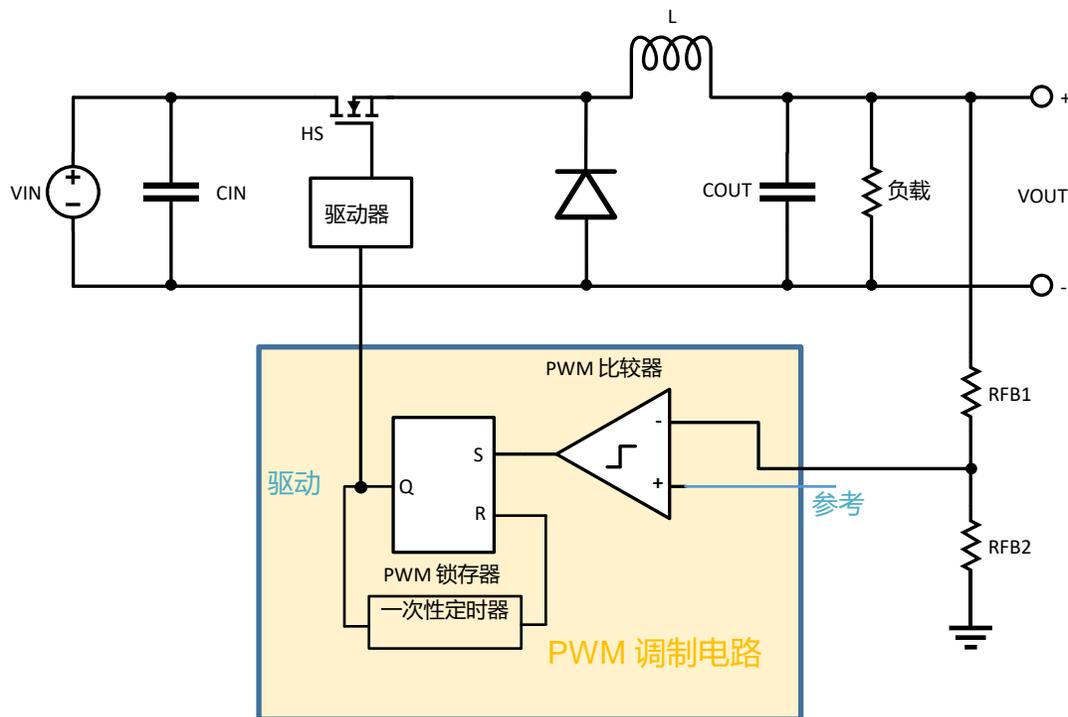
PWM 调制电路

# 恒定导通时间

对于需要快速瞬态响应的应用，电流模式控制不够快。

- **目的:** 更快瞬态响应
- **思考:** 是不是可以不等时钟?
- **解决方案:** 解决了导通时间，但允许频率改变。

➔ 恒定导通时间控制



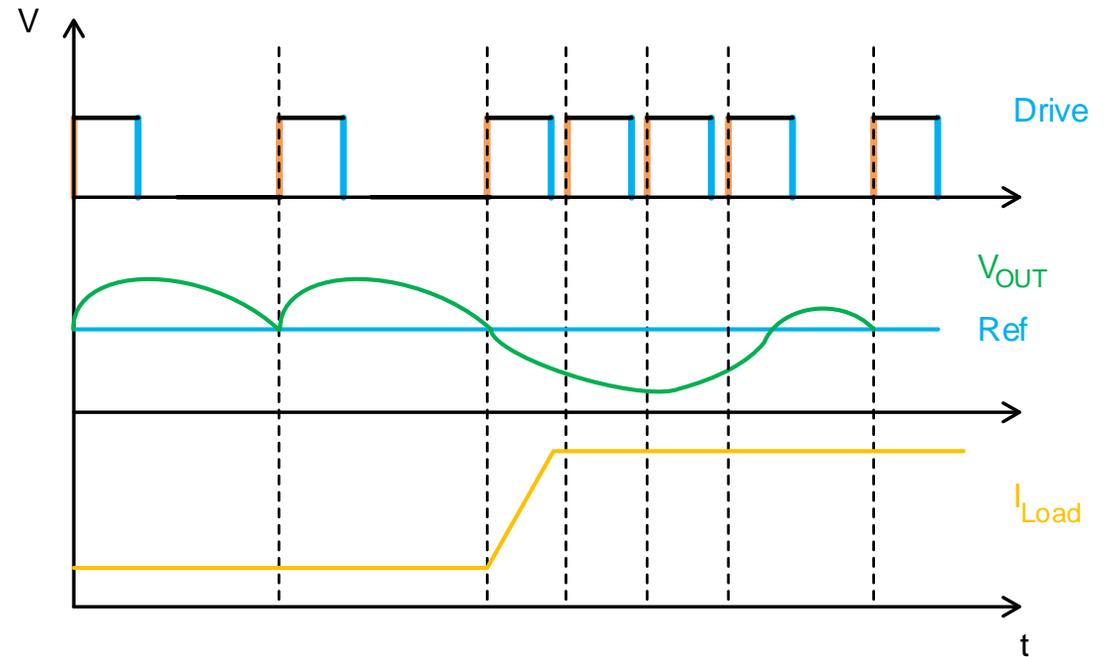
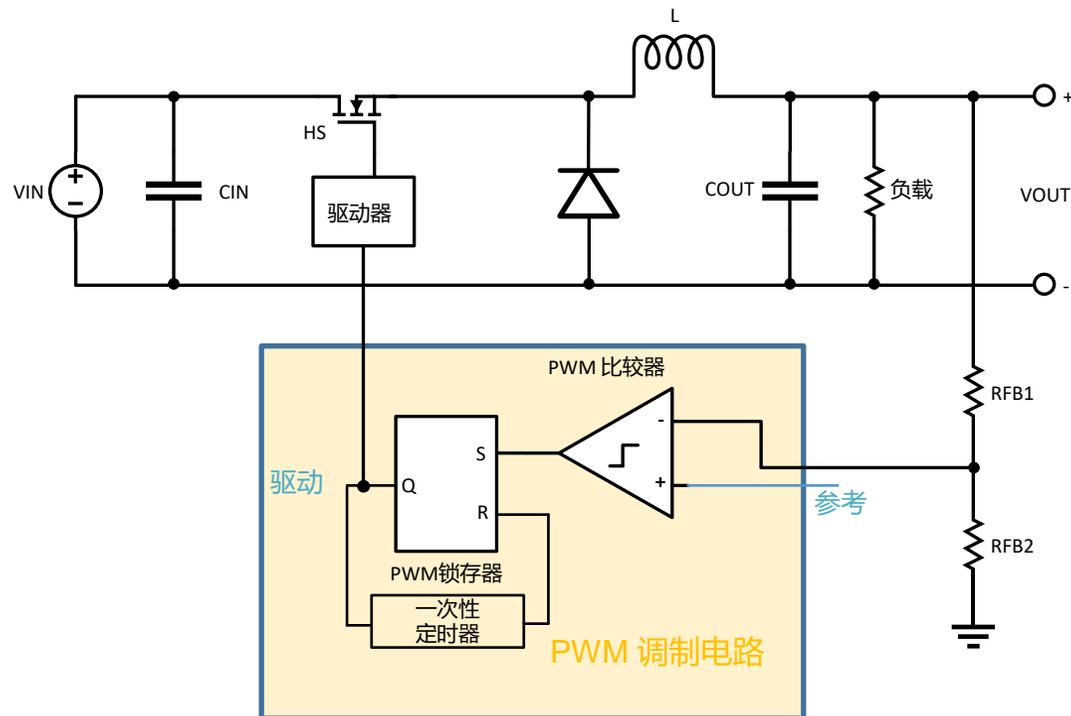
# 恒定导通时间

COT 控制不用时钟；

当  $V_{OUT}$  降至低于  $V_{REF}$ ，上管 MOS 导通；

导通时间恒定，并由一次性定时器决定；

导通时间恒定，但关断时间可变。



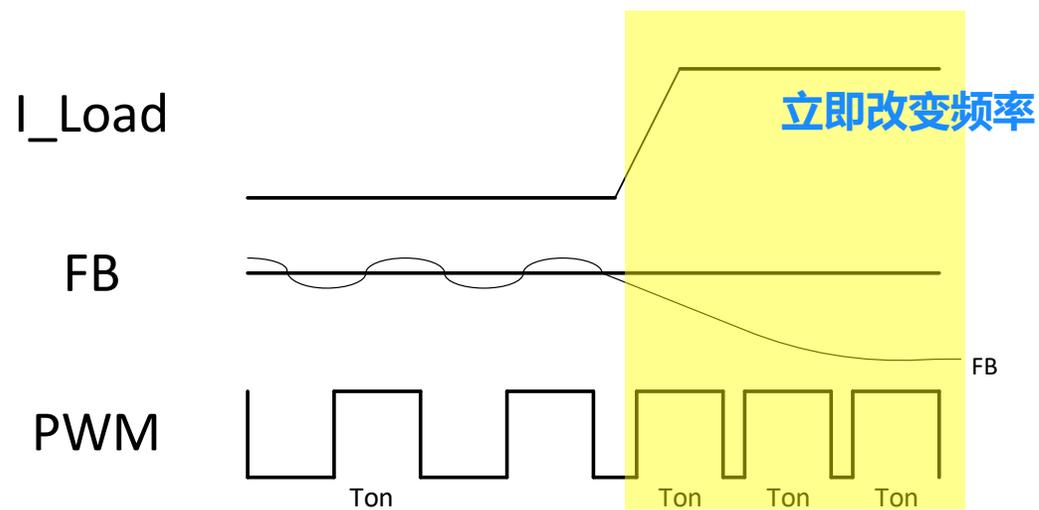
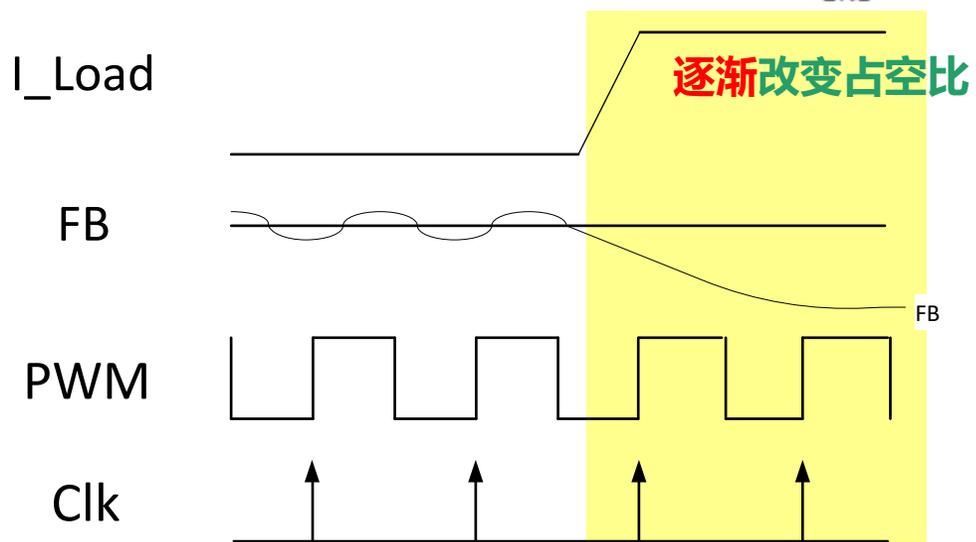
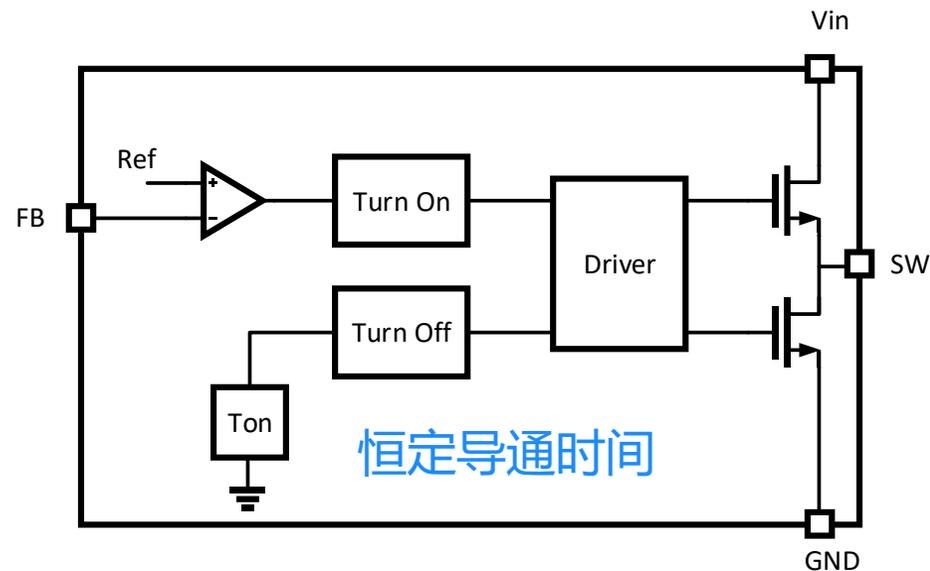
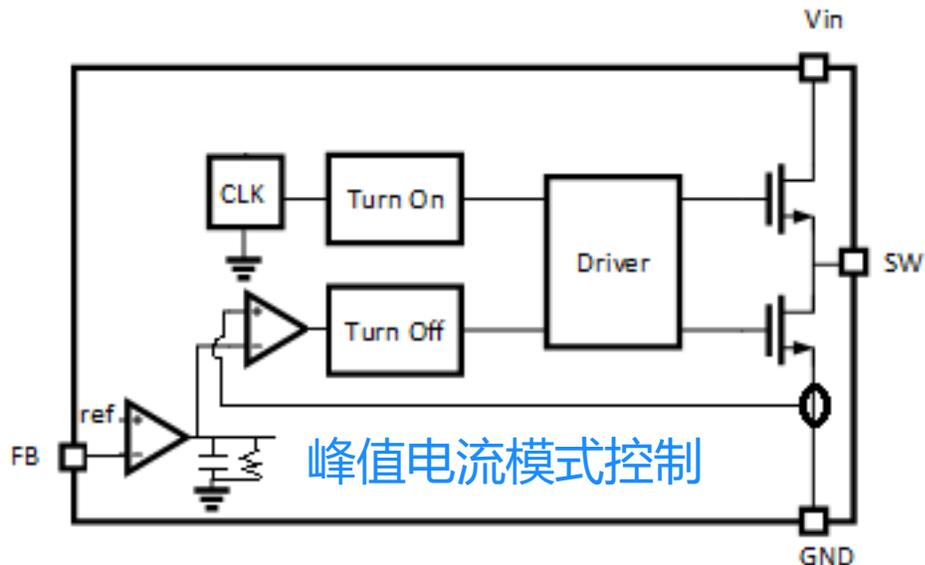
## COT 控制的优势:

- 出色的负载瞬态性能; 比固定频率电流模式快约 4 倍;
- 结构简单 → 无需补偿;
- 轻载和重载之间无缝过渡;
- 无需内部振荡器。

## COT 控制的挑战:

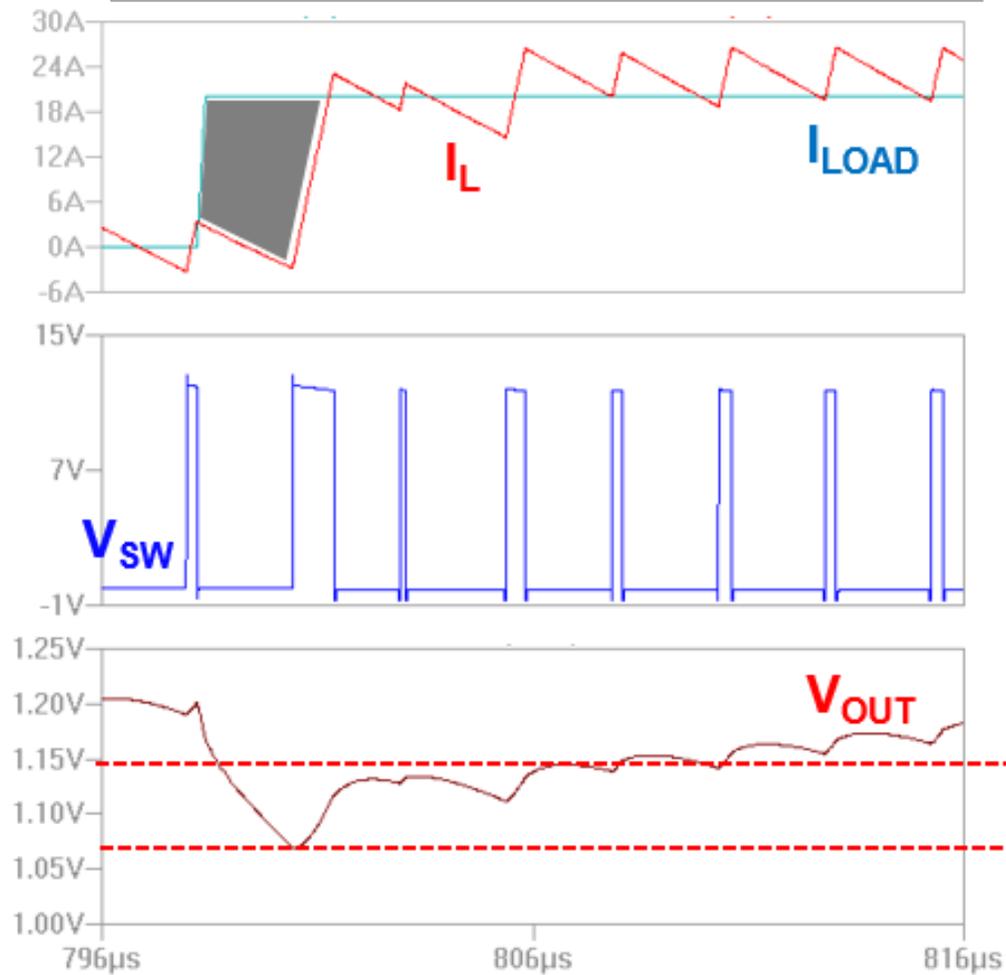
- 需要在 FB 上生成斜率, 例如使用  $C_{out\_ESR}$  等;
- 由于关断时间可变, 因此开关频率不恒定。

# COT的优势: 快速瞬态响应

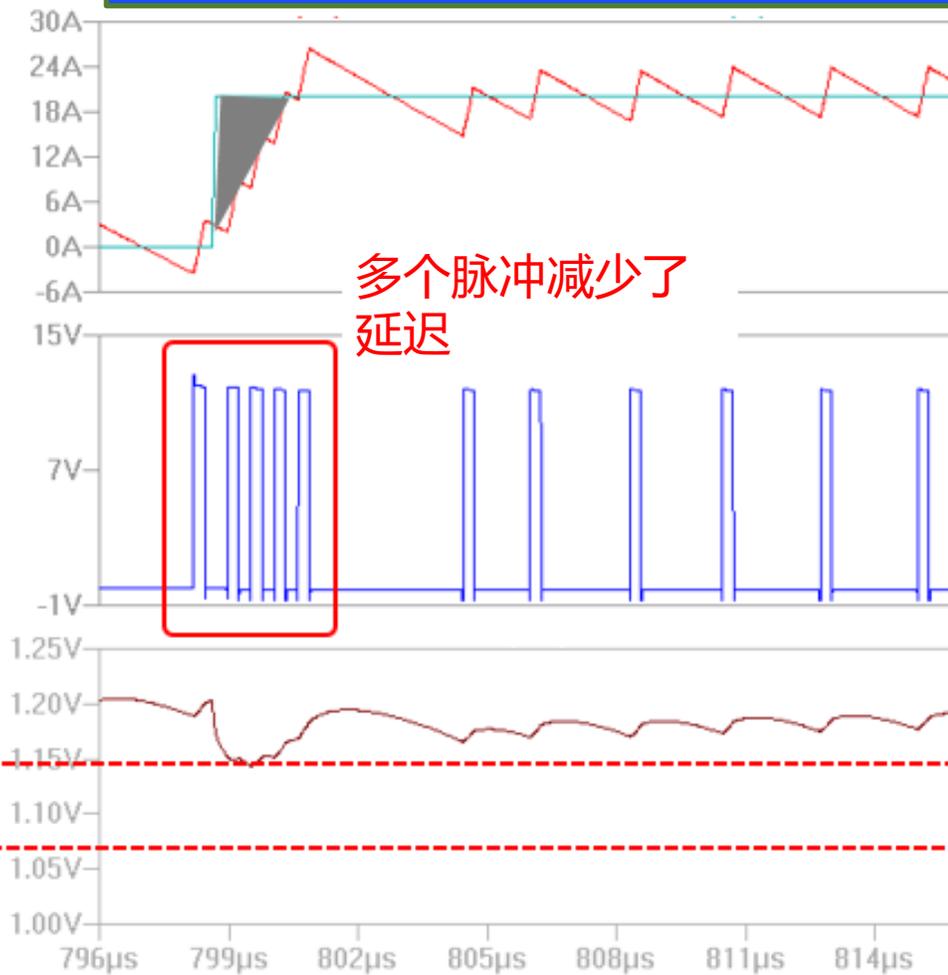


# COT的优势: 快速瞬态响应

## 电流模式控制



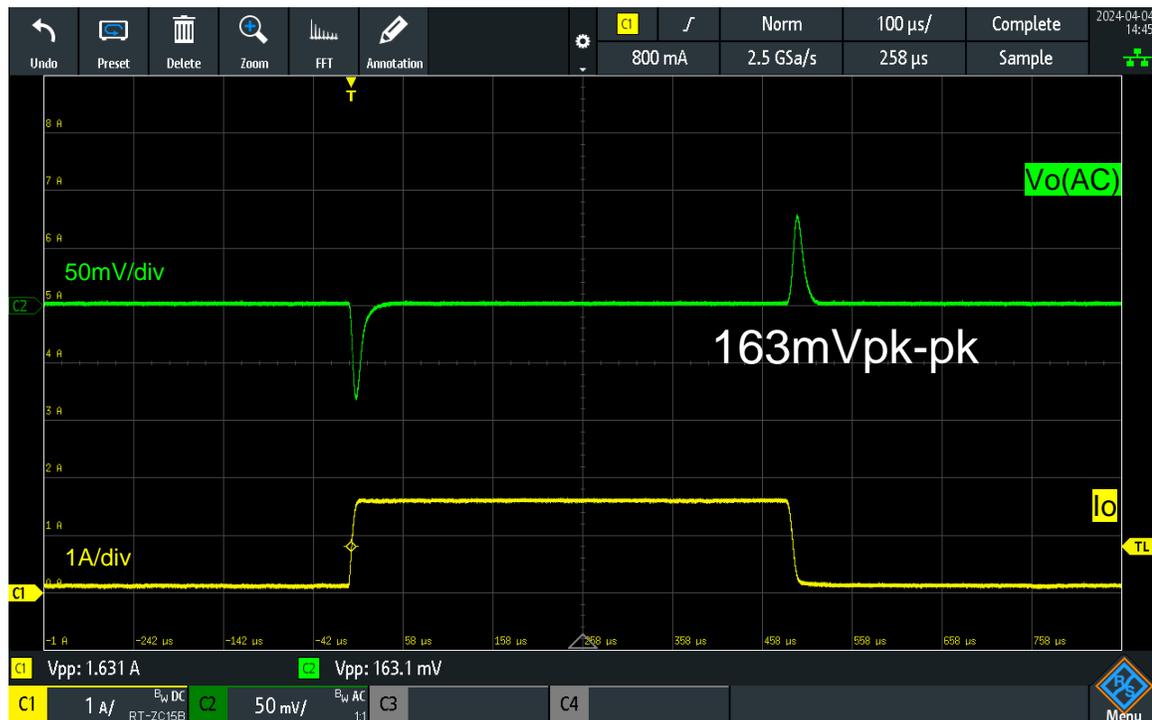
## 恒定导通时间控制



MPS通过独特  
控制方案实现

# COT的优势: 快速瞬态响应

## 峰值电流模式



### MPM3515

## 恒定导通时间



### MPM3822C

- 与具有相同规格的峰值电流模式相比，瞬态响应速度快 3 倍
  - 6V 输入，1.2V 输出，0A 至 1.6A 负载阶跃
  - 1x47uF C<sub>out</sub>

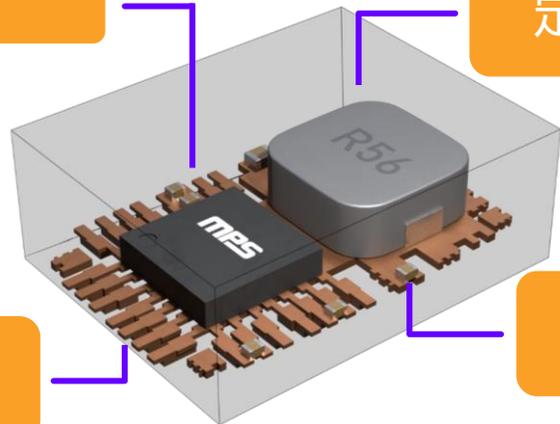
# MPS 电源模块- 主要优势

单片功率级

定制软饱和电感

网状连接封装技术

宽温度范围无源器件

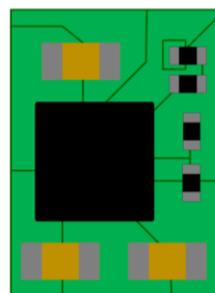


解决方案尺寸小

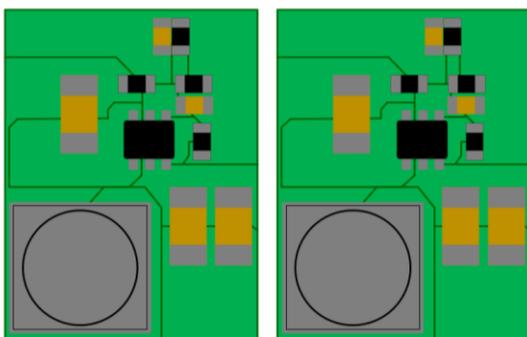
电路板布局简单

组件极少

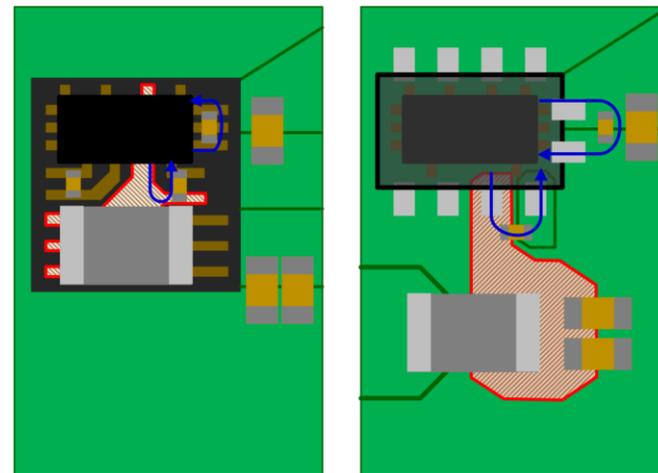
MPM38111



MP2152 x 2



EMI 性能更佳



模块布局针对 EMI 进行了优化:

开关节点更小

热环路更小

快速上市

完全符合完整电源的标准

# 参考设计

AMD - Xilinx

# AMD – Xilinx 参考设计



## Xilinx Power Partner

- ✓ High Efficiency
- ✓ Ultra-Fast Transient Response
- ✓ Small Footprint
- ✓ Full Reference Designs

### ZYNQ

Zynq UltraScale+ MPSoC  
Zynq UltraScale+ Cost Optimized (ZU1/2/3)  
Zynq UltraScale+ RFSoc gen1/gen2/gen3  
Zynq 7000

### VIRTEX

Virtex UltraScale  
Virtex UltraScale+  
Virtex 7

### KINTEX

Kintex UltraScale  
Kintex UltraScale+  
Kintex 7

### VERSAL ACAP

AI Core  
Prime  
Premium  
AI Edge (Commercial)  
AI Edge (Automotive)  
HBM

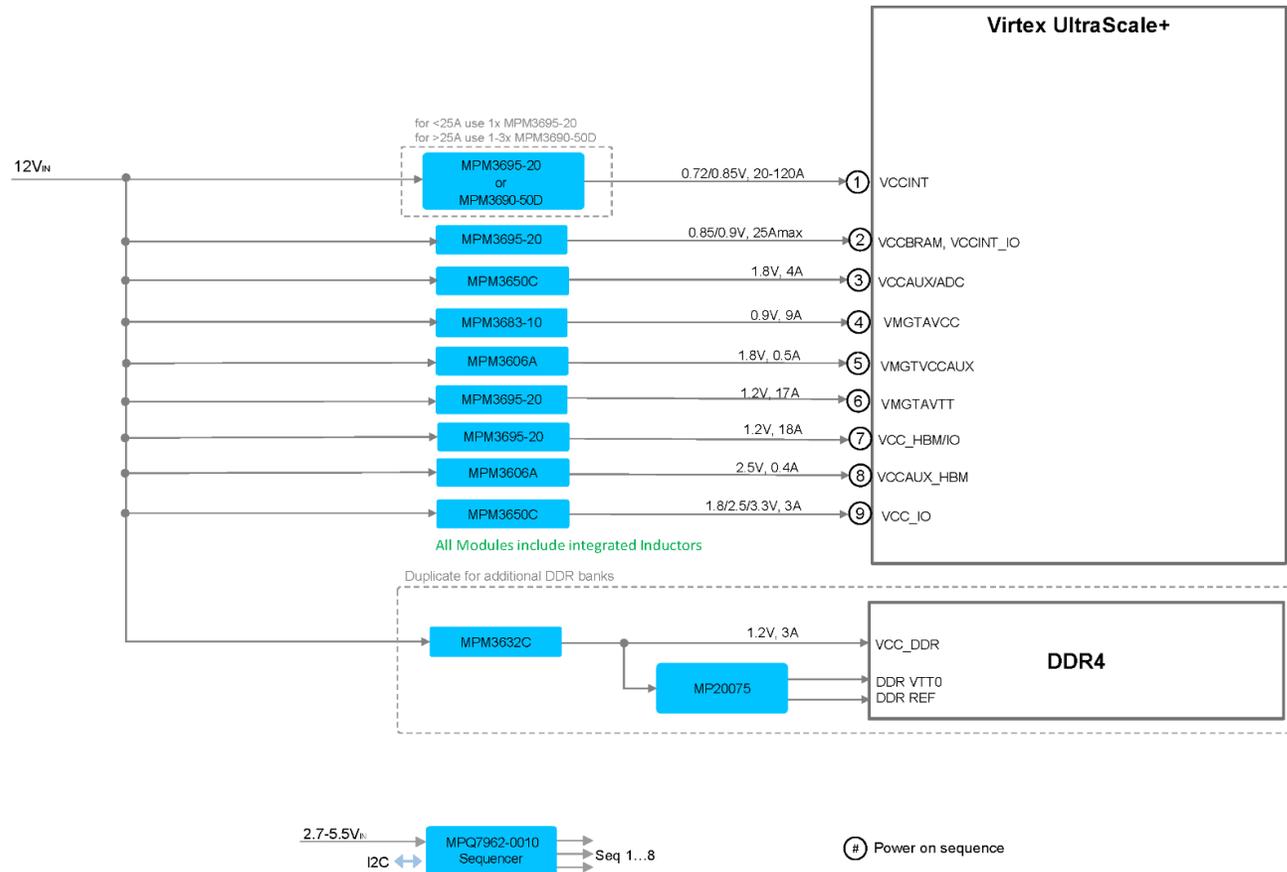
### ARTIX

Artix-7  
Artix UltraScale+ Cost Optimized

### SPARTAN 7

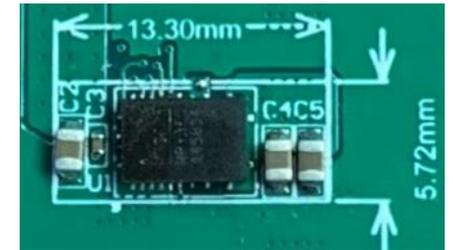
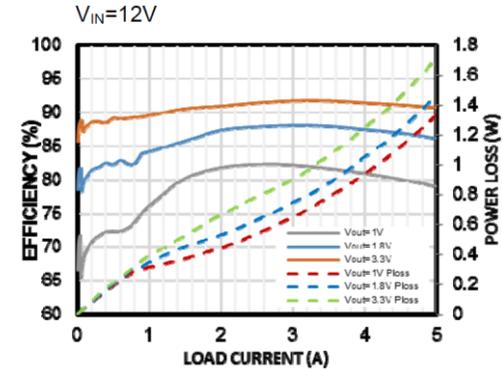
Spartan 7x

# Virtex US+ 参考设计



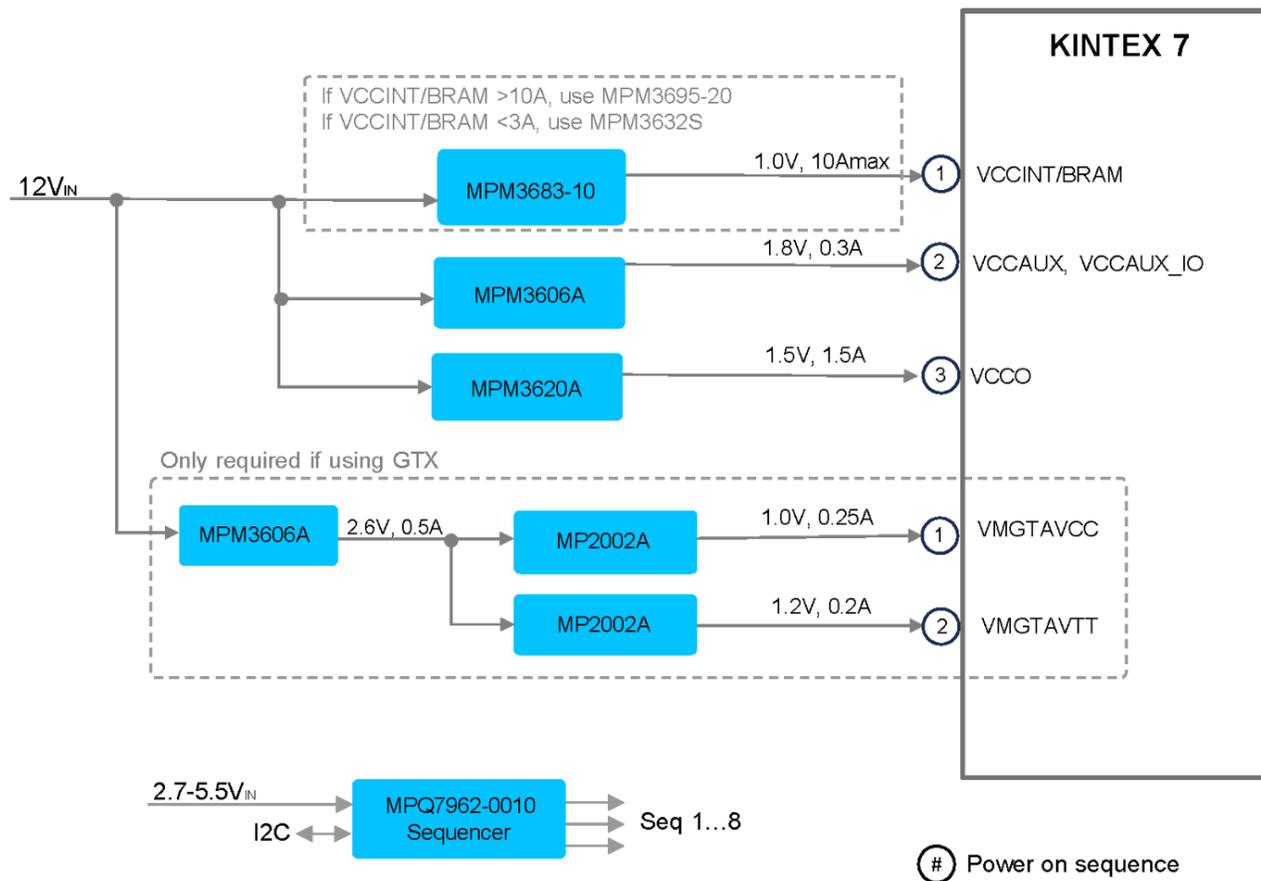
## MPM3650C – 单输出、6A降压模块

- 2.75V 至 17V 宽输入电压范围
- 0.6V 至 1.8V 输出电压, 6A电流
- 3.3V 至 5.5V 输出电压, 5A电流
- **强制 CCM 以实现低电压纹波**
- 1.2MHz 固定开关频率
- ±1.5% 总输出电压调整率
- COT 控制, 超快速瞬态响应



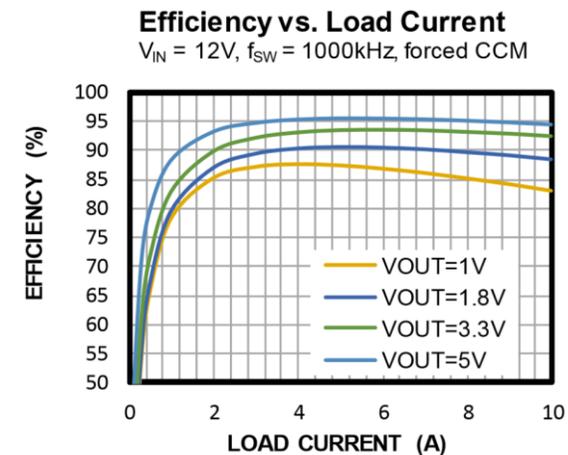
评估板已上市!

# Kintex 7 参考设计

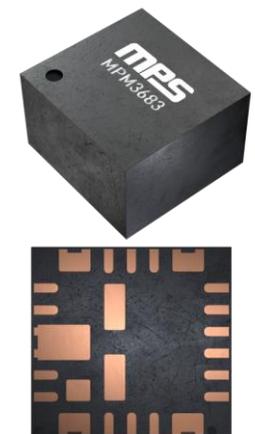


## MPM3683-10 – 单输出、10A 电源模块

- 2.7V 至 16V 宽输入电压范围，带外部 3.3V 偏置
- 0.6V 至 5.5V 输出电压范围
- 差分输出电压远程采样
- 自适应恒定导通时间 (COT)，可实现超快瞬态响应
- 可选跳频或强制 CCM 操作
- 输出电压跟踪和输出电压放电
- 可配置软启动时间
- 600kHz、800kHz 或 1000kHz 可选开关频率



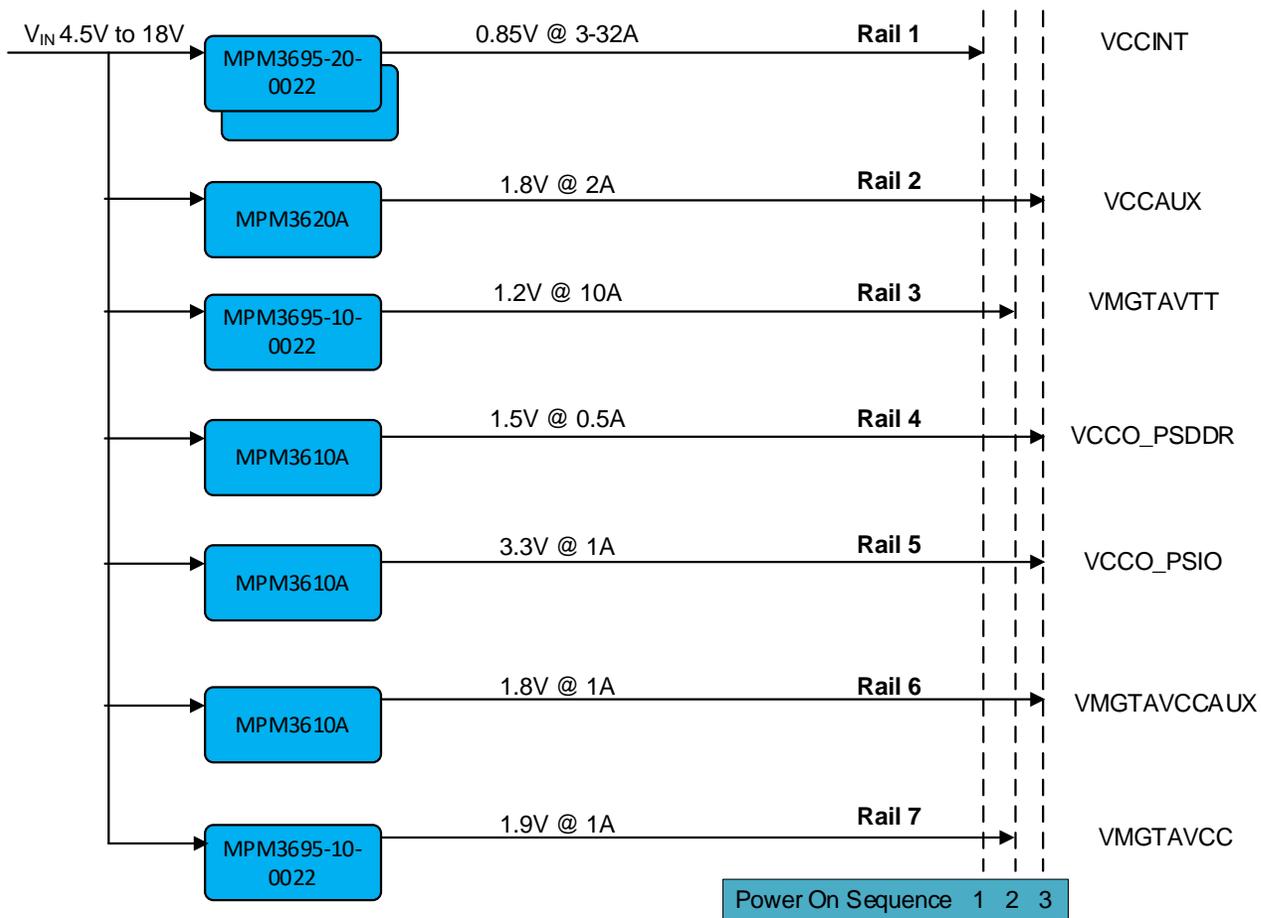
**评估板已上市!**



LGA-29  
7mmx7mmx4.4mm

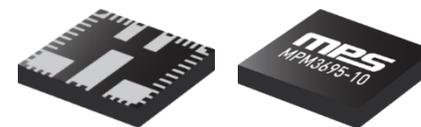


# Zynq UltraScale+ MPSOC 参考设计



## MPM3695-10 – 单输出、10A电源模块

- 最低 3.3V 的宽输入电压范围
- 0.5V 至 5V 输出电压范围
- 自动交错多相操作
- 兼容PMBus 1.3 标准
- VIN、VOUT、IOUT、温度和故障数据遥测回读



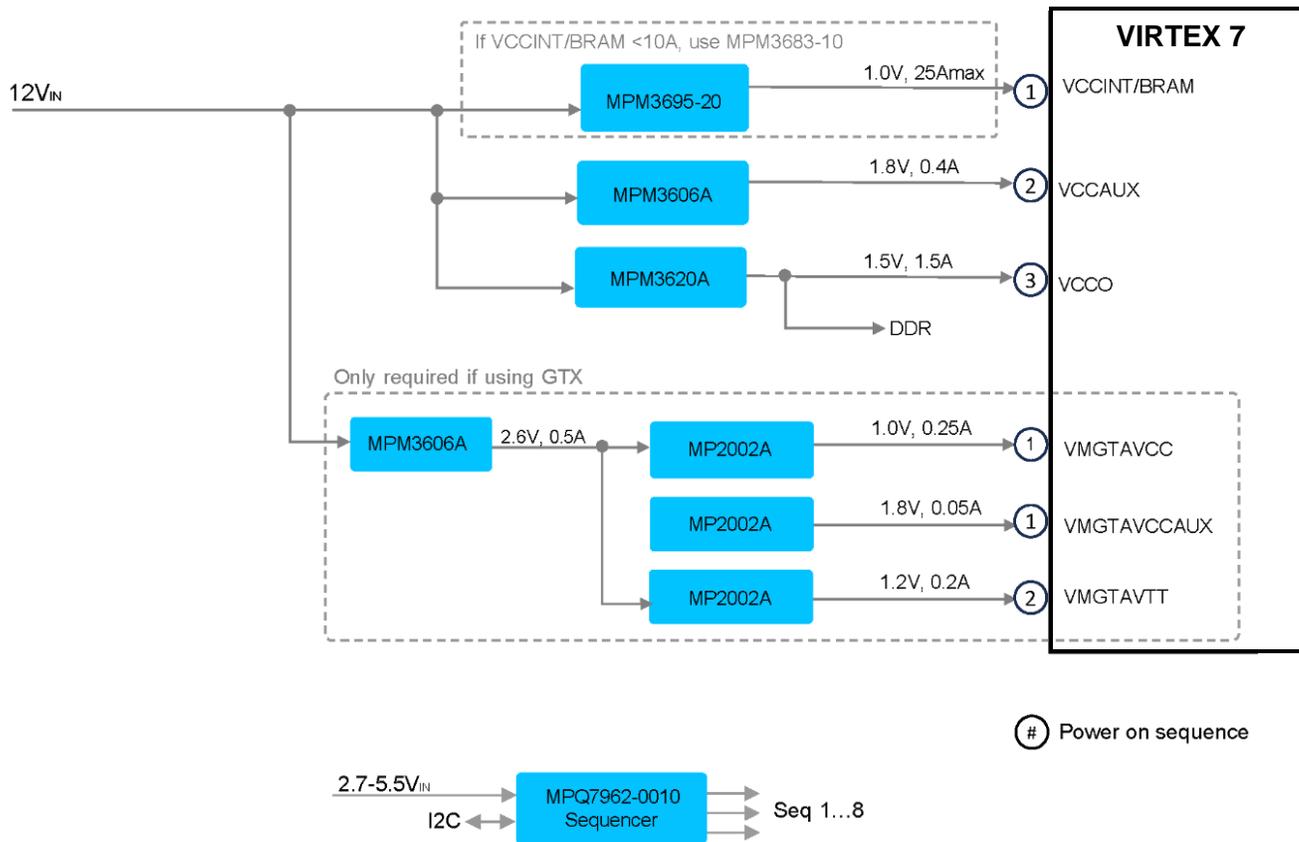
LGA 8x8x2mm



参考设计板已上市  
[联络MPS](#)

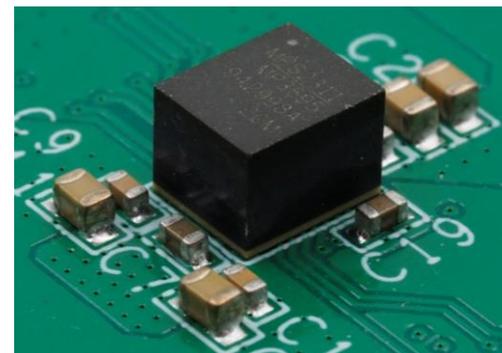


# Virtex 参考设计

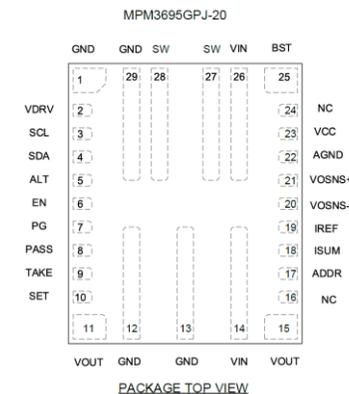


## MPM3695-20 – 25A电源模块

- 3V 至 16V 宽输入电压范围
- 0.5V 至 5.5V 输出电压范围
- 25A 连续输出电流
- 自动交错多相操作
- 自适应 MCOT, 可实现超快速瞬态响应
- ±1% 参考电压精度 (-40°C 至 +125°C)
- 遥测回读
- 内置 MTP, 用于存储自定义配置
- 可通过数字接口进行编程



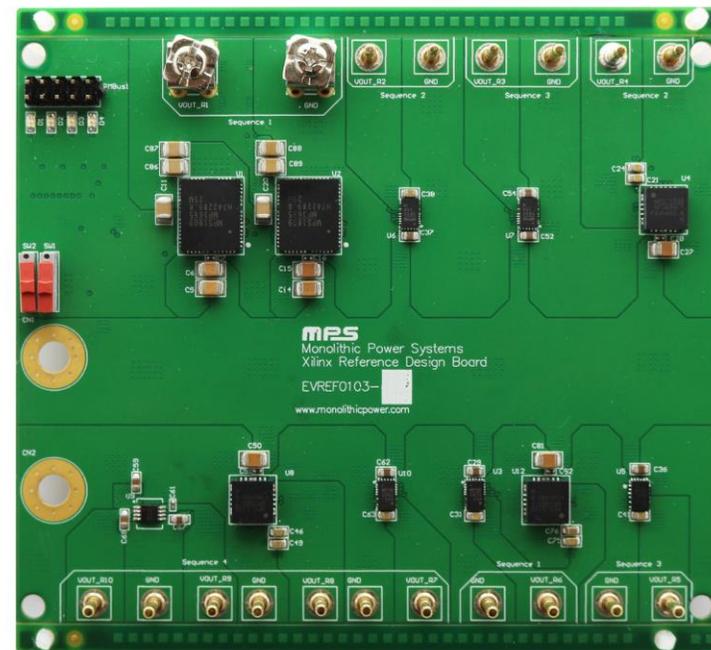
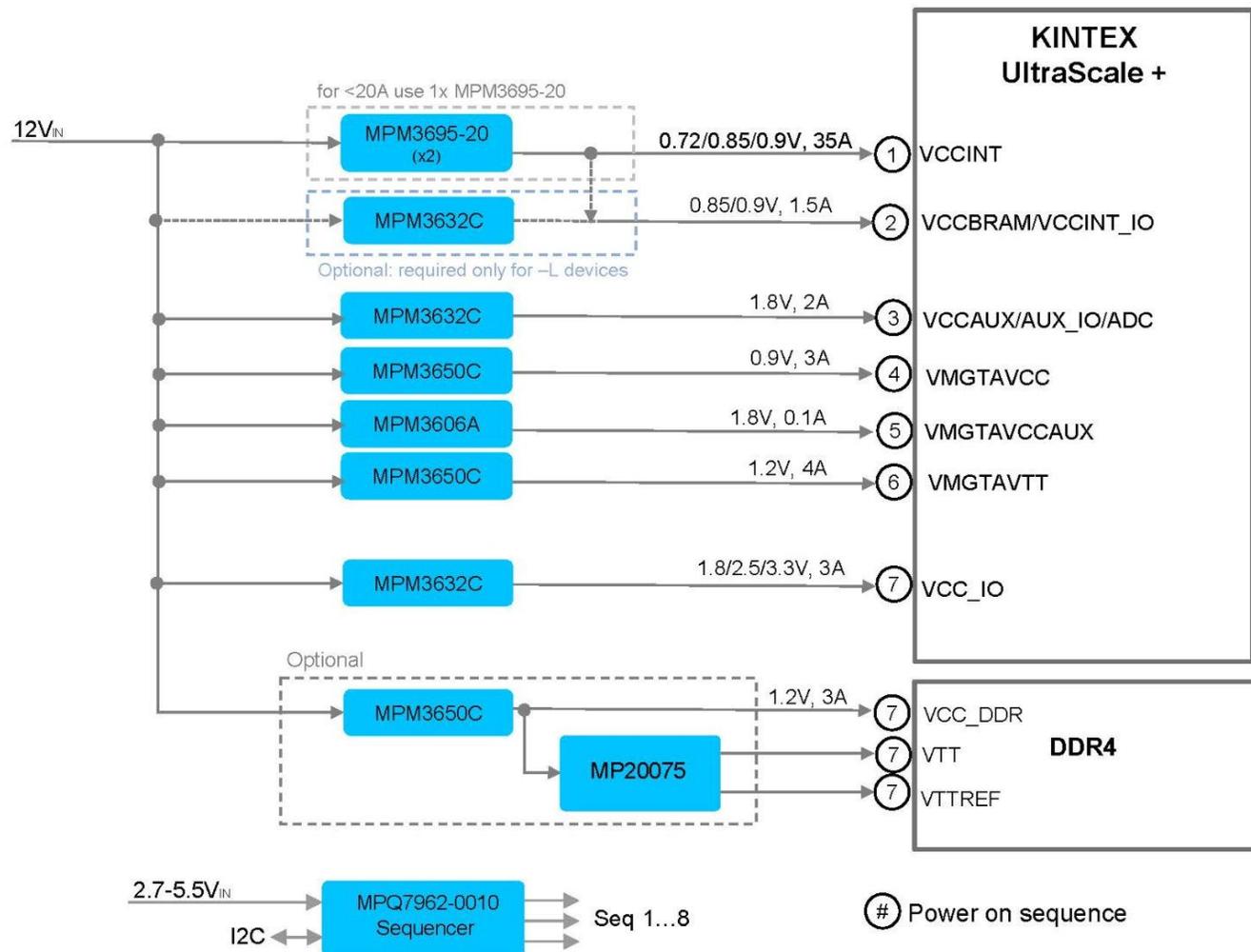
评估板已上市!



PACKAGE TOP VIEW  
ECLGA-29  
5x6x4.4mm



# Kintex US+ 参考设计



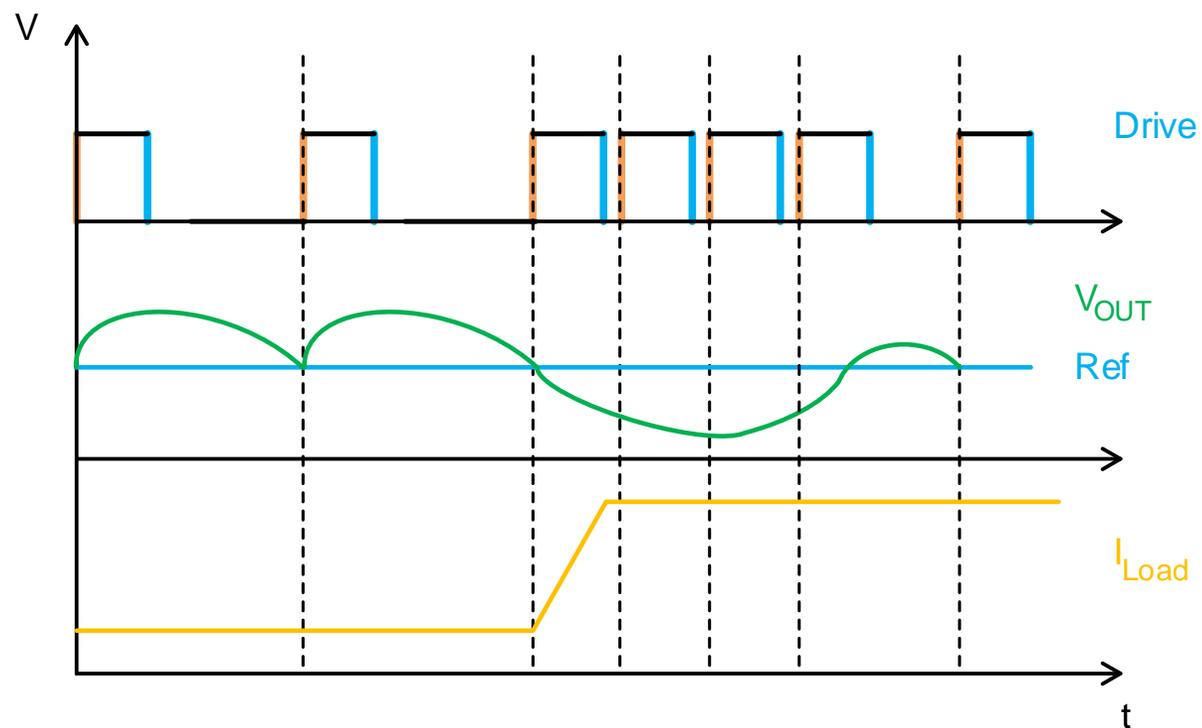
提供电路板布局和原理图  
联系 MPS 购买



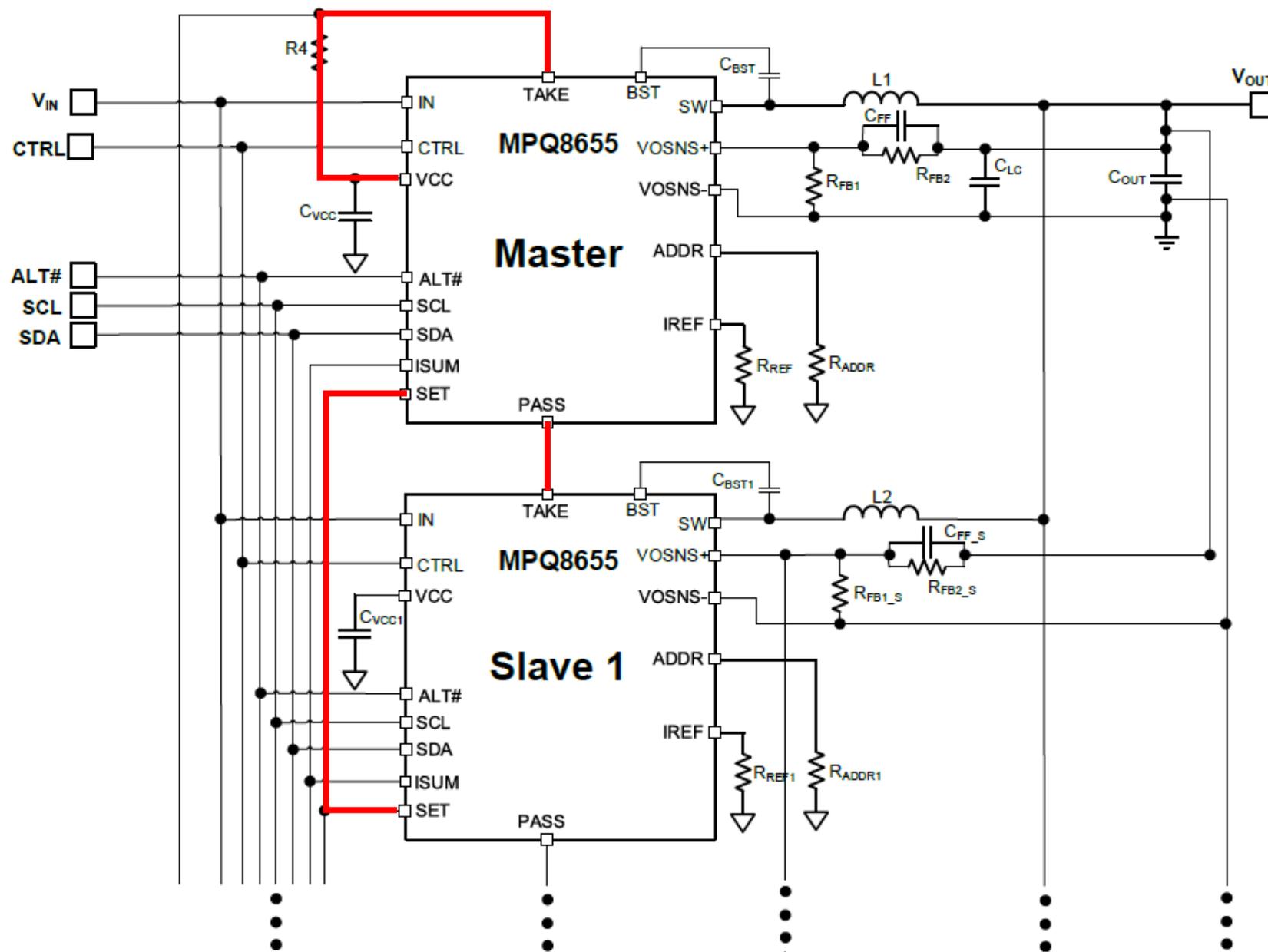
# 多相COT变换器

# 多相 COT

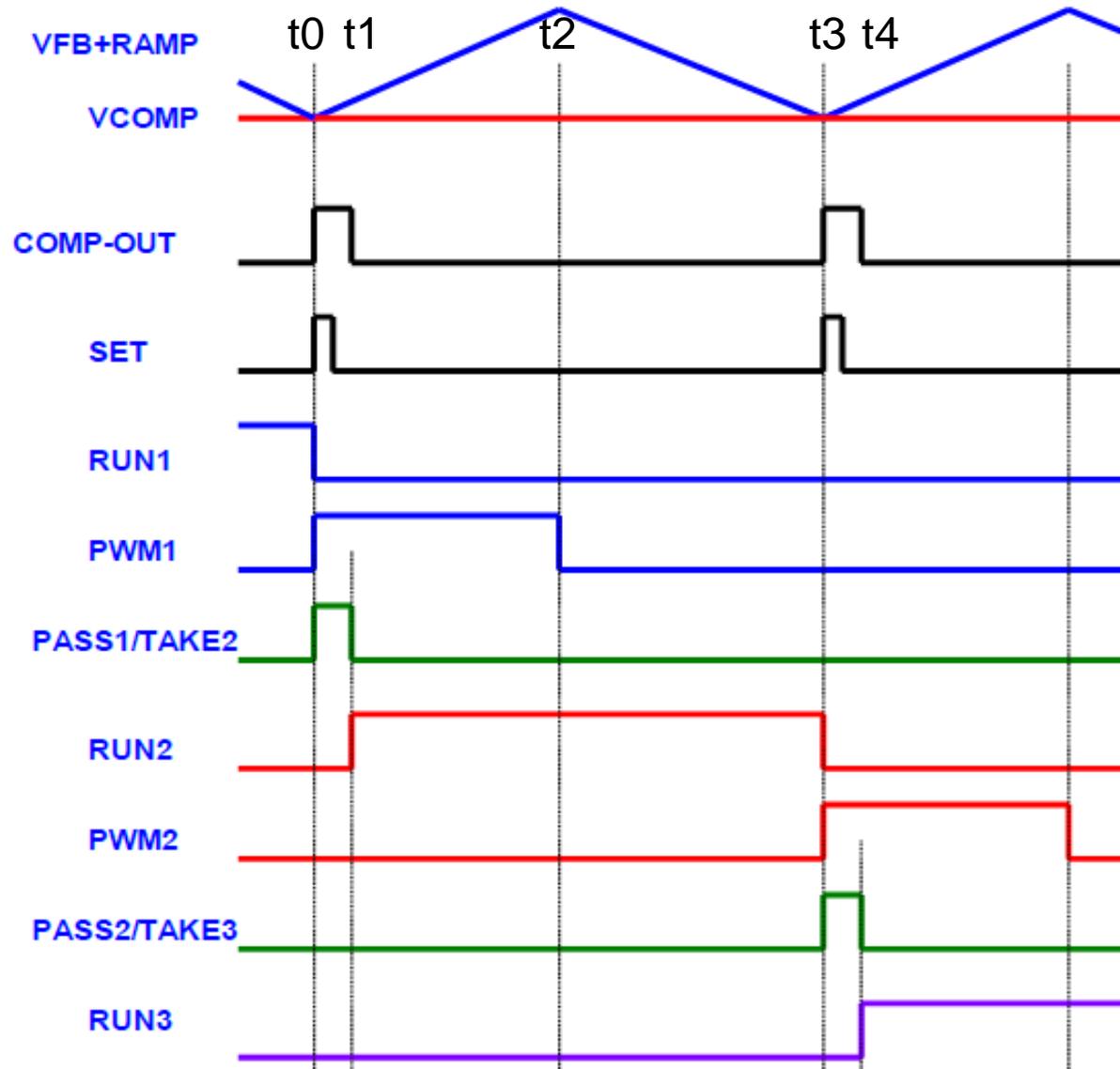
如果没有 CLK 信号，该如何实现多相变换器？



# COT 交错: PASS/TAKE/SET



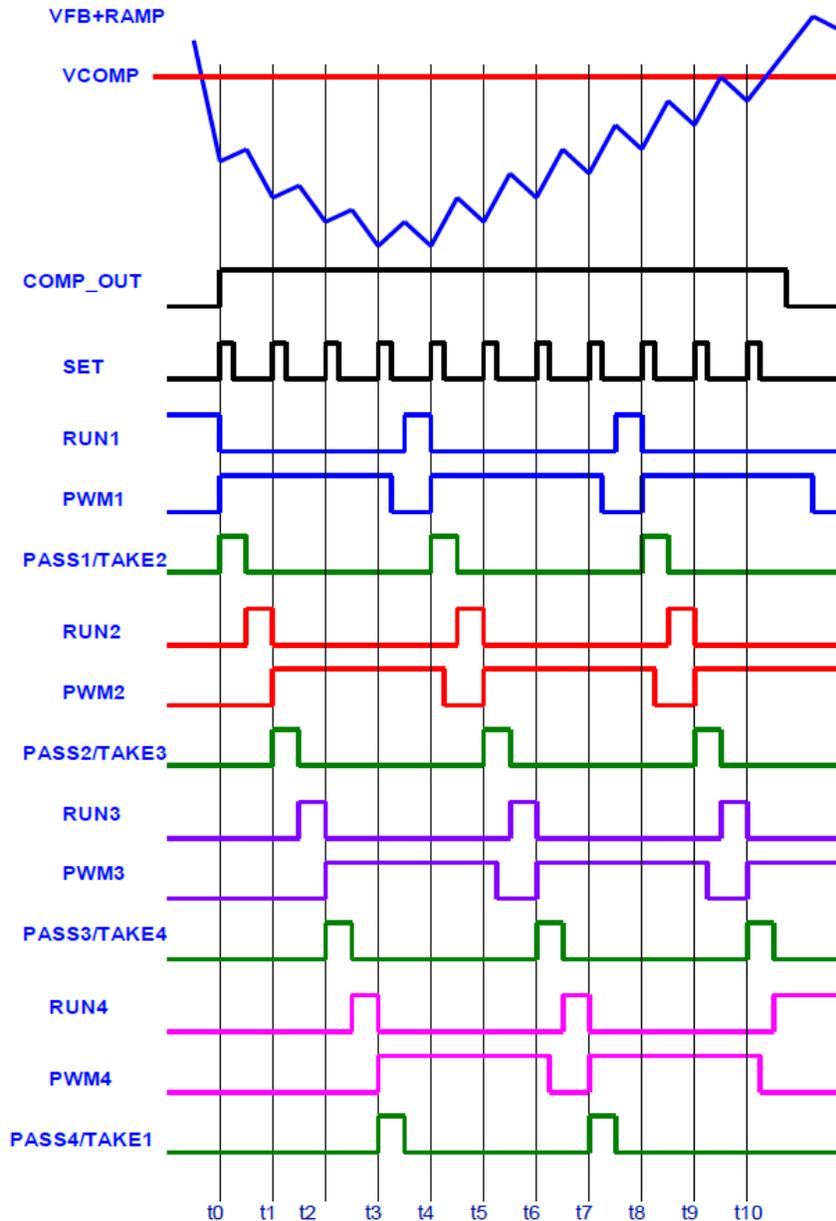
# 多相 COT: 稳态



- t0:  $V_{fb} < V_{ref} \rightarrow$  COMP\_OUT 高电平  
Set 高电平  $\rightarrow$  所有相位均接收  
Run1 高电平  $\rightarrow$  启用 PWM1  
PWM1 拉高
- t1: PASS1 高电平  $\rightarrow$  TAKE2 高电平  
Run2 高电平
- t3:  $V_{fb} < V_{ref}$   
Set 高电平  $\rightarrow$  所有相位均接收  
Run2 高电平  $\rightarrow$  启用 PWM2  
PWM2 拉高
- t4: PASS2 高电平  $\rightarrow$  TAKE3 高电平  
Run3 高电平

稳态: 无相位重叠

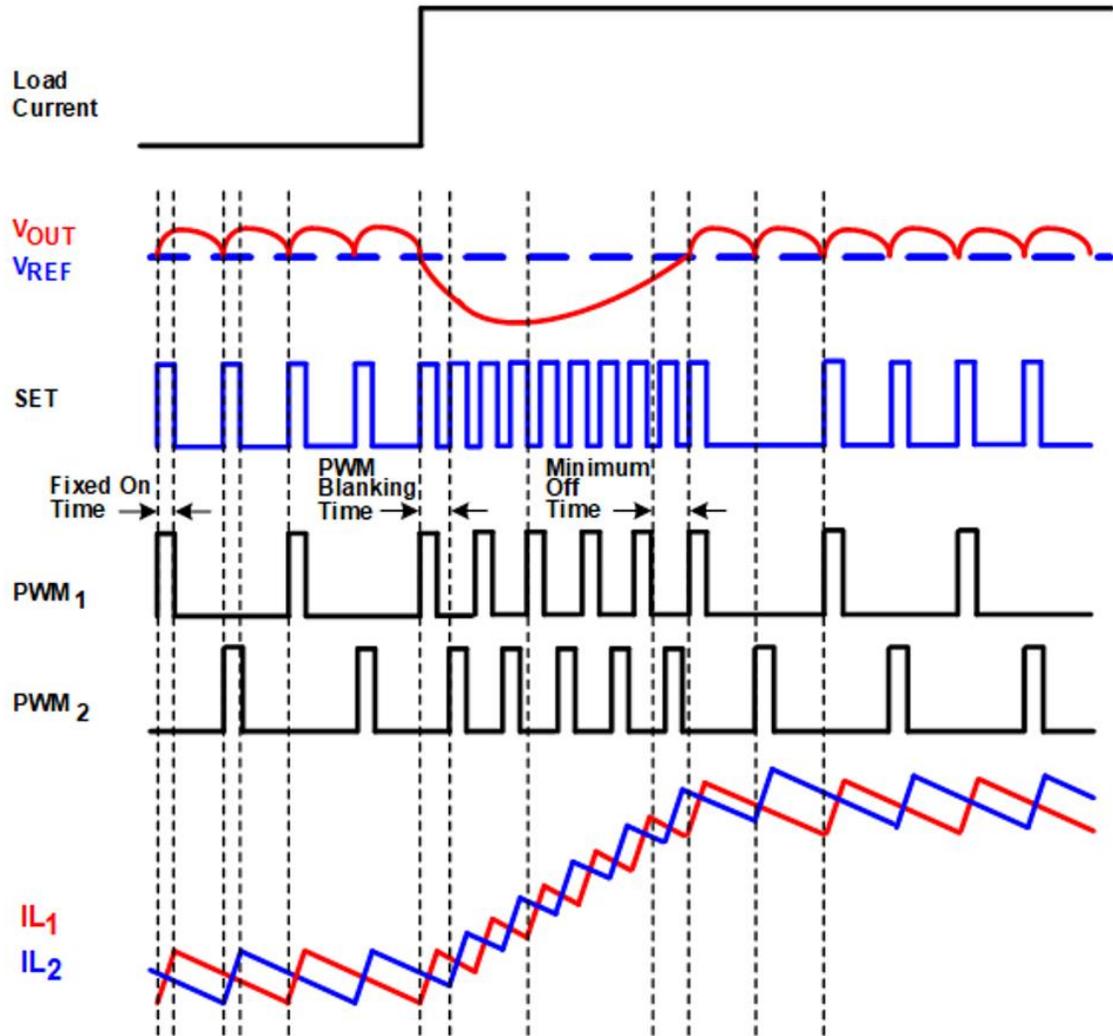
# 多相 COT: 瞬态



- t0: 瞬态使  $V_{fb} < V_{ref} \rightarrow$  COMP\_OUT 高电平  
Set 高电平  $\rightarrow$  所有相位均接收  
Run1 高电平  $\rightarrow$  启用 PWM1  
PWM1 拉高
- t1: PASS1 高电平  $\rightarrow$  TAKE2 高电平  
Run2 高电平
- t3:  $V_{fb} < V_{ref}$   
Set 高电平  $\rightarrow$  所有相位均接收  
Run2 高电平  $\rightarrow$  启用 PWM2  
PWM2 拉高
- t4: PASS2 高电平  $\rightarrow$  TAKE3 高电平  
Run3 高电平

过程与稳态相同，但有相位重叠  
SET 脉冲之间的最短时间  $\rightarrow$  消隐时间

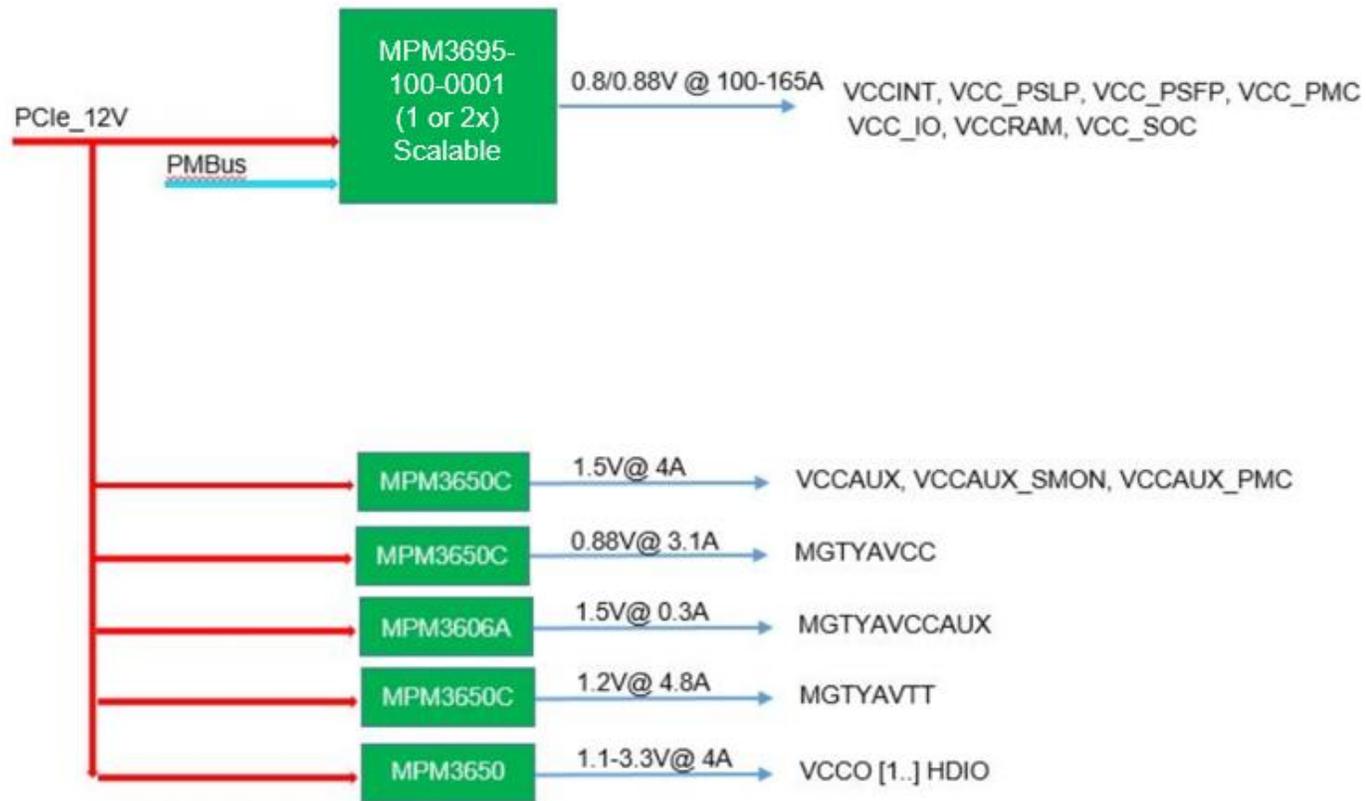
# 多相 COT: 瞬态



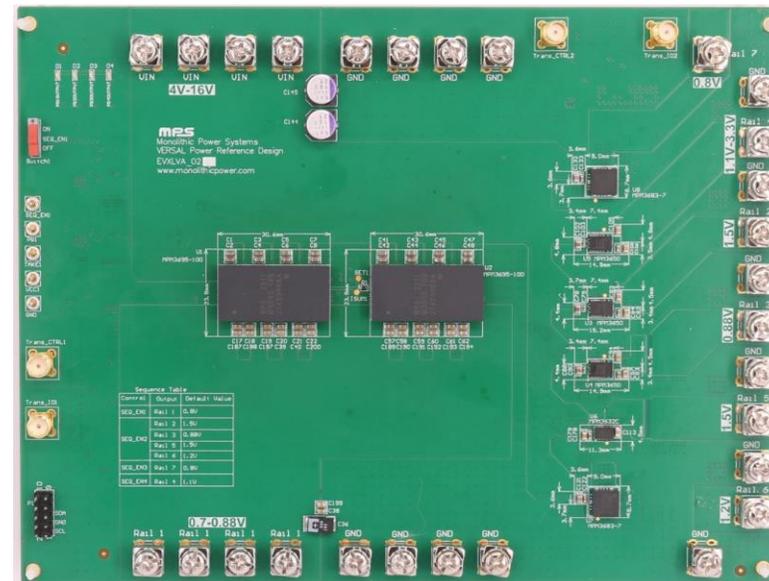
- t0: 瞬态使  $V_{fb} < V_{ref} \rightarrow$  COMP\_OUT 高电平  
Set 高电平  $\rightarrow$  所有相位均接收  
Run1 高电平  $\rightarrow$  启用 PWM1  
PWM1 拉高
- t1: PASS1 高电平  $\rightarrow$  TAKE2 高电平  
Run2 高电平
- t3:  $V_{fb} < V_{ref}$   
Set 高电平  $\rightarrow$  所有相位均接收  
Run2 高电平  $\rightarrow$  启用 PWM2  
PWM2 拉高
- t4: PASS2 高电平  $\rightarrow$  TAKE3 高电平  
Run3 高电平

过程与稳态相同，但有相位重叠  
SET 脉冲之间的最短时间  $\rightarrow$  消隐时间

# Versal ACAP 参考设计



\*If telemetry is required, please contact MPS.



**参考设计板已上市!**

# MPM3695-100 – 100A 电源模块

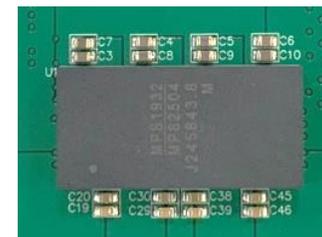
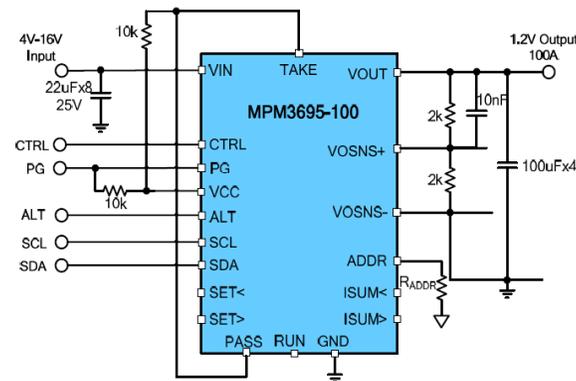
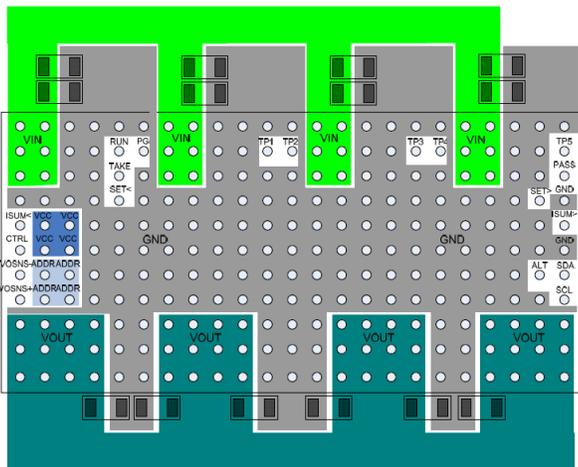
## 主要优势

已发布

- 3V 至 16V 输入电压范围
- 0.5V 至 3.3V 输出电压范围
- 100A 连续电流 (3.3V<sub>OUT</sub> 时为 60A)
- 并联运行可提供 800A 电流

## 尺寸小, 简单易用

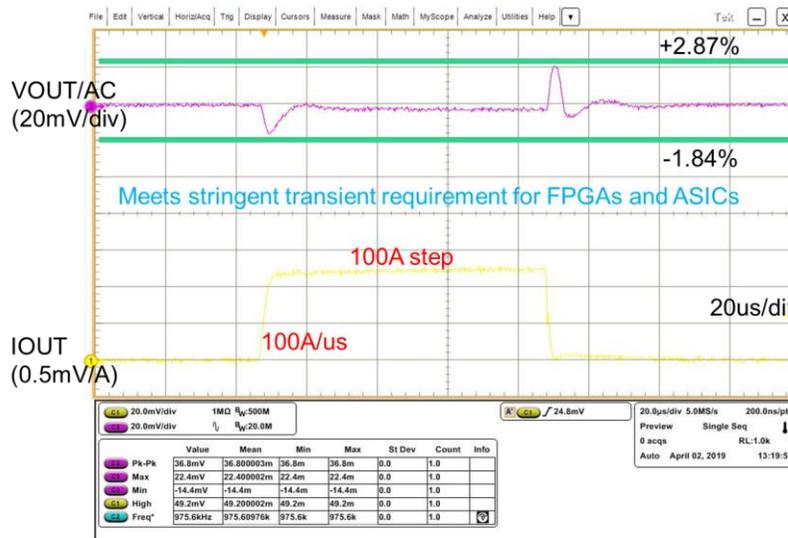
- 非常简单的 100A+ 解决方案
- 外部元件极少
- 布局仅需三层
- 节省电路板空间
- 允许下方有高速走线



采用15x30x5.18mm BGA 封装

## 快速瞬态, 最小 C<sub>OUT</sub>

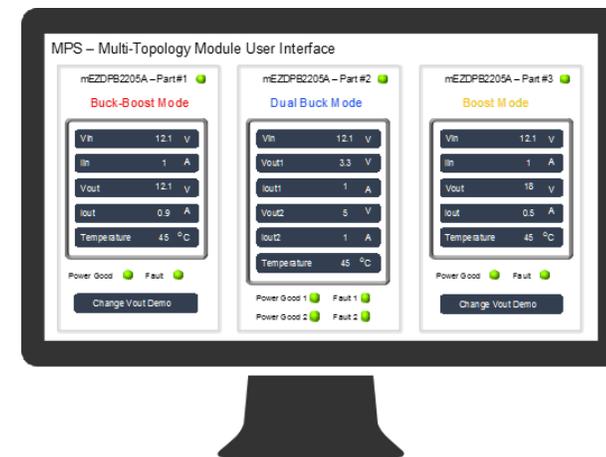
- 内部四相交错
- MCOT 可实现快速瞬态响应
- 比竞争产品的输出电容小50%



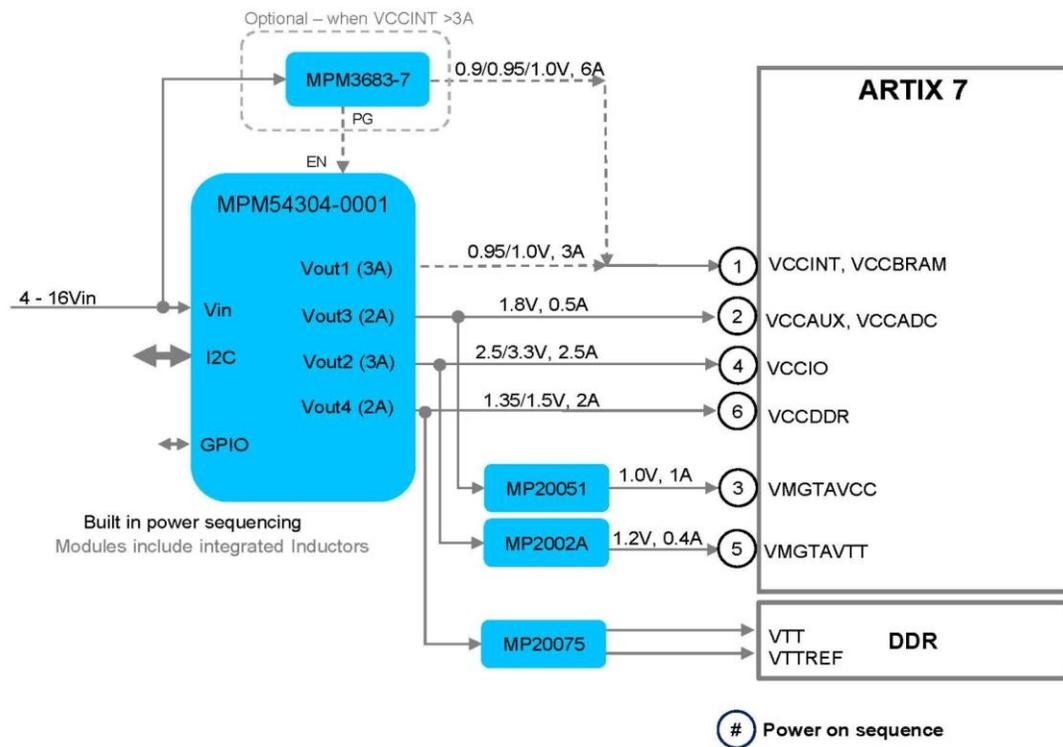
2 个模块, 100A 阶跃, +/-3% 峰峰值, 2500μF C<sub>OUT</sub>

## 诊断与可靠性

- BGA 封装增强了机械、热应力和可靠性
- I2C 可报告系统故障
- 可检测单个模块/相位的故障

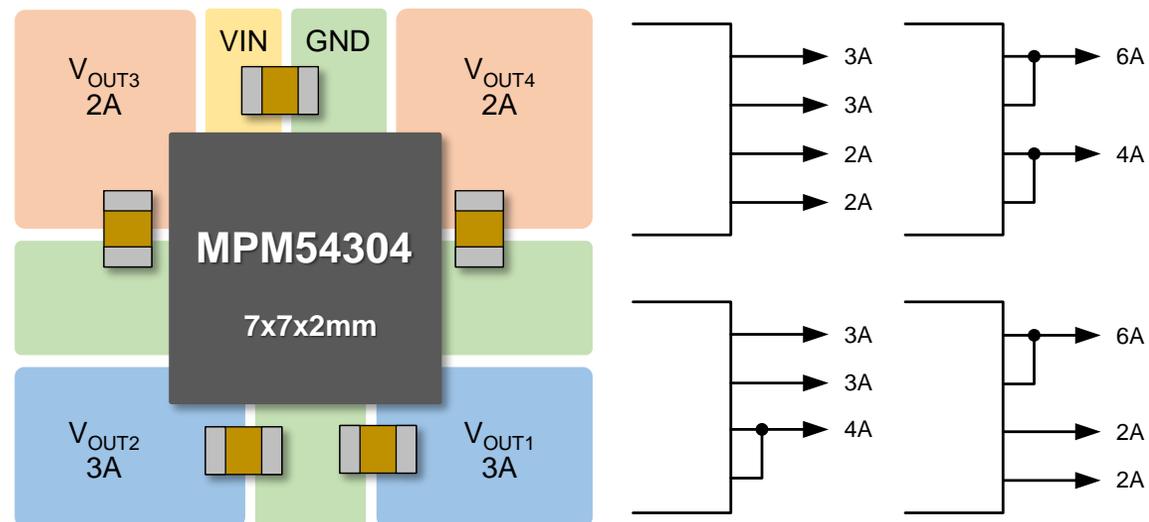


# Artix 7 参考设计



## MPM54304 – 4路3A/2A 电源模块

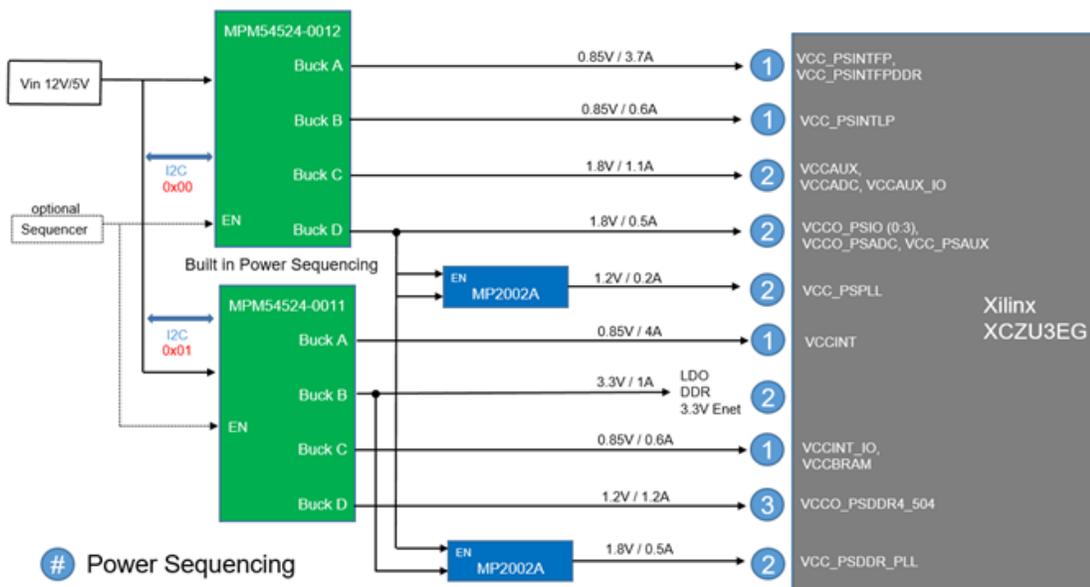
- 输入电压范围: 4V-16V
- 输出电压范围: 0.55-5.5V, 10mV步长
- 输出电流: 3A/3A/2A/2A
- 电源轨可组合
- 可调上电/断电顺序
- PG 和启用引脚
- 允许总功耗: 2.75W
- MTP (3次) 和 I2C 接口



评估板已上市!

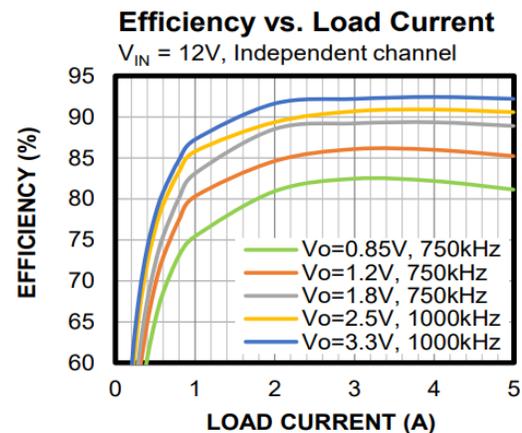


# Zynq US+ 参考设计

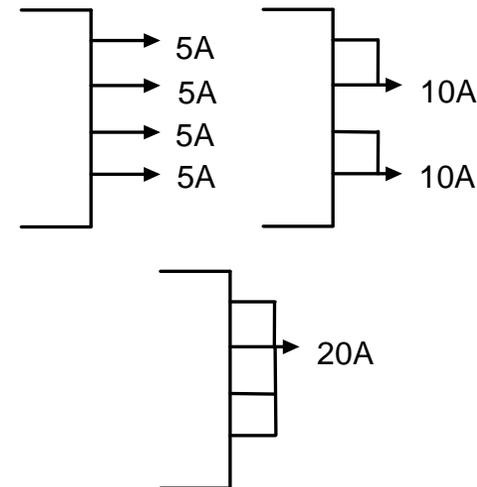


## MPM54524 – 4路5A 电源模块

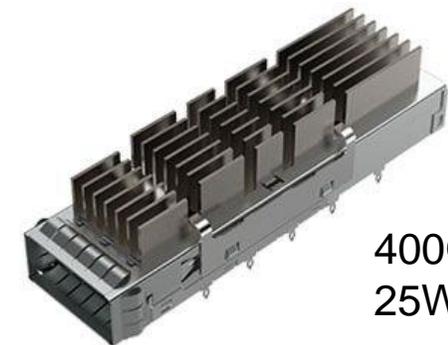
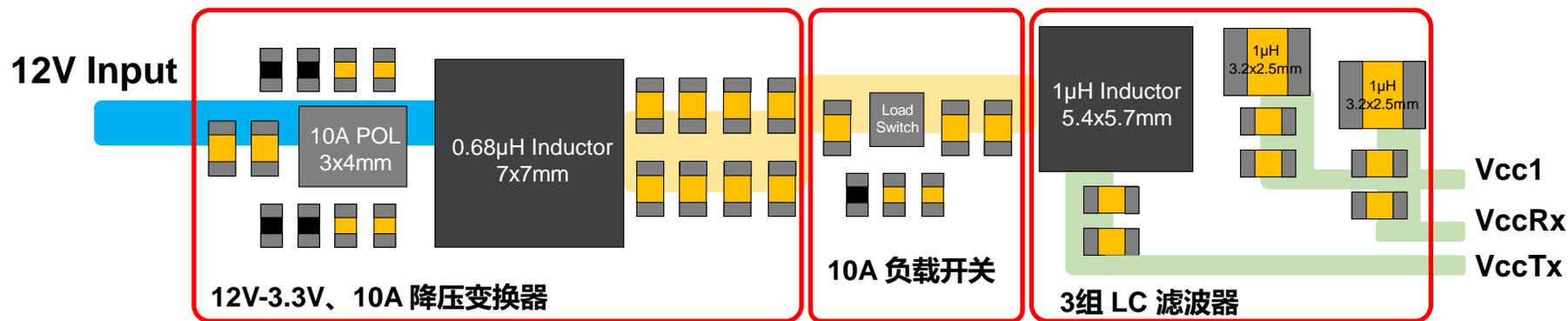
- 4V 至 16V 宽输入电压范围
- 自适应 COT, 可实现超快瞬态响应
- 通道 A/B 和 C/D 支持高达 10A 的并联模式
- 差分输出电压远程采样
- 通过 MTP 可对 I2C 进行编程
- 1MHz 默认开关频率
- 通过 I2C 实现精确的输出电压、输出电流和结温监控



**评估板已上市!**



# 实现25W QSFP-DD/DD800供电的现有解决方案

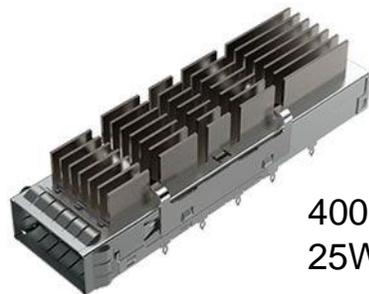
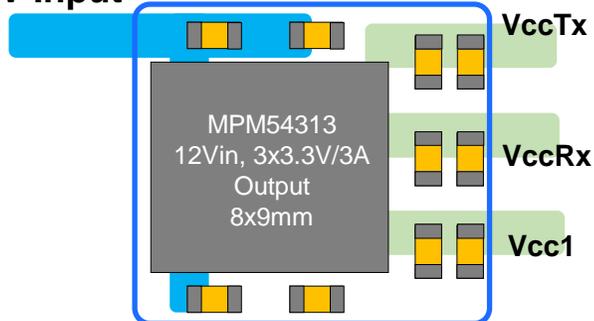


400G Optical  
25W-30W

- 3级解决方案:
  - 降压变换器+ 负载开关+ LC滤波器
- 总系统效率约为 91%
- 解决方案尺寸较大: 405mm<sup>2</sup> (9x45mm)
- BOM 组件 >42
- 没有单个光模块功耗的遥测功能
- 复杂的PCB设计

# MPS 为 QSFP-DD 供电提供的全新单级解决方案

12V Input



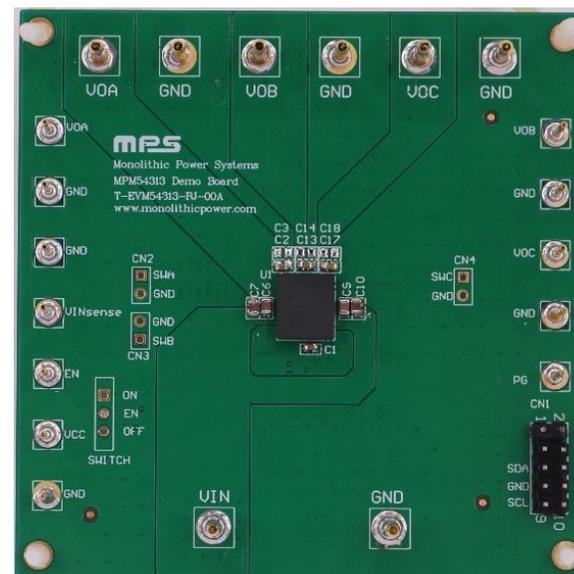
400G Optical  
25W-30W

- 单级解决方案，直接采用12V输入
- 整体系统效率约为 92%
- 解决方案尺寸较小: 130mm<sup>2</sup> (10x13mm)
- BOM组件仅为 11
- 提供单个光模块功耗的遥测功能
- 简单PCB设计

评估板已上市!

## MPM54313 – 3路3A电源模块

- 业界首款光功率电源模块
- 4V 至18V  $V_{IN}$  范围
- 0.5V至5.5V  $V_{OUT}$  范围
- 3路3A 输出电流
- 两种并联方案:
  - 负载线均流: CHA/B/C, 9A
  - 主动均流: CHA/B, 6A
- 8x9x2.58mm LGA 封装
- VIN、IOUT、VOUT和温度遥测
- I2C 接口, 9 个地址



# DCDC 降压模块-稳压

Io Vin	<1A	1A	2A	3A	4A	6A	10A	20A	30A	50A	100A	100A+	200A+	
>50V	MPM3572 1A 6x6x2			MPM3530 10x12x4										
<45V	MPM3506A 3x5x1.6	MPM3515A 1.2A 3x5x1.6				MPM3596 3A,3A I2C 10x10x4.4mm	MPM3519 10A SYNC 7x7mm	MPM3599 12A,12A PMBus 15x30x5.2mm						
		MPM3612 1A 3x3x2mm												
<18V							MPM54313 3A,3A,3A I2C 8x9x2.58mm	MPM3690-20A/B 13A,13A 16x16x5.18	MPM3690-30A/B 18A,18A 16x16x5.18	MPM3690-50D 50A, PMBus 16x16x5.18	MPM3695-100 100A PMBus 15x30x5.18	MPM3698/99 PMBus/VID 15x30x5.18	MPM3698-240 PMBus/VID 15x30x5.18	
							MPM3695-10 10A 8x8x2	MPM3695-20 25A PMBus 5x6x4.4	MPM81204 12A,12A,5A,5A 9x15x5.2mm	MPM3690-50A/B 25A,25A 16x16x5.18	MPM82504 4 x 25A PMBus 15x30x5.18			
	MPM3606 0.6A 3x5x1.6	MPM3610 1A 3x5x1.6	MPM3620 2A 3x5x1.6	MPM3632S 3A 3x3x1.45		MPM3650C 6A 4x6x1.6	MPM3683-10 7x7x4.4			MPM3696-40 PMBus/VID 7x7x4.4		MPM3696-100 PMBus/VID 10x10x5.2		
				MPM3632C 3A 3x5x1.6		MPM54322 3A,3A I2C 5x5.5x1.85mm	MPM54532 6A,6A I2C 5x5.5x1.85mm	MPM3683-20 20A 7x7x4.4						
							MPM54304 3A,3A,2A,2A 7x7x2mm	MPM54524 4x5A PMBus 8x8x2.9mm						
<6V	MPM3809C 0.6A 2 x 1.5 x 1	MPM3812C 1.2A 2 x 1.5 x 1												
		MPM3816C 1A 2x2.2x1.2	MPM3826C 2A 2x2.2x1.2	MPM3836C 3A 2x2.2x1.2	MPM3846C 4A 2x2.2x1.2									
		MPM3814C 2.5x2.5x1.2	MPM3824C 2.5x2.5x1.2	MPM3834C 2.5x2.5x1.2		MPM3864 6A 3x3x1.85								
	MPM3804 0.6A 2x2x0.9	MPM3811 1A 2x2x1.6	MPM3822C 2A 2.5x3.5x1.6	MPM3833C 3A 2.5x3.5x1.6	MPM3840 4A 3x5x1.6	MPM3860 6A 4x6x1.6								

已发布

提供样品

开发中



## 问答环节