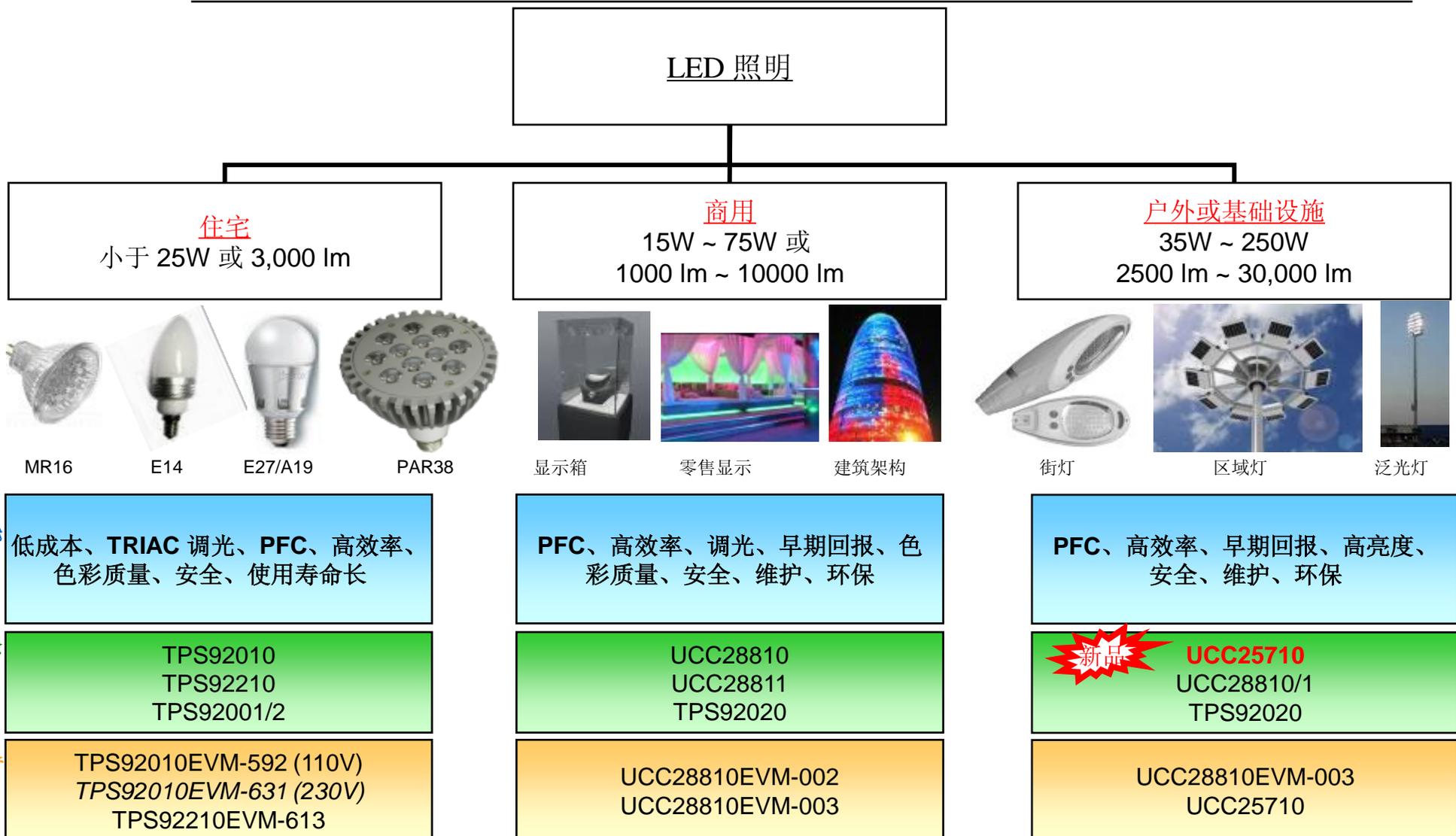




Innovative LED Lighting Electronic Design

新型多串半桥谐振高效 LED 驱动
解决方案及其应用

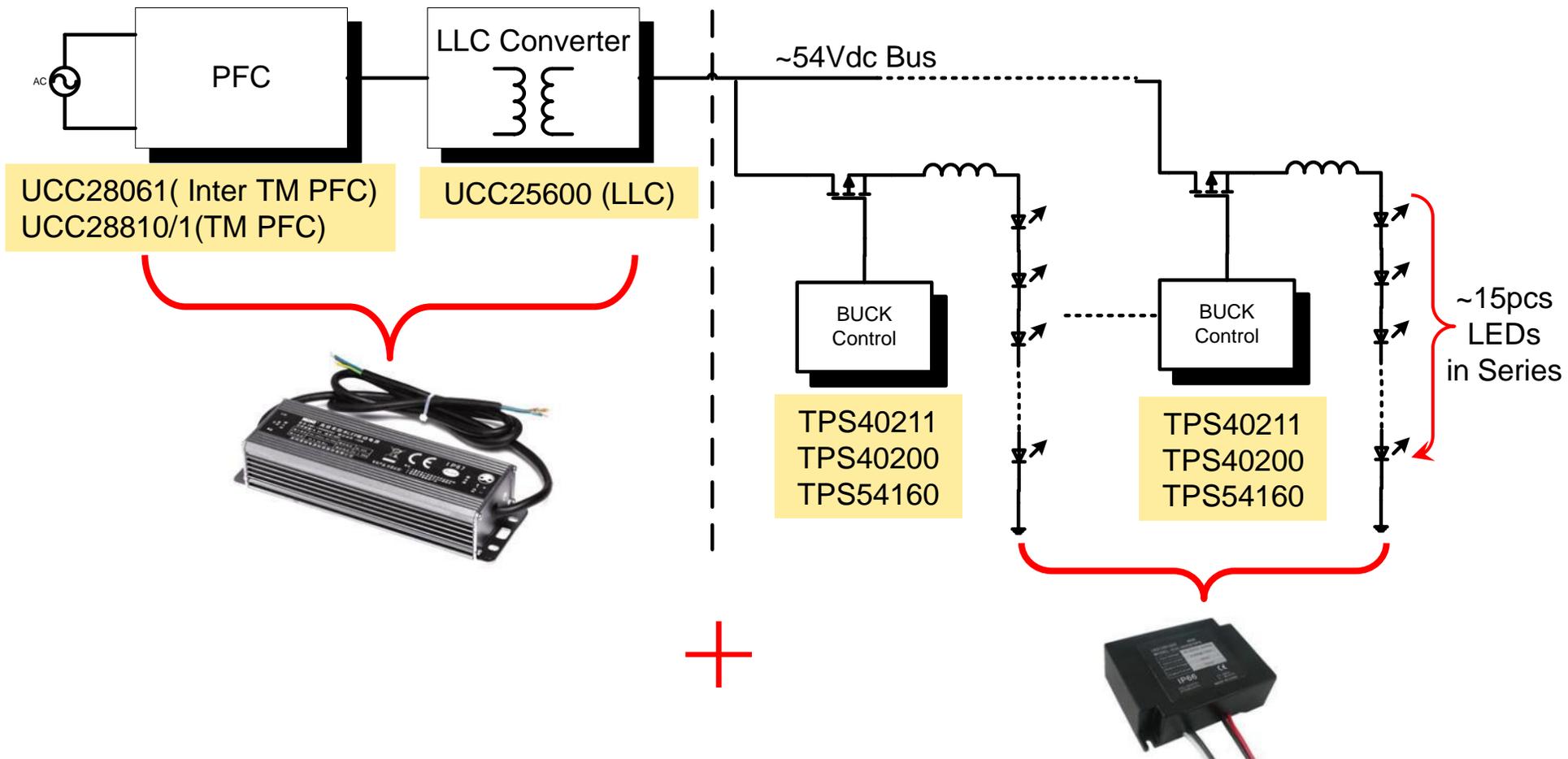
LED 通用照明



典型高瓦特（高于 100W）LED 照明驱动器拓扑

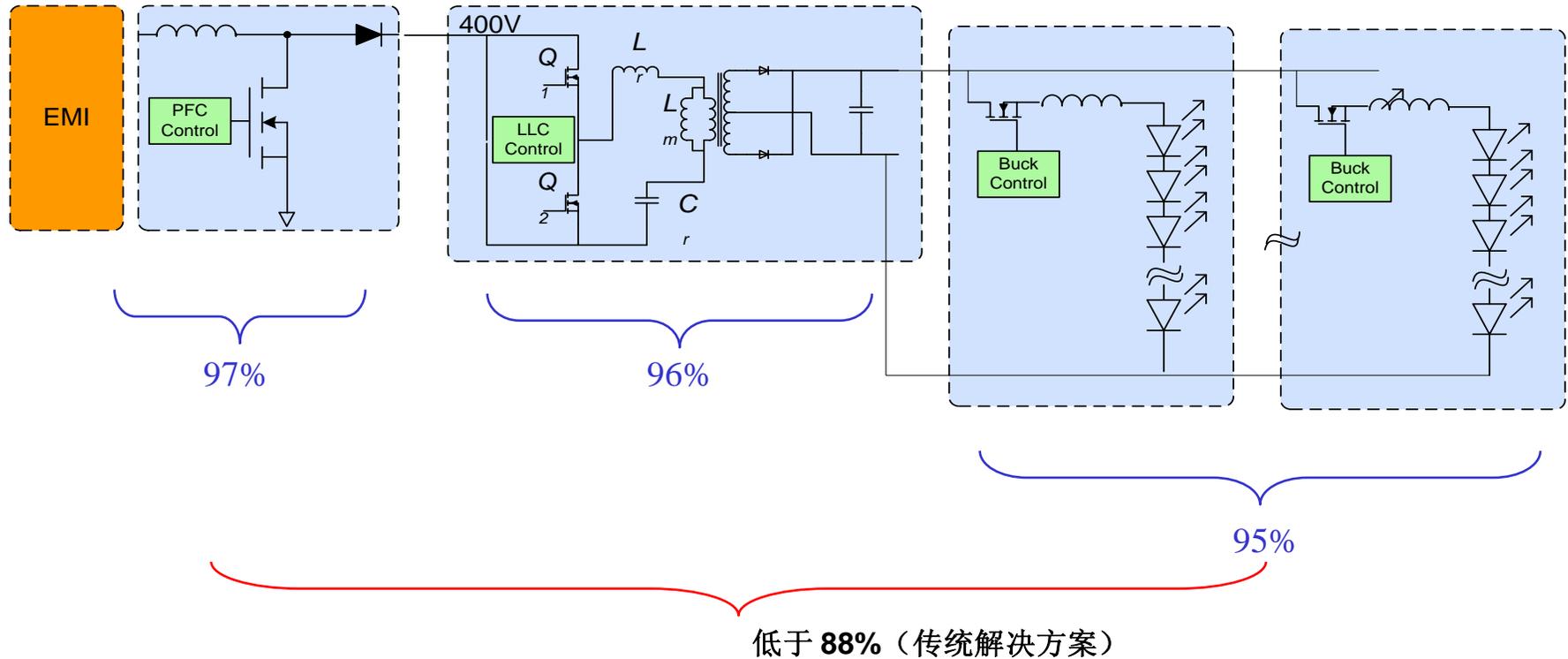
1. AC/DC 功率级

2. 恒定电流驱动器级



高瓦（高于 100W）LED 照明效率预算

Outdoor and Industrial >100W



传统拓扑问题:

- ☹️ 高成本: PFC+LLC+CC BUCK (多芯片!!)
- ☹️ 低效率 (<~88%)
- ☹️ 低可靠性 (许多组件数量)

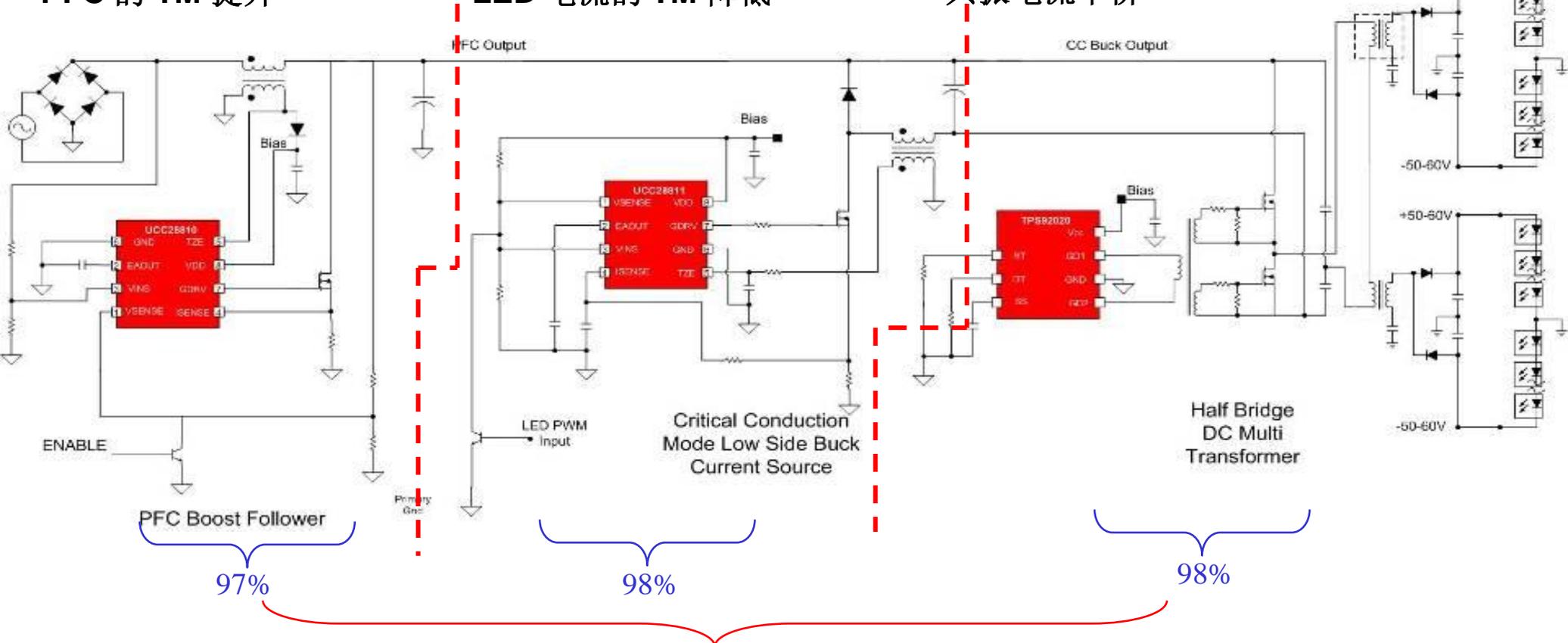
TI UCC28810EVM-003 - SIMPLERdrive™

串行输入、多并行等价 LED 驱动器 (SIMPLERdrive)

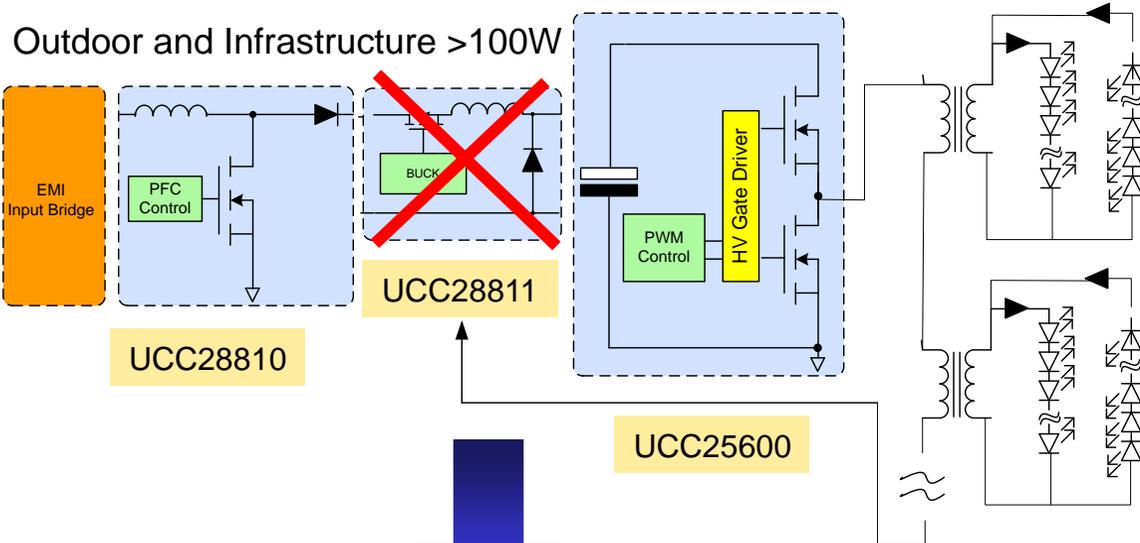
1 级:
PFC 的 TM 提升

2 级:
LED 电流的 TM 降低

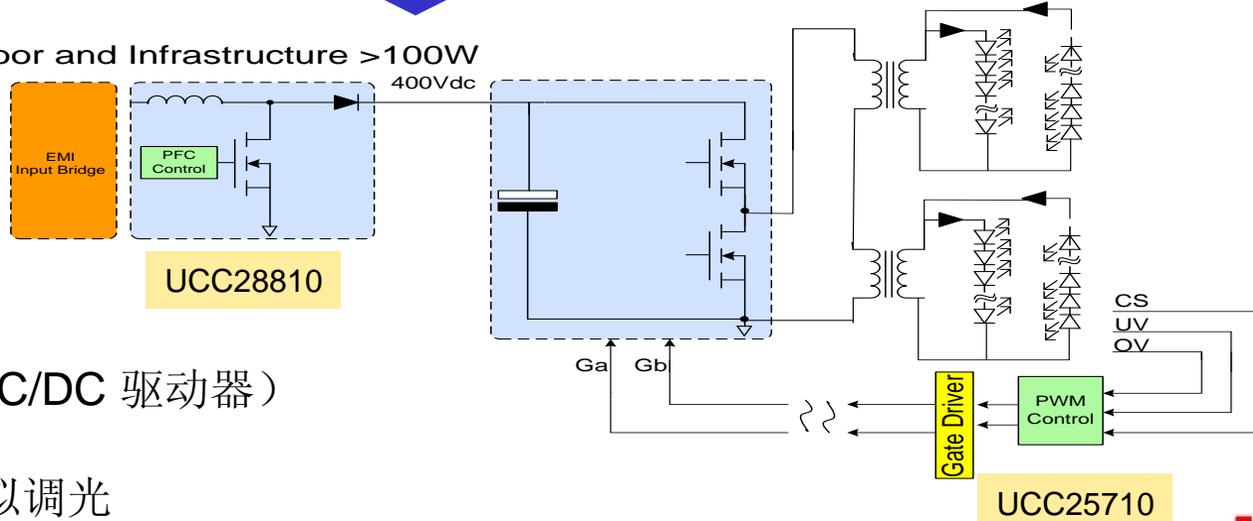
3 级:
共振电流半桥



LED 照明的创新型双级多串 LLC 拓扑



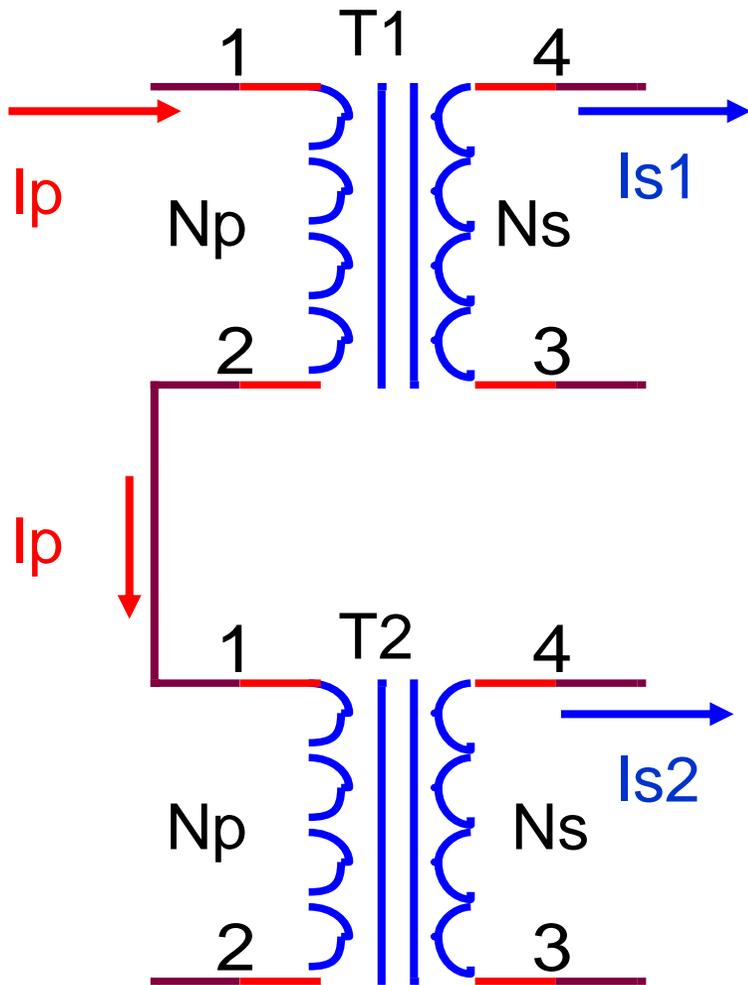
Outdoor and Infrastructure >100W



推荐拓扑的优势:

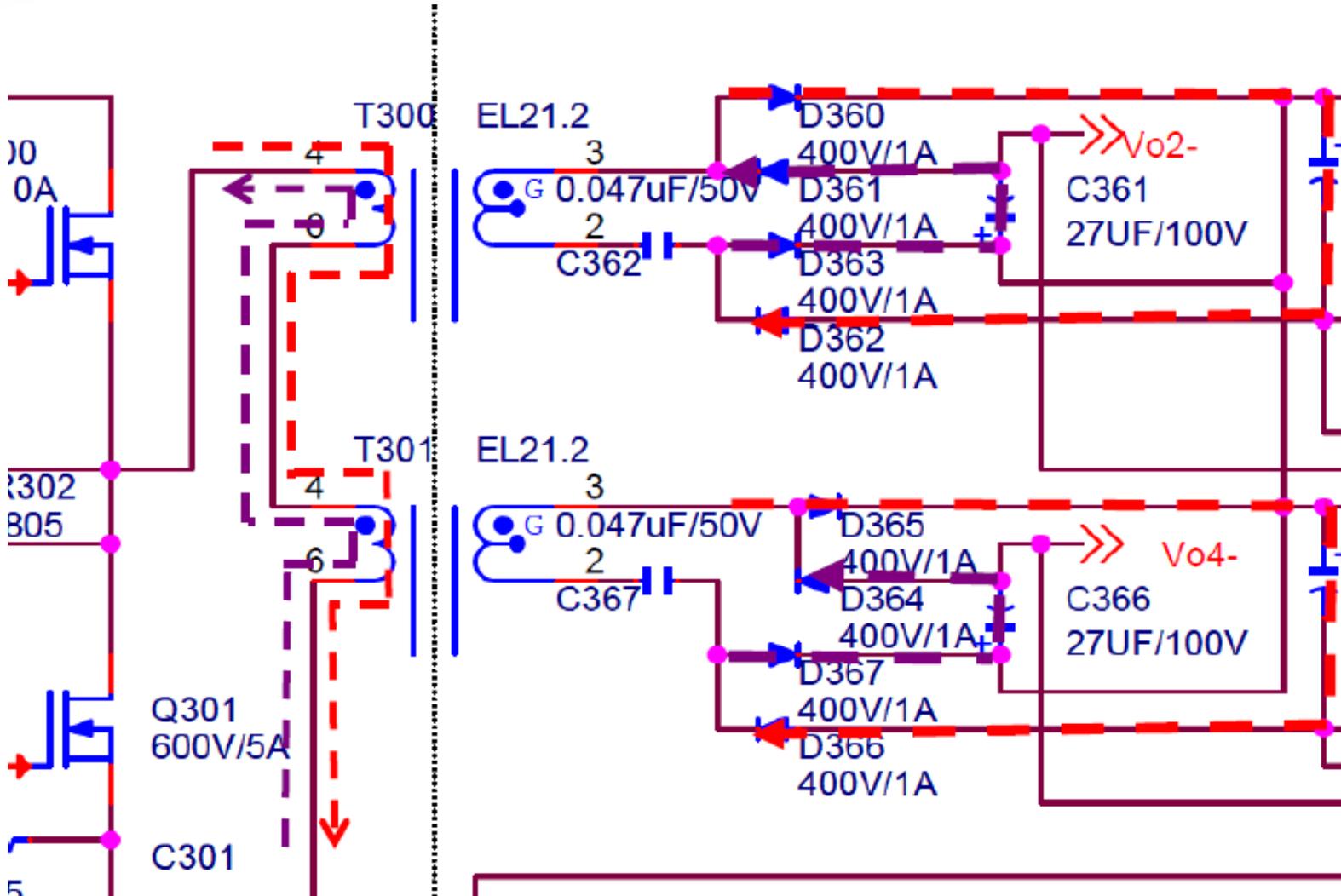
- ☺ 高效率: 约 92%
- ☺ 低成本 (无需CC DC/DC 驱动器)
- ☺ 高可靠性
- ☺ 兼容于 PWM 或模拟调光

变压器为何能平衡电流



- 变压器电流与转换率成反比
- $I_p/N_p = I_s/N_s$; $I_s = N_s * I_p / N_p$
- 基本变压器连接在一起时，其基本电流必须相同
- T1 与 T2 相同，因为变压器工作原理要求二级电流相同
- $I_{s1} = N_s * I_p / N_p = I_{s2}$

多变压器架构 (TI 专利)



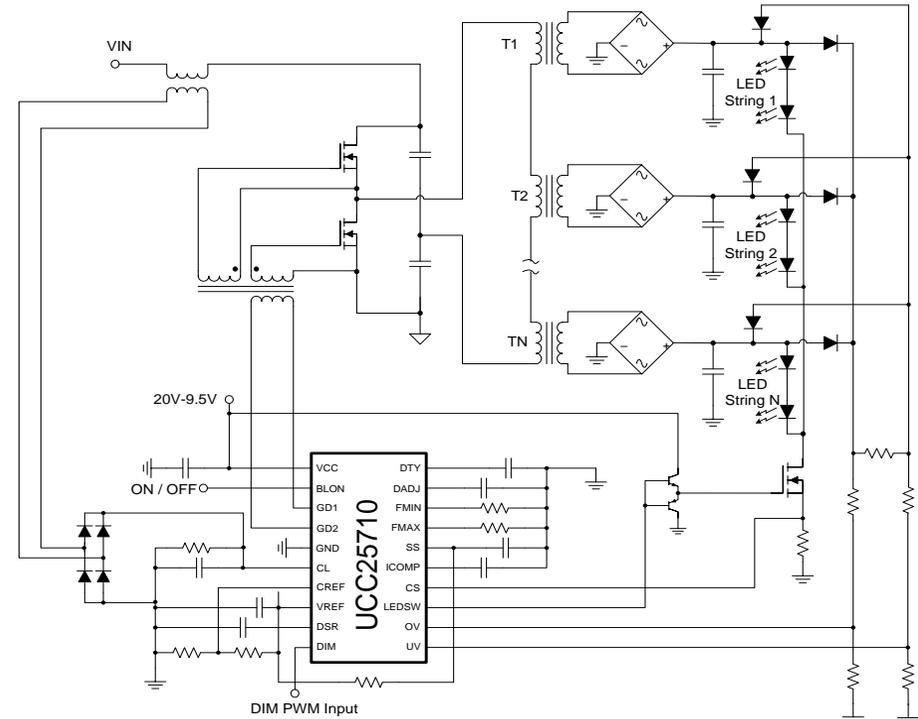
UCC25710: LED 驱动器控制器 IC

Features

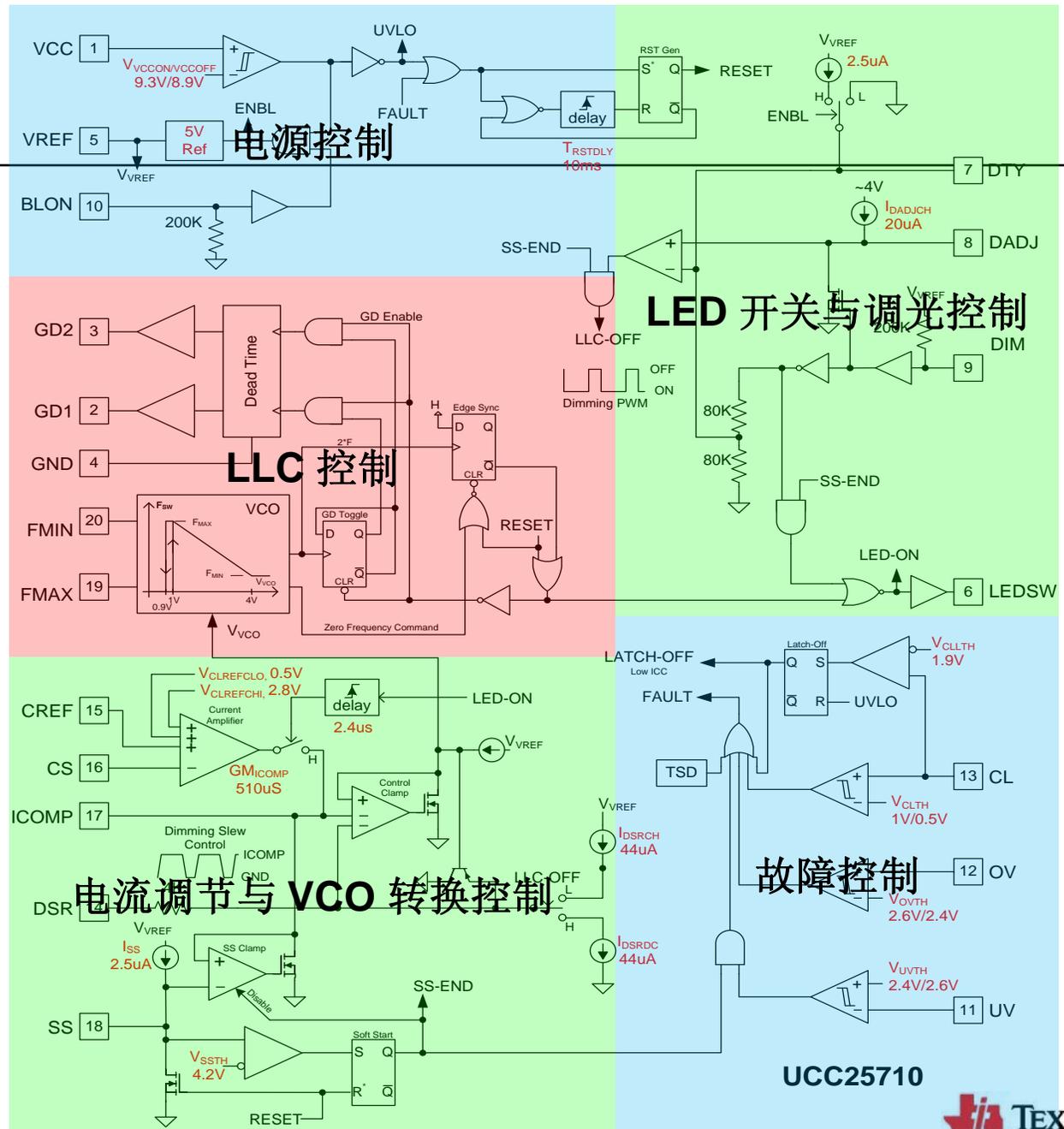
- 业界首款直接通过 PFC 输出驱动多个 LED 串的单芯片 LLC 控制器
- 可调节 F_{min} (3% 准确度) 和 F_{max} 6% (准确度)
- 闭环 LED 串电流控制
- PWM 调光输入
- LLC 与串联 LED 开关控制支持调光
- 可编程调光 LLC 开关斜坡, 可消除噪声
- 可在低调光占空比下支持闭环电流控制
- 可编程软启动
- 准确的 V_{REF} 可实现严格的调节输出
- 过压、欠压与输入过流保护, 支持自动重启响应
- 二级过流阈值支持锁定响应
- +400-mA/-800mA 门驱动电流
- 低启动电流与低工作电流
- 20 引脚 SO 无铅 (Pb) 封装

Applications

- 通用 LED 照明
- LED 电视背光



UCC25710 方框图



UCC25710

UCC25710: 调光 — LLC 开关转换与电流控制

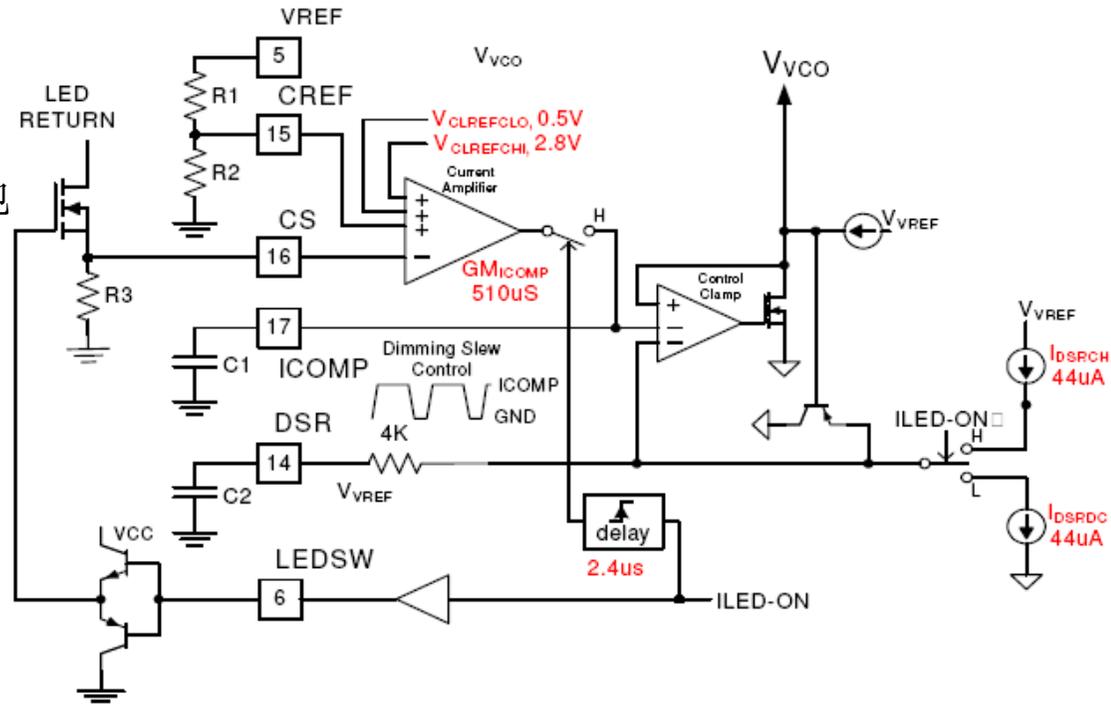
- DIM 输入可控制 ILED-ON 信号 ILED-ON

- DSR 电容器 C2 与内部 44uA 电流 可在调光开关转换时控制 V_{VCO} 的压摆率
 - 断开: DSR 由 44uA 电流放电至接地
 - 开启: DSR 由 44uA 电流充电至 ICOMP。充电标准可钳位至高于 ICOMP 的 $1V_{be}$

- 控制钳位输出 V_{VCO} 可跟踪更低的 ICOMP 与 DSR

- 在 LED-ON 时, ICOMP 仅由 GM 放大器驱动

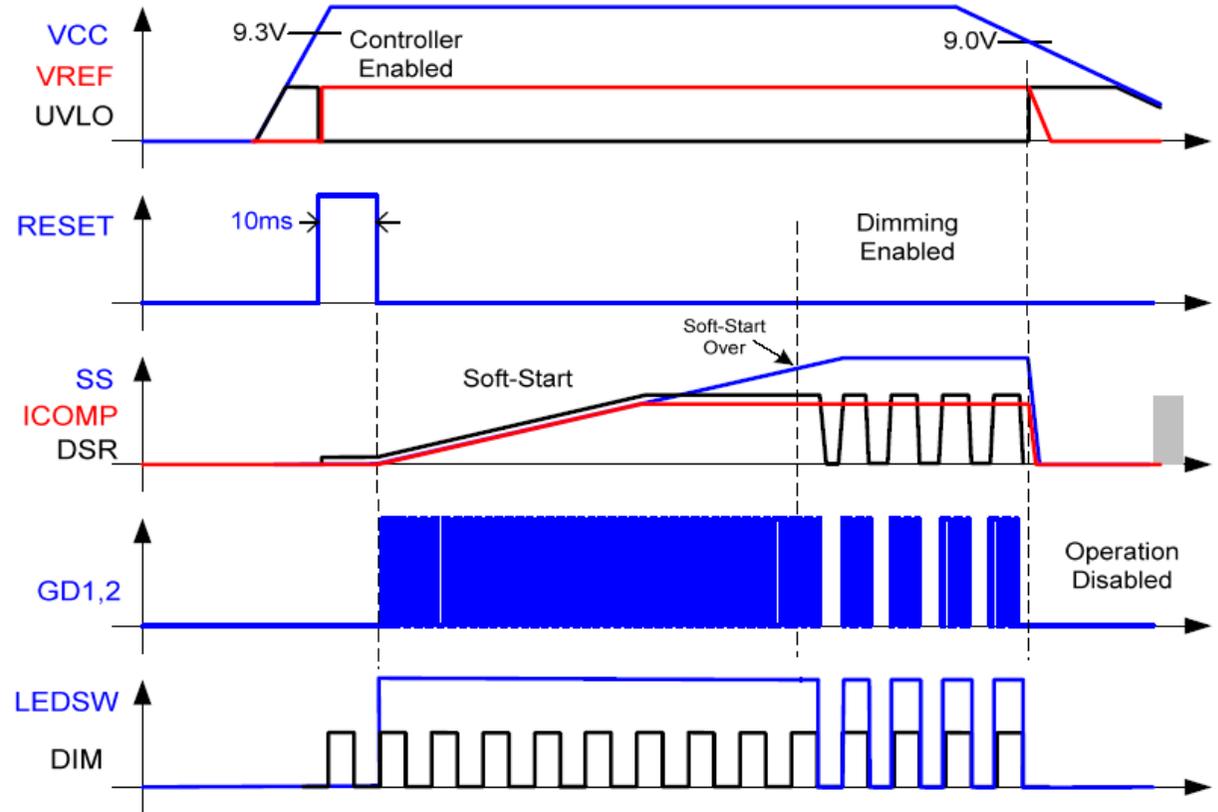
- 在 LED-OFF 时, ICOMP 电压由 C1 控制



UCC25710: 启动与 DIM 波形

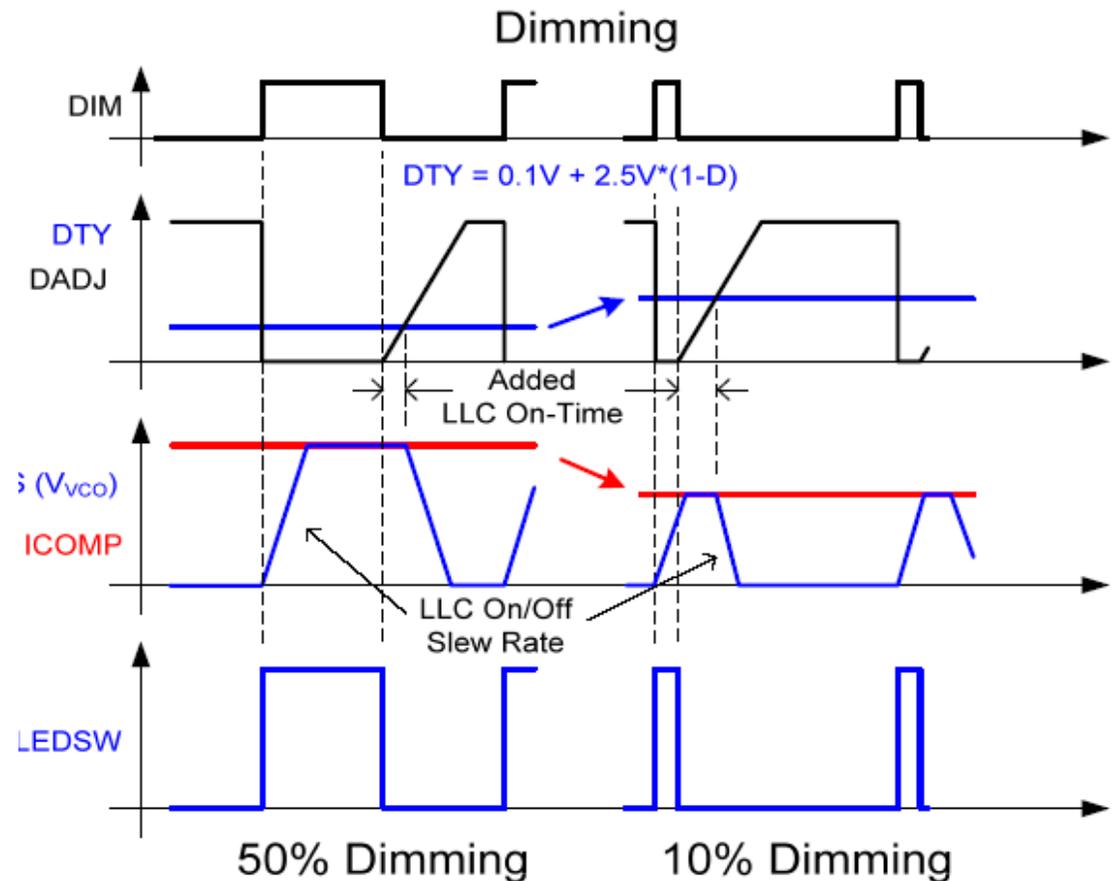
- 10ms RESET 可启动软启动 (SS)
- LLC 软启动, VCO 控制可错位至 SS, 直到 $SS > ICOMP$
- 在 SS 过程中可禁用调光
- 在调光过程中, DSR 电容可用于限制 LLC 控制压摆率
- 在调光过程中可保持 ICOMP 电压

启动与 UVLO 关断



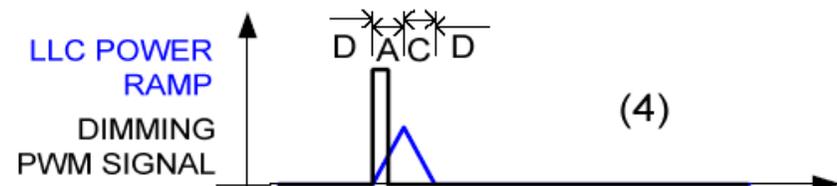
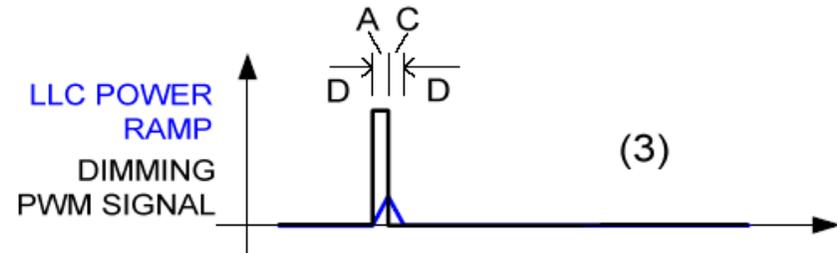
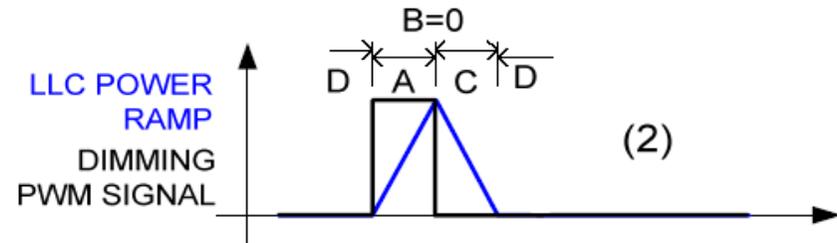
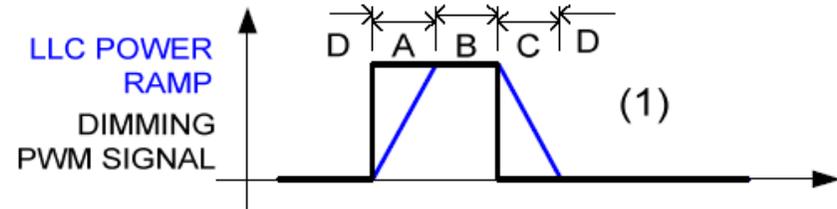
UCC25710: 调光 — 波形

- DIM 输入可控制 LEDSW
- DIM 输入可触发 LLC 转换器的软开关
- LLC 接通时间可延长
- 接通时间的延长和 $1-D$ 成比例， D 为调光占空比
- 延长的接通时间使 ICOMP 能够在低 D 下保持稳定的电流



UCC25710: 低占空比说明

1. 在 B 区域，LLC 可达到的功率水平与基架 LED 电流相等。在 A 区域，功率低于所提供的功率，但可在 C 区域得到补充
2. B 区域为零时，A+C 的总数仍可提供适当的能源
3. A + C 区域所提供的能源太低时，环路打开，所实现的峰值 LED 电流将会降低
4. 接通时间延长时，可调整 A + C 能源 / 脉冲，使其保持与峰值 LED 相同的电流



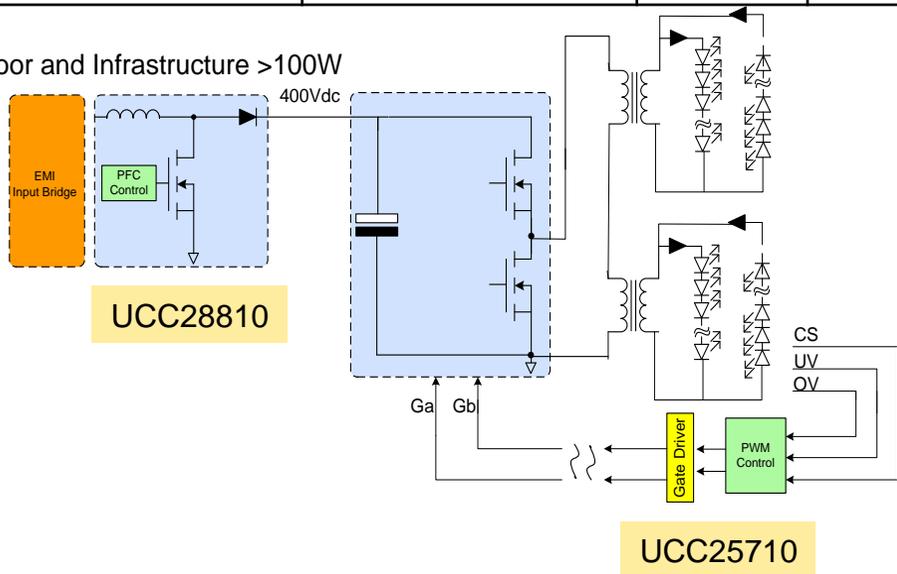
UCC25710: 故障管理

- 故障
 - OV — 最高 LED 串电压
 - UV — 最低 LED 串电压
 - CL(1V) — 输入电流信号过流
 - CL(2V) — 输入信号锁定
 - TSD — 芯片热关断
- 响应
 - OV、CL (1V) 与 TSD: LLC 转换器与 LEDSW 关闭。故障清除后将启动 RESET 与 SS
 - UV: LLC 转换器与 LEDSW 关闭。RESET 与 SS 立即启动，并在故障清除前不断重复
 - CL (2V): LLC 与 LEDSW 锁定，直到 UVLO 循环恢复
 - 在 RESET 期间，LLC 转换器和 LEDSW 为 OFF
 - 在 SS 期间，LLC 转换器与 LEDSW 为 ON，如无调光。

通用 LED 照明的多串 LLC AC/DC 驱动器

| 参考设计 | TI 部件 | Vin | 输出 | 拓扑 | 效率 | 调光 |
|---|--|----------|-----------------------|-------------------|-----|--------|
| PMP4302: <u>AC 输入多串 LLC 转换器适用于通用 LED 照明</u> | UCC28810 (<i>TM PFC</i>) UCC25710 (<i>多串 LLC</i>) UCC28610 (<i>辅助反激</i>) | 90V~264V | 500mA 时为 54 V，支持 4 个串 | TM PFC+多串 LLC 转换器 | 92% | PWM 调光 |

Outdoor and Infrastructure >100W



特性

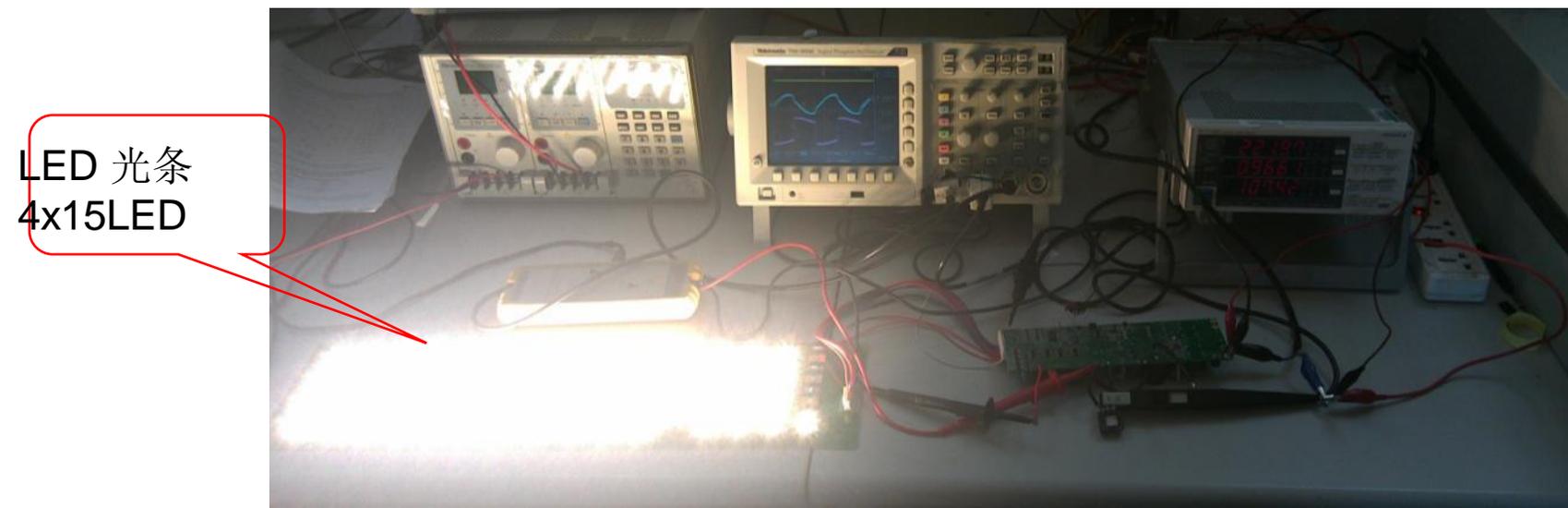
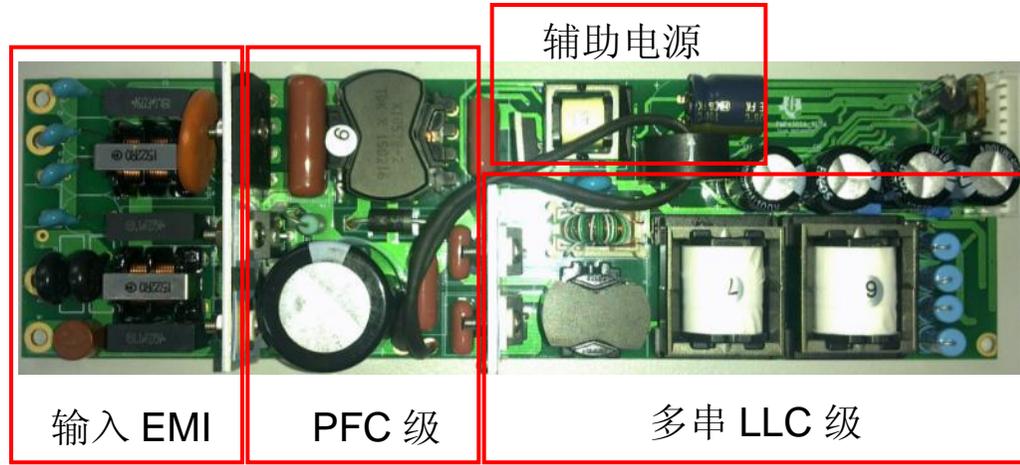
- 最低成本，低于 AC/DC + DC/DC
- 最高效率，达 92%
- PWM 调光兼容性
- 集成 LED 开路 / 短路保护和过流保护

应用

- 通用 LED 照明与 LED 背光电视

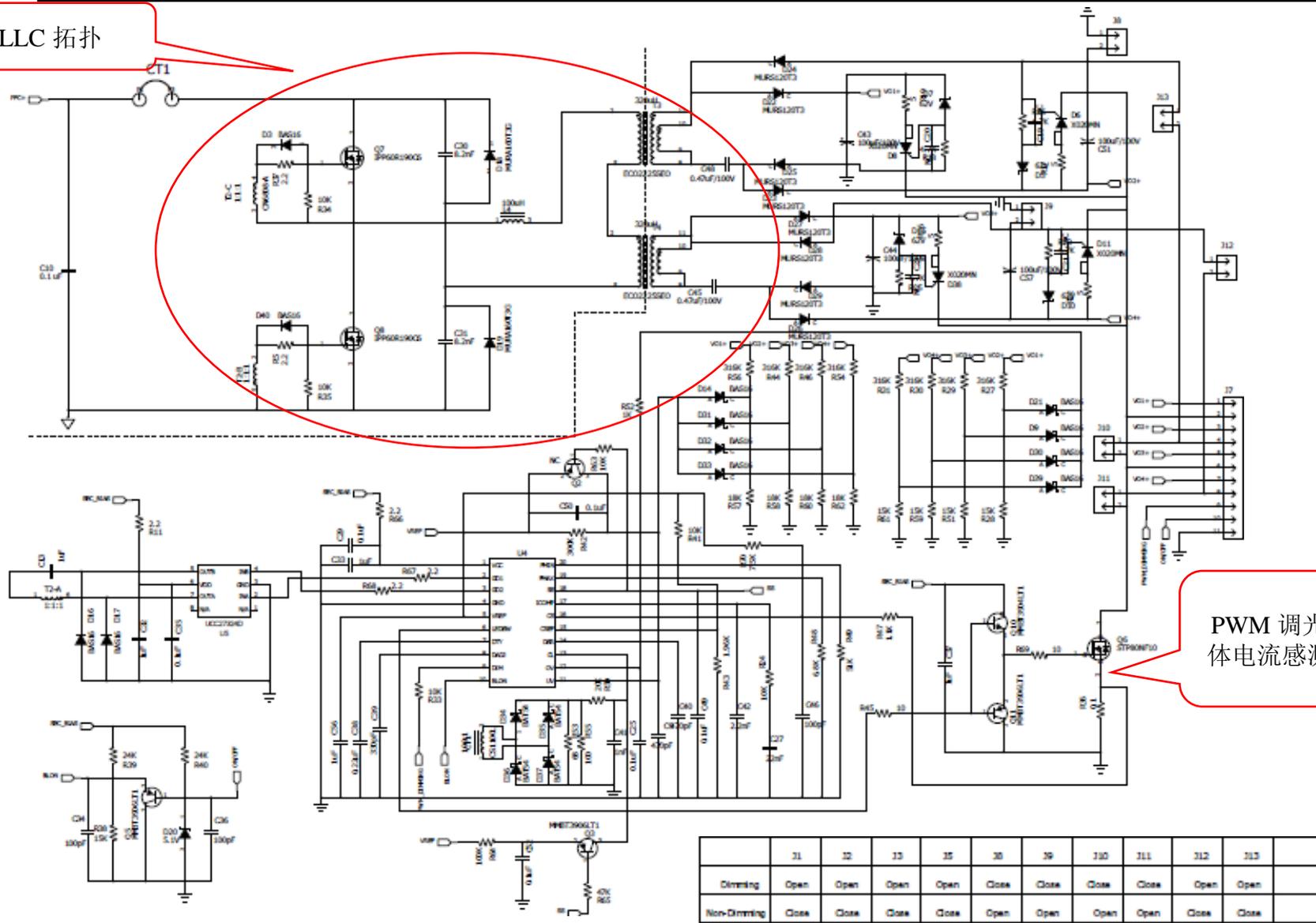


PMP4302 演示板



PMP4302: PFC 级后的 UCC25710 原理图

多串变压器 LLC 拓扑



PWM 调光与总体电流感测反馈

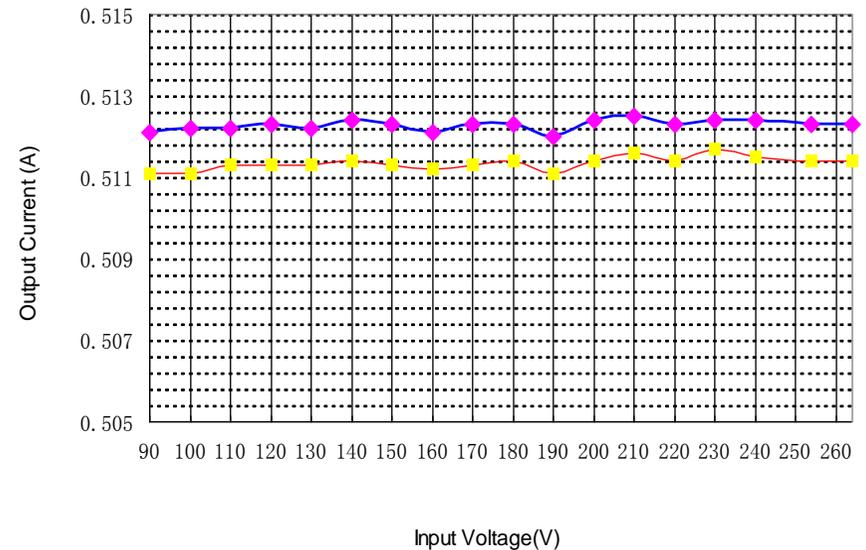
| | 21 | 22 | 23 | 25 | 26 | 29 | 310 | 311 | 312 | 313 | | R44 | R54 | R55 | R52 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-----|-----|-----|------|
| Dimming | Open | Open | Open | Open | Close | Close | Close | Close | Open | Open | | | | | |
| Non-Dimming | Close | Close | Close | Close | Open | Open | Open | Open | Close | Close | | | | | Open |

PMP4302: LED 电流输出容限

230V ac 输入

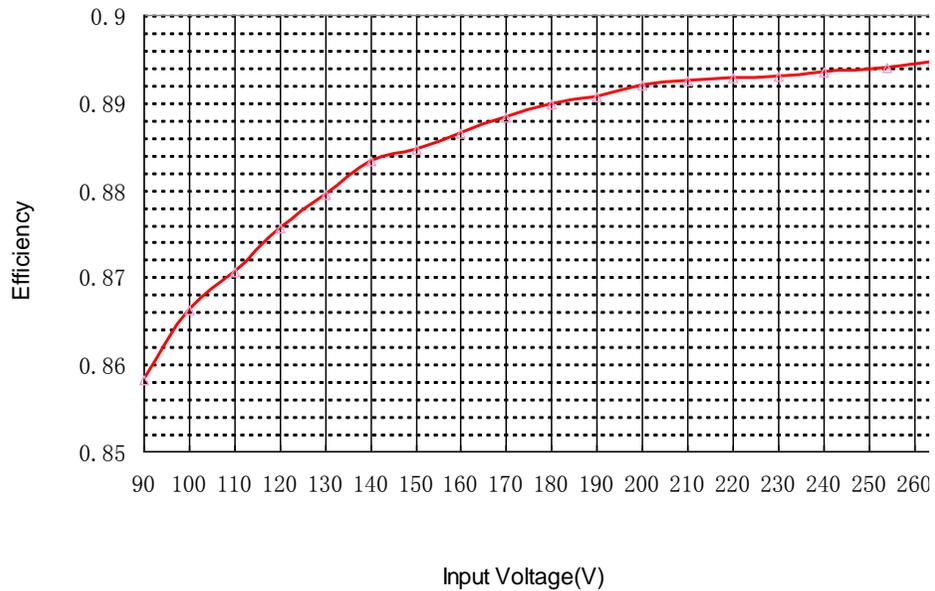
| PWM Dimming | Io1 | Io2 | Io3 | Io4 | % |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1% | 4.9 | 4.8 | 5 | 5.1 | 3.030 |
| 2% | 10 | 9.8 | 10.4 | 10.3 | 2.962 |
| 5% | 25.2 | 24.1 | 25.2 | 25.1 | 2.208 |
| 10% | 50.4 | 49.7 | 51.5 | 51.3 | 1.774 |
| 20% | 100.9 | 100.1 | 102.7 | 102.5 | 1.280 |
| 30% | 151.4 | 150.4 | 154.1 | 153.6 | 1.214 |
| 40% | 201.9 | 200.9 | 205.1 | 204.9 | 1.033 |
| 50% | 252.4 | 251.1 | 256.4 | 255.8 | 1.043 |
| 60% | 302.9 | 301.4 | 307.7 | 307 | 1.033 |
| 70% | 353.5 | 351.8 | 358.6 | 357.8 | 0.956 |
| 80% | 403.9 | 402.2 | 409.7 | 408.8 | 0.923 |
| 90% | 454.3 | 452.2 | 461.1 | 460.1 | 0.973 |
| 99% | 499.3 | 496.7 | 507.2 | 506.2 | 1.045 |
| 100% | 503.9 | 501.4 | 512.4 | 511.7 | 1.084 |

LED 输出电流与输入电压
可 100% 调光

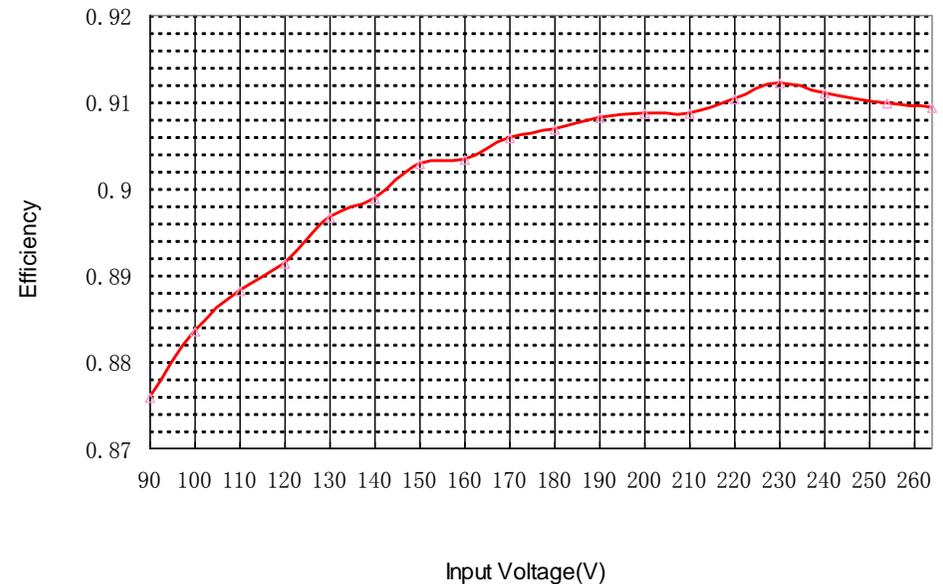


电流公差 $\pm 3\%$, 调光范围从
1% 到 100%

PMP4302: 效率 (TM PFC + 多串 LLC + 辅助电源)

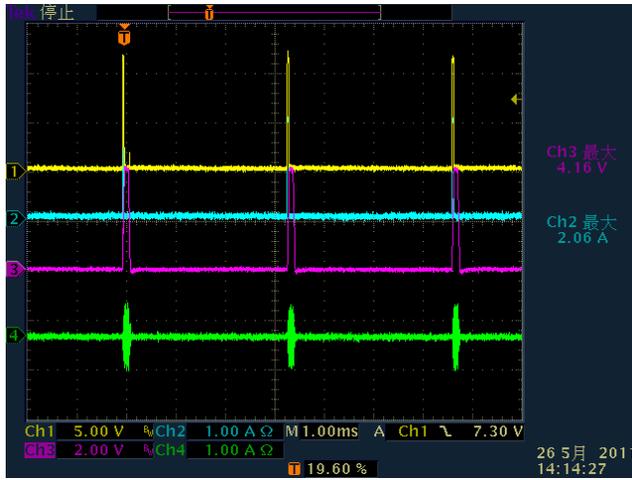


调光版本

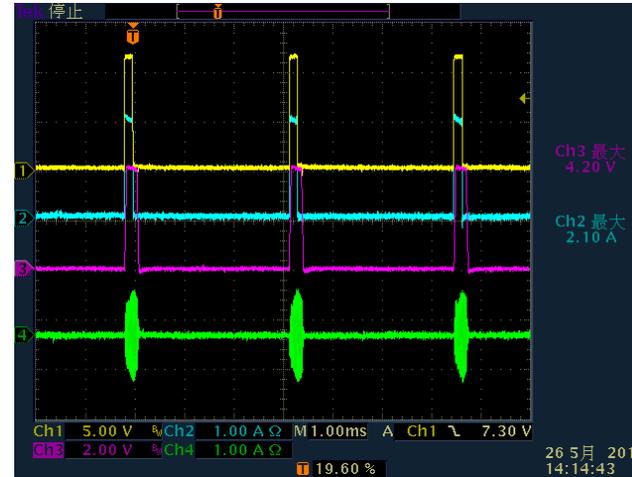


非调光版本

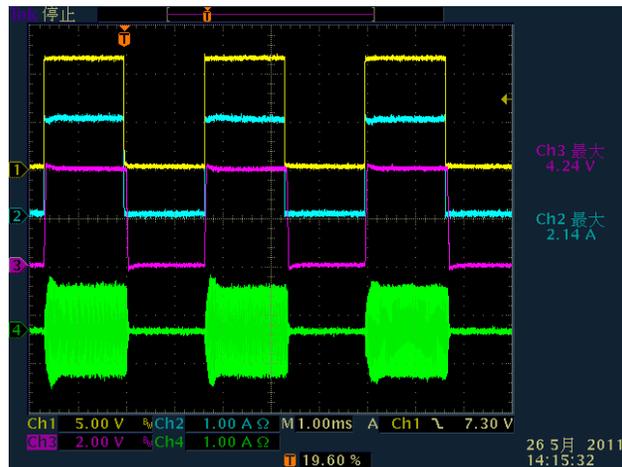
PMP4302: 波形



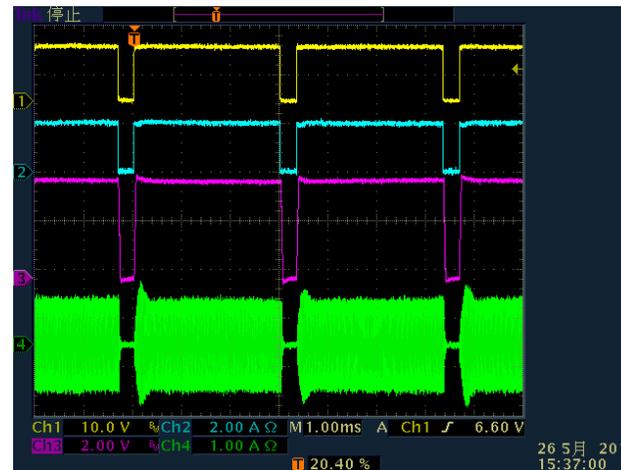
1% 调光



5% 调光



50% 调光



90% 调光

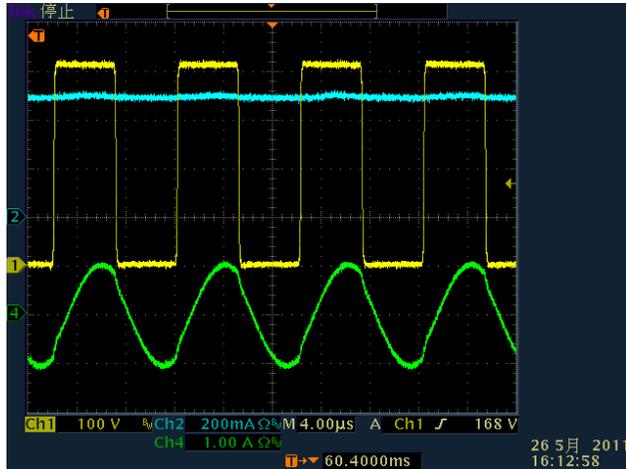
CH1: LEDSW
MOSFET Vgs
5V/Div

CH2: LED 输出电
流 1A/Div

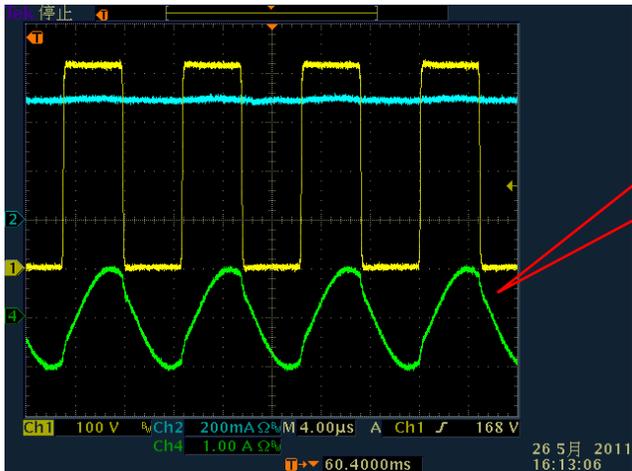
CH3: DSR 2V/Div

CH4: 基本
电流 1A/Div

PMP4302: 波形



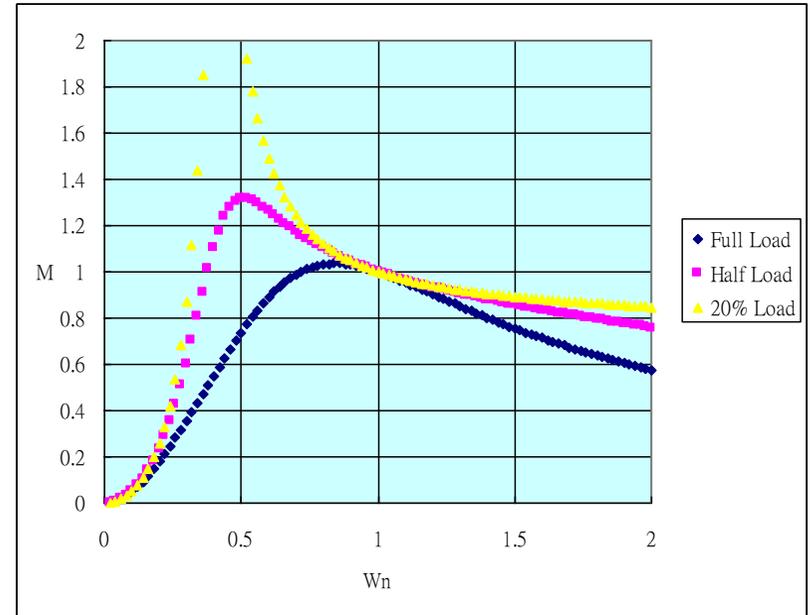
90Vac 输入



230Vac 输入

- CH1: 基本 MOSFET V_{ds} 100V/Div
- CH2: LED 输出电流 200mA/Div
- CH4: 基本电流 1A/Div

CCM 可获得
更优异的电
流容限

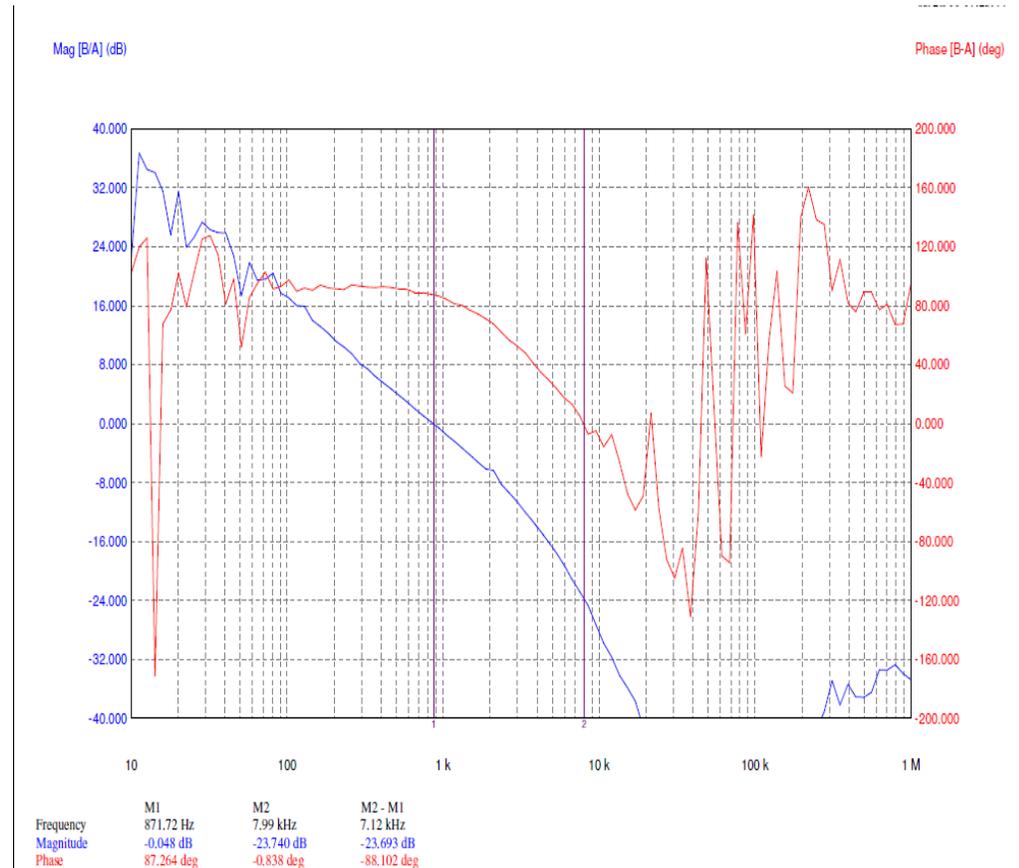
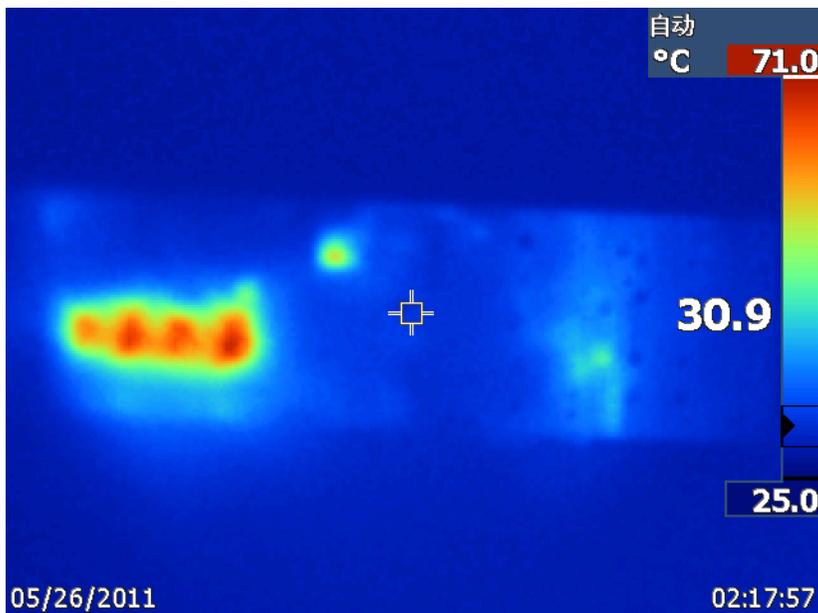
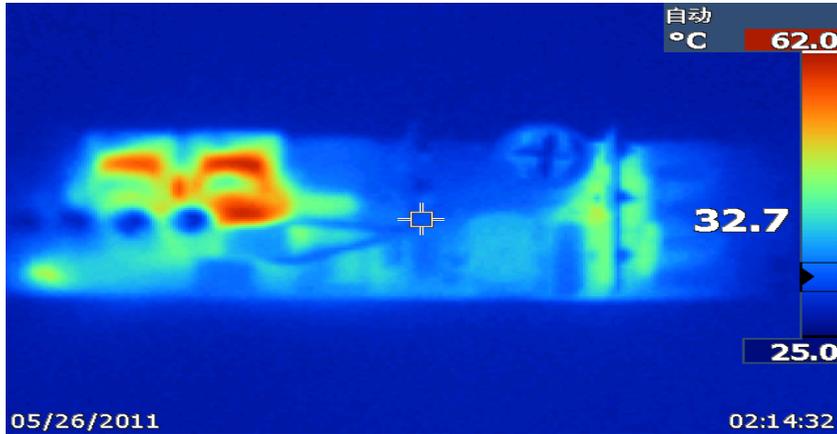


$L_m/L_k=6$
 $F_s=100\text{KHz}$
 $Q=0.7$



$L_{m1}+L_{m2}=640\mu\text{H}$
 $L_r=100\mu\text{H}$
 $C_r=30\text{nF}$

PMP4302: 散热和波德图



总结

- 采用多变压器 LLC 拓扑的 UCC25710 可实现:
 - ☺ 高效率
 - ☺ 低总体材料清单成本与高可靠性
 - ☺ 兼容于 PWM 或模拟调光
 - ☺ 输出 LED 串开路 / 短路保护
 - ☺ 输入过流保护
 - ☺ 支持 1%~100% 调光范围

谢谢