

# 高效小型化以及高精度过电流保护应用于 PD 快充 AC/DC 解决方案

作者:FAE 张伟群/胡启程

参考文献:LD5766E/E1,LD5555/6,LD966L 应用手册及 IC 规格书

## 1. 通嘉 PD 快充 Flyback 控制器背景说明

通嘉科技(Leadtrend Tech. Corp.)推出新一代高效节能 Quasi-Resonant (QR) 模式及混合型 Quasi-Resonant (QR) 与 Continue Conduction Mode (CCM)模式应用于 PD 方案之 Flyback 架构,LD5766E/E1,LD5555/6,LD966L 专门驱动氮化镓功率元件并适用于适配器电源,侦测输出电压的变化进行 IC 内部参数调整包含降频曲线,OCP, OTP, 让 IC 操作上可满足 PD 输出电压变化应用。

控制器有三大新技术,让系统成本与设计达到最优化,第一高精度过电流保护机制使适配器可符合 LPS (Limited Power Source)规格,并在量产上有 $\pm 10\%$ 误差表现(不受电感量产误差影响);第二传导 EMI 优化技术,透过抖频补偿技术优化传导 400kHz-800kHz 的频段;第三依据输出电压的变化对应最佳切换频率使电源效率最优化。

LD5766E/E1(SOP-8)采用高频搭配 Quasi-Resonant (QR) 模式,达到小型化及高效率。IC 在不同输入电压、输出电压以及输出功率的情况下,自动切换最佳频率操作模式,当输入高压时降低 QR 最高频率及切换损失获取更高的效率。

LD5555/6(SOT-26)采用混合型操作 Quasi-Resonant (QR) 与 Continue Conduction Mode (CCM)模式。兼容系统有 Peak Load 条件下升频技术,优化变压器与电解电容之成本,轻载让适配器操作于较低的切换频率且重载条件下操作于 CCM 满足输出能量需求。极轻载条件不同输出电压下进行突冲模式(Burst Mode)位准调整使适配器更加节能,无论是在美国能源局所订定的规范(US DOE Level VI)或是欧盟发布的法规(EU CoC Tier-2),都可以符合最严峻的新能源法规。控制器供电电压 VCC Pin 耐电压高达 83V,在 PD 应用输出高电压时,辅助绕组电压经过整

流后直接供给 VCC Pin 即可，不需额外增加 Low Dropout Regulator(LDO)线路，可有效节省零件成本。

通嘉 PD 控制器对应氮化镓(GaN)方案如表 1:

LD5766E:驱动电压 11.5V 驱动 D-Mode GaN MOS

LD5766E1:驱动电压 5.8V 驱动 E-Mode GaN MOS 可节省驱动降压电路(约七颗组件)

LD5555/6 驱动电压 5.8V 驱动 E-Mode GaN MOS ,SOT-26 包装可减少 PCB 空间, 搭配三款控制模式包含 QR 200 kHz, QR+CCM(80kHz), QR+CCM(130 kHz /65 kHz), 研发人员可依据变压器选型选用合适操作模式及频率

LD966L:集成 GaN MOS (650V/0.165ohm)节省电路组件数及产品小型化设计

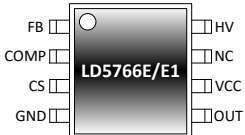

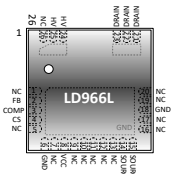
Name	LD5766E/E1	LD5555/6	LD966L
Package	HV SOP-8	SOT-26	QFN 8*8-26
			
Topology	控制器	控制器	集成GaN MOS (650V/0.165ohm)
Control Mode	QR Fmax=227kHz	QR Fmax=200kHz,	QR Fmax=227kHz
		QR+CCM(80kHz)	
		QR+CCM(130kHz/65kHz)	
Out Pin	LD5766E:11.5V	5.8V	NA
	LD5766E1:5.8V		
OCP	Doff-Vcs curve	CCO Design	Doff-Vcs curve
Vcc	83V		
OTP	Function by CS Pin		

表 1 通嘉 PD 控制器对应氮化镓(GaN)方案

通嘉 PD 快充电路图说明

图 1: AC-DC PWM:LD5766E/E1+SR PWM:LD8528+PD:LD6612

图 2 : AC-DC PWM:LD5555/6+ SR PWM:LD8528+PD:LD6612

图 3 : AC-DC GaN MOS Combo :LD966L+ SR PWM:LD8528+PD:LD6612

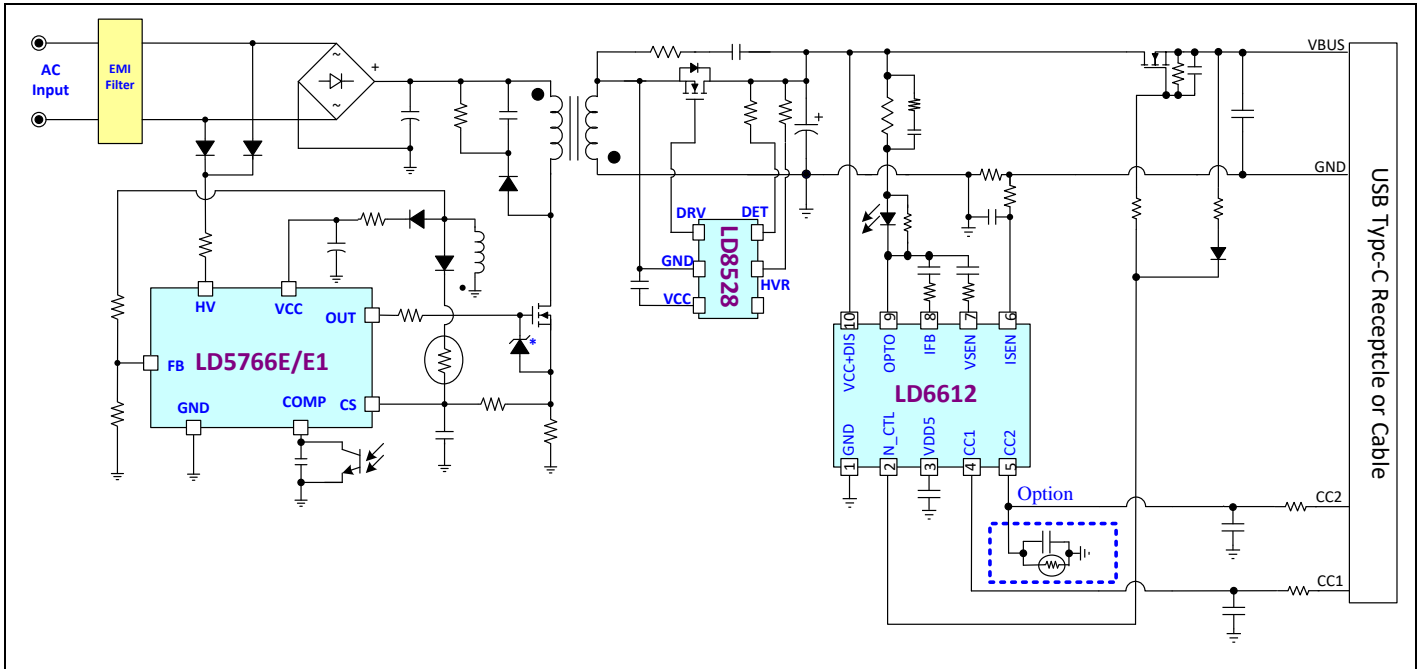


图 1 通嘉 PD 快充整套方案 AC-DC PWM:LD5766E/E1+SR:LD8528+PD:LD6612

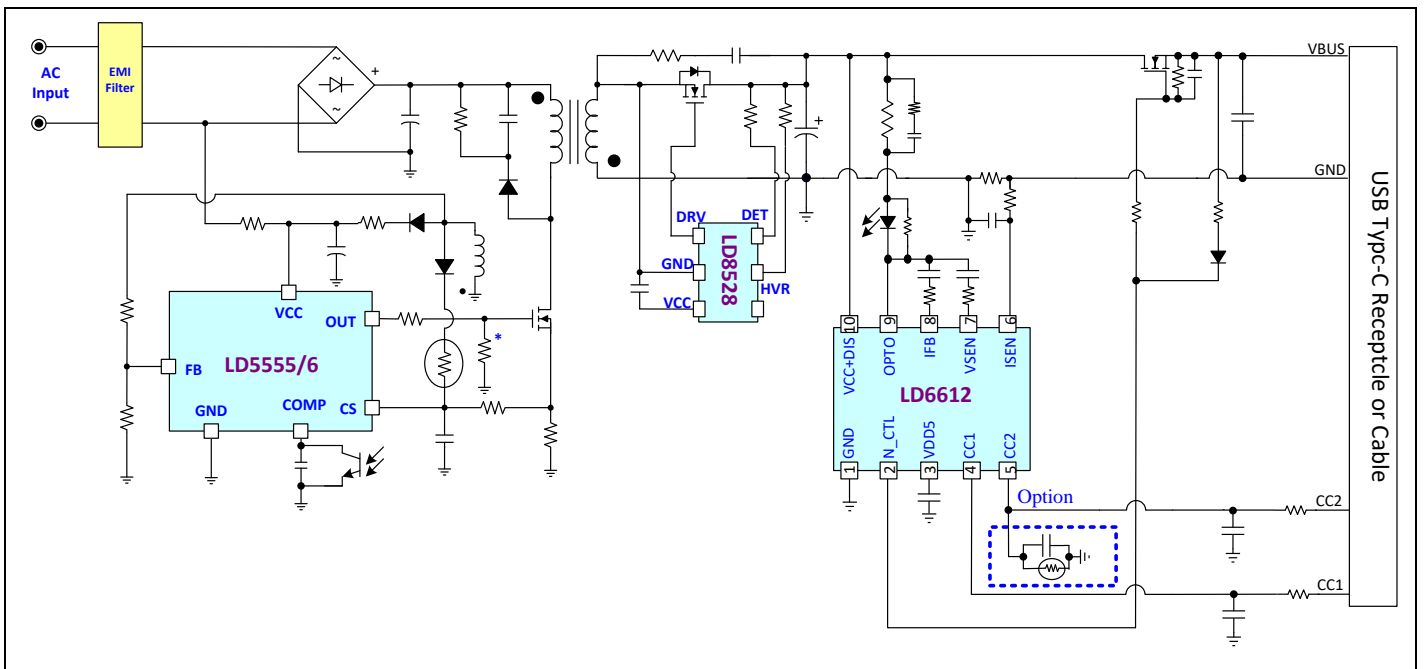


图 2 通嘉 PD 快充整套方案 AC-DC PWM:LD5555/6+SR:LD8528+PD:LD6612

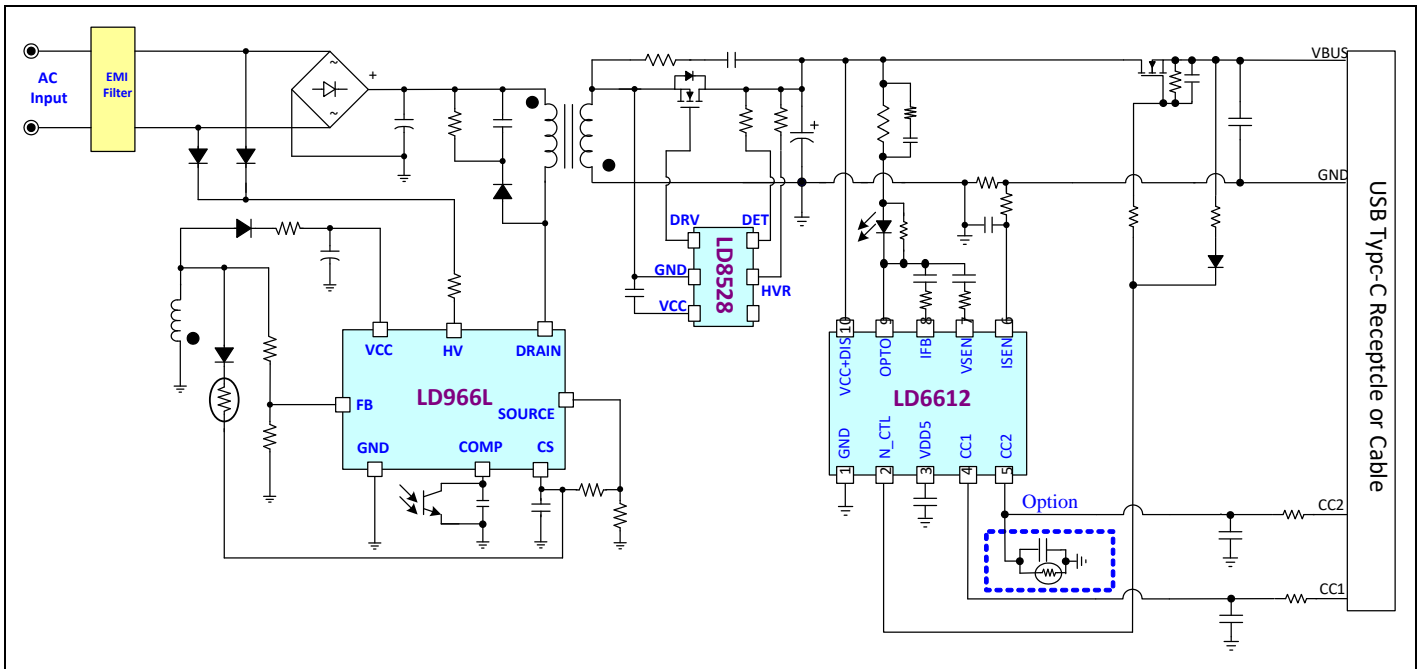


图 3 通嘉 PD 快充整套方案 AC-DC PWM:LD966L+ SR:LD8528+PD:LD6612

## 2. 通嘉 PD Flyback 技术特点说明

1. Flyback 内含多条降频曲线:优化各组输出电压效率, 输出纹波及 PD3.0 PPS 应用
2. VCC Pin 最大电压=83V : Vcc 电路精简 PD 应用可节省 Vcc LDO 组件(约四颗组件)
3. LD5766E/E1,LD966L QR 搭配最高频率 227kHz 模式: 高效率及电源小型化设计  
LD5555/6 QR 及 QR+CCM 两款控制模式:增加研发人员设计灵活度
4. Constant current operation (CCO)技术(Patenting): OCP 量产误差量由 +/-20% 缩减到 +/-10%提高 OCP 量产精度,OCP 设计与电感的误差量无关并符合 LPS (Limited power supply) SPEC
5. 传导优化:LD5766E/E1,LD966L 导通时间抖频(Ton Jitter)补偿技术及 LD5555/6 Current mode 抖频(Cs Jitter)补偿技术,优化系统于 QR 操作时 LC 谐振造成传导 400k-800k 的频段。
6. LD5555/6 Half AI EFF Tracing(Patenting): 透过 CS Pin RC Filter 中 R<sub>ocp</sub> 阻值调整, 依据不同 R<sub>ocp</sub> 设计可调整 IC 降频曲线设置, 使系统操作在最佳频率操作提升整体效率。

LD5766E/E1 电路功能说明如图 4 及 IC Pin 脚功能应用说明如表 2

LD5555/6 电路功能说明如图 5 及 IC Pin 脚功能应用说明如表 3

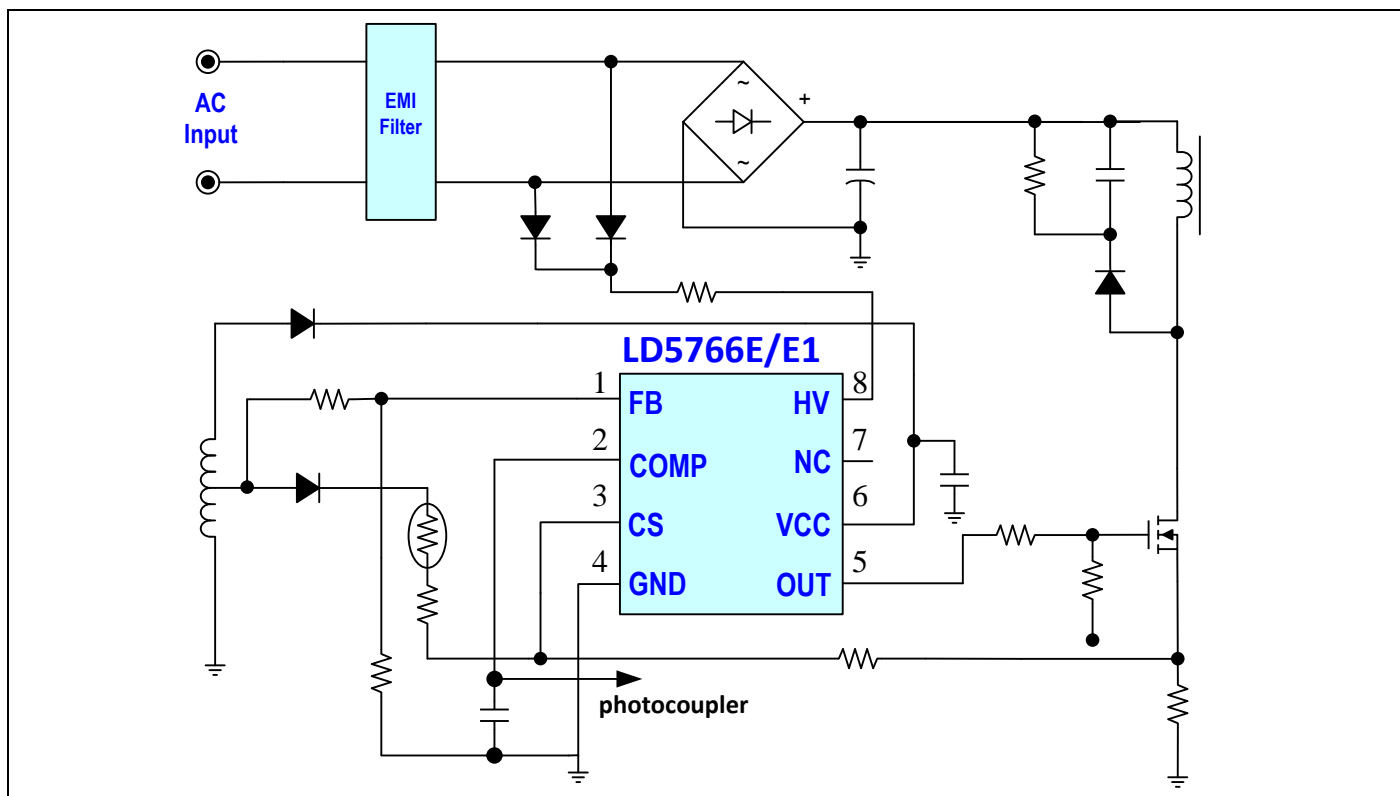


图 4 LD5766E/E1 电路功能说明

Pin	NAME	应用说明
1	FB	侦测辅助电压对应输出电压使 IC 内部调整降频曲线,OCP,OTP, QR 侦测, FB UVP, FB OVP
2	COMP	与二次侧光藕电路连接进行系统回授控制
3	CS	输出过电流检测(OCP)及过温度保护(OTP)
4	GND	Ground
5	OUT	Clamping Voltage LD5766E=11.5V, LD5766E1=5.8V
6	VCC	Vcc_ON=16V,Vcc_off=8.5V,Holding mode=9.5V, OVP=80V
8	HV	AC Brown in/out, 侦测 AC High/Low line

表 2 LD5766E/E1 Pin 脚功能应用说明

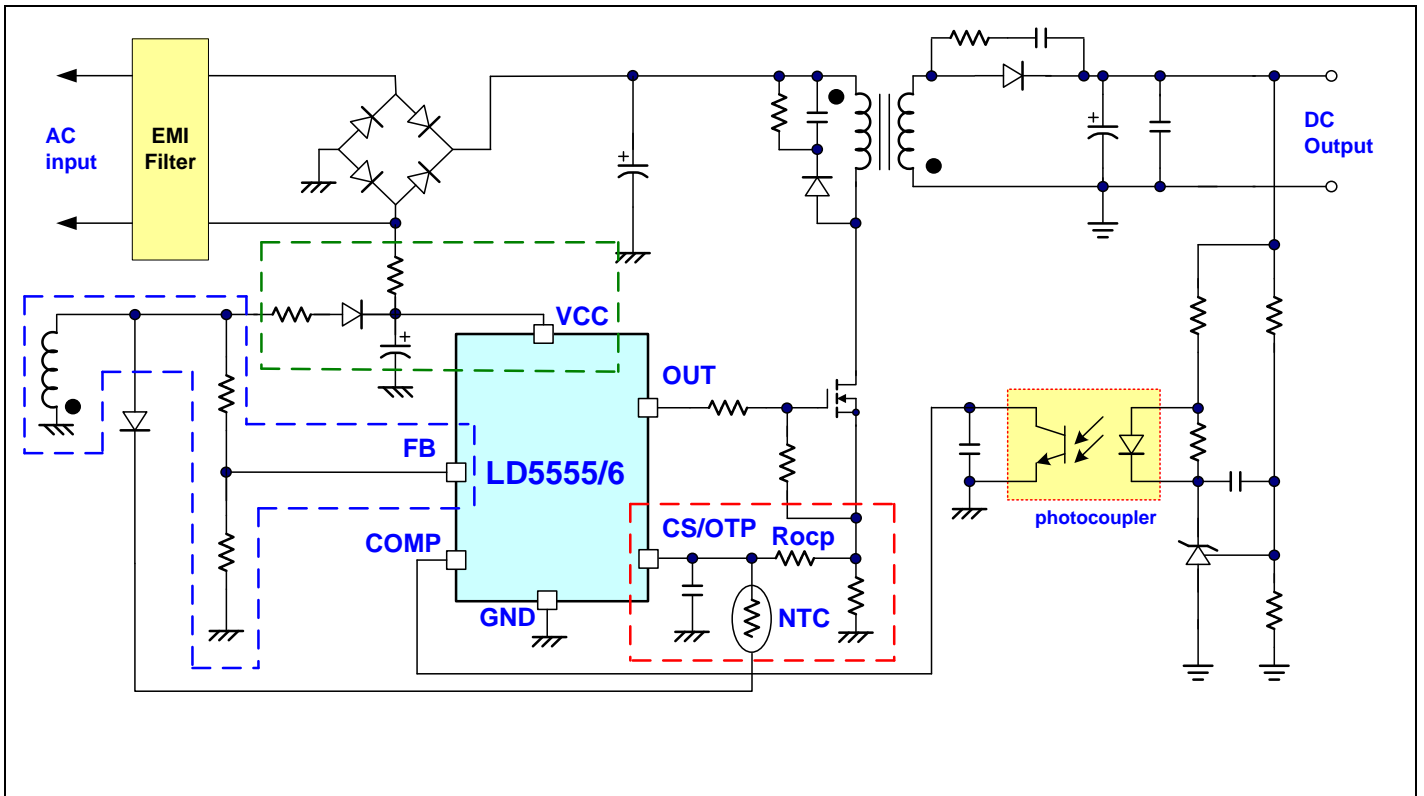


图 5 LD555/6 电路功能说明

Pin	NAME	应用说明
1	GND	Ground
2	COMP	与二次侧光藕电路连接进行系统回授控制
3	FB	侦测辅助电压对应输出电压使 IC 内部调整降频曲线,OCP,OTP, QR 侦测, FB UVP, FB OVP, AC BNI/BNO
4	CS	输出过电流检测(OCP),过温度保护(OTP),Setting EFF
5	VCC	Vcc_ON=14.5V,Vcc_off=8V, Holding mode=8.5V,OVP=80V
6	OUT	Clamping Voltage =5.8V

表 3 LD555/6 Pin 脚功能应用说明

### 3. PD Flyback 控制器功能应用说明

#### 3.1 FB Pin 功能说明

LD5766E/E1 FB Pin 电路如图 6 及波形如图 7, FB Pin 侦测参考线圈电压并藉由电阻 R1 及 R2 进行分压,设计准则如下

输出电压对应 VFB 电压公式

$$V_a = \frac{N_a}{N_s} \cdot (V_o + V_F), V_{FB} = V_a \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

FB 考虑 FB OVP=4.2V 及 FB UVP=0.5V 设计对应各输出电压范围如下表

输出电压	2.5V	5V	9V	15V	20V	22V
VFB	0.5V(UVP)	0.99V	1.74V	2.87V	3.86V	4.2V(OVP)

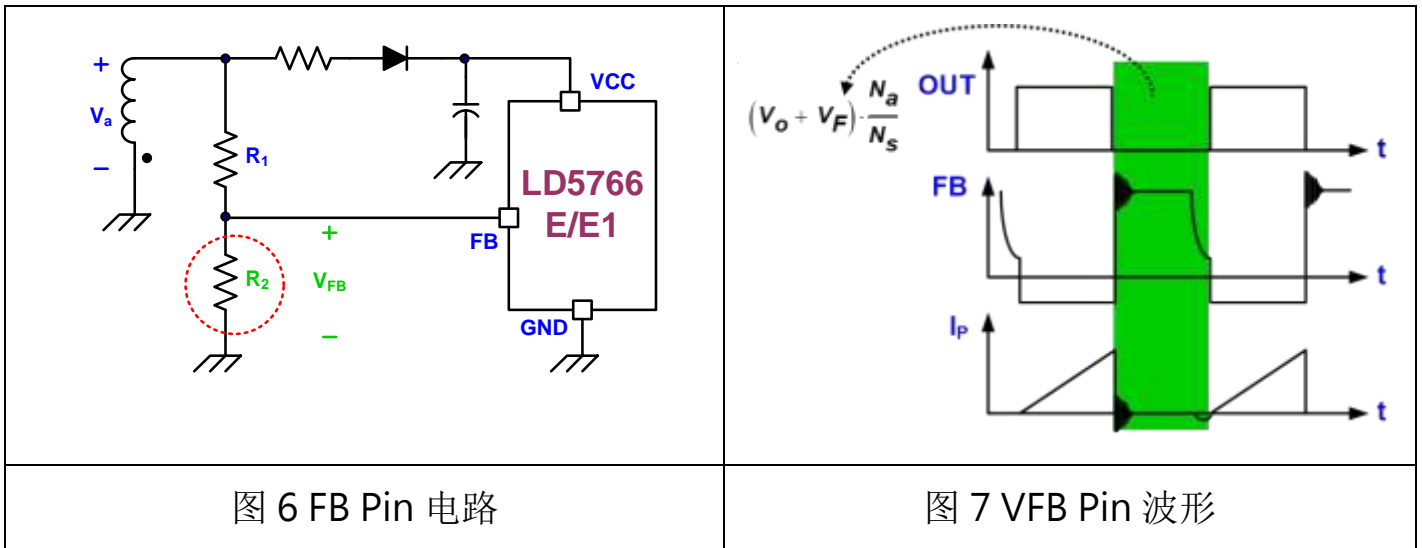


图 6 FB Pin 电路

图 7 VFB Pin 波形

LD5766E/E1 新型专利, 可依据不同输出电压对应 VFB 内部设定不同的降频曲线对应最佳频率点,降频曲线如图 8 说明如下

输出 5V 时 VFB=1V 输入低压时 QR 最高频率 104kHz, 输入高压时 QR 最高频率 91kHz

输出 20V 时 VFB=4V 输入低压时 QR 最高频率 227kHz, 输入高压时 QR 最高频率 186 kHz

输入高压降低 QR 最高频率并减少切换损失提升效能

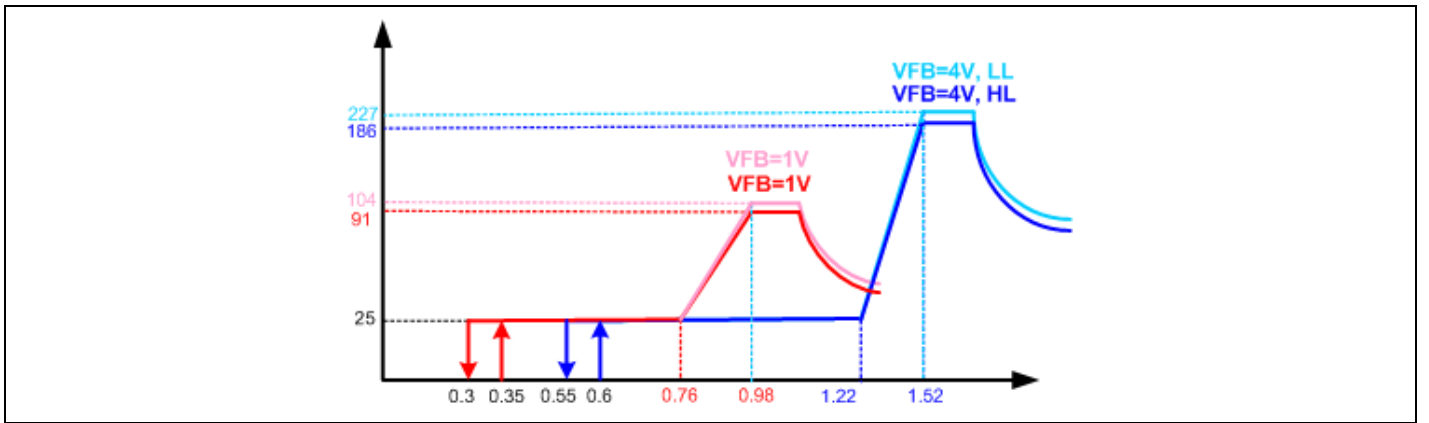


图 8 LD5766E/E1 降频曲线

OVP 动作说明: 当二次侧回授电路失效使输出电压上升造成过压时,同时辅助线圈电压上升对应 FB Pin 平台电压上升超过 4.2V 且维持 8 个周期时 IC 进入保护模式如图 9 说明。

UVP 动作说明: 当输出短路输出电压下降同时辅助线圈电压下降及 FB Pin 平台电压降低于 0.5V 且 COMP Pin 电压高于 1.65V 时,IC 进入降频机制将频率下降到 20kHz 并减少初级 MOS Vds Spike 如图 10 说明。

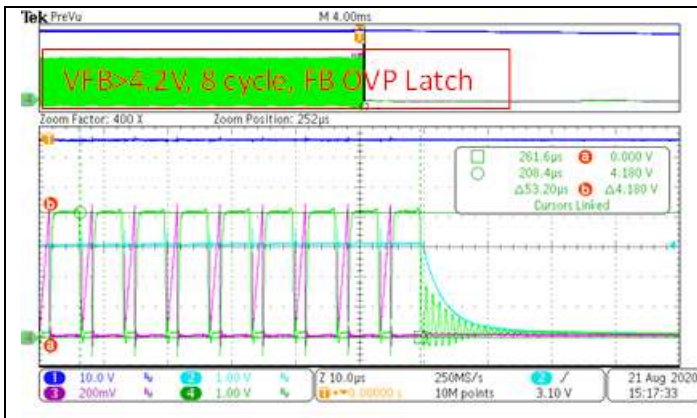


图 9 OVP 波形

Ch1:Vo Ch2:VCOMP

Ch3:VCS Ch4:VFB

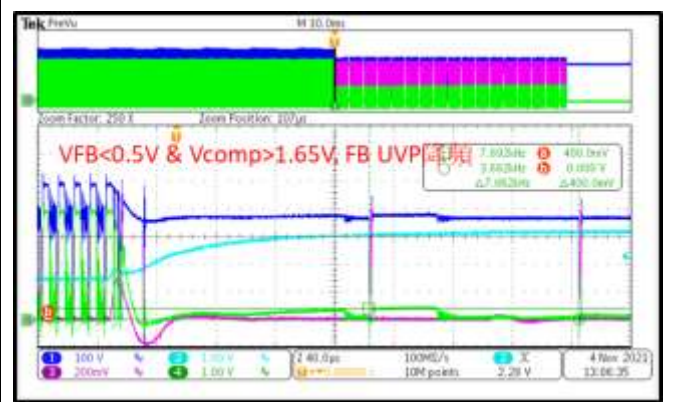


图 10 UVP 波形

Ch1:MOS Vds Ch2:VCOMP

Ch3:VCS Ch4:VFB



### 3.2 COMP Pin 功能说明

Over Power Protection(OPP)应用: 当输出功率增加或输出短路时使 Vcomp 大于 3.2V 维持 40mS(OPP Delay Time)时触发 OPP 保护此时 Vcc 进入两次 UVLO OFF 后 IC 重新启动如图 11 OPP 动作时序图及图 12 动作波形。

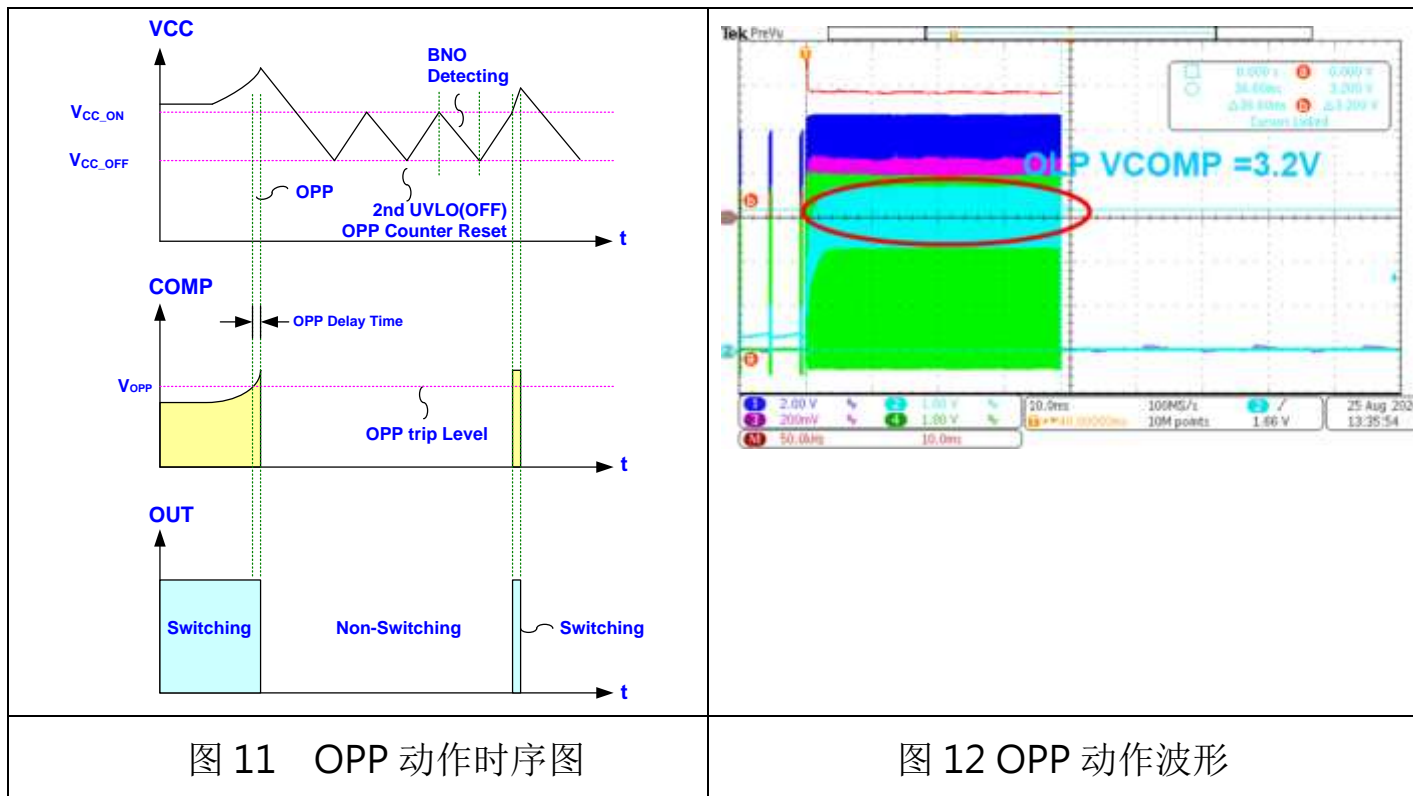


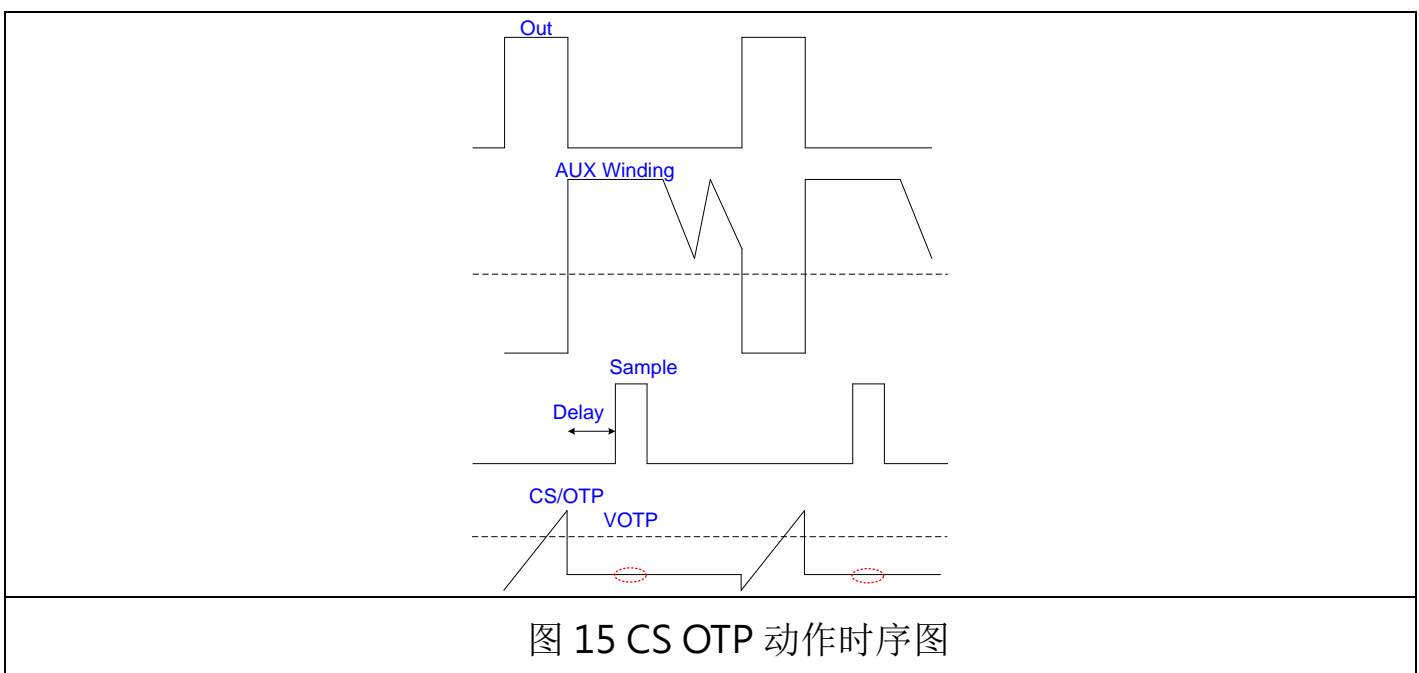
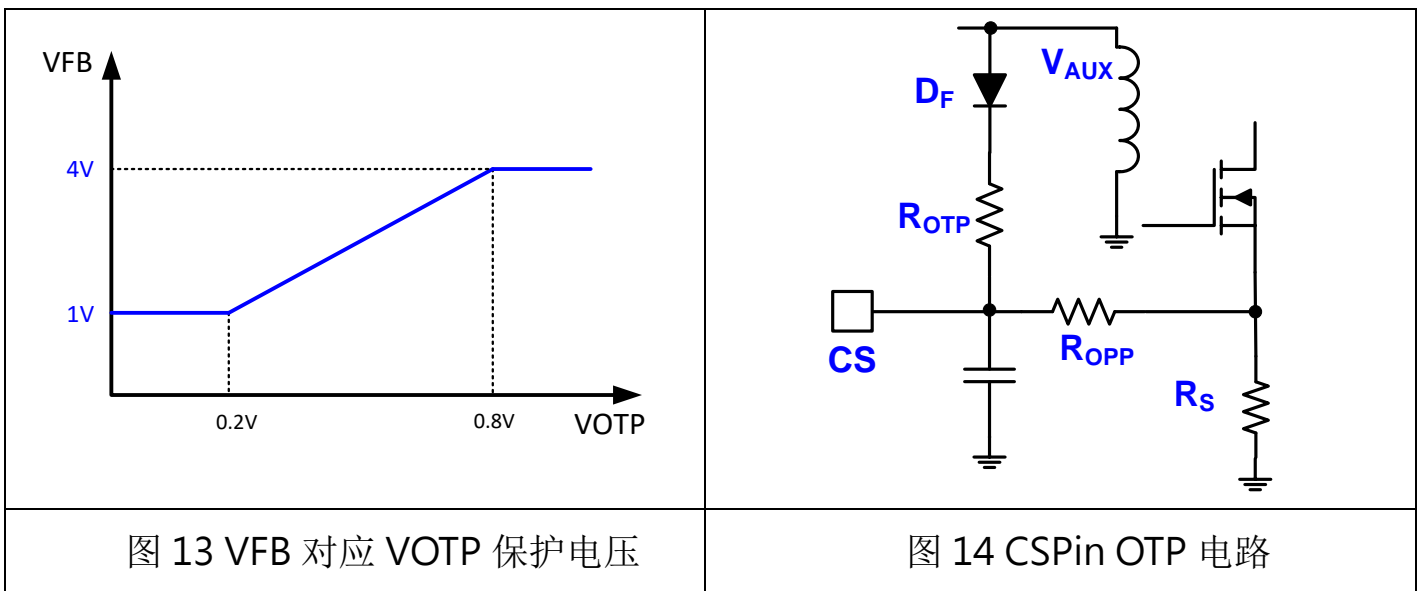
图 11 OPP 动作时序图

图 12 OPP 动作波形

### 3.2 CS Pin 功能说明

过温度保护(OTP)线应用: OTP 设定可依据输出电压调整及功率进行独立的保护,举例 PD65W 5V/3A, 9V/3A, 12V/3A, 15V/3A 及 20V/3.25A 有各自 OTP 保护参考电压增加系统稳定性, 如 3.1 FB Pin 功能说明 输出电压变动对应 FB Pin 电压,使 IC 调整 OTP 保护点(VOTP)如图 13 搭配 CS 侦测讯号如图 14 两者进行比较参考以下设计公式及图 15 CS OTP 动作时序图

$$(V_{AUX} - V_F) \frac{R_{OPP}}{R_{OPP} + R_{OTP}} \geq VOTP$$



### 3.3 VCC Pin 功能说明

Vcc Holding Mode 线应用说明: 当选用 VCC Cap 容值小于输出负载由满载切换到空载时 Vcomp 下降低于 Burst Mode 电压时驱动会停止, 此时 Vcc 电压开始下降为了避免 Vcc 触发 Vcc UVLO OFF=8.5V 造成 IC 重新启动, IC 设定 VCC=9.5V 为 Vcc Holding Mode 当 VCC 电压下降触发到 9.5V 时 OUT Pin 驱动强制动作并将 Vcc 电压提升如图 16 动作时序图

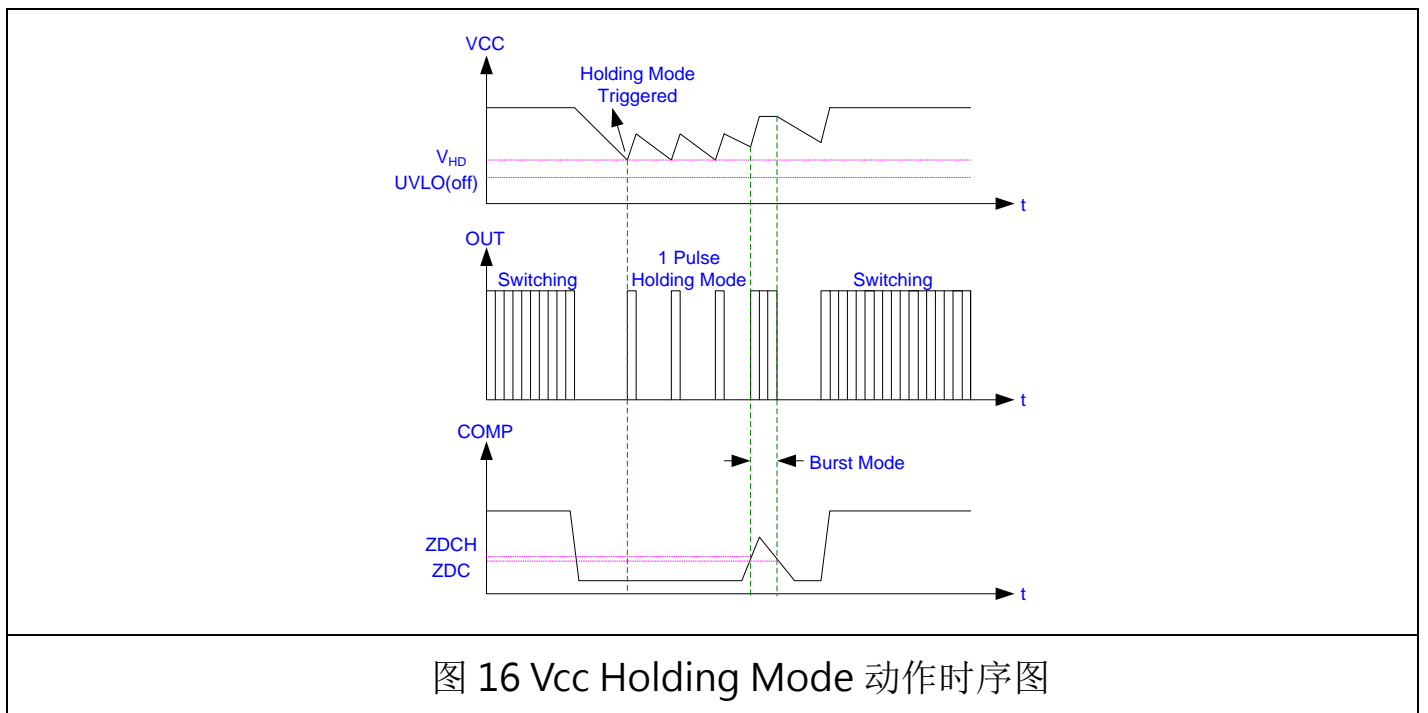


图 16 Vcc Holding Mode 动作时序图

#### 4 通嘉 PD 65W Demo Board 设计范例

AC-DC PWM: LD5766E+SR:LD8528+PD协议:LD6612

PCB Size: 56.5mm(L) x 31mm(W) x 26mm(H)

Power Density: 28.7 W/inch<sup>3</sup>

输出功率:5V/3A, 9/3A, 15V/3A, 20V/3.25A

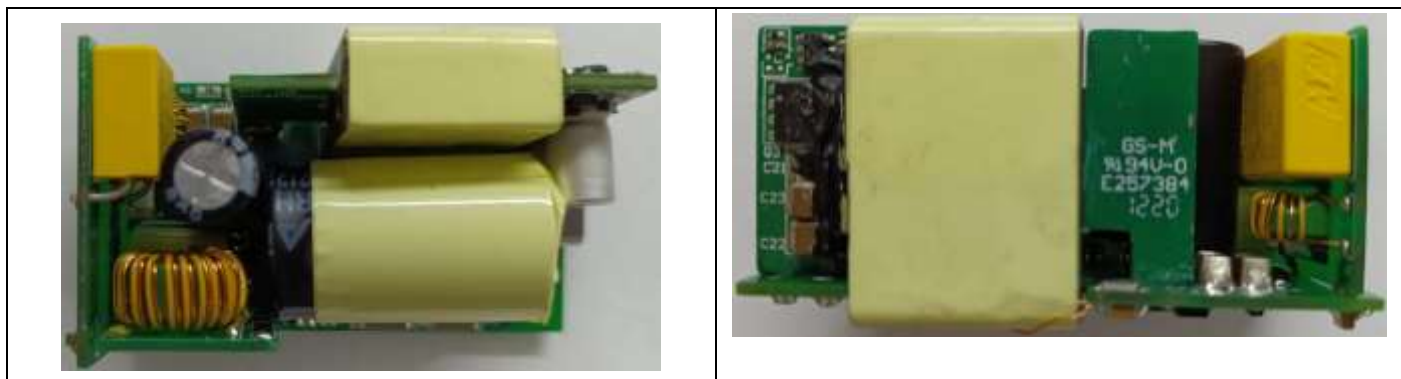


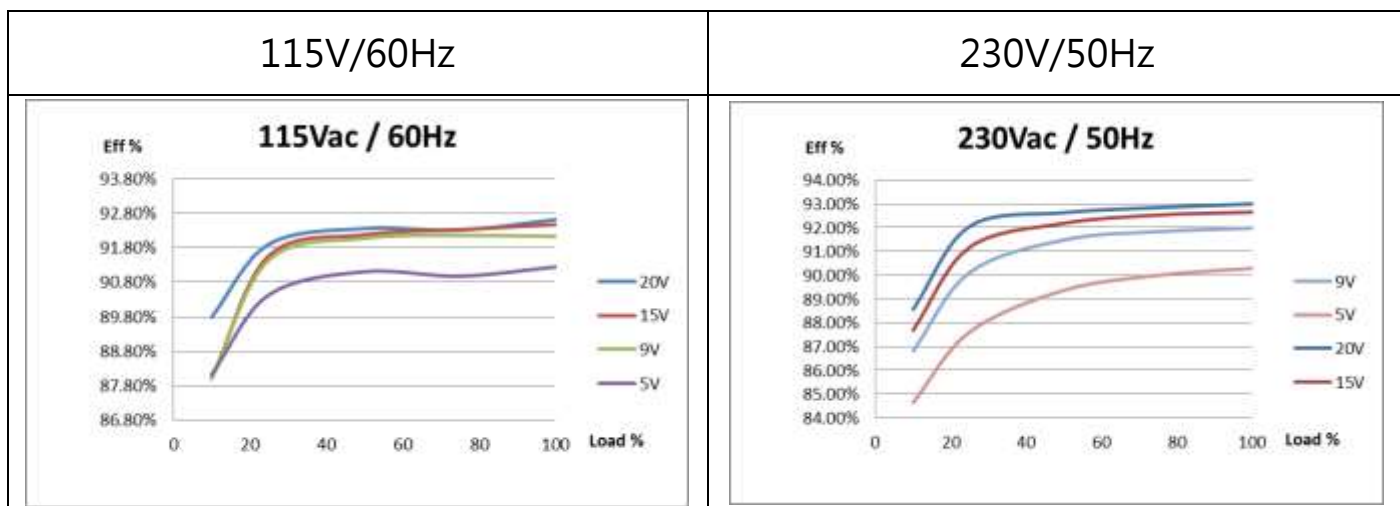
图 17 PD 65W 实体图

#### 待机功耗测试

$V_{IN,AC}$ (V / Hz)	$P_{IN}$ (mW)	SPEC (mW)
115 / 60	29	< 75 mW
230 / 50	32	

# 效率测试

Input Voltage	115 V <sub>AC</sub> / 60 Hz	230 V <sub>AC</sub> / 50 Hz
Output Current	100 %, 75 %, 50 %, 25 %, 10 % of Full Load	
Measured Point of Output Voltage	End of PCB	
Duration of Burn-in	30 Minutes	
Requirement	CoC Tier 2	



	115 V <sub>AC</sub> / 60 Hz				230 V <sub>AC</sub> / 50 Hz			
V <sub>BUS,SET</sub> (V)	Load	EFF (%)	AVE EFF (%)	SPEC(%)	Load	EFF (%)	AVE EFF (%)	SPEC(%)
5	100%	91.25	90.94	> 81.84	100%	90.29	89.32	> 81.84
	75%	90.98			75%	90.00		
	50%	91.11			50%	89.37		
	25%	90.44			25%	87.62		
	10%	88.11		> 72.48	10%	84.65		> 72.48
9	100%	92.13	91.96	> 87.30	100%	91.98	91.36	> 87.30
	75%	92.16			75%	91.84		
	50%	92.08			50%	91.49		
	25%	91.45			25%	90.12		
	10%	88.02		> 77.30	10%	86.82		> 77.30
15	100%	92.48	92.14	> 88.85	100%	92.65	92.14	> 88.85
	75%	92.33			75%	92.53		
	50%	92.19			50%	92.19		
	25%	91.57			25%	91.18		
	10%	88.00		> 78.85	10%	87.69		> 78.85
20	100%	92.62	92.30	> 89	100%	93.00	92.63	> 89
	75%	92.32			75%	92.85		
	50%	92.37			50%	92.63		
	25%	91.91			25%	92.06		
	10%	89.78		> 79	10%	88.57		> 79

AC-DC GaN MOS Combo:LD966L+SR:LD8528+PD协议:LD6612

PCB Size: 56.5mm(L) x 31mm(W) x 22mm(H)

Power Density: 22.7 W/inch<sup>3</sup>

输出功率:5V/3A, 9/3A, 15V/3A, 20V/3.25A

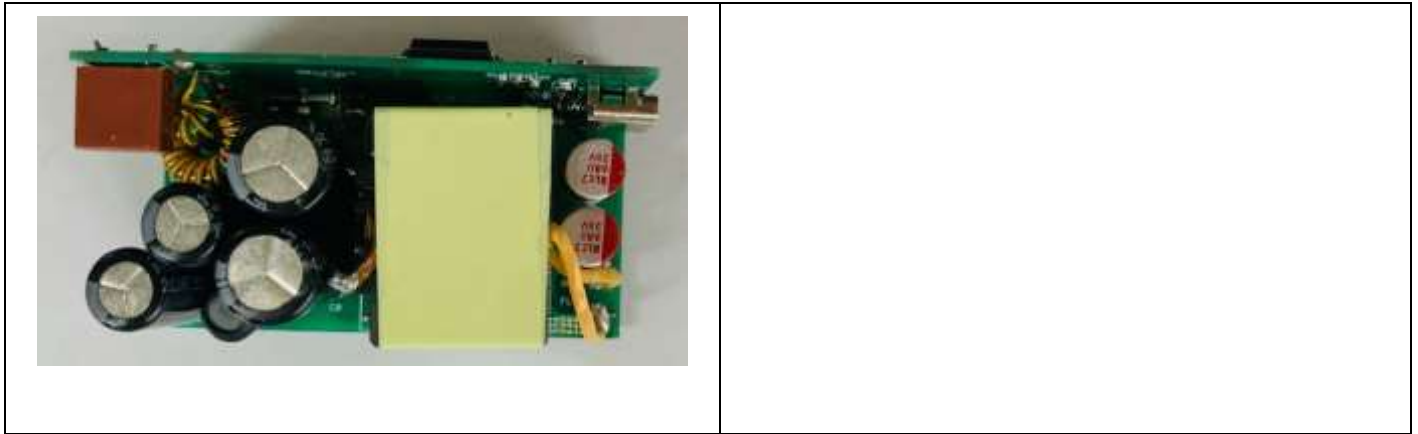


图 19 PD 65W 实体图

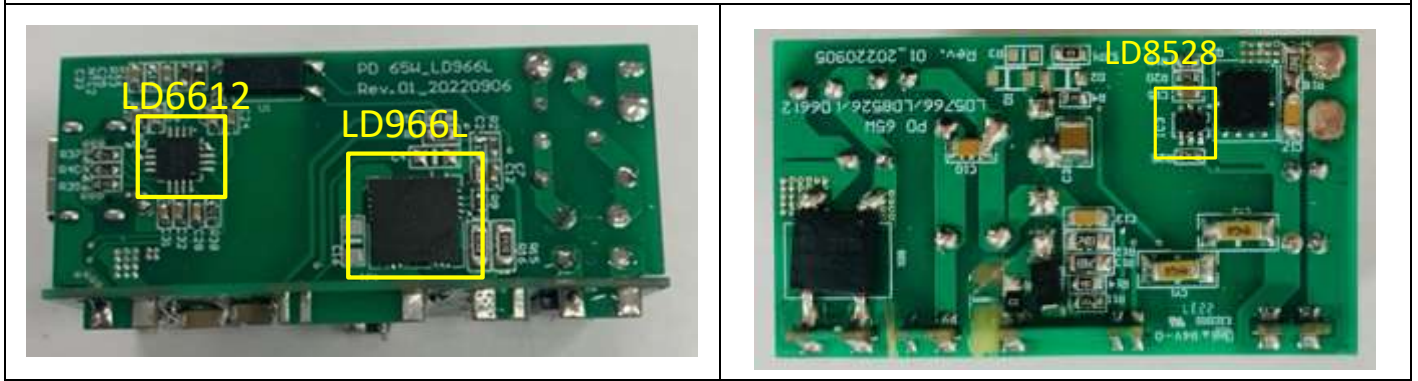


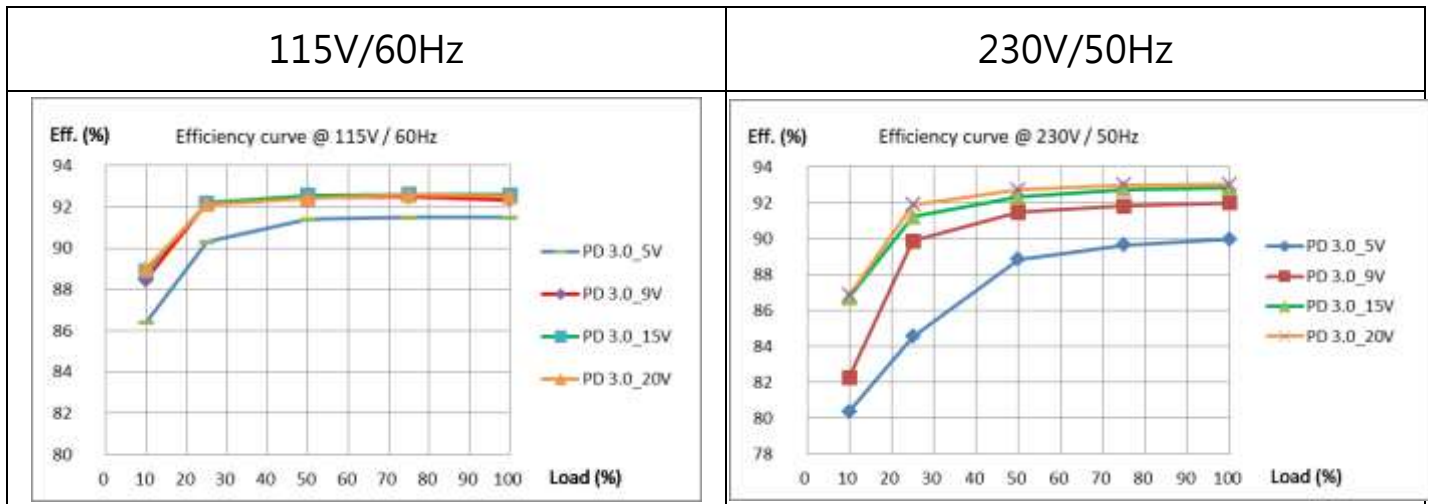
图 19 PD 65W 实体图

### 待机功耗测试

$V_{IN,AC}$ (V / Hz)	$P_{IN}$ (mW)	SPEC (mW)
115 / 60	21	< 75 mW
230 / 50	25	

# 效率测试

Input Voltage	115 V <sub>AC</sub> / 60 Hz	230 V <sub>AC</sub> / 50 Hz
Output Current	100 %, 75 %, 50 %, 25 %, 10 % of Full Load	
Measured Point of Output Voltage	End of PCB	
Duration of Burn-in	30 Minutes	
Requirement	CoC Tier 2	





	115V/60Hz				230V/50Hz			
$V_{BUS,SET}$ (V)	Load	EFF (%)	AVE EFF (%)	SPEC (%)	Load	EFF (%)	AVE EFF (%)	SPEC (%)
5	100%	91.48	91.16	> 81.84	100%	89.97	88.25	> 81.84
	75%	91.48			75%	89.65		
	50%	91.40			50%	88.85		
	25%	90.29			25%	84.54		
	10%	86.38	—	> 72.48	10%	80.37	—	> 72.48
9	100%	92.34	92.36	> 87.30	100%	92.00	91.28	> 87.30
	75%	92.48			75%	91.82		
	50%	92.46			50%	91.47		
	25%	92.17			25%	89.86		
	10%	88.46	—	> 77.30	10%	82.27	—	> 77.30
15	100%	92.57	92.47	> 88.85	100%	92.82	92.27	> 88.85
	75%	92.59			75%	92.74		
	50%	92.55			50%	92.31		
	25%	92.18			25%	91.21		
	10%	88.88	—	> 78.85	10%	86.71	—	> 78.85
20	100%	92.49	92.39	> 89	100%	93.01	92.65	> 89
	75%	92.57			75%	92.99		
	50%	92.39			50%	92.71		
	25%	92.11			25%	91.90		
	10%	88.98	—	> 79	10%	86.84	—	> 79

通嘉高效能高精度过电流保护 PD 快充控制器 高效率搭配电路组件数简化可对应产品小型化设计,通嘉坚持一贯高质量、高性能的传统,并提供全面性保护机制,包含过功率保护、过电流保护、输出过/欠电压(OVP/UVP)保护以及过温度保护(OTP) 等机制,更针对输出短路保护实施降频机制。除此之外,各式关键技术均有通嘉自有专利屏障,让使用通嘉 IC 的电源供应器,将更具有优势及亮点。我们将提供最详细的信息及应用说明给您。