

通嘉科技推出中大功率电源应用之高性能集成 PFC+LLC Combo 解决方案 -LD7771/T

作者:华东区 FAE 张伟群/系统开发一部陈耀宗

参考文献: 通嘉科技 LD7771/T 应用手册及 IC 规格书

1. 电源架构背景说明

中大功率电源相关产品(100W~300W)因受高效节能的法规规范及产品应用电源小型化需求增加。例如: TV 电源板、显示器电源板及 USB Power Delivery 快充适配器等应用领域, 其中对称式谐振半桥电路(LLC Half Bridge Circuit)拓扑凭借其初级开关零电压切换(Zero Voltage Switching)及次级整流开关零电流切换(Zero Current Switching)特点、具高效率与高功率密度的优势, 在中大功率应用上逐渐取代反激式转换器(Flyback)拓扑, 成为各大电源厂使用的首选方案。为迎合此趋势, 通嘉科技推出将 功率因子校正电路(Power Factor Correction PFC) 与对称式半桥电路控制器整合为一的完整解决方案。此类产品设计简化、控制电路集成化故具功耗低、外部组件极少、可编程的软体设定 IC 内部参数 等特点, 迅速成为中大功率产品电源市场的芯片主流选择。

为满足中大功率产品的需求, 通嘉科技推出集成临界模式(Critical Mode) PFC 与电流模式 LLC 二合一的控制芯片 LD7771 及 LD7771T 中 LD7771 为 SOP-16 封装, 而 LD7771T 为 TSSOP-20 封装。

LD7771/T 整体特性优势

- 可符合最能源法规 DoE level VI、CoC Version 5 Tier 2 及 ENERGY STAR certification、EU/ErP 要求
- 内置高压启动电路
- 具有 AC 输入欠压(BNO)及过压(AC OVP)保护功能
- 智能安规 X 电容放电功能可符合 EN62368-1 要求

- 可编程的韧体设定 IC 内部参数,设计人员可灵活应用对应电源产品规格
- 独立的输出过压/欠压侦测脚位
- LD7771T 具备 Power Good PGI 信号引脚,当输入断电时提供信号给系统端进行储存及记忆功能
- 芯片过温保护

LD7771 集成高压启动、临界模式(CrM) PFC 控制与电流模式 LLC 控制及周边电路如图 1, 于一颗 SOP-16 封装中, 其电气性能可以符合各国最新国际能效认可标准, 如: DoE level VI、CoC Version 5 Tier 2 及 Energy Star certification、EU/ErP...等能效要求。

其临界模式(CrM)PFC 级采用数字电路实现临界模式控制, 具备低电磁干扰(EMI)、低电流谐波(THDi)及高功因(PF)的优势, 特别适合各应用领域 300W 以下的应用; LLC 级采用电流模式控制, 搭配自适应死区调整, 以提高反馈操作带宽、加快瞬时响应及提升整体转换效率。此外, LD7771 内建多种保护机制与周边功能, 最大程度提升 IC 的设计适用性, 包括输入 BNI/O、过压保护, 以及输出过压、欠压、过载、短路保护、X 电容放电功能等相关安全功能。同时, LD7771 可透过韧体调整多项重要参数, 如软启程序、保护模式、峰值负载及节能负载设定...等, 以提高设计人员设计时的灵活性。

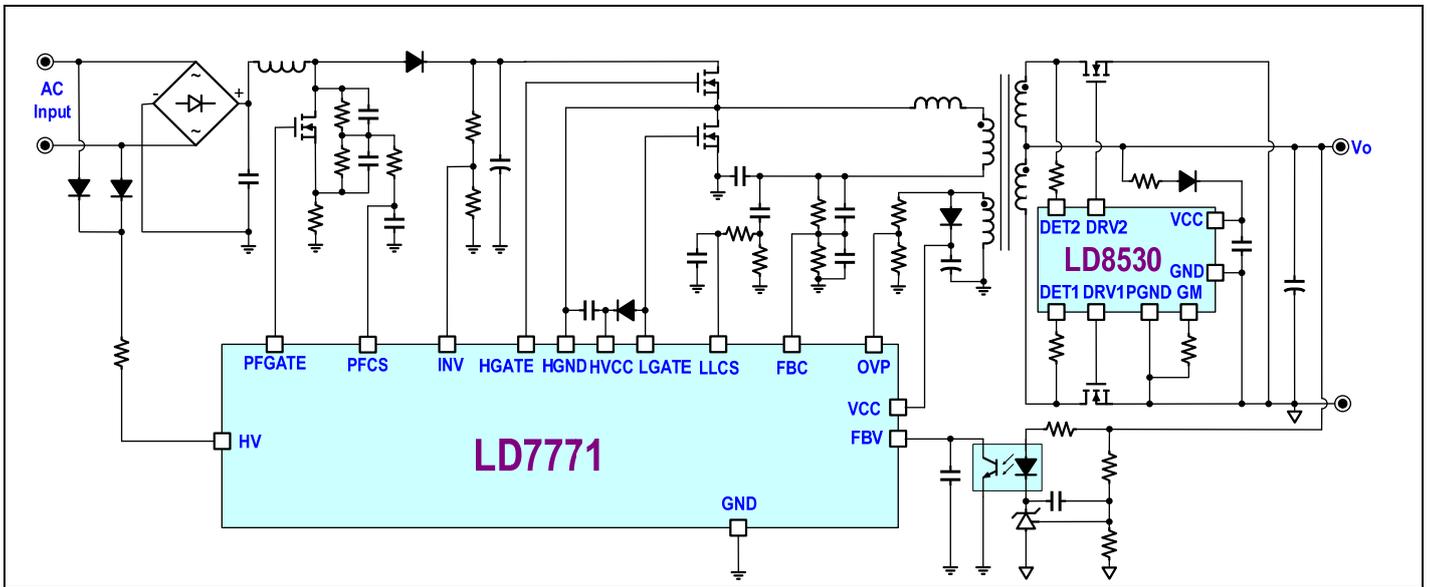


图 1 PFC+LLC LD7771(SOP-16)应用电路图

LD7771T 在 LD7771 的基础上以 TSSOP-20 封装呈现如图 2, 集成 Power Good(PGI) 讯号功能, 免除需求额外 Power Good 芯片, 该讯号除能显示电源稳定通知外, 亦可快速侦测 AC 断电时先期通知终端设备, 能在断电前做应有之处置功能。

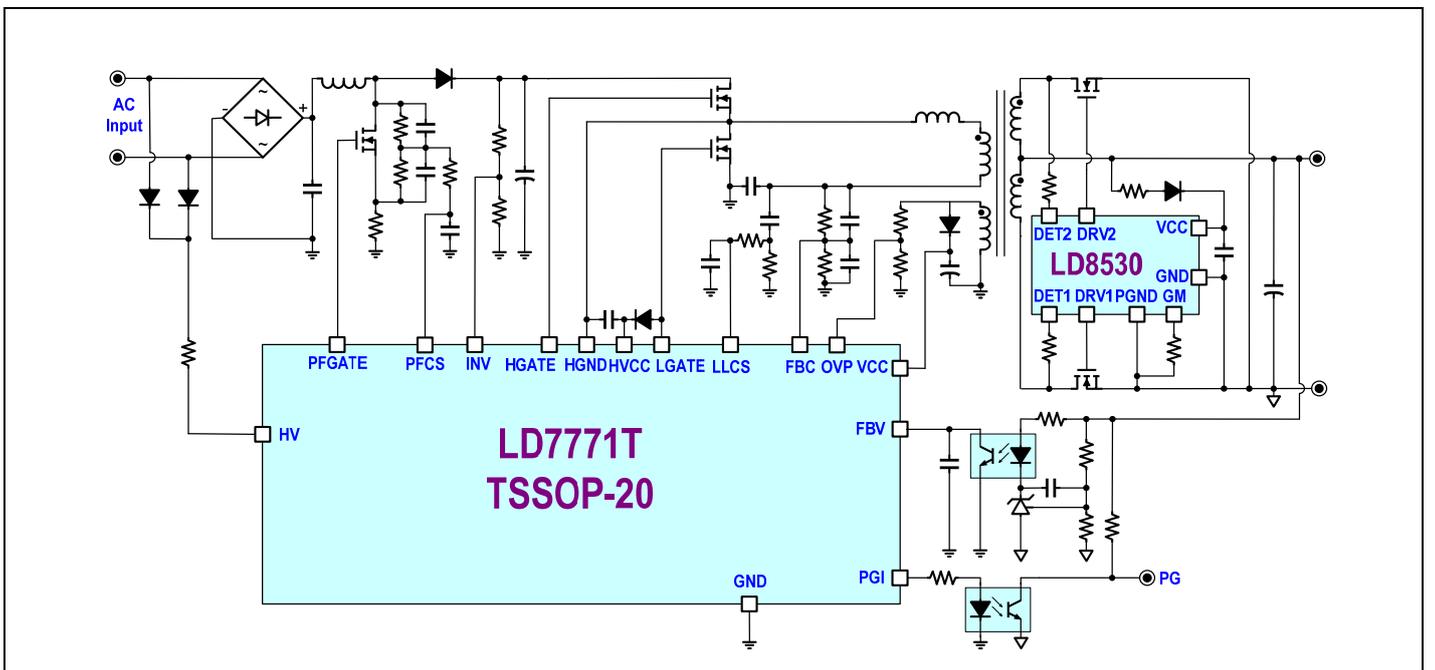
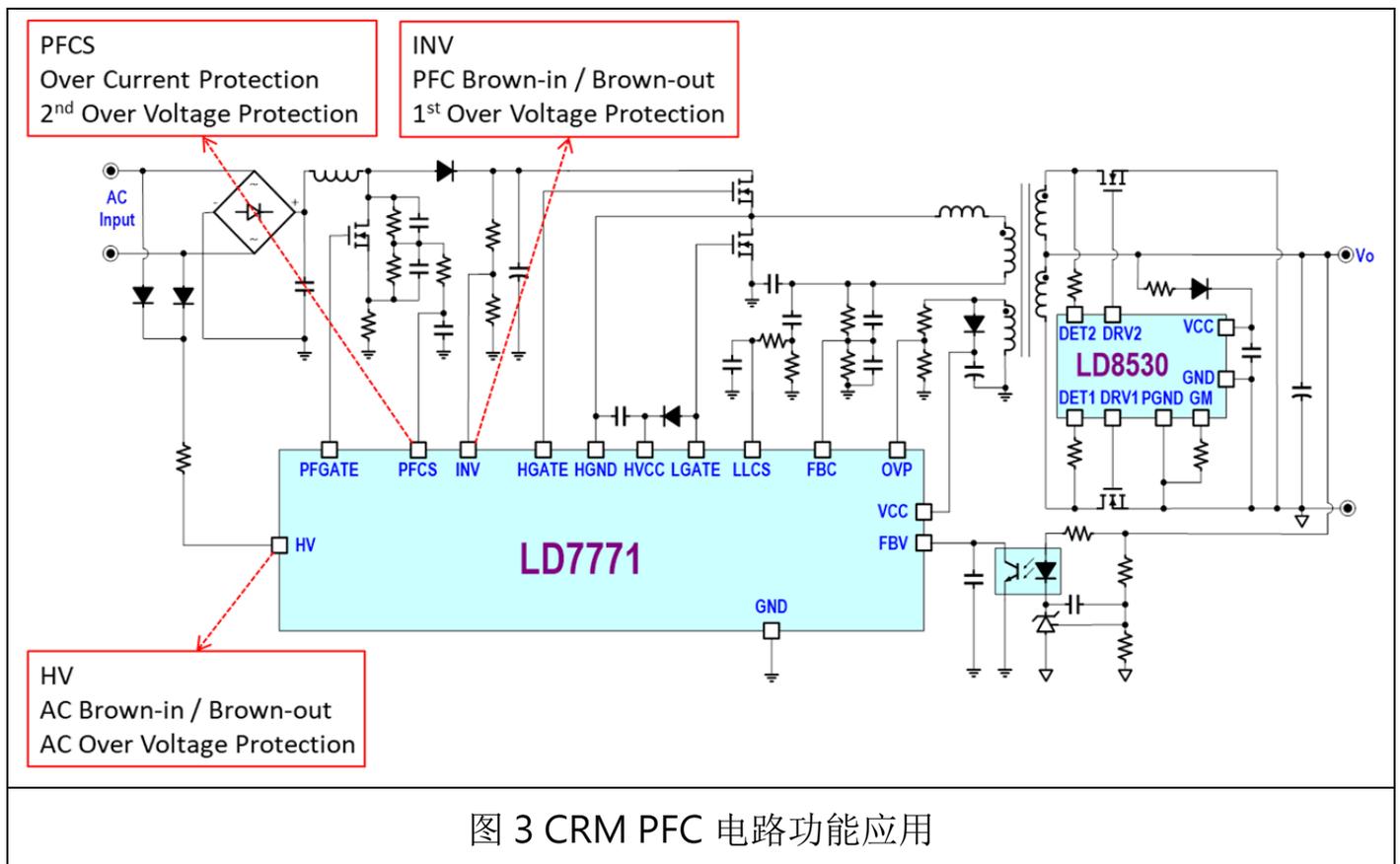


图 2 PFC+LLC LD7771T(TSSOP-20)应用电路图

2. LD7771/T CRM PFC 技术特点说明

- 数字型的临界模式(CrM)控制
- 高功因(PF)及低电流谐波(THDi)
- 切换不中断的软启控制
- 快速的瞬时负载反馈补偿
- 两级式 PFC 输出过压保护 INV 及 PFCS Pin
- 升压二极管短路保护
- 逐周期限流保护

如图 3 为 CRM PFC 电路功能应用



2.1 PFC INV Pin 系统输出电压设定

设计公式 $V_o = V_{ref} \times (R_{INVH} + R_{INVL}) / R_{INVL}$

Vref:参考电压 2V, R_{INVH}: INV pin 上臂电阻, R_{INVL}:INV pin 下臂电阻

案例说明关键参数计算：

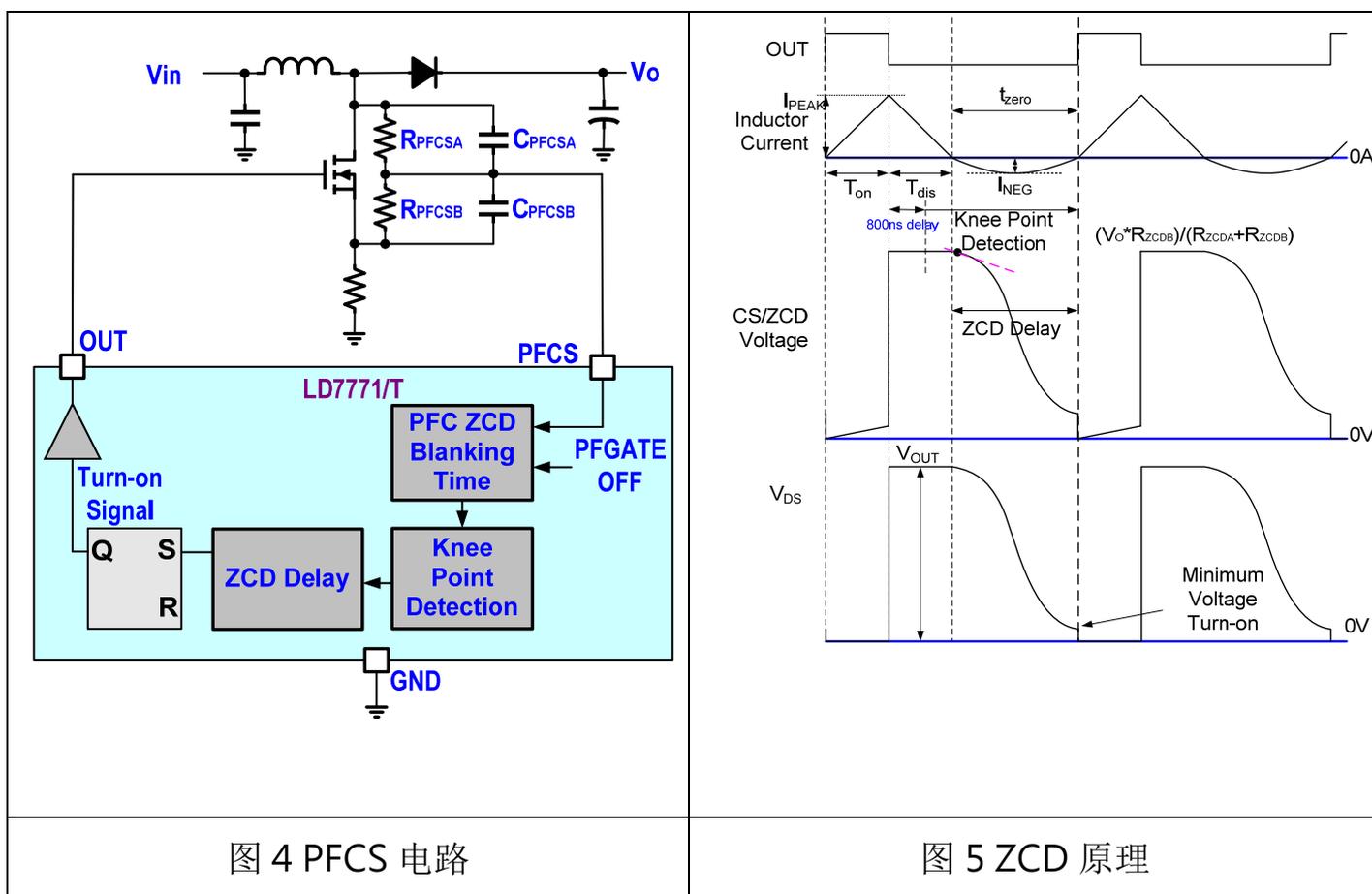
	INV PIN 参数范围	PFC 输出电压计算
输出过压保护	2.14V	428V
输出过压保护恢复	2.02	404
输出电压调整参考电压	2	400V
LLC 启动 Brown in 电压	1.85	370V
PFC 动态补偿电压	1.5-1.9(可编程的韧体设定)	300V-380
LLC 关闭 Brown out 电压	1.4	285V
PFC 启动 brown in 电压	0.35	70
PFC 启动 brown out 电压	0.25	50

2.2 PFC PFCS PIN 应用说明

CrM Zero Current Detection(ZCD)功能说明

PFCS 引脚透过分压电阻 R_{ZCDA} 和 R_{ZCDB} 侦测 MOS 管汲极(Drain) V_{DS} 电压波形, 当电感电流放至零时, 电感与 MOS 管寄生电容 C_{DS} 谐振, V_{DS} 开始下降产生膝点, 藉由此膝点实现 Zero Current Detection。为了避免振铃误开 MOS 管且确保 MOS 管在波谷导通, MOS 管关断后, 经过遮蔽时间 $T_{PFCS_ZCDBLK0}$ 和延迟时间 $T_{PFCS_ZCDDL Y}$ 后, MOS 管才会重新导通。如如图 4 为 LD7771 PFCS Pin 电路

及图 5 ZCD 原理说明



2nd OVP 电压设定

目的: 当第一段 INV PIN 失效后才会启动 ZCD OVP,避免 PFC 电压高于 450V 避免高于大电容耐压问题

设计原理:

正常工作 ZCD 平台设计为 2.4V 当输出电压发生 OVP 时 ZCD OVP=2.7V, 两者相差 1.11 倍,故 $OVP = 398V \times 1.11 = 441.8V$

案例说明:

设计公式

$$V_{ZCD} = V_{out} \times (R_{ZCDL} / (R_{ZCDL} + R_{ZCDH})), R_{ZCDL} \times C_{ZCDL} = R_{ZCDH} \times C_{ZCDH}$$

参数设定: $R_{ZCDH} = 17.4M$, $C_{ZCDH} = 22pF$, $R_{ZCDL} = 100K$, $C_{ZCDH} = 3480pF$

正常工作:

$$V_{ZCD} = 390V \times (110K / (110K + 17.4M)) = 2.45V, C_{ZCDL} = (17.4M \times 22p) / 100K = 3480pF$$

$$\text{输出 OVP : } V_{ZCD} = 440V \times (110K / (110K + 17.4M)) = 2.7V$$

计算结果 : 第二阶 OVP 设计为 440V

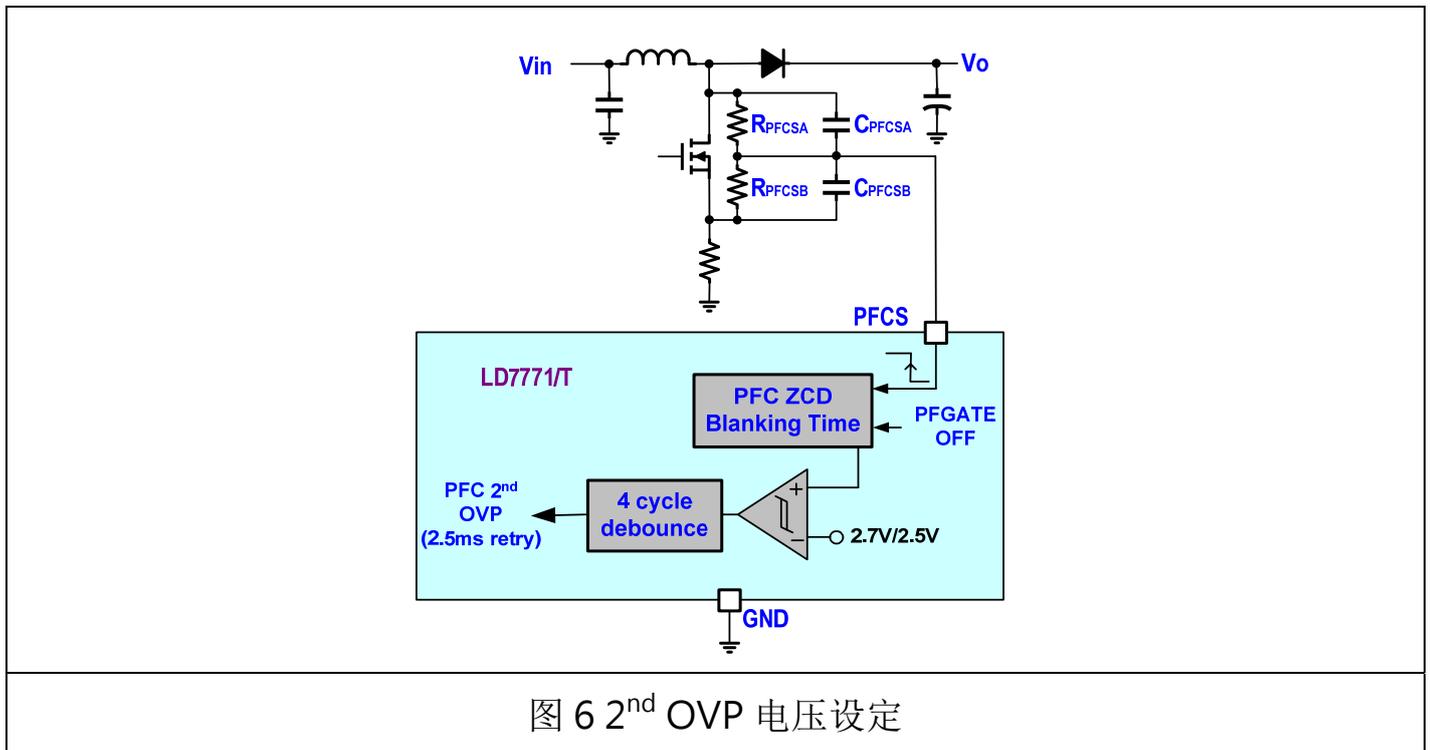


图 6 2nd OVP 电压设定

Cycle By cycle limit 设定

目的: 当 PFC 输出过功率时进行 Cycle By cycle limit 限制输出功率

设计原理: 当 V_{cs} 触发到 V_{cs_max} 进行 Cycle By cycle limit 时波形如图 7 所示

实现输入高低压时限制输出功率一致, HV 侦测输入电压调整 V_{cs_max} , 输入低压

$V_{cs_max}=0.8V$ 输入高压 $V_{cs_max}=0.4V$

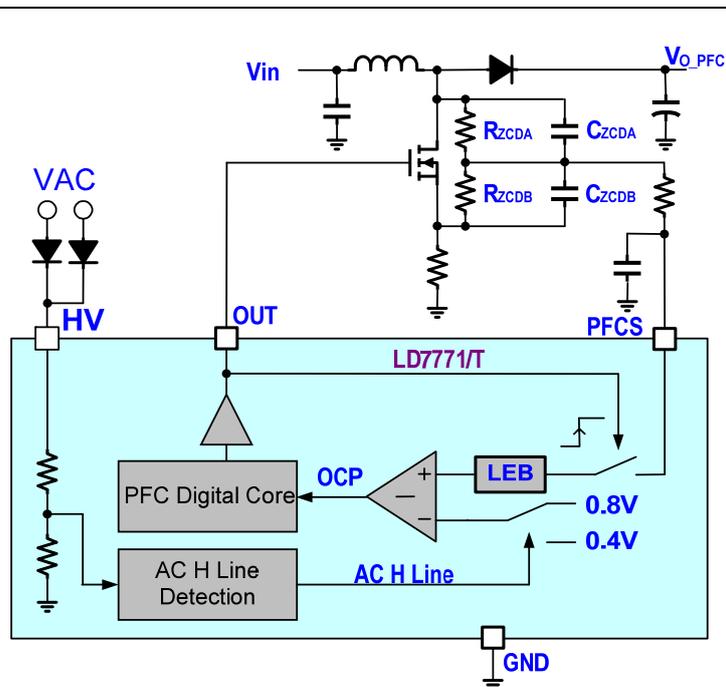


图 7 Cycle By cycle limit 电路

二极管短路保护(PFC Diode Short Protection)

目的: 安规测试或生产线生产时将 PFC 整流 Diode 短路时进行保护可保护 PFC 元件避免损坏。

设计原理:PFCS 侦测 1.2V 时驱动关闭经过 2.5mS 后进行重启同时降低输入功耗避免 PFC 及 LLC 电路功率元件过热问题如图 8。

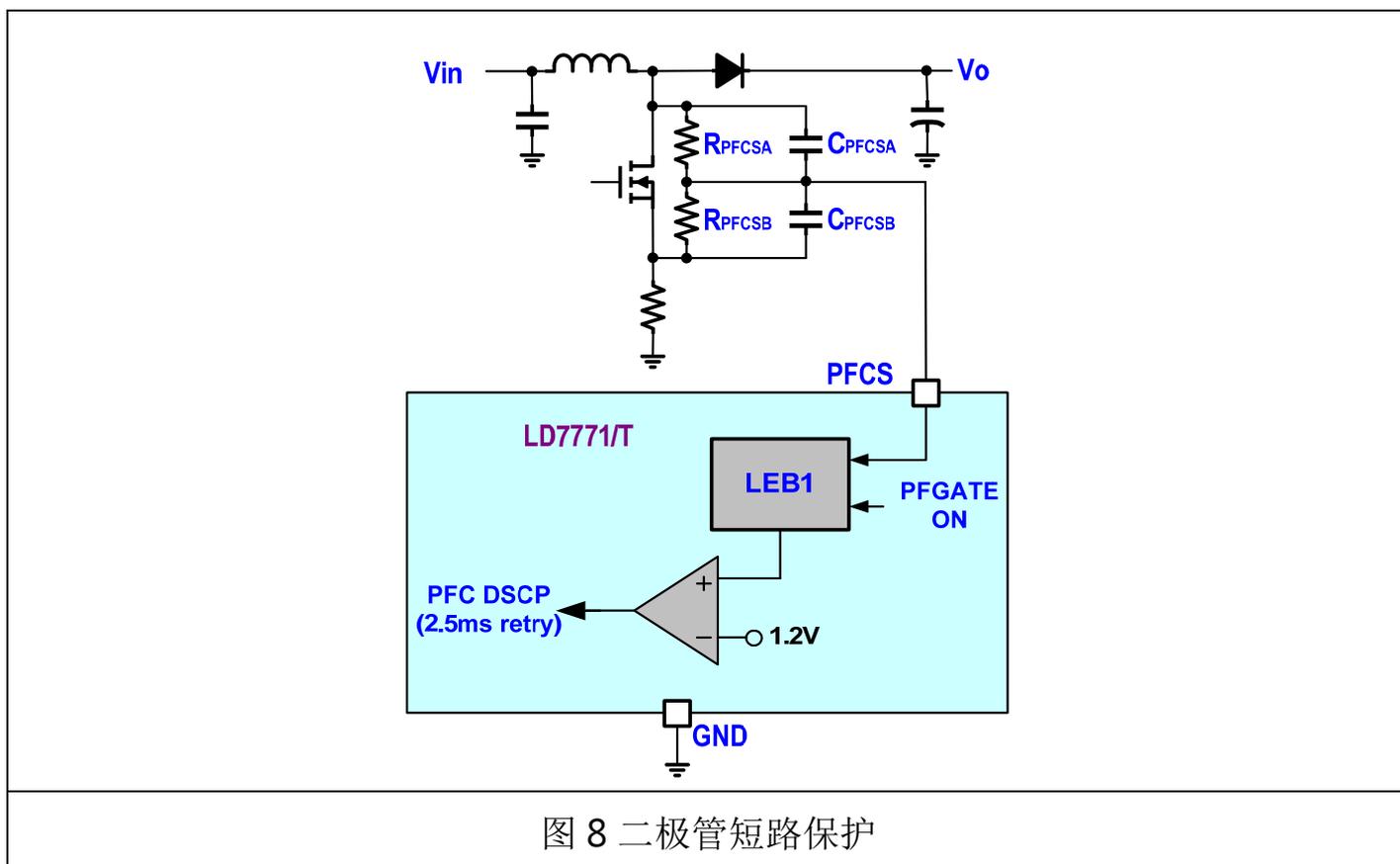


图 8 二极管短路保护

2.3 谐波补偿功能:高功因(PF)及低电流谐波(THDi)

透过 HV pin 侦测 AC 输入电压作为前馈控制的讯号于 THD 补偿器用于补偿输入波谷导通时间降低总谐波失真及提升功率因子如图 9。

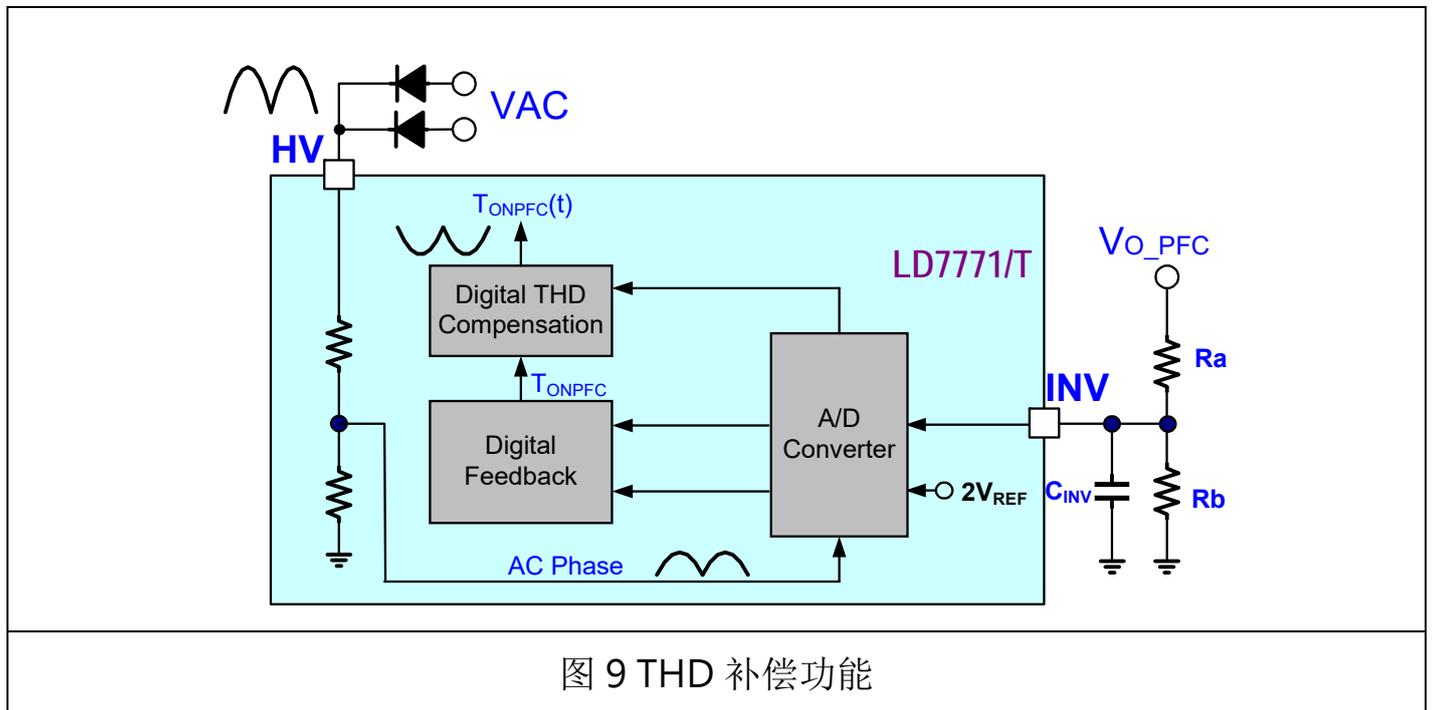


图 9 THD 补偿功能

3.对称式谐振半桥特点说明

- 电流模式控制
- 自适应死区控制
- 低谐振腔电流及输出无过冲电压的软启控制
- 可调整的突发模式(Burst mode)进出负载点对应待机功耗
- 可调整的峰值负载能力
- 切换不中断的防容性模式保护
- 精准的输出过流保护、输出短路及过压保护,搭配可编程的韧体设定调整保护模式及重启时间

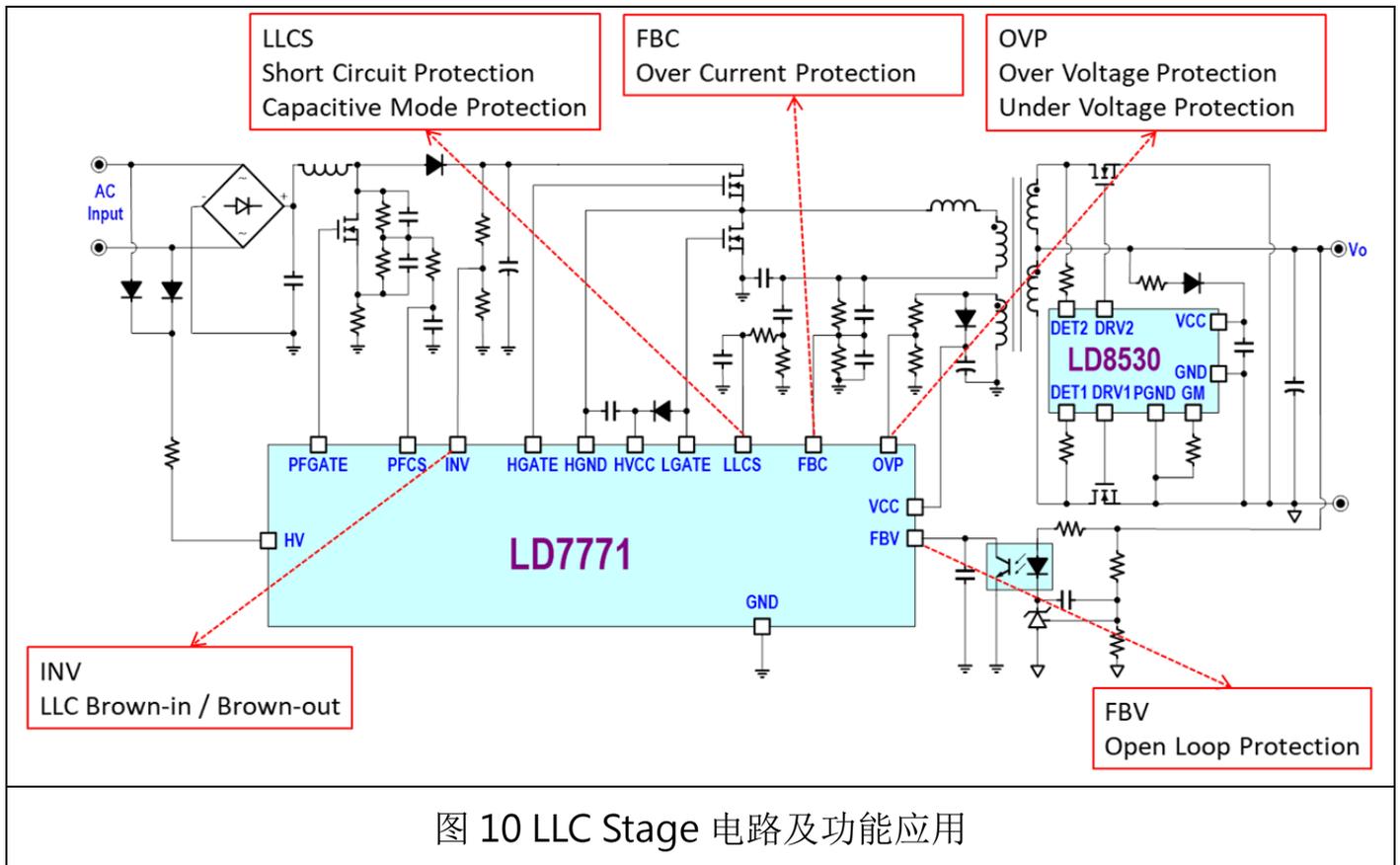


图 10 LLC Stage 电路及功能应用

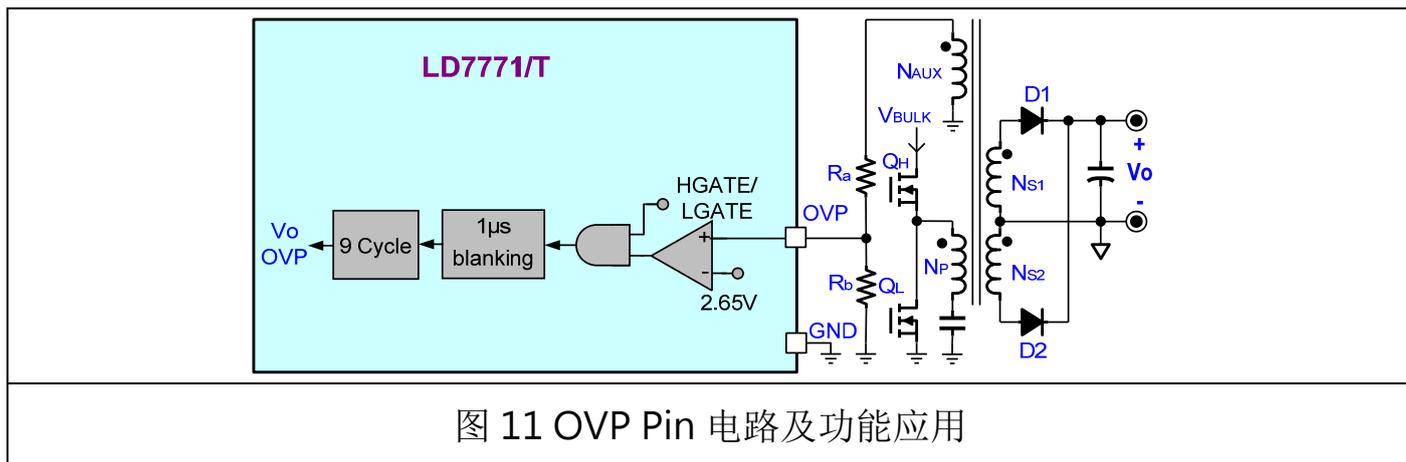
3.1 OVP Pin 应用说明

输出过压保护 Over Voltage Protection(OVP)应用说明

OVP Pin 侦测输出电压进行保护 $OVP > 2.65V$, 可编程的韧体设定保护模式包含重启或锁住及重启时间电路设计如图 11 所示

设计公式

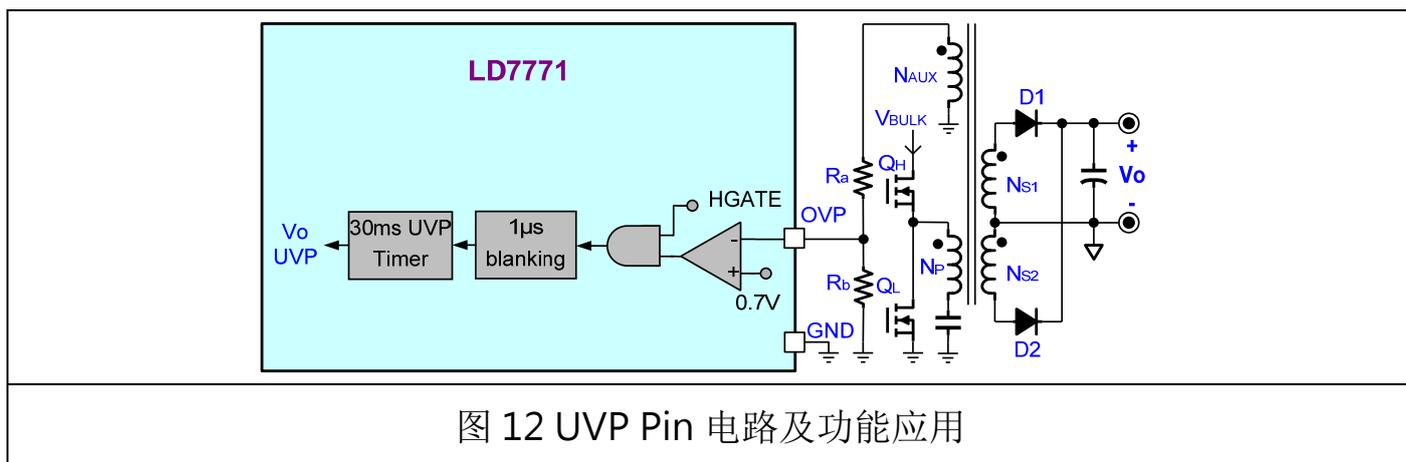
$$V_{OVP} = 2.65V \times (R_a + R_b) / R_b \times (N_s / N_{aux})$$



输出欠压保护 Under Voltage Protection (UVP)应用说明

输出短路时 OVP Pin 侦测 $< 0.7V$ 时进行保护.可编程的韧体设定保护模式包含重启或锁住及重启时间电路设计如图 12 所示

$$V_{UVP} = 0.7V \times (R_a + R_b) / R_b \times (N_s / N_{aux})$$



3.2 FBCS Pin 应用说明

输出过电流保护 Over Current Protection(OCP)应用说明

FBC Pin 侦测 LLC 谐振电流的讯号转换成电压讯号进行 OCP 如图 13, 当 FBC Pin 超过 V_{FBC_OCP} 时经延迟时间后进行保护.可编程的韧体设定 $V_{FBC_OCP(OCP)}$ /延迟时间/保护模式 /重启时间。

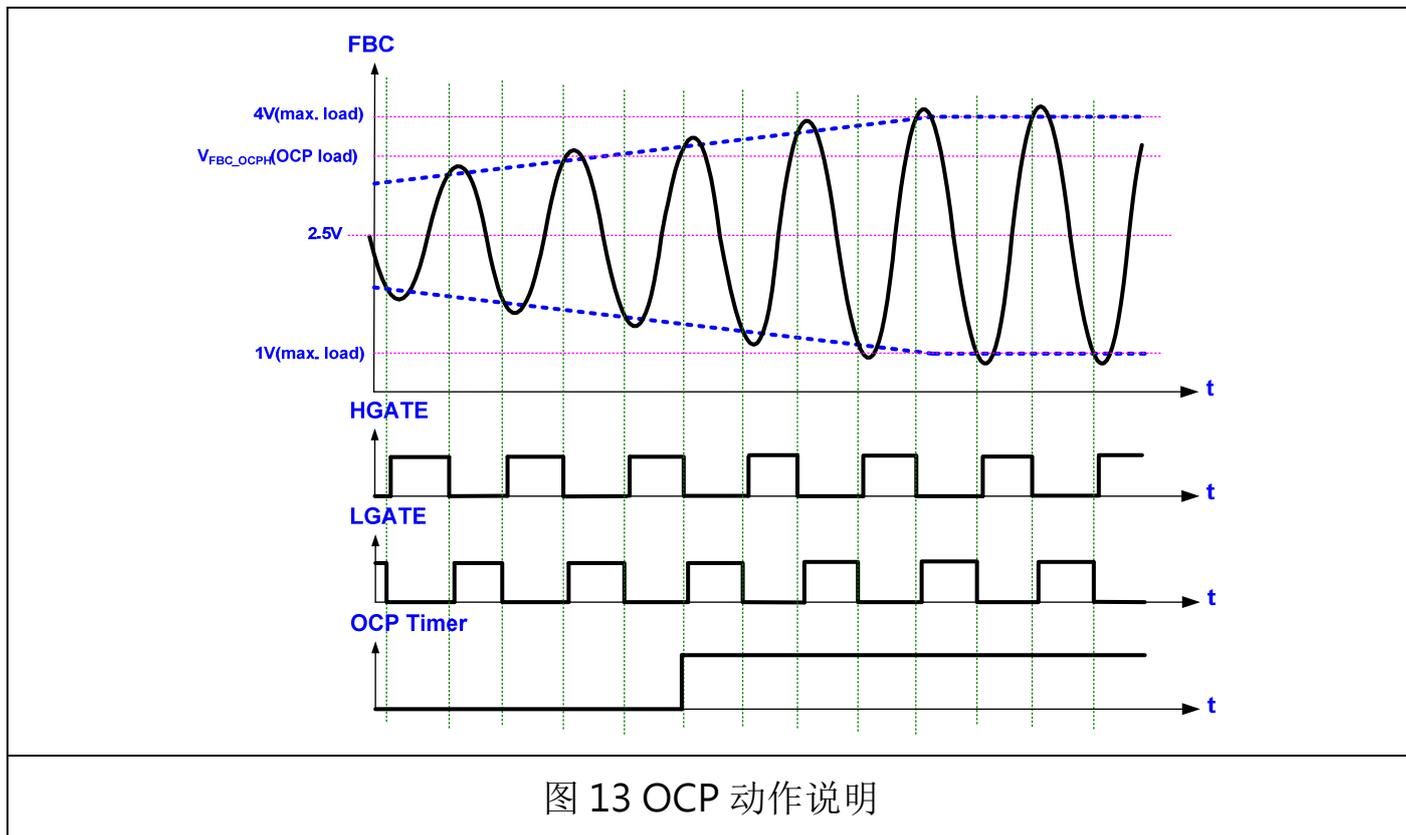


图 13 OCP 动作说明

3.3 LLC Pin 应用说明

输出短路电流保护 Short Current Protection(SCP)

LLCS Pin 侦测 LLC 谐振电流的讯号进行 SCP 如图 13 当 LLC Pin 超过 V_{LLCS_SCPP} 时经延迟时间后进行保护.可编程的韧体设定 V_{LLCS_SCPP} /延迟时间/保护模式/重启时间。

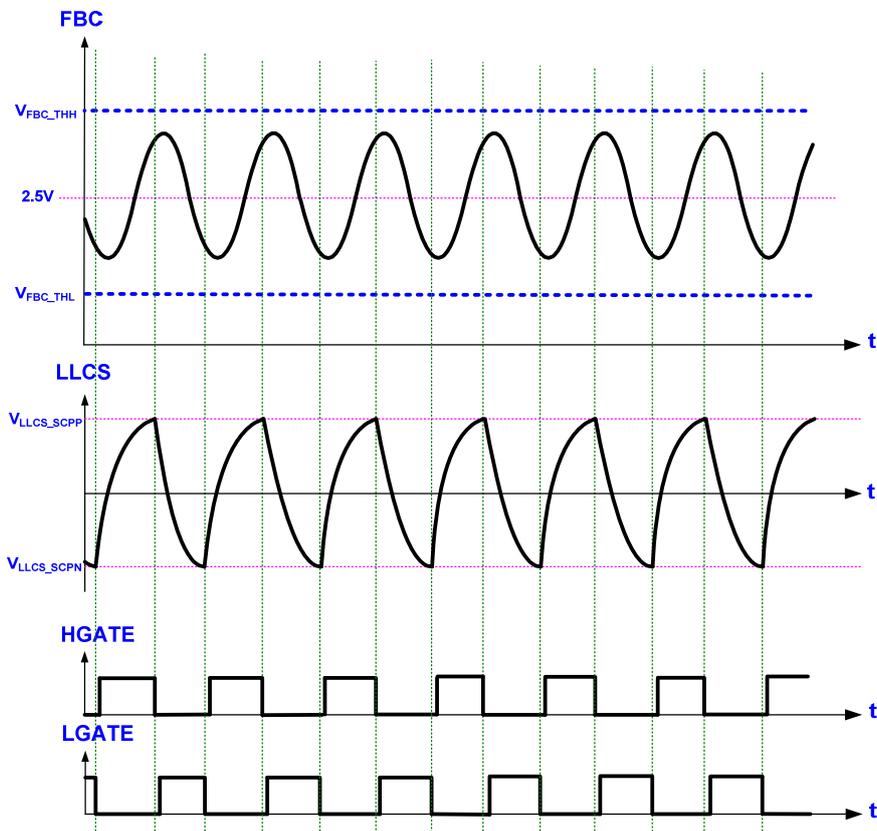
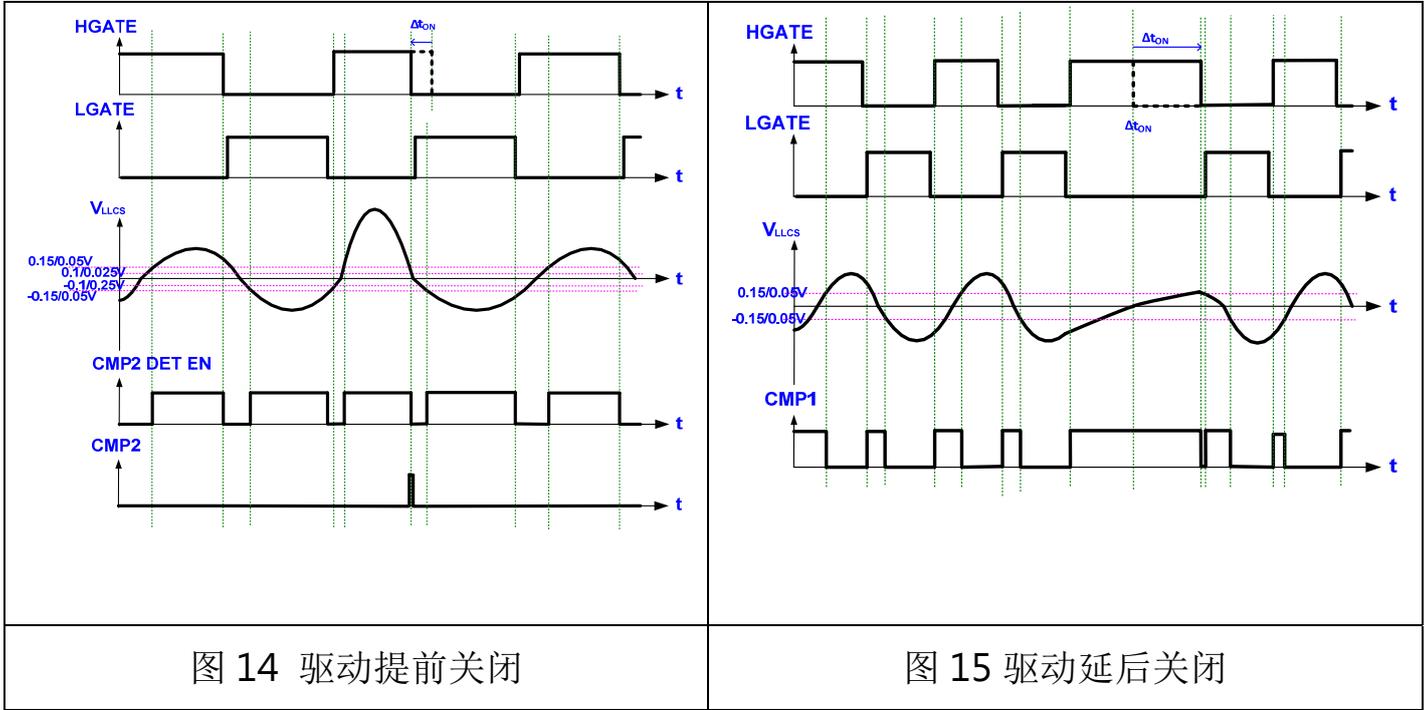


图 13 SCP 动作说明

电容性负载保护(Capacitor load Protection)应用说明

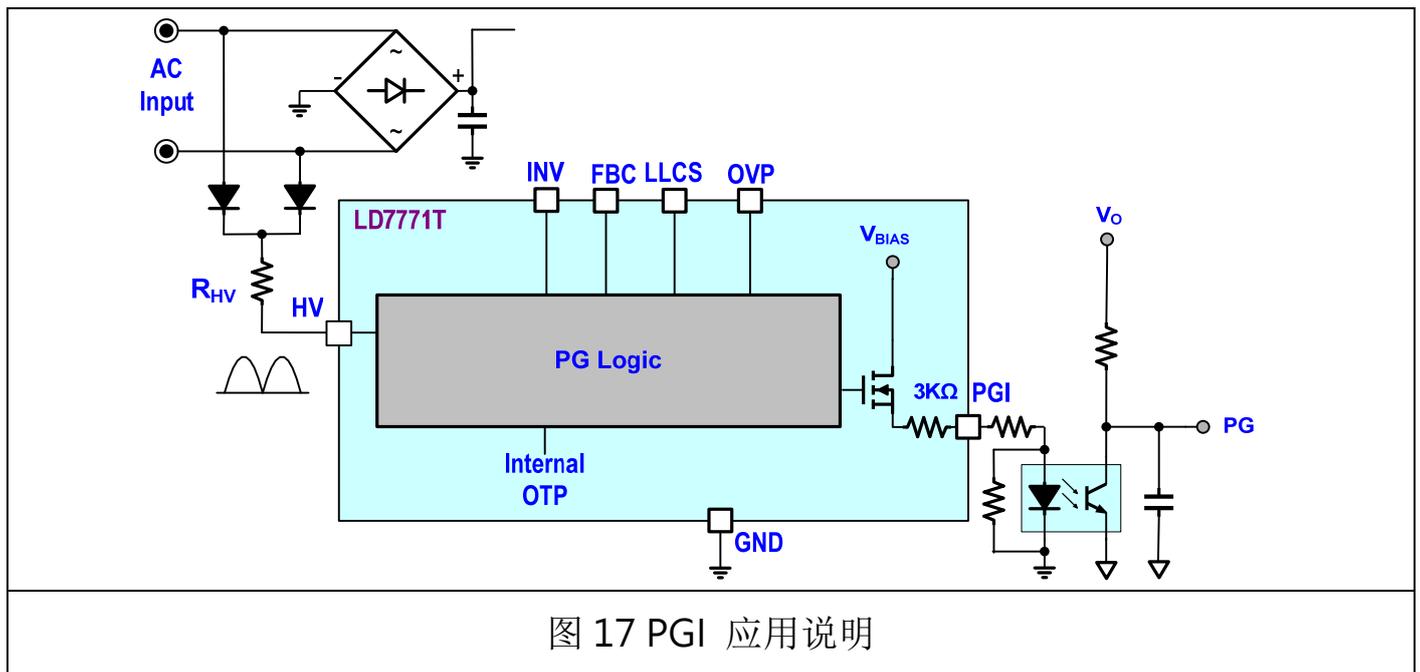
LLCS 检测谐振电流相位,当谐振电流相位即将反转并超前电压由电感区域进入电容区域,驱动将延迟或提前关闭使系统进入电感区避免进入电容区避免开关进入硬切模式
如图 14 及 15。



4 LD7771T – PGI Pin(Power Good)应用说明

LD7771T 实现了电源良好讯号控制，当交流电源断开或任何非极端保护即将发生时，此讯号输出高电平。电源良好讯号 (PGI) 会通知次级侧，初级侧的供电即将终止，并为输出系统提供一段时间来储存数据或执行其他操作。对比传统模拟电路如图 设计可以大幅降低功率消耗及待机功耗

PGI 电路功率消耗@ 240VACIN, VCC=20V		
PGI 电路	功率消耗	PGI 电路 Vcc 消耗电流
传统模拟电路	65mW	1.6mA
LD7771T	<2mW	<100 μ A



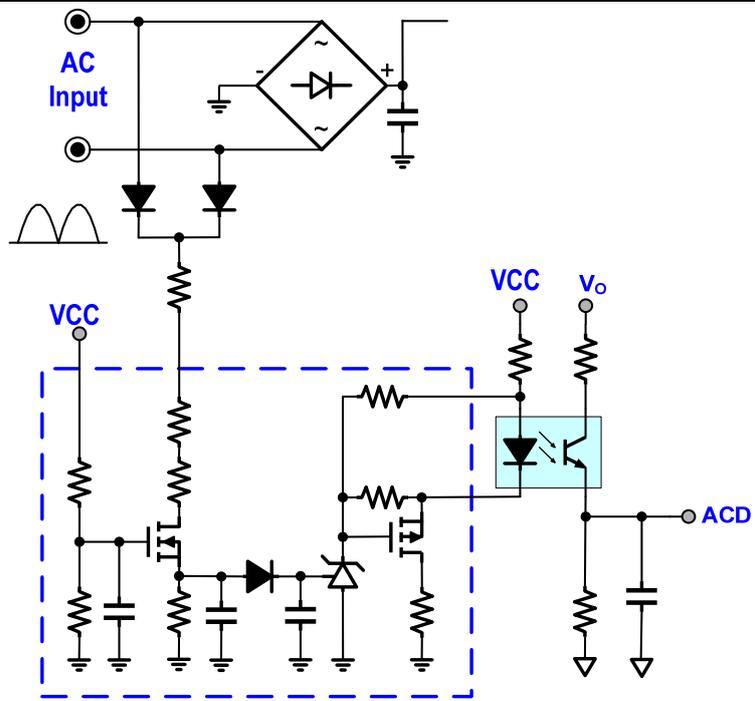


图 17 传统模拟电路设计

5 HV Pin 应用说明

LD7771/T 实现两路 X 电容放电路径：HV 引脚放电和 PFC 切换放电。此设计符合 EN62368-1 最新的 X 电容放电规定，当某一路 X 电容放电路径失效时，另一路 X 电容放电路径仍可运作如图 18。

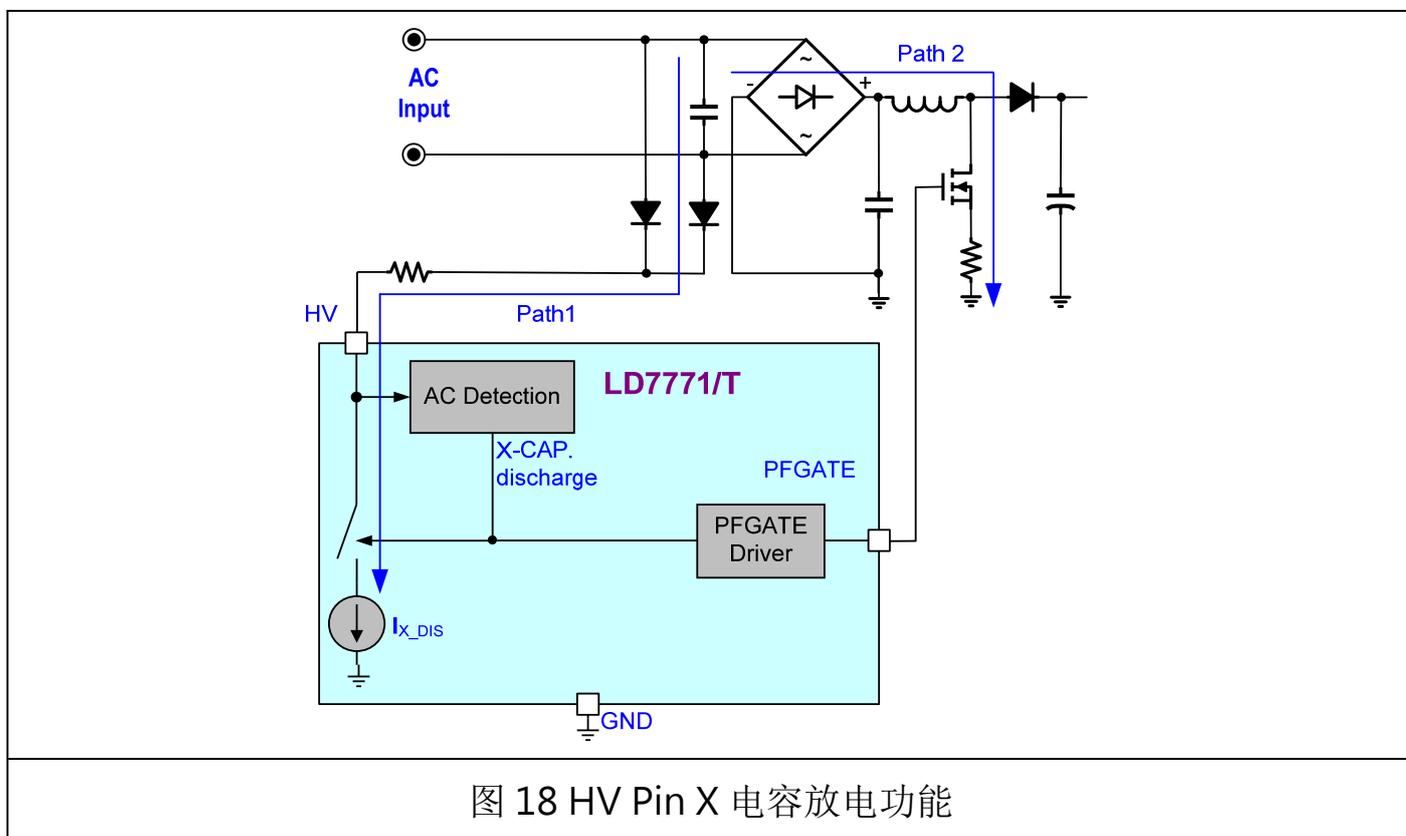


图 18 HV Pin X 电容放电功能

6. 250W LD7771T Demo Board 设计范例

Item	Min.	Typ.		Max.	Test Result
Input Voltage (V_{AC})	90	115	230	264	—
Input Frequency (Hz)	47	60	50	63	—
Voltage & Current (V / A)	20 / 0 ~12				—
					—
Power Factor	> 0.9				Pass
Efficiency (%)	> 87				Pass
Power Saving (mW)	$P_o=100mW$, $P_{in} < 270mW$				Pass
Output Voltage Accuracy (%)	< ± 5				Pass
Over Current Protection (A)	< 20				Pass
Over Voltage Protection (%)	< 150				Pass
Short Circuit Protection	Auto recovery				Pass
Ripple & Noise Voltage (mV)	20V < 320mV				Pass
Dynamic Load (%)	< ± 10 of $V_{BUS,SET}$				Pass
Turn-on Delay Time (S)	< 2				Pass
Overshoot (%)	< 5				Pass
Component Stress (%)	< 90				Pass
AC Brown in (Vac)	< 85				Pass
AC Brown out (Vac)	> 60				Pass
PGI Signal (mS)	> 30				Pass

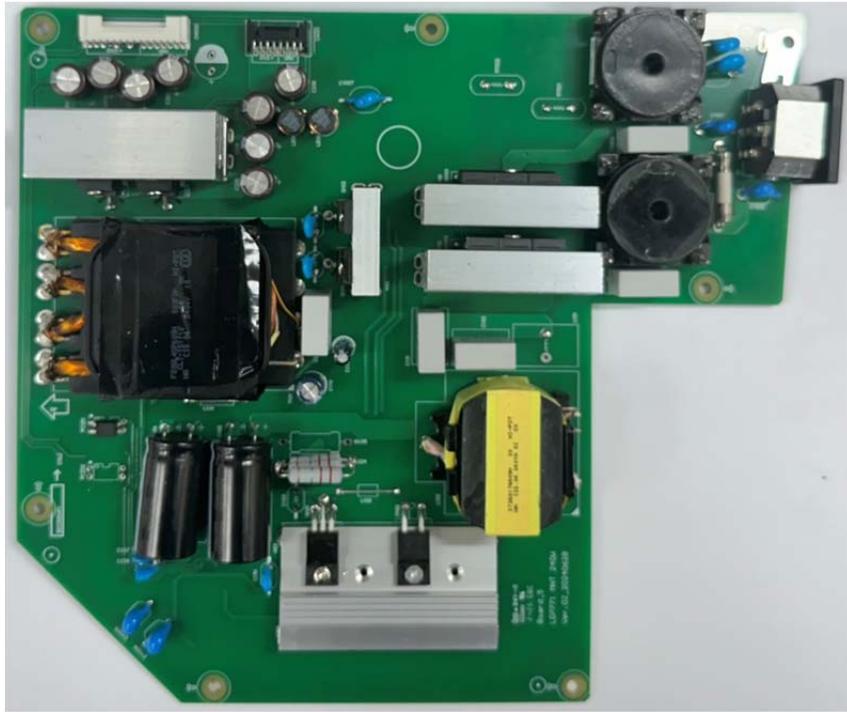


图 19 Demo board 正面图

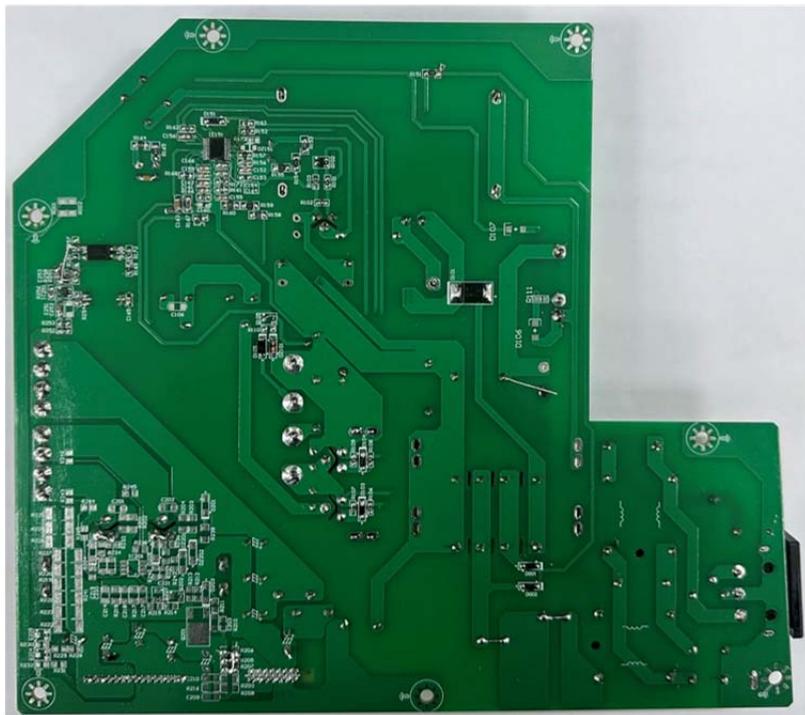


图 20 Demo board 反面图

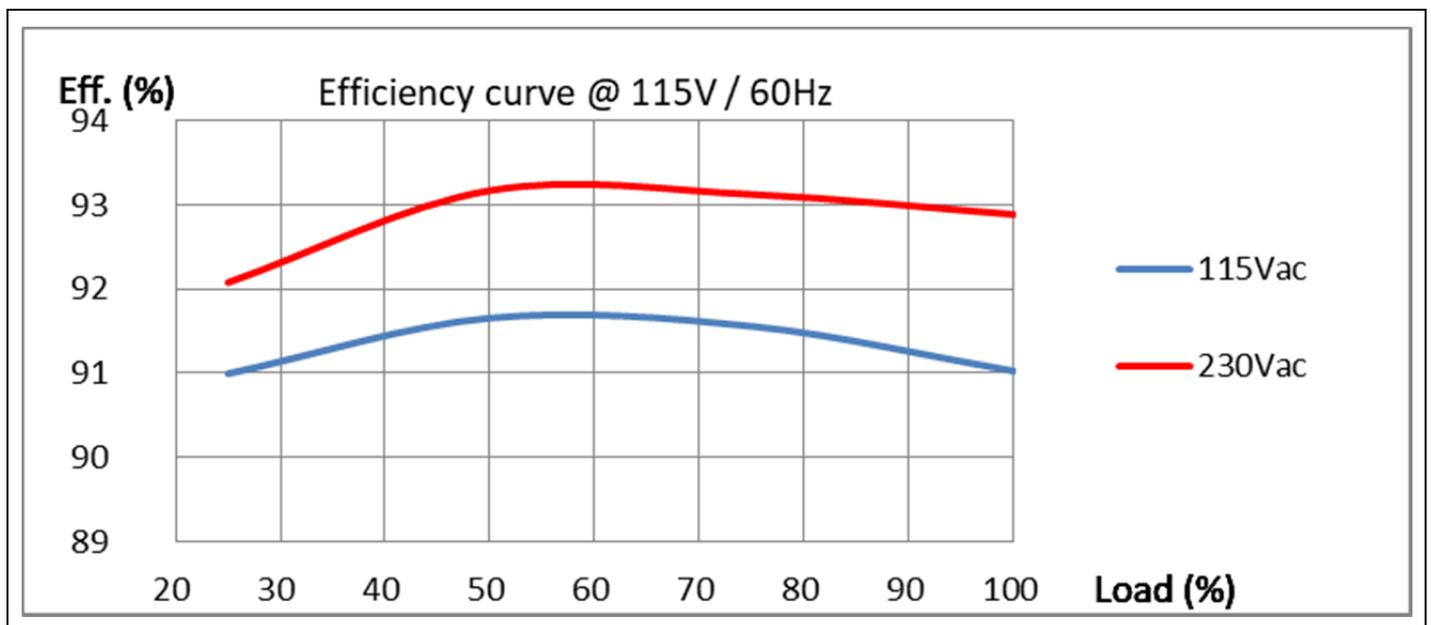
Power Saving

Input Voltage	115 V _{AC} / 60 Hz	230 V _{AC} / 50 Hz
Standby Current	20V / 5 mA	
Requirement	P _o =100mW , Pin < 270 mW	

MODE	V _{IN,AC} (V / Hz)	V _{BUS,PCB} (V)	I _o (mA)	P _o (mW)	Pin (mW)	Requirement (mW)
STB	90 / 47	19.36	5.18	100.17	236.79	REF
	115 / 60	19.36	5.18	100.16	239.41	< 270
	230 / 50	19.36	5.18	100.16	261.43	
	264 / 63	19.36	5.17	100.09	269.39	REF

Efficiency

Input Voltage	115 V _{AC} / 60 Hz	230 V _{AC} / 50 Hz
Output Current	100 % , 75% , 50 % , 25 % of Full Load	
Measured Point of Output Voltage	End of PCB	
Duration of Burn-in	30 Minutes	
Requirement	> 90%	



$V_{IN,AC}$ (V / Hz)	$V_{BUS,SET}$ (V)	Load (%)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	P_{OUT} (W)	P_{IN} (W)	PF	η (%)	Requirement (%)
90 / 47	20	100	19.40	12.00	232.80	259.55	0.997	89.69	REF
		75	19.38	9.00	174.42	192.70	0.995	90.51	
		50	19.37	6.00	116.22	127.82	0.992	90.92	
		25	19.37	3.00	58.11	64.28	0.991	90.40	
115 / 60	20	100	19.39	12.00	232.68	255.62	0.995	91.03	REF
		75	19.38	9.00	174.42	190.50	0.992	91.56	
		50	19.37	6.00	116.22	126.80	0.988	91.66	
		25	19.37	3.00	58.11	63.86	0.977	91.00	

Over Power Protection

Input Voltage		90 V _{AC} / 47 Hz	115 V _{AC} / 60 Hz	230 V _{AC} / 50 Hz	264 V _{AC} / 63 Hz
Requirement	Protection Mode	Auto recovery			
	OCP Trigger Point	< 20A			

V _{BUS,PCB} (V)	V _{IN,AC} (V / Hz)	I _{OUT,OCP} (A)	Requirement	
			Protection Mode	Trigger Point (W)
20	90 / 47	16.5	Auto	< 20A
	115 / 60	18.1	Auto	
	230 / 50	18.1	Auto	
	264 / 63	18.1	Auto	

Over Voltage Protection

Input Voltage	90 V _{AC} / 47 Hz	264 V _{AC} / 63 Hz
Output Current	No load & Full load	
Measured Point of Output Voltage	End of PCB	
Protection Mode	Auto recovery	
Requirement	< 25V	

V _{BUS,SET} (V)	V _{IN,AC} (V/Hz)	Output Load (A)	V _{BUS,PCB} (V)	Requirement (V)
20	90/47	0	23.8	< 25V
		12	23.0	
	115/60	0	24.0	
		12	23.0	
	230/50	0	24.4	
		12	23.2	
	264/63	0	24.0	
		12	23.2	

通嘉科技致力于 ACDC 中大功率完整解决方案的产品研发，提供客户研发单位在中大功率电源设计时能更俱全面性，同时完整解决方案提供的一站式服务，在供应链管理上能带给客户更有效率且准时到位，通嘉科技积极争取与客户取得双赢的机会。

