

LD7841 PSR CV for Lighting 应用

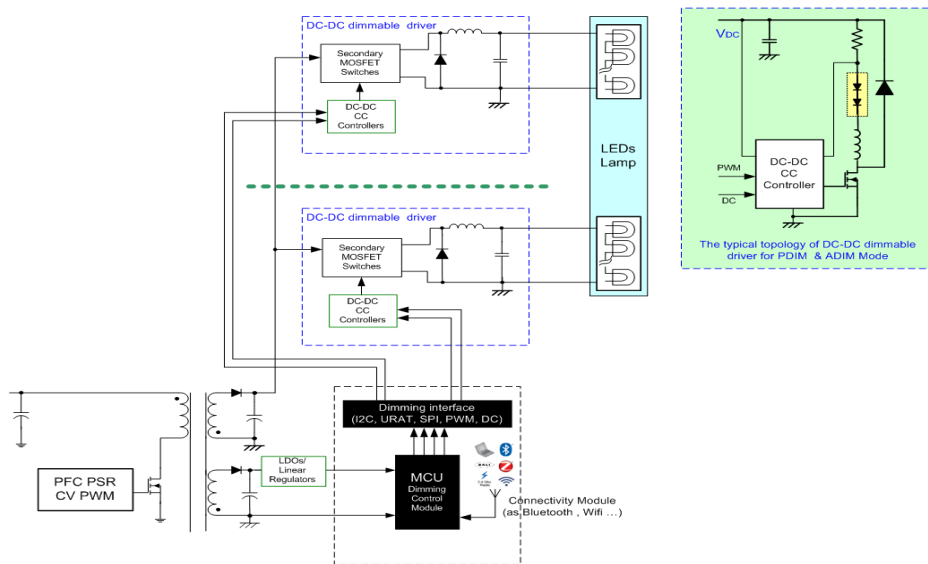
作者: 通嘉 FAE-郭龙剑

2021-Jan.

引言

自 LED 光源进入通用照明领域, 逐渐取代传统光源, 日益占据照明的核心领域。其除了耗能少、无污染、不含汞、寿命长等优点外, 可控性强是别于传统光源的鲜明特点。随着 LED 照明技术的应用成熟, 可进行调光调色的特性使灯具不再只是照明的工具而已, 它更能因应需求营造不同的灯光效果。此外, 它与物联网、智能控制领域高度的契合性在照明技术成熟的当前得以充分表现, 也让智慧照明蓝海市场变为现实。

随着 LED 照明应用广泛, 所以为了有健康舒适的照明环境, 法规对 LED 灯具性能要求也越来越严格; 在 LED 灯具初级阶段, 为了满足 PF 与 THD, 考虑成本, 室内照明大部分架构采用单级 PFC, 所以工频纹波很大, 采用手机拍摄有明显看到水纹波, 而此频闪对人体产生的影响也逐步引起重视。为了满足无频闪要求, 最初都是输出通过加去频闪电路, 但此电路弊端就是损耗效率, 输出电流越大, 损耗越大, 导致应用上的限制; 另外若采用 PFC+反激两级式电路, 可以满足高 PF 与低纹波, 但成本高; 相对前面两种架构, PSR CV+DC-DC 这种架构应用而生, 在既可以满足高 PF 与低纹波情况下, 成本上也介于二者之间, 而随着智能照明的兴起, 此设计优势更加明显, 主要原因是待机时调光模块供电及同时可支持多路 DC-DC 输出 (如图一)。



图一 PSR CV+DC-DC (MCU Dimming Control)

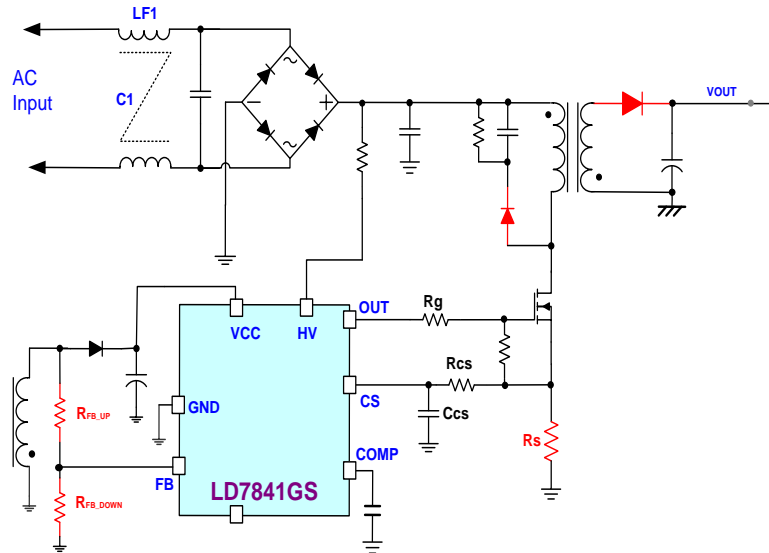
近期欧盟也因应智能调光的广泛也发布了新版谐波电流发射标准 EN IEC 61000-3-2:2019, 欧洲电工标准化委员会 (CEN/LEC) 网站最新信息, 该版本最快将于 2022 年 3 月 1 日替代目前使用的版本 IEC 61000-3-2:2014。其主要是照明设备要求有较大的差异, 此标准适用于连接到公用电力系统的每相额定输入电流不大于 16A 的设备, 与旧版标准相比, 标准中主要变化如下:

- 更新额定功率 $\leq 25W$ 的照明设备的谐波电流发射限值, 以考虑新型照明设备
- 增加 5W 分界线, 照明设备小于 5W 无谐波电流发射限值

近年来随着智能照明系统兴起, 光源可以进行调光调色, 从而新标准规定了 $5W \leq P \leq 25W$ 照明设备需要增加谐波电流测试, 涵括产品类别非常广泛, 包括橱柜灯, 球泡灯, 调光型小夜灯等小功率的 LED 灯具。

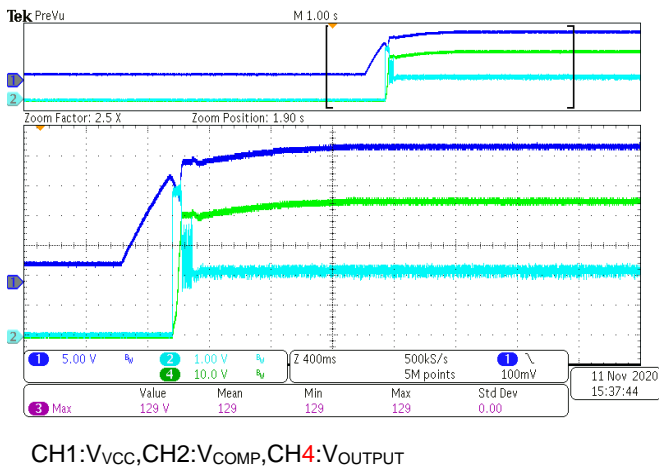
通嘉 PSR CV 方案-LD7841

通嘉开发了新一代高功率因数原边反馈恒压方案 LD7841, 它采用变化导通时间及限频操作模式, 使系统轻易达到相关要求; 输出电压采用原边回授并做膝点取样, 让输出电压更加精准; 为了全电压范围开机时间小于 0.5 秒要求, 内置高压启动及采用软启动逻辑, 使输出电压开机期间无过冲现象; 新型 THD 补偿机制及导通时间监控, 使系统能维持高功因 (PF>0.9) 及低电流谐波 (THD<20%) 并维持待机时功耗小于 0.5W 等电气要求; 另外, LD7841 具有完善的保护功能, 包括 BNI/BNO, VCC OVP, FB OVP, OLP, OSCP, SDSP.. 等, 典型应用如下:

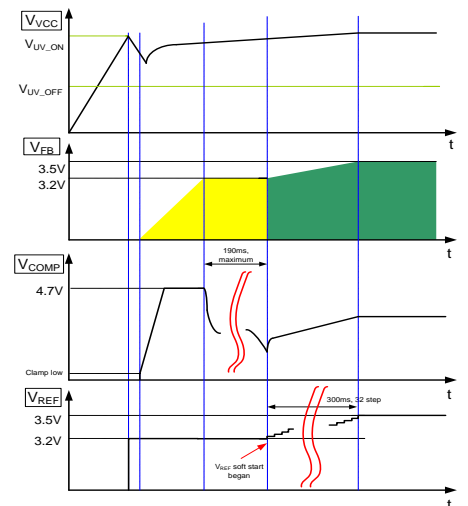


图二 典型应用

LD7841 恒压软启动工作逻辑

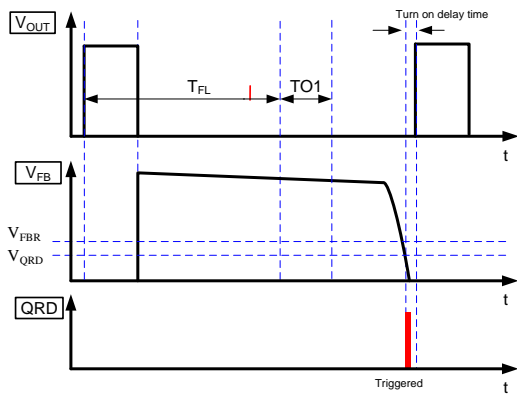


图三 VREF 启动时序



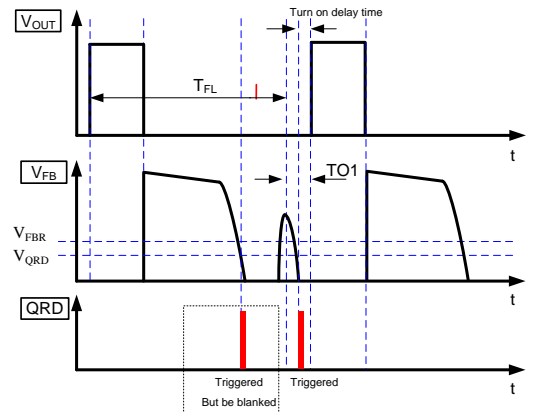
当 $V_{CC} > UVLO_ON$ 时, IC 确定 IC 内部各个逻辑正常后, COMP pin 电压迅速爬升至 $V_{COMP_OPEN}=4.7V$, T_{on} 开最大打出能量, 让输出电压迅速建立, 此时内部 V_{REF} 基准电压限制为 3.2V, 当 V_{FB} 检测电压为 3.2V 时, COMP pin 电压迅速下拉, 回授开始建立, 震荡时间在 190ms 以内, V_{REF} 基准电压从 3.2V 慢慢上升到 3.5V, 时间持续 300ms, 回授逐渐稳定, 从而实现 V_{REF} 基准软启动, 让输出电压无过冲现象。

LD7841 QR,QR-DCM,DCM 混模工作模式



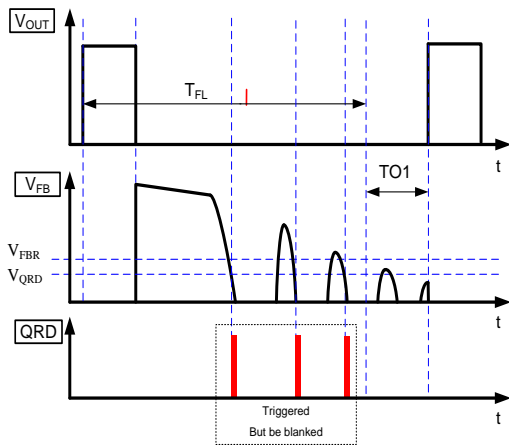
Quasi-resonant mode
MOSFET turns on at 1st valley

(a)



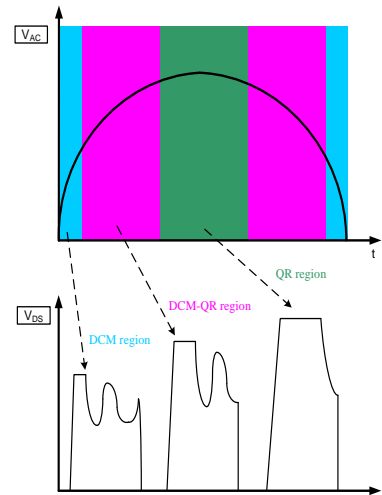
DCM-QR
MOSFET turns on at Nth valley

(b)



DCM
MOSFET does not turn on at valley

(c)



(d)

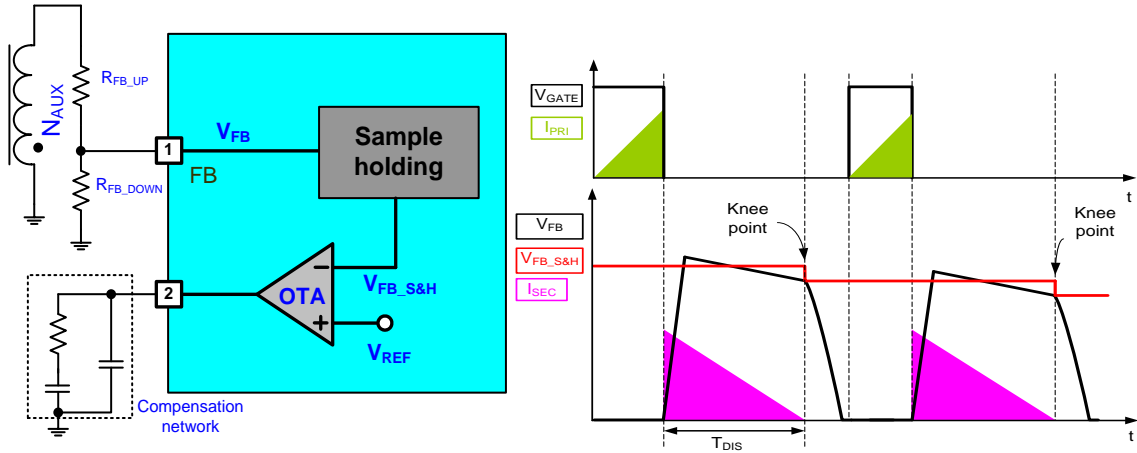
图四 工作模式

- 1.1 $T_{FL}=1/F_{SW_LIMIT}$, $T_{O1}\approx 5\mu S$. And $T_{O2}\approx (T_{FL}+125\mu S)$.
- 1.2 通过检测 FB pin 不同上升 V_{FB} 电压, IC 可以工作 QR 或者 DCM; 如果 QRD 信号触发在 T_{O1} 时间后但 T_{O2} 时间前, IC 直接在第一个谷底导通, 如图四 (a) 所示。
- 1.3 如果 QRD 信号触发在 TFL 结束前, 此时 QRD 触发 IC 不会打开 MOS, 等到 TFL 结束 QRD 信号再次触发, MOS 会在 T_{O1} 时间内谐振谷底导通, 如图四 (b) 所示。
- 1.4 如果 QRD 信号在 TFL 结束前都没有触发, 等 T_{O1} 时间结束后 MOS 直接导通, 如图四 (c) 所示。
- 1.5 LD7841 在一个半波内可能会工作在 QR, QR-DCM, DCM 三种模式, 通过混模及限频方式可以改善重轻载效率, 如图四 (d) 所示。

LD7841 功能及应用说明

FB (Pin1)功能: 输出电压侦测、QR 切换侦测、最大导通时间设定、过电压/欠电压保护, 附加 IC 脚 断路及开路保护

1. 输出电压侦测

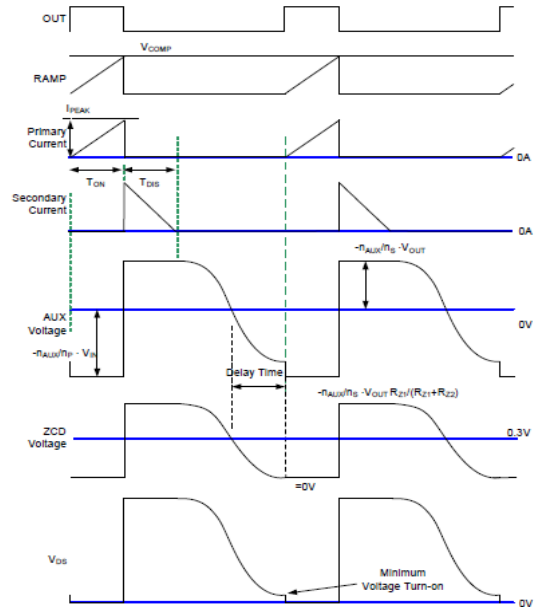
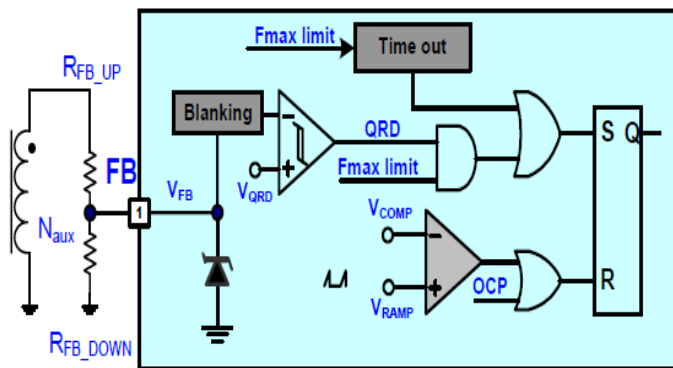


图五 FB 电压侦测

当二次侧电流刚好泄放到零时, 一次侧谐振开始, 通嘉通过引入膝点侦测技术, FB 取样转折点波形电压并保持到下一个开关波形, 这样可以消除变压器电流对二次侧整流管 VF 受顺向电流大小而影响, 计算公式如下:

$$V_{OUT} = (V_{REF} \times \frac{N_{SEC}}{N_{AUX}} \times \frac{R_{FB_UP} + R_{FB_DOWN}}{R_{FB_DOWN}}) - V_F$$

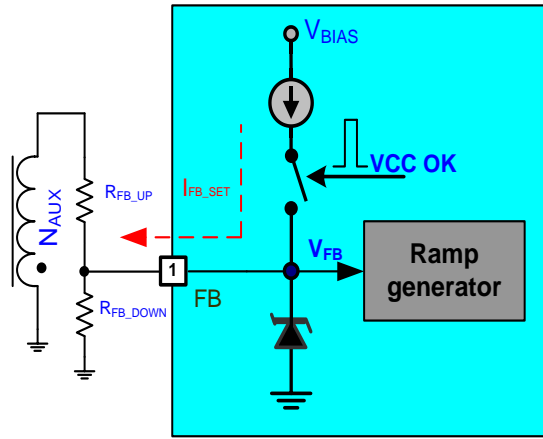
2. QR 切换侦测



图六 ZVS 侦测

V_{FB} 检测到辅助绕组电压, 当电压下降低于 V_{QRD} 时, 变压器电流降到零, QRD 信号触发, 驱动会打开 MOS。

3. 最大导通时间设定



图七 Ton MAX 设定

当 $V_{CC} \geq UVLO_ON$ 及 BNI 已经触发时, LD7841 内部吐出恒流源并延时一个时间检测通过 R_{FB_T} 产生的电压来设定最大导通时间, 设定参考表一:

T_{MAX_N}	$R_{FB_T}(\Omega)$ $R_{FB_T} = \frac{R_{FB_UP} \times R_{FB_DOWN}}{R_{FB_UP} + R_{FB_DOWN}}$	Max. on Time @ $V_{HV}=100V_{DC}$	R_{FB_T} Suggestion
T_{MAX_1}	$25k\Omega \geq R_{FB} \geq 18k\Omega$	$27\mu s$	$20k\Omega$
T_{MAX_2}	$12.5k\Omega \geq R_{FB} \geq 7.5k\Omega$	$17\mu s$	$10k\Omega$

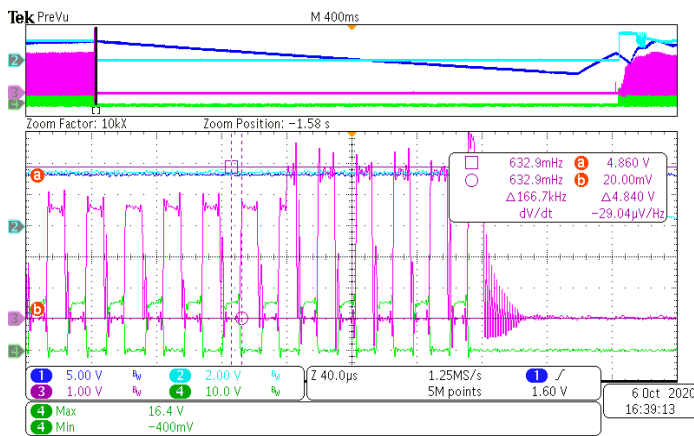
表一 最大 Ton 时间设定

LD7841 操作时会通过侦测 HV Pin 改变最大导通时间值进而补偿 COMP pin 位准, 补偿电压范围在 $100V_{DC}-420V_{DC}$, 计算公式:

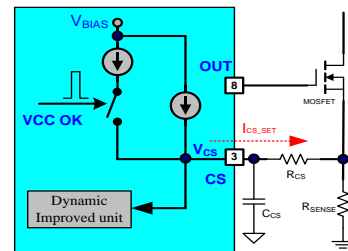
$$T_{ON_MAX} = T_{MAX_N} \times K_{TON}$$

$$K_{TON} = \frac{100V}{V_{HV_PEAK}}$$

4. 过电压保护



CH1:VCC, CH2:VCOMP, CH3:VFB, CH4:Vgate

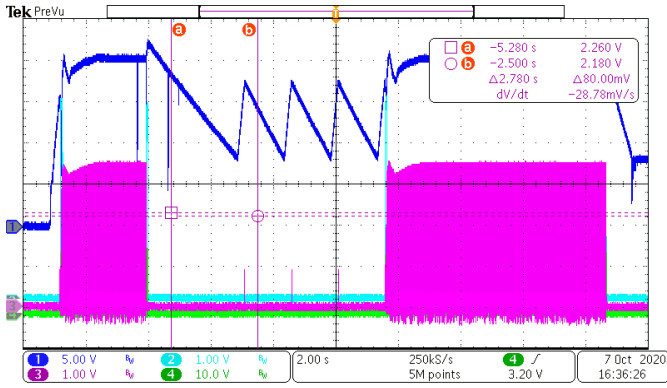


ITEM	$R_{CS}(\Omega)$	$V_{FB_OVP}(V)$
SET0	$\cong 300$	4.0
SET1	$\cong 700$	4.2

图八 FB OVP 保护, OVP 限值通过 R_{cs} 设定

在正常工作时如果 R_{FB_UP} 电阻短路或者 R_{FB_DOWN} 电阻开路, 一旦 V_{FB} 电压高于 $V_{FB_OVP_0}$ (典型值 4.0V) 或者 $V_{FB_OVP_1}$ (典型值 4.2V), 并连续检测到 4 个周期, LD7841 会触发过电压保护并立即关断驱动至 IC 重新启动 1 次后再触发保护, 直到故障解除。

5. 欠电压保护



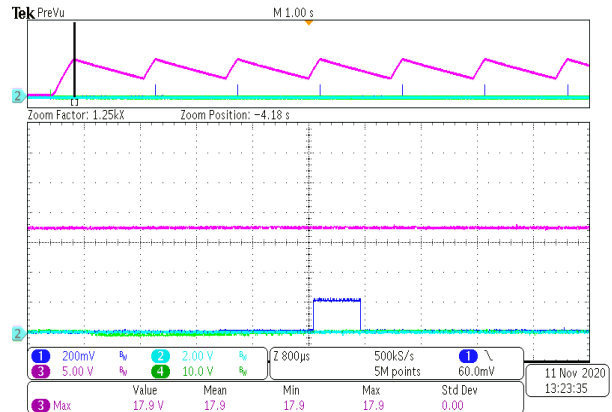
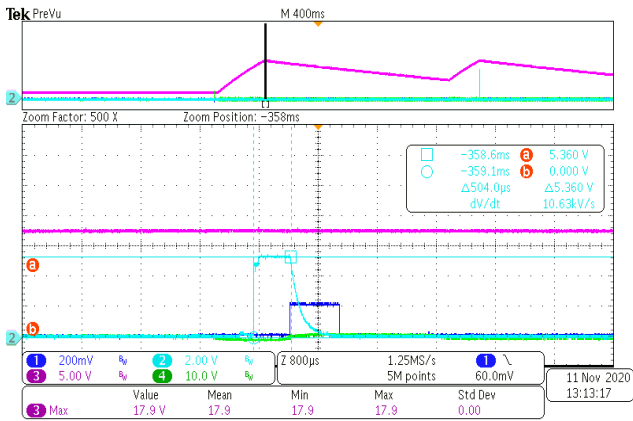
Protection mode	
FBUVP	4 Hiccup
Trigger condition	
$V_{FB} < V_{FB_UVP}$ (0.8V, typ.) and T_{DEB_OSCP} (56ms, typ, Not including TSS12)	

CH1:V_{VCC}, CH2:V_{COMP}, CH3:V_{CS}, CH4:V_{GATE}

图九 FB UVP 保护

在正常工作时如果输出短路，经过变压器反射到 VCC 绕组电压也会下降，当 V_{FB} 电压低于 V_{FB_UVP} （典型值 0.8V）并持续时间达到 56mS，LD7841 会强制关断驱动，同时 IC 打嗝 4 次后启动保护直到故障解除；如果 R_{FB_UP} 电阻开路或者 R_{FB_DOWN} 电阻短路，也会触发 FB UVP 保护。

6. IC 脚断路及开路保护

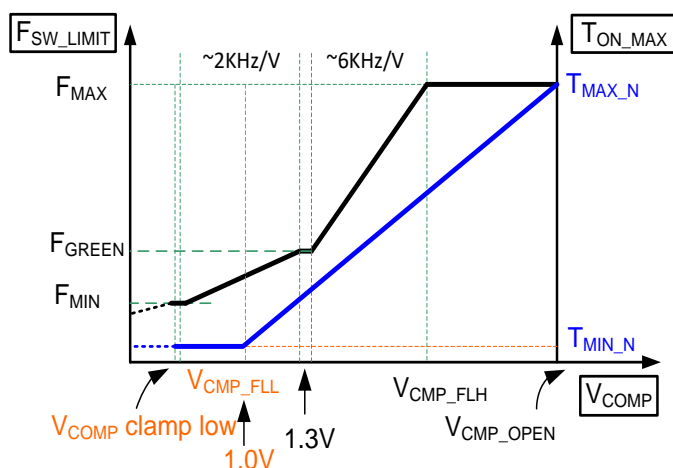


图十 FB pin 开机 open/short 保护

当 LD7841 $V_{CC} > UVLO_ON$ 时，FB pin 内部恒流源会先吐电流，如果 FB pin 开路或者悬空， $V_{FB_SET} > 2.7V$ （典型值），LD7841 会进入 FB pin open 保护；如果 FB pin 短路到 GND， $V_{FB_SET} < 0.35V$ （典型值），LD7841 会进入 FB pin short 保护。

COMP (Pin2)功能: 环路补偿及频率限制、输出过载保护

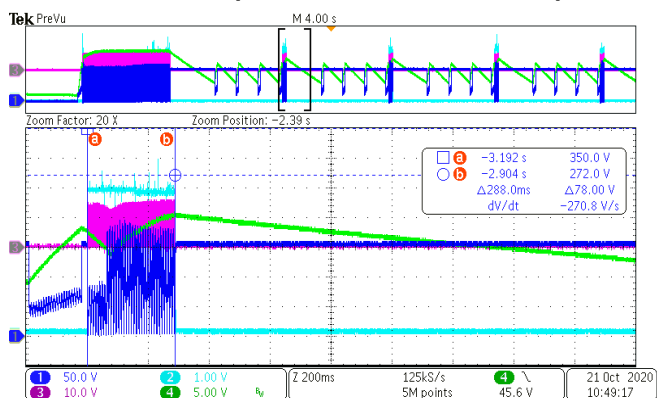
1. 最大導通時間及頻率限制



图十一 最大导通時間及限制频率曲线 v. s V_{COMP}

LD7841 为了优化轻载效率而做了限频处理， F_{MAX} 频率为 90KHZ， F_{MIN} 频率为 500HZ，其 F_{GREEN} 频率为 14KHZ 的工作方式。

2. 输出过载保护(Over load Protection)



Protection mode	
OLP	4 Hiccup
Trigger condition	
$V_{COMP} \geq V_{OLP}$ (4.5V, typ.) and T_{DEB_OLP} (210ms, typ.)	

CH1:V_{HV},CH2:V_{COMP},CH3:V_{GATE},CH4:V_{VCC}

图十二 OLP 保护

输出负载逐渐增加时，V_{COMP} 电压会逐渐升高，当 $V_{COMP} \geq V_{OLP}=4.5V$ （典型值）及时间持续 $T_{DEB_OLP}=210ms$ （典型值），IC 触发 OLP 保护，IC 打嗝 4 次重启后继续保护直至故障解除

CS (Pin3)功能：峰值电流限制、二次侧整流子短路保护、脚短路/开路保护、动态侦

测参数设定

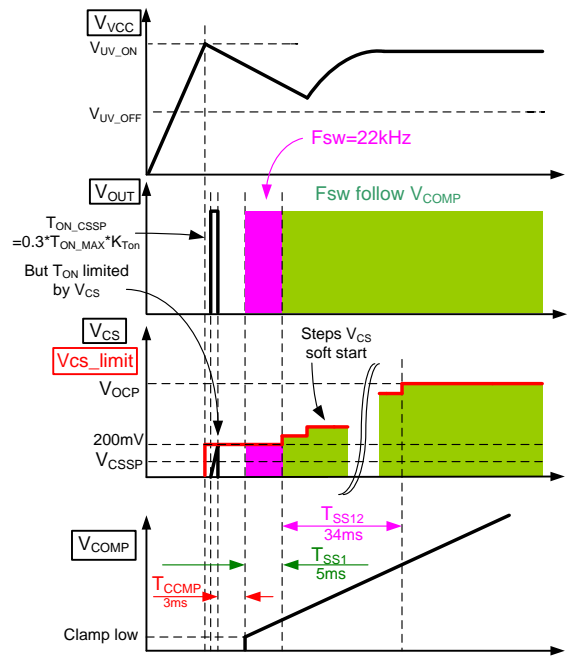
1. 峰值电流限制

1.1 LD7841 VCC > UVLO_ON 时, LD7841 第一个 Ton 先确认 CS short 回路, 确认 OK, IC 开始进入软启动回路, 软启动时间 TSS= TSS11+ TSS12。

1.2 进入 TSS11=5ms (典型值), 开关频率以 $F_{sw} \cong 22\text{KHZ}$ (典型值) 开始工作, T_{ON} 大小被 V_{COMP} 及 V_{CS} 控制, 此时 $V_{CS}=0.2\text{V}$ (典型值)。

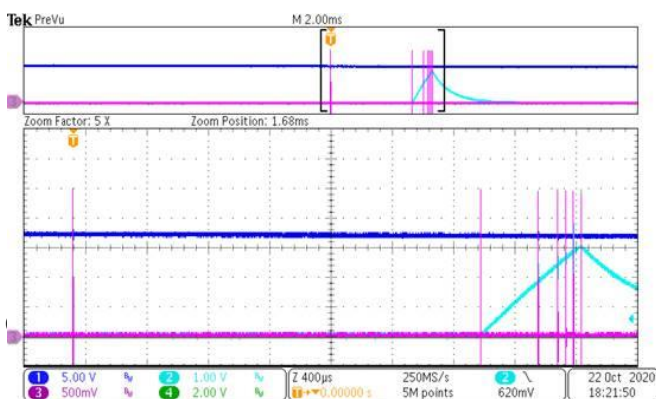
1.3 进入 TSS12=34ms (典型值), 开关频率 F_{sw} 和 T_{ON} 由 V_{COMP} 及 V_{CS} 共同控制, V_{CS} 值从 0.2V 逐渐增加到 0.8V。

1.4 进入正常工作后, V_{CS_MAX} 有两个限值, 当 $V_{HV} \leq V_{LLINE}$ & T_{DEB_HVHL} , $V_{CS_MAX}=1\text{V}$ (典型值), 当 $V_{HV} \geq V_{HLINE}$ & T_{DEB_HVHL} , $V_{CS_MAX}=0.8\text{V}$ (典型值)。



图十三 启动期间至正常操作时的峰值电流检测变化

2. 二次侧整流二极管短路保护 (Secondary Diode Short Protection)

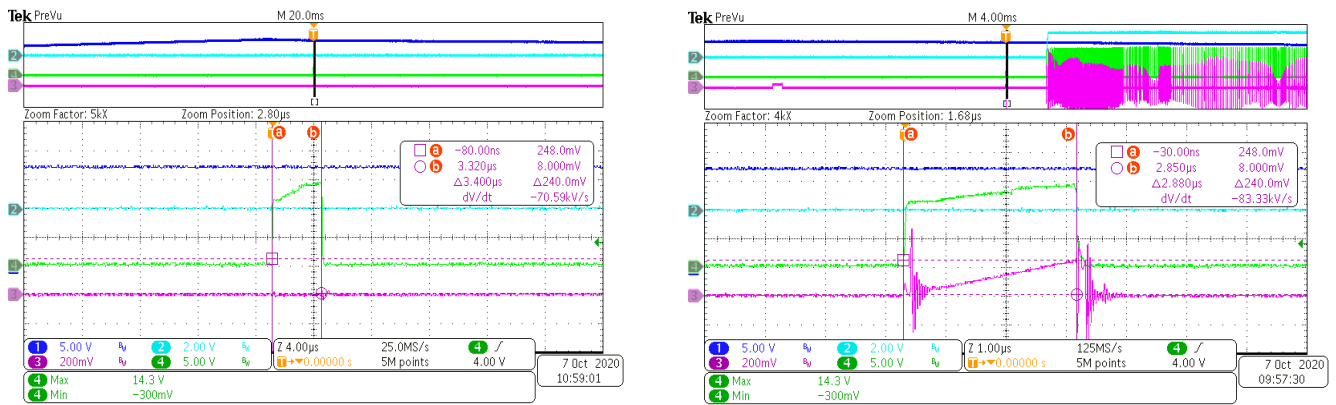


Protection mode	
SDSP	8 Hiccup
Trigger condition	
$V_{CS} \geq V_{OCP2}$ (0.7V, typ.) and T_{DEB_DSP} (7 switching cycle.)	

图十四 SDSP 保护

当二次侧整流二极管短路时, LD7841 在 LEB 时间内检测超过 $V_{CS} \geq V_{OCP2}$ (0.7V 典型值), 并且持续 7 个周期, 就会触发 SDSP 保护, IC 打嗝 8 次再重新启动触发保护直到故障解除。

3. IC 脚短路保护 (CSSP)



CH1:V_{VCC}, CH2:V_{COMP}, CH3:V_{CS}, CH4:V_{GATE}

图十五 启机前 CS short 保护及正常开机 CS 波形

3.1 IC 达到 BNI 电压后, LD7841 会先打一跟脉冲去检测 CS 是否短路, 第一根脉冲时间计算如下:

$$T_{ON_CSSP} \approx 0.3 \times (K_{TON}) \times T_{MAX_N}$$

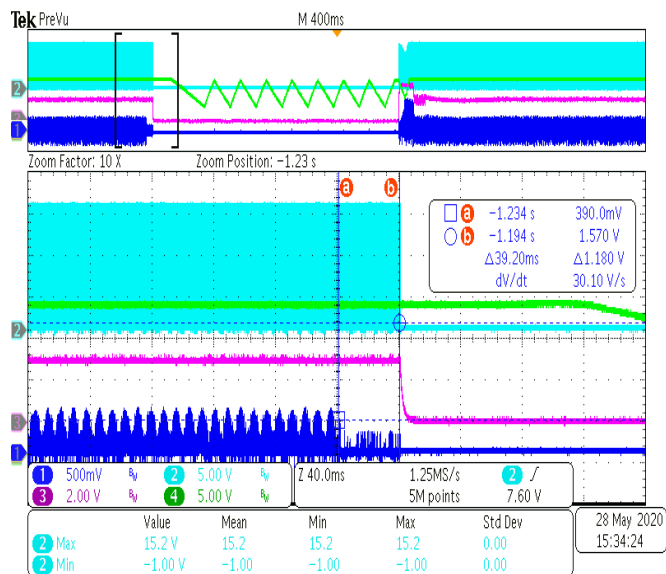
$$K_{TON} = \frac{100V}{V_{HV_PEAK}}$$

3.2 CS 限制电压为 0.2V (典型值) 在 T_{ON_CSSP} 。

3.3 如果启动前 VCS $\geq 100mV$, LD7841 在 TCCMP (3mS) 后可以正常工作。

3.4 如果启动前 VCS < 100mV, CSSP 保护功能被触发, VCC 进入打嗝 8 次再次启动保护直到故障解除。

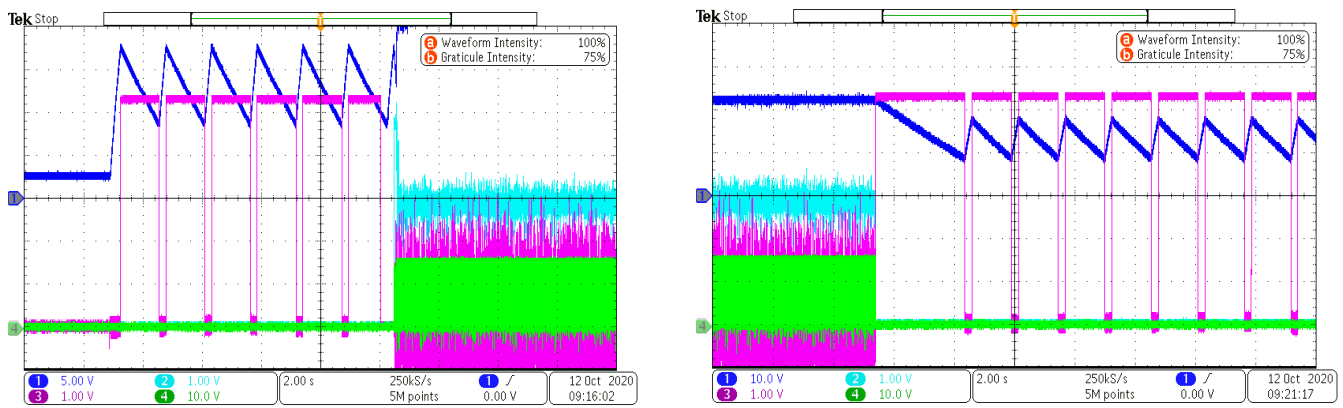
3.5 如果在启动之后 VCS < 100mV, 且 VCOMP > 2V 并持续 56mS 后, CSSP 护功能被触发, LD7841 强制关掉驱动, VCC 进入打嗝 8 次再次启动保护直到故障解除。



CH1:V_{CS}, CH2:V_{GATE}, CH3:V_{COMP}, CH4:V_{VCC}

图十六 正常工作后 CSSP 保护

4. IC 脚开路保护(CSOP)



图十七 开机前及正常工作后 CS open 保护

4.1 当 VCC>UVLO_ON 后, LD7841 CS pin 先内部会吐出一个固定电流侦测, 如果启动前 CS pin 开路或者悬空, CSOP 保护会被触发。

4.2 在正常工作后, LD7841 CS pin 内部会吐出一个 10uA (典型值) 电流侦测, 一旦 VCS 电压高于 VCS_OP=2.5V (典型值), CSOP 保护会被触发。

5. 动态侦测参数设定

ITEM	R _{CS} (Ω)	USD	OSD1	OSD2	OSD3	V _{FB_ovp} (V)
		Percentage to V _{REF} (%)				
SET0	≤ 300	-4.3	+4.3	+7.85	+12.5	4.0V
SET1	≥ 700	-7.85	+7.85	+12.5	+17.5	4.2V

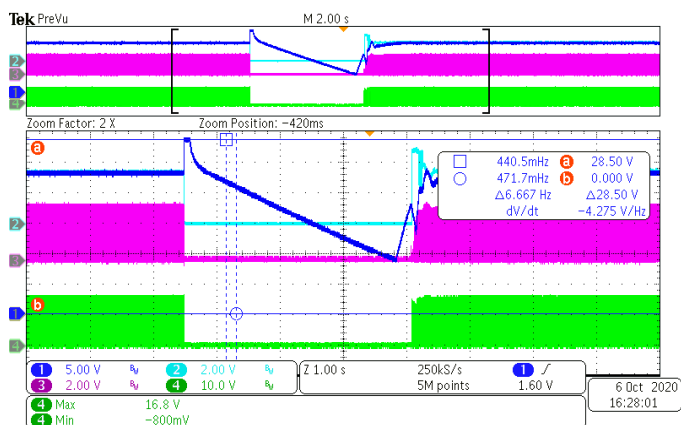
表二 输出动态改善设定参考

5.1 输出动态变化导致电压有 OVER SHOOT 时, 当 V_{FB_S&H} > OSD1+HYS, V_{COMP} 会被 DIU (动态改善单元) 强制下拉, 直到 V_{FB_S&H} < OSD1-HYS, 在第一级 OSD1 动态改善时, Ton 和 F_{SW} 受 V_{COMP} 控制。

5.2 第一级 OSD1 还不能控制输出电压 OVER SHOOT, 当 V_{FB_S&H} > OSD2, 3+HYS, V_{COMP} 会被 DIU (动态改善单元) 再强制下拉, 直到 V_{FB_S&H} < OSD2, 3-HYS, 在第二、三级 OSD2, 3 动态改善时, Ton 受 V_{COMP} 控制, 但 F_{SW} 被固定打 T02 (1/F_{SW}+125uS)。

5.3 输出动态变化导致电压有 UNDER SHOOT 时, 当 V_{FB_S&H} < USD-HYS, V_{COMP} 会被 DIU (动态改善单元) 强制上升, 直到 V_{FB_S&H} > USD+HYS, 在 USD 过程中, Ton 和 F_{SW} 受 V_{COMP} 控制。

VCC (Pin6)功能: 过电压保护(VCC OVP)



Protection mode	
VCCOVP	1 Hiccup
Trigger condition	
$V_{VCC} \geq V_{CC_OVP}$ (27.5V, typ.) and T_{DEB_OVP} (150us, typ.)	

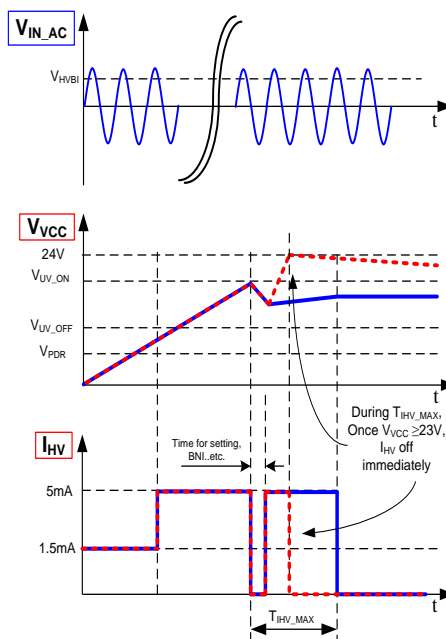
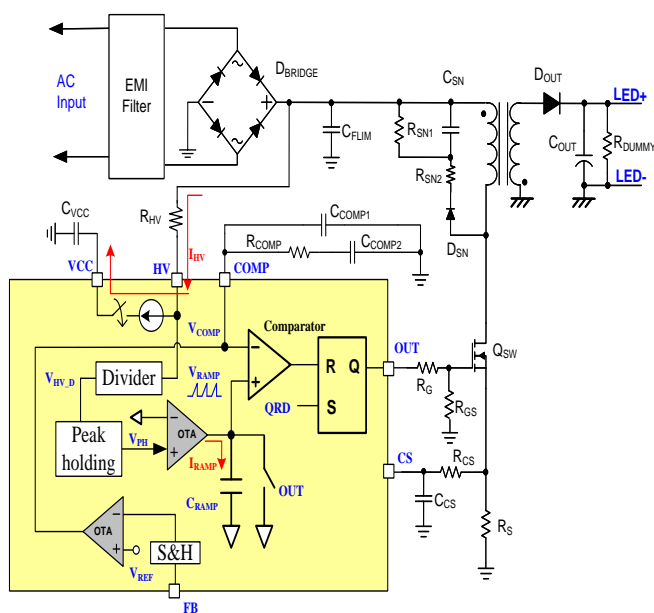
CH1:V_{VCC},CH2:V_{COMP},CH3:V_{FB},CH4:V_{GATE}

图十八 VCC OVP 保护

在系统正常工作时,通过 DC 电源强制灌入 VCC pin,当 $V_{VCC} \geq V_{CC_OVP}$ (27.5V, 典型值),并延时 150us (典型值)后,立即触发 OVP 保护,强制关掉驱动,故障解除后可恢复正常工作。

HV (Pin8)功能: HV 启动、BNI/BNO 保护、High/Low Line 侦测

1. HV 启动

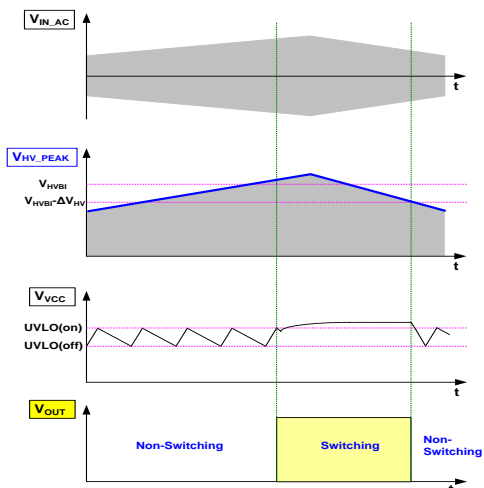
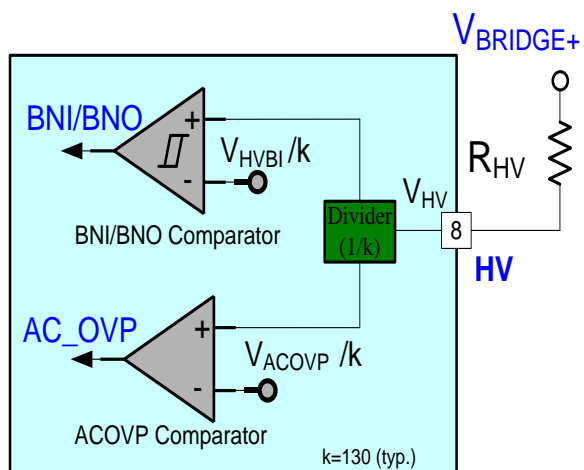


图十九 HV 启动回路

1.1 AC 上电内部 HV JEFT 打开 VCC 电容开始充电,当 $V_{VCC} > UVLO_ON$ 时, HV JEFT 关闭, BNI 开始设定。

1.2 当 BNI 触发成功后, HV JEFT 再次打开给 VCC 电容充电, T_{IHV_MAX} 是 65mS (典型值)。但在 T_{IHV_MAX} 时间内,一旦 VCC 电压大于 22V, I_{HV} 立刻关闭。

2. BNI/BNO/AC_OVP 保护



图二十 BNI/BNO/AC OVP 保护

2.1 AC 上电后，LD7841 通过 CS pin 设定动态范围后，才通过侦测 HV pin 电压 V_{HV} 。

2.2 当 $V_{CC} > UVLO_ON$ ， V_{HV_PEAK} 大于 V_{HVBI} 电压（100VDC，典型值），BNI 功能触发，IC 开始打驱动。

2.3 当 BNI 功能触发后，一旦 V_{HV} 电压低于 $V_{HVBI} - \Delta V_{HV}$ （15VDC，典型值），时间持续 $T_{BNO} = 15mS$ （典型值），IC 关闭驱动。

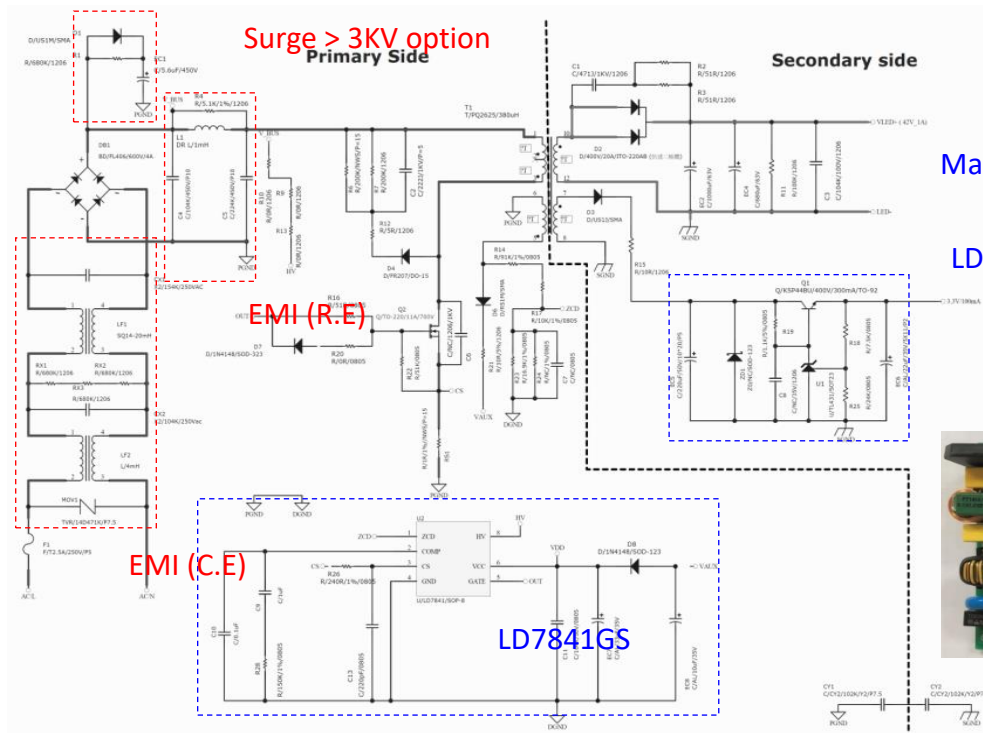
3. High/Low Line 侦测

$V_{CC} > UVLO_ON$ ，IC 会侦测 HV pin 电压 V_{HV} ， $V_{HV} \leq V_{LLINE} = 205VDC$ （典型值） & $T_{DEB_HVHL} = 15mS$ （典型值）， $V_{CS_MAX} = 1V$ （典型值），当 $V_{HV} \geq V_{HLINE} = 230VDC$ （典型值） & $T_{DEB_HVLH} = 15mS$ （典型值）， $V_{CS_MAX} = 0.8V$ （典型值）。

LD7841 DEMO 设计范例

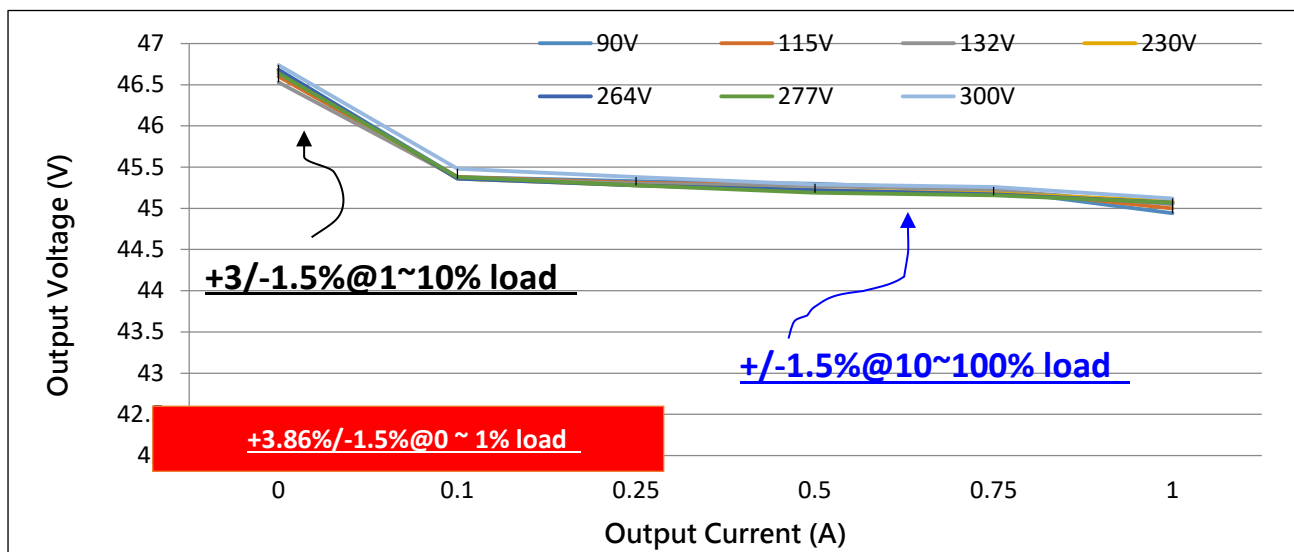
1. 设计规格

Category	Item	Spec
INPUT	Voltage	90~277Vac
	Frequency	47~63Hz
	THD	<10% @50% load, <20% @30% load
	PF	>0.9 @ 50% load
	Power saving	<0.2W @ No load
	Efficiency	>90% @ 50% Load
OUTPUT	V _{OUT_MEAN}	45V+/-5%
	V _{OUT_MAX} @dynamic	<V _{OUT_MEAN} *110%
	V _{OUT_MIN} @dynamic	>V _{OUT_MEAN} *90%
	I _{OUT_MEAN}	0~1A
	V _{OUT,MCU}	3.0~3.3V
	I _{OUT,MCU}	0~20mA,max



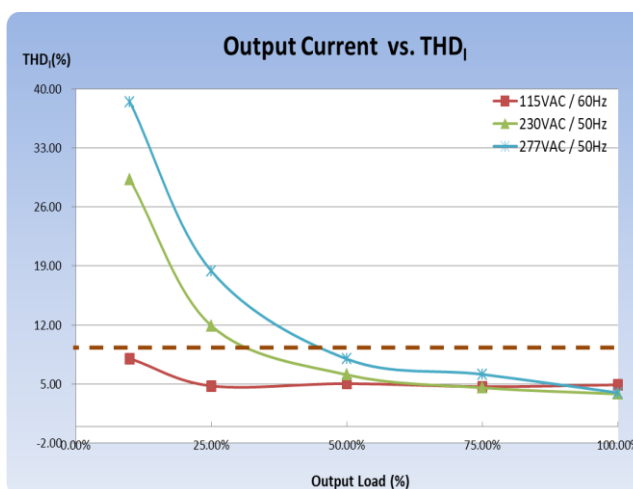
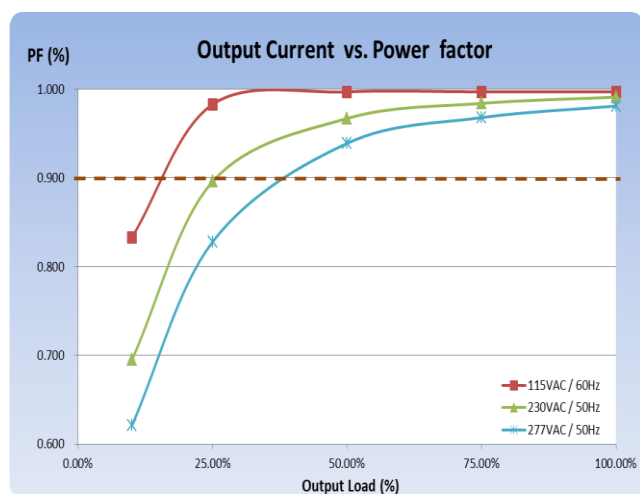
图二十一 DEMO 原理图及实物

2. 输出电压线性及负载调整率



When Dummy load 100Kohm						
	lout=0A	lout=0.1A	lout=0.25A	lout=0.5A	lout=0.75A	lout=1.0A
Vin(VAC)	單組輸出 Vout(V)					
90V	46.68	45.38	45.33	45.3	45.22	44.94
115V	46.6	45.38	45.31	45.28	45.23	45
132V	46.53	45.37	45.3	45.27	45.22	45.05
230V	46.66	45.36	45.28	45.22	45.18	45.09
264V	46.68	45.36	45.28	45.22	45.17	45.07
277V	46.64	45.38	45.28	45.19	45.16	45.07
300V	46.74	45.48	45.38	45.29	45.26	45.12

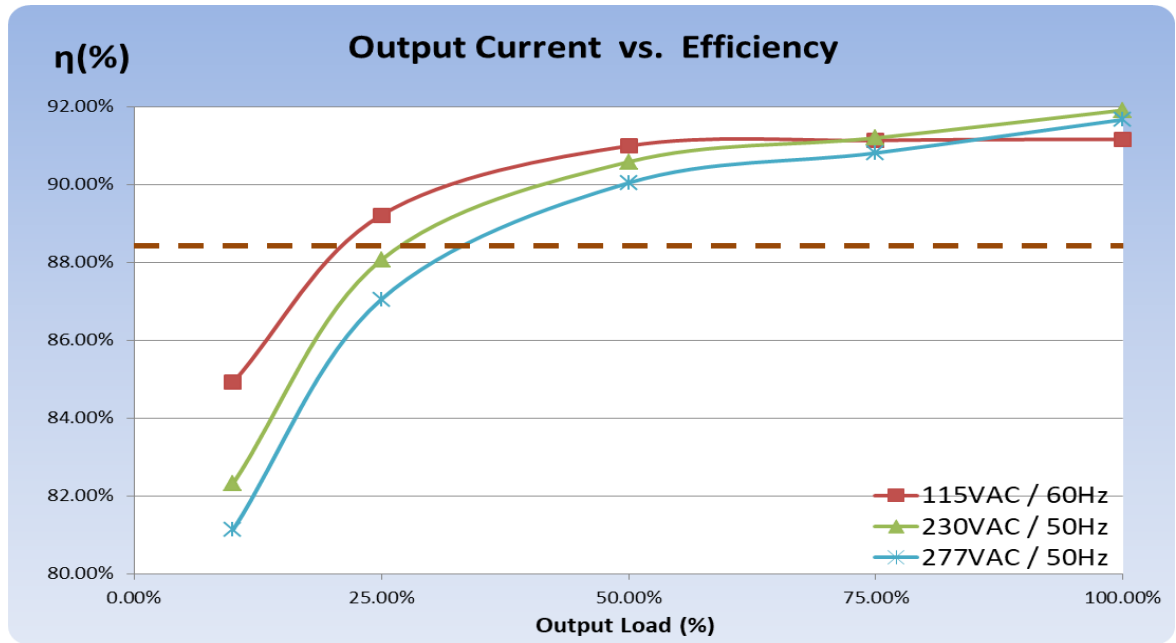
3. 总电流谐波 (THD) 与功率因数 (PF) 测试



V_{IN} \ I_o	0.1A	0.25A	0.5A	0.75A	1A
90V _{AC} /60Hz	0.841	0.991	0.995	0.998	0.992
115V _{AC} /60Hz	0.833	0.983	0.997	0.997	0.997
230V _{AC} /50Hz	0.695	0.896	0.967	0.984	0.991
264V _{AC} /50Hz	0.641	0.847	0.948	0.973	0.984
277V _{AC} /50Hz	0.621	0.828	0.939	0.968	0.981

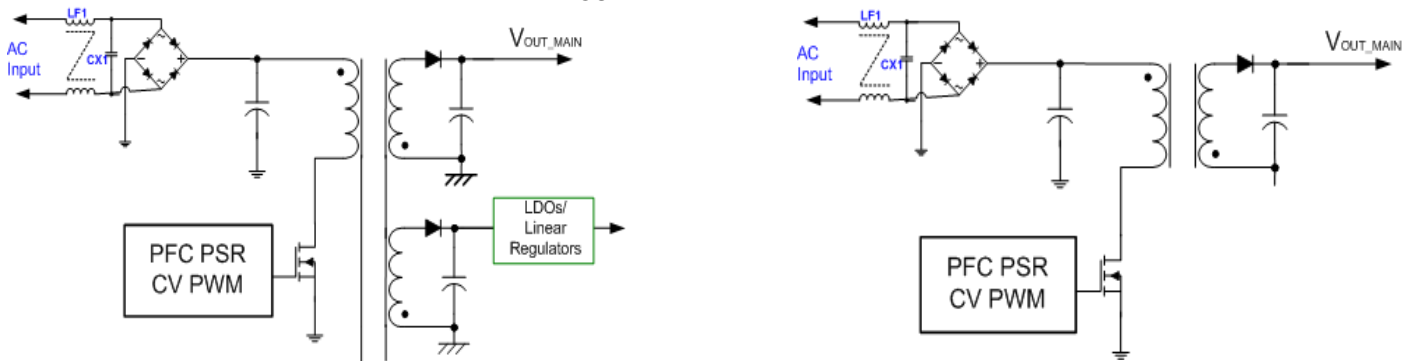
V_{IN} \ I_o	0.1A	0.25A	0.5A	0.75A	1A
90V _{AC} /60Hz	4.60	5.24	5.04	2.93	3.17
115V _{AC} /60Hz	8.03	4.79	5.06	4.70	4.92
230V _{AC} /50Hz	29.24	11.93	6.11	4.56	3.83
264V _{AC} /50Hz	35.87	16.45	7.03	5.44	4.00
277V _{AC} /50Hz	38.46	18.41	7.98	6.15	3.97

4. 效率测试

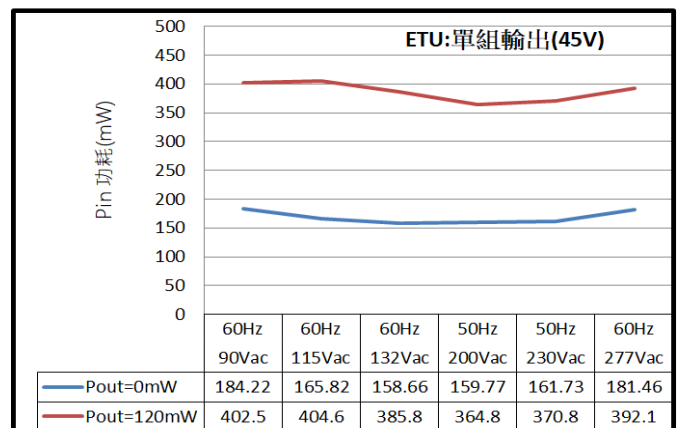
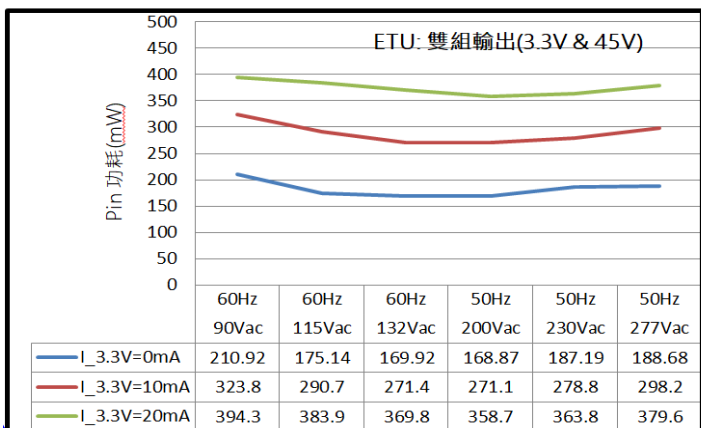


I_o / V_{IN}	0.1A	0.25A	0.5A	0.75A	1.0A
90V _{AC} /60Hz	85.10%	89.13%	90.61%	90.36%	90.06%
115V _{AC} /60Hz	84.91%	89.21%	90.99%	91.13%	91.16%
230V _{AC} /50Hz	82.31%	88.06%	90.58%	91.19%	91.91%
264V _{AC} /50Hz	81.30%	87.38%	90.21%	90.91%	91.74%
277V _{AC} /50Hz	81.12%	87.05%	90.04%	90.81%	91.66%

5. 待机功耗测试 (空载时小于 0.2W, P_{OUT}=120mW 时小于 0.5W)



图二十二 输出应用



结论

本文主要讲解了通嘉新一代原边反馈恒压方案 LD7841，它采用 SOP-8 封装，拥有快速启动、高效率、高 PF、低 THD 等优点；采用膝点侦测技术让输出电压更加准确，而 IC 本身拥有很多的保护功能，能够让系统在异常发生时及时提供保护。透过以上的介绍，让电源设计者对 LD7841 使用时更加熟悉跟了解，如有更进一步的需求及想法，欢迎跟通嘉科技联络。



THANK YOU

