

通嘉 PD 快充适配器高效能及小型化之氮化镓集成方案

作者:FAE 郭龙剑/SE 何承宗

前言

随着消费者对便携性和高效充电的需求增加，手机厂商和充电器品牌纷纷推出小型化 PD 快充产品，以满足市场需求。小型化 PD 快充不仅适用于手机充电，还可广泛应用于其他电子设备，如笔记本电脑、平板电脑等，为用户提供更加便捷的充电体验。而 PD 快充小型化得益于技术创新，如采用集成合封氮化镓 (GaN) 技术，提高能量转换率，高集成合封度 IC 减少外围元器件数量(约 8 颗组件)，从而实现小巧体积与提高系统可靠性。

通嘉 PD 快充解决方案

通嘉科技推出新一代高效率、高整合型 PD Total Solution 解决方案之 LD968/9x+LD8528D+LD6935A333, 产品覆盖 45W 到 65W 功率等级范围，高集成度加高性能让 IC 在操作上可满足 PD 输出电压变化应用，同时也大幅度提高功率密度来符合市场小型化需求，下文将详细介绍这三颗 IC 特色。

主控 LD968/9x 采用混合模式(CCM+QR) 工作且内置 E-Mode 或 D-Mode GaN，低压重载时可以操作于连续(CCM)模式(65/ 85/ 100KHz)提高带载能力，準諧振模式(QR)工作频率最大到達 227KHz，以及外部可调整式过温度保护机制(External OTP), 并符合单层、双层 PCB 加工工艺。IC 在不同输入电压、输出电压以及输出功率的情况下，自适应切换最佳频率操作模式，以提高系统工作效率。无论是对于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)，都可以符合新能源法规。

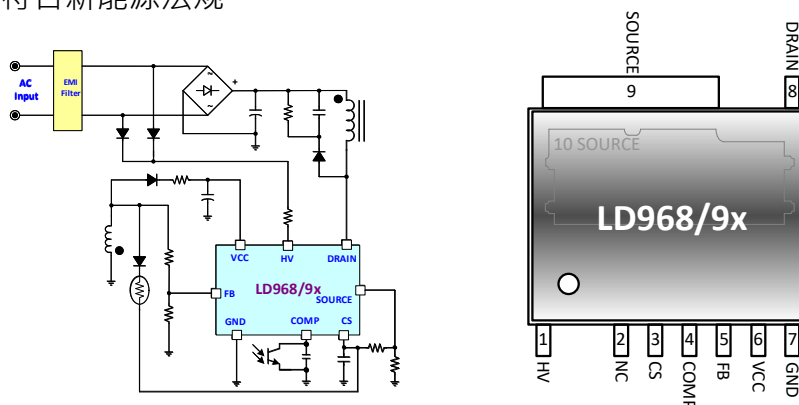
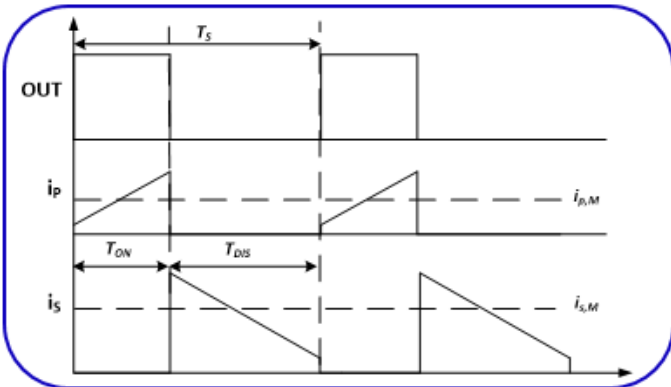


图 1 LD968/9x 典型应用及封装说明

LD968/9x 详细功能说明：

- 内置 650V E-Mode GaN FET (Rds_on:165mΩ 及 365mΩ) 或 D-Mode GaN FET(Rds_ON 230mΩ Typ.)
- 自带高压 (耐壓 700V) 启动电路
- 采用混合模式控制 (CCM+QR) 操作
- HV 引脚有内置 X 电容泄放功能
- HV 引脚有内置 BNI(开机)/BNO (欠压) 保护
- OCP/OPP/VCC OVP/FB OVP 保护
- 可调 CS_OTP 过温保护
- CCM 工作频率 65KHz or 100KHz 而 QR 最大工作频率 227KHz
- VCC 引脚额定电压可達 83V
- 采用 CCO 技术提高 OCP 精确度±8% (图 2 专利)
- 内置 PWM/QRD/CS 抖频技术优化傳導 EMI
- 自适应式智能化降频曲线 for PD 应用 (图 3 专利)



The output current (I_o) is dependence of secondary average current ($i_{s,M}$) and Inductor discharge time T_{DIS} . Then the $i_{s,M}$ converted by the transformer is equivalent to $N_p/N_s * i_{p,M}$. So the LD968/9x detection $i_{p,M}$ & T_{DIS} can be know the output current condition.

$$I_o = \frac{i_{s,M} T_{DIS}}{T_S}$$

$$= \frac{N_p}{N_s} \times i_{p,M} \times \frac{T_{DIS}}{T_S}$$

$$= \frac{N_p}{N_s} \times \frac{V_{CSM}}{R_{CS}} \times \frac{T_{DIS}}{T_S}$$

$$I_{o_ocp} = \frac{N_p}{N_s} \times \frac{CCO}{R_{CS}}$$

CCO 系数是IC内部锁定
→ OCP点跟感量无关.

PARAMETER	CONDITIONS	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS
Constant Current Operation	$V_{FB} < 2.4V$	CCO		0.253		V
	$2.5V < V_{FB} < 3.1V$			0.214		V
	$V_{FB} > 3.2V$			0.16		V

For system CC±8% R_{CS} resistor needs 1% tolerance.

图 2 I_{o_ocp} 点计算

當 PD 改变输出电压时，一次侧辅助绕组电压也会跟随变化，芯片 FB 引脚可通过侦测绕组电压不同自动改变降频曲线让在不同输出电压時都工作在最佳频率点，使 PD 有效提高了每一个电压点效率如

圖 3 降頻曲线說明.

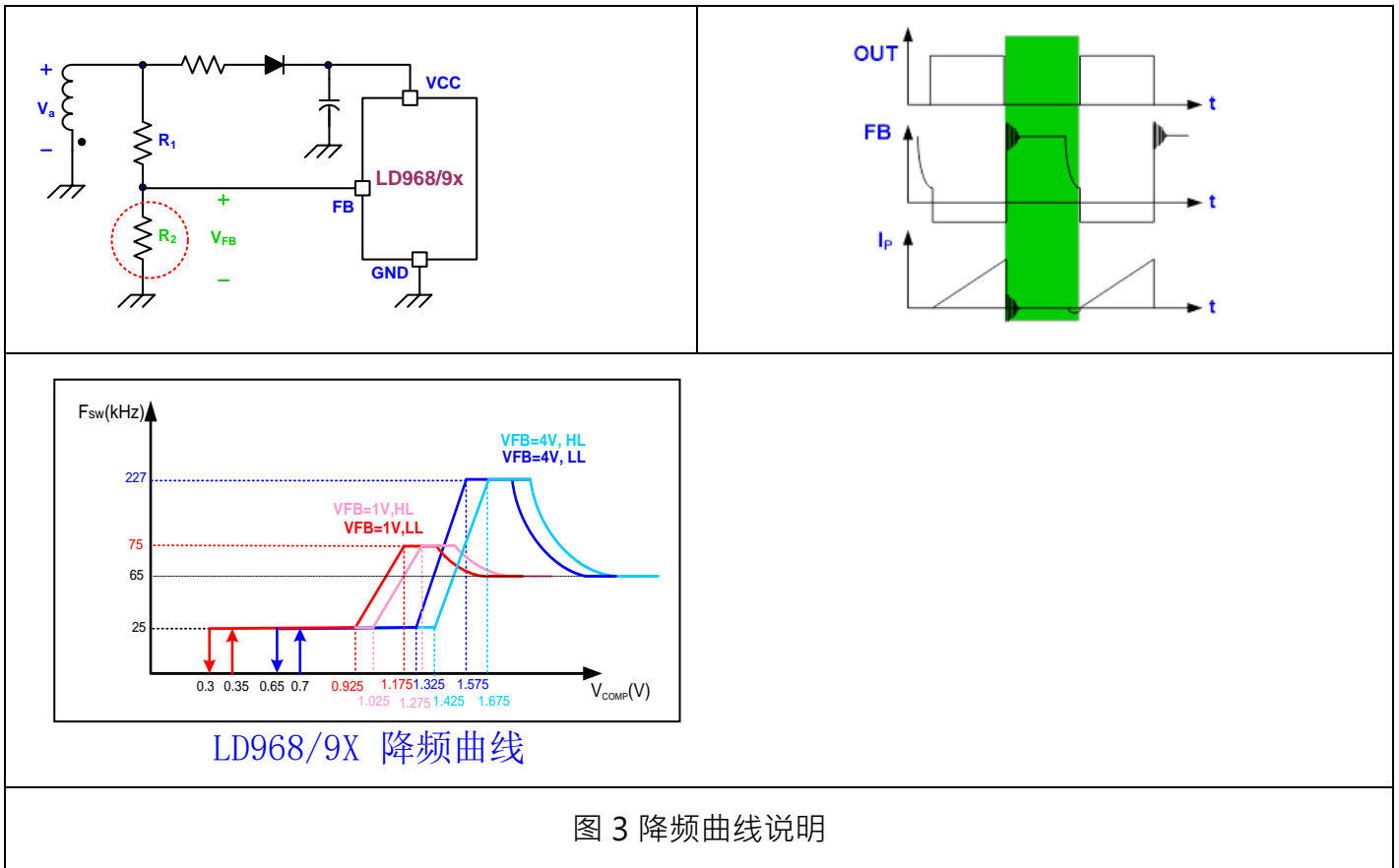


图 3 降频曲线说明

LD528D 是通嘉新一代次级侧同步整流驱动器 IC。它适用于 CCM、DCM 和 QR 模式下的反激式低压侧和高压侧同步整流。

LD528D 详细功能说明：

- 适用于 CCM、DCM 和 QR (谷锁) 模式下的低压侧和高压侧反激同步整流
- 适用于 PD 应用，输出电压范围为 3V 至 21V
- 内含自供电功能(无需辅助绕组)，可运行於低输出电压或者高压侧設計
- 可适用于具有峰值功率的初级侧
- 可编程关断等级
- 快速关断总延迟时间~30ns
- 驱动和下拉电流能力達 1A/-3A

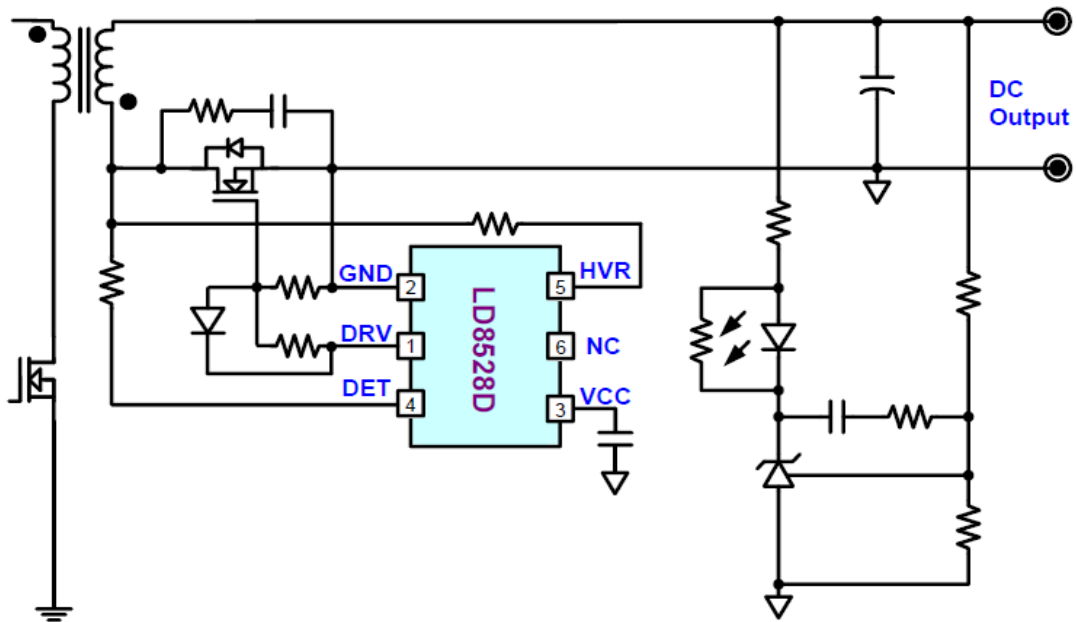


图 4.反激低压侧同步整流典型应用

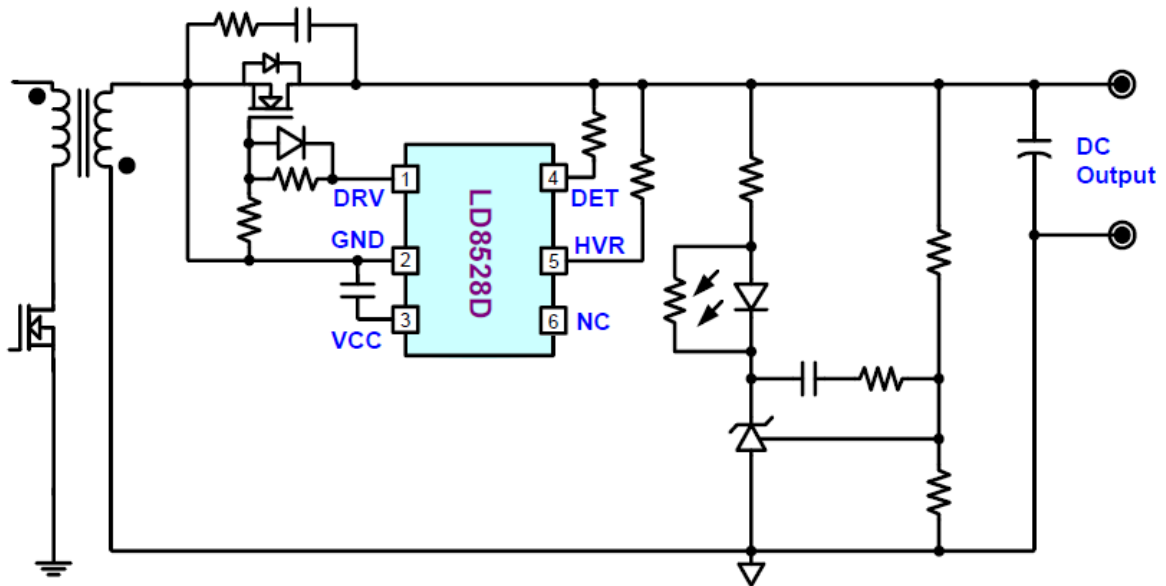


图 5.反激高压侧同步整流典型应用

LD6935A333 是次级侧的 USB 电源传输 (USB PD) Type-C 控制器，专为 USB Type-C 电源传输应用而设计，如电源适配器、钳式充电器、车载充电器、移动电源等。嵌入式 8 位 MCU 用于处理 PD 协议、策略引擎和设备管理器，内置双相标记编码 (BMC) 用于 USB PD 通信。LD6935A333 具有增强的电气特性。11 位 ADC 可以提供更高精度的保护。集成模拟线补偿优化了线性补偿特性。除了增强了电气特性外，LD6935A333 还集成了 VBUS N-MOS(30V/7mohm)，以最大限度地减少外部组件。LD6935A333 优化的 BMC PD 通信系统，简化了外围接口电路。

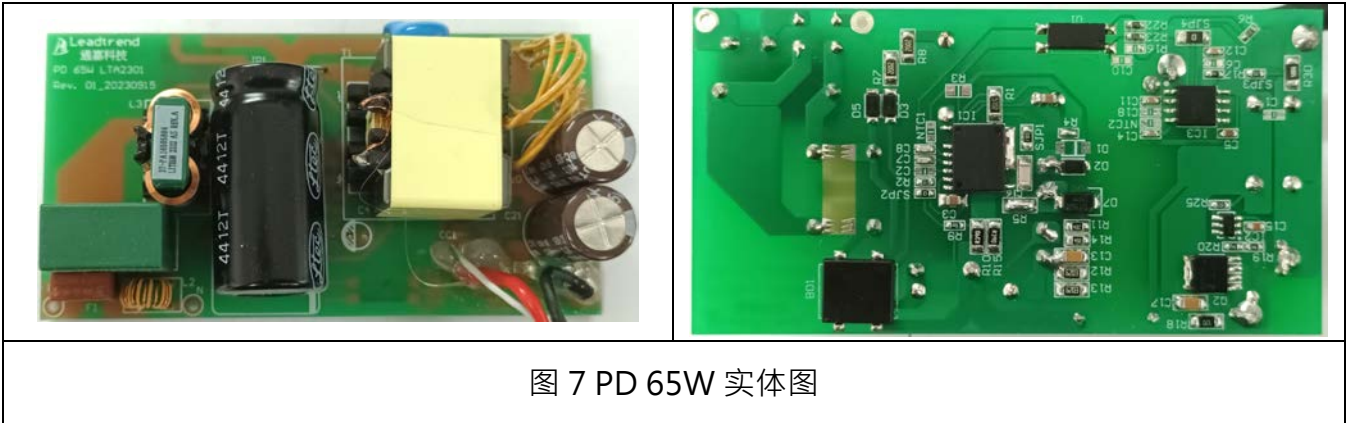
通嘉 PD 65W Demo Board 设计范例

AC-DC PWM: LD968LAAIN +SR:LD8528D+PD协议:LD6935A333

PCB Size: 84.5 mm (L) x 43.6 mm (W) x 24mm (H)

Power Density: 12 W/inch³

输出功率:5V/3A, 9/3A,12V/5A, 15V/4.33A, 20V/3.25A

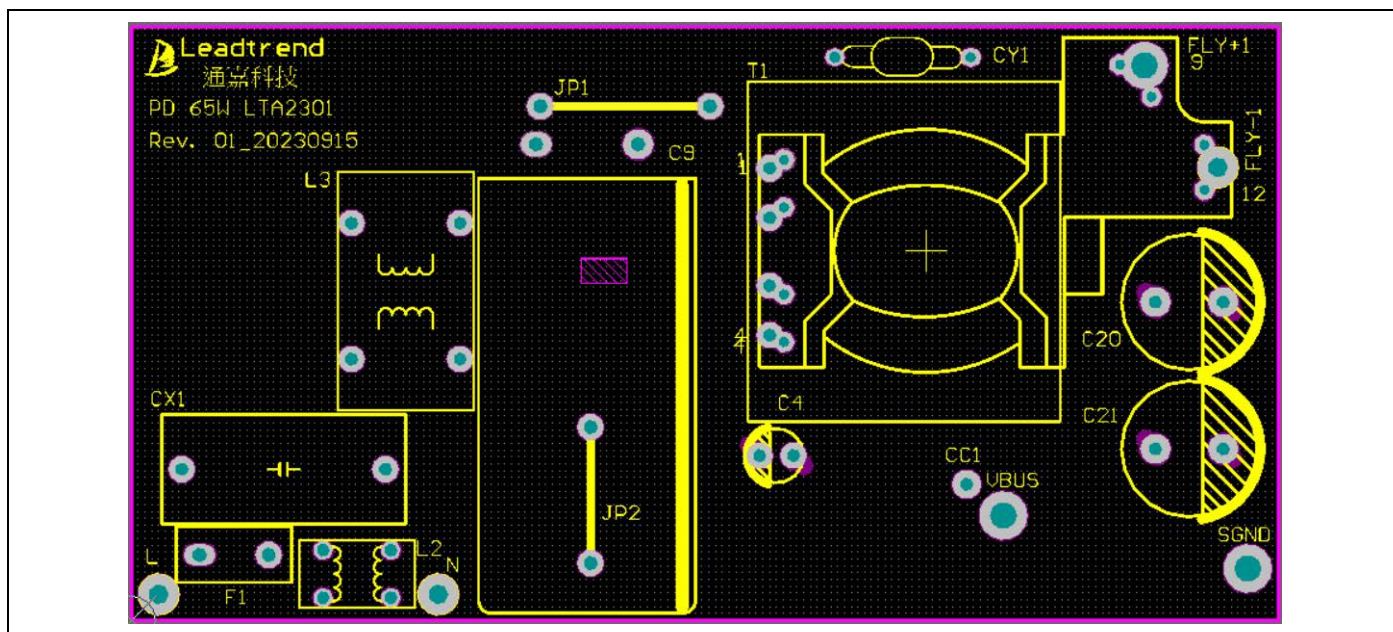


1.测试规格

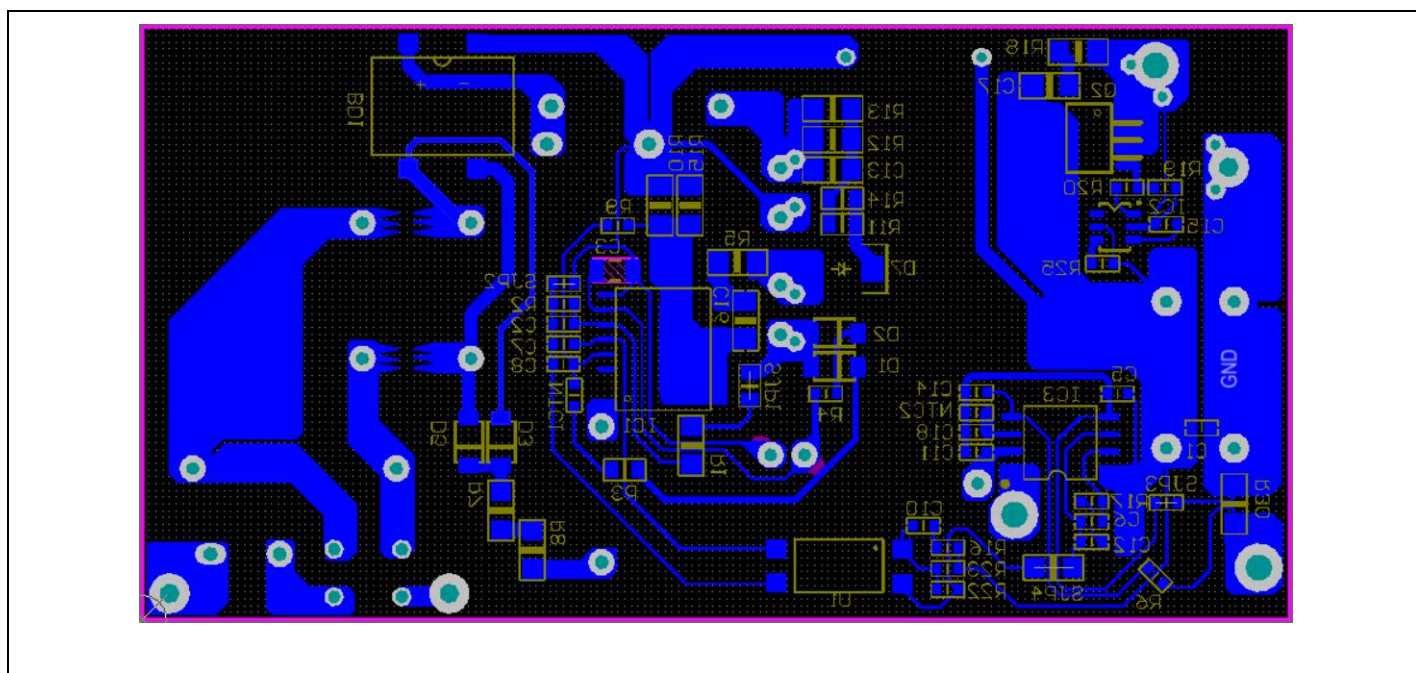
Item	Min.	Typ.				Max.	Test Result
Input Voltage	90Vac	115Vac		230Vac		264Vac	—
Input Frequency	47Hz	60Hz		50Hz		63Hz	—
Output Voltage & Current	PD 3.0 Mode	5V/3A	9V/3A	12V/5A	15V/4.33A	20V/3.25A	—
Efficiency	CoC Tier 2						Pass
Standby Power	< 75mW @ 230 V _{AC}						Pass
Power Saving	Po=0.15W , Pin< 0.3W @ 230 V _{AC} Po=0.25W , Pin< 0.5W @ 230 V _{AC}						Pass
Output Voltage Accuracy	END of PCB (PD 程式線損補償) 5V < ± 6 % / 9V, 12, 15V, 20V < ± 5 %						Pass
Over Current Protection	< 130 %						—
Over Voltage Protection	< 7.5V (for 5V) / < 13.5V (for 9V) / 15.0V (for 12V) / < 18.75V (for 15V) / < 25V (for 20V)						Pass
Ripple & Noise Voltage	< 300 mV						Pass

3. PCB_Layout

Top side



Bottom side

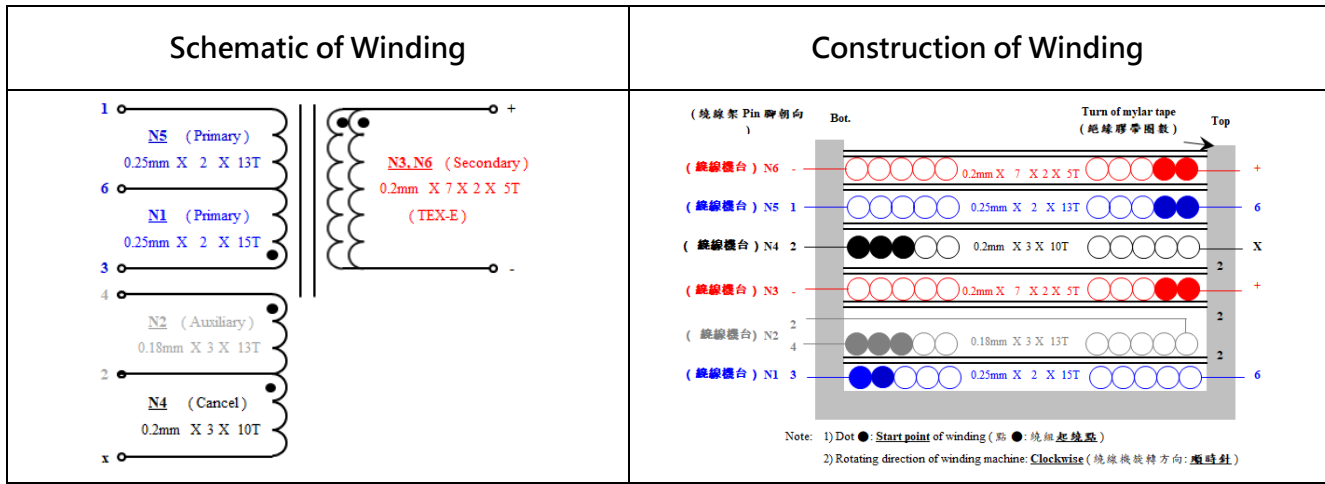


4. BOM

Location	Description	Q' ty
R1	51KR / 1/8W / 0805	1
R2	14.7KR / 1/10W / 0603	1
R4	0R / 1/10W / 0603	1
R5	0R / 1/8W / 0805	1
R6	3.3KR / 1/10W / 0603	1
R7,R8	20KR / 1/4W / 1206	2
R9	220R / 1/10W / 0603	1
R10	0.39R / 1/4W / 1206	1
R11,R14	62R / 1/8W / 0805	2
R12, R13	300KR / 1/4W / 1206	2
R15	0.43R / 1/4W / 1206	1
R17	10KR / 1/10W / 0603	1
R18	12R / 1/4W / 1206	1
R19	20KR / 1/10W / 0603	1
R20	2.2R / 1/10W / 0603	1
R22	100KR / 1/10W / 0603	1
R23	5.1KR / 1/10W / 0603	1
R25	300R / 1/10W / 0603	1
R30	5mR / 1/4W / 1206	1
SJP1	130KR / 1/8W / 0805	1
SJP2, SJP3	0R / 1/10W / 0603	1
SJP4	0R / 1/4W / 1206	1
JP1	Jumper / 3 * 12.5 * 3	1
JP2	Jumper / 3 * 10 * 3	1
NTC1, NTC2	NC	0
C1, C2,C6,C10,C18	NC	0
C3	2.2nF / 100V / 0805	1
C4	6.8nF / 100V / 0805	1
C5, C15	2.2uF / 16V / 0603	1
C7	330pF / 50V / 0603	1
C8	100pF / 50V / 0603	1

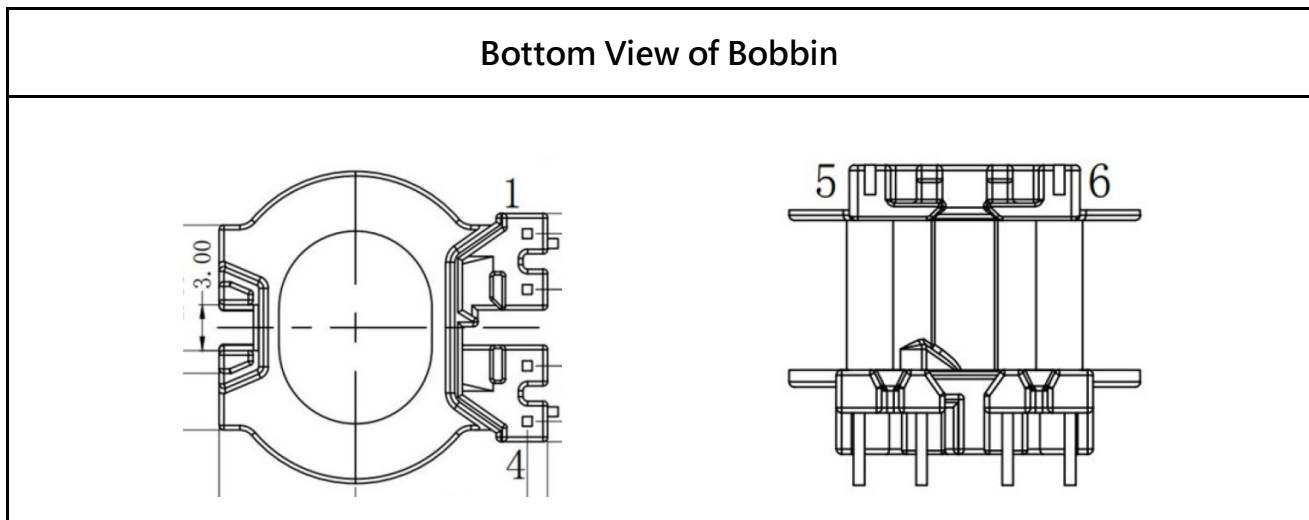
Location	Description	Q' ty
C9	82uF / 400V	1
C11	470pF / 50V / 0603	1
C12	47nF / 50V / 0603	1
C13,C17	1000pF / 1kV / 1206	1
C14	10nF / 50V / 0603	1
C16	100pF / 1kV / 1206	1
C20, C21	820Uf / 25V / Rubycon ZLH	2
CX1	0.47uF / 275V / X2	1
CY1	470pF / 250V / Y1	1
L3	11mH	1
L2	6*3*3 / 300uH	1
T1	ATQ23 / 28:13:5 / 260uH	1
F1	4A / 250V	1
BD1	WRLSB80M / 1KV / 8A	1
D1	NC	0
D2	RS1ML / 1KV / 1A	1
D3, D5	S1ML / 1KV / 1A	2
D7	RS1ML / 1KV / 1A	1
Q2	AONS66923 / 100V	1
IC1	LD968LAAIN / LSOP-9	1
IC2	LD8528D / SOT-26	1
IC3	LD6935A333 / SOP-8	1
U1	EL1019 / 4 Pin Sop	1

5. 变压器设计



Winding No.	Pin No.		Winding Types	Number of Turns		Remarks	
	Start	Finish		Winding	Tape		
N1	3	6	0.25Φ*2	15	2	Np1	Pin 朝绕线机台
N2	4	2	0.18Φ*3	13	2	Naux	Pin 朝绕线机台
N3	+	-	0.2Φ*7*2	5	2	Ns1	Pin 朝绕线机台
N4	2	X	02Φ*3	10	2	Cancel	Pin 朝绕线机台
N5	6	1	0.25Φ*2	13	2	Np2	Pin 朝绕线机台
N6	+	-	0.2Φ*7*2	5	2	Ns2	Pin 朝绕线机台
Foil	2		5mm*10mm*1mil			Core 底部贴铜下地 Pin1	

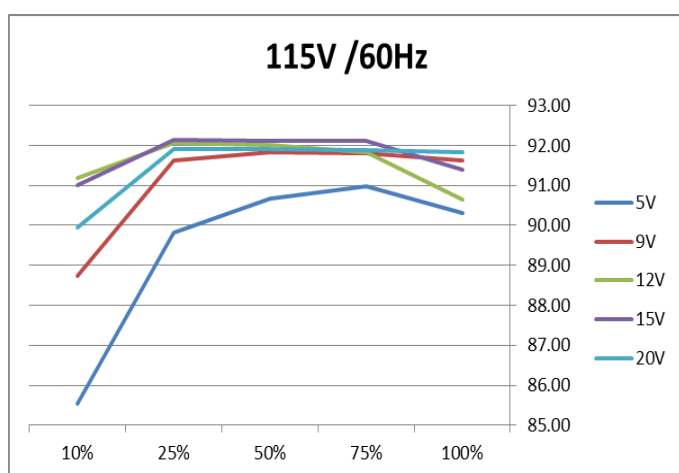
Bobbin Shape	Core Material	A_e (mm ²)	L_p (μH)
ATQ23	96	100	260uH ± 5 % @ 100 kHz / 1 V



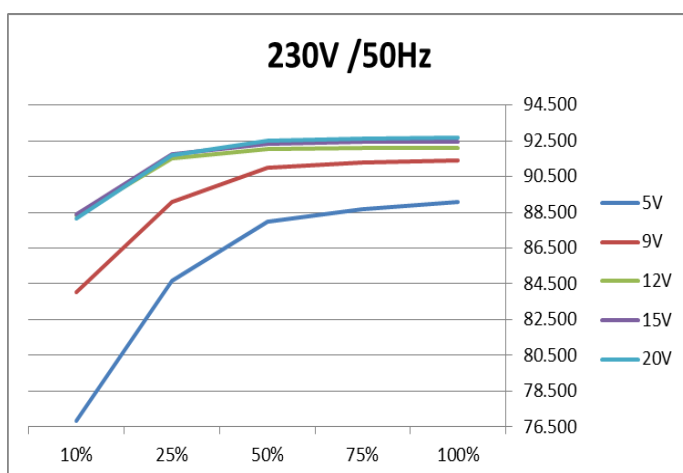
6. 效率测试

Input Voltage	90Vac / 60Hz	115 V _{AC} / 60 Hz	230 V _{AC} / 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		

输入 115V/60Hz 操作时各输出及载点效率表



输入 230V/50Hz 操作时各输出及载点效率表



115V/60Hz

$V_{IN,AC}$ (V/Hz)	Mode	$V_{BUS,SET}$ (V)	$V_{BUS,PCB}$ (V)	I_{OUT} (A)	$P_{BUS,PCB}$ (W)	P_{IN} (W)	η (%)	$\eta_{AV,4-Points}$ (%)	Requirement (%)
115 / 60	PD 3.0	5	5.273	2.996	15.798	17.492	90.32	90.45	> 81.84
			5.203	2.250	11.707	12.866	90.99		
			5.130	1.501	7.700	8.492	90.68		
			5.055	0.750	3.792	4.222	89.81		
			5.015	0.300	1.505	1.759	85.53	--	> 72.48
		9	9.282	2.996	27.809	30.353	91.62	91.72	> 87.30
			9.210	2.250	20.723	22.573	91.80		
			9.138	1.500	13.707	14.926	91.83		
			9.060	0.750	6.795	7.416	91.63		
			9.010	0.300	2.703	3.046	88.74		77.3
		12	12.582	4.997	62.872	69.368	90.64	91.64	> 89.00
			12.467	3.751	46.764	50.919	91.84		
			12.347	2.500	30.868	33.551	92.00		
			12.227	1.250	15.284	16.600	92.07		
			12.150	0.500	6.075	6.662	91.19	--	> 79.00
		15	15.435	4.327	66.787	73.088	91.38	91.94	> 89.00
			15.333	3.248	49.802	54.064	92.12		
			15.228	2.165	32.969	35.793	92.11		
			15.120	1.083	16.375	17.770	92.15		
			15.050	0.433	6.520	7.165	90.99	--	> 79.00
20	20.335	3.246	66.007	71.870	91.84	91.89	> 89.00		
	20.255	2.438	49.382	53.744	91.88				
	20.177	1.625	32.788	35.671	91.92				
	20.090	0.813	16.335	17.774	91.90				
	20.040	0.325	6.513	7.240	89.96	--	> 79.00		

230V/50Hz

$V_{IN,AC}$ (V / Hz)	Mode	$V_{BUS,SET}$ (V)	$V_{BUS,PCB}$ (V)	I_{OUT} (A)	$P_{BUS,PCB}$ (W)	P_{IN} (W)	η (%)	$\eta_{AV,4-Points}$ (%)	Requirement (%)
230 / 50	PD 3.0	5	5.275	2.997	15.809	17.748	89.076	87.60	> 81.84
			5.204	2.250	11.709	13.204	88.678		
			5.130	1.500	7.695	8.747	87.973		
			5.055	0.750	3.791	4.478	84.664		
			5.016	0.300	1.505	1.959	76.815		
		9	9.282	2.996	27.809	30.429	91.389	90.70	> 87.30
			9.211	2.250	20.725	22.696	91.315		
			9.137	1.500	13.706	15.059	91.012		
			9.061	0.750	6.796	7.630	89.066		
			9.021	0.300	2.706	3.221	84.020		
		12	12.585	4.997	62.887	68.276	92.107	91.94	> 89.00
			12.466	3.750	46.748	50.754	92.106		
			12.346	2.500	30.865	33.540	92.024		
			12.225	1.250	15.281	16.697	91.521		
			12.149	0.500	6.075	6.878	88.318		
		15	15.438	4.327	66.800	72.241	92.469	92.25	> 89.00
			15.335	3.248	49.808	53.879	92.444		
			15.230	2.165	32.973	35.712	92.330		
			15.120	1.083	16.375	17.847	91.752		
			15.050	0.433	6.521	7.379	88.375		
20	20.330	3.247	66.012	71.230	92.674	92.37	> 89.00		
	20.250	2.438	49.370	53.298	92.629				
	20.170	1.625	32.776	35.442	92.479				
	20.090	0.813	16.333	17.809	91.713				
	20.040	0.325	6.509	7.385	88.138			--	> 79.00

7. 待机功耗测试

Input Voltage	115 V _{AC} / 60 Hz	230 V _{AC} / 50 Hz
Standby Current	5V / 0A	
Requirement	<75 mW	

V _{IN,AC} (V / Hz)	P _{IN} (mW)	Requirement (mW)
115 / 60	22.2	< 75 mW
230 / 50	32.5	

Input Voltage	115 V _{AC} / 60 Hz	230 V _{AC} / 50 Hz
Standby Current	20V / 7.5mA 20V / 12.5 mA	
Requirement	Po : 150mW < Pin : 300 mW Po : 250mW < Pin : 500 mW	

V _{IN,AC} (V / Hz)	Vo (V)	Io (mA)	P _{IN} (mW)	Requirement (mW)
115 / 60	20	7.5	251	< 300 mW
230 / 50		7.5	276	
115 / 60		12.5	361	< 500 mW
230 / 50		12.5	383	

参考文献: PD65W GaN Combo Demo board (LD968LAAIN+LD8528D+LD6935A333)应用手册
或相關 IC 规格书

通嘉科技专注在 ACDC 一/二次侧产品开发,兼具混模(Mixed-mode)及整合型(Comb-type) 设计技术能力,为 ACDC 中大功率最佳完整解决方案的电源管理 IC 设计公司。减少能源消耗,维护干净的地球是通嘉追求的目标;以创新技术,不断追求节能最高标准的电源管理 IC 是我们的承诺。我们提供稳定可靠及高附加价值的产品,以期与客户共同开发更省电环保的产品。