



应用文档_PNDM17P650A2: 基于1700V SiC MOSFET 65W高压反激电源

关于此文档

该文档主要介绍了一种高压DC-DC电路的解决方案。该方案基于派恩杰1700V高压器件，采用单管反激拓扑实现电压转换。设计支持最大1000V的输入电压，能够提供65W的输出功率。同时，使用贴片TO263-7封装有助于电源的小型化。本设计基于UCC28C45控制芯片进行开发，工作于非准谐振模式。该设计方案广泛应用于高压新能源主驱、组串式光伏以及UPS辅助电源等领域。

Demo 产品名称: PNDM17P650A2

派恩杰半导体有限公司

派恩杰应用开发部

该参考设计样板仅提供给专业技术人员实验室测试评估用，并应严格按照应用文档的说明进行设置及使用

地址: 浙江省杭州市萧山区宁围街道悦盛国际中心603室

邮编: 311215

电话: +86 571 88263297

邮箱: info@pnjsemi.com



目录

关于此文档	1
1 简介	3
2 评估板总览	4
2.1 设计参数	4
2.2 外观尺寸及端子定义	5
2.3 电气参数	6
3 评估板硬件	8
3.1 原理图	8
3.2 PCB	9
3.3 BOM	10
4 测试结果	11
4.1 开关波形	11
4.2 效率	14
4.3 热表现	15
5 历史版本	16

1 简介

在电机驱动、光伏逆变器、储能、充电桩以及 UPS 等高功率和高电压应用场景中，母线电压往往高达上千伏，典型的电压范围为 300V~1000VDC。然而，传统的 IGBT 耐压一般在 1200V 以内，Si MOSFET 的耐压也在 800V 左右，因此这些场景往往需要采用双管反激拓扑，这会增加器件数量和成本，同时使得驱动设计更为困难。为了解决这个问题，采用 1700V SiC MOSFET 成为一种可行的方案。这种器件可以使用传统的反激拓扑，如图 1 所示。本设计是基于派恩杰 1700V 1Ω SiC 单管 P3M171K0G7 进行开发，该器件采用贴片 TO263-7 封装，相比与传统 TO247 封装可以实现更小的开关损耗，由于是贴片器件可以易于自动化生产。综上所述，采用 1700V SiC MOSFET 可以使我们在保持电路简单性的同时，满足高电压和功率的需求，降低成本并提高效率

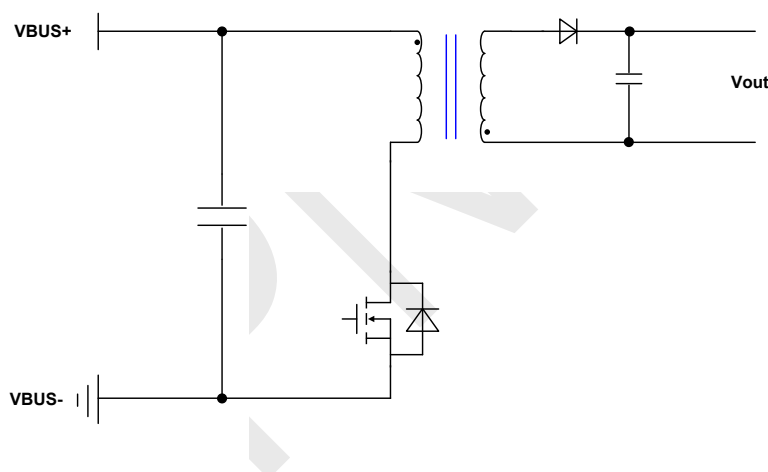


图1：单管反激拓扑

本应用是基于 UCC28C45 控制芯片进行开发的，该芯片广泛应用于各类开关电源中。它支持固定开关频率，并具有过流保护和驱动欠压保护等功能。由于工作在非准谐振模式下，当母线电压过高时，器件的开关损耗较大。因此，我们将开关频率固定在 40KHz。此外，该芯片工作在 DCM（断续模式）开关状态下，可以实现零电流开关，并减小了整流二极管的反向恢复，从而提高转换器的效率。本应用文档详细介绍了产品的整体情况、使用的功率器件信息、反激转换器的具体细节以及测试结果。这些信息对于理解和使用本产品具有重要的参考价值。



2 评估板总览

2.1 设计参数

该评估板PNDM170650A2, 基于SiC MOSFET 65W高压辅助电源技术规格如下, 如表1所示。

表 1: 技术规格

参数	值
输入电压	300~1000VDC
输出功率	65W
输出电压	24VDC
输出电流	2.7A
开关频率	40KHz DCM 非准谐振
控制芯片	UCC28C45
效率	> 80%
拓扑	单端反激
器件封装	TO263-7

2.2 外观尺寸及端子定义

派恩杰65W DCM反激电源外观尺寸以及端子定义如图2和图3所示，样板整体尺寸为105mm×55mm×30mm

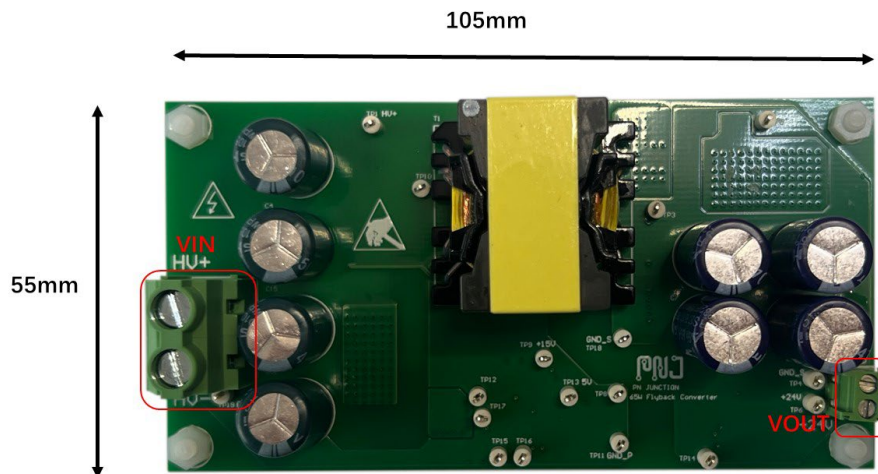


图2：反激变换器俯视图

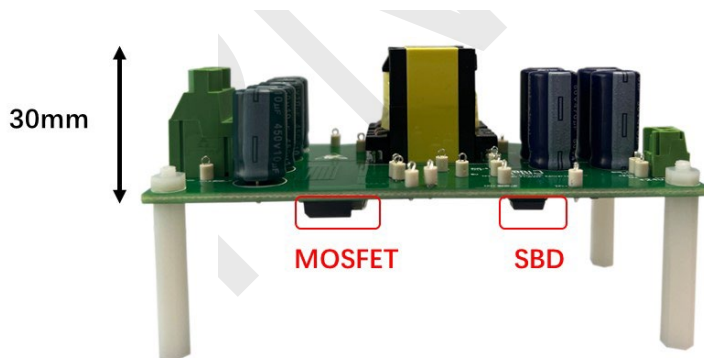


图3：反激变换器平视图

2.3 电气参数

2.3.1 反激变换器特点

该参考设计的主要特点如下

- 输入防反接
- 过流保护
- 驱动电压欠压保护
- 测试点数量多，便于测试

65W辅助电源参考设计使用TI的电源控制芯片UCC28C45，工作于非准谐振DCM状态，因为工作在DCM模式下输出电压受负载影响较大，为了控制电压恒定占空比随着负载电流的变化而变化，并且由于原边侧开关管在开通时，次级整流二极管就已经关闭所以二极管不存在反向恢复损耗，DCM模式下是一阶系统所以变换器动态响应会更快，环路补偿相比于CCM模式也会更加简单。由于电流断续后负载全部都由输出电容供电，为了稳定输出电压需要更大容量的输出电容。

准谐振反激也是工作在DCM模式下，与非准谐振DCM主要区别就是准谐振反激会通过变换开关频率使得开关管都在波谷开通，而非准谐振开通位子不固定如图4和图5所示，这样就会使得非准谐振的开关损耗高于准谐振的转换器。

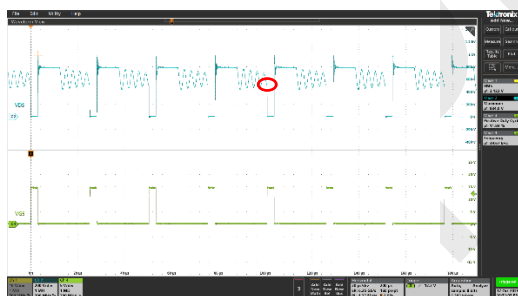


图4: DCM谷底开通

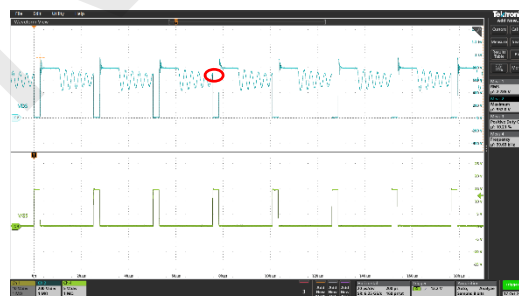


图5: DCM波峰开通

2.3.2 1700V SiC MOSFET介绍

派恩杰生产的1700V SiC MOSFET对于高压辅助电源来说是一个非常合适的选择，这颗器件拥有TO247-3以及TO263-7两种封装形式，可以PIN TO PIN替换市场上的高压Si MOSFET和IGBT产品，对应派恩杰具体产品型号为P3M171K0K3和P3M171K0G7如图6所示，派恩杰1700V SiC MOSFET拥有极低的Qgd，其体二极管也具有极小的反向恢复损耗，因此开关管可以工作在较高开关频率。并且由于SiC材料的优异性能器件可以在更高的结温下工作，器件最高工作结温高达175°，单个器件高达1700V的耐压可以替代常规双管反激，简易了产品的设计并且降低了产品的BOM成本。

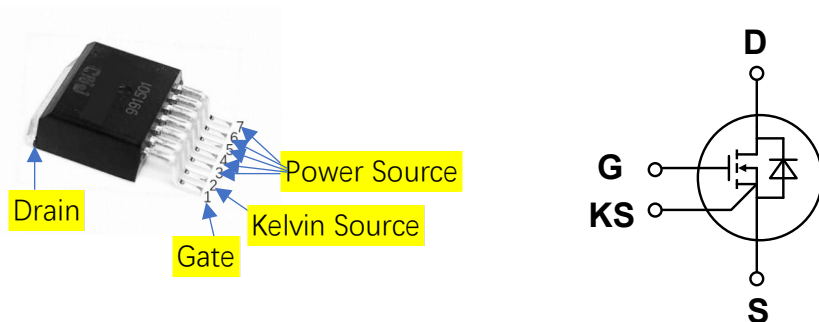


图6: 派恩杰P3M171K0G7

既然这颗SiC MOSFET可以替换传统Si MOSFET以及IGBT，派恩杰对器件进行了优化，可以简化驱动设计，驱动电压兼容12~15/0V电压。虽然对于派恩杰SiC器件应用15/-4V是最优选择，但是在反激拓扑中便于应用12~15V开通0V关断也是可以接受的，两种不同驱动电压带来的唯一区别就是12~15V驱动电压下的 $R_{ds(on)}$ 会略高于15V驱动，这样会带来额外的导通损耗，设计者需要在驱动设计便捷性和性能进行折中，不同 V_{gs} 电压对应 $R_{ds(on)}$ 如图7所示。

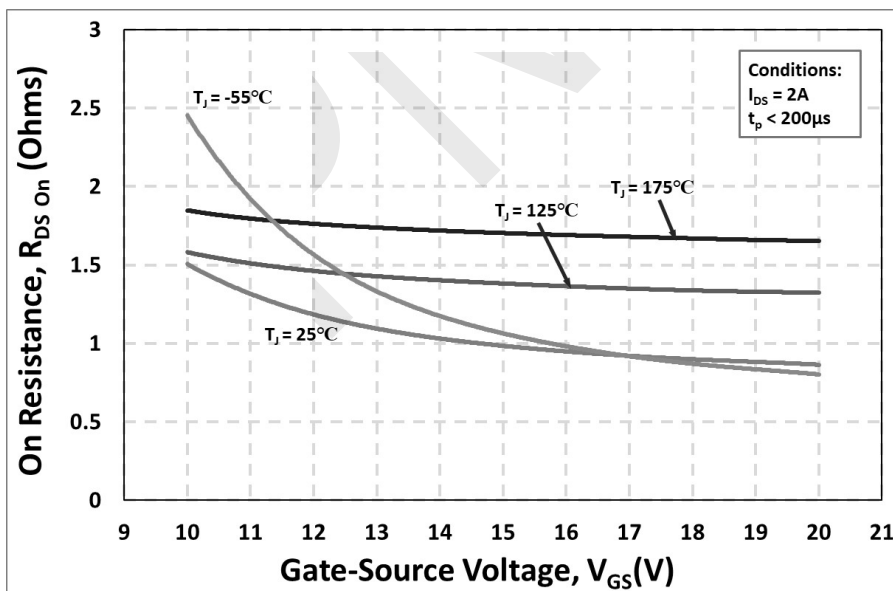


图7: P3M171K0G7 $R_{ds(on)}$ vs V_{gs}

3 评估板硬件

3.1 原理图

65W高压反激电源原理图如图7所示

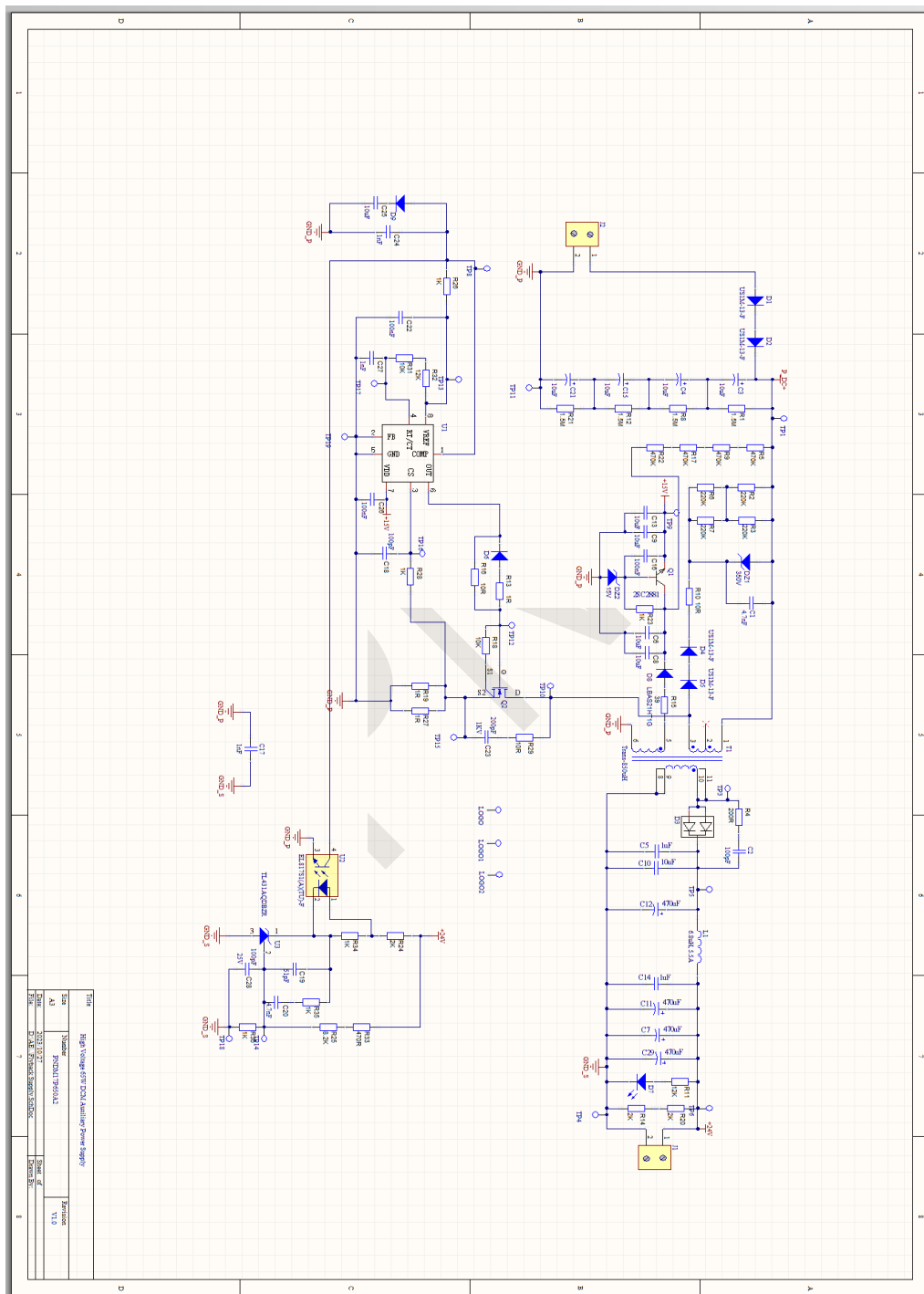


图7：65W 高压反激辅助电源原理图

3.2 PCB

65W高压反激电源Layout如图8~图9所示

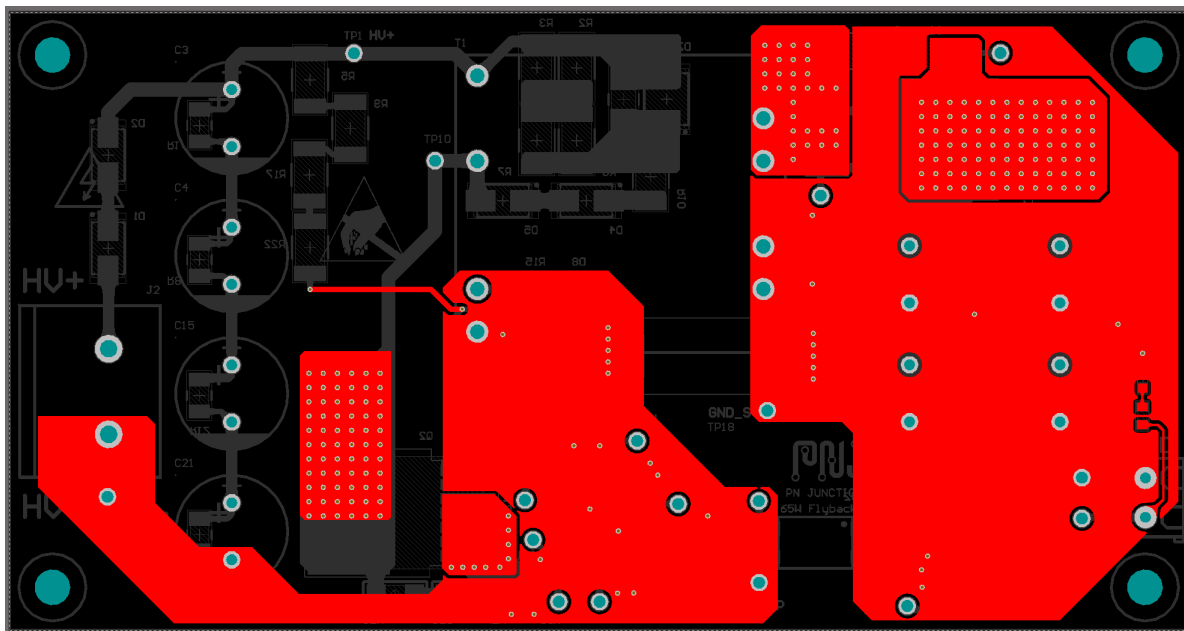


图8：65W高压反激电源Layout1

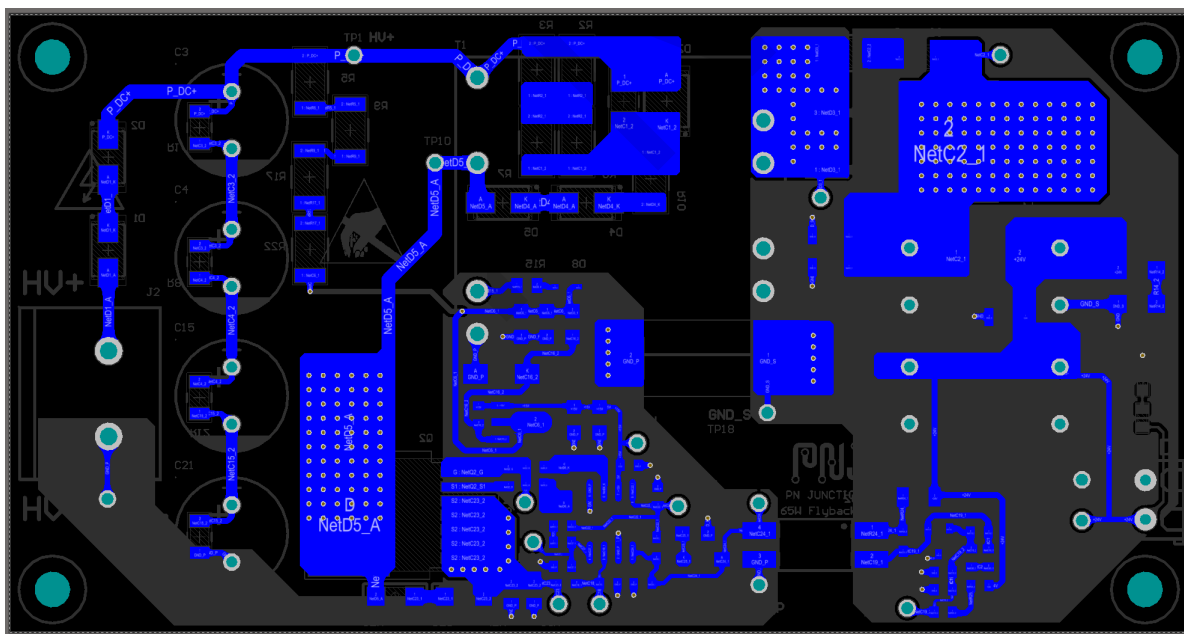


图9：65W高压反激电源Layout2



3.3 BOM

65W高压反激电源BOM如表2所示

表 2: 65W高压反激电压BOM

Designator	Description	Manufacturer P/N	Manufacturer	Quantity
C1	MLCCs CAP X7R 4.7nF 1kV 1808_H22 belt	1808B472K102NT	FH	1
C2	MLCCs CAP X7R 100pF 500V 1206_H16	1206CG101J102NT	FH	1
C3, C4, C15, C21	E_Capacitor,10uF/450V,10*16mm	EGD2WM100G16OT	AISHI	4
C5, C14	MLCCs CAP X7R 1uF 50V 1206_H16	1206B105K500NT	FH	2
C6, C8, C9, C13, C25	CAP X7R 10uF 35V 0805	GRM21BR6YA106KE43L	muRata	5
C7, C11, C12, C29	E_Capacitor,470uF/50V,10*20mm	ERS1HM471G20OT	AISHI	4
C10	MLCCs CAP X7R 10uF 50V 1206_H16	1206X106K500NT	FH	1
C16, C22, C26	CAP X7R 100nF 50V 0603_H08	CC0603KRX7R9BB104	Yageo	3
C17	Y1 Capacitors,1nF,500VAC	ST1Y1Y5U102M500VAC	STE	1
C18, C28	CAP X7R 100pF 25V 0603_H08	CC0603JRNPO9BN101	Yageo	2
C19	CAP X7R 51pF 50V 0603_H08	GRM1885C1H510JA01D	muRata	1
C20	CAP X7R 4.7nF 50V 0603_H08	CC0603JRNPO9BN472	Yageo	1
C23	CAP X7R 200pF 1KV 1206_H08	HHV1206R7201K102NSLJ	Chinocera	DNP
C24, C27	CAP X7R 1nF 50V 0603_H08	CC0603KRX7R9BB102	Yageo	2
D1, D2, D4, D5	S1M_13_F_1A/1KV,SMA	US1M-13-F	Diodes Incorporated	4
D3	MBRB20200CT	MBRB20200CT	YANGJIE	1
D6, D9	Schottky barrier diode,30V/1A,IFSM=5A,SOD-123	LMBR130T1G	LRC	2
D7	LED S green If=20mA,VF=2.2V,NCD0603G1	NCD0603G1	GXGD	1
D8	D_SOD323	LBAS21HT1G	LRC	1
DZ1	TVS,350V ,Unidirectional,TPSMB series	TPSMB350A-A	Littelfuse	1
DZ2	TVS,15V ,Unidirectional	SMAZ15-13-F	DIODES	1
J1	Pitch_3.50 mm _ 2 pins_ 350VAC/10A	KF350-3.5-2P	KEFA	1
J2	pitch 10.16mm, 02p_Connector	DG636-7.62-02P-14-00A(H)	DEGSON	1
L1	CYA0650-6.8UH	CYA0650-6.8UH	SHOU HAN	1
Q1	2SC2881	2SC2881	CJ	1
Q2	SiC MOSFET,1700V,1 Ohms	P3M171K0G7	PN Junction Semiconductor	1
R1, R8, R12, R21	RES SMD 1.5 MOhms 1% 1/4W 1206_H6	RC1206FR-071M5L	Yageo	4
R2, R3, R6, R7	RES SMD 220 KOhms 5% 2/3W 2010_H6,400V	AC2010FK-07220KL	UNI-ROYAL	4
R4	RES SMD 200 Ohms 1% 2/3W 2010_H6	RC2010JK-07200RL	Yageo	1
R5, R9, R17, R22	RES SMD 470K Ohms 1% 3/4W 2010_H6	201007F4703T4E	UNI-ROYAL	4
R10	RES SMD 10 Ohms 5% 2/3W 2010_H6	201007J0100T4E	UNI-ROYAL	1
R11, R32	RES SMD 12 KOHM 1% 1/10W 0603_H6	RC0603FR-0712KL	Yageo, UNI-ROYAL	2
R13	RES SMD 1 OHM 1% 1/10W 0603_H6	RC0603FR-071RL	Yageo	1
R14, R20	RES SMD 2 KOHM 1% 1/10W 1206_H6	1206W4F2001T5E	UNI-ROYAL	2
R15	RES SMD 39 OHM 1% 1/8W 0805_H6	RC0805FR-0739RL	Yageo	1
R16	RES SMD 10 OHM 1% 1/10W 0603_H6	RE0603FRE0710RL	Yageo	1
R18, R31	RES SMD 10K OHM 1% 1/10W 0603_H6	0603WAF1002T5E	UNI-ROYAL	2
R19, R27	RES SMD 1 OHM 1% 1/4W 0805_H6	CSR0805FK1R00	SEI	2
R23	RES SMD 1 KOHM 1% 1/10W 0805_H6	RC0805FR-101KL	Yageo	1
R24	RES SMD 2K OHM 1% 1/10W 0603_H6	1206W4F2001T5E	UNI-ROYAL	1
R25	RES SMD 8.2K OHM 1% 1/10W 0603_H6	RC0603FR-078K2L	Yageo	1
R26, R28, R34	RES SMD 1 KOHM 1% 1/10W 0603_H6	0603WAF1001T5E	UNI-ROYAL	3
R29	RES SMD 10 OHM 1% 1/10W 1206_H6	1206W4F1001T5E	UNI-ROYAL	DNP
R33	RES SMD 470R OHM 1% 1/10W 0603_H6	RC0603FR-07470RL	Yageo	1
R35, R36	RES SMD 1 KOHM 1% 1/10W 0603_H6	0603WAF1001T5E	UNI-ROYAL	2
T1	BZ2023091802011N	BZ2023091802011N	BoZhou	1
TP1, TP3, TP4, TP5, TP6, TP8, TP9, TP10, TP11, TP12, TP13, TP14, TP15, TP16, TP17, TP18, TP19	Test Point	RH-5012	RongHe	17
U1	UCC28C45DR	UCC28C45DR	TI	1
U2	Optocoupler, Ic_50mA,5KV,SOP-4L	EL817S1(A)(TU)-F	EVERLIGHT	1
U3	Shunt Adjustable Precision References,SOT23-3	TL431AQDBZR,215	Nexperia	1

4 测试结果

4.1 开关波形

下面六张图展示了不同输入电压以及不同负载下开关管Vds电压和Vgs电压波形，输入电压分别为300VDC、600VDC及900VDC，负载电流分别是1.4A和2.7A。

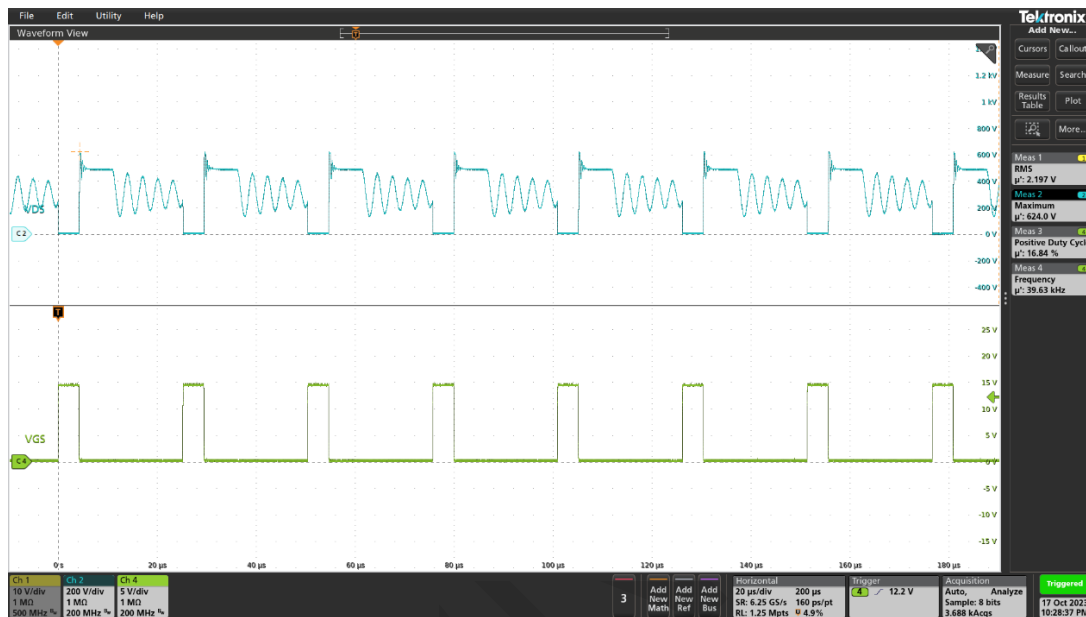


图10: Vds与Vgs波形，输入300VDC $I_o=1.4A$

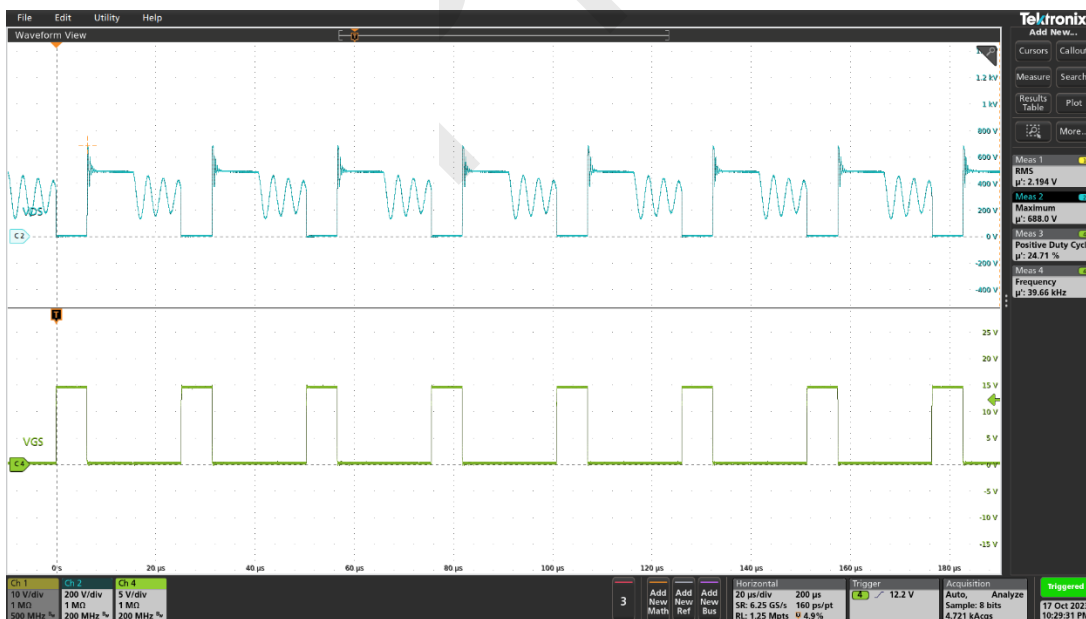


图11: Vds与Vgs波形，输入300VDC $I_o=2.7A$

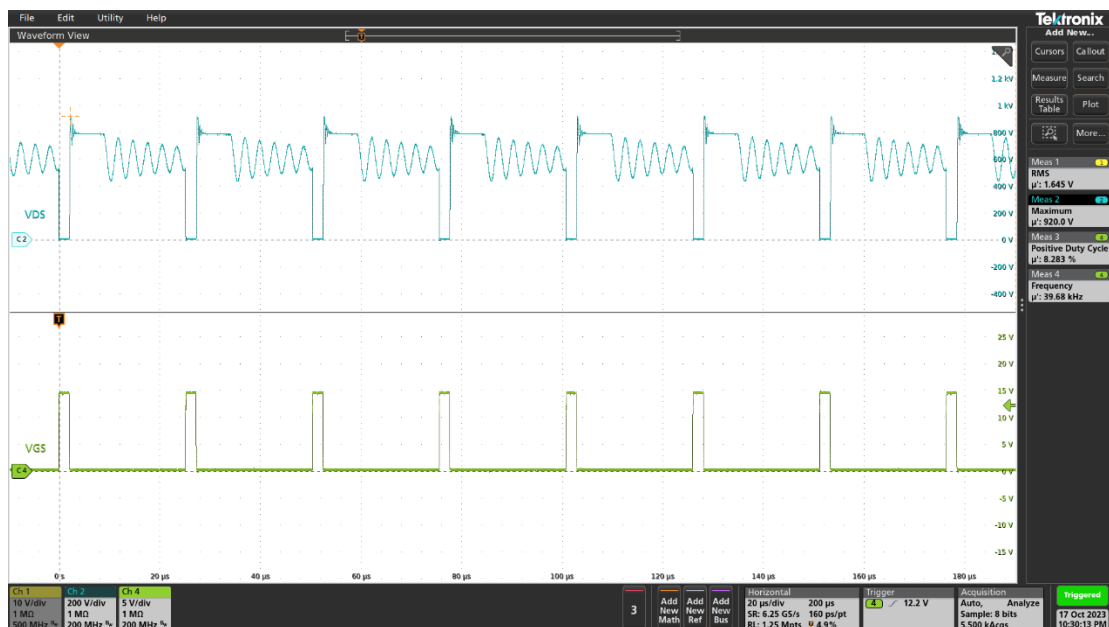


图12: Vds与Vgs波形, 输入600VDC $I_o=1.4A$

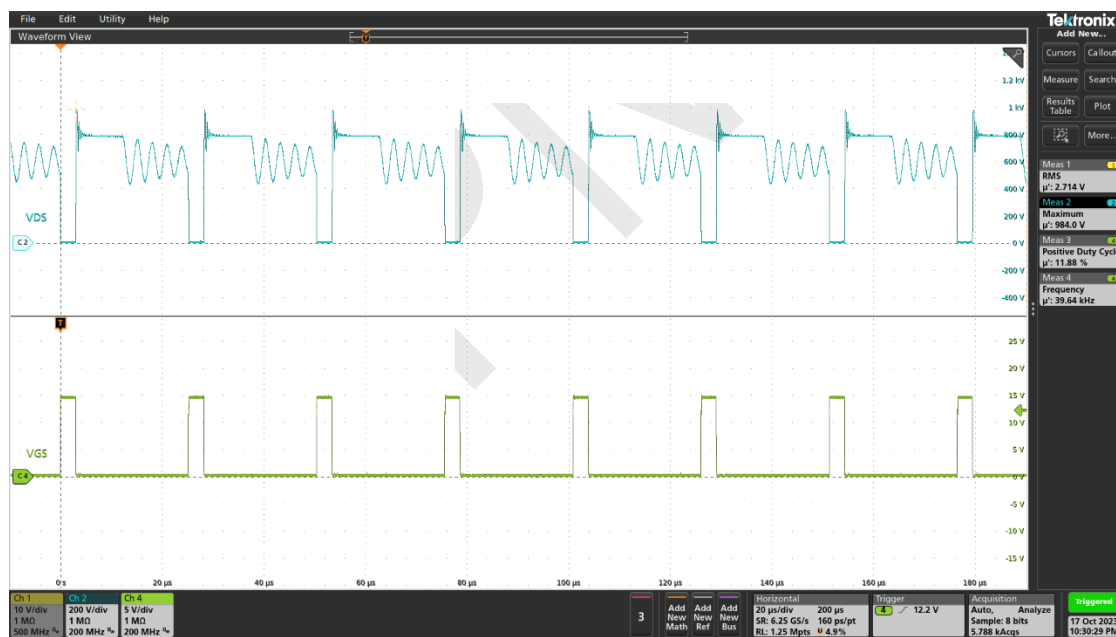


图13: Vds与Vgs波形, 输入600VDC $I_o=2.7A$

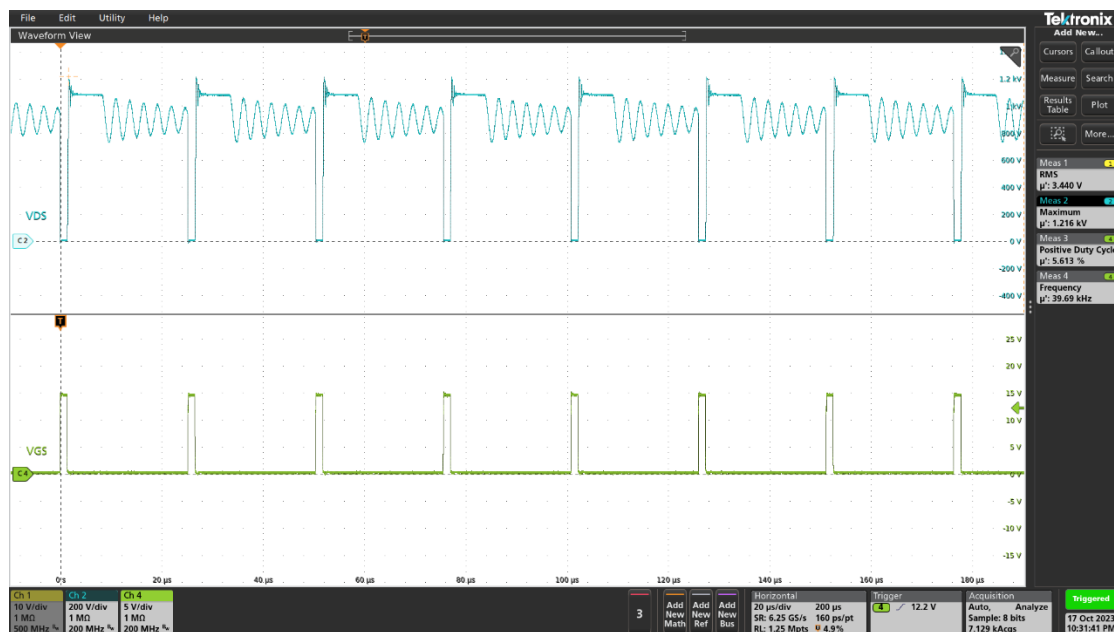


图14: Vds与Vgs波形, 输入900VDC Io=1.4A

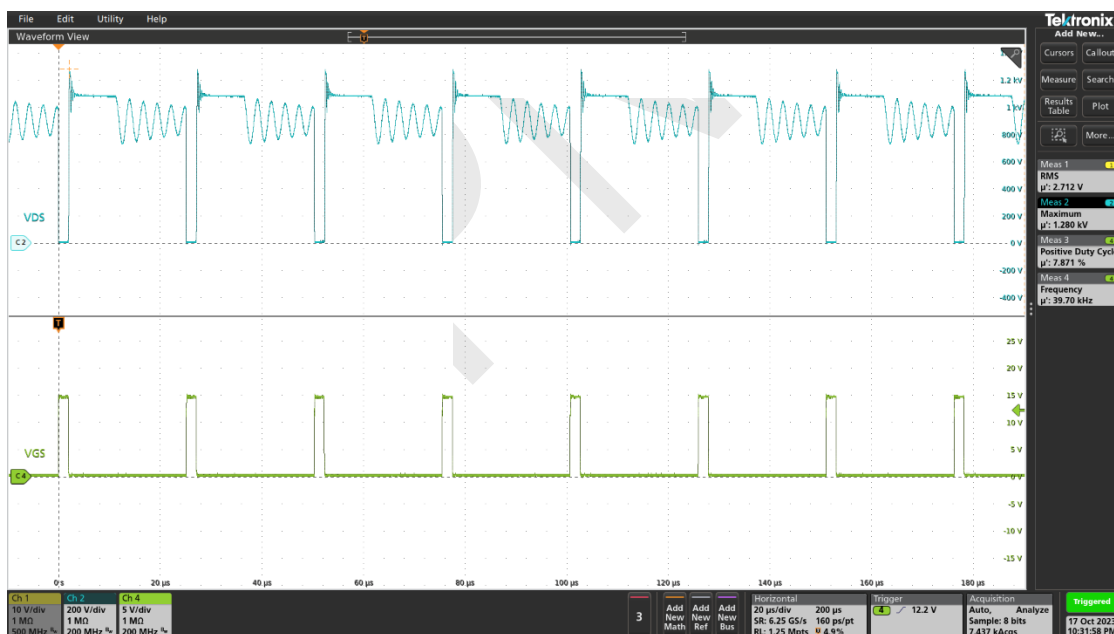


图15: Vds与Vgs波形, 输入900VDC Io=2.7A

4.2 效率

派恩杰参考设计板PNDM17P650A2，65W高压辅助电源在不同输入电压和不同负载下效率如图16所示，分别在300、600、900V满载工况下效率达到87.1%、85.7%、83.7%，可以看出在非准谐振模式工作下效率并不高，为了保证在宽范围输入电压下实现高效率，准谐振拓扑是一个较好的选择。

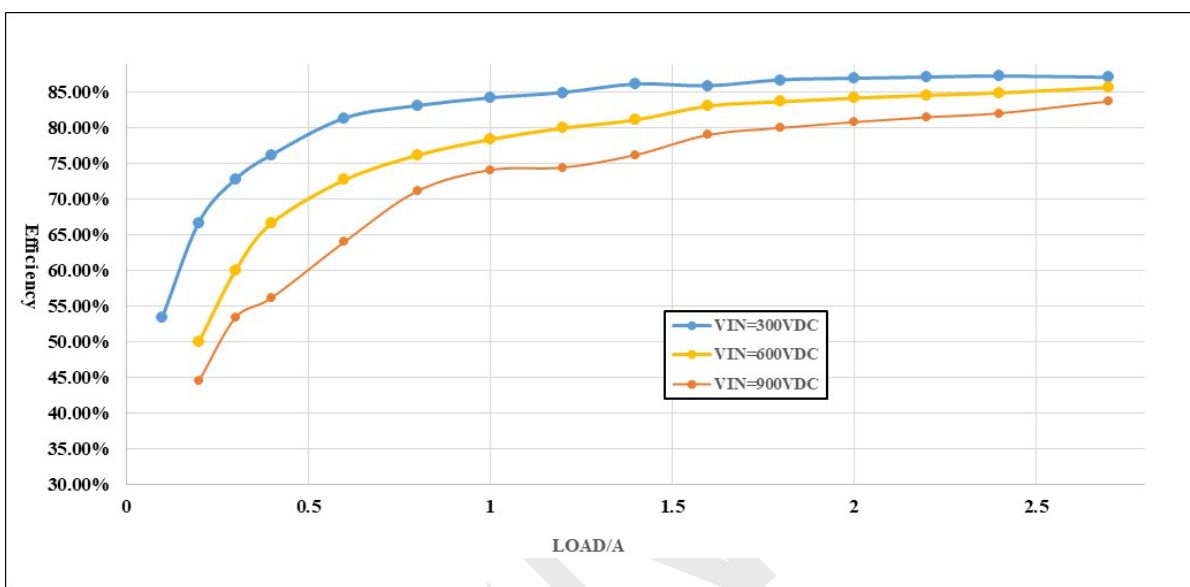


图16: 不同输入电压和不同负载下效率曲线

派恩杰参考设计板PNDM17P650A2，65W高压辅助电源在不同输入电压下满载效率曲线如图17所示，随着输入电压增加转换器效率逐渐下降，由300V输入下87%效率降低至83%。

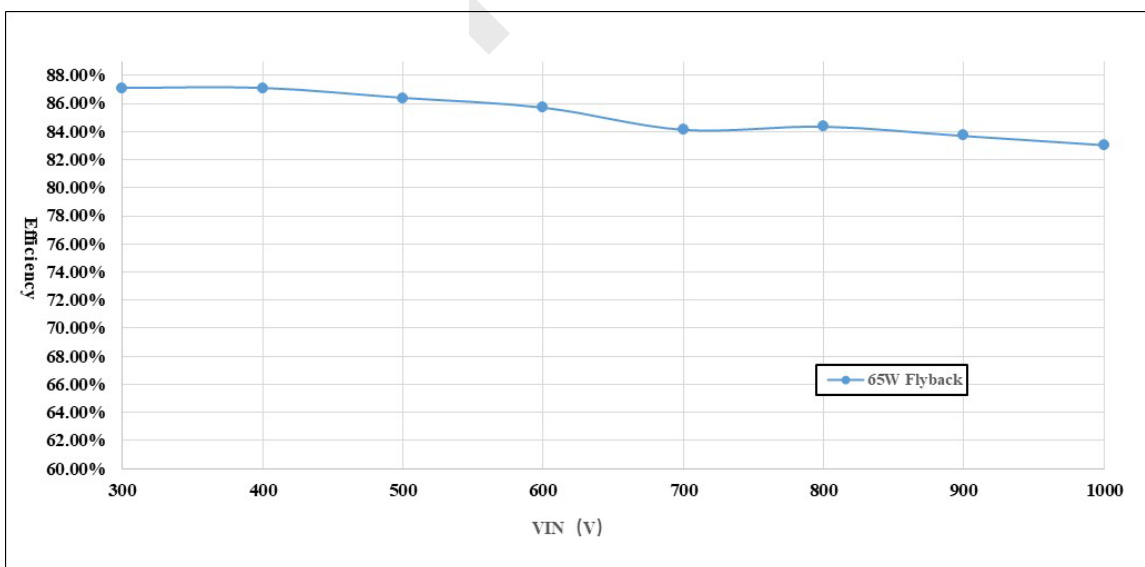


图17: 不同输入电压下满载效率曲线

4.3 热表现

派恩杰65W高压反激电源在不同输入电压下，满载的热表现如图18~21所示，可以看出反激RCD钳位电路部分是整体发热最严重的器件，在1000V输入靠近满载处波峰进行开关时器件发热最严重，最高温度达到87.2度，在300V输入下最高温度只有82.6度。MOSFET的温度随着输入电压的增大而升高，当电压升高时器件的开关损耗占比较大，当输入电压在1000V时，MOSFET最高壳温为64.9度。

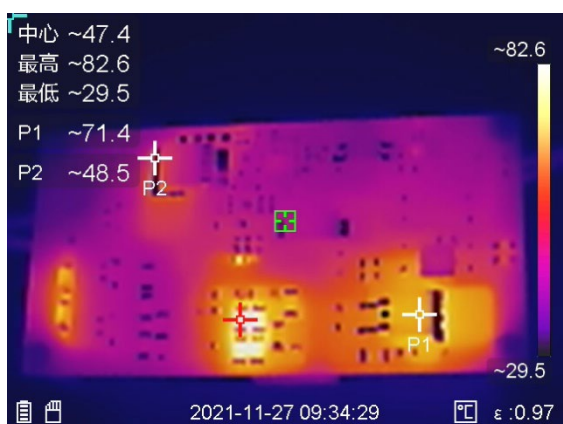


图18: VIN=300V Iout=2.7A

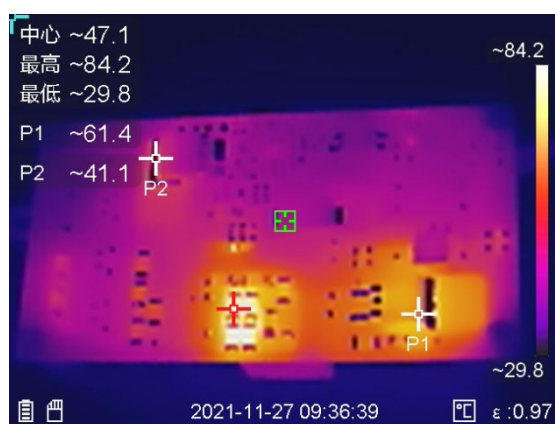


图19: VIN=600V Iout=2.7A

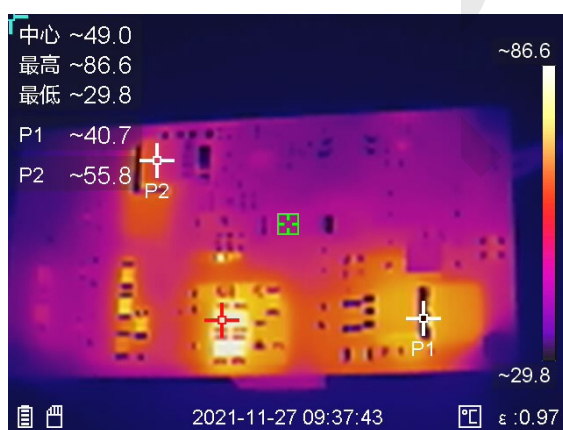


图20: VIN=900V Iout=2.7A

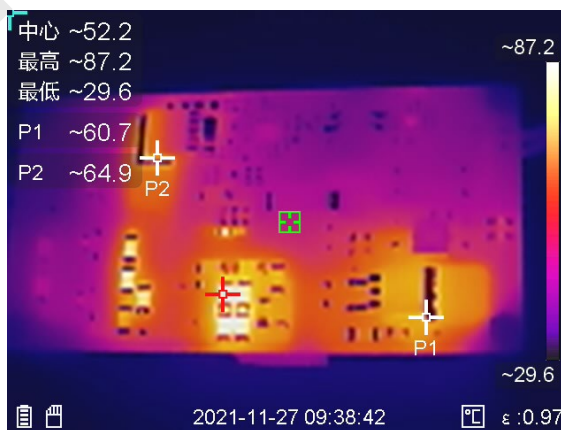


图19: VIN=1000V Iout=2.7A



5 历史版本

Date	Revision	Description of change
2023.10.27	V1.0	Initial Version

