

200W SiC-Based Flyback Converter Reference Design

200W 碳化硅反激电源参考设计

Order Part Number: IVCT-REF00017

目 录

1 简介	2
2 硬件组成部分	4
3 测量结果	6
4 参数说明	12
5 附录	13

1 简介

反激电源是一种小功率 DC-DC 变换电路。它主要用于高压直流变换为低压输出等辅助电源设计。图 1.1 所示为反激电源主电路图。这个电路的 Q1 使用高速 SiC（碳化硅）MOSFET 管，Q2 是 Si MOSFET 同步整流管。这一参考设计的额定功率为 200W。它使用本公司生产的 1700V 1000mΩ SiC MOSFET IV2Q171R0D7。实物图如图 1.2 所示。

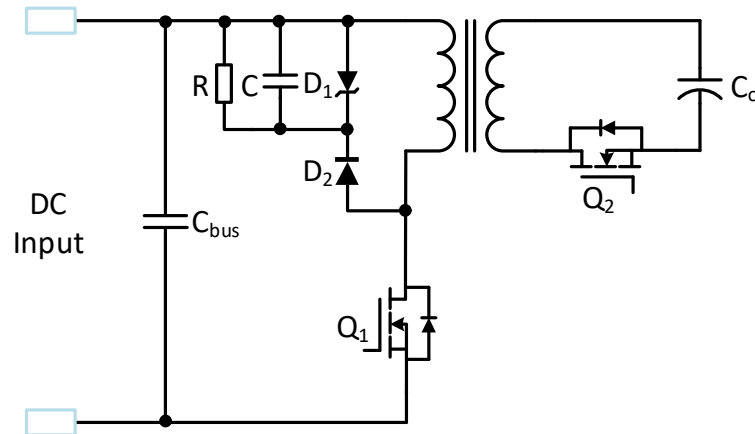


图 1.1 反激电源拓扑结构图

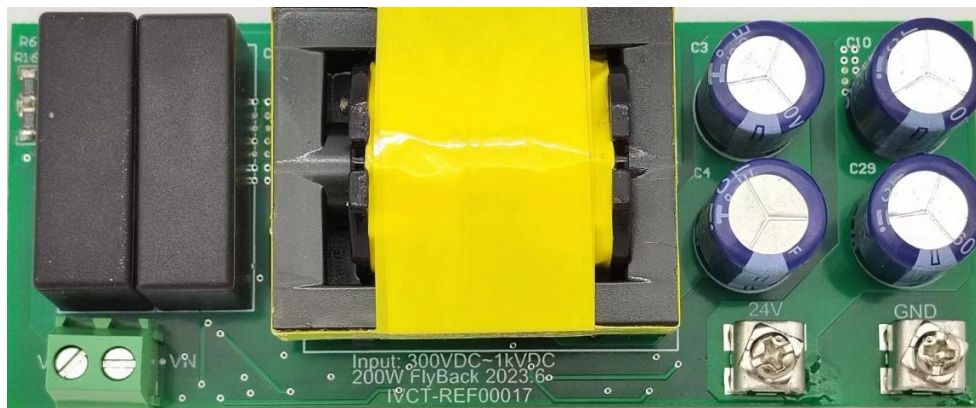


图 1.2 反激电源实物图

1.1 反激电源

反激电路是一种小功率 DC-DC 的拓扑结构。本设计的反激电路是工作在准谐振模式 (QR)。SiC MOSFET 的工作频率在 25kHz~40kHz 之间。由于碳化硅 MOSFET 有极小的输出电容和接近零的反向恢复，它是硬开关电路的理想开关器件。相较于硅 MOS 和 GaN，碳化硅可以工作在高压条件下，具有宽范围输入的能力，本样机峰值效率可达到 88.5%，样机待机损耗为 0.3W。

1.2 门级驱动

本设计所使用原边高压 SiC MOSFET 为 IV2Q171R0D7，可正常工作驱动电压范围为 12 V 到 20 V，从图 1.3 中可以看出驱动电压为 20 V 时，MOS 管 R_{ds_on} 最小。MOS 管栅极由 IVCR1801SR 驱动，驱动信号由控制芯片 UCC28740D 发出，如图 1.4 所示。如果采用 UCC28740D 也可以直接驱动 MOS，但其驱动电压在 13.2V 左右，会明显降低样机效率，不推荐使用。（注：由于控制芯片上电瞬间电压会下降，为保证 MOS 正常工作，建议 IVCR1801SR 供电电容选择 4.7uF 左右）

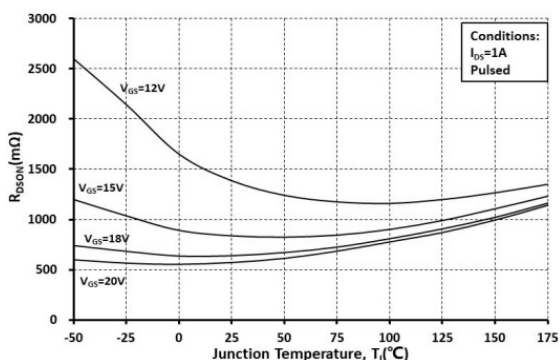


图 1.3 各 V_{GS} 下的 R_{ds_on} 和温度关系曲线图

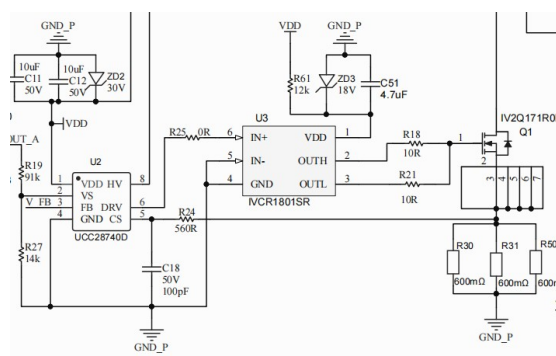


图 1.4 控制驱动电路原理图

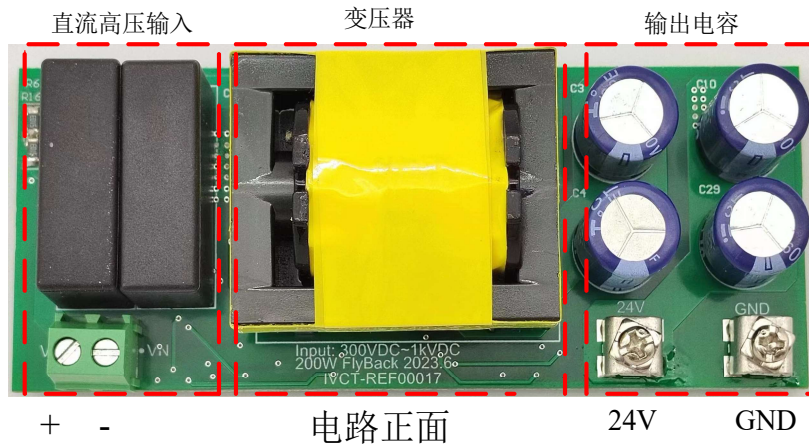
1.3 同步整流以及其他

该电路采用硅 MOS 做为同步整流管，由于满载条件下输出电流较大，故采用 MOSFET 做为整流管不仅可以提高转换效率，还可以降低样机整流侧工作温度，整流芯片采用 NCP4306。原边控制芯片供电是通过辅助绕组提供，副边整流芯片是通过输出电压提供。

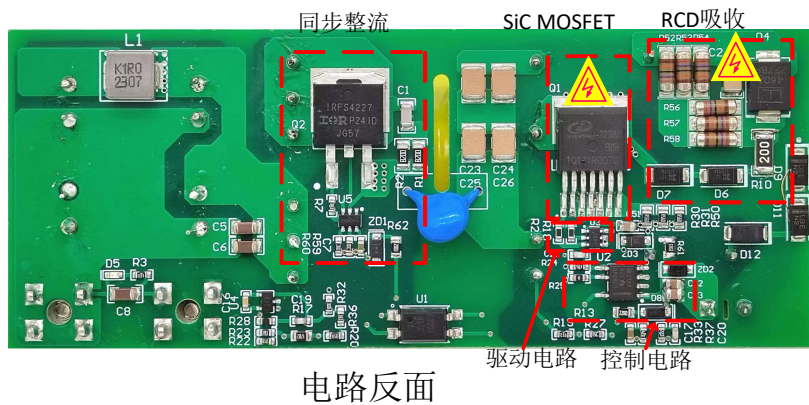
2 硬件组成部分

2.1 基本硬件模块

这一章主要描述了反激电源的硬件组成，如图 2.1，(a)中所示分别为高压直流输入，变压器，输出电容；(b)中所示分别为 RCD 吸收回路，主功率 MOS，控制电路，驱动电路，整流电路。



(a)



电路反面

(b)

图 2.1 硬件实物图

2.2 启动过程

将输入接入直流电源上，输出接至电子负载上。将直流电源的电压不断增加，当电压值增加至 300V 时，反激电源开始正常输出，输出直流电压 24V，如果需要带载启动，建议电路在半载以下启动，如果输出功率大于 100W 时且需要长时间工作时，应及时开启风扇冷却变压器和

RCD 吸收回路。图 2.2 和图 2.3 分别为电路空载和带 150W 负载启动时电路波形（以输入电压 600V 为例）。

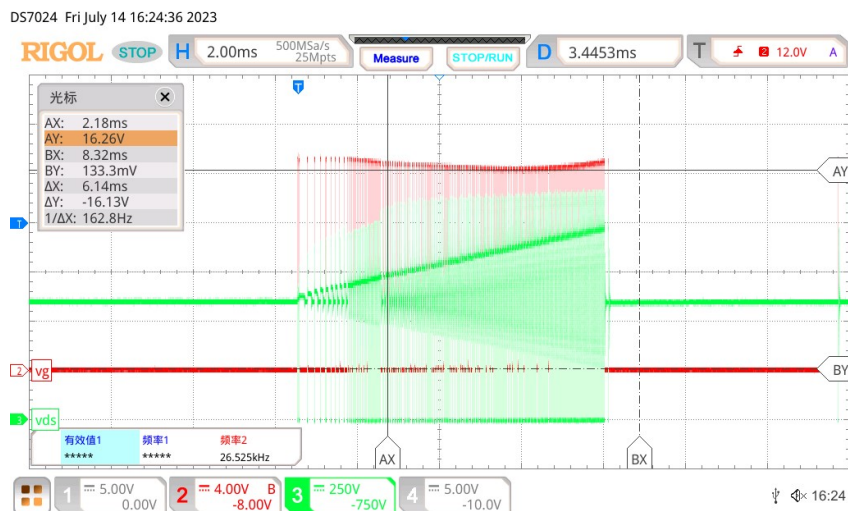


图 2-2 空载时电路启动瞬间 Vgs、Vds 波形

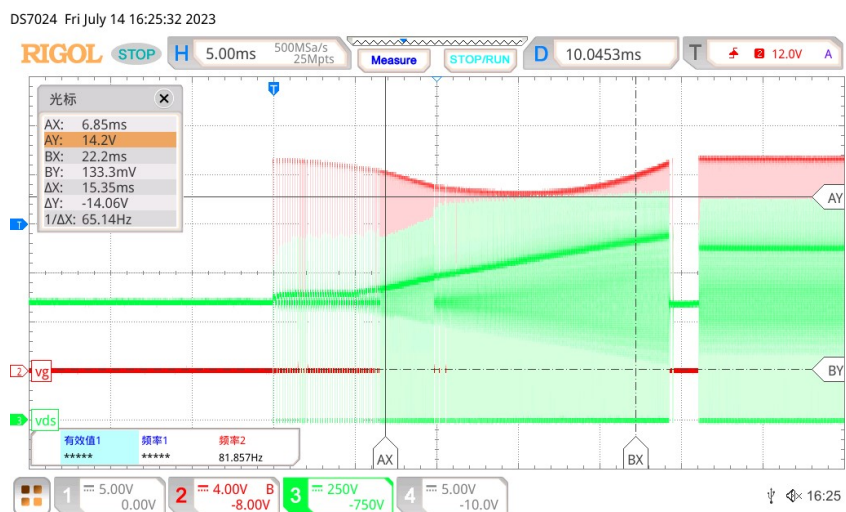


图 2.3 带载 150W 时电路启动瞬间 Vgs、Vds 波形

可以从图 2.2 和图 2.3 中看出上电瞬间负载的大小会影响驱动电压的大小，故建议电路空载上电。

3 测量结果

本章提供测量结果曲线图，所有的测试结果均在温度为 25 摄氏度的环境下，输入直流电压为 300 VDC ~ 1000 VDC，输出直流电压 24V 直流。

3.1.1 效率曲线

使用 SiC MOSFET 的反激电源峰值效率可达 88.5%，图 3.1 中分别展现了在 300V、600V、800V、1kV 条件下的效率曲线图。

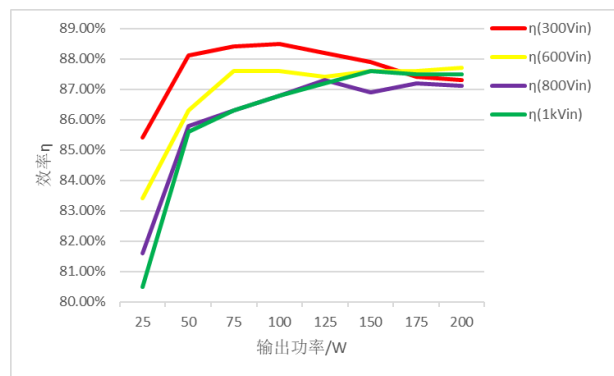


图 3.1 效率曲线图

3.1.2 样机温升图

600V 直流输入条件下，有风冷却，满载运行 1 小时的温度结果。

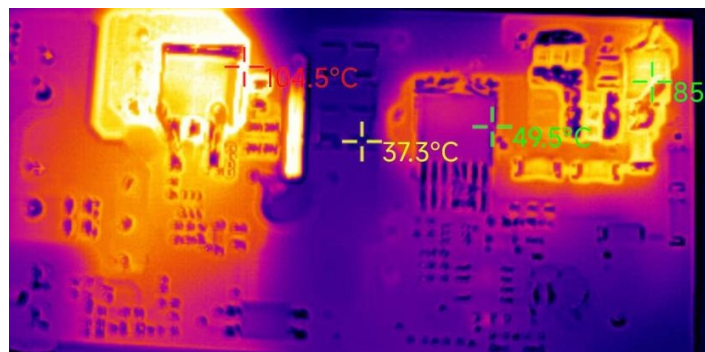


图 3.2 600VDC 输入满载运行 1 小时样机温升图

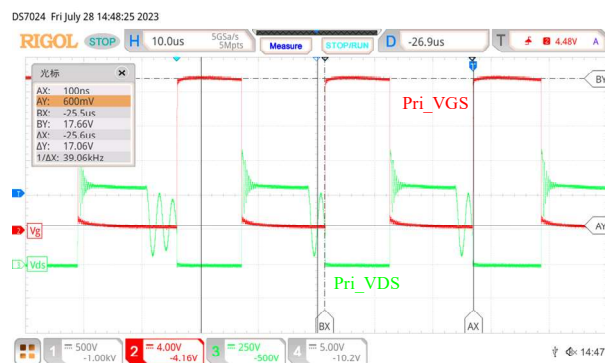
由图样机整体温度最高点是变压器和 RCD 吸收回路，可对变压器和吸收回路进行优化。

3.1.3 原边 V_{GS} 、 V_{DS} 电压波形

图 3.3、3.4、3.5、3.6 展示了当样机在 300VDC、600VDC、800VDC、1kV 输入条件下轻载和满载时电路的原边 V_{DS} 和原边 V_{GS} 波形，以及图 3.7 和图 3.8 分别展示了 800VDC 输入时的驱动波形、开关频率以及 V_{DS} 放大图和 1kVDC 输入时的 V_{DS} 放大图。

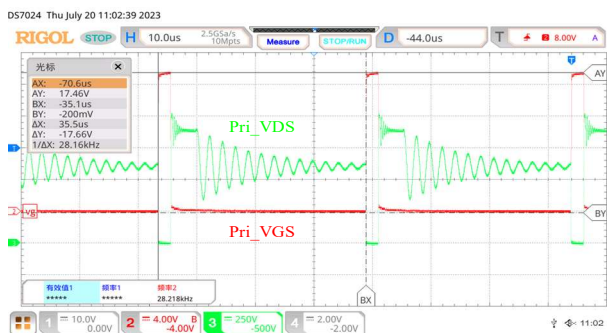


(a)轻载 (25W)

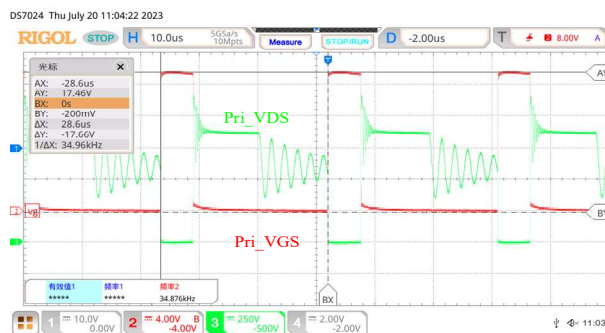


(b)满载(200W)

图 3.3 300VDC 输入 V_{GS} 和 V_{DS} 波形图

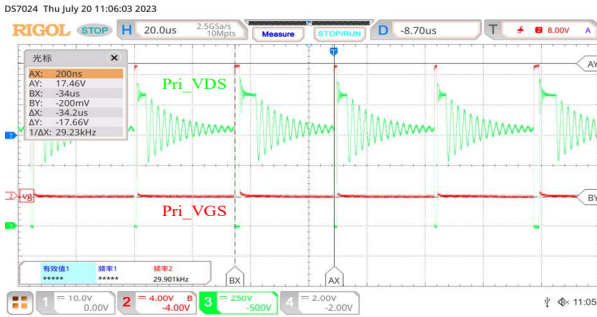


(a)轻载 (25W)

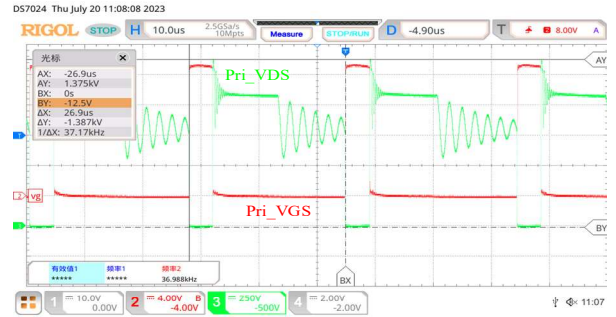


(b)满载(200W)

图 3.4 600VDC 输入 V_{GS} 和 V_{DS} 波形图

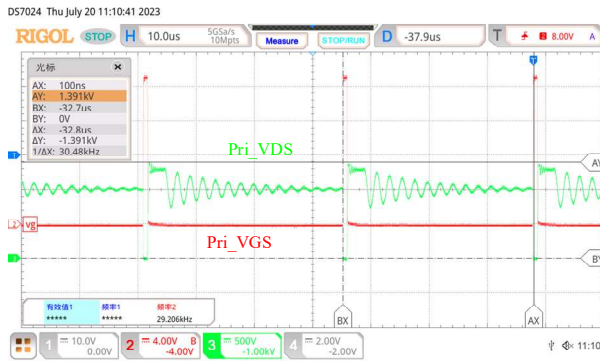


(a)轻载 (25W)

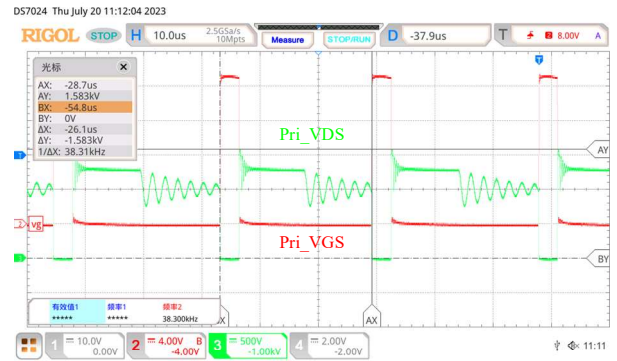


(b)满载(200W)

图 3.5 800VDC 输入 V_{GS} 和 V_{DS} 波形图



(a)轻载 (25W)



(b)满载(200W)

图 3.6 1kVDC 输入 V_{GS} 和 V_{DS} 波形图

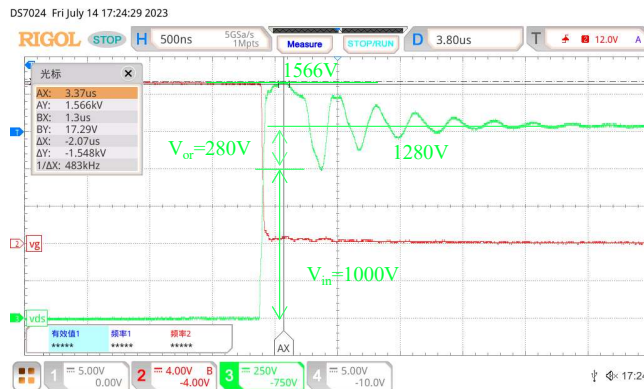


图 3.7 1kVDC 输入，满载时 V_{DS} 放大图

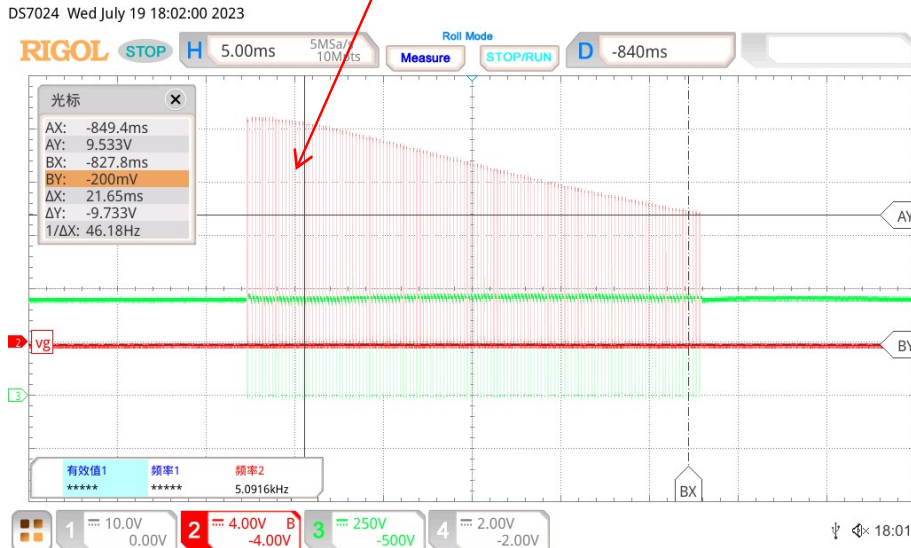
从上面波形中可以看出样机 V_{DS} 最大值是电路输入 1kV 时满载的条件下，从图 3.7 中可以知道电压最大值为 1566V。样机的开关频率范围为 27~40 kHz。

3.1.4 短路测试波形

下图为样机上电之前将输出短路时的波形。



(a)



(b)

图 3.8 样机上电之前将输出短路时的波形

从图 3.8 可以看出若在上电之前将样机输出短路时，样机会处于一个反复起机的状态，样机并未损坏。

下图为样机在运行过程中突然短路时的波形。（测试条件：600V_{in} P_{out} = 100W）

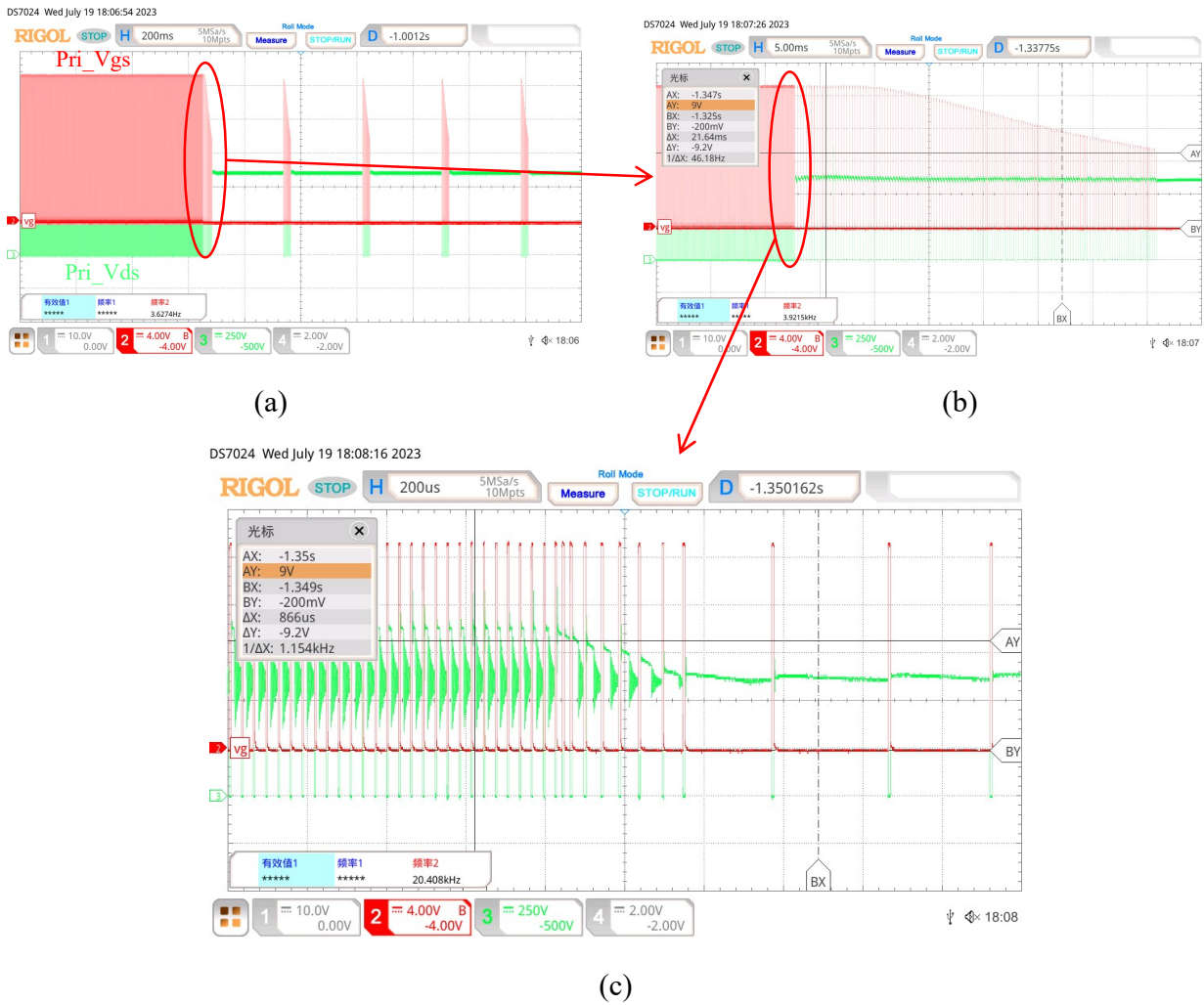


图 3.9 样机在运行过程中短路的波形

从图 3.9 可以看出样机在运行过程中短路有两个阶段，图 (b)、(c) 为第一阶段放大图，短路瞬间驱动占空比变小，然后开关频率变低，驱动电压下降，电路暂时关断。测试完毕样机还可以正常运行。

3.2 PCB Layout

对于 SiC MOSFET 这一类宽禁带器件，其开关速度比传统的 IGBT/MOSFET 快很多，一般可达到 30V~50V/ns，开关过程一般在 25ns 以下。为了达到这么快的开关速度，SiC MOSFET 的驱动电路需要精心设计。首先要确定 SiC MOSFET 的驱动电压，一般根据收据手册的建议值先做初步试验，在满载功率条件下，观察电路工作状况是否完好。SiC MOSFET 驱动电路的 Layout 一定要保证驱动器尽可能靠近 SiC MOSFET 管脚。下图 3.10 为驱动回路。

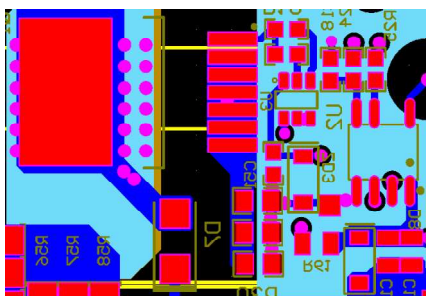


图 3.10 驱动电路

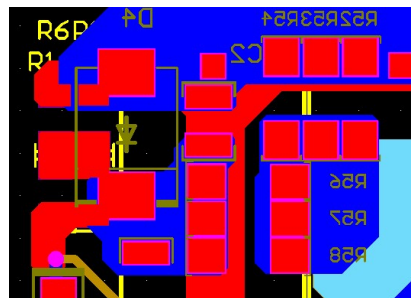


图 3.11 RCD 吸收回路

在较高直流电压输入时和功率增加时，反激电源在开关管关断瞬间会产生较高的源漏极电压，为了减小在关断时产生的电压尖峰，采取使用 TVS 钳位。所以钳位吸收电路布局将决定对电路尖峰的抑制效果和吸收电路的散热效果，具体见图 3.11。

为了增加样机效率和降低温度二次侧采用同步整流。为了保证同步管正常工作，建议采用抗干扰能力较强的同步整流芯片，若整流电路在变压器下方，建议中间层铺铜，以减小干扰，具体见图 3.12。

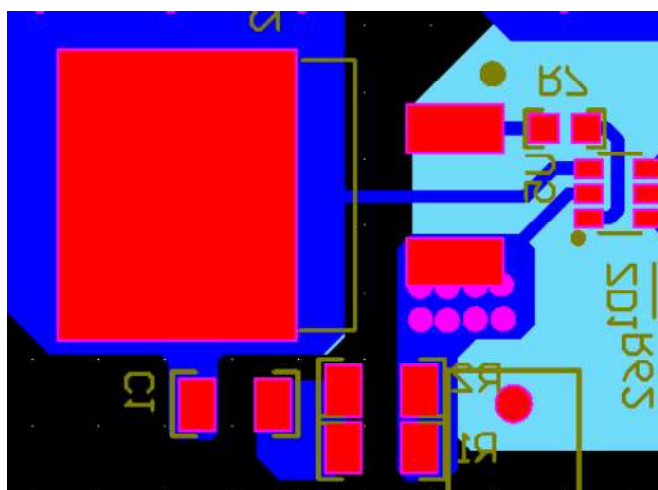


图 3.12 整流电路

4 参数说明

说明：所有测量实验均是在实验室温度为 25 摄氏度时进行。

输入电压 $V_{in} = 300 \text{ VDC} \sim 1000 \text{ VDC}$

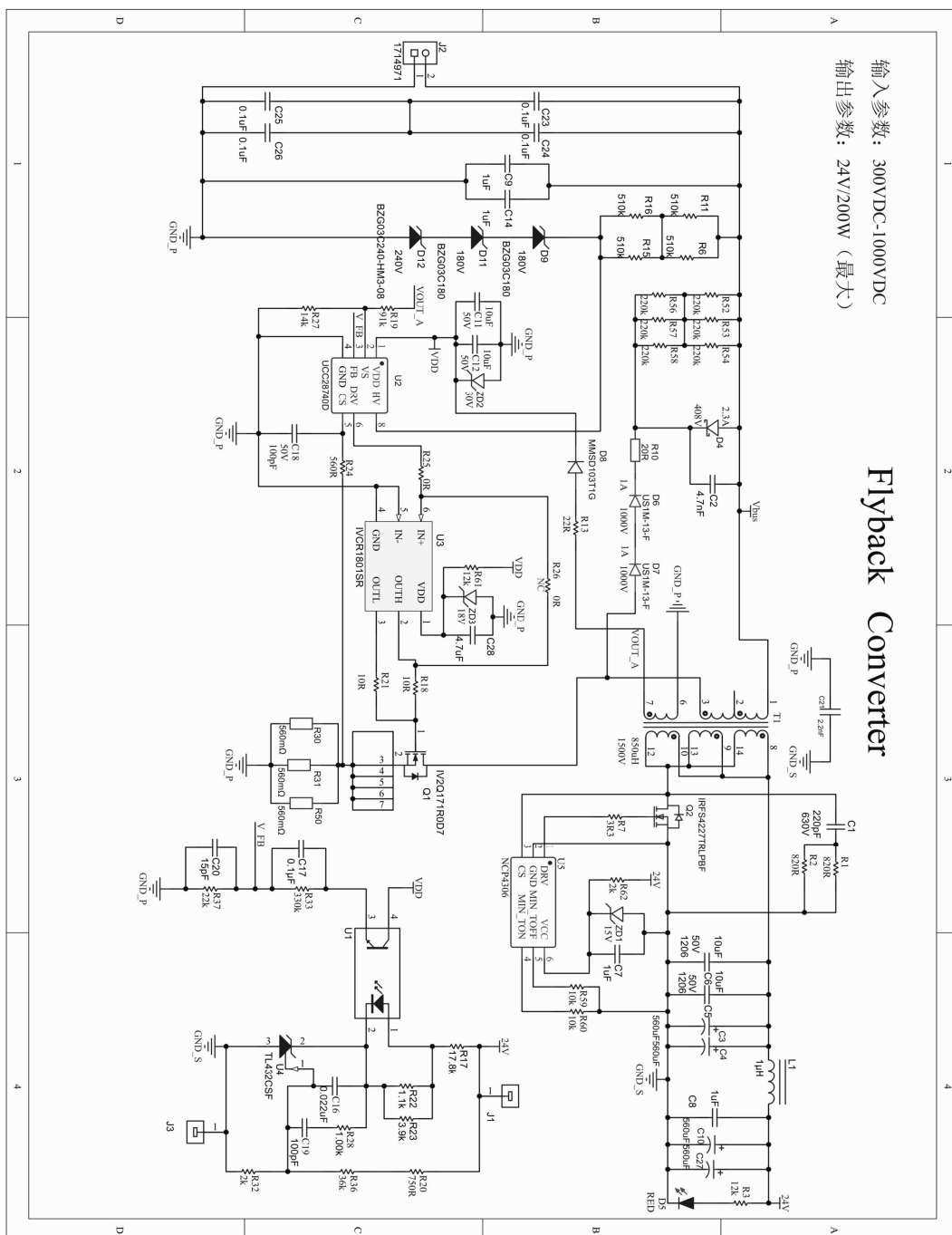
输出功率 $P_{out,max} = 200 \text{ W}$

测试温度 $T = 25^{\circ}\text{C}$

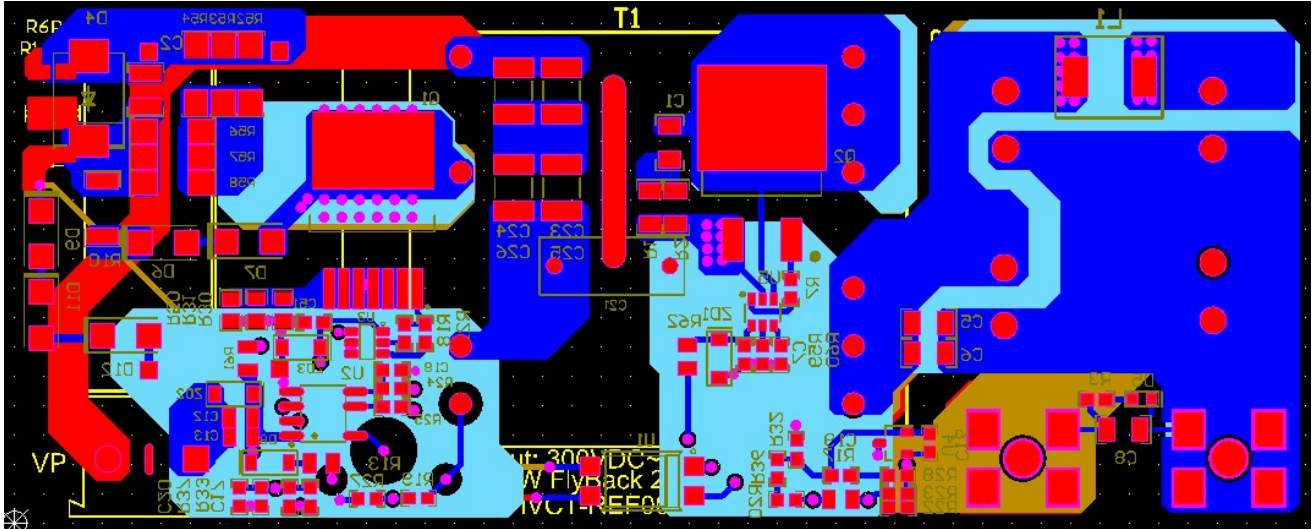
输出电压 $V_{out,nom} = 24 \text{ VDC}$

5 附录

5.1 主电路原理图



5.2 PCB Layout



5.3 Bill of Materials (BOM)

PartNumber	Description	Designator	Footprint	Quantity
1206CG221J631NT	CAP, CERM, 220pF, 630V, +/-10%, X7R, 1206	C1	1206	1
FV32N472J102EFG	容值: 4.7nF 额定电压: 1kV 材质(温度系数): C0G, 1210	C2	1210	1
ERS1HM561W200T	容值: 560uF 精度: ±20% 额定电压: 50V 电容体直径: 12.5mm	C3, C4, C10, C27	CAP-TH_BD12.5-P5.00-D0.6-FD	4
CL31A106KBHNNNE	CAP, CERM, 10uF, 50V, +/-10%, X7R, 1206	C5,C6	1206	2
GRM188R71E105KA12D	CAP, CERM, 1uF, 50V, +/-10%, X7R, 0603	C7	0603	1
1206B105K101NT	CAP, CERM, 1uF, 50V, +/-10%, X5R, 1206	C8	1206	1
HDPB1K2W10K4R050A	CAP, Film 1uF, 1200V, +/-10%, TH,	C9, C14	pp=27.5mm	2
GRM21BR61H106KE43L	CAP, CERM, 10uF, 50V, +/-10%, X5R, 0805	C11,C12	0805	2
GCM188R71H104KA57D	CAP, CERM, 0.1 μF, 50 V, +/- 10%, X7R, 0603	C17	0603	1
C0603C223K3RACTU	CAP, CERM, 0.022uF, 25V, +/-10%, X7R, 0603	C16	0603	1
C0603JRNPO9BN101	CAP, CERM, 100pF, 50V, +/-10%, C0G/NP0, 0603	C18,C19	0603	2

CC0603JRNPO9BN150	CAP, CERM, 15pF, 50 V, +/- 10%, X7R, 0603	C20	0603	1
CS11-E2GA222MYVSA	Y2,300VAC,2.2nF, 2pin	C21	插件,P=7.5mm	1
C4532X7R2J104KT020U	CAP, CERM, 0.1uF, 630V, +/-10%, X7R, 1812	C23, C24, C25, C26	1812	4
0805B475K500NT	容值: 4.7uF 额定电压: 50V 材质(温度系数): X7R	C28	0805	1
1.5SMC480A	极性: 单向 反向截止电压(V _{rw}): 408V 击穿电压(最小值): 503.5V 击穿电压(最大值): 556.5V 反向漏电流(I _r): 5μA 峰值脉冲电流	D4	SMC(DO-214AB)	1
APT1608EC	LED RED CLEAR 0603 SMD	D5	0603	1
US1M-13-F	快恢复管, 直流反向耐压(V _r): 1kV 平均整流电流(I _o): 1A 正向压降(V _f): 1.7V@1A 反向电流(I _r): 5μA@1kV 反向恢复时间(trr): 75ns 工作温度: -65°C~+150°C@(T _j)	D6, D7	SMA	2
MMSD103T1G	二极管配置: 独立式 功率: 400mW 直流反向耐压(V _r): 250V 平均整流电流(I _o): 200mA	D8	SOD-123	1
BZG03C180	二极管配置: 独立式 稳压值(标称值): 180V 稳压值(范围): 168V~191V 功率: 3WSMA	D9, D11	SMA	2

BZG03C240-HM3-08	稳压值(标称值): 240V 功率: 1.25W	D12	SMA	1
PCB-8 M3	M3 5*6.9MM 42A 7.9*7.9*11.2	J1, J3	PCB-8 M3	2
1714971	Terminal Block, 2x1, 9.53mm, TH	J2	插件,P=9.52mm	1
IV2Q171R0D7	MOSFET N-CH 1700V 5A TO-263-7	Q1	TO-263-7	1
IRFS4227TRLPBF	N 沟道 漏源电压 (V _{dss}): 200V 连续漏 极电流(I _d): 62A 功率 (P _d): 330W 导通电阻 (R _{DS(on)} @V _{gs} ,I _d): 26mΩ@10V,46A	Q2	TO-263-2	1
RC1206FR-07820RL	RES SMD 820 OHM 1% 1/4W 1206	R1, R2	1206	2
RC0603FR-0712KL	RES SMD 12K OHM 1% 1/10W 0603	R3	0603	1
RC1206FR-07510KL	RES SMD 510K OHM 1% 1/4W 1206	R6, R11, R15, R16	1206	4
RC0603FR-073R3L	RES SMD 3.3 OHM 1% 1/10W 0603	R7	0603	1
AC2010FK-0720RL	封装: 2010 电阻类 型: 厚膜电阻 阻值: 20Ω 精度: ±1% 功 率: 3/4W	R10	R2010	1
0805W8J0220T5E	RES SMD 22 OHM 1% 1/8W 0805	R13	0805	1
0805W8F1782T5E	RES, 17.8K, 1%, 0.125 W, 0805	R17	0805	1
AC0603FR-0710RL	RES SMD 10 OHM 1% 1/10W 0603	R18,R21	0603	2
RC0603FR-0791KL	RES SMD 91K OHM 1% 1/10W 0603	R19	0603	1
0603WAF750T5E	RES SMD 750 OHM 1% 1/10W 0603	R20	0603	1
0603WAF1101T5E	RES, 1.1K OHM, 1%, 1/10W 0603	R22	0603	1

0603WAF3901T5E	RES, 3.9K OHM , 1%, 1/10W 0603	R23	0603	1
RC0603FR-07560RL	RES SMD 560 OHM 1% 1/10W 0603	R24	0603	1
0603WAF0000T5E	RES SMD 0 OHM 1% 1/10W 0603	R25	0603	1
RC0603FR-0714KL	RES SMD 14K OHM 1% 1/10W 0603	R27	0603	1
CRCW06031K00FKEA	RES, 1.00k ohm, 1%, 0.1W, 0603	R28	0603	1
PT0805FR-7W0R56L	阻值: 560mΩ 精度: ±1% 功率: 250mW 温 度系数: 0ppm/°C~+150ppm/°C 工作温度范围: - 55°C~+155°C	R30, R31, R50	R0805	3
RC0603FR-072K0L	RES SMD 2K OHM 1% 1/10W 0603	R32	0603	1
RC0603FR-07330KL	RES SMD 330K OHM 1% 1/10W 0603	R33	0603	1
0603WAF3602T5E	RES SMD 36k OHM 1% 1/10W 0603	R36	0603	1
RC0603FR-0722KL	RES SMD 22K OHM 1% 1/10W 0603	R37	0603	1
MMB02070C2203FB200	RES SMD 220K OHM 1% 1W 0207	R52, R53, R54, R56, R57, R58	0207	6
RC0603FR-0710KL	RES SMD 10k OHM 1% 1/8W 0603	R59, R60	0603	2
0805W8F1202T5E	RES SMD 12K OHM 1% 1/8W 0805	R61	0805	1
0805W8F2001T5E	RES SMD 2K OHM 1% 1/8W 0805	R62	0805	1
FlyBack Transformer	FlyBack Transformer, 850uH, 1500V, 100kHz	T1	EC35	1
LTV-817S	Optocoupler, 5 kV, 50- 600% CTR, TH-4	U1	DIP254P762X350-4	1

UCC28740D	IC OFFLINE SWITCH FLYBACK 7SOIC	U2	SOIC-8_7P	1
IVCR1801SR	Single-Channel High-Speed Low-Side Gate Driver (with 4-A Peak Source and 8-A Peak Sink)	U3	SOT-23-6	
TL432CSF	输出类型: 可调输出 电压: 1.24V~18V 输出电流: 100mA 1.24V 0.5%	U4	SOT-23	1
NCP4306DAHZZAASNT1G	TSOP-6 辅助侧同步整流驱动器	U5	TSOT-23-6	1
MMSZ5245B	二极管配置: 独立式 稳压值(标称值): 15V 稳压值(范围): 14.25V~15.75V 功率: 350mW 反向电流(Ir): 100nA@11V 阻抗 (Zzt): 16Ω 15V H5 15V 0.35W	ZD1	SOD-123	1
KDZVTFTR30B	稳压值(标称值): 30V 功率: 1W	ZD2	PMDU	1
BZT52C18	二极管配置: 独立式 稳压值(标称值): 18V 稳压值(范围): 16.8V~19.1V 功率: 350mW	ZD3	SOD-123	1
MDA7030-1R0M	电感值: 1uH 精度: ±20% 额定电流: 12A 饱和电流(Isat): 15A 直流电阻(DCR): 6.7mΩ	L1	SMD,6.6x7.1mm	1

免责声明

本资料用于技术人员使用 IVCT 产品进行设计。

在使用电路板之前，用户应阅读文档，尤其是文档中包含的各种危险说明和警告。本文档包含关于电压和温度的重要安全信息。用户对正确和安全地使用电路板承担全部责任与义务。用户有责任遵守所有与使用该板相关的所有安全法律，法规和条例。即使该板不能按所描述的或预期的那样工作，用户有责任建立保护和保障措施，以确保用户使用该板不会导致任何财产损失，人身伤害或死亡，并确保用户或用户的雇员，分支机构，承包商，代表，代理商或指定人员在使用电路板中进行的任何活动的安全。用户对电路板安全使用的疑问可直接通过 www.inventchip.com.cn 与 IVCT 联系。

Copyright © 2023, InventChip Technology Co., Ltd