

INNDD1K0D1

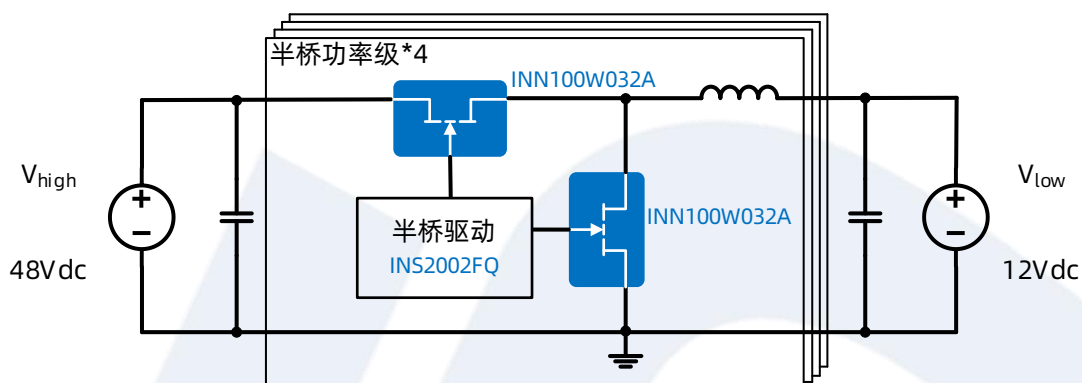
Demo Manual

1kW ¼Brick Multiphase Buck



1kW 1/4砖 多相降压电源

1kW 降压电源方案

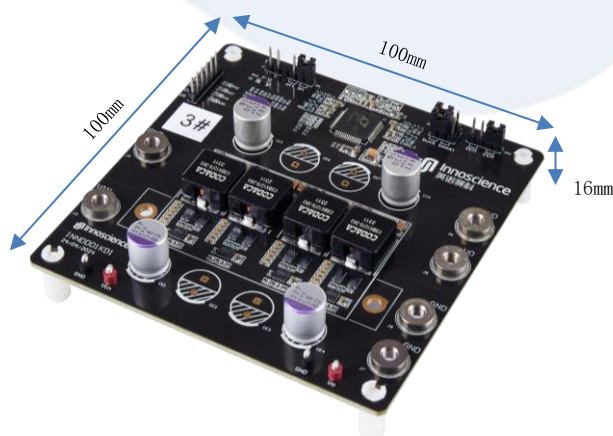


1kW 四相交错降压电源方案，输入40Vdc-60Vdc，输出12V/85A，最大输出功率1kW，峰值效率为96.9%@720W，满载效率为96.76%@1kW，增强散热后可以提升功率到1.2kW，效率96.54%，功率级尺寸58.4*36.8*12mm（标准1/4砖模块）。Demo采用四相交错BUCK拓扑，每相使用1颗半桥驱动器INS2002FQ和2颗GaN INN100W032A实现功率传输，控制器使用多相控制芯片LTC7871，可以实现CC/CV控制，并具有过压、欠压、短路等保护功能。

重点器件

- INN100W032A*8
- INS2002FQ*4

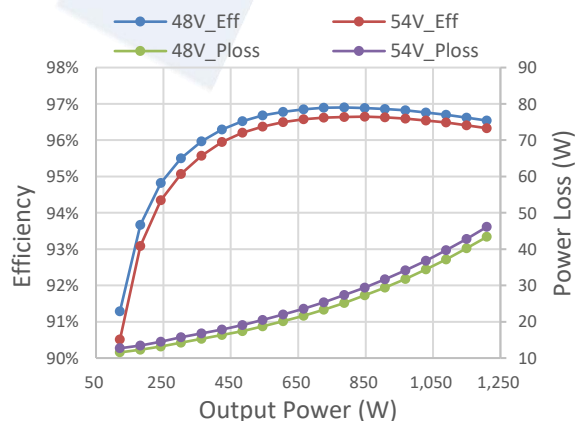
实物图



应用场景

- 服务器电源
- 新能源汽车电源
- 工业/通信电源

测试数据



目 录

1. 概述	1
1.1. 引言	1
1.2. 特性	1
1.3. 应用场景	1
2. 关键参数	2
3. Demo方案	3
3.1. 拓扑	3
3.2. GaN的应用优势	3
3.3. 重点器件介绍	3
3.3.1. INN100W032A	3
3.3.2. INS2002FQ	4
4. 硬件方案	5
4.1. 硬件介绍	5
4.2. 设计要点	6
4.2.1. InnoGaN驱动电路设计	6
5. Demo测试结果	7
5.1. 效率曲线	7
5.2. 开关波形	7
5.3. 输出电压纹波	8
5.4. 温度测试结果	8
附录Appendix	9
附录 A. 测试指导 Testing guidance	9
附录 B. 原理图	11
附录 C. PCB Layout	13
附录 D. BOM	15
历史版本	18

1. 概述

1.1. 引言

INNDDD1K0D1是一款 1kW 四相交错降压电源Demo，输入电压40Vdc-60Vdc，输出 12V/85A，最大输出功率 1kW，峰值效率为 96.9%@720W，满载效率为 96.76%@1kW，增强散热后可以提升功率到 1.2kW，效率 96.54%，功率级尺寸 58.4*36.8*12mm（1/4砖）。Demo采用四相交错Buck拓扑，每相使用1颗半桥驱动器 INS2002FQ 和 2 颗 GaN INN100W032A 实现功率传输，控制器使用多相控制芯片 LTC7871，可以实现CC/CV控制，并具有过压、欠压、短路等保护功能。

1.2. 特性

- 主要优势
 - 高开关频率，高功率密度（1/4砖）
 - 多相交错Buck拓扑具有灵活的拓展性
 - 高效率：峰值效率96.9%，满载效率96.76%
- 保护功能
 - 输入欠压/过压保护
 - 输出过压/过流保护
 - 输出短路保护

1.3. 应用场景

- 服务器电源
- 新能源汽车电源
- 工业通信电源

2. 关键参数

本节介绍了INNDDDD1K0D1的关键电气详细参数，参见表1。

表 1 关键电气参数表($T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Unit
系统规格						
V_{IN}	DC输入电压		40	48	60	V
V_{IN_UV}	输入欠压保护		-	39	-	V
V_{IN_OV}	输入过压保护		-	63	-	V
F_{SW}	开关频率			330		kHz
V_{OUT}	输出电压		-	12	-	V
V_{OUT_OV}	输出过压保护		-	15	-	V
I_{OUT_LIMIT}	输出限流		-	100	-	A
P_{OUT}	输出功率	450LFM AirFlow	-	-	1000	W
Demo性能						
Eff_{PK}	峰值效率	$V_{IN}=48\text{Vdc}$, Output=12V/60A	-	96.90	-	%
Eff	满载效率	$V_{IN}=48\text{Vdc}$, Output=12V/85A	-	96.76	-	%
V_{RIPPLE}	输出电压纹波	$V_{IN}=48\text{Vdc}$, Output=12V/85A	-	-	200	mV

3. Demo方案

3.1. 拓扑

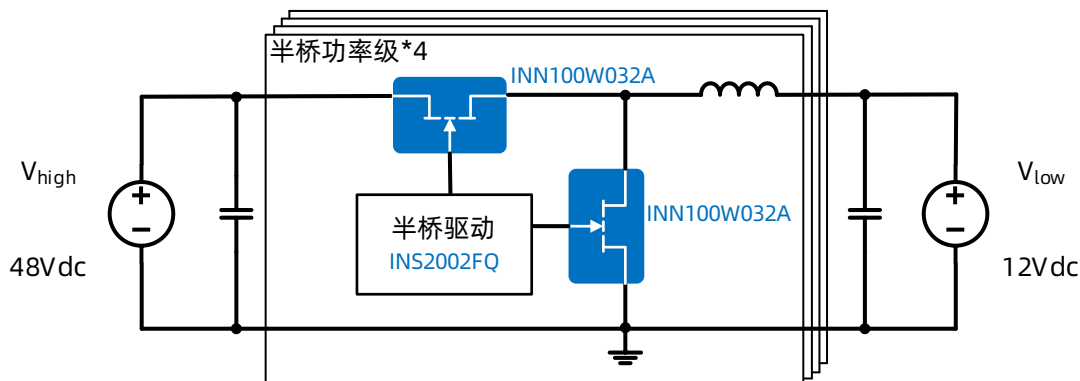


图 1 INNDDD1K0D1系统框图

如图1所示，Demo采用四相交错Buck拓扑，每相使用1颗半桥驱动器INS2002FQ和2颗GaN INN100W032A实现功率传输，控制器使用多相控制芯片LTC7871，可以实现CC/CV控制，并具有过压、欠压、短路等保护功能。

多相交错拓扑可以有效降低输入输出的电流纹波，降低电感和电容的体积，有助于提升系统功率密度。另外多相交错也具有十分灵活的拓展功能，LTC7871控制器单芯片可以支持6相交错，并且支持多芯片并联，可以实现更大功率的系统应用。

3.2. GaN的应用优势

BUCK拓扑是典型的硬开关拓扑，电路中功率器件的开关损耗较大，较大的开关损耗限制电路无法选择高开关频率。开关损耗主要由两部分构成：输出电容损耗 P_{OSS} 和交叠损耗 $P_{on}+P_{off}$ ，输出电容损耗 P_{OSS} 和器件的 C_{OSS} 和 Q_{OSS} 直接相关，交叠损耗 $P_{on}+P_{off}$ 和器件的开关速度也就是 Q_G 直接相关。

GaN 作为第三代半导体材料，具有优异的特性，在相同的导通电阻 R_{on} 下，具有更小的 Q_{OSS} 和 Q_G ，这就带来了更低的开关损耗；此外GaN HEMT没有反向恢复电荷 Q_{RR} ，也就没有反向恢复损耗。以上特性都带来一个巨大优势，BUCK电路可以选择更高的开关频率，开关频率提高后，可以降低电感和电容的体积，提升功率密度。

3.3. 重点器件介绍

3.3.1. INN100W032A

INN100W032A是英诺赛科的一款采用Solder Bar WLCSP 3.5mm x 2.13mm封装的100V硅基氮化镓增强型功率晶体管，其封装尺寸面积仅为相同导阻Si MOS的四分之一。其电气参数参见表2。

表 2 INN100W032A电气参数表(T_j= 25 °C)

Parameter	Value	Unit
V _{DS_MAX}	100	V
R _{DS(on)_MAX} @V _G =5V	3.2	mΩ
Q _{Q_TYP} @V _{DS} =50V	9.2	nC
I _{D_PULSE}	230	A
Q _{OSS} @V _{DS} =50V	50	nC
Q _{RR} @V _{DS} =50V	0	nC

3.3.2. INS2002FQ

INS2002FQ 是英诺赛科的一款采用 FCQFN 3mmx3mm 封装的 100V 半桥驱动器。它是专门为驱动 GaN 设计的，内部有针对上管自举电路 BST 的钳位电路，可以保护 GaN 的栅极，确保工作在安全的驱动电压范围内，同时芯片具有 VCC 和 BST 欠压锁定、VCC 过压锁定和过热保护等功能。

INS2002FQ 的驱动输入是 3 态 PWM 信号，可以输入高电平和低电平分别控制半桥功率管上下管开通关断，此外悬空 PWM 可以实现两个功率管同时关断。对于 PWM 输入信号到功率管的驱动信号，可以改变外部死区配置电阻灵活调节死区时间，芯片内部通过检测栅极信号来实现接近零死区的效果。此外芯片提供单独的驱动上拉和下拉输出引脚，用来分别调节开通和关断速度，配合芯片驱动能力强和传播延迟低的特性，十分适合用于高功率和高频率应用，图 2 显示了 INS2002FQ 典型的应用电路图。

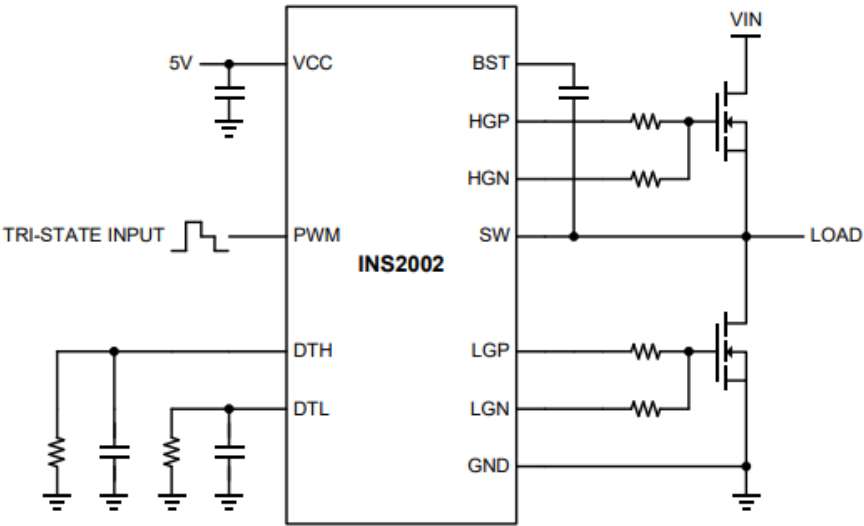


图 2 INS2002FQ 典型应用电路图

4. 硬件方案

4.1. 硬件介绍

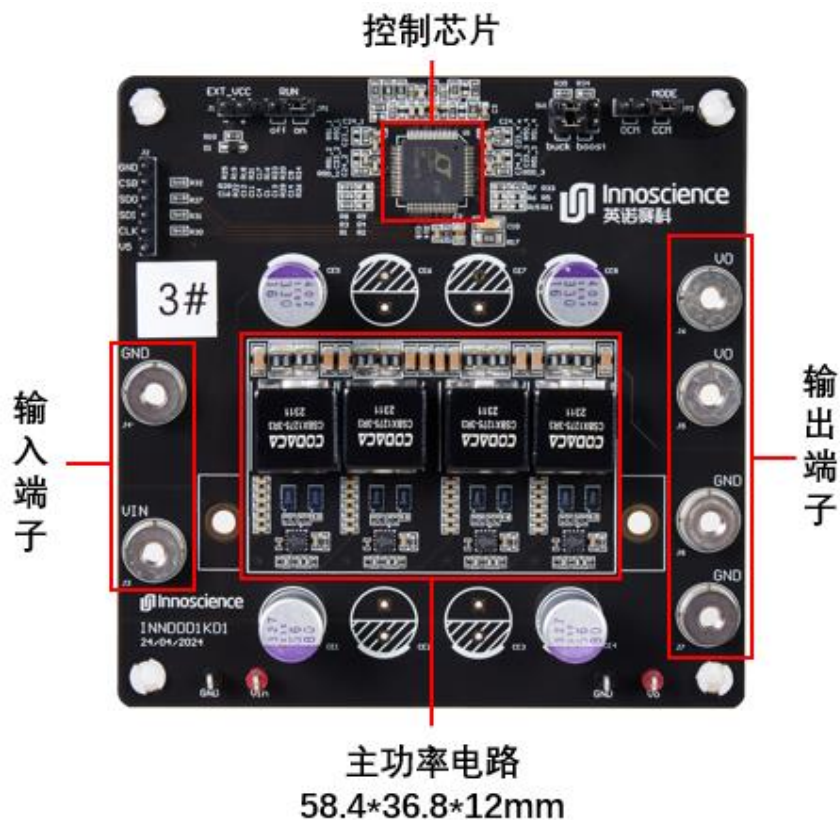


图 3 Top视图

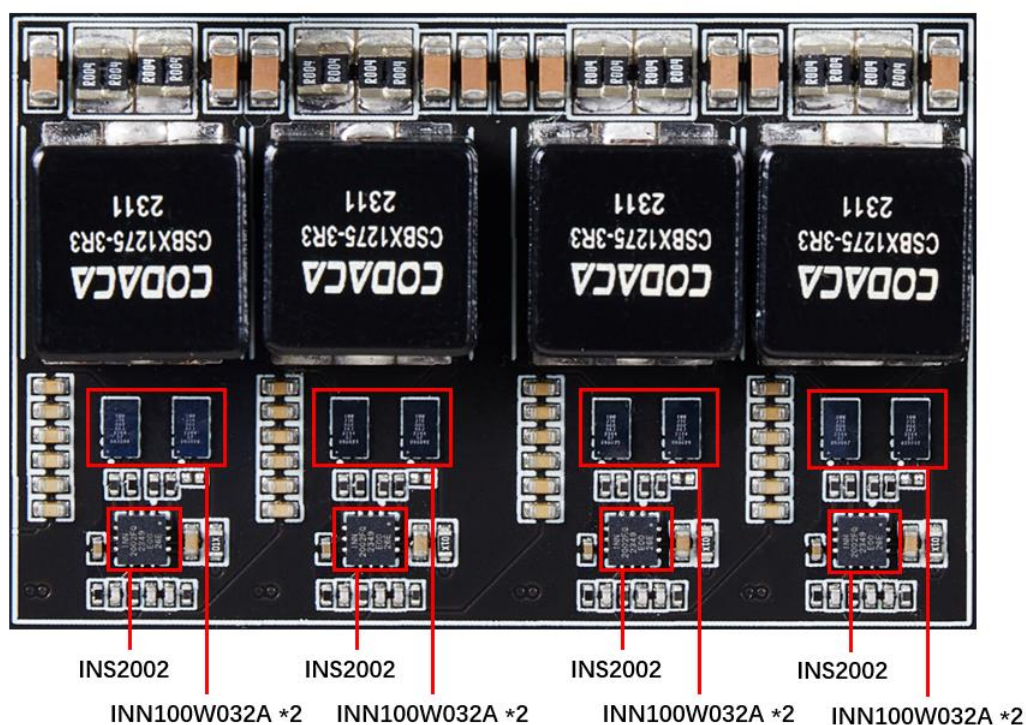


图 4 主功率电路Top视图

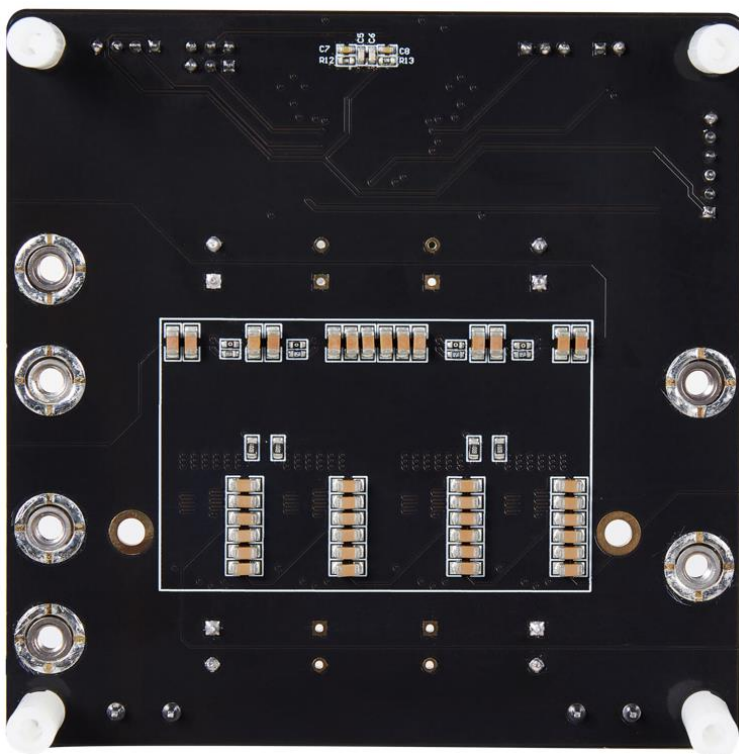


图 5 Bottom视图

图3、图4、图5分别是Demo板的Top视图、主功率电路Top视图、Bottom视图。Demo整板尺寸100mm*100mm，左侧为输入端子，右侧为输出端子，功率端子均采用M4的贴片螺母，推荐使用M4螺钉和OT冷压端子连接输入输出线。

主功率电路位于Demo板中央，主功率电路占板面积58.4mm*36.8mm，为标准的四分之一砖电源模块尺寸。

4.2. 设计要点

4.2.1. InnoGaN驱动电路设计

INS2002FQ作为一款直驱GaN的芯片，驱动电路简洁，如图6所示，参考数据手册的典型应用电路即可实现可靠的电路设计。

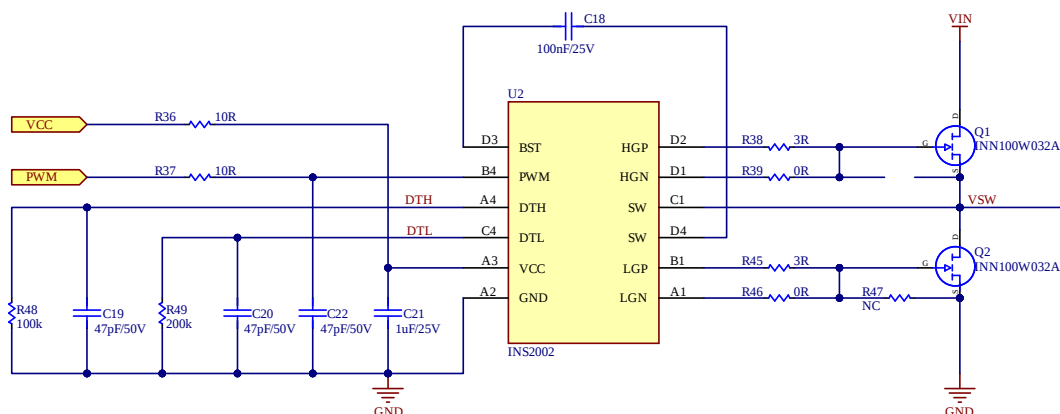


图 6 栅极驱动电路

5. Demo测试结果

5.1. 效率曲线

Demo的效率曲线如图7所示。

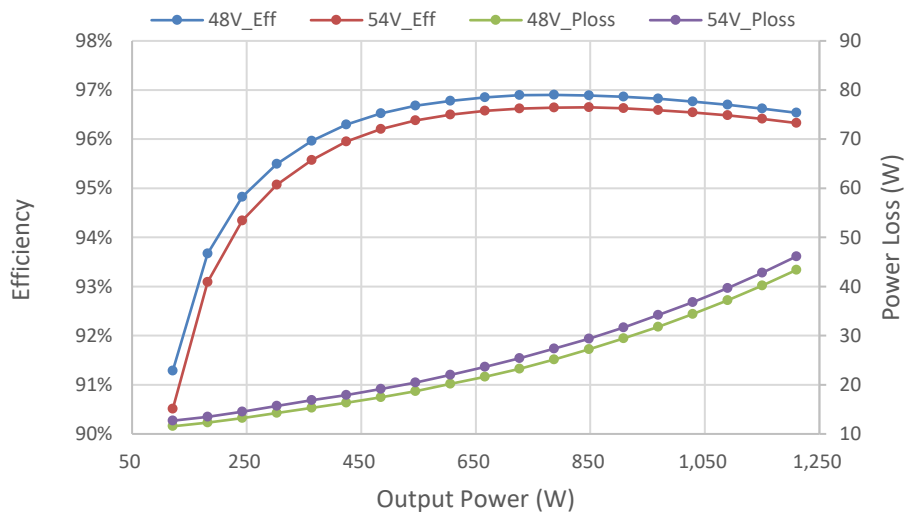
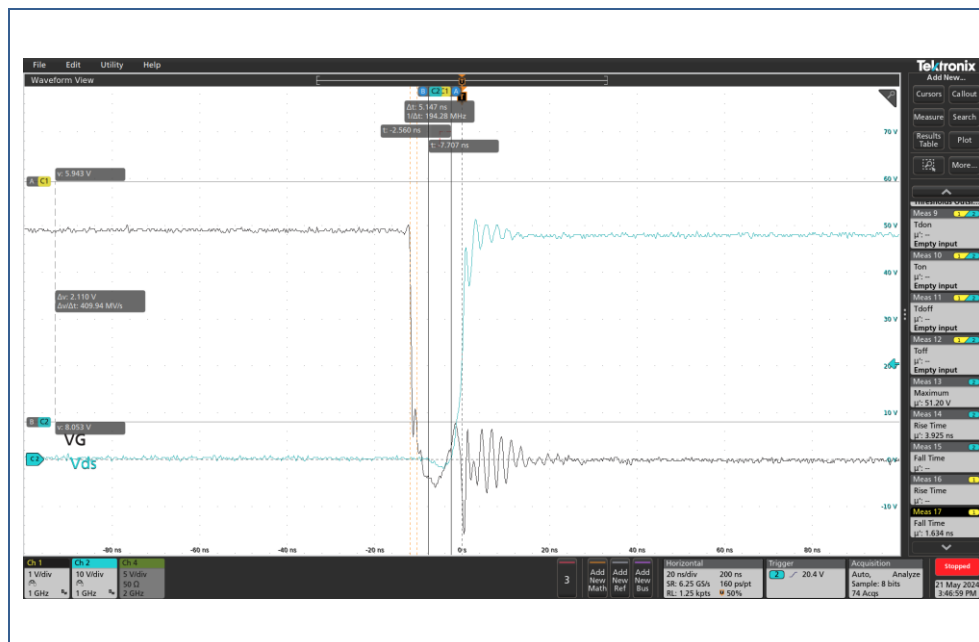


图 7 效率曲线

5.2. 开关波形



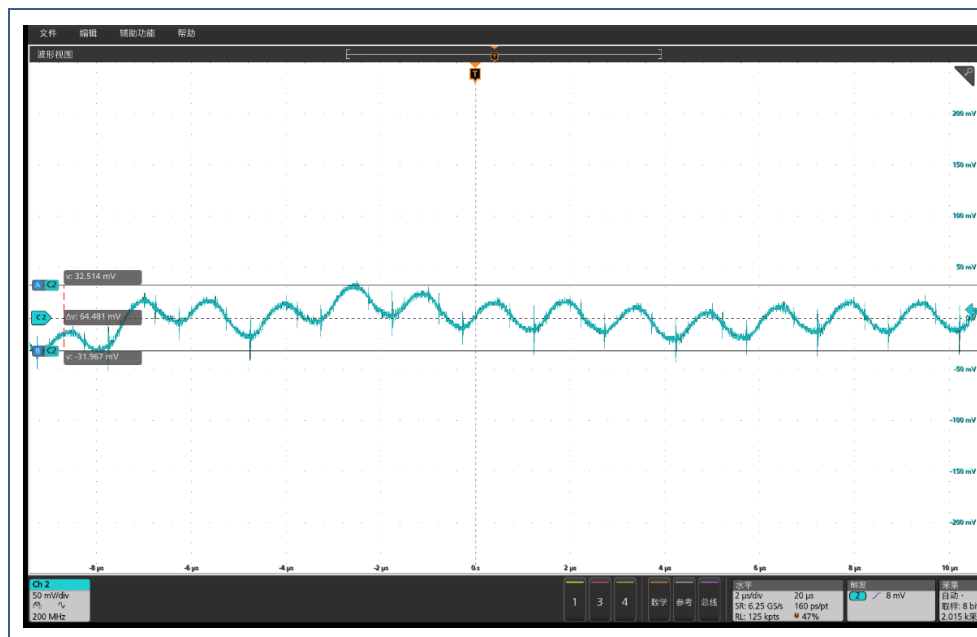
测试条件

$V_{IN}=48Vdc$
 $V_{OUT}=12Vdc$
 $I_{out}=80A$
 $F_{sw}=330kHz$
450LFM Airflow

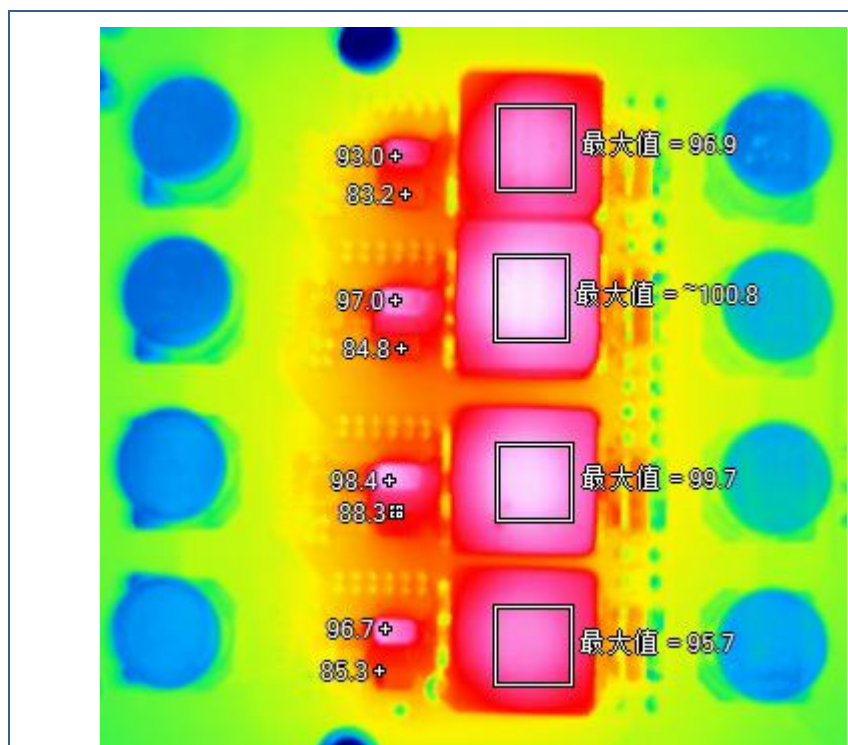
测试结果

$V_{DS_MAX}: 51.2V$
 $V_{SW} \text{ overshoot}: 3.2V$
 $V_{GS} \text{ falling time} :$
1.63ns
 $V_{DS} \text{ rising time}: 3.93ns$

5.3. 输出电压纹波



5.4. 温度测试结果

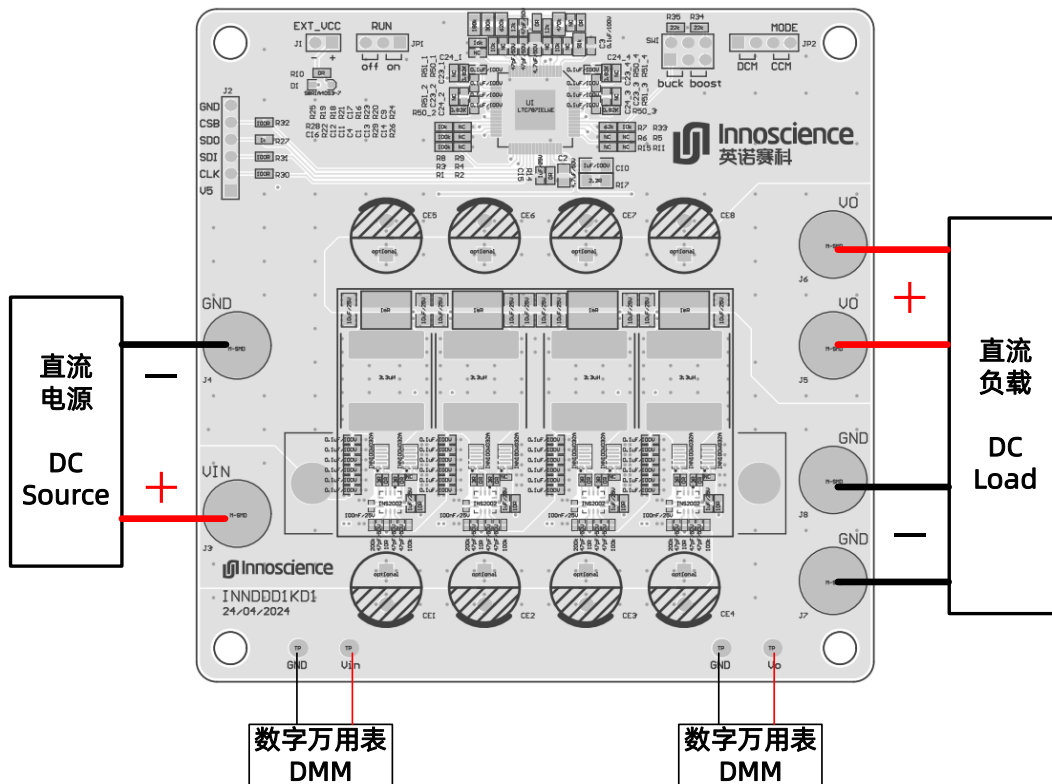


附录Appendix

附录 A. 测试指导 Testing guidance

1、 测试点位置和接线示意图

Test point location and wiring diagram



附录图 1 测试电位和接线示意图

2、 上电顺序

Power on sequence

- 1) 将直流电压源连接到VIN端和GND端，如附录图1所示（注意极性）。

Connect the DC voltage source to the VIN and GND terminals, as shown in Appendix Figure 1 (note polarity).

- 2) 将直流负载连接到VO端和GND端，如附录图1所示（注意极性）。

Connect the DC load to the VO and GND terminals, as shown in Appendix Figure 1 (note polarity).

- 3) 将两个数字万用表分别连接到输入和输出测试点，如附录图1所示（注意极性）。

Connect two digital multimeters to the input and output test points respectively, as shown in Appendix Figure 1 (note polarity).

- 4) 在空载条件下，打开直流电压源，缓慢将输入电压增加到所需值 ($\leq 60V$)。

Turn on the DC voltage source with no load and slowly increase the input voltage to the desired value ($\leq 60V$).

- 5) 确认输出电压正常建立后，负载加载，缓慢增加负载电流，注意器件最高温度不超过 125°C ，根据带载情况加风扇。

Confirm the output voltage is correct, then slowly increase the load current. Pay attention to the maximum temperature of the device not exceeding 125°C , and add a fan according to the load situation.

3、 下电顺序

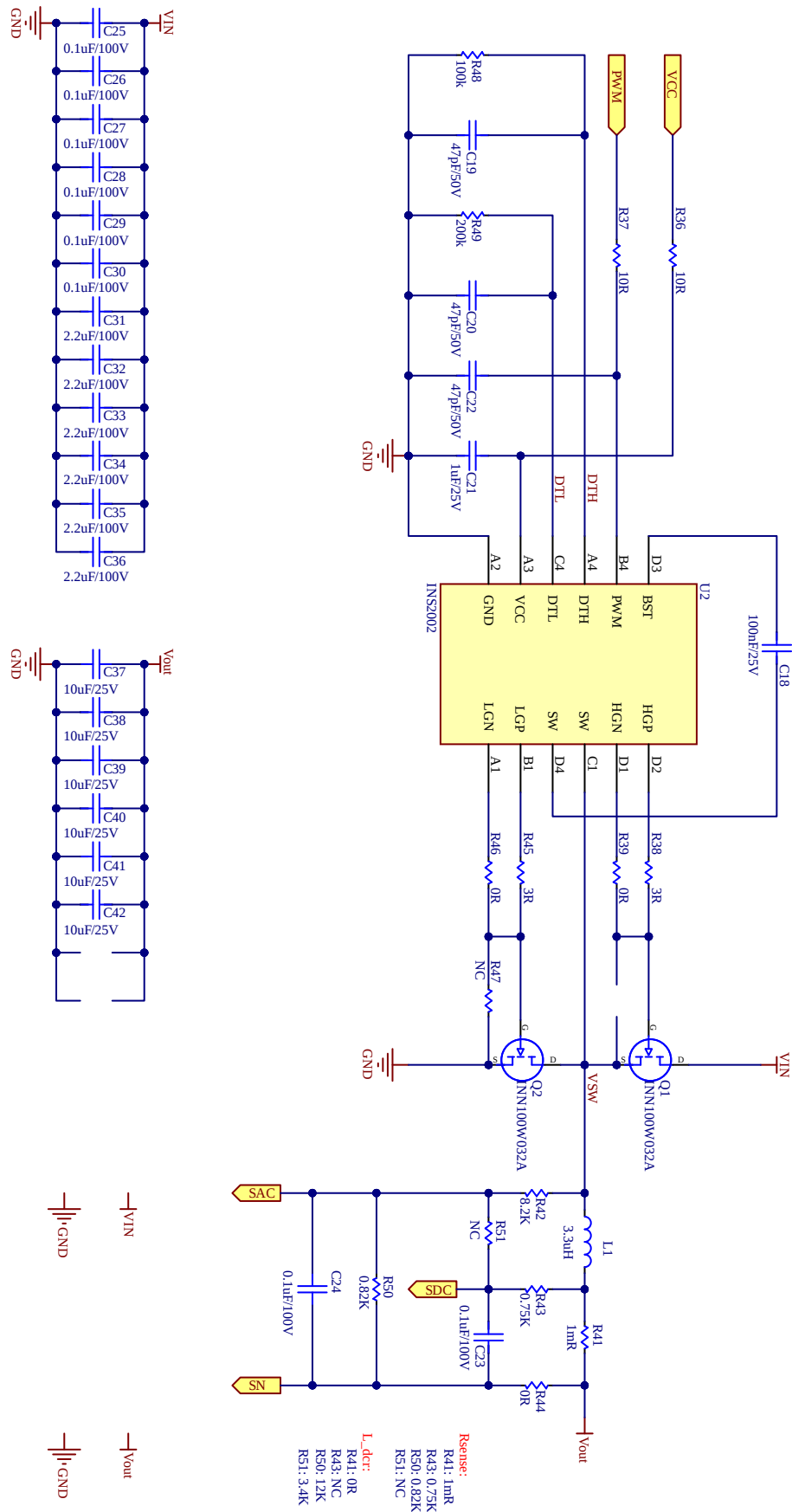
Power off sequence

- 1) 关闭负载。

Turn off the DC load.

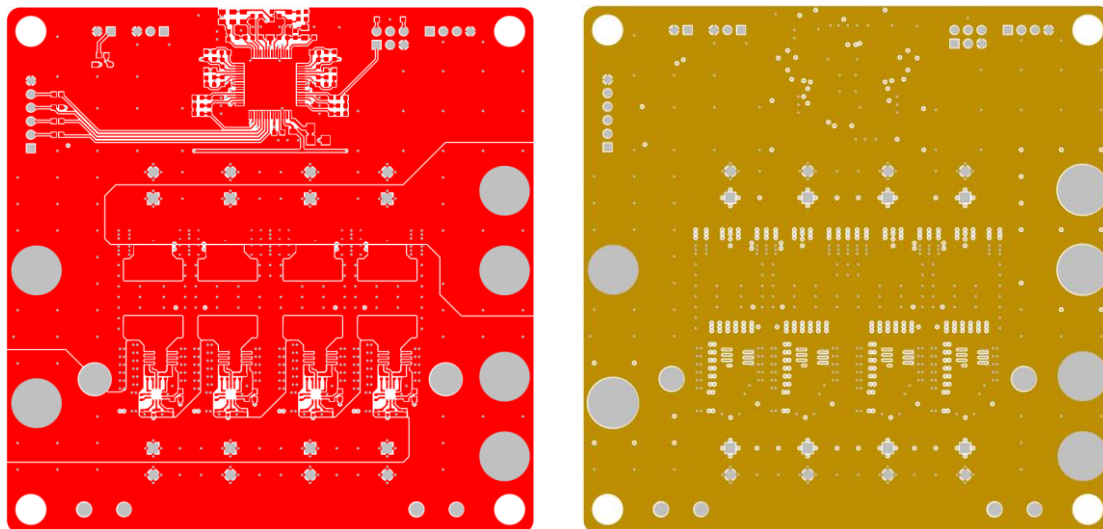
- 2) 关闭直流电压源。

Turn off the DC source.

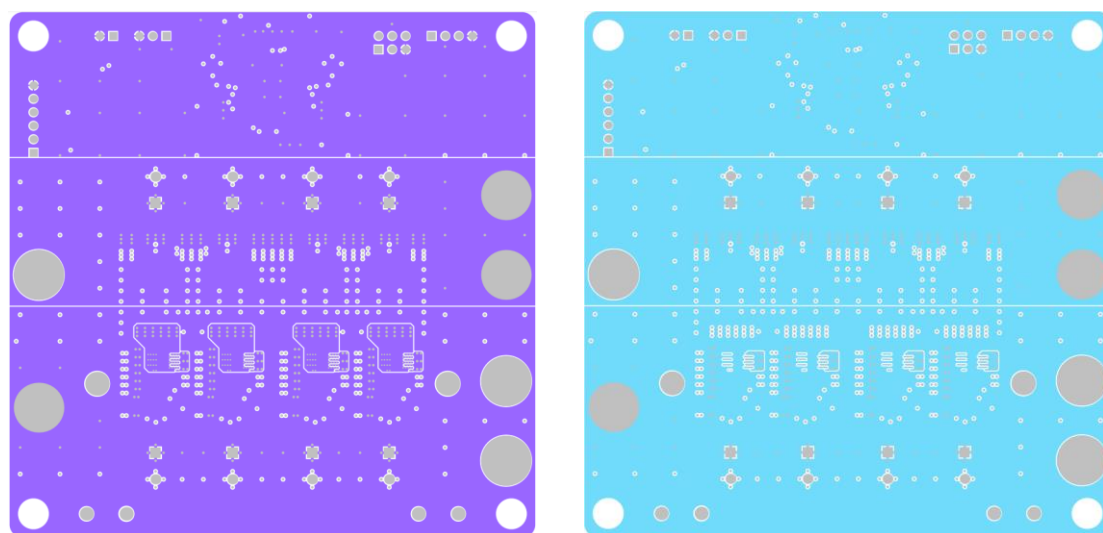


附录图 4 INNDDDD1K0D1 电路原理图

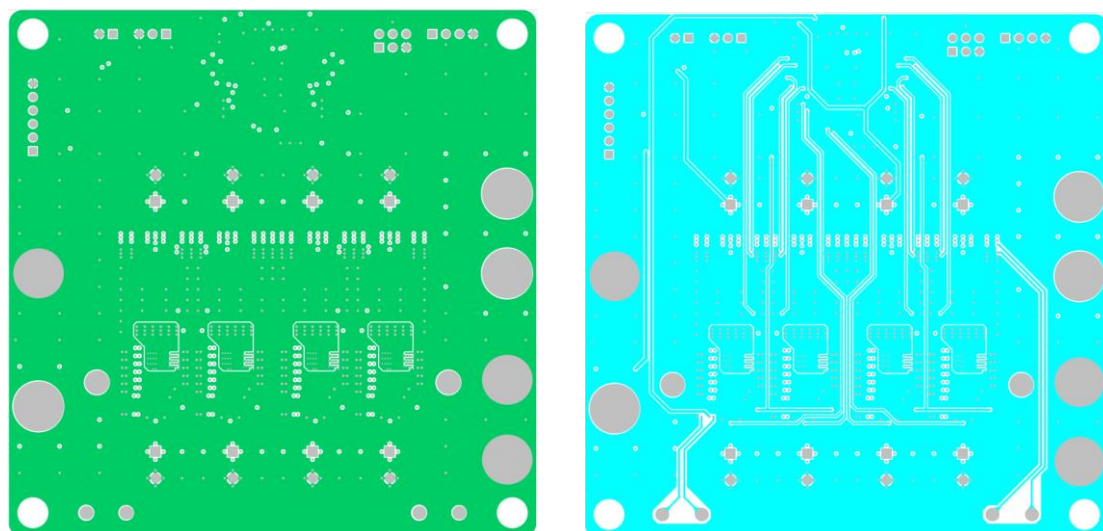
附录 C. PCB Layout



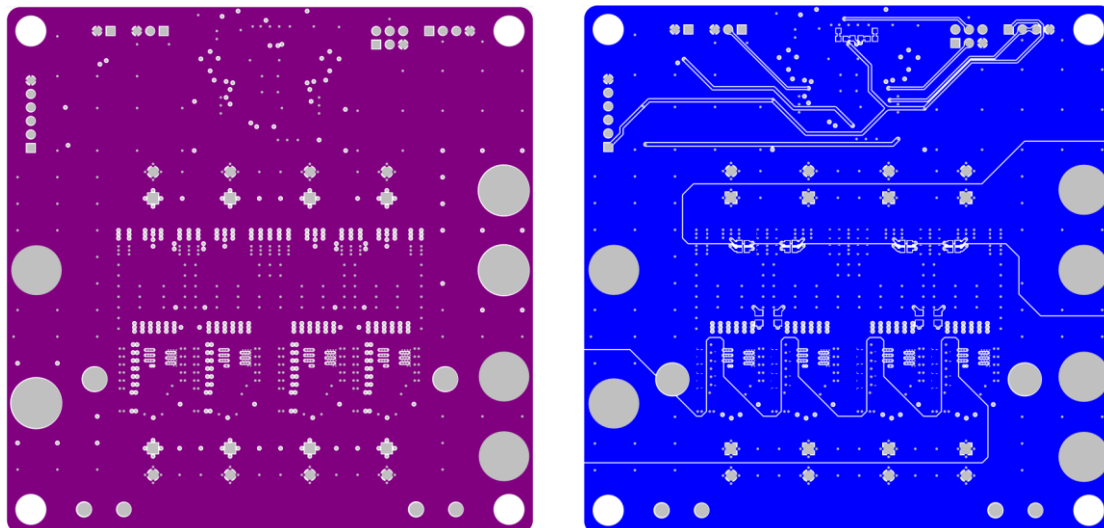
附录图 5 Top Layer (左图) 2-Layer (右图)



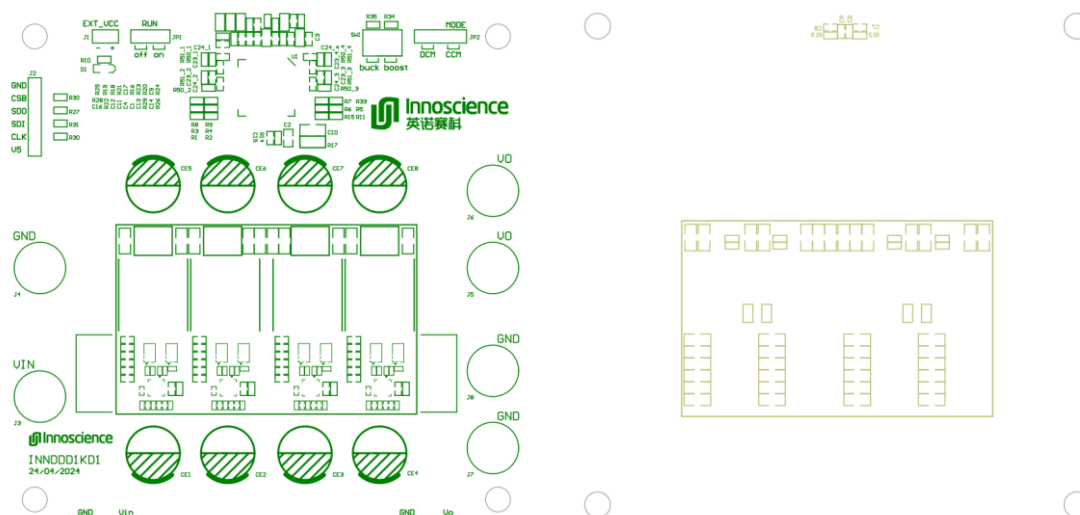
附录图 6 3-Layer (左图) 4-Layer (右图)



附录图 7 5-Layer (左图) 6-Layer (右图)



附录图 8 7-Layer (左图) Bottom Layer (右图)



附录图 9 Top Silkscreen (左图) Bottom Silkscreen (右图)

附录 D. BOM

Part Number	Manufacture	Description	Designator	Footprint	Quantity
GRM21BR61H475KE 51L	Murata	Cap, 4.7uF, X5R, 50V, 10%, 0805	C1, C2	0805	2
CL10B104KC8NNNC	SAMSUNG	Cap, 0.1uF, X7R, 100V, 10%, 0603	C3, C7, C8, C23_1, C23_2, C23_3, C23_4, C24_1, C24_2, C24_3, C24_4, C25_1, C25_2, C25_3, C25_4, C26_1, C26_2, C26_3, C26_4, C27_1, C27_2, C27_3, C27_4, C28_1, C28_2, C28_3, C28_4, C29_1, C29_2, C29_3, C29_4, C30_1, C30_2, C30_3, C30_4	0603	35
0603CG470J500NT	FH	Cap, 47pF, C0G, 50V, 5%, 0603	C4, C5, C6, C11, C17	0603	5
NC	-	Cap, NC, 0603	C9, C12, C13, C14, C16	0603	5
C3216X72A105KTO LOU	TDK	Cap, 1uF, X7R, 100V, 10%, 1206	C10	1206	1
CL10B105KA8NNNC	SAMSUNG	Cap, 1uF, X7R, 25V, 10%, 0603	C15, C21_1, C21_2, C21_3, C21_4	0603	5
0402B104K250CT	Walsin	Cap, 100nF, X7R, 25V, 10%, 0402	C18_1, C18_2, C18_3, C18_4	0402	4
GRM1555C1H470JA 01D	Murata	Cap, 47pF, C0G, 50V, 5%, 0402	C19_1, C19_2, C19_3, C19_4, C20_1, C20_2, C20_3, C20_4, C22_1, C22_2, C22_3, C22_4	0402	12
CL31B225KCHSNE	SAMSUNG	Cap, 2.2uF, X7R, 100V, 10%, 1206	C31_1, C31_2, C31_3, C31_4, C32_1, C32_2, C32_3, C32_4, C33_1, C33_2, C33_3, C33_4, C34_1, C34_2, C34_3, C34_4, C35_1, C35_2, C35_3, C35_4, C36_1, C36_2, C36_3, C36_4	1206	24
CL31B106KAHNNNE	SAMSUNG	Cap, 10uF, X7R, 25V, 10%, 1206	C37_1, C37_2, C37_3, C37_4, C38_1, C38_2, C38_3, C38_4, C39_1, C39_2, C39_3, C39_4, C40_1, C40_2, C40_3, C40_4, C41_1, C41_2, C41_3, C41_4, C42_1, C42_2, C42_3, C42_4	1206	24
80SXE56M	-	Cap, 56uF, 80V, EC10*12.5*5.0	CE1, CE4	EC10*12.5* 5.0	2
16SEQP330M	-	Cap, 330uF, 16V, EC10*12.5*5.0	CE5, CE8	EC10*12.5* 5.0	2
optional	-	Cap, optional, EC10*12.5*5.0	CE2, CE3, CE6, CE7	EC10*12.5* 5.0	4

0603WAF1003T5E	UNI-ROYAL	Res, 100k, 1%, 0.1W, 0603	R1, R3	0603	2
NC	-	Res, NC, 0603	R2, R4, R5, R6, R9, R11, R15, R51_1, R51_2, R51_3, R51_4	0603	11
RS-03K6202FT	FH	Res, 62k, 1%, 0.1W, 0603	R7	0603	1
0603WAF1002T5E	UNI-ROYAL	Res, 10k, 1%, 0.1W, 0603	R8, R22, R29, R33	0603	4
0603WAF0000T5E	UNI-ROYAL	Res, 0R, 1%, 0.1W, 0603	R10, R14, R16, R24, R44_1, R44_2, R44_3, R44_4	0603	8
RS-03K1501FT	FH	Res, 1.5k, 1%, 0.1W, 0603	R12	0603	1
0603WAF4021T5E	UNI-ROYAL	Res, 4.02k, 1%, 0.1W, 0603	R13	0603	1
RS-06L2R20FT	FH	Res, 2.2R, 1%, 0.25W, 1206	R17	1206	1
0805W8F6203T5E	UNI-ROYAL	Res, 620k, 1%, 0.125W, 0805	R18	0805	1
RC0805FR-07300KL	YAGEO	Res, 300k, 1%, 0.125W, 0805	R19	0805	1
RS-05K4703FT	FH	Res, 470k, 1%, 0.125W, 0805	R20	0805	1
0603WAF1202T5E	UNI-ROYAL	Res, 12k, 1%, 0.1W, 0603	R21, R23	0603	2
RS-05K1803FT	FH	Res, 180k, 1%, 0.125W, 0805	R25	0805	1
0805W8F9102T5E	UNI-ROYAL	Res, 91k, 1%, 0.125W, 0805	R26	0805	1
0603WAF1001T5E	UNI-ROYAL	Res, 1k, 1%, 0.1W, 0603	R27	0603	1
0603WAF1602T5E	UNI-ROYAL	Res, 16k, 1%, 0.1W, 0603	R28	0603	1
0603WAF1000T5E	UNI-ROYAL	Res, 100R, 1%, 0.1W, 0603	R30, R31, R32	0603	3
RS-03K2202FT	FH	Res, 22k, 1%, 0.1W, 0603	R34, R35	0603	2
WR06X10R0FTL	Walsin	Res, 10R, 1%, 0.1W, 0603	R36_1, R36_2, R36_3, R36_4	0603	4
0402WGF100JTCE	UNI-ROYAL	Res, 10R, 1%, 62.5mW, 0402	R37_1, R37_2, R37_3, R37_4	0402	4
0402WGF300KTCE	UNI-ROYAL	Res, 3R, 1%, 62.5mW, 0402	R38_1, R38_2, R38_3, R38_4, R45_1, R45_2, R45_3, R45_4	0402	8
RTT0200000FTH	RALEC	Res, 0R, 1%, 62.5mW, 0402	R39_1, R39_2, R39_3, R39_4, R46_1, R46_2, R46_3, R46_4	0402	8
MSMA1225R0010FG M	Eaton	Res, 1mR, 1%, 3W, 1225 (or 4psc 4mR 1206 parallel)	R41_1, R41_2, R41_3, R41_4	1225 (4psc 1206)	4
0805W8F8201T5E	UNI-ROYAL	Res, 8.2k, 1%, 0.125W, 0805	R42_1, R42_2, R42_3, R42_4	0805	4
RC0603FR-07750RL	YAGEO	Res, 750R, 1%, 0.1W, 0603	R43_1, R43_2, R43_3, R43_4	0603	4
NC	-	Res, NC, 0402	R47_1, R47_2, R47_3, R47_4	0402	4
0402WGF1003TCE	UNI-ROYAL	Res, 100k, 1%, 62.5mW, 0402	R48_1, R48_2, R48_3, R48_4	0402	4
RTT022003FTH	RALEC	Res, 200k, 1%, 62.5mW, 0402	R49_1, R49_2, R49_3, R49_4	0402	4
0603WAF8200T5E	UNI-ROYAL	Res, 820R, 1%, 0.1W, 0603	R50_1, R50_2, R50_3, R50_4	0603	4
CSBX1275-3R3M	Codaca	Ind, 3.3uH, 2.7mR, 37A, 13.8*12.8*7.3	L1_1, L1_2, L1_3, L1_4	13*13	4
SBR1A40S3-7	DIODES	Diode, 40V, 1A, SOD-323	D1	SOD-323	1
INN100W032A	Innoscence	GaN, 100V, 3.2mΩ, WLCSP	Q1_1, Q1_2, Q1_3, Q1_4	WLCSP	8

		3.5*2.13	Q2_1, Q2_2, Q2_3, Q2_4	3.5*2.13	
LTC7871ELWE#PBF	ADI	IC, LTC7871ELWE, LQFP64	U1	LQFP64	1
INS2002FQ	Innoscience	IC, INS2002, FCQFN 3X3	U2_1, U2_2, U2_3, U2_4	FCQFN 3X3	4
2.54mm Header 2	-	Header, 2.54mm, 2-Pin	J1	HDR1X2	1
2.54mm Header 6	-	Header, 2.54mm, 6-Pin	J2	HDR1X6	1
9774040482R	Würth	M4 SMD terminal, 50A, M4*L4	J3, J4, J5, J6, J7, J8	M4	6
2.54mm Header 3	-	Header, 2.54mm, 3-Pin	JP1	HDR1X3	1
2.54mm Header 4	-	Header, 2.54mm, 4-Pin	JP2	HDR1X4	1
2.54mm Header 3X2	-	Header, 2.54mm, 3-Pin, Dual row	SW1	HDR2X3	1
5005/5006	Keystone	Red/Black test point, 1.6mm	TP1, TP2, TP3, TP4	1.6mm	4

历史版本

日期	版本	描述	编写
2025/2/13	1.0	第一版	AE 团队



Note:

There may be a dangerous voltage on the demo board, and exposure to high voltage may lead to safety problems such as injury or death.
Proper operating and safety procedures must be adhered to and used only for laboratory evaluation demonstrations and not directly to end-user equipment.



Reminder:

This product contains parts that are susceptible to electrostatic discharge (ESD). When using this product, be sure to follow antistatic procedures.



Disclaimer:

Innoscience reserves the right to make changes to the products or specifications described in this document at any time. All information in this document, including descriptions of product features and performance, is subject to change without notice. INNOIC ACCEPTS SURBIT ACCEPTS NO LIABILITY ARISING OUT OF THE USE OF ANY EQUIPMENT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN. The performance specifications and operating parameters of the products described in this article are determined in a stand-alone state and are not guaranteed to be performed in the same manner when installed in the customer's product. Samples are not suitable for extreme environmental conditions. We make no representations or warranties, express or implied, as to the accuracy or completeness of the statements, technical information and advice contained herein and expressly disclaim any liability for any direct or indirect loss or damage suffered by any person as a result thereof. This document serves as a guide only and does not convey any license under the intellectual property rights of Innoscience or any third party.