

# 20kW SiC-Based Boost Converter Reference Design

## 20kW 全碳化硅升压变换器参考设计

Order Number: IVCT-REF00002

### 目录

1	简介 .....	2
2	设计参数 .....	2
3	设计尺寸和电源引脚 .....	3
4	电气特性 .....	4
5	板块组成 .....	4
6	测试数据 .....	6
7	附录 .....	9

## 1 简介

高压 BOOST 转换器广泛应用于新能源以及能源电池等领域，包括太阳能前级升压，高压电池充电以及不间断电源直流母线电压调节等。当总线电压高于 600V 时，目前主要是使用 IGBT 和 SiC 二极管的开关组合方式进行升压变换的。然而由于受 IGBT 开关频率的限制，控制电流的开关管频率难于超过 20kHz。而 SiC（碳化硅）MOSFET 在高频和高压工况下，具有比 IGBT 优越的开关特性，它的开关频率可以轻易推到 65kHz 或更高，并取得更好的效率，同时也减少 BOOST 主电感体积、以及 EMI 滤波器散热器的体积。本参考设计是一个 20kW 升压电路，通过对它的效率，波形等的测试，来验证和展示优越 SiC MOSFET 的开关特性。本设计是一个两相交错式 Boost 电路，每相使用两颗 SiC MOSFET 并联以及两颗 SiC 二极管并联，通过这种并联的方式使得 SiC MOSFET 以及 SiC 二极管可用于更大功率的场合。

## 2 设计参数

下表为 20kW 交错式 DC-DC 升压电路的参数说明

表 2-1 20kW BOOST 电路参数说明

参数名称	参数值
输入电压范围	470VDC-800VDC
输出电压	850VDC
输出功率	20kW ( $V_{in} > 600V$ ) 15kW ( $V_{in} < 600V$ )
开关频率	65kHz
峰值效率	99.4%
拓扑结构	交错式 DC/DC BOOST 升压
SiC MOSFET	80 mohm / 1200 V x 2 x 2 IV1Q12080T4 ( TO-247-4 )
SiC Diode	10A / 1200 V x 2 x 2 IV1D12010T3 ( TO-247-3 )

### 3 设计尺寸和电源引脚

20kW 交错式 DC-DC 升压电路设计尺寸以及主电路电源输入输出引脚分别如图 3-1、3-2 所示，设计尺寸为：220 x 200 x 70 mm<sup>3</sup>。



图 3-1 20kW 交错式 DC-DC 升压电路实物图（尺寸为毫米）

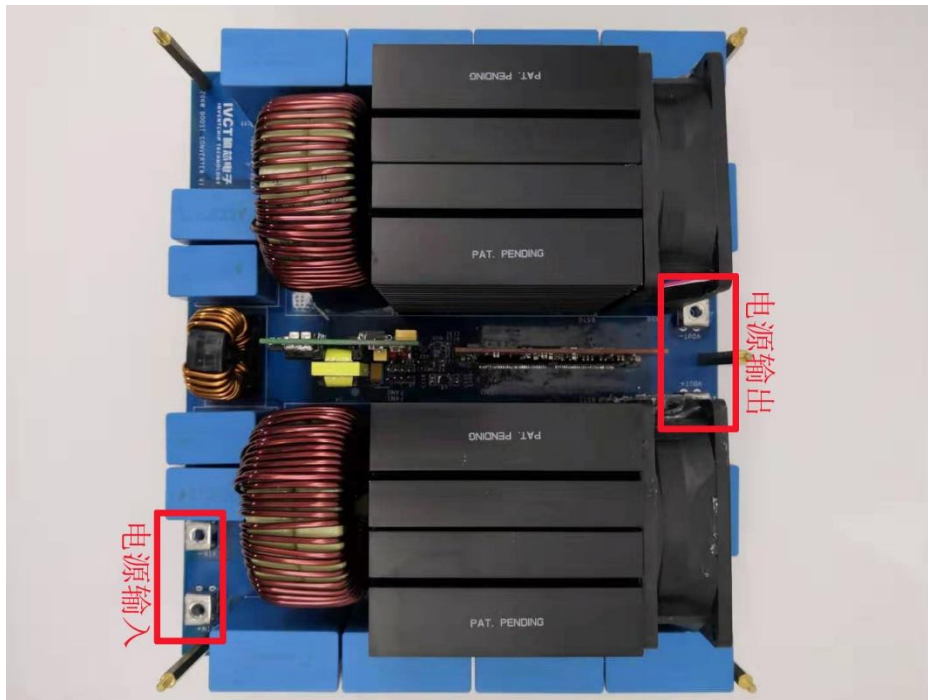


图 3-2 20kW 交错式 DC-DC 升压电路电源输入输出引脚

### 4 电气特性

20kW 交错式 DC-DC 升压电路的拓扑结构如图 4-1 所示，包含了两路 BOOST 电路，其中每路 BOOST 电路的功率为 10kW。每一路 BOOST 电路包含有两颗 SiC MOSFET IV1Q12080T4 以及两颗 SiC Diode IV1D12010T3，使用的碳化硅二极管具有较低的导通电压以及零反向恢复特性。20kW BOOST 电路的 PCB(printed circuit board)具有以下三个部分：第一部分，BOOST 电路的控制板卡。第二部分是 BOOST 电路的辅助电源板卡，为控制芯片、驱动电路以及风扇进行供电。第三部分是交错式 BOOST 电路的主电路，主电路由 EMI 滤波器，两路交错式的 Boost 变换器组成，每一支路用两个并联的 SiC MOSFET 以及两个并联的 SiC 二极管。

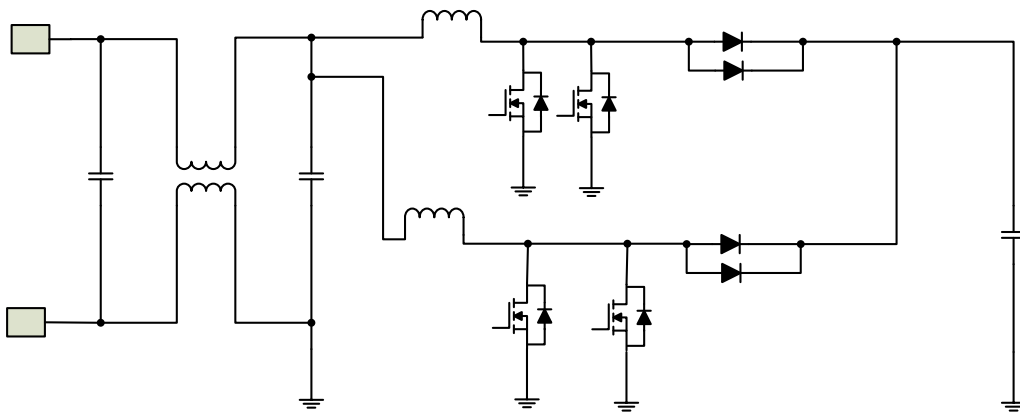


图 4-1 20kW 交错式 DC-DC 升压电路的拓扑结构

### 5 板块组成

20kW DC-DC 升压电路具有两路交错并联的 BOOST 电路，由控制板块、辅助电源板块、驱动电路模块以及主电路等部分组成，具体如图 5-1 所示，从左至右分别是：EMI 输入滤波部分，BOOST 主电感，辅助电源板卡，输出稳压电容，散热器部分，控制板卡等部分。具体设计可参考附录中给出的原理图设计。

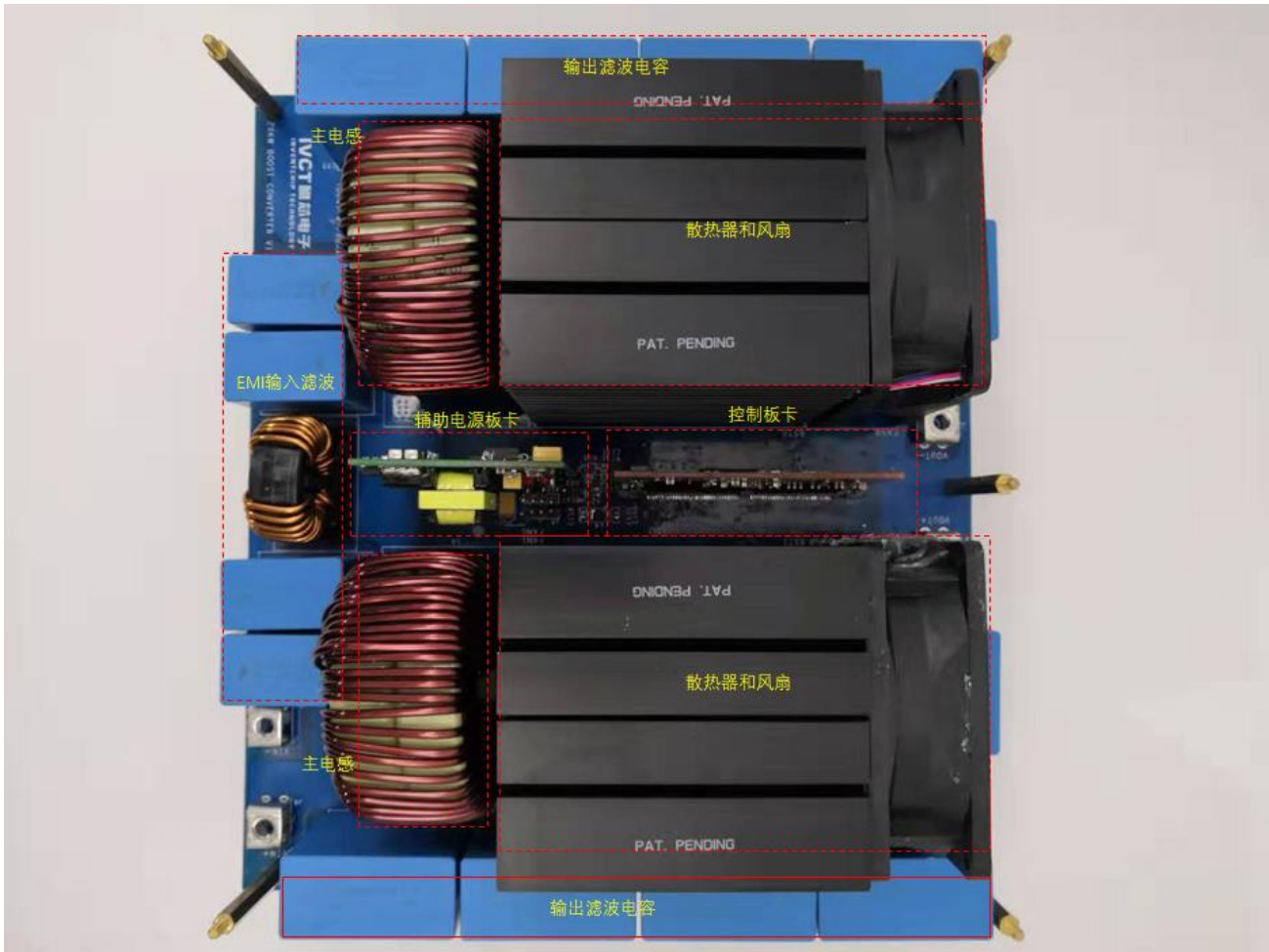


图 5-1 20kW 交错式 DC-DC 升压电路板组成

该板卡的插座引脚是根据 TI 公司生产的 DSP 板卡 TMDSCNCD280049C 而设计的，它可插 TI 的 DSP 板卡，也可插由瞻芯电子生产的控制卡 F280049C，或者混合控制卡（ST Micro Controller + FPGA）。板卡分别如图 5-2 和 5-3 所示。



图 5-2 控制板卡 1

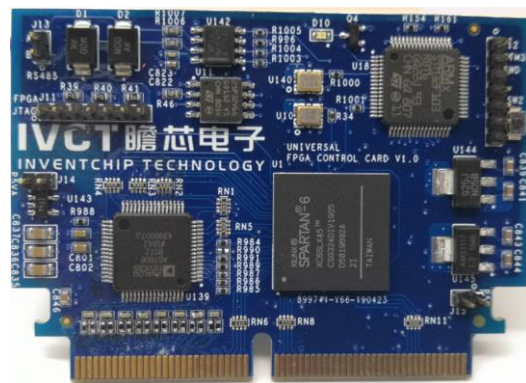


图 5-3 控制板卡 2

辅助电源板卡是由 UCC28740 芯片控制电路所组成的，通过控制反激电路产生辅助电源。电源板卡是瞻芯电子一款参考设计，主开关是 1200V SiC MOSFET，电源板卡可输入最高为 1000V，最大输出功率为 20W。从输入电源通过反激电路产生两路电源分别是 5V 电源——用于提供控制板卡以及驱动电路的电源，12V 电源——用于提供风扇的电源。

SiC MOSFET 的门级驱动信号使用的是由瞻芯电子自主研发的型号为 IVCR1401 的驱动芯片，是一款在 8 管脚封装集成负压驱动，并提供所有必需的保护和通信功能的碳化硅 MOSFET 栅极驱动芯片，具有更快的开关速度，新型碳化硅 MOSFET 专用栅极驱动芯片内部集成了负压电路，在无需外加负压电源的情况下，可以完成输出负压驱动提供更多的噪声裕量，使系统更稳定运行于各种复杂的应用环境，集成的过饱和/过流保护功能，响应时间仅有数百纳秒，可以更及时的保护碳化硅器件在各种干扰甚至短路情况下不损坏，同时将侦测到的错误信号向控制器汇报，新型碳化硅 MOSFET 栅极驱动芯片还内置了 5V 电源给隔离器供电，简化了配合隔离器芯片的电路设计。IVCR1401 门级驱动电路示意图如图 5-2。

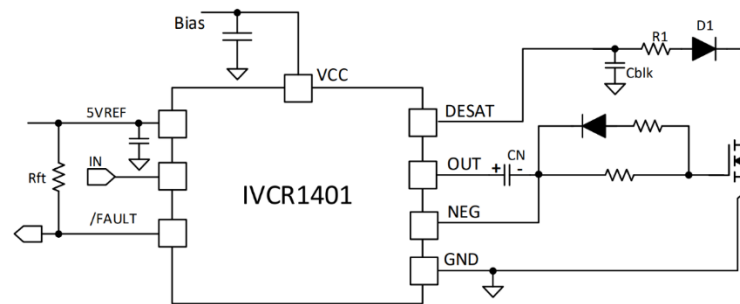


图 5-2 IVCR1401 门级驱动电路示意图

主电路是由两路 BOOST 电路交错并联组成，其中每路 BOOST 使用两颗 SiC MOSFET IV1Q12080T4 并联以及 SiC DIODE IV1D12010T3 并联组成。

## 6 测试数据

### 6.1 效率曲线

20kW 交错式 DC-DC 升压电路的每一路在 1kW 至 10kW 的测量效率曲线如图所示，输入电压为 600V 直流输入，输出电压为 800V 直流输出，20kW 交错式 DC-DC 升压电路的最高转换效率达到 99.4% 以上，效率曲线如图 6-1 所示。

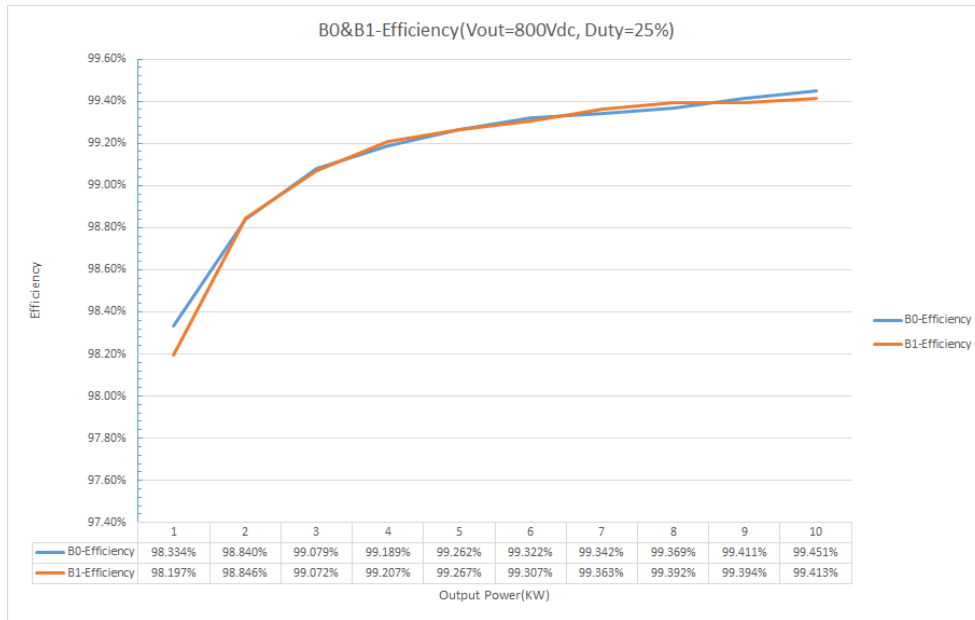


图 6-1 20kW 交错式 DC-DC 升压电路效率曲线

## 6.2 开关波形

20kW 交错式 DC-DC 升压电路在 20kW 工作状态下，SiC MOSFET Q1 的开关波形以及电感电流波形如下图所示，其中图 6-2 中 ID（绿色）为升压电感电流，VGS（紫色）为 SiC MOSFET 的驱动波形，VDS（蓝色）为 SiC MOSFET 的栅漏电压波形。图 6-3 (a) 为 20kW 下 SiC MOSFET 的导通波形，图 6-3 (b) 为 20kW 下 SiC MOSFET 的关断波形。

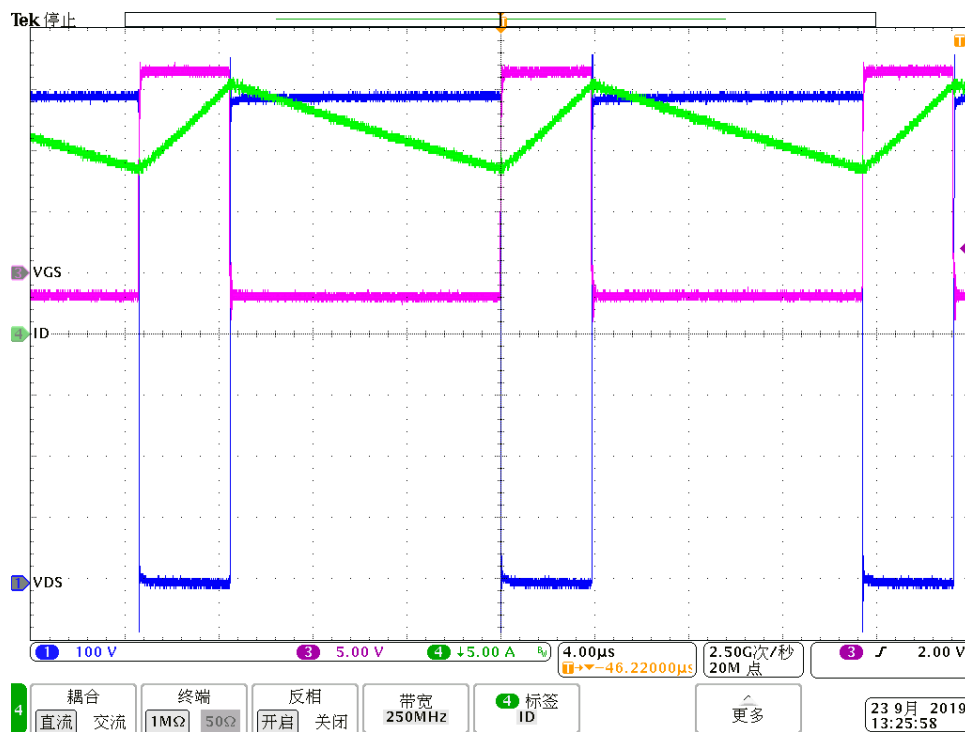


图 6-2 20kW 交错式 DC-DC 升压电路开关及电感波形

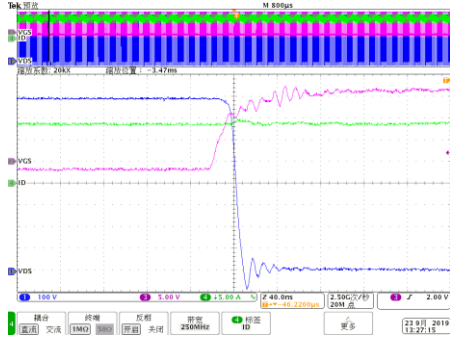


图 6-3 (a) MOSFET 导通波形

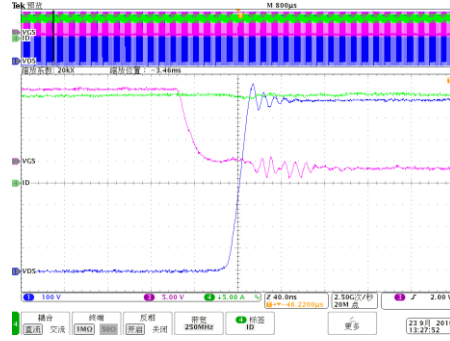


图 6-3 (b) MOSFET 关断波形

### 6.3 温升曲线

20kW 交错式 DC-DC 升压电路的每路在 1kW 至 10kW 时工作的温升情况如图 6-4 所示，输入电压为 600V 直流输入，输出电压为 800V 直流输出，从温升曲线可以看出，即使工作在 20kW 时，SiC MOSFET 的温升也只有 15 度左右。

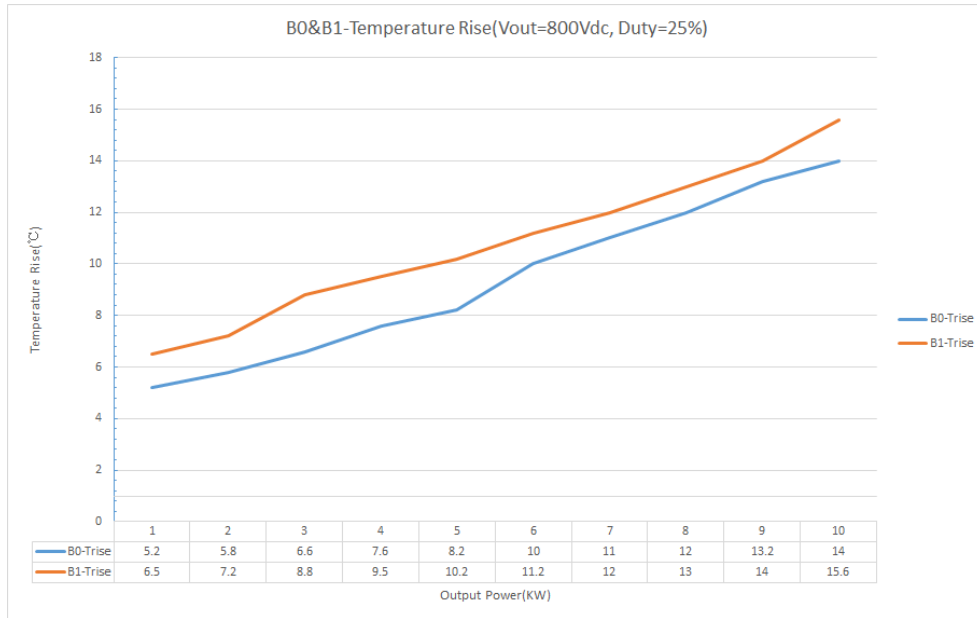


图 6-4 20kW 交错式 DC-DC 升压电路的温升曲线



## 7 附录

### BOOST 电感参数

Material/磁芯材料: Nanodust Core(KAM Magnetic Power Cores, 浙江东睦科达磁电有限公司)

Core/磁芯型号: KAM225-060A

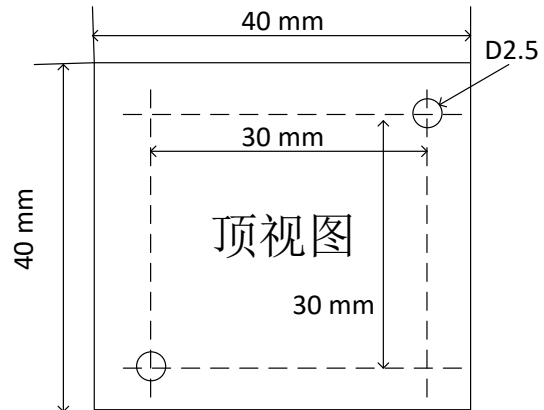
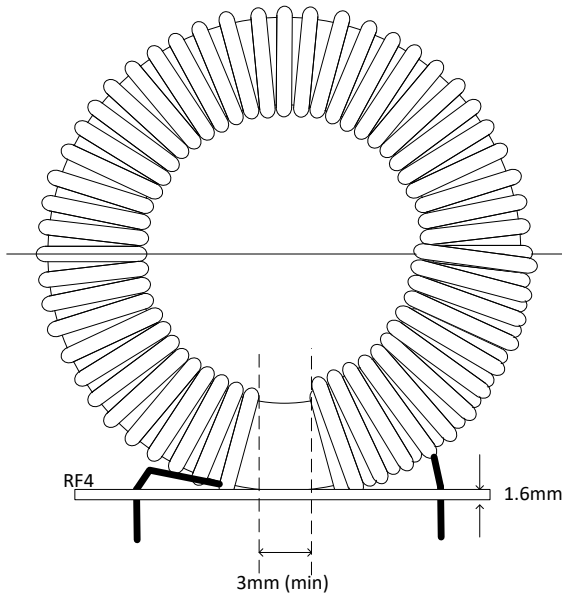
Structure/结构: Two cores stacked/两磁芯叠层

Wire/线号: AWG 12

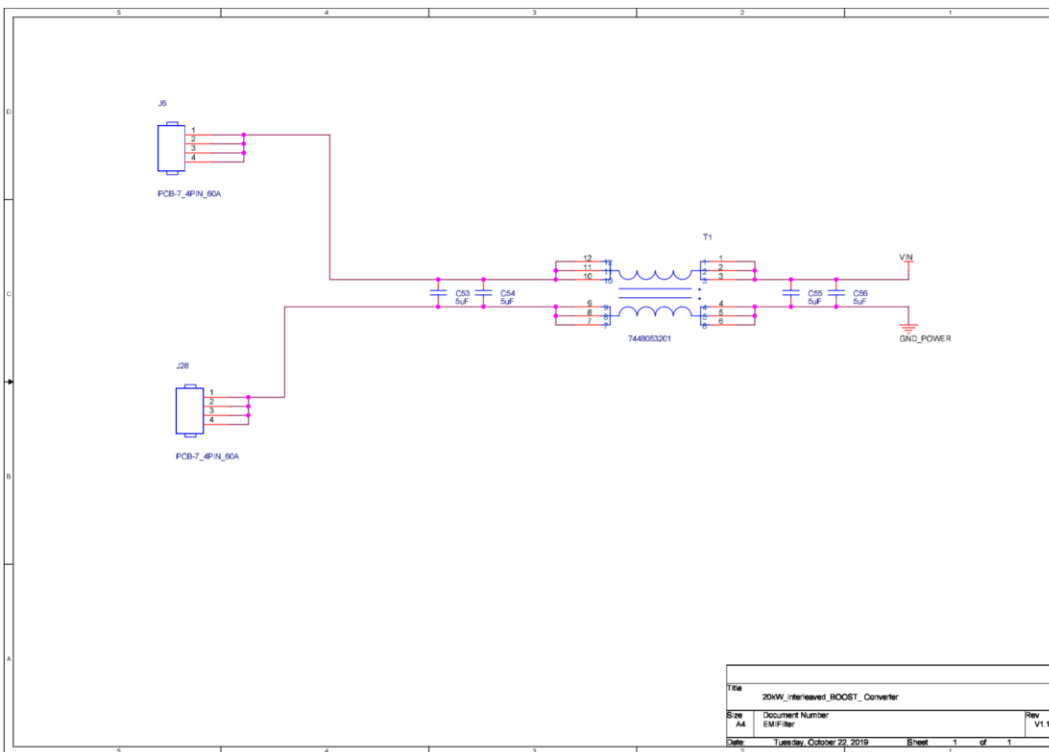
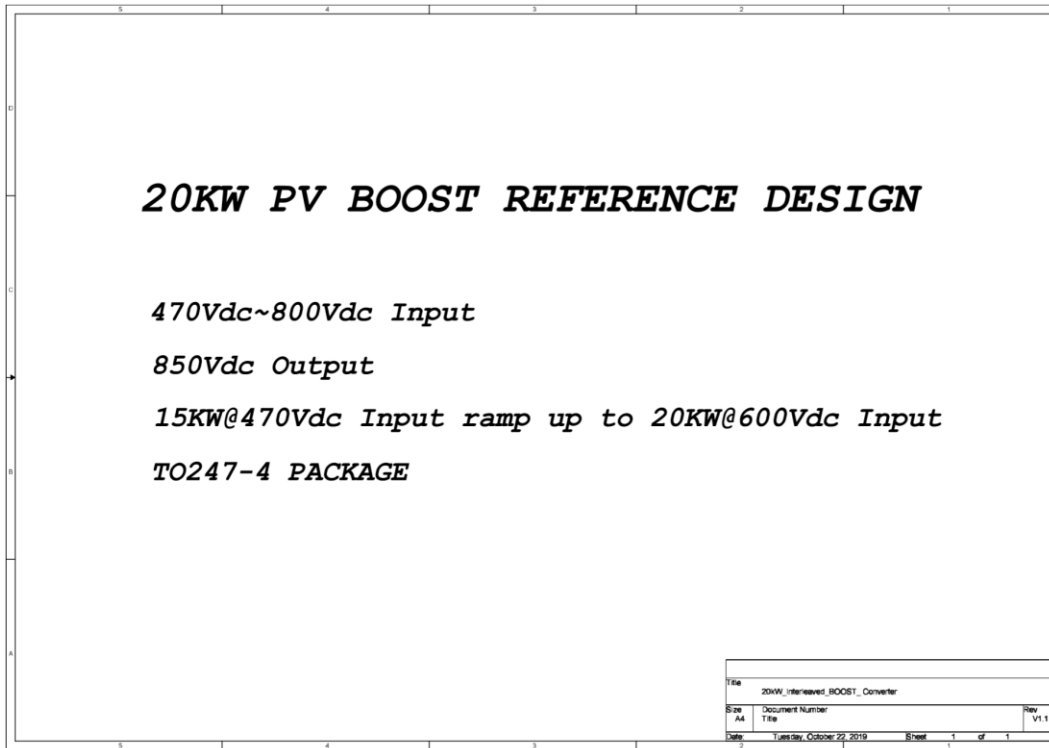
Turns/匝数: 55

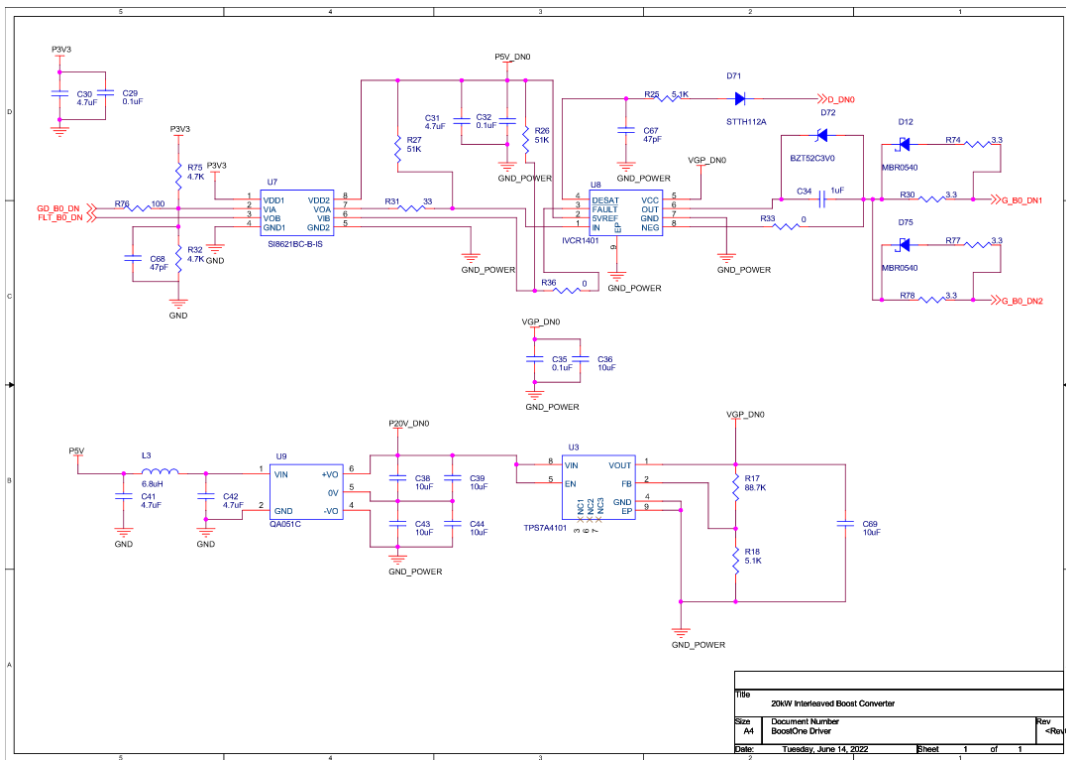
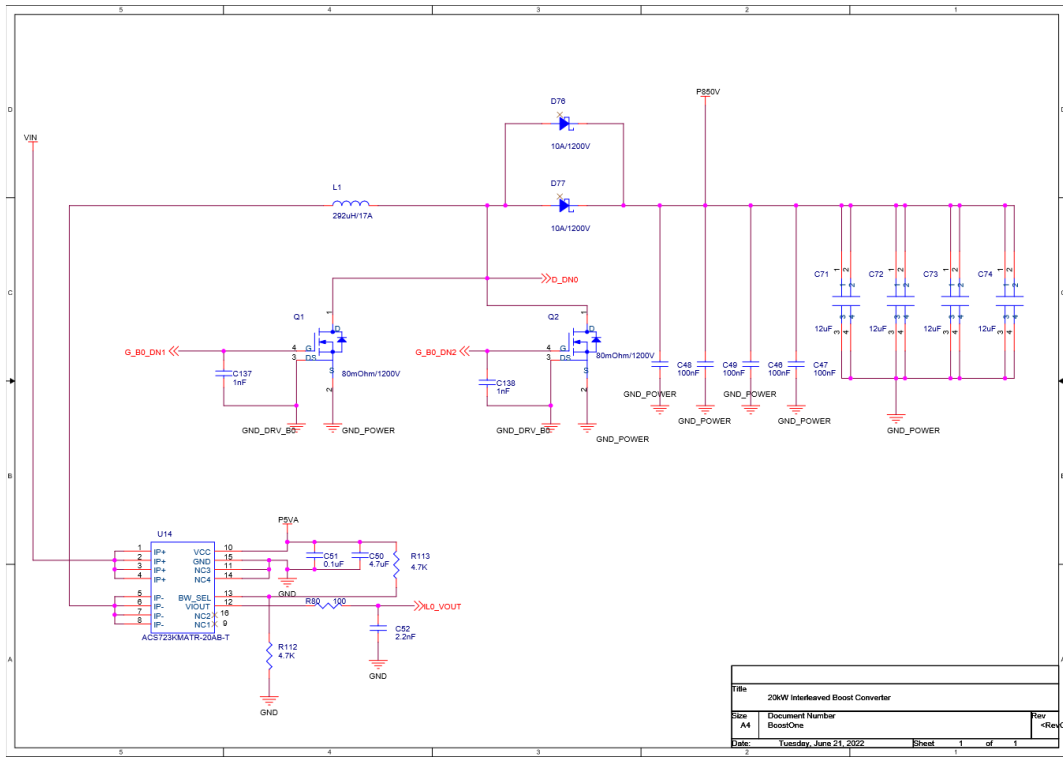
Inductance/感量: 292uH ( +/- 20uH )

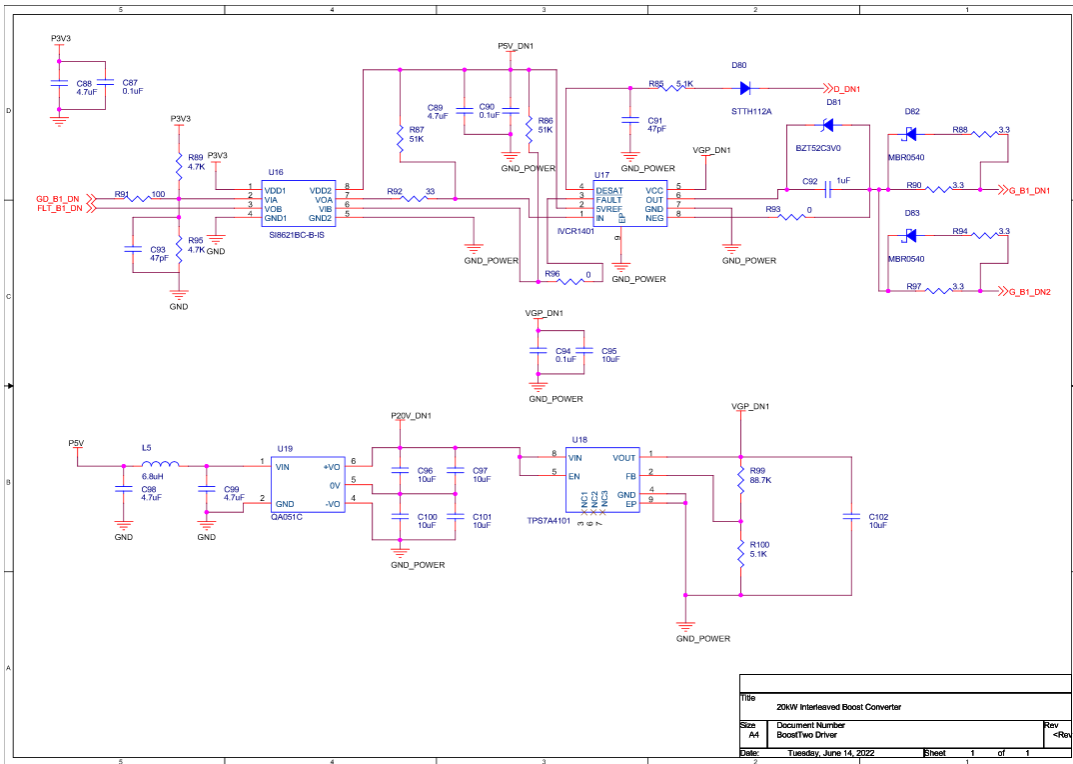
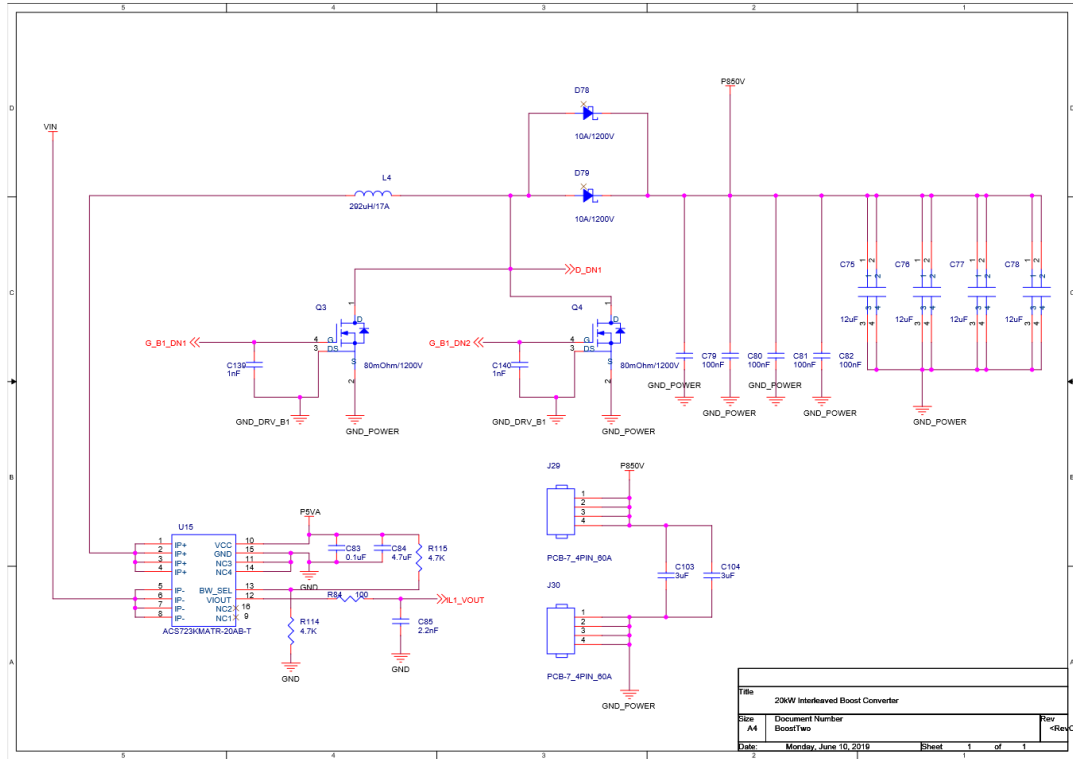
Switching frequency: 65kHz

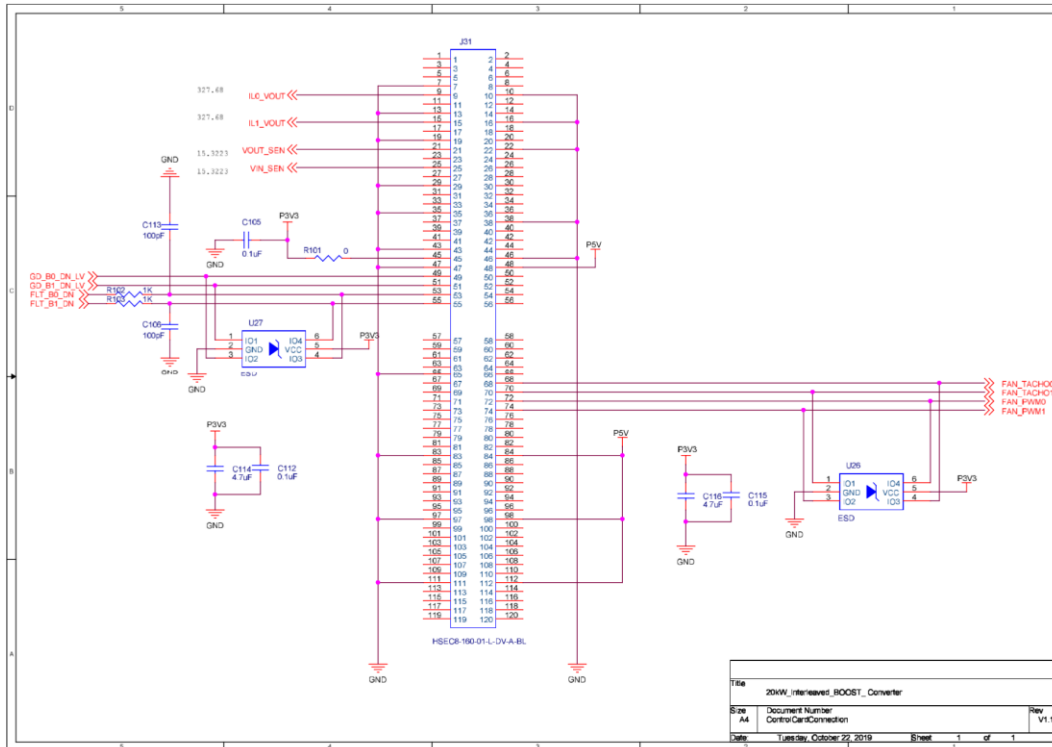
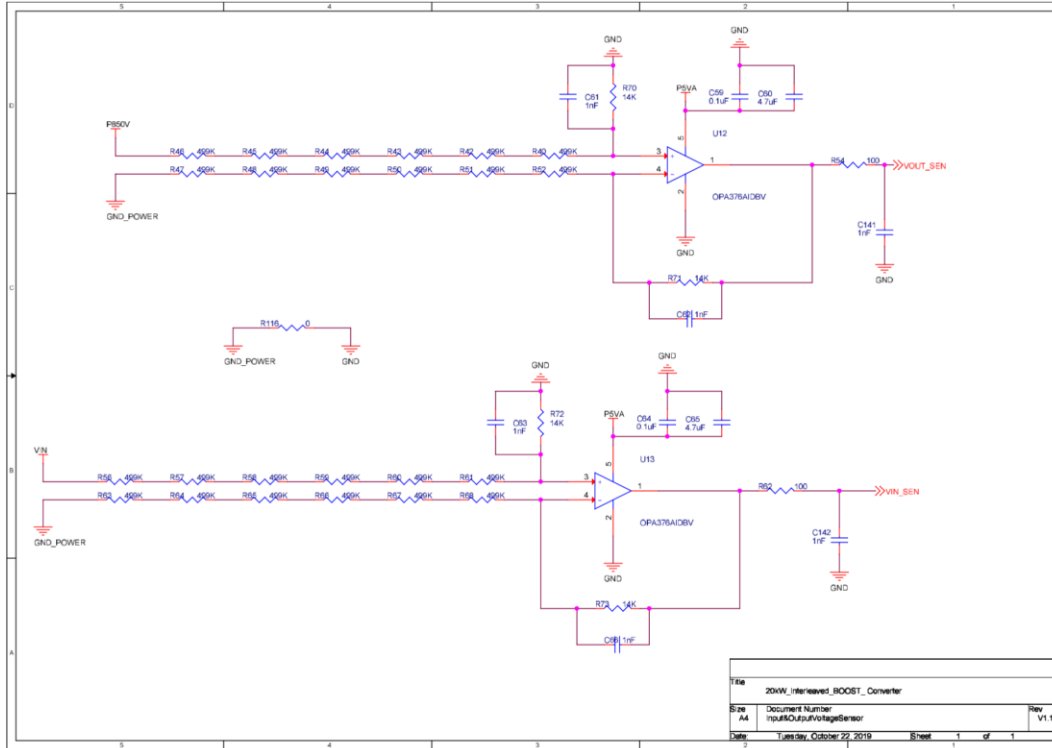


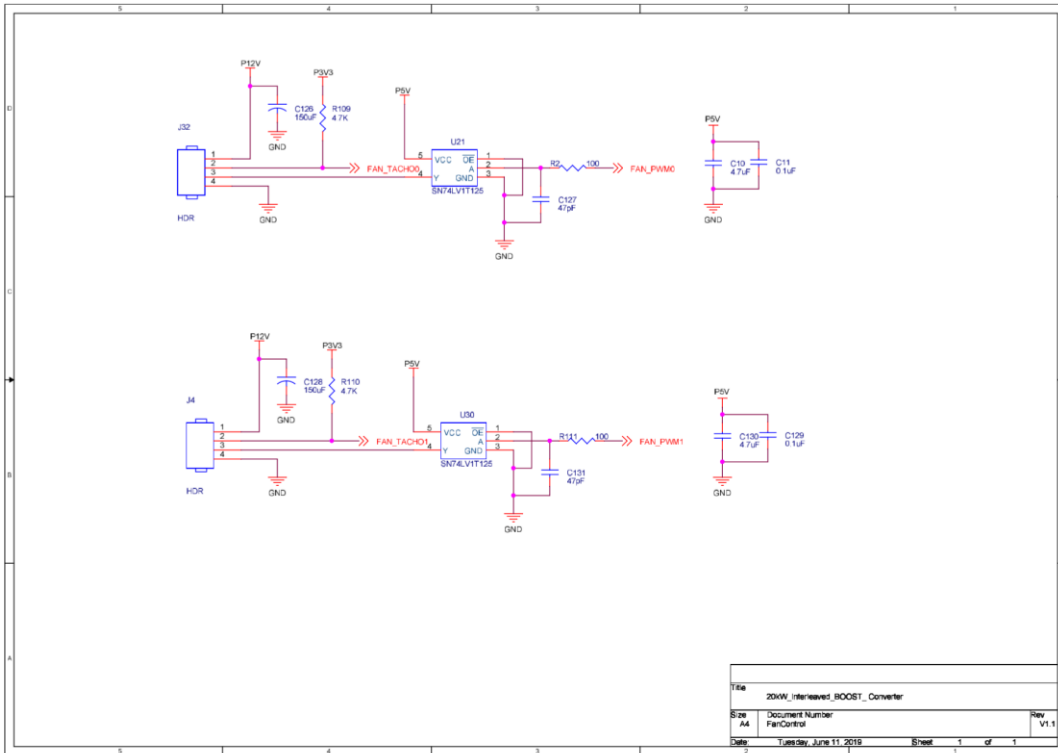
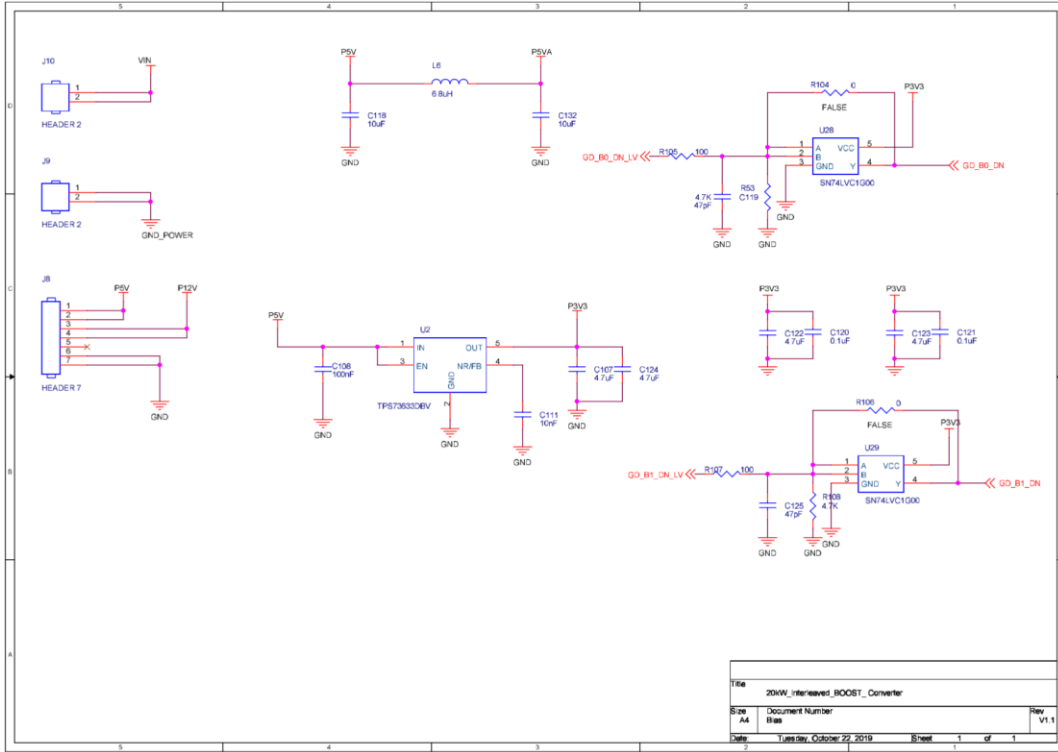
Schematic



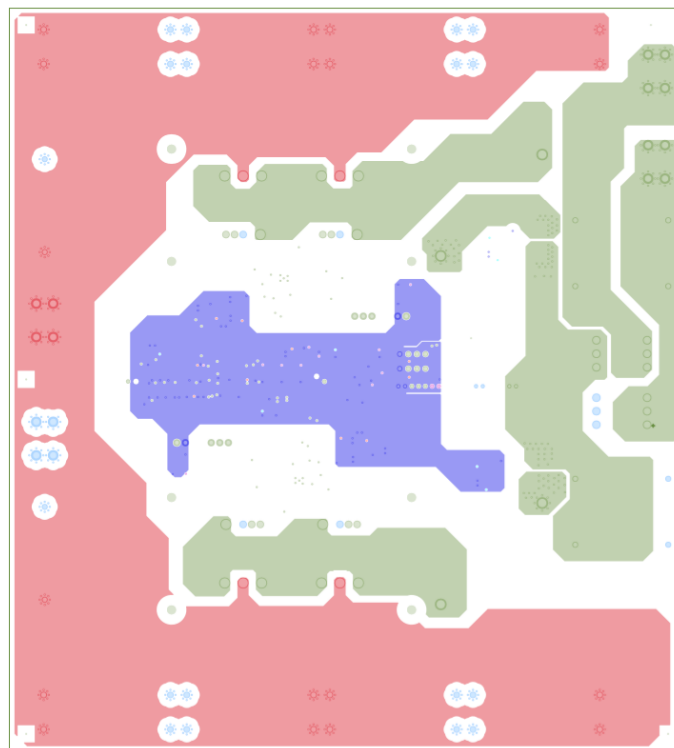
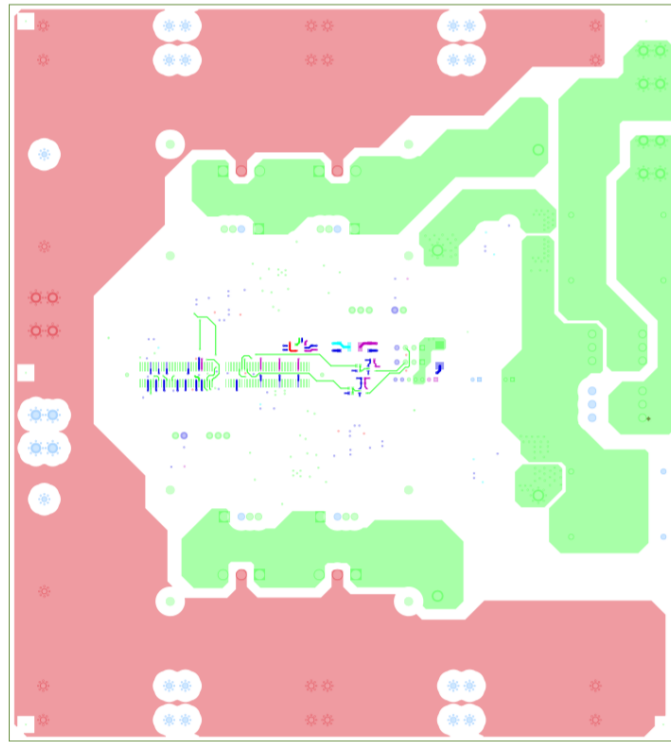


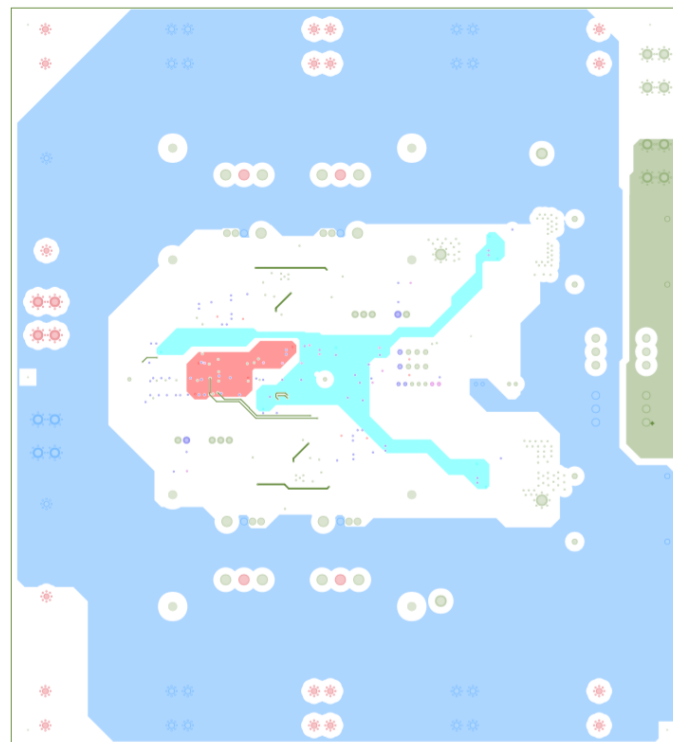
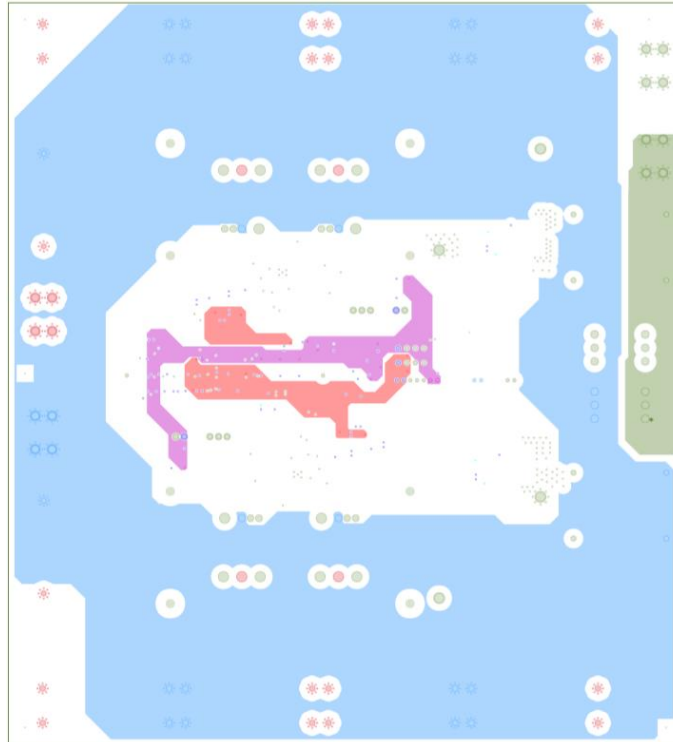




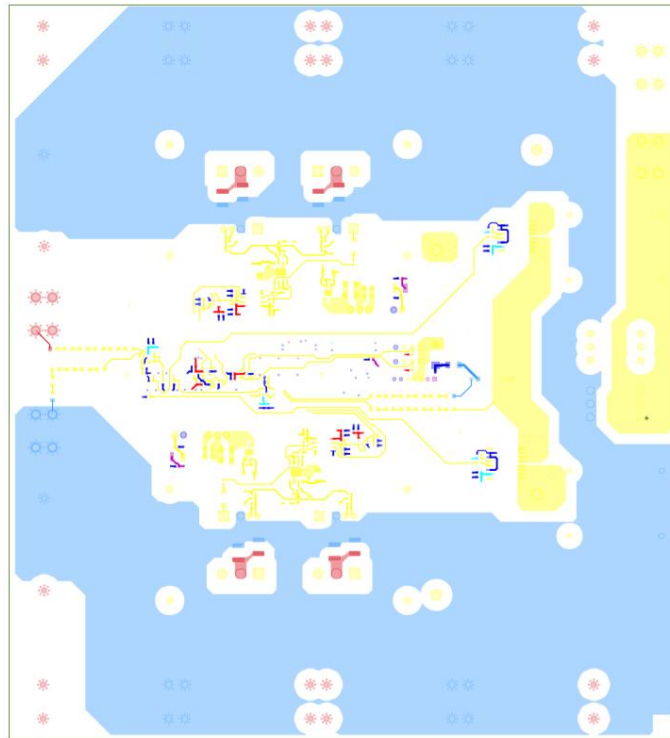
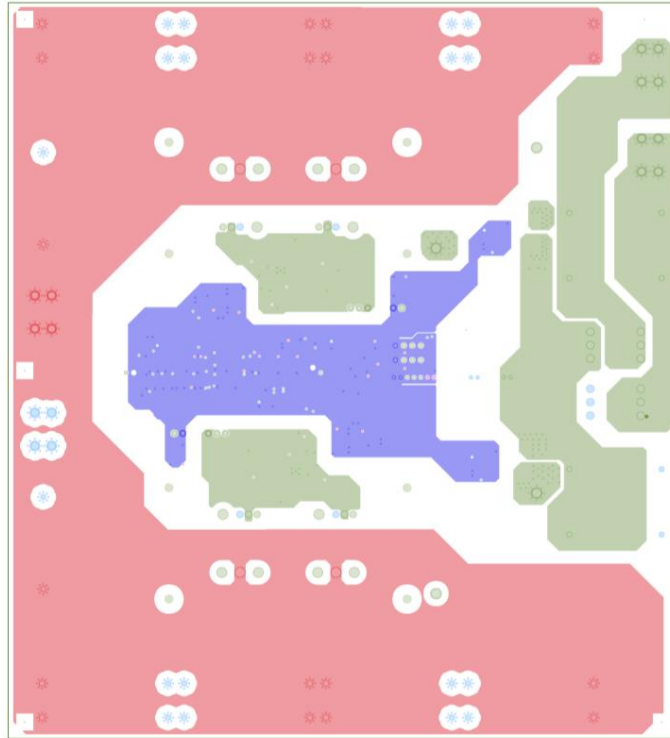


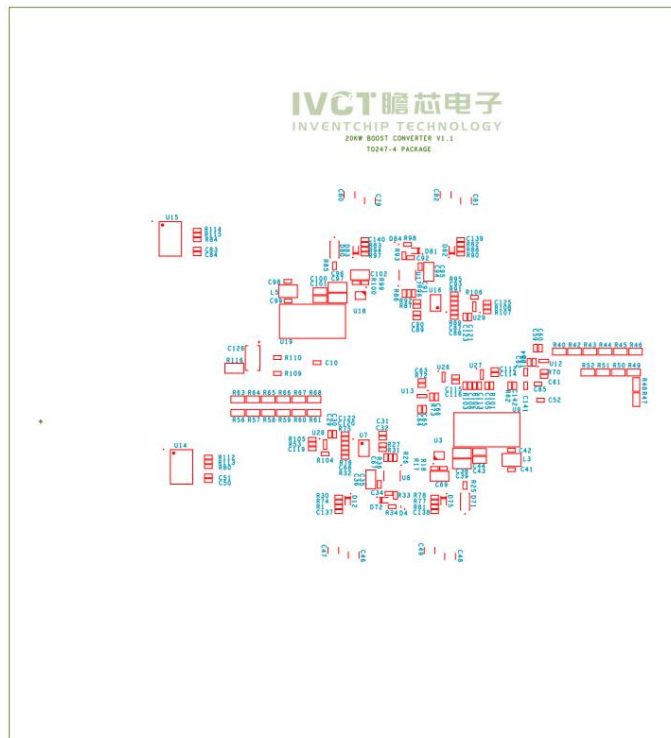
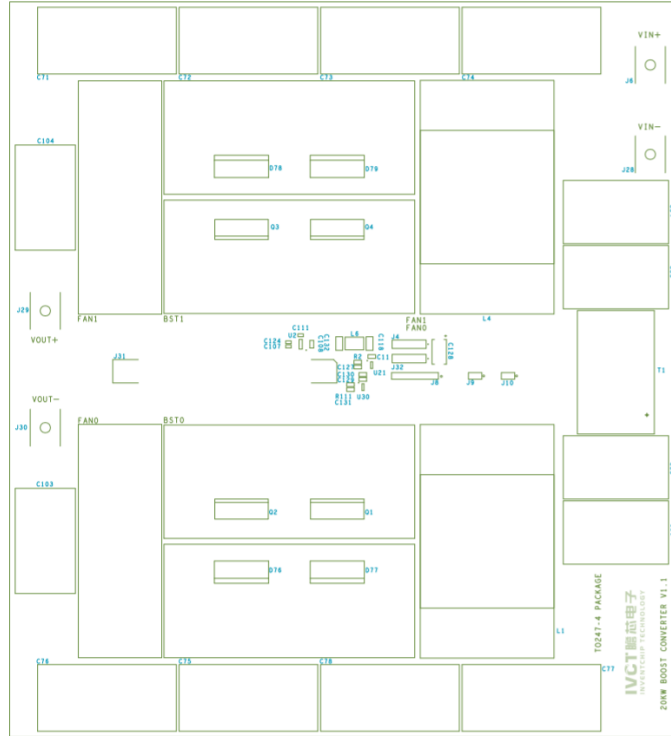
PCB LAYOUT











BOM 清单

Item	Quantity	Part Reference	Description	Part Type	Manufacturer
1	18	C10 C30 C31 C41 C42 C50 C60 C65 C84 C88 C89 C98 C99 C114 C116 C122 C123 C130	Cap,Ceramic,16V,X7R,10%	SMD	FH
2	19	C11 C29 C32 C34 C35 C51 C59 C64 C83 C87 C90 C92 C94 C105 C112 C115 C120 C121 C129	Cap,Ceramic,50V,X7R,10%	SMD	MURATA
3	4	C36 C69 C95 C102	Cap,Ceramic,50V,X7R,10%	SMD	SAMSUNG
4	4	C38 C39 C96 C97	Cap,Ceramic,50V,X5R,10%	SMD	SAMSUNG
5	6	C43 C44 C100 C101 C118 C132	Cap,Ceramic,16V,X5R,10%	SMD	SAMSUNG
6	8	C46 C47 C48 C49 C79 C80 C81 C82	Cap,X7R,1KV,10%	SMD	HEC
7	2	C52 C85	Cap,Ceramic,50V,X7R,10%	SMD	FH
8	4	C53 C54 C55 C56	B32774D0505K000,1100V,5uF, 2pin	TH	TDK
9	6	C61 C62 C63 C66 C141 C142	Cap,Ceramic,50V,COG,5%	SMD	MURATA
10	8	C67 C68 C91 C93 C119 C125 C127 C131	Cap,Ceramic,50V,NP0,5%	SMD	YAGEO
11	8	C71 C72 C73 C74 C75 C76 C77 C78	B32776G0126J000,1100V,12uF, 4pin	TH	TDK
12	2	C103 C104	B32774D1305K000,1100V,3uF, 2pin	TH	TDK
13	2	C106 C113	Cap,Ceramic,50V,X7R,10%	SMD	YAGEO
14	2	C107 C124	Cap,Ceramic,6.3V,X5R,20%	SMD	TAIYO YUDEN
15	1	C108	Cap,Ceramic,50V,X7R,10%	SMD	CCTC
16	1	C111	Cap,Ceramic,16V,X7R,10%	SMD	YAGEO
17	2	C126 C128	16TQC150MYF,Cap,TANT,POSCAP,16V,150uF,20%,734 3mm	SMD	PANASONIC
18	4	C137 C138 C139 C140	Cap,Ceramic,50V,COG,5%	SMD	WALSIN
19	2	D4 D84 (DNP)	SDM20U40-7,Schottky Diode,40V,0.25A,SOD523	Schottky	DIODES
20	4	D12 D75 D82 D83	MBR0540,Schottky Diode,40V,0.5A,SOD123	Schottky	MCC
21	2	D71 D80	STTH112A,1200V,1A,UltraFast Diode,SMA	ULTRA_FAST_DIO DE	ST
22	2	D72 D81	BZT52C3V0,Zener,3.0V,0.5W,SOD123,-55 TO 150C	ZENER_DIODE	MDD
23	4	D76 D77 D78 D79	IVCT SIC Diode,,1200V,10A,Pin Recep: ED1095CT-ND/0353-0-67-80-03-27-10-0	SIC_DIODE	IVCT
24	2	J4 J32	HEADER4,2.54mm pitch,4pin	HDR	
25	4	J6 J28 J29 J30	PCB-7, Dimension 11.1*9mm,60A	TM	
26	1	J8	HEADER 7,2mm SPACE	HDR	CJT
27	2	J9 J10	HEADER 2,2mm SPACE	HDR	CJT
28	1	J31	HSEC8-160-01-L-DV-A-BL,120 pin	HSEC	SAMTEC
29	2	L1 L4	Inductor,KM225-060,292uH min,17A	IND	
30	3	L3 L5 L6	NLCV32T-6R8M-PF,6.8uH,0.53A,0.27Ohm@25C	IND	TDK
31	4	Q1 Q2 Q3 Q4	IVCT SIC MOS,1200V,80mOhm,TO247-4	SIC	IVCT
32	4	R1 R81 R82 R83	Res,Chip,1/10W,1%	SMD	UNIOHM

33	10	R2 R54 R62 R76 R80 R84 R91 R105 R107 R111	Res,Chip,1/10W,1%	SMD	YAGEO
34	2	R17 R99	Res,Chip,1/16W,1%	SMD	UNIOHM
35	4	R18 R25 R85 R100	Res,Chip,1/16W,1%	SMD	UNIOHM
36	4	R26 R27 R86 R87	Res,Chip,1/16W,1%	SMD	YAGEO
37	8	R30 R74 R77 R78 R88 R90 R94 R97	Res,Chip,1/16W,5%	SMD	FH
38	2	R31 R92	Res,Chip,1/10W,1%	SMD	YAGEO
39	14	R32 R53 R75 R89 R95 R98 R108 R109 R110 R112 R113 R114 R115	Res,Chip,1/10W,1%	SMD	RALEC
40	7	R33 R36 R93 R101 R104 R106	Res,Chip,1/10W,1%	SMD	YAGEO
41	24	R40 R42 R43 R44 R45 R46 R47 R48 R49 R50 R51 R52 R56 R57 R58 R59 R60 R61 R63 R64 R65 R66 R67 R68	Res,Chip,1/8W,0.1%	SMD	VIKING
42	4	R70 R71 R72 R73	Res,Chip,1/16W,0.1%	SMD	RALEC
43	2	R102 R103	Res,Chip,1/10W,1%	SMD	UNIOHM
44	1	R116	Res,Chip,1/4W,5%	SMD	UNIOHM
45	1	T1	7448053201, 2+0.9mH, 32A, 250VAC	COMM_IND	WE
46	1	U2	TPS73633DBVR,LDO,1.7V~5.5V IN,3.3V OUT,0.4A,SOT235,-55 TO 150C	LDO	TI
47	2	U3 U18	TPS7A4101DGN,LDO,50V Vinmax,1.175V~48Vout,50mA,-40 TO 125C	LDO	TI
48	2	U7 U16	SI8621BC-B-IS,Dual-CH ISOLATORS,1Mbps,2500V Working ISO VOL,-40 TO 125C,SOIC8	ISOLATOR	SILICON_LAB
49	2	U8 U17	4-A HIGH SPEED LOW- SIDE MOSFET DRIVER	MOS_DRV	IVCT
50	2	U9 U19	QA051C,2W,5V IN,+20V@80mA,-5V@40mA,3KV-AC/5.2KV-DC ISO,3.5pF ISO Cap,SIP5,-40 TO 105C	ISO_DCDC	MORNSUN
51	2	U12 U13	OPA376AIDBV,Low noise,Low Iq,Precision OPA,Single Supply,2.2V to 5.5V,SOT235	OPA	TI
52	2	U14 U15	Hall Effect Current Sensor,80KHz/20KHz,+/-20A,100mV/A,SOIC16 Wide,-40 TO 125C	HALL_SEN	ALLEGRO
53	2	U21 U30	SN74LV1T125DCK,1 BIT LOGIC LEVEL SHIFT,5V VCC MAX,SC70-5	LVL_SFT	TI
54	2	U26 U27	USBLC6-2SC6,ESD PROTECT, 4 IO,3.5pF,SOT236,-40 TO 125C	ESD	ST
55	2	U28 U29	SN74LVC1G00DBVR,NAND,5.5V,-40 TO 125	INV_BUF	TI