

基本半导体产品在SiC逆变焊机中的应用

Rev. 1.3

2024/10/16

根据国内数据，逆变频率为 20kHz 的 IGBT 功率器件通常只能达到 2 级能耗标准，而逆变频率为 70kHz 的碳化硅则可以轻松达到 1 级能耗标准。

逆天了！60天居然能省出一台焊机钱！

艾特尔科技 2024年07月17日 17:24 山东

碳化硅 (SiC) 相较于 IGBT，具有频率高 (开关损耗小)、导通损耗小的特点，在节能方面优势显著。以常见的 NBC-500 为例，采用 IGBT 功率器件 (逆变频率 20KHz) 通常仅能达到 2 级能耗标准，而采用碳化硅 (逆变频率 70KHz) 则可轻松实现 1 级能耗标准。其原理在于碳化硅的低损耗能够提升效率，高频率能够使整体电路的感抗增大、容抗降低，进而提高功率因数。现依据艾特尔 NBC-500SiC 与国标 2 级能耗 NBC-500 的指标展开对比分析。(鉴于 3 级能耗指标过低，不具备可比性。)

GB 28736-2019

MIG/MAG 弧焊机能效等级

额定电流/ A	效率/%			负载状态下的功率因数		空载电流占额定输入 电流的百分比/%
	3 级	2 级	1 级	2 级	1 级	1 级
200~249	72.0	82.0	86.0	0.82	0.90	3.5
250~314	73.0	82.0	86.0	0.82	0.90	3.5
315~399	74.0	84.0	86.0	0.88	0.91	3.5
400~499	75.0	85.0	87.0	0.89	0.92	3.5
500~599	76.0	86.0	88.0	0.89	0.92	3.5
600~699	78.0	87.0	89.0	0.90	0.93	3.5

艾特尔NBC-500SiC 检验报告

报告编号: AK0500488-2024

电弧焊机检测结果

(主功能/次功能: MIG/MAG 弧焊机)

序号	检测项目	额定值	标准 规定值	实测值	单项 判定	能效 等级
1	额定电流(A)	500	/	500.70	/	1 级
2	输入电流(A)	35	/	35.02	/	
3	额定空载电压(V)	76	/	76.0	/	
4	效率(%)	/	88.0	90.47	合格	
5	负载状态下的 功率因数	/	0.92	0.938	合格	
6	空载电流占额定输 入电流的百分比 (%)	/	3.5	2.09	合格	

注 1: 额定电流是指额定输出电流。

注 2: 效率是指额定状态下的效率。

注 3: 负载状态下的功率因数是指额定最大负载状态下的功率因数。

注 4: 第 5 项在能效等级为 1 级或者 2 级时填写; 第 6 项在能效等级为 1 级时填写; 能效等级为 3 级时, 第 5 项、第 6 项填写“/”。

注 5: 具有多种焊接功能的电弧焊机, 检测结果按功能分页填写。

型号	额定输出功率	效率	功率因素	输入功率
NBC-500SiC	20KVA	90.47%	0.938	23.57KVA
NBC-500 2级	20KVA	86%	0.89	26.13KVA
节电				2.56KVA

← SiC MOSFET 高频逆变焊机

← IGBT 逆变焊机

公众号·艾特尔科技

经济性评估:

节电比例为 $2.56\text{KVA}/26.13\text{KVA}$ ，约为 9.8%。

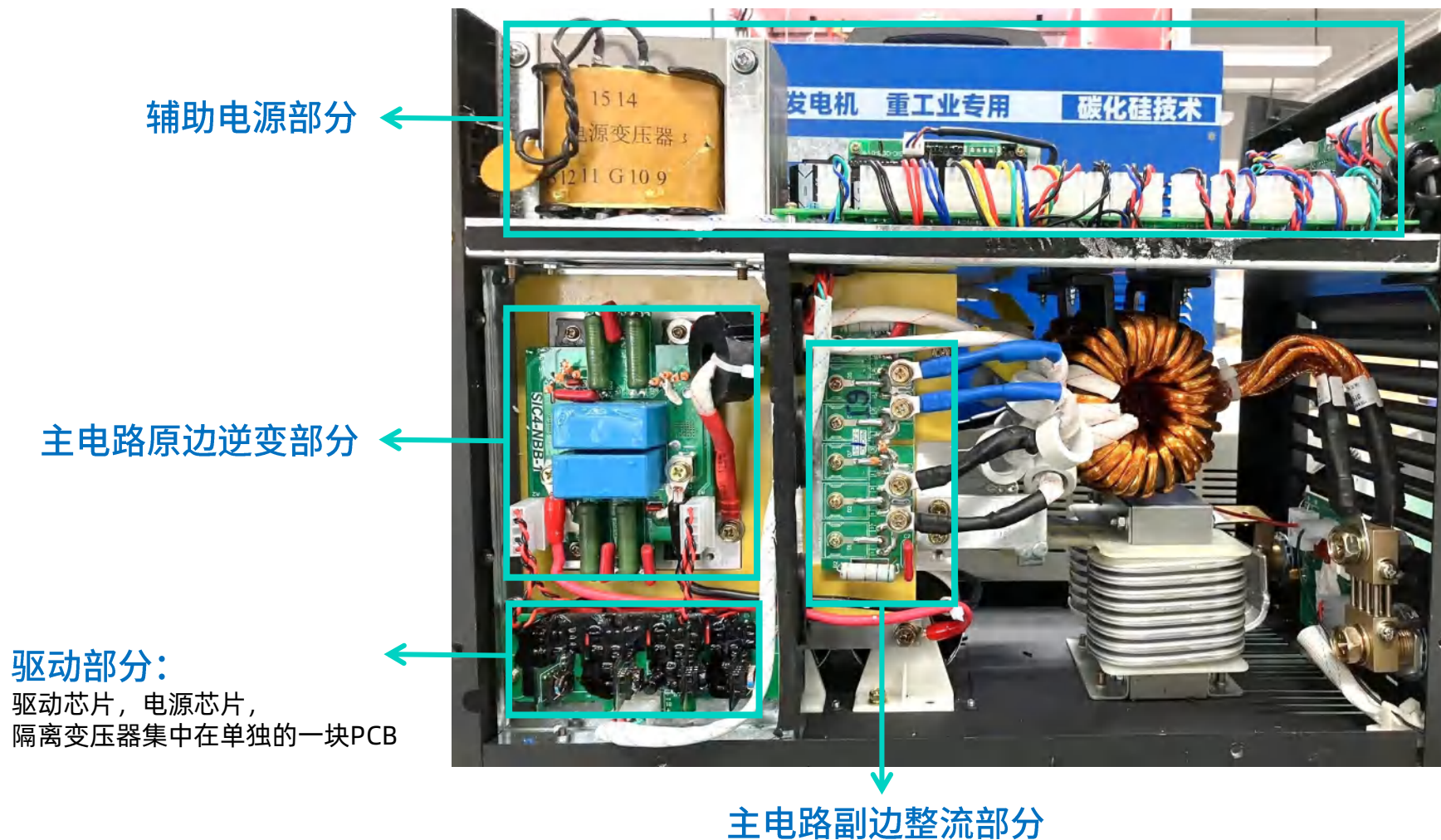
假设每天工作 8 小时，每度电价格为 1 元。那么每天节约的电费为： $2.56 \times 8 \times 1 = 20.48$ 元。

每月节约的电费为： $20.48 \times 30 = 614.4$ 元。

正常使用 110 天，节省下来的费用便足以购置一台碳化硅焊机。

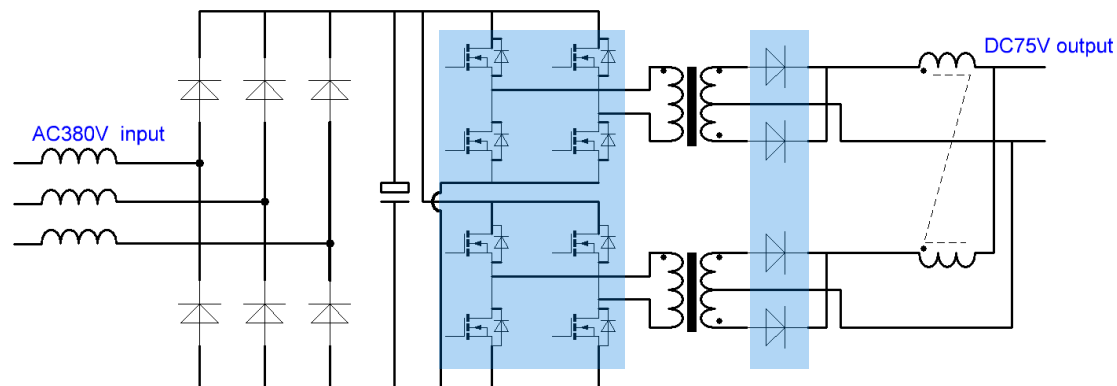
倘若与三级能耗的焊机相比，仅需 60 天节省的电费就能够购买一台碳化硅焊机。

当然，上述数据仅基于每天工作 8 小时且焊接电流为 500A 的情况进行计算，具体的节约数额还会因使用现场的不同而有所差异。
[截图自艾特尔科技微信公众号](#)



500A的SiC逆变焊机

逆变焊机中SiC器件和集成电路选型推荐（基本半导体产品）

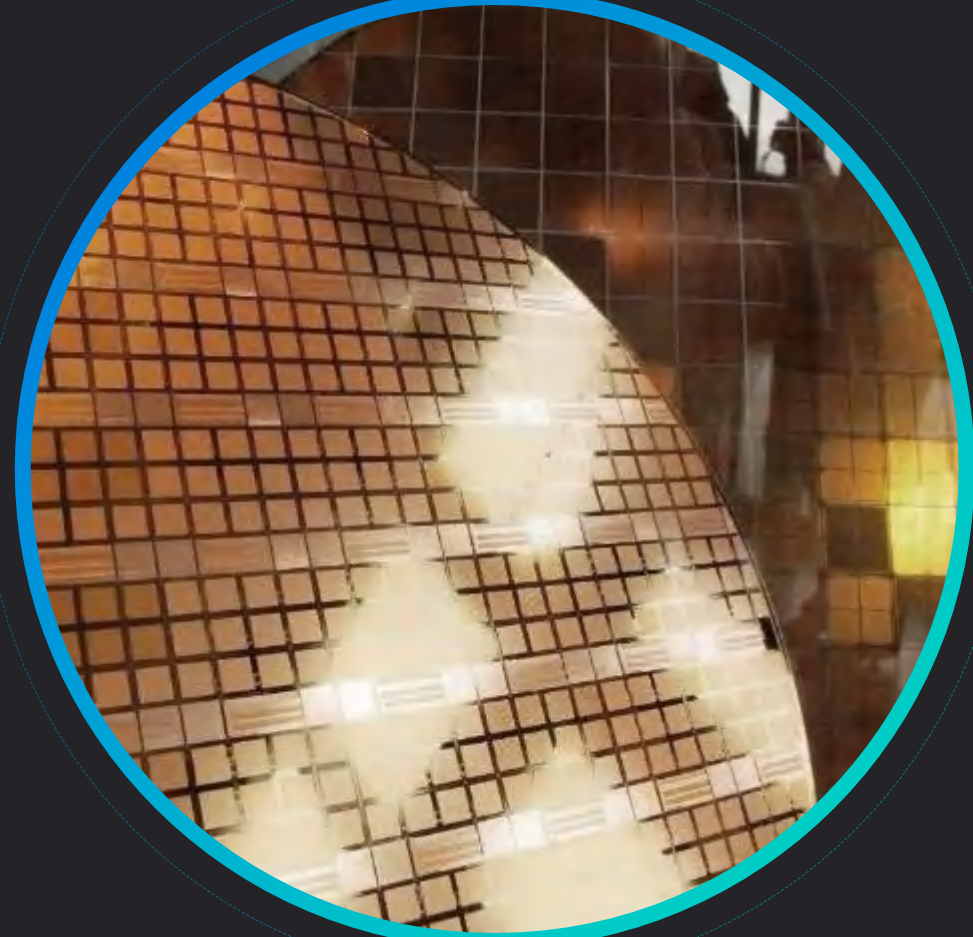


- 焊机功率：10-30kW
- 气保焊，手工焊

电路位置	焊机输出电流	SiC MOSFET分立器件	SiC MOSFET模块	隔离驱动芯片	电源控制芯片	SiC SBD
主电路原边逆变	(250-300)A	B2M080120Z*8	/	/	/	/
	(350-500)A	B2M040120Z*8	BMF240R12E2G3 BMF80R12RA3 BMF160R12RA3	/	/	/
	500A以上或切割机	B2M030120Z*8		/	/	/
门极驱动板	/	/	/	BTD5350MCPR*8 BTD5350MCWR*8 BTD25350MMCWR*4	BTP1521F BTP1521P	/
主电路副边整流	切割机	/	/	/	/	B3D40065HC*8
辅助电源	/	B2M600170R	/	/	BTP284xDR	/

01

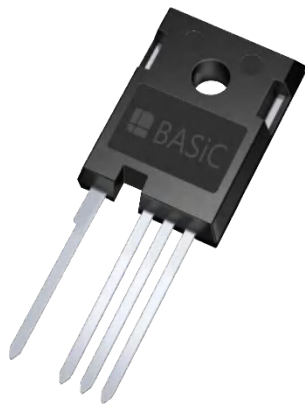
逆变焊机主功率部分 采用SiC器件



基本半导体第二代碳化硅MOSFET系列新品基于6英寸晶圆平台进行开发，比上一代产品在品质系数因子（ $FOM = R_{DS(ON)} * Q_G$ ）、开关损耗以及可靠性等方面表现更为出色。同时，B2M SiC MOSFET系列产品的封装更为丰富，以更好满足客户需求。



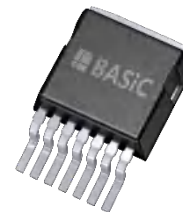
TO-247-3



TO-247-4



TO-247PLUS-4



TO-263-7



SOT-227

第二代及部分第三代的SiC MOSFET分立器件产品

电压	$R_{DS(on)}$	TO-247-3	TO-247-4	TO-247PLUS-4	TO-263-7	SOT-227
650V	40mΩ		*B3M040065Z		*B3M040065R	
750V	8mΩ		B2M008075HK			
	4mΩ			B2M004075Y		
1200V	160mΩ	B2M160120H	B2M160120Z		B2M160120R	
	80mΩ	B2M080120H	B2M080120Z		B2M080120R	
	65mΩ	B2M065120H	B2M065120Z		B2M065120R	
	40mΩ	B2M040120H	B2M040120Z		B2M040120R	
	30mΩ		B2M030120Z		B2M030120R	B2M030120N
	13mΩ	B3M013C120H	B3M013C120Z			
	11mΩ		B2M011120HK			B2M012120N
	8mΩ			*B3M008C120Y		
	6mΩ			B2M006120Y		
1700V	600mR	B2M600170H	B2M600170Z		B2M600170R	
2000V	24mΩ	B2M024200H				
3300V	1000mΩ				*B2M1000330R	

*即将推出

$$FOM = R_{DS(ON)} * Q_G$$

■ 表征器件的通态损耗参数: $R_{DS(ON)}$

- ◆ $R_{DS(ON)}$ 越小, 器件的导通损耗越低;
- ◆ B2M SiC MOSFET的 $R_{DS(ON)}$ 参数在开通18V下标定, 开通20V下参数更低。

■ 表征器件的器件的开关损耗参数: Q_G

- ◆ Q_G 越小, 器件的开关速度越快, 适合高频应用。

■ 同时表征器件的通态损耗和开关损耗的归一化参数: FOM。在FOM中, $R_{DS(ON)}$ 和 Q_G 一对跷跷板, 需取Trade off

- ◆ $R_{DS(ON)}$ 越小, 芯片面积越大 (成本上升), 器件额定电流越大, 但 Q_G 越大, 开关损耗上升, 不适合在高频下使用;
- ◆ Q_G 越小, 芯片面积减小, 开关损耗减小, 适合高频, 但器件额定电流较小, 无法应用在大功率场合, 或带来并联数量过多。

■ 功率开关器件的追求: FOM值更优, 器件综合损耗更低

- ◆ 同样的 $R_{DS(ON)}$, Q_G 更小, FOM减小;
- ◆ 同样的 Q_G , $R_{DS(ON)}$ 更小, FOM减小。

1200V 40mR SiC MOSFET关键静态参数对比（与国际品牌）

品牌		BASiC	C***	O***	O***	S***	I***	R***	单位
型号		B2M040120Z	C3M0040120K	NTH4L040N120SC1	NTH4L040N120M3S	SCT040W120G3-4	IMZA120R040M1H	SCT3040KR	
工艺技术		平面栅	平面栅	平面栅	平面栅	平面栅	沟槽栅	沟槽栅	/
Generation		G2	G3	SC1	M3S	G3	M1H	G4	/
$V_{GS(ON)}$		18	15	20	18	18	18	18	V
$R_{DS(ON)}$	Tj=25°C	40	40	40	40	40	39	40	mΩ
	Tj=175°C	70	68	70	80	70	77	78	
$V_{GS(th)}$	Tj=25°C	2.7	2.7	3	2.9	3.1	4.2	4	V
	Tj=175°C	1.9	2.2	/	/	2.2	3.6	3.3	
$R_{th(j-c)}$		0.49	0.46	0.47	0.65	0.56	0.51	0.44	°C/W
I_D	Tc=25°C	69	66	58	43	40	55	55	A
	Tc=100°C	48	48	41	31	40	39	39	
$I_{D,pulse}$		123	100	232	134	179	117	137	A
Ciss		2100	2900	1762	1700	1329	1620	1337	pF
Coss		115	103	137	80	78	75	76	pF
Crss		6	5	11	7	10	11	27	pF
Q_G		90	99	106	75	56	39	107	nC
FOM	Tj=25°C	3600	3960	4240	3000	2240	1521	4280	mΩ*nC
R_{gint}		1.6	3.5	2.4	3.8	1.4	2.5	7	Ω
V_{SD}	Tj=25°C	4.6	5.5	3.7	4.5	2.6	3.8	3.2	V
	Tj=175°C	4	4.9	3.2	4.1	/	3.6	/	
Tjmax		175	175	175	175	200	175	175	°C
Package		TO-247-4							/

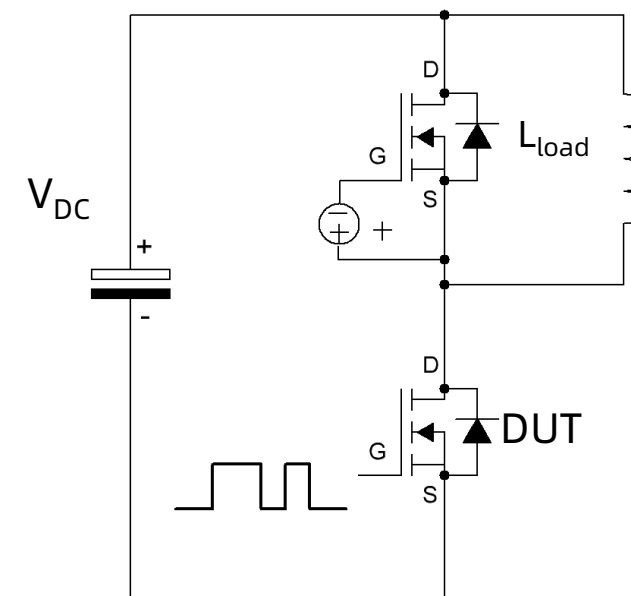
- 平面栅工艺：B2M040120Z的产品水平与C***第三代和O***公司的M3S系列水平接近，比O公司的SC1系列产品性能较好，略劣于S***公司的第三代 G3；
- 沟槽栅工艺：因沟槽工艺优势，FOM值更低，但沟槽栅相同 $R_{DS(ON)}$ 水平下，其额定电流较小。并且在高温下，沟槽栅的 $R_{DS(ON)}$ 相对于常温上升得很快，接近2倍左右。

B2M040120Z(BASiC)与C3M0040120K(C^{***})动态参数实测汇总

驱动开通电压为+18V，SiC MOSFET体二极管做续流时的动态参数对比。

测试条件： $V_{GS}=-4V/+18V$, $R_{gon}=R_{goff}=8.2\Omega$, 驱动IC-BTD5350SCR
 $V_{DC}=800V$, $I_D=40A$, $L_o=109nH$, $L_{Load}=200\mu H$, $T_j=25^\circ C$

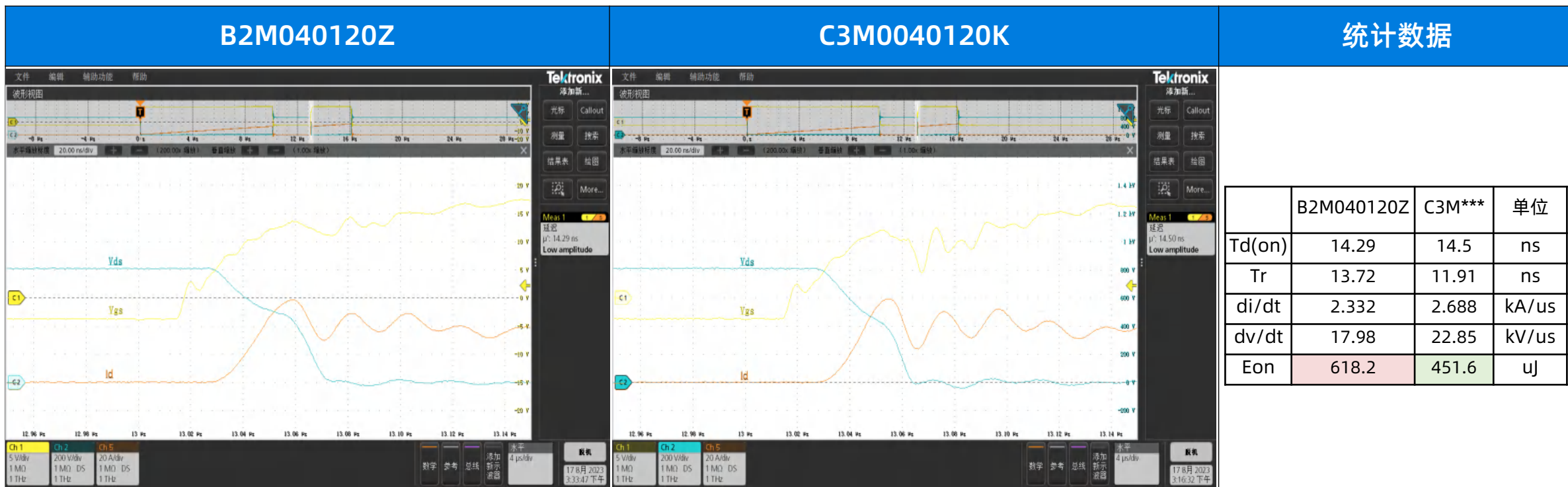
项目	B2M040120Z	C3M0040120K	单位	
SiC MOSFET	Td(on)	14.29	14.5	ns
	Tr	13.72	11.91	ns
	di/dt ,ON	2.332	2.688	kA/us
	dv/dt,OFF	17.98	22.85	kV/us
	Eon	618.2	451.6	uj
	Td(off)	30.65	53.51	ns
	Tf	18.03	23.67	ns
	di/dt,OFF	1.775	1.352	kA/us
	dv/dt, OFF	49.7	40.13	kV/us
	$V_{DS,peak}$	1122	1088	V
	Eoff	212	341	uj
	Etotal	830.2	792.6	uj
Body Diode	I_{RRpeak}	25.01	25.64	A
	$V_{DS,peak}$	934.4	1071	V
	Qrr	389.4	349.3	nC
	di/dt	2.935	3.408	kA/us
	dv/dt	69.68	106.3	kV/us



结论：在相同的测试条件下，B2M040120Z关断损耗小于C3M0040120K，降低了37%。开通损耗略大于C3M0040120K，增加了36%。而且两者的总损耗参数接近。

B2M040120Z与C3M0040120K开通行为对比

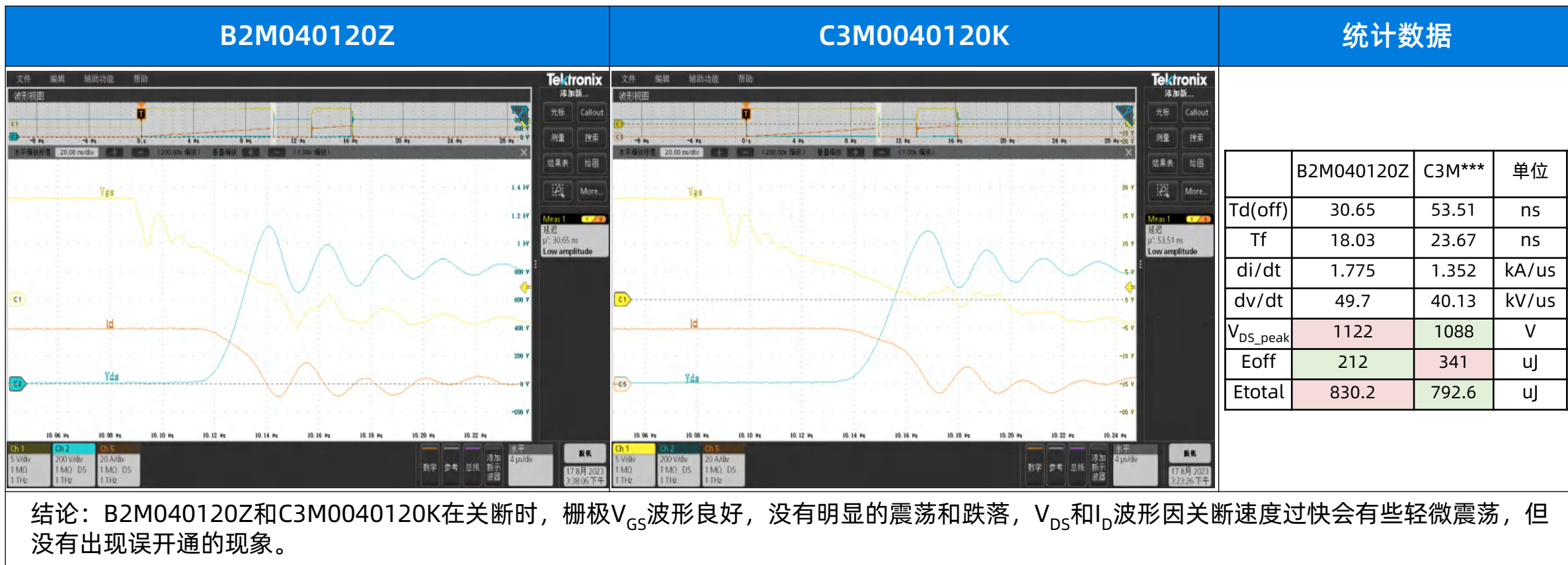
测试条件: $V_{GS}=-4V/+18V$, $R_{gon}=R_{goff}=8.2\Omega$, $V_{DC}=800V$, $I_D=40A$, $L_\sigma=109nH$, $L_{Load}=200\mu H$, $T_j=25^\circ C$



结论: B2M040120Z和C3M0040120K在开通时, 栅极 V_{GS} 波形良好, 没有明显的震荡和跌落, V_{DS} 和 I_D 波形正常, 没有出现误关断的现象。

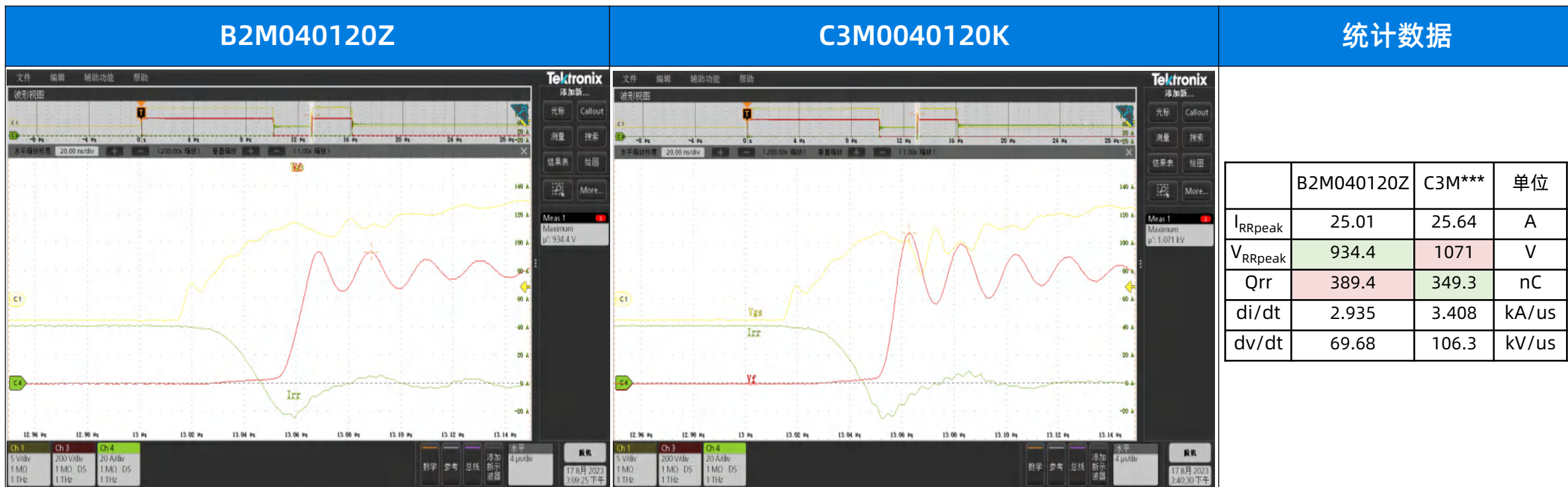
B2M040120Z与C3M0040120K关断行为对比

测试条件: $V_{GS}=-4V/+18V$, $R_{gon}=R_{goff}=8.2\Omega$, $V_{DC}=800V$, $I_D=40A$, $L_\sigma=109nH$, $L_{Load}=200\mu H$, $T_j=25^\circ C$




B2M040120Z与C3M0040120K各自的体二极管反向恢复行为对比

测试条件: $V_{GS}=-4V/+18V$, $R_{gon}=R_{goff}=8.2\Omega$, $V_{DC}=800V$, $I_D=40A$, $L\sigma=109nH$, $L_{Load}=200\mu H$, $T_j=25^\circ C$



结论: B2M040120Z和C3M0040120K的体二极管在反向恢复时相比, 行为比较接近, 没有明显的震荡和跌落, VDS和呈现几个波头的振荡, IRR波形良好, B2M040120Z的体二极管的dv/dt比C3M0040120K较缓和一些。

SiC半桥顶部散热MOSFET模块	SiC半桥MOSFET模块			
HSOP8	Pcore™2 (Easy 1B)	Pcore™2 (Easy 2B)	Pcore™2 (34mm)	Pcore™2 (62mm)
				
优势特点				
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 低导通电阻 ✓ 采用DBC陶瓷基板, 实现内绝缘 ✓ 更优散热性能 ✓ 低寄生电感, 低热阻 ✓ 安装方便, 更具性价比 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高晶圆可靠性 ✓ 优异抗噪特性 ✓ 高热性能及高封装可靠性 ✓ 使用Si₃N₄陶瓷基板, 提高功率循环能力 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 低导通电阻, 低导通损耗 ✓ 低开关损耗, 适合高频应用 ✓ 高可靠性 ✓ 结温可达175°C 		
性能参数				
$V_{DSS}=1200V$ $R_{DS(on)}=40/80m\Omega$	$V_{DSS}=1200V$ $R_{DS(on)}=11m\Omega@100A$	$V_{DSS}=1200V$ $R_{DS(on)}=5.5m\Omega$ @ $I_D=240A$ $R_{DS(on)}=8m\Omega$ @ $I_D=160A$	$V_{DSS}=1200V$ $R_{DS(on)}=15m\Omega\sim 7.5m\Omega$ $I_D=80\sim 160A$	$V_{DSS}=1200V$ $R_{DS(on)}=2.5\sim 3.8m\Omega$ $I_D=300\sim 450A$

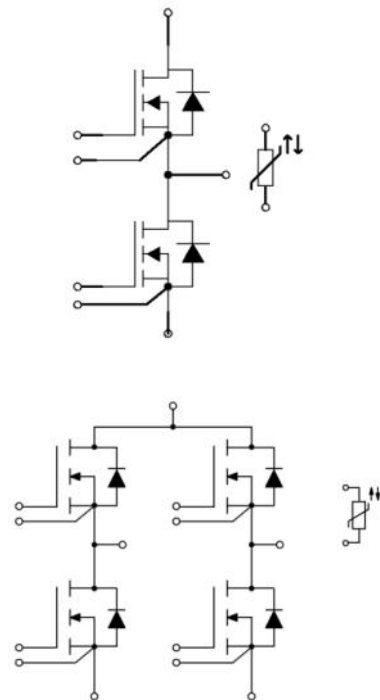
电压	封装类型	产品型号	$R_{DS(on)}$	I_D
1200V	HSOP8	B2M040120T	40mR	40A@Tc=25°C
		B2M080120T	80mR	28A@Tc=25°C
	Easy 1B	BMF011MR12E1G3	11mR	100A@Tc=65°C
	Easy 2B	BMF240R12E2G3	5.5mR	240A@Tc=65°C
		BMF008MR12E2G3	8mR	160A@Tc=100°C
	34mm	BMF80R12RA3	15mR	80A@Tc=100°C
		BMF160R12RA3	7.5mR	160A@Tc=100°C
	62mm	BMF300R12KA3	3.8mR	300A@Tc=100°C
		BMF450R12KA3	2.5mR	450A@Tc=100°C

■ 特征

- ◆ 低导通电阻，低通态损耗
- ◆ 低开关损坏，适合高频应用
- ◆ 具有出色功率循环能力的 Si₃N₄ 陶瓷覆铜板
- ◆ 内置NTC温度采样电阻
- ◆ 压接式针脚

■ 应用

- ◆ 快速充电桩模块
- ◆ UPS 数据中心
- ◆ 高精度机器人逆变焊机
- ◆ 光伏逆变器
- ◆ 高速电机驱动



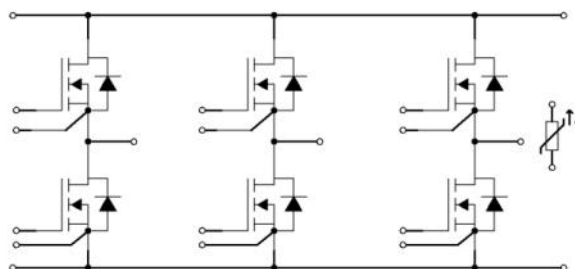
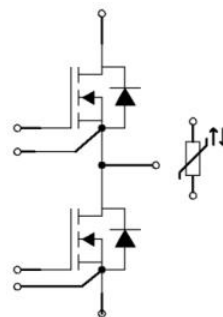
产品型号	电压(V)	R _{DS(ON)} (mΩ)	拓扑结构	状态
BMF011MR12E1G3	1200	11	半桥	即将推出
BMH027MR07E1G3	650	27	H-桥	即将推出

■ 特征

- ◆ 低导通电阻，低通态损耗
- ◆ 低开关损坏，适合高频应用
- ◆ 具有出色功率循环能力的 Si₃N₄ 陶瓷覆铜板
- ◆ 内置NTC温度采样电阻
- ◆ 压接式针脚

■ 应用

- ◆ 快速充电桩模块
- ◆ UPS 数据中心
- ◆ 高精度机器人逆变焊机
- ◆ 有源滤波器APF
- ◆ 储能PCS



封装尺寸: 62.8mm*56.7mm*16.4mm
*拓扑不同, PIN-OUT也不同

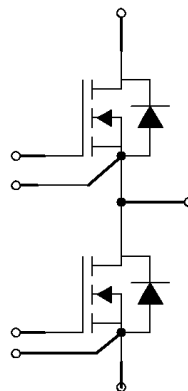
产品型号	电压(V)	R _{DS(ON)} (mΩ)	拓扑结构	状态
BMF240R12E2G3	1200	5.5	半桥	量产
BMS015MR12E2A3	1200	15	三相桥	即将推出

■ 特征

- ◆ 低导通电阻，低通态损耗
- ◆ 低开关损坏，适合高频应用
- ◆ Al₂O₃ 陶瓷覆铜板

■ 典型应用

- ◆ 逆变焊机
- ◆ 感应加热
- ◆ 辅助变流器



封装尺寸: 95mm*34mm*31mm

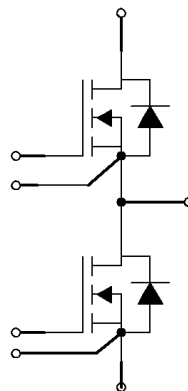
产品型号	电压(V)	R _{DS(ON)} (mΩ)	I _D (A)@Tc=100°C	拓扑结构	状态
BMF80R12RA3	1200	15	80	半桥	即将推出
BMF160R12RA3	1200	7.5	160A	半桥	即将推出

■ 特征

- ◆ 低导通电阻，低通态损耗
- ◆ 低开关损坏，适合高频应用
- ◆ Al₂O₃ 陶瓷覆铜板

■ 典型应用

- ◆ 逆变焊机
- ◆ 感应加热
- ◆ 辅助变流器



封装尺寸: 107mm*62mm*31mm

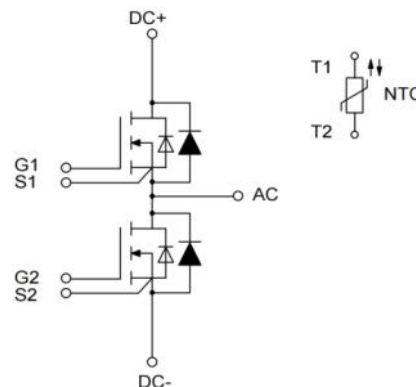
产品型号	电压(V)	R _{DS(ON)} (mΩ)	I _D (A)@T _c =65°C	拓扑结构	状态
BMF300R12KA3	1200	3.75	300	半桥	即将推出
BMF450R12KA3	1200	2.5	450	半桥	即将推出

■ 电气特征

- ◆ 低导通电阻，低通态损耗
- ◆ 低开关损坏，适合高频应用
- ◆ 高门槛电压，有效抑制误开通: $V_{GS(th).typ}=4.0V$
- ◆ 芯片内嵌SiC肖特基二极管，没有反向恢复行为
- ◆ 二极管低正向压降

■ 机械特征

- ◆ 具有出色功率循环能力的 Si_3N_4 陶瓷基板
- ◆ 压接针技术
- ◆ 内置 NTC 温度采样电阻



封装尺寸: 62.8mm*42.5mm*16.4mm

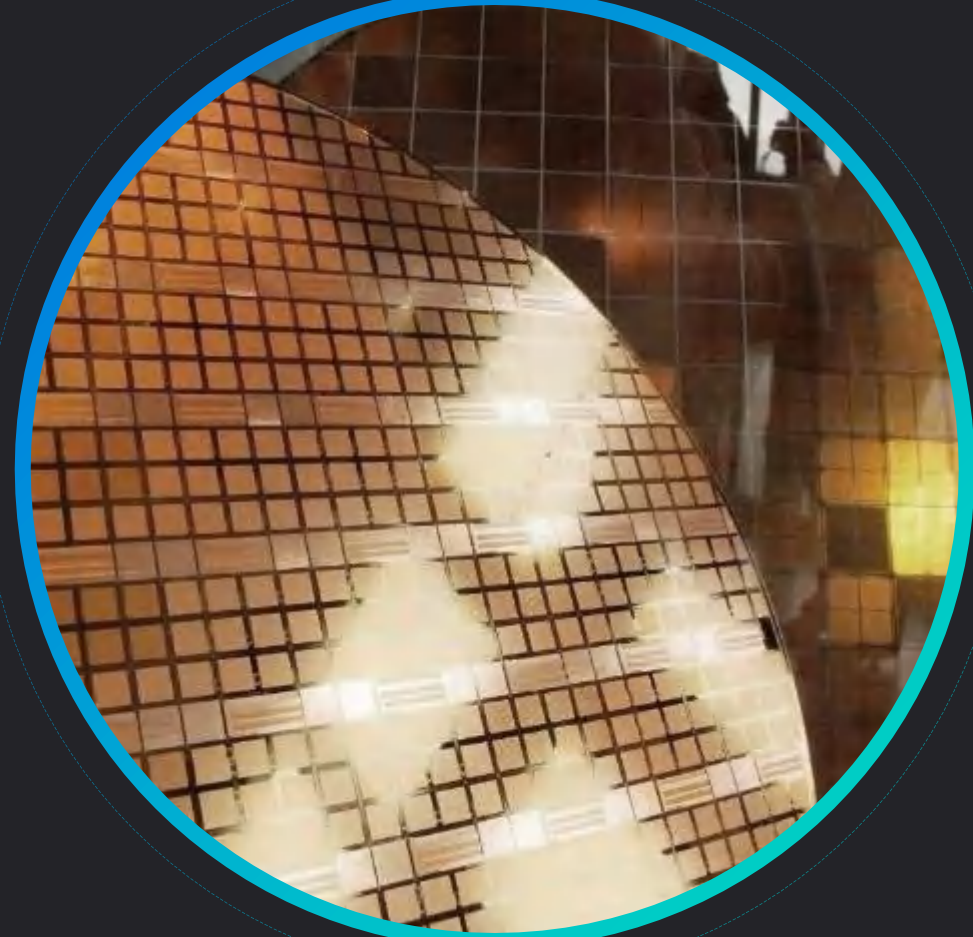
产品型号	$V_{DSS}(V)$	$R_{DS(ON)}(m\Omega)$	$I_{D,nom}(A)$	$V_{GS(op)}(V)$	$V_{GS(th)}(V)$	$V_{SD}(V)$	$Q_G(nC)$
BMF240R12E2G3	1200	5.5	240	-4/+18	4.0	1.35	492

Voltage	Current	TO-220-2	TO-220F-2	TO-220-isolated	TO-247-3	TO-247-2	TO-252	TO-263	SOT-227
650V	4A	B2D04065K1	B2D04065KF1				B2D04065E1		
	6A	B2D06065K1	B2D06065KF1				B2D06065E1		
	8A	B2D08065K1							
	10A	B2D10065K1 *B3D10065K	B2D10065KF1 B3D10065KF	B3D10065KS			B2D10065E1 B3D10065E	B2D10065F1 B3D10065F	
	16A				B2D16065HC1				
	20A	B2D20065K1			B2D20065HC1 *B3D20065HC	B2D20065H1		B2D20065F1	
	30A				B2D30065HC1	B2D30065H1			
	40A				B3D40065HC	B2D40065H1			
	60A*2								B2DM060065N1

*即将推出

02

SiC逆变焊机驱动板
整体解决方案

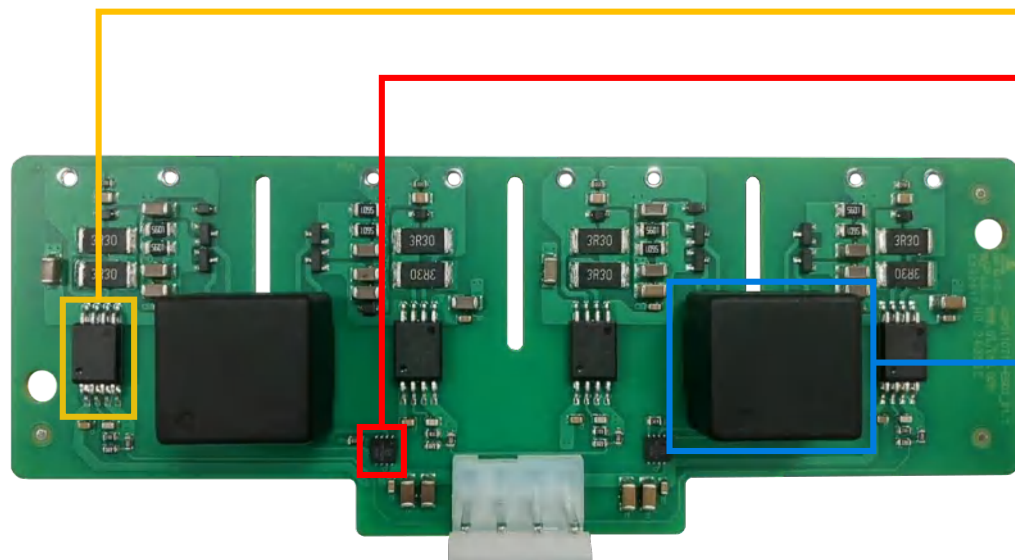


■ SiC MOSFET驱动板整体解决方案

- ◆ 即插即用驱动板型号为4QP0110T12-ES02
- ◆ 4通道输出
- ◆ 单通道输出功率2W
- ◆ 输出峰值拉灌电流10A
- ◆ 可支持驱动1200V的功率器件(SiC MOSFET)
- ◆ 整板尺寸: 126mm x 47mm x 15mm

■ 基本半导体可单独提供的三款零件

- ◆ SiC MOSFET驱动板4QP0110T12-ES02所应用到的三款零件为基本半导体自主研发产品, 用户可单独使用以下零件进行整体方案的设计。



单通道隔离驱动芯片

型号: BTD5350MCWR
封装: SOW-8 (宽体)



正激DCDC电源芯片

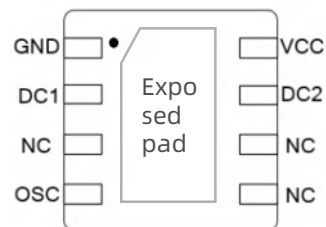
型号: BTP1521F
封装: DFN3*3-8
输出功率: 6W



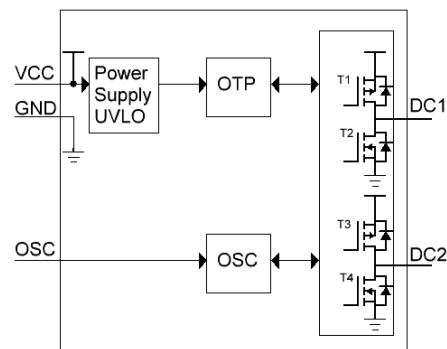
双通道隔离变压器

型号: TR-P15DS23
输出功率: 2W(每通道)

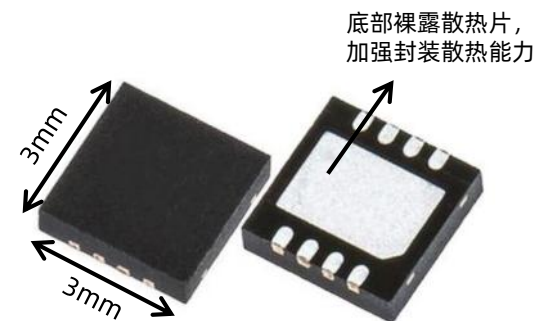
- 输出功率可达6W
- 适用于给隔离驱动芯片副边电源供电
- 正激电路（H桥逆变或推挽逆变）
- 软启动时间1.5ms
- 工作频率可编程，最高工作频率可达1.3MHz
- VCC供电电压可达24V
- VCC欠压保护点4.7V
- 工作环境-40~125°C
- 芯片过温保护点150°C, 过温恢复点120°C
- 超小体积封装



管脚示意顶视图



原理框图

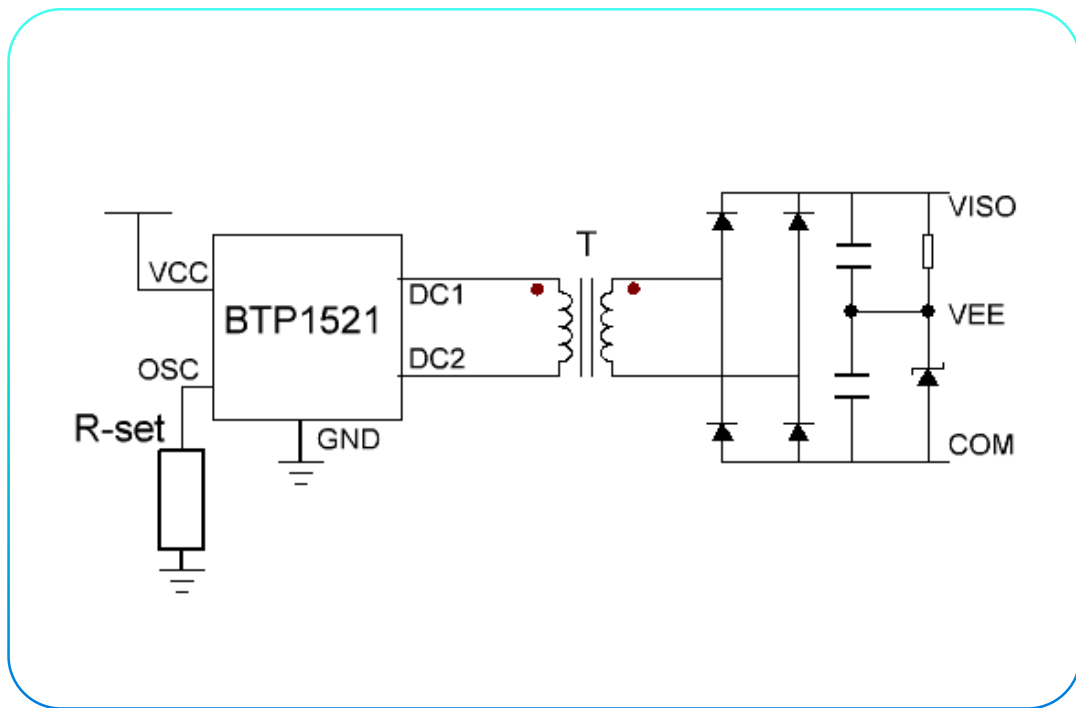


型号: BTP1521F
封装: DFN3*3-8



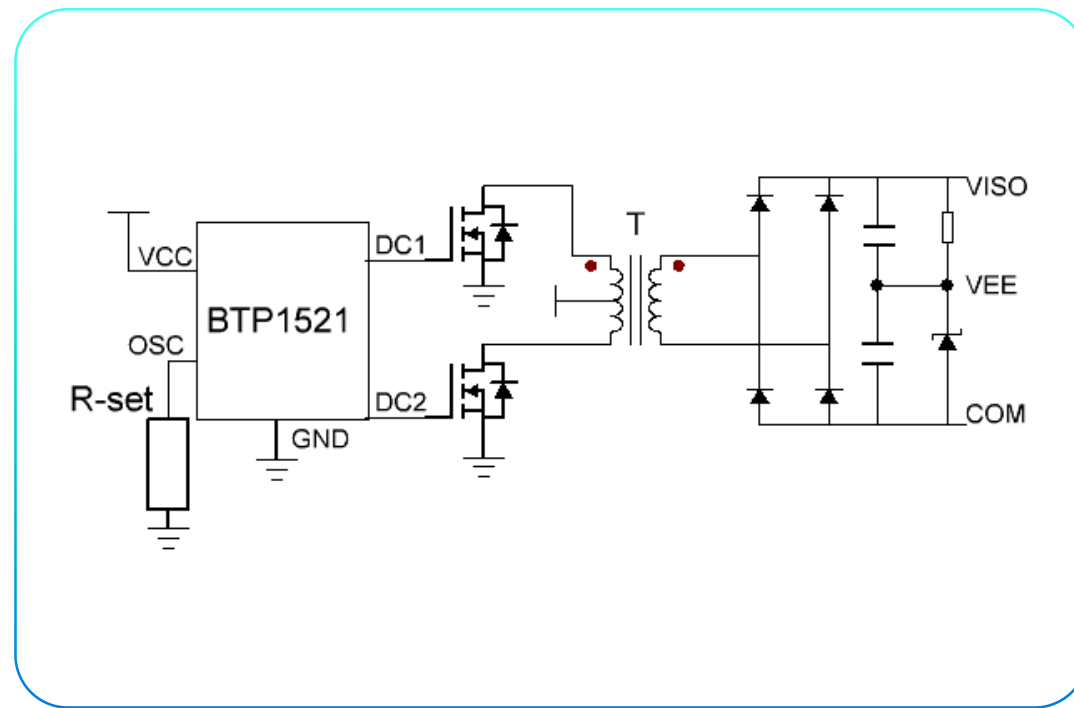
型号: BTP1521P
封装: SOP-8

- DC1和DC2接变压器原边线圈，副边二极管桥式整流，组成开环的全桥拓扑（H桥逆变），输出功率可达6W，输出经过电阻和稳压管分压后构成正负压，供SiC MOSFET使用，非常适用于给隔离驱动芯片副边电源供电。



BTP1521x推荐电路（功率小于6W情况下）

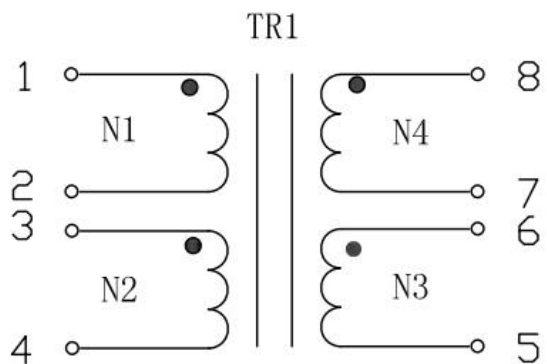
- 当副边需求功率大于6W时，可以使用推挽逆变拓扑，通过DC1和DC2端控制外接的MOSFET来增加输出功率。



BTP1521x推荐电路（功率大于6W情况下）

双通道隔离变压器TR-P15DS23介绍

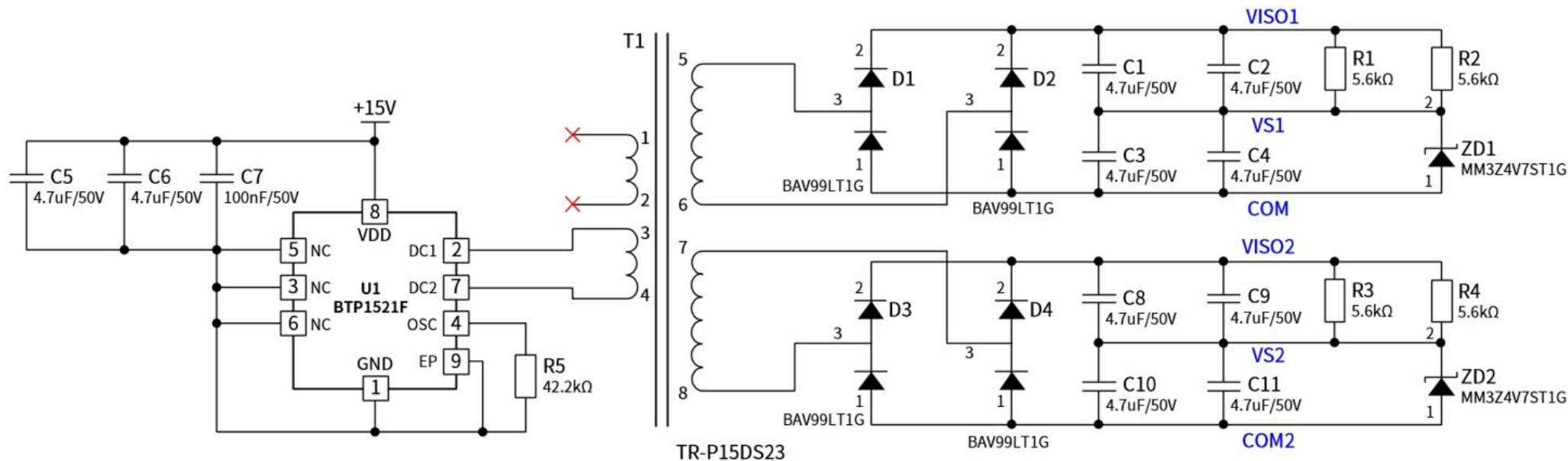
- TR-P15DS23是驱动器专用的隔离电源变压器，可实现双通道隔离供电，传输功率可达4W（每通道2W）
- 原理框图，N1和N2是原边线圈，N3和N4是副边线圈采用圆形磁环，磁环材质DMR95



参数	数值	单位
N1线圈电感量	120	μH
N2线圈电感量	120	μH
N3线圈电感量	246	μH
N4线圈电感量	246	μH
N1和N2线圈匝数	9	匝
N3和N4线圈匝数	14	匝
N1线圈内径	0.2	mm
N2线圈内径	0.2	mm
N3线圈内径	0.2	mm
N4线圈内径	0.2	mm

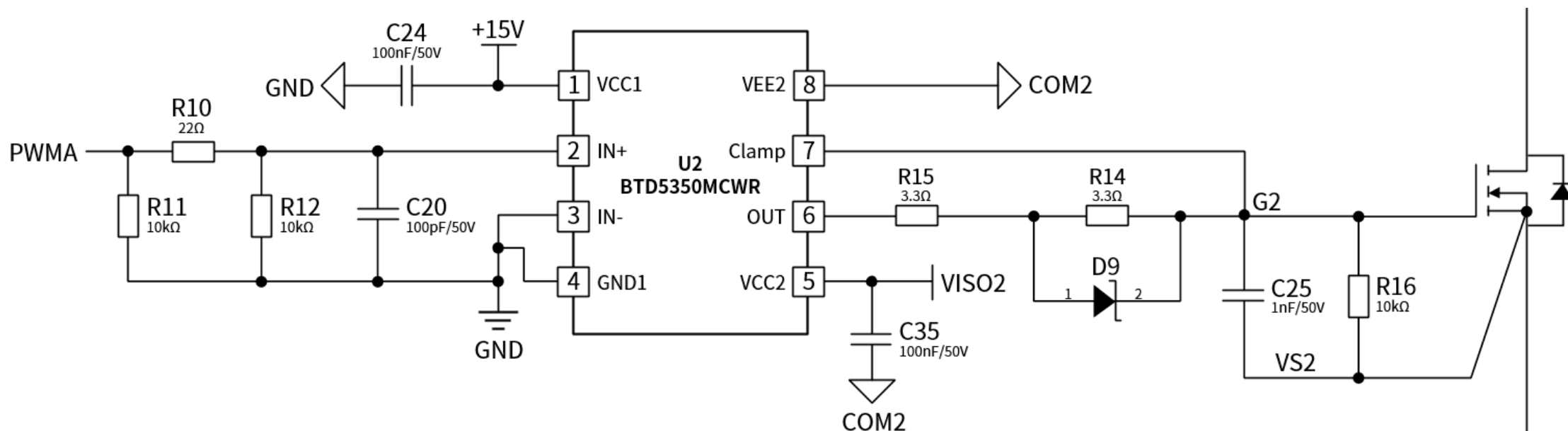


尺寸: 16.88mmx16.58mmx17.27mm



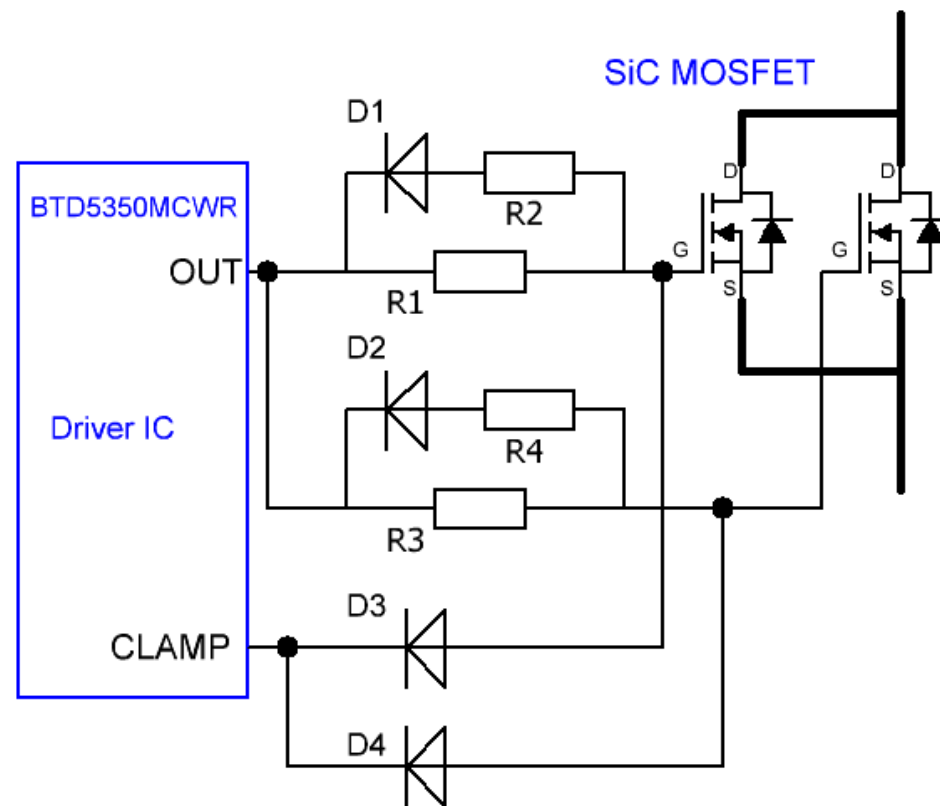
- 全桥式拓扑，副边两路输出，单路输出功率可达2W，总输出功率4W
- 输入电压15V，副边全桥整流输出全电压（VISO-COM=23V）
- 输出全电压通过4.7V的稳压管，将全电压拆分成正电压（VISO-VS=18V），负电压（COM-VS=-4V）
- BTP1521F的OSC管脚通过电阻R5=42.2kΩ接地，设置工作频率为F=477kHz

- 工作频率可以通过RF-set电阻设置，本公式提供了R_{F-SET}(kΩ)和F(kHz)之间的关系（典型值）：
$$F = \frac{1}{44.4R + 223} \times 10^6$$



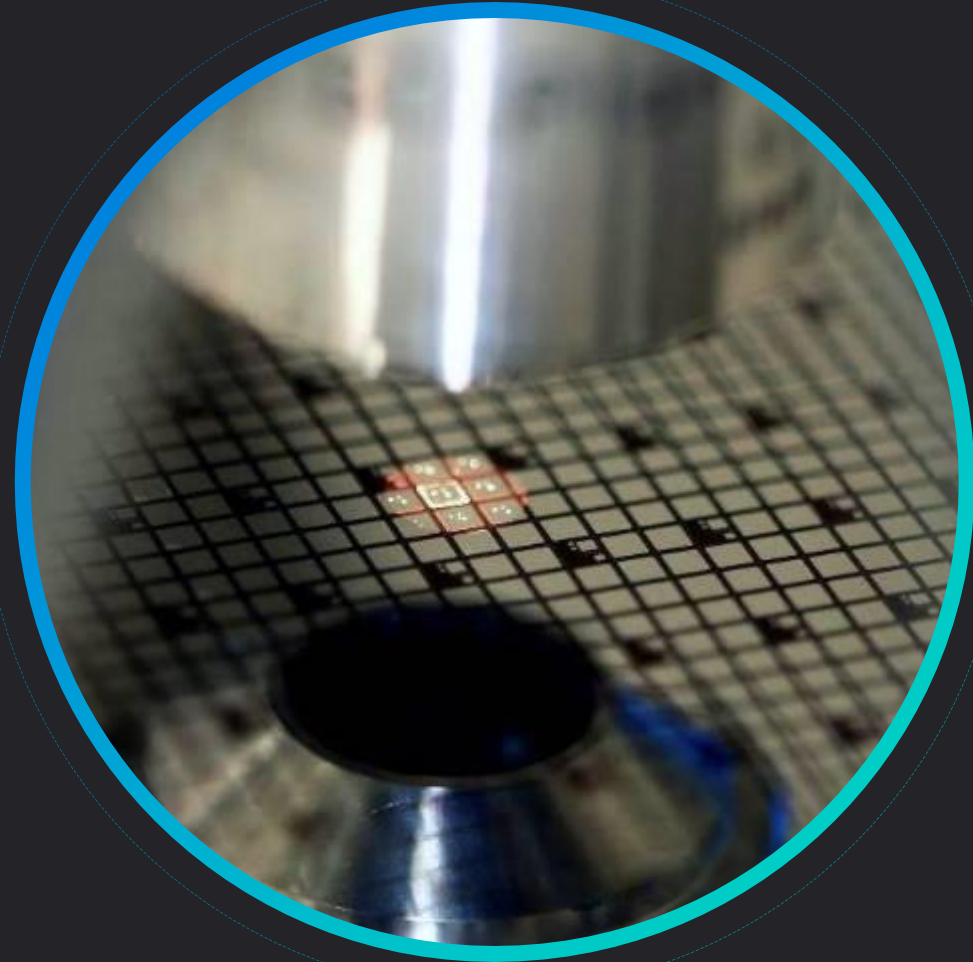
- 原方VCC1供电电压15V
- BTD5350xx是电压型输入的容隔驱动，输入IN是高阻抗，如果输入信号PCB布线不合理，容易导致输入信号受到干扰，驱动芯片会误动作，建议在PWM输入接电阻R11=10kΩ到地（甚至更低的电阻），目的是使得PWM信号的线路上能产生足够的电流，可以避免芯片输入IN脚受到干扰，同时靠近芯片IN脚接滤波电容C20=100pF到地
- 副方电源VISO2接+18V，COM2接-4V，VS2接SiC MOSFET的辅助源极
- 驱动芯片米勒钳位Clamp脚直接连接到SiC MOSFET门极

- 当多管并联时，能实现SiC MOSFET的并联均流是关键，需要保证开通和关断的驱动一致性，一般的方法是驱动芯片OUT脚分别串入电阻到门极G，且每个门极有各自的门极电阻，如右图所示
- 需要使用米勒钳位功能时，为了不破坏驱动回路的一致性，建议在米勒钳位脚Clamp连接到SiC MOSFET门极G分别串入二极管。如右图所示D3和D4
- D3和D4一般选取低压降的肖特基二极管

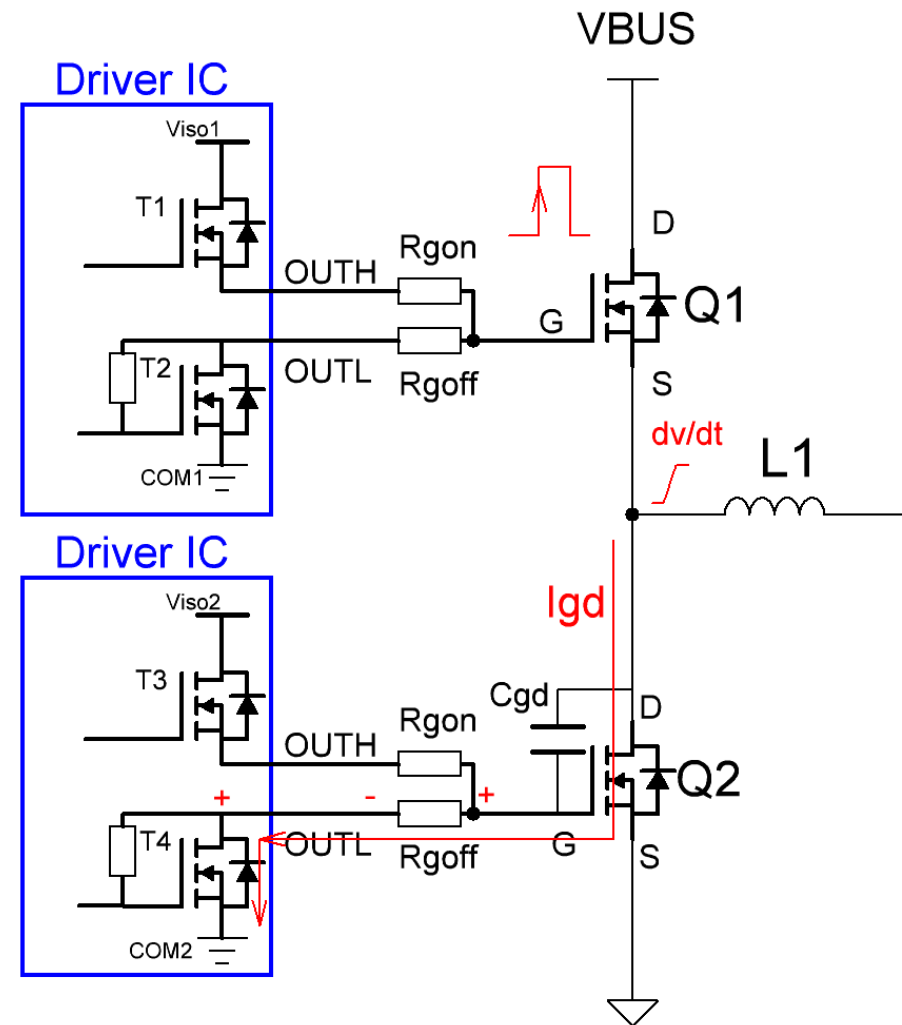


03

驱动SiC MOSFET 使用米勒钳位功能 的必要性



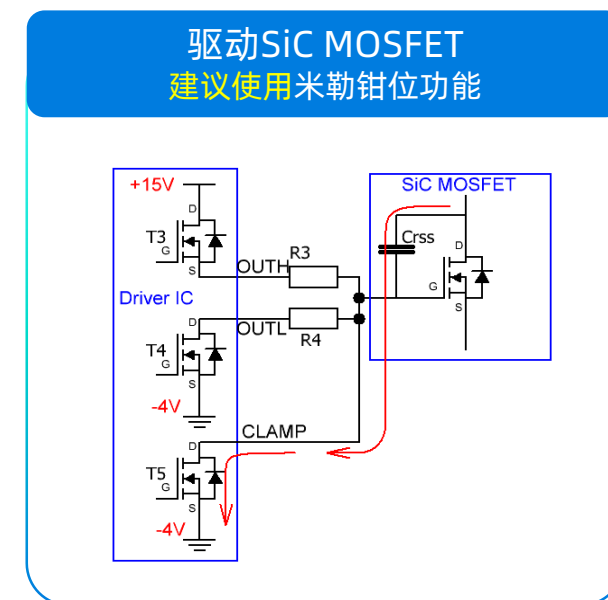
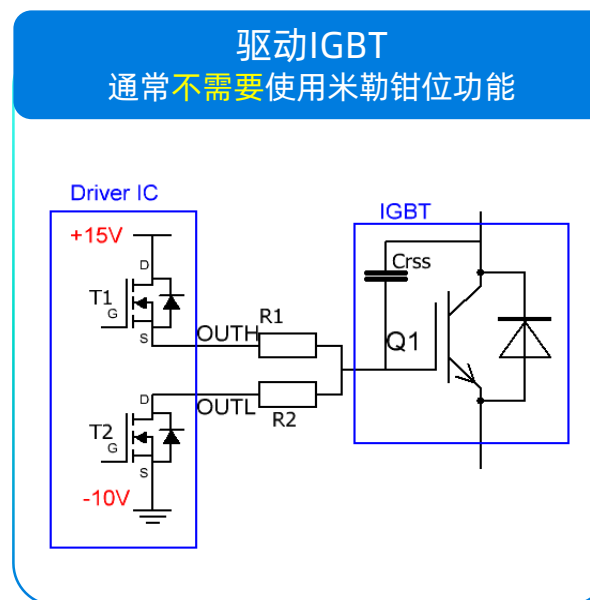
- 在桥式电路中，功率器件会发生米勒现象，它是指当一个开关管在开通瞬间，使对管的门极电压出现顶起来的趋势
- 该现象广泛存在于功率器件中，包括IGBT，Si MOSFET，SiC MOSFET；
- 原理分析：当下管Q2保持关闭，在上管Q1开通瞬间，桥臂中点电压快速上升，桥臂中点dv/dt的水平，取决于上管Q1的开通速度。该dv/dt，会驱动下管Q2的栅漏间的寄生电容 C_{gd} 流过米勒电流 I_{gd} ； $I_{gd}=C_{gd} * (dv/dt)$ ，dv/dt越大，米勒电流 I_{gd} 越大
- 米勒电流 I_{gd} （红色线）的路径： $C_{gd} \rightarrow R_{goff} \rightarrow T4 \rightarrow$ 负电源轨，产生左负右正的电压
- $V_{gs}=I_{gd} * R_{goff} +$ 负电源轨，这个电压叠加在功率器件门极，Vgs会被抬高，当门极电压超过 V_{gsth} ，将会使Q1出现误开通，从而造成直通现象

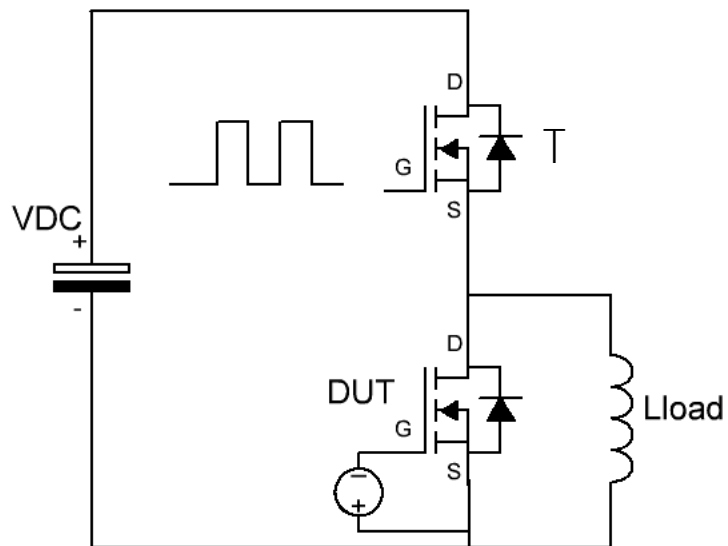


参数和性能	IGBT	SiC MOSFET	单位	说明
门极负压极限值 V_{GS-}	-25	-8	V	1: IGBT门极对驱动负压的忍耐能力明显优于SiC MOSFET 2: SiC MOSFET的实战的驱动负压通常在-2~-4V的水平 3: IGBT的驱动负压通常在-8~-15V，腾挪空间明显多于SiC MOSFET
开启电压 $V_{gs(th)}$	5.5	1.8~2.7	V	1: SiC MOSFET开启电压低，容易误开通 2: SiC MOSFET的 $V_{gs(th)}$ 随着 T_J 温度上升而下降，在高温时，更容易误开通
开关速度	100	200	%	米勒电流 $I_{gd} = C_{gd} * (dv/dt)$ ， dv/dt 越大， I_{gd} 越大，越容易误开通

驱动方案

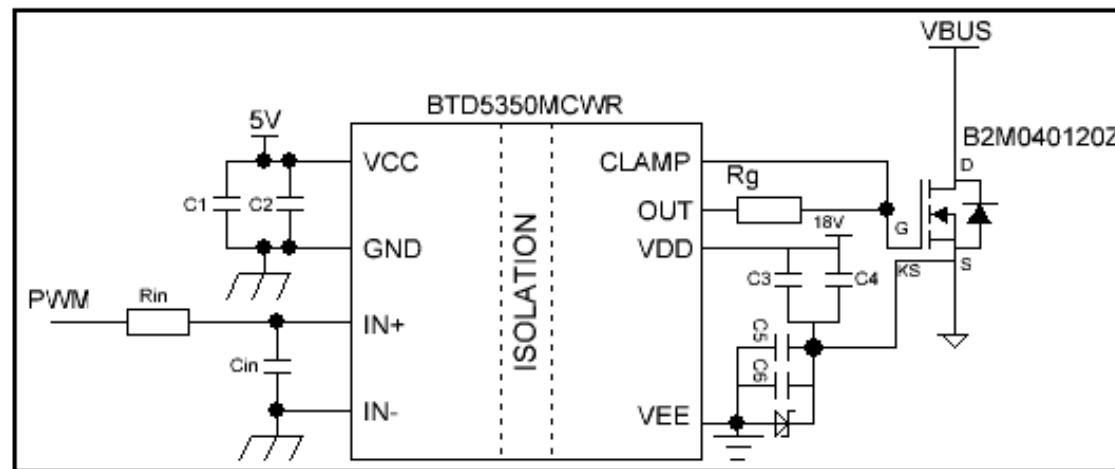
- 驱动芯片的米勒钳位脚（Clamp）直接连接到SiC MOSFET的门极，米勒电流 I_{gd} （红色线）会流经 $C_{gd} \rightarrow T5$ 到负电源轨，形成了一条阻抗更低的门极电荷泄放回路。
- 驱动芯片内部比较器的翻转电压阈值2V（相对芯片地），在SiC MOSFET关断期间，当门极电压低于2V时，比较器输出从低电平翻转到高电平，MOSFET (T5)被打开，使得门极以更低阻抗拉到负电源轨，从而保证SiC MOSFET负电压被更有效关断，达到抑制误开通的效果。



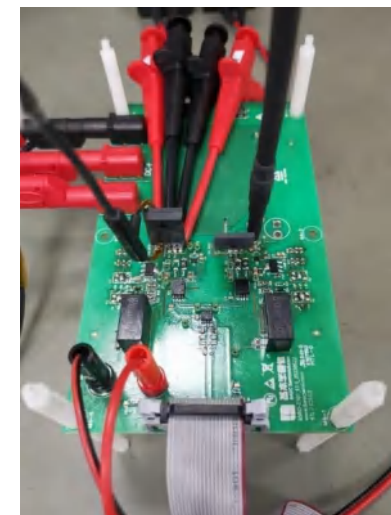


双脉冲原理图

- ◆ 上管(T)作为开关管接收脉冲PWM信号，下管(DUT)处于关断状态，体二极管续流
- ◆ 由于米勒现象，在上管(T)开通时，下管(DUT)门极电压会产生波动
- ◆ 因此通过观察下管(DUT)门极电压来判断米勒钳位功能的作用

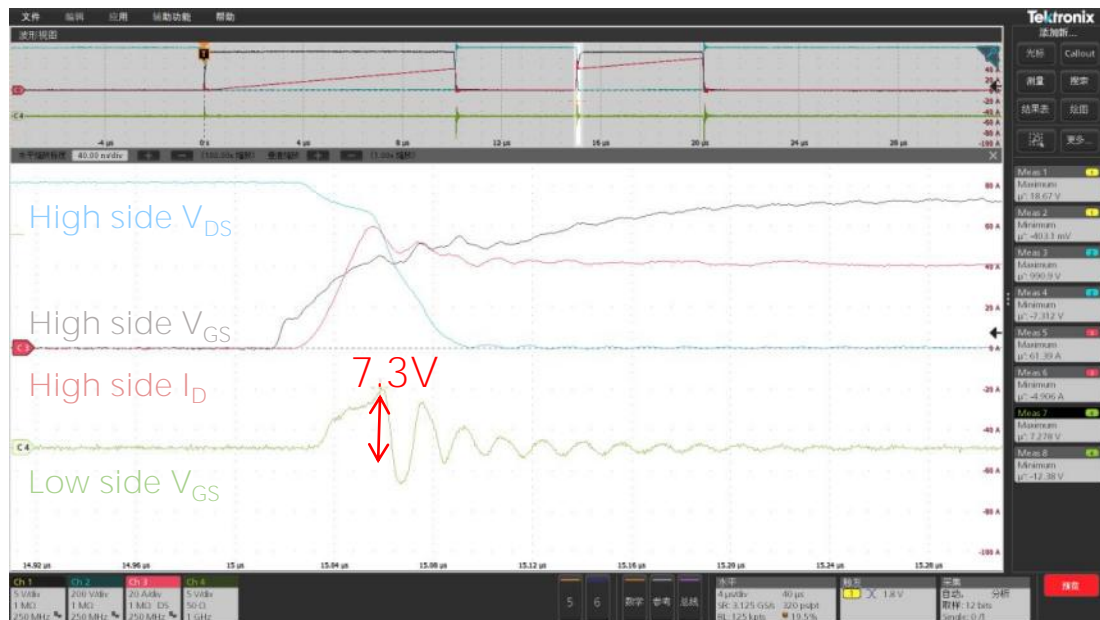


米勒钳位功能原理图

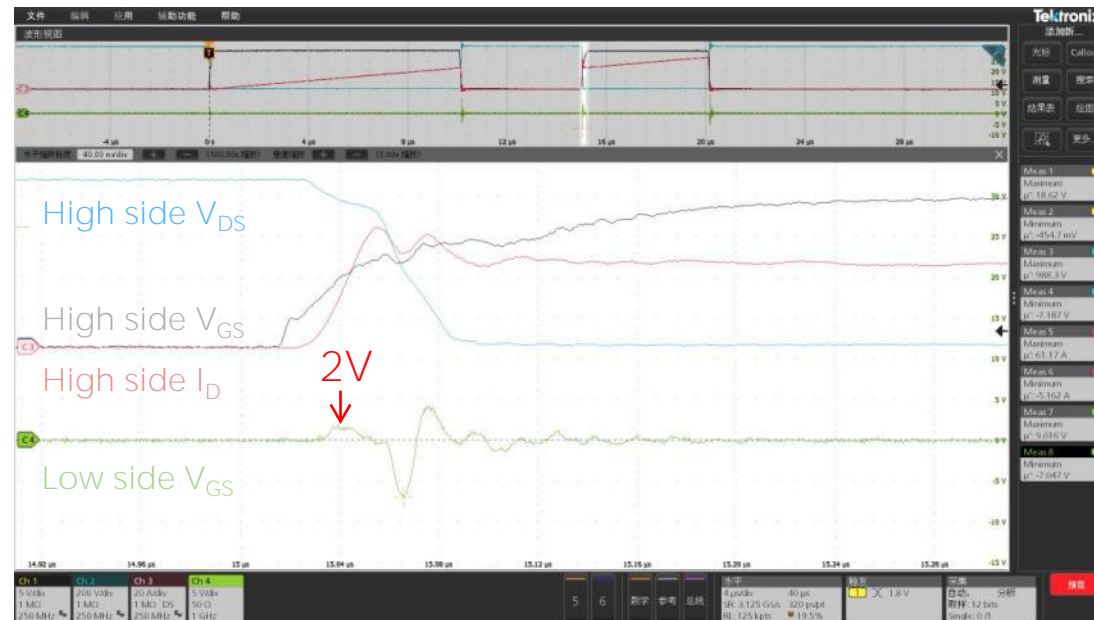


米勒钳位作用 // 双脉冲平台实测对比

测试条件: 上管 $V_{GS}=0V/+18V$, 下管 $V_{GS}=0V$; $V_{DS}=800V$; $I_D=40A$; $R_g=8.2\Omega$; $L_{load}=200\mu H$; $T_a=25^\circ C$



无米勒钳位

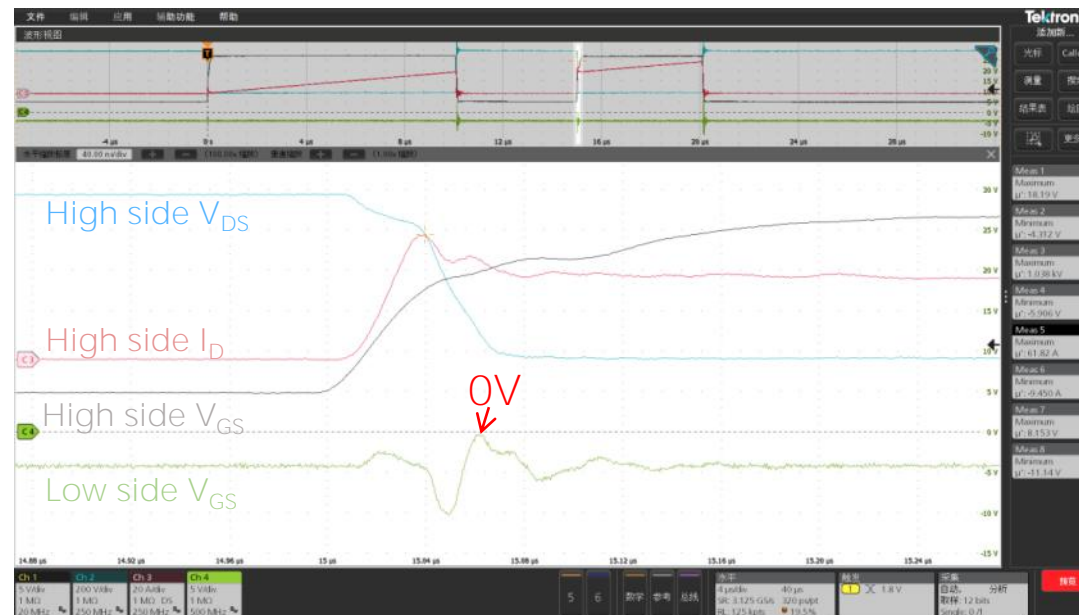
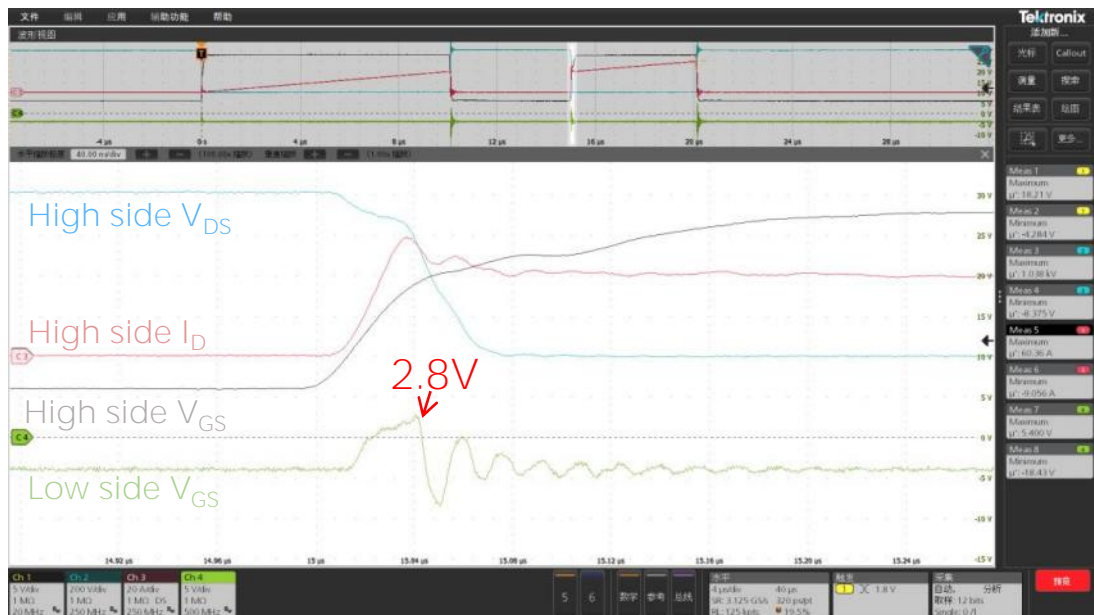


有米勒钳位

结论	无米勒钳位		有米勒钳位		单位
	dv/dt	14.51	14.76	kV/us	
	di/dt	2.24	2.24	kA/us	
	下管 V_{GS}	7.3	2	V	

米勒钳位作用 // 双脉冲平台实测对比

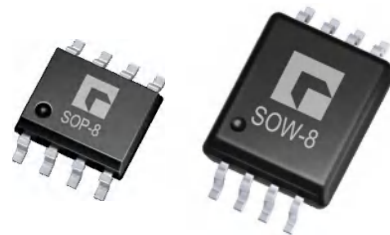
测试条件: 上管 $V_{GS}=-4V/+18V$, 下管 $V_{GS}=-4V$; $V_{DS}=800V$; $I_D=40A$; $R_g=8.2\Omega$; $L_{load}=20\mu H$; $T_a=25^\circ C$



结论	无米勒钳位		有米勒钳位		单位
	dv/dt	14.51	14.76	kV/us	
	di/dt	2.24	2.24	kA/us	
	下管 V_{GS}	2.8	0	V	

产品特性

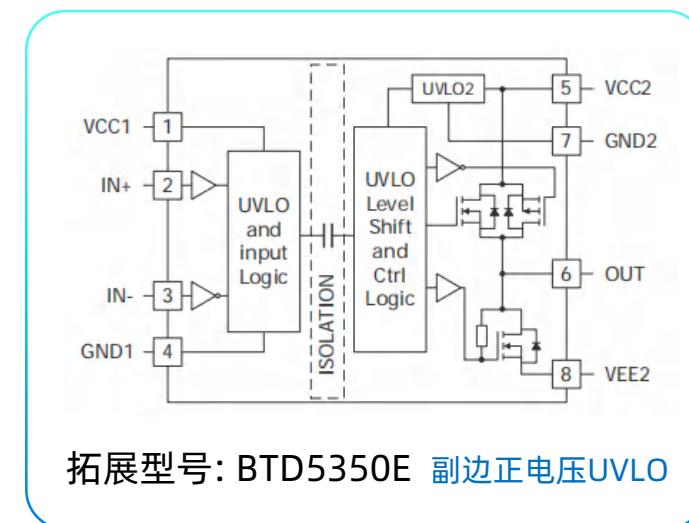
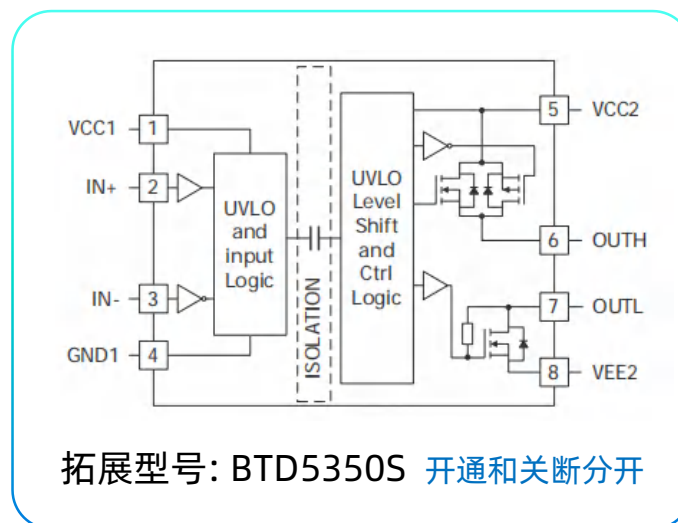
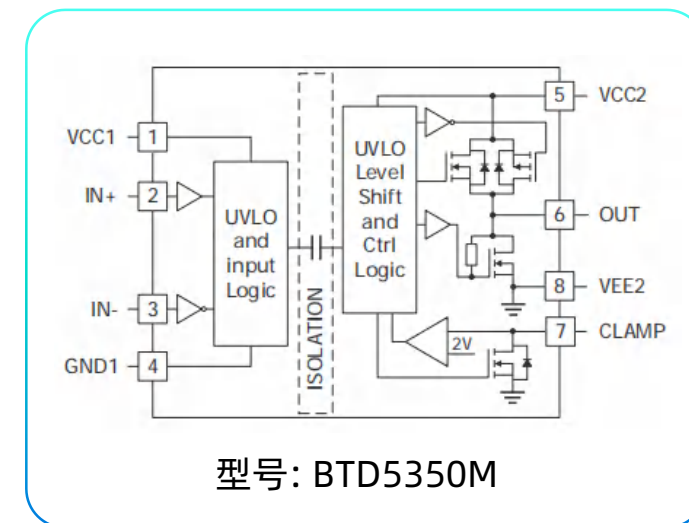
- ◆ 专为SiC MOSFET驱动的门极驱动芯片
- ◆ 副方驱动器带米勒钳位功能脚clamp BTD5350M
- ◆ 驱动器输出峰值电流可达10A
- ◆ 驱动器电源全电压高达33V



典型应用

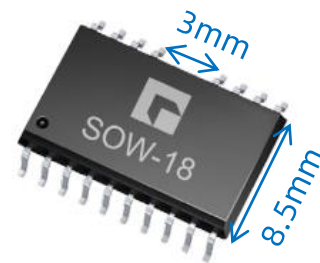
- ◆ 工业电源
- ◆ 锂电池化成设备
- ◆ 商业空调
- ◆ 通信电源
- ◆ 光伏储能一体机
- ◆ 焊机电源

副方驱动器电源欠压保护点	封装
8V	SOW-18(宽体)
11V	SOP-8(窄体)



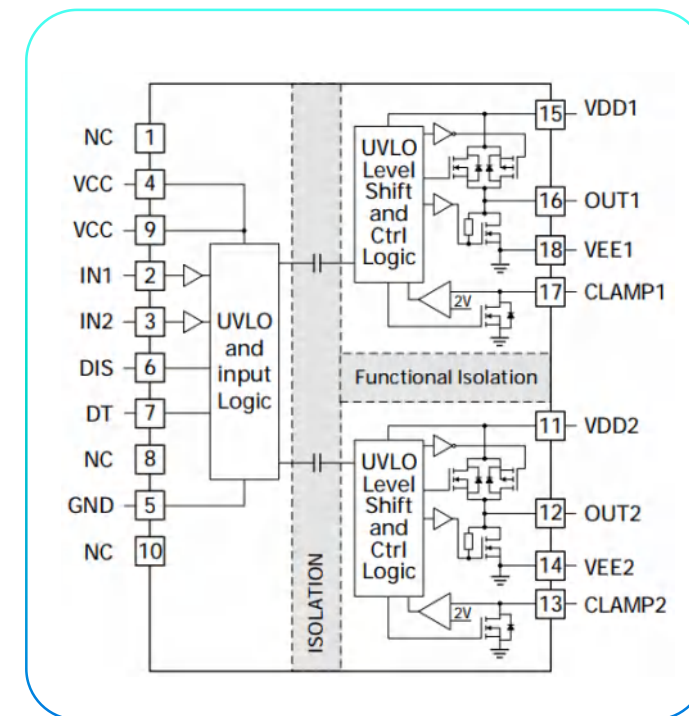
产品特性

- ◆ 专门给SiC MOSFET驱动的门极驱动芯片
- ◆ 原方带使能禁用脚DIS, 死区时间设置脚DT
- ◆ 副方驱动器带米勒钳位功能脚clamp
- ◆ 驱动器输出峰值电压可达10A
- ◆ 驱动器电源全电压高达33V
- ◆ 原副方封装爬电间距大于8.5mm, 绝缘电压可以5000Vrms
- ◆ 副方两驱动器爬电间距大于3mm



应用方向

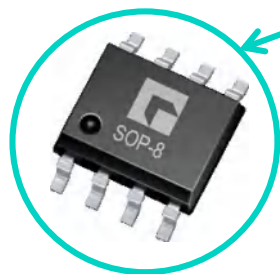
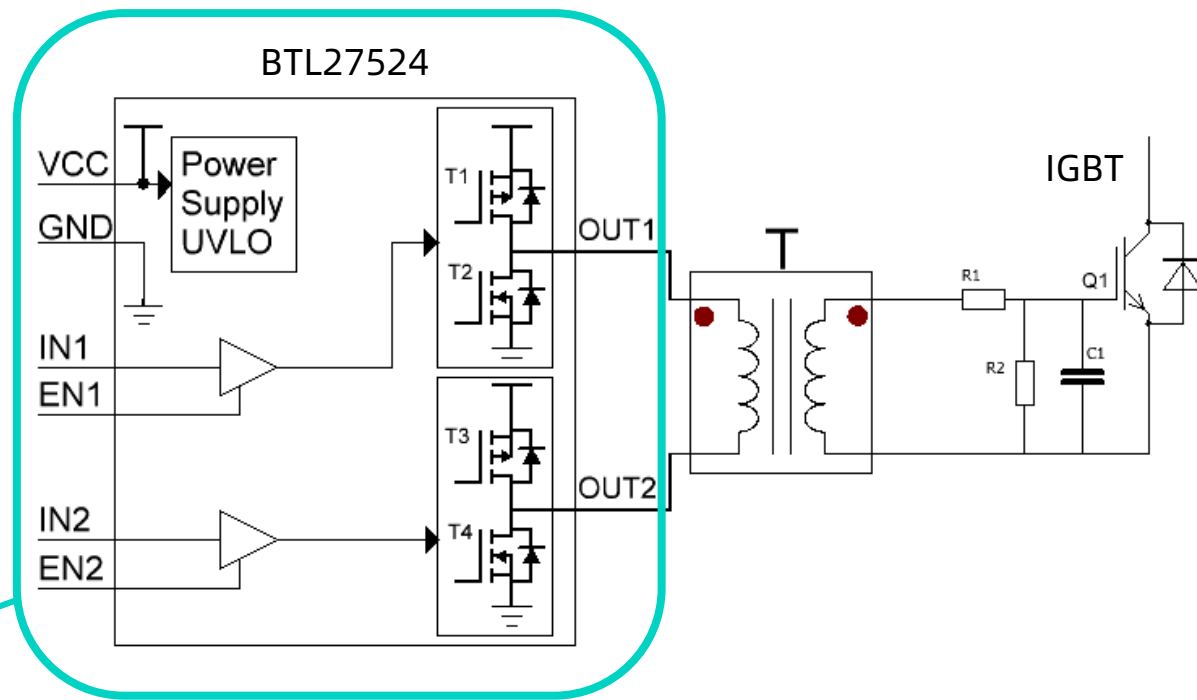
- ◆ 充电桩中后级LLC用SiC MOSFET 方案
- ◆ 光伏储能BUCK-BOOST中SiC MOSFET方案
- ◆ 高频APF, 用两电平的三相全桥SiC MOSFET方案
- ◆ 空调压缩机三相全桥SiC MOSFET方案
- ◆ 焊机电源全桥拓扑SiC MOSFET方案
- ◆ 服务器交流侧图腾柱PFC高频臂GaN或者SiC方案



副方驱动器电源欠压保护点	封装
8V	SOW-18(宽体)
11V	

采用脉冲变压器驱动IGBT的解决方案—BTL27524

- 脉冲变压器驱动方案：用一颗双通道低边驱动芯片 BTL27524R 的两个通道输出 OUT1 和 OUT2 分别连接到变压器的原边绕组两端，副边绕组直接驱动 IGBT
- BTL27524 可以接受 3.3V 的逻辑电平，可以直接与 MCU 接口；输出可以直接驱动一个通道的脉冲变压器
 - ◆ 比常见的用分立 MOSFET 做的方案集成度高很多

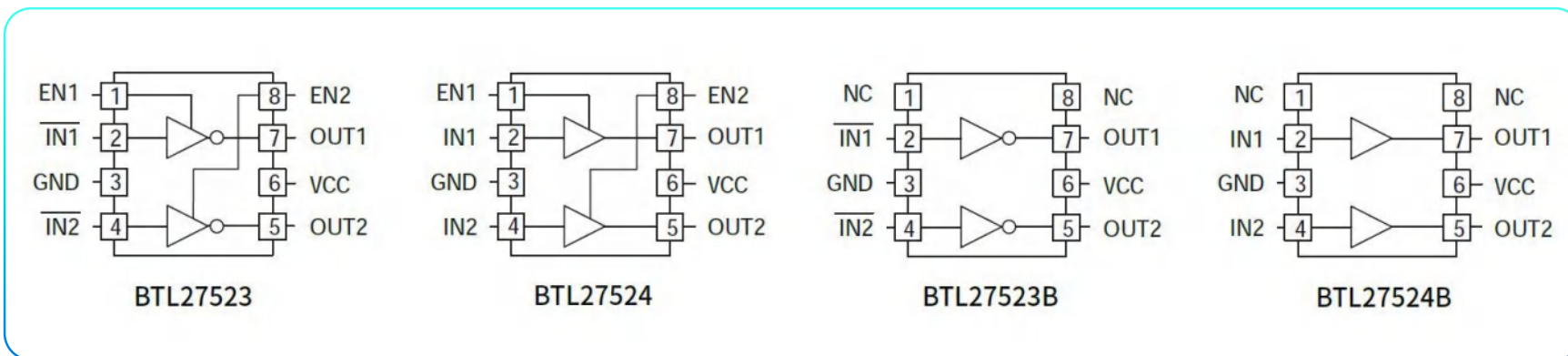


采用 SOP-8 封装，输入信号逻辑电平低，更适合 3.3V 或 5V 供电的 MCU 直接给输入信号。

产品型号	使能	拉灌电流	逻辑选项组合	输入抗负压能力	封装
BTL27523R	有	5A	双路反向	-5V	SOP-8
BTL27524R	有	5A	双路同向	-5V	SOP-8
BTL27523BR	无	5A	双路反向	-5V	SOP-8
BTL27524BR	无	5A	双路同向	-5V	SOP-8

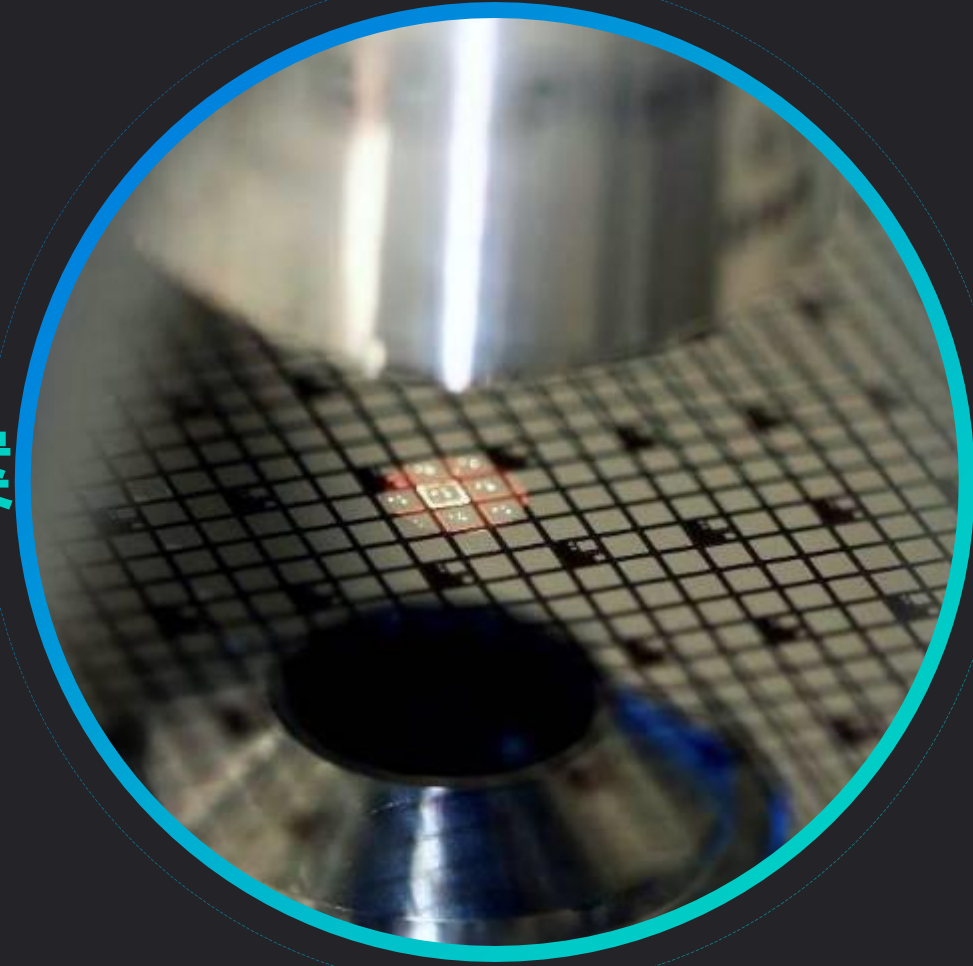
特征性能

- ◆ 输入脚可耐受负压达-5V
- ◆ 电源电压最大24V
- ◆ 直接与MCU接口
- ◆ 两个通道延迟差异4ns

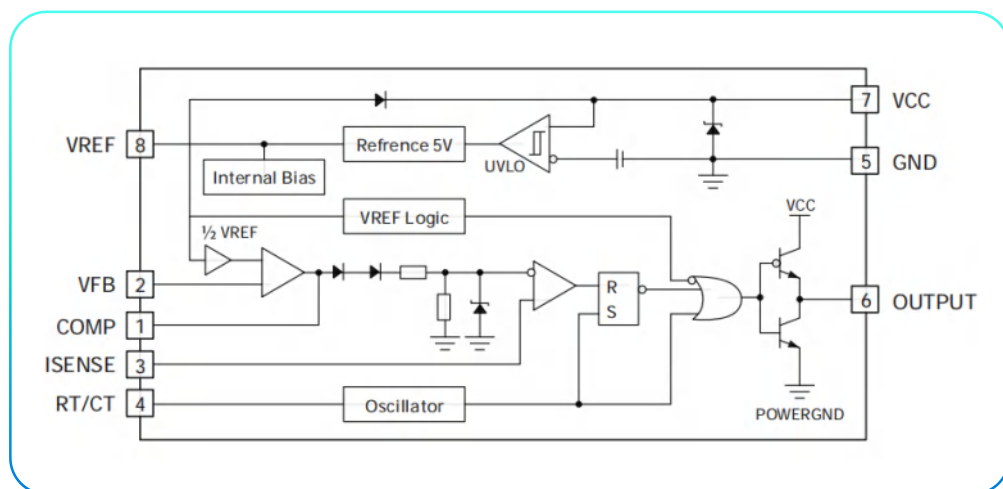


04

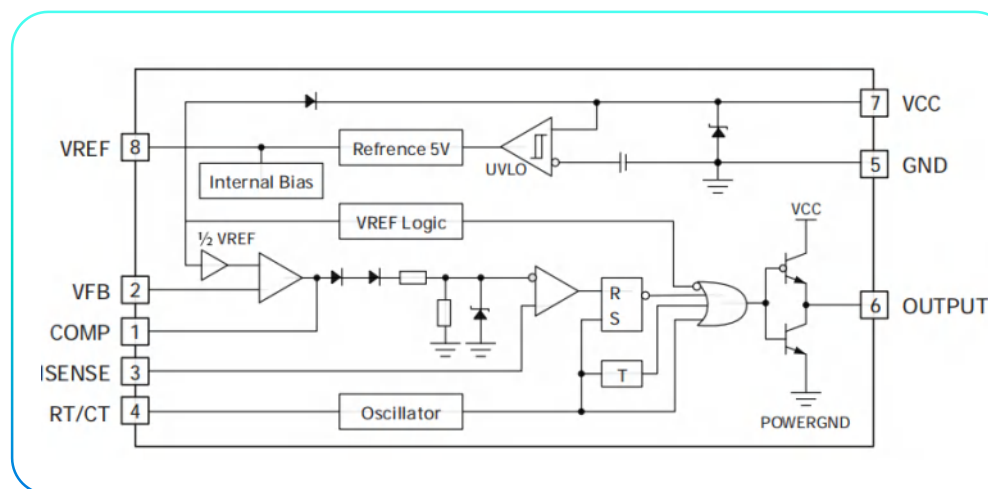
焊机辅助电源解决方案



产品型号	欠压保护值	欠压恢复值	占空比	工作温度	驱动峰值电流	最大工作频率	封装	兼容型号			
								T***	O***	S***	U***
BTP2842DR	10V	16V	100%	-40°C~105°C	1A	500kHz	SOP-8	UCx842	UCx842	UCx842	UCx842
BTP2843DR	7.6V	8.4V	100%	-40°C~105°C	1A	500kHz	SOP-8	UCx843	UCx843	UCx843	UCx843
BTP2844DR	10V	16V	50%	-40°C~105°C	1A	500kHz	SOP-8	UCx844	UCx844	UCx844	UCx844
BTP2845DR	7.6V	8.4V	50%	-40°C~105°C	1A	500kHz	SOP-8	UCx845	UCx845	UCx845	UCx845

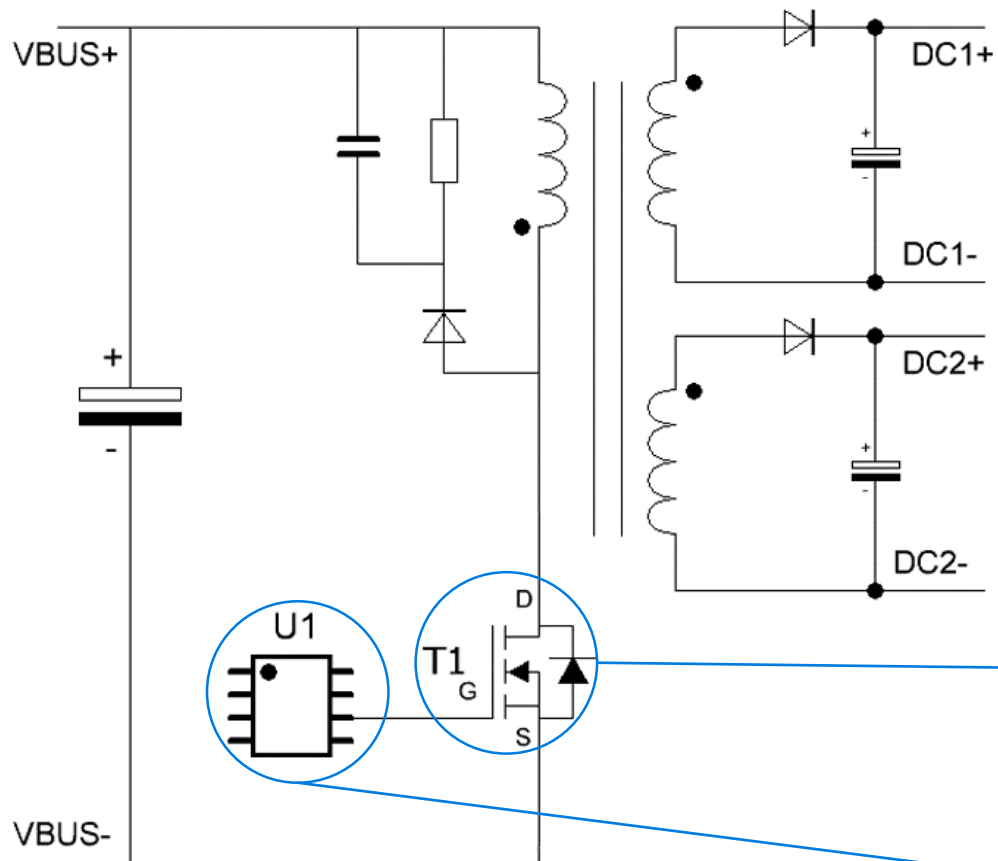


BTP2842DR, BTP2843DR



BTP2844DR, BTP2845DR





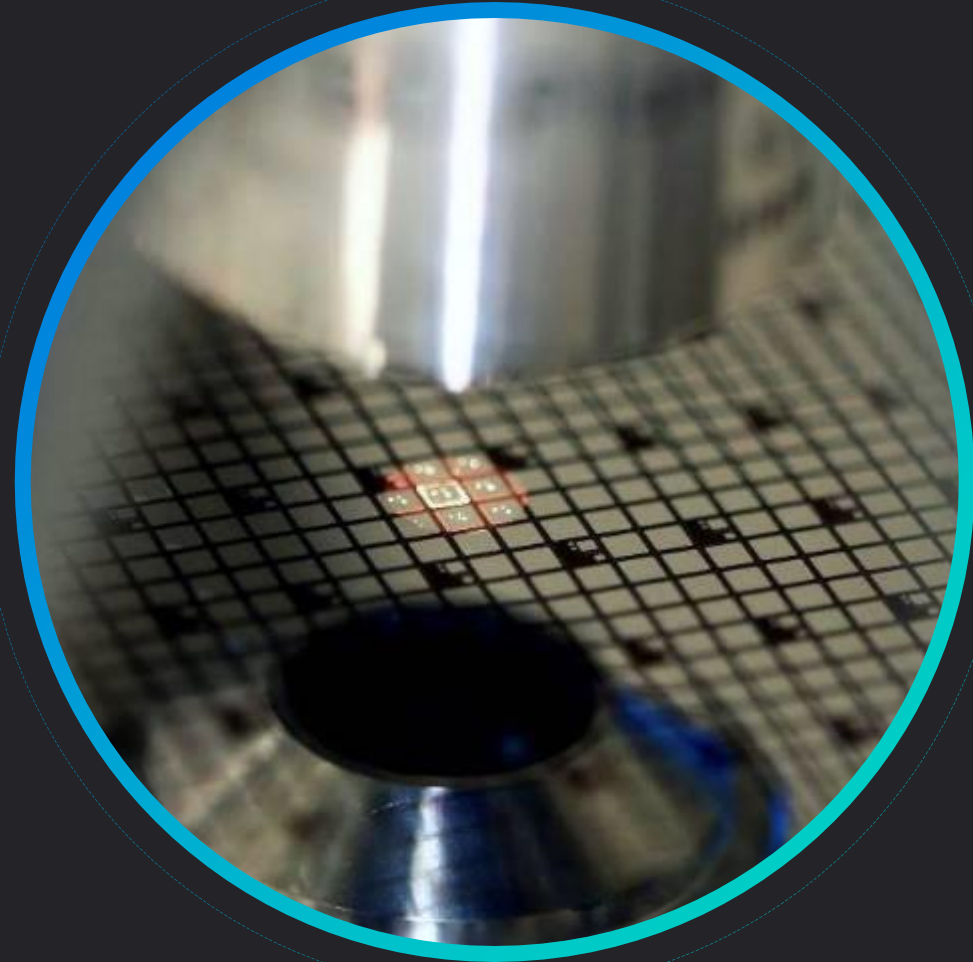
- 采用单端反激拓扑
- 副边多路输出
- 输出总功率可达50W

原边开关管采用SiC MOSFET ,规格1700V/600mR;
型号B2M600170R (TO-263B-7) 或B2M600170H (TO-247-3)

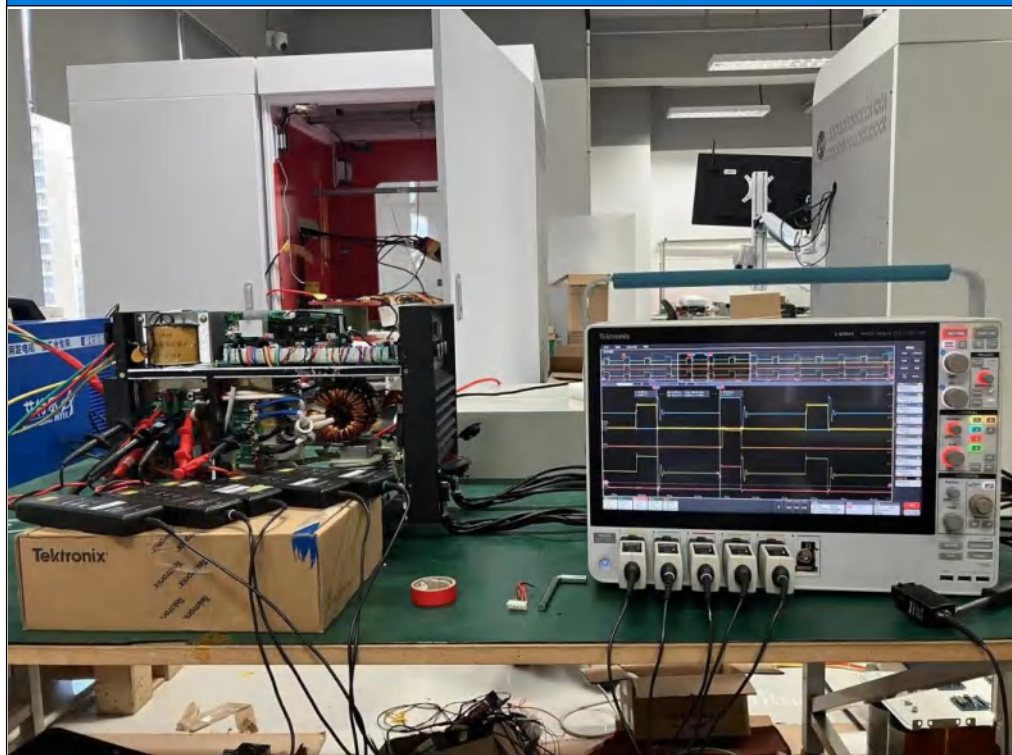
电源芯片采用BTP284xx

05

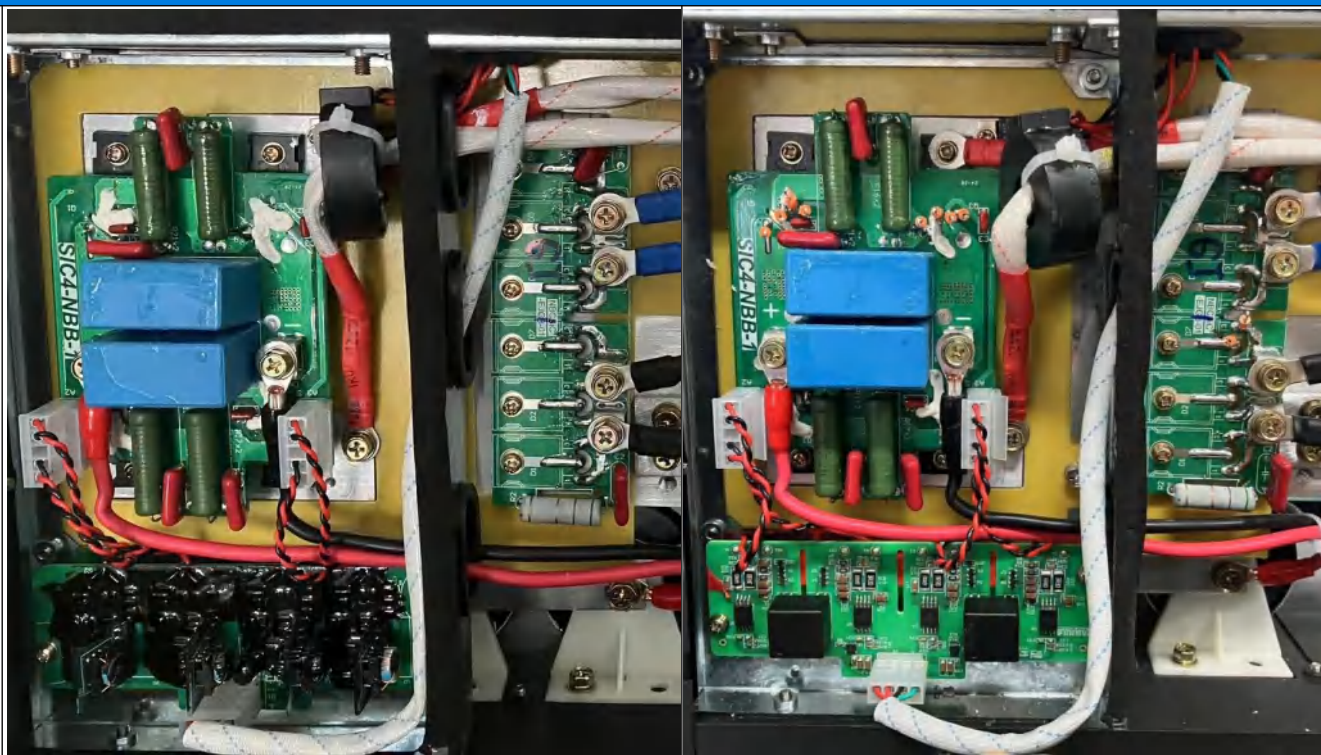
搭配隔离驱动芯片的 SiC MOSFET在焊机 应用中实测波形对比



测试仪器和设备



电焊机整机测试平台



原型机驱动方案

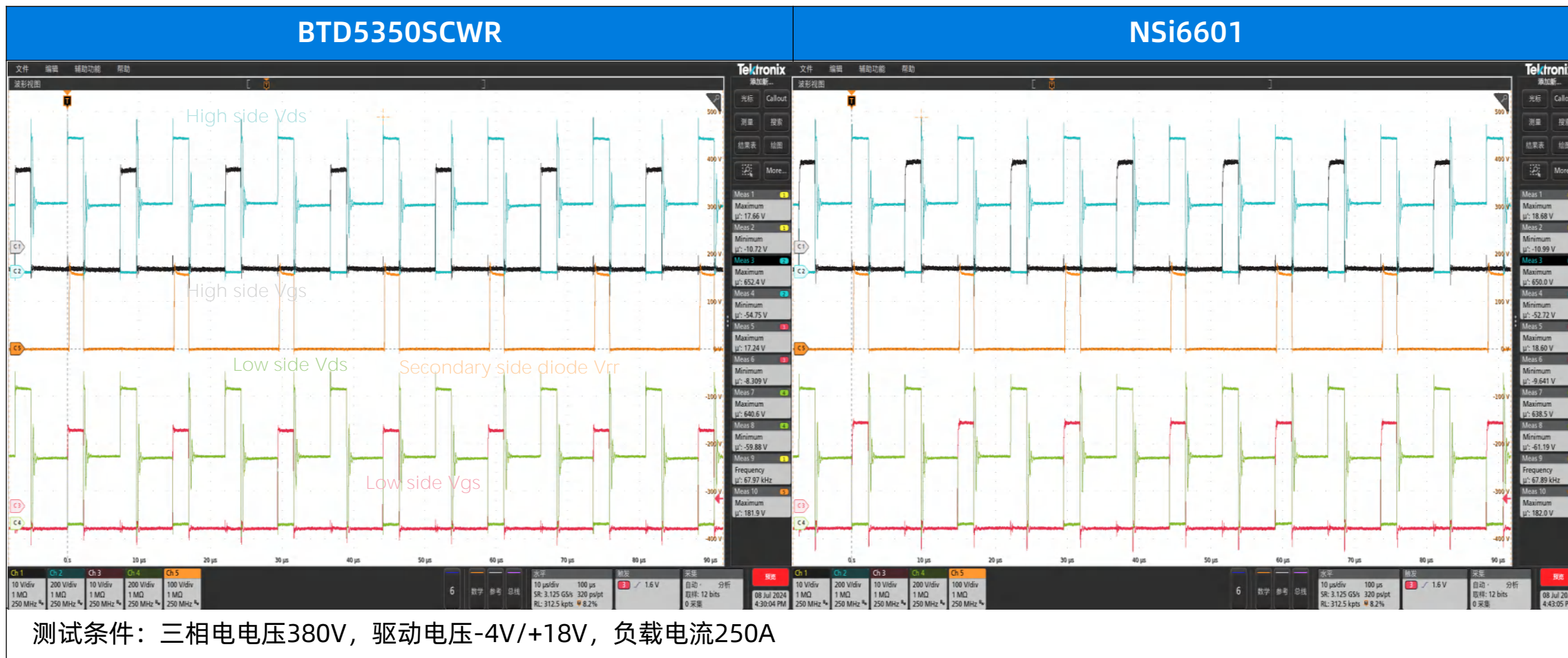
Gate Driver: NSi6601(N^{***})
SiC MOSFET: B2M040120Z(BASiC)

更换驱动方案

Gate Driver: BTD5350SCWR(BASiC)
SiC MOSFET: B2M040120Z(BASiC)

测试条件: Vac=380V, IOUt=0/250A, Vgs=18V/-4V, Ron=3.3Ω, Roff=6.8Ω.		BTD5350SCWR(BASiC)		NSi6601(N ^{***})		单位
		0A	250A	0A	250A	
SiC MOSFET B2M040120Z	开关频率	70				kHz
	上管DS关断电压尖峰	676.4	652.4	645.0	650.0	V
	下管DS关断电压尖峰	674.2	640.6	641.2	638.5	V
	上管DS开通dv/dt	0.849	24.37	0.839	25.99	kV/us
	上管DS关断dv/dt	1.28	23.31	1.26	24.05	kV/us
	下管DS开通dv/dt	0.868	24.25	0.863	25.21	kV/us
	下管DS关断dv/dt	1.21	24.85	1.20	25.68	kV/us
	上管GS开通上升时间	56.64	51.37	128.8	123.9	ns
	上管GS关断下降时间	42.01	44.79	37.47	46.48	ns
	下管GS开通上升时间	54.21	51.18	137.2	125.3	ns
	下管GS关断下降时间	41.62	48.22	37.65	40.98	ns
副边Diode	反向恢复电压尖峰	180.8	181.9	181.9	182.0	V

- 从表中可知，使用SiC MOSFET,焊机的
工作频率可以提升到70kHz。
- 在250A的输出电流情况下，不同的驱动
芯片，SiC MOSFET的Vds的反向电压尖
峰都控制在同一水平。
- BTD5350SCWR的Vgs开通上升时间只有
NSi6601的一半，表明BTD5350SCWR
开通速度更快，开通损耗更小。

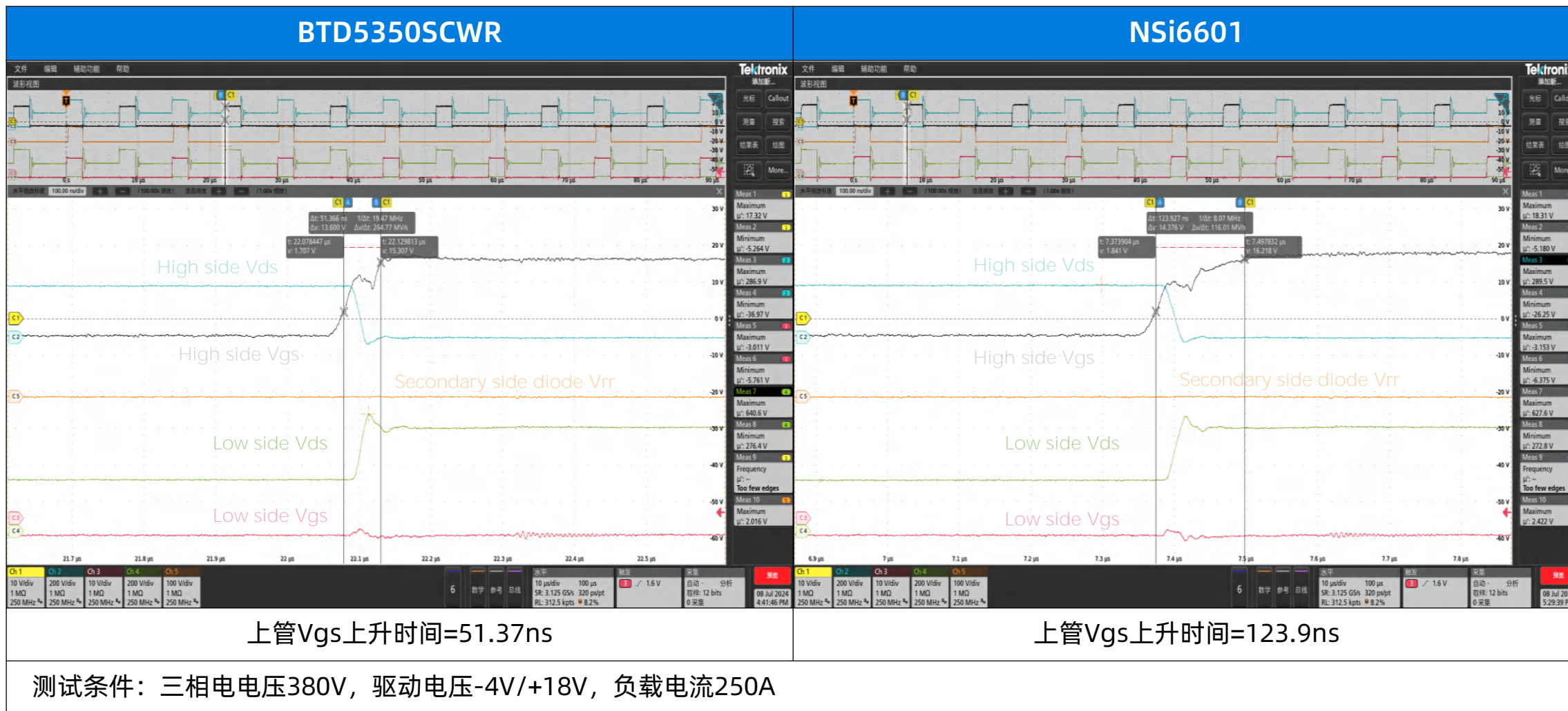


- TOP最大关断电压尖峰

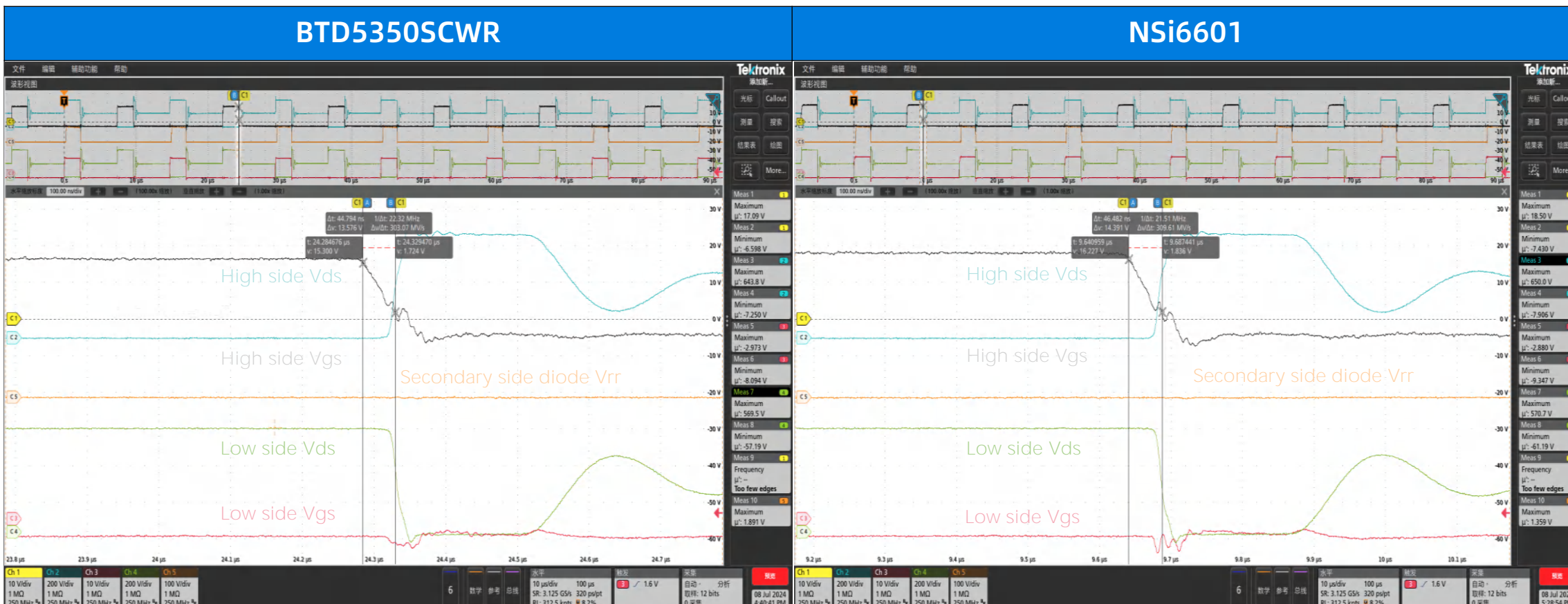


测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A

- 以Vgs波形为基准，电压上升时的Vgs在10%到90%之间的时间为上升时间。



- 以Vgs波形为基准，电压下降时的Vgs在90%到10%之间的时间为下降时间。



上管Vgs下降时间=44.79ns

上管Vgs下降时间=46.48ns

测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A



BASiC – Vision For A Leading Innovative SiC Company

