



# InnoGaN电源应用技术

2022/03/24

# 目录

CONTENT

01 GaN与Si的差异对比

02 InnoGaN产品介绍

03 InnoGaN驱动设计

04 InnoGaN选型指南

# 01

## GaN与Si的差异对比

第一代半导体材料：主要是指硅（Si）、锗元素（Ge）半导体材料



集成电路、电子信息网络工程、电脑、手机、电视、航空航天、各类军事工程和迅速发展的新能源、硅光伏产业。

主要用于制作高速、高频、大功率以及发光电子器件，是制作高性能微波、毫米波器件及发光器件的优良材料。

手机快充目前应用广泛、激光雷达、射频、通信等领域。

	第一代	第二代		第三代	
	Si	GaAs	InP	SiC	GaN
禁带宽度Eg (eV)	1.12	1.4	1.3	3.2	3.39
相对介电常数	11.7	13.1	12.5	9.7	9.8
绝缘击穿场强Ecrit (MV/cm)	0.3	0.4	0.5	2.2	3.3
电子漂移饱和速度 (10 <sup>7</sup> cm/s)	1	2	1	2	2.5
热导率W/cm.K	1.5	0.5	0.7	4.5	2~3
电子迁移率cm <sup>2</sup> /Vs	1250	8500	5400	900	2000
功率密度W/mm	0.2	0.5	1.8	~10	>30

禁带宽度 (Eg):半导体的禁带宽度和晶格原子之间的化学键强度相关, 禁带宽度反应的是价电子被束缚强弱的物理量。禁带宽度大, 表明束缚能力强, 则材料的本征漏电流较低, 工作温度较高。

绝缘击穿场强 (Ecrit):强的化学键会造成更大的禁带宽度, 也会引起雪崩击穿时更高的临界击穿电场, 器件的击穿电压近似为 $VBR=1/2*Wdrift*Ecirt$ , 因此器件的击穿电压与漂移区宽度成正比。

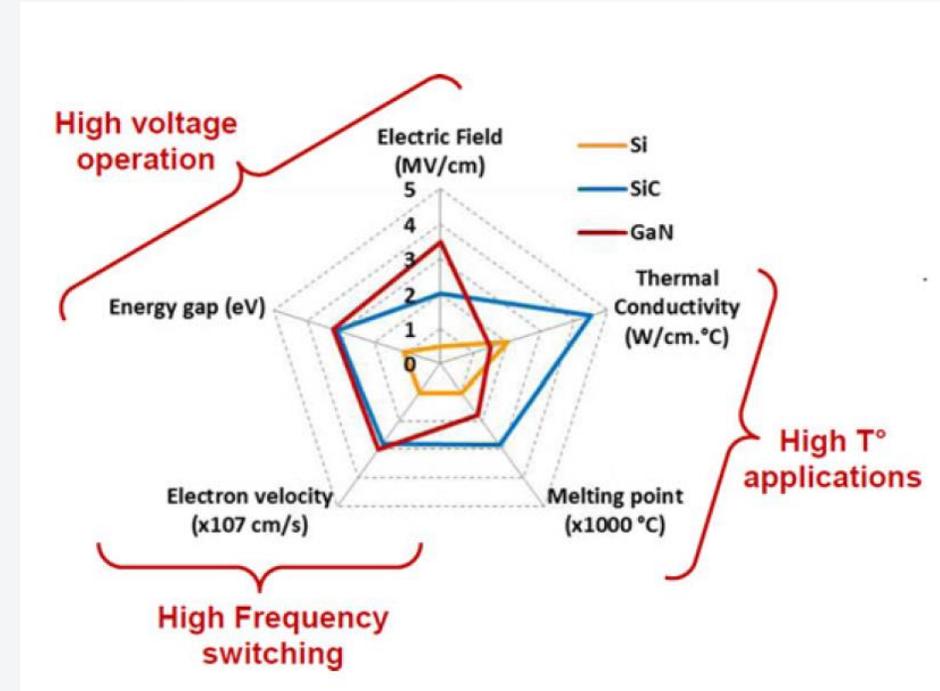
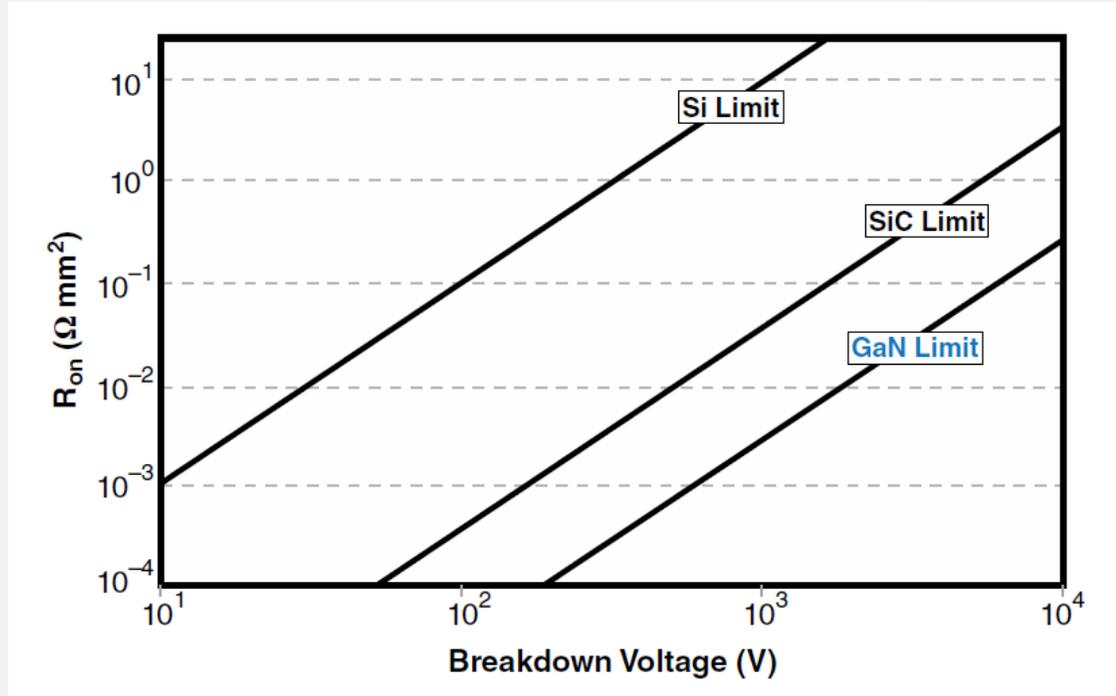
## 为什么叫宽禁带半导体?

- 第三代半导体比第一代半导体拥有更大禁带宽度。具有较低的本征泄露电流和较高的工作温度。
- 更大的临界击穿电场。对于同样的击穿电压, SiC和GaN材料的漂移区厚度可以比硅器件小1/10左右。
- 由于e绝缘击穿场强较大, 可以获得较低的Rdson值。

# 材料特性对比

Innoscience Confidential

## ● R<sub>on</sub>极限情况

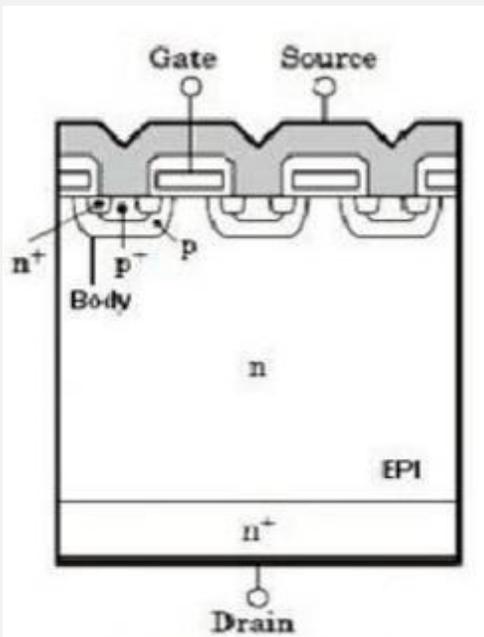


$$R_{DS(ON)} = 4 \cdot V_{BR}^2 / \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot E_{crit}^3$$

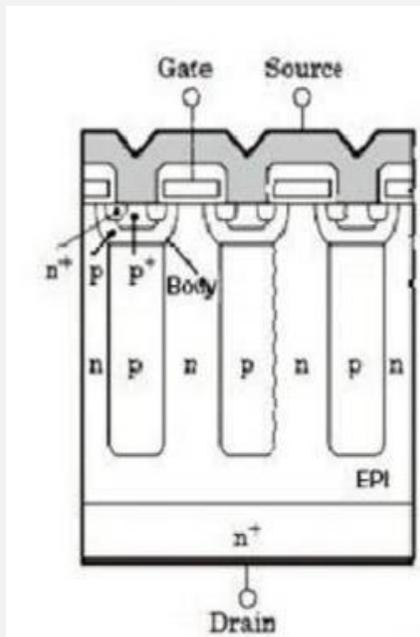
$V_{BR}$ : 表示器件的阻断电压;

$\epsilon$ : 表示介电常数;

$E_{crit}$ : 表示半导体材料的临界击穿电场

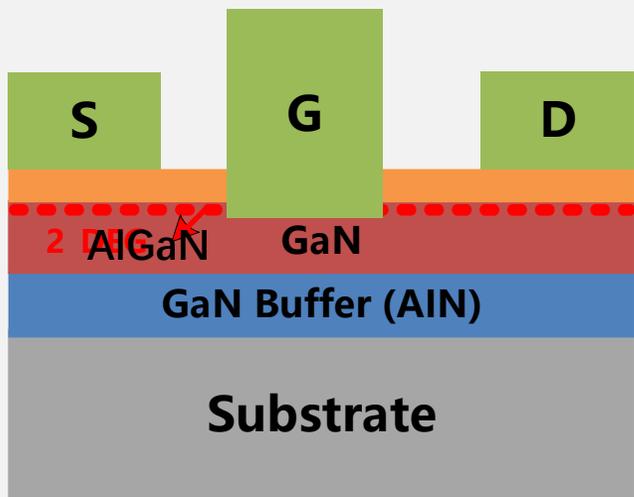


VDMOS

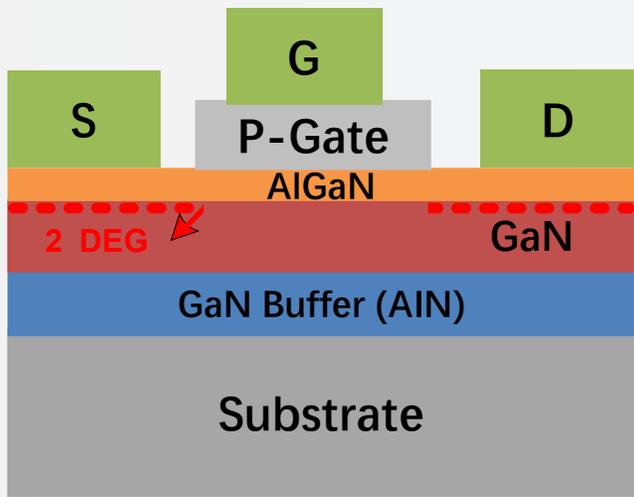


SJ-MOS

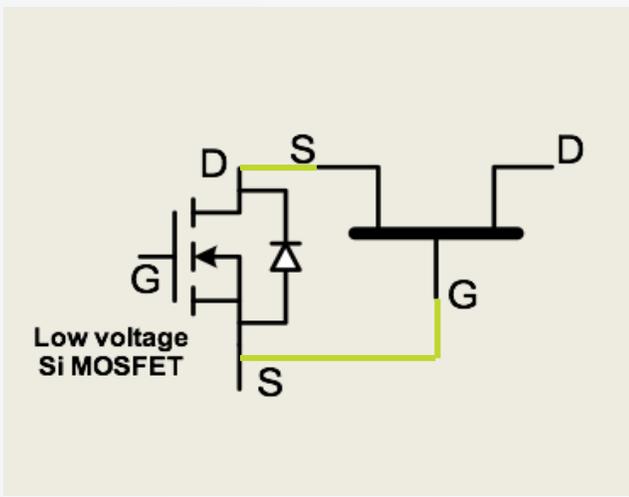
	VDMOS	SJ-MOS
<b>结构</b>	平面结构	平面结构开一低阻抗电流通路的沟槽
<b>优点</b>	结构工艺简单, 单元一致性较好, 跨导特性较好, 雪崩能量较高	Ron小(损耗小),同等功率下封装小有利于电源小型化; 栅极开启电压提高, 抗干扰能力强; 栅极电荷大, 驱动功率大; 结电容小, 开关损耗小
<b>缺点</b>	为降低Ron须增大硅片面积使成本增加, 工艺寄生电容较大。	生产工艺比较复杂
<b>应用</b>	高压功率MOSFET, 开关频率不太高的中压功率MOSFET, 整流模块中常用VD MOSFET	电源适配器、DC/DC 转换器及充电器



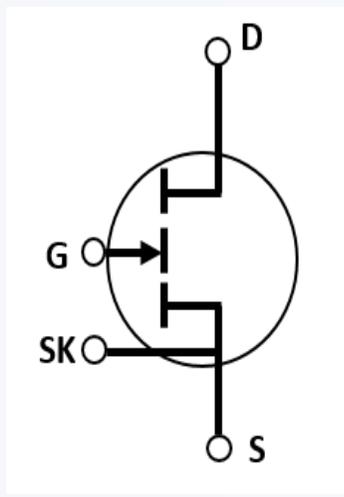
a 凹槽栅增强型结构



b P型GaN增强型



c 共源共栅混合增强型

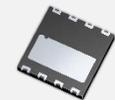
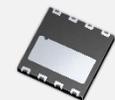
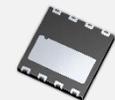


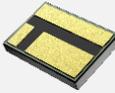
GaN属于水平结构，通过电子层导，没有形成P/N结，同时最下方是衬底

- GaN体内PN结特性，即无体二极管特性
- D,S间导体通过中间电子层导通，双向可导通
- 耗尽型D-MODE GaN需要负压关断，目前使用的为E-MODE GaN，可以实现零电压关断
- E-MODE GaN有凹槽型增强型、p型GaN栅增强型、共源共栅增强型

# 02

## InnoGaN产品介绍

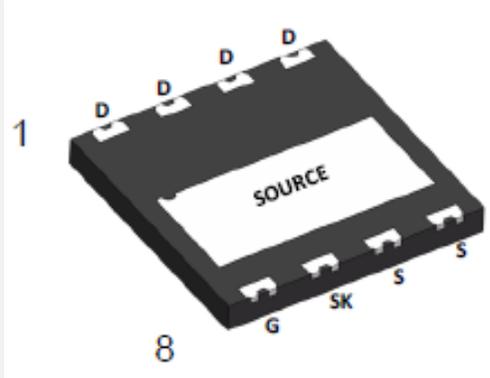
功率	芯片型号	耐压	导阻(Max)	类型	封装
650V	INN650DA150A	650V	150mΩ	单管	DFN 5X6 
	INN650D150A	650V	150mΩ	单管	DFN 8X8 
	INN650DA190A	650V	190mΩ	单管	DFN 5X6 
	INN650D190A	650V	190mΩ	单管	DFN 8X8 
	INN650DA260A	650V	260mΩ	单管	DFN 5X6 
	INN650D260A	650V	260mΩ	单管	DFN 8X8 
	INN650DA350A	650V	350mΩ	单管	DFN 5X6 
	INN650D350A	650V	350mΩ	单管	DFN 8X8 
	INN650DA04	650V	480mΩ	单管	DFN 5X6 

功率	芯片型号	耐压	导阻(Max)	类型	封装
40V-150V	INN40W08	40	7.8mΩ	双向导通	WLCSP 2X2 
	INN060W070A*	60	7mΩ	单管	WLCSP 2.51×1.51 
	INN100W08	100	47mΩ	单管	WLCSP 1.5×0.99 
	INN100W12*	100	7mΩ	单管	WLCSP 2.51×1.51 
	INN100W14	100	25mΩ	双管	WLCSP 1.58×3.58 
	INN150LA070A*	150	7mΩ	单管	LGA 2.2×3.2 
<b>Wafer</b>	INN650N140A	INN650N240A	INN650N500A	INN650N150A	INN650N260A

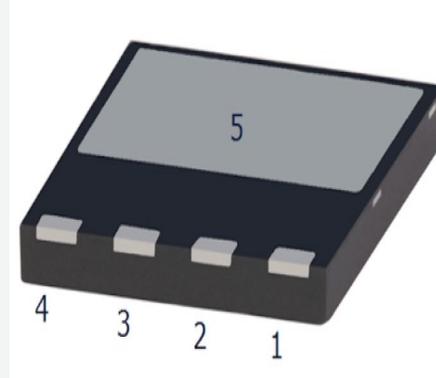
## Inno GaN

## Si MOS

### 封装结构

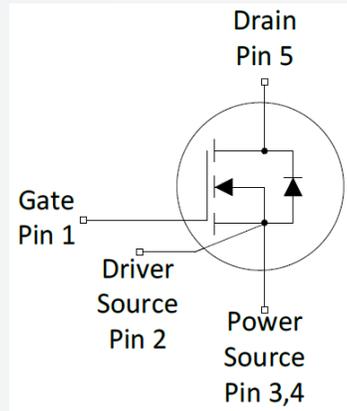
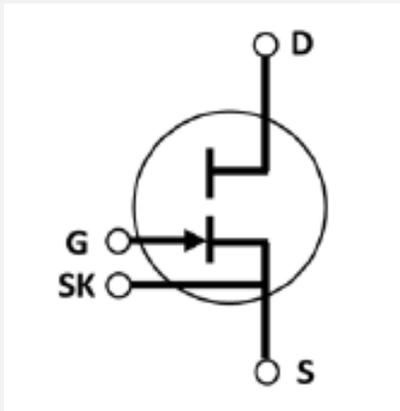


Source端  
散热大焊盘



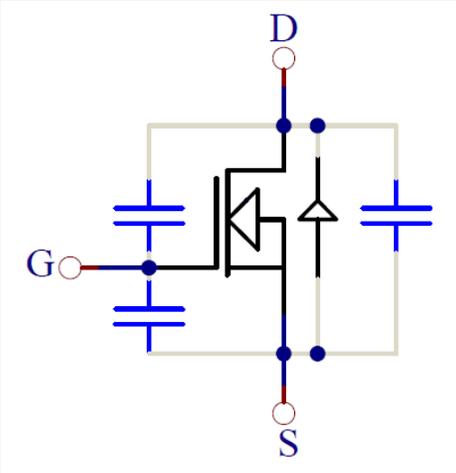
PIN 5 Drain 端  
散热大焊盘

### 电气符号

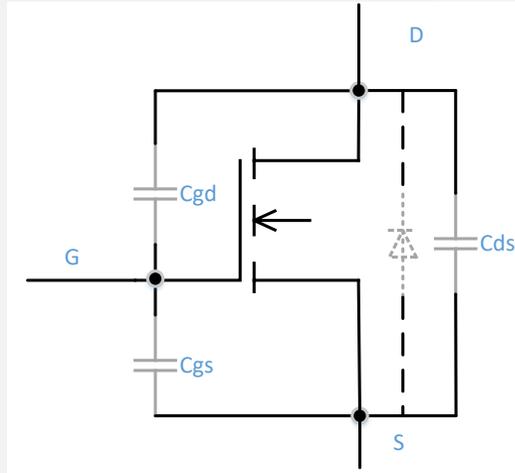


**InnoGaN靠  
Source端散热，应  
用中便于铺大面积  
铜箔散热**

## ● 器件参数特性



Si MOS等效模型



GaN等效模型

	INN650D260A	SiHH180N60E	差异
Rdson	165mΩ	155mΩ	
Qg	2nC	22nC	
Ciss	73pF	1085pF	1/15
Coss	20pF	30pF	
Crss	0.2	5pF	1/20
Co(tr)	43	251pF	1/6
trr	0nS	282nS	

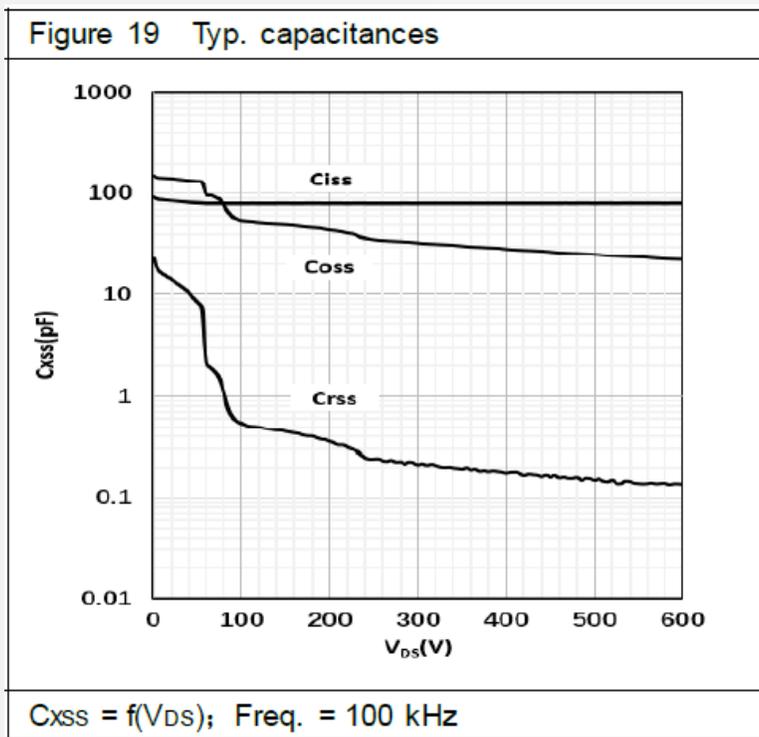
GaN 与 Si 寄生参数对比

**栅极电荷Qg更小，输入电容Ciss更小**  
更快的开关速度

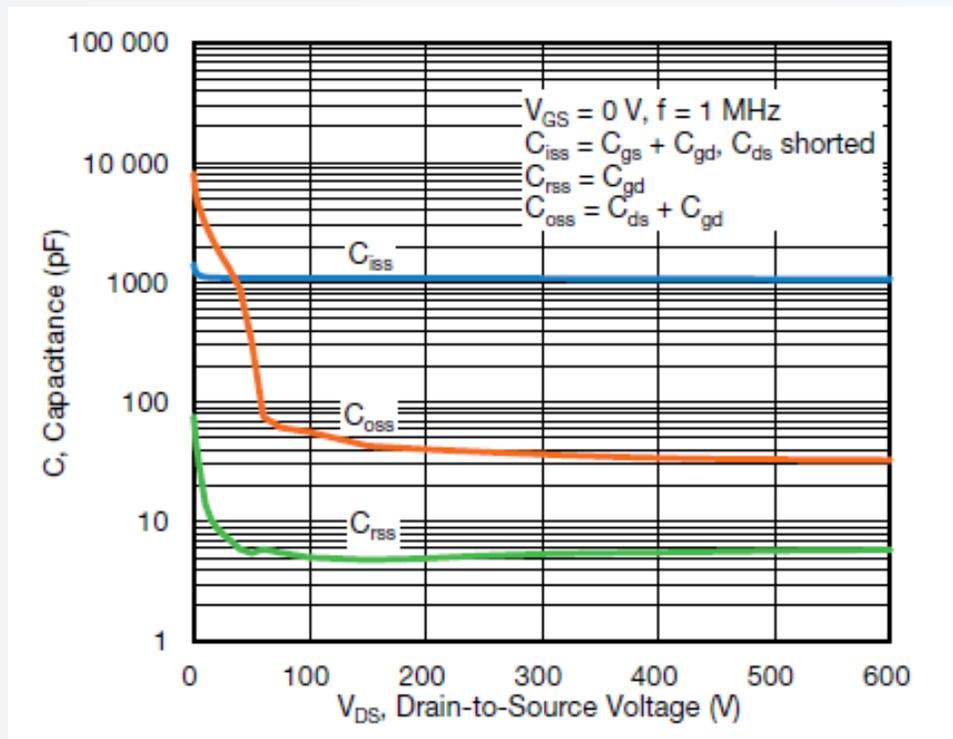
**电荷Co(tr)更小**  
LLC应用中，更易实现ZVS

**Trr=0**  
无反向恢复时间，开关管噪音小

- InnoGaN的Coss线性度更好



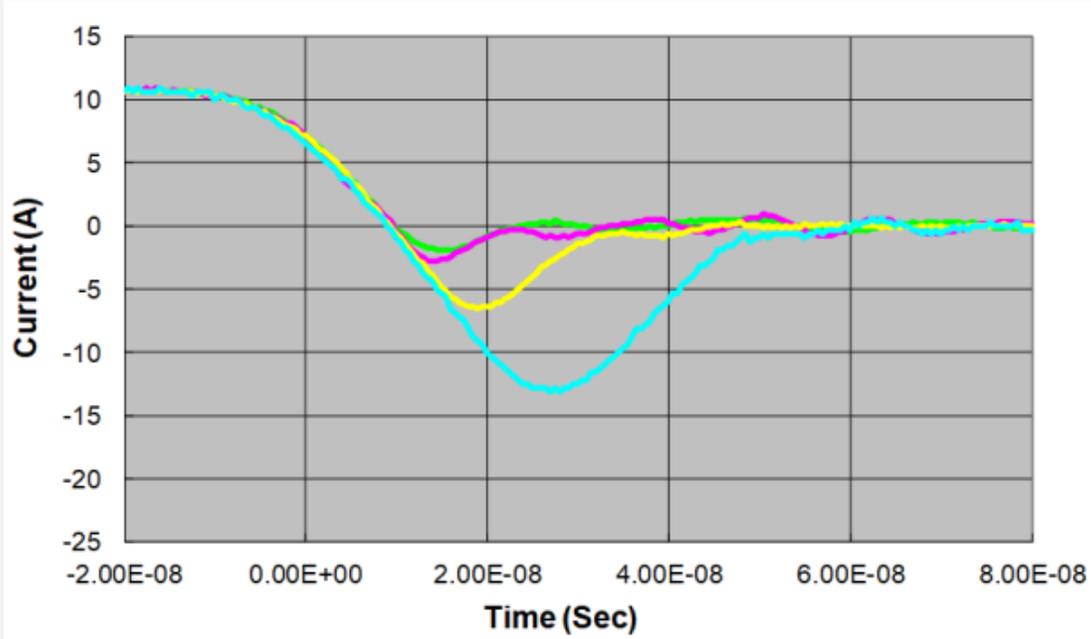
INN650D260A寄生电容电压变化曲线



Si mos 曲线寄生电容电压变化曲线

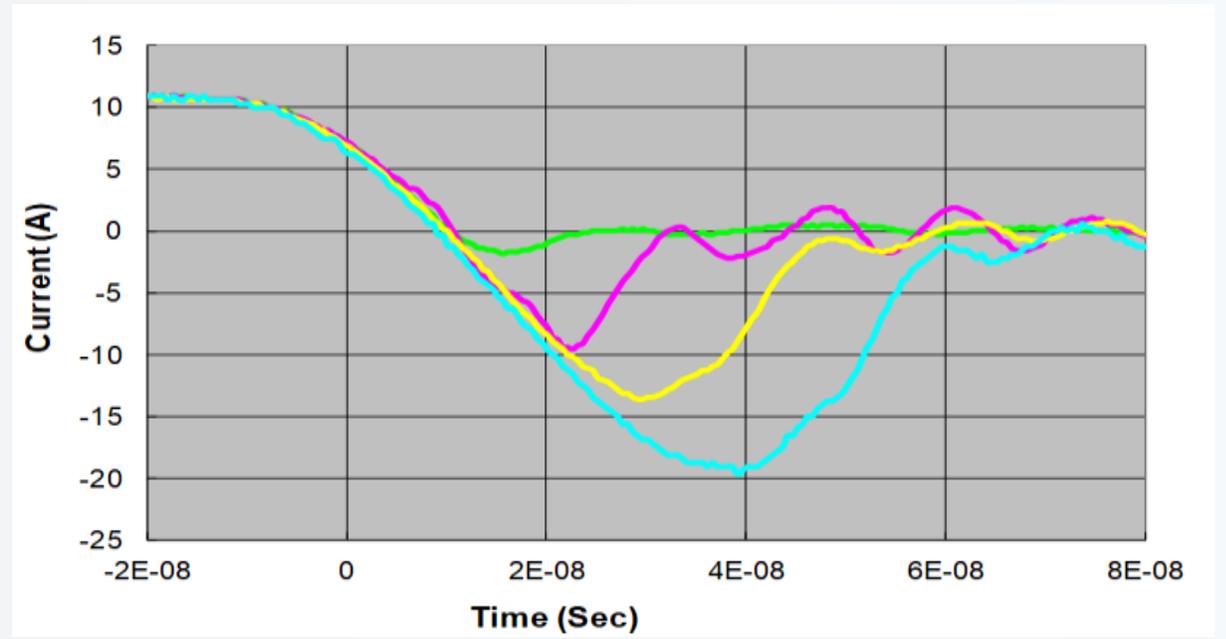
## ● 反向恢复特性对比

反向特性曲线@  $T_j=25^\circ\text{C}$



■ GaN HEMT 650V ■ SiC MOSFET 650V

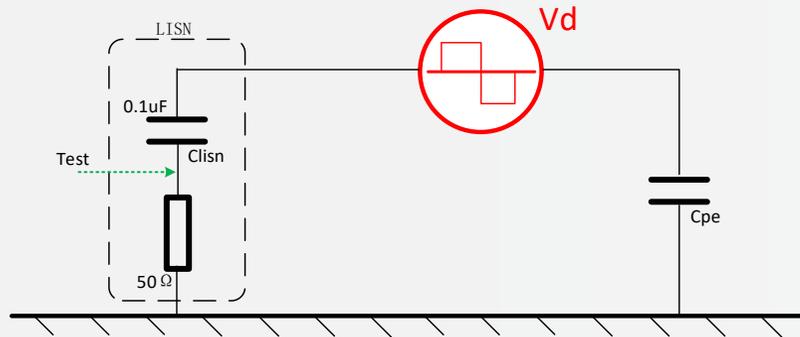
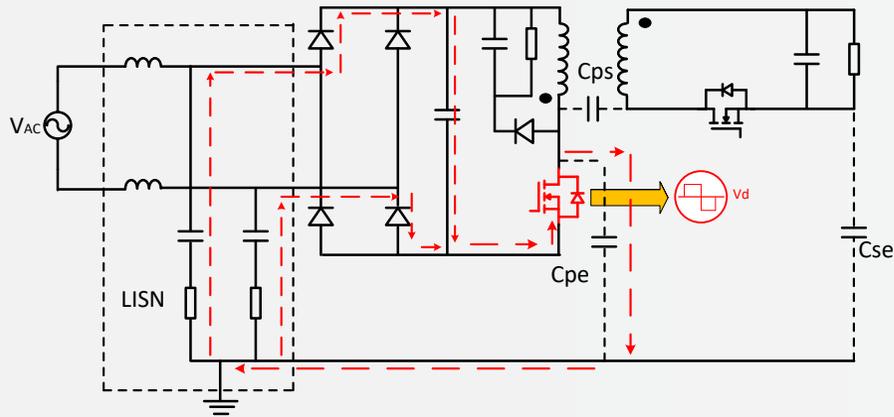
反向特性曲线@  $T_j=100^\circ\text{C}$



■ Si MOSFET 650V ■ Si 二极管650V/15A

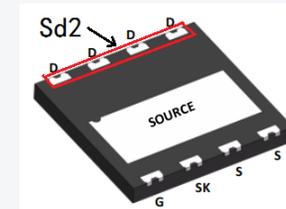
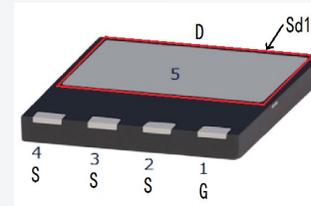
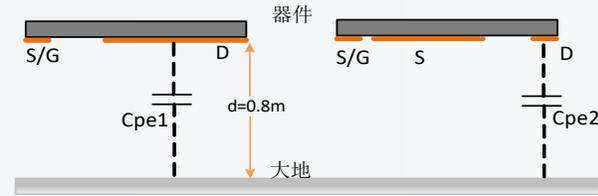
零反向恢复可降低开关损耗和EMI噪声

## ● D极焊盘 (干扰路径)



MOSFET (8\*8)

InnoGaN (8\*8)



$$S_{d1} = 36.3 \text{ mm}^2$$

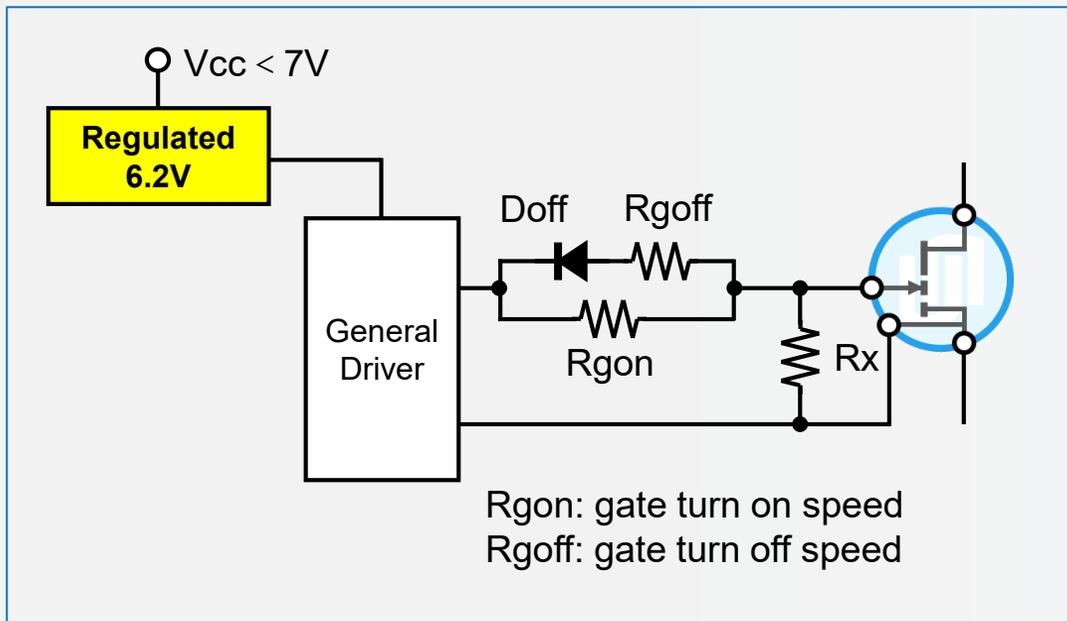
$$S_{d2} = 8.9 \text{ mm}^2$$

GaN 漏级面积是SI的**1/4**，由InnoGaN 8\*8器件D极直接流入大地的共模噪声是MOSFET 8\*8器件**1/4**以下。

# 03

## InnoGaN驱动设计

## ● 推荐的直驱方案设计



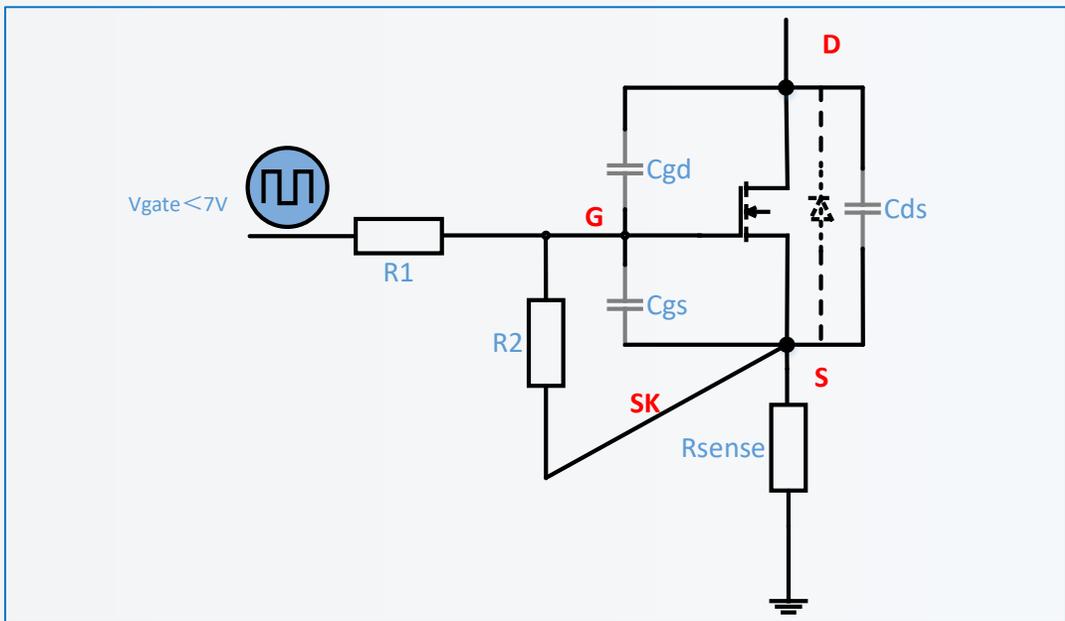
### 开通:

驱动通过R<sub>gon</sub>开通回路;

### 关断:

通过R<sub>goff</sub>/D<sub>off</sub>形成关断回路, R<sub>x</sub>与Si MOS一样, 在关断过程中给结电容快速放电用。

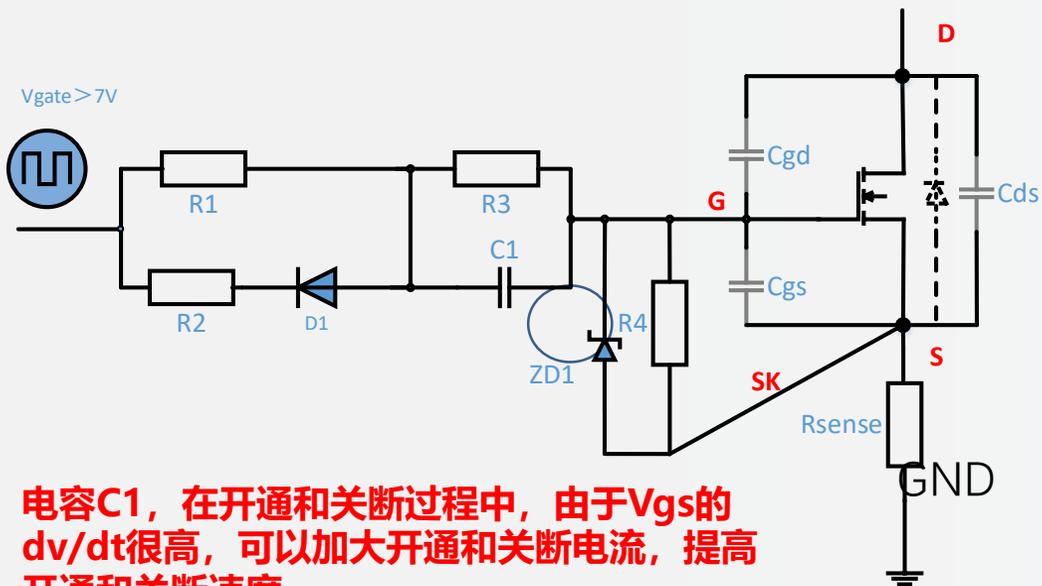
## ● 不推荐的直驱方案设计



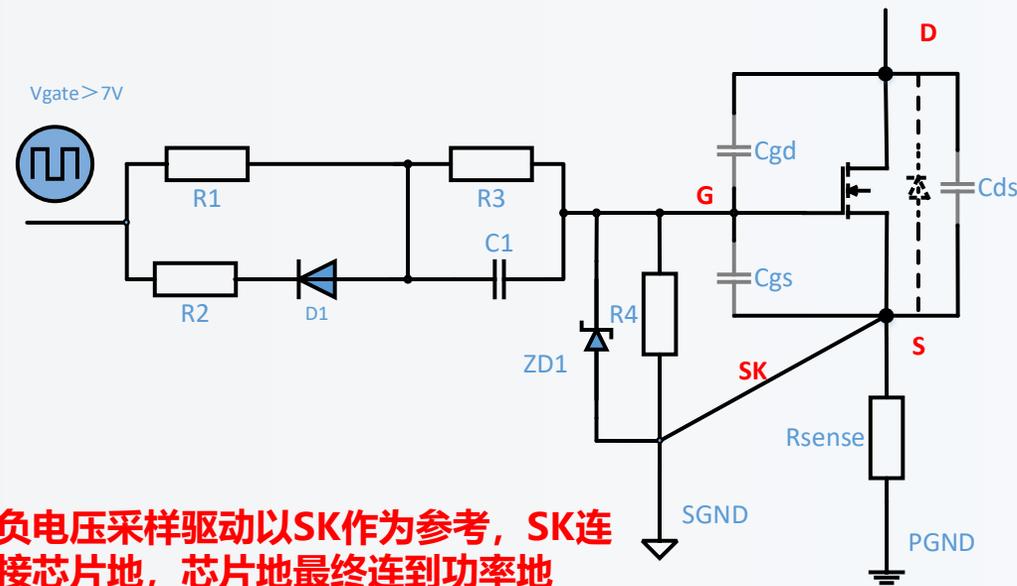
开通和关断均通过R<sub>1</sub>调节, 无法区分开通和关断, 实际应用中推荐快关慢开。R<sub>1</sub>阻值太大容易造成原副边驱动交叠, R<sub>1</sub>太小无法满足EMI调试。

# 驱动电路设计

Innoscience Confidential



电容C1, 在开通和关断过程中, 由于Vgs的dv/dt很高, 可以加大开通和关断电流, 提高开通和关断速度。



负电压采样驱动以SK作为参考, SK连接芯片地, 芯片地最终连到功率地

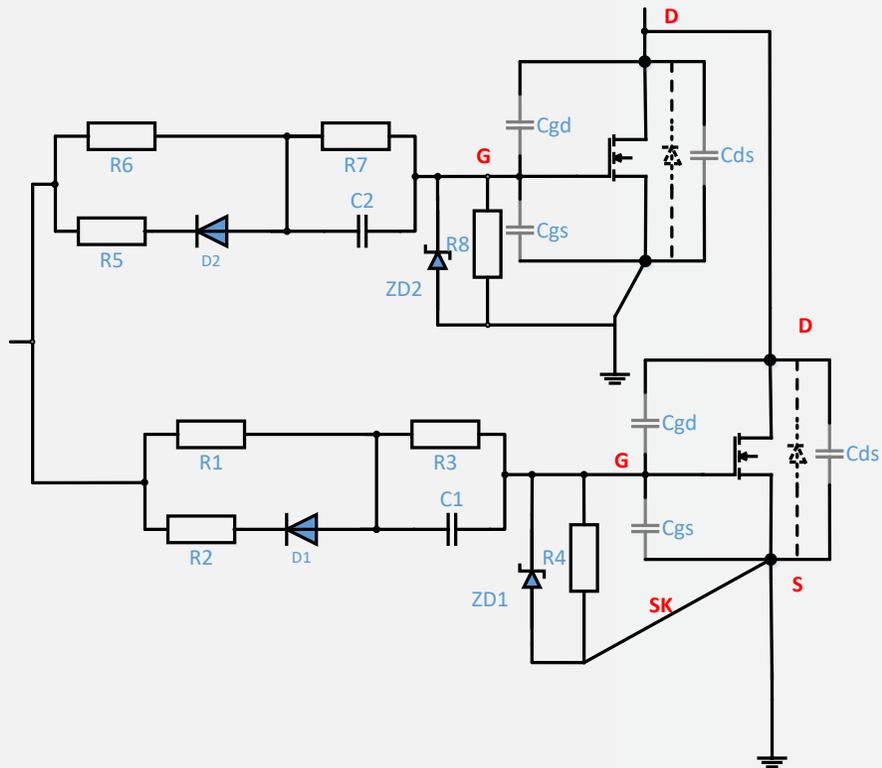
工作原理:

**开通:** Vgate 经过R1以后,上升阶段通过C1, 达到设定驱动电压稳定后通过R3, 给GaN管Cgs充电, R1为开通的驱动电阻, 通过R1调节此充电电流大小, Cgs充电至门限电压后, GaN管开启。R3与R4形成分压, 确保Vgs电压不超过7V限值。稳压ZD1一般选择5.6V稳压管或6.2V稳压管, 对Vgs形成钳位。

**关断:** 芯片内部关断瞬间, 会将GATE拉到低电平, 通过D1,R2, C1从Cgs拉电流, Cgs电压降低至门限电压以下时, GaN管关闭。D1推荐使用肖特基二极管1N5819, R2可以调节关断速度, 一般选择2Ω~4.7Ω关断电阻。

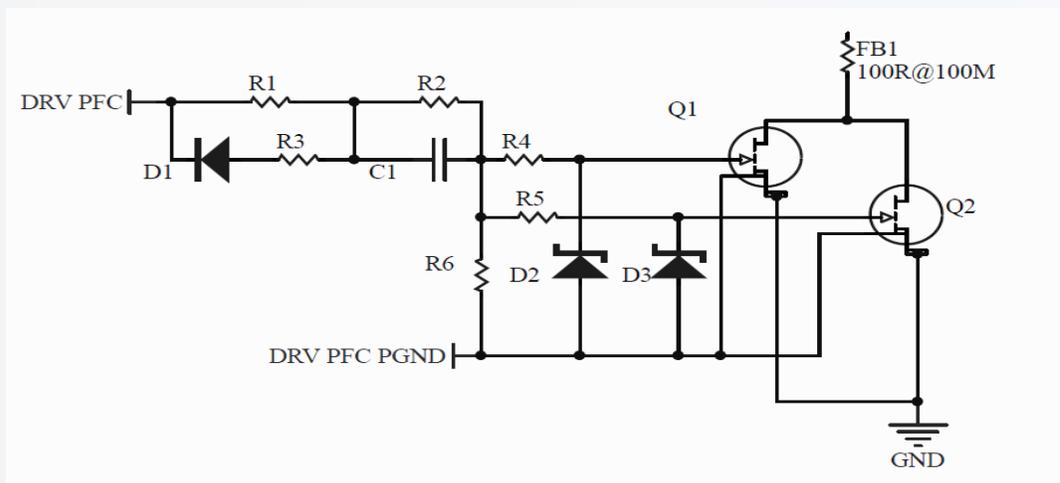
在200W~300W功率段，PFC侧采用两个GaN并联；

## ● 不推荐的并联驱动电路



并联驱动电路中，如果采用两个降压方案，可能会造成驱动无法完全一致，两个管子导通可能存在不均衡问题。

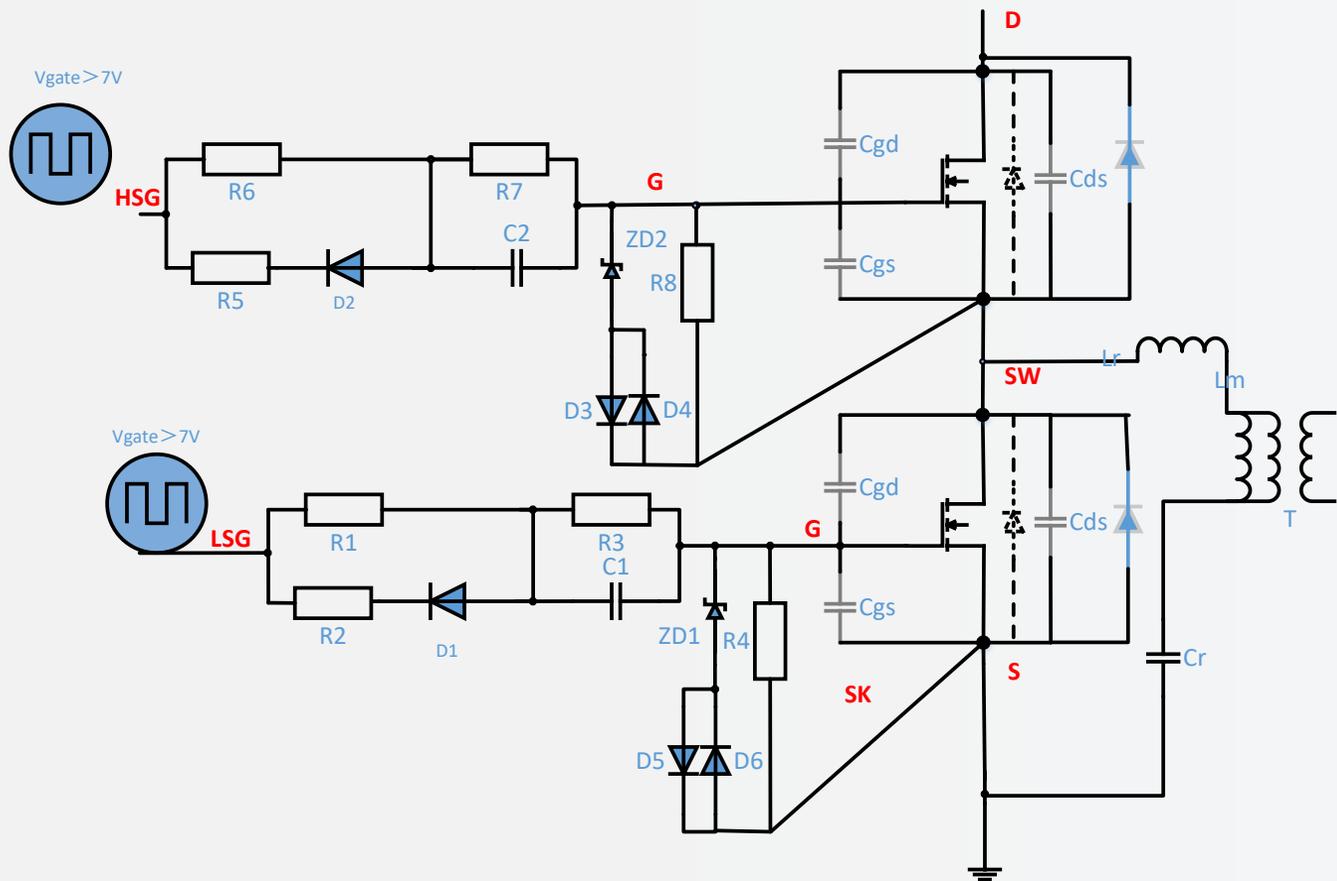
## ● 推荐并联驱动电路图



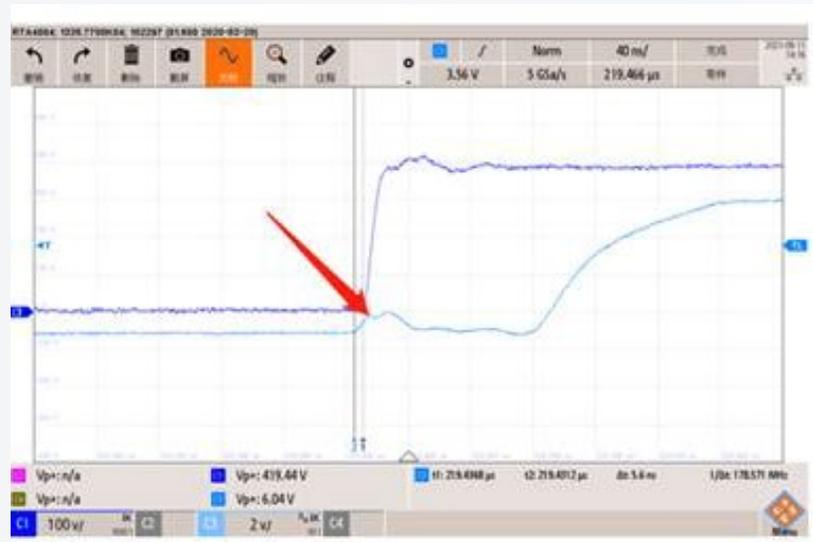
- 1、并联设计中，需要注意每个GaN管均需要单独接一个稳压管。
- 2、每个GaN均需要在靠近G极位置串联单独的驱动电阻，如图R4和R5，推荐 $2\Omega\sim 3.3\Omega$ ，防止驱动震荡。
- 3、GaN的D极串联磁珠，为了改善EMI特性，从实验结果来看，在60MHz~200MHz频段会有较好的改善

## LLC半桥架构，推荐以下半桥驱动电路

### ● 半桥推荐驱动电路设计

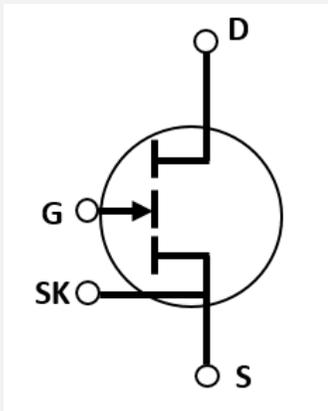


- D3/D5,为了实现增加负压情况下稳压管正常工作;
- D4/D6增加负压值,推荐肖特基二极管,可以保证关断时候可靠性;
- 由于GaN存在反向导通特性,半桥LLC可去掉ZVS二极管;

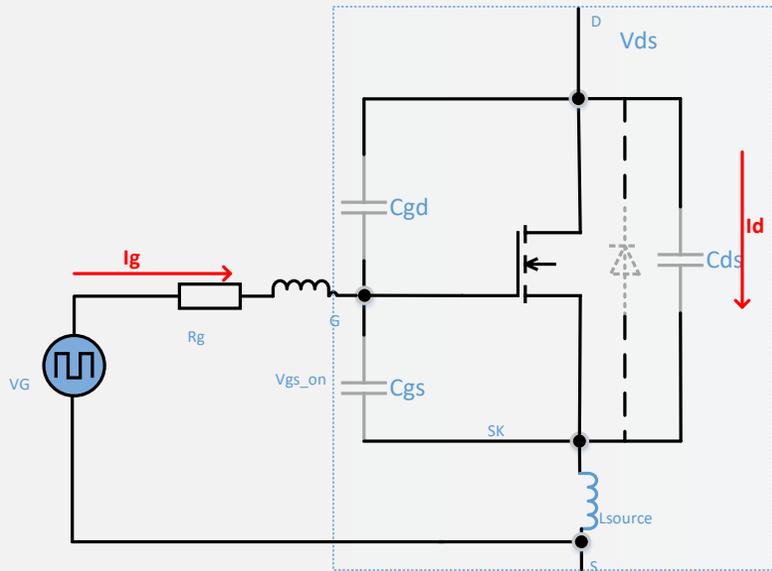


关断引起的Vgs抬升

- 驱动不连接开尔文脚



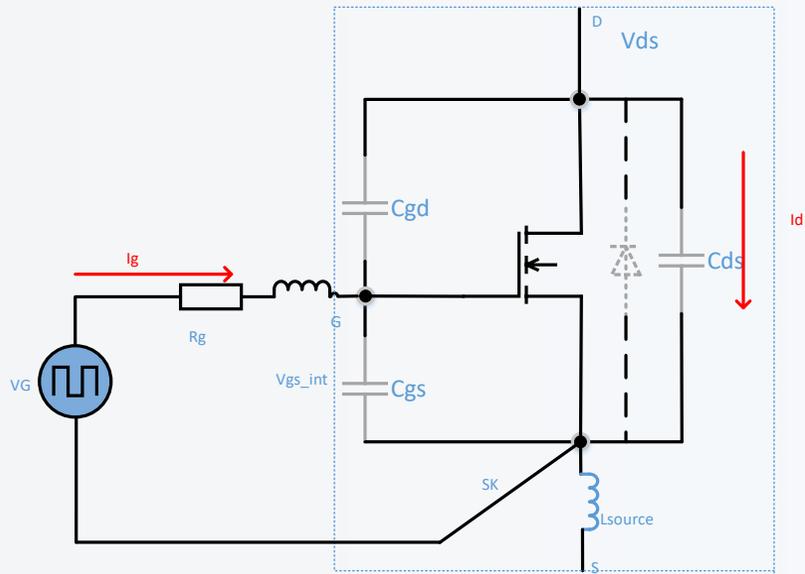
GaN电气符号



$$V_{gs\_on} = V_G - I_G \cdot R_g - L_{source} \cdot \frac{di_d}{dt}$$

LLC半桥驱动中，GaN在导通前有电流从S流向D极，以实现ZVS条件，此时电流Izvs与图示方向相反。而控制器驱动关断为低，此时驱动满足近似。

- 驱动连接开尔文脚



$$V_{gs\_int} = V_G - I_G \cdot R_g$$

在较大功率拓扑中，随着频率的提升，di/dt加大，寄生电感带来的影响不可忽略当Lsource带来的Vgs\_off超过Vgs\_th，则可能造成半桥驱动共通，引起炸机问题。因此在较大功率拓扑中走开尔文尤其重要。

GaN HEMT开关速度比Si快数倍以上，考虑到开关过程中由于PCB寄生电感引起尖峰，震铃，应力，EMC等问题，所以需要适当的PCB设计来减小寄生电感。

### ➤ 减小驱动回路寄生电感

驱动环路面积尽量小，驱动路径尽量短，驱动阻容稳压器件靠近GaN管，驱动地采用开尔文接法，驱动回路采用上下层走线方式，PCB寄生电感最小。条件允许或必需时，可以给驱动器件增加屏蔽层。

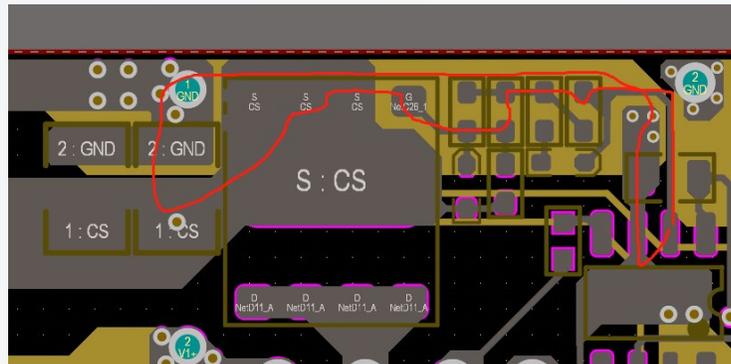
### ➤ 驱动避开高DV/DT线路

PFC的D极线路，LLC下管的D极线路，LLC上管驱动都是高DV/DT线路，在PCB设计中，驱动部分器件要避开相对高DV/DT线路。

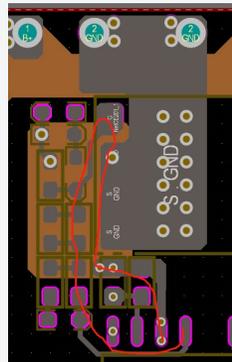
### ➤ 降低驱动地回路寄生电感

驱动地回路走线同功率走线分开，功率环路面积尽量小，峰值电流大功率线粗而短，芯片控制周边敏感信号走线需避开功率环路。

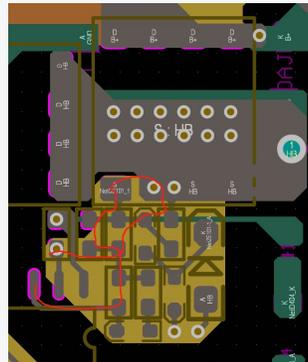
#### • PFC驱动回路设计参考



#### • LLC下管驱动回路设计参考



#### • LLC上管驱动回路设计参考



# 04

## InnoGaN选型指南

功率等级	拓扑			
	QR	ACF	PFC	LLC
<b>30W</b>	INN650DA04			
<b>45W</b>	INN650DA04	INN650DA04		
<b>65W</b>	INN650DA260A INN650D260A	INN650DA260A INN650D260A		
<b>100W</b>	INN650D260A	INN650DA260A	INN650D260A INN650DA150A	
<b>120W</b>			INN650D150A	INN650DA260A
<b>150W</b>			INN650D260A (2pcs)	
<b>200W</b>			INN650D150A (2pcs)	INN650D260A

# InnoGaN demo board list

*Innoscience Confidential*

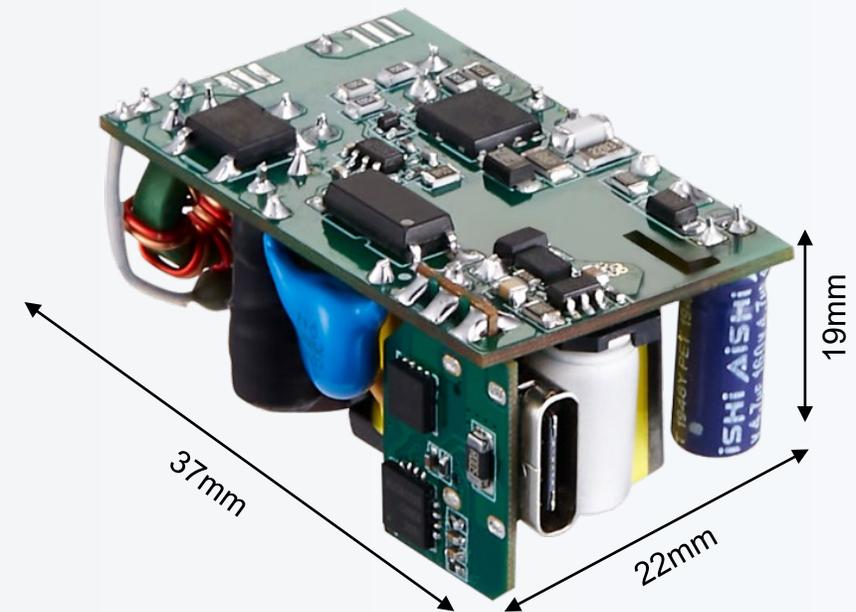
Demo型号	类型	规格	拓扑
EVB-PD20V1	PD快充	20W/(单C)	QR flyback
EVB-PD30V1	PD快充	30W/(单C)	QR flyback
EVB-PD33V1	PD快充	33W/(单C)	QR flyback
EVB-PD33V2	PD快充	33W/(A+C)	QR flyback
EVB-PD60V1	PD快充	60W/(单C)	QR flyback
EVB-PD65V1	PD快充	65W/(单C 超薄)	QR flyback
EVB-PD65V2	PD快充	65W/(单C 超小)	QR flyback
EVB-PD65V3	PD快充	65W/(A+C)	QR flyback + buck
EVB-PD65V4	PD快充	65W/(A+2C)	QR flyback + buck
EVB-PD100V1	PD快充	100W/(单C)	QR flyback
EVB-PD100V2	PD快充	100W/(2A+2C)	Boost PFC+ QR flyback +buck
EVB-PD120V1	PD快充	120W/(单C)	Boost PFC+ACF
EVB-LED150V1	LED driver	150W/(LED Driver)	Boost PFC+LLC
EVB-LED200V1	LED driver	200W/(LED Driver)	Boost PFC+LLC
EVB-PD200V1	PD快充	200W/(2A+3C)	Boost PFC+LLC+buck

# EVB-PD20V1

*Innoscience Confidential*

## EVB-PD20V1 20W/(单C)

拓扑名称	QR flyback
输入电压范围	90-264Vac
输出	12V/1.67A
工作频率	65kHz @满载
变压器	ATQ1715, JPP95
效率	92% @115Vac & 12V/1.67A
尺寸	37*22*19mm (PCBA)
功率密度	21W/in <sup>3</sup> (PCBA)
应用产品	INN100LA12

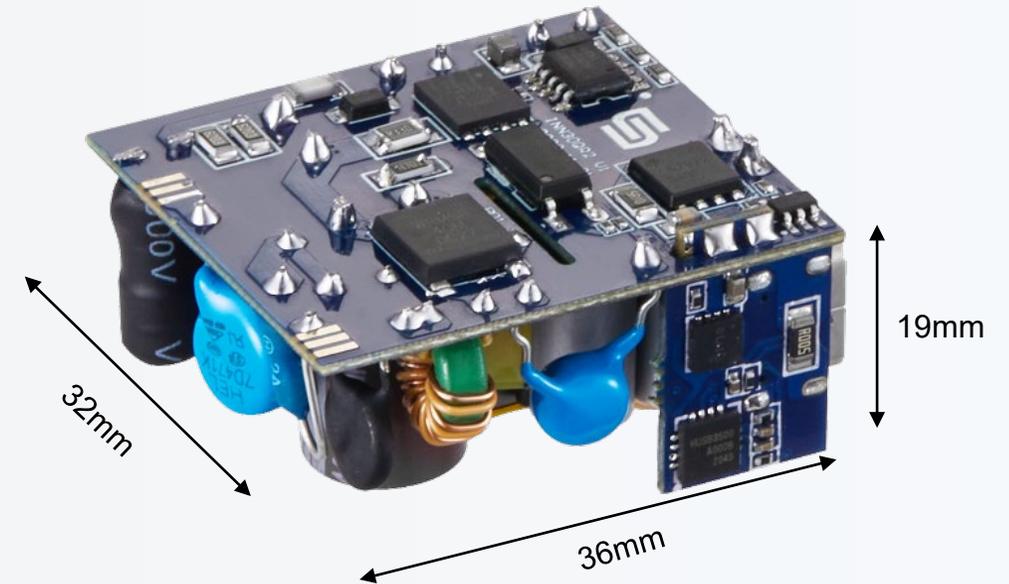


# EVB-PD30V1

*Innoscience Confidential*

## EVB-PD30V1 30W/(单C)

拓扑名称	QR flyback
输入电压范围	90-264Vac
输出	20V/1.5A
工作频率	85kHz @满载
变压器	ATQ1715, JPP95
效率	92.9% @230Vac & 20V/1.5A
尺寸	36*32*19mm (PCBA)
功率密度	22.4W/in <sup>3</sup> (PCBA)
应用产品	INN650DA04

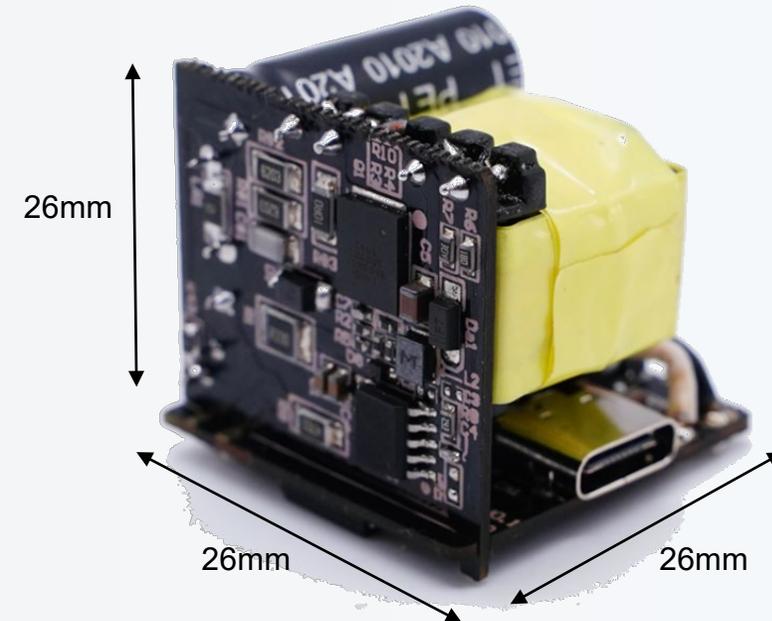


# EVB-PD33V1

*Innoscience Confidential*

## EVB-PD33V1 33W/(单C)

拓扑名称	QR flyback
输入电压范围	90-264Vac
输出	3.3V~20V, 11V/3A(max)
工作频率	120KHz@230Vac
变压器	ATQ1715, JPP95
效率	92.9% @230Vac & 20V/1.5A
尺寸	26*26*26mm (PCBA)
功率密度	30.8W/in <sup>3</sup>
应用产品	INN650DA04

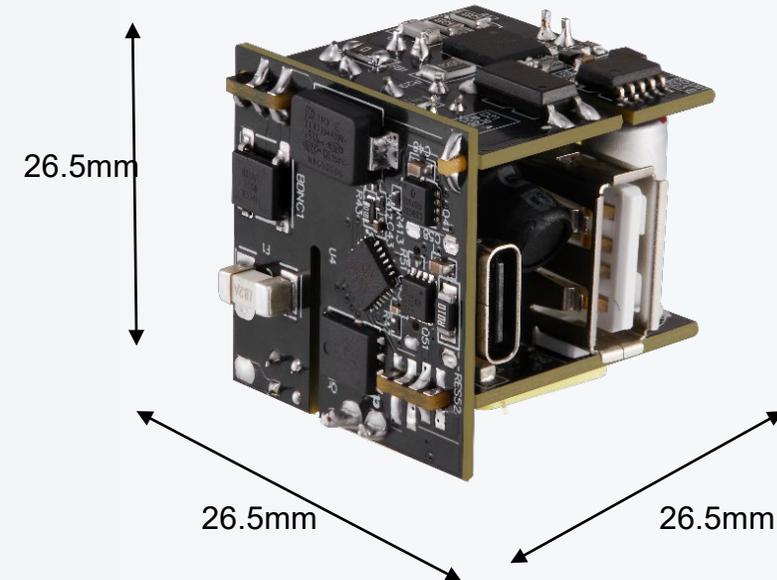


# EVB-PD33V2

*Innoscence Confidential*

## EVB-PD33V1 33W/(A+C)

拓扑名称	QR flyback
输入电压范围	90-264Vac
输出	5V~20V, 11V/3A(max)
工作频率	120KHz@230Vac
变压器	ATQ15
效率	92.75% @230Vac & 20V/1.5A
尺寸	26.5*26.5*26.5mm (PCBA)
功率密度	29W/inch <sup>3</sup>
应用产品	INN650DA04

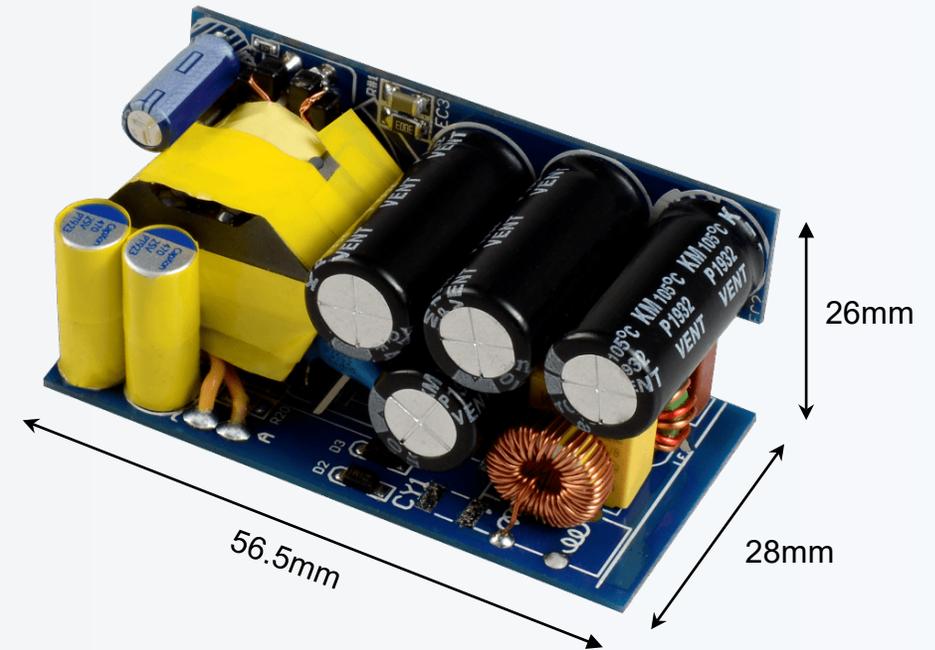


# EVB-PD60V1

*Innoscience Confidential*

## EVB-PD60V1 60W/(单C)

拓扑名称	QR flyback
输入电压范围	90-264Vac
输出	20V/3A
工作频率	120kHz @满载
变压器	RM8, JPP95
效率	94% @230Vac & 20V/3A
尺寸	56.5*28*26mm (PCBA)
功率密度	23.9W/in <sup>3</sup> (PCBA)
应用产品	INN650D02

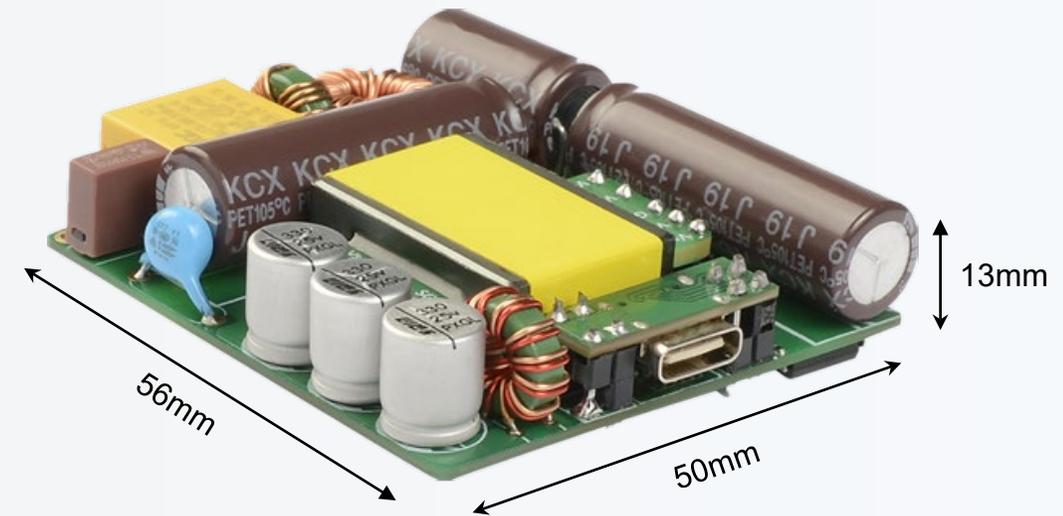


# EVB-PD65V1

*Innoscience Confidential*

## EVB-PD65V1 65W/(单C 超薄)

拓扑名称	QR flyback
输入电压范围	90-264Vac
输出	20V/3.25A
工作频率	200kHz @满载
变压器	EQ25, 3C98
效率	92.5% @115Vac & 20V/3.25A
尺寸	56*50*13mm (PCBA)
功率密度	29W/in <sup>3</sup> (PCBA)
应用产品	INN650D02

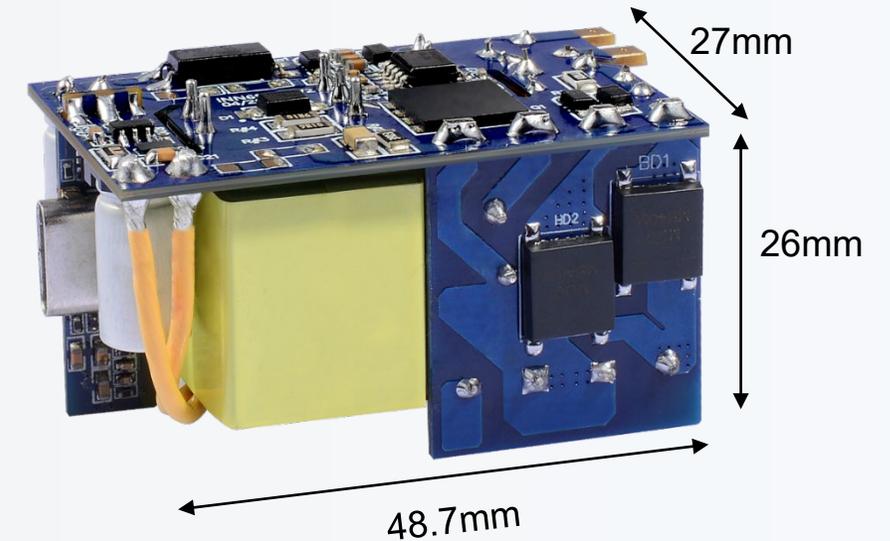


# EVB-PD65V2

*Innoscience Confidential*

## EVB-PD65V2 65W/(单C 超小)

拓扑名称	QR flyback
输入电压范围	90-264Vac
输出	20V/3.25A
工作频率	135kHz @满载
变压器	EQ25, 3C98
效率	94.1% @230Vac & 20V/3.25A
尺寸	48.7*27*26mm (PCBA)
功率密度	31W/in3 (PCBA)
应用产品	INN650DA260A

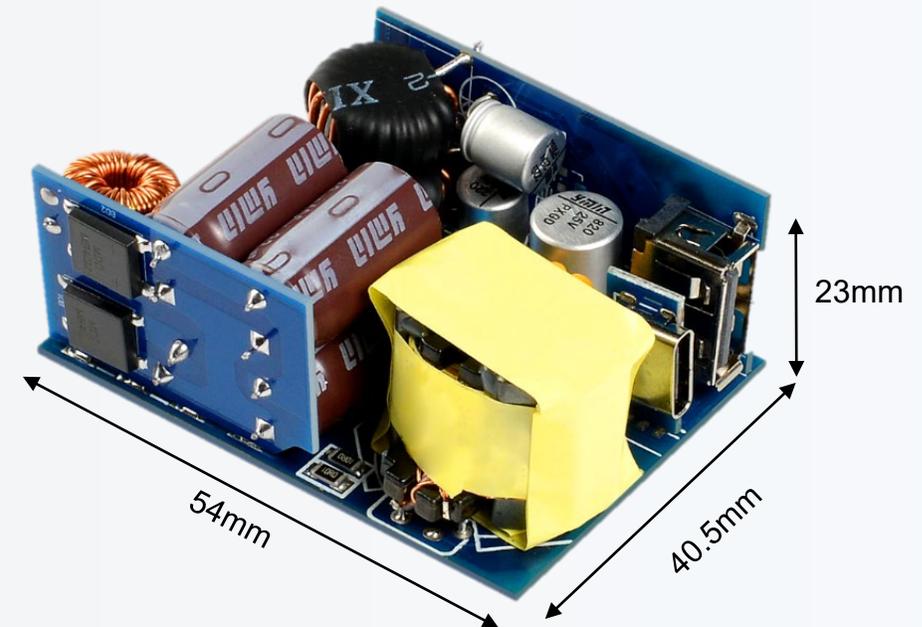


# EVB-PD65V3

*Innoscience Confidential*

## EVB-PD65V3 65W/(A+C)

拓扑名称	QR flyback + buck
输入电压范围	90-264Vac
输出	单A=30W, 单C=65W, A+C=18W+45W
工作频率	115kHz @满载
变压器	RM8, JPP95
效率	92.3% @230Vac & 20V/3.25A
尺寸	54*40.5*23mm (PCBA)
功率密度	21W/in <sup>3</sup> (PCBA)
应用产品	INN650D02

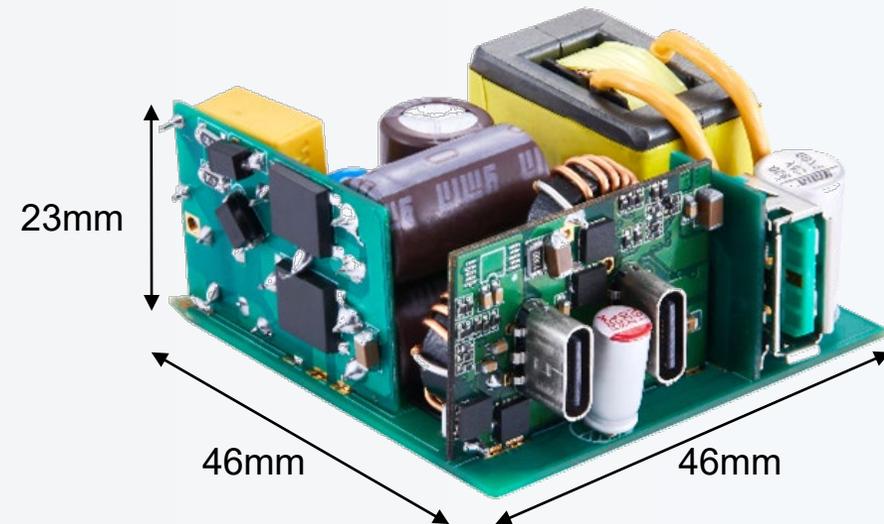


# EVB-PD65V4

*Innoscence Confidential*

## EVB-PD65V4 65W/(A+2C)

拓扑名称	QR flyback + buck
输入电压范围	90-264Vac
输出	单A=30W, 单C=65W
工作频率	140kHz @满载
变压器	ATQ23.7/14.6, JPP95
效率	93% @230Vac & 20V/3.25A
尺寸	46*46*23 mm(PCBA)
功率密度	21.8W/in <sup>3</sup> (PCBA)
应用产品	INN650D02

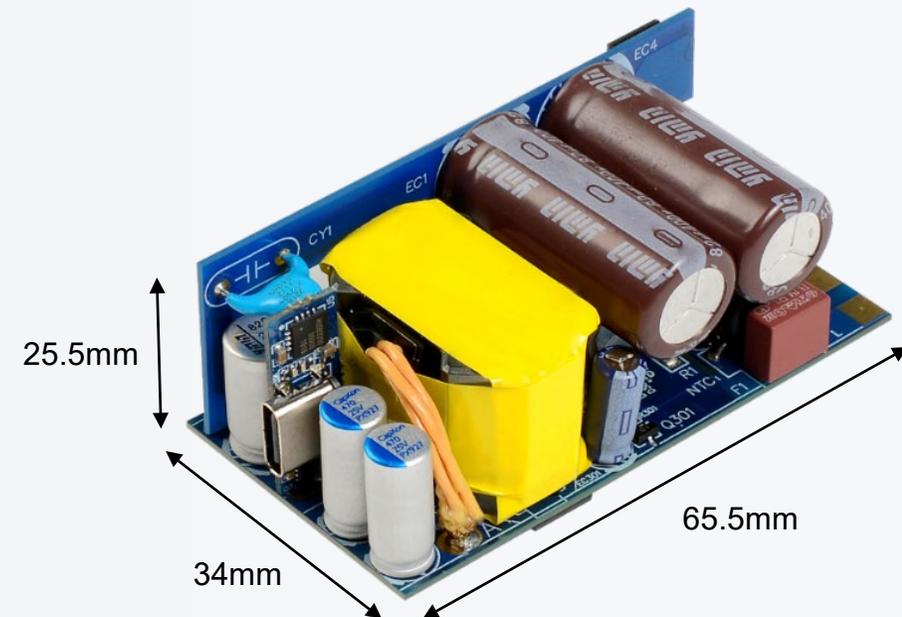


# EVB-PD100V1

*Innoscence Confidential*

## EVB-PD100V1 100W/(单C)

拓扑名称	QR flyback
输入电压范围	90-264Vac
输出	20V/5A
工作频率	140kHz @满载
变压器	RM10, JPP95
效率	95.4% @230Vac & 20V/5A
尺寸	65.5*34*25.5mm (PCBA)
功率密度	29W/in <sup>3</sup> (PCBA)
应用产品	INN650D01

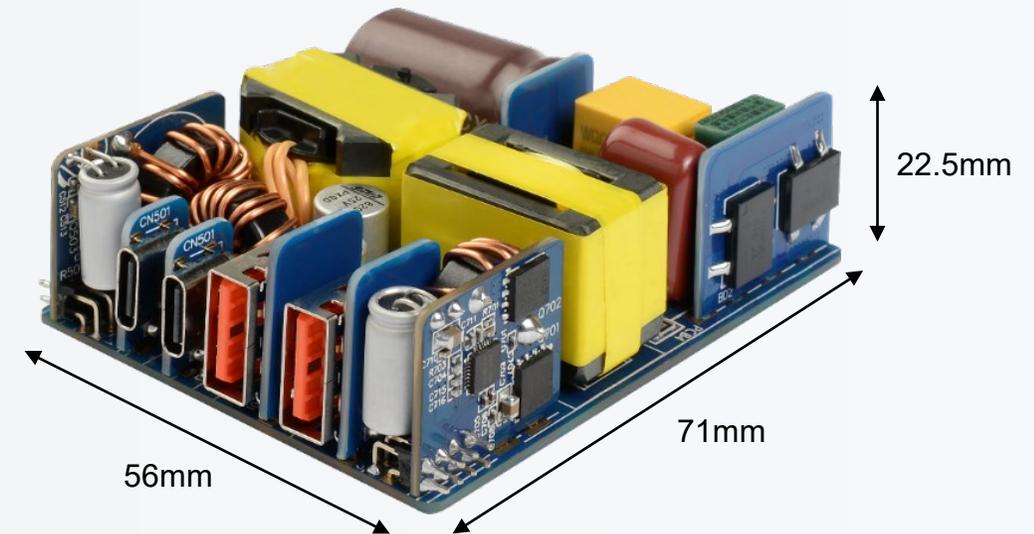


# EVB-PD100V2

*Innoscience Confidential*

## EVB-PD100V2 100W/(2A+2C)

拓扑名称	Boost PFC + QR flyback + buck
输入电压范围	90-264Vac
输出	单A=30W, 单C=100W
QR工作频率	140kHz @满载
变压器	RM10, 3C95
效率	92.5% @230Vac & 20V/5A
尺寸	71*56*21.6mm (PCBA)
功率密度	19W/in <sup>3</sup> (PCBA)
应用产品	INN650D01+INN650D02

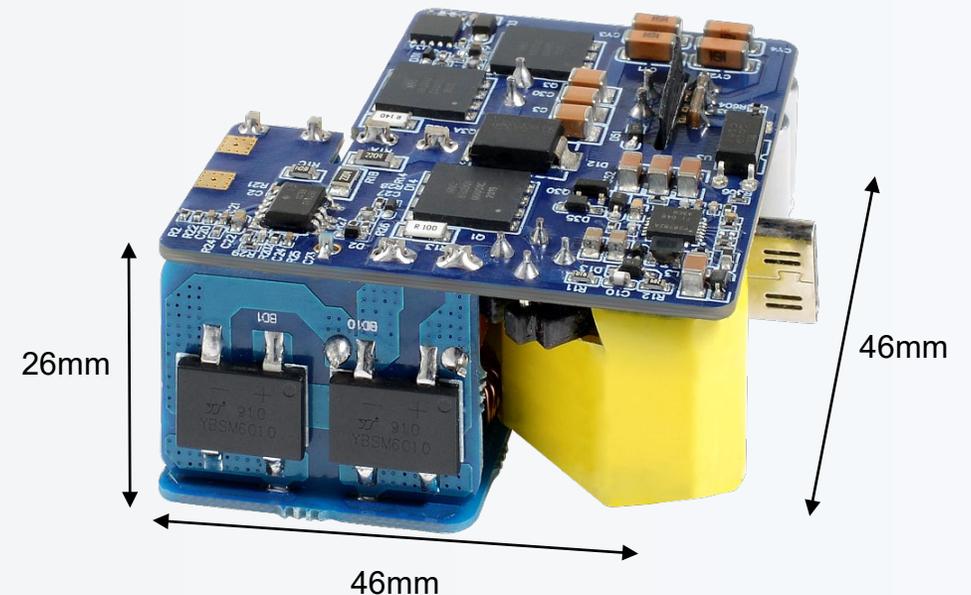


# EVB-PD120V1

*Innoscience Confidential*

## EVB-PD120V2 120W/(单C)

拓扑名称	Boost PFC+ACF
输入电压范围	90-264Vac
输出	120W max
ACF工作频率	230kHz @120W
变压器	ATQ23, NVM02
效率	94.5% @230Vac & 20V/6A
尺寸	46*46*26mm (PCBA)
功率密度	35.7W/in <sup>3</sup> (PCBA)
应用产品	INN650D01+INN650D02

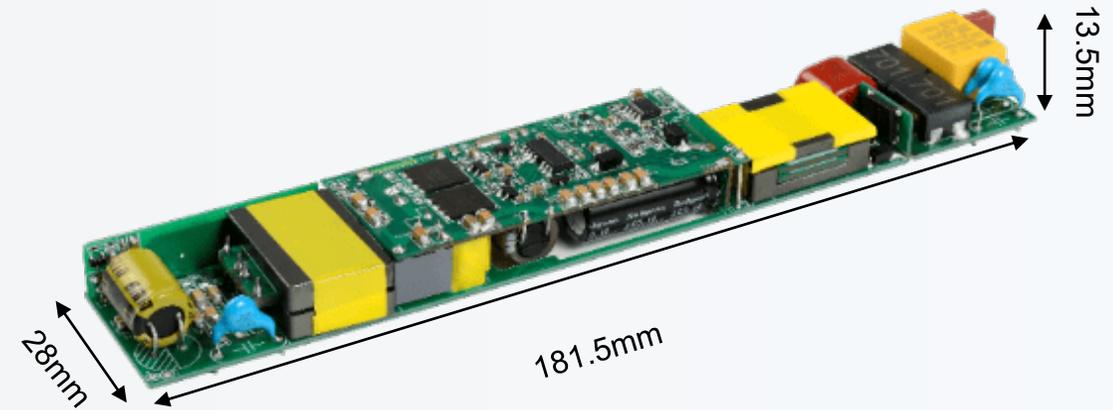


# EVB-LED150V1

*Innoscence Confidential*

## EVB-LED150V1 150W/(LED Driver)

拓扑名称	Boost PFC+LLC
输入电压范围	180-264Vac
输出	55.5V/2.7A
LLC工作频率	300kHz @满载
变压器	EQ25/12.6/18 , NVM03
效率	94.5% @230Vac & 55.5V/2.7A
尺寸	181.5*28*13.5 mm(PCBA)
功率密度	35.7W/in <sup>3</sup> (PCBA)
应用产品	INN650D01

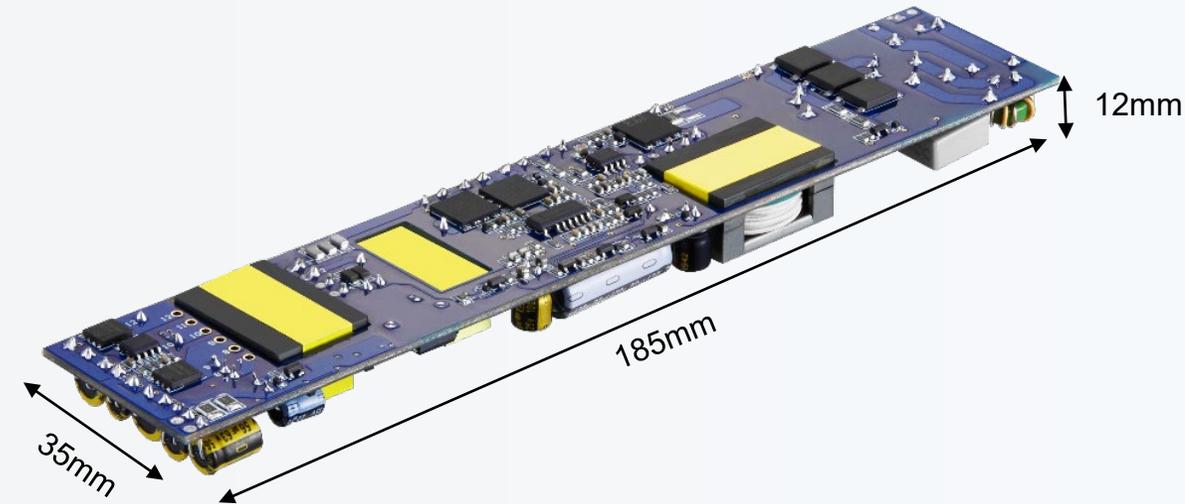


# EVB-LED200V1

*Innoscience Confidential*

## EVB-LED200V1 200W/(LED Driver)

拓扑名称	Boost PFC+LLC
输入电压范围	180-264Vac
输出	47~49V, CC 4.1A, TYP 48V
LLC工作频率	300kHz @满载
变压器	ER25/12/18 , TP5
效率	95% @230Vac & CC4.1A 48V
尺寸	185*35*12 mm(PCBA)
功率密度	42W/in <sup>3</sup> (PCBA)
应用产品	INN650D01+INN650D02

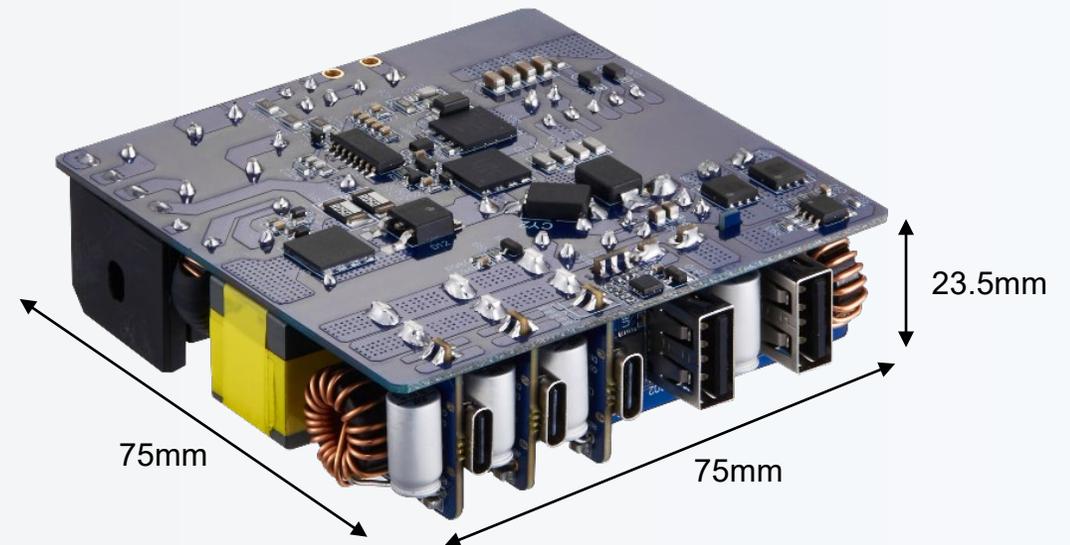


# EVB-PD200V1

*Innoscence Confidential*

## EVB-PD200V1 200W/(2A+3C)

拓扑名称	Boost PFC+LLC+buck
输入电压范围	90-264Vac
输出	单A=30W, 单C=100W
LLC工作频率	140kHz @200W
变压器	EQ25/16, 3C95
效率	95% @230Vac & 20V/5A
尺寸	75*75*23.5mm (PCBA)
功率密度	24W/in <sup>3</sup> (PCBA)
应用产品	INN650D150A+INN650D260A



**GaN, Yes We CaN!**

# POWER THE FUTURE

POWER THE FUTURE



