

宽禁带半导体器件对变频家电 的创新启示以及应用挑战

陈立烽

2022-1-4

Table of contents

1	家电应用技术方向	3
2	SiC&GaN半导体器件对家电应用的价值	6
3	SiC&GaN器件应用的挑战	7
4	英飞凌SiC&GaN器件	8
5	总结	10

Table of contents

1	家电应用技术方向	3
2	SiC&GaN半导体器件对家电应用的价值	6
3	SiC&GaN器件应用的挑战	7
4	英飞凌SiC&GaN器件	8
5	总结	10

家电市场未来发展的趋势和需求



家电应用



更实惠的价格



更高的效率

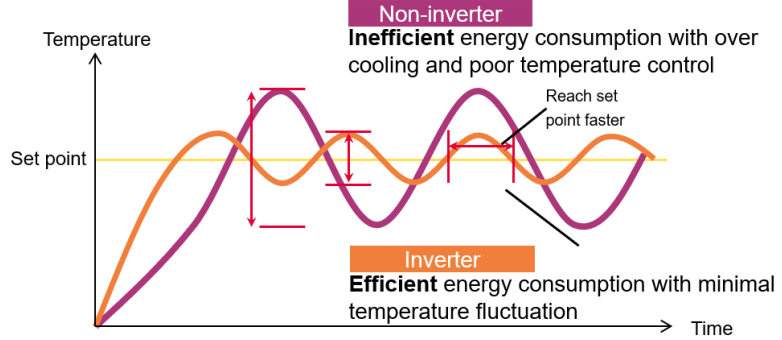
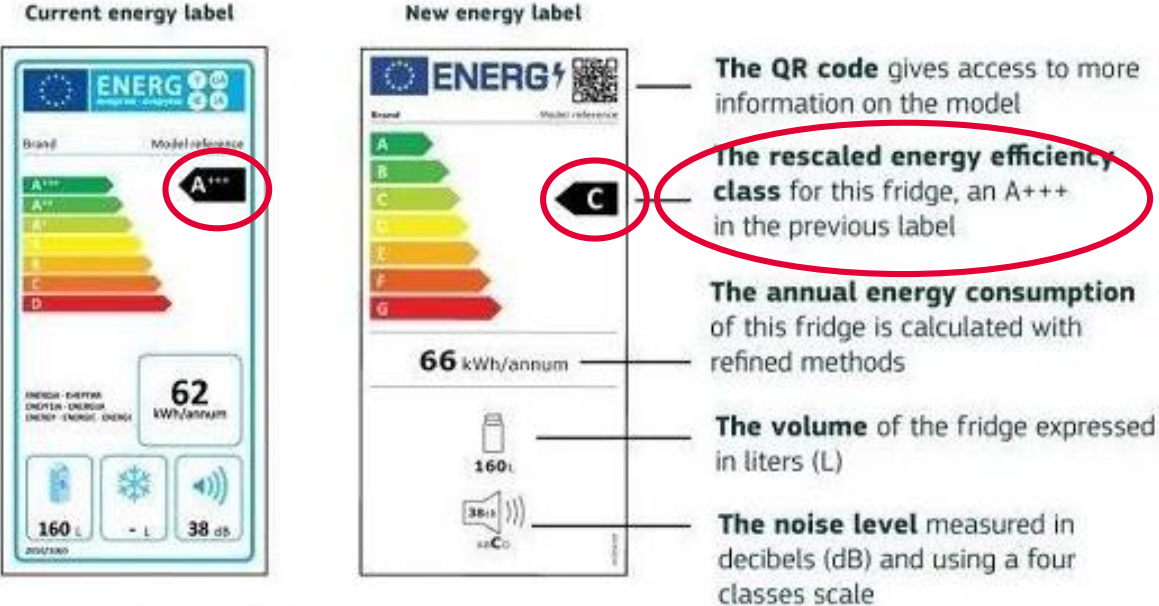


更高的可靠性

高能效将成为家电未来发展的主要需求

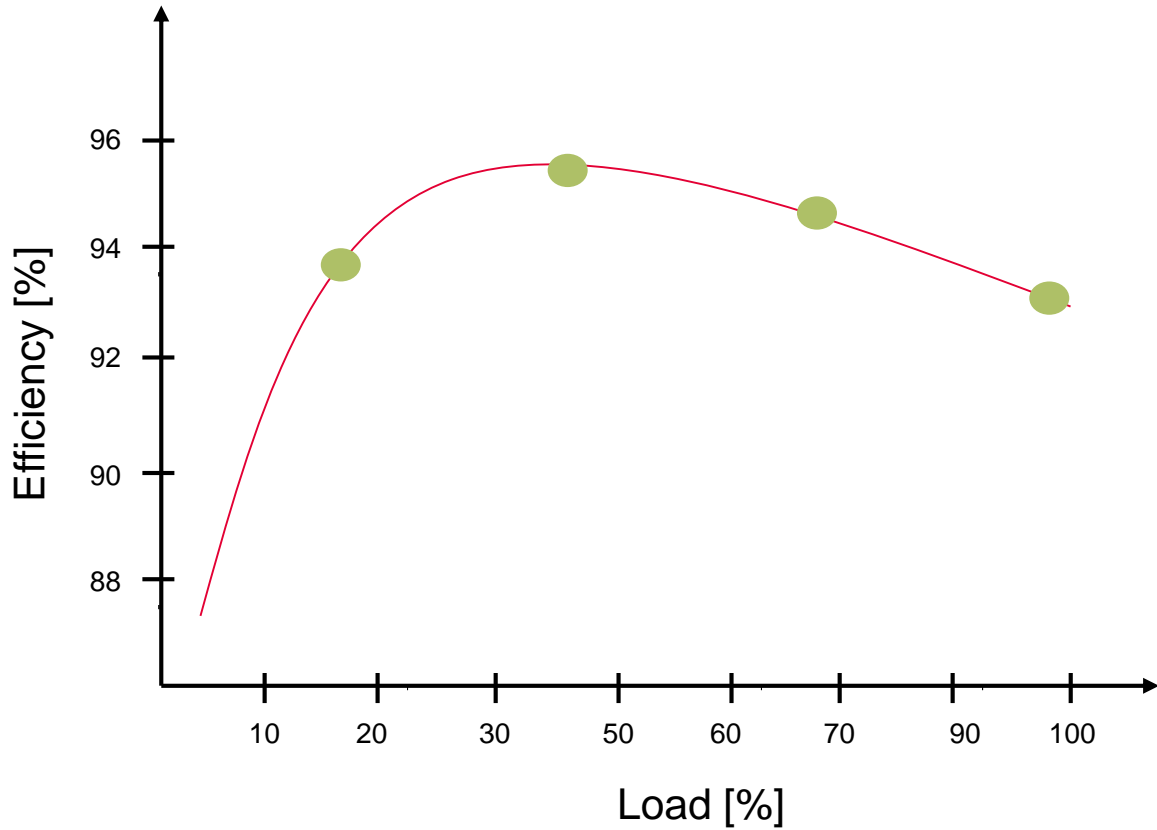
新能效标准促进变频化趋势

- › 能效标准推动了马达变频化趋势
(EN 60335-2-24:2010/A1:2019+A2:2019, implemented from March 1st, 2021)
- › 马达转速由变频器自动控制，更小的结温波动提高了效率



The energy labels for a fridge without freezer

家用空调的新趋势



GB 21455 – 2019

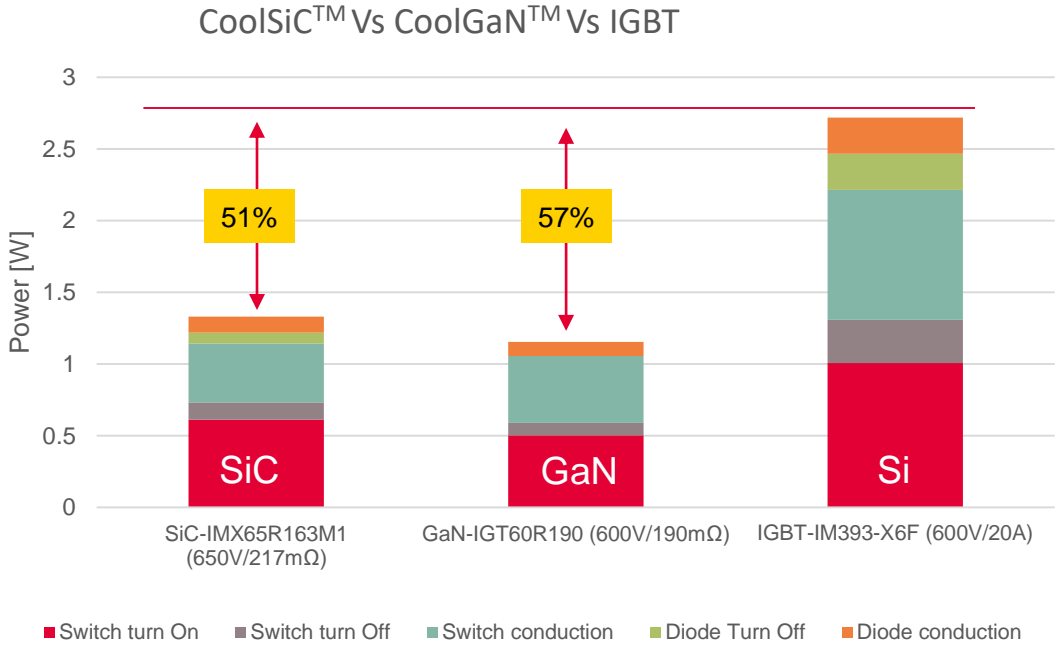
额定制冷量 (CC) W	全年能源消耗效率(APF) W·h/ (W·h)				
	能效等级				
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
$CC \leq 4500$	5.00	4.50	4.00	3.50	3.30
$4500 < CC \leq 7100$	4.50	4.00	3.50	3.30	3.20
$7100 < CC \leq 14000$	4.20	3.70	3.30	3.20	3.10



冰箱能效标识

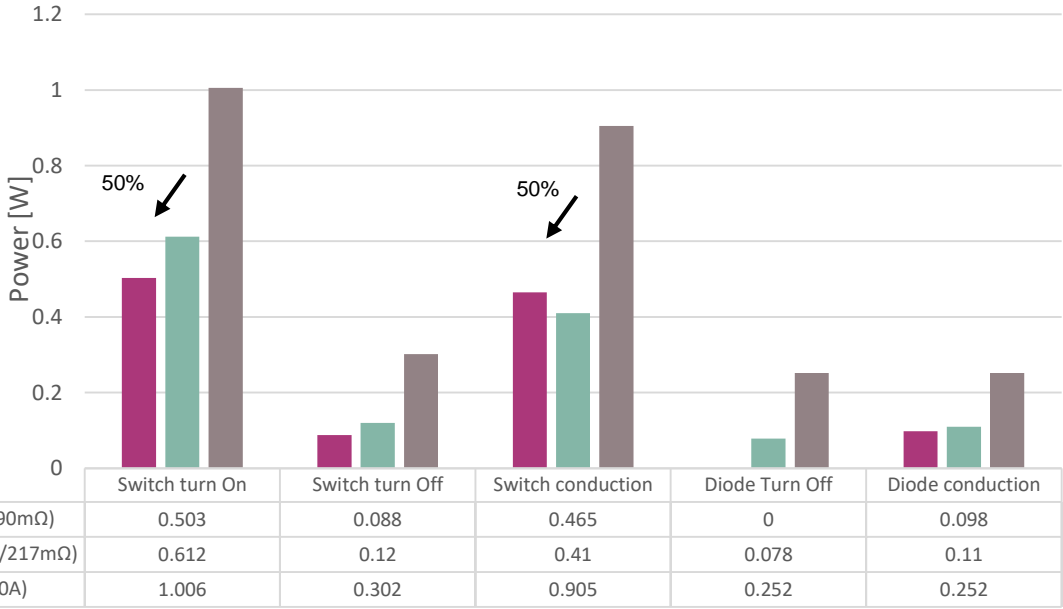
- › APF(Annual Performance Factor), 全年能源消耗效率成为标准的衡量指标
- › 系统效率的优化变得更为重要

宽禁带半导体器件相比于传统的Si器件可以大大减少功率损耗



*Washing machine example

Power loss comparison @ 600W



宽禁带方案明显的优势

- > 相同散热条件下更大的功率输出
- > 缩小体积
- > 去掉散热器
- > 满足新能效标准

1 kW GaN demonstrator

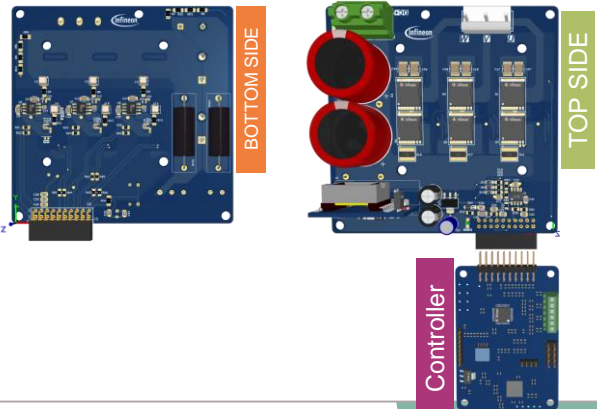
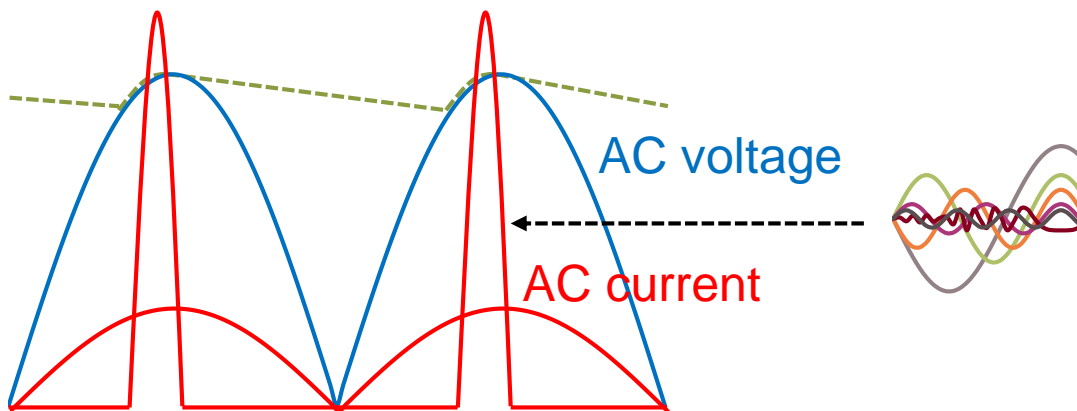
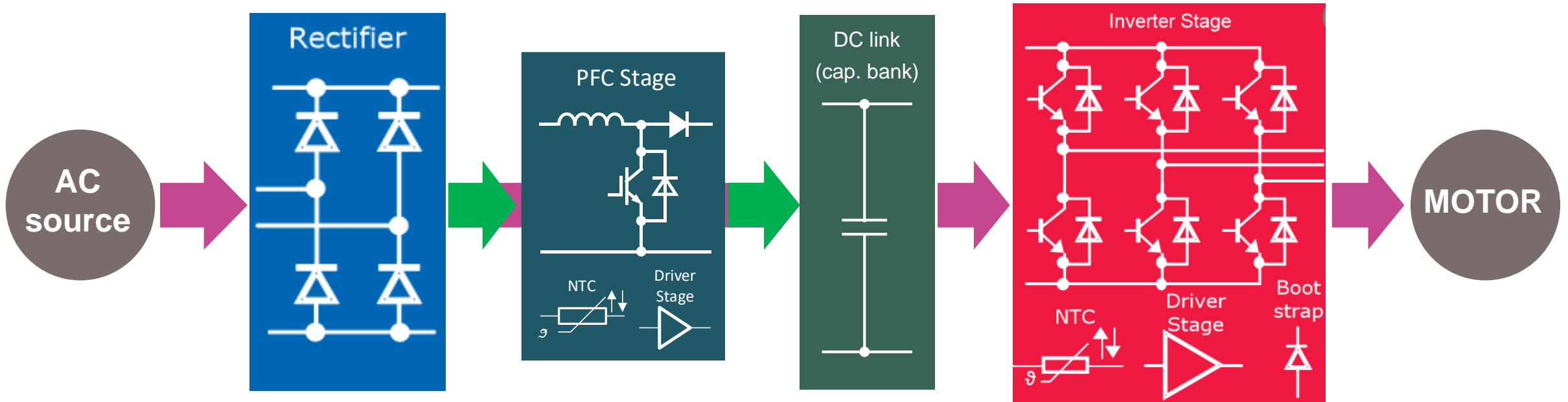


Table of contents

1	家电应用技术方向	3
2	SiC&GaN半导体器件对家电应用的价值	6
3	SiC&GaN器件应用的挑战	7
4	英飞凌SiC&GaN器件	8
5	总结	10

家电电路拓扑

变频化大大改进了马达驱动系统的能效



Did you know?

Inverterization enables variable speed drive...

Conventional control only offers two operating modes

Off Full speed On Off

...and **40 % energy savings** in refrigerators

家电应用中的PFC主流技术趋势

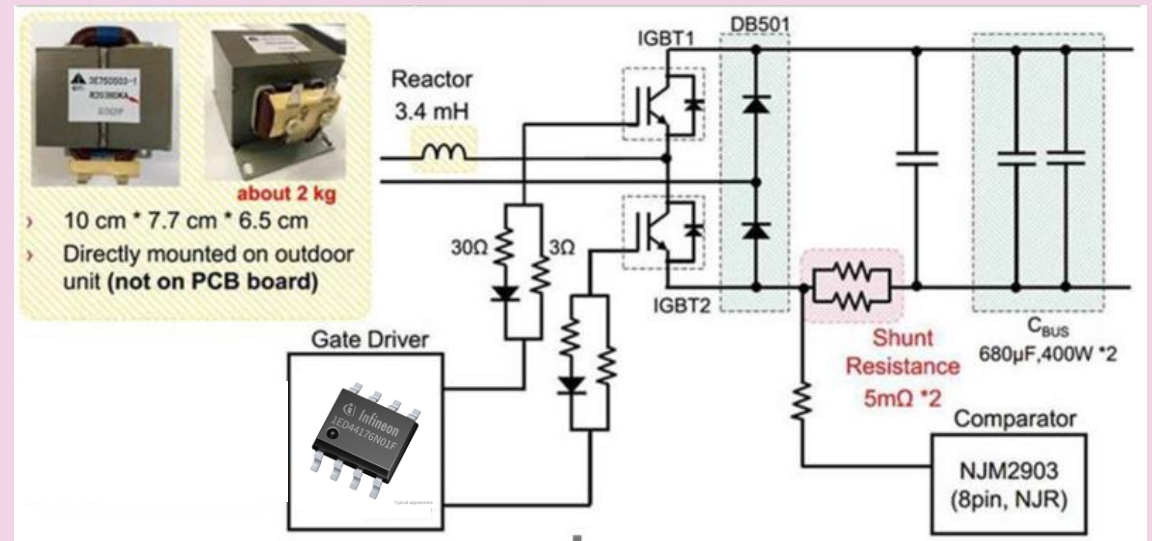
高开关频率

- » 开关频率高达70 kHz
 - 体积减小
 - 板载电抗器
 - 低成本电感



高效率拓扑

- » 采用IGBT的图腾柱PFC
 - 无桥 PFC: 消除BD上的导通损耗
 - 低共模EMI
 - 低 $f_{sw} < 20\text{kHz}$: 减小开关损耗



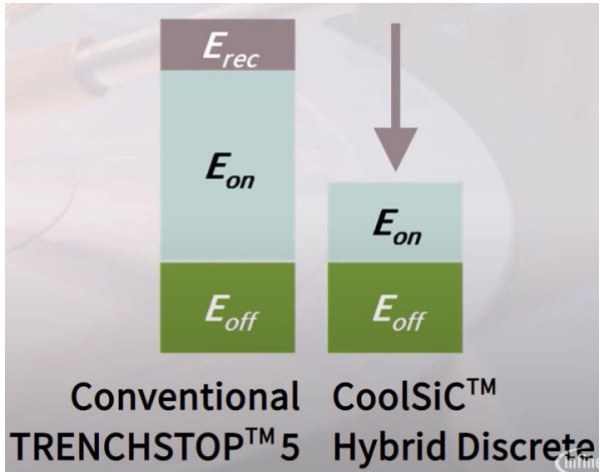
Infineon's 混合单管产品



相对于标准 IGBTs 每增加10kHz开关频率，效率可以提高大约 **0.1%**!

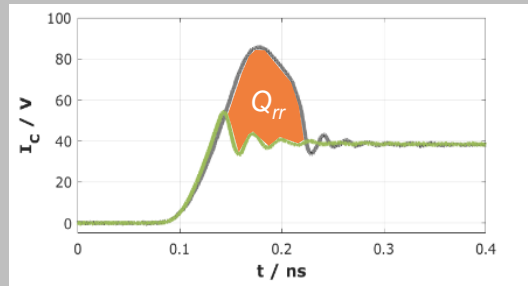


损耗降低超过 50%
(根据门极电阻)



由于CoolSiC™ 二极管降低的损耗 =
反向恢复带来的损耗 =

$$Q_{rr} \cdot V_{bus} \cdot f_{sw}$$



Turn-on waveforms acquired at 400V, 37.5A, 150°C, $R_{Gon}=47\Omega$.

假设: $Q_{rr}/I_C \approx 60 \text{ nC/A}$
(数据手册值 @ $T_{vj}=100^\circ\text{C}$ and $I_C=I_{Cr}/2$)

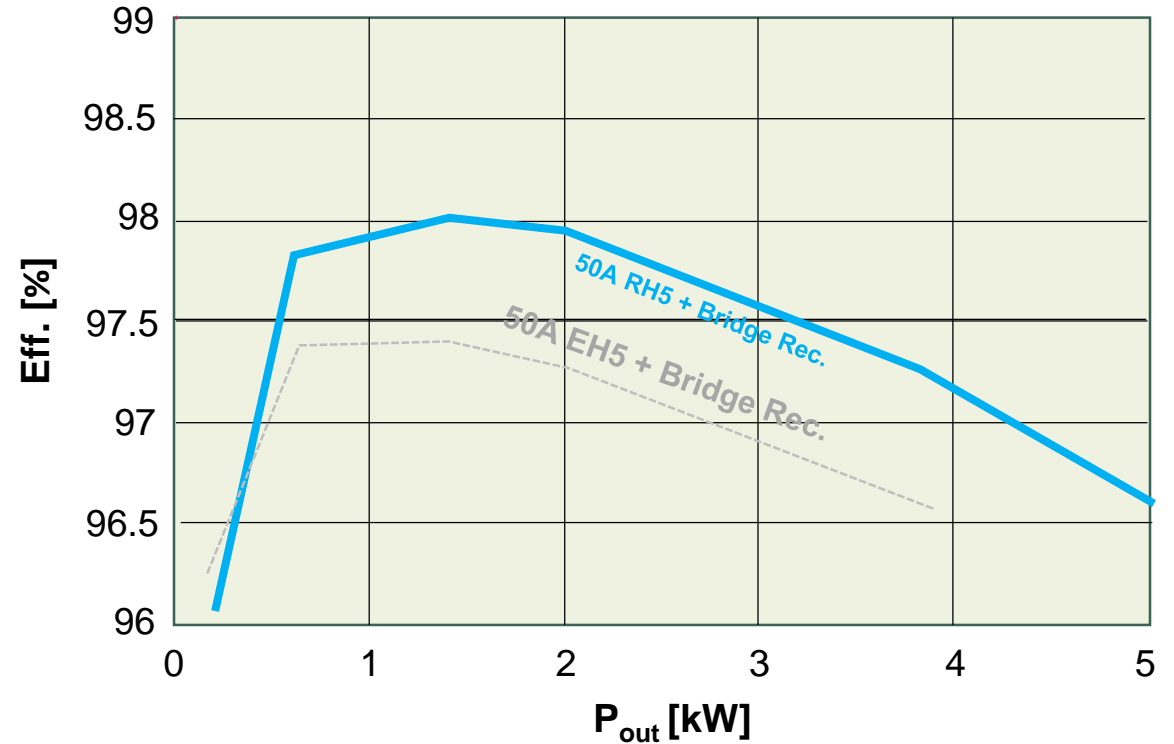
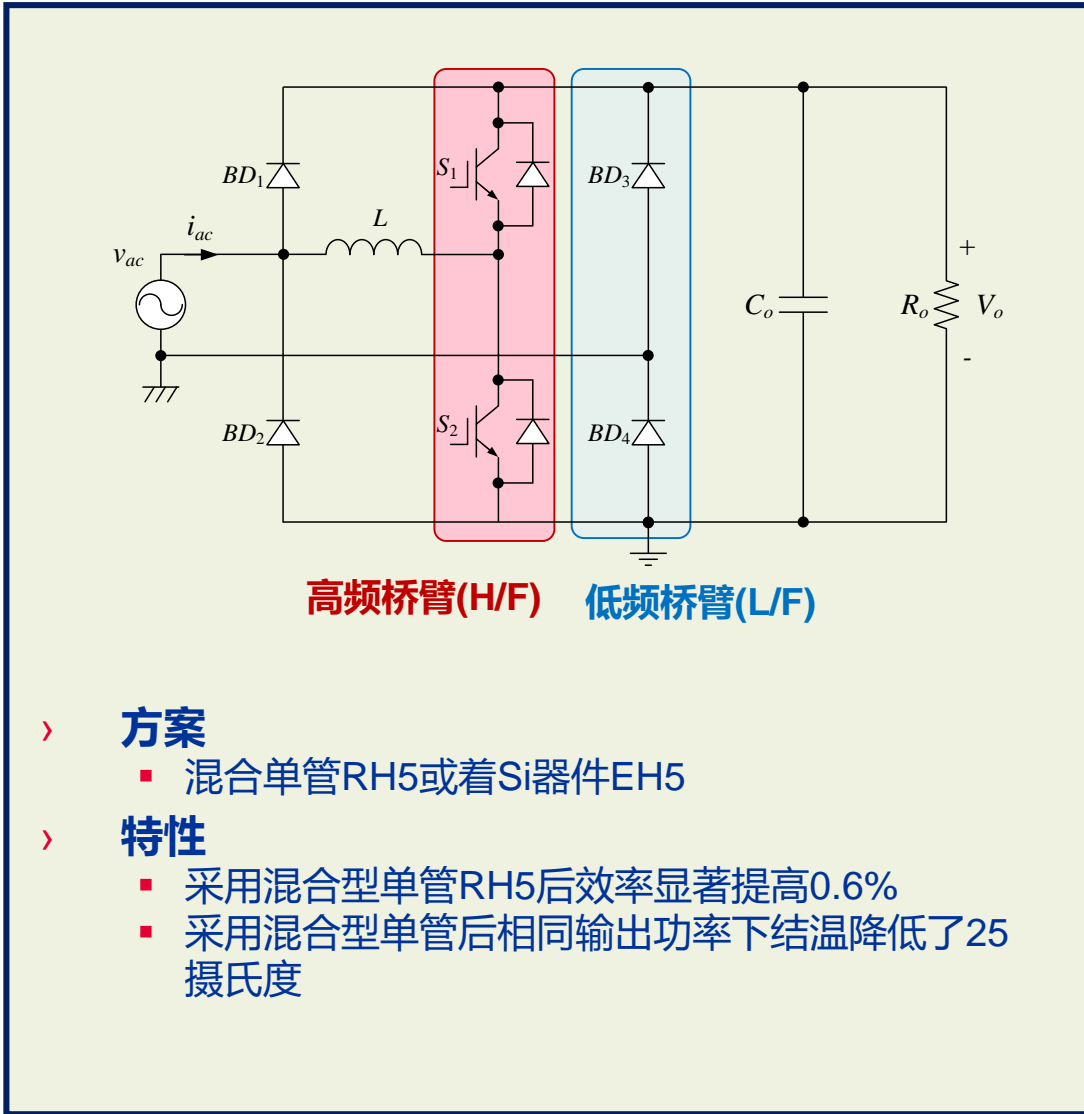
举例:

- > 半桥拓扑: 0.12% 每10kHz
(工作点 @ $V_{in}=400\text{V}$ and $V_{out}=200\text{V}$)
- > T型变换器: 0.09% 每10kHz
(工作点 @ $V_{bus}=750\text{V}=2 \cdot 375\text{V}$, $V_{out}=230\text{Vrms}$, $\cos(\varphi) \approx 1$)

概况: 效率提升~0.1% 每10kHz

Basis of the calculation is the data sheet IKW75N65ES5: $Q_{rr} \approx 2.25\text{nC}$ at $I_C=I_{Cr}/2=37.5\text{A}$ and $T_{vj}=100^\circ\text{C}$,

无桥图腾柱PFC方案



No.	高频桥臂	T _{temp.} [°C] @5kW	η_{max} [%]	$\eta_{@5kW}$ [%]
2	50A RH5	79.1	98.0	96.6
3	50A EH5	105.5	97.4	96.0

采用SiC IPM 可以在不改变系统散热系统的条件下大大增加输出功率

消费类电机驱动产品方案

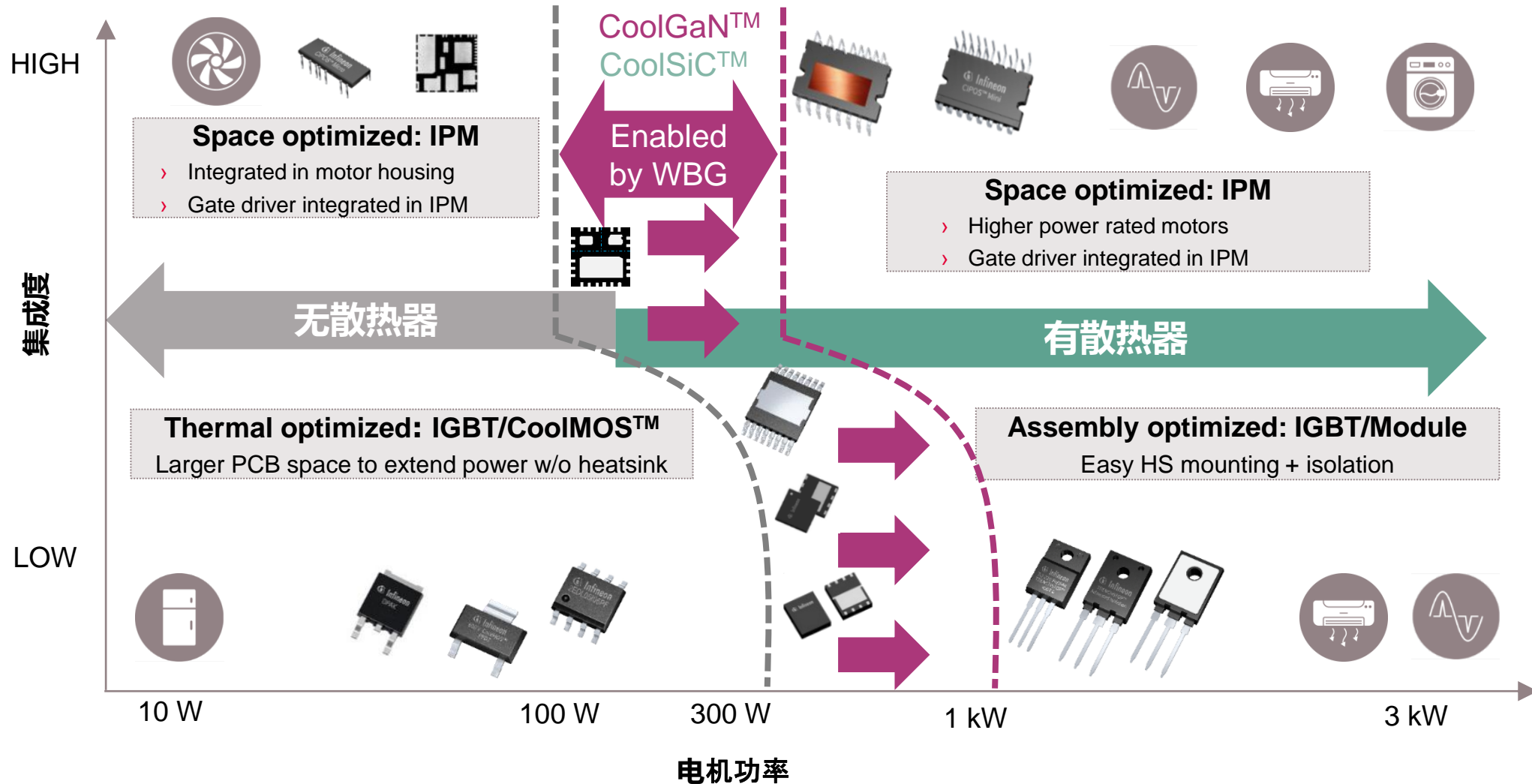
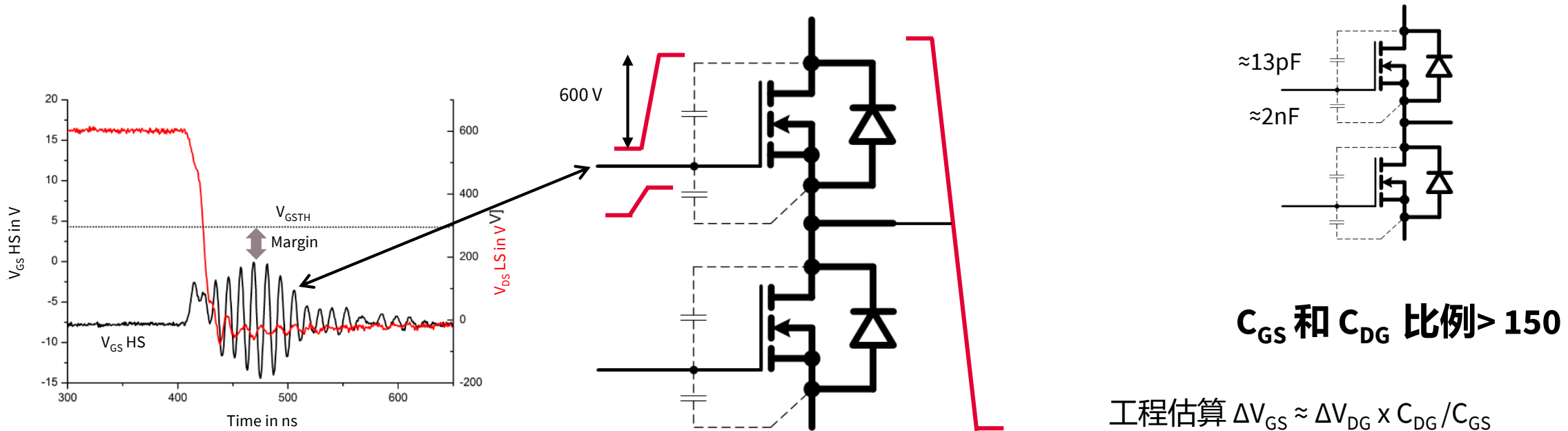


Table of contents

1	家电应用技术方向	3
2	SiC&GaN半导体器件对家电应用的价值	6
3	SiC&GaN器件应用的挑战	7
4	英飞凌SiC&GaN器件	8
5	总结	10

挑战 1：工程师对高速器件应用的设计挑战

高dv/dt引起的寄生导通，器件结电容设计可以降低大门极误开通的风险



C_{GS} 和 C_{DG} 比例 > 150

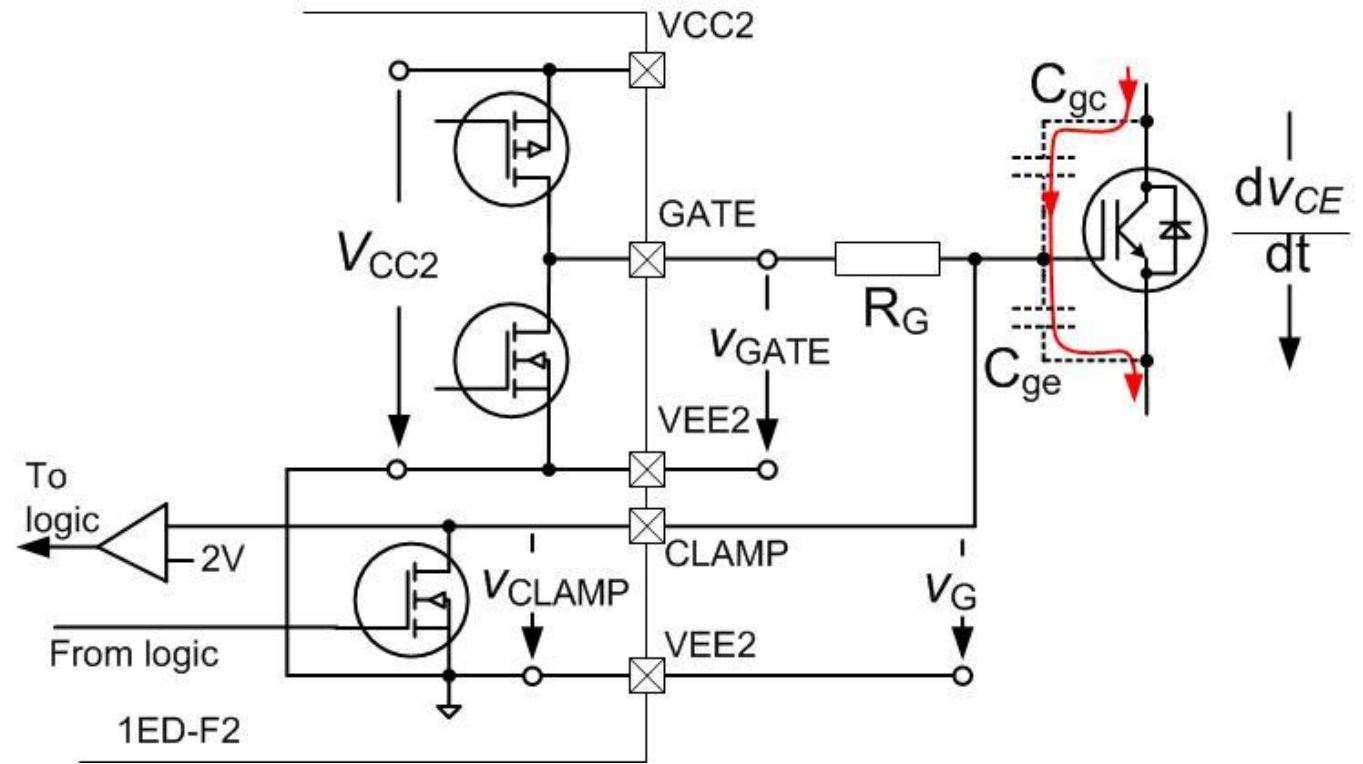
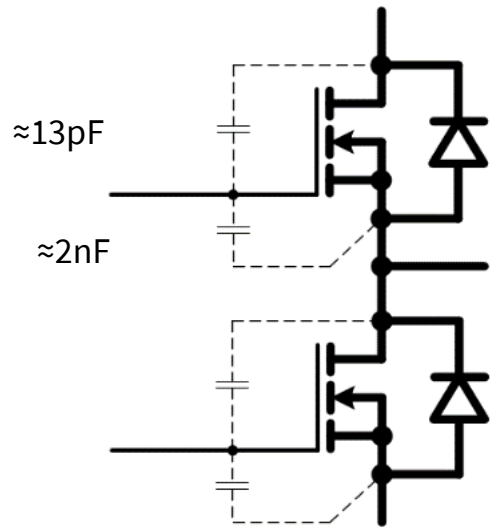
工程估算 $\Delta V_{GS} \approx \Delta V_{DG} \times C_{DG} / C_{GS}$
 $\Delta V_{GS} \approx 600\text{ V} \times 13\text{ pF} / 2000\text{ pF} \approx 3.9\text{V}$
 如果 $V_{GSTH} \approx +3\text{V}$ (高温)，关断负压为-3V，因此还会有+2.1V的裕量。

› 良好的设计至关重要

一切当以实际测量为准!!!

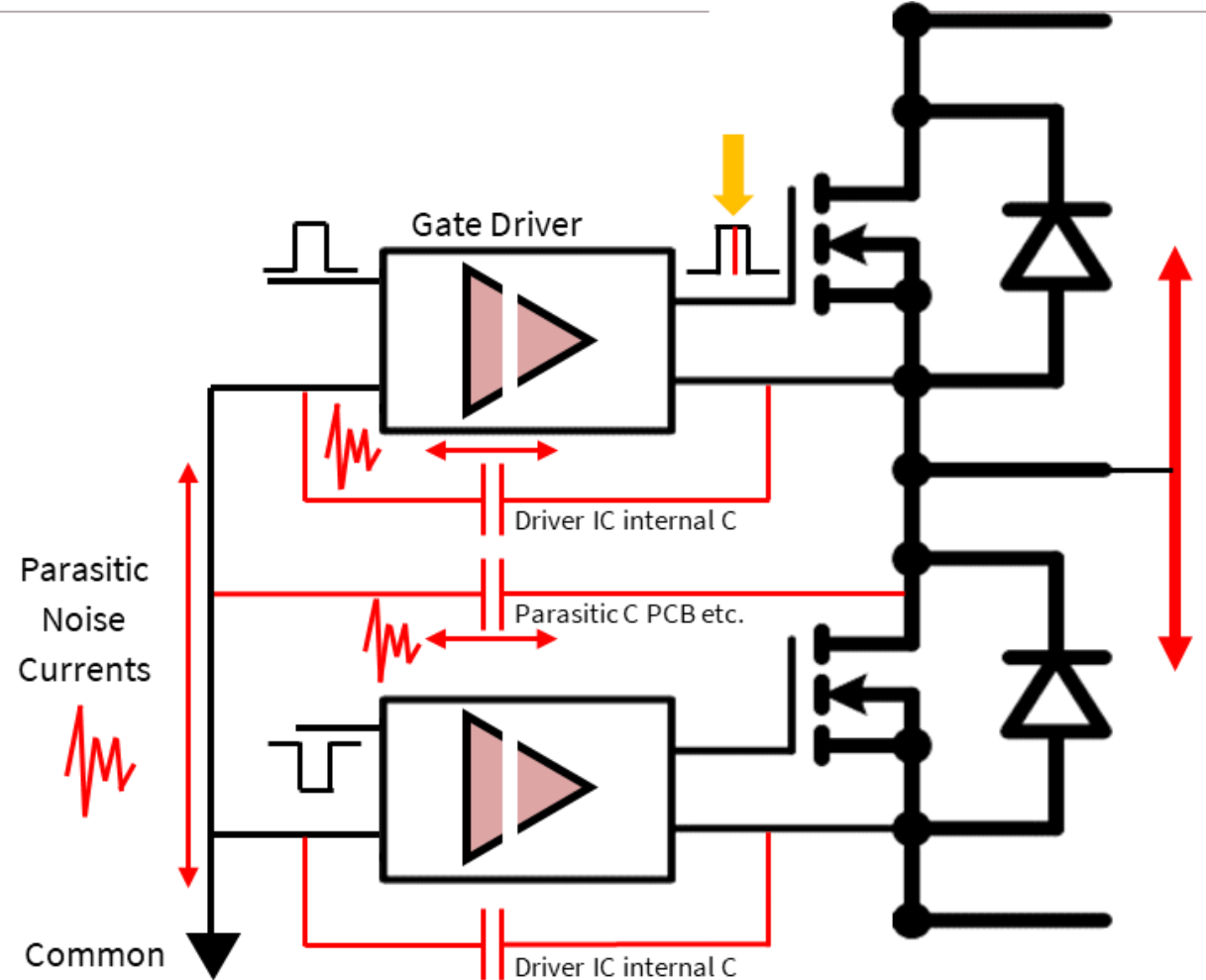
如何避免门极误开通

- › 选择阈值电压更高的MOSFET
- › 注意CDG 和 CGS 的配比
- › 米勒钳位 (SiC内部的RGint)
- › 使用更大的负压



驱动芯片CMTI在SiC驱动中的重要性

- > 驱动芯片的周边有各种分布电容。
- > 高速开关的SiC器件会产生瞬变的高噪声。
- > 这种高噪声瞬变会导致栅极驱动器失去信号完整性。
- > 英飞凌的驱动芯片CMTI高达100kV/us!

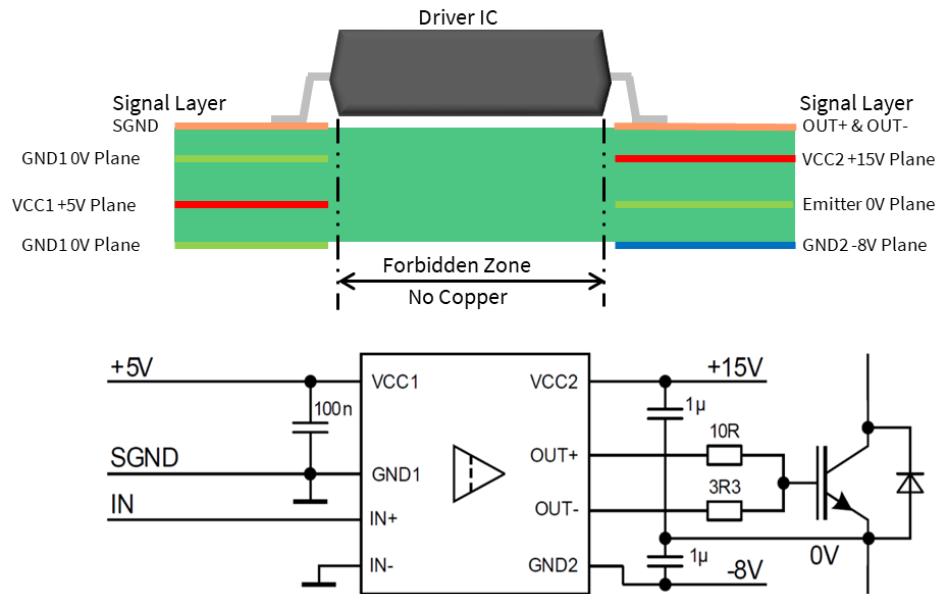
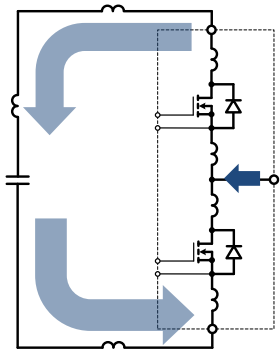


Common Mode Transient Immunity CMTI of driver IC's.
Parasitic noise currents can cause miss-operation of IC.

挑战2：设计优化与系统环境和结构的挑战 PCB Layout 建议

SiC 应用PCB Layout 建议

- › 尽量对称
- › 减小回路杂散电感
- › 减小耦合



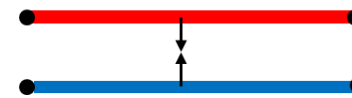
如何减小回路杂散电感



过电流的地方尽可能多的有交叠



与电流方向垂直的横面要宽



回路双向间的距离近

挑战 3： WBG的成本与家电产品成本要求的挑战

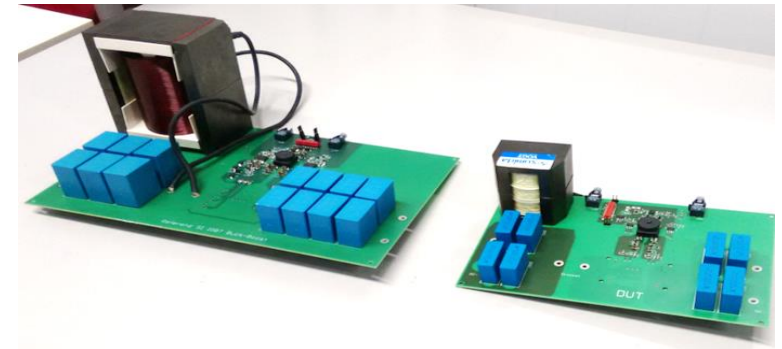
碳化硅(SiC)元件会在系统层面带来成本下降 (以光伏逆变器为例)

减小系统体积：

- SiC器件让系统可使用简单而容易控制的电路(两电平而非三电平)
- SiC器件让系统可使用高开关频率及小型磁元件
- 在更小的机箱处理相同的功率、或在相同的机箱处理更大功率，并降低成本

降低系统成本

- 同时增加半导体价值
- 整机材料成本下降
- 相对于硅半导体设计方案， SiC半导体材料成本为2到3倍



Si-IGBT评估板

SiC MOSFET评估板

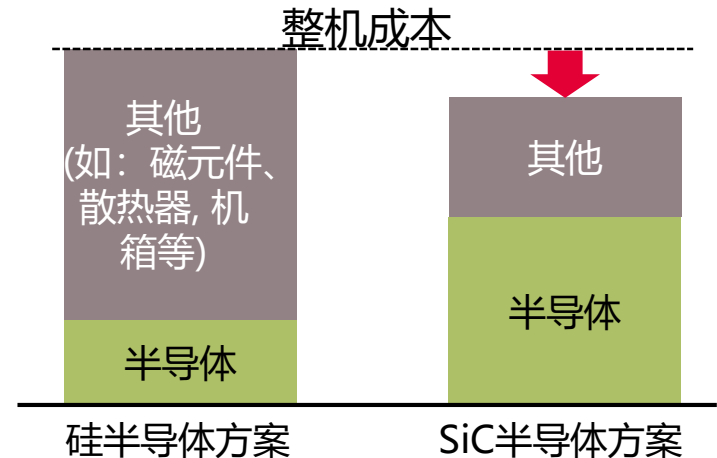
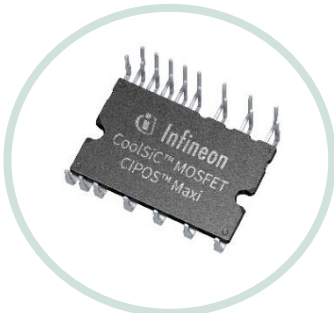
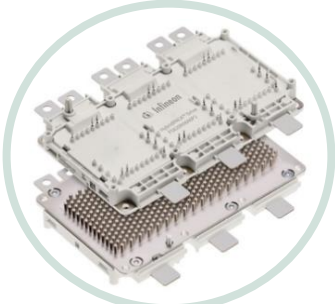
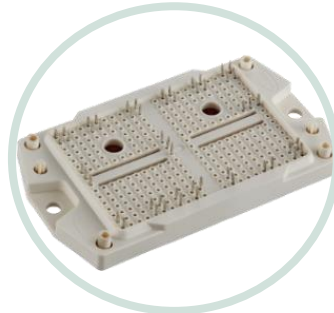
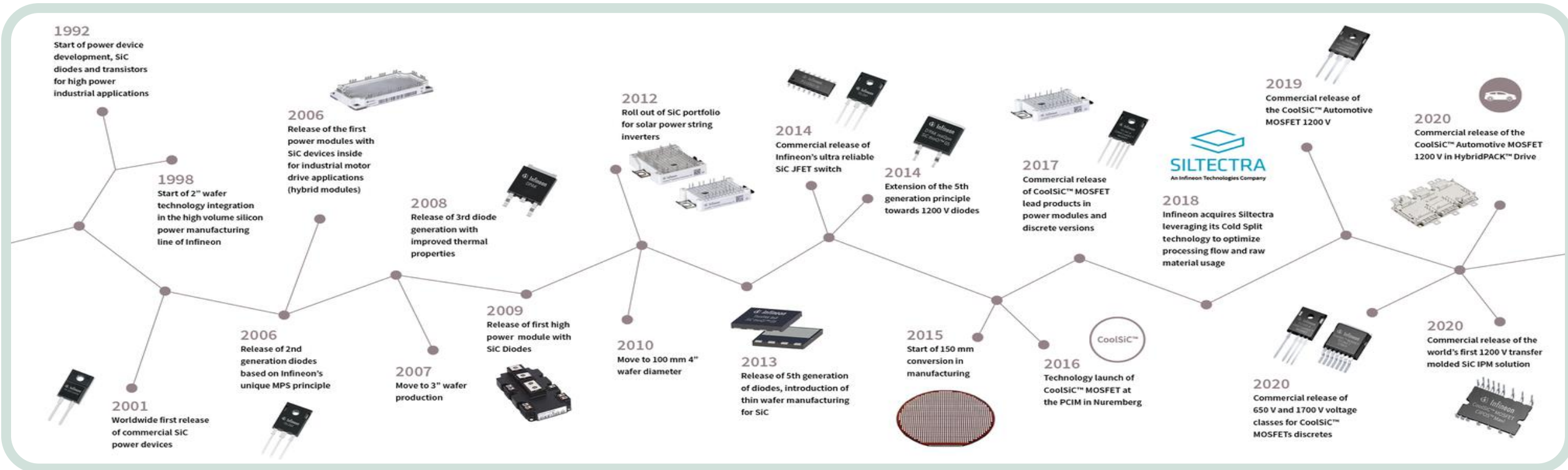


Table of contents

1	家电应用技术方向	3
2	SiC&GaN半导体器件对家电应用的价值	6
3	SiC&GaN器件应用的挑战	7
4	英飞凌SiC&GaN器件	8
5	总结	10

英飞凌CoolSiC™商用20周年：成就多项技术革新，赋能客户领跑未来



英飞凌持续提速，加快碳化硅新产品研发



		工业级						汽车级				
Package options	volumes	CoolSiC™ Diode		CoolSiC™ Hybrid		CoolSiC™ MOSFET		CoolSiC™ Diode		CoolSiC™ MOSFET		
		Discrete	Module	Discrete	Module	Discrete	IPM	Module	Discrete	Discrete	Discrete	Module
600 V		mass production				mass production			mass production			
650 V												
750 V												
1200 V												
1700 V												

Standard Product (标准产品) highlighted in the 600V-750V range.

Continuous extension of portfolio

mass production | coming soon

Complement the vast portfolio of CoolSiC™ MOSFETs with the EiceDRIVER™ gate driver ICs.



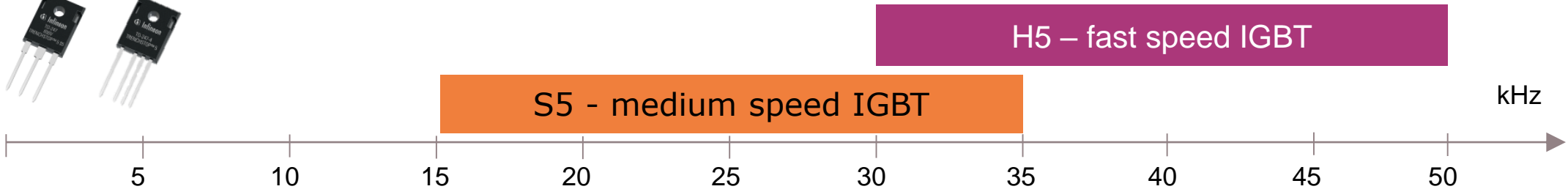
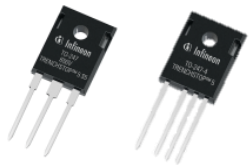
标配英飞凌门极驱动器
EiceDRIVER™






混合型单管产品系列









TRENCHSTOP™ 5 & CoolSiC™ Gen 6 Duopack

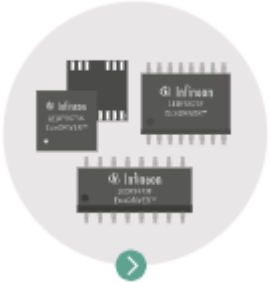
	IGBT IC _{nom} 100°C [A]	Gen 6 SiC Diode I _{f nom} 100°C [A]	TO-247-3 pin	TO-247-4 pin
IGBT H5 + „half“ rated Diode	40	16	IKW40N65RH5	IKZA40N65RH5
	50	20	IKW50N65RH5	IKZA50N65RH5
	75	30	IKW75N65RH5	IKZA75N65RH5
IGBT S5 + „full“ rated Diode	50	40	IKW50N65SS5	IKZA50N65SS5
	75	60	IKW75N65SS5	IKZA75N65SS5



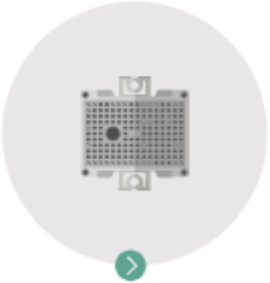
CoolSiC™ MOSFET 单管系列

SiC MOSFETs	TO-247-4 	TO-247-3 	D ² PAK-7  1200 V 1700 V ext. creepage
650 V	27,48, 72,107 mΩ	27, 48, 72, 107 mΩ	
1200 V	30, 45, 60, 90, 140, 220, 350 mΩ	30, 45, 60, 90, 140, 220, 350 mΩ	30, 45, 60, 90, 140, 220, 350 mΩ
1700 V			450, 650, 1000 mΩ

SiC Schottky diodes	TO-220 R2L 	DDPAK 	TO-247-3 	TO-247 	D ² PAK R2L 	ThinPAK 8x8 	TO-247 dual die 	DDPAK R2L 
650 V	2,-20 A	2,4,6,8,10,12,16,20 A	10,12,16,20, 30, 40 A	10,12,16,20, 30, 40 A	2,3,4,5,6,8,9,10,12 A	2,4,6,8,10,12 A	20,24,32,40 A	3,4,5,6,8,9,10,12 A
1200 V	2,5,8,10,16,20 A		10,15,20,30,40 A	10,15,20,30,40 A	2,5,8,10,16,20 A		10,15,20,30,40 A	2,4,8,10 A



Gate driver ICs



Modules

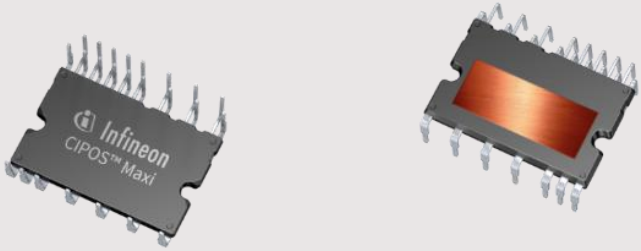


Evaluation boards

CIPOS™ Maxi : IM828-XCC 1200 V CoolSiC™ IPM

产品

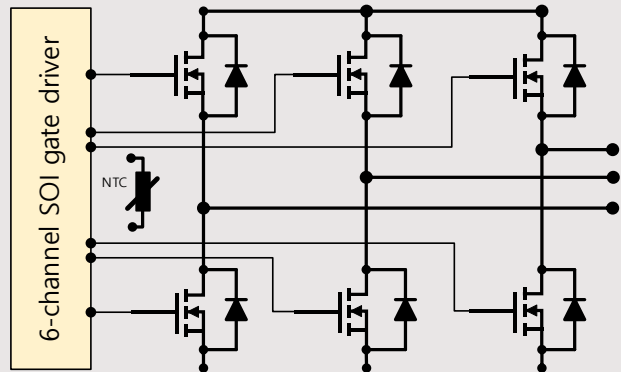
DIP 36X23D package



Dimension [mm] 36 x 22.7 x 3.1 mm³ with 24 pins

拓扑

➤ 3-phase inverter with open emitters



优势和系统价值

- CoolSiC™ MOSFET技术提供非常低的损耗
- 降低系统成本及更容易的设计
- 更快的推向市场
- 提供更宽的开关速度范围
- 在相同体积下实现高功率密度，高效率和 high 输出功率

典型应用

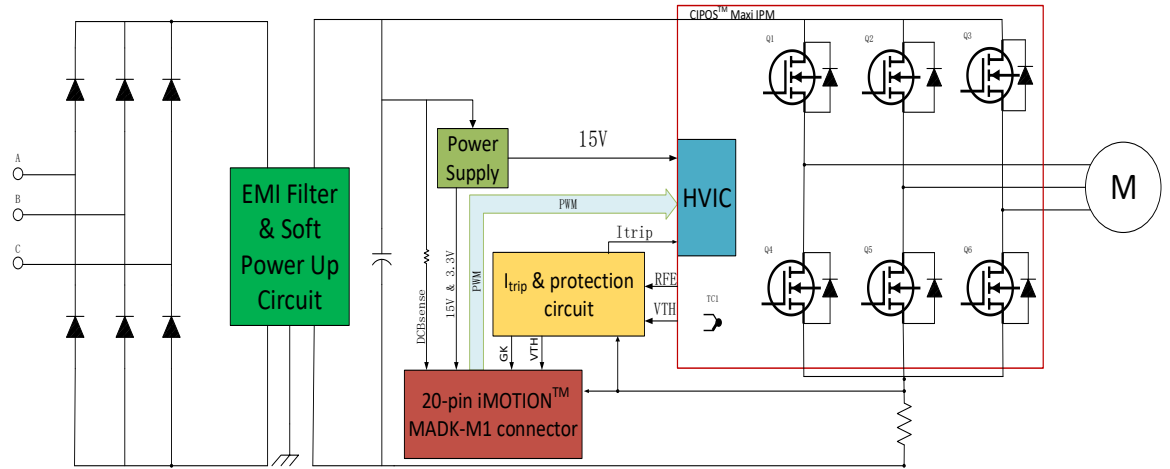


CoolSiC™ IPM评估板EVAL-M1-IM828

主要参数规格

- Input voltage 380 V_{AC}
- Maximum 10 kW motor power output
- Output current 18 A_{rms}
- On board EMI filter
- Single shunt current sensing configured by default
- Auxiliary power supply with 15 V, 3.3 V
- Over-current protection
- Over-temperature protection
- Sensing of DC-link voltage
- Thermistor output
- Fault diagnostic output
- Measurement test-points compatible to standard oscilloscope probes
- PCB is 150 mm × 140 mm and has two layers with 70 μm copper each
- RoHS compliant

结构框图



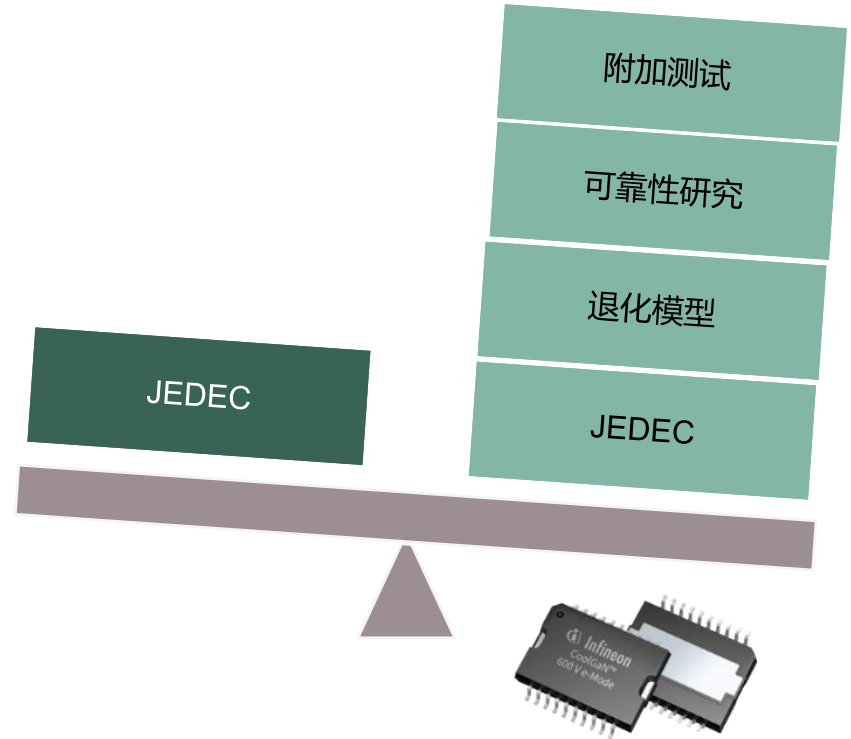
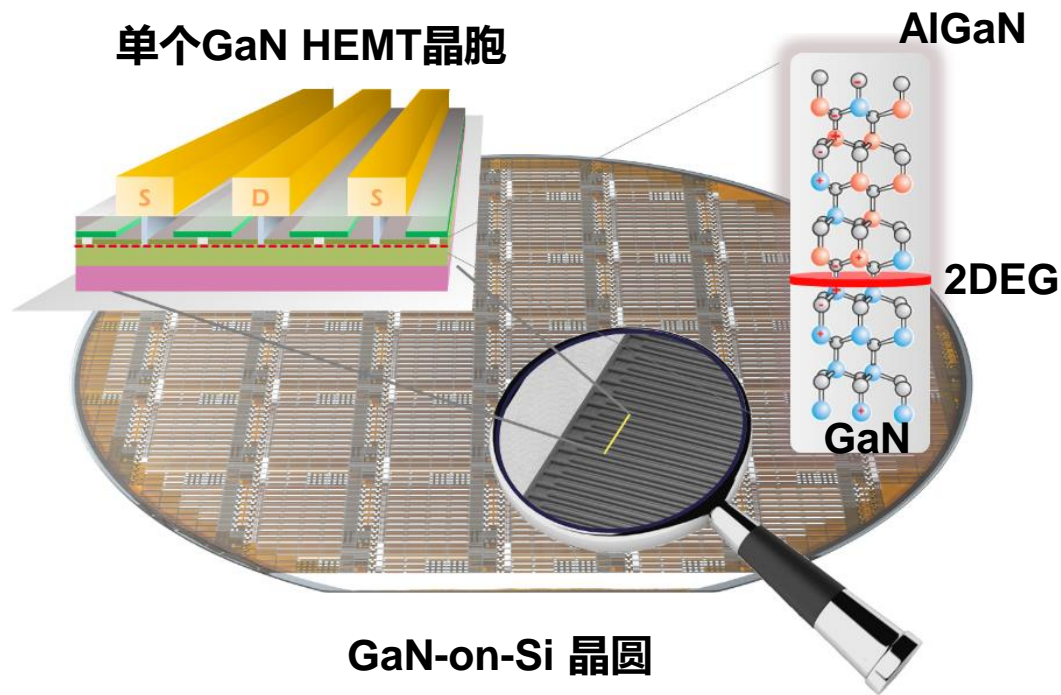
目标应用



英飞凌的氮化镓



业界最可靠的氮化镓器件



英飞凌采取 4个维度的品质计划，以精确模型化失效模式，预测产品寿命及现场失效率

Table of contents

1	家电应用技术方向	3
2	SiC&GaN半导体器件对家电应用的价值	6
3	SiC&GaN器件应用的挑战	7
4	英飞凌SiC&GaN器件	8
5	总结	10

总结

- › 提升系统效率是家电应用发展中的一大趋势
- › 宽禁带器件可以助力系统效率的提升和优化
- › 优化的设计和驱动是确保宽禁带器件可靠工作的保证



扫码关注
英飞凌工业半导体



最新产品和技
术信息



活动报名活道



工程师推荐的
技术文章



设计工具入口



人气演讲视频



学生园地



会议资料查阅

深度 | GaN还是SiC, 电气工程
师该如何选择?

<https://mp.weixin.qq.com/s/LqPAewhp0a2tUZoBGkHsGg>

SiC & GaN: 变频家电中的应
用价值和设计要点

<https://mp.weixin.qq.com/s/uyD18-kFrWyh6wfBeeL2YQ>

搭载全SiC IPM的电机驱动评
估板

<https://mp.weixin.qq.com/s/LVMWSepHfJHaf44Zb61DAw>

同生活, 共未来!



Part of your life. Part of tomorrow.