

# 英飞凌高性能太阳能微型逆变器解决方案

李和明  
系统应用工程师



太阳能微型逆变器的特点和优势

MPPT 常用解决方案

英飞凌功率器件在微型逆变器中的应用

英飞凌200W 微型逆变器解决方案

总结

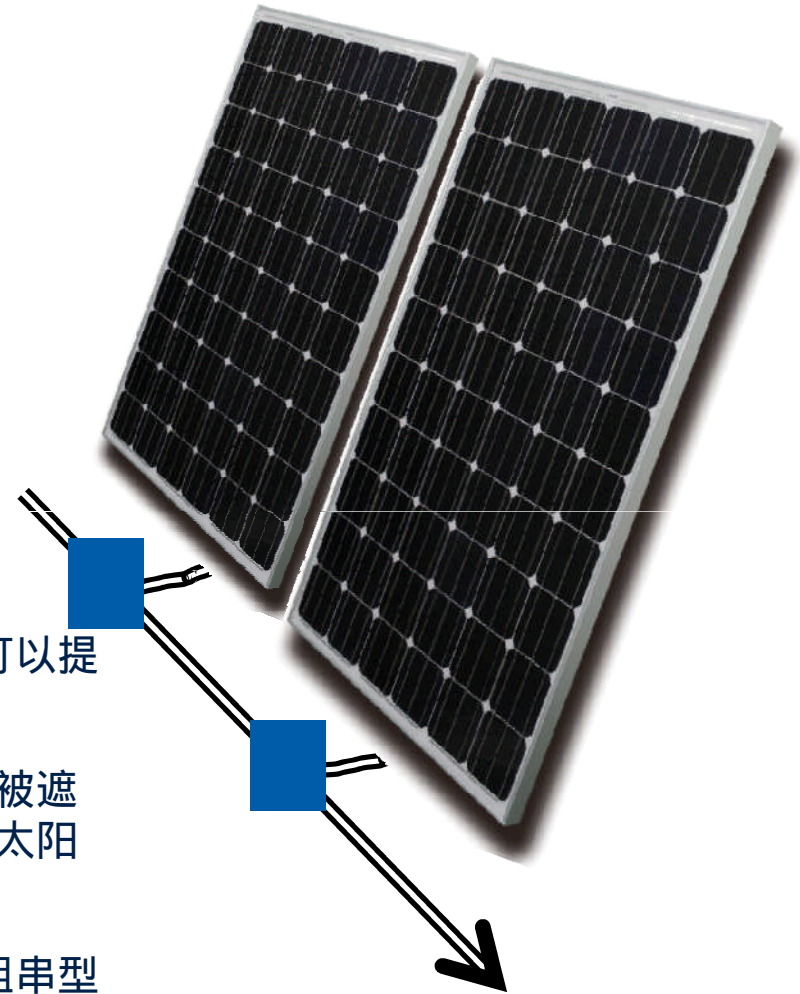
# 太阳能微型逆变器的特点和优势

## ■ 设计灵活 & 安装便利

- 更小的尺寸
- 可以根据实际需要，通过多个微型逆变器并联实现大功率输出
- 输入端太阳能电池板的连接线路更为简单

## ■ 提高发电量

- 由于对每个太阳能电池板进行最大功率点追踪，可以提高电池板的利用率，进而提高系统的效率
- 在太阳能电池板处于光照条件不好的情况下(比如被遮光，或电池板上有杂物覆盖时)，相比其他类型的太阳能逆变器，可以输出更多的功率
- 和太阳能优化器相比，微型逆变器不需要额外的组串型逆变器 → 没有额外的成本增加和额外的损耗，可以获得更高的系统效率



太阳能微型逆变器的特点和优势

MPPT 常用解决方案

英飞凌功率器件在微型逆变器中的应用

英飞凌200W微型逆变器解决方案

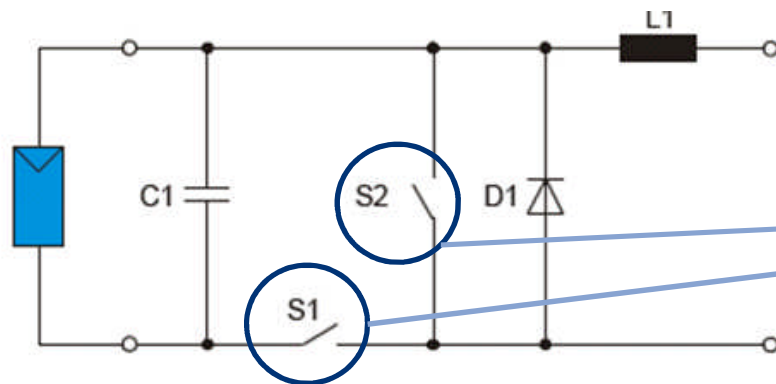
总结

# MPPT .....(1) 同步整流 Buck



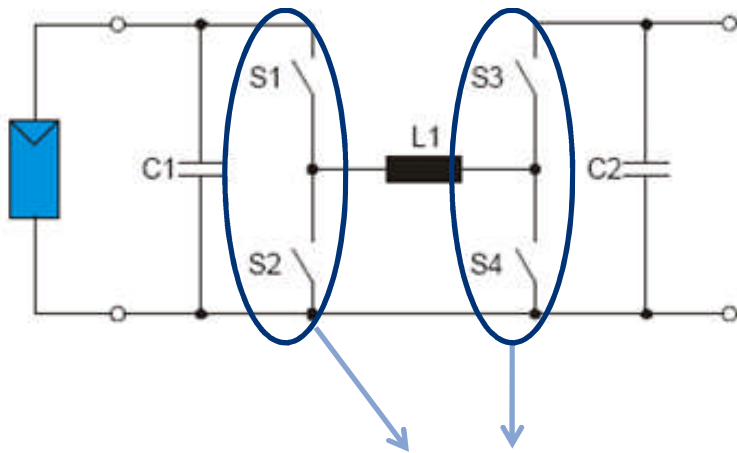
基于同步整流BUCK的最大功率点追踪:

- S1 和 S2 的电压应力等于输入端太阳能电池板的电压
- 根据输出功率和输出电压的要求，可以在输出侧串并联连接
- 最大功率点追踪电路只在太阳能电池板的电压高于额定输出电压时工作



75V-100V OPTIMOS™

# MPPT .....(2) Buck-boost

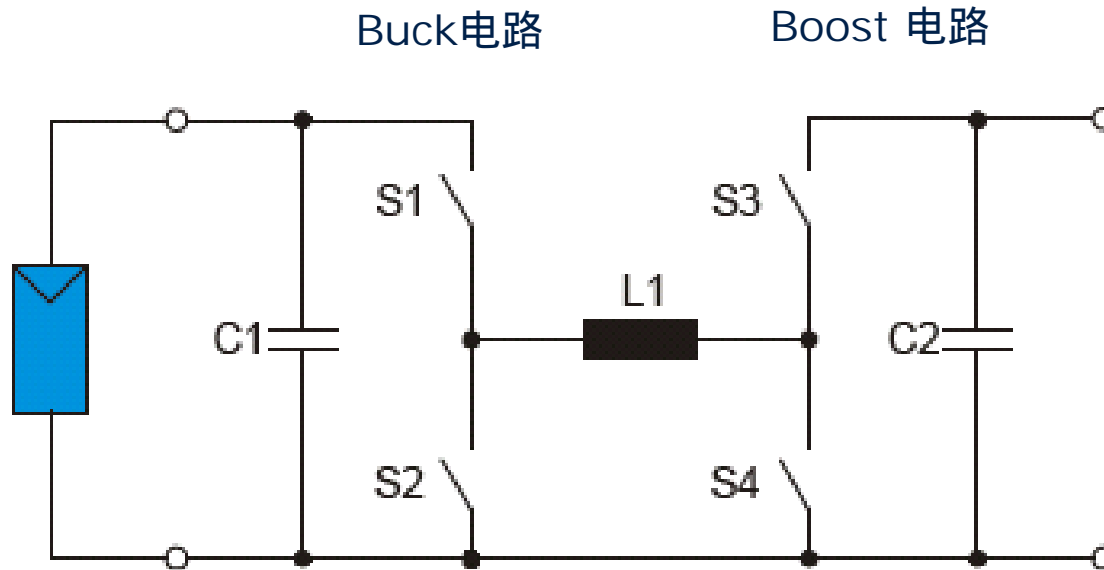


75V-100V OPTIMOS™

基于BUCK-BOOST的最大功率点追踪：

- S1 和 S2 的电压应力等于输入端太阳能电池板的电压
- S3 和 S4 的电压应力等于MPPT电路的输出电压

# Buck-boost.....工作原理

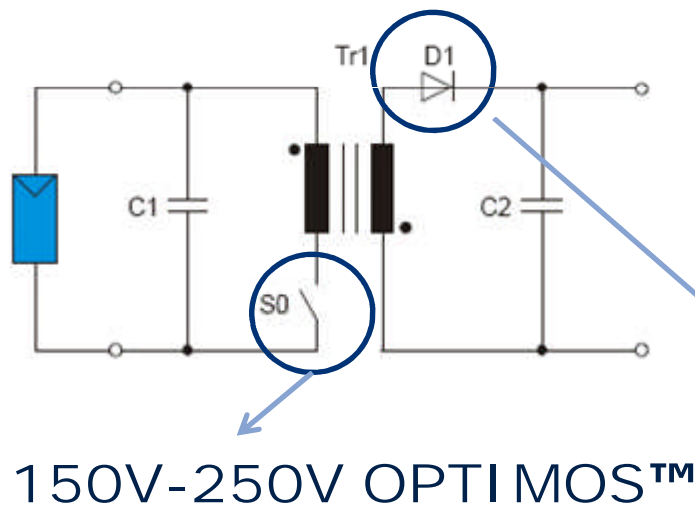
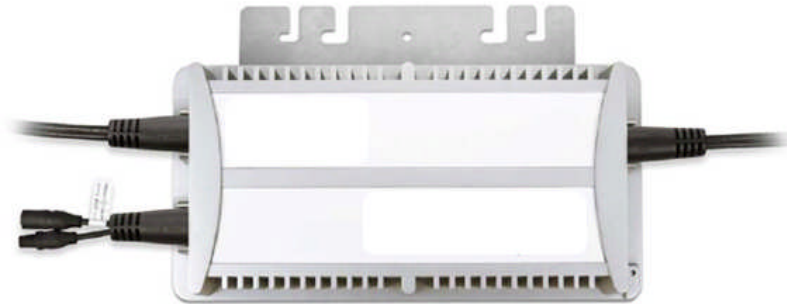


三种工作模式:

- + 降压 : S3 恒通 , S1 , S2PWM
- + 升压 : S1 恒通 , S4 , S3PWM
- + 旁路 : S1 & S3 恒通

- ➔ S1 / S2: 低压MOSFET工作在同步整流模式, 降低损耗, 提高效率  
MOSFET的要求 : 更低的Rdson, FoM Ron\*Qg & FoM Ron\*Qoss
- ➔ S3 / S4: 低压MOSFET工作在同步整流模式, 降低损耗, 提高效率  
MOSFET的要求 : 更低的Rdson, FoM Ron\*Qg & FoM Ron\*Qoss

# MPPT .....(3) 反激变换器



## 基于反激变换器的最大功率点追踪电路

- 开关管电压应力等于输入电池电压和二次侧折射到原边的电压之和（与变压器匝比有关）
- 副边输出电压取决于S0的开关占空比和原副边匝比
- 输出电压可以直接作为逆变电路的输入，反激变换器既实现MPPT，也实现升压的功能



太阳能微型逆变器的特点和优势

MPPT 常用解决方案

英飞凌功率器件在微型逆变器中的应用

英飞凌200W微型逆变器解决方案

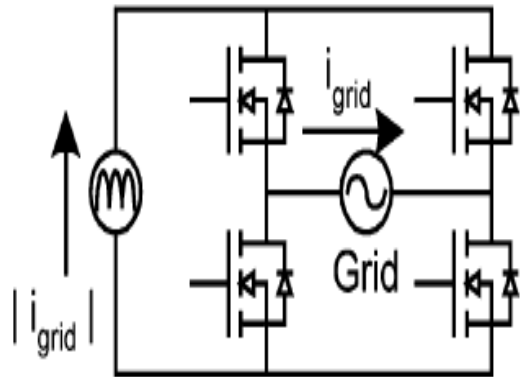
总结

# 几种常见太阳能微型逆变器方案的比较



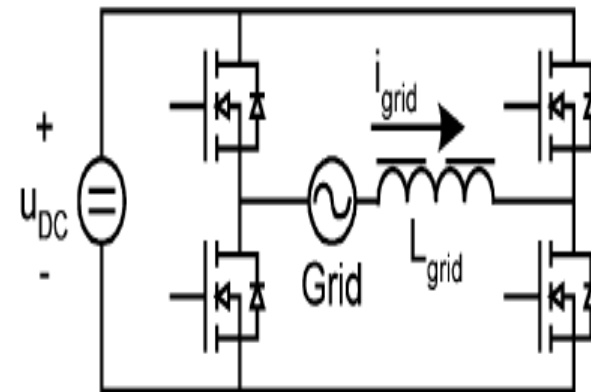
## ■ 电流源型逆变器

- + 逆变器工作在低频开关状态
- + 效率高
- + 逆变器输入端无需电解电容
- MPPT端有100 Hz 的纹波
- 输出侧需要额外的保护电路
- 没有处理无功功率的能力



## ■ 电压源型逆变器

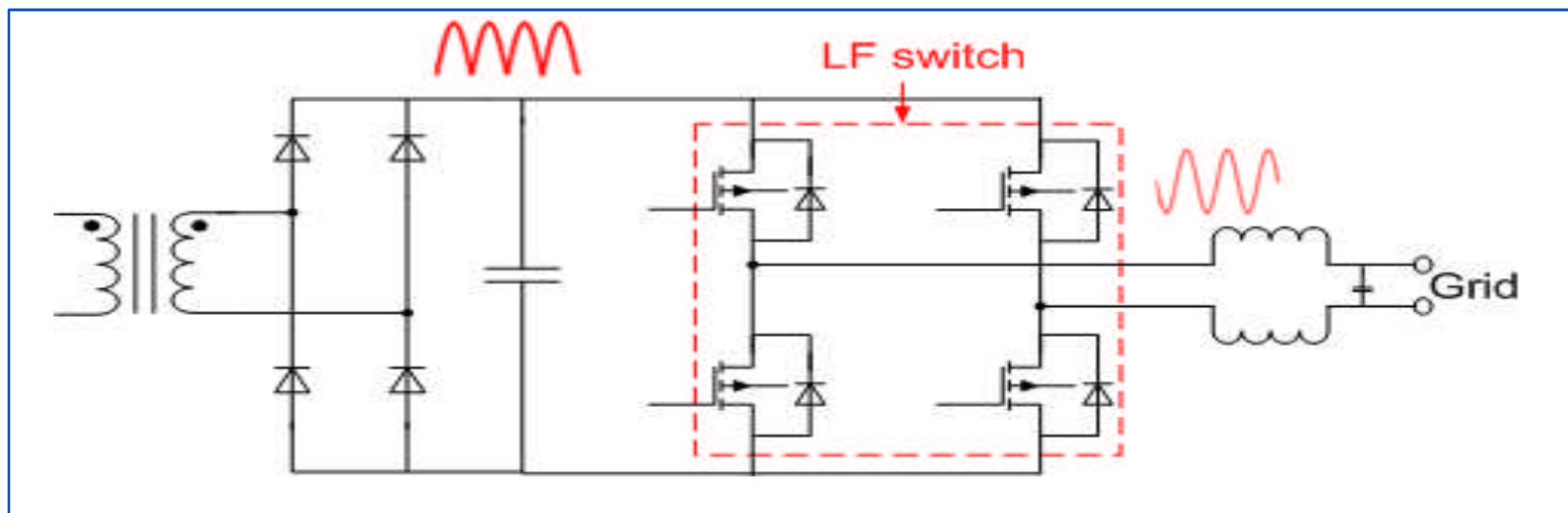
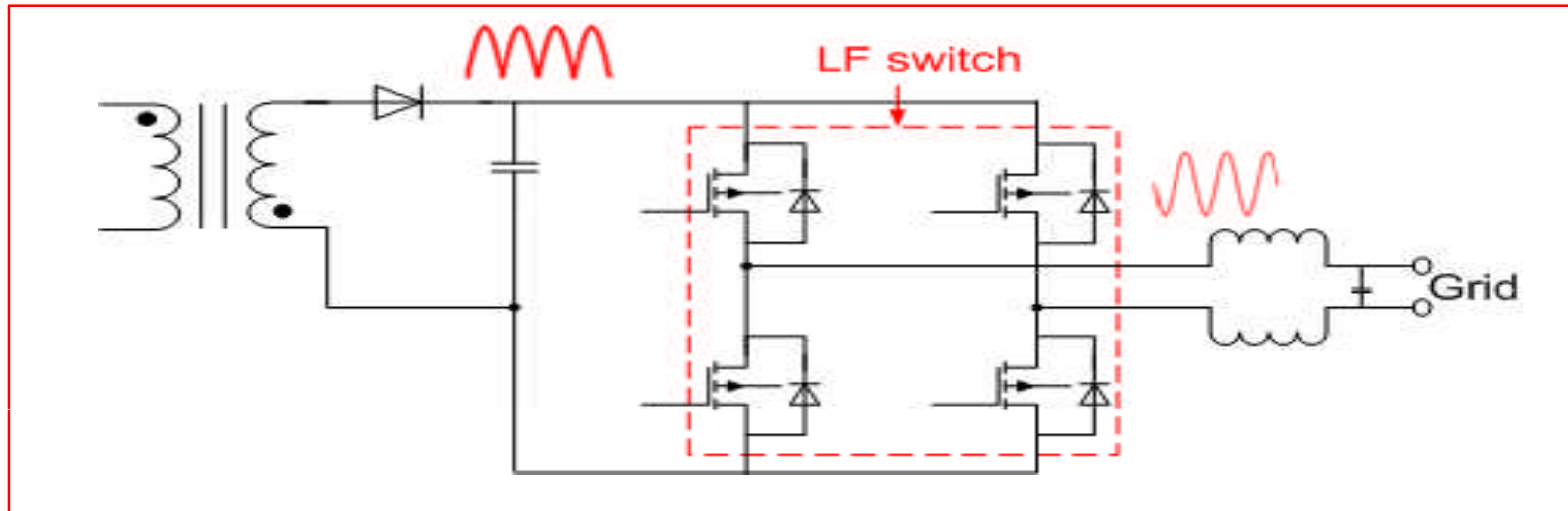
- 逆变器工作在高频开关状态
- 效率相对较低
- 逆变器输入端需要大的电解电容，保证BUS电压稳定，并高于输出电压的最大值
- + MPPT端没有100 Hz 的纹波
- + 输出侧不需要额外的保护电路
- + 可以处理一定的无功功率



# 几种常见太阳能微型逆变器方案的比较

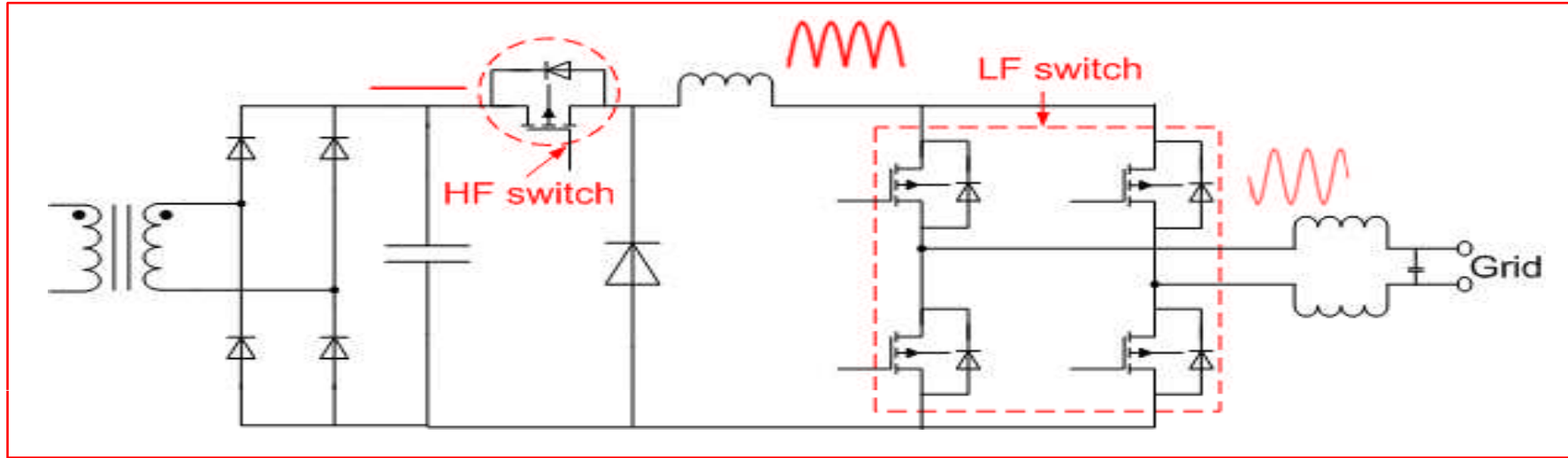


采用两级拓扑结构的电流源逆变器

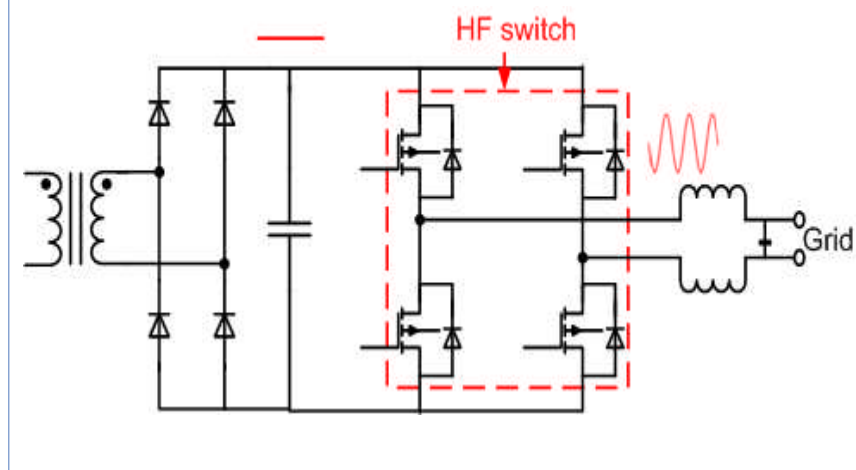


# 几种常见太阳能微型逆变器方案的比较

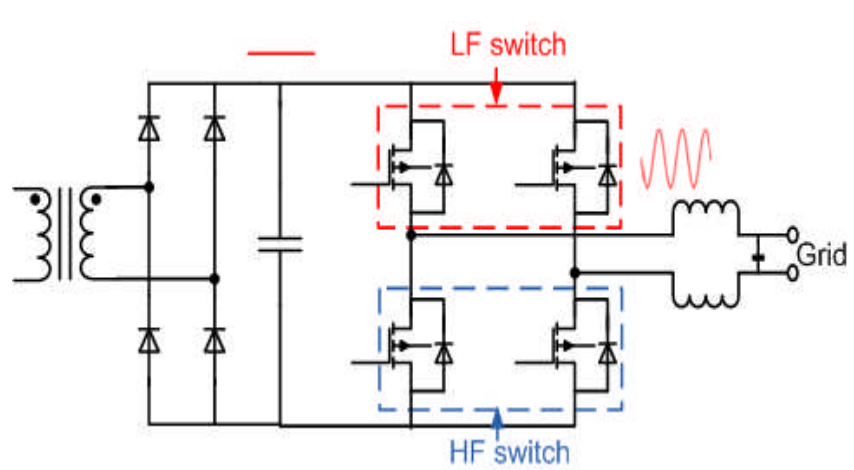
采用三级拓扑结构的电流源逆变器



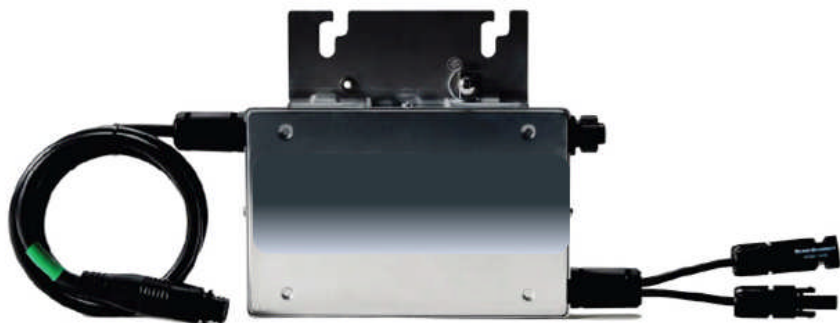
双极性电压源逆变器:



单极性电压源逆变器:



# 基于反激变换器的太阳能微型逆变器

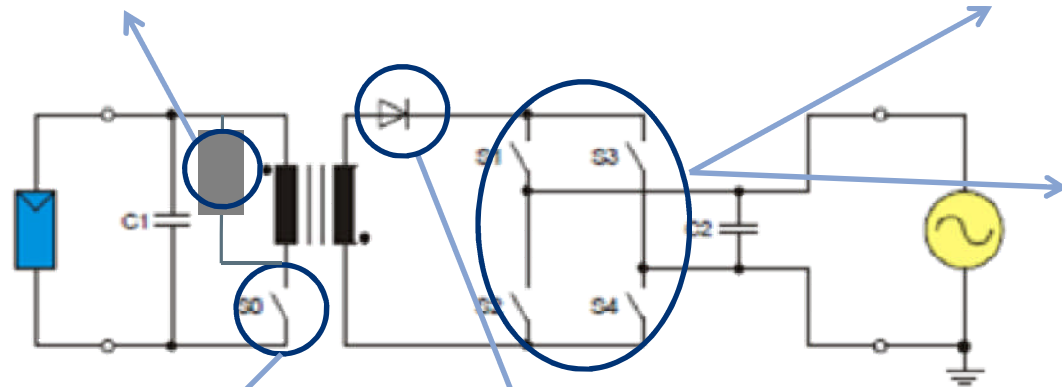


交错式反激变换器

有源嵌位电路

OptiMOS™

800V-900V CoolMOS™



电流源型逆变器

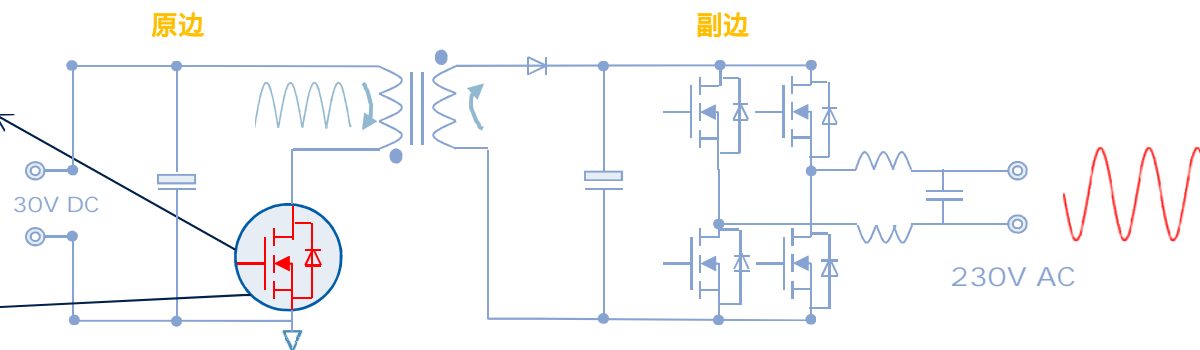
150V OPTIMOS™

1200V SiC diode thinQ!™

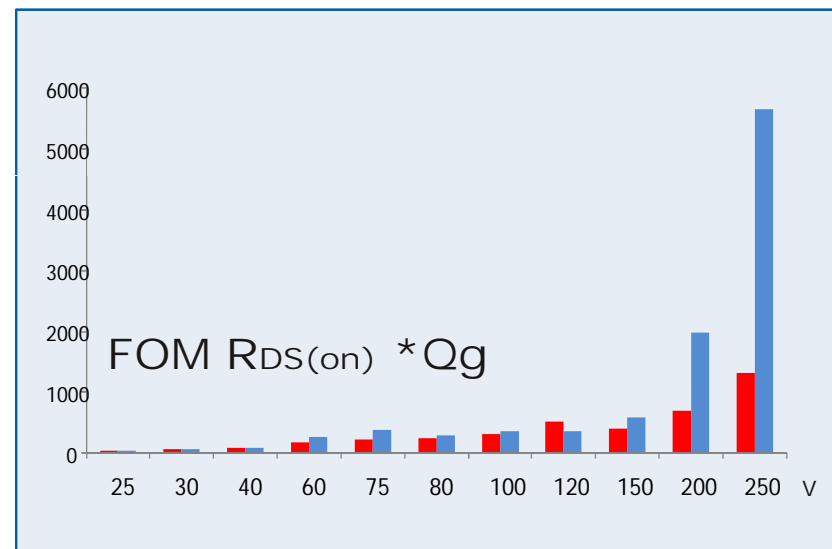
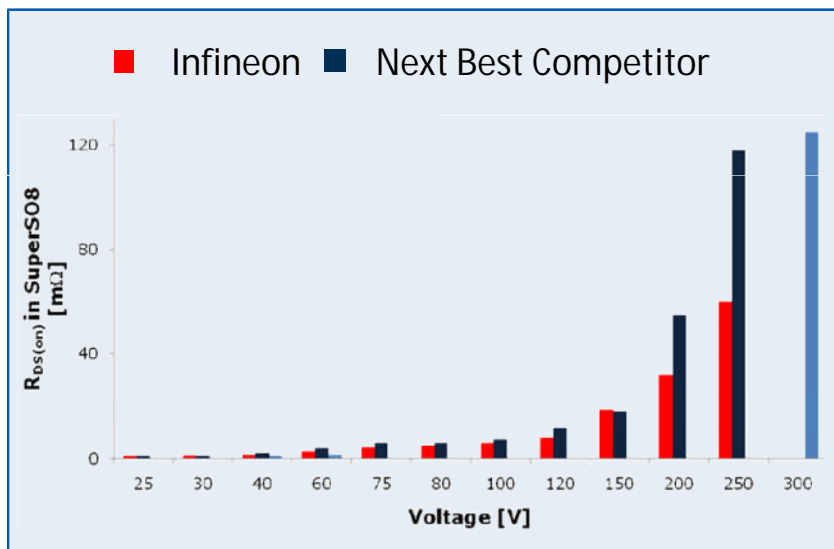
# OptiMOS™的特点和优势

## 门极驱动损耗\*

\*对于200W微型逆变器来说, 1W的损耗会相应降低0.5%的效率  
Target eff. are in the range of 95% CEC



高频开关产生大的开关损耗



■ 低压MOSFET: 通常电压等级为150V

□ 最低的 FOM R<sub>DS(on)</sub> x Q<sub>g</sub> → 极低的驱动损耗

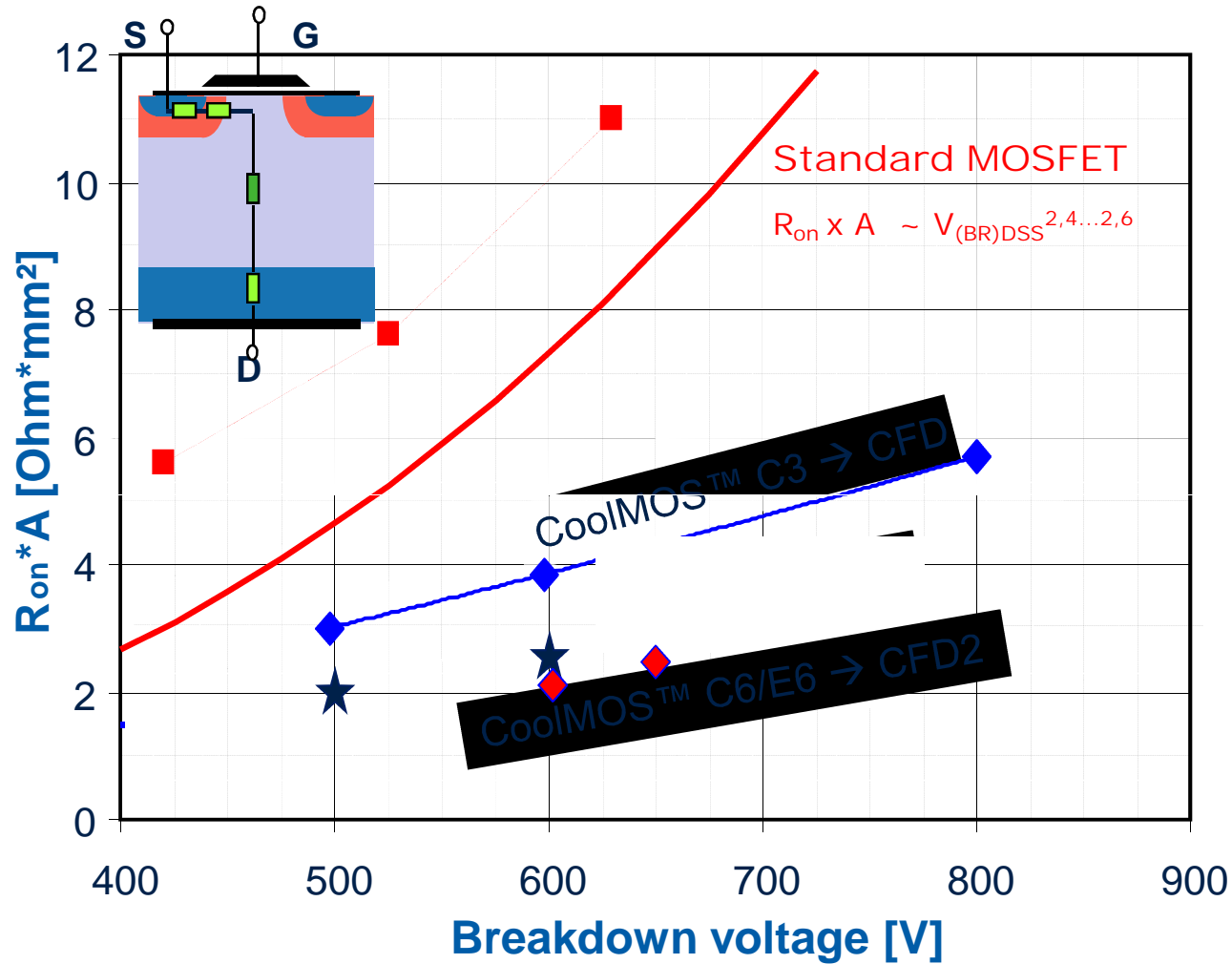
□ 最低的 R<sub>DS(on)</sub> 和输出电容C<sub>oss</sub> → 极低的开关损耗

# CoolMOS™ 产品系列

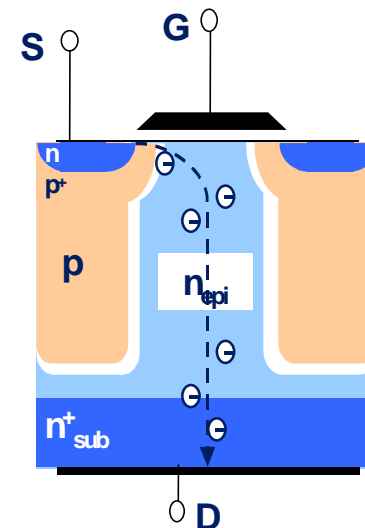
The image displays two Infineon MOSFETs against a blue background. On the left is a TO-220 package (IPW60R099CS) with a resistance of 0.099 Ω. On the right is a TO-247 package (IPW60R045CS) with a resistance of 0.045 Ω. The TO-247 package is labeled with 'Infineon TO-247 IPW60R045CS'.

Voltage	Options
500V	<input type="checkbox"/> C3 <input type="checkbox"/> CP
600V	<input type="checkbox"/> C3 <input type="checkbox"/> CP <input type="checkbox"/> C6/E6 <input type="checkbox"/> CFD
650V	<input type="checkbox"/> C3 <input type="checkbox"/> C6/E6 <input type="checkbox"/> CFD2
800V	<input type="checkbox"/> C3
900V	<input type="checkbox"/> C3

# CoolMOS™ 的特点和优势



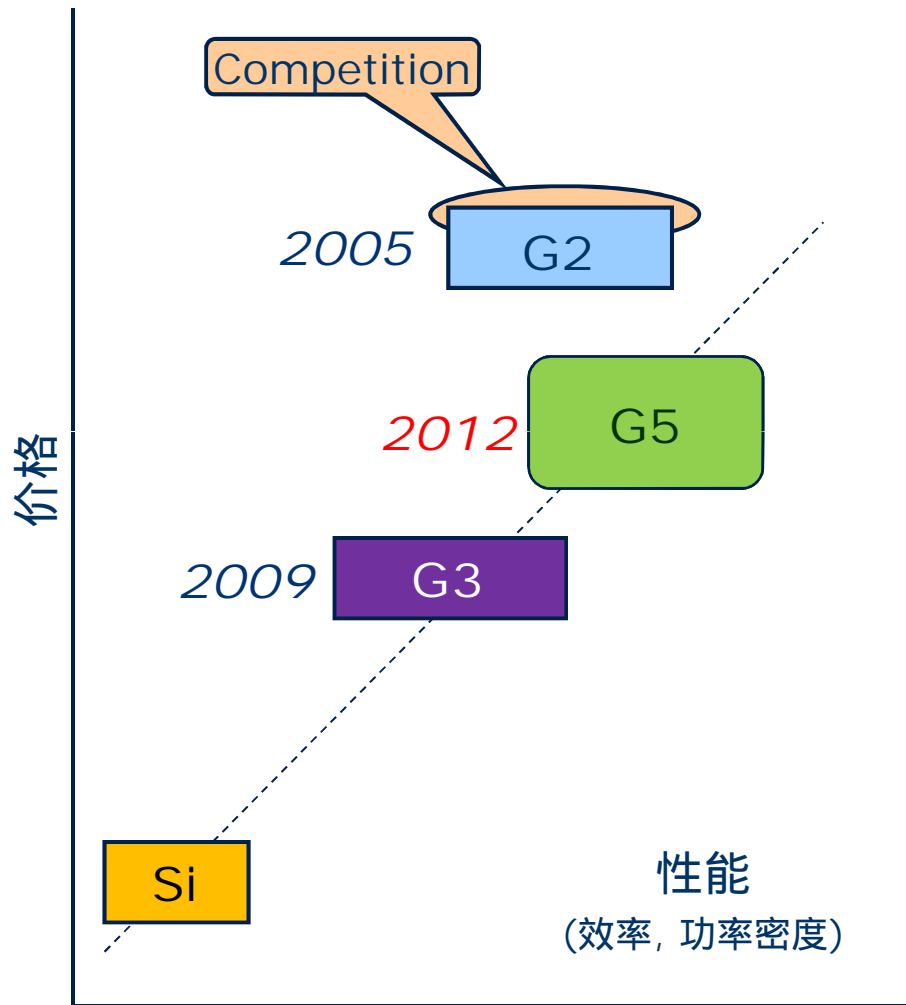
- Best conventional competitor
- Si-Limit
- ◆ CoolMOS™ C3
- ★ CoolMOS™ CP
- CoolMOS™ C6/E6



CoolMOS™ series breaks **MORE** the silicon limit!



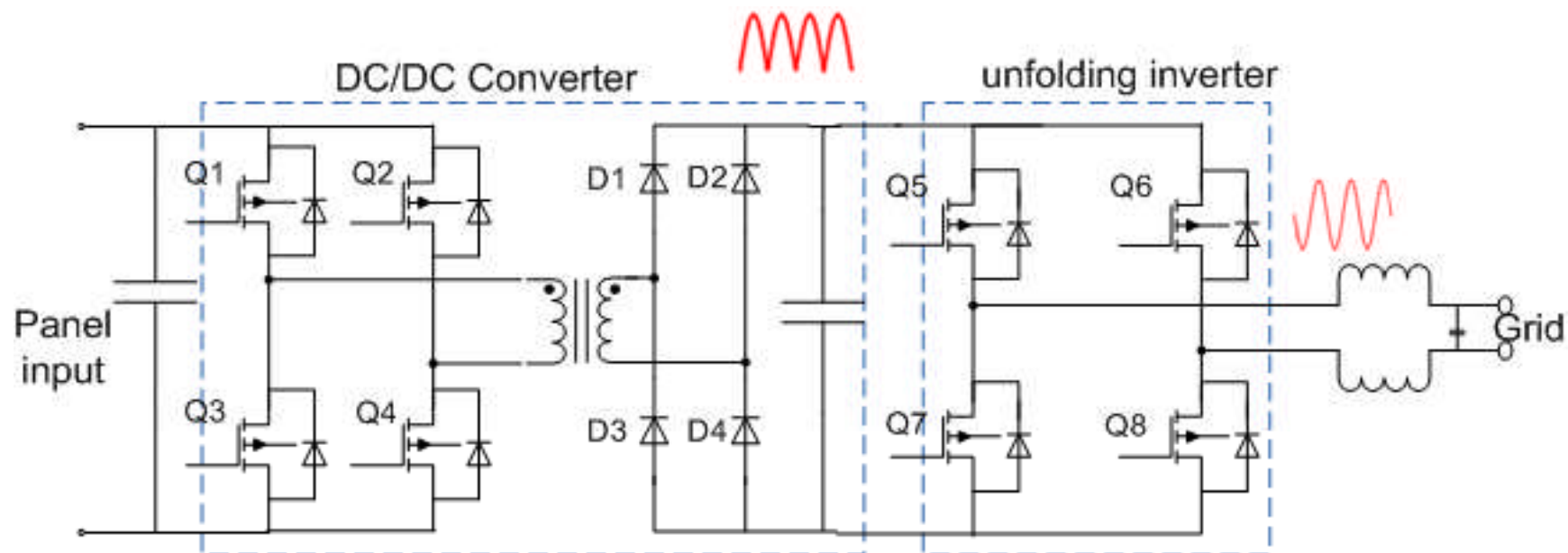
# SiC二极管产品系列



## G5 650V 主要特性:

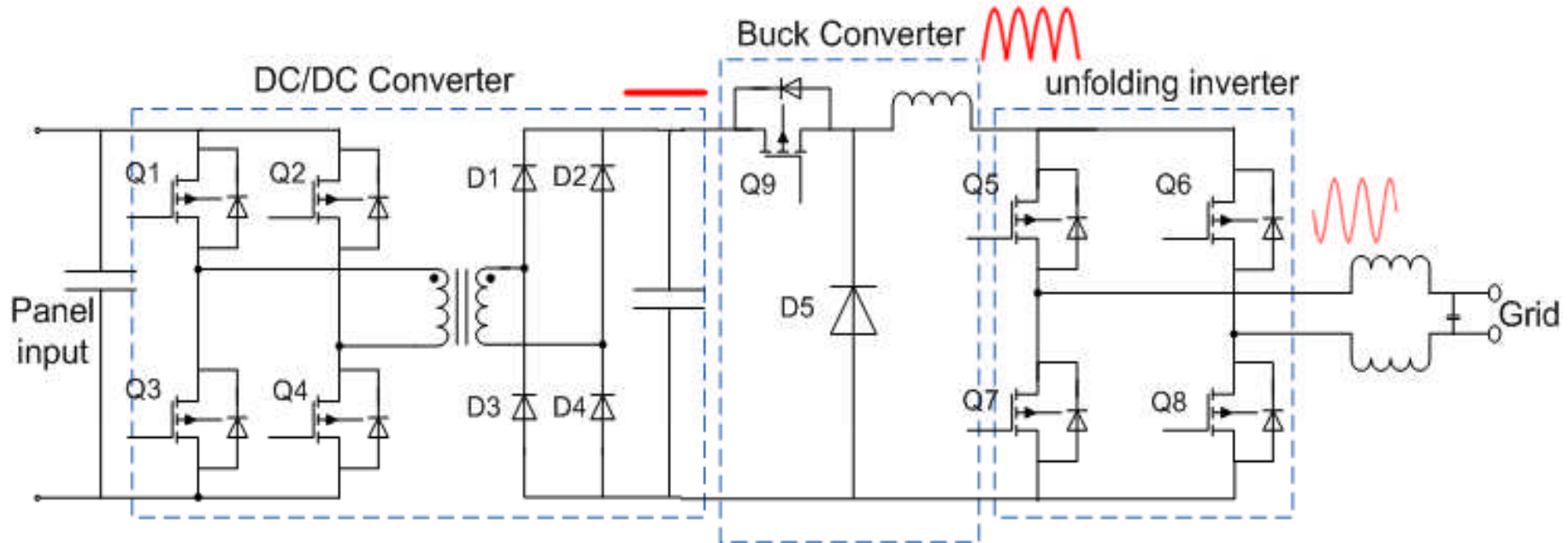
- $V_{br}=650V$  (G2, G3 : 600V)
- 最大 $I_F$  : 40A
- $V_f = 1.5V$   
→ 导通损耗  $\leq$  G2 &  $<$  G3
- $Q_c = G3 < G5 < G2$   
→ 相比于G2, 可以获得更好的轻载效率  
→ 轻载效率接近G3系列产品

# 基于两级式电流源型太阳能微型逆变器



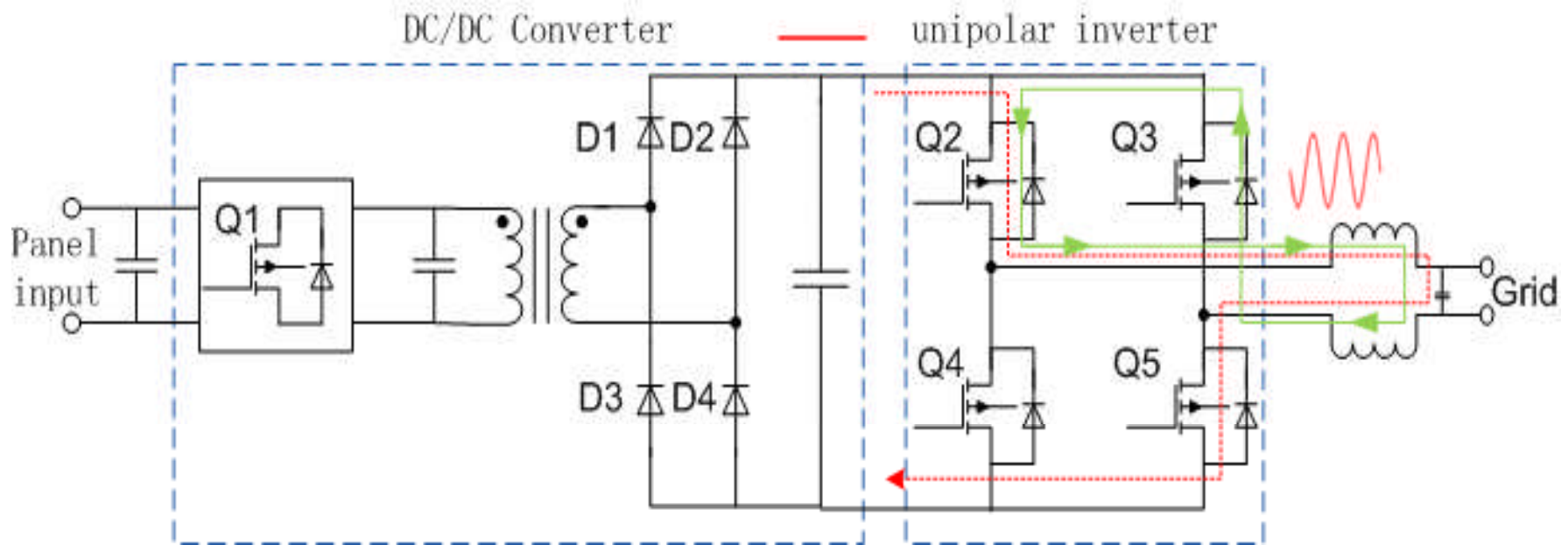
Devices	Function	Recommended IFX part
Q1,Q2,Q3,Q4	原边MOSFET	OptiMOS 75V-100V
D1,D2,D3,D4	整流二极管	SiC SBD 600V (IDD04SG60C) or G5 650V SiC Diode
Q5,Q6	逆变用开关管	SCR
Q7,Q8	逆变用开关管	CoolMOS C3 800V (SPB17N80C3)

# 基于三级式电流源型太阳能微型逆变器



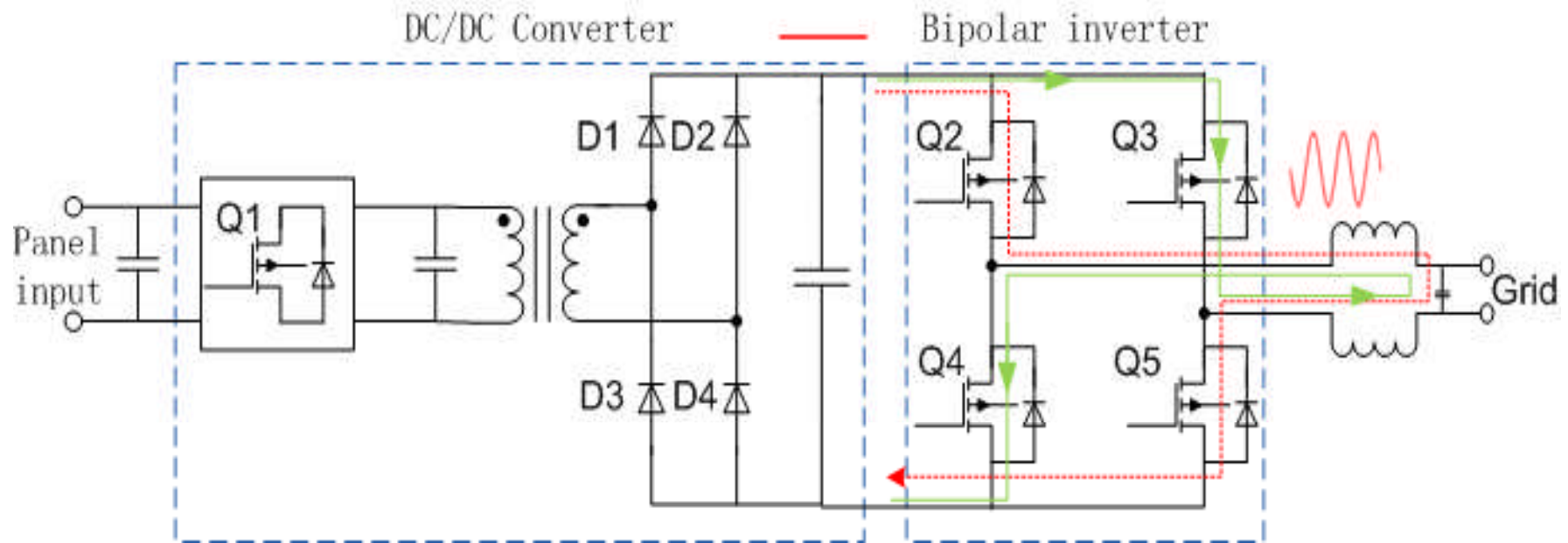
Devices	Function	Recommended IFX part
Q1,Q2,Q3,Q4	原边MOSFET	OptiMOS 75V -100V
D1,D2,D3,D4	整流二极管	SiC SBD 600V (IDD04SG60C) or G5 650V SiC Diode
Q5,Q6	逆变用开关管	SCR
Q7,Q8	逆变用开关管	CoolMOS C3 800V (SPB17N80C3)
Q9	Buck MOSFET	CoolMOS C6 600V
D5	Buck 二极管	SiC SBD 600V (IDD04SG60C) or G5 650V SiC Diode

# 基于单极性控制电压源型太阳能微型逆变器



Devices	Function	Recommended IFX part
Q1	原边MOSFET	OptiMOS 75V -150V
Q2,Q3	逆变用MOSFET	CoolMOS CFD 650V
Q4,Q5	逆变用MOSFET	CoolMOS C6/E6 600V/650V
D1,D2,D3,D4	整流二极管	SiC SBD 600V or G5 650V SiC Diode

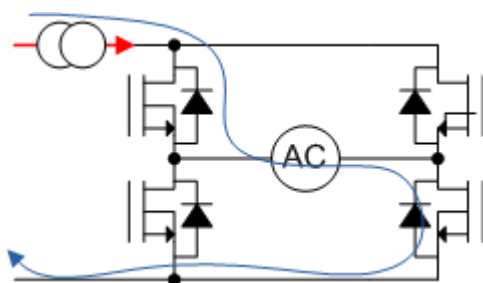
# 基于双极性控制电压源型太阳能微型逆变器



Devices	Function	Recommended IFX part
Q1	原边MOSFET	OptiMOS 75V -150V
Q2,Q3,Q4,Q5	逆变用MOSFET	CoolMOS CFD 650V
D1,D2,D3,D4	整流二极管	SiC SBD 600V or G5 650V SiC Diode

# 关于逆变侧功率器件的建议

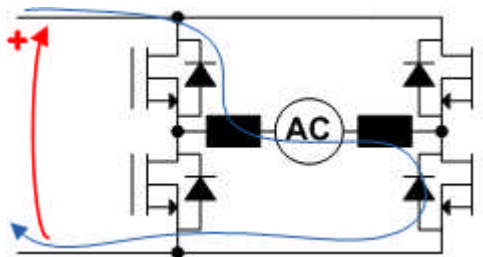
- 截止目前还没有相关规定要求太阳能微型逆变器具有处理无功功率的能力(VDE4105)
  - 通常使用 4颗MOSFET组成一个全桥逆变器



800V/900V  
CoolMOS™  
C3

## □ 对于电流源型逆变器:

- 由于输出侧没有LC滤波器，逆变器的输出直接和电网连接，从而容易受到电网中尖峰电压的干扰(比如附近发生雷击等异常现象时)；由于电压尖峰可能达到6kV，所以需要额外的保护电路
- MOSFET的电压应力可能超过650V，为保证器件发生雪崩风险，推荐使用800V/900V C3系列的产品



650V  
CoolMOS™  
C6/E6  
*CFD may be required*

## □ 对于电压源型逆变器

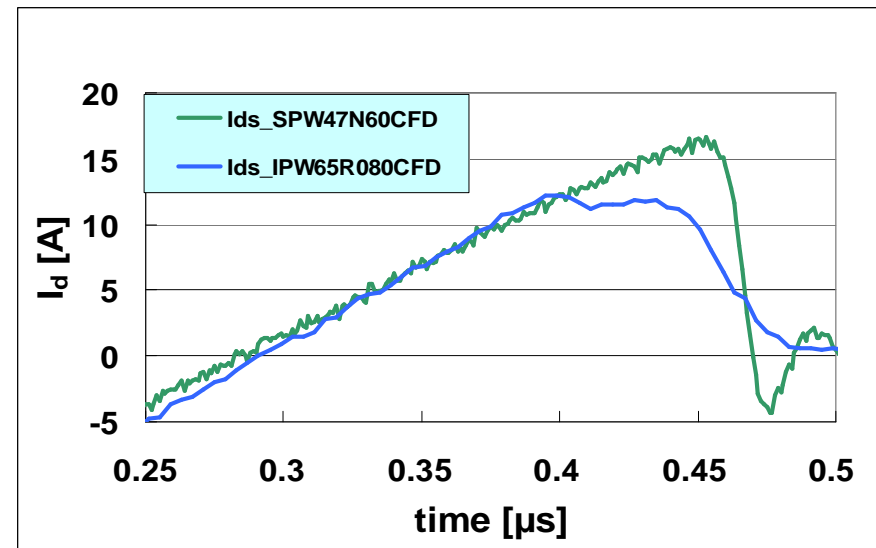
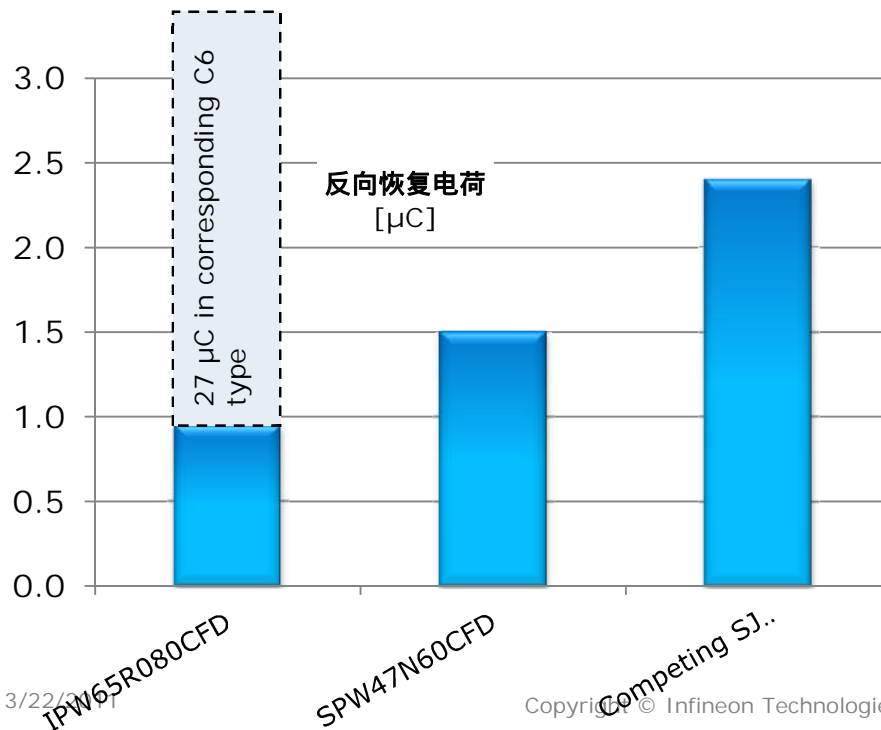
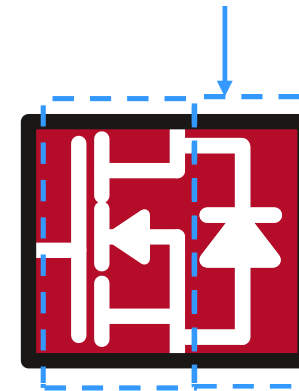
- 输出侧需要LC滤波器，进而可以保护逆变端的功率器件
- 如果采用单极性控制，推荐使用CFD系列的产品作为低频开关管，高频开关管推荐使用C6/E6
- 如果采用双极性控制，推荐使用CFD系列的产品
- 如果需要处理无功功率的能力，推荐使用CFD系列的产品

# CFD/CFD2的比较

■ CFD系列产品的电压等级是600V， CFD2则是650V

- 适应更高输入电压的应用，更大的设计裕量
- 更好的性价比
- 更好的轻载效率
- 更好的EMI性能

带快恢复体内二极管的CoolMOS™ 系列产品



太阳能微型逆变器的特点和优势

MPPT 常用解决方案

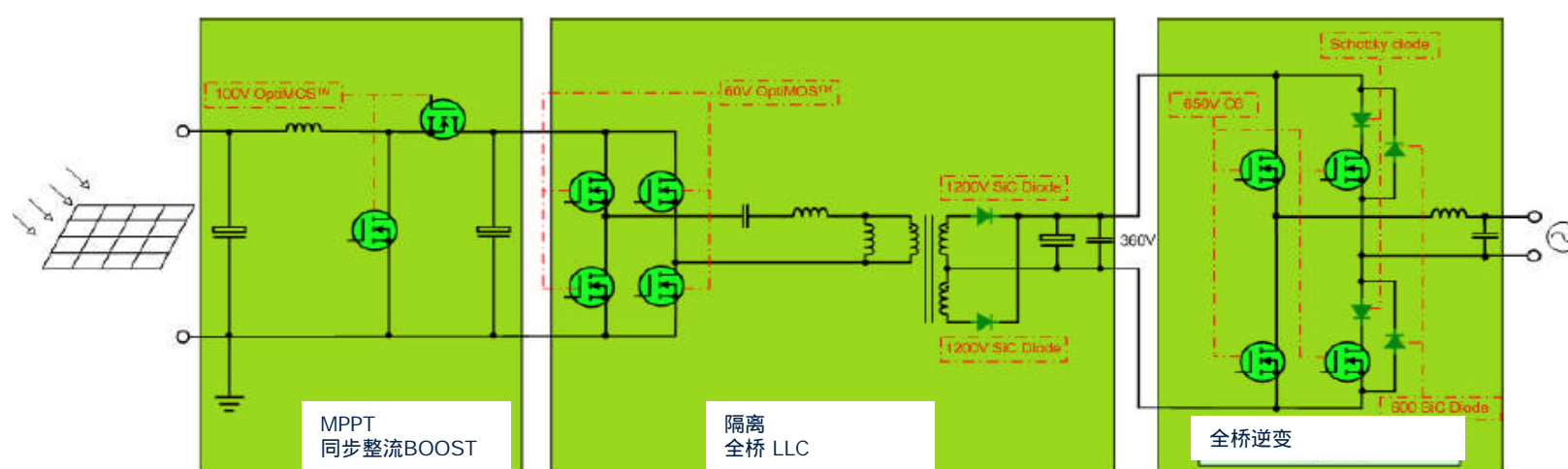
英飞凌功率器件在微型逆变器中的应用

英飞凌200W微型逆变器解决方案

总结



# 英飞凌200W 微型逆变器解决方案(演示板)



## ■ 演示板中的功率器件

### □ MPPT 同步整流升压电路:

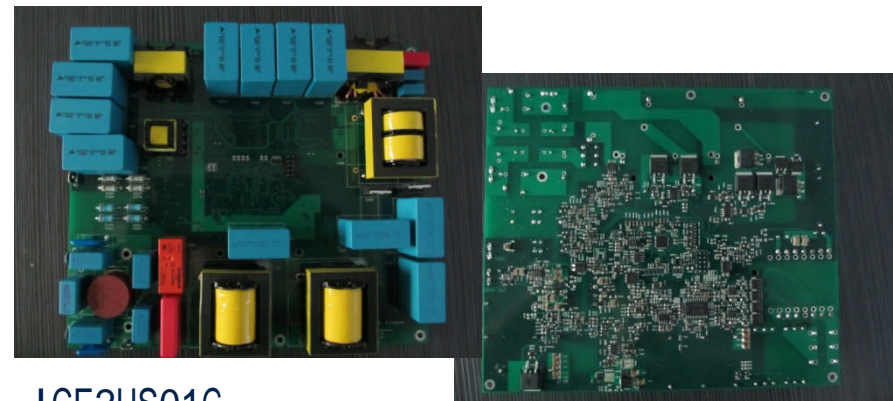
→ 2 pcs BSC070N10NS3

### □ 全桥LLC电路:

→ 4 pcs BSC028N06NS, 2 pcs IDH05S120, ICE2HS01G

### □ 逆变电路:

→ 4 pcs IPB65R099C6, 2 pcs IDD06SG60C, XE161FL



# 升压电路

- 基本规格：
  - 输入: 22Vdc-55Vdc
  - 输出: 45Vdc
- 拓扑: 同步整流Boost变换器
- 使用的元器件：
  - 控制器: ISL6840 from Intersil
  - 低压MOSFET: BSC070N10NS3
  - 驱动IC: LM5100A
- 目标峰值效率:  $\geq 99\%$

# 升压电路

## ■ 升压电感的设计：

□ Boost开关管工作频率：100KHz

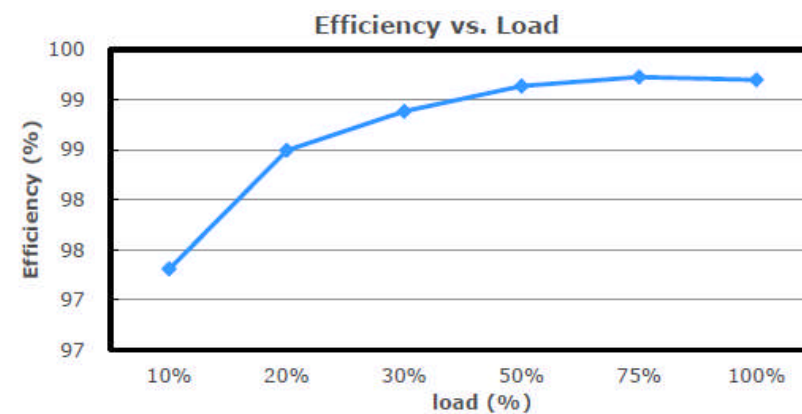
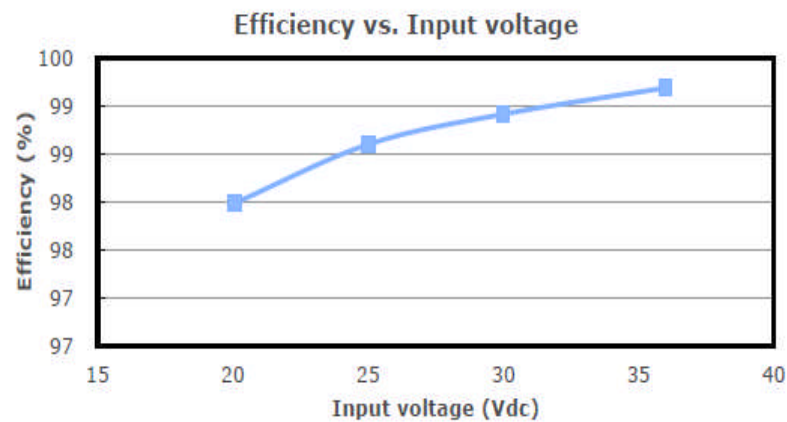
□ 电感量：22uH:

→ Core form and material: PQ2620, TP4A(TDG)

→ Bobbin form: vertical version

□ 采用2颗BSC070N10NS3，目前可以获得>99%的效率

□ 效率测试结果



## LLC电路

- 基本规格：
  - 输入: 45Vdc
  - 输出: 360Vdc
- 拓扑结构: 全桥LLC
- 使用的元器件：
  - 控制器: ICE2HS01G
  - 低压MOSFET: BSC028N06NS
  - 驱动IC: LM5100A
  - 铁氧体磁芯: 谐振电感 – PQ3220, LLC变压器 - EER35
- 目标效率:  $\geq 98\%$

# LLC电路

## ■ 谐振电路参数设计

### □ Lr:

→ 磁芯材料: PQ3220, TPW33 (TDG)

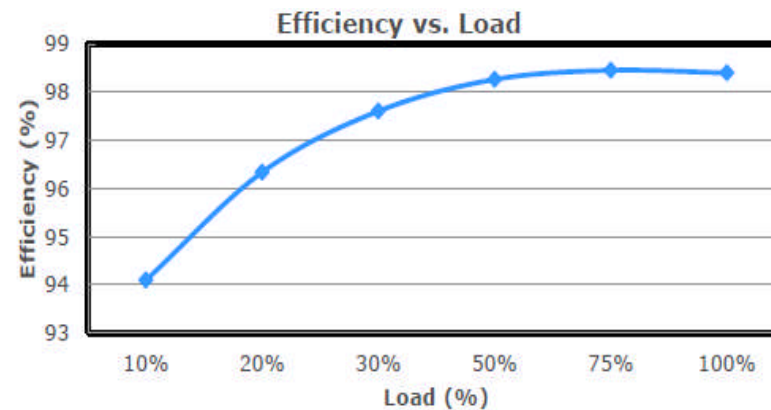
→ 电感量:  $L=5.54\mu\text{H}$

### □ Lp:

→ 磁芯材料: EER35, TPW33 (TDG)

→ 电感量:  $L_p=34.5\mu\text{H}$ ,  $L_{ikp}=6\mu\text{H}$

### □ 效率测试结果



# 逆变电路

## ■ 基本规格:

□ 输入: 360Vdc

□ 输出: 230Vac (180Vac-264Vac) / 50Hz (47Hz-53Hz)

□ 开关频率: 50KHZ

## ■ 拓扑结构: H-bridge

## ■ 使用的元器件:

□ 控制器: XE161FL

□ CoolMOS: IPB65R099C6

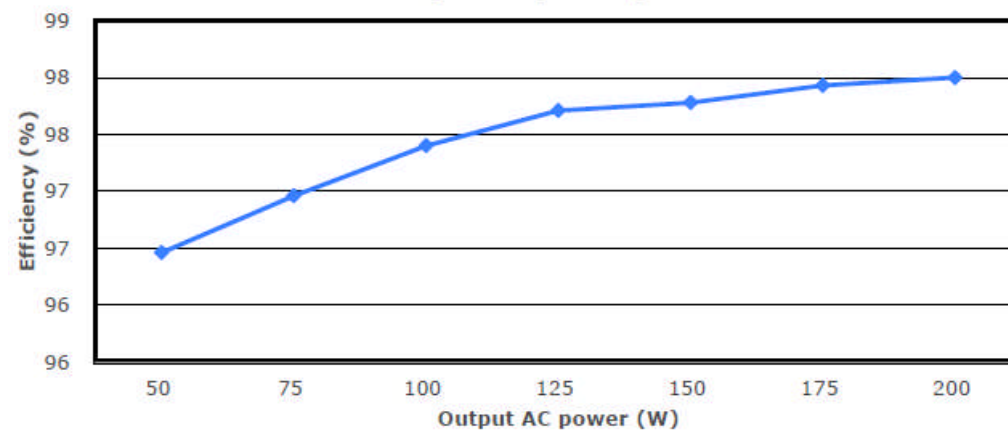
□ IGBT: IGB20N60H3

□ SiC Diode: IDD06SG60C

## ■ 目标效率: $\geq 98\%$

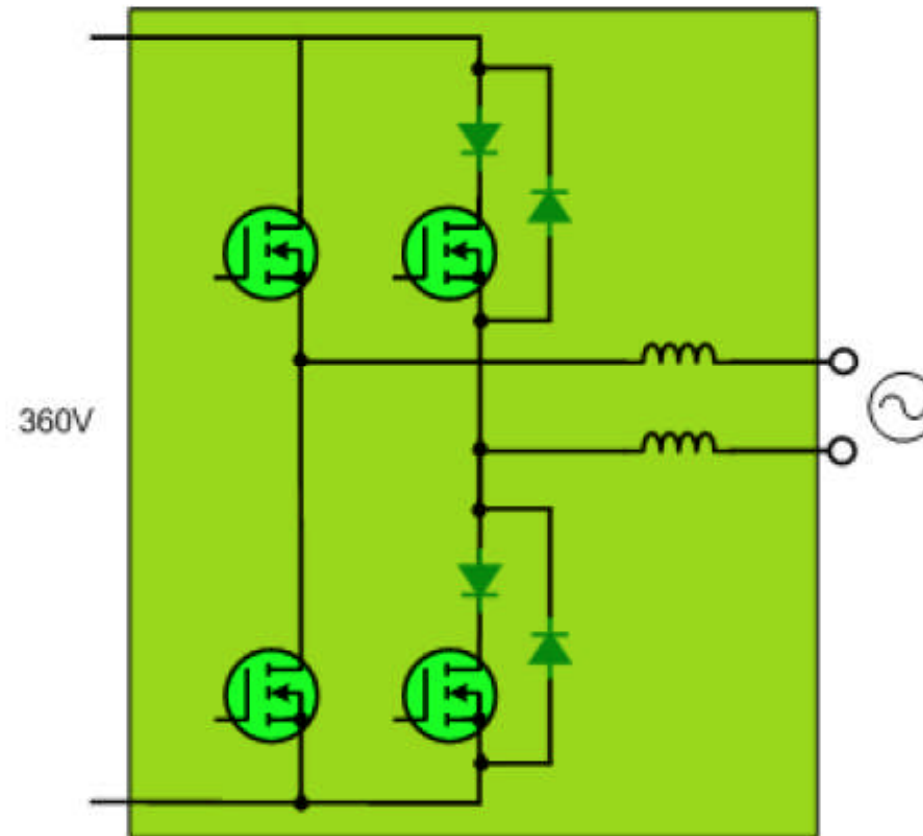
### 效率测试结果

Efficiency vs. Output AC power



# 逆变电路

## ■ 逆变电路拓扑结构：



- 具有处理无功功率的能力
- 最高可以工作在 100KHz的开关频率

- 简单介绍了太阳能微型逆变器的特点和优势
- 总结了目前常见的几种MPPT(最大功率点追踪)电路
- 对不同的太阳能微型逆变器解决方案进行了分析和比较，并且介绍了如何使用英飞凌的各种产品设计出高性能的微型逆变器，包括LLC控制IC，CoolMOS，OptiMOS，SiC Diode等
- 英飞凌将推出采用由英飞凌高性能的功率器件，PWM 控制IC以及MCU 组成的200W 太阳能微型逆变器解决方案，该方案具有处理无功功率的能力





# ENERGY EFFICIENCY MOBILITY SECURITY

Innovative semiconductor solutions for energy efficiency, mobility and security.

