



适用于新能源应用的易于扩展的 IGBT 的并联方案

2021年11月

功率变换领域的全球领军者

- 高效节能先锋
- 出色的质量和大批量交付能力
- 提供全方位的设计支持工具
- 一家财务状况良好的上市公司



涵盖发电、输电和用电领域的IC产品



AC-DC
CONVERSION



高效AC-DC电
源用IC产品的技
术领军者



LED
DRIVERS



助推LED照明革
新的高效率驱动
器IC



GATE
DRIVERS



对安全要求极
其严格的关键
系统中使用的
高可靠性IGBT
驱动器



MOTOR
DRIVERS



高效率、高可靠
性、高集成度的
电机驱动器



AUTOMOTIVE
SOLUTIONS



支持400V和
800V应用的汽车
级门极驱动器和功
率解决方案

IGBT直接并联应用的关键问题

为什么要IGBT直接并联?

- 单体功率变换器模块功率密度不断提升，对功率器件的电流能力提出更高要求
- 相比于大电流能力的单个IGBT，小电流能力的IGBT模块更具优势
 - ▶ 易于购买 → 供应链相对充足
 - ▶ 成本低 → 有利于降低成本
 - ▶ 更高的开关频率 → 可以使用更小的滤波器



小



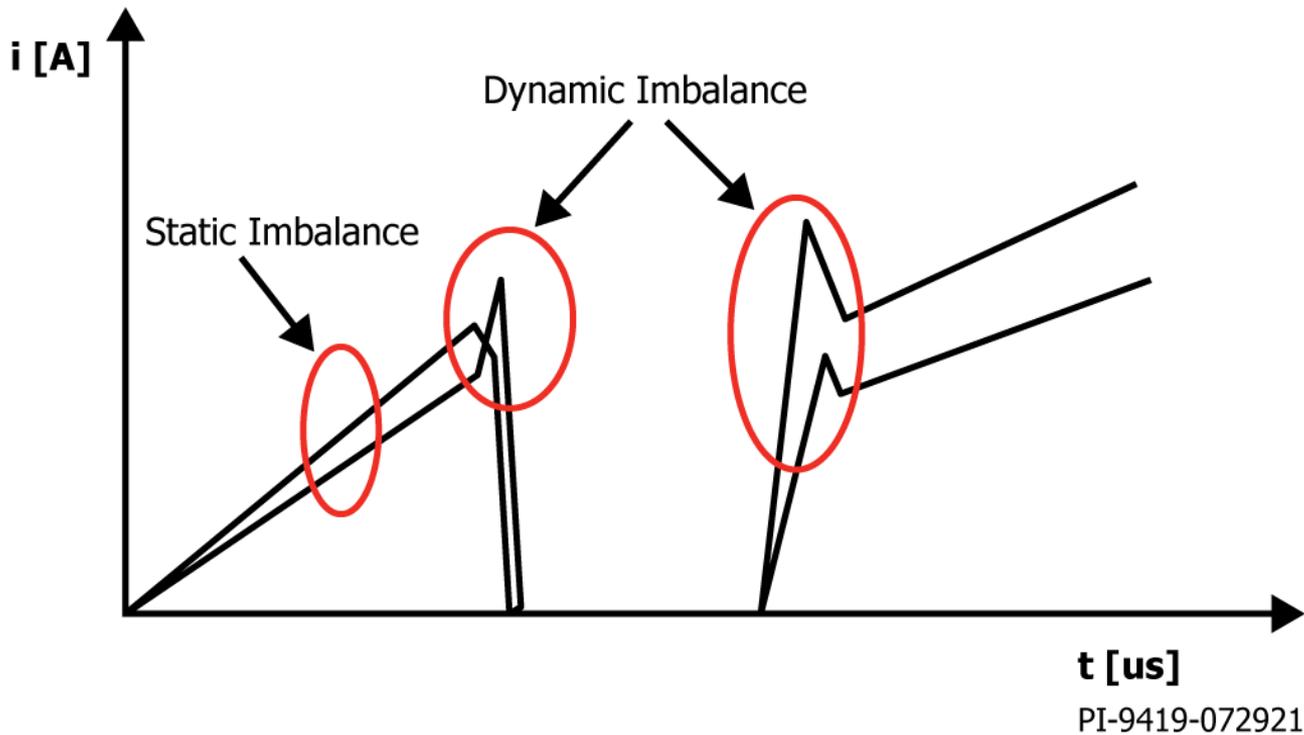
大

IGBT直接并联应用中的关键问题

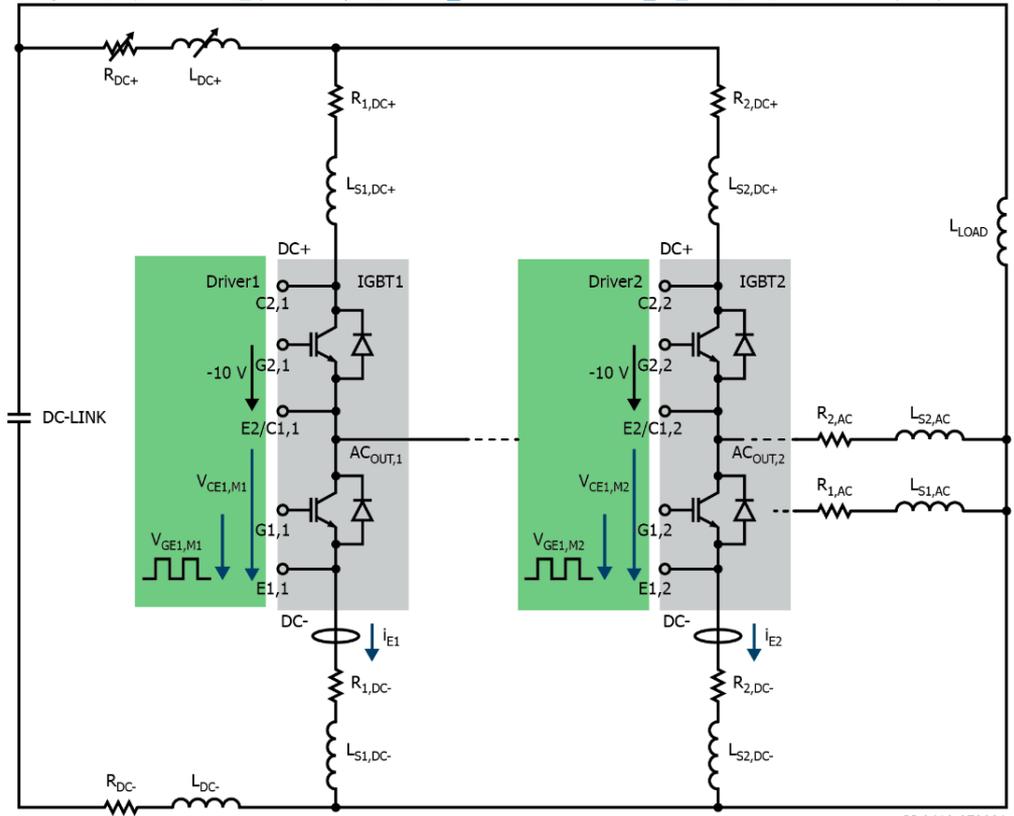
■ IGBT直接并联应用对门极驱动的挑战

- ▶ 并联功率器件的均流问题
 - 静态均流
 - 动态均流
 - 母排结构，驱动器设计方案，功率器件差异等都会影响并联均流特性
- ▶ 并联门极回路件的共模干扰问题
 - 由于门极回路寄生参数不可能一直，门极共模干扰不可避免
 - 母排结构，驱动器设计方案，功率器件差异等都会影响门极共模干扰特性

并联功率模块的不均流特性



两个IGBT直接并联功率回路的等效电路图



PI-9418-072821



影响静态均流特性的因素

■ 直流母排的寄生参数

- ▶ 寄生电阻
- ▶ 寄生电感

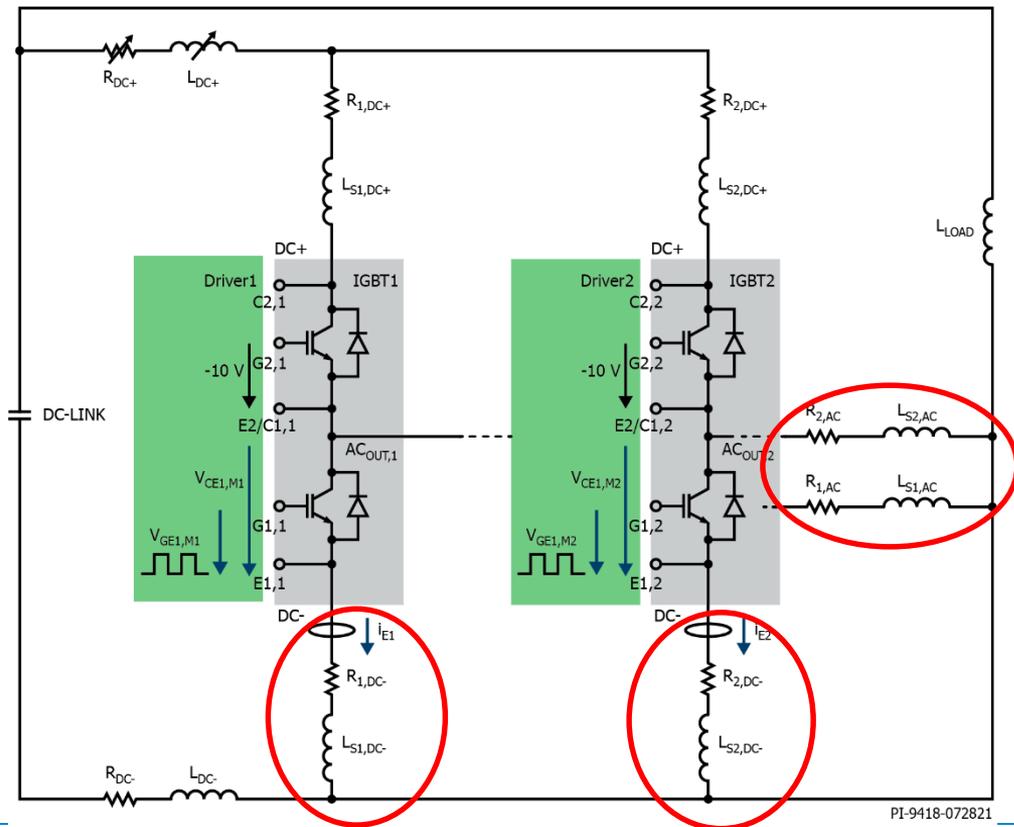
■ 交流AC排的寄生参数

- ▶ 寄生电阻
- ▶ 寄生电感

$$Z_{IGBT1,LOW} = R_{1,DC-} + R_{1,AC} + L_{s1,DC-} + L_{s1,AC}$$

$$Z_{IGBT2,LOW} = R_{2,DC-} + R_{2,AC} + L_{s2,DC-} + L_{s2,AC}$$

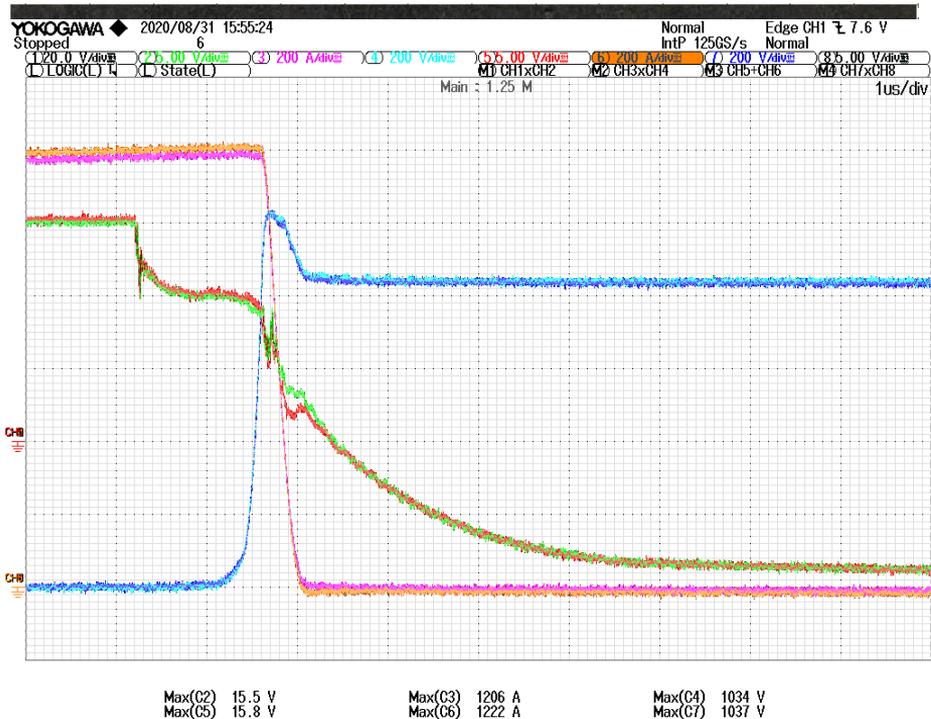
If $Z_{IGBT1,LOW} = Z_{IGBT2,LOW}$, balance



PI-9418-072821



互感对静态均流的影响



- 不同的IGBT电流路径
- 电流回路上的互感不同
- 电流回路等效电感可以通过互感来调节
- 以上仅调节等效电感即可实现均流，寄生电阻没有发生变化

开通时刻均流特性分析

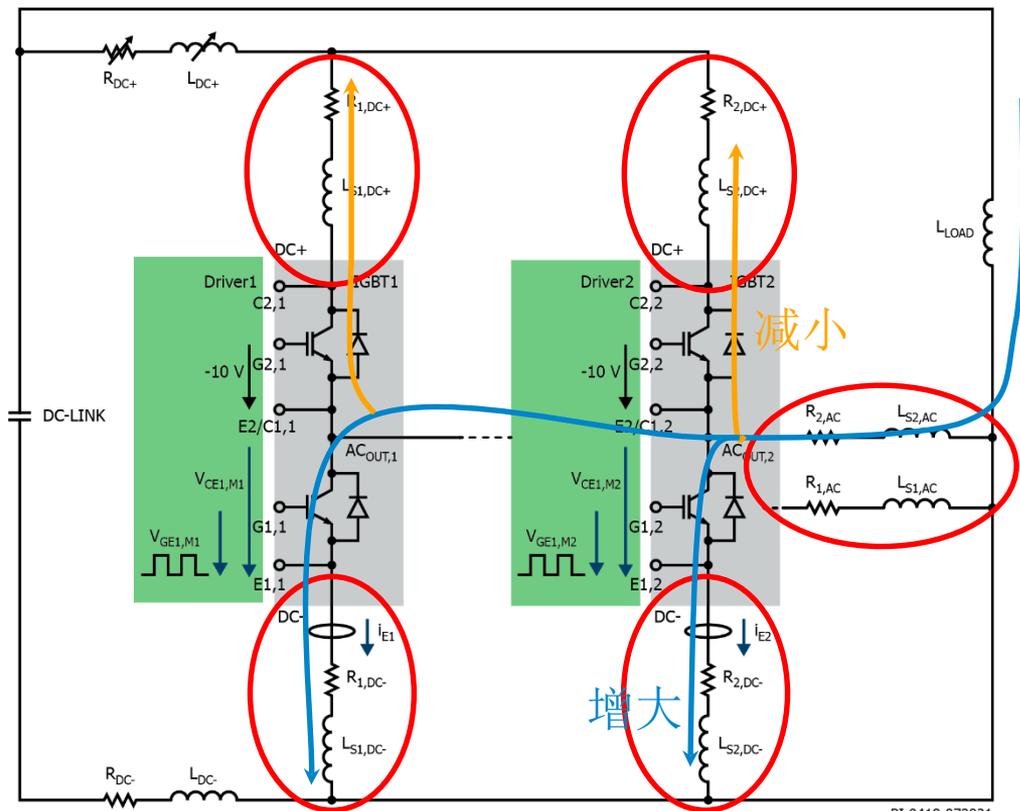
■ 直流母排寄生参数影响

- ▶ 寄生电阻
- ▶ 寄生电感

■ 交流AC排寄生参数影响

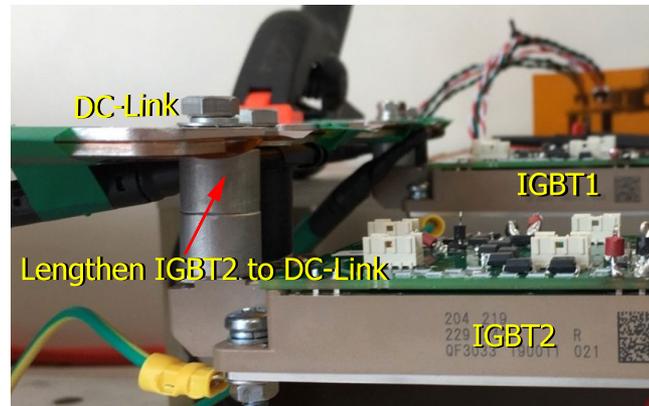
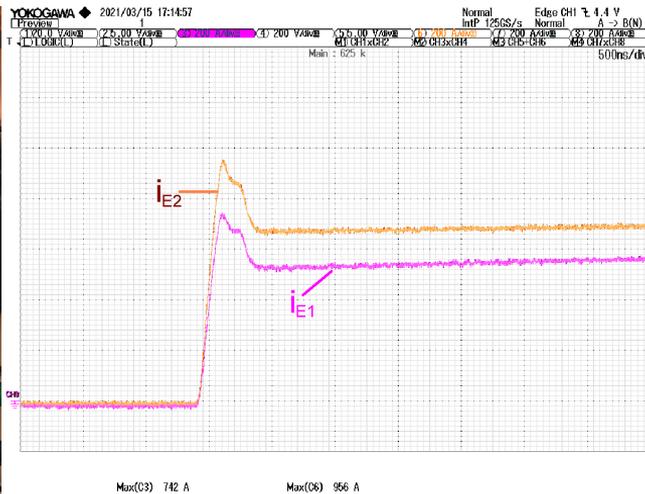
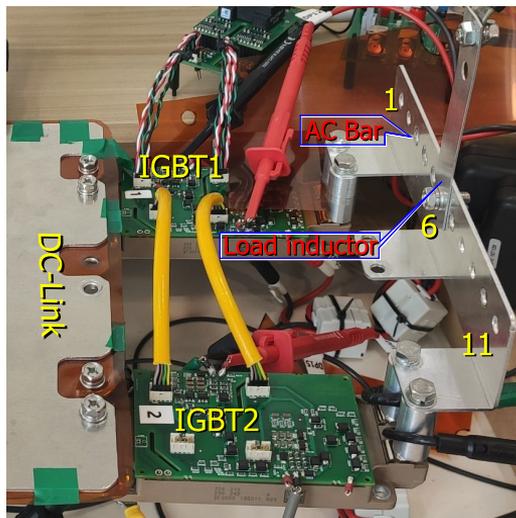
- ▶ 寄生电阻
- ▶ 寄生电感

■ 开通时刻 di/dt 很大，寄生电感是影响动态均流的主要因素



PI-9418-072821

开通时刻动态均流调试



关断时刻动态均流特性分析

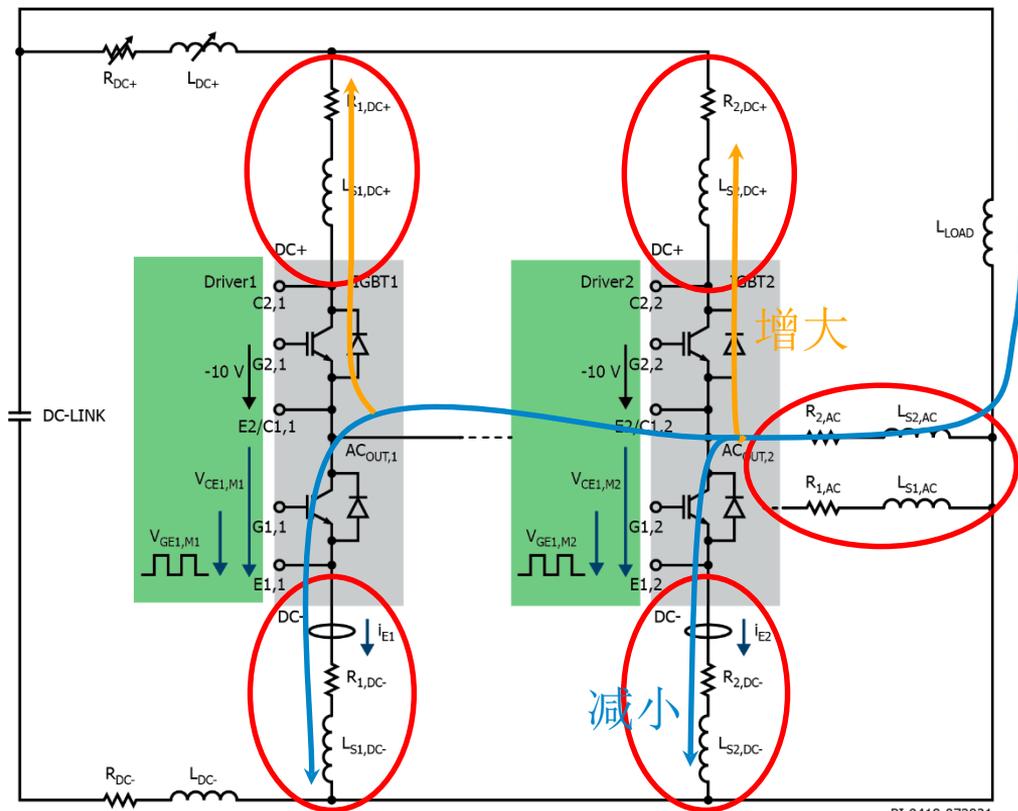
■ 直流母排寄生参数影响

- ▶ 寄生电阻
- ▶ 寄生电感

■ 交流AC排寄生参数影响

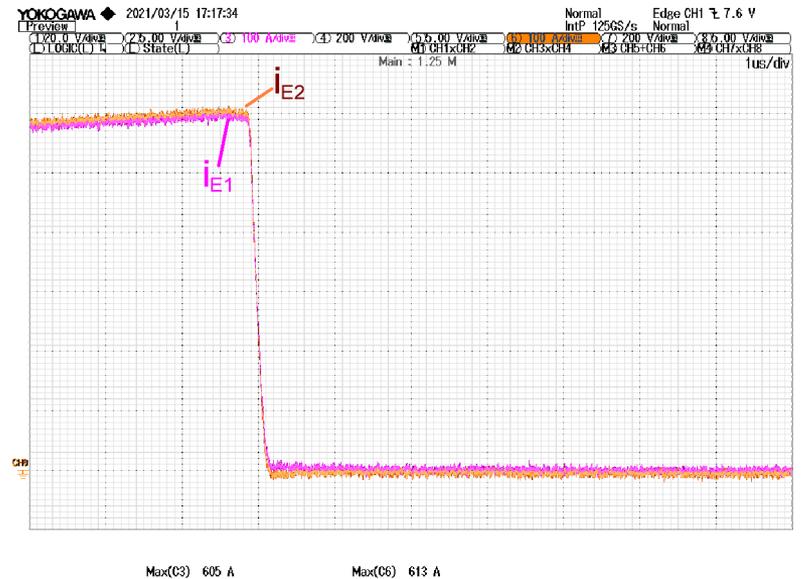
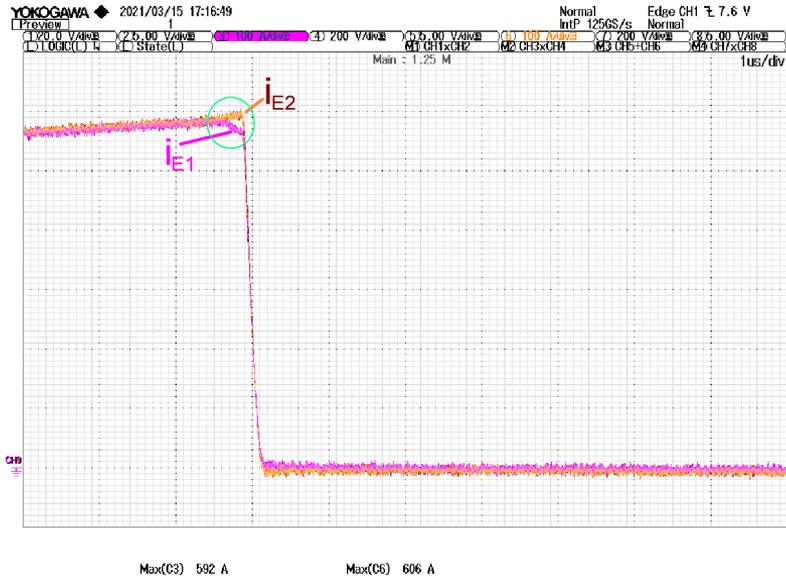
- ▶ 寄生电阻
- ▶ 寄生电感

■ 关断时刻 di/dt 很大，寄生电感是影响动态均流的主要因素

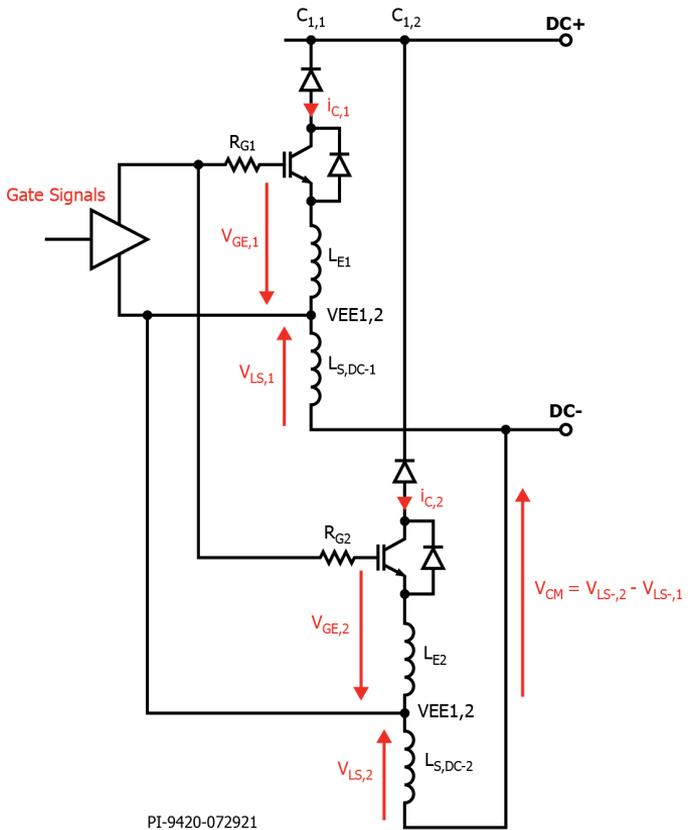


PI-9418-072821

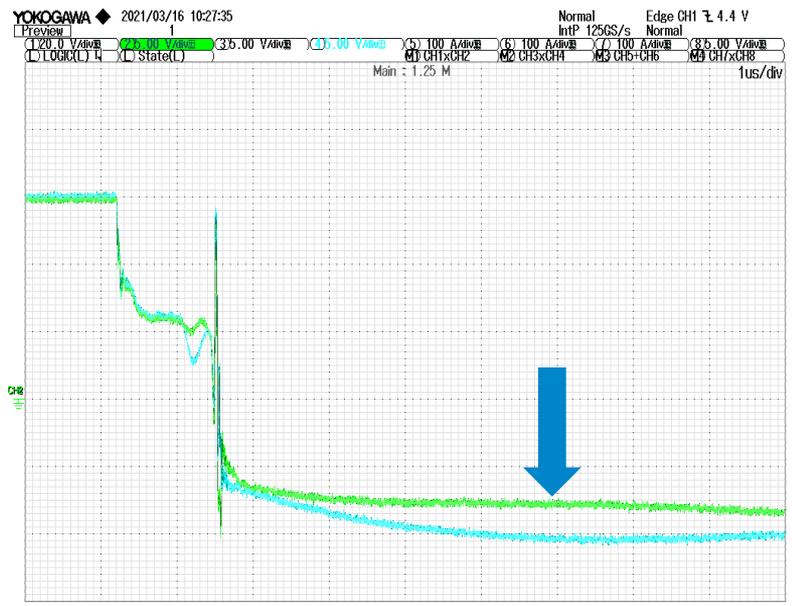
关断动态均流调试



门极回路寄生参数对门极电压的影响

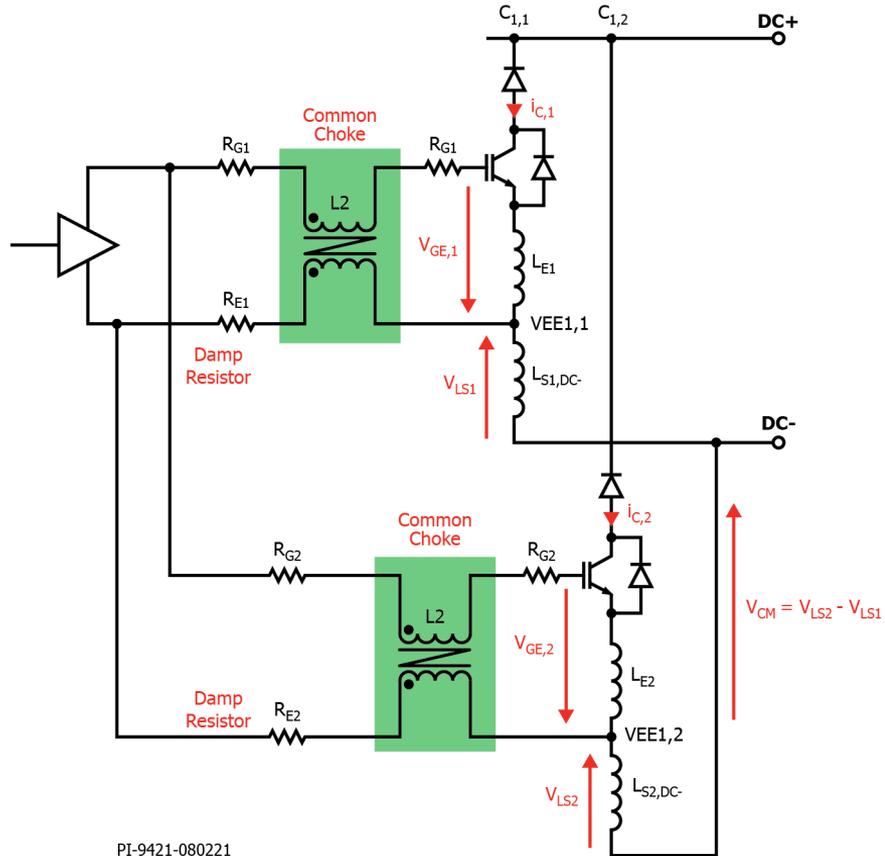


$$v_{CM} = L_{S2,DC-} \times \frac{di_{C,2}}{dt} - L_{S1,DC-} \times \frac{di_{C,1}}{dt}$$



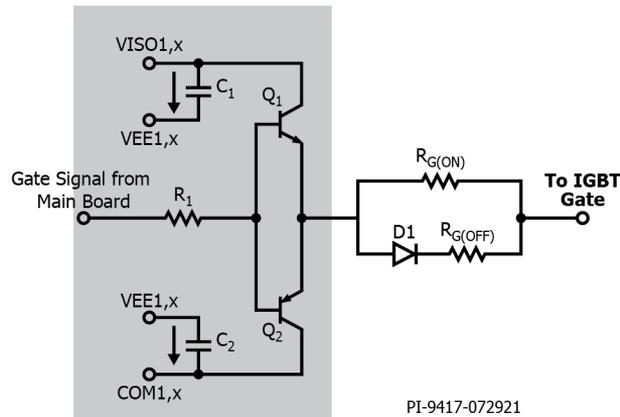
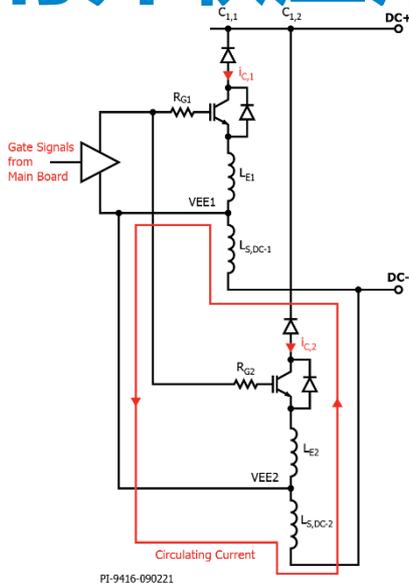
门极共模干扰抑制器件

- **仅使用阻尼电阻**
 - ▶ 易于实现
 - ▶ 电阻过大门极电压会被降低
- **共模电感器**
 - ▶ 比阻尼电阻更好的抑制效果
 - ▶ 带来额外的开关延时
 - ▶ 感量选取不当可能引起震荡



PI-9421-080221

常见的并联应用中门极驱动电路的实现



■ 直接驱动式

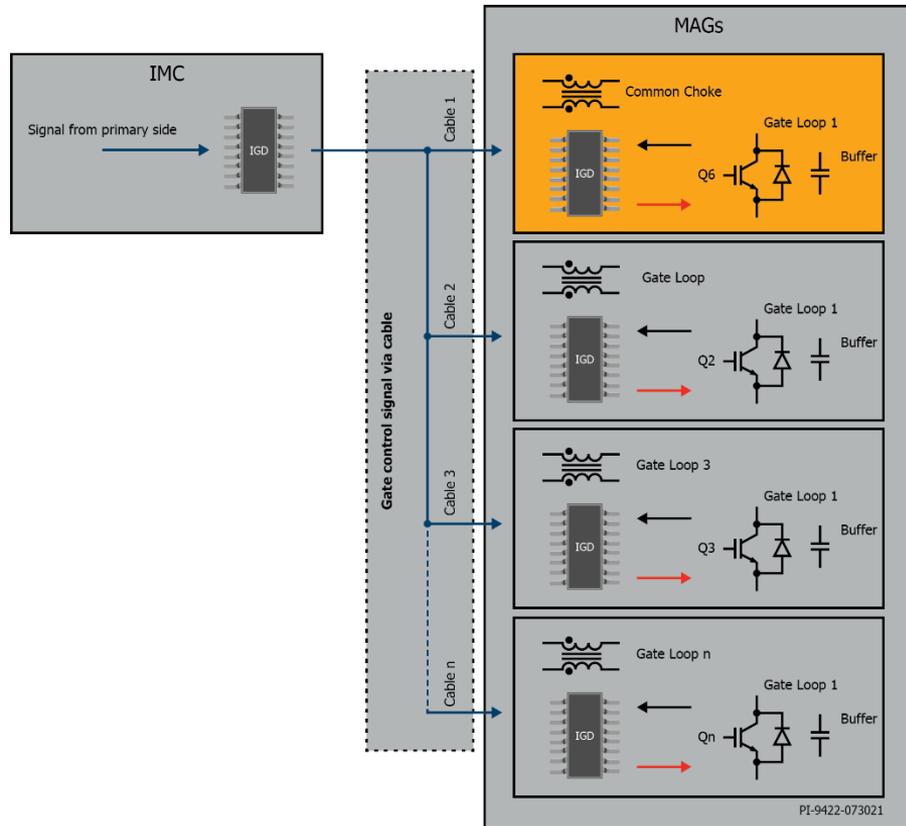
- ▶ 电路简单，易于实现
- ▶ 并联门极回路中存在共模干扰

■ 增加三极管推挽电路

- ▶ 并联门极回路得到解耦
- ▶ 驱动电路元器件数量增加
- ▶ 三极管引入了更大的开关延时

SCALE-iFlex-LT 并联门极驱动方案介绍

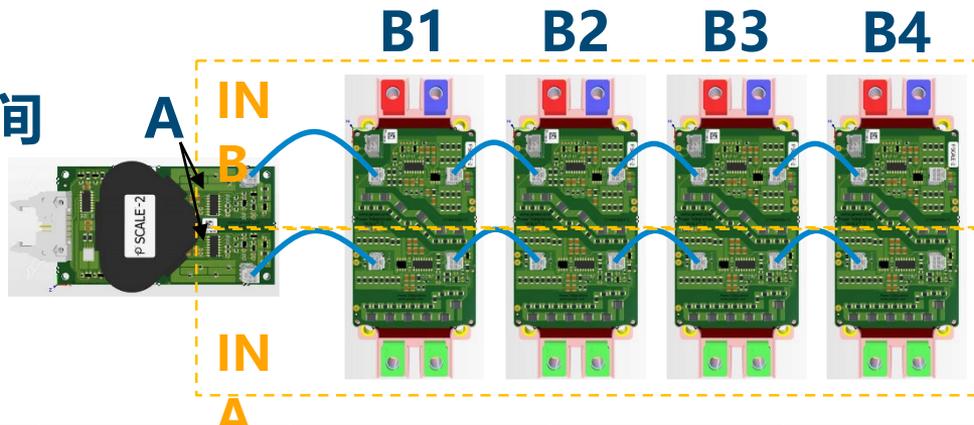
- 每个IGBT的门极回路得到解耦
- 并联IGBT间的驱动延时很小
- 每个IGBT都采用PI SCALE-2驱动技术的门极驱动
- 并联模块的门极电压高度同步
- 极好的并联IGBT均流特性
- 元器件数量少，集成度很高



高度一致的并联IGBT门极开关动作

- 并联的IGBT门极开关动作时间差小于20 ns

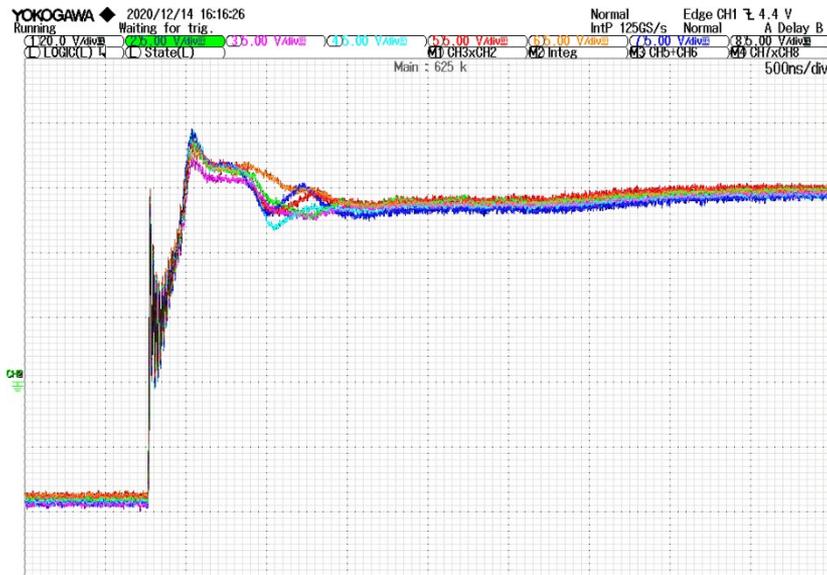
- ▶ 保证驱动器高度同步驱动IGBT
- ▶ 减小并联IGBT的不均流度



Input	Command	$T_{D(A)}$ (μ s)	$T_{D(B1)}$ (μ s)	$T_{D(B2)}$ (μ s)	$T_{D(B3)}$ (μ s)	$T_{D(B4)}$ (μ s)
INA	Turn-on	2.04	2.05	2.06	2.06	2.06
INB	Turn-on	2.06	2.08	2.08	2.08	2.09
INA	Turn-off	1.39	1.40	1.41	1.41	1.41
INB	Turn-off	1.41	1.43	1.43	1.44	1.44

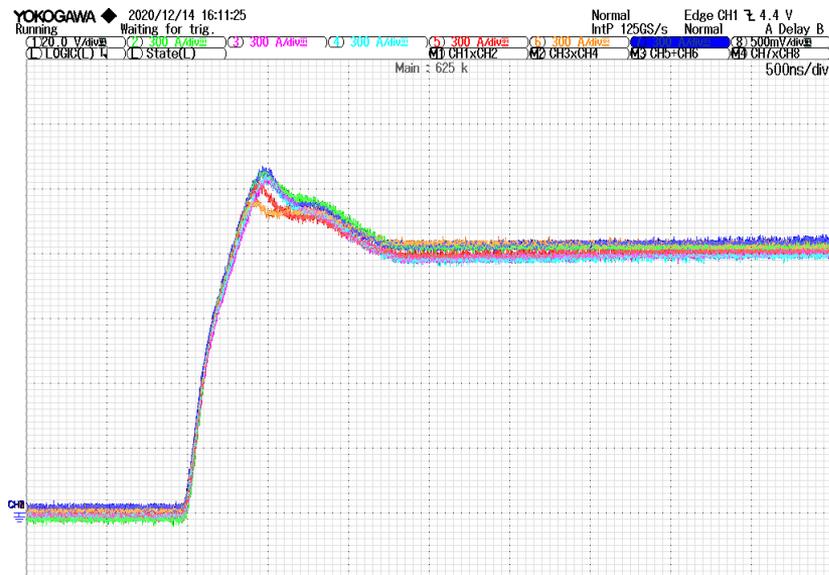
(500+ data points, $f_{sw} = 5$ kHz)

SCALE-iFlex-LT并联驱动方案双脉冲测试波形 1/2



Max(C2) 18.8 V
Max(C5) 18.8 V
Max(C3) 17.3 V
Max(G6) 18.5 V
Max(C4) 19.4 V
Max(G7) 19.6 V

高度一致的开通门极电压

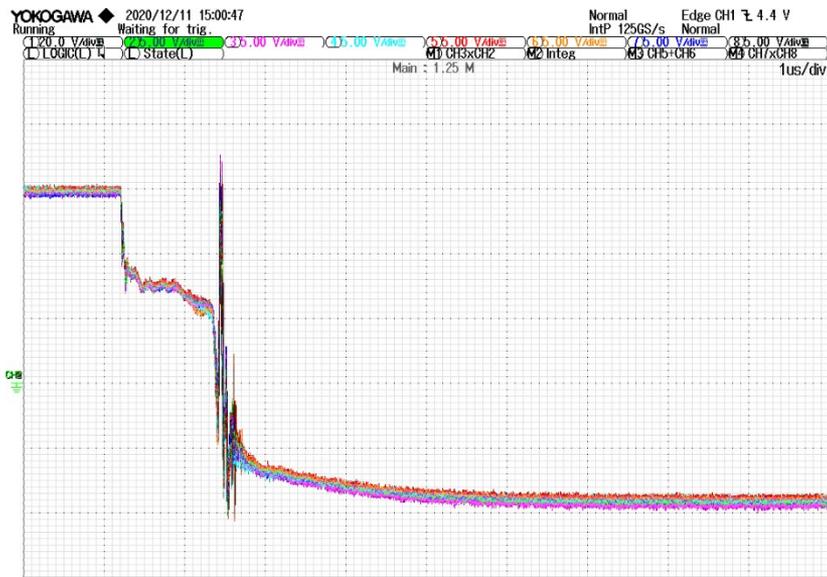


Max(C2) 1590 A
Max(C5) 1540 A
Max(C3) 1580 A
Max(C6) 1460 A
Max(C4) 1580 A
Max(C7) 1610 A

动态不均流度 < 5%

被测IGBT 型号是Infineon的FF600R17ME4, 6并联

SCALE-iFlex-LT并联驱动方案双脉冲测试波形 2/2

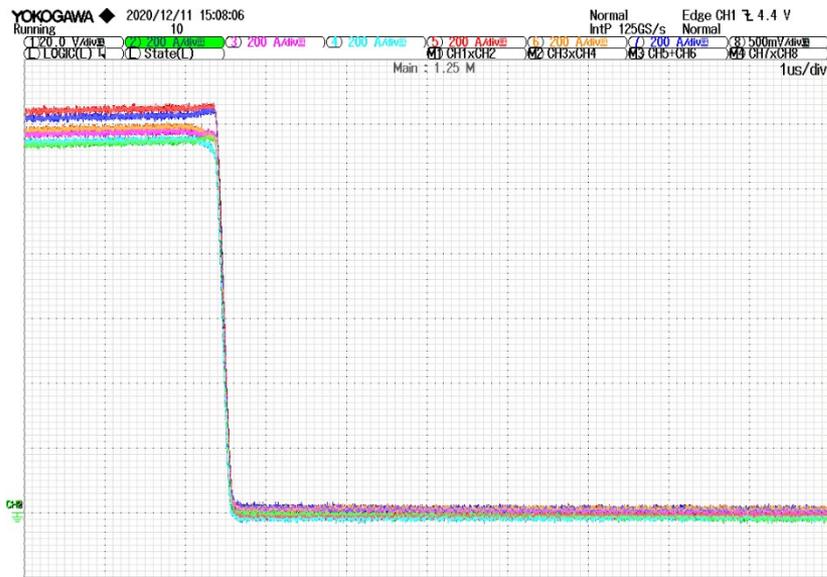


Max(C2) 15.3 V
Max(C5) 15.4 V

Max(C3) 17.7 V
Max(C6) 15.3 V

Max(C4) 15.4 V
Max(C7) 15.2 V

高度一致的开通门极电压



Max(C2) 1175 A
Max(C5) 1265 A

Max(C3) 1193 A
Max(C6) 1206 A

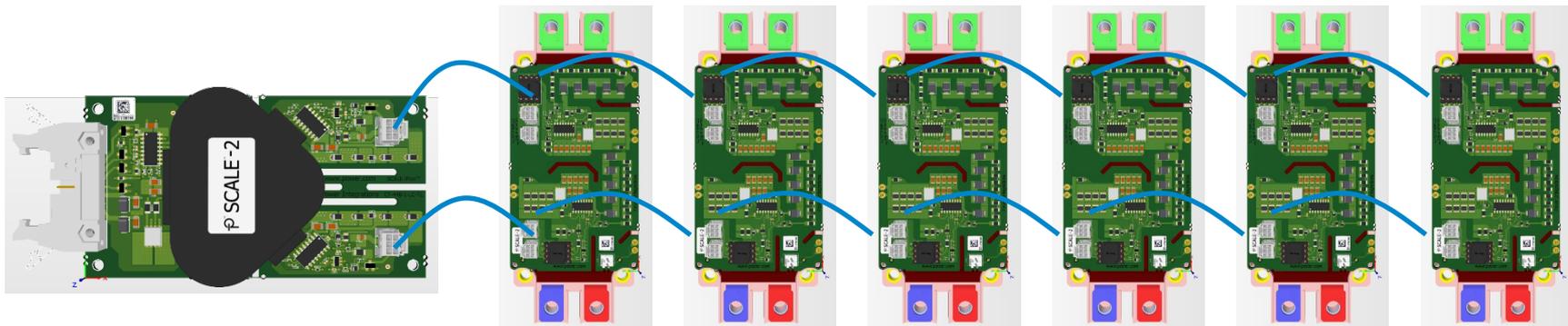
Max(C4) 1167 A
Max(C7) 1257 A

动态不均流度 < 5%

被测IGBT 型号是Infineon的FF600R17ME4， 6并联

结论

- 在功率器件的直接并联应用中，母排结构对并联模块间的不均流特性起到了至关重要的作用，
 - ▶ 在设计并联功率模块系统的时候应该充分考虑母排设计对并联功率器件不均流度的影响
- 为ED3 IGBT模块的直接并联提供了一个门极电压高度同步，并联IGBT高度均流的解决方案



power integrations™

power.com



AC-DC
CONVERSION



LED
DRIVERS



GATE
DRIVERS



MOTOR
DRIVERS



AUTOMOTIVE
SOLUTIONS