

IGBT并联应用

- Shanghai Disti&Sales Training, 2008-12

英飞凌科技（中国）
应用工程师 赵振波



Never stop thinking

内容

- 影响并联均流主要因素
- 静态均流
- 动态均流
- 均衡措施

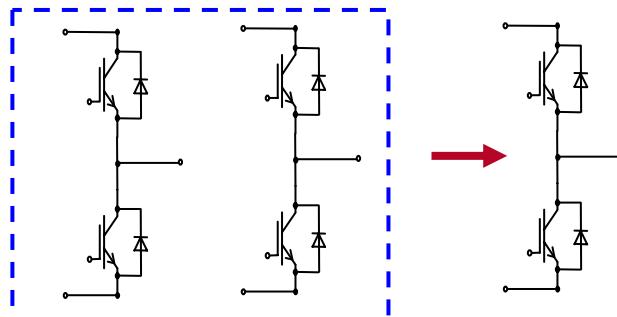
IGBT并联及原因

IGBT 并联

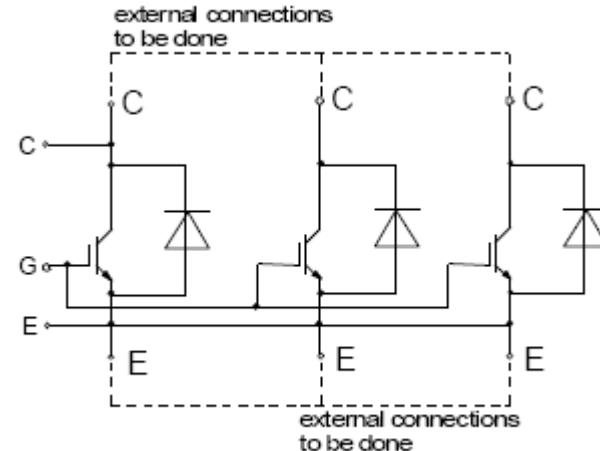
- 芯片之间
- 桥臂之间
- 模块之间

优点

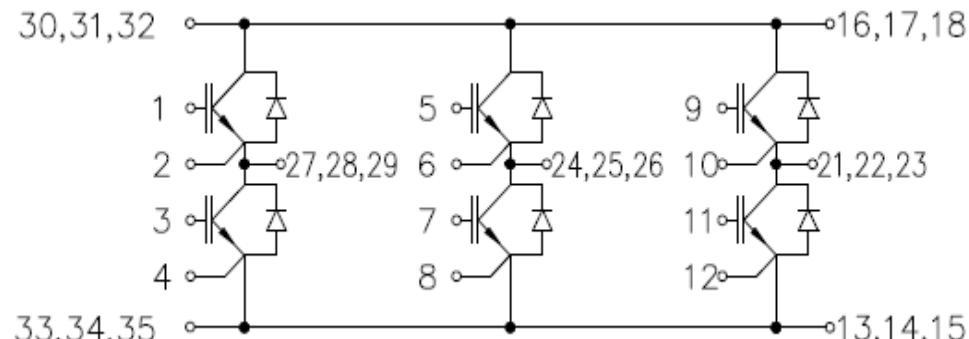
- 高功率密度
- 较好性价比
- 较好热分布
- 灵活连接方式



"FF" + "FF" -> "FF"



"FZ" -> "FZ"



"FS" -> "FF"

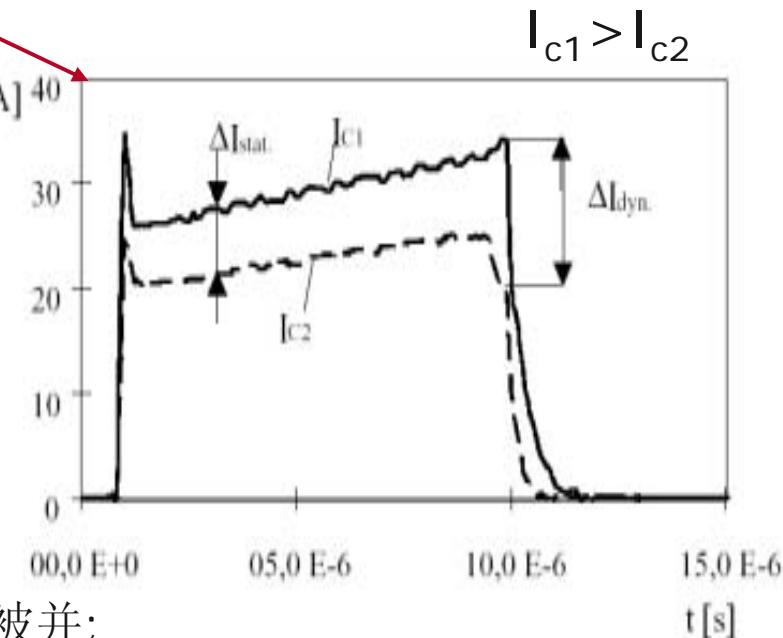
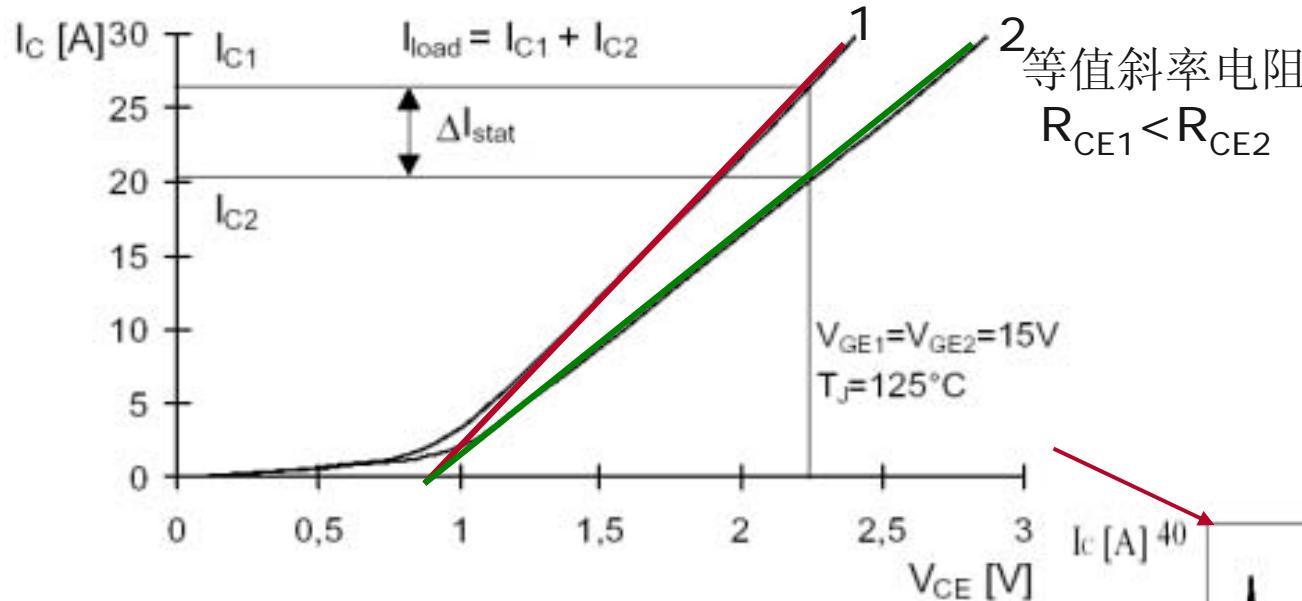
主要因素 > IGBT参数

因素	静态 均流	动态 均流
饱和电压 V_{CEsat} (I_c , V_{GE} , $T_{vj\ op}$)	✓ ✓	
电流 I_c (V_{GE} , $T_{vj\ op}$)		
开启电压 V_{GETh}		✓
开关时间 t_{don} , t_{doff} , t_r , t_f (依靠驱动器)		✓
工作结温 $T_{vj\ op}$	✓	✓

主要因素 > 系统设计

因素	静态 均流	动态 均流
功率换流回路		
杂散电感		✓
等值电阻	✓	
驱动回路		
驱动器输出阻抗		✓
对称驱动		✓
回路寄生参数		✓

静态均流 >饱和电压 V_{CEsat} 差异



注释:

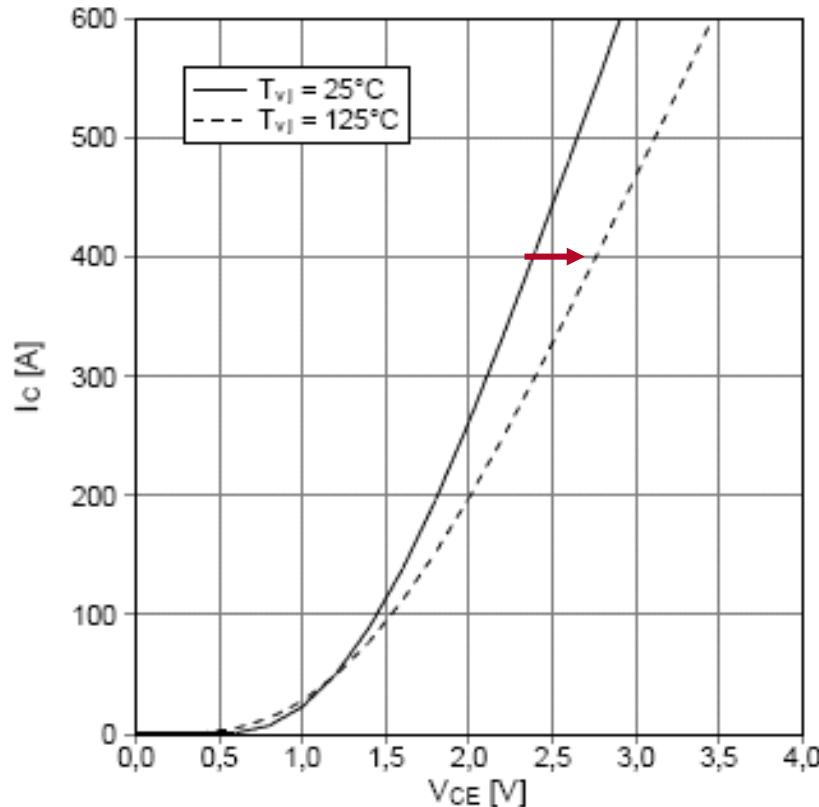
□ 第二代NPT/第三代Trench-Field stop IGBT

饱和压降 V_{cesat} 呈正态分布,较集中;

□ 具有相同芯片技术/类型以及生产日期的模块建议被并;

□ 如果可能,同一包装的IGBT模块被并;

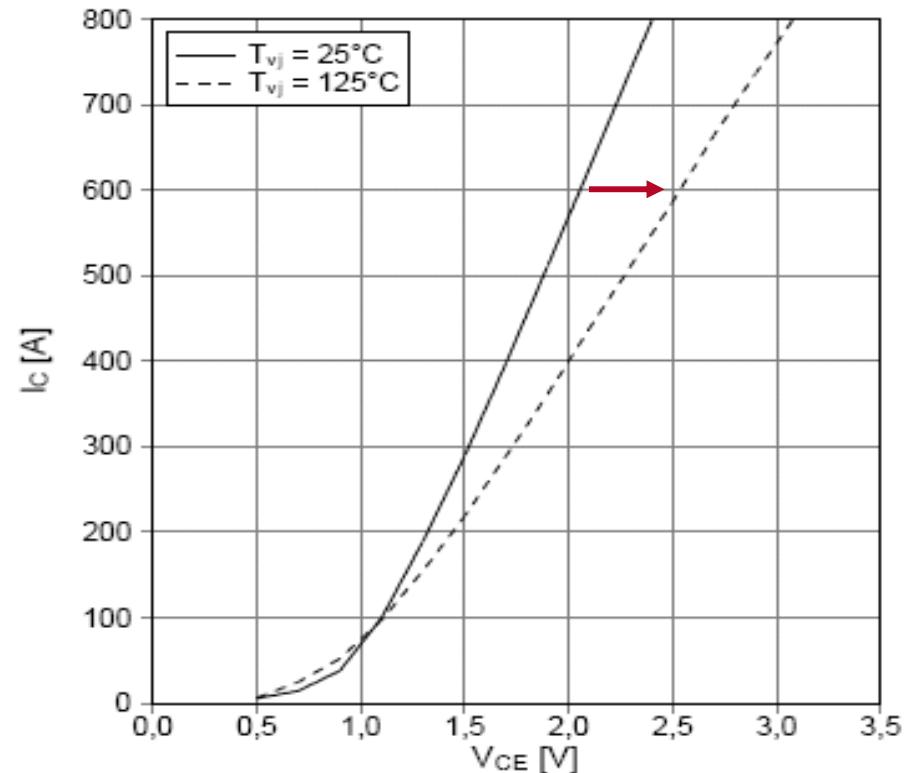
静态均流 >饱和电压 V_{CEsat} 温度特性



V_{CEsat} vs. I_c (非贯穿型芯片)

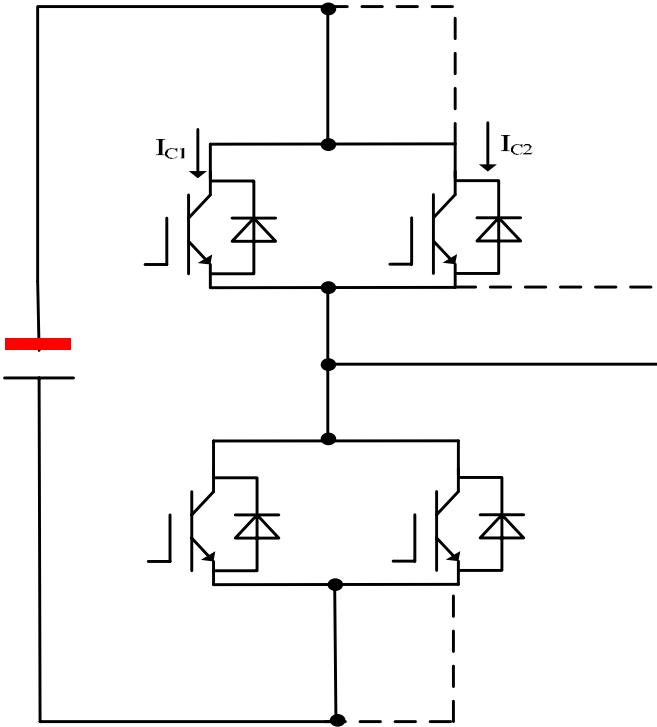
注释:

- 正温度系数特性的 V_{CEsat} 将有益于并联IGBT静态均流;

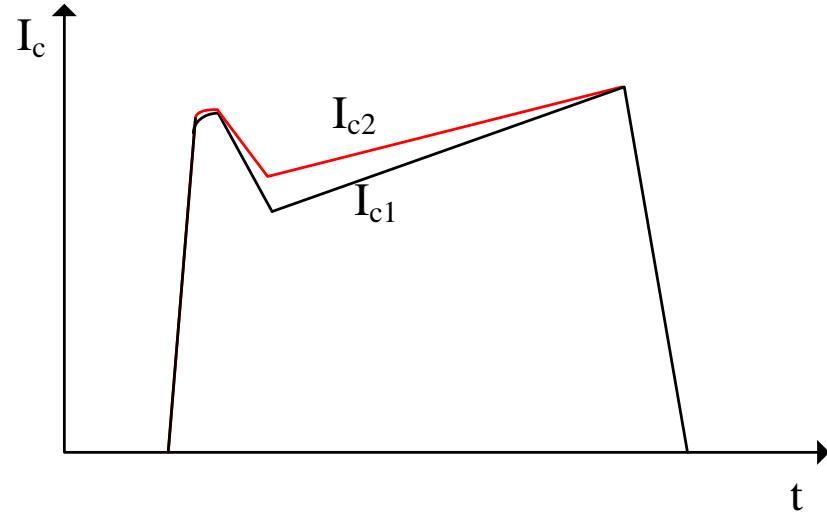


V_{CEsat} vs. I_c (沟槽栅场终止型芯片)

静态均流 > 换流回路等值电阻



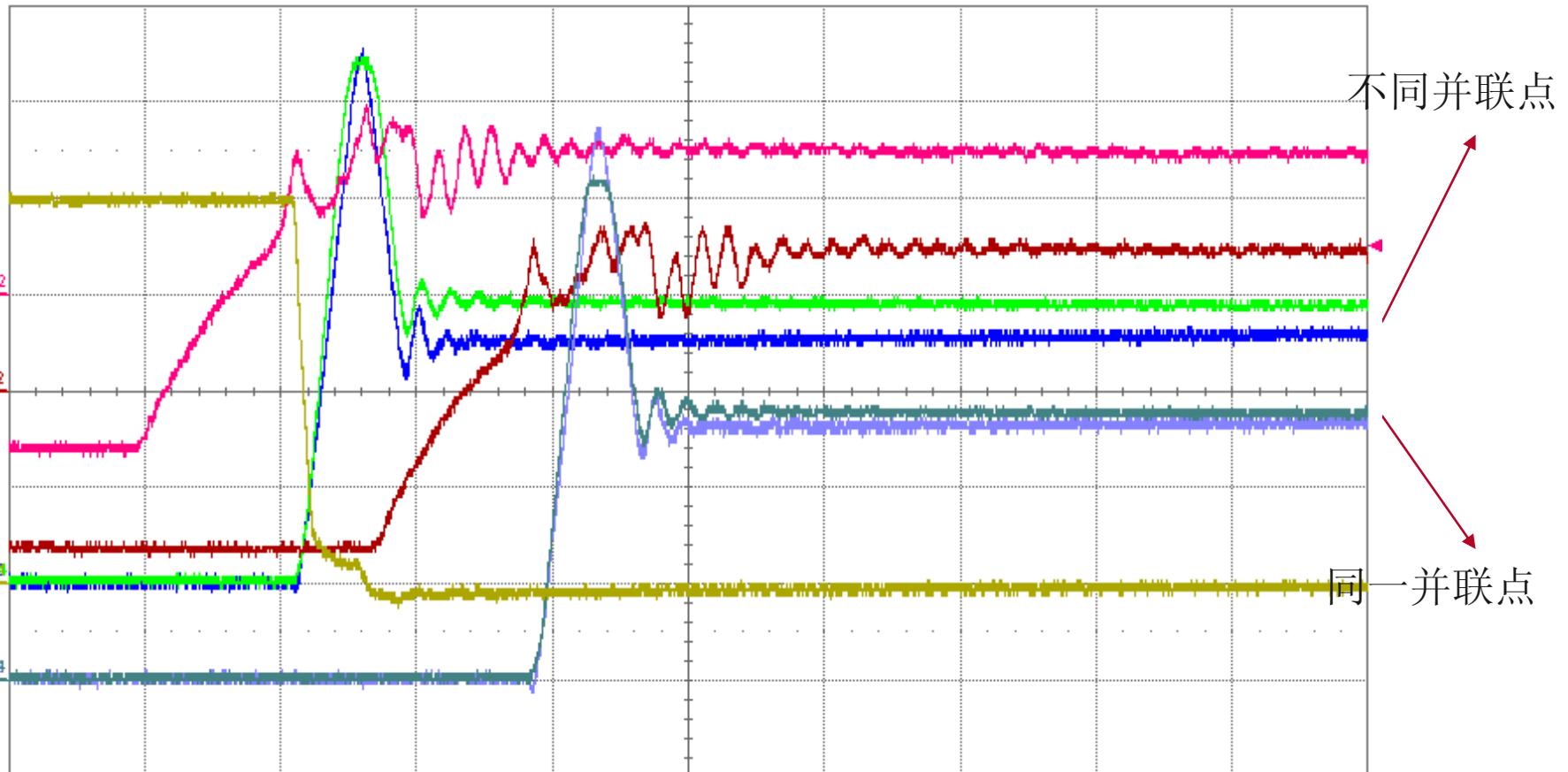
$$R_{s2} < R_{s1}$$



注释:

- 相同母排,有不同并联点引起静态均流差异;
- 并联布局对称性 (模块放置/直流母排/电解电容等);
- 为了换流回路对称性, 特殊“Z”字形母排或故意开有规律孔的母排;

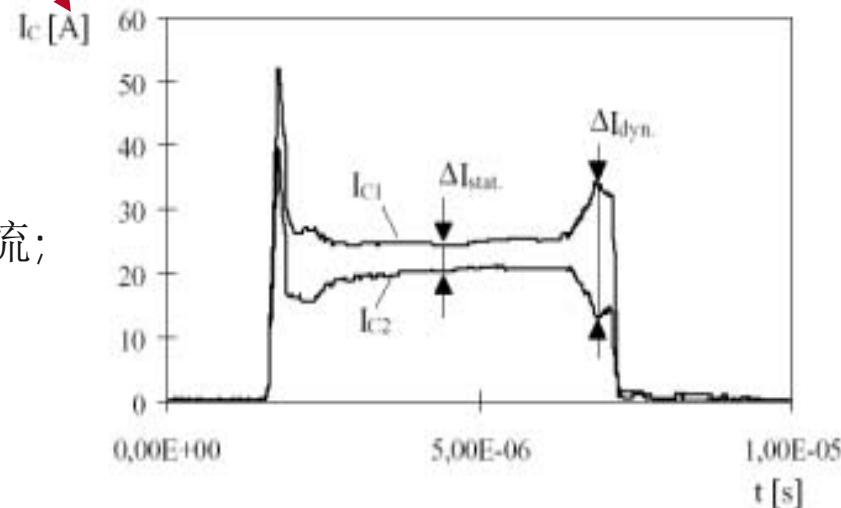
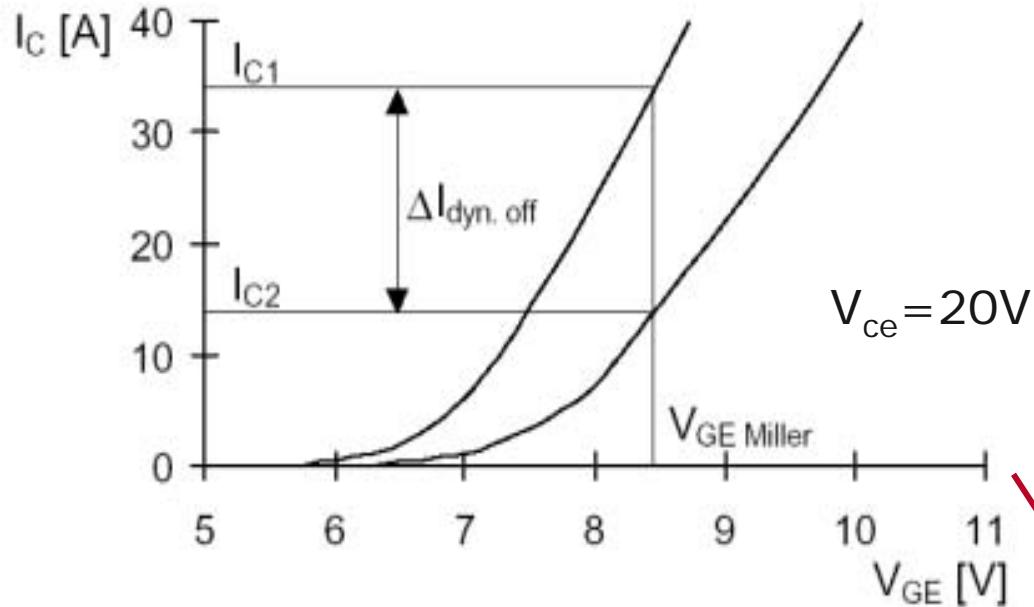
静态均流 > 换流回路等值电阻 > 测试波形



注释：

静态均流可能在很大程度上会被换流回路等值电阻的差异性所影响。

动态均流 > 传输特性



注释:

- 不同传输特性的IGBT模块并联会影响动态均流;
- 不同门极开启电压 V_{GEth} ;

动态均流 > 传输特性差异所引起问题

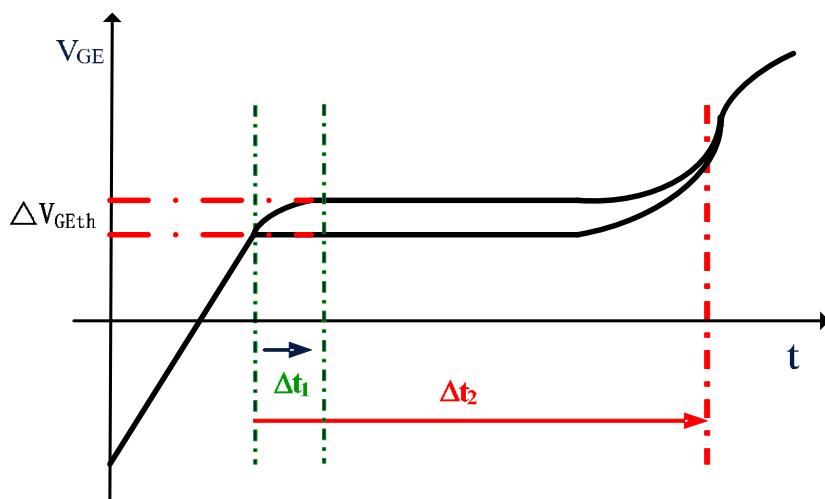
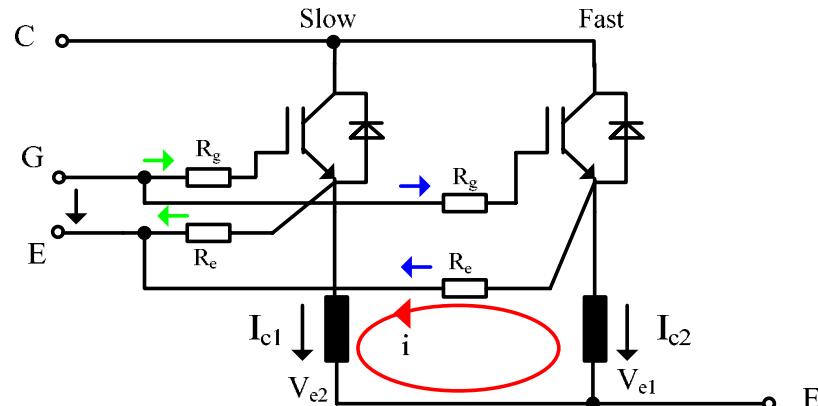
□ 不同传输特性会产生影响:

- > 不平衡的动态均流;
- > 不同开关损耗, 尤其关断;

□ 米勒平台阶段, 保持相同门极电压会产生影响:

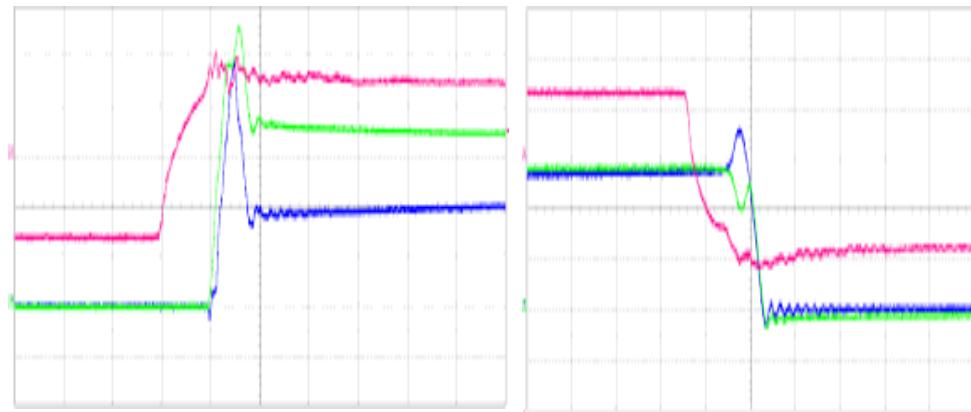
- > 传输特性快的IGBT将引起较高电流;
- > 较高开关损耗;

动态均流 > 门极电阻建议

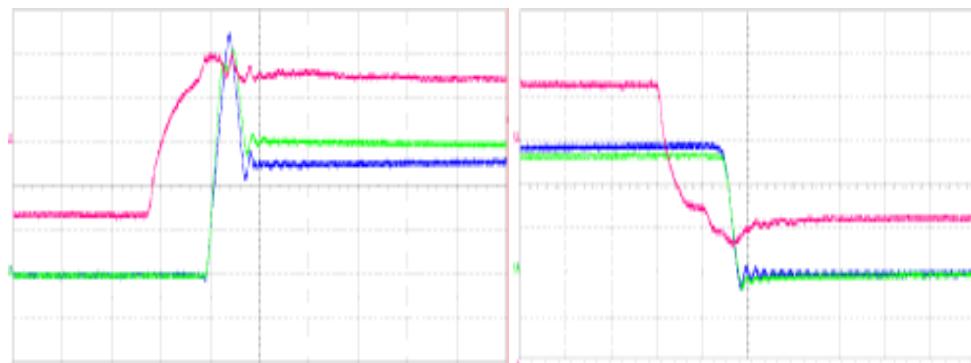


建议: $R_E = 1/3 R_{GON}$
 $R_G = 2/3 R_{GON}$

无 R_e



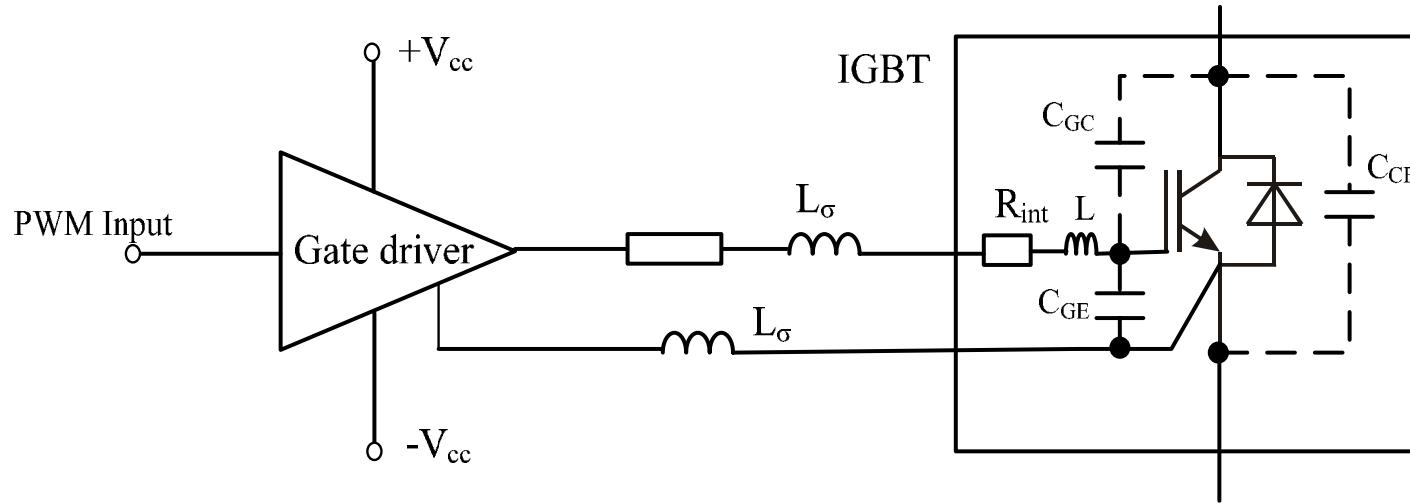
有 R_e



开通

关断

动态均流 > 驱动设计和回路



影响:

方案

- 驱动器核 + 有源/无源适配板
- 驱动器核 + 连接电缆
- 定制驱动器

驱动器回路杂散电感

驱动器输出阻抗

驱动器传输延时

注释: 有时可能寄生电容和较大驱动回路杂散电感会产生较严重的震荡。

动态均流 > 建议驱动方案

一个驱动核 + n × 有源适配板

特点：

- 快速驱动信号，易实现并联模块驱动对称性；
- 独立控制；
- 驱动功率源于适配板；
- 可以用小电流驱动器；
- 消除驱动连接电缆之间差异性；

封装结构：



EconoDUAL3



PrimePACK



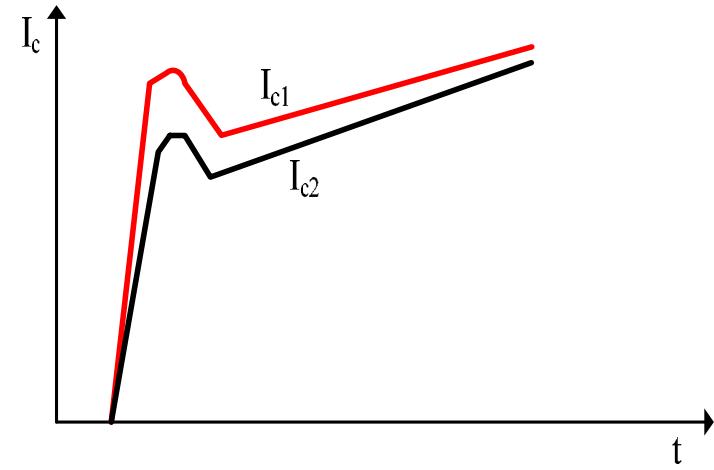
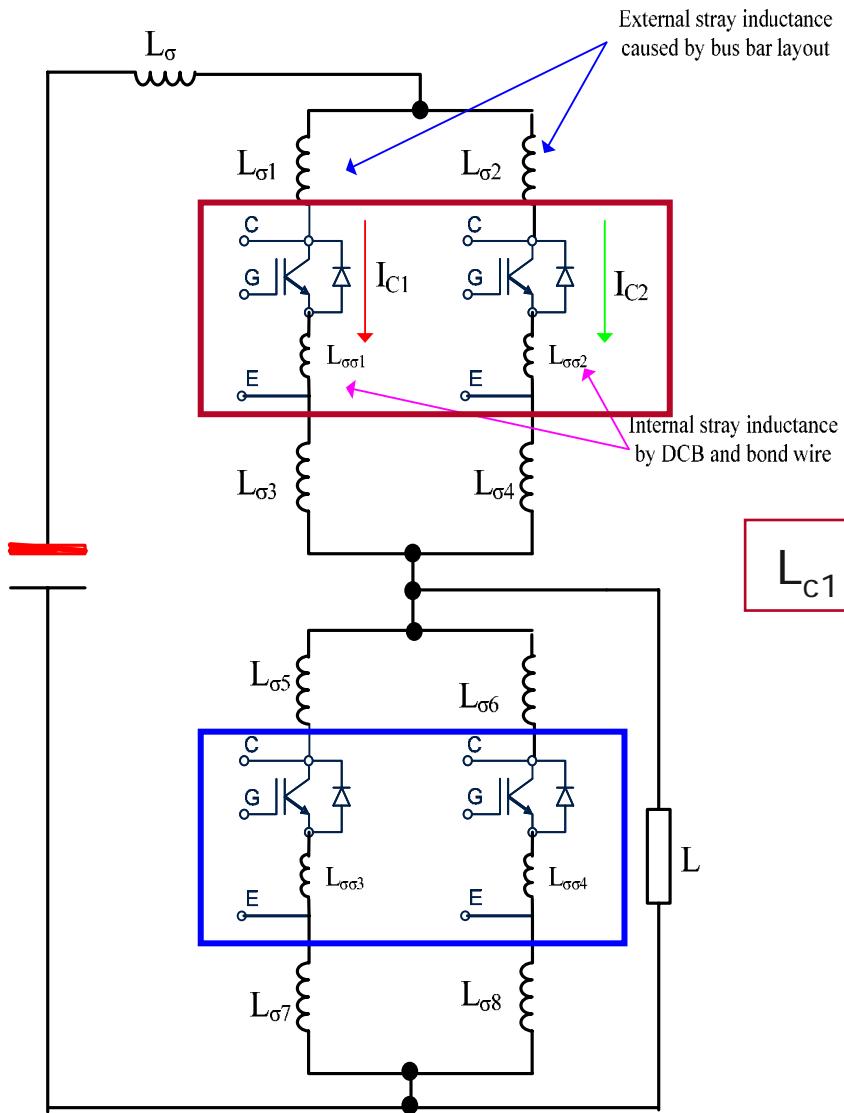
IHM/IHV

动态均流 > 连接电缆

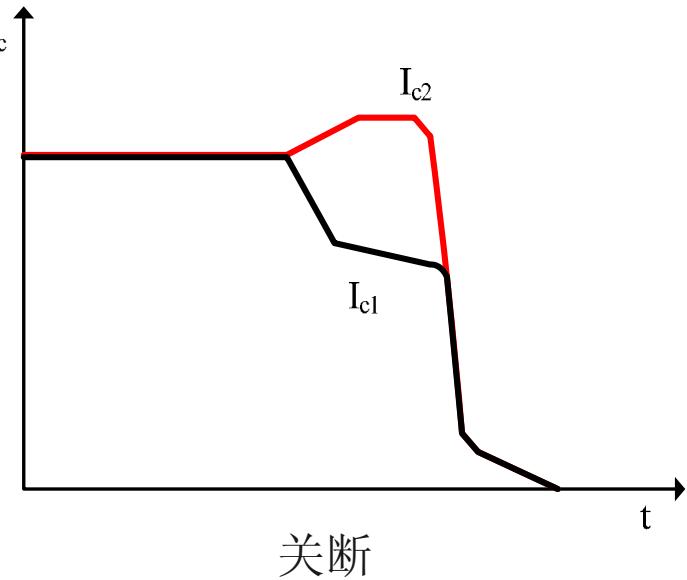


注释：并联驱动IGBT连接电缆推荐尽可能相同和较小回路面结；

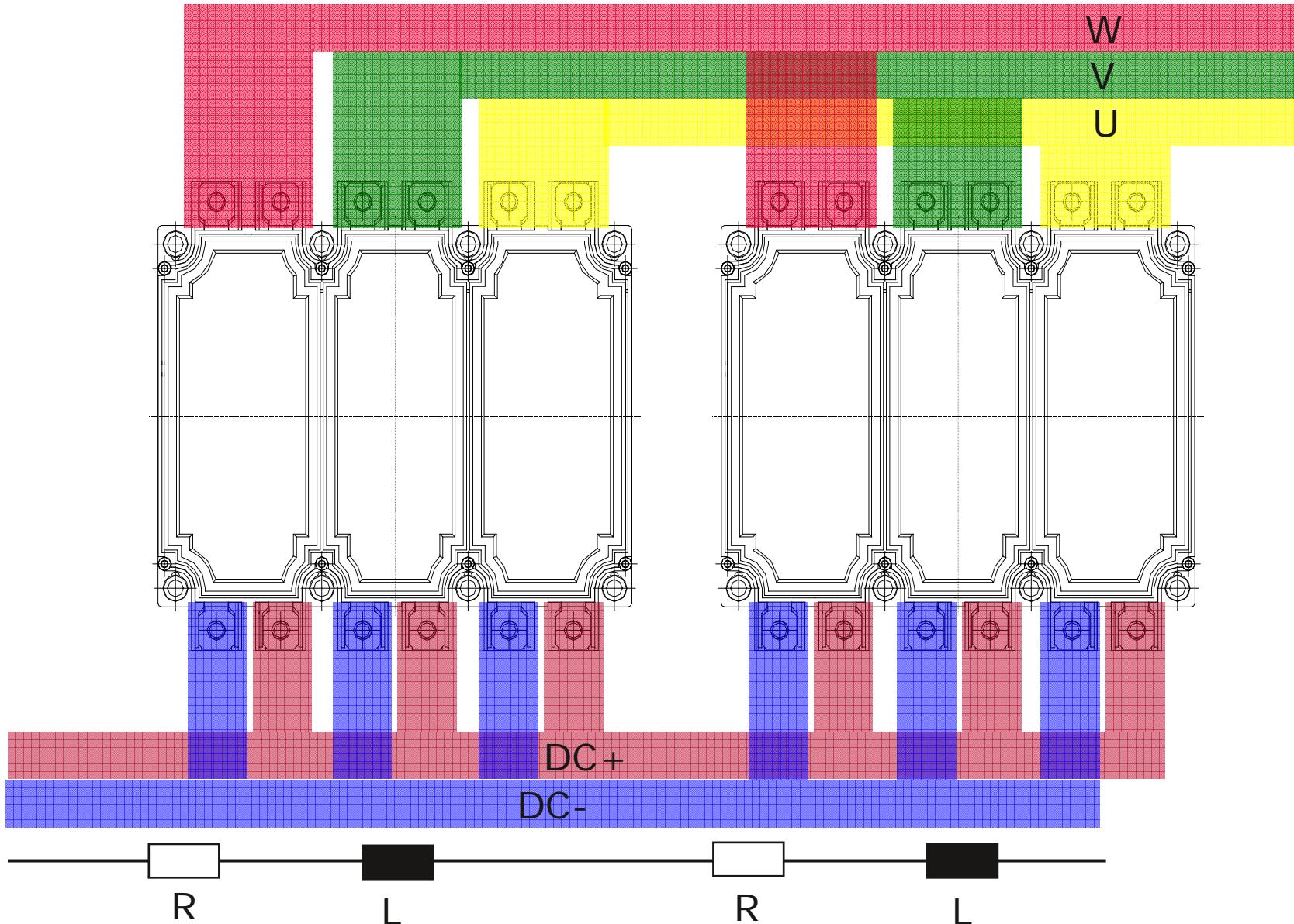
动态均流 > 换流回路杂散电感



开通



动态均流 > 换流回路杂散电感分布 (以EconoPACK™+为例)



总结

静态均流

- 芯片饱和电压正温度系数；
- 同一批次/相同型号/生产日期模块；
- 对称性换流回路（等值电阻相同）；
- 均匀散热；

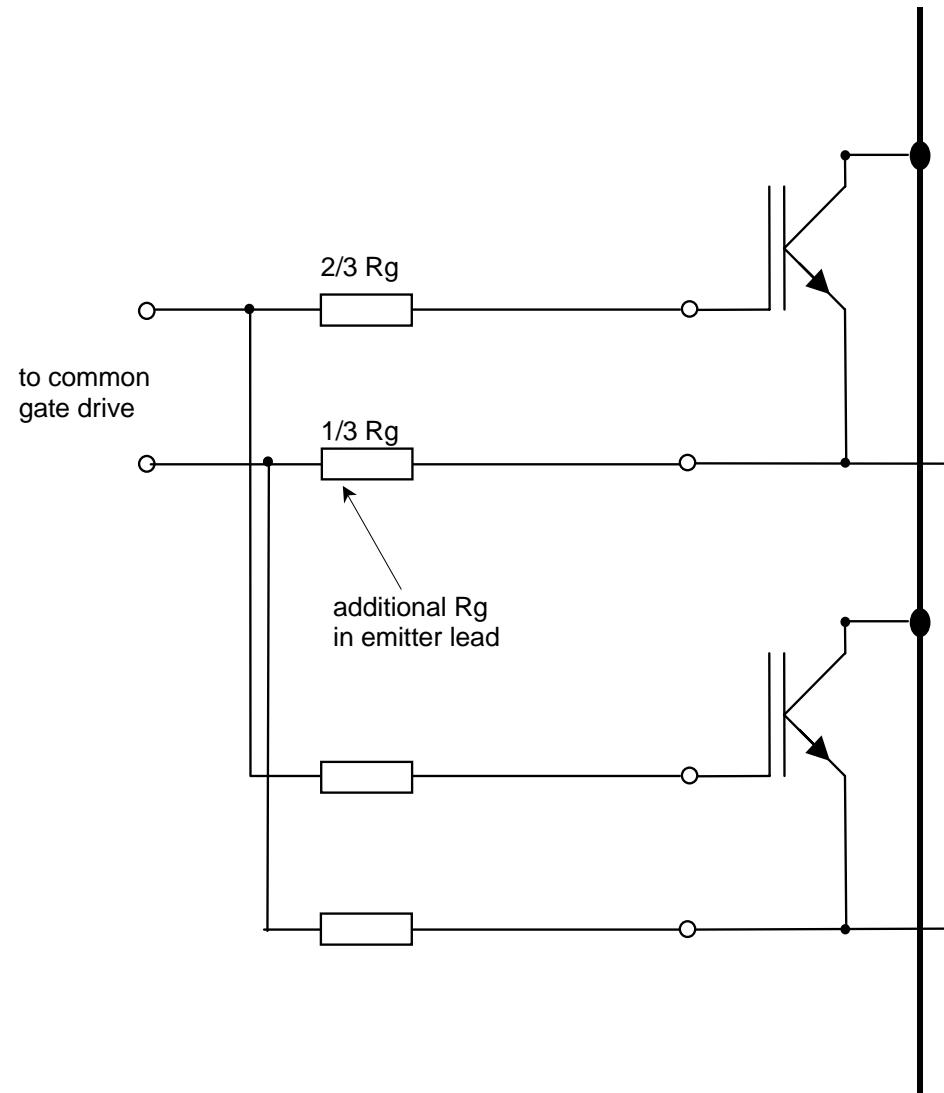
动态均流

- 优化叠层对称性母排（等值杂散电感）；
- 并联驱动方案设计；
- 低寄生电感驱动回路；
- 门极分开电阻；
- 短/对称性连接电缆；

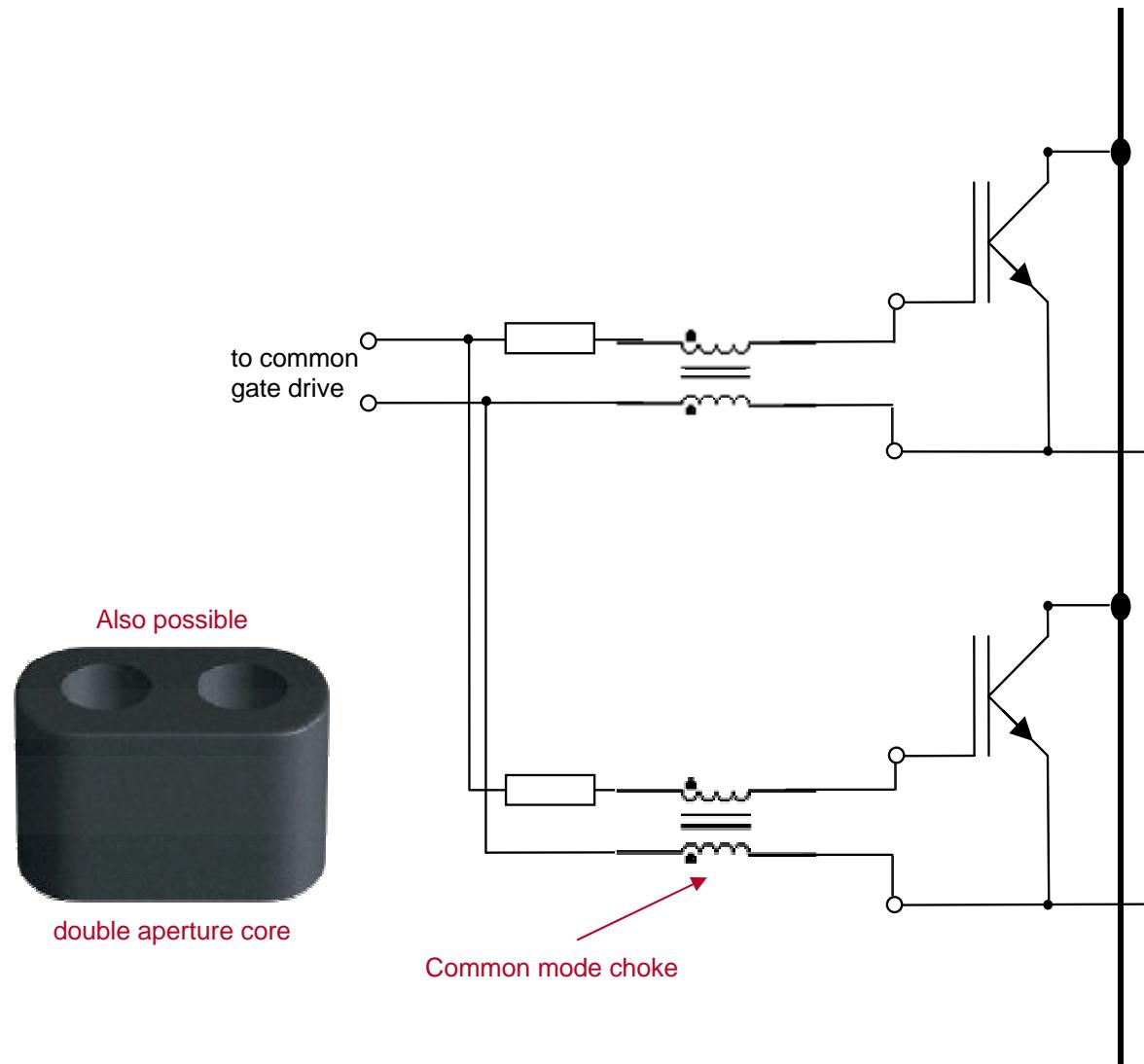
均衡措施 > 驱动回路

- 驱动和并联IGBT之间的回路面积应该尽可能小, 实现低寄生电感;
- 连接电缆采用双绞线或宽带状, 实现对称性和短的连接方式;
- PCB路径或电缆的放置和布局尽可能远离或纯直由于IGBT开关所产生的电位变化的位置。如果必要的话, 要采用屏蔽层。
- 驱动器要选用承受高dv/dt的光耦/CLT芯片;

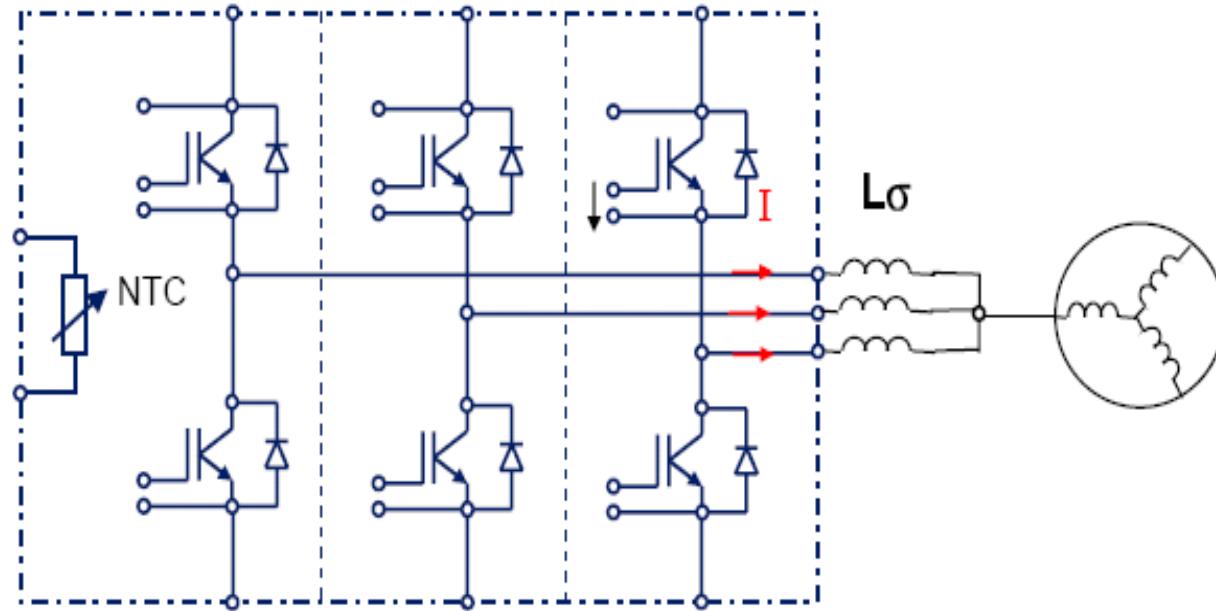
均衡措施 > 分开门极电阻



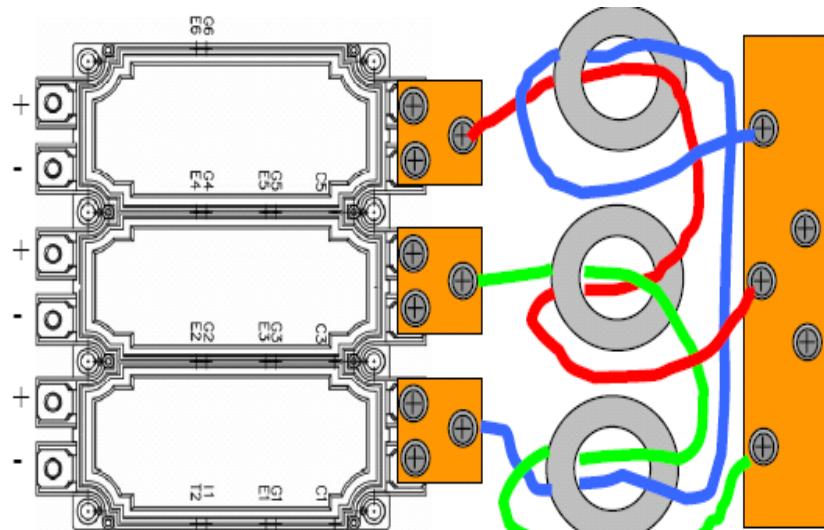
均衡措施 > 磁芯/珠



均衡措施 > 输出电抗器/磁环

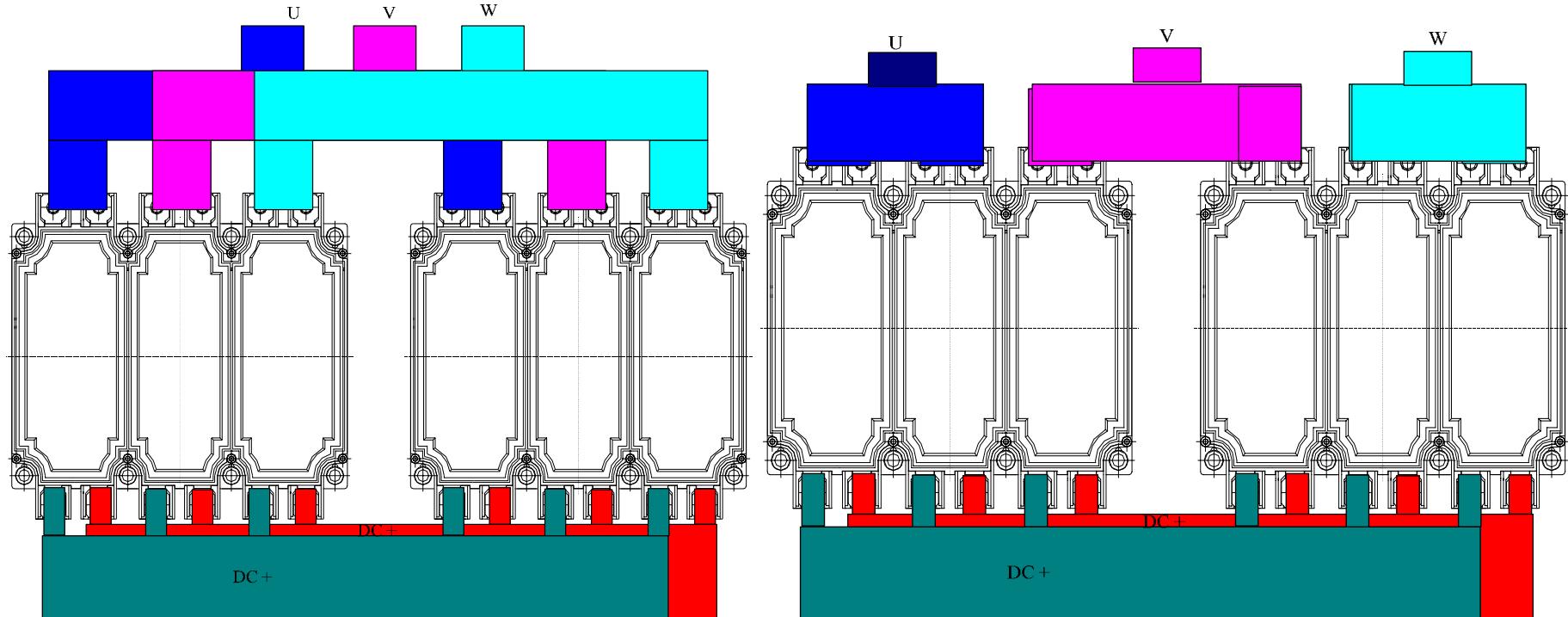


动态均流过程取决于输出电抗;



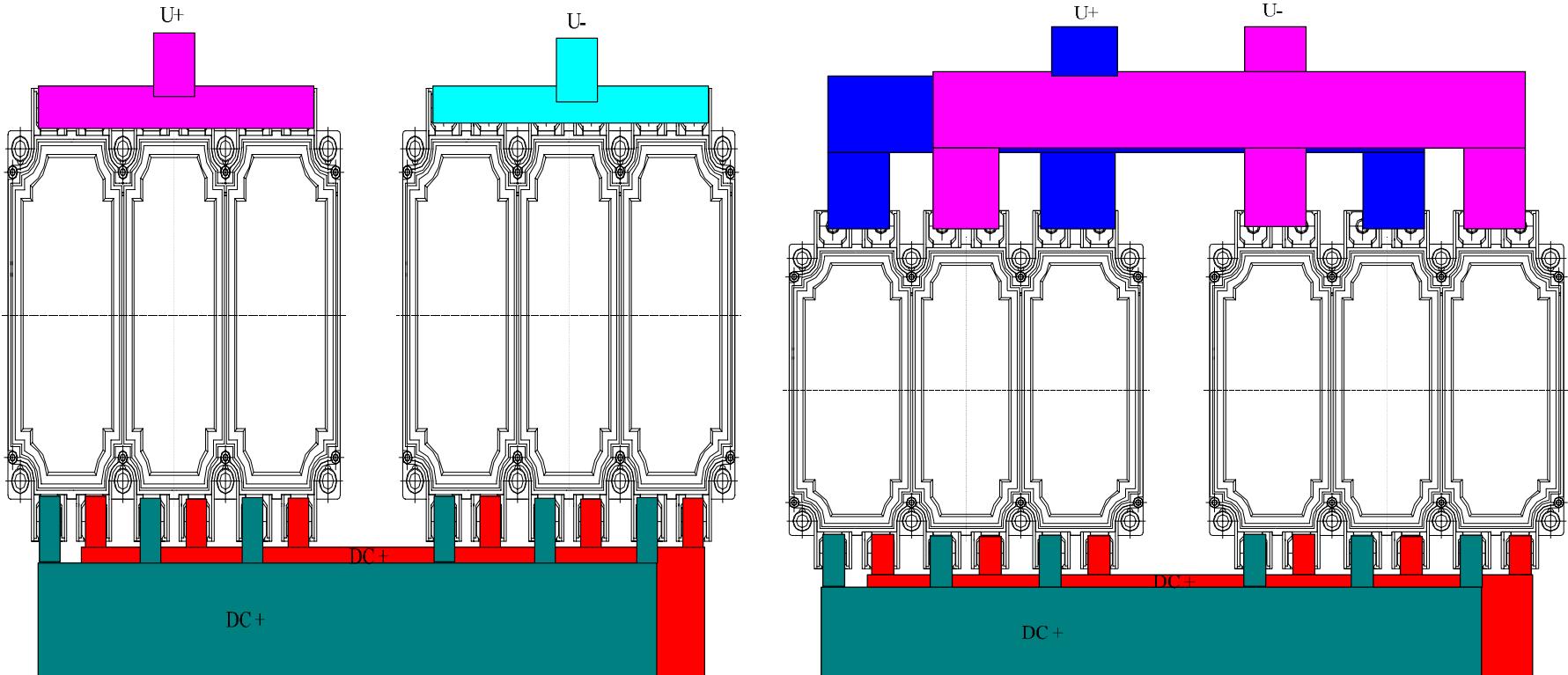
静态均流能被磁环所影响;

均衡措施 > 优化并联方式 (以EconoPACK™+为例)



三相全桥结构

均衡措施 > 优化并联方式 (以EconoPACK™+为例)



H桥结构

并联建议

- 模块选型
 - 相同生产日期;
 - 相同芯片技术;
 - 相同类型;

- 驱动
 - 相同连接电缆;
 - 分开门极电阻;
 - 驱动器 + 有源适配板;
 - 足够驱动输出能力;
 - 对称/小回路面积;

- 模块布局
 - 对称功率换流回路;
 - 优化热耦合;



Never stop thinking

