第三代高速(HighSpeed3)1200V IGBT

高开关速度优化的新一代 IGBT 系列

应用手册

Davide Chiola, IGBT应用工程师

Holger Hüsken, IGBT 技术研发工程师

2010.05

电源管理分立器件

英飞凌科技出版 奥地利 AG
9500 维拉赫, 奥地利
© 2012 英飞凌科技 AG.
保留所有权利

注意！
本应用手册给出的信息不能被视为一定条件或特定条件的保证。对于本文任何例子或给出的提示，任何典型值，和或任何有关器件的应用信息，英飞凌科技在此声明，未就本文中给出的任何及所有信息作出任何性质的保证，也不承担任何性质的责任，包括但不限于没有侵犯任何第三方的知识产权的保证。

为方便客户浏览，英飞凌以下所提供的将是有关英飞凌产品及服务资料的中文翻译版本。该中文翻译版本仅供参考，并不可作为任何论点之依据。虽然我们尽力提供与英文版本含义一样清楚的中文翻译版本，但因语言翻译和转换过程中的差异，可能存在不尽相同之处。因此，我们同时提供该中文翻译版本的英文版本供您阅读，请参见【Application Note IGBT 1200V HighSpeed 3】。并且，我们在此提醒客户，针对同样的英飞凌产品及服务，我们提供更加丰富和详细的英文资料可供客户参考使用。请详见【IGBTs】

客户理解并且同意，英飞凌毋须为任何人士由于其在翻译原来的英文版本成为该等中文翻译版本的过程中可能存在的任何不完整或者不准确而产生的全部或者部分、任何直接或者间接损失或损害负责。英飞凌对于中文翻译版本之完整与正确性不担负任何责任。英文版本与中文翻译版本之间若有任何歧异，以英文版本为准，且仅认可英文版本为正式文件。

您如果使用以下提供的资料，则说明您同意并将遵循上述说明。如果您不同意上述说明，请不要使用本资料。

信息查询
若需获得关于技术、交付条款和价格的更多信息，敬请联系距离您最近的英飞凌办事处（www.infineon.com）

警告
由于技术要求，组件可能包含有害物质。若需了解相关物质的类型，请联系距离您最近的英飞凌办事处。如果可以合理地预计英飞凌的某个组件失效可能会导致生命支持设备或系统失效，或者影响该等设备或系统的安全性或有效性，那么在将这些组件用于生命支持设备或系统之前，必须获得英飞凌的明确书面同意。生命支持设备或系统意指用于植入人体内部，或者支持和/或维持、维系和/或保护人类生命的设备或系统。如果这些设备或系统失效，可以合理推定其用户或其他人的健康将受到威胁。

目录

1. 产品系列简介 4
2. 技术简介 5
3. 静态与动态特性 7
3.1 静态特性 7
3.2 动态特性 8
3.2.1 关断 8
3.2.2 开通 12
4. 采用 IPOSIMTM 的功率损耗仿真 14
5. 应用实例:工作在高开关频率 16

1. 产品系列简介

HS3-IGBT系列产品是基于IGBT4 技术的1200V“T2”改进型产品。

H3 1200V 系列产品

器件编号	类型	封装	BVces	Ic@25°C	Ic@100°C	Vceon @ 175°C Typical	Ets @ 175C Ic@100°C Typical	Tsc	Vgeth
			[V]	[A]	[A]	[V]	[mJ]	[usec]	[V]
IGW15N120H3 IKW15N120H3	单开关封装 双开关封装	TO247 TO247	1200	30	15	2.70	2.5	10	5.8
IGW25N120H3 IKW25N120H3	单开关封装 双开关封装	TO247 TO247	1200	50	25	2.70	4.3	10	5.8
IGW40N120H3 IKW40N120H3	单开关封装 双开关封装	TO247 TO247	1200	80	40	2.70	7.0	10	5.8

该系列产品优化应用于以下场合：

- UPS
- 焊接机
- 太阳能光伏逆变器

主要特点有：

- 在30KHz以上开关频率时能减小开关损耗
- 平滑的开关特性
- 针对目标场合应用的优化二极管

2. 技术简介

英飞凌公司在2000年初就提出了第三代IGBT的Trenchstop™技术的概念，它将沟槽栅极和场截止结构的优点结合起来 (如图1所示). 在这样结构的晶片里载流子几乎呈理想分布，从而在关断时同时有更低的V_{cesat}和更短时间的恢复电流。

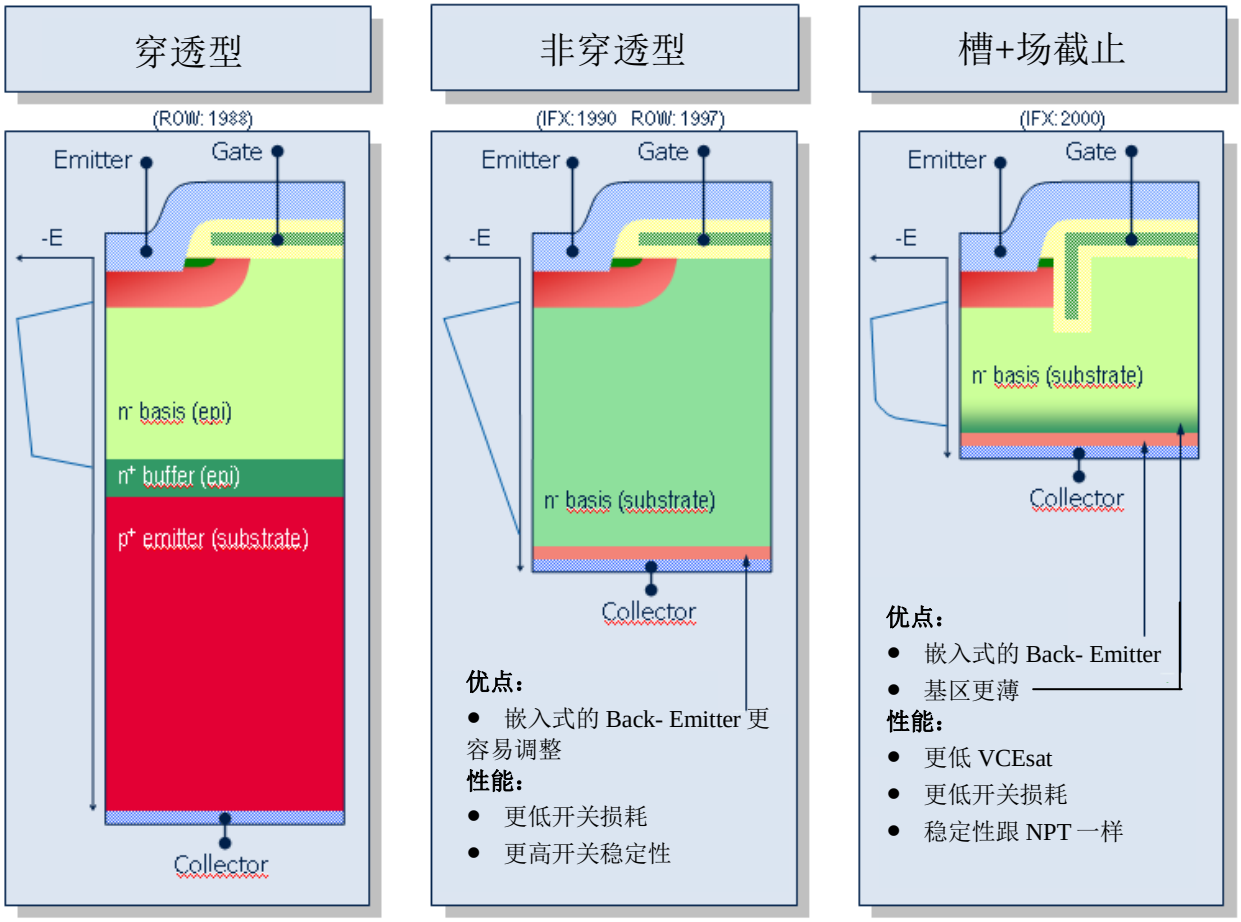


图1：IGBT 技术对比：垂直结构

IGBT4技术是在2008年推出的，是由IGBT3改进而来，以满足不同开关速度和功率等级的器件应用，提高硅片的利用率。IGBT4技术也是HS3系列产品的技术基础，以进一步提高IGBT的快速开关能力，同时保持英飞凌IGBT的低饱和导通电压Vcesat。图2所示为25A额定电流晶片的高速IGBT技术发展路线图：

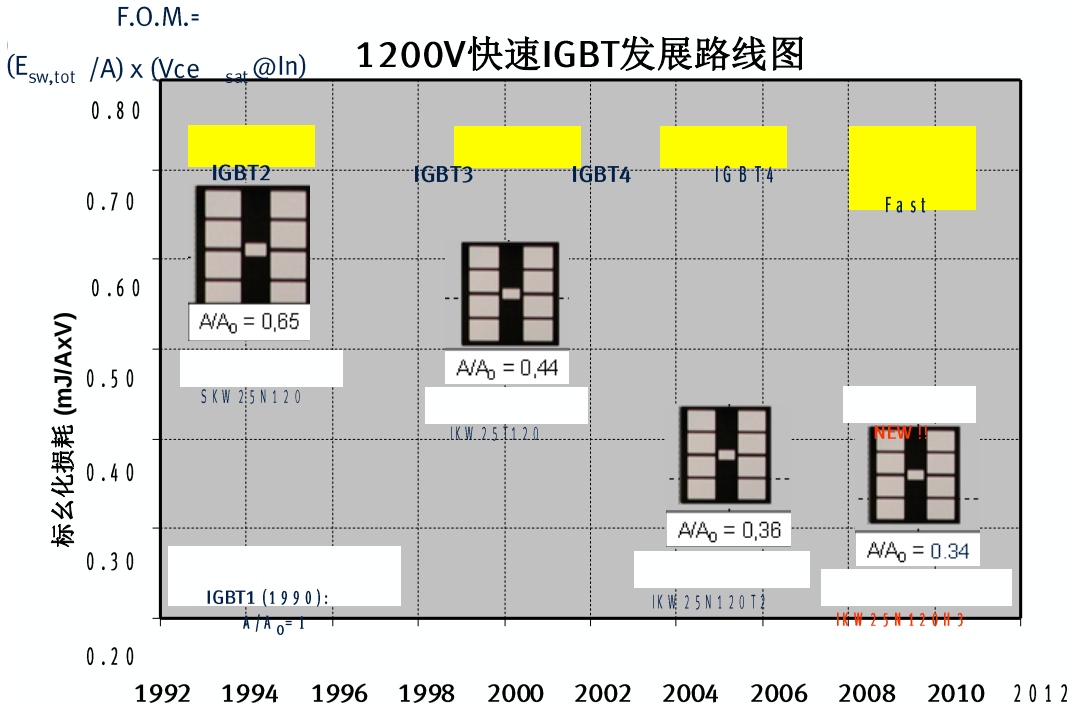


图 2：快速IGBT技术的发展路线图

3. 静态与动态特性

3.1 静态特性

尽管优化了开关速度，但由于采用了沟槽栅技术，第三代高速IGBT在宽范围的输出电流内都维持比较低的饱和导通电压V_{cesat}。从而对系统有如下好处：

减小了损耗和提高了系统效率

对于大功率系统减少了并联器件数量

减小了散热片尺寸

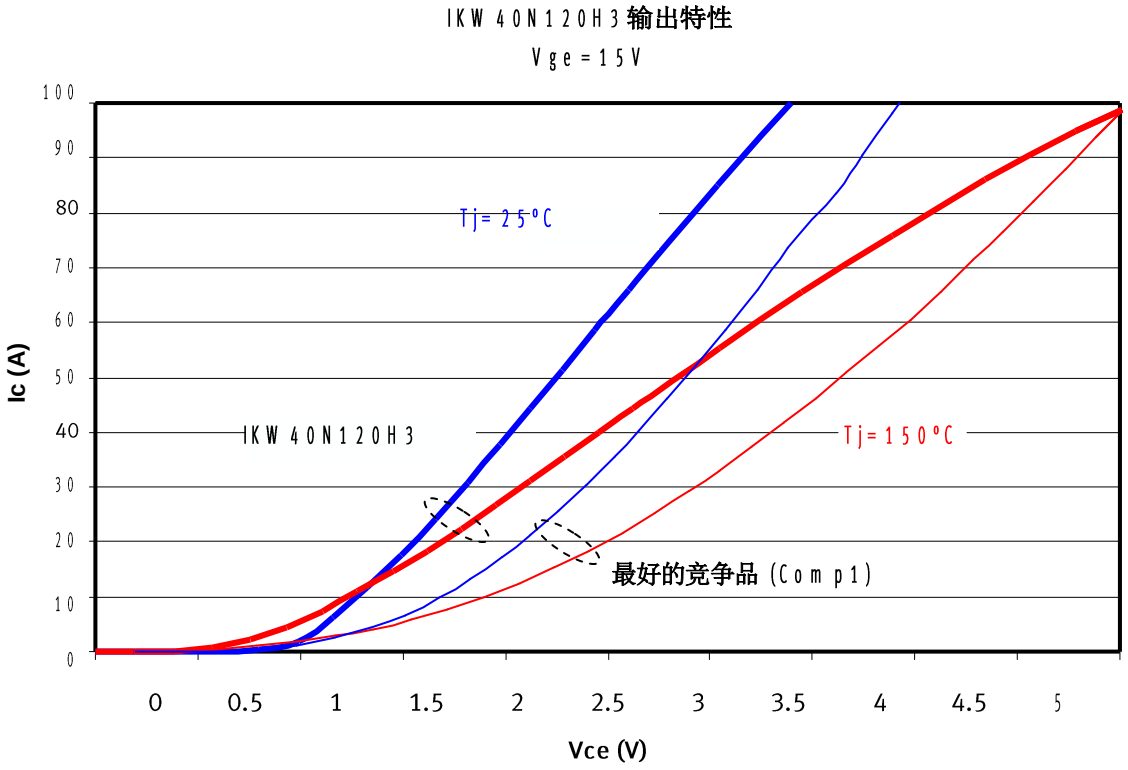


图 3：HS3 IGBT的输出特性

相对于最好的竞争品，HighSpeed 3 IGBT饱和导通电压大大减小：对于额定电流（本例子中为40A），在25℃时大约降低了500mV，在150℃时大约降低了700mV。在高温时，电流从半载到满额定载，饱和导通电压减小值基本保持不变。在实际应用中，特别是在高开关频率时，要求降额使用电流。

3.2 动态特性

HighSpeed 3是为了高开关速度而优化的，因此要考虑开通与关断过程。

3.2.1 关断

在图4中，高温时的关断波形与最佳竞品进行了对比。

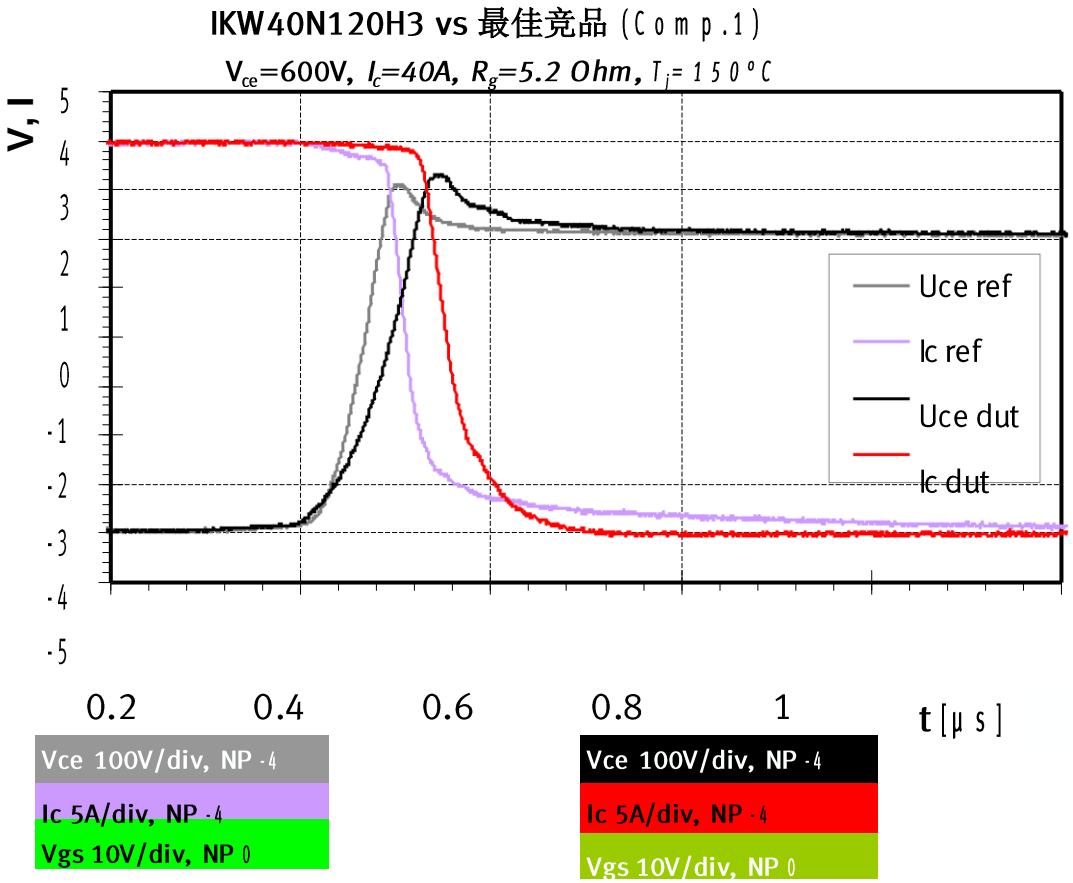


图 4：关断瞬态波形

HighSpeed 3具有更短时间的拖尾电流。在开关频率高于20KHz时，虽然每个开关周期中由拖尾电流引起的开关管损耗比较小，但是总的关断损耗累积却很大。因此，HS3 IGBT为减小IGBT的拖尾电流提供了明确发展方向。此外，从图也可看到dI/dt的变化比较平滑，没有急剧的突变。

为了说明在宽应用场合中的器件特性，研究给出如图5所示的关断损耗E_{off} 随开关电流I_c和R_g的变化关系曲线。

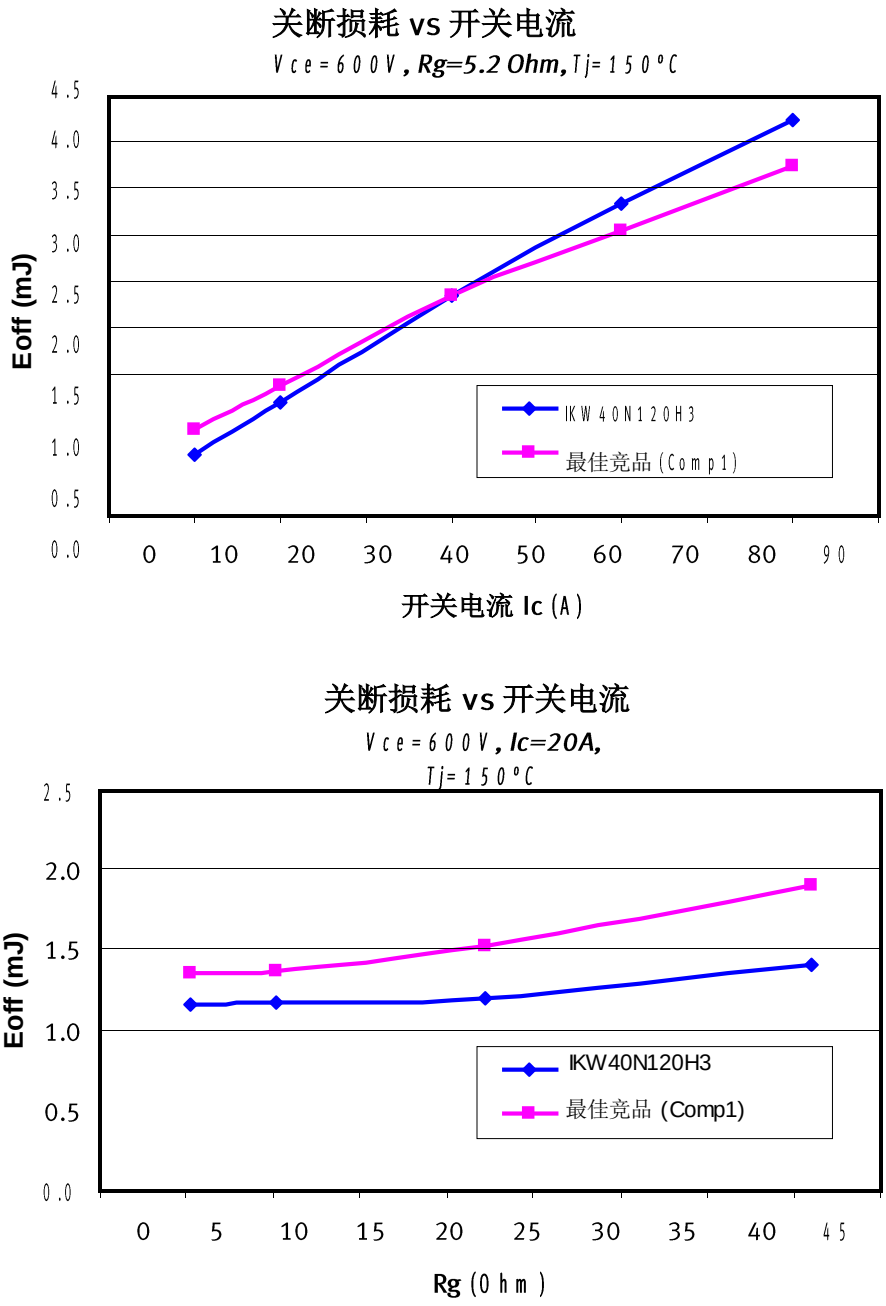


图 5： 关断损耗E_{off} 与R_g和开关电流I_c的关系

在典型的半载到满载之间工作电流下，通过在大范围内选择R_g值，HS3 IGBT可维持最低的关断损耗E_{off}。对于客户来说，这样可以保证在宽范围的使用条件下都具有较小的功率损耗。图5给出了不同竞争品饱和导通电压V_{cesat}和关断损耗E_{off}的折中值。为便于比较不同容量的器件，采用了标幺化方式。为标幺化关断损耗，每个比较的样品器件都关断采用额定R_g关断额定电路。因此，每个器件的关断损耗E_{off}都可以用关断电流来标幺化（mJ/A）。每个样品器件的V_{cesat}都是在额定电流下测量得到的。

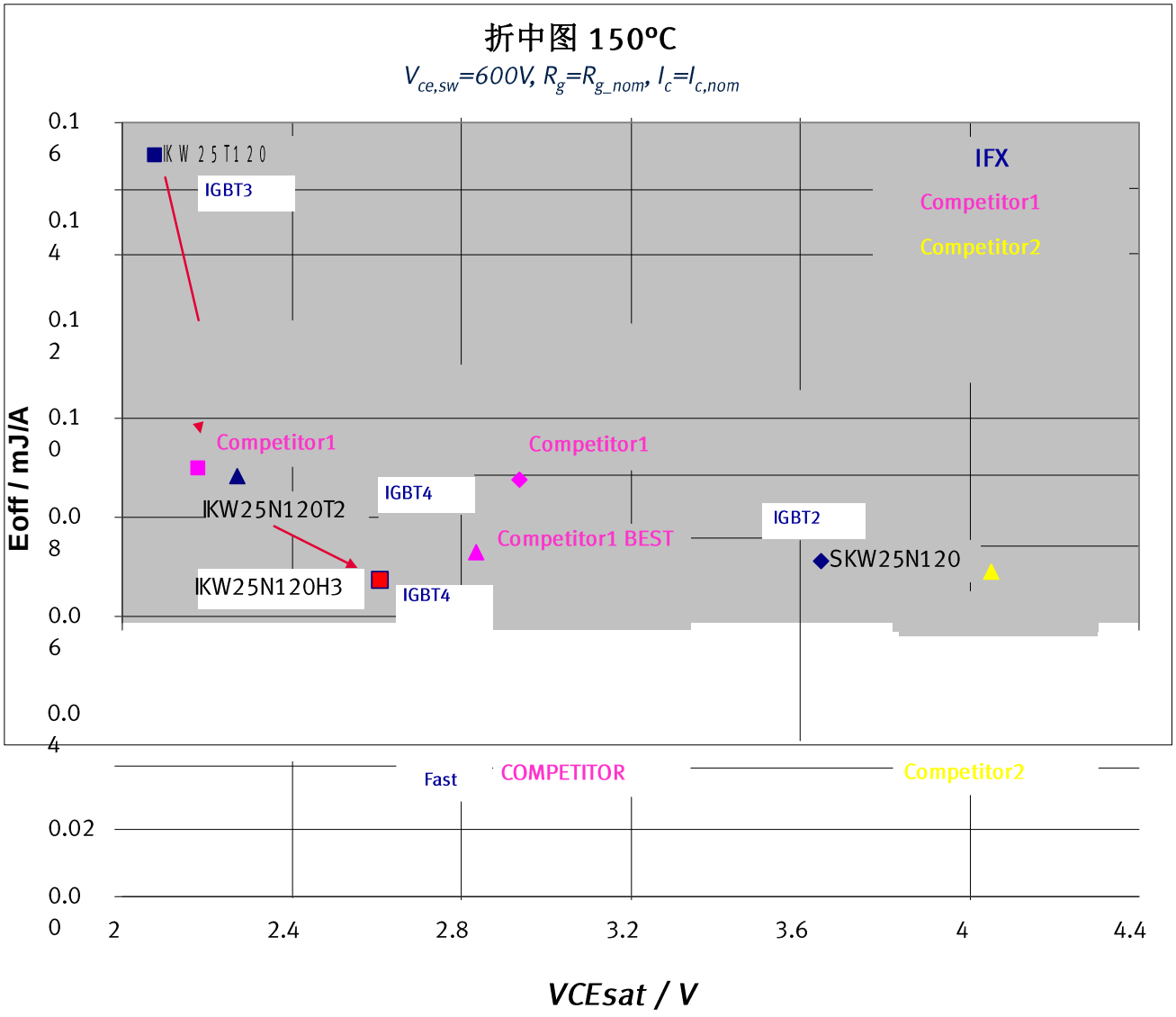


图 5：饱和导通电压V_{cesat}和关断损耗E_{off}的折中值图

工作在高频时，相比较于之前的 Trenchstop2(IGBT4)，HS3 系列IGBT（快速IGBT4）性能

有明显提高：关断损耗减小了将近40%，而饱和导通电压V_{cesat}仅增大了20%。与最佳竞争品相比，可看到HS3 IGBT有明显更优的V_{cesat}-E_{off}折中值。

3.2.2 开通

为了提高IGBT开通特性，需要并联一个快速二极管。此外，如后面将提到的，当逆变器工作在频率高于20KHz，即使在高功率因数时，二极管总损耗占比低于逆变器总损耗的15%。因此，减小这个二极管硅晶片面积可以有效节省硅片面积，从而降低产品的总成本。

HighSpeed3系列产品采用第四代发射极控制的二极管作为续流二极管：为使二极管工作电流密度提高，采用超过数据手册给定的开关条件对这个二极管的开关能力做了严苛测试。

图6是额定电流为40A的IKW40N120H3在温度175°C, 母线电压850V时关断110A电流的波形。为了增大关断电流的变化率，该IGBT保持25°C工作环境温度，并用低导通电阻（5.7 Ohm）下的23V驱动电压驱动（如图6所示）：

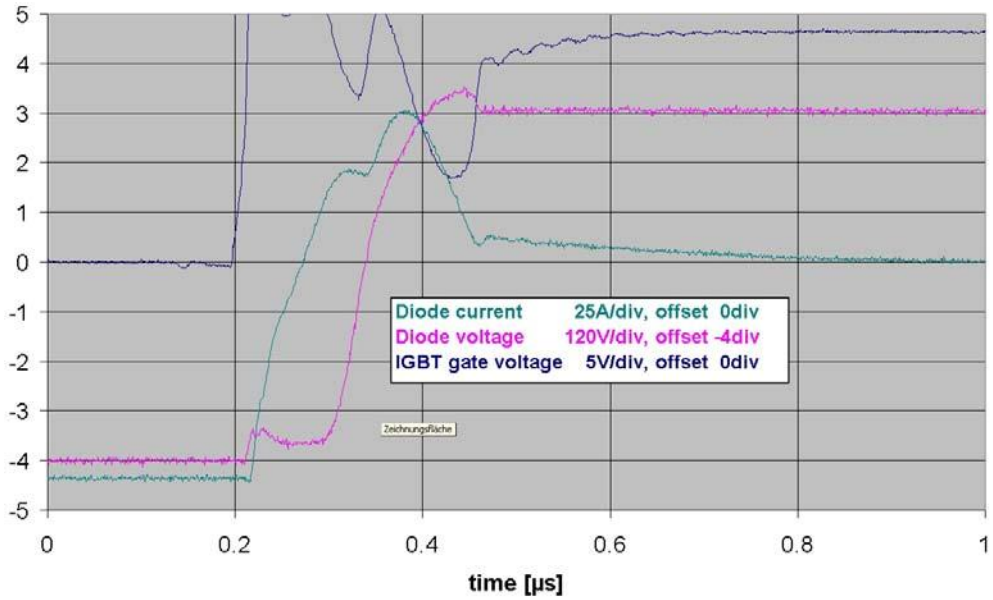


图 6: 在极端开关条件下二极管的开关换流波形

二极管在这些极端开关条件下能正常工作。

此外还做了40A HighSpeed3 IGBT开通时的严苛测试实验，该测试是在大电流、高温、850V高母线电压下进行的，其中大电流通过提高低阻R_g时的栅极驱动电压V_{ge}来提高。二极管最大功率损耗应力如图7所示：

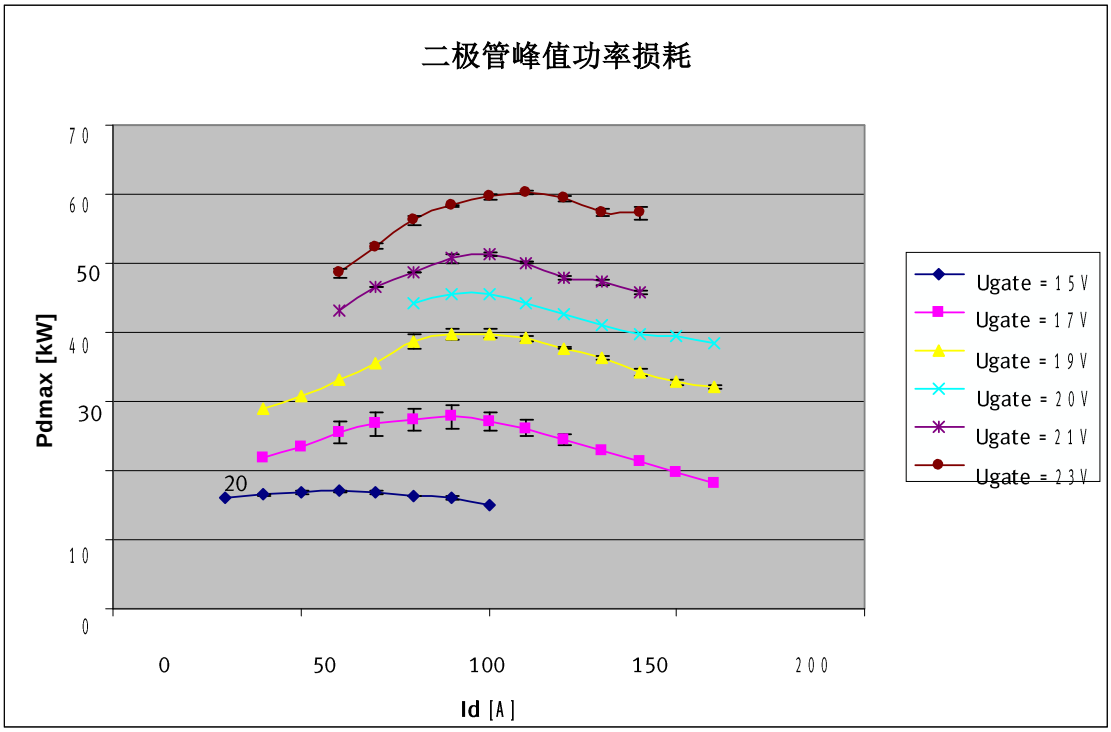


图 7： IGBT(IKW40N120H3)开通时二极管的功率损耗：V_{ce}=850V, Tj (diode) = 175°C

二极管的功率损耗应力在开关2倍额定电流时达到最大：即使在V_{ge}=23V，开关超过3倍额定电流时，二极管还是没有损坏，这说明在严苛测试条件下二极管工作有效，因此该二极管工作于高电流密度是有可能的。

4. 采用 IPOSIMTM的功率损耗仿真

采用英飞凌内部仿真软件IPOSIM™，对一个典型应用场合中由二极管和IGBT两者引起的损耗进行了仿真。该仿真是在一个感性负载输出电流为正弦波的三相逆变器电路中实现的。

测试比较TrenchsStop2、HS3的IGBT和最好的竞争品是采用额定电流40A规格的产品。测试条件是负载电流40A、母线电压600V、开关频率20kHz以及逆变器的输出电压电流功率因数范围从0.85-1，这样的功率因数是用于评估当电路中存在无功功率时二极管的开关特性。在目标应用场合，如UPS和太阳能光伏逆变器，功率因数是接近于1的。

逆变器损耗(W)

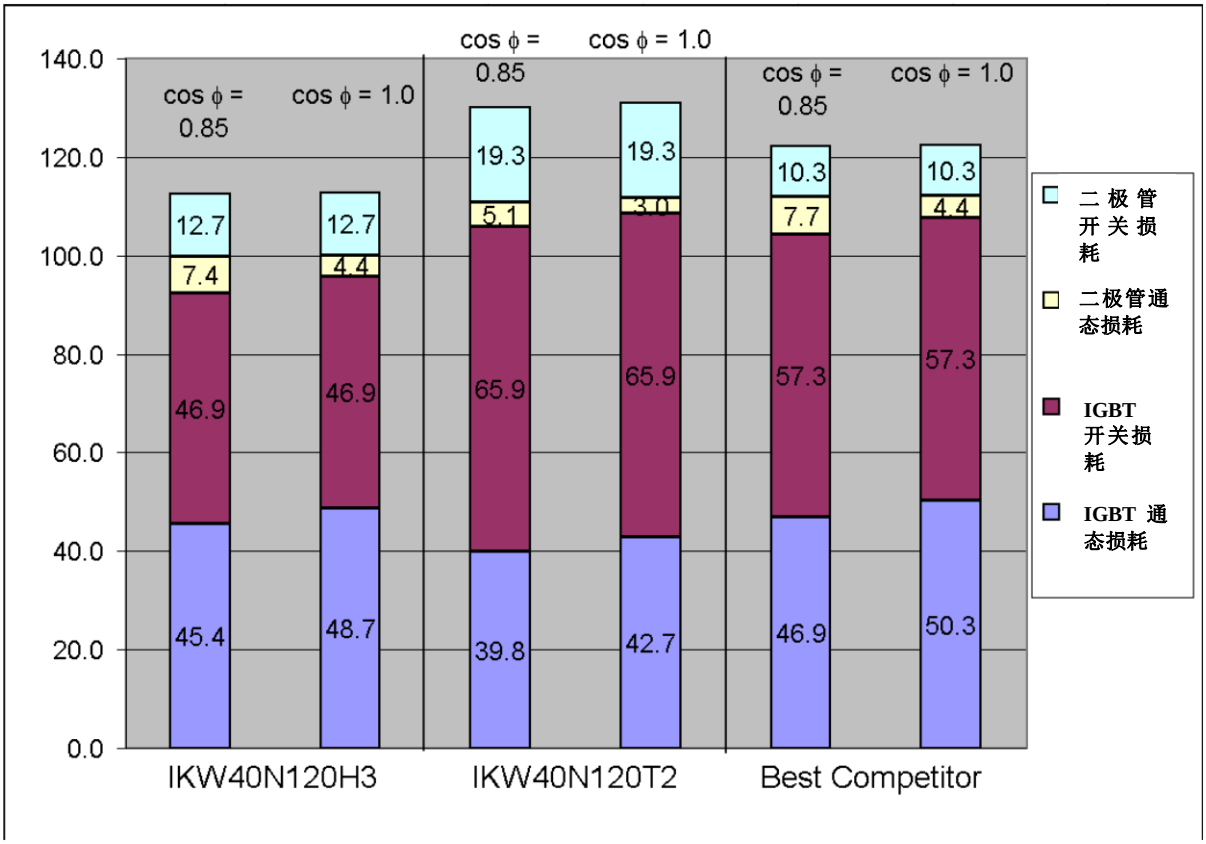


图 8：IPOSIM™ 仿真结果

测试实验结果归纳如下：

- IGBT损耗占逆变器总损耗的主要部分。
- 在频率为20KHz时开关损耗占IGBT总损耗的60%，这说明高开关频率时必须对IGBT器件进行优化设计，虽然此时饱和导通电压Vcesat引起的损耗仍然不可忽视。
- 与上一代的TrenchsStop2技术相比，HIGHSPEED3系列IGBT开关损耗减小了30%，但仅增加 16%的导通损耗。
- HIGHSPEED3系列树立了IGBT新的标杆，其损耗比目前业界最好的竞争品低了大约10%的损耗。

5. 应用实例:工作在高开关频率

评估高开关频率下HIGHSPEED3系列IGBT和业界最好的竞争品测试条件如下：

母线电压=800V

负载电流=40A

方波占空比=50%

Tjmax (IKW40N120H3) = 175°C

Tjmax(Best competitor) = 150°C

在温度T_j=150°C时的总损耗比较如图9：

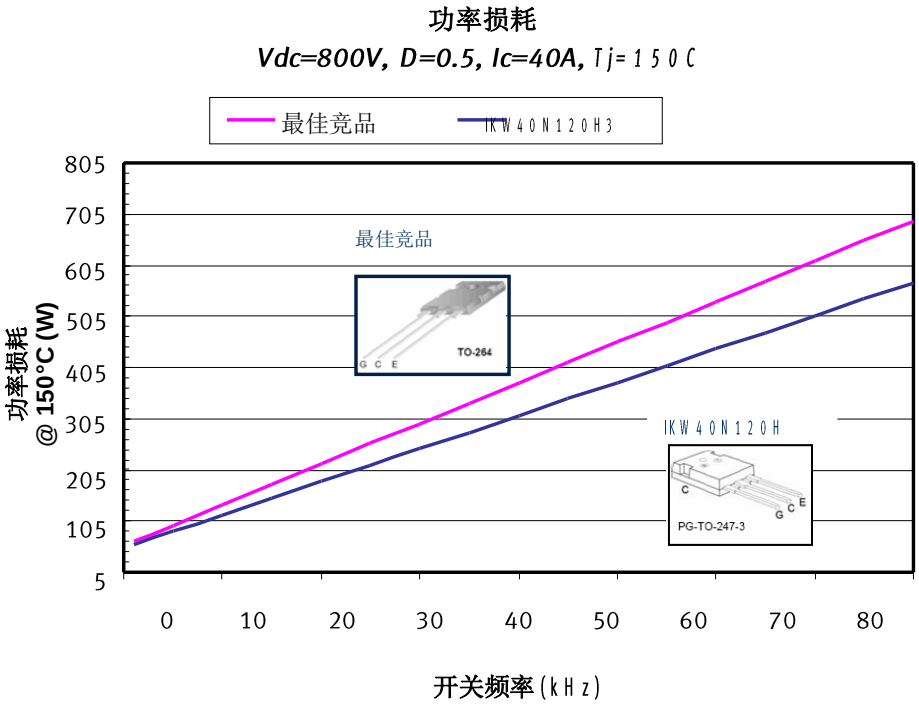


图 9：IKW40N120H3 (TO247)和业界最好的竞争品 (TO264) 的总损耗

在电流为40A, Tj=150°C时，英飞凌IFX器件的损耗比业界最好的竞争品低了15%。

从图10可看到，在开关频率高于10 kHz时，开关损耗占损耗主要部分。

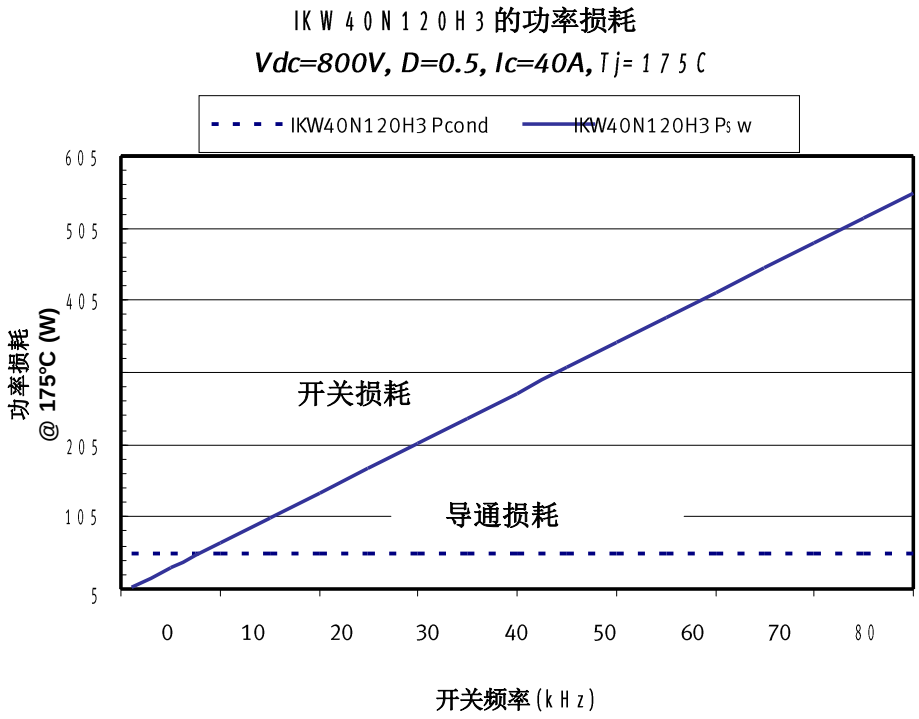


图10：开关损耗与导通损耗的关系

在T_c=100°C 、T_j=T_{jmax}设定条件下，计算得到的最大允许负载电流 (如图11)：

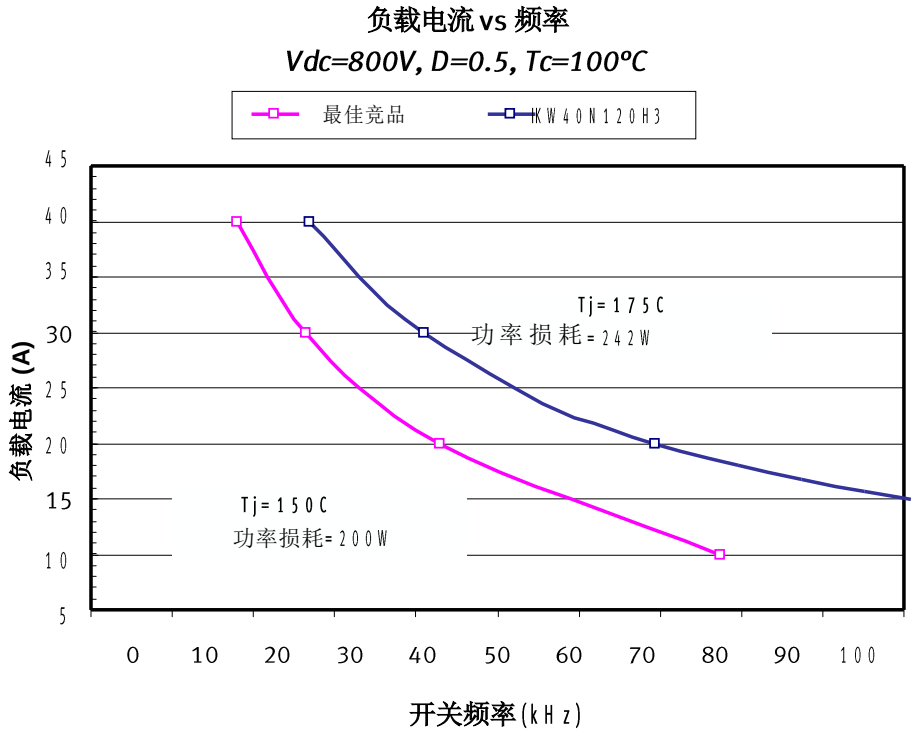


图 11：最大负载电流与开关频率之间的关系

由于有更高的T_{jmax}和更低的损耗，尽管封装更小(TO247与TO264相比，封装小了35%)，但是在T_c=100°C时，IKW40N120H3通过的负载电流比业界最好的竞争品高了50%。

在开关频率f_{sw}=70 kHz时，只要保持T_c温度低于80°C，IKW就能通过25A的峰值负载电流。

如果把直流环节的直流母线电压降低到800V以下，HIGHSPEED3 IGBT可以通过更大的负载电流。例如在V_{dc}=600V, $T_{c,max}$=64°C 时，IGBT通过的电流I_c可进一度提高到35A (如图12)

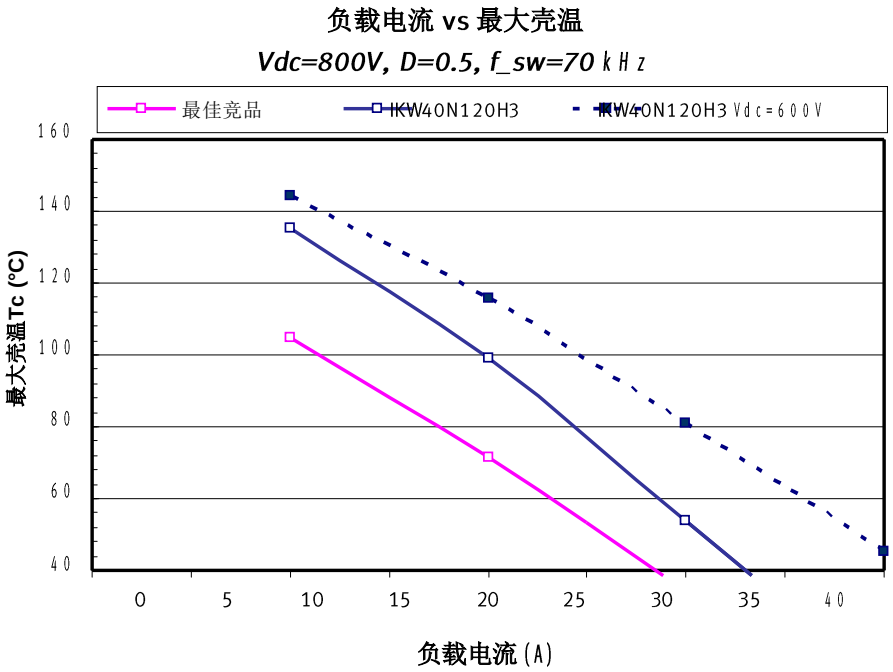


图 12：开关频率f_{sw}=70 kHz时，HIGHSPEED3 IGBT可以通过的最大负载电流与母线电压V_{dc}的关系

www.infineon.com/igbt

英飞凌科技出版 AG