

TRENCHSTOP™ IGBT7 1200 V T7

应用指南

关于本文档

范围和目的

对于 IGBT 模块，变速驱动器是最重要的应用。驱动器应用中的一个主要主题是由于电机绝缘系统的固有局限性而导致的开关速度限制。因此，开关倾斜 (dv/dt) 限制于 2 至 10 kV/ μ s 范围内，典型目标值为 5 kV/ μ s。此外，电机过载通常只需要很短时间，例如为了在启动时提供初始分离扭矩。英飞凌最新的 1200 V TRENCHSTOP™ IGBT7 和由发射极控制的二极管 EC7 技术解决了这些要求。IGBT7 基于新的微模式沟槽技术，可以提供远远低于 IGBT4 的导通损耗。提供高水平的可控性，在短期过载条件下能够在 175°C 温度下运行。此应用指南介绍 1200 V TRENCHSTOP™ IGBT7 T7 和由发射极控制的二极管 EC7，阐述了各个芯片及其特性。此外，它还提供了一些应用示例，为工程师应用这些新器件提供支持。

目标受众

此应用指南面向想要获取 TRENCHSTOP™ IGBT7 1200 V T7 介绍的用户。

内容

	关于本文档	1
	内容	1
1	简介	3
1.1	说明	3
1.2	IGBT7 概述	3
1.3	芯片技术	4
1.4	模块技术	5
2	TRENCHSTOP™ IGBT7 的应用	7
2.1	开关速度 dv/dt 优化	7
2.1.1	电机绝缘应力	7
2.1.2	定义: dv_{CE}/dt	7
2.1.3	可控 dv/dt	8
2.1.4	如何选择 R_G 和优化的 dv/dt	8
2.1.5	附加栅极电容器的影响	9
2.1.6	更高的栅极电荷	9
2.2	最大结温高达 175°C	9
2.2.1	175°C 工作结温定义	9
2.2.2	针对更高 IGBT 工作温度的系统温度限制	10
2.2.2.1	机架温度限制	11
2.2.2.2	PCB 温度限制	11
2.2.2.3	散热器温度限制	11
2.3	短路保护	11

2.3.1	短路保护定义	11
2.3.2	短路时间降额曲线	12
2.4	IGBT7 在驱动器应用中的使用寿命注意事项	12
3	TRENCHSTOP™ IGBT7 的优势	14
3.1	应用示例	14
3.2	选择用于通用驱动器的功率模块	16
3.3	逆变器测试	17
3.4	结论	17
	参考	18
	修订历史记录	19
	免责声明	20

1 简介

1 简介

1.1 说明

以下信息仅作为器件实施的参考，不应视为对器件特定功能、状况或质量的描述或保证。本应用指南旨在提供对 TRENCHSTOP™ IGBT7 模块数据表中给定的参数和图表的解释。它为电力电子系统设计师提供背景信息，并对数据表中的信息进行详细阐明。

1.2 IGBT7 概述

英飞凌的 1200 V TRENCHSTOP™ IGBT7 基于最新微沟槽栅技术，可以提供大幅降低的损耗和高水平控制能力。该芯片专门针对工业驱动应用进行了优化，换言之，可以降低静态损耗、提高功率密度以及提供更佳的开关软特性 [1]。此外，通过将允许的最大芯片工作温度升高至 175°C，功率密度得以显著增加。图 1 中突出显示的关键益处包括：

- 更低的导通电压 $V_{CE(sat)}$ 和 V_f
- $T_{vj,op} = 175^\circ\text{C}$ （过载期间）
- 可控性增强的 dv/dt
- 优化的开关损耗 ($dv/dt = 5 \text{ kV}/\mu\text{s}$)
- 8 μs 短路鲁棒性
- 改进的 FWD（续流二极管）柔软度

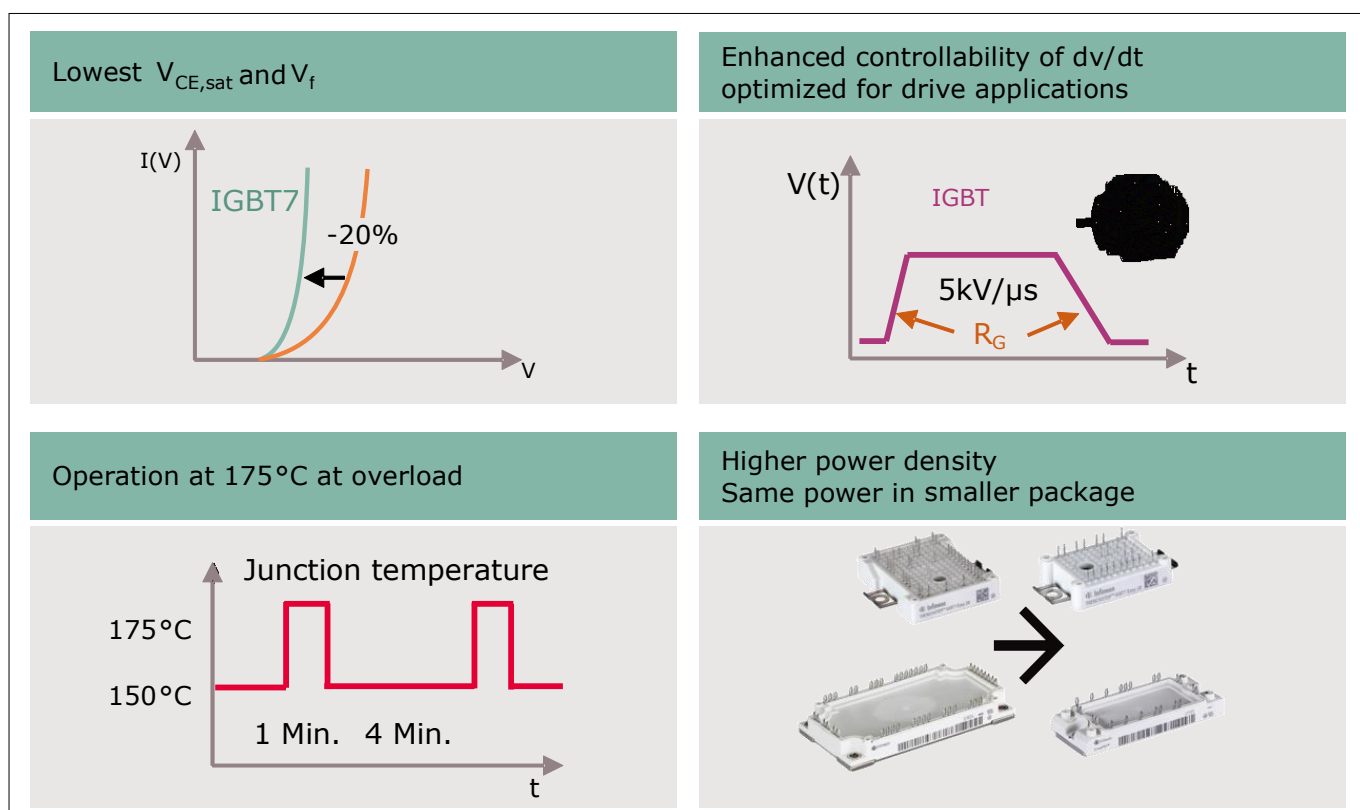


图 1 TRENCHSTOP™ IGBT7 的关键技术优势

1 简介

1.3 芯片技术

对于这一代 IGBT (IGBT7), 使用了基于微沟槽栅 (MPT) 的 IGBT 结构。与以前使用的方形沟槽单元相比, 此单元概念的特点是采用亚微米台面 [2] 分隔的平行沟槽单元。图 2 显示了 MPT 结构示意图以及可能的沟槽设计。对于栅极区域之间具有较小间距和窄台面的沟槽单元, 靠近发射极的载流子存储显著增加。因此, 漂移区的电导率显著增加, 从而导致正向电压显著降低。

图 3 显示了 1200 V IGBT7 T7 和上一代英飞凌 IGBT 芯片的最终折衷点。与上一代 IGBT4 相比, IGBT7 显示出几乎相同的关断损耗, 但在降低静态损耗方面迈出了一大步。与 IGBT4 T4 芯片相比, 其导通电压大约降低了 20%。这使得最终应用损耗显著降低, 特别是对于通常以中等开关频率运行的工业驱动器应用。

IGBT 本身以及 IGBT7 的续流二极管 (FWD, 即由发射极控制的二极管 EC7) 都是为驱动器应用量身定制。与以前由发射极控制的二极管 EC4 相比, 其正向电压降降低了 100 mV, 反向恢复柔软度也有所改进 [1]。

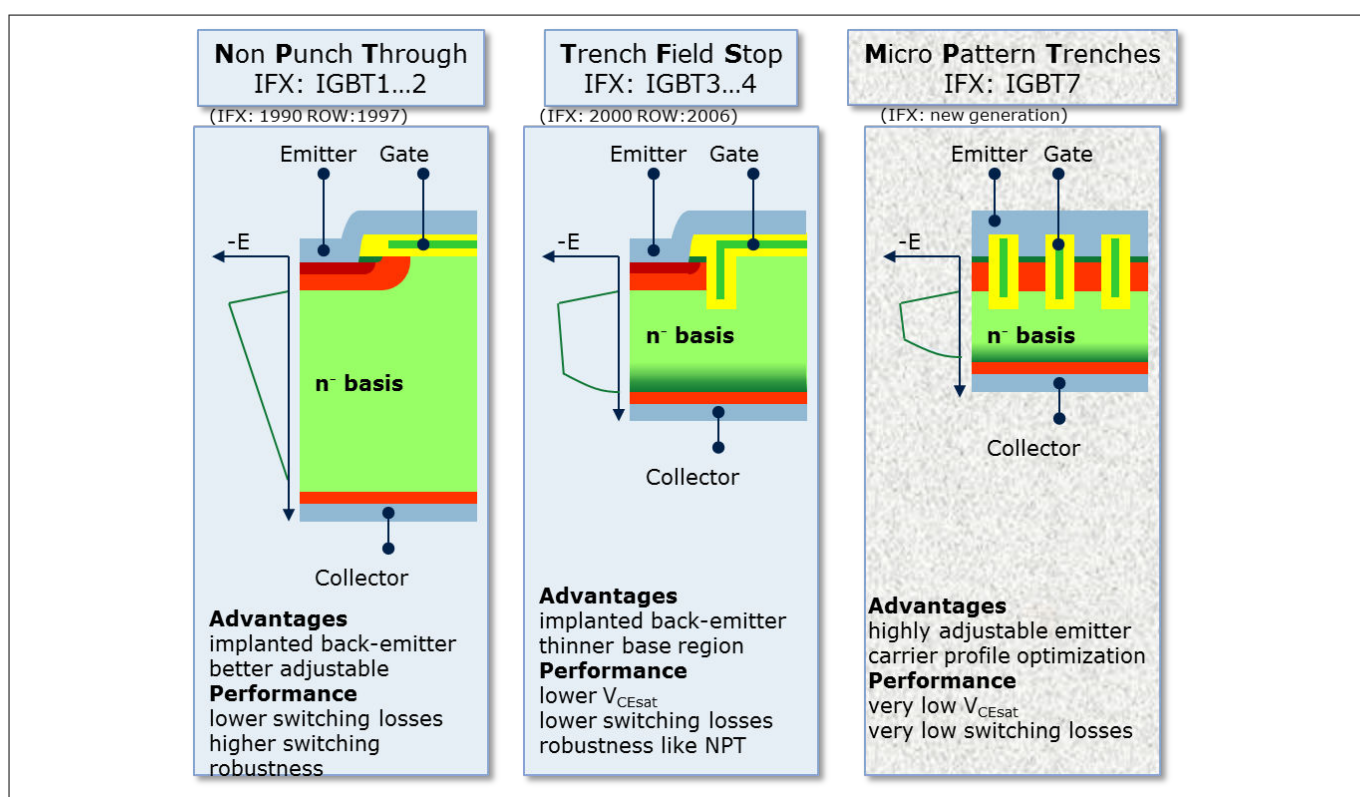


图 2 芯片技术概览

1 简介

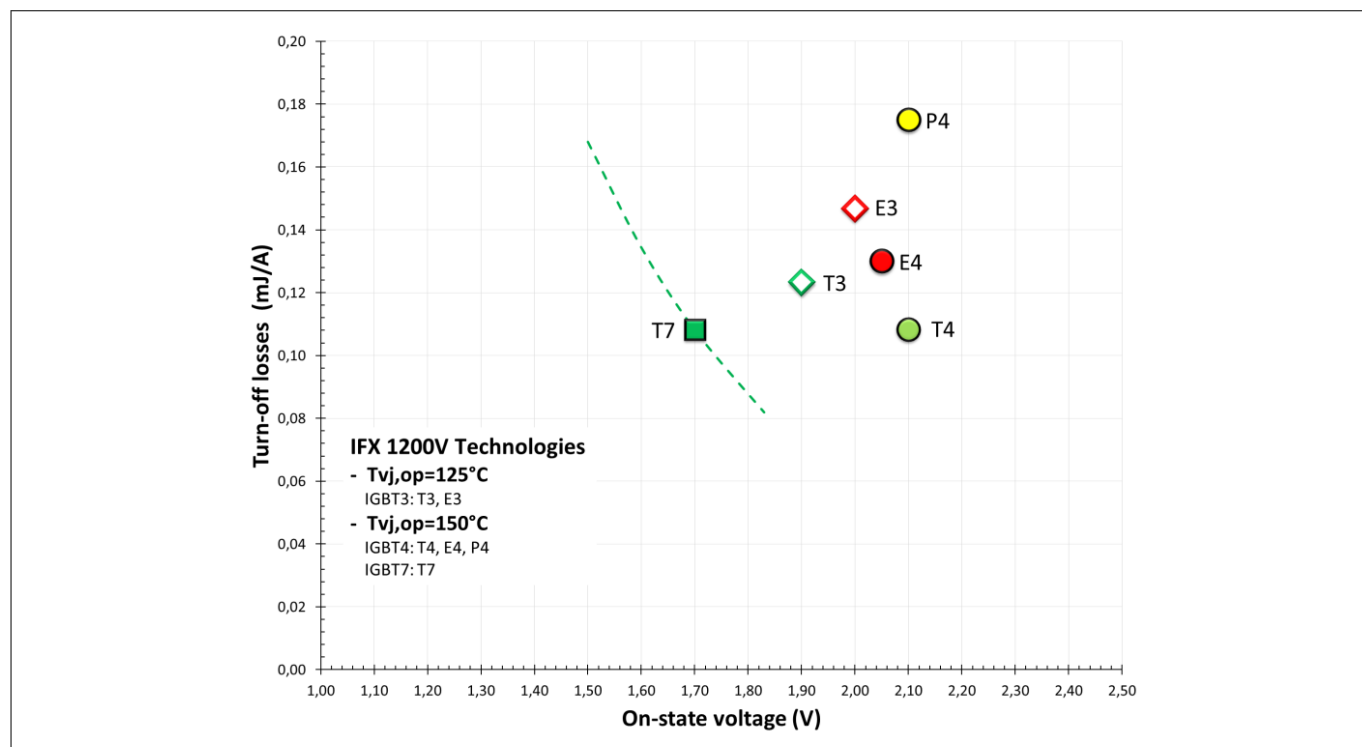


图 3 适用于工业驱动器的英飞凌各代 IGBT 折衷图

1.4 模块技术

TRENCHSTOP™ IGBT7 1200 V T7 已推出可靠的 Easy 和 Econo 封装版本。第一批使用此 IGBT 技术的产品可在图 4 中查看。Easy 和 Econo 平台在 PIM 和 SixPACK 配置中提供更大的功率密度，从而提供功率扩展并允许封装越级，以更小的封装提供相同电流。

1 简介

	Package	10A	15A	25A	35A	50A	75A	100A
PIM	EasyPIM™ 1B 			★				
	EasyPIM™ 2B 					★		
6-pack	EasyPACK™ 1B 					★		
	EasyPACK™ 2B 							★

	Package	25A	35A	50A	75A	100A	150A	200A	300A
PIM	EconoPIM™ 2 					★			
	EconoPIM™ 3 							★	
6-pack	EconoPACK™ 2 						★		
	EconoPACK™ 3 								★

★ Framesize jump

★ Power Extension

 All modules will be also available with TIM.

图 4 用于 Easy 和 Econo 封装的 TRENCHSTOP™ IGBT7 产品组合

2 TRENCHSTOP™ IGBT7 的应用

2 TRENCHSTOP™ IGBT7 的应用

此部分介绍 IGBT7 功率模块设计的主要方面，以及与 IGBT4 相比的主要技术差异。其中包括：

- 优化的开关 dv/dt 速率
- 最大工作结温高达 175°C
- 针对驱动器应用量身定制的短路能力

英飞凌工业功率模块应用的一般指南及其数据表说明可在 [3] 和 [4] 中找到。

2.1 开关速度 dv/dt 优化

2.1.1 电机绝缘应力

由逆变器提供典型脉冲宽度调制 (PWM) 电压信号的电机，其绝缘系统将承受更高的电应力。此外，产生的由转子流至电机机架的寄生电流可能会导致轴承损坏。这些影响是半导体开关事件 (t_r) 的脉冲上升时间导致 dv/dt 的 PWM 脉冲所致。使用较长电机电缆会导致电机端子处出现更高的峰值电压。所谓的“关键电缆长度” $l_{cable,crit}$ 是指电机端子电压达到逆变器输出电压两倍时逆变器和电机之间的电缆长度。假设电缆中的行波传播速度为 150 m/ μs ，脉冲上升时间为 t_r 0.1 μs ，则关键电缆长度将为 [5]： $l_{cable,crit} = 0.1 \mu s \cdot 0.5 \cdot 150 \text{ m}/\mu s = 7.5 \text{ m}$ 。

由此产生的尖峰电压和上升时间可能导致产生电弧，并最终导致线圈绝缘故障。因此，电机制造商通常会建议，对于 400 V 电机，最糟糕情况下逆变器端子处不要超过 dv/dt 限值（约 5 kV/ μs ） [6]。

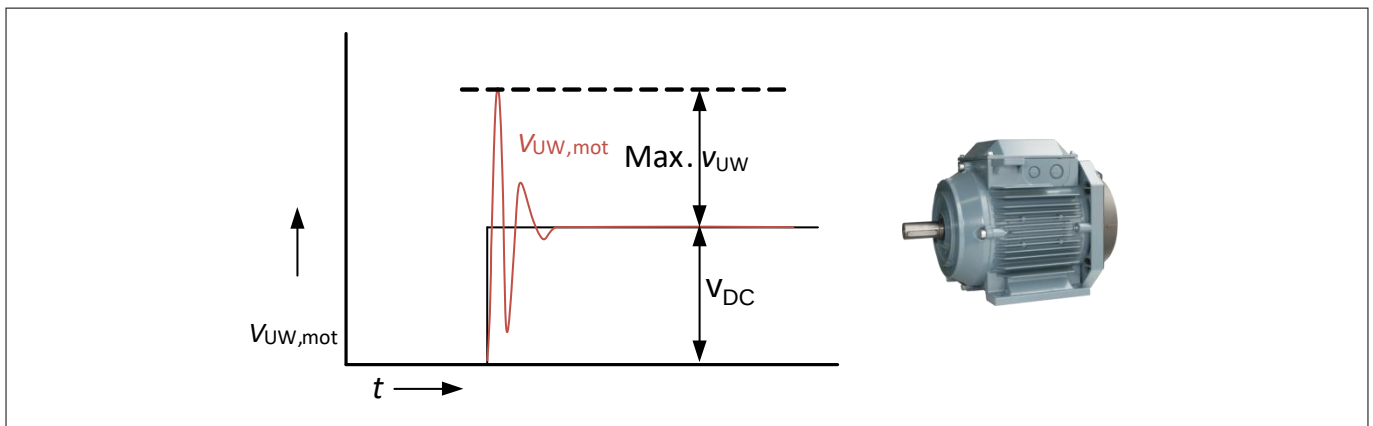


图 5 电机端子处的电压波形示例

2.1.2 定义： dv_{CE}/dt

对于沟槽栅极结构 IGBT，随着负载电流和结温的降低，导通期间开关速度 dv/dt 会升高。设置栅极电阻器的值时，调节开关速度的常用方法是考虑在结温 25°C I_{Cnom} 且标称母线电压 [7] 下标称模块电流的 10% 时发生导通事件。随着负载电流的增大，关断期间的开关速度加快，因此关断栅极电阻器的值可设置为标称电流的 100%。

IGBT 的开关速度定义为 $dv/dt = \Delta V_{CE} / \Delta t_r$ 。电压和时间差值可通过两种不同方法来确定。最常用的方法是使用静态 90% 和 10% 的直流母线电压值（如 图 6a 所示）。另一种方法是定义 20% 移动窗口，并确定最大变化率（如 图 6b 所示）。此定义称为 dv/dt_{max} 并可视其为最坏情况下的尺寸确定方法。就 EMI 而言，此定义也很有帮助。

请注意，曲线形状还取决于测试设置中栅极驱动器的杂散电感、栅极电阻器的值以及寄生电容的值。

2 TRENCHSTOP™ IGBT7 的应用

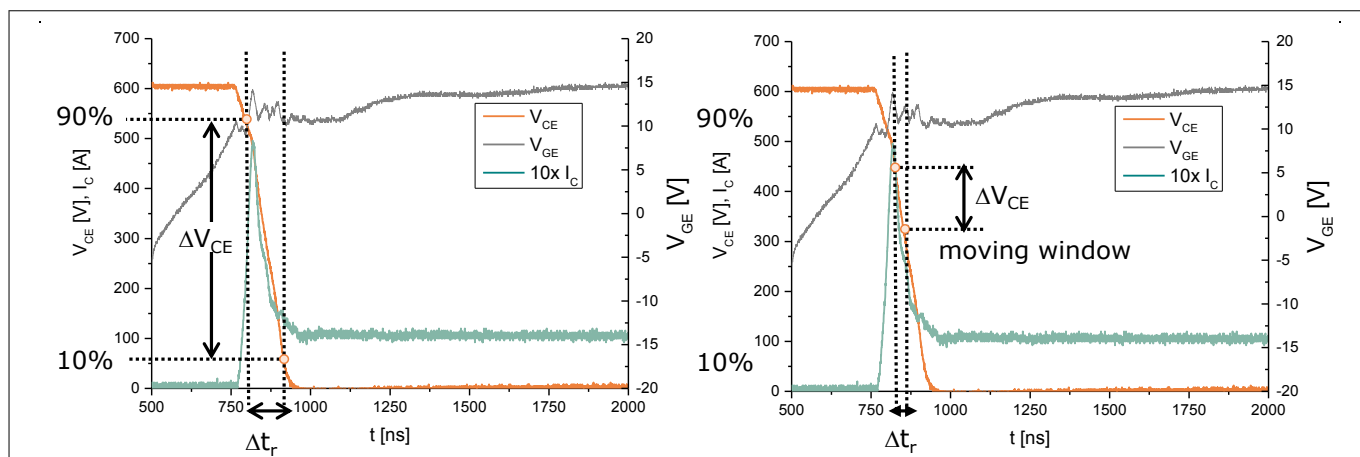


图 6 导通开关曲线示例: a) dv/dt_{10-90} 定义 b) dv/dt_{max} 定义, 针对以下条件的 FS100R12W2T7: $10\%I_{Cnom}$, $T_{vj} = 25^\circ C$

2.1.3 可控 dv/dt

设计工业驱动器时, 必须根据电机绝缘要求或者 EMI 的限制来调节电压斜率 dv/dt (第 2.1.1 章), 这一点非常重要。为此, TRENCHSTOP™ IGBT7 提供高水平的可控性。可控性对应于设备改变 dv/dt (通过调节栅极电阻器 (R_G) 的值) 的能力。反之, 这会影响总开关损耗 (E_{tot}) [1]。

举个例子, 图 7 描述了对于模块 FS100R12W2T7, IGBT 的 dv/dt 随栅极电阻 R_G 的变化关系。在标称 $R_G 1.8 \Omega$ 时, 关断 dv/dt_{10-90} 已低于 $5 \text{ kV}/\mu\text{s}$, 导通 dv/dt_{10-90} 非常接近此限值。随着 R_G 增加, 导通和关断 dv/dt 会降低。尤其是导通 dv/dt 会在 R_{gon} 位于 $2 \text{ kV}/\mu\text{s}$ 至 $8 \text{ kV}/\mu\text{s}$ 范围内时显著降低。这意味着 R_G 比数据表中的标称 R_G 稍大时, dv/dt 可以低于 $5 \text{ kV}/\mu\text{s}$ 。

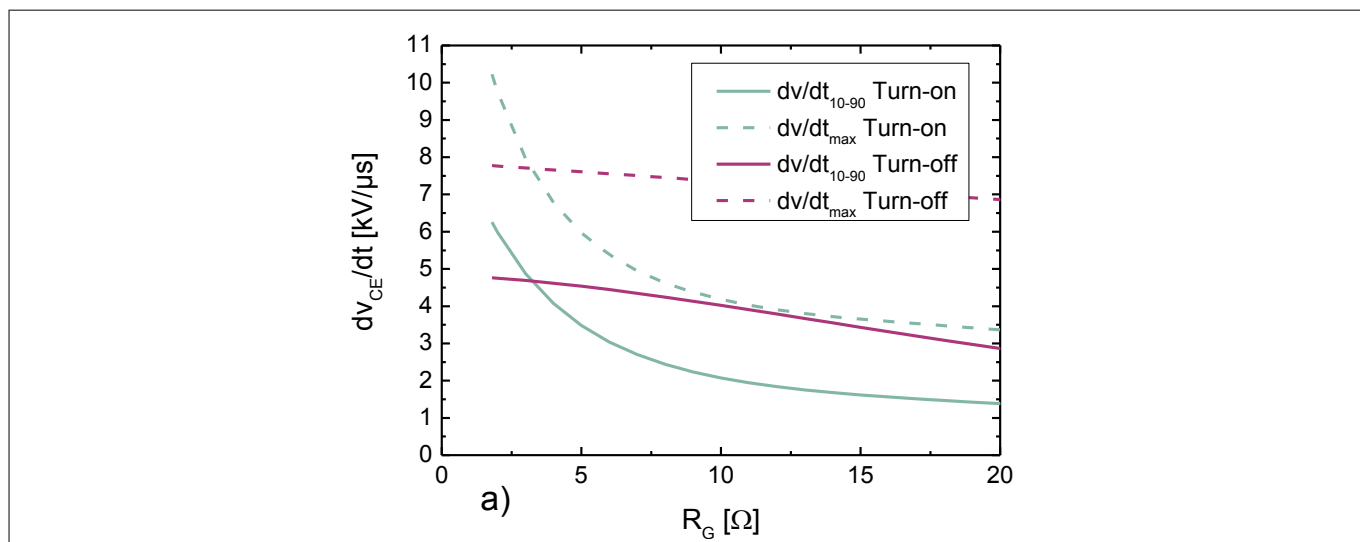


图 7 对于 FS100R12W2T7, IGBT dv/dt 与栅极电阻器 R_G 的关系

2.1.4 如何选择 R_G 和优化的 dv/dt

只有按 10-90% 定义的 dv/dt (dv/dt_{10-90}) 值在 TRENCHSTOP™ IGBT7 数据表中予以指明。按 10-90% 定义的 dv/dt_{10-90} 需要在特定限值内, 以保障电机使用寿命。数据表 dv/dt 图表显示了导通 dv/dt 和关断 dv/dt 随栅极电阻器 R_G 的变化关系。导通 dv/dt 曲线是在 10% 标称电流和室温下指定的, 关断曲线是在标称电流和室温

2 TRENCHSTOP™ IGBT7 的应用

下指定的。应注意， dv/dt 水平（特别是关断 dv/dt ）不是绝对值，而且受最终测试设置影响。因此，它只是提供一个指示，需要在最终应用中进行验证。

根据目标 dv/dt ，可以从数据表图表中读出相应的 R_G 。更高的 R_G 必然可以获得更低的 dv/dt 。导通损耗 E_{on} 相对于导通栅极电阻器 R_{gon} 显著增加。考虑到功率损耗降低，最好选择更低的 R_{gon} 。有了 IGBT7 对导通 dv/dt 的强大控制能力，可以使用较小的 R_{gon} 以实现低导通损耗，同时使导通 dv/dt 保持在规格内。关断栅极电阻器 R_{goff} 对关断损耗 E_{off} 的影响非常小。更大的 R_{goff} 可用于在开关损耗增加不明显的情况下获得较低的 dv/dt 。

2.1.5 附加栅极电容器的影响

IGBT 栅发射极电容器 (C_{GE}) 和栅集电极电容器 (C_{GC}) 经过优化，以让 IGBT7 可以完全控制 dv/dt 并具有优化的开关波形。此外， C_{GE} 设计得足够大，以避免发生寄生导通效应。这样就不需要附加栅极电容器。不过，仍应检查使用零电压关断时的寄生效应。最糟糕的寄生导通情况发生于最低 R_{Gon} 和最高 R_{Goff} 时。附加栅极电容器会增加栅极谐振的风险，并且会提高栅极驱动器的供电要求。

2.1.6 更高的栅极电荷

为实现对 dv/dt 的良好控制能力并避免寄生，IGBT7 显示出比前一代 IGBT4 更高的栅极电荷 (Q_G)。应检查驱动功率，以确保电源和驱动电路具有足够的功率额定值。所需驱动功率 (P_{Gdr}) 可使用以下等式计算。等式中使用的 Q_G 应根据应用的驱动器输出电压进行选择 [4]。

$$P_{Gdr} = Q_G \times (V_{GE(on)} - V_{GE(off)}) \times f_{sw}$$

2.2 最大结温高达 175°C

2.2.1 175°C 工作结温定义

TRENCHSTOP™ IGBT7 T7 允许过载情况下在温度 $T_{vjop} = 175^\circ\text{C}$ 条件下工作 [8]。这满足驱动器应用的典型要求，在此应用中，只需要短期的高电流和温度。

图 8 显示了 IGBT7 开关条件下所允许工作结温的定义。正常工作时，最大结温为 150°C 。过载条件下，最大结温可超过 $T_{vjop} = 150^\circ\text{C}$ ，最高可达 $T_{vjop} = 175^\circ\text{C}$ ，且最长持续时间 $t_1 = 60$ 秒。 T_{vjop} 高于 150°C 的过载持续时间必须处于负载循环时间 (T) 的 20% 以内，例如 $t_1 = 60 \text{ s} / T = 300 \text{ s}$ 。与最大值 $T_{vjop} = 150^\circ\text{C}$ 相比，使用此增强的结温能力可以实现更高的功率密度，但也会导致散热器温度升高。

2 TRENCHSTOP™ IGBT7 的应用

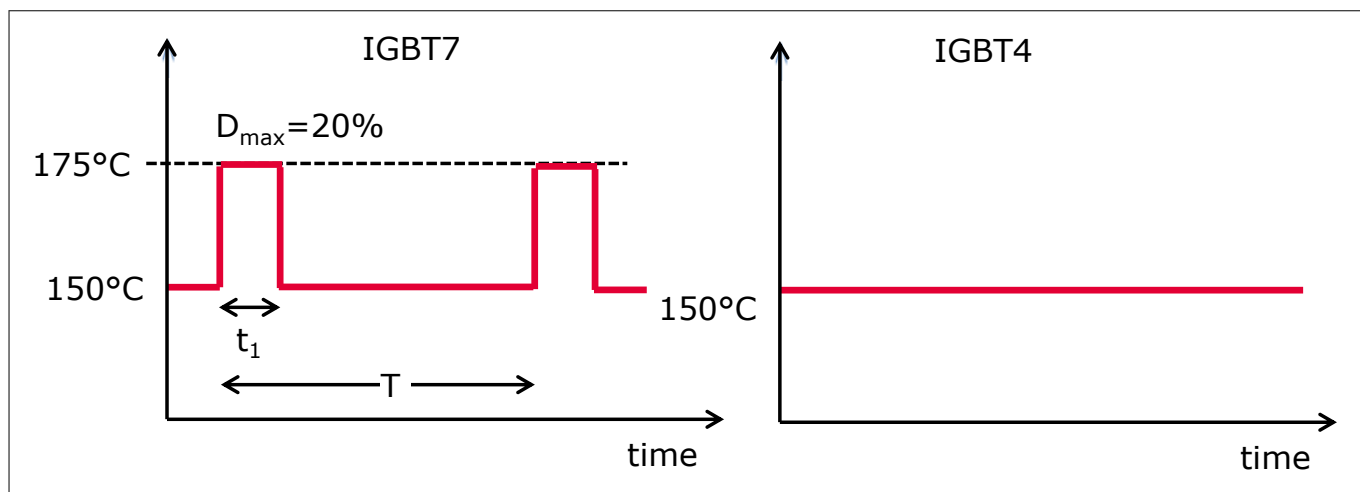


图 8 IGBT7 和 IGBT4 的最大工作结温定义

图 8 中所示的最大温度定义应视为最大 T_{vjop} 限值，其中包含因基本输出频率引起的温度波动。图 9 提供了两个结温曲线示例。在图 9a 中， T_{vjop} 超过 150°C 达 $t_1 = 50$ s。在 $T = 300$ s 循环的余下时间低于 150°C。因此，占空比为 16.7%。从最大工作结温角度而言，此情况是允许的。图 9b 中显示了另一示例。在此案例中，温度 150°C 超过整个负载曲线期间的最大结温曲线。因此，此操作将不被允许。

应用中允许温度超过 150°C 的时间总和取决于散热器的时间常数。此外，在边界条件下，此负载曲线的过度运行时间超过数百小时可能会导致模块外壳上出现硅油痕迹。如果计划长时间使用此类负载曲线，请联系您的英飞凌支持渠道以就此规范执行详细分析。

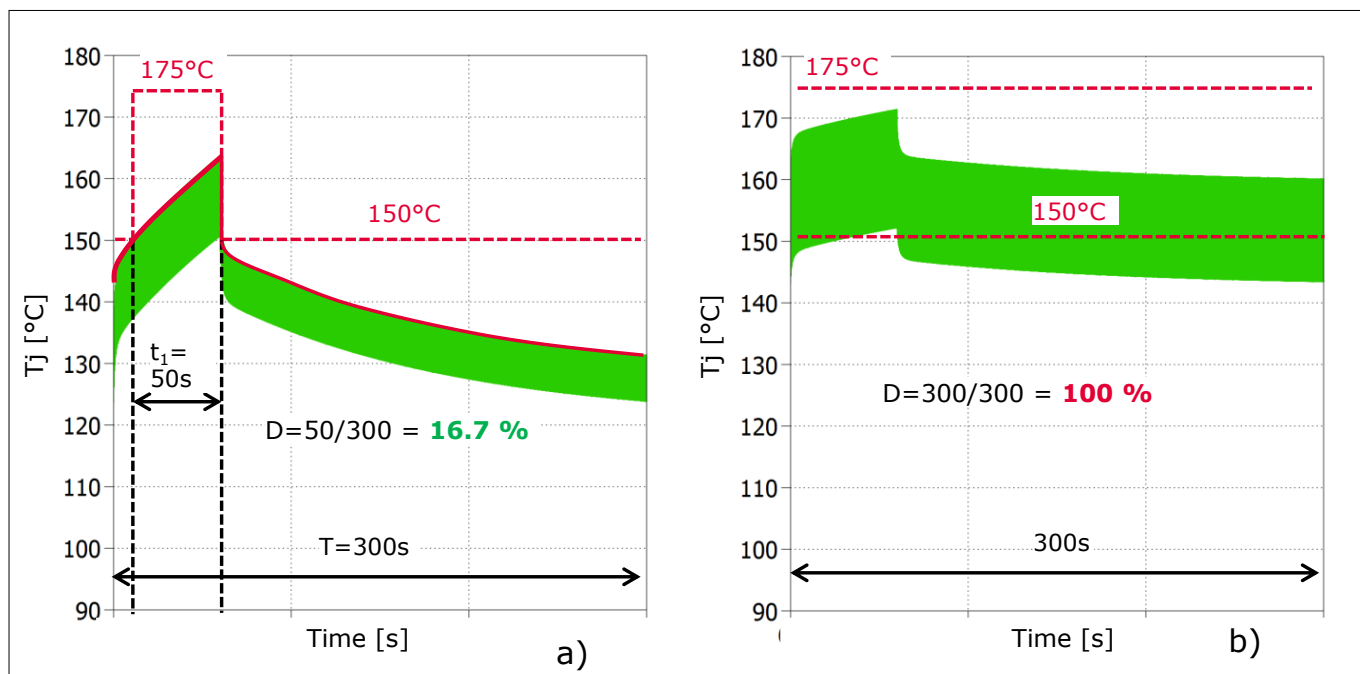


图 9 A) 允许和 b) 不允许 175°C 结温运行的示例

2.2.2 针对更高 IGBT 工作温度的系统温度限制

TRENCHSTOP™ IGBT7 允许工作结温比 IGBT4 高 25°。有赖于此特性，使用 IGBT7 的系统具有更高的功率密度和元件温度，例如 PCB、散热器和模块机架。应考虑如下所述的若干限制。

2 TRENCHSTOP™ IGBT7 的应用

2.2.2.1 机架温度限制

RTI（相对温度指数）值在数据表中指定。此值是与塑料材料热降解有关的特征参数。运行期间，模块机架温度不应超过此值。否则，将违反 UL 标准评级。

2.2.2.2 PCB 温度限制

由于结温增加，系统的功率密度可以更高。这意味着流经每个引脚的电流会增加，因为 IGBT7 和 IGBT4 PIM 模块的引脚相同。由于电流增加，应谨慎考虑 PCB 温升。允许的最大 PCB 温度取决于 PCB 材料本身。增加铜层厚度、增加走线宽度、增加层数以及系统冷却均有助于降低 PCB 温度。

2.2.2.3 散热器温度限制

散热器温度不应超过热界面材料的允许工作温度。如果模块预涂英飞凌的热界面材料 TIM [10]，则值为 150°C。

2.3 短路保护

IGBT7 的短路耐受时间 t_{sc} 定义为 $t_{sc} = 8 \mu s$ （温度 $T_{vjop} = 150^\circ C$ ）。由于此短路耐受时间比 IGBT4 的 $10 \mu s$ 略有缩短，IGBT7 性能得到进一步提升，使系统能够展示更低的功率损耗和更佳的热性能。

2.3.1 短路保护定义

数据表中规定的短路耐受时间 t_{sc} 是基于 IGBT 桥臂直通模式，如 图 10a 所示。短路回路阻抗很低，使短路电流立即达到饱和水平。短路耐受时间是从上升沿处短路电流的 10% 至下降沿处短路电流的 10% 计算。更多详细信息可从 [4] 获取。

对于通常具有较高短路阻抗的电机相间短路，短路电流会因该阻抗而缓慢上升。IGBT 将首先进入饱和模式，只有在短路电流达到饱和水平时，IGBT 才会进入退饱和状态，且 V_{CE} 电压升高至直流母线电压。在此类短路模式中，短路时间从 V_{CE} 直流母线电压 20% 时退饱和上升沿至短路电流下降沿的 10% 计算。从短路事件开始，到 IGBT 进入硬退饱和状态之前， V_{CE} 电压都较低，因此芯片中的损耗没有此阶段的高，在此阶段 IGBT 呈现出更高的 V_{CE} 电压。因此，此初期不包含在短路时间内。

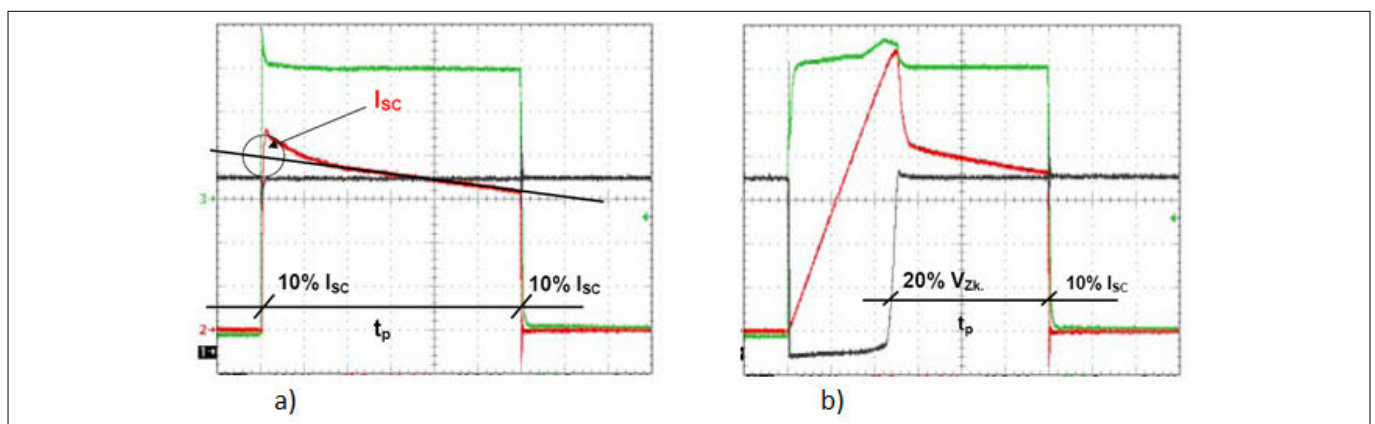


图 10 A) 短路定义 A b) 短路定义 B

2 TRENCHSTOP™ IGBT7 的应用

2.3.2 短路时间降额曲线

短路耐受时间很大程度上取决于应用条件，如栅极电压、短路时的结温以及直流母线电压。栅极电压越高，IGBT 短路电流水平越高，这将导致短路耐受时间缩短。较高的短路启动温度和较高的直流母线电压也会导致短路耐受时间缩短。

对于 1200 V IGBT7 数据表，规定短路耐受时间的相关参数始终为 $V_{CC} = 800\text{ V}$ 直流母线电压， $V_{GE} = 15\text{ V}$ 栅极电压且短路时的起始结温 $T_{vj} = 150^\circ\text{C}$ 。这些值被视为 100%。当应用条件不同于规定的的数据表条件时，允许的短路时间也可能发生改变。图 11 提供了针对直流母线电压、最大结温和栅极电压的短路耐受时间。

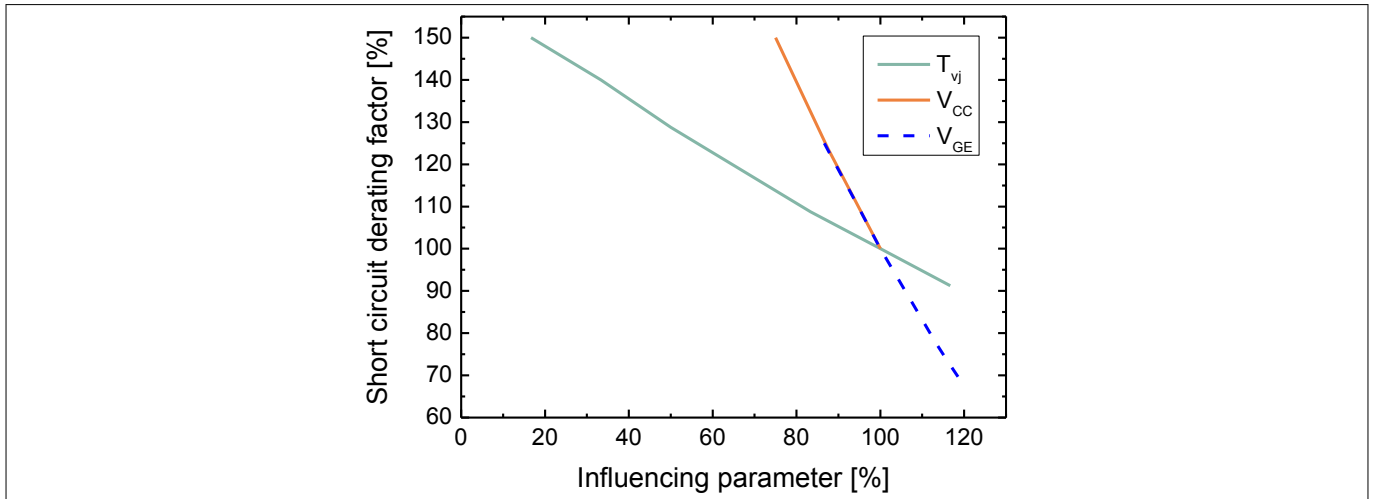


图 11 短路额定因数随温度、直流母线电压和栅极电压的变化关系

例如，在实际应用中，假设运行条件如下：

- 起始结温为 140°C
- 直流母线电压为 600 V
- 栅极电压为 14 V

从图 11 的图形中，可得出以下额定因数：

$$A_1 \text{ (} T_{vj} \text{ 的降额因数)} = 1.05,$$

$$A_2 \text{ (} V_{CC} \text{ 的降额因数)} = 1.5,$$

$$A_3 \text{ (} V_{GE} \text{ 的降额因数)} = 1.1.$$

然后，这些应用条件下的最终短路耐受时间可通过数据表值 t_{p_DS} 乘以降额因数计算得出：

$$t_{p1} = t_{p_DS} \times A_1 \times A_2 \times A_3 = 8\text{ }\mu\text{s} \times 1.05 \times 1.5 \times 1.1 = 13.86\text{ }\mu\text{s}$$

2.4 IGBT7 在驱动器应用中的使用寿命注意事项

在驱动器应用中，总是会出现过载情况。风机和泵通常需要 110% 的过载能力，而对于自动化应用，过载情况往往更为严重，通常需要 150% 的过载能力。此外，在伺服应用中，200% 过载运行很平常。这些过载情况会导致芯片温度波动 (dT_{Cyc})，从而消耗模块使用寿命。

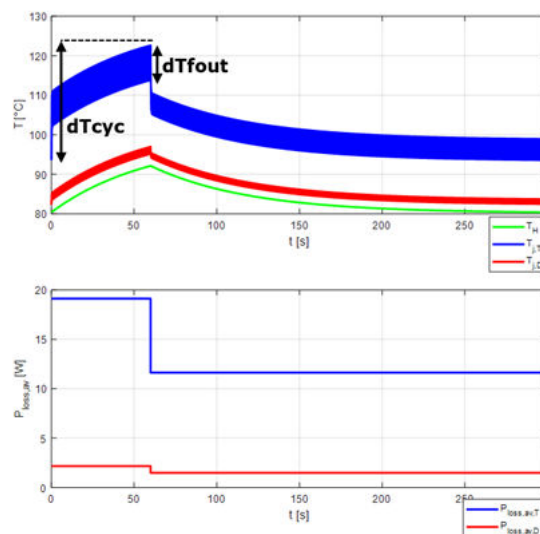
此外，某些逆变器需要低速运行，例如在启动阶段。较低输出频率（例如低于 10 Hz ）会导致因这种输出频率波动 (dT_{fout}) 而产生强烈的芯片温度波动。这是因为芯片的温度时间常数是几百毫秒，远低于波形周期。

本文考虑了两种应用条件，以检查 FP25R12W2T7_B11 在 5.5 kW 逆变器中处于 150% 过载条件达 1 分钟时的使用寿命。条件 1 表示正常的重载逆变器要求。条件 2 反映低速运行。

条件 1：重载正常运行

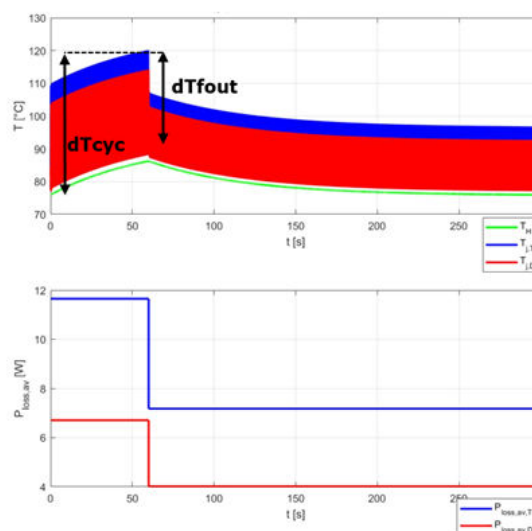
2 TRENCHSTOP™ IGBT7 的应用

- › DC link voltage: $V_{DC} = 600\text{ V}$
- › Output frequency: $f_{out} = 50\text{ Hz}$
- › Switching frequency: $f_{SW} = 3\text{ kHz}$
- › Modulation factor: $m_i = 1$
- › Power factor: $\cos \phi = 1$
- › Ambient temperature: $T_A = 50^\circ\text{C}$
- › Heatsink thermal resistance: $R_{thHA} = 2.3\text{ K/W}$
- › Heatsink time constant: $\tau_{thHA} = 60\text{ s}$



条件 2: 重载低速运行

- › DC link voltage: $V_{DC} = 600\text{ V}$
- › Output frequency: $f_{out} = 2\text{ Hz}$
- › Switching frequency: $f_{SW} = 2\text{ kHz}$
- › Modulation factor: $m_i = 0.1$
- › Power factor: $\cos \phi = 1$
- › Ambient temperature: $T_A = 50^\circ\text{C}$
- › Heatsink thermal resistance: $R_{thHA} = 2.3\text{ K/W}$
- › Heatsink time constant: $\tau_{thHA} = 60\text{ s}$



基于 IGBT7 功率循环曲线，可以实现以下循环次数。

	条件 1	条件 2
IGBT 芯片	920 万	23.8 万
二极管芯片	12 亿	51.1 万

一个明确的观察结果是，对于驱动逆变器运行，IGBT 的使用寿命比二极管的使用寿命更为关键。就功率循环寿命而言，IGBT 是一个瓶颈，而二极管芯片功率循环在逆变器工作模式中并不重要。

由于功率循环能力与芯片绝对结温度和结温度波动密切相关，以下对策有助于延长模块使用寿命：

- 增强冷却
- 提高开关频率
- 选择额定电流更高的 IGBT 模块

有关 IGBT7 的详细功率循环曲线，请联系当地销售办事处以获取进一步支持。有关使用英飞凌的功率和热循环图的详细信息，以及有关如何应用雨流计数法进行正确循环计数的详细信息，请参阅联机提供的 AN2019-05。

3 TRENCHSTOP™ IGBT7 的优势

3 TRENCHSTOP™ IGBT7 的优势

3.1 应用示例

在本节中，将提供两个通用驱动器 (GPD) 应用示例，以说明 Easy 和 Econo 平台中发生封装尺寸跳级的可能性。

使用 IGBT7 技术可增加功率密度，从而降低系统成本。这可通过使用小 40% 的功率模块来实现，在此案例中，使用 Easy1B，而非 Easy2B。

损耗和结温模拟是在过载情况下运行，并根据下面表 1 中的值以行业正常荷载 (ND) 和重载 (HD) 工作条件为假设前提。

表 1 应用参数

参数	符号	数值
直流母线电压	U_{DC}	540 V
电机功率 (400 V _{ac})	P_N	ND: 7.5 kW HD: 5.5 kW
连续运行的额定电机电流 (100%)	I_N	ND: 17.8 A HD: 13 A
功率因数	$\cos(\varphi)$	0.85
调制指数	m_i	1
输出频率	f_{out}	50 Hz
开关频率	f_{sw}	4000 Hz
最大开关倾斜	$dv_{CE,on10-90}/dt$	5 kV/ μ s
散热器到环境的热阻 (每个开关)	R_{thHA}	1.5 K/W (Easy2B IGBT4) 3.2 K/W (Easy1B IGBT7)
散热器热时间常数	τ_H	60 s
环境温度	T_A	40°C (ND)、50°C (HD)
负载曲线		ND: 3 s 150% • I_N ; 60 s 110% • I_N HD: 3 s 200% • I_N ; 60 s 150% • I_N

请注意，此处提供的所有值都仅作参考。标称电机电流 I_N 并非固定值，而是取决于制造商、功率因数和电机的极数。感应电机本身即可提供牵出扭矩，其值通常是标称扭矩的两倍 [9]。因此，选择了 200% 的最大过载电流。

模块参数可参见表 2。根据应用要求，选择了栅极电阻器，因此 dv/dt 不超过 5 kV/ μ s，如第 2.1.3 章所述。开关损耗通过标准双脉冲测试测量所得。

表 2 模块参数

参数	IGBT4	TRENCHSTOP™ IGBT7
功率模块		

(待续)

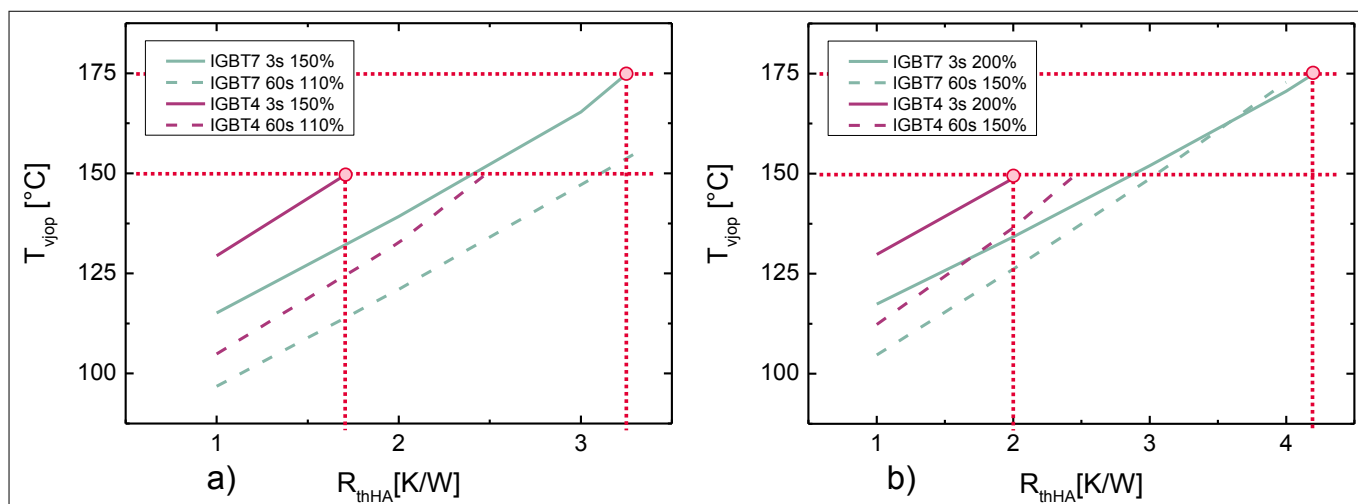
3 TRENCHSTOP™ IGBT7 的优势

表 2 (续) 模块参数

参数	IGBT4	TRENCHSTOP™ IGBT7
	FP25R12W2T4 (EasyPIM™ 2 _B)	FP25R12W1T7 (EasyPIM™ 1 _B)
$V_{CE,0}$ @ I_{nom} , 125°C	2.15 V	1.65 V
$E_{on} + E_{off} + E_{rec} / I_{Cnom}$ 600 V, 125°C @ 5 kV/μs	0.29 mJ/A	0.31 mJ/A
$T_{vjop,max}$	150°C	175°C

图 12 显示了不同负载曲线下模拟结温随散热器热阻 R_{thHA} 的变化关系。参数 R_{thHA} 表示系统的冷却性能。此处，它定义为每一个开关的值 (IGBT+FWD) [11]。

如图所示，温度 150°C 是 IGBT4 的限值。根据图 12 R_{thHA} ，必须选择正常负载曲线的 $R_{thHA} = 1.72$ K/W。对于 IGBT7，可以选择更高值 $R_{thHA} = 3.25$ K/W，因为最大结温可能升至 175°C。由于最大结温增加，因此可以使用性能偏低的散热器。

图 12 结温随 a) 正常荷载 (ND) b) 重载 (HD) R_{thHA} 的变化关系

通过引入 IGBT7，Econo 平台还解决了比以往更大的电流额定值。英飞凌的产品组合具有一流的模块 FP200R12N3T7 (Econo3 封装)，采用 PIM 拓扑，功率额定值可达 55kW，重载下可达 45 kW。这样，通过省掉额外的整流桥模块，系统成本和设计复杂性得以降低，或者功率等级相同的情况下，可以显著延长设备的使用寿命。FS300R12N3E7 的开发允许以相同方式增加逆变器功率，同时仍保持相同的封装尺寸。

在 Econo2 中，还提供新的封装尺寸跳级 150 A SixPACK 和 100 A PIM。考虑到典型 GPD 应用条件和冷却作用，最后一个模块 FP100R12N2T7 允许在重载应用中功率升达 22 kW 图 13。不仅能够 50 Hz 下运行，也可以在 5 Hz 或 10 Hz 的低输出频率下运行，同时不需要进行任何电流降额。

3 TRENCHSTOP™ IGBT7 的优势

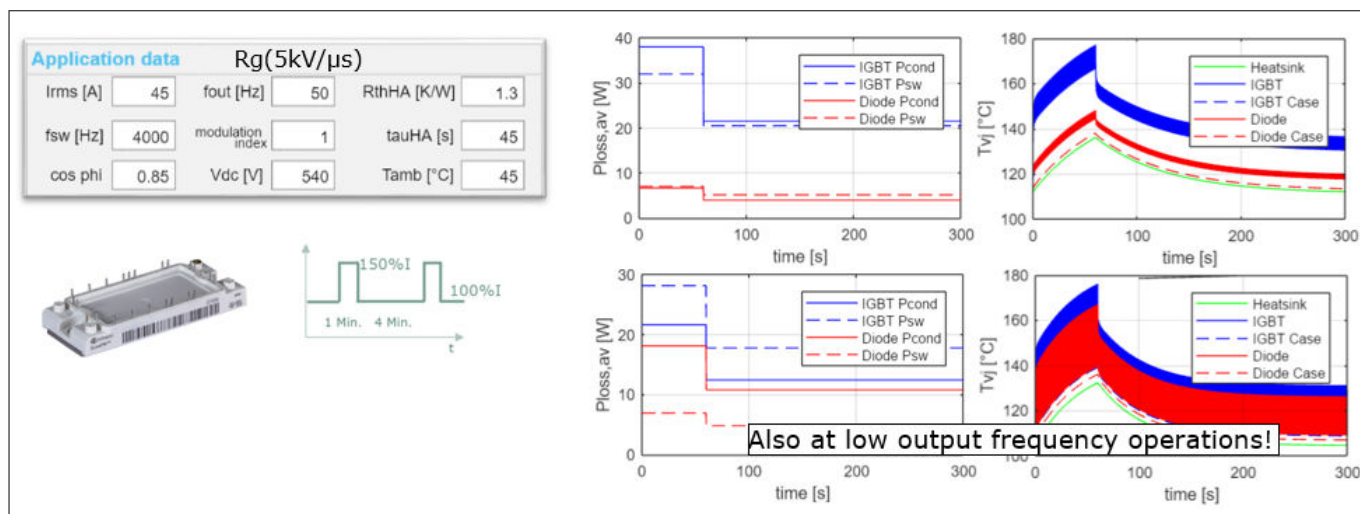


图 13 重负载曲线下的功率损耗和温度曲线

3.2 选择用于通用驱动器的功率模块

工业电机功率等级根据 IEC 进行了标准化。表 3 提供有关针对特定功率等级选择 EasyPIM™ 和 EconoPIM™ 功率模块的指南。通常，通用驱动器具有双功率额定值，即变频器可同时提供两种标准负载曲线。重载额定值通常比正常负载低一个功率等级。当然，功率模块的最终设计取决于诸多因素（例如冷却条件）且必须经过用户确认。在电流额定值相同的情况下，应对使用较大功率的模块或具有基板的模块加以评估，以实现更低的工作温度和更长的使用寿命。英飞凌的 IPOSIM 工具可以为用户在所需工作条件下选择合适的功率模块提供支持 [11]。

表 3 电机功率等级 (400 V) 以及典型的 EasyPIM™ 和 EconoPIM™ 功率模块

电机功率 ND [kW]	电机功率 HD [kW]	功率模块
0.55	0.37	FP10R12W1T7
0.75	0.55	FP10R12W1T7
1.1	0.75	FP10R12W1T7
1.5	1.1	FP10R12W1T7
2.2	1.5	FP10R12W1T7
3.0	2.2	FP10R12W1T7
4.0	3.0	FP15R12W1T7
5.5	4.0	FP15R12W1T7
7.5	5.5	FP25R12W1T7/FP25R12W2T7/ FP25R12N2T7
11	7.5	FP35R12W2T7/FP35R12N2T7
15	11	FP50R12W2T7/FP50R12N2T7
18.5	15	FP75R12N2T7
22	18.5	FP100R12N2T7
30	22	FP100R12N2T7/FP100R12N3T7
37	30	FP150R12N3T7

(待续)
Application Note

3 TRENCHSTOP™ IGBT7 的优势

表 3 (续) 电机功率等级 (400 V) 以及典型的 EasyPIM™ 和 EconoPIM™ 功率模块

电机功率 ND [kW]	电机功率 HD [kW]	功率模块
45	37	FP150R12N3T7/FP200R12N3T7
55	45	FP200R12N3T7

3.3 逆变器测试

为验证 TRENCHSTOP™ IGBT7 器件具有更高能效，我们设置并测试了实验室测试逆变器。对于此次测试，使用芯片面积和散热器大致相同的 IGBT4 和 IGBT7 功率模块。测试中选用了栅极电阻器，以在最坏情况下将 dv/dt 限制为 $5 \text{ kV}/\mu\text{s}$ 。

图 14 显示了在相同输出电流和工作条件下 IGBT4 模块和最新 TRENCHSTOP™ IGBT7 模块的结温。IGBT4 达到最大温度 150°C ，而 IGBT7 的结温只有约 120°C 。这证实了使用 IGBT7 可以显著降低功率损耗。

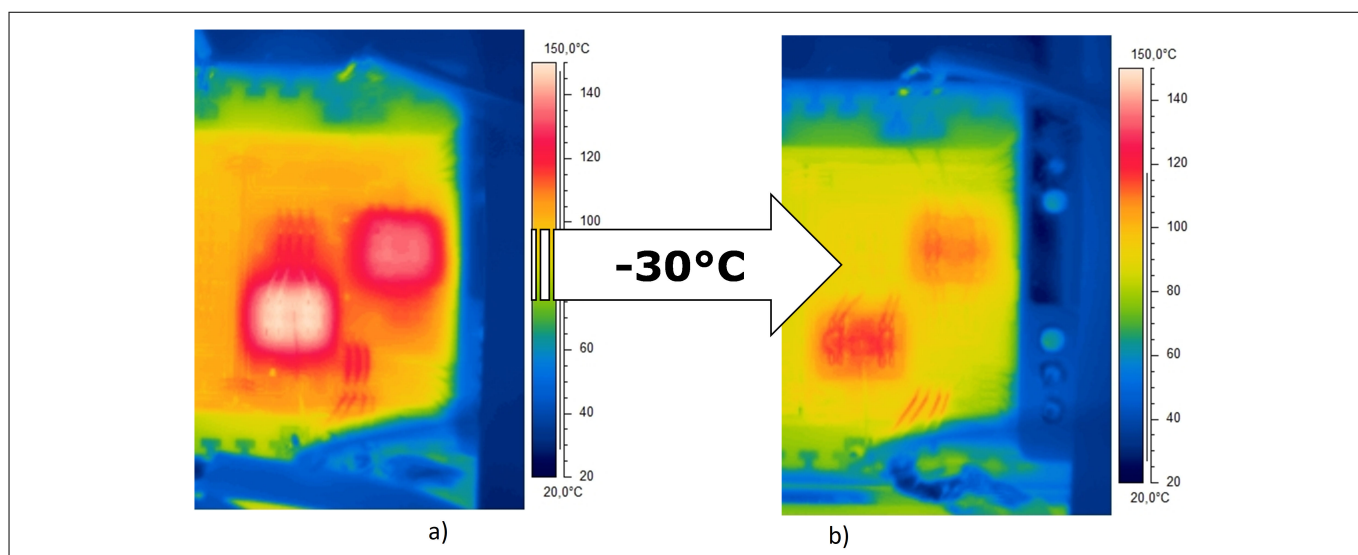


图 14 H 桥逆变器测试及相同输出电流下 a) IGBT4 和 b) IGBT7 的结温比较

3.4 结论

对 IGBT4 和 IGBT7 的比较研究表明，IGBT7 具有显著优势，尤其是在变速驱动器应用中。IGBT7 的模拟结果显示具有比 IGBT4 高得多的功率密度的潜力。这是因为 IGBT7 能够以更小的封装提供相同的电流额定值。此外，IGBT7 经过优化，能够在 dv/dt 水平为 $5 \text{ kV}/\mu\text{s}$ 的条件下运行，以满足电机绝缘系统的要求。改进的二极管柔软度（如 [1] 所示）将可以为系统电机驱动 EMI 性能提供优势。最后，在实验室相同条件下进行的实验测试表明 IGBT7 的功率损耗低于 IGBT4。

总而言之，IGBT7 对于需要高能效和功率密度的变速驱动器是一项富有吸引力的解决方案。

参考

- [1] C. Müller, et al.: 具有更高可控性、为驱动器应用提供卓越性能的最新1200 V IGBT 和二极管技术 (New 1200 V IGBT and Diode Technology with Improved Controllability for Superior Performance in Drives Application), PCIM Europe, 纽伦堡, 德国, 2018 年
- [2] C. Jäger, et al.: 一种新的超薄亚微米沟槽单元概念。用于下一代1200 V IGBT 的晶圆技术 (A New Sub-Micron Trench Cell Concept in Ultrathin. Wafer Technology for Next Generation 1200 V IGBTs), ISPSD, 札幌, 日本, 2017 年
- [3] 英飞凌科技股份有限公司: IGBT 模块技术、驱动及应用 (IGBT Modules Technologies, Driver and Application), ISBN978-3-00-032076-7
- [4] 英飞凌科技股份有限公司: AN2011-05 工业 IGBT 模块技术信息说明 (AN2011-05 Industrial IGBT Modules Explanation of Technical Information)
- [5] A. Binder: 电力驱动系统的电机发展讲座课程的第6章: 变频电机中的 du/dt 效应幻灯片 (Chapter 6: du/dt-effects in inverter-fed machines Slides for lecture course "Motor Development for Electrical Drive Systems"), TU Darmstadt, 德国, 2010 年 (文档文件: Folie_MD_6_english.pdf)
- [6] K. Vogel, et al.: 提高交流驱动器的效率: 最新半导体解决方案及其挑战 (Improve the efficiency in AC-Drives: New semiconductor solutions and their challenges), EEMODS, 2016 年
- [7] B. Sahan, et al.: 使用 1200 V SiC T-MOSFET 提高变速驱动器的功率密度和效率 (Enhancing Power Density and Efficiency of Variable Speed Drives with 1200 V SiC T-MOSFETs), PCIM Europe, 纽伦堡, 德国, 2017 年
- [8] S. Buschhorn, et al.: 负载曲线对功率模块设计的影响- 基于第7代 IGBT 和二极管技术的详细分析 (Impact of Load Profiles on Power Module Design - A Detailed Analysis Based on 7th Generation of IGBT and Diode Technology), PCIM Europe, 纽伦堡, 德国, 2018 年
- [9] 英飞凌电机手册 V1.01
- [10] 英飞凌科技股份有限公司: 预装热界面材料的 AN 2012-07 模块 (AN 2012-07 Modules with preapplied thermal interface material)
- [11] <http://www.infineon/iposim>

修订历史记录

自上次修订以来的主要改动

文件版本	发布日期	变更说明
1.0	18.06.2018	第一版
1.1	2019 年 5 月 5 日	增加了第 2.4 章节
1.2	2020 年 3 月 24 日	更新了第 2.2 章节，增加了 175°
1.3	2021 年 2 月 15 日	包含了 Econo 图：更新了图 1。在第 1.4 章节中增加了 Econo 产品组合。在第 3.1 章节中包含了 Econo 新应用示例。在第 3.2 章节中扩展了使用 Econo2 和 Econo3 封装的功率模块选择

商标

所有参照产品或服务名称和商标均为其各自所有者的财产。

版本 2021-06-08

出版方

**Infineon Technologies AG
81726 Munich, Germany**

**© 2021 Infineon Technologies AG
保留所有权利。**

**您对本文档的内容有任何疑问吗？
电子邮件: erratum@infineon.com**

**文档编号
IFX-bmc1625209507016**

重要提示

本应用说明中包含的信息仅作为产品实施的提示，在任何情况下均不应视为对产品特定功能、产品状况或产品质量的描述或保证。在产品实施之前，本应用说明的接收方必须在实际应用中验证此处给出的所有功能和其他技术信息。对于本应用说明中提供的所有信息，英飞凌科技公司不承担任何形式的任何保证和责任（包括但不限于不侵犯任何第三方知识产权的保证）。

本文档所含的数据仅供经过专业技术培训的人员使用。客户自身的技术部门有义务对于产品是否适宜于其预期的应用和针对该等应用而言本文档中所提供的信息是否充分自行予以评估。

警告事项

由于技术所需产品可能含有危险物质。如需了解该等物质的类型，请向离您最近的英飞凌科技办公室接洽。

除非由经英飞凌科技授权代表签署的书面文件中做出另行明确批准的情况外，英飞凌科技的产品不应当被用于任何一项一旦产品失效或者产品使用的后当被用于任何一项一旦产品失效或者产品使用的后领域。