

600 V CoolMOS™ CFD7

为软开关应用量身定制的快速二极管技术

关于本文档

范围和目的

新款 **600 V CoolMOS™ CFD7** 是英飞凌最新的带有集成快速体二极管的高压(HV) SJ MOSFET 技术。它完善了 CoolMOS™ 7 系列, 可满足高功率 SMPS 市场的应用需求。这种全新的技术具有市场中最低的单位导通电阻 ($R_{DS(on)}$) 反向恢复电荷(Qrr)。该技术参数为“稳定性”一词赋予了新的意义, 尤其是在导通的体二极管中可能发生硬式整流的谐振开关拓扑中。

本应用说明将会展示和证明 CFD7 是适合谐振开关应用的最佳技术。它将基于特定的技术参数, 展示 600 V CoolMOS™ CFD7 的所有优点。600 V CoolMOS™ CFD7 面向的是需要最高效率、更高的功率密度和极具吸引力的价格的新型设计, 而 650 V CoolMOS™ CFD2 系列将进一步满足要求额外的击穿电压安全裕量和更好的易用性(例如, 得益于布局寄生效应的增加)的设计需求。由于不同的技术参数, 因此不建议在谐振拓扑中进行简单的即插即用替换。

目标受众

开关模式电源设计师。

内容

	关于本文档	1
	内容	1
1	600 V CoolMOS™ CFD7 概述和定位	2
1.1	目标应用和关键事实	2
1.2	价格路线图	3
1.3	与前任产品的比较定位	3
2	技术特性/参数	4
2.1	可靠性	4
2.1.1	导通的体二极管上的硬式整流	4
2.1.2	Qrr (反向恢复电荷)	5
2.1.3	trr (反向恢复时间) 和 Irrm (最大反向恢复电流)	6
2.1.4	VDS,max (最大漏源电压过冲)	7
2.1.5	早期通道关断	8
2.2	效率和性能	9
2.2.1	Qg (栅极电荷)	9
2.2.2	Qoss (输出电容中储存的电荷)	10
2.2.3	Eoss (输出电容中储存的能量)	11
2.2.4	Eoff (硬关断期间的开关损耗)	12
2.2.5	RDS(on)温度相关性	14
2.2.6	在不同封装中一流的 RDS(on)	14
3	总结	15

1 600 V CoolMOS™ CFD7 概述和定位

4	产品系列	16
	修订历史记录	18
	Disclaimer	19

1 600 V CoolMOS™ CFD7 概述和定位

1.1 目标应用和关键事实

600 V CoolMOS™ CFD7 是一款专为服务器和电信应用中所用类型的谐振开关拓扑量身定制的产品。尽管如此，CFD7 也具有必要的性能，可用于满足电动车市场对于非车载充电器或充电桩的需求。这些市场中所用的主要拓扑包括零电压开关移相全桥(ZVS PSFB)和 LLC。下图显示了这些目标应用。

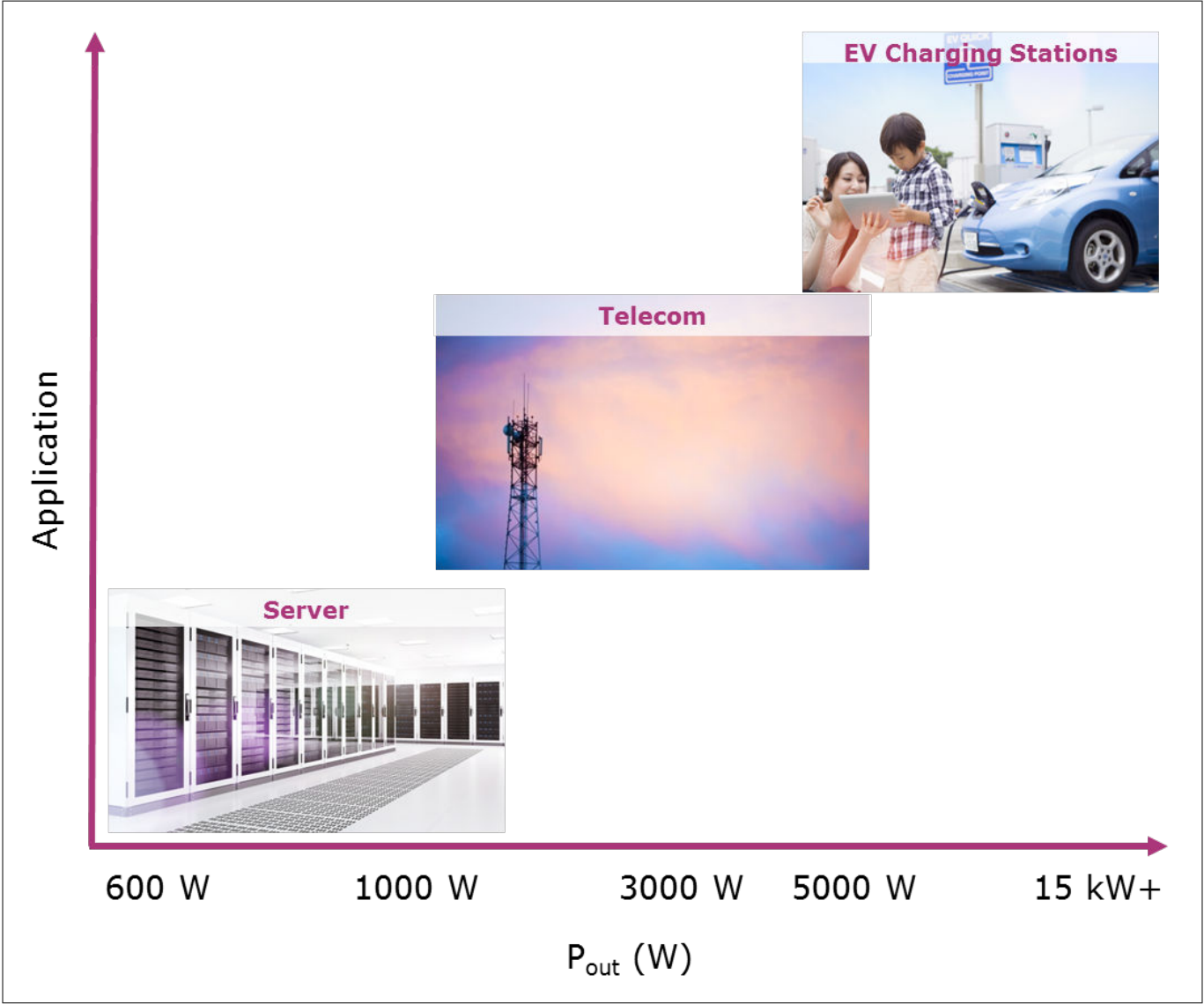


图 1 目标应用包括高功率 SMPS 市场中的谐振拓扑

1 600 V CoolMOS™ CFD7 概述和定位

600 V CoolMOS™ CFD7 的关键特性是在谐振开关拓扑中具有出色的可靠性，并且面向目标市场提供最匹配的效率。作为 CoolMOS™ 7 系列的一部分，CFD7 提供了极具吸引力的价格和有竞争力的长期价格路线图。

1.2 价格路线图

得益于英飞凌科技公司 300 mm 制程的生产线带来的生产力提升，600 V CoolMOS™ CFD7 与之前的 CoolMOS™ 快速体二极管系列相比，从一开始便极具性价比。下图显示了长期价格线路图指示。

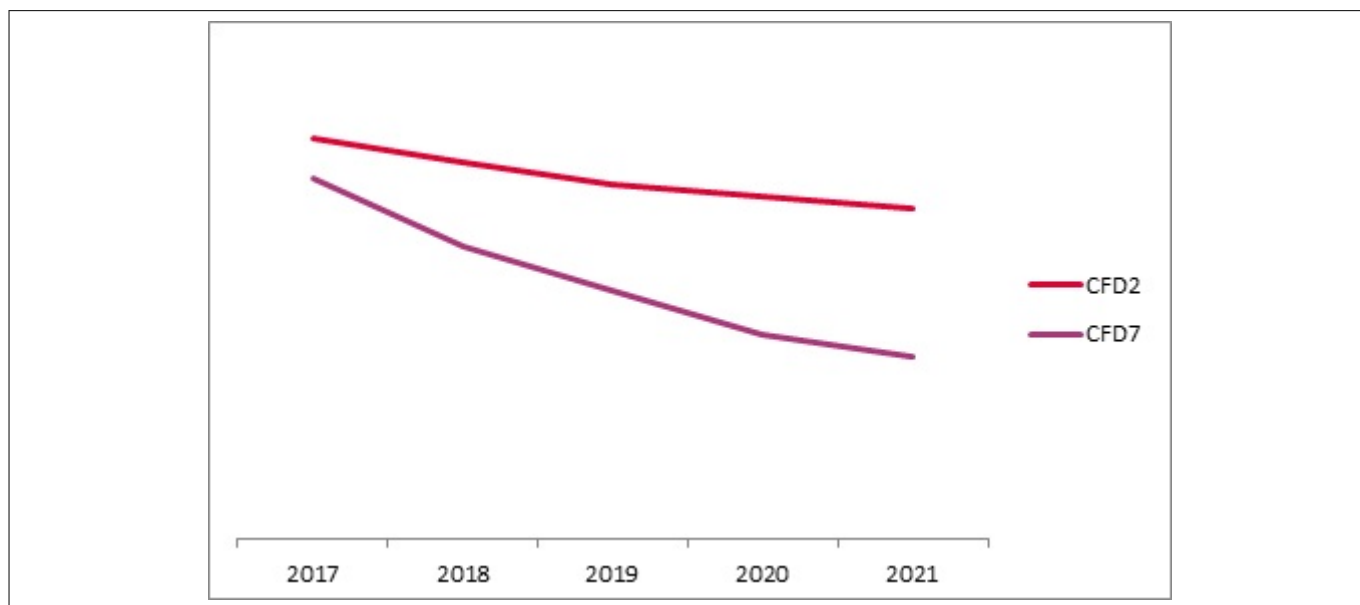


图 2 商用方面（指示内容基于 500 kpcs/年以上大批量生产的标准价格）

1.3 与前任产品的比较定位

与英飞凌之前带有集成快速体二极管的高压 SJ MOSFET 相比，600 V CoolMOS™ CFD7 比前任 CFD 和 CFD2 产品具有技术和商业方面的优势。以下蛛网图显示了 CFD7 相对英飞凌之前的快速体二极管技术的总体定位。

2 技术特性/参数

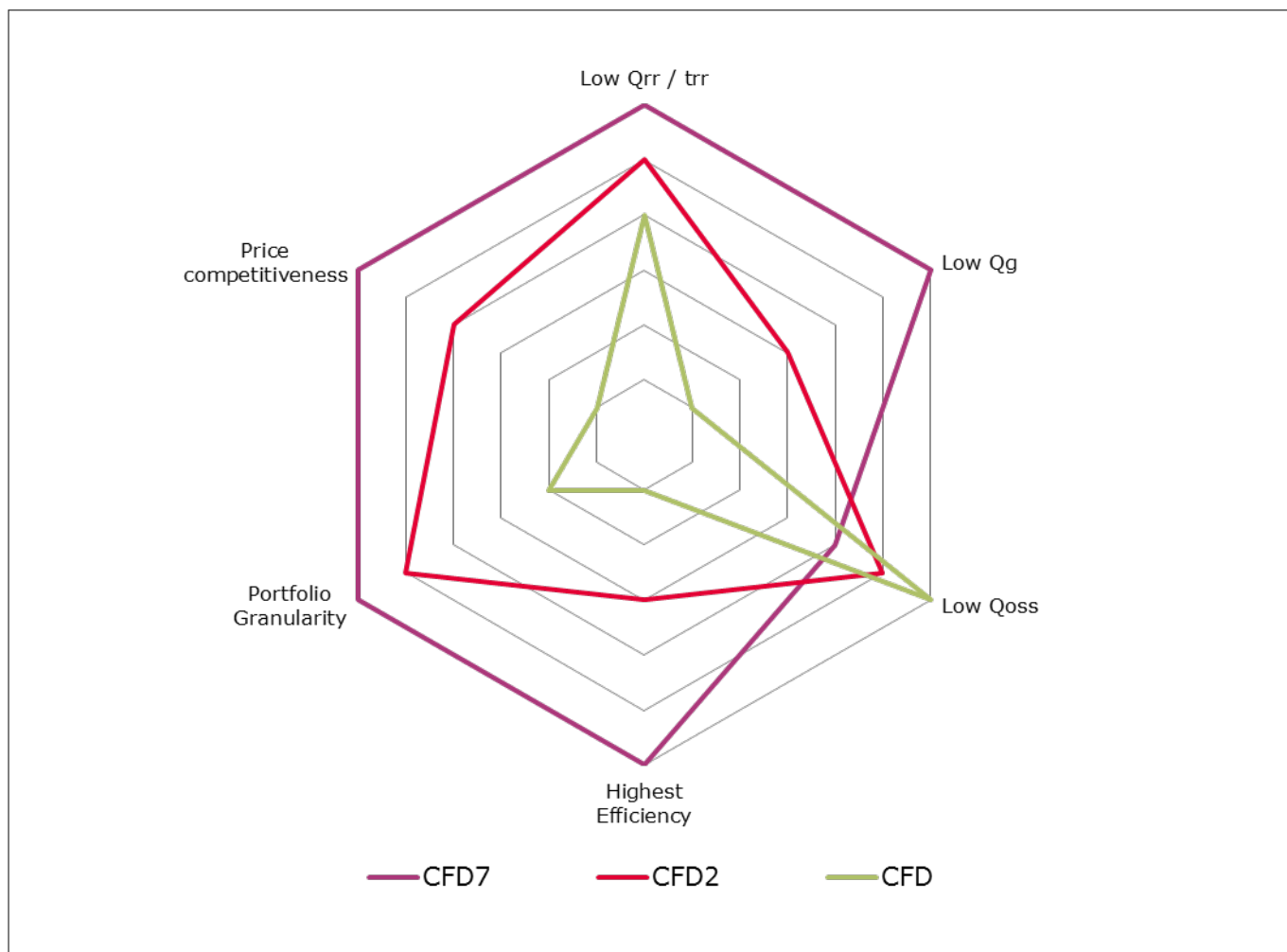


图 3 600 V CoolMOS™ CFD7 相对前任产品的定位

如本蛛网图所示，600 V CoolMOS™ CFD7 具有一流的 Q_{rr} 和反向恢复时间(t_{rr})。CFD7 显示，其栅极电荷(Q_g)显著减少，输出电容中存储的电荷(Q_{oss})也更有竞争优势。而且，本文档还会展示更多优点，例如 $R_{DS(on)}$ 的温度相关性更低，MOSFET(E_{off})在关断期间的能量损耗减少等。所有这些技术参数都使得 CFD7 在目标应用中具有最高的效率，更多详细信息，请参阅本应用说明的后面部分。此外，总体产品系列显示出更紧致的粒度，这意味着客户可以选择适合其应用的最佳器件。

2 技术特性/参数

本章开始介绍 600 V CoolMOS™ CFD7 和竞争产品的所有相关技术参数。在详细说明这些特性之前，本章下一节将会简单概述导通的体二极管中的硬式整流。

2.1 可靠性

本章介绍可提高 600 V CoolMOS™ CFD7 在目标应用中的可靠性的所有相关技术特性和参数。

2.1.1 导通的体二极管上的硬式整流

在任何半桥或全桥配置中，导通的体二极管上都有可能发生硬式整流。在 LLC 或 ZVS PSFB 中某些可能发生硬式整流的工作条件下（例如占空比或频率发生骤然变化时），以及同时存在其他工作条件使得一定时间内可能存在反复的硬式整流时，显然需要使用 CFD7 或类似的快速体二极管。这种情况下，必须将由于

2 技术特性/参数

Q_{rr} 和相应的反向恢复能量(Err)而造成的损耗降至最低，这对于避免此操作期间出现热问题进而导致缺陷，具有非常重要的作用。CFD7 预期具有更低的 Q_{rr} ，可确保在此类工作条件下获得更高的可靠性。即便如此，对于其中的导通体二极管在每个周期都存在开关频率的硬式整流的拓扑（例如在硬开关 Totem Pole PFC 的半桥中）而言，仍不建议使用任何 CFD 技术。

在导通体二极管的硬式整流期间，需要消除 MOSFET 的体二极管寄生电容的 Q_{rr} ，这会导致极高的 dv/dt 和 di/dt 以及反向恢复电流(I_{rrm})，进而导致 MOSFET 上出现极高的功率耗散和恢复导通效应。最终可能导致 MOSFET 中出现缺陷。不过，与其他快速体二极管 SJ MOSFET 相比，600 V CoolMOS™ CFD7 具有市场中的最低的 Q_{rr} ，可将失效的可能性降至最低，并提高整个系统的可用性。

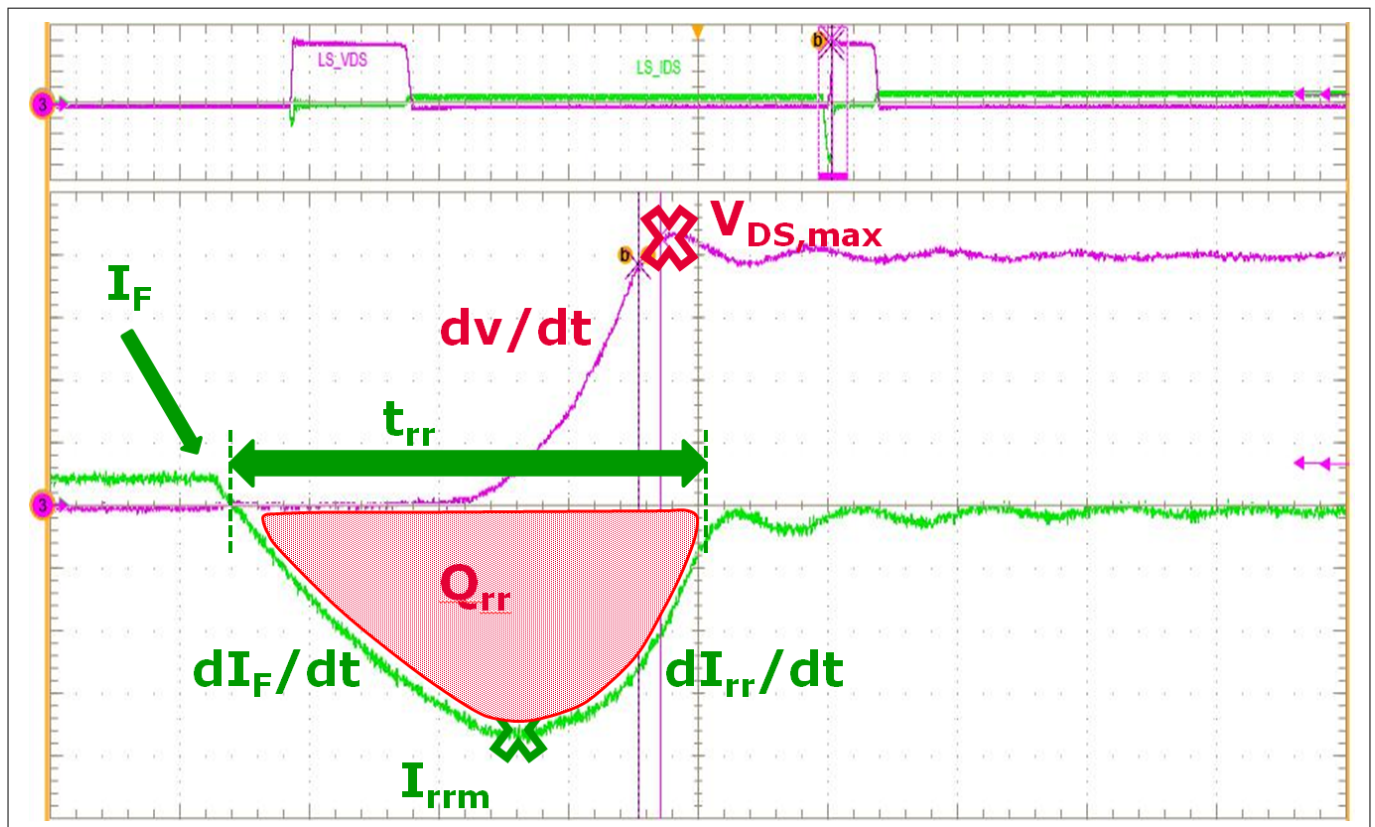


图 4 导通的体二极管上的硬式整流（示例）

2.1.2 Q_{rr} （反向恢复电荷）

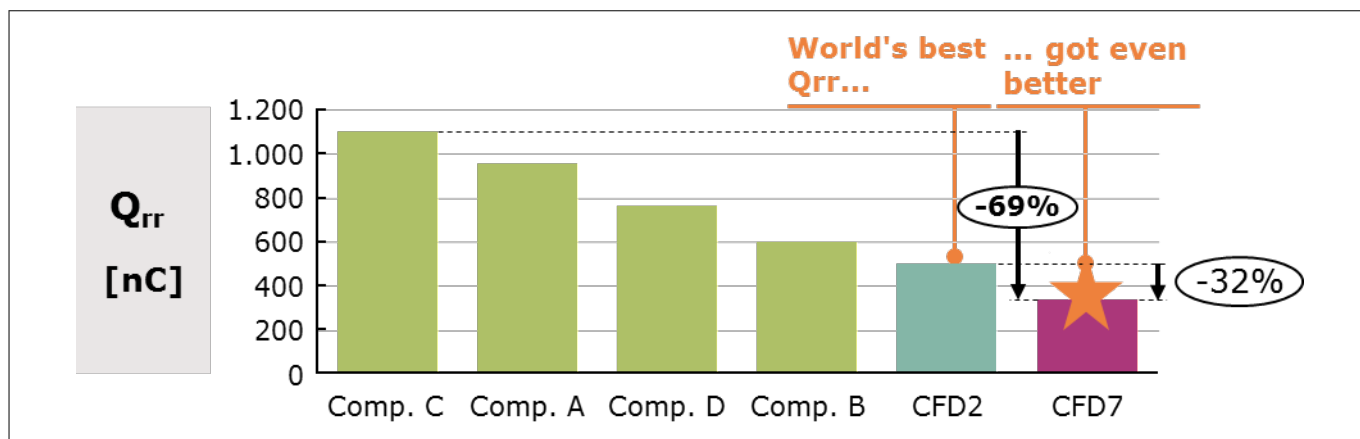
在硬式整流事件期间，需要从体二极管去除 Q_{rr} ，这会造成较大的电流、较高的 di/dt 和 dv/dt 以及电感驱动的漏源电压(V_{DS})过冲。

Q_{rr} 的定义如下：

$$Q_{rr} = \int_{t_{rr,start}}^{t_{rr,end}} i \cdot dt$$

如下图所示，与市场中的所有竞争产品相比，CFD7 具有同类最佳 Q_{rr} 。

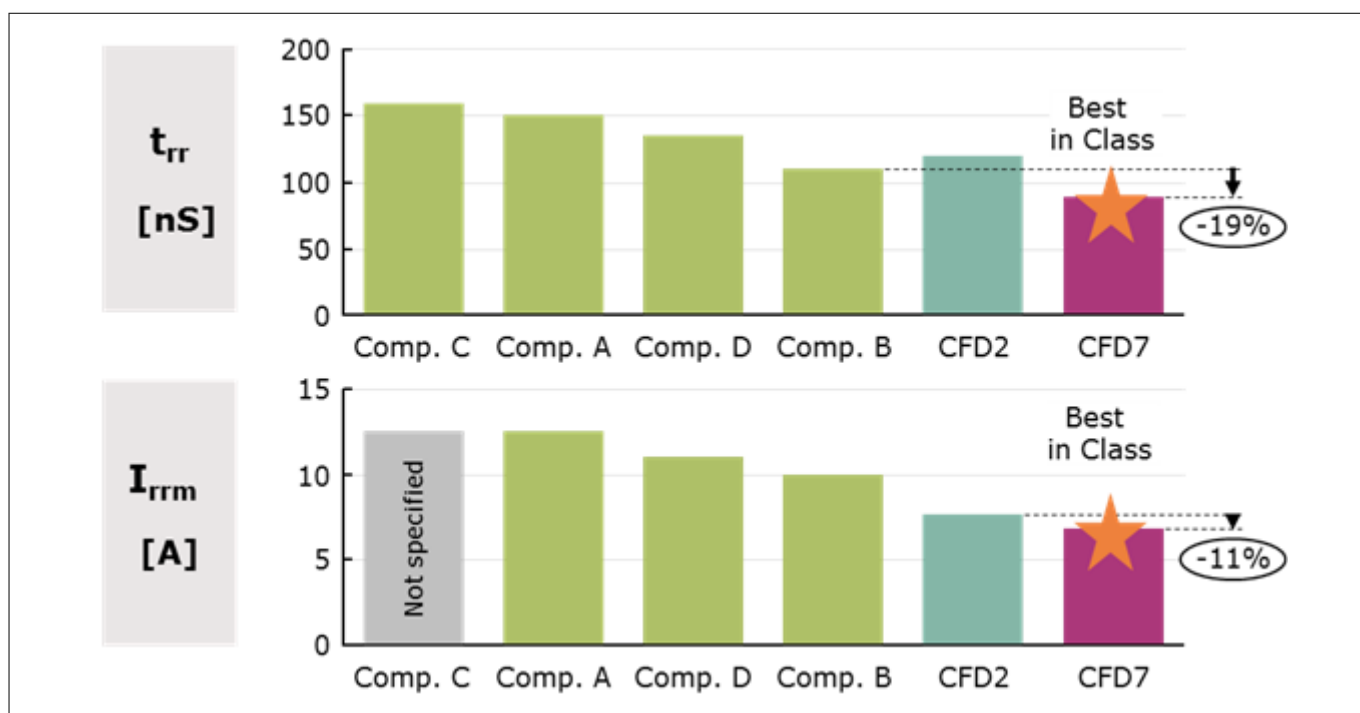
2 技术特性/参数

图5 IPW60R170CFD7 与 190 mΩ 级别竞争产品的数据表 Q_{rr} 比较

CFD2 已经具备市场最低的 Q_{rr} ，能够满足可能重复发生硬式整流的工作条件下的高可靠性需求。如图所示，CFD7 的 Q_{rr} 与英飞凌之前的 CFD 技术相比还要低 32%，与主要竞争产品相比更是降低了多达 69%。

2.1.3 t_{rr} （反向恢复时间）和 I_{rrm} （最大反向恢复电流）

由于 Q_{rr} 的减小， t_{rr} 和 I_{rrm} 以及相应的 E_{rr} 要远远低于市场中的任何其他竞争产品。如下图所示，与同类最佳竞争产品相比，600 V CoolMOS™ CFD7 的 t_{rr} 要低大约 19%， I_{rrm} 要低 11%。

图6 IPW60R170CFD7 与 190 mΩ 级别竞争产品的数据表 t_{rr} 和 I_{rrm} 比较

一般而言，任何 SJ MOSFET 都不推荐以高应用开关频率反复运行硬式整流，但在某些工作条件下，至少无法避免在短时间内出现这种情况。因此，与所有竞争产品相比，尤其与非快速二极管解决方案相比，CFD7 体二极管在反向恢复上的性能优势使其在这类事件中产生的功率耗散要低得多。

2 技术特性/参数

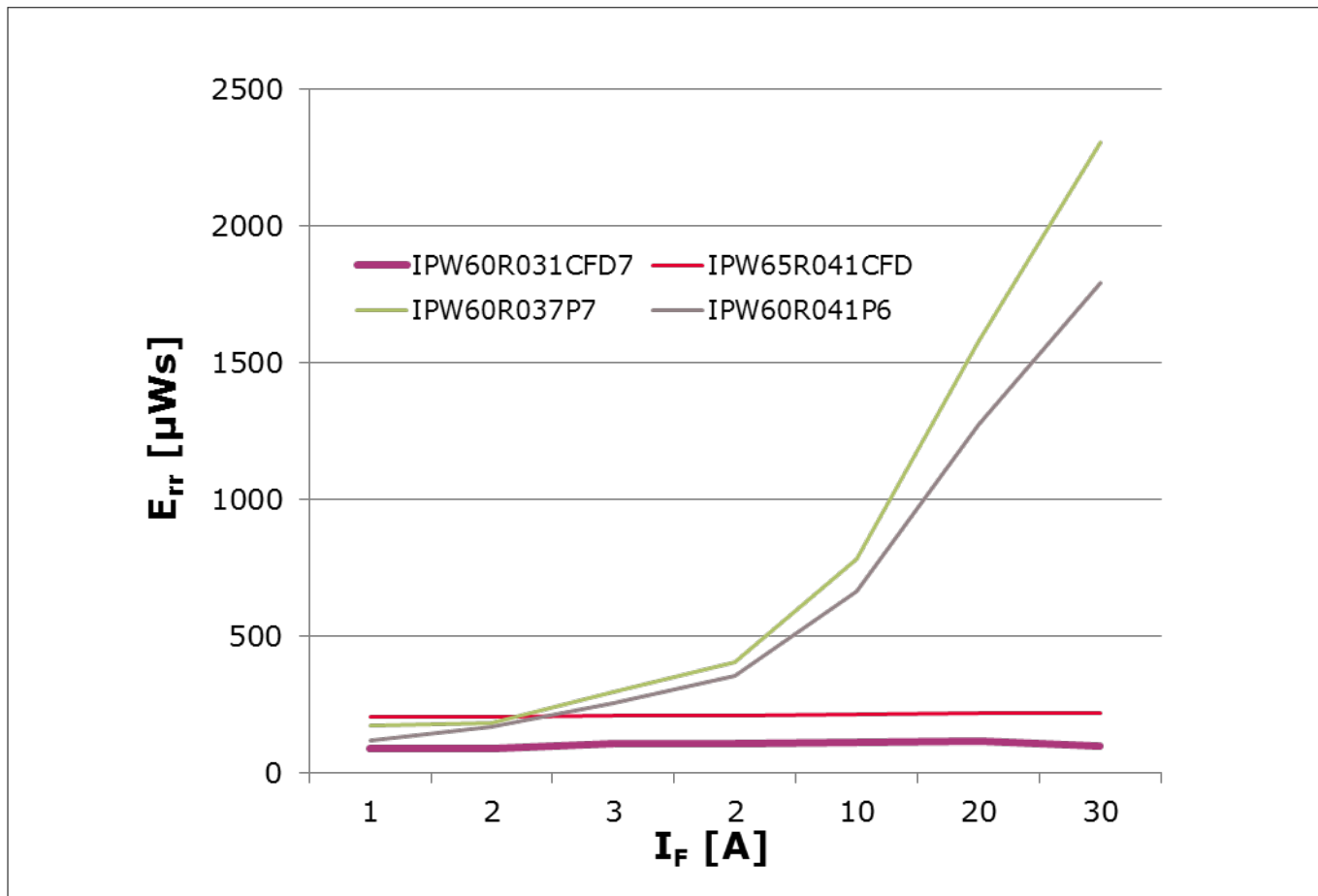


图7 CFD7 与 CFD2 以及非快速二极管 MOSFET 在使用 12 V V_{GS} 和 5 Ω 外部栅极电阻的半桥配置中的 Err 比较

如图所示，在硬式整流事件期间，CFD7 产生的能量损耗仅为 CFD2 的一半，尤其与非快速二极管器件相比，CFD7 的 Err 仅为其 1/10 左右，因此 CFD7 成为重复硬式整流期间可靠性最高的 SJ MOSFET。

2.1.4 $V_{DS,max}$ （最大漏源电压过冲）

硬式整流事件期间的另一项应用相关的弊端是关断期间的最大漏源电压($V_{DS,max}$)，该电压是电感驱动的，取决于整流回路中的寄生电感以及较高的 di/dt 。由于 CFD7 具有自限制特性，因此与主要竞争产品相比，在此方面也展示出了优异的性能。下图显示的结果表明，即使大幅提高开关行为的速度，CFD7 仍处于最低电平。

2 技术特性/参数

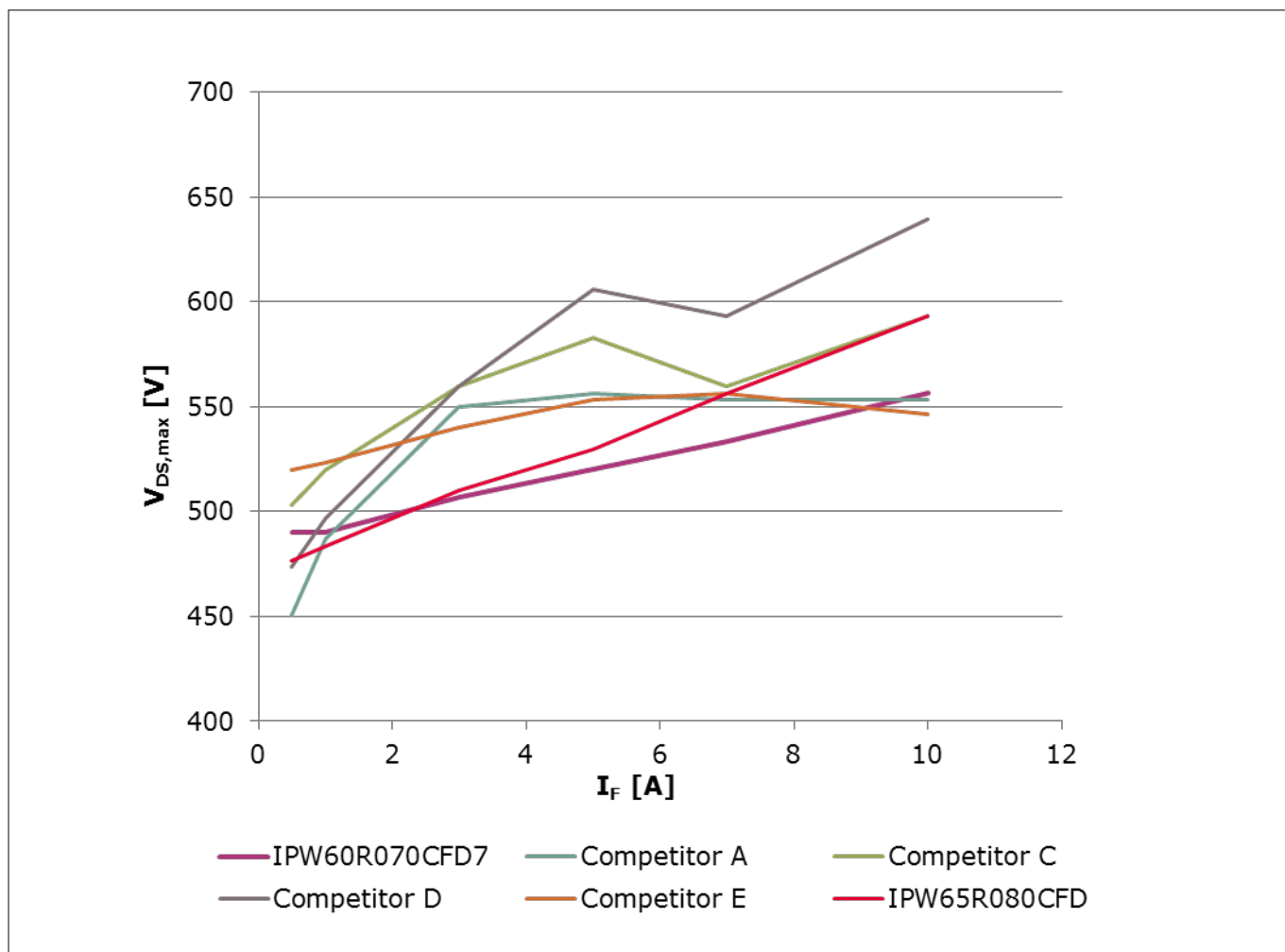


图 8 $V_{GS} = 13\text{ V}$ 、 $R_{G,ext} = 10\ \Omega$ 条件下的硬式整流期间的最大 V_{DS} 电压过冲

可以清楚地看到，600 V CoolMOS™ CFD7 在所述的条件下（硬式整流事件期间）具有最低的 V_{DS} 过冲，因而在牺牲开关速度并保留实现最高效率的可能性的同时，进一步提高了可靠性。

2.1.5 早期通道关断

所有 600 V CoolMOS™ CFD7 $R_{DS(on)}$ 等级都包含一个集成的栅极电阻($R_{G,int}$)，以满足硬式整流中的最高可靠性需求，并可实现 $1300\text{ A}/\mu\text{s}$ 的 diF/dt 。还可以看到，在最终应用中，外部栅极电阻被用于降低器件速度（出于降额的原因）或限制峰值电压。CFD7 具有被称为“早期通道关断”的功能。这表示，每个 $R_{DS(on)}$ 等级都有一个限值，达到此限值后，开关损耗将随栅极驱动回路中的栅极电阻增加而增加。对于 600 V CoolMOS™ CFD7，可以增大栅极电阻，而不会导致关断期间的开关损耗增加。下图显示了这一特性。

2 技术特性/参数

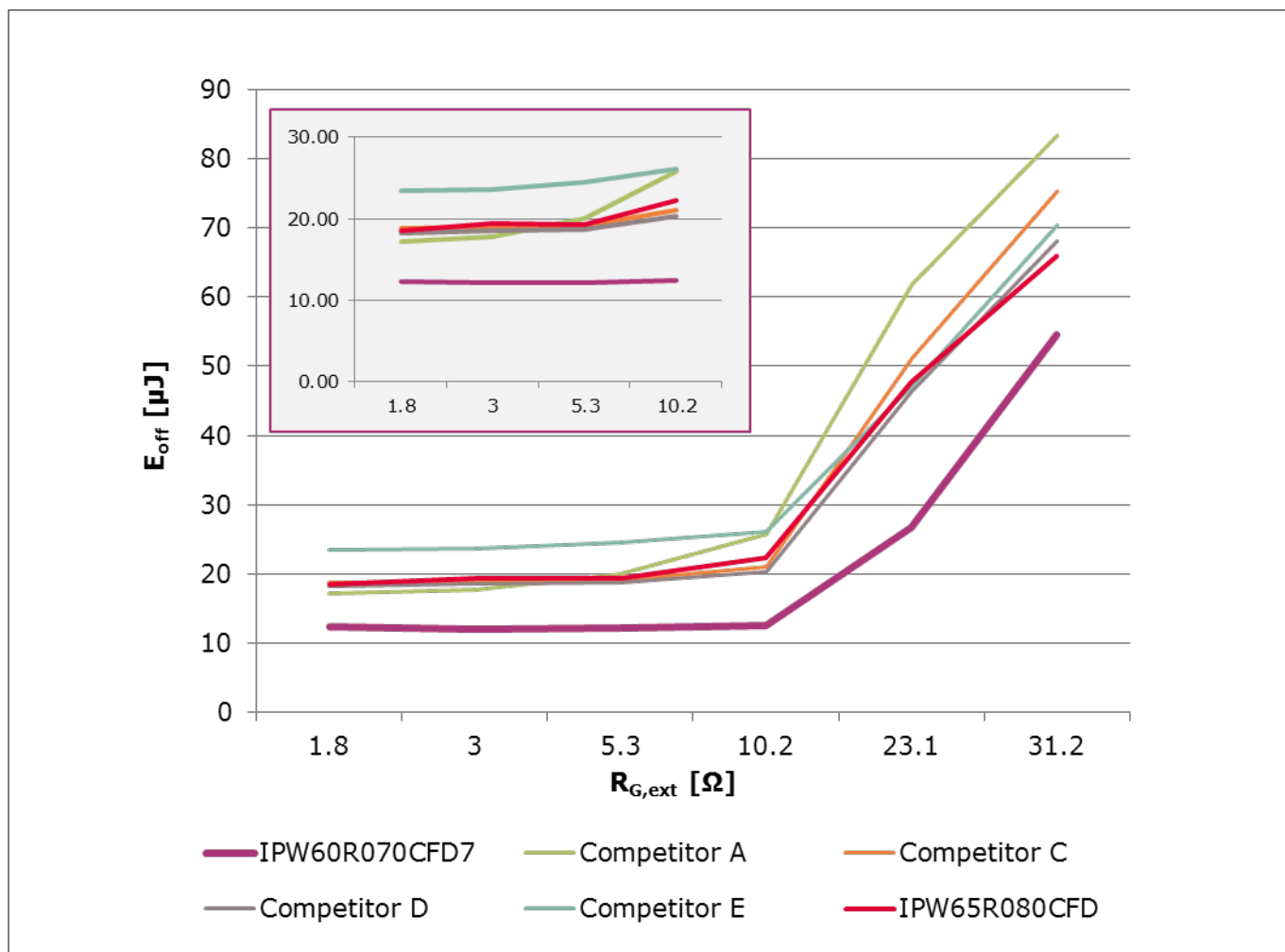


图9 ID = 8 A 条件下，基于 70 mΩ 等级的早期通道关断

设计人员可受益于这一特性，因为这样一来就能同时定义最终应用的安全性、EMI 和效率要求。

2.2 效率和性能

本章介绍在目标应用中，与主要竞争产品相比，可提高 600 V CoolMOS™ CFD7 的效率和性能的所有相关技术特性和参数。

2.2.1 Q_g（栅极电荷）

Q_g 会影响驱动损耗和 ZVS 特性，而这可能严重影响轻载工作期间或提高开关频率时的效率。

2 技术特性/参数

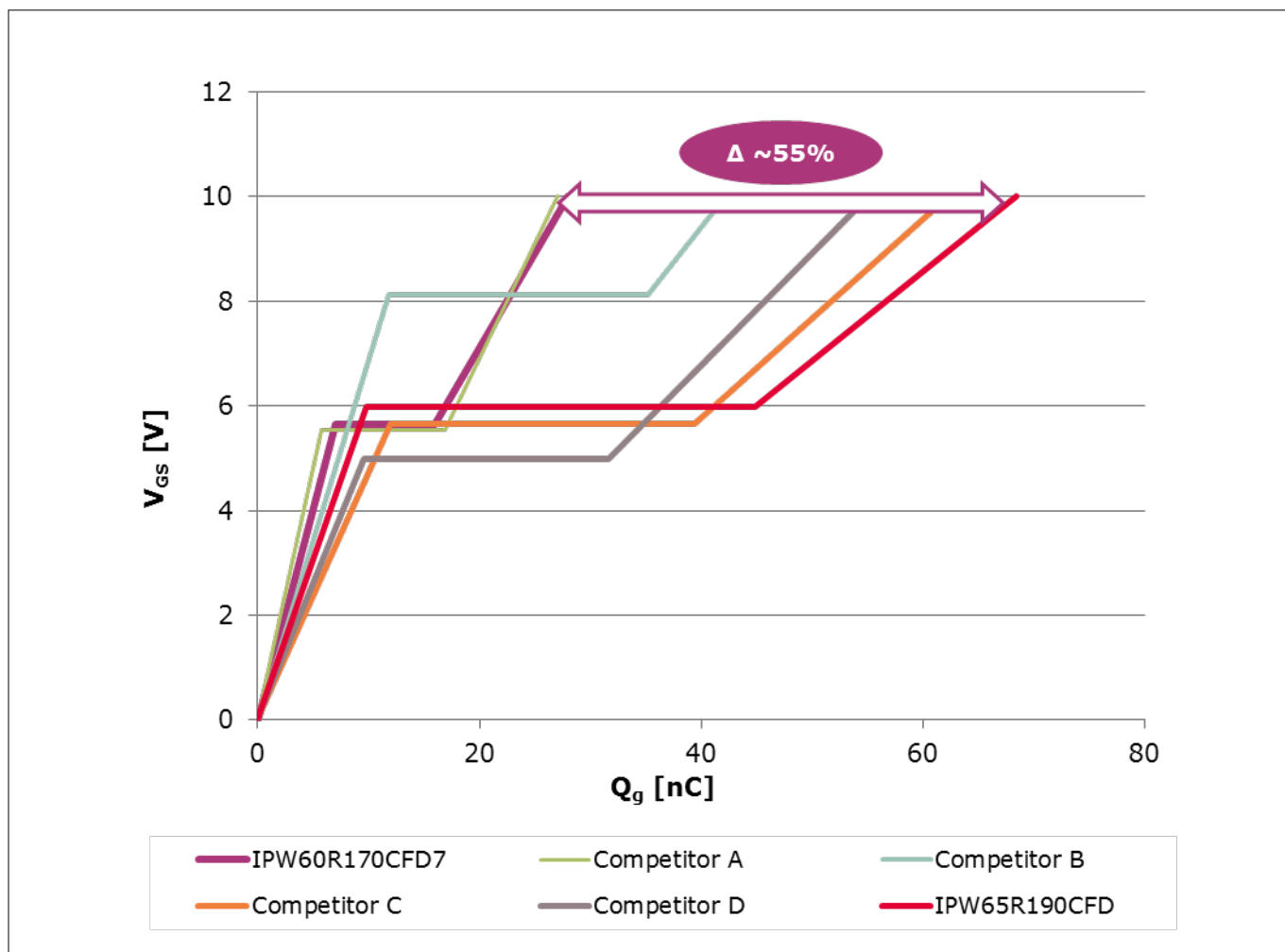


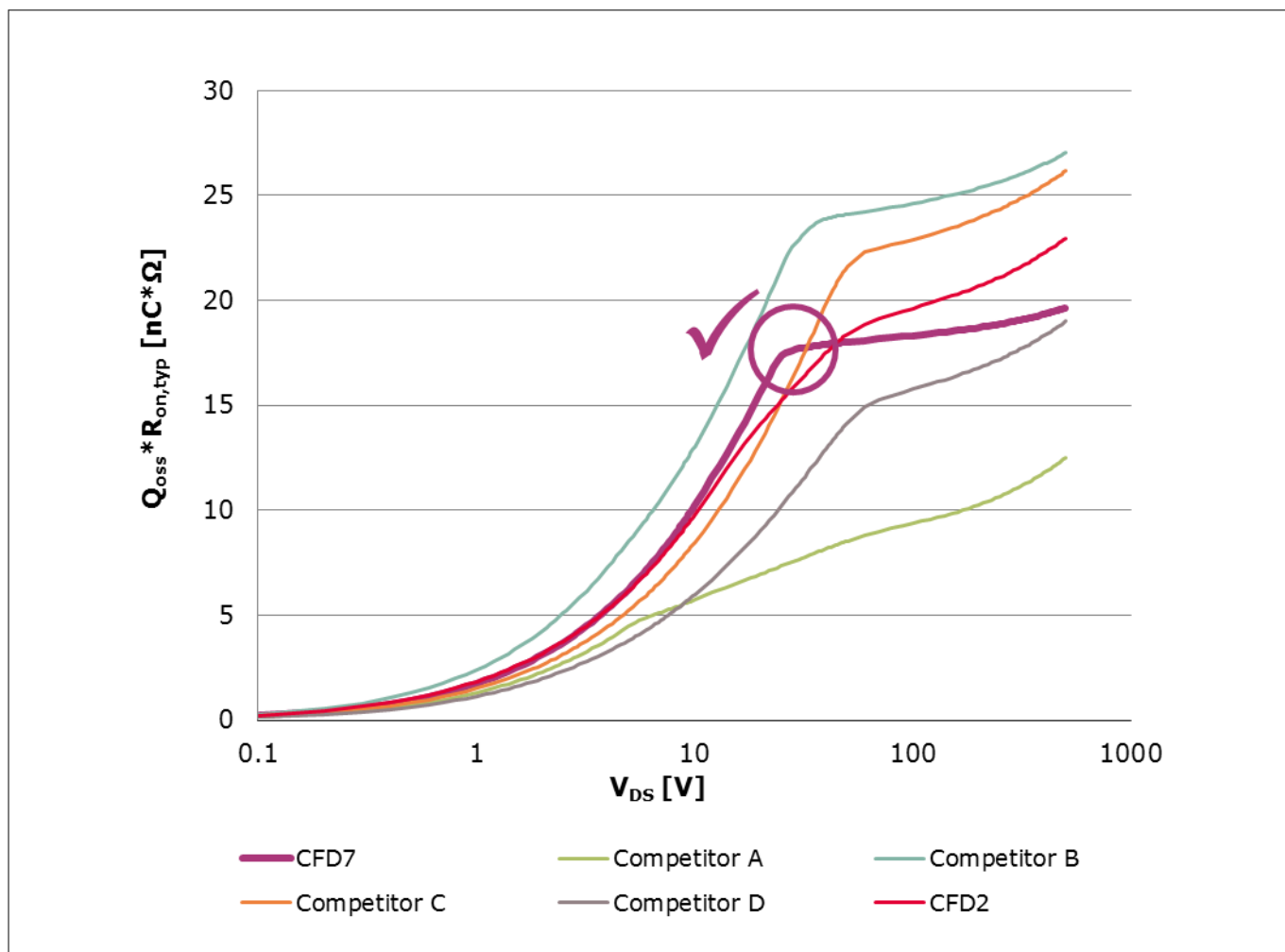
图 10 7 A 脉冲电流下基于特征的 Qg 比较

如上图所示，600 V CoolMOS™ CFD7 与所有之前的英飞凌技术相比具有最低的 Qg，并且至少与最佳竞争产品旗鼓相当。凭借此特性，CFD7 可支持更高的开关频率(> 100 kHz)，从而帮助减少设计中的磁性元器件，实现更小的外形尺寸或更高的功率密度。可以清楚地看到，与英飞凌之前的快速体二极管技术相比，驱动损耗至少降低了约~55%。

2.2.2 Qoss（输出电容中储存的电荷）

与竞争产品相比，600 V CoolMOS™ CFD7 具有中等 Qoss，并与 CFD2 几乎处于同一水平。下图展示了该 Qoss。

2 技术特性/参数

图 11 基于特征的 Q_{oss} 比较

如图所示，与 CFD2 相比，实现完全 ZVS 操作并未变得更轻松，但这不代表总体劣势。即便 600 V CoolMOS™ CFD7 在 0 V VDS 下没有完全导通，但在轻负载条件下仍能实现更高的能效。设计应用时，通过让 CFD7 在 25 V VDS 左右导通可以做到这一点。这时，600 V CoolMOS™ CFD7 会产生一些额外的 E_{oss} 损耗，但这些额外的 E_{oss} 损耗仅占总体开关损耗的一小部分，因此可以忽略不计。总体开关损耗主要源自硬开关 E_{off} 损耗，而 CFD7 的这一损耗远低于任何其他竞争产品，详细信息请参阅下一章。在导通期间达到 25 V VDS 甚至更加轻松，因为在从 400 V 降至 25 V 时仅储存了约 $1.2 \text{ nC} \cdot \Omega$ 的电荷。

可按照以下算式，基于 $170 \text{ m}\Omega$ 级别的器件推导 Q_{oss} 绝对值：

$$\text{CFD7 要达到 } 25 \text{ V} \quad Q_{oss, 400\text{V to } 25\text{V}} = \frac{1.2 \text{ nC} \cdot \Omega}{144 \text{ m}\Omega} \approx 8 \text{ nC}$$

$$\text{CFD2 要达到 } 0 \text{ V} \quad Q_{oss, 400\text{V to } 0\text{V}} = \frac{19 \text{ nC} \cdot \Omega}{171 \text{ m}\Omega} \approx 111 \text{ nC}$$

结果表明，减小输出电容(C_{oss})放电所需的再循环电流是有可能的。

2.2.3 E_{oss} （输出电容中储存的能量）

自 200 V 以上，600 V CoolMOS™ CFD7 相对所有竞争产品都具有改进的 E_{oss} 特性。只有竞争产品 A 在 200 V 以下展示出电压更低的优势。

2 技术特性/参数

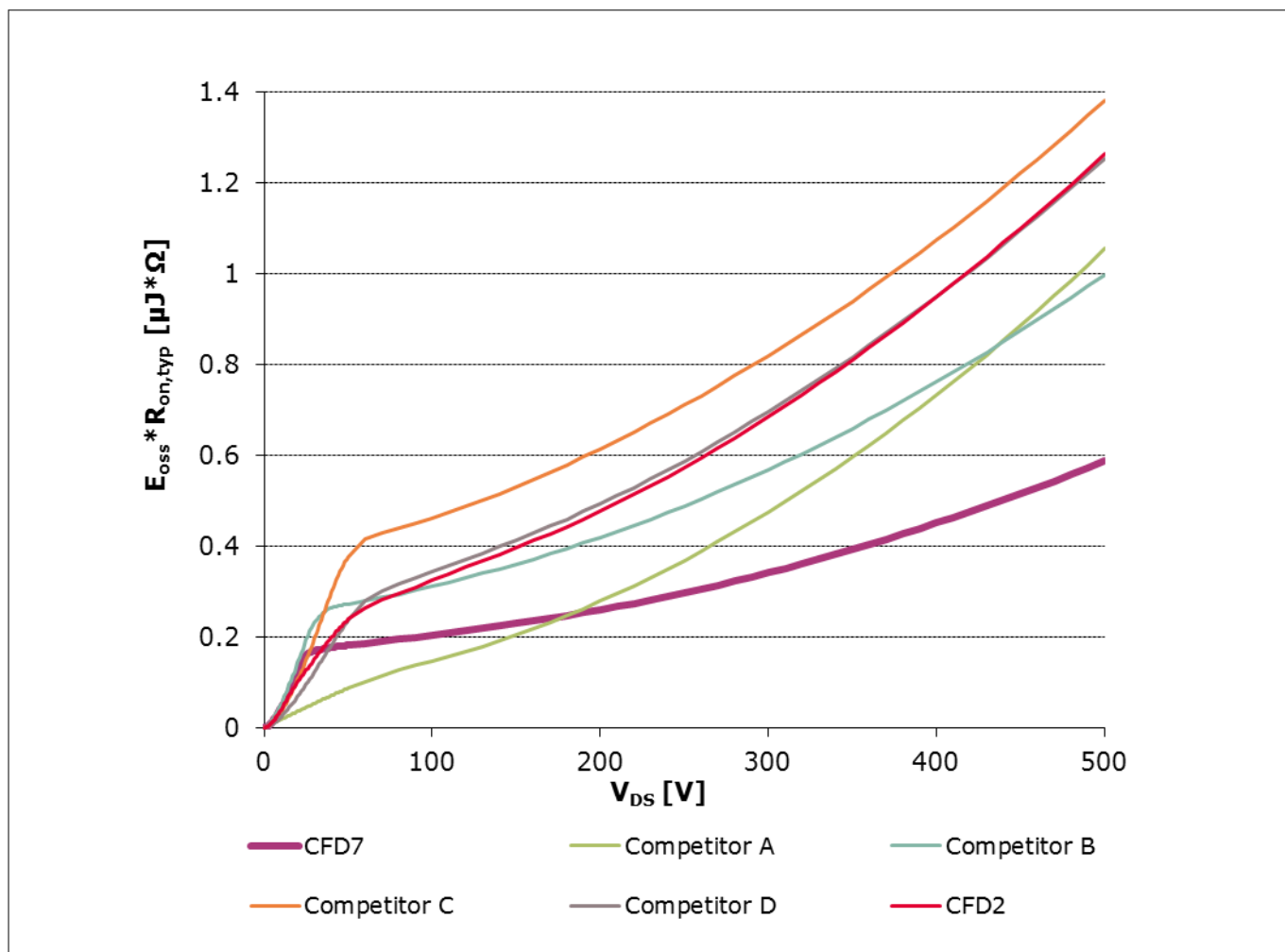


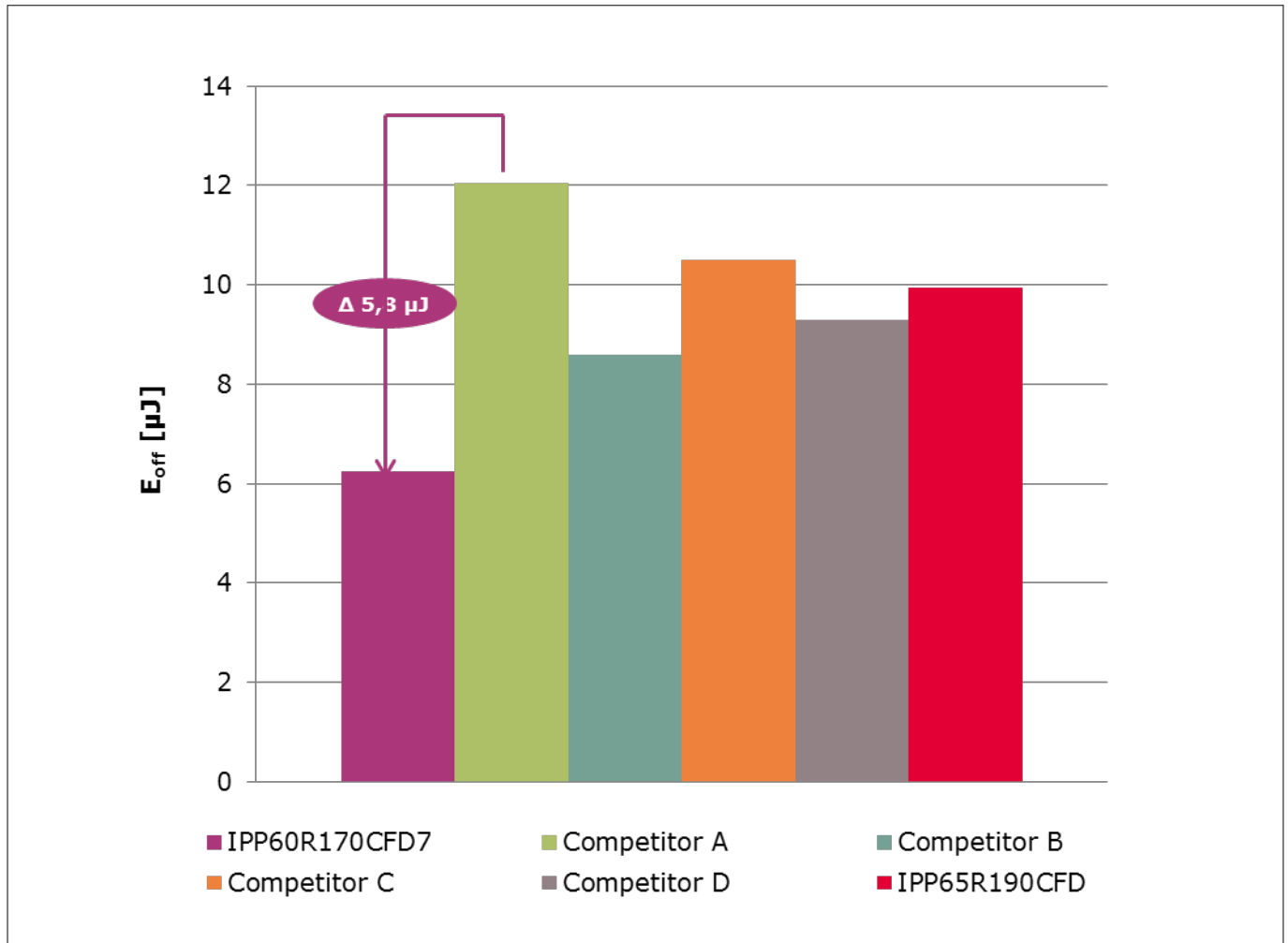
图 12 基于特征的 Eoss 比较

在硬开关导通中，600 V CoolMOS™ CFD7 绝无对手；不过，在更低的电压下，导通差别逐渐缩小。在之前显示的 Qoss 和推荐的 25 V 导通中，可以看到，竞争产品 A 能够实现完全 ZVS 操作，与之相比，600 V CoolMOS™ CFD7 的导通损耗则增加至约 1 μJ ($E_{oss \text{ at } 25V} = \frac{0.15 \mu J \cdot \Omega}{144 m\Omega} \approx 1 \mu J$)，因为在 25 V VDS 下，可能的电压/电流重叠可以忽略不计。此外，有必要将关断损耗与推荐的 25 V 导通进行比较。

2.2.4 Eoff（硬关断期间的开关损耗）

600 V CoolMOS™ CFD7 在所有竞争产品系列中具有最低的 Eoff 损耗。如下图所示，继续 CFD7 与具有最低 Qoss 的竞争产品 A 之间的比较，CFD7 的 Eoff 更低，为 5.8 μJ。

2 技术特性/参数

图 13 $R_{G,ext} = 1.8 \Omega$; $I_D = 7 A$ 条件下的 E_{off} 比较

如以下基于 $170 m\Omega$ 器件的计算所示，考虑 600 V CoolMOS™ CFD7 在 25 V 时的 E_{oss} 以及竞争产品 A 在 0 V 时的 $E_{oss} = 0 J$ ，CFD7 在每个周期的总开关损耗依然较低。

竞争产品 A 的总开关损耗计算：

$$E_{oss} = 0 J \rightarrow \text{full ZVS operation}$$

$$E_{on} = 0 J$$

$$E_{off} = 12 \mu J$$

$$E_{total} = E_{oss} + E_{on} + E_{off} = 12 \mu J \rightarrow \text{at } 100 \text{ kHz} \rightarrow P_{switching} = 12 \mu J \cdot 100 \text{ kHz} = 1.2 W$$

600 V CoolMOS™ CFD7 的总开关损耗计算：

$$E_{oss} = 1 \mu J \rightarrow \text{turn on at } 25 V$$

$$E_{on} = 0 J$$

$$E_{off} = 6.2 \mu J$$

$$E_{total} = E_{oss} + E_{on} + E_{off} = 7.2 \mu J \rightarrow \text{at } 100 \text{ kHz} \rightarrow P_{switching} = 7.2 \mu J \cdot 100 \text{ kHz} = 0.72 W$$

基于此计算，600 V CoolMOS™ CFD7 的总开关损耗比竞争产品 A 低大约 40%。

在比较开关损耗的同时，实现较高负载效率的另一重要因素是传导损耗，这些损耗单纯取决于 $R_{DS(on)}$ 在工作温度下的特性。

2 技术特性/参数

2.2.5 RDS(on)温度相关性

25°C 条件下所有数据表中的有效 RDS(on)值和 RDS(on)裕量均为正值，但了解工作温度下的传导损耗同样也很重要。下图显示了 RDS(on)随结温的变化情况。

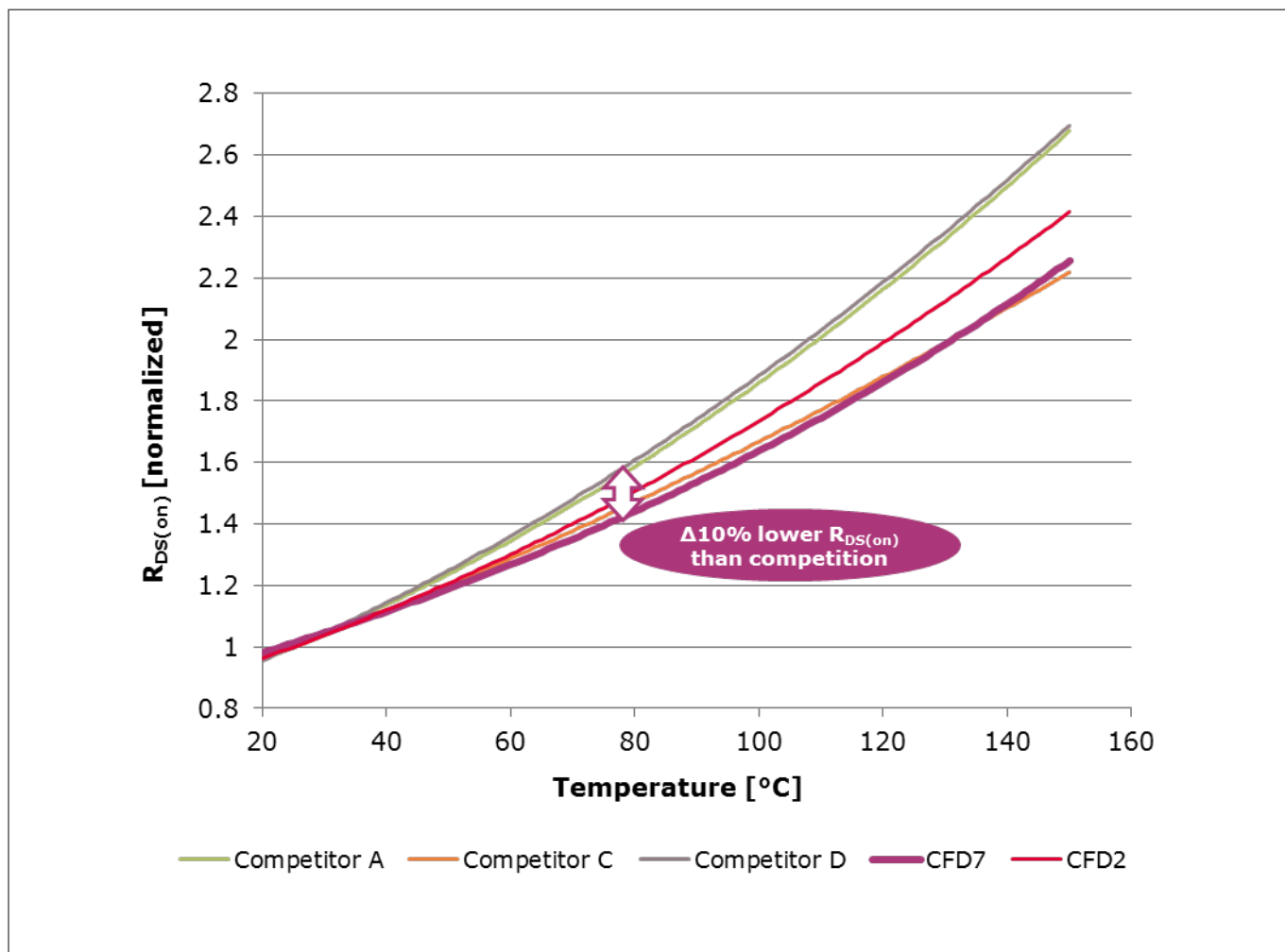


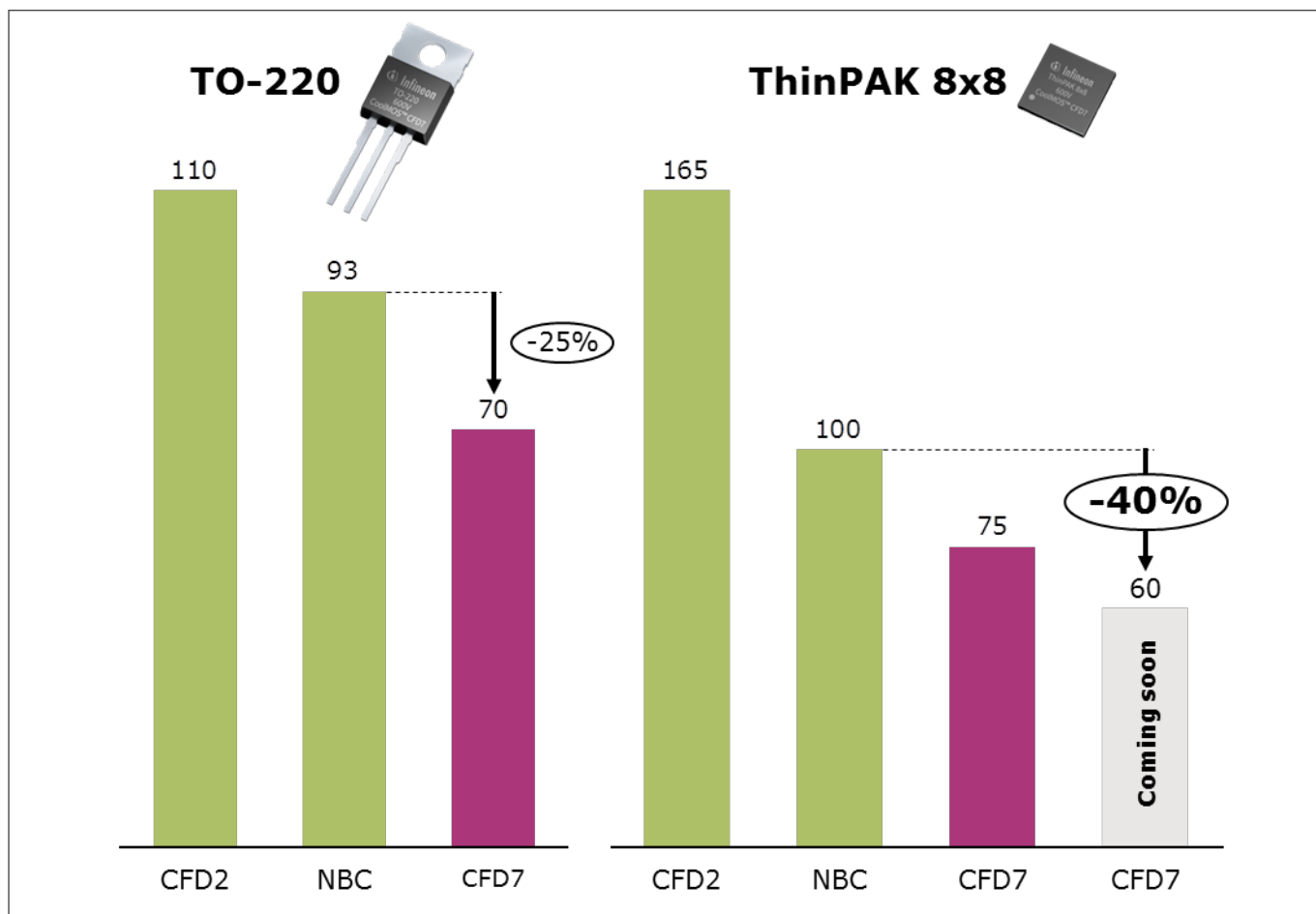
图 14 归一化的 RDS(on)与结温的关系

可以清楚地看到，与竞争产品相比，600 V CoolMOS™ CFD7 在 80°C 时的 RDS(on)要低 10%左右，这使得它 在高功率应用的中等负载到满载工作条件下具有高得多的效率。

2.2.6 在不同封装中一流的 RDS(on)

为了实现更高的效率和功率密度，600 V CoolMOS™ CFD7 在 TO-220、ThinPAK 8x8 和 TO-247 封装中均提供同类最佳 RDS(on)等级。下图将 CFD7 与最接近的竞争产品进行了比较。

3 总结

图 15 在不同封装中的一流 $R_{DS(on)}$

3 总结

综合考虑上述所有技术特性和参数，600 V CoolMOS™ CFD7 在软开关和硬开关拓扑中均具有出色的稳定性。CFD7 还能支持高功率密度的解决方案，并在所有目标市场实现最高的效率。而且，它能提供极具吸引力的价格和具有竞争力的长期价格路线图。

以下效率比较验证了 600 V CoolMOS™ CFD7 的性能增益。

4 产品系列

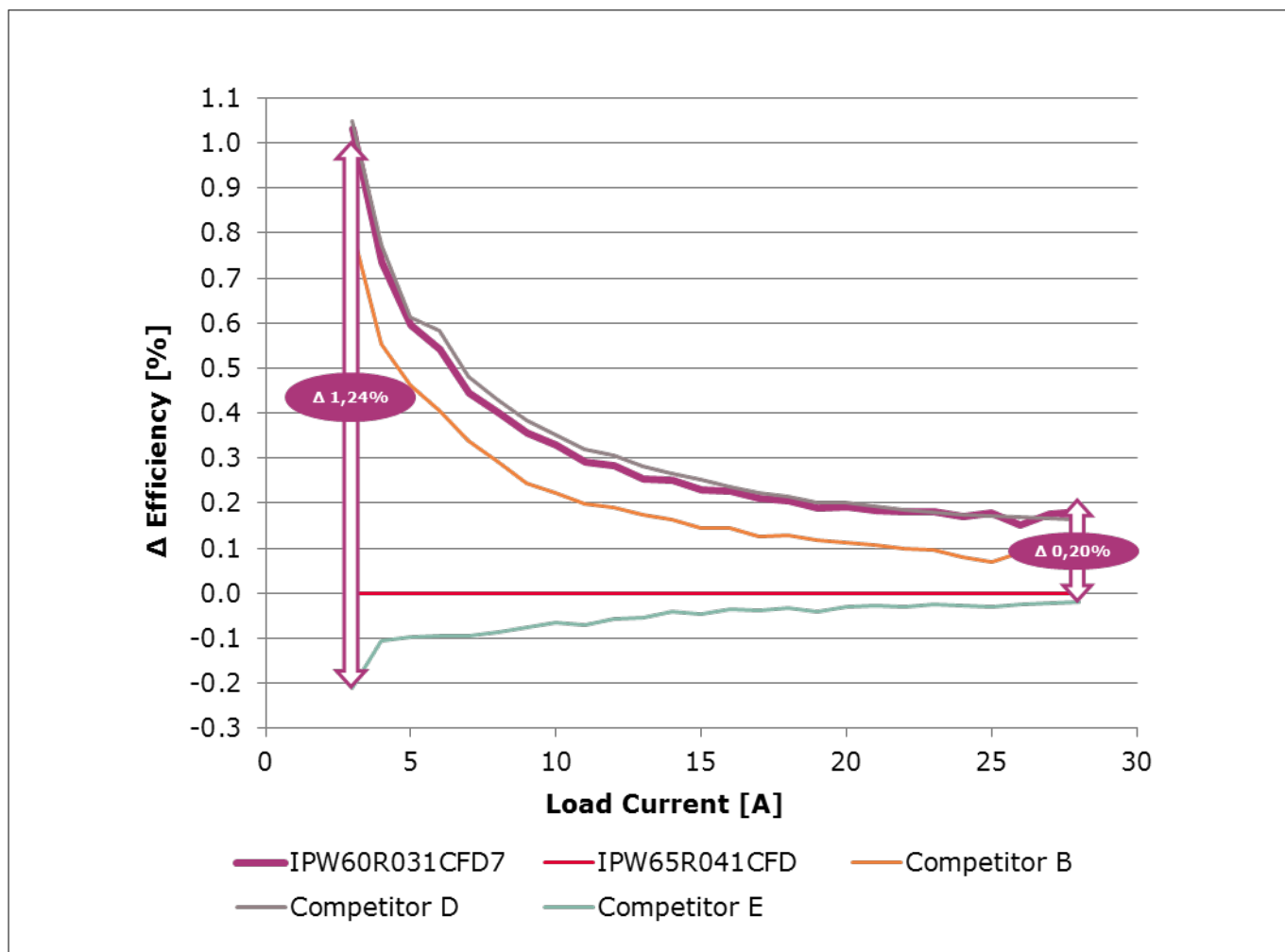











图 16 在 3 kW LLC DC-DC 级中的效率增量

4 产品系列

这是产品系列。

4 产品系列

$R_{DS(ON)}$ [mΩ] Max.	 TO-263 D ² PAK	 TO-252 D-PAK	 ThinPAK 8x8™	 TO-220	 TO-220 FullPAK	 TO-247	 TOLL	 DDPAK	 QDPAK
360	IPB60R360CFD7	IPD60R360CFD7		IPP60R360CFD7	IPA60R360CFD7				
280	IPB60R280CFD7	IPD60R280CFD7		IPP60R280CFD7	IPA60R280CFD7				
210/215	IPB60R210CFD7	IPD60R210CFD7	IPL60R225CFD7	IPP60R210CFD7	IPA60R210CFD7				
170/185	IPB60R170CFD7	IPD60R170CFD7	IPL60R185CFD7	IPP60R170CFD7	IPA60R170CFD7	IPW60R170CFD7		IPDD60R170CFD7	
145/160	IPB60R145CFD7	IPD60R145CFD7	IPL60R160CFD7	IPP60R145CFD7	IPA60R145CFD7	IPW60R145CFD7	IPT60R145CFD7	IPDD60R145CFD7	
125/140	IPB60R125CFD7		IPL60R140CFD7	IPP60R125CFD7	IPA60R125CFD7	IPW60R125CFD7	IPT60R125CFD7	IPDD60R125CFD7	
105/115	IPB60R105CFD7		IPL60R115CFD7	IPP60R105CFD7		IPW60R105CFD7	IPT60R105CFD7	IPDD60R105CFD7	
90/95	IPB60R090CFD7		IPL60R095CFD7	IPP60R090CFD7		IPW60R090CFD7	IPT60R090CFD7	IPDD60R090CFD7	
70/75	IPB60R070CFD7		IPL60R075CFD7	IPP60R070CFD7		IPW60R070CFD7	IPT60R075CFD7	IPDD60R075CFD7	IPDQ60R075CFD7*
55/60	IPB60R055CFD7		IPL60R060CFD7			IPW60R055CFD7	IPT60R055CFD7	IPDD60R055CFD7	IPDQ60R055CFD7*
40/45	IPB60R040CFD7					IPW60R040CFD7	IPT60R045CFD7	IPDD60R045CFD7	IPDQ60R045CFD7*
31/35						IPW60R031CFD7	IPT60R035CFD7		IPDQ60R035CFD7*
24/26						IPW60R024CFD7			IPDQ60R025CFD7*
18/20						IPW60R018CFD7			IPDQ60R020CFD7*
15									IPDQ60R015CFD7*

*coming soon

图 17 计划的产品系列

相关信息和附加内容，请访问：www.infineon.com/cfd7

随 600 V CoolMOS™ CFD7 一同发布的所有评估板应用说明中提供了更多基准测试。请访问英飞凌主页。

修订历史记录

修订历史记录

文档版本	发布日期	变更说明
v2.0	14/06/2019	<ul style="list-style-type: none">更新产品组合图片
v1.0	03/11/2017	<ul style="list-style-type: none">第一版。

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2019-06-14

Published by

Infineon Technologies AG
81726 Munich, Germany

© 2019 Infineon Technologies AG
All Rights Reserved.

Do you have a question about any aspect of this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference
IFX-my1511962928464

IMPORTANT NOTICE

The information contained in this application note is given as a hint for the implementation of the product only and shall in no event be regarded as a description or warranty of a certain functionality, condition or quality of the product. Before implementation of the product, the recipient of this application note must verify any function and other technical information given herein in the real application. Infineon Technologies hereby disclaims any and all warranties and liabilities of any kind (including without limitation warranties of non-infringement of intellectual property rights of any third party) with respect to any and all information given in this application note.

The data contained in this document is exclusively intended for technically trained staff. It is the responsibility of customer's technical departments to evaluate the suitability of the product for the intended application and the completeness of the product information given in this document with respect to such application.

WARNINGS

Due to technical requirements products may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies office.

Except as otherwise explicitly approved by Infineon Technologies in a written document signed by authorized representatives of Infineon Technologies, Infineon Technologies' products may not be used in any applications where a failure of the product or any consequences of the use thereof can reasonably be expected to result in personal injury