1200V 分立器件 IGBT“XS 系列”

“XS Series” 1,200-V Discrete IGBTs

原　幸仁 HARA, Yukihito　　加藤　由晴 KATO, Yoshiharu　　田村　隆博 TAMURA, Takahiro

富士电机针对以 20 kHz 左右开关频率使用的 UPS 或太阳能发电用 PCS，开发了改善导通损耗与开关损耗的均衡特性的分立器件 IGBT，并进行了产品化。该产品额定值为 1200 V/40 A、75 A，与传统产品相比，关断开关损耗降低了约 6%，集电极和发射极饱和电压降低了 0.55 V，权衡特性改善了 20% 以上。在 T-type 三电平变频器模拟电路中，对分立器件 IGBT 的塑壳温度进行了测定，确认塑壳温度比传统产品低 2.4 ～ 3.4℃。

Fuji Electric has developed and released a discrete IGBT for photovoltaic power generation PCSs and UPSs with a switching frequency of about 20 kHz. This device has enhanced trade-off characteristics of conductive loss and switching loss. It comes with ratings of 1,200 V/40 A, 75 A. Compared with conventional products, it reduces the turn-off switching loss by about 6% and collector-emitter saturation voltage by 0.55 V and improves the trade-off characteristics by 20% or more. The temperature of the discrete IGBT case in the simulated circuit of a T-type three-level inverter was 2.4°C to 3.4°C lower than conventional products.

1　引言

近年来，太阳能发电和风力发电等可再生能源，因不产生 CO_2 等温室气体和可在本国进行生产等优点，正在得到普及。同时，能源的分散化进一步发展，电力转换装置的需求正在增加。在这一背景下，要求提高将太阳能发电的直流电转换为交流电的功率调节器（PCS：Power Conditioning System）等电力转换装置效率的需求越来越高。

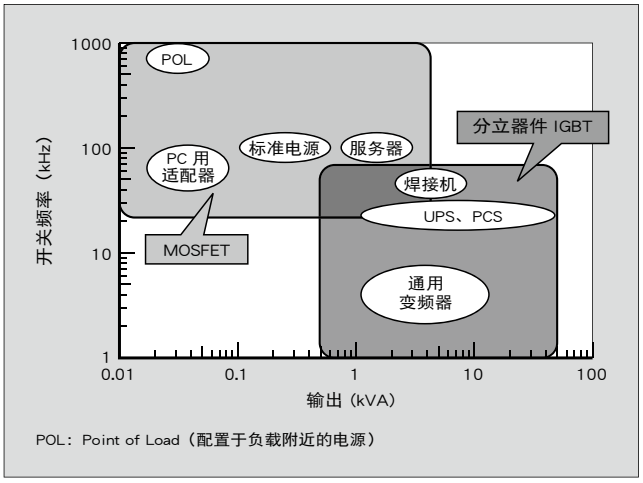
随着信息、通信系统的不断发展，IoT（Internet of Things）、大数据和人工智能（AI：Artificial Intelligence）等得到运用，云端化不断发展，数据使用量在全球范围内大量增加。对处理数据的服务器和数据中心而言，提供高品质电力的不间断电源装置（UPS：Uninterruptible Power System）的高效化不可或缺。

为提高 PCS 和 UPS 的效率，进一步降低所用半导体开关元件的损耗极为重要。

富士电机量产了 650 V 耐压的分立器件 IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）“XS 系列”，该产品改善了导通电压与开关损耗的权衡特性，有利于提高 UPS 和 PCS 的效率[(1)]。本文对新开发的量产型 XS 系列 1200 V 耐压产品的概要及其效果进行论述。

2　“XS 系列”的概要

图 1 是分立器件 IGBT 的主要用途。本次开发的 1200 V XS 系列，将开关频率在 20 kHz 左右使用的 PCS 或 UPS 作为目标设备。本产品在作为分立器件产品的标准封装 TO-247 上搭载了 IGBT 及 FWD（Free Wheeling Diode）芯片。**图 2** 所示为 XS 系列外观，**表 1** 所示为主要最大额定值和电气特性。预设在数 kVA 至数十 kVA 的 UPS 和 PCS 中使用，产品阵容包括大额定电流的 40 A 和 75 A。



POL：Point of Load（配置于负载附近的电源）

图 1　分立器件 IGBT 的主要用途

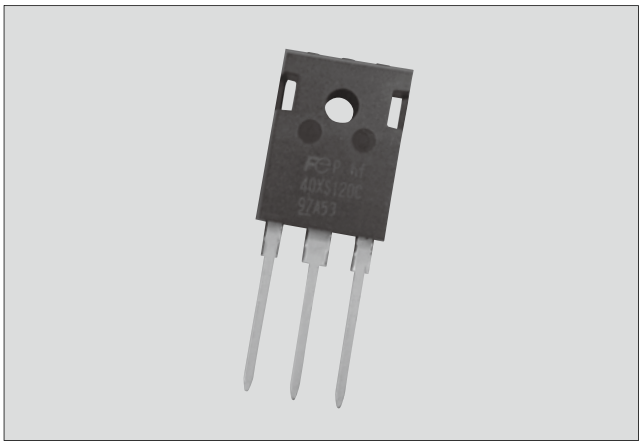


图 2　“XS 系列”（TO-247 封装）

表 1 “XS 系列”的主要最大额定值与电气特性

型号	内置 FWD	封装	最大额定				电气特性			
			IGBT			FWD	IGBT		FWD	
			V_{CES}	I_C T_{vj}=100 ℃	I_{CP}	I_F T_{vj}=100 ℃	$V_{CE(sat)}$ T_{vj}=25 ℃ (typ.)	$V_{CE(sat)}$ T_{vj}=125 ℃ (typ.)	V_F T_{vj}=25 ℃ (typ.)	V_F T_{vj}=125 ℃ (typ.)
			(V)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(V)
FGW40XS120C	有	TO-247	1200	40	160	40	1.60	1.85	2.90	2.95
FGW75XS120C	有	TO-247	1200	75	300	75	1.60	1.85	2.90	2.95
FGW40XS120	无	TO-247	1200	40	160	—	1.60	1.85	—	—
FGW75XS120	无	TO-247	1200	75	300	—	1.60	1.85	—	—

3 分立器件 IGBT 的课题

对于数 kVA 以上的 PCS 或 UPS，为了改善变频器部的电力转换效率，一般采用三电平变频器。**图 3** 所示为 T-type 三电平变频器的电路图。

对于 PCS 或 UPS，IGBT 的开关频率多在 20 kHz 左右。1200 V 额定产品所用的 T-type 主开关部（T1、T2）IGBT 的损耗详情如**图 4** 所示。在 T-typeIGBT 损耗中，导通损耗 P_{sat} 约为 40%，导通时的开关损耗 P_{on} 和关断时的开关损耗 P_{off} 合计约为 60%。同时降低导通损耗和开关损耗非常重要。另一方面，IGBT+FWD 的元件整体损耗中，FWD 的损耗仅约为 3%。但是，因反向恢复时的开关损耗 P_{rr} 约占 FWD 损耗的 90%，所以还需要降低 P_{rr}。

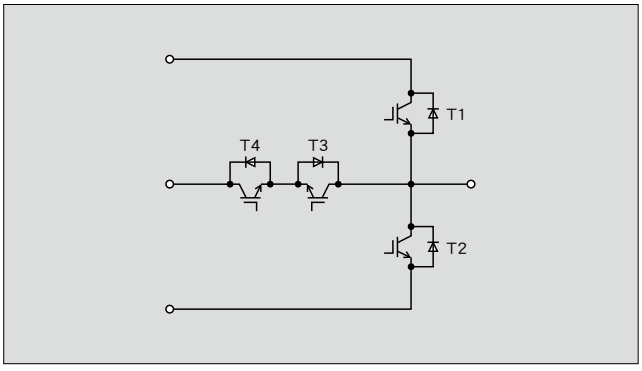


图 3 T-type 三电平变频器电路图

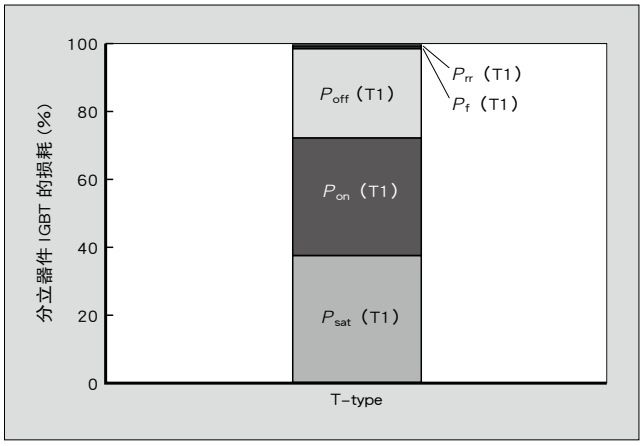


图 4 器件损耗分析结果（f_C=20 kHz）

4 1200V “XS 系列”的特点

1200 V XS 系列以第 7 代“X 系列”IGBT 以及 FWD 的芯片技术为基础，针对驱动频率在 20 kHz 左右的分立器件产品进行了优化设计。

4.1 IGBT 芯片

图 5 是 IGBT 芯片的截面结构。传统的“High-Speed W 系列”产品以用于模块的第 6 代“V 系列”IGBT 为基础，通过大幅降低寄生容量，对表面结构和电场终止（FS）层进行优化，抑制孔穴注入的集电极层，降低 Si 基板的厚度等措施，设计时充分考虑了高速开关的特性[2]。与此相对，XS 系列以第 7 代 X 系列 IGBT 为基础，通过 UPS 和 PCS 用分立器件 IGBT 最佳的表面结构、FS 层和抑制空穴注入的集电极优化层和 Si 基板的薄化等，与第 6 代相比，改善了集电极和发射极饱和电压 $V_{CE(sat)}$ 和关断开关损耗 E_{off} 的权衡特性。这样，如**图 6** 所示，与传统产品相比，在 E_{off} 降低了约 6% 的同时，$V_{CE(sat)}$ 降低了 0.55 V，权衡特性改善了 20% 以上。

4.2 FWD 芯片

图 7 是 FWD 芯片的截面结构。FWD 以正向电压 V_F 和反向恢复动作时的开关损耗 E_{rr} 的权衡特性最先进的第 7

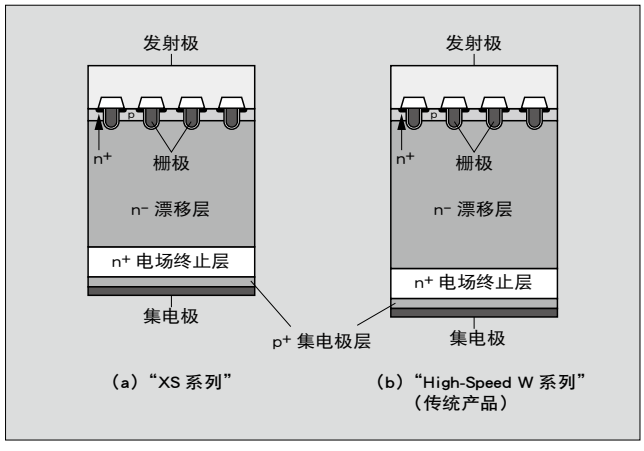


图 5 IGBT 芯片的截面结构图

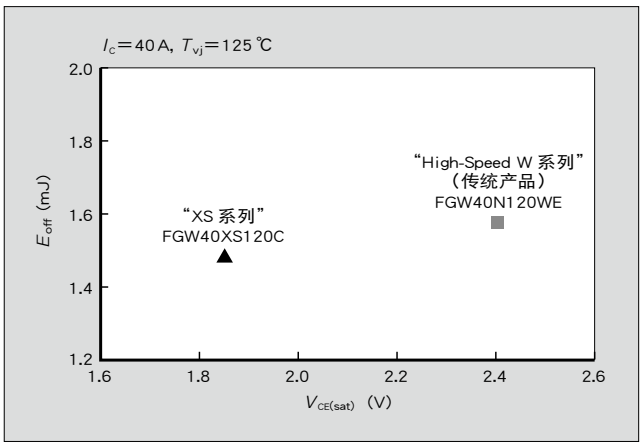


图 6　权衡特性（IGBT）

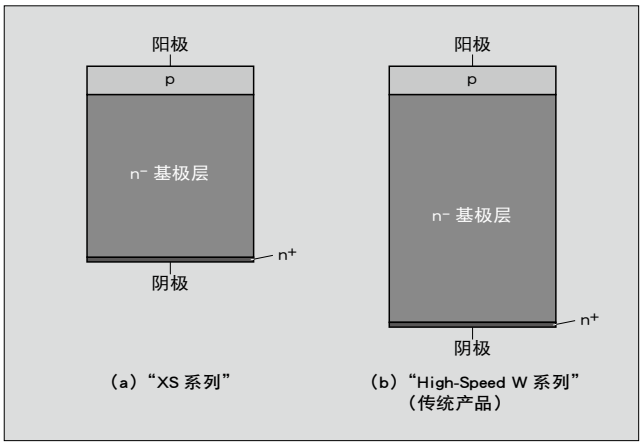


图 7　FWD 芯片的截面结构图

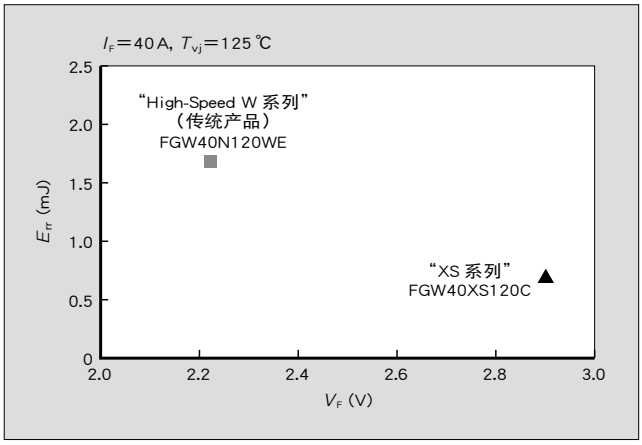


图 8　权衡特性（FWD）

代 X 系列 FWD 为基础，进行了 Si 基板的薄化和寿命控制的优化。**图 8** 所示为 V_F 与 E_{rr} 均衡特性。为了适用于 PCS 和 UPS，与 High-Speed W 系列相比，将 E_{rr} 改善约 60%，从而降低了开关损耗。

4.3　封装

采用业界标准的 TO-247 封装。芯片与引线框架连接的芯片焊料，使用了无铅焊料。同时，也符合将管制物质从种物质扩大到 10 种物质的修正 RoHS(RoHS2) 指令(注)（2011/65/EU）。

5　“XS 系列”的效果

5.1　器件损耗仿真结果

图 9 所示为 T-type 三电平变频器的分立器件 IGBT 耗散功率仿真结果。对使用 1200 V 产品的主开关 T1 和使用 650 V 产品的 AC 开关 T4 分别搭载 XS 系列和传统产品 High-Speed W 系列，并对其进行了比较。从结果可知，与 High-Speed W 系列相比，1200 V XS 系列的 $V_{CE(sat)}$ 和 E_{off} 均衡特性得到了改善，降低了 T1 的损耗。

另外，使用 650 V 产品的 AC 开关单元，XS 系列的损耗也比 High-Speed W 系列降低。主开关单元和 AC 开关单元双方如果均使用 XS 系列，则可进一步降低损耗。

5.2　实际动作评价结果

在 T-type 三电平变频器的模拟电路中，主开关 T1 使用 1200 V 产品、AC 开关 T4 使用 650 V 产品时的 IGBT 塑壳温度测定结果如**图 10**、**图 11** 所示。IGBT 的开关频率

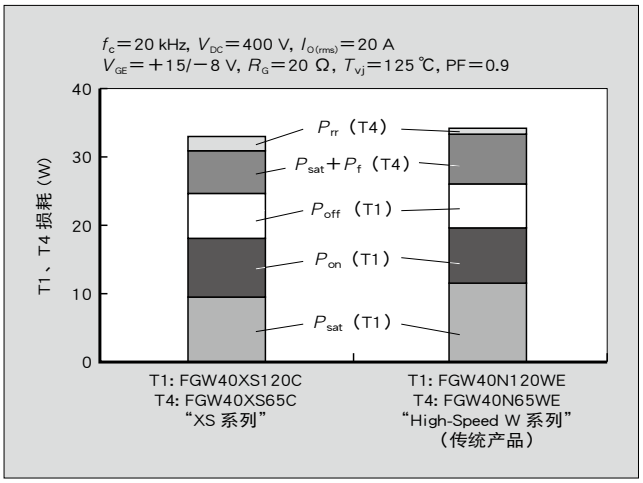


图 9　器件损耗（三电平 T-type）

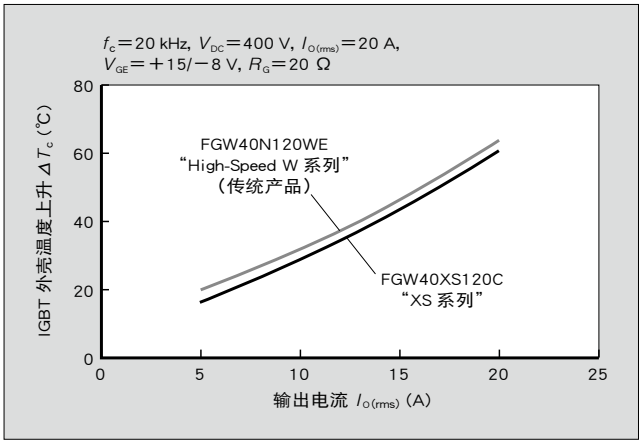


图 10　IGBT 外壳温度

（注）RoHS 指令：关于电气电子设备中限制特定有害物质使用的 EU（欧盟）指令

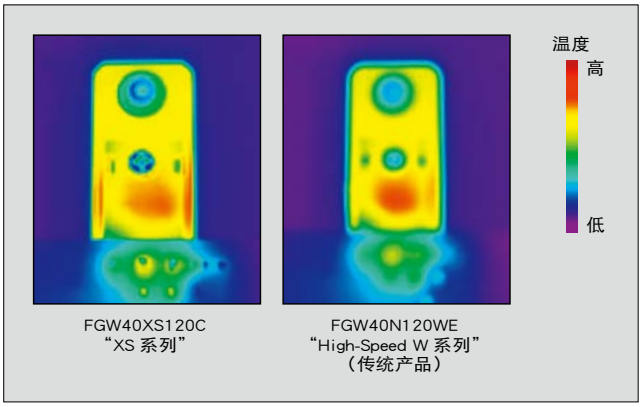


图 11　IGBT 塑壳温度（$I_{O(rms)}$＝20 A）

为 20 kHz。

在所有负载区域，XS 系列与传统产品 High-Speed W 列相比，塑壳温度降低了 2.4 ～ 3.4 ℃。

6　后记

本文对 1200 V 的分立器件 IGBT“XS 系列”进行了论述。经确认，T-type 三电平变频器的主开关单元配合使用 1200 V 的 XS 系列，AC 开关单元配合使用 650 V 的 XS 系列有效。

虽然本产品是以 PCS 和 UPS 为主要对象开发的，但它也可以广泛应用于开关电源的 PFC 电路和工业设备等领域。

今后将进一步推动器件的低损耗化，提供适应市场需求的产品，对节能化，电力转换的高效化做出贡献。

参考文献

⑴　原幸仁等. 650V 分立器件 IGBT“XS 系列”. 富士电机技报. 2019, vol.C11, no.1, p.42-45.

⑵　原幸仁等. 高速分立器件 IGBT“High-Speed W 系列”. 富士电机技报. 2016, vol.C8, no.1, p.55-59.

原　　幸仁

从事分立器件半导体元件的开发和设计。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部产业事业部产业分立器件部。

加藤　由晴

从事功率半导体元件的开发和设计。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部开发统括部元件开发部。

田村　隆博

从事功率半导体元件的开发和设计。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部开发统括部元件开发部。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。