650 V 分立器件 IGBT“XS 系列”

“XS Series” 650-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 20kHz 左右开关频率运行的 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 650 V 分立器件 IGBT “XS 系列”，并进行了产品化。额定值为 650 V/30～75 A 的产品，和传统产品相比，导通损耗与开关损耗分别实现了 20% 以上的降低。将其搭载到 UPS 上并进行效率测定的结果，效率在所有负载领域内都超过了传统产品，最大提高了 0.12 点。而且，还确认了器件塑壳温度的上升变小。

Fuji Electric has developed and launched the “XS Series” 650-V discrete IGBTs as a product line-up for UPSs and photovoltaic power generation PCSs that operate at a switching frequency of approximately 20 kHz. These devices are improved in a trade-off between conduction loss and switching loss. The series has a rating of 650 V/30 to 75 A, and its conduction loss and switching loss are lower than previous products by 20% or more. When Incorporated in a UPS, the device showed higher efficiency than previous products for all load ranges, increasing by up to 0.12 points. It also showed that the rise in device case temperature becomes smaller.

1　引言

近年来，IoT (Internet of Things)、大数据、人工智能 (AI：Artificial Intelligence) 的运用不断发展，数据的使用量正在全球范围内增加。在此背景下，处理数据的服务器或数据中心对省电化的要求十分迫切，这些需要高品质电力的装置所使用的不间断电源装置 (UPS：Uninterruptible Power System) 也在不断提高效率。

另一方面，随着太阳能发电或风力发电等可再生能源的普及，能源的分散化不断推进，电力转换的需求增加。而在将太阳能发出的直流电力转换为交流电力的功率调节器 (PCS：Power Conditioning System) 领域，和 UPS 同样，设备的高效率化不断进步。

要提高 UPS 或 PCS 的效率，对开关元件低损耗化的要求便极为强烈。

富士电机对导通电压和开关损耗的均衡特性进行了改善，开发了提高 UPS 或 PCS 效率的 650 V 分立器件 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) “XS 系列”，并进行了产品化。本文将对产品的概要及其应用效果进行介绍。

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 650 V XS 系列，将开关频率在 20 kHz 左右运行的 UPS 或 PCS 作为目标设备。如**图 2** 所示，将额定电流 30 ～ 75 A 的 IGBT 及 FWD (Free Wheeling Diode) 芯片搭载在分立器件产品标准的 TO-247 封装中。**表 1** 是 XS 系列的主要最大额定值与电气特性。根据装置的电源容量配有多种选择。

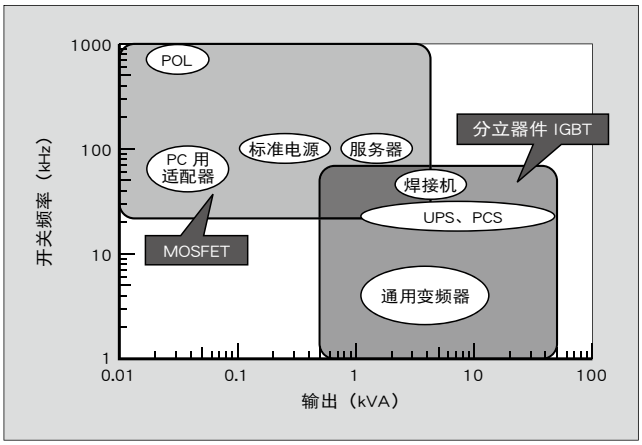

图 1　分立器件 IGBT 的主要用途

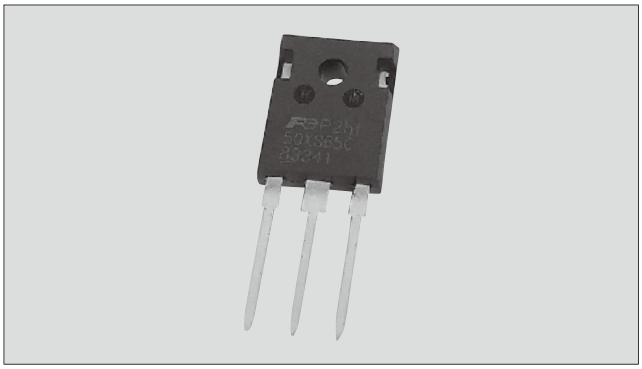

图 2　“XS 系列”(TO-247 封装)

3　分立器件 IGBT 的课题

对于数 kVA 以上的 UPS 或 PCS，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** 是三电平变频器的 I-type 和 T-type 的电路图。

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)
FGW50XS65D	有	TO-247	650	50	200	30	1.35	1.50	1.70	1.78
FGW75XS65D	有	TO-247	650	75	300	30	1.35	1.50	1.70	1.78
FGW30XS65C	有	TO-247	650	30	120	30	1.35	1.50	1.70	1.78
FGW40XS65C	有	TO-247	650	40	160	40	1.35	1.50	1.70	1.78
FGW50XS65C	有	TO-247	650	50	200	50	1.35	1.50	1.70	1.78
FGW75XS65C	有	TO-247	650	75	300	75	1.35	1.50	1.70	1.78
FGZ75XS65C	有	TO-247-4	650	75	300	75	1.35	1.50	1.70	1.78
FGW30XS65	无	TO-247	650	30	120	—	1.35	1.50	—	—
FGW40XS65	无	TO-247	650	40	160	—	1.35	1.50	—	—
FGW50XS65	无	TO-247	650	50	200	—	1.35	1.50	—	—
FGW75XS65	无	TO-247	650	75	300	—	1.35	1.50	—	—

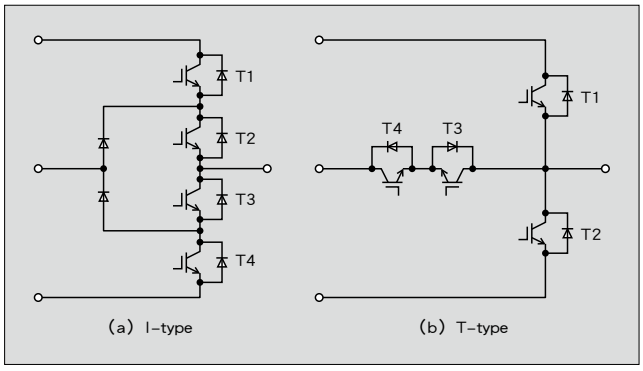

图 3 三电平变频器电路图

对于 UPS 或 PCS，分立器件 IGBT 的开关频率多在 20 kHz 左右。**图 4** 是使用 650 V 额定产品的 I-type 的 T1、T2、T-type 的 AC 开关部（T3、T4）中分立器件 IGBT 损耗的详细内容。I-type 方面，T1 的导通损耗 P_{sat}、开通损耗 P_{on}、关断损耗 P_{off} 都需要降低，T2 需要降低 P_{sat}。而 T-type 方面，则需要降低 IGBT 和 FWD 的导通损耗 P_{sat} + P_f，以及 FWD 的恢复损耗 P_{rr}。

为了提高设备效率，将该变频器电路中的电力损耗控制在最低程度十分重要，XS 系列将重点放在了降低 IGBT 和 FWD 两者的导通损耗和开关损耗上。

4 “XS 系列”的特点

650 V XS 系列以第 7 代“X 系列”IGBT 以及 FWD 的芯片技术为基础，针对开关频率在 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，抑制孔穴注入集电极层，降低 Si 基板的厚度等措施，实现了专注于高速开关特性的设计。[1] 与之相对地，XS 系列将改善了第 6 代产品的 $V_{CE\ (sat)}$-E_{off} 均衡特性的第 7

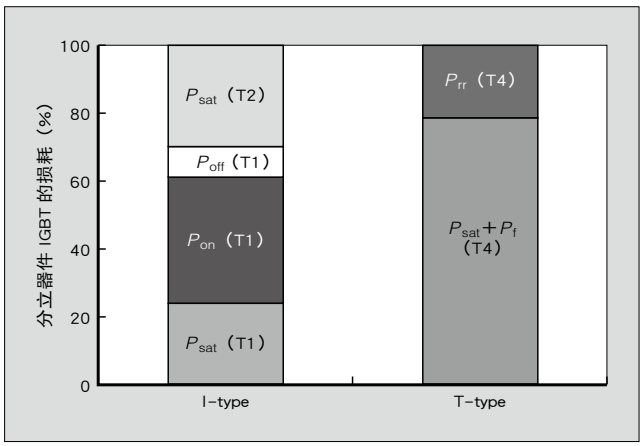

图 4 器件损耗分析结果（f_c = 20 kHz）

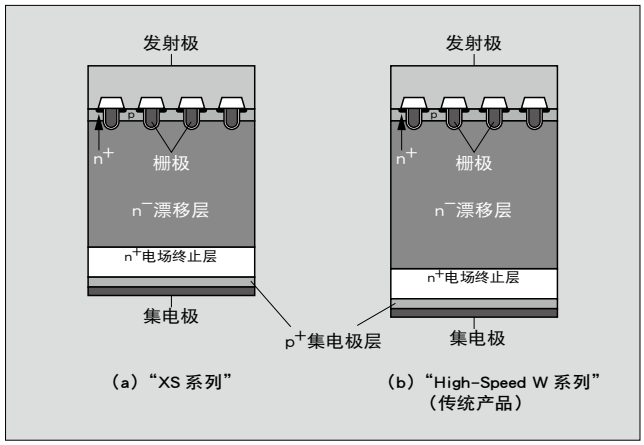

图 5 IGBT 芯片的截面结构图

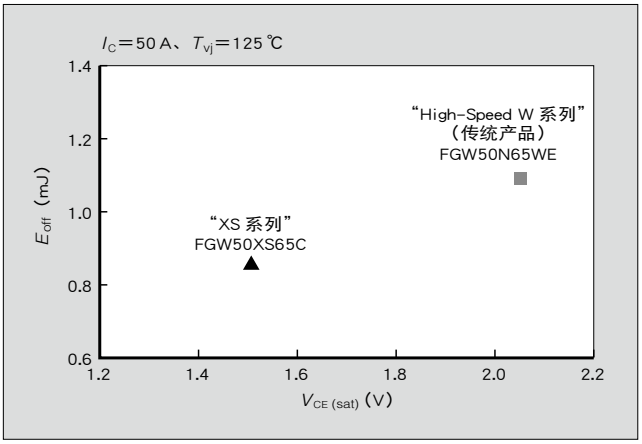

图 6　均衡特性（IGBT）

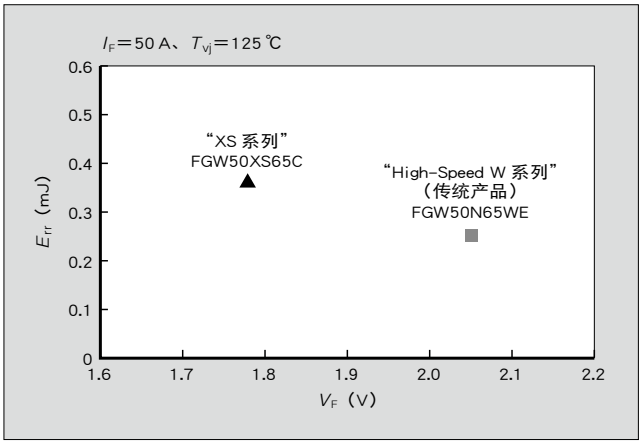

图 8　均衡特性（FWD）

代 X 系列 IGBT 技术作为基础，加入了如表面结构的优化、FS 层的优化、抑制向集电极层的空穴注入、Si 基板的薄型化等改善 $V_{CE\ (sat)}$–E_{off} 均衡特性的设计，制成面向 UPS 或 PCS 的分立器件 IGBT。如**图 6** 所示，通过这些措施，和传统产品相比，$V_{CE\ (sat)}$ 降低了 0.5 V，同时 E_{off} 降低了约 20%，大幅改善了均衡特性。

4. 2　FWD 芯片

图 7 是 FWD 芯片的截面结构。FWD 以 V_F–E_{rr} 的均衡特性最先进的第 7 代 X 系列 FWD 为基础，进行了 Si 基板的薄型化与寿命扼杀剂量的优化。这样在改善 V_F–E_{rr} 的均衡特性的同时，重视低 V_F 特性使其针对 UPS 或 PCS 达到最优，如**图 8** 所示，和 High-Speed W 系列相比，V_F 降低了约 0.3 V。

4. 3　封装

采用业界标准的 TO-247 封装。芯片和引线框架的连接使用无铅焊锡，符合 RoHS 指令〈注〉(EU2011/65/EU)。

另外，对于额定电流大的 75 A 额定产品，增加了子发射极端子的 TO-247-4 封装也进行了系列化。通过减少发射极共模电感，降低栅极 – 发射极的配线电感，提高了栅极的响应性，大幅降低了大电流工作时的开关损耗。

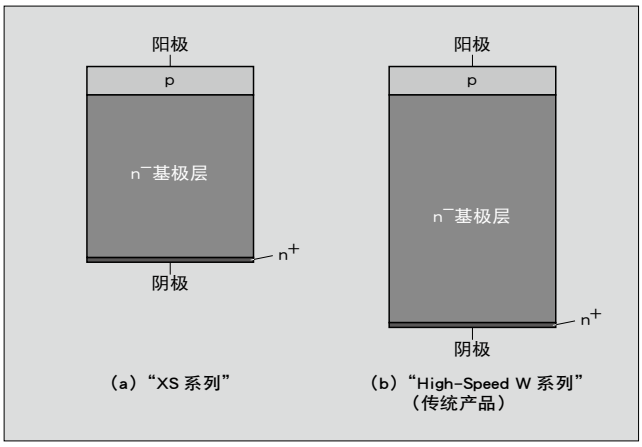

图 7　FWD 芯片的截面结构图

5　“XS 系列”的应用效果

5. 1　器件损耗仿真结果

图 9 是三电平变频器 I-type 的分立器件 IGBT 损耗的计算结果。XS 系列和 High-Speed W 系列相比，通过改善 $V_{CE\ (sat)}$ 和 E_{off} 的均衡特性，T1 和 T2 分别降低了损耗。

图 10 是三电平变频器 T-type 的 AC 开关部（T4）的 IGBT 和 FWD 损耗的计算结果。XS 系列和 High-Speed W 系列相比，通过降低 IGBT 的 $V_{CE\ (sat)}$ 和 FWD 的 V_F，即使是 T-type 也降低了损耗。

5. 2　UPS 评估结果

图 11 是在使用三电平变频器 I-type 的 UPS 中应用了 XS 系列时的效率测定结果。评估所使用的 UPS 的输出容量为 3 kW，IGBT 的开关频率为 24 kHz。

XS 系列的效率在所有的负载领域内都超过了传统的 High-Speed W 系列产品，最大提高了 0.12 点。另外，对于器件塑壳温度的上升，如**图 12** 所示，从 T1 至 T4，XS 系列都比 High-Speed W 系列的温度上升小。

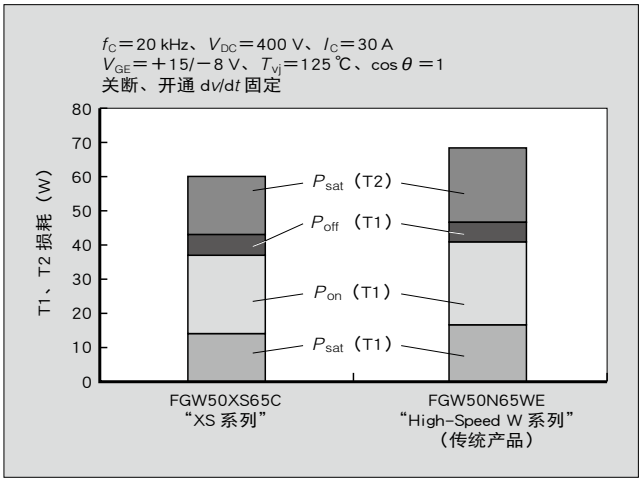

图 9　器件损耗（三电平 I-type）

〈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

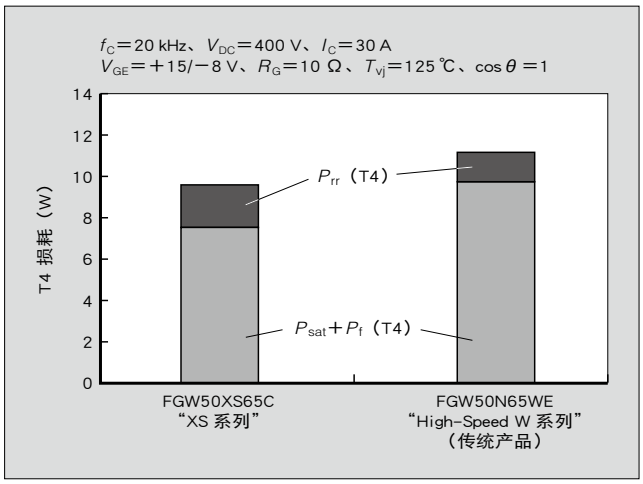

图 10　器件损耗（三电平 T-type）

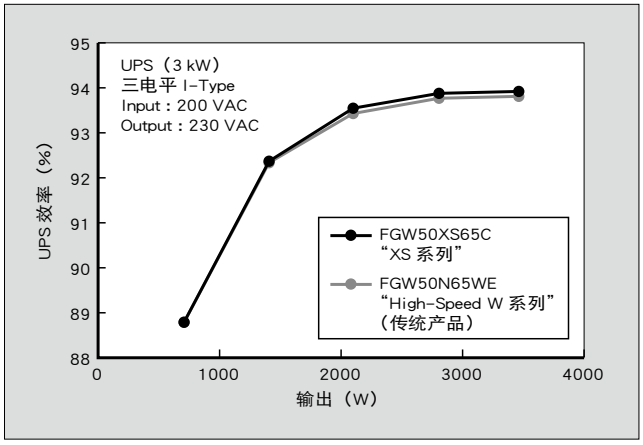

图 11　UPS 效率比较

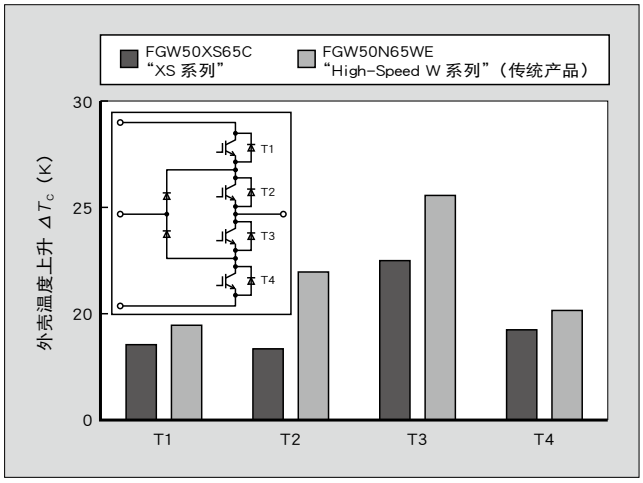

图 12　IGBT 塑壳温度上升比较

6　后记

以上对 650 V 的分立器件 IGBT“XS 系列”进行了介绍。虽然本产品是将 UPS 或 PCS 作为主要对象而开发的，但也可用于开关电源的 PFC 电路或工业设备等广泛的应用。另外，富士电机正在计划针对 UPS 或 PCS 中使用的三电平变频器 T-type 的主开关部以及二电平变频器开发分立器件 IGBT“XS 系列”的 1200 V 额定产品。

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

(1)　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。