分立器件 IGBT“XS 系列”的产品系列扩大

“XS Series” Discrete IGBTs Line-Up Expansion

原　幸仁 HARA, Yukihito　　前田　凉 MAETA, Ryo　　坂井　琢磨 SAKAI, Takuma

在不间断电源装置（UPS）和功率调节器（PCS）中所用的半导体开关元件的进一步低损耗化对提高装置效率而言极其重要。为此，富士电机推出了可改善导通损耗与开关损耗的均衡特性、提高 UPS 和 PCS 效率的 650 V 和 1200 V 耐压的分立器件 IGBT “XS 系列”。此次，又开发出 TO-247-4 封装产品，并已将其添加到产品系列之中。该产品增加了可进一步降低开关损耗的辅助发射极端子。额定值为 1200 V/75 A，与传统 TO-247 封装产品相比，开关损耗降低了 20 ～ 30%。

To further improve the efficiency of electric systems, reducing power loss is pivotal to the semiconductor switching devices used in uninterruptible power systems (UPSs) and power conditioning systems (PCSs). Fuji Electric has thus been mass producing 650-V and 1,200-V “XS Series” discrete IGBTs, which improve conduction loss and switching loss trade-off characteristics to enhance the efficiency of UPSs and PCSs. We have developed and added a module to the product line-up that uses a TO-247-4 package, which has a sub-emitter terminal capable of further reducing switching loss. The new module has a rated capacity of 1,200V/75A and lower switching loss than the conventional TO-247 package products by 20% to 30%.

1　引言

近年来，IoT（Internet of Things）、大数据、人工智能（AI: Artificial Intelligence）等应用不断推进，数据使用量也随着信息通信系统的先进化和云端化而增加。处理这些数据的服务器和数据中心对省电的要求高，所以给这些设备供应高质量电力的不间断电源装置（UPS: Uninterruptible Power System）的高效化也非常重要。

此外，太阳能发电和风力发电等可再生能源也越来越普及。例如，在太阳能发电领域，提高直流电力转换为交流电力的功率调节器（PCS: Power Conditioning System）等电力转换装置的效率已成为当务之急。

在这些 UPS 和 PCS 中，进一步降低内部半导体开关元件的损耗对提高装置效率而言极其重要。

富士电机已经量产了 650 V 和 1200 V 耐压的分立器件 IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）“XS 系列”，该产品改善了导通损耗与开关损耗的均衡特性，有利于提高 UPS 和 PCS 的效率[1),2)]。此次，又新开发出 XS 系列 1200 V/75 A 的 TO-247-4 封装产品，并添加到产品系列中。本稿将对本产品的概要和效果进行介绍。

2　“XS 系列”的概要

图 1 是分立器件 IGBT 的主要用途。XS 系列，主要适用于开关频率在 20 kHz 左右的 UPS 或 PCS。

此次开发的 1200 V XS 系列 TO-247-4 封装产品搭载了 IGBT 和 FWD（Free Wheeling Diode）芯片。**图 2** 所示为封装外观，**表 1** 所示为 XS 系列的主要最大额定值和电特性。针对数 kVA ～数 10 kVA 的 UPS 和 PCS，准备了电流额定值高达 40 A 和 75 A 的产品系列。

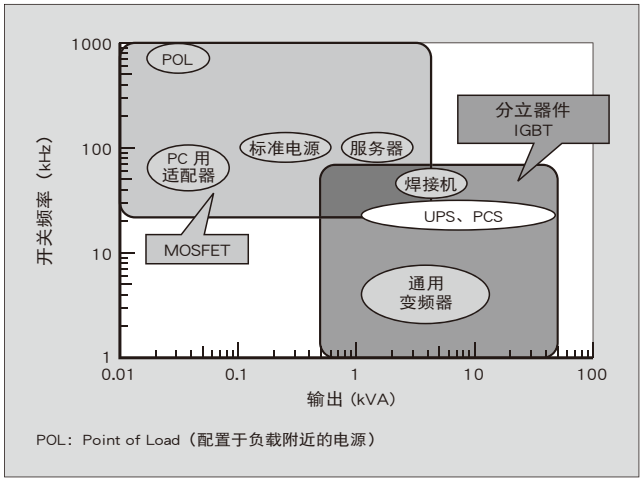

图 1　分立器件 IGBT 的主要用途

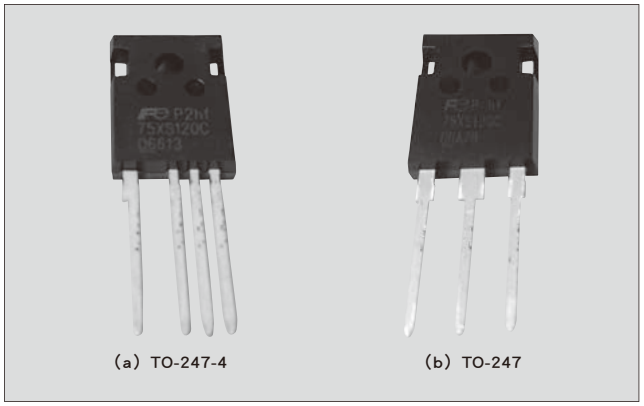

图 2　封装外观

表 1 “XS 系列”的主要最大额定值与电特性

型号	内置 FWD	封装	最大额定				电特性			
			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)
FGZ75XS120C★	有	TO-247-4	1200	75	300	75	1.60	1.85	2.90	2.95
FGW75XS120C	有	TO-247	1200	75	300	75	1.60	1.85	2.90	2.95
FGW75XS120	无		1200	75	300	—	1.60	1.85	—	—
FGW40XS120C	有		1200	40	160	40	1.60	1.85	2.90	2.95
FGW40XS120	无		1200	40	160	—	1.60	1.85	—	—

★新系列

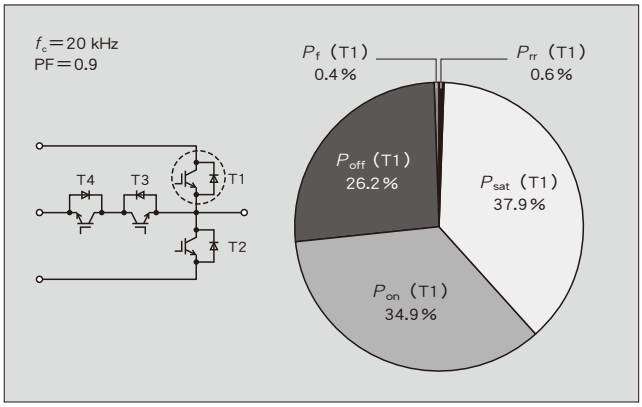

图 3 器件损耗分析结果（T-type）

3 分立器件 IGBT 的课题

对于数 kVA 以上的 UPS 或 PCS，为了改善电力转换效率，一般采用三电平变频器。

T-type 三电平变频器的主开关单元（T1、T2）的 1200 V 额定值 IGBT 的损耗详情如**图 3** 所示。重要的是，要降低占 IGBT 功率损耗约 40% 的导通损耗 P_{sat} 和约 60% 的开关损耗（P_{on} 和 P_{off} 的合计）。

4 1200 V“XS 系列”和 TO-247-4 封装的特点

1200 V XS 系列是基于第 7 代“X 系列”IGBT 和 FWD 的芯片技术，在驱动频率为 20 ～ 40 kHz 左右使用的分立器件产品。

75 A 等额定电流大的额定产品，每个元件流过的电流较大。而且，在传统的 TO-247 封装之类的 3 端子产品中，发射极共模电感与栅极发射极回路的配线电感会对开关损耗产生影响。因此，如 **4. 3 节**所述，产品的封装，采用了增加辅助发射极端子的 TO-247-4，与 3 端子的 TO-247 相比，开关损耗得到了改善。

4. 1 IGBT 芯片

图 4 所示，为 IGBT 芯片的截面结构。与基于第 6 代“V 系列”IGBT 的传统产品“High-Speed W（HSW）系列 2”相比，XS 系列以第 7 代 X 系列 IGBT 为基础，作为用于驱动频率 20 ～ 40 kHz 的分立器件 IGBT，通过最佳的表面结构、电场终止层（FS 层）、抑制空穴注入的集电极优化层和 Si 基板的薄型化等，如**图 5** 所示，与传统产品相比，在关断损耗 E_{off} 降低约 6% 的同时，集电极和发射极饱和电压 $V_{CE(sat)}$ 降低 0.35 V，改善了均衡特性。

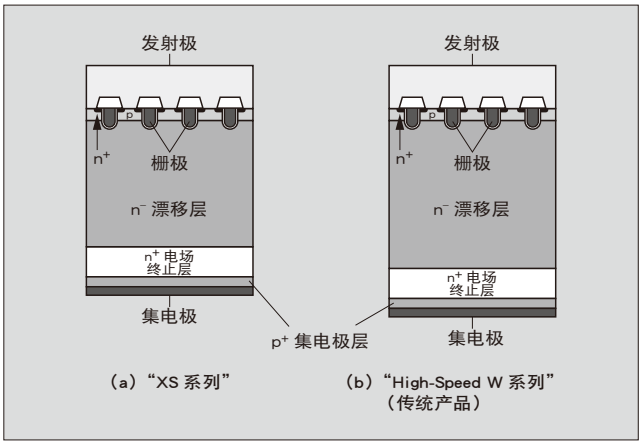

图 4 IGBT 芯片的截面结构图

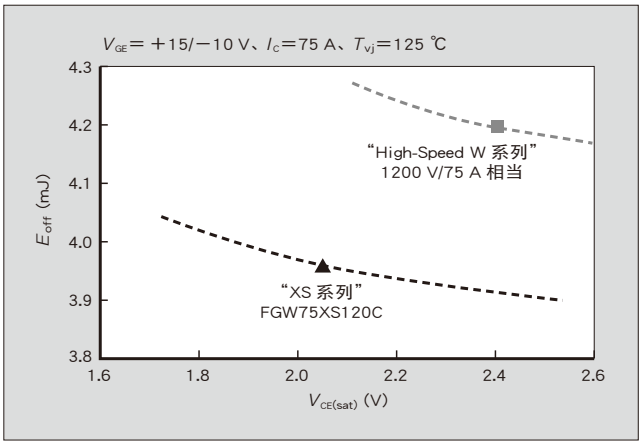

图 5 均衡特性（IGBT）

4.2 FWD 芯片

图 6 所示，为 FWD 芯片的截面结构。本 FWD 芯片以改善了正向电压 V_F 与反向恢复损耗 E_{rr} 均衡特性的第 7 代 X 系列 FWD 为基础，进行了 Si 基板的薄型化和寿命抑制因数的优化[3],[4]。与传统的 HSW 系列相比，E_{rr} 改善了约 60%，从而降低了开关损耗。

4.3 封装

为了添加辅助发射极端子，采用了 TO-247-4 封装。如**图 7** 所示，由于栅极电流和集电极电流 I_C 可分离，从而抑制开通和关断时集电极电流和发射极配线电感所产生的逆电动势对栅极电压的影响，所以降低了开关损耗。

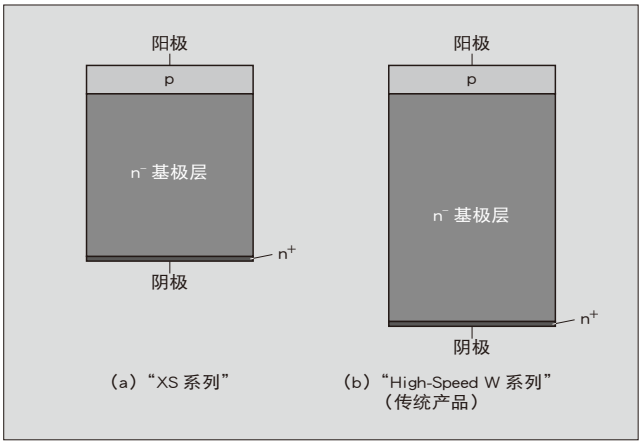

图 6　FWD 芯片的截面结构图

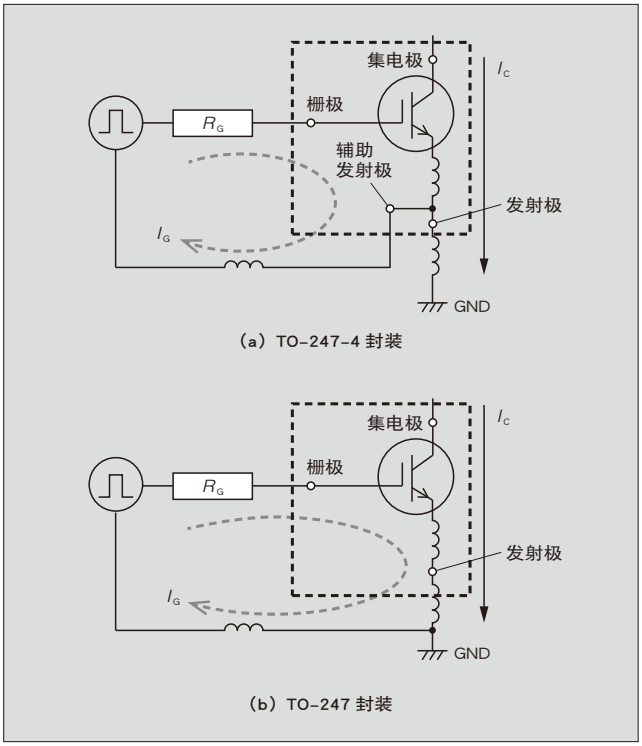

图 7　TO-247-4 封装与 TO-247 封装的栅极电流回路

5　“XS 系列”TO-247-4 的效果

5.1 开关损耗

图 8 所示为额定值为 1200 V/75 A 的 TO-247-4 封装产品和 TO-247 封装产品的开关损耗的 IC 依赖关系。与 TO-247 封装产品相比，添加了辅助发射极的 TO-247-4 封装产品的开关损耗（开通损耗 E_{on} + 关断损耗 E_{off}）在额定电流为 75 A 时，降低了 30%。

图 9 所示为开关损耗的栅极电阻依赖关系。在 10～51 Ω 的栅极电阻范围内，与 TO-247 封装产品相比，TO-247-4 封装产品的开关损耗约降低 20 ～ 30%。

5.2 实际动作评价

使用模拟了变频器电路的模拟电路，分别使额定值为 1200 V/75 A 的 TO-247-4 封装产品和 TO-247 封装产品动作时，封装温度如**图 10** 所示，IGBT 塑壳的温度 R_G 依赖关系如**图 11** 所示。从图中可以看出，TO-247-4 封装产品的塑壳温度与 TO-247 封装产品相比最多可以降低 4.5 ℃。因塑壳温度降低，因此有望实现散热器的小型化，对应更大的功率。

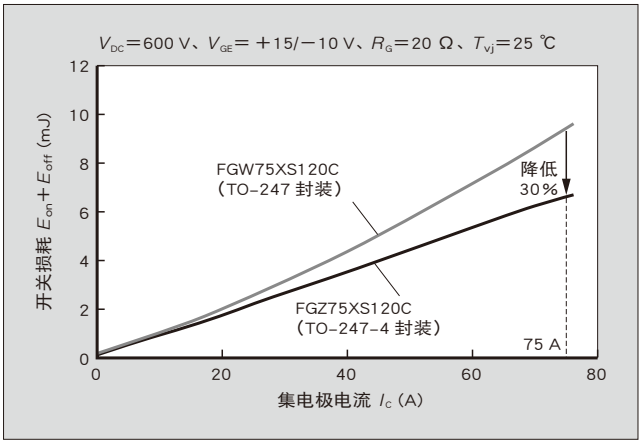

图 8　TO-247-4 封装产品与 TO-247 封装产品的开关损耗比较（I_C 依赖关系）

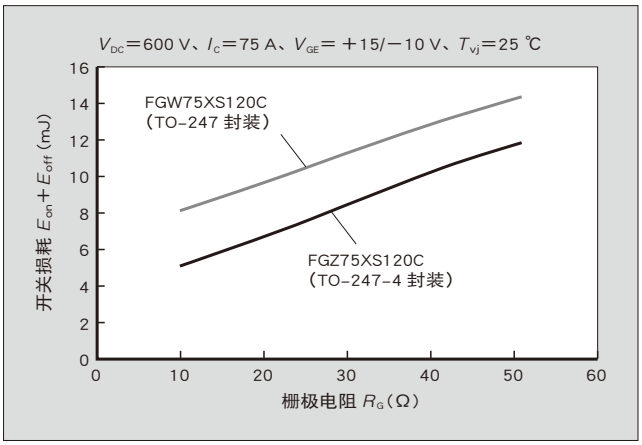

图 9　TO-247-4 封装产品与 TO-247 封装产品的开关损耗比较（R_G 依赖关系）

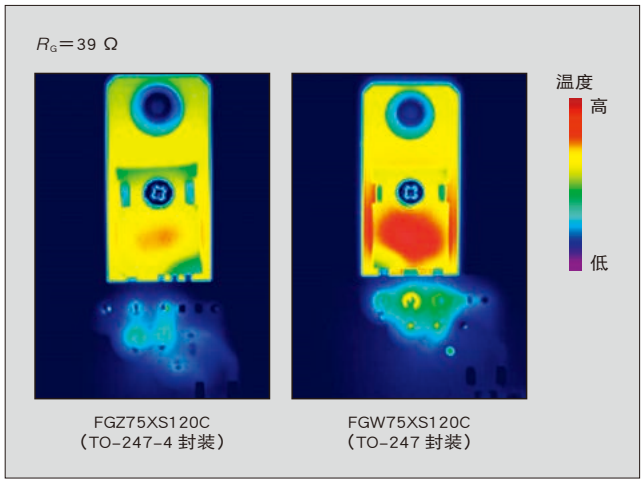

图 10　IGBT 塑壳温度（$I_{O(rms)}$=20 A）

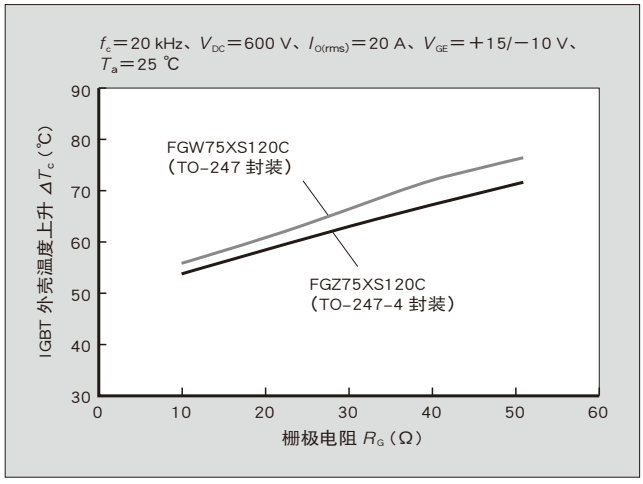

图 11　IGBT 塑壳温度 R_G 依赖关系

6　后记

以上，对分立器件 IGBT“XS 系列”的产品系列扩大进行了介绍。经确认，增加了辅助发射极端子的 TO-247-4 封装产品可有效地降低开关损耗和封装温升。

本产品是以 UPS 和 PCS 为主要对象进行开发的，但也可用于开关电源的 PFC 电路和其他工业设备。

今后，富士电机仍将进一步推进器件的低损耗化，通过供应满足客户要求的产品，为节能化、电力转换的高效化做出贡献。

参考文献

⑴　原幸仁等. 1200V 分立器件 IGBT“XS 系列”. 富士电机技术期刊. 2020, vol.C12, no.1, p.38-41.
⑵　原幸仁等. 650V 分立器件 IGBT“XS 系列”. 富士电机技术期刊. 2019, vol.C11, no.1, p.42-45.
⑶　Heinzel, T. et al. “The New High Power Density 7th Generation IGBT Module for Compact Power Conversion Systems”. PCIM Europe 2015.
⑷　Yoshida, K. et al. “Power Rating extension with 7th generation IGBT and thermal management by newly developed package technologies”. PCIM Europe 2017.

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。

前田　　凉
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。

坂井　琢磨
从事功率半导体的现场应用工程师的工作。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部营业统括部应用技术部。

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。