第 2 代小容量 IPM 650 V/50 A、75 A 的系列化

Line-Up of 2nd-Generation Small IPM with 650V / 50A, 75A

冈山 健一 OKAYAMA, Kenichi　白川 彻 SIRAKAWA, Toru　田中 才工 TANAKA, Masanori

近年来，在地球环境问题中，为了应对温室气体排放规定，以节省能源和节省资源为目的的小型化要求不断增强。富士电机推出了集成变频器电路组成所需要的功率器件及控制 IC 的第 2 代小容量 IPM 650 V/50 A、75 A 系列产品。本产品采用了“X 系列”IGBT 芯片技术，相比以往产品实现了更低损耗，同时采用了高耐热封装技术，将最大工作温度提高到了 150℃。由此提高了设备的节能性，实现了更大的输出电流和框体的小型化。

In recent years, to deal with global environmental problems, there has been increasing demand for energy conservation to cope with greenhouse gas emission regulations and size reduction to save on resources. Fuji Electric developed a line-up of 2nd-generation Small-IPM with 650 V / 50 A and 75 A that integrate the power devices and control ICs to compose inverter circuits. The products adopting “X Series” IGBT chip technology reduce their power dissipation compared to conventional products and increase the maximum operating temperature from 125°C to 150°C by using a high heat-resistant packaging technology. These enhancements will contribute to saving energy, downsizing of power conversion systems and increasing their output current.

1 引言

近年来，在地球环境问题中，为了应对温室气体排放规定，以节省能源和节省资源为目的的小型化要求不断增强。这种要求对使用小容量 IPM (Intelligent Power Module) 的空调及工业用变频器、伺服器等设备来说也是一样的。

例如空调方面，世界主要国家基于实际使用情况制定了代表能源消耗效率的 APF (Annual Performance Factor：全年能源消耗效率) 节能标准，需要进行应对。

此外，在节能的同时，还必须具备符合 IEC 特别委员会 CISPR (Comité international spécial des perturbations radioélectriques) 规定的 EMC (Electro magnetic Compatibility) 相关标准的低干扰特性。

为了满足这些要求，富士电机提供了集成变频器电路组成所需要的功率器件及控制 IC 的小容量 IPM[1]。

小容量 IPM 内置三相变频电路、相关控制电路和保护电路，有助于实现变频器的小型化。2015 年推出的第 2 代小容量 IPM (2G-IPM) 额定 600 V/10 ～ 30 A 产品采用了“X 系列”IGBT (Insulated Gate BipolarTransistor) 芯片技术[2]，相比以往产品降低了损耗，实现了进一步的节能。另外，其特点是通过采用高耐热封装技术将最大工作温度 T_{vjop} 从 125 ℃提高到了 150 ℃，同时提高了过电流检测及过热保护功能的精度，扩大了变频器设计的自由度与适用范围[3][4]。

本文将针对这一以 2G-IPM 技术为基础，大型空调及工业用变频器为主要用途的 650 V/50 A、75 A 产品系列，对其特点进行介绍。

2 产品概要

图 1 是产品的外观，**表 1** 是产品的主要特性。外形尺寸为 79.0×31.0×7.8 (mm)，采用双列直插结构，绝缘性符合 UL1577 标准。规格为 650 V/50 A、75 A，每种电

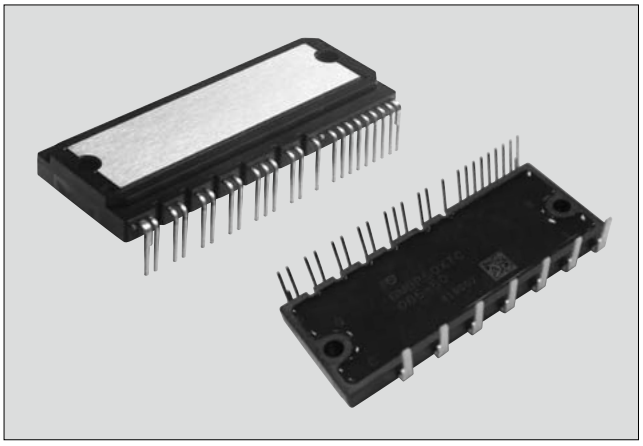

图 1　产品外观

表 1　产品的主要特性

电压	型号名	I_C	I_{CP}	$V_{CE\ (sat)}$	V_F	保证工作范围	过热保护功能
650 V	6MBP50XTA065-50	50 A	100 A	1.30 V （typ.）	1.55 V （typ.）	T_{vjop} ≦ 150 ℃	无
	6MBP50XTC065-50						有
	6MBP75XTA065-50	75 A	150 A	1.30 V （typ.）	1.80 V （typ.）		无
	6MBP75XTC065-50						有

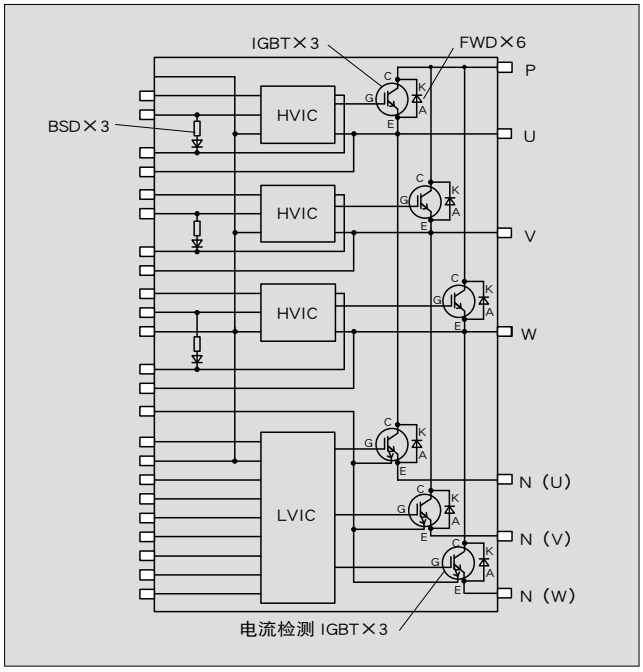

图 2　内部等效电路

流规格下根据有无过热保护功能又各包含 2 种型号。

图 2 是 2G-IPM 的内部电路结构。2G-IPM 是由 6 对低损耗 IGBT 和高速 FWD（Free Wheeling Diode）组成的三相变频电路。下臂 IGBT 是自带电流检测的 IGBT(注)。驱动电路搭载了 1 块驱动下臂 IGBT 的 LVIC（Low Voltage Integrated Circuit）芯片，和 3 块驱动上臂 IGBT 的 HVIC（High Voltage Integrated Circuit）芯片。另外还搭载了 3 块 BSD（Boot-Strap-Diode）芯片，通过连接三个外接电容器可组成上臂驱动电源。因此，不需要外接绝缘电源，节省了安装基板的空间。

3　产品设计

3.1　器件设计

⑴　IGBT 设计

图 3 是第 1 代小容量 IPM（1G-IPM）用的 IGBT 芯片和 2G-IPM 用的 IGBT 芯片的截面结构比较。用于 2G-IPM 的 IGBT 芯片，是以 X 系列 IGBT 的薄晶圆和微细化技术为基础。同一芯片上除了流过主电流的部分之外，还集成了用于检测主电流的分流部分，以实现更好的过流保护。**图 4** 是 IGBT 导通电压 $V_{CE\ (sat)}$ – 关断损耗 E_{off} 的均衡特性。本产品对漂移层的电阻率、厚度、电场终止（FS）层的属性及表面通道密度进行了优化，相比 1G-IPM 用 IGBT 芯片改善了 $V_{CE\ (sat)}$，E_{off} 损耗降低了约 56%。

⑵　FWD 设计

FWD 芯片的主要课题，一般是对产生干扰的反向恢复 dv_r/dt 的控制和降低反向恢复损耗 E_{rr}。

图 5 是 dv_r/dt-E_{rr} 的均衡特性，**图 6** 是用于 1G-IPM 和 2G-IPM 的 FWD 芯片在反向恢复时电压波形的 FFT 解析结果的比较。本次采用的 FWD 以 X 系列的 FWD 芯片技术为基础，对阳极扩散属性及寿命控制进行了优化，并通过软恢复特性，对均衡性进行了改善。通过以上改善，相对于 1G-IPM，E_{rr} 降低约 55%，dv_r/dt 抑制了约 15%，干扰预计可以降低 10 dbB 左右。

〈注〉电流检测 IGBT：为了实现过电流保护，内置了主电路电流检测功能的 IGBT。

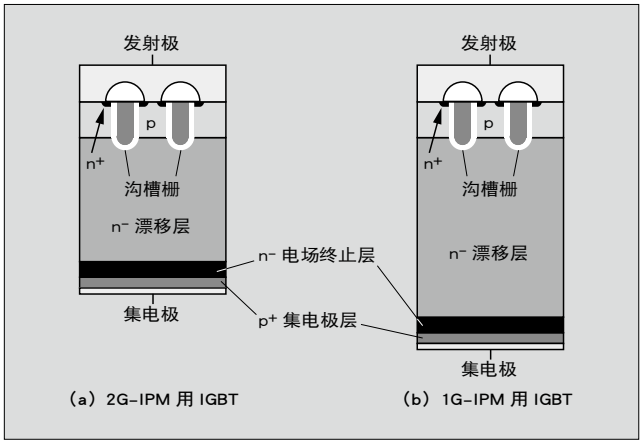

图 3　IGBT 芯片截面结构图的比较

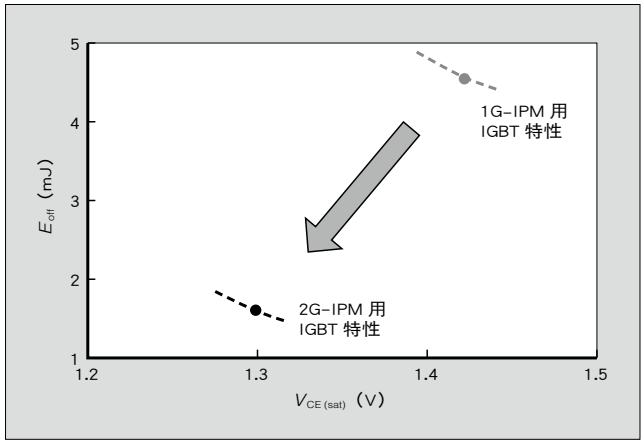

图 4　$V_{CE\ (sat)}$-E_{off} 均衡特性

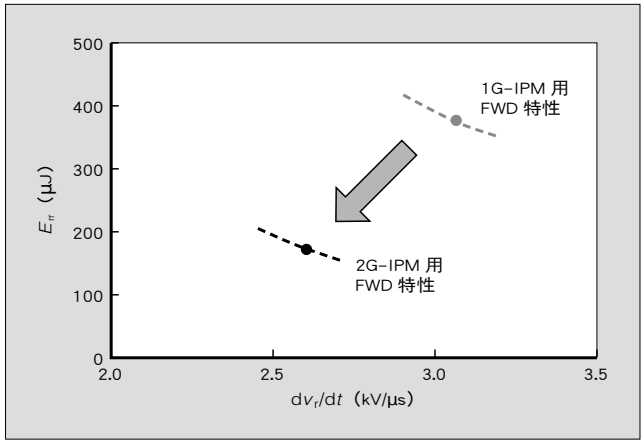

图 5　dv_r/dt-E_{rr} 均衡特性

3.2　封装设计

图 7 是封装结构的截面图。封装与目前正在量产的

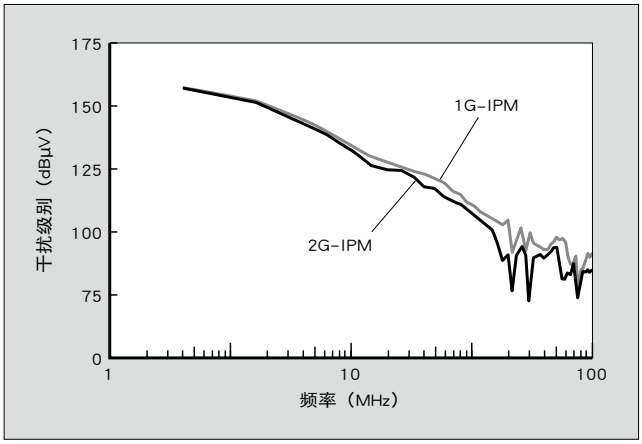

图 6　反向恢复电压的 FFT 解析结果

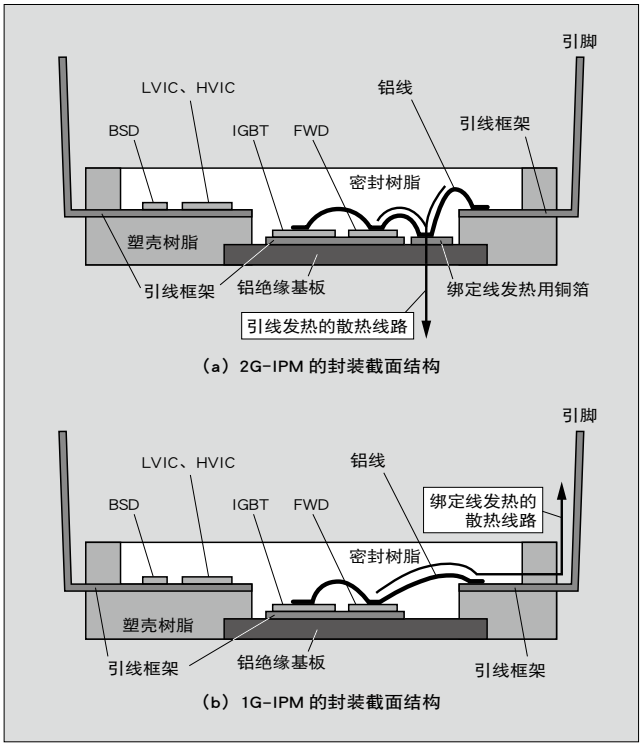

图 7　封装结构的截面图

2G-IPM 相同。通过该种结构，在绝缘层使用了含树脂的铝绝缘基板，因此保证了和密封树脂之间的高粘合度。另外，1G-IPM 中芯片发热会经过绑定线传至引脚，因此存在引脚温度高的问题，通过采用使封装内部绑定线的发热散热到铝绝缘基板的结构，降低了引脚温度的上升。

表 2 是主要的可靠性测试结果。额定 650 V/50 A、75 A 的 2G-IPM，为了保证和以往相同的可靠性，抑制了随着容许电流增大产生的发热，降低了随着封装大型化而产生的内部应力。

⑴　抑制容许电流增大产生的发热

本次开发的 2G-IPM，将以往产品的最大额定电流从 30 A 提高到了 75 A，容许电流增大了 2.5 倍。因此，IGBT、FWD 芯片、铝绑定线及铜箔的发热量会增大。通过增大铝绑定线的直径，增厚铜箔，可将温度上升抑制在以往相同水平，在可靠性测试项目之一的 ΔT_{vj} 功率循环试验中，

表 2　可靠性测试结果（主要项目）

测试项目	测试条件	保证值	判断
温度循环测试	低温：-40 ℃ 高温：125 ℃	100cycle	无特性变动
ΔT_{vj} 功率循环测试	ΔT_{vj} = 100±5 ℃ T_{vj} ≦ 150 ℃ T_C ≦ 125 ℃ I_C ≧ 50 A	15 kcycle	无特性变动
高温反向偏压测试	T_{vj} = 150 ℃ V_{CC} = 20 V V_{CE} = 510 V	1000h	无特性变动

确保了和以往的 2G-IPM 相同的可靠性。

⑵　伴随额定电流增大的组装工艺的优化

封装大型化，意味着树脂密封后的内部残留应力会增加。因此，在温度循环试验等伴随应力变化的可靠性试验中，密封树脂与芯片之间会发生剥离，有可能造成特性的劣化。为此，对组装工艺进行优化，降低封装内部的残留应力或随温度变化产生的应力，确保了和以往的 2G-IPM 相同的可靠性。

3. 3　保护功能设计

图 8 是过电流保护电路。在本次开发的 2G-IPM 中，作为实现过电流保护、短路保护的手段，除了有和 1G-

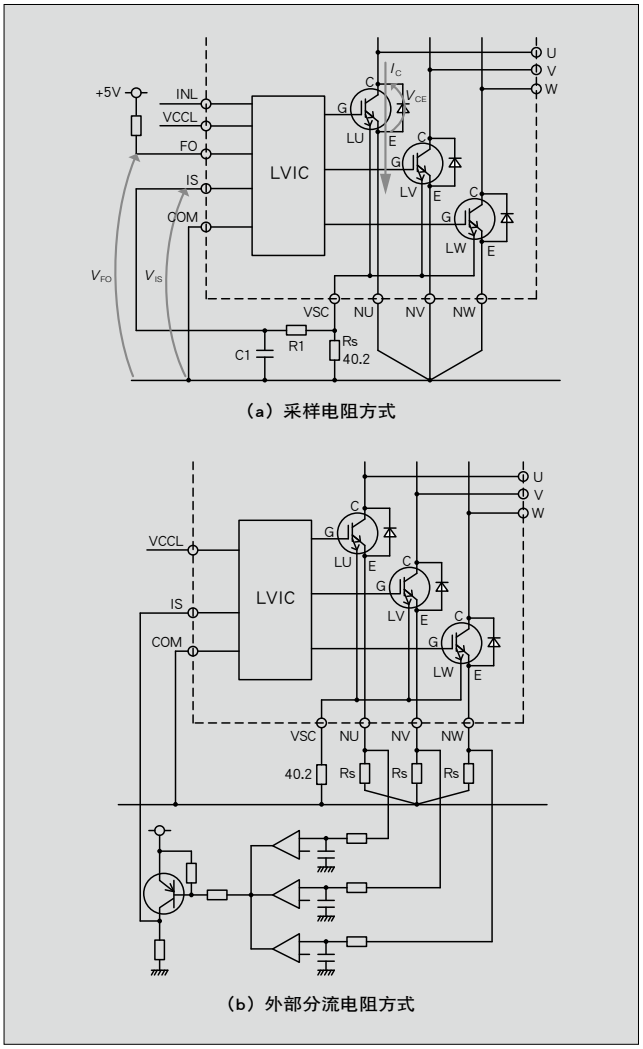

图 8　过电流保护电路

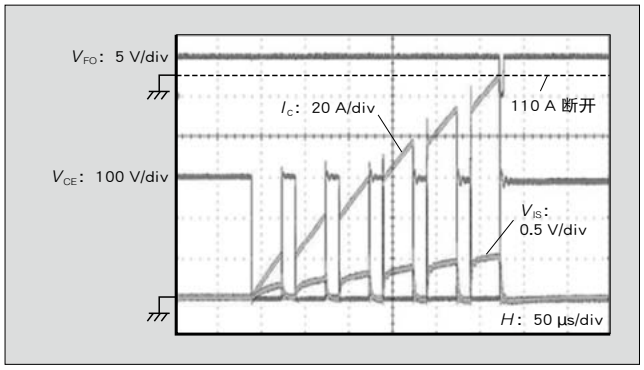

图 9　过电流保护时的波形

IPM 一样、**图 8**(b)所示的外部分流电阻方式之外，还增加了**图 8**(a)所示的通过采样电阻 R_s 对 IPM 内置电流检测 IGBT 中流过的电流进行检测的方式。在使用电流检测 IGBT 与 R_s 检测的方法中，由于可以减少分流电阻的个数，因此可降低系统成本以及节省安装基板的空间。**图 9** 是过电流保护时的波形。电流达到预设的水准时，正常地输出了警报输出信号 V_{FO}，下臂 IGBT 断开，由此可以确认保护机制正常运行。

4　2G-IPM 的效果

图 10 是针对相当于 10 马力的商用空调 (PAC)，在其处于中间负载时对变频器损耗进行的估算结果。本次开发的 2G-IPM，和 1G-IPM 相比损耗降低了约 32%，有望实现 APF 的提高。

图 11 是该型号设备在最大负载时对变频器损耗的估算结果，**图 12** 是此时温度上升的结果。在最大负载条件下，与 1G-IPM 相比损耗降低了约 27%。而且温度上升降低了约 20 ℃。此外，将工作保证温度范围提高 25 ℃，还有助于增加输出电流、实现框体的小型化。

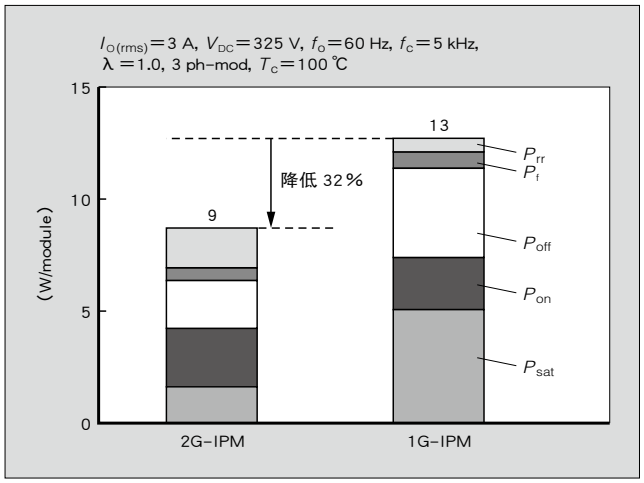

图 10　使用额定规格为 650 V/50 A 的 2 G-IPM、10 马力 PAC 假想中间负载时损耗的估算结果

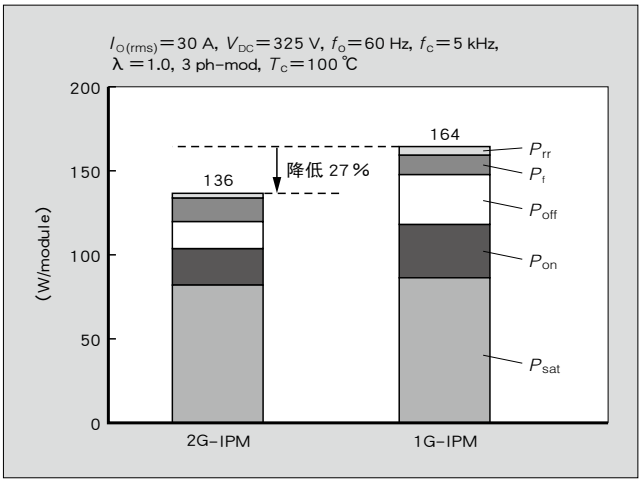

图 11　使用额定规格为 650 V/50 A 的 2 G-IPM、10 马力 PAC 假想最大负载时损耗的估算结果

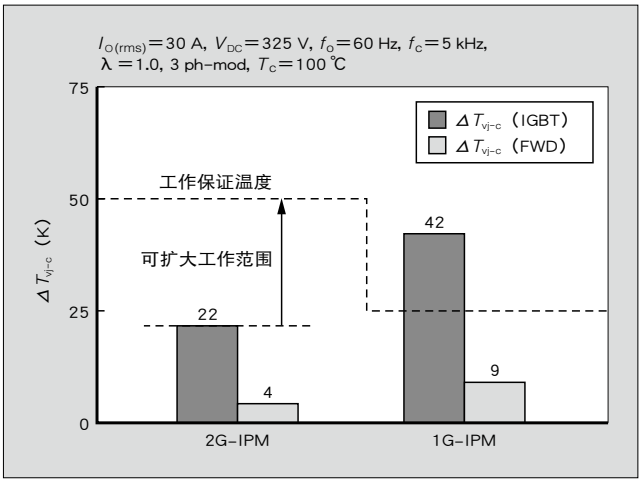

图 12　使用额定规格为 650 V/50 A 的 2 G-IPM、10 马力 PAC 最大负载时温度上升的估算结果

5　后记

以上对第 2 代小容量 IPM 650 V/50 A、75 A 的系列化进行了说明。今后，大型空调、工业用变频器和伺服系统的需求将不断扩大，本产品便是满足这些需求的产品之一，将来还会考虑将该系列扩大到 1200 V。

富士电机今后也会将实现系统整体节能作为使命，开发实现进一步差异化的产品。

参考文献

(1)　Yamada, T. et al. “Novel Small Intelligent Power Module For RAC”, proc. 2012 PCIM Asia.

(2)　川畑润也等. 第 7 代“X 系列”IGBT 模块. 富士电机技报. 2016, vol.C8, no.1, p.15-19.

(3)　荒木龙等. 第 2 代小容量 IPM. 富士电机技报. 2016, vol. C8, no.1, p.20-23.

(4)　Ohashi, H. et al. “The 2nd Generation Small Inteligent Power Module for General-purpose Inverter” proc. 2016 PCIM Asia.

冈山　健一

从事小容量 IPM 的开发。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模块部。

白川　　彻

从事分立器件功率器件和小容量 IPM 用 IGBT 芯片的设计和开发。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。

田中　才工

从事分立器件、IC 和小容量 IPM 封装的开发。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封装开发部。

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。