汽车空调用 IPM

IPM for Automotive Air Conditioning Systems

手塚 伸一 TEZUKA, Shinichi　　传田 俊男 DENTA, Toshio　　田村 隆博 TAMURA, Takahiro

针对汽车用空调的电动压缩机，富士电机开发了集成三相变频器电路、控制电路和保护电路的汽车空调用 IPM。本产品以“X 系列”IGBT 芯片技术和 FWD 芯片技术为基础，采用了最适合汽车用的低损耗、低干扰器件。因此，将额定值为 600 V/30 A 的产品用于汽车用空调的电动压缩机控制，可在基于载波频率 20 kHz 的驱动中，在抑制关断时的浪涌电压的同时，让总损耗降低了约 2%。

Fuji Electric has developed an IPM that integrates a 3-phase inverter circuit, a control circuit and a protection circuit for the electric compressor in automotive air conditioning systems. This IPM is based on “X Series” IGBT chip and FWD chip technologies and utilizes low-loss and low-noise devices especially suited for automotive use. By applying this 600-V/30-A product to control the electric compressor in automotive air conditioning systems, it suppressed surge voltage during turn-off and reduced total loss by about 2% during operation at a carrier frequency of 20 kHz.

1 引言

近年来，为应对温室气体排放量增加引起的全球气候变化，以欧洲、中国、北美和日本为中心，全球各地加强了 CO_2 排放限制。其中，混合动力汽车、充电式混合动力汽车、电动汽车等电动车的市场规模正在快速扩大。

电动车上安装的空调系统与传统的发动机车辆不同，是由电动机驱动压缩机的。与住宅空调相比，汽车空调容积小，但因车辆的隔热性能不高，所以需要驱动功耗为数 kW 的压缩机。为确保电力，该系统与行驶用电动机的驱动电源直接连接在同一高压电池上，在确保节能性的同时，还要求确保安全性。

此次，以第二代小容量 IPM（Intelligent Power Module）技术 1、2 为基础，开发了一种汽车空调用 IPM，它将满足电动车空调用电动压缩机的节能性、安全性、高输出频率、高载波频率驱动、低干扰等要求的三相变频电路、控制电路和保护电路内置于一个封装中。以下对其特点进行论述。

2 产品概要

电动压缩机系统本身与住宅空调一样，利用三相变频器电路驱动无刷 DC 电动机。但是，因为压缩机及变频器电路安装位置更靠近人体，所以需要低噪音、低振动。因此，需要支持高输出频率和高载波频率驱动的功率器件。

另外，还同时要求抑制对车辆控制用计算机、无线电等汽车用设备的干扰。

富士电机于 2015 年针对住宅空调、工业用变频器推出了第 2 代小容量 IPM，采用“X 系列”IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）芯片技术 3，实现了低损耗和节能化。

基于以上技术开发的汽车空调用 IPM 产品外观如**图 1** 所示，主要特性如**表 1** 所示。产品外形为 W43.0×D26.0×H4.0 mm，采用小型封装，实现了电动压缩机的小型化。本产品额定值为 600 V/30 A，内置各种保护功能。

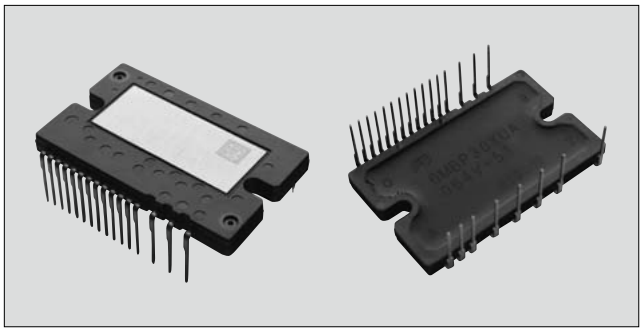

图 1 汽车空调用 IPM

图 2 所示为本次开发的汽车空调用 IPM 内部等效电路，**图 3** 所示为封装的截面结构。汽车空调用 IPM 以 X 系列 IGBT 芯片技术和 FWD（Free Wheeling Diode）芯片技术为基础，优化了低损耗 IGBT 和低干扰 FWD。由这些元件组成的三相变频电路安装在铝绝缘基板上。将 LVIC（Low

表 1 主要特性

项目	特性值
V_{CE}	600 V
I_C	30 A
$V_{CE(sat)}$	1.27 V（typ）
V_F	2.00 V(typ)
T_{vj}	150 ℃
V_{iso}	AC2.5 $kV_{(rms)}$ *
保护功能	过电流切断、低电压保护、线性温度输出、警报输出

* 确保导线端子与散热器间的沿面距离及空间距离为 2.5mm 以上时

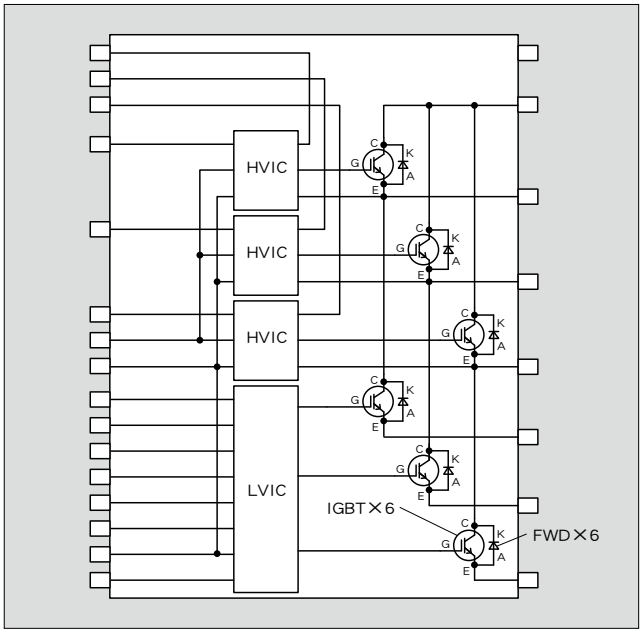

图 2　内部等效电路

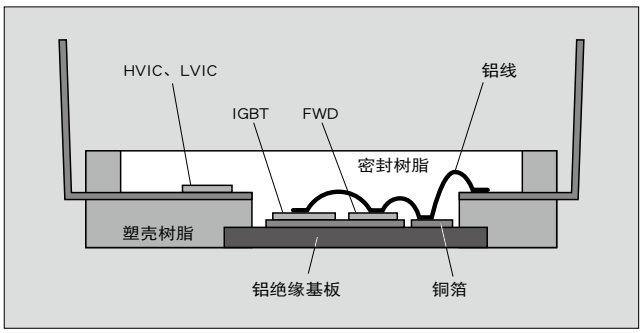

图 3　封装的截面结构

Voltage Integrated Circuit）1 个芯片作为用于驱动该三相变频电路低端侧 IGBT 的控制电路安装于引线框架上，将 HVIC（High Voltage Integrated Circuit）3 个芯片作为用于驱动高端侧 IGBT 的控制电路安装在引线框架上。

3　产品设计

3.1　器件设计

为提高节能性，本产品的设计在实现了低损耗化的同时，还降低了导致干扰的开关干扰。

⑴　IGBT 的低损耗化和低干扰化

图 4 所示为汽车空调用 IPM 所装 X 系列 IGBT 芯片的截面结构。

X 系列 IGBT 芯片技术以电场终止结构为基础，结合了薄晶片化和微细化。

作为汽车空调用 IPM 的元件，通过优化 n− 漂移层的电阻率和厚度及表面 n+ 的元胞间距的配置和沟道 p 层的浓度，降低了导通损耗。

另外，为了在支持高载波频率驱动的同时，抑制关断时的浪涌电压，通过优化 IGBT 的背面结构，将关断损耗的增加控制在最小限度，同时降低了 $-dI_c/dt$。

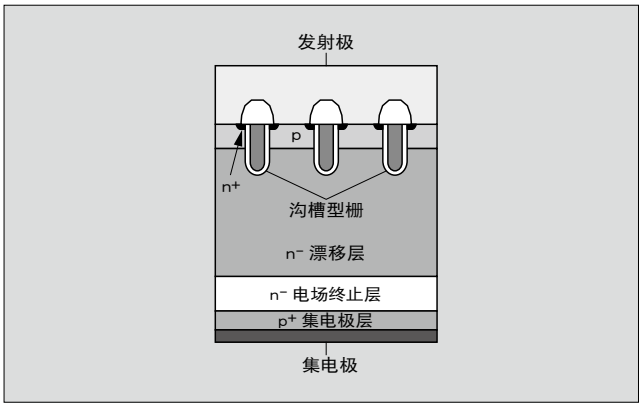

图 4　“X 系列”IGBT 芯片截面结构

⑵　FWD 开通时正向导通电压 V_F 的降低

关断时的浪涌电压不仅包括由 IGBT 的 $-dI_c/dt$ 产生的电压，还包括在 FWD（Free Wheeling Diode）开通时瞬间产生的二极管的正向导通电压 V_F。

因此，如**图 5** 所示，此次通过对二极管结构进行优化，与标准 X 系列 FWD 相比，本产品的 FWD 在确保 600 V 规格耐压的同时，将开通时的 V_F 降低了约 67%。

⑶　低损耗、低干扰化的效果

图 6 所示为降低 IGBT 关断 $-dI_c/dt$ 及 FWD 开通 V_F 时的关断时开关波形。如**图 7** 所示，关断损耗控制在原有水平上，同时浪涌电压降低了约 53%。另外，如**图 8** 所示，

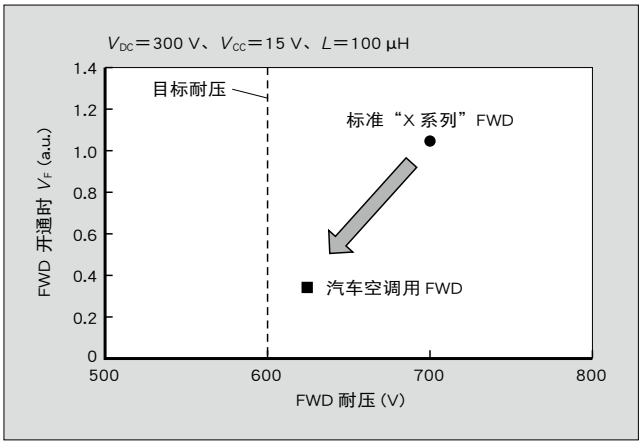

图 5　FWD 开通时的 V_F 与耐压特性

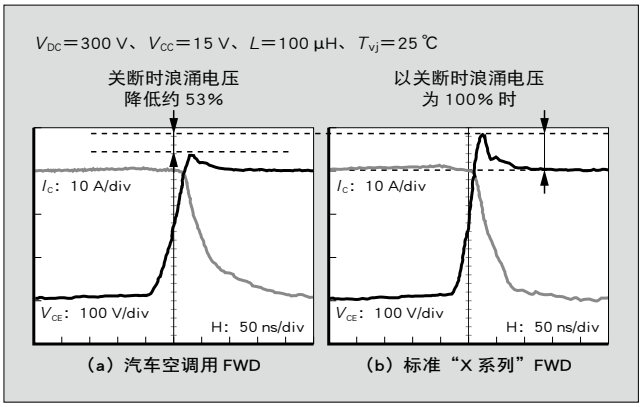

图 6　关断时开关波形

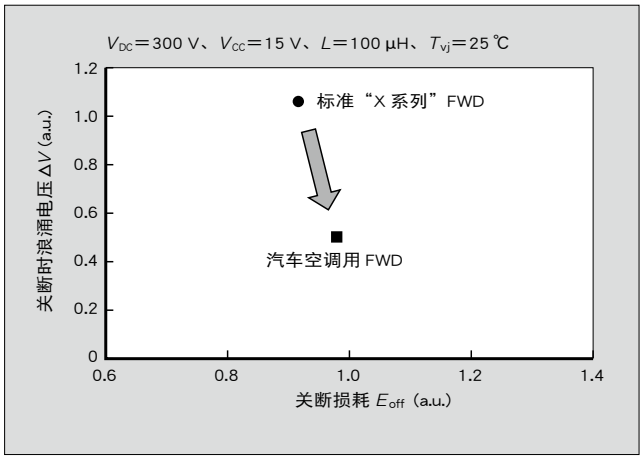

图 7　关断时浪涌电压与关断损耗的均衡特性

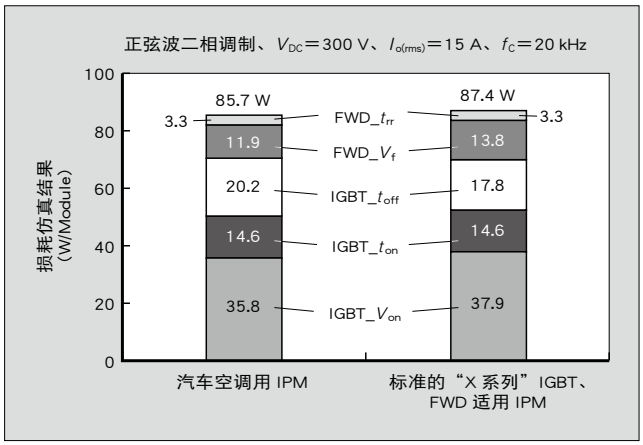

图 8　损耗仿真结果

整体损耗控制在与原来同等水平以下。

3. 2　控制电路的设计

因接收来自控制汽车空调用电动压缩机变频器电路的 ECU (Electoric Control Unit) 这一微型计算机的信号，汽车空调用 IPM 的输入端子可接收 3.3 V 和 5 V 的输入信号。

另外，高端侧驱动电路由 HVIC 构成。因此，无需驱动电路用的外置电源，所以可以通过较少的外置部件数量构成三相变频器电路。

汽车空调用 IPM 的内置保护功能包括过电流切断、低电压动作保护、线性温度输出以及警报输出。

线性温度输出可利用 LVIC 内置的温度传感器，高精度地测量约 0 ℃～ 150 ℃范围内的温度。将该 IPM 的塑壳温度信息输出到外部，通过将 IPM 温度用于控制，也可进行安全设计。

3. 3　封装设计

(1)　汽车用可靠性设计

汽车用电动空调和行驶用电动机共用高压电池作为电源，因此要求与行驶用变频器同等水平的品质。

汽车空调用 IPM 的封装通过使用与先行开发的汽车用 DC/DC 转换器用模块相同的铝绝缘基板，在确保绝缘耐压的同时，实现了低热阻。

表 2　可靠性试验结果（主要项目）

试验项目	试验条件	保证值	结果
温度循环	低温端＝ −40 ℃ 高温端＝ +125 ℃ 各温度 30 分钟 （符合 JESD 22 A-104）	1000 cycles	77/77 OK

表 2 所示为主要项目的可靠性试验结果。通过对封装进行优化设计，其可靠性与汽车用电子部件标准 AEC-Q101 相当。

(2)　应对自动安装

为应对自动安装，汽车空调用 IPM 将塑壳树脂的螺钉固定部位从长孔形状变更为切口结构（参考**图 1**）。变更时，对塑壳以及切口结构进行了设计，以确保足够的强度。

4　产品使用效果

将额定值为 600 V/30 A 的产品用于汽车空调的电动压缩机控制，其效果如**图 8** 所示。在载波频率为 20 kHz 的驱动中，与标准的 X 系列 IGBT、FWD 相比，在抑制关断时浪涌电压的同时，总损耗可降低了约 2%。

5　后记

本文对汽车空调用 IPM 进行了论述。

本产品以“X 系列”IGBT、FWD 芯片技术为基础，针对汽车用途进行了优化，可提高电动压缩机用变频器电路的节能性。并且，通过使用优化设计的封装，确保了汽车空调用 IPM 的品质。

今后，除了汽车空调用 IPM 之外，富士电机将继续推进有助于作为电动车（xEV）用电装品驱动模块的电装品系统的节能性、低干扰以及确保汽车产品质量的产品开发。

参考文献

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

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

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

手塚　伸一

从事汽车用小容量 IPM 的开发。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部电装事业部电装模块部。

传田　俊男

从事分立器件、IC 及工业用与汽车用小容量 IPM 的封装开发。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。

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。