面向 xEV 的 DC/DC 转换器用模块

DC-DC Converter Module for xEV

草刈　伸治 KUSAKARI, Nobuharu　　北村　祥司 KITAMURA, Shoji　　香月　尚 KATSUKI, Takashi

随着美国的 ZEV（Zero Emission Vehicle）管制和日本、欧洲、中国的 CO_2 排放管制的加强，混合动力汽车等电动车（xEV）的市场在全球范围内正在快速扩大。通过使用工业用小容量模块孕育的技术，富士电机开发了面向 xEV 的 DC/DC 转换器用模块。该产品为面向全桥方式的电路结构，通过在一次侧搭载超结结构的功率 MOSFET，在二次侧搭载 SBD，确保了作为车载用模块的安全性，并将 DC/DC 转换器系统的安装面积降低 40%。

The market for electric vehicles (xEVs), such as hybrid vehicles, is rapidly expanding worldwide in response to the zero emission vehicle (ZEV) regulations in the United States and the strengthening of CO_2 emission regulations in Japan, Europe and China. Fuji Electric has developed a DC-DC converter module for xEVs by applying the technology it has developed in small capacity modules for industrial applications. This newly developed product is designed for a full-bridge circuit and uses power MOSFETs with a super-junction structure on the primary side and SBDs on the secondary side. They are thus safely used for automotive applications while reducing the footprint of a DC-DC converter system by 40%.

1　引言

随着美国的 ZEV（Zero Emission Vehicle）管制和日本、欧洲、中国的 CO_2 排放管制的加强，混合动力汽车和充电式混合动力汽车等电动车（xEV）的市场在全球范围内正在快速扩大。在此背景下，富士电机开发了面向 xEV 的 DC/DC 转换器用模块，以下对其内容进行论述。

2　xEV 中的电力转换装置

在 xEV 中搭载了多种电力转换装置（**图 1**）。例如：对高压电池的直流电源进行升压，向变频器供电的升压转换器，以及为行驶电机驱动用的交流电的变频器、低电压车载电装产品 ECU（Electronic Control Unit）、电动助力转向装置、灯、雨刷、汽车导航系统等提供所需电力，对高电压进行降压的 DC/DC 转换器等。

目前，富士电机量产了面向 xEV 行驶电机驱动用变频器和升压转换器的功率半导体产品。

另外，针对 DC/DC 转换器和电动助力转向装置等的转换电路，还量产了分立器件 MOSFET（Metal-Oxide-Semiconductior Field-Effect Transistor）和二极管等产品。

近年来，为提高车辆的安全性、便利性和舒适性，电装品的使用比以前更加广泛。另一方面，为确保缓冲区〈注〉和室内空间，强烈要求电力转换电路小型化。同时，因这些电力转换电路与高压电池直接连接，需要高绝缘性能以确保安全性。

通过使用工业用小容量模块孕育的技术，富士电机开发了面向 xEV 的 DC/DC 转换器用模块（**图 2**）。传统 DC/DC 转换器组合了多个分立器件产品，并且用绝缘片覆盖高电压单元，确保与车体的绝缘及维护时的安全性。本产品将多个半导体元件高密度地安装在树脂密封封装中，确保了高电压单元的绝缘，因此可在提高安全性的同时实现大幅小型化。

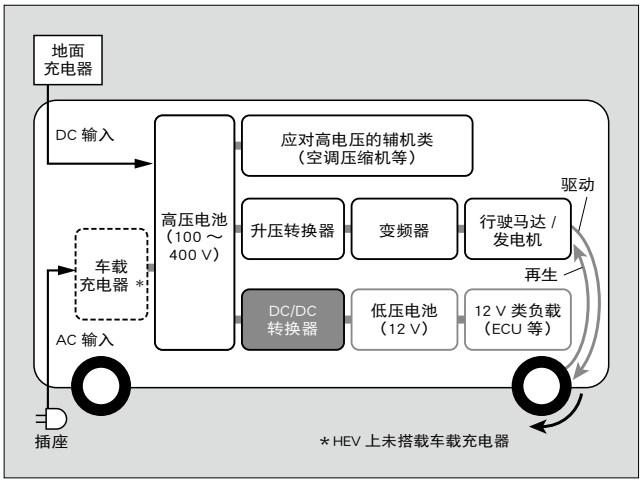

图 1　xEV 的框图

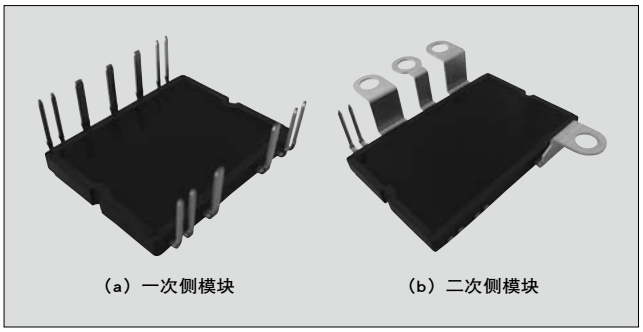

图 2　DC/DC 转换器用模块

〈注〉缓冲区：与前方发动机罩部分类似，比乘客室部分的结构稍软，是碰撞时吸收冲击的部分。

3 产品概要

DC/DC 转换器是将 DC（直流）升压或降压至不同电压的 DC（直流）或既可升压也可进行降压的设备。根据输出电力，电路方式可分为前馈方式和桥接方式等。此次开发的 DC/DC 转换器用模块采用的电路结构，为可对应数 kW 和较大容量的全桥方式（**图 3**）。全桥方式因需要通过变压器对高压电池侧的一次侧模块和二次侧模块进行电气绝缘，因此一次侧和二次侧需要不同的模块。

一次侧模块为搭载超结（SJ：Super Junction）结构的功率 MOSFET（SJ-MOSFET）芯片的全桥电路结构，在输入端内置缓冲电容器以抑制干扰。

二次侧模块为搭载肖特基势垒二极管（SBD：Schottky Barrier Diode）芯片的阴极共用电路结构。本产品的概要及特点如下：

(a) 外形为与分立器件同等程度的薄型，导线端子配置于封装的左右两侧。
- ○一次侧模块：W42.0×D33.0×H4.7 mm
- ○二次侧模块：W54.0×D35.4×H4.7 mm

(b) 导线端子可通过镀锡处理直接锡焊在印刷基板上。

(c) 通过金属绝缘基板，无需传统分立器件安装时所需的绝缘片等追加部件，可简化组装工序。

表 1 所示为产品阵容和主要特性。根据与 DC/DC 转换器输出容量相应的额定电流的不同，一次侧模块及二次侧模块分别进行了两种序列化。

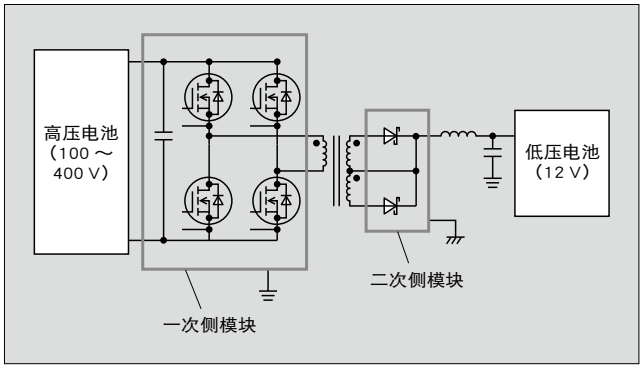

图 3 DC/DC 转换器用模块的等效电路图

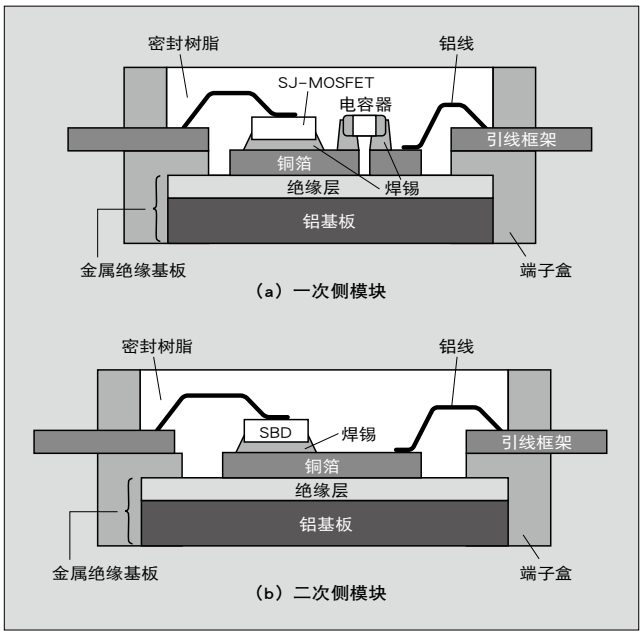

图 4 DC/DC 转换器用模块的截面结构

图 4 所示为 DC/DC 转换器用模块的截面结构。一次侧模块金属绝缘基板上搭载了 SJ-MOSFET 芯片、用于降低干扰的缓冲电容器，二次侧模块上搭载了 SBD。

4 背景技术

4.1 金属绝缘基板技术

为确保小型化所需的高散热性和绝缘可靠性，达到车载用要求，DC/DC 转换器用模块通过优化基板绝缘层中的填料，改善了热传导率，与传统产品相比，热阻降低了约 10%。

另外，通过将绝缘性优于普通环氧树脂类有机绝缘材料的高分子类树脂绝缘材料用作绝缘层的基底材料，确保了高绝缘可靠性（**图 5**）。

并且，以工业用模块中所用的金属绝缘基板技术为基础，在散热板中使用了铝。通过对铝板厚度进行优化，可在抑制散热板翘曲的同时，使其兼具良好的散热性能。

表 1 DC/DC 转换器用模块的产品阵容及主要特性

项目	一次侧模块		二次侧模块	
外形尺寸（mm）	W42.0 × D33.0 × H4.7		W54.0 × D35.4 × H4.7	
安装的芯片	SJ-MOSFET		SBD	
BV_{DSS}（V）	600		—	
V_{RM}（V）	—		120	
I_D（A）	15	23	—	
I_F（A）	—		120	150
$R_{DS(on)}$（mΩ）	125 max.	70 max.	—	
I_R（μA，V_R＝14 V 时）	—		15	30
V_F（V，I_F＝额定）	—		0.96 max.	0.91 max.
V_{iso}（V）	3.0 k		1.7 k	

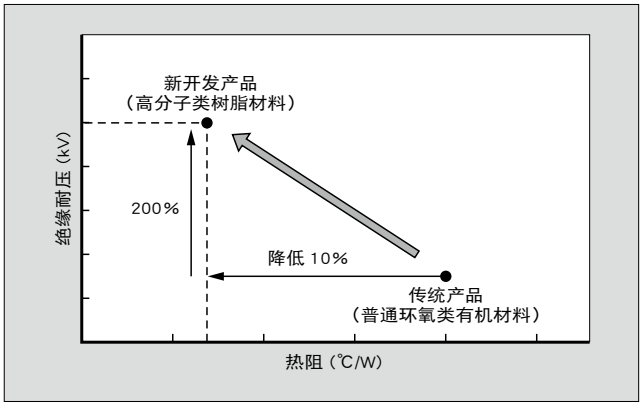

图 5　绝缘层材料比较

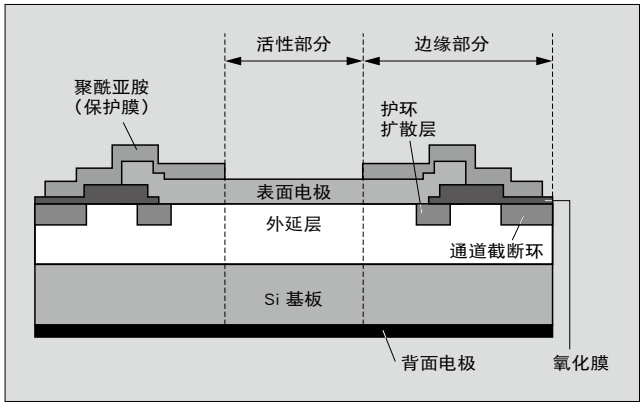

图 6　SBD 截面图（示意图）

4.2　一次侧模块技术

搭载于一次侧模块全桥电路中的 SJ-MOSFET 通过优化超结结构的掺杂浓度，改良了耐压特性。另外，通过降低单位面积的导通电阻 $R_{on}\cdot A$，在一次侧模块内的有限空间中可搭载的芯片尺寸下实现了 600 V/70 mΩ。

并且，通过将通常安装在印刷基板上的缓冲电容器内置于模块内，在大幅度减少开关器件和缓冲电容器之间的辐射环路面积的同时，还可冷却缓冲电容器。这样，可降低放射干扰，提高可靠性。

4.3　二次侧模块技术

二次侧模块搭载了已优化势垒金属材料的低反向电流 I_R 和低正向电压 V_F 的 SBD，在改善运行损耗的同时，还抑制了运行停止时的低电压电池的自然放电。

使用传统 SBD 的二次侧模块，在开关时浪涌电压的作用下，耐压结构部分会发生局部电场集中，存在击穿可能性。因此，需要将吸收浪涌电压的浪涌钳位电路与 SBD 并列配置（**表 2**）。

为缓和开关时施加浪涌电压引起的电场集中，本产品优化了耐压结构（**图 6**）。

这样，作为开关时浪涌电压耐量替代特性的恢复破坏耐量的容许电流峰值提高至约 3 倍（**图 7**），无需浪涌钳位电路。

表 2　二次侧模块的电路结构与波形示意

项目	新开发产品	传统产品
电路结构	IN1 SBD1	浪涌钳位电路 IN1 SBD1
波形示意	通过 SBD 吸收浪涌 SBD 耐压 I_F V_R 0	通过浪涌钳位电路吸收浪涌 SBD 耐压 I_F V_R 0

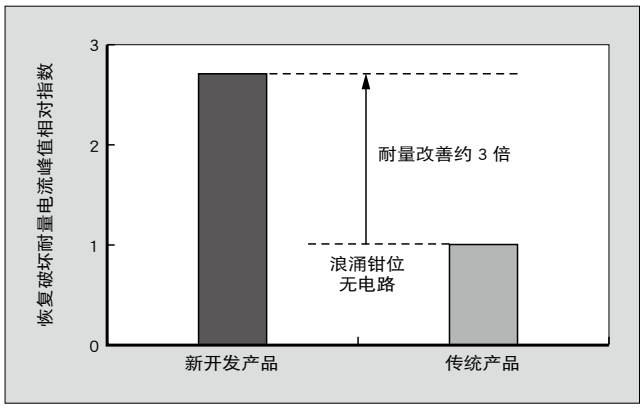

图 7　浪涌电压耐量的比较

5　使用效果

通过上述技术，DC/DC 转换器用模块可确保车载用模块的安全性，并使 DC/DC 转换器系统的安装面积减少了 40%（**图 8**）。

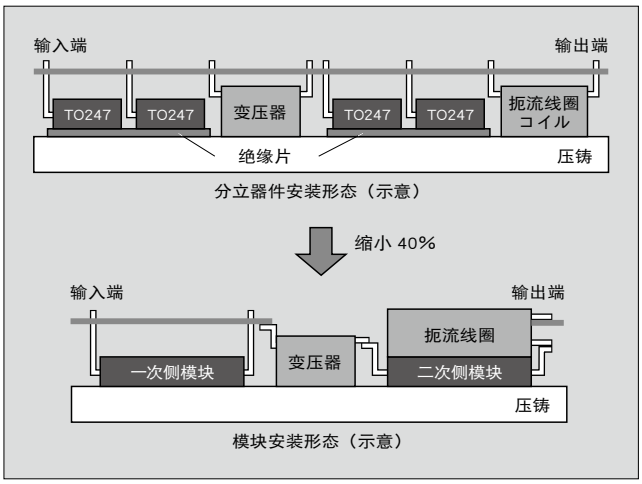

图 8　DC/DC 转换器系统的安装面积比

6 后记

本文对面向 xEV 的 DC/DC 转换器用模块进行了论述。

今后富士电机仍将继续追求技术革新，为整个系统的节能及小型化做出贡献。

参考文献

(1) Fujihira, T. Theory of Semiconductor Superjunction Devices. Japanese Journal of Applied Physics. Oct. 1997, vol.36, p.6254-6262.

(2) 渡島豪人ほか. 自動車用ダイオード. 富士時報. 2003, vol.76, no.10, p.595-600.

(3) 山田忠則ほか. インバータエアコン用小容量 IPM. 富士電機技報. 2012, vol.85, no.6, p.430-434.

草刈　伸治

从事 DC/DC 转换器模块的开发。现为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组长。

北村　祥司

从事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。

香月　　尚

从事功率半导体封装的开发与设计。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封装开发部。日本机械学会会员。

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。