可在严酷环境下设置的耐环境变频器“FRENIC-eFIT”

“FRENIC-eFIT” Environmentally Resistant Inverter Designed for Harshest Installation Conditions

吉田　敏弘 YOSHIDA, Toshihiro　　田久保　扩 TAKUBO, Hiromu　　佐藤　圭辅 SATO, Keisuke

近年来变频器开始在各种领域得到运用，除了将其放置在柜中使用外，还出现了在腐蚀性气体环境下或室外等严酷环境下单独使用的需求。富士电机开发出可在严酷环境下设置的耐环境变频器“FRENIC-eFIT”。此产品采用无冷却风扇的全封闭结构，保护电子零部件，并利用 SiC 元件的低损耗和高温运行的特性，解决了散热课题。将要素技术的开发结果运用到产品设计上，利用高速开关解决干扰课题，同时，基于富士电机产品的关键技术和现场试验的结果，提高耐环境性能的可靠性。

Inverters have been increasingly used in various industrial fields and are sometimes required to endure harsh environmental conditions without being installed in a controlboard. Fuji Electric has developed the “FRENIC-eFIT” as an environmentally resistant inverter especially designed for harsh installation conditions. In addition to protecting electronic components with a totally-enclosed enclosure that adopts a fanless cooling system, the unit has also eliminated thermal issues by utilizing SiC devices, which have characteristics of low-loss and heat resistance. Furthermore, we have applied our developed elemental technologies to mitigate high-speed switching noise while utilizing the technological know-how and field test results of Fuji Electric products to improve environmental resistance reliability.

1　引言

近年来从节能、提高生产性的观点出发，变频器开始在各种领域得到运用，除了将其放置在柜中使用外，还出现了在过去不曾尝试的腐蚀性气体环境下或室外等严酷环境下单独使用的需求。若想在这种环境或条件下使用，变频器必须采用无冷却风扇的全封闭结构，保护半导体器件、电子零部件不受腐蚀性气体等的伤害。另外，要求在上述严酷环境下设置大容量级（～ 37 kW）设备的也很多。要实现无冷却风扇的全封闭结构，必须解决比传统变频器更加棘手的散热课题。通过使用具有低损耗和高温运行特性的 SiC（碳化硅）器件，解决了散热课题，开发出可在严酷环境下设置的耐环境变频器“FRENIC-eFIT”（**图 1**）。

本文将对 FRENIC-eFIT 的 SiC 器件运用技术、在耐候性耐腐蚀性方面的提高可靠性技术、散热设计技术进行介绍。

图 1　“FRENIC-eFIT”（37 kW/400 V）

2　SiC 器件运用技术

SiC 器件除了低损耗特性外，还拥有高速开关器件的一面（**图 2**）。以高速进行开关意味着会产生更多的干扰，这是运用时的一大课题。**表 1** 是 FRENIC-eFIT 的主要规格。FRENIC-eFIT 为提高包括室外设置在内的耐环境性而采用金属制密闭箱体，并利用该箱体进行磁屏蔽，与在开放型箱体上实装 Si-IGBT 的通用变频器相比，更好地抑制了放射干扰发生量（**图 3**）[1]。而且，以 IEC 标准规定的保护等级来看，传统的通用变频器是不具有防尘性和防水性的开放型

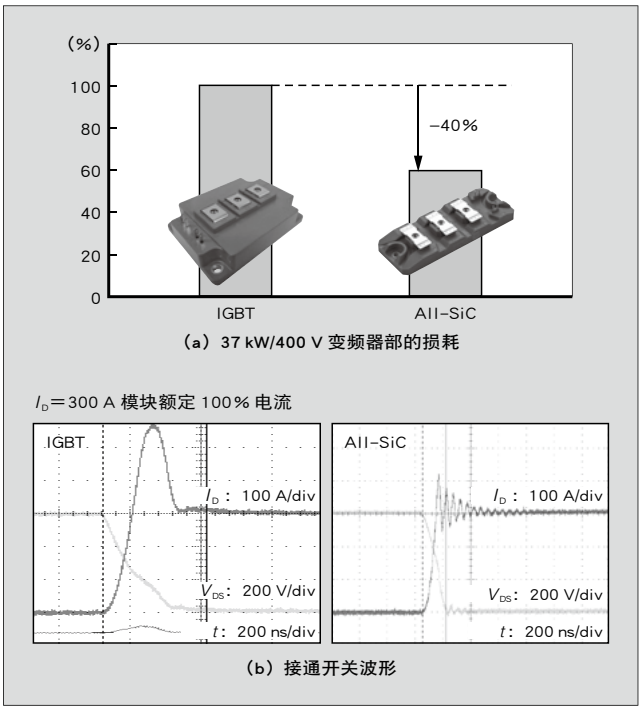

图 2　损耗与接通开关波形

表 1 “FRENIC-eFIT”的主要规格

项目	详细内容
采用器件	All-SiC 模块
设置环境	符合 IEC 规格的环境参数
	室内、室外
环境温度	50 ℃（没有输出降低）
维护	设计寿命 10 年
保护结构	IP55（IEC 60529）
冷却方式	自然空冷（无冷却风扇）
外形尺寸（mm）	W680×D375×H845

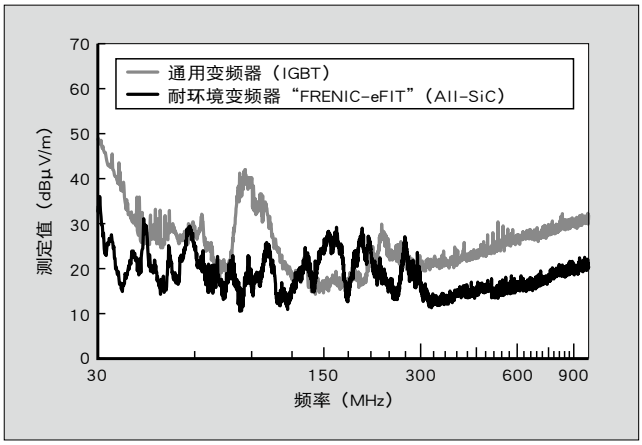

图 3 放射干扰比较（37 kW/400 V）

（IP00），而 FRENIC-eFIT 则拥有全封闭型（IP55）的保护等级。

3 在耐候性耐腐蚀性方面提高可靠性的技术

欧洲制造商推出的提高了耐环境性的变频器，将 IEC 标准（IEC 60721-3-4：环境条件分类）规定的环境参数标注在商品目录或使用说明书上，以可设置的环境条件吸引用户。根据基于市场选定的行业及其工厂环境，FRENIC-eFIT 必须要能设置在释放 IEC 标准所规定环境参数为 4C4 的化学性污染物质的工业地区。因此，除了**图 4** 所示的 4 种腐蚀性气体外，还将普通工业环境下所要求的日照、盐害、油等环境因素作为评估对象。对此，我们运用自动售货机、室外柜、太阳能发电用 PCS、铁路车辆设备等设置在严酷

腐蚀性气体	平均值*（ppm）
二氧化硫	4.8
硫化氢	9.9
氯气	0.2
氮氧化物	5.2

* 环境参数 4C4 引用 IEC 标准（室外时）

图 4 选定的腐蚀性气体与混合气体腐蚀试验机

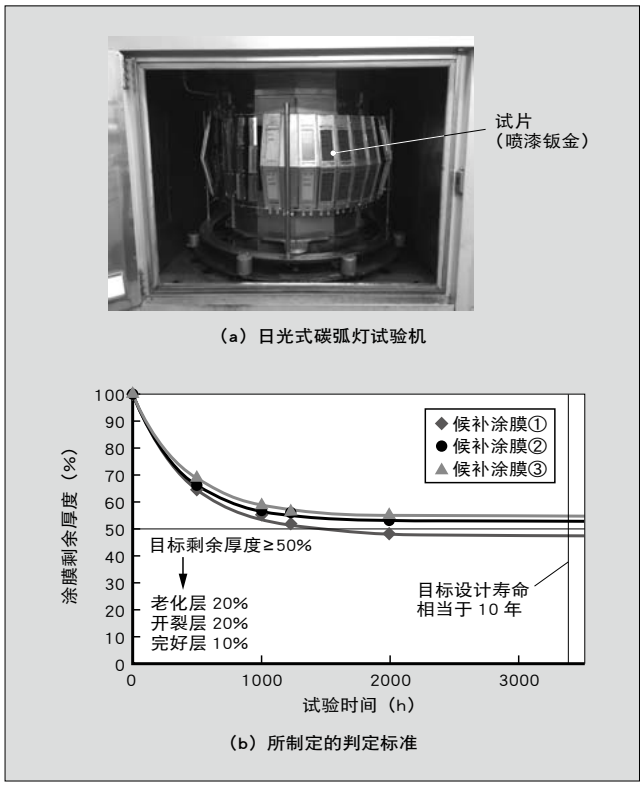

图 5 喷漆钣金的紫外线老化试验及其判定标准

环境下的富士电机产品的关键技术、以试片进行的基础实验、在用户协助下从样品机现场试验中收集的环境数据，制定出评估项目、评估内容和判定标准。例如，**图 5** 是使用日光式碳弧灯试验机的钣金喷漆紫外线老化试验和所制定的判定标准。

使用所制定的评估项目、评估内容和判定标准，对耐腐蚀性气体、耐候性、耐油性等进行复合评估试验，并对结果进行定量判断，从而严酷环境下的耐候性和耐腐蚀性确保了 10 年的设计寿命，实现过去从未达到的可靠性。[2]

4 散热设计技术

图 6 是 FRENIC-eFIT 的主电路接线和内置周边设备。为保证 FRENIC-eFIT 采用无收纳柜的方式，必须内置变频器周边设备（EMC 滤波器、直流电抗器等），在此基础上实现无冷却风扇的密闭结构。因此，与通用变频器相比，箱体内部的散热增加，温度有可能上升，散热设计将成为课题。进行散热设计时，需要避免器件产生损耗后生成的热量释放到箱体内部所导致的温度过度上升。

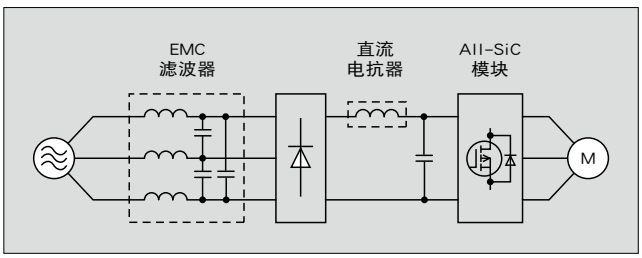

图 6 主电路接线与内置周边设备

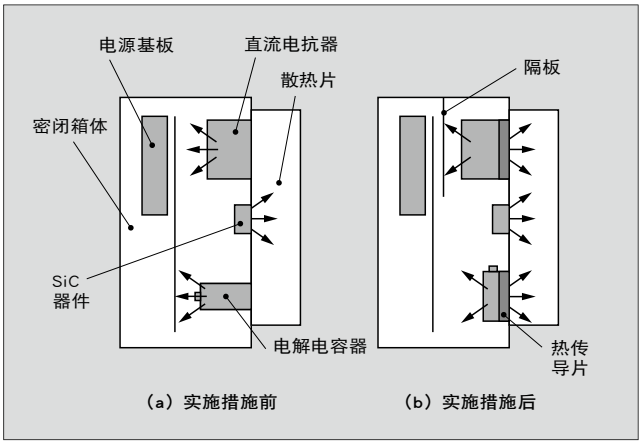

图 7　散热路径示意图（右侧面剖面图）

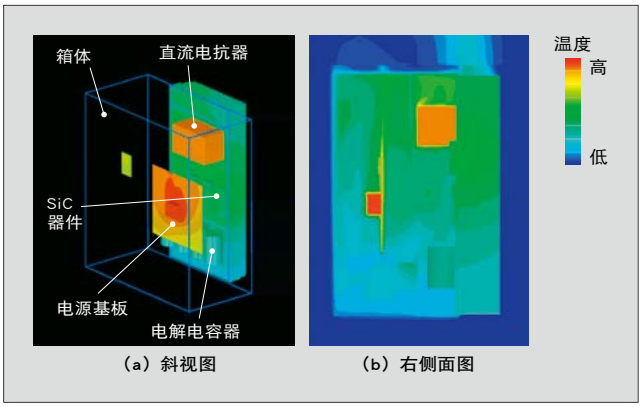

图 8　热仿真（实施措施后）

通过采用 SiC 器件，可大幅降低所产生的损耗。将箱体内产生的部分损耗传导至散热片上，从而将热量释放到箱体外部，以确保整体温度正常。首先，继 SiC 器件、电源基板后，我们将关注点放在损耗较大的直流电抗器和不耐热的主电路电解电容器上。为了增加这些部件传导到散热片上的热量，而将接触面积配置成最大，并经由热传导片进行固定（**图 7**）。

在实施措施前后进行热仿真（**图 8**）。结果发现仅凭本措施无法将基板实装部件的温度控制在指定温度内。原因在于被直流电抗器加热的空气发生对流，并流动到基板侧。最有效的应对措施是使用箱体内部的搅拌用冷却风扇将箱体内温度均匀地降低。但是，设置寿命有限零件的冷却风扇后，便无法做到免维修。因此，为了不使用搅拌用冷却风扇而设置隔板，对被直流电抗器加热的空气进行阻隔，防止其流到基板侧。但是，通过热仿真可以发现将基板侧与主电路零件侧的区域完全隔开后，会阻碍温度差引起的对流，箱体内温度发生偏差，因此需要保留对流路径，将被直流电抗器加热的空气引导至箱体的钣金上表面，促进热传导。最终，将各部件的温升控制在大约 18%，将箱体内的温升控制在大约 8%，实现了无冷却风扇的密闭结构。

5　“FRENIC-eFIT”的规格与特点

开发的第一阶段积极普及风扇和泵类设备，积累业绩，然后在第二阶段进一步提高可靠性，并将其用于重要设备的工艺生产线中。因此，在第一阶段实装了以驱动风扇及泵为主要目的的通用变频器的控制功能，在下一阶段实装了高功能变频器的控制功能。而且，这些功能可作为一个平台，能够通过更换控制基板和电源基板来支持（**图 9**）。

考虑到 FRENIC-eFIT 要在室外或者恶劣环境下单独设置，其拥有以下三个特点。

⑴　定制逻辑功能

FRENIC-eFIT 实装了用户可自己定制功能的定制逻辑功能（**图 10**）。无需使用由简易可编程控制器、外部继电器、定时器等构成的外部电路，将变频器内部的各种运算功能组合，便可按用户的各种机械装置和各种用途实现所需的控制功能。富士电机在主页上免费提供编程工具，其编程步数最大为 200 步，而且不需要特殊的开发环境，使用直观的逻辑符号。

⑵　支持 Bluetooth〈注 1〉的触摸面板

FRENIC-eFIT 可从选件中选择能够进行远程操作的支持 Bluetooth 的触摸面板（计划 2018 年度发售），并采用了能够容纳该触摸面板的结构（**图 11**）。FRENIC-eFIT 的箱体为金属制密闭结构，但是局部开有触摸面板部。用特殊薄膜和填充物来防水，进而用耐候性较好的丙烯酸制装饰罩进行保护，从而可确保耐环境性，并避免受到电波干扰等的影响。安装该支持 Bluetooth 的触摸面板后，可远程使用

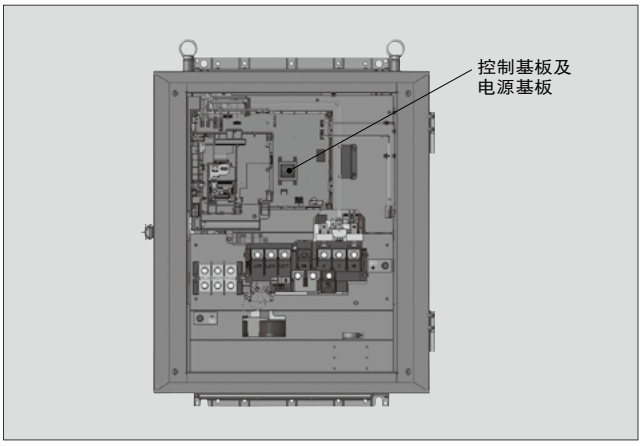

图 9　“FRENIC-eFIT”的内部结构（正面门打开）

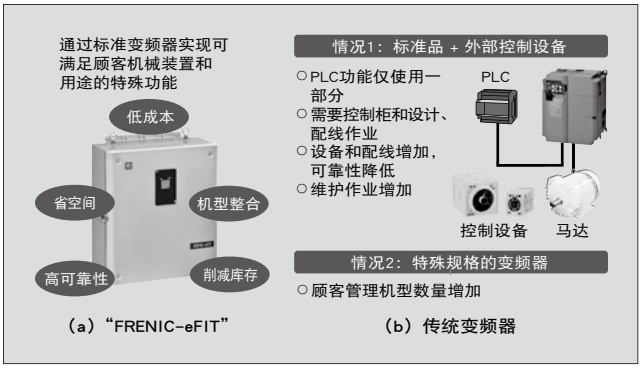

图 10　定制逻辑功能

〈注 1〉Bluetooth：Bluetooth SIG, Inc. 的商标或注册商标

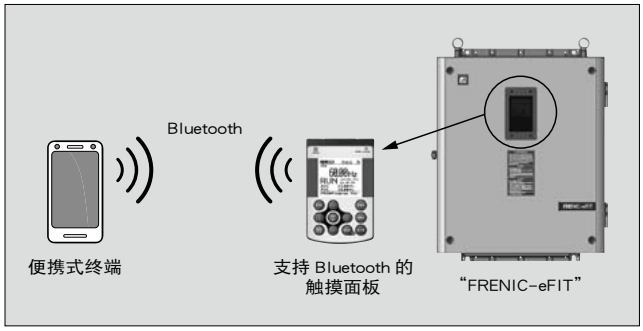

图 11　可进行远程操作的支持 Bluetooth 的触摸面板

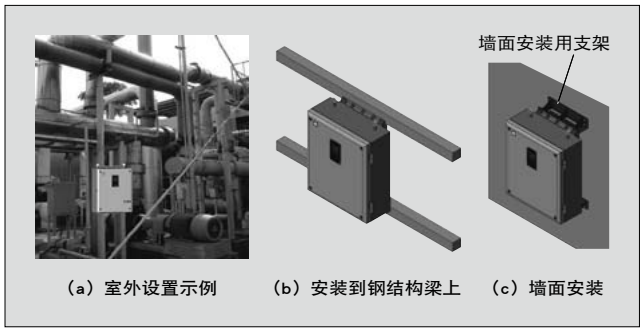

图 12　设置示意图

便携式终端对功能代码进行编辑和读取，对变频器的各种信息进行监视，对电流、电压、转矩等实时跟踪，进行节能诊断等，以满足用户需求。

⑶　安装结构

将装有通用变频器和周边设备的柜子设置在室外时，标准施工方式是用混凝土浇筑基础，使用地脚螺栓固定柜子，但是耗费资金工期长，对用户而言是非常大的负担。FRENIC-eFIT 拥有与该室外柜同等以上的功能，体积约为 1/4，得到大幅缩小，可设置在现有结构物等的墙面上（**图 12**）。除了标配安装脚之外，还附带了墙面安装用支架等，可根据设置场所选择各种设置方法，新设时的施工费可削减 70%，工期可缩短 60%。

而且，若不在意设置环境，将变频器设置在马达附近，则输出配线变短，能够削减配线成本。除此之外，还有望抑制马达浪涌和干扰，而无需采取浪涌滤波器或各种干扰对策。从这一方面来看也能减轻用户负担。设置在马达附近，可一边查看泵设备的流量计，一边用变频器调节吐出量，因此在现场试验中用户反映使用非常方便。

6　支持海外规格

FRENIC-eFIT 还计划进军全球市场，符合欧洲的功能安全标准、CE 认证、美洲的 UL 标准、RoHS 标准〈注 2〉等。从 2018 年度开始依次获取认证（**图 13**）。

〈注 2〉RoHS 标准：关于电气电子设备所含特定有害物质使用限制的 EU（欧盟）标准

图 13　取得的海外规格

7　后记

在变频器产品上采用 SiC 器件的过程中，从开发可充分发挥 SiC 器件特性的差别化商品开始着手，获得了各种知识经验。我们今后将并联使用多个 SiC 器件来实现大容量化，将这些运用技术建立成平台，不断推广到通用机和其他电力电子设备中。

参考文献

⑴　玉手道雄等. 电力电子设备的电磁干扰仿真技术. 富士電機技報. 2016, vol.C8, no.2, p.100-103.

⑵　青山昌弘ほか. 汎用インバータの硫化ガス対策. 富士時報. 2007, vol.80, no.5, p.331-333.

吉田　敏弘

从事变频器的开发。现就职于富士电机株式会社电力电子系统事业本部开发统括部电力电子机器开发中心驱动机器开发部。

田久保　扩

从事以 SiC 为代表的功率半导体器件的应用技术的研究。现为富士电机株式会社技术开发本部尖端技术研究所能源技术研究中心能源转换技术研究部小组经理。

佐藤　圭辅

从事材料及生产技术的研究。现就职于富士电机株式会社技术开发本部尖端技术研究所材料基础技术研究中心材料基础技术研究部。工学博士。表面技术协会会员。

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。