新一代高节能性、耐震性模制变压器

New Generation MOLTRA with Improved Energy Savings and Earthquake Resistance

宫田　智一　MIYATA, Tomokazu

近年来，随着环保举措的推进，在包括模制变压器在内的高压配电用变压器领域，对高节能性能产品的需求不断增加。另外，经过东日本大地震之后，要求变压器具有更高的耐震性能。富士电机采用节能技术，开发出了节能性能达到基准能源消耗效率 130% 的“非晶模制变压器”和“超级环保模制变压器 II”。此外，对于柜内安装型变压器，在提高变压器单元耐震性能的基础上，实施了与机柜一体的最佳抗震设计，进一步提高了耐震性能。

In recent years, initiatives to protect the environment have created greater demand for enhanced energy-saving performance in transformers used in high-voltage distribution applications including MOLTRA. Moreover, those transformers have also been required to have higher earthquake resistance since the Great East Japan Earthquake. Fuji Electric has utilized its energy-saving technologies in the development of its “Amorphous MOLTRA” and “Super-Eco MOLTRA II,” a line-up that achieves an energy-saving performance of 130% relative to standard energy consumption efficiency. Furthermore, in addition to improving the transformer body itself, we have optimally designed it being integrated into the panel to further enhance earthquake resistance.

1　引言

基于第 21 届气候变化框架公约缔约国会议（COP21）通过的“巴黎协定”的能源政策和环保举措正在得到推进。在包括模制变压器(注)在内的高压配电用变压器中，针对比满足领跑者变压器的第二次判断基准（领跑者变压器 2014）的变压器节能性能更好的产品需求正在增加。此外，如**图 1** 所示，各国正在推进节能化效率标准的制定。也有像 GB 标准那样，比 JIS 制定的领跑者变压器 2014 要求更严格的标准。

另外，在 2011 年发生的东日本大地震之后，从 BCP（Business Continuity Plan：业务连续性计划）的观点来看，耐震性也受到了重视。

作为节能性能比领跑者变压器 2014 更好的产品，富士电机 2015 年上市了采用非晶合金的“非晶模制变压器”、2017 年上市了与“领跑者变压器 2014”设置空间相同，

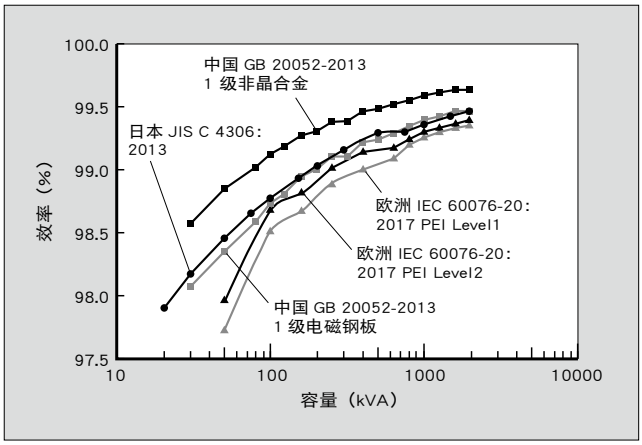

图 1　各国模制变压器的最高效率比较

图 2　“超级环保模制变压器 II”

在全负载效率下提高了效率的“超级环保模制变压器 II”（**图 2**），两者的能源消耗效率均达到了领跑者变压器 2014 的 130%。各系列可应对设计用标准震级 1.0，也可根据安装环境定制应对设计用标准震级 1.5 及 2.0。

本文对节能性和耐震性提高的新一代模制变压器（“非晶模制变压器”、“超级环保模制变压器 II”）进行论述。

2　产品阵容

模制变压器产品系列如**图 3** 所示。应对领跑者变压器 2014 的模制变压器有领跑者模制变压器 2014、非晶模制变压器、超级环保模制变压器 II，节能基准达成率越高，节能性能越优异。

〈注〉模制变压器：富士模制变压器（富士电机株式会社的注册商标）

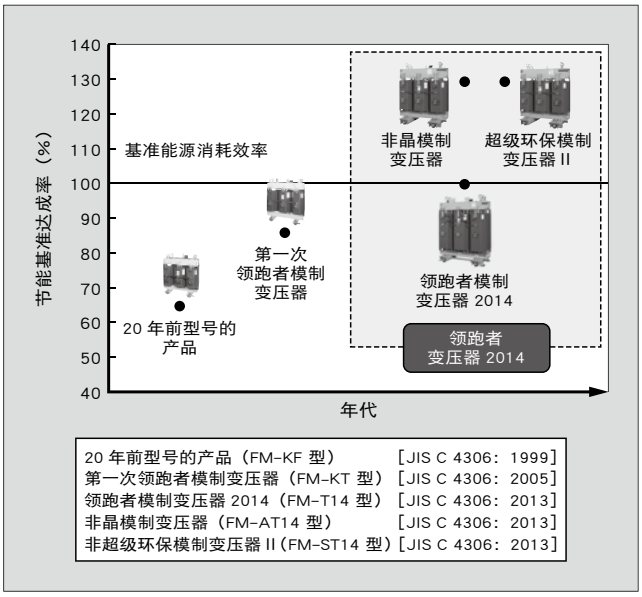

图 3　产品阵容

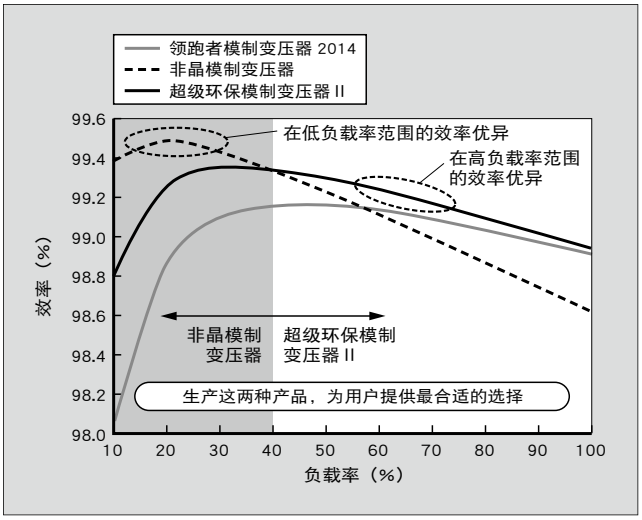

图 4　三相 300 kVA 效率曲线

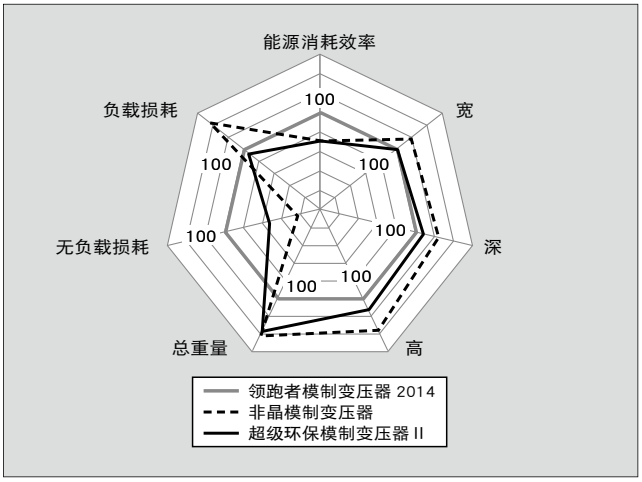

图 5　三相 300 kVA 典型特性

3　节能性能的提高

3.1　变压器的损耗特性

JIS 将能源消耗效率作为规定标准负载率时的整体损耗。整体损耗通过不受负载率影响的无负载损耗和随负载率而变化的负载损耗乘以负载率的平方之后的值之和来表示（公式(1)）。

$$\text{能源消耗效率 (W)} = \text{无负载损耗 (W)} + \left[\frac{m}{100}\right]^2 \times \text{负载损耗 (W)} \quad \cdots\cdots \quad (1)$$

m：标准负载率 (%)

容量 500 kVA 以下的变压器：40%

容量超过 500 kVA 的变压器：50%

由公式 (1) 可知，在低负载率范围，无负载损耗占整体损耗的比例大。因此，需要降低无负载损耗，在低负载率领域提高效率。另一方面，在高负载率范围，整体损耗取决于无负载损耗和负载损耗这两方面。因此，需要降低无负载损耗和负载损耗，提高在高负载率范围的效率。

3.2　“非晶模制变压器”

通过在铁芯材料中采用非晶合金，将构成无负载损耗的磁滞损耗和涡流损耗抑制得较小，与领跑者模制变压器 2014 相比，无负载损耗降至 1/3。因此，如**图 4** 所示，在低负载率范围的效率优异。由于夜间用电量减少，在一天的平均负载率较低的大厦、医院等设施中将发挥出色的节能性能。

3.3　“超级环保模制变压器 II”

铁芯材料采用薄板且实施了磁区控制的高磁通密度钢板，通过设计磁通密度的优化，降低了无负载损耗，实现了铁芯的小型化。此外，绕组的导体采用铜替代一直使用的铝。由此，与领跑者模制变压器 2014 相比，负载损耗降低，并且通过绕组的小型化使安装空间保持同等程度。

如**图 4** 所示，在全负载率范围内，超级环保模制变压器 II 表现出比领跑者模制变压器 2014 更高的效率，特别是在高负载率范围内的效率优异。在一天的平均负载率较高的数据中心、水处理设施中等将发挥出色的节能性能。

图 5 所示为通过雷达图比较各产品三相 300 kVA 典型特性的结果。尺寸、重量和各特性以领跑者模制变压器 2014 为 100，数值越小越优异。非晶模制变压器可大幅降低无负载损耗，提高能源消耗效率。超级环保模制变压器 II 可减少无负载损耗和负载损耗，在保持安装空间同等程度的同时，提高了能源消耗效率。

4　现有变压器的 更换

根据 JEMA（一般社团法人日本电机工业会）的调查[1]，可以推测在日本国内超过了 20 年这一建议更新周期且仍在运行的高压配电用变压器约为 120 万台。将老化的变压器更换为可应对领跑者变压器 2014 的最新模制变压器，不仅可提高节能性能，还可提高包括耐震性能在内的运行可靠

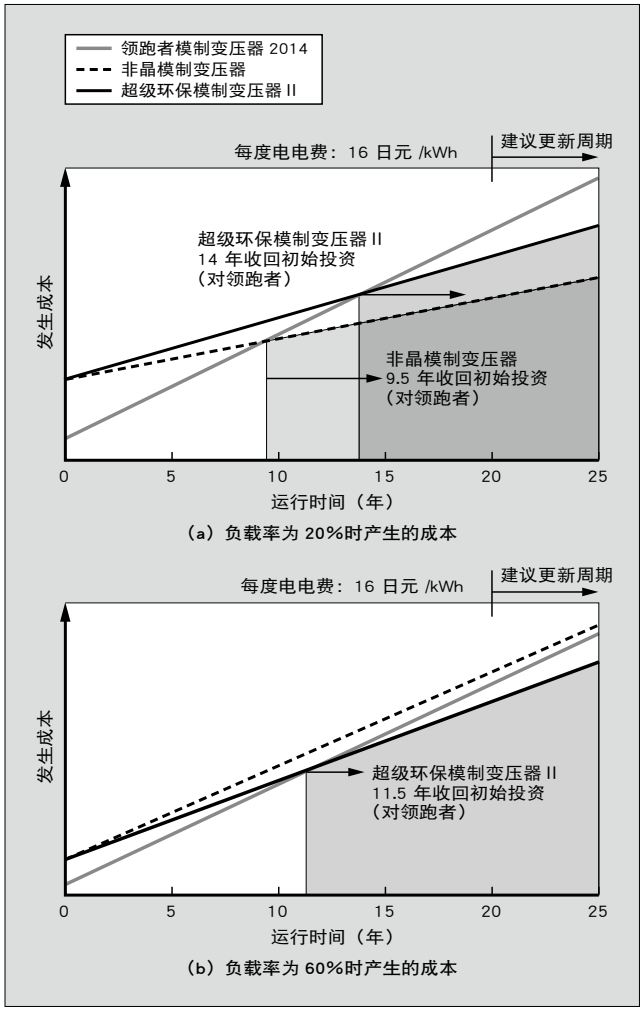

图 6　更换现有变压器的优点

性。特别是，如果使用节能性能好的非晶模制变压器和超级环保模制变压器 II，则可通过抑制将要产生的损耗，降低年度电费，10 年左右即可收回初始引进费用（**图 6**）。另外，对全球气候变暖对策的环境问题而言，通过抑制将要产生的损耗，可削减 CO_2 排放量。**图 6**(a)所示为负载率 20% 时运行期间产生的成本。电价为 16 日元 /kWh，与使用领跑者模制变压器 2014 相比，非晶模制变压器 9.5 年可收回初始引进费用，超级环保模制变压器 II 14 年可收回初始引进费用。此后，即可节省电费。

同样，**图 6**(b)所示为负载率 60% 时的发生成本。相对于领跑者模制变压器 2014，超级环保模制变压器 II 可在 11.5 年创造利润。另一方面，如**图 4** 所示，非晶模制变压器在负载率为 60% 时的效率比领跑者模制变压器 2014 低，因此没有更换带来的成本优势。这样，可能会因负载率导致效率下降，无法得到所期待的节能效果。因此，必须根据负载的实态选择变压器。

5　耐震性能的提高

5.1　耐震设计指南

从 2011 年东日本大地震中的变压器受灾情况来看，主要原因被认为是在于变压器、配电盘、工程施工管理，今后将明确变压器的耐震规格，加强对变压器柜设计和工程的重视。安装时的主要注意事项如下：

(a)　确保连接用配线的预留长度
(b)　确保配线的挠性
(c)　抗震挡块的间隙管理
(d)　确保低压导体的绝缘性
(e)　不使用防振橡胶（在防振架上安装时）

在防振架上安装带防振橡胶的变压器时，需要注意的是，防振架的刚性比变压器低，抗震性下降。另外，除这些内容之外，作为地震时变压器的位移量（**图 7**(a)）与变压器柜外壳的相对位移量指南，针对各抗震等级的变压器所要求的位移量和位移量的评估方法、抑制方法（例如**图 7**(b)），制定了 JEM-TR252（配电用变压器的位移量抑制指南[2]）。在普通变压器中，一般认为端子处的位移最大，因此将端子处的位移量作为变压器的位移量。

5.2　变压器的位移量

变压器的设计用标准震级，需考虑安装变压器的建筑物的抗震安全性、依照设备机器的重要度进行分类的抗震级别和安装楼层，由业主和建筑 / 结构 / 设备设计者进行设置（**表 1**）。可应对领跑者变压器 2014 的模制变压器，通过修改结构部件的板厚和形状来应对设计用标准震度 1.0，关于 1000 kVA 以下的规格，即使在带防振橡胶的状态下，也可满足 JEM-TR252 中规定的变压器 50 mm 以下的位移量（**表 2**）。此外，对于 1000 kVA 以上规格，设置防振架时或者强化耐震带防振橡胶时的位移量可与客户协商决定。

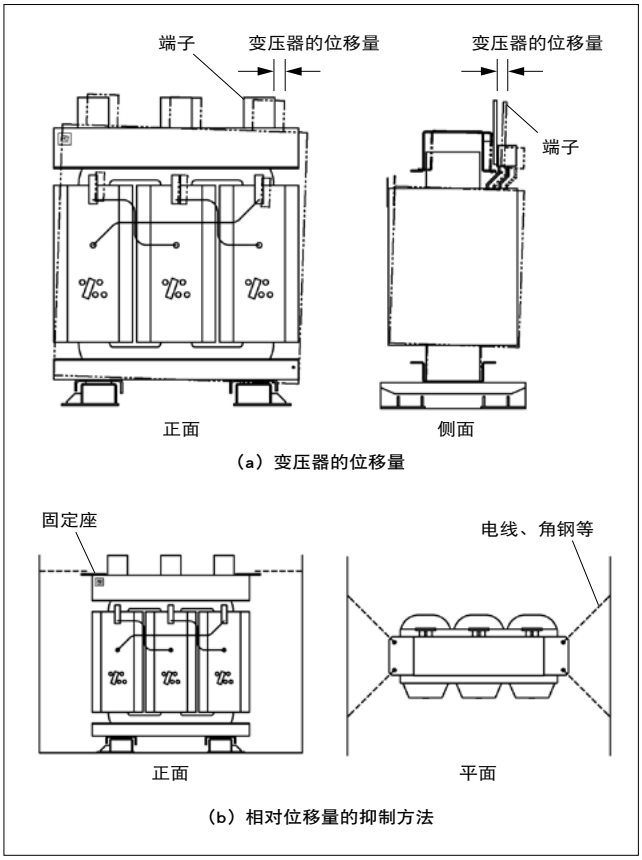

图 7　变压器的位移量与相对位移量的抑制方法

表 1　利用局部震级法测得的建筑设备机器的设计用标准震级

适用楼层	抗震等级		
	S	A	B
上部楼层、屋顶及塔楼	2.0	1.5	1.0
中间楼层	1.5	1.0	0.6
地下楼层及一楼	1.0	0.6	0.4

（引自建筑设备抗震设计、施工指南[3]）

表 2　变压器的位移量

设计用标准震级	耐震等级	变压器的位移量 *（mm）	
		无防振橡胶	带防振橡胶
0.4，0.6，1.0	耐震标准	50 以下	50 以下
1.5，2.0	强化抗震	50 以下	JEM-TR252 规定外

* 位移量（1000 kVA 以下）

（a）柜内收纳状态

（b）防振架

（c）柜内的固定方法　　（d）止动橡胶

图 8　安装在变压器柜内的模型

5．3 与变压器柜外壳的相对位移量的抑制方法

防振架时或强化耐震带防振橡胶时，变压器上部的振动幅度可能会增大。因此，作为抑制与变压器柜外壳的相对位移量的手段，如**图 7** 所示，有在变压器上部安装固定座，用钢丝和角钢等固定变压器柜外壳的方法，以及用变压器柜外壳承接安装在变压器上的止动橡胶的方法等。

这样，通过使变压器和变压器柜外壳同步朝相同方向摆动，可抑制相对位移量。但是，因变压器柜外壳的强度不足可能会导致事故，所以需要变压器与柜一体地进行最佳抗震设计。

图 8 所示为安装在变压器柜中的示例。安装带抗震挡块的防振架（**图 8**（b））取代模制变压器标配的防振橡胶，进一步抑制了向建筑物传递振动。地震时抑制变压器主体摇晃的抗震挡块，在变压器上部安装固定座，与变压器柜外壳固定，提高耐震性（**图 8**（c））。上部的固定座也可以替换为**图 8**（d）所示的止动橡胶，安装时与变压器柜外壳间设置间隙，不会传递运行时的振动，可抑制地震时的晃动。

6　后记

本文基于环保举措和东日本大地震之后的故障事例，对节能性和耐震性得到改善的新一代模制变压器进行了论述。

今后也将根据客户的需求，努力开发符合使用环境的最佳模制变压器产品。

参考文献

⑴　省エネルギー法特定機器変圧器の第二次判断基準「電機」2012 年 2 月号. 一般社団法人日本電機工業会.
⑵　JEM-TR252：2014. 配電用変圧器の変位量抑制指針. 一般社団法人日本電機工業会.
⑶　建築設備耐震設計・施工指針 2014 年版. 一般財団法人日本建築センター.

宮田　智一
从事模制变压器的设计与开发。现为富士电机株式会社电力电子系统能源事业本部千叶工厂设计第一部课长。

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。