可为智能社会的发展做贡献的电子式漏电断路器“EX 系列”

“EX Series” Electronic Earth Leakage Circuit-Breaker that Contributes to Development of Smart Societies

佐藤　佑高 SATO, Yutaka　　桥本　贵 HASHIMOTO, Takashi　　细冈　洋平 HOSOOKA, Yohei

由于智能社会的发展，受配电设备要求具备高度的供电可靠性，因此，使用的保护设备必须要能够抑制不必要的动作，以及凭借测量和通信功能进行状态监视。为满足这些要求，富士电机开发了电子式漏电断路器“EX 系列”。此产品采用了可实现传感器和导体最佳配置的结构设计技术、使用 ZCT 的漏电检测技术、提升了抗干扰性的电子电路设计技术。该电子式漏电断路器采用与塑壳式断路器相同的外形尺寸，和附加漏电模块时相比，设置面积减少了 30%，为配电柜的结构紧凑化做出了贡献。

The development of smart societies requires power distribution facility to have high power supply reliability. Protective devices used in the facility are required to suppress unnecessary operation and indicate the conditions via measurement and communication functions. In order to meet these demands, we have developed the “EX Series” electronic earth leakage circuit-breaker. It utilizes various technologies including structural design technology for optimum placement of sensors and conductors, leakage detection technology based on a zero-phase current transformer and electronic circuit design technology that improves noise immunity. This electronic earth leakage circuit-breaker has the same external size as a molded-case circuit-breaker, reducing installation area by 30% when compared with setups that incorporate a leakage module. This can save the installation space of switchboards.

1　引言

近年来，随着智能社会的发展，医院、数据中心等设置的受配电设备要求具备高度的供电可靠性。为此，使用的保护设备，必须能凭借细致的保护协调特性抑制不必要的动作，以及检测过电流、漏电等电路异常，并利用测量和通信功能进行状态监视。

为满足这些要求，富士电机开发并发售了搭载有小型漏电及测量单元的电子式漏电断路器“EX 系列”。

2　“EX 系列”的开发背景和特点

图 1 中展示了新开发的电子式漏电断路器 EX 系列与旧型“BX 系列”的比较。

在日本，要求配电柜小型化的呼声很高，因此，富士电机将统一塑壳式断路器和漏电断路器的外形尺寸（TWIN）确定为基本开发理念。但 BX 系列的漏电保护功能依靠的是外接的漏电模块，设置面积比塑壳式断路器大，难以实现 TWIN 化。而在海外，漏电模块的使用非常普遍，不需要有相同的外形，但漏电断路器的小型化有利于削减设置空间。

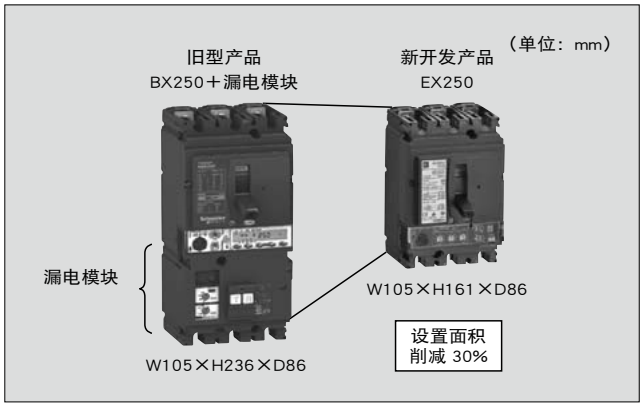

图 1　BX250 和 EX250 的比较

因此，通过统一该电子式漏电断路器和塑壳式断路器的外形尺寸，与附加漏电模块时相比，设置面积减少 30%，实现了小型化，为配电柜的结构紧凑化做出了贡献。

表 1 中展示了基本规格和产品阵容。框架有 250 AF、400 AF、630 AF 三种，极数方面有 3 极品和 4 极品，额定分断容量最大为 400 V/70 kA。另外，检测单元分通用品和高功能品两种。其主要特点如下所示。

(1)　通用品和高功能品具有共通特点
　(a)　带额定电流和脱扣电流的调整功能
　(b)　带 100～5000 mA 范围内的漏电灵敏度电流调整功能
　(c)　带漏电警报的断路器阵容
(2)　高功能品所独有的特点
　(a)　带测量和通信功能、预警设定
　(b)　搭载有 MODBUS 接口

漏电灵敏度电流的最大值从过去的 1000 mA 提高到 5000 mA，可根据用途设定。另外，带漏电警报的断路器在检测到漏电时不会脱扣，仅输出警报，因此最适合用于拟

表 1　通过改变 GND 平面采取的对策

项目		规格		
框架大小（AF）		250	400	630
额定电流（A）可调整		115～250	160～400	250～570
极数		3、4		
额定电压 AC（V）		200～440		
额定分断容量（kA）I_{cu}/I_{cs}	AC400 V	70/70		
	AC230 V	100/100		
漏电灵敏度电流（mA）		30（固定型）、100～5000（切换型）		

极力避免突然停电的用途。此外，高功能品的通信接口，搭载了 MODBUS〈注 1〉，因此可通过电流、电压、电量等数据的通信，使用电力监视设备进行漏电断路器的状态监视。

3 产品结构和特性

3.1 传感器和导体的最佳配置

漏电断路器与塑壳式断路器的区别在于配备了检测漏电的传感器和控制电路。该产品的传感器使用的是零序电流互感器（ZCT）。普通的电流互感器（CT）具有使导体分别贯通各相、检测相电流的功能，但在 ZCT 中，主电路各相导体会全部贯通，然后根据正向电流和返回电流的矢量合成总和输出信号。ZCT 的原理如**图 2** 所示[1]。

电路在正常的健全状态下，通过 ZCT 的正向电流和返回电流的矢量合成总和为 0。在 ZCT 的铁芯上产生的磁通相互抵消，不会输出到 ZCT 的次级线圈。另一方面，电路发生异常时，正向电流和返回电流的矢量合成总和不是 0。因此，ZCT 的铁芯上会产生磁通，并输出到 ZCT 的次级线圈上。

图 3 中展示了 BX250 的整体结构和检测单元。开发理念为：分断短路电流的分断单元沿袭旧型产品 BX250，仅以检测单元为开发对象，附加漏电检测功能。另外，采用了分断单元体积占整体的 70%，检测过电流、进行脱扣动作的检测单元占 30% 的构成。

为检测漏电，必须追加 ZCT，根据**图 2** 所示原理，使 4 极的所有导体都贯通 ZCT。为了将这些构成全包含在占断路器整体 30% 的部分中，富士电机如**图 4** 所示，调整了导体的基本结构和 CT 的构成。

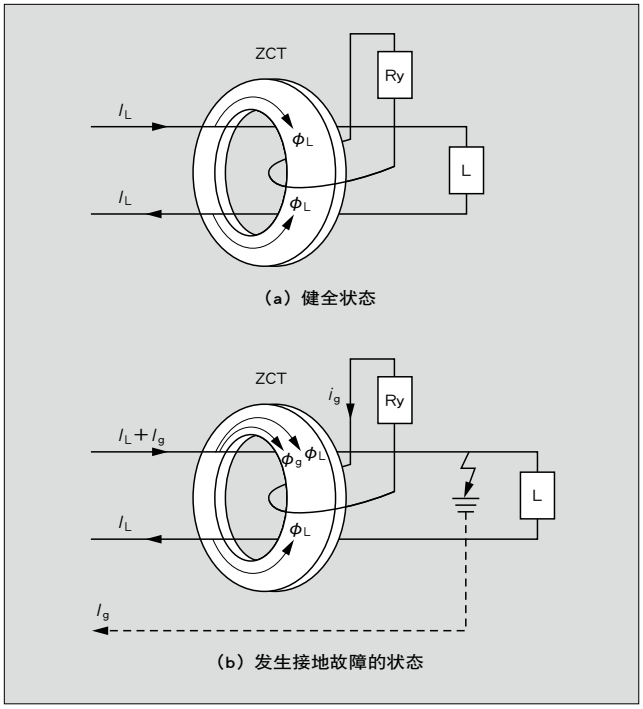

图 2 ZCT 的原理

〈注 1〉MODBUS：Schneider Automation, Inc. 的商标或注册商标

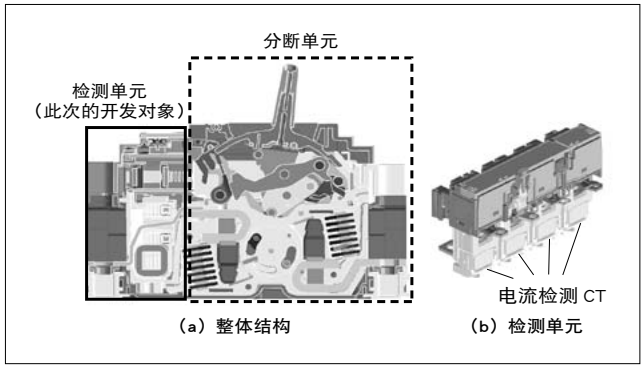

图 3 BX250 的整体结构和检测单元

过去的塑壳式断路器，如**图 4** 上方所示，采用的是使各相导体贯通电流检测 CT 的结构。而新开发的漏电断路器，为了保证能在和塑壳式断路器相同的占用空间中使各相导体贯通 ZCT，必须采用更加紧凑的配置。

因此，EX 系列将由多个配件组成的导体贯通 ZCT，通过激光焊接接合各导体，并进行绝缘涂层处理，从而确保了复杂导体间的绝缘。

另外，通电时导体发热会导致电子零部件劣化，端子等与电线的连接部位都需要防止温升。为抑制通电时导体的温升，富士电机通过温度分析明确了局部温升明显的部位，优化了导体截面积。特别是导体通电路径较长的相，如果不做任何调整，温升幅度会增加，因此增大了导体的截面积，将温升控制在了最低程度。采取了相关对策的产品温度分析结果如**图 5** 所示。

另外，导体接合部的焊接材料，没有使用常用的钎焊材料，而是通过直接接合各导体，将接合部电阻值的上升控制在了最低程度。凭借以上措施，如**图 6** 所示，可将通电时的温升控制在目标上限值以下。

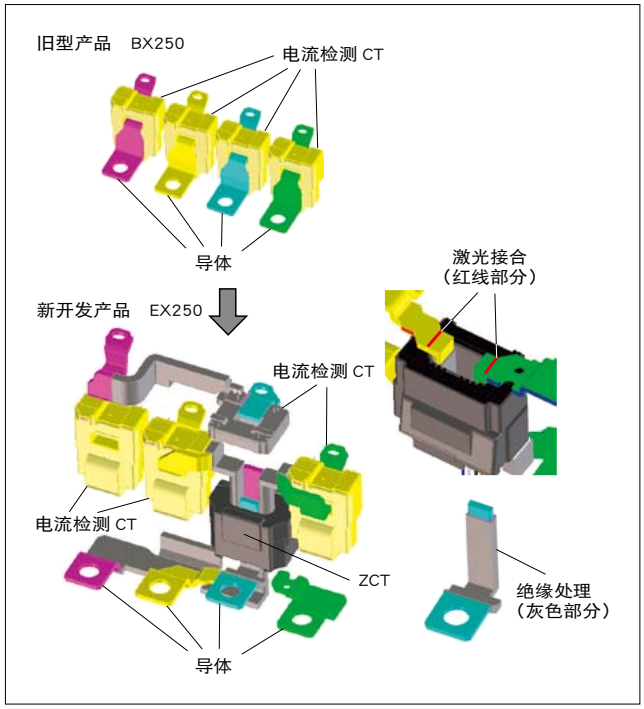

图 4 BX250 和 EX250 的导体结构比较

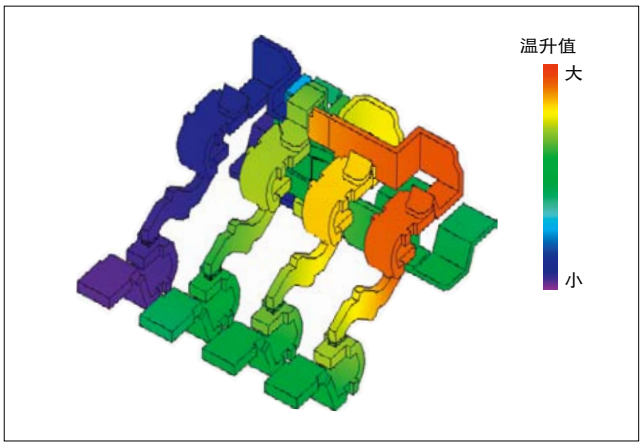

图 5　温度分析的结果

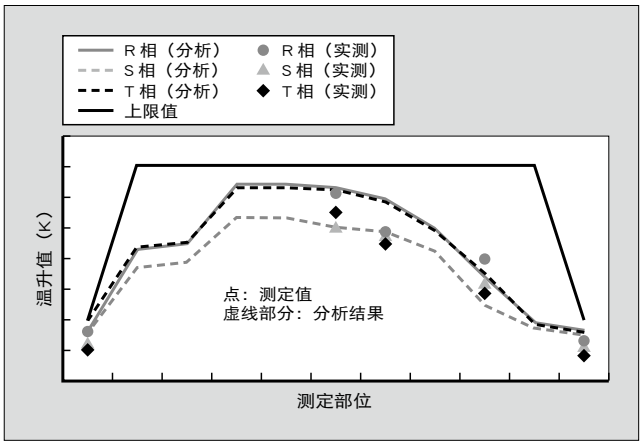

图 6　温升试验的结果

3．2　ZCT 的结构和特性

⑴　ZCT 的基本结构

图 7 中展示了 ZCT 的结构。分别配置在铁芯和卷线部的内周和外周、上部和下部的屏蔽片，具有屏蔽来自 ZCT 外部的磁场干扰的功能，对于下文中的平衡特性有很大的影响。

⑵　ZCT 的漏电检测特性

如**第 2 章**所述，EX 系列的漏电检测范围的下限值为

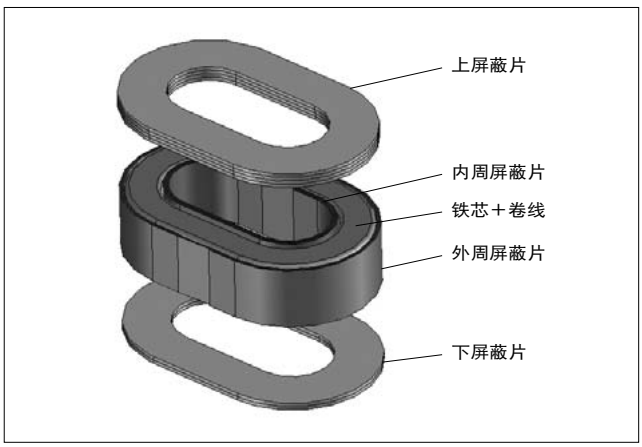

图 7　ZCT 构成图

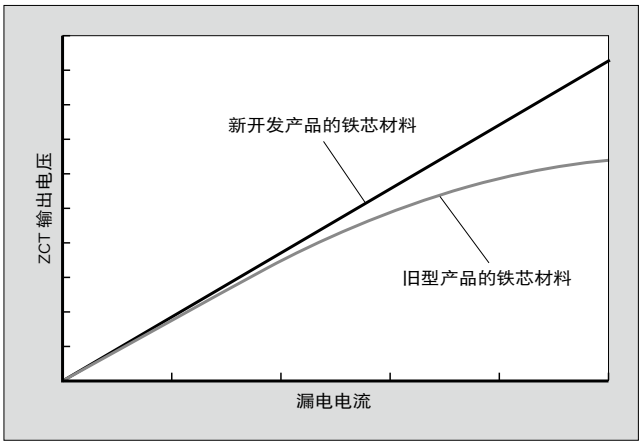

图 8　ZCT 的输出特性图

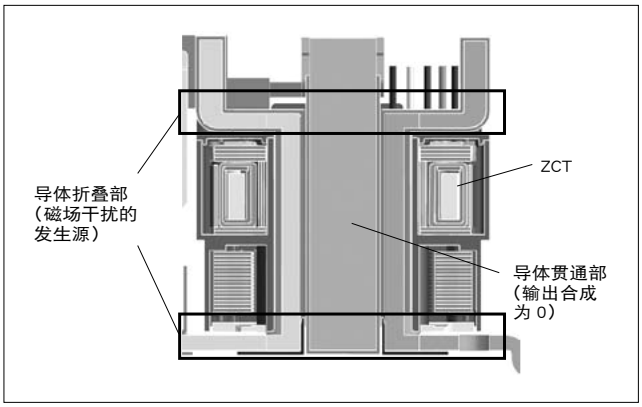

图 9　ZCT 和导体折叠部的结构图

30 mA，与旧型产品相同。上限值为 5000 mA，比旧型产品的 1000 mA 大，大幅扩大了检测范围。铁芯使用了磁性材料，所以若漏电电流增加，会因为磁饱和而使输出电压也趋向饱和。因此，通过提高芯材的饱和磁通密度，如**图 8** 所示改善了特性。

⑶　ZCT 的平衡特性

为正常的交流电流时，各相的电流矢量和为 0，在此状态下，原则上 ZCT 不会发生输出。但如果通电电流提高到数 kA，就会发生输出，漏电断路器动作。在这种平衡负载下，漏电断路器的不动作过电流限值称为平衡特性。

输出发生的原因在于 ZCT 的屏蔽片磁饱和，导致干扰流入铁芯。干扰的发生源如**图 9** 所示，是由在 ZCT 贯通部位以外产生电流的磁场所导致的。

为实现小型化，在 ZCT 附近设置了贯通导体，其折叠部流经电流后所形成的磁场带来的影响是主要原因。为节省其他零部件或节省空间，ZCT 和折叠部导体不能离得太远，因此，要通过设置磁性屏蔽片来解决这一问题。于是，如**图 10** 所示，富士电机进行了磁场分析，通过加厚磁场干扰侵入部位的磁性屏蔽片，改善了平衡特性（**图 11**）。

3．3　电子电路的构成和特性

⑴　要求的功能和电路板的构成

EX 系列为了在现行的 BX 系列基础上追加 IEC 标准的要求和漏电检测功能，增加了如**图 12** 所示的电路。

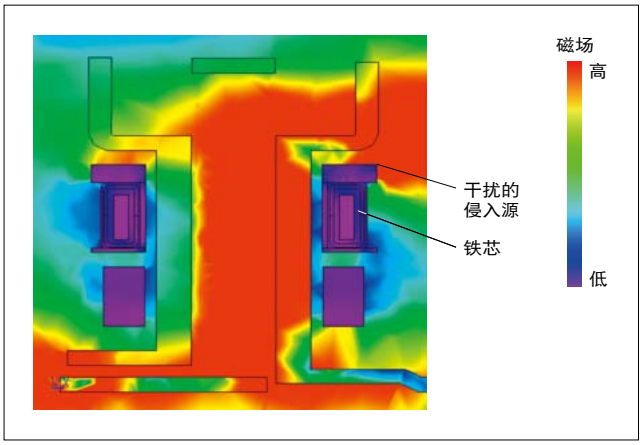

图 10　ZCT 平衡特性的分析结果

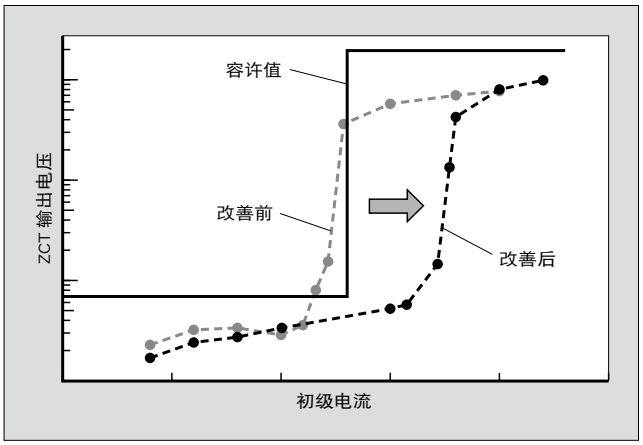

图 11　ZCT 平衡特性的改善

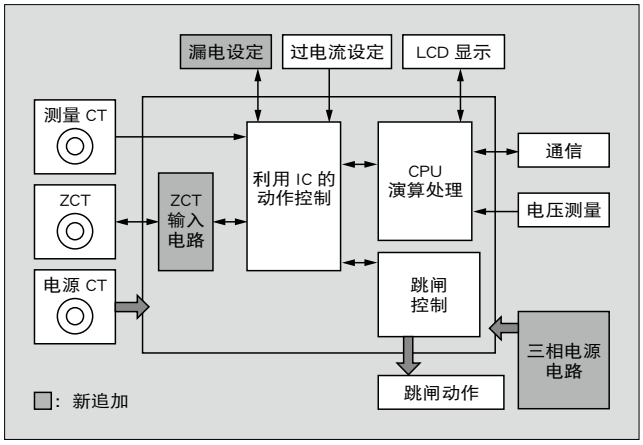

图 12　EX 系列的动作框图

ZCT 输入电路对 ZCT 的输出电压进行数字转换，基于漏电动作电流的设定值，利用 IC 进行动作控制。三相电源电路由主电路向电子电路供电，必须保证在 200～440 V 电压范围内动作，因此，必须追加使用电力变压器的开关电源电路。

EX 系列必须在和旧型产品相同的空间内追加上述电路。因此，设计上充分利用了旧型产品的死角，并优化了布局、采用了小型零部件，成功在规定空间内包含进了追加功能。

⑵　抗干扰性的要求和对策

近年来，由于省配线化和智能手机等的普及，无线设备的使用越来越广泛。为避免电波干扰导致的不必要动作，必须提升设备的鲁棒性。因此，对于**表 2** 所示的部分项目（带阴影部分），富士电机设置了比 IEC 更为严格的标准作为产品规格。

在电路图设计完成时进行了初期分析，明确了最不耐干扰的点，并采取了对策。**图 13** 中展示了抗干扰性的分析结果。用等高线图表现了外加电波干扰、频率变化时的电位差峰值。

由此明确了抗干扰性较差的点，采取了以下对策。

⑻　调整了电路板平面的构成，准备了带铜箔涂层的 GND 平面〈注 2〉。

⑹　为降低从电路板外周部排出的干扰，在电路板外周部

表 2　关于抗干扰性的产品规格

抗扰度测试内容	IEC 标准	产品规格
静电放电	8 kV：空气中放电 8 kV：接触放电	
辐射无线频率电磁场	10 V/m 80 MHz～ 2 GHz	20 V/m 80 MHz～ 3 GHz
电快速瞬变脉冲群	电源端口：4 kV 信号端口：2 kV	
浪涌	电源端口　导电部对地间：4 kV 线间：4 kV 信号端口：2 kV	
传导干扰	10 V 150 kHz～ 80 MHz	20 V 150 kHz～ 80 MHz

□：比 IEC 更严格的标准

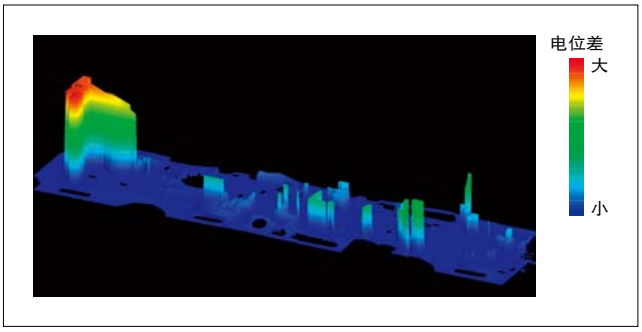

图 13　抗干扰性的分析结果

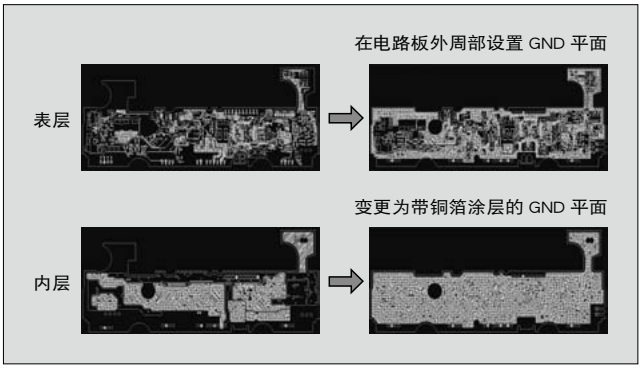

图 14　通过改变 GND 平面采取的对策

〈注 2〉GND 平面：由铜制成的、接到双面电路板中一侧或多层电路板中一侧的低阻抗层

配置 GND 平面，借助 VIA〈注 3〉与其他层的 GND 平面连接。

(c) 为提升对辐射电磁场的耐性，支持 3 GHz 频带，将外周部的 VIA 间隔设置在 5 mm 以下。

通过改变 GND 平面的对策示意图如**图 14** 所示。除此以外，还追加了滤波电路等，从而达成了目标性能。

4 后记

本文对可为智能社会的发展做贡献的电子式漏电断路器“EX 系列”进行了介绍。

今后，随着 IoT 的发展，断路器等保护设备的智能化预计也将不断得到推进。富士电机将运用此次采用的技术进一步推进开发。

参考文献

(1) 富士電機機器制御株式会社. オートブレーカ・漏電遮断器技術資料 EH150f.

〈注 3〉VIA：用于电路板间的导通孔

佐藤　佑高
从事低压断路器的开发设计工作。现为富士电机机器制御株式会社开发本部受配电开发部课长助理。

桥本　　贵
从事低压断路器的电子电路的开发。现为富士电机机器制御株式会社开发本部受配电开发部主任。

细冈　洋平
从事低压断路器的电子电路的开发。现为富士电机机器制御株式会社开发本部受配电开发部主任。

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。