

スマート社会の発展に貢献する電子式漏電遮断器「EXシリーズ」

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

佐藤 佑高 SATO, Yutaka

橋本 貴 HASHIMOTO, Takashi

細岡 洋平 HOSOOKA, Yohei

スマート社会の発展により、受配電設備は高い給電信頼性が求められており、そこで使われる保護機器には、不要動作の抑制や計測・通信機能による状態監視が必要となっている。これらの要求に応えるため、電子式漏電遮断器「EXシリーズ」を開発した。センサや導体の最適配置のための構造設計技術、ZCTによる漏電検出技術、耐ノイズ性を向上させた電子回路設計技術を適用している。配線用遮断器と同一外形寸法の電子式漏電遮断器とすることで、漏電モジュールを付加した場合と比較して、設置面積を30%削減し、配電盤の省スペース化に貢献した。

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 まえがき

近年、スマート社会が発展する中、病院やデータセンターなどに設置されている受配電設備は、高い給電信頼性が求められている。そのため、そこで使われている保護機器には、きめ細かい保護協調特性によって不要動作を抑制することや、過電流・漏電などの回路異常を検知し、計測・通信機能による状態監視を行うことが必要となっている。

このような要求に応える小型漏電・計測ユニットを搭載した電子式漏電遮断器「EXシリーズ」を開発し、発売した。

2 「EXシリーズ」の開発の背景と特徴

図1に、開発した電子式漏電遮断器EXシリーズと従来の「BXシリーズ」の比較を示す。

国内では配電盤の小型化の要求も多く、富士電機の配

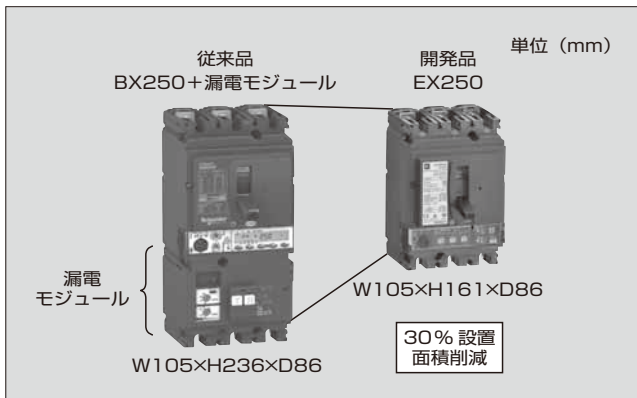


図1 BX250とEX250の比較

線用遮断器と漏電遮断器は同一外形寸法（TWIN）化が基本コンセプトとしてある。しかし、BXシリーズの漏電保護機能は、外付けの漏電モジュールで対応していたため、配線用遮断器に対して設置面積が大きくなってしまい、TWIN化ができていなかった。一方、海外では漏電モジュールを使用することが多く、同一外形は必須ではないが、漏電遮断器の小型化により設置スペースが削減できるというメリットがある。

そこで、配線用遮断器と同一外形寸法の電子式漏電遮断器とすることで、漏電モジュールを付加した場合と比較して、設置面積で30%の小型化を行い、配電盤の省スペース化に貢献した。

表1に、基本仕様とラインアップを示す。フレームの大きさは、250 AF、400 AF、630 AFがあり、3極品と4極品を備え、定格遮断容量は最大400 V/70 kAである。また、検出ユニットには汎用品と高機能品がある。特徴を次に示す。

- (1) 汎用品・高機能品に共通の特徴
 - (a) 定格電流・引外し電流の可調整機能
 - (b) 100～5,000 mAでの漏電感度電流の可調整

表1 基本仕様とラインアップ

項目	仕様		
フレームの大きさ (AF)	250	400	630
定格電流 (A) 可調整	115~250	160~400	250~570
極数	3, 4		
定格電圧 AC (V)	200~440		
定格遮断容量 (kA)	AC400 V	70/70	
I_{cu}/I_{cs}	AC230 V	100/100	
漏電感度電流 (mA)	30 (固定型), 100~5,000 (切替型)		

(c) 漏電警報付ブレーカのラインアップ

(2) 高機能品のみの特徴

- (a) 計測および通信機能, プレアラーム設定
- (b) MODBUS インタフェースの搭載

漏電感度電流は、最大値を従来の1,000 mA より大きい5,000 mA とし、用途に応じた漏電感度電流が設定できる。また、漏電警報付ブレーカは漏電を検知した際に引外しせず、警報のみ出力するため、不意に停電させたくない用途において最適である。また、高機能品の通信インタフェースとしてMODBUS^(注1)を搭載しているの、電流、電圧、電力量などのデータを通信することで、電力監視機器による漏電遮断器の状態監視を行うことができる。

3 製品の構造と特性

3.1 センサ・導体の最適配置

漏電遮断器の配線用遮断器との違いは、漏電検出を行うためのセンサや制御回路を備えていることである。この製品のセンサは、零相変流器（ZCT）を使用している。通常の変流器（CT）は相ごとに導体を貫通させ、相電流を検出する機能を持つが、ZCT には主回路の各相の導体を全て貫通させ、往路電流と帰路電流のベクトル合成和によって出力信号を出す。ZCT の原理を図2に示す。

回路が通常の健全な状態においては、ZCT を通る往路電流と帰路電流のベクトル合成和が0である。ZCT の鉄心コアに発生する磁束は互いに打ち消し合い、ZCT の二次コイルに出力は発生しない。一方、回路に異常が生じた場合は、往路電流と帰路電流のベクトル合成和が0でなく

なる。そのため、ZCT の鉄心コアに磁束が発生し、ZCT の二次コイルに出力が発生する。

図3にBX250の全体構造と検出ユニットを示す。開発コンセプトは、短絡電流を遮断する遮断ユニットは従来品のBX250を踏襲し、検出ユニットのみを開発対象とし、漏電を検出する機能を付加することとした。また、遮断ユニットは全体の70%の体積とし、過電流を検知して引外し動作を行う検出ユニットは30%という構成とした。

漏電検出を行うためにZCTを追加し、図2に示した原理に従って4極全ての導体をZCTに貫通させる必要がある。それらの構成を遮断器全体の30%の部分に納めるため、図4に示すように導体の基本構造やCTの構成を見直した。

従来の配線用遮断器は、図4の上側のように各相の導体を電流検出CTに通す構造であった。一方、開発した漏電遮断器は、配線用遮断器と同一スペースの中で各相の導体をZCTに通せるように、コンパクトにまとめる必要がある。

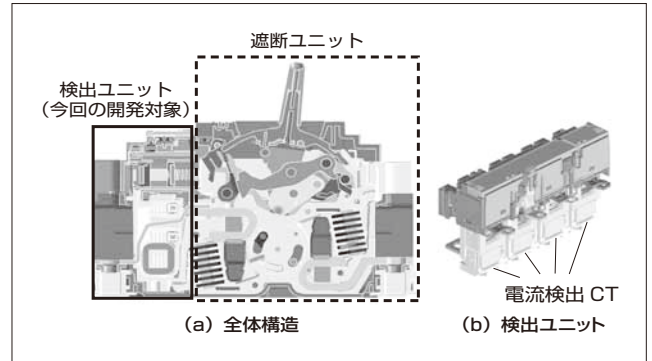


図3 BX250の全体構造と検出ユニット

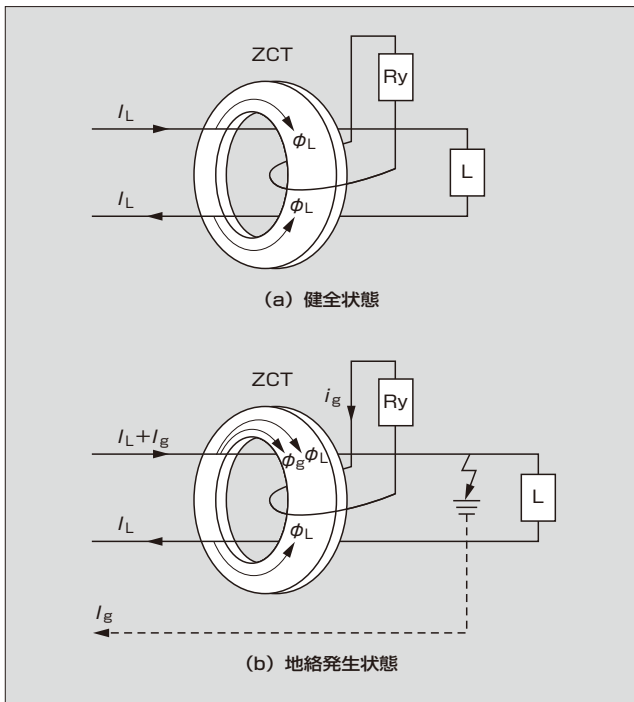


図2 ZCTの原理

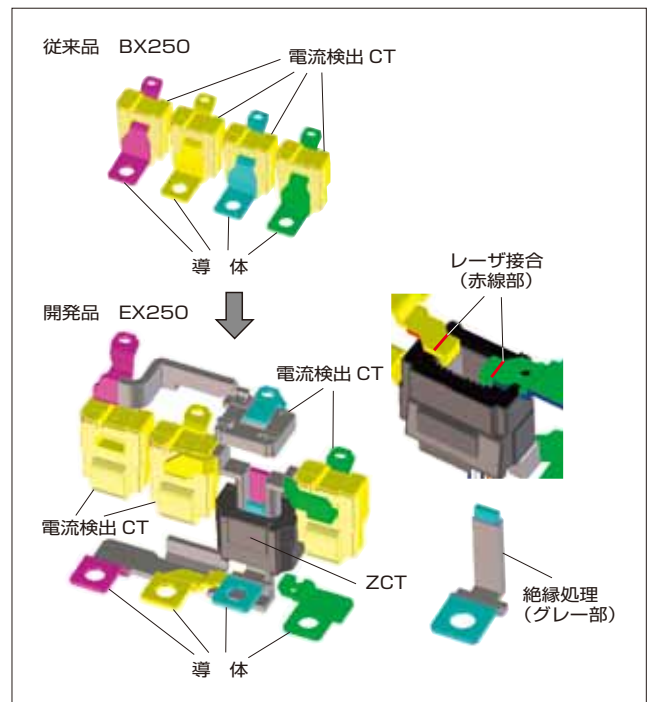


図4 BX250とEX250の導体構造の比較

<注1> MODBUS : Schneider Automation, Inc. の商標または登録商標

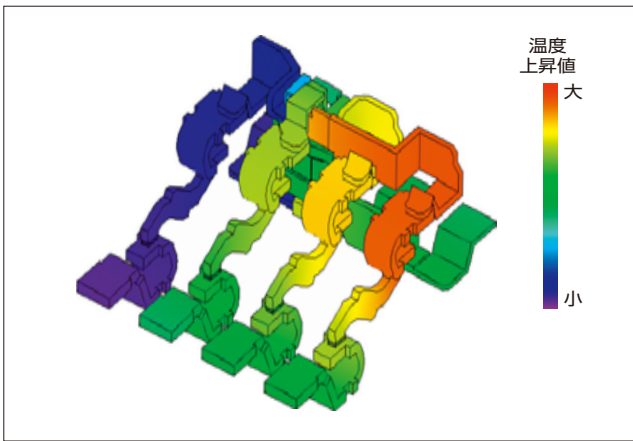


図5 温度解析の結果

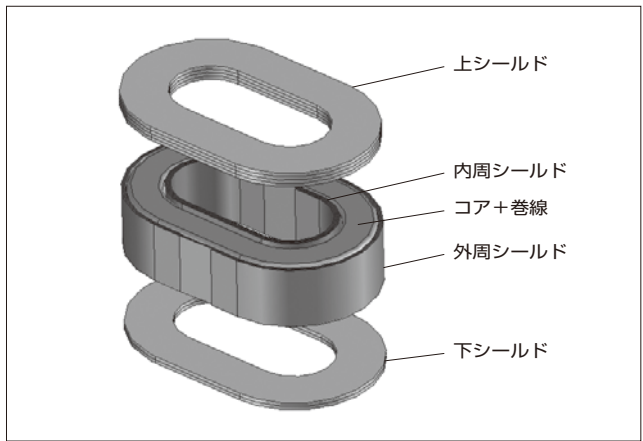


図7 ZCTの構成図

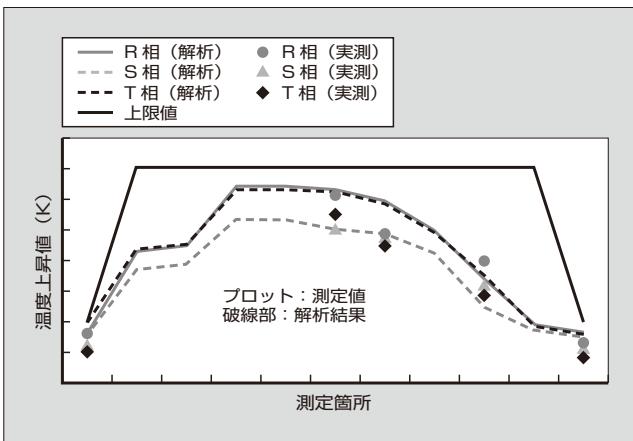


図6 温度上昇試験の結果

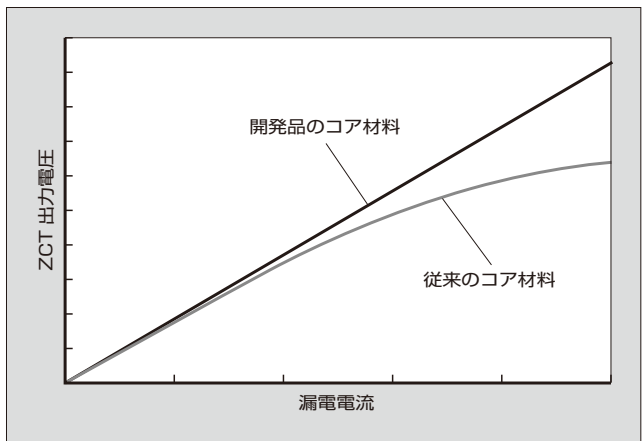


図8 ZCTの出力特性図

そこで、EX シリーズでは、複数のパーツからなる導体をZCTに通した後にレーザ溶接により導体同士を接合し、絶縁コーティング処理を行って複雑な導体間の絶縁を確保している。

また、通電時の導体の発熱による電子部品の劣化と端子などの電線と接続する箇所において、温度上昇を防ぐ必要があった。通電時の導体の温度上昇を抑えるため、温度解析により局所的に温度上昇が大きい箇所を明確にした上で導体断面積を最適化した。特に、導体の通電経路が長い相ではそのままでは温度上昇が大きくなるため、導体の断面積を大きく取り温度上昇を最小限に抑えた。対策品の温度解析の結果を図5に示す。

また、導体の接合部の溶接材として通常使われるろう材などは用いず、導体同士を直接接合することで接合部の抵抗値の上昇を最小限に抑えた。これらの施策により、図6に示すように通電時の温度上昇を目標の上限値以下に抑えることができる。

3.2 ZCTの構造と特性

(1) ZCTの基本構造

図7にZCTの構成を示す。コアと巻線部の内周と外周、上部と下部のそれぞれに配置しているシールドは、ZCT外部からの磁場ノイズを遮蔽する機能を持ち、後述する平

衡特性に大きく影響する。

(2) ZCTの漏電検出特性

2章で述べたように、EX シリーズの漏電検出の範囲の下限値は30 mAであり、従来品と同等である。上限値は5,000 mAであり、従来品の1,000 mAと比較して大きく、検出範囲を大幅に拡大している。コアは磁性材料を使用しているため、漏電電流が大きくなると磁気飽和により出力電圧も飽和傾向になる。そこで、コア材の飽和磁束密度を高くすることで、図8に示すように特性を改善した。

(3) ZCTの平衡特性

通常の交流電流の場合は、各相の電流ベクトル和が0の状態では、ZCTの出力は原理的には発生しない。しかしながら通電電流を数kAまで上げていくと、出力が発生して漏電遮断器が動作する。この平衡負荷時における漏電遮断器の不動作過電流限界値を平衡特性と呼ぶ。

出力が発生する原因は、ZCTのシールドが磁気飽和することにより、コアにノイズが流入するためと考えられる。ノイズの発生源は、図9に示すようにZCTを貫通している箇所以外の電流が発生させる磁界によるものである。

小型化のため、ZCTの近傍に設けた貫通導体の折返し形状部に流れる電流による磁界の影響が大きく起因する。他部品やスペースの制約があるため、ZCTから折返し部の導体を十分に離すことができないので、磁気シールドを

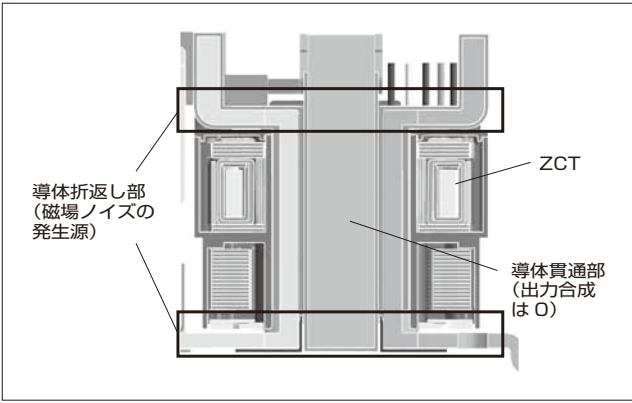


図9 ZCTと導体折返し部の構造図

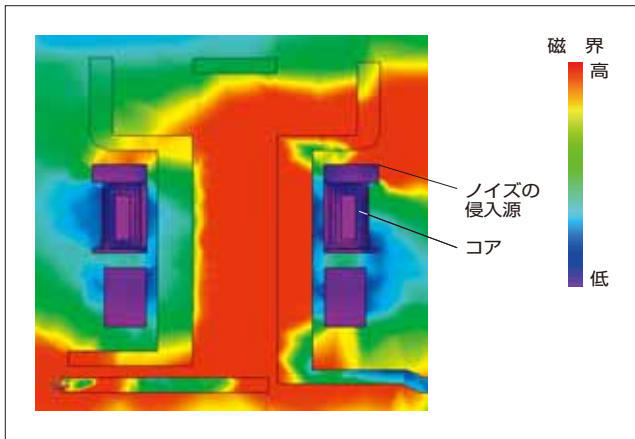


図10 ZCT平衡特性の解析結果

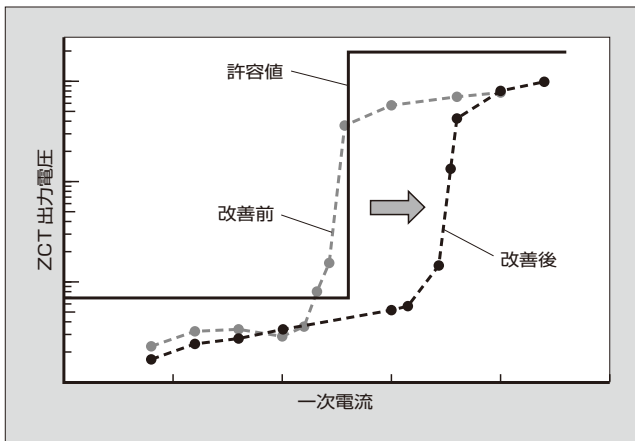


図11 ZCT平衡特性の改善

設けることで対処する。そこで、図10に示すように磁場解析を行い、磁場ノイズの侵入箇所の磁気シールドを厚くすることで平衡特性を改善した(図11)。

3.3 電子回路の構成と特性

(1) 要求機能と基板の構成

EXシリーズは、現行のBXシリーズに対してIEC規格の要求や漏電検出機能を追加するため、図12に示すように回路を追加している。

ZCT入力回路は、ZCTの出力電圧をデジタル変換し、

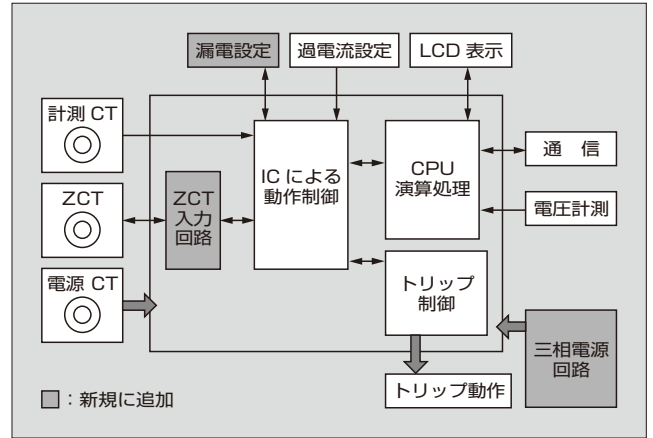


図12 EXシリーズの動作ブロック図

漏電動作電流の設定値に基づき、ICにより動作制御を行う。三相電源回路は、主回路から電子回路へ電源供給を行い、200～440Vまでの動作を保証しなければならないため、電源トランスを使用したスイッチング電源回路の追加も必要である。

EXシリーズは、上述の回路を従来品と同一スペース内に追加する必要があった。従来のデッドスペースを全て活用し、レイアウトの最適化や小型部品の採用により、追加機能も規定スペース内に収めた。

(2) 耐ノイズ性能の要求と対策

近年、省配線化やスマートフォンなどの普及で無線機器を使用したものが増えてきている。このため、電波ノイズによる不要動作を避けて、機器のロバスト性を向上させる必要がある。そこで、表2に示す一部項目(網掛け部分)は、IEC規格よりも厳しい基準を設けて製品仕様としている。

最初に、パターン設計が完了した時点で解析を行って、ノイズに対して最も弱いポイントを明確にして対策を行った。図13に耐ノイズ性の解析結果を示す。電波ノイズ印加時に周波数を変化させたときの電位差のピークを、コンター図で表したものである。

耐ノイズ性の弱いポイントがあることが分かったため、次に示す対策を行った。

(a) 基板プレーン構成を見直し、ベタパターンのGND

表2 耐ノイズに関する製品規格

イミュニティ試験内容	IEC規格	製品仕様
静電気放電	8kV: 気中放電 8kV: 接触放電	
放射無線周波電磁界	10V/m 80MHz～2GHz	20V/m 80MHz～3GHz
電氣的ファストランジェントバースト	電源ポート: 4kV 信号ポート: 2kV	
サージ	電源ポート 導電部対地間: 4kV 線間: 4kV 信号ポート: 2kV	
伝導妨害	10V 150kHz～80MHz	20V 150kHz～80MHz

■: IEC規格よりも厳しい基準

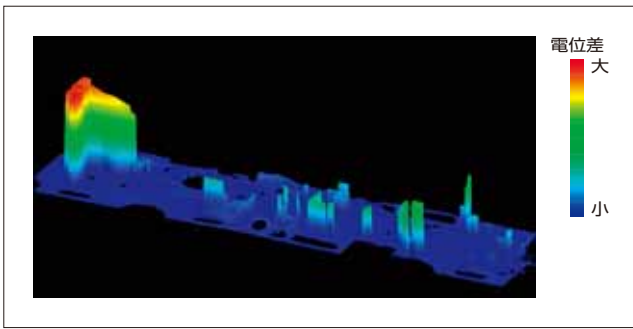


図 13 耐ノイズ性の解析結果

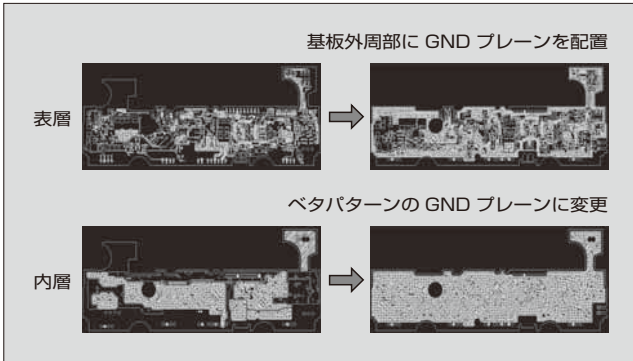


図 14 GND プレーン変更による対策

プレーン^{〔注2〕}を用意する。

- (b) 基板外周部より排出されているノイズを低減させるため、基板外周部に GND プレーンを配置し、他層の GND プレーンと VIA^{〔注3〕}にて結合する。
- (c) 放射電磁界耐性向上を目的とし、3 GHz 帯域に対応可能とするため、外周部の VIA 間隔を 5 mm 以下とする。

〔注2〕 GND プレーン：両面基板の片側、あるいは多層基板ボードの一つの層に連続した銅で作られた低インピーダンスの層のこと

〔注3〕 VIA：基板の層間の導通を目的にした穴のこと

する。

GND プレーン変更による対策のイメージを図 14 に示す。また、これら以外にもフィルタ回路の追加などの対策を加え、目標性能を達成した。

4 あとがき

本稿では、スマート社会の発展に貢献する電子式漏電遮断器「EX シリーズ」について述べた。

今後、IoT 化が進み、遮断器などの保護機器についてもスマート化が進んでいくものと予想される。今回適用した技術を生かし、さらなる開発を進めていく所存である。

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.



佐藤 佑高

低圧遮断器の開発設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社開発本部受配電開発部課長補佐。



橋本 貴

低圧遮断器の電子回路開発に従事。現在、富士電機機器制御株式会社開発本部受配電開発部主任。



細岡 洋平

低圧遮断器の電子回路開発に従事。現在、富士電機機器制御株式会社開発本部受配電開発部主任。





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。