

スリット構造による高周波変圧器用 導電性シールドの渦電流損失低減に関する検討

Muhammad Muaz Hafizi Bin Alias*, 米富 律騎, 日下 佳祐 (長岡技術科学大学)

Verification of Eddy Current Loss Reduction in Conductive Shield using
Slit-Structure Shield in High-Frequency Transformer

Muhammad Muaz Hafizi Bin Alias, Ritsuki Yonetomi, Keisuke Kusaka (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年、データセンタや大規模ビルの受電設備として、商用トランスに対して小型化が可能な高周波変圧器を有する Solid State Transformer (SST)の検討が進められている。6.6 kV 以上の系統に直接接続される SST においては、系統への落雷により発生する雷サージの影響を受ける可能性がある。雷サージは変圧器の絶縁破壊や低電圧回路に損傷を引き起こすため、適切な保護が不可欠である。

上記の課題に対し、商用変圧器においては一次側と二次側間に導電性シールドを配置することで雷サージの保護性能を実現している。また、高周波変圧器においても導電性シールドによる保護性能の改善が検討されている⁽¹⁾。しかしながら、高周波変圧器ではシールド内で渦電流が発生するため、変圧器のシステム効率が低下する問題がある。そこで本研究では、スリット構造を導電性シールドに適用することで渦電流損失の低減が可能であることを電磁界解析により明らかにしたので報告する。

2. スリット構造を適用したシールド構造

Fig. 1 に外鉄形高周波変圧器の断面図を示す。本変圧器を 6.6 kV 系統に接続される SST に接続する場合、一次側巻線には対地電圧基準で 6.6 kV の電圧が印加される。一方、二次側巻線は接地電位であるため、変圧器の一次側と二次側間に強電界が発生する。

雷サージが発生した際、一次巻線には過渡的に過電圧が

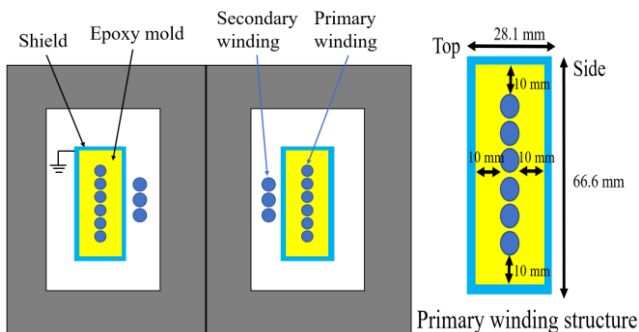


図 1 高周波変圧器のシールド構造

Fig. 1. Shield structure in high-frequency transformer.

印加されることから、エポキシモールドによる絶縁を施したうえで、導電性材料をモールドの表面に塗布する。これにより、導電性材料をシールドとすることで雷サージに対する保護性能を向上する。しかし、シールドは磁束変化する領域に配置されており、シールドに渦電流が誘導されるため、シールド内で渦電流損失が生じる。

本稿ではシールドで生じる渦電流損失を低減するため、スリット構造をシールド上に設けることで渦電流の損失を低減することを検討する⁽²⁾。スリット構造は導電性シールドに対し狭小な開口部を設ける構造である。シールドでは、磁束の時間変化により渦電流の閉ループ経路が発生する。スリット構造を導入することで、誘導される渦電流の閉ル

表 1 スリット構造のパラメータ
Table 1. Parameters of slit structure.

Model	Slit Position	High h [mm]	Width t [mm]
1	Side	60	2
	Top/bottom	20	
2	Side	60	3
	Top/bottom	20	
3	Side	60	4
	Top/bottom	20	
4	Side	40	4
	Top/bottom	20	
5	Side	20	4
	Top/bottom	20	
6	Without Slits		

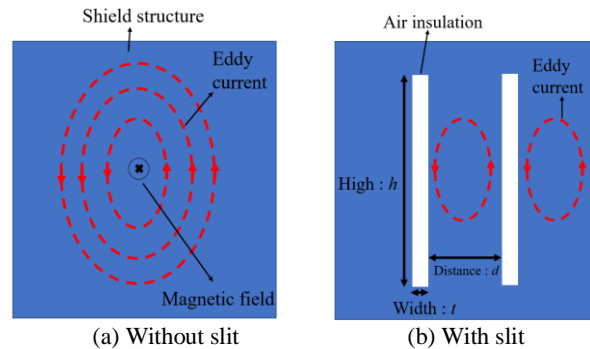


図 2 スリットシールド構造

Fig. 2. Slits shield structure.

ープ経路が分断する。これにより、渦電流ループ面積が小さくするため、渦電流損失の低減が可能となる。

Fig. 2にスリット構造を示す。本検討では、矩形のスリット構造を用いて、スリットの高さ h 、幅 t をシールド損失が最小となるよう設計する。Fig. 1に示す一次巻線の絶縁構造では、シールドの上下面の高さは28.1 mm、側面の高さは66.6 mmである。このシールド表面に対して形状の異なるスリットを導入する。

Table 1に解析モデルの構造差異を示す。モデル1からモデル3はスリット高さを最大長とした上で、スリット幅 t を変化させる。一方、モデル4とモデル5はスリット幅 t を一定したうえで側面のスリット高さ h を変化させる。但し、スリット幅5mm以上に設定した場合には、巻線間の絶縁破壊が発生したため、スリット幅は4mm以下とした。

3. 電磁界解析によるシールド渦電流損失の検証

シールド渦電流損失の低減効果を検証するため、電磁界解析ソフト(JMAG)によるシールド渦電流損失の評価を行った。解析モデルは比較のためTable 1で示したスリット構造を適用したシールド構造と、スリットなしのシールド構造を用意した。なお、変圧器の駆動周波数は30 kHz、一次電流65 A、二次電流130 Aの41.7 kVAの変圧器を想定した。

Fig. 3にシールドにおける渦電流損失の解析結果を示す。スリットを設けないモデル6のシールド渦電流損失は510 Wである。また、スリットを設けるモデル3は最小の渦電流損失を示し、スリットなしと比較して73%低減できることが確認できる。スリット面積は大きいほど、渦電流損失が低減が可能であるが、スリット面積が大きすぎると、絶縁破壊が発生する。そのため、今回のスリット形状ではスリット幅が4 mmが上限となる。

Fig. 4に比較のためスリットあり及びスリットなしのジュール損失密度の解析結果を示す。スリット構造を適用しない場合、導電性シールドには一様な電流が流通し渦電流損失が生じる。一方スリット構造を適用した場合には、スリット間が渦電流を低減するため、電流の集中は導電性シールド材の端部のみとなる。これにより、スリット構造の適用によりシールド渦電流損失が低減可能であることを確認した。

4. まとめ

本研究では、シールドに対してスリット構造を適用した場合の渦電流損失低減効果について、電磁界解析により検証した。検証の結果、スリット構造を設けたモデル3により渦電流損失が73%低減できることを確認した。

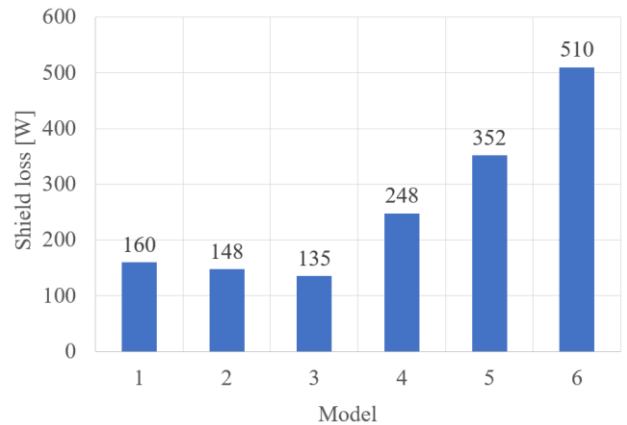


図3 シールド損失のシミュレーション結果
Fig. 3. Simulation result of shield loss.

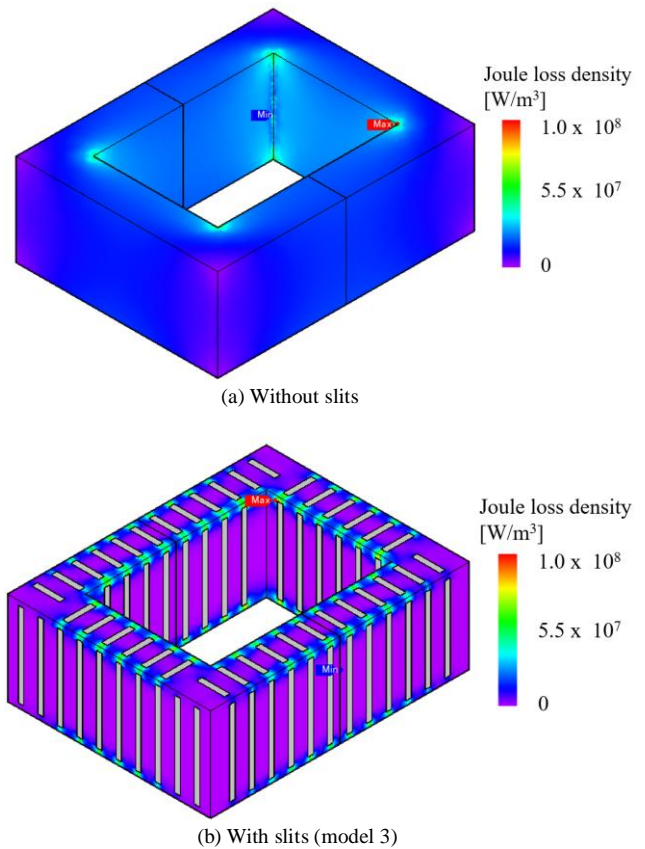


図4 スリットありとスリットなしのジュール損失密度の比較
Fig. 4. Comparison of joule loss density between with slits structure and without slits structure.

文献

- (1) Z.Li, E. Hsieh, Q.Li, and F.C.Lee: IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 38, No. 8, (2023).
- (2) Jo, Lee, Pyo, Jung, Kim, Kim: Actuators, Vol. 12, No. 451, (2023).