

氏名・(国籍)	^{みよー} ^{みん} ^{ていん} MYO MIN THEIN (ミャンマー国)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第338号
学位授与の日付	平成24年 9月30日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Transformer Model for Transient Recovery Voltage at Transformer Limited Fault Current Interruption (変圧器通過故障遮断時の過渡回復電圧に対する変圧器モデル)
論文審査委員	主査 教授 匹田 政 幸 " 三 谷 康 範 " 小 森 望 充 准教授 大 塚 信 也

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

電力系統の大容量化に伴って電力用変圧器の容量が増大する傾向にある。変圧器通過故障遮断 (Transformer Limited Fault; TLF) は全短絡電流が変圧器を介して短絡事故点に供給され、これを遮断器で遮断する場合として定義される。TLF 遮断は国際電気協会(IEC)規格や日本電気協会(JEC)規格では、端子短絡故障遮断(Terminal Fault ; TF)の T10 遮断責務で検証されると想定されているのが現状である。TLF 時の過渡回復電圧(TRV)の上昇率や波高値は定格電流遮断時より高い値となる。遮断器の規格では、TRV の振幅率は 1.7 であり、遮断器にとって厳しい遮断条件の一つとなっている。しかし、変圧器容量の増大によって TLF 遮断電流が T10 でカバーできない状況が生じてきている。TLF 遮断条件を正確に解析することで、この遮断責務を合理的に検証することが急務になってきている。

以上の観点から、本論文では TLF 時の過渡回復電圧 (TRV) について、電流注入法を用いた TRV 測定および周波数応答解析に基づく等価回路モデルの導出と過渡電磁界解析プログラム(Electromagnetic Transient Program: EMTP)解析による詳細な検討を行った。小容量の変圧器を用いて低電圧で TRV を測定し、その振幅率が 1.4 程度であることを明らかにした。また、変圧器インピーダンスの周波数応答を測定し、変圧器の短絡インダクタンスが周波数依存性を有する結果を得た。その結果を基に、50 MVA までの実変圧器を対象として、周波数依存の変圧器短絡インダクタンスモデルを構築し、モデルでの TRV 計算結果と実測とを良く一致させることができた。さらに、短絡インダクタンスが周波数依存性を示す理由について、変圧器の自己・相互インダクタンスから検討した。その結果、鉄心内のう

ず電流を考慮することで短絡インダクタンスの周波数依存性を説明できることを示している。

第1章では、本研究の背景と変圧器通過故障遮断による過渡回復電圧発生の原理および課題、本研究の目的が記述されている。

第2章では、1 kVA~50 MVA 変圧器のインピーダンスの周波数応答を FRA (Frequency Response Analyzer)を用いて測定し、その結果から、周波数依存性を有する変圧器の短絡インダクタンスを得た。

第3章では、上記の変圧器に対して電流注入法およびダイオードを遮断デバイスとしたコンデンサ電流注入法を用いて低電圧で TRV を測定し、振幅率 1.4~1.5 を得た。

第4章では、周波数依存の短絡インダクタンスモデルを構築した。そのモデルの短絡インピーダンスの周波数応答を EMTP を用いて計算し、実測とよく一致させることができた。さらに、周波数依存のモデルによって計算で求めた TRV の振幅率は 1.4~1.5 であり、TRV 周波数および減衰も含めて実測と良く一致させることに成功した。

第5章では、TRV の振幅率が 1.4 程度と低いのは、変圧器の短絡インダクタンスが周波数依存性を有しているためと解釈し、その物理的機構について数 10 kHz までの領域における変圧器の電流比測定および磁束・電流測定を行って検討した。その結果、鉄心内のうず電流を考慮することで、短絡インダクタンスの周波数依存性について説明できることを示している。

第6章では、最後に、本研究の成果を結論として要約している。

学位論文審査の結果の要旨

近年、電力系統の大容量化に伴って従来の数 100MVA から 500MVA~1GVA と電力用変圧器の容量が増大する傾向にある。本論文の研究対象となっている変圧器通過故障遮断 (Transformer Limited Fault; TLF) は雷などにより電力系統に故障が発生した場合に、全短絡電流が変圧器を介して短絡事故点に供給され、これを遮断器で遮断する場合として定義される。本論文は、TLF 遮断に対して、変圧器等価回路モデル化の手法を提案し、詳細に解析することに成功した。これにより、電力系統における遮断器責務の合理的な検証を可能としたものである。

この変圧器通過故障遮断 TLF 遮断は国際電気協会 (IEC) 規格や日本電気協会 (JEC) で規定されており、端子短絡故障遮断 (Terminal Fault ; TF) の T10 遮断責務という規格で検証されると想定されているのが現状である。TLF 時には、インダクタンス負荷である変圧器の場合、過渡回復電圧 (TRV) の上昇率や波高値はすべて定格条件にて遮断器が遮断できる定格電流遮断時より高い値となる。これまでの遮断器の規格では、TRV の振幅率は 1.7 であり、遮断器にとって厳しい遮断条件の一つとなっている。しかし、変圧器容量が 500MVA~1GVA など、増大によって TLF 遮断電流が T10 でカバーできない状況が生じて

きている。よって、TLF 遮断条件を正確に解析することで、この遮断責務を合理的に検証することが急務になってきている。

以上の観点から、本論文では TLF 時の過渡回復電圧 (TRV) について、電流注入法およびダイオードを遮断デバイスとしたコンデンサ電流注入法を用いた TRV 測定を行った。すなわち、1 kV~50 MVA までの実変圧器に対して、TRV を測定し、振幅率 1.4~1.5 倍となる結果を得ている (第 3 章)。第 2 章では、1 kVA~50 MVA 容量の実変圧器のインピーダンスの周波数応答を FRA (Frequency Response Analyzer) を用いて測定し、その結果から、周波数依存性を有する変圧器の短絡インダクタンスを得た。第 4 章では、これらの実験結果から、周波数応答解析に基づく等価回路モデルの導出を行い過渡電磁界解析プログラム (Electromagnetic Transient Program: EMTP) 解析による詳細な検討を行った。その結果、50 MVA までの実変圧器を対象として、周波数依存の変圧器短絡インダクタンス等価回路モデルでの TRV 計算結果と実測波形とを周波数および減衰も含めて良く一致させることに成功した。

第 5 章では、さらに、変圧器短絡インダクタンスが周波数依存性を示す理由について、変圧器の自己・相互インダクタンスから検討し、物理的解釈を試みた。その結果、鉄心内のうず電流を考慮することで短絡インダクタンスの周波数依存性を説明できることを示した。以上示した様に、本論文は、50 MVA までの実変圧器に対して、変圧器通過故障遮断 TLF における過渡回復電圧 TRV を詳細に模擬できる周波数依存のインピーダンスモデルの構築法を提案し、EMTP により計算した TRV が電流注入法により測定した振幅率の 1.4 倍程度とよく一致することを示している。また、短絡インダクタンスの周波数依存性の物理的解釈も行っている。これらの結果は、TLF 遮断条件を詳細に解析できる手法を与えるものであり、よって、遮断責務を合理的に検証することに資する技術として学術的かつ工学的面から極めて高い価値を有し、博士学位論文として十分であると判定された。

また、審査会および公聴会において、短絡インダクタンスの周波数依存性で 1 kHz 近傍での急激な変化の理由、ダイオードの順電圧降下が TRV 振幅率に及ぼす影響およびインピーダンスモデル回路へのモデル化の方法等、多くの質問がなされたが、いずれも適切な回答がなされ、質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査および最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士 (工学) の学位に十分値するものであると判断した。