

学位論文審査の結果の要旨

報告番号	先端科学技術甲第 170 号	氏名	中嶋 高
論文題目	周波数応答解析を基礎とする汎用計測器を用いた変圧器診断手法の確立		
論文審査委員会	委員 (主査) D○合	腰塚 正	教授 (電気電子システム工学専攻)
	委員 (副査) D○合	加藤 政一	教授 (電気電子システム工学専攻)
	委員 (副査) D○合	吉田 俊哉	教授 (電気電子システム工学専攻)
	委員 (副査) D○合	日高 邦彦	特別専任教授 (電気電子システム工学専攻)
	委員 (副査)	熊田 亜紀子	教授 (東京大学大学院工学系研究科)

研究の背景

経年変圧器では電氣的、機械的ストレスにより巻線変形や局所的な絶縁破壊、鉄心不良などの異常が発生している可能性がある。この異常を放置すると変圧器の故障に繋がり、長期の停電など電力系統に多大な悪影響をもたらす。変圧器の内部の異常は外から一見しただけでは判別しにくいいため、変圧器の異常を外部から診断する手法として周波数応答解析(Frequency Response Analysis ; 以下 FRA という)が知られている。近年主に用いられるのは周波数掃引法 (以下 SFRA) で、変圧器に数 V の正弦波を印加し、その周波数を商用周波数から MHz まで掃引し、各周波数での入力電圧と出力電流または出力電圧を測定し、測定値から伝達関数を算出して診断する手法である。これには FRA 専用の計測器が必要となり、変圧器ユーザが簡易に診断できる手法の開発が求められている。

研究の目的

本研究の目的は、変圧器ユーザが専用の FRA 計測器を使用せず、汎用の電圧源とオシロスコープを使用して入力電圧及び電流を測定し、インピーダンスの周波数応答を算出することによって変圧器の健全性を診断できる、新たな FRA 手法を開発することである。

また、変圧器を系統から切り離す際に鉄心に磁束が残留することがあるが、その残留磁束が FRA 測定の誤差の原因となる。そこで残留磁束を消磁するための手法を開発し、最初に消磁を行ってから FRA 測定を行う手法を提案する。本手法を変圧器ユーザが適用することで、変圧器の健全性の評価並びに異常兆候を早期に把握できることである。

研究の内容

本研究では新たな FRA 手法を提案した。数 V の方形波電圧を変圧器に印加し、オシロスコープで測定した変圧器入力電圧と入力電流を第 15 調波までフーリエ級数展開し、各調波の電圧、電流から各調波のインピーダンスを算出することで、インピーダンスの周波数特性を得るものである。第 15 調波までとしたのは高次での誤差の影響を避けるため、基本周波数を変えることにより商用周波数から MHz までの周波数特性を得ることができ、

SFRA と同等の周波数領域をカバーすることができる。これにより FRA 専用器を用いなくても汎用の計測器で商用周波数から MHz までの領域におけるインピーダンスの周波数特性を得ることが可能となる。本提案手法によるインピーダンスの周波数特性と従来の SFRA 法で測定した結果が良く一致することが実験により確認でき、提案手法の有効性を確認している。

健全性を評価する際には、変圧器の共振周波数とそのインピーダンス値が重要となるが、本手法による第 15 調波までの各調波は変圧器の共振周波数と必ずしも一致しない。そのためフーリエ級数展開で算出された第 1 調波から第 9 調波のうち 5 組の奇数調波の周波数とインピーダンスから 3 組を使い、共振時の周波数とインピーダンスを算出する方法についても提案した。この成果は

[1] 中嶋 高、北 尊仁、小宮昂樹、腰塚 正、日高邦彦、「方形波電圧を用いた周波数応答解析による変圧器診断手法の検討」、電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌) Vol.143, No.2, pp.132-138 (2023) にまとめられ、

[2] 中嶋 高、北 尊仁、腰塚 正、日高邦彦、「方形波電圧を用いた変圧器周波数応答解析の検討」、として現在電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌) で査読中 (B 判定、軽微な修正のうえ掲載) である。

また FRA 計測時には変圧器鉄心の残留磁束が影響する。残留磁束の影響を回避するための新たな消磁方法を提案した。従来提案されていた方法は電圧を変化させる特殊な電源や、変圧器の定格以上の電圧が必要であることから一般的とは言えなかった。さらに、これらの消磁方法では必ずしも残留磁束を 0 にできなかった。本提案消磁法では良好に消磁でき、残留磁束を 0 とすることができた。また三相三脚 Y- Δ 結線変圧器、単相変圧器 3 台 Y- Δ 結線変圧器、三相三脚 Y-Y 結線変圧器の場合、一相を消磁することで、三相とも消磁できることを実験的に検証し、その有効性を確認した。この成果の一部は

[3] Takashi Nakajima, Masaya Hiraide, Tadashi Koshizuka, Hisatoshi Ikeda, Yasuhiko Taniguchi, Eiichi Haginomori, “Investigation of the Influences of Residual Magnetic Flux and Injection Voltage Level on FRA open Circuit Test of Transformer”, IEEJ Transactions on Power and Energy, Vol.137, No.11, pp.730-735(2017)に英文論文としてまとめられ、元になった内容は電気学会 Joint Conference of The Tenth International Workshop on High Voltage Engineering -IWHV2016-にて英語で口頭発表している。

以上、本論文において著者が検討して得た結論に記された事柄は、電力系統を構成する重要な電気機器の一つである変圧器の健全性を検証する上で極めて有用であると判断できることから、本論文の価値は工学的、工業的な観点からも十分に評価できる。

よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。