

雷サージ侵入時の変圧器共振設計に関する検討

変圧器絶縁設計の信頼性検証

Study of a Resonance Design for Transformers to Counter Incoming Lightning Surges

Verification of the reliability of an insulation design for transformers

(中央送電建設所 設計技術G)

実際に変電所に侵入する雷サージは、規格に定められた波形とは異なり複雑であるため、場合によっては、変圧器の絶縁を脅かすことが考えられる。そこで、変電所形態や雷撃条件を変えて解析を行った。その結果、現状の標準的な変電所においては、絶縁破壊に至る可能性がないことが分かった。但し、特殊な変電所を設計する場合には、十分な検討が必要である。

(Technical Section, Transformation and Substation Construction Office)

Lightning surges occurring at substations have a complex waveform unlike standard waveforms, and therefore they may cause a transformer breakdown. To check this possibility, an analysis was made for various substation forms under various lightning conditions. As a result, it was found that there was no possibility of a breakdown being caused at the current normal substations. For specialized substations, however, it is necessary to thoroughly check for such a possibility at the design stage.

1 研究の背景

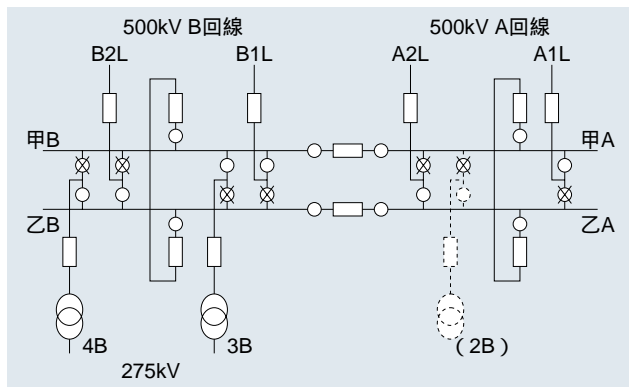
変電設備の雷サージに対する絶縁設計は、規格に定められた波形に基づいて設計されている。しかし、実際に変電所に侵入してくる雷サージは、いろいろな周波数成分を含んだ複雑な波形である。そのため、LAの制限電圧を下回るような波高値のサージであっても、変圧器巻線の共振周波数と一致すると、大きな過電圧が発生する可能性がある。

本研究では、雷撃条件や変電所運用形態が雷サージ侵入時に変電所内で発生する振動性サージの周波数に与える影響を解析し、現状の変電所の健全性を検証すると共に、変電所固有の周波数算出法を確立した。

2 研究の概要

(1) 変圧器の周波数特性の解析

変圧器巻線構造の違いにより、周波数特性が異なるため、現在変電所用変圧器に使用されている各種巻線について共振周波数と応答倍率を調査した。



第1図 モデル変電所単線結線図

(2) 変電所の周波数特性の解析

変電所の運用形態(バンク数、回線数)を変化させ、雷撃鉄塔をパラメータにして、変圧器に侵入する雷サージ波形を解析した。

なお、第1図に示す標準的な500kV変電所をモデルとして解析した。

3 研究の成果

(1) 変圧器の周波数特性の解析結果

第1表に各メーカーの巻線毎の共振周波数を示す。変圧器の共振周波数は、標準的な設計であれば、100kHz以下である。

(2) 変電所の周波数特性の解析結果

次に、変電所運用形態を変えて、変圧器に侵入する雷サージの周波数解析およびその振動周波数を分析した。その一例として、4Line-2Bank運用、変圧器一次側GIB接続、B2L回線第9鉄塔雷撃時における4B侵入サージとその周波数分析解析結果を第2図に示す。

第1表 各メーカーの変圧器共振周波数

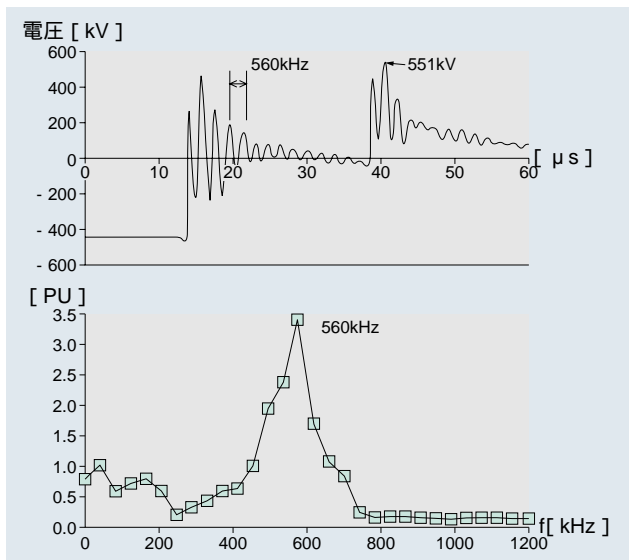
		A	B	C
500 / 275 kV 単巻	共振周波数 (kHz)	15 74	91 52	9.6 9.6
	巻線構造	ハイセルキャップ 円筒	シールド入円板 円筒	矩形平板 矩形平板
500 / 77 kV 分離	共振周波数 (kHz)	54 24	58 59	7.6 7.6
	巻線構造	ハイセルキャップ ハイセルキャップ	シールド入円板 円筒	矩形平板 矩形平板

変圧器に侵入する雷サージ波形を周波数分析したところ、560kHz付近の周波数成分が卓越している。雷撃点を変えて解析したが、この周波数は変化しなかったことから、変電所固有の共振周波数であることが分かった。変圧器一次接続方法と変電所運用形態をパラメータとし、変圧器侵入サージ波形の周波数を分析した結果を第2表に示す。

以上の結果より、変圧器の共振周波数と変電所の共振周波数は大きく離れていることが分かった。

また、変電所固有の共振周波数は、第3図のような隣接バンクとそれをつなぐGISでのLC共振周波数であると考え、これについての算出法を検討した。

通常の雷サージ解析では、GISなどは分布定数として扱うが、ここでは、周波数算出のため、集中定数に置換する方法を考えた。一般的に、分布定数に0.406という係数を掛けることにより、集中定数とし



第2図 雷サージ波形の一例とその周波数分析

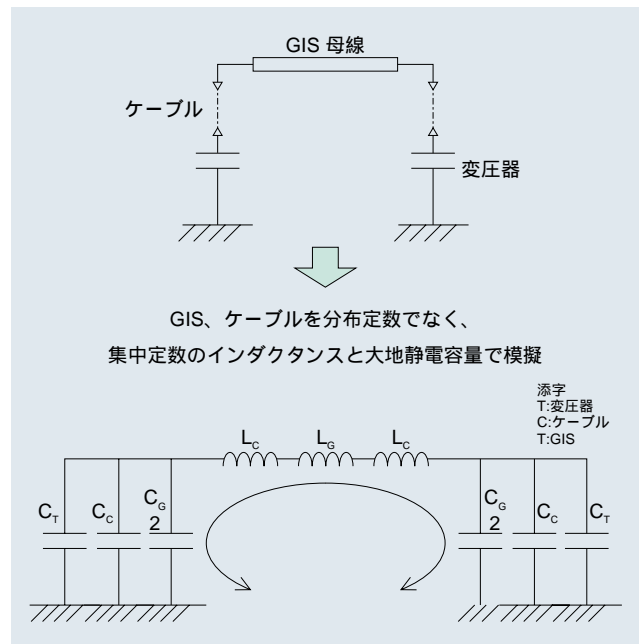
第2表 変電所運用形態の違いによる共振周波数の変化

運用形態	波形観測点	侵入雷サージの卓越周波数 (kHz) (上段: A1L 下段: B2L)			
		MTr一次接続形態			
		GIB	ケーブル 20m	ケーブル 50m	ケーブル 100m
4Line-2Bank	3B	600 560	560 480	480 320	240 240
	4B	520 560	480 480	320 320	240 240
4Line-3Bank	2B	480 560	400 480	320 320	240 240
		3B	520 560	480 480	320 320
	4B	480 560	480 480	320 360	240 240

て簡易計算できることが知られている。それにより、各変電所運用形態における共振周波数を算出したのが第3表である。第2表と比較しても大差なく、変電所での共振周波数をある程度予想できることが分かる。

4 今後の展開

標準的な変電所の場合、変圧器共振現象が発生する可能性がないことが分かった。しかし、500kV変圧器に直列静電容量の小さい連続円板巻線を採用したり、非常に長いケーブルやGISを使用する場合には、両者の共振周波数が近づく可能性がある。そのため、特殊な変電所を設計する場合には、この点に留意する必要がある。



第3図 変電所固有の共振周波数発生メカニズム

第3表 簡易回路での計算による変電所共振周波数

運用形態	共振回路	変電所の共振周波数 (kHz)			
		MTr一次接続形態			
		GIB	ケーブル 20m	ケーブル 50m	ケーブル 100m
4Line-2Bank	3B-4B	558	514	374	258
	2B-3B	446	411	316	228
4Line-3Bank	3B-4B	558	514	374	258
	2B-4B	520	481	356	249