

火力発電所のタービン発電機固定子コイルに発生する雷過電圧評価

コイル巻替時期延伸に向けた取り組み

Assessment of Lightning Overvoltage occurring in the Stator Coils of a Turbine Generator in Thermal Power Plants Activity to extend the coil rewinding period

(電力技術研究所 発電G 環境エネルギー T)

(Environmental Energy Team, Power Generation Group, Electric Power Research and Development Center)

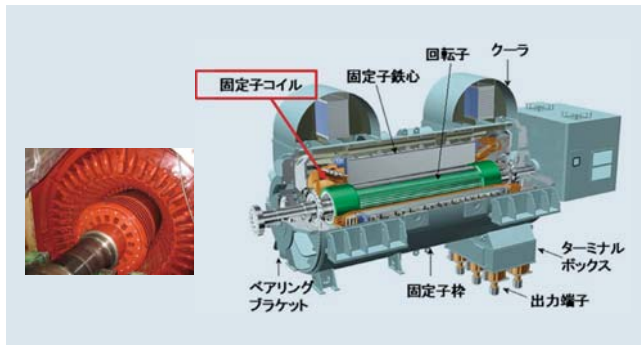
タービン発電機固定子コイルの巻替修理では、巻替基準として一般的に耐電圧値 $2E + 1$ [kV] (E：定格電圧) が用いられているが、この基準は経験則的なものであり、詳細な解析に基づく合理的なものではない。今回EMTP (過渡現象解析プログラム：Electro-Magnetic Transients Program) 解析の結果、雷過電圧の影響はこの値よりも小さく、基準を引き下げ、巻替時期が延伸できる見通しが得られた。

In the rewinding repair of stator coils of a turbine generator, the withstanding voltage of $2E + 1$ [kV] (where E is the rated voltage) has been commonly applied as the standard for rewinding. However, this standard is based on empirical knowledge and is not a rational standard based on detailed analysis. The results of the present electromagnetic transients program (EMTP) indicate that the effect of the lightning overvoltage is smaller than the value derived from the empirical standard, suggesting that it may be possible to lower the standard value and extend the coil rewinding period.

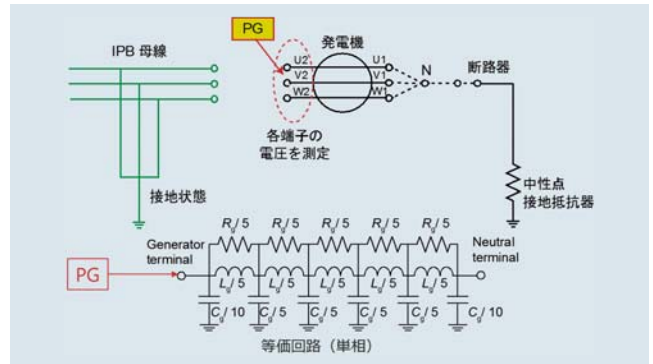
1 背景・目的

タービン発電機の固定子コイル (第1図) は経年により絶縁物が劣化するため、コイル巻替による絶縁耐力の維持が必要である。巻替基準として1分間対地商用周波耐電圧値 $2E + 1$ [kV] が用いられているが、この値は発電機の運転に必要な絶縁耐力として雷過電圧の影響を評価するなどして算出された合理的な値ではない。そこで、EMTPを用いた解析により雷過電圧の影響を評価した。

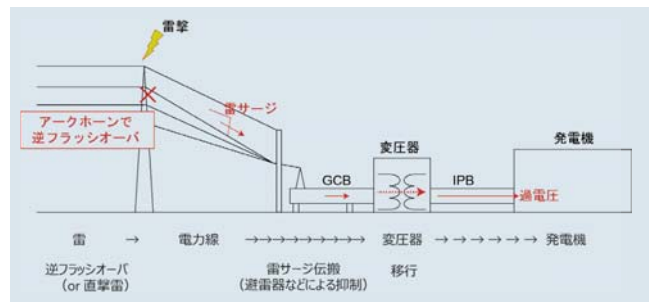
め、送電鉄塔、送電線、併設変電所などの必要な諸元を収集し解析を行った。



第1図 タービン発電機



第2図 発電機パラメータ測定回路



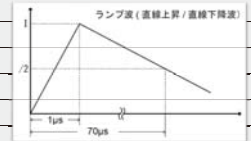
第3図 発電機に至る雷サージの経路

2 研究の概要

雷過電圧解析に必要なパラメータについて、主に水力発電所に設置されている小中容量の発電機を対象とした事例は多くあるが、火力発電所の大型発電機では実測例がほとんどない。このため必要なパラメータを取得するために3箇所の発電所・4台の発電機を対象に実機測定を行った。発電所の定期点検に同調し、発電機を回路から切り離し、第2図に示すように切り離れた回路の主要変圧器側からサージ電流を注入、中性点側で各巻線の電圧応答を測定することでパラメータを求めた。また、発電機以外にも第3図に示すように雷撃の侵入箇所から発電機に至る経路全般に亘るパラメータが必要となるた

第1表 解析条件

項目	パラメータ
送電線・鉄塔モデル	多相送電線、4段鉄塔モデル 第5鉄塔まで模擬
電撃電流 [kA]	60 (154kV系)、100 (275kV系)
電撃電流波頭長 [μs]	1
電撃電流波尾長 [μs]	70
電撃点	第1鉄塔塔頂
電力線 位置・高さ	実測値
電力線 線種・導体数	実線種・導体数
鉄塔径間長	実測値
鉄塔高	実測値
鉄塔接地抵抗 [Ω]	10
線路長	図面から算定した実長
系統構成・ユニット運転想定	最過酷条件を想定 1回線送電、1母線運用、運転台数は系列で1機のみ



解析条件を第1表に示す。「発電機および地中送電線の耐雷設計ガイド（2011年改訂版）電力中央研究所」を参考にし、より過酷側となる条件を設定した。

3 雷過電圧の解析結果

雷過電圧の解析結果を第2表に示す。雷過電圧はいずれの発電機でも巻替基準（ $2E+1$ [kV]）よりも十分に小さな値となった。

第2表 雷過電圧の解析結果

	A	B	C	D
定格容量 [MVA]	270	270	135	427
定格電圧 [kV]	18	17	13.8	18
$2E+1$ [kV]	37	35	28.6	37
等価衝撃電圧 [kV] ※解析結果の比較対象	65.4	61.9	50.6	65.4
避雷器制限電圧 [kV]	55.6	55.6	41.7	55.6
解析結果 雷過電圧 [kV]	22.7 (0.71E)	22.8 (0.76E)	22.1 (0.91E)	30.8 (0.97E)

※等価衝撃電圧： $(2E+1) \times \sqrt{2}$ (波高値) $\times 1.25$ (衝撃波への換算係数)

また、発電機以外にも雷サージの侵入経路各所の雷過電圧を算出したが、雷過電圧は変圧器移行時に非常に小さくなっていった。発電機は昇圧用変圧器を介して系統と接続することが多く、このため雷の影響は小さなものになる。JECの規程で発電機に雷インパルス耐電圧試験が要求されていない理由は、これらのことが考慮されているものと推察される。

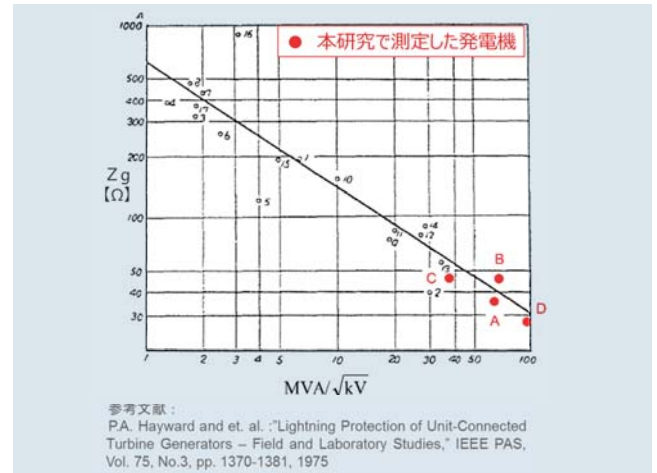
4 発電機パラメータの推定

今回4台の発電機で実機測定を実施したが、測定には準備・測定・復旧と、長期の発電停止が必要になる。そこで、実機測定を行わず発電機パラメータを推定する手法について検討を行った。

測定ではサージインピーダンス Z_g 、自己インダクタンス L_g 、対地キャパシタンス C_g を求めている。主に小中容量機の発電機を対象としている先行研究において Z_g と発電機定格容量・定格電圧との関係性が報告されており、この結果と今回の測定結果との比較を第4図に示す。

この結果から今回測定した4台の大型発電機についても、先行研究の結果とほぼ同一の直線上（ $\pm 20\%$ ）で良好に一致していることが分かった。このことから Z_g は、この直線式から求め、雷過電圧解析において過酷側評価となるよう1.2倍の値とすることとした。また、 L_g は機器の試験成績書で提示されているd軸初期過渡リアクタンス X_d'' から(4-1)式で導出。

C_g は Z_g と L_g の関係式（ $C_g = L_g / Z_g^2$ ）から導出した。これら推定値を用いた解析結果と実測値を用いた解析結果の比較を第5図に示す。



第4図 先行研究結果との比較

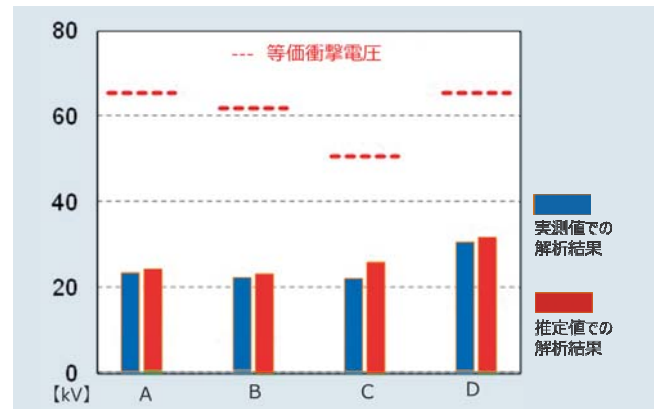
$$L_g = \frac{V_g^2}{P} \times x_d'' \times \frac{1}{2\pi f} \quad (4-1)$$

V_g ：発電機定格電圧 [kV]

P ：発電機定格容量 [MVA]

f ：周波数 (60Hz)

これらの結果から解析結果に大きな差はなく、巻替基準に対して雷過電圧の水準を評価する目的においては、推定値を用いても有効な評価ができると考えられる。



第5図 推定値と実測値の解析結果の比較

5 今後の展開

雷過電圧の解析結果から雷の影響は小さく、基準見直しによる巻替時期延伸の見通しが得られた。また、推定した発電機パラメータでも有効な雷過電圧評価ができることが確認できた。今回のパラメータ推定の成果を活用し、今後より大型（70万kW、100万kWクラス）の発電機についても雷過電圧の影響を評価する予定である。



執筆者／小栗隆徳