

変圧器加圧時に発生する過電圧現象の解明

異常現象の発生メカニズムの解明による電力品質の維持を目指して

Understanding of Over-voltage Phenomena Occurring on Energization of Transformers

Aiming to Sustain the Power Quality by Clarifying the Mechanism of Abnormal Phenomena

(電力技術研究所 電力ネットワークG 系統T)

中部電力管内の77kV系統で落雷事故時に配電用変電所の停電を復旧するために受電線切替を行ったところ、配電系統内で多大な励磁突入電流を伴う瞬時的な過電圧現象を観測した。今回の過電圧現象では問題となるレベルではなく特に障害はなかったが、場合によっては保護リレーの動作や機器の絶縁耐力の低下等が懸念される。本研究では、変圧器加圧時に発生する過電圧現象について発生メカニズムを解明し、電磁過渡解析プログラム(EMTP)による検証を行った。

(System Technology Team, Power Network Group, Electric Power Research and Development Center)

The over voltage phenomena in an actual distribution power system with heavy inrush current are observed at the time of switching of the receiving end line tripped caused by a lightning fault in our 77kV transmission line. There is a concern that this over voltage may operate the protection relay and deteriorate the insulation of apparatus. In this research, the mechanism of over voltage phenomena occurring on energizing the transformers is discussed. Moreover, it is verified through simulations carried out by using EMTP.

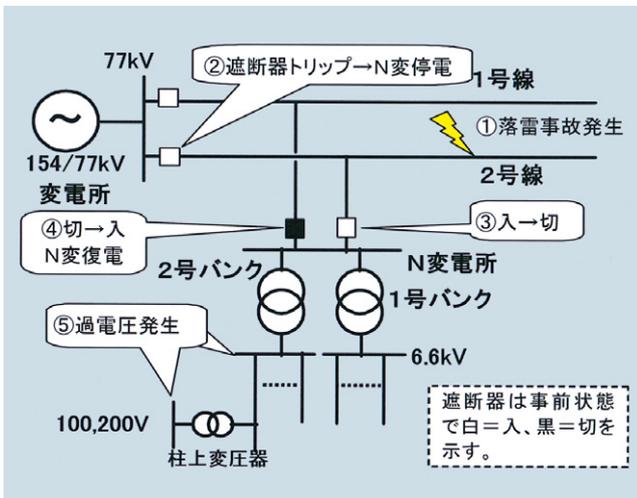
1 発生状況

【発生年月】 平成19年6月

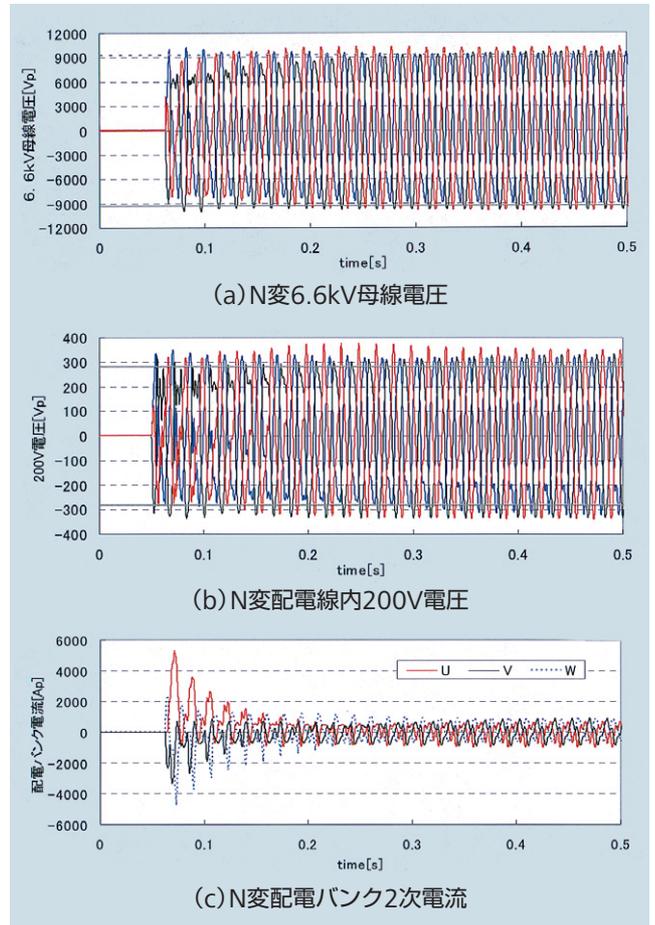
【発生箇所】 中部電力管内 N配電用変電所(以下、N変)

【発生状況】 発生時の系統図を第1図に示す。落雷事故前、N変は77kV送電線2号線から受電していたが、2号線に落雷が発生したため(図中①)、上位変電所にて2号線を遮断し事故を除去した。(図中②)N変は受電線が遮断されたため、一旦停電したが、その後自動復旧装置により諸条件を確認後、受電線を2号線から1号線に切替えた。(図中③、④)これにより停電は解消されたが、この復電時に配電系統内で過電圧が発生した。(図中⑤)その際に観測された過電圧波形を第2図に示す。

第2図(a)、(b)から復電後にN変で110%、配電線柱上変圧器端で120%超の過電圧が数百msec継続していた。一方、同図(c)から復電の際、瞬間的に配電バンクに5000[Apeak] (定格電流の1.6倍相当)の多大な電流が流れている。この電流は復電時に配電系統内の変圧器を再加圧したことによる励磁突入電流と考えられる。



第1図 過電圧の発生状況
(Conditions of over-voltage occurrence)



第2図 配電系統で観測された過電圧現象
(Over-voltage observed in distribution system)

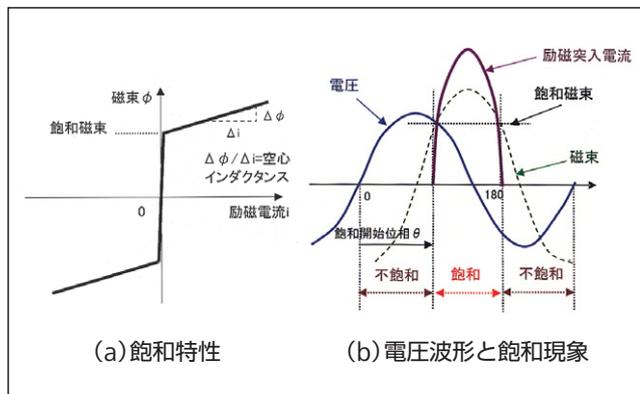
2 発生メカニズム

変圧器は加圧時に残留磁束と投入するタイミング(電圧位相)によって鉄心が磁気飽和を起こし、励磁突入電流と呼ばれる定格の数~数十倍の大きな電流が流れる。一般に、この励磁突入電流は電圧低下を招くことが知ら

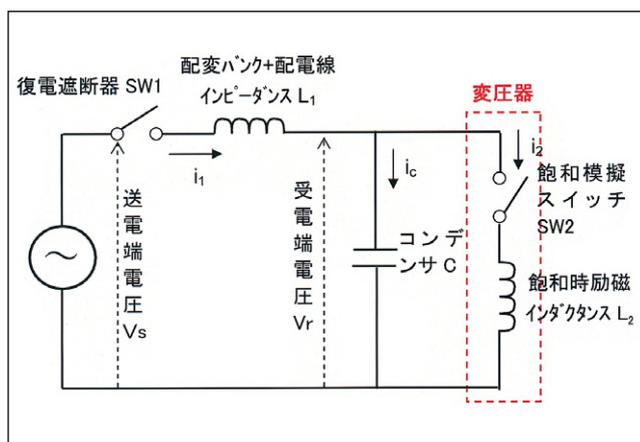
れているが、今回の現象は全く逆の過電圧という点で特異な現象である。

変圧器の飽和特性は第3図(a)のように飽和磁束を越えると急激に電流が流れる性質があり、同図(b)のように1周期の間で不飽和→飽和→不飽和が不連続に変化する。変圧器の励磁インピーダンスは飽和時に小さく、不飽和時は非常に大きいことから、一種のスイッチのように表現できる。この飽和特性と配電系統内のコンデンサC、配変バンクと配電線の合計インダクタンスL1を考慮した過電圧発生時の単相等価回路を第4図に示す。L2は飽和時の変圧器励磁インピーダンスで、SW2入で飽和、切で不飽和を示す。

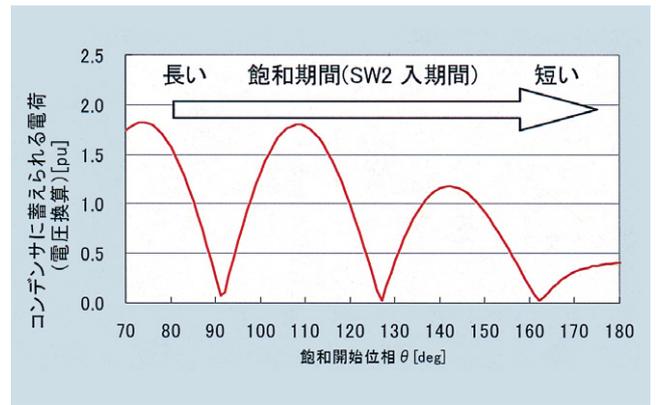
第4図にて、復電スイッチSW1入後に変圧器は飽和⇔不飽和(SW2入・切)を繰り返す。同図では抵抗成分を無視しているが実際には抵抗によって飽和が減衰し、1周期に占める飽和期間(SW2入の期間)が徐々に短くなる。この減衰過程でL1、L2、Cで構成される共振回路は直列・並列の接続状態が不連続に切り替わる。この時にCに蓄えられる電荷を理論的に求めると第5図のように飽和期間が短くなるにしたがい、周期的に増大・減少を繰り返す。過電圧はこの電荷が増大する期間で発生する。なお、電荷が増大する期間は系統パラメータによって異なるがCが大きいほど長く、過電圧が発生しやすい傾向となる。



第3図 変圧器の飽和特性
(Saturation characteristics of transformer)



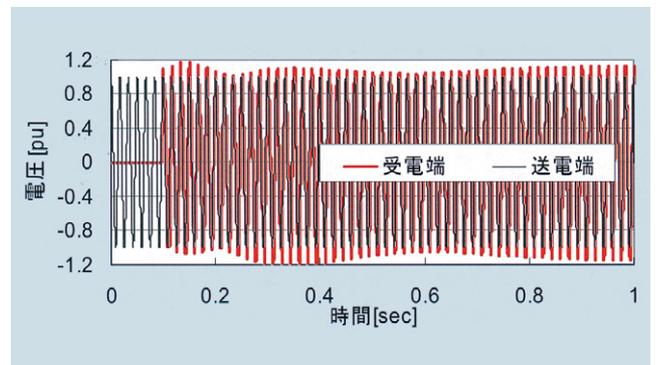
第4図 過電圧発生時の単相等価回路
(Simple equivalent circuit at over-voltage)



第5図 Cの電荷と飽和期間の関係
(C,L1,L2)=(30[uF],10[mH],100[mH])
(Relationship between charge of C and saturation period)

3 EMTPによる検証

第4図の等価回路を基にEMTPを使って過電圧現象の発生メカニズムを検証した。第4図の変圧器部分はTYPE96(非線形インダクタンス・ヒステリシス特性)でモデル化し、配電線に1[Ω]の抵抗を追加した。第6図の解析波形から送電端電圧に比べ受電端電圧が高くなる現象を確認でき、第2図の実測の過電圧現象と傾向が一致する。第6図の過電圧波形のピークは第5図での電荷がピークとなる飽和期間や周期と合致した。



第6図 EMTP解析波形
(C,L1,L2)=(30[uF],10[mH],100[mH])
(Voltage waveform by EMTP)

4 今後の展開

今回の過電圧現象は、系統内のコンデンサと変圧器加圧の際に飽和した変圧器励磁インダクタンスとの共振現象である。今後は、実系統(三相回路)における過電圧レベルの定量化、発生条件、対策等について検討していきたい。



執筆者/中地芳紀