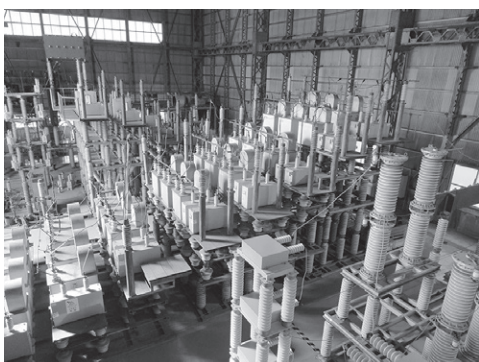


高電圧真空遮断器の短絡試験技術

中山明彦 Akihiko Nakayama
齋藤 仁 Hitoshi Saito

キーワード VCB, アーク延長, 合成投入, 4パラメータ

概要



合成遮断試験用コンデンサ設備

高電圧遮断器には、六フッ化硫黄（SF₆）ガスの優れたアーク消弧性能を利用するガス遮断器（GCB）と、真空の低いアークエネルギーを利用した真空遮断器（VCB）がある。GCBは、1000kVクラスの超高電圧までをカバーし、送電系統では主流の遮断器（CB）である。

一方、VCBは中電圧を中心に広く適用されているが、地球温暖化ガスであるSF₆ガスを使用しない乾燥空気絶縁VCBの登場で、高電圧の送電系統への更なる適用拡大が期待されている。

当社は、1970年代から世界に先駆けて数多くの高電圧VCBを開発してきた。一方、高電圧遮断器の評価試験では、規格に記載の試験方法には主にGCBが想定されており、そのままではVCB特有の現象へ対応できない場合がある。しかし、当社の大電力試験所は、VCBの試験に特化してきたため対応できる。

1 まえがき

地球温暖化ガスである六フッ化硫黄（SF₆）ガスを使用する遮断器（CB）は、各国で段階的な使用の制限や廃止が計画されている。真空遮断器（VCB）は、その代替技術として期待され、VCBの高電圧化大容量化開発が加速している。

VCBの短絡試験は、中電圧領域では技術的に確立しているが、試験対象の高電圧化が進む中で特に合成試験でVCB特有の課題が顕在化してきている。本稿では、高電圧VCBの試験技術としてアーク延長試験・合成投入試験・4パラメータ法の事例を紹介する。

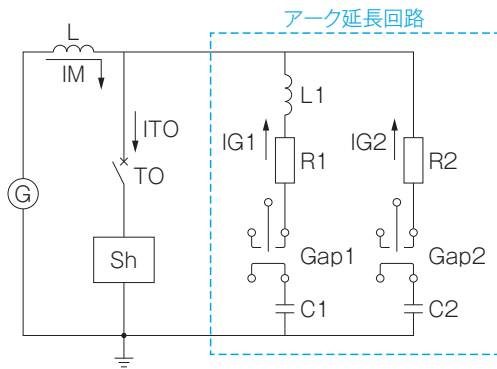
2 アーク延長試験

高電圧CBの遮断試験では、設備容量の限界で直

接試験が困難な場合は合成試験で遮断性能を検証する。その場合、電流零点を超す長いアーク時間を検証するには、CBの開極後最初の電流零点直前に非振動波形の電流を重畳させて、強制的に次の半波も電流が流れるようにして検証することが一般的で、この手法をアーク延長という。ガス遮断器（GCB）の検証では有効な手法であるが、供試器（TO）がVCBの場合、優れた高周波電流消弧能力によって重畳電流を遮断してしまうため、アーク延長の成功率が低い⁽¹⁾⁻⁽³⁾。特に遮断電流が小さくなるにつれてアーク延長が困難となる。

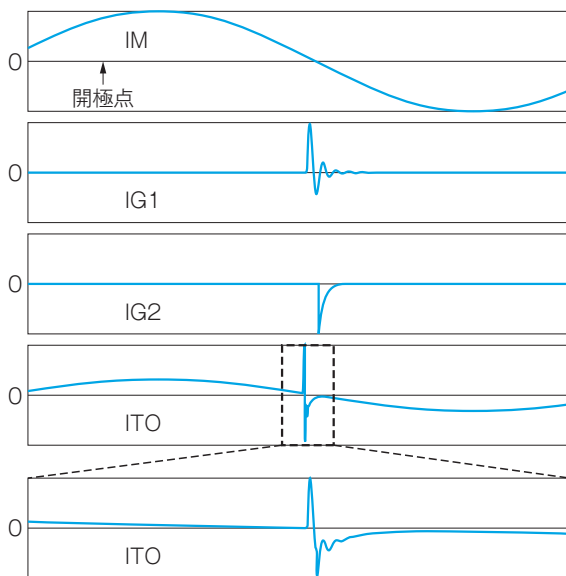
当試験所では、上記の課題を解決するために振動・非振動波形を組み合わせた電流を重畳させるアーク延長手法を提案している⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

第1図にアーク延長回路を、第2図に各経路に流れる電流波形を示す。まず、コンデンサC1・C2を充電し、主電流（IM）を発電機（G）からリアク



第1図 アーク延長回路

VCBの合成試験を行う場合に必要となるアーク延長回路図を示す。

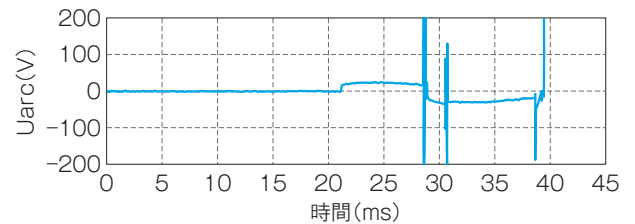
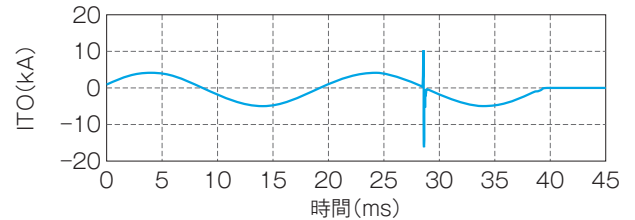
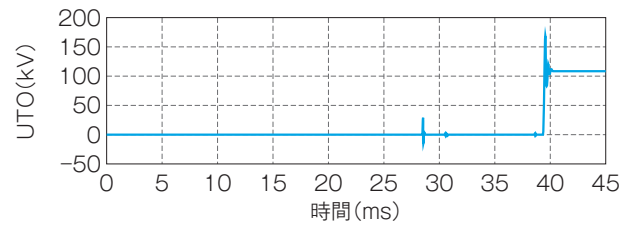


第2図 アーク延長時の電流波形

IMにIG1・IG2電流をトリガするタイミングと現象を示す。

トル (L) を通してTOに通電する。電流測定は、計器用分流器 (Sh) で行う。CBを開極後、最初の電流零点直前のタイミングでGap1をトリガさせ、LC振動電流 (IG1) をメイン電流に重畳することで、遮断させることなく零点を通過させる。次にGap2をトリガさせ、CR非振動電流 (IG2) を重畳し、IM・IG1・IG2を合成した遮断電流 (ITO) が零点を迎えないようにする。

回路の特長は、電流零点を迎える直前に集中してエネルギーを注入することである。また、アーク延長の成功率を上げるためにはIG1の波高値と周波数を高くする必要があり、回路をTO直前に設置し経



第3図 アーク延長を適用したVCBの合成試験波形

VCBによるT10の長アーク時間検証結果を示す。

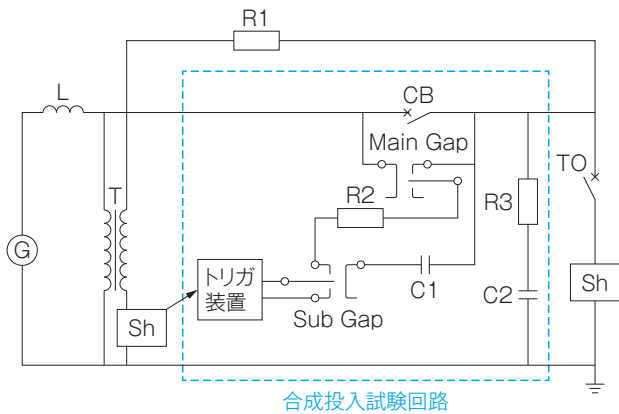
路のインダクタンスを最小限に抑えた。

第3図にアーク延長を適用したVCBの合成試験波形を示す。JEC-2300 (2020) の合成試験法の電流重畳並列接続回路⁶⁾にアーク延長回路を接続し、定格84kV-31.5kAのVCBを使用して短絡試験電流T10 (定格遮断電流の10%) の長アーク時間を検証した結果である。T10は電流値が小さく、特にアーク延長が困難な条件である。

ITOは、3.2kAである。アーク電圧 (Uarc) に着目すると、アーク時間7.3msで最初の電流零点を迎え、アーク延長を行い合計18.3msで遮断していることを示している。回復電圧 (UTO) は77kV、過渡回復電圧 (TRV) は168.9kVであった。TOは、最初の半波で遮断することなくアーク延長に成功し合成試験が成立している。

3 合成投入試験

JECやIECなどの規格では、投入電流の検証に対して、対称短絡電流を伴いプレアーク時間が最長となる電圧波形ピーク付近における投入が求められて



第4図 合成投入試験回路

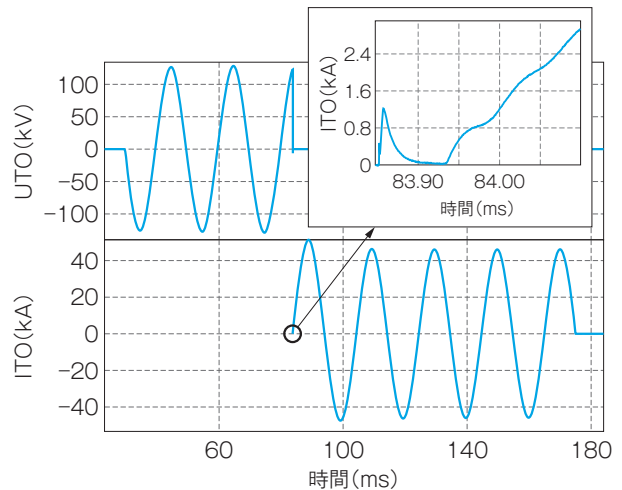
CBの合成試験を行う場合に必要となる合成投入試験回路図を示す。

いる。合成試験の場合、低減電圧による試験で給与電圧が不足するため、合成投入試験が必要となる。

第4図にIEC 62271-101を参考に構成した合成投入試験回路を示す。まず、C1を充電し、Gから変圧器(T)を介してTOに規格を満たす給与電圧を印加する。TOを閉極動作させると、電極が物理的に接触する前にプレアークが発生する。Tに取り付けたShで電流を検知すると、トリガ装置が動作する。Sub Gapがトリガすると、C1の電荷が抵抗(R2)を通してMain Gapをトリガする。これにより、GからLを通して大電流がTOに流れる。大電流の測定はTO直近にあるShで行う。

回路の特長は、プレアークが発生してから短絡電流の遅れ時間を規格で要求されている $300\mu\text{s}$ 以下にするために、峻度の高い高エネルギーでトリガさせ、Main Gapを高速動作させていることである。ここで、VCBの場合は高周波消弧性能が高いため、プレアーク発生瞬時の高周波電流を遮断してしまう場合があり、C2・R3を設置して零点を通過させないようにした。Main Gapには、大電流を流すため融点の高いカーボングラファイトを使用した。損耗を最小限に抑えるために、Main Gapと並列にCBを配置し、電流が流れ始めてからCBに転流させるようにした。

第5図に合成投入試験適用時の試験波形を示す。84kVを越すVCBを使用して定格遮断電流31.5kA



第5図 合成投入試験適用時の試験波形

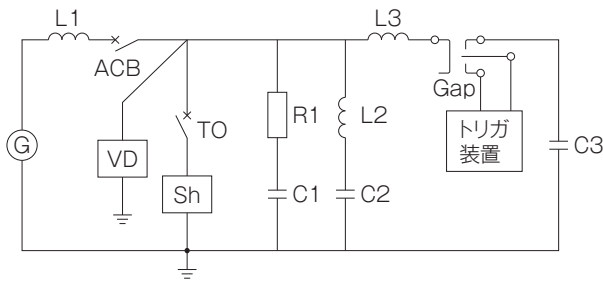
VCBで電圧ピーク投入しプレアークの影響を検証した結果を示す。

の合成投入試験を実施した結果である。UTOは91.3kV、投入電流ITOは51.2kAとなった。投入位相は規格要求の $\pm 15^\circ$ 以内となった。プレアーク発生から大電流が流れるまでの遅れ時間は、 $100\mu\text{s}$ 以下にすることができた。TOは、プレアークに耐え合成投入試験が成立している。

4 TRVの4パラメータ法

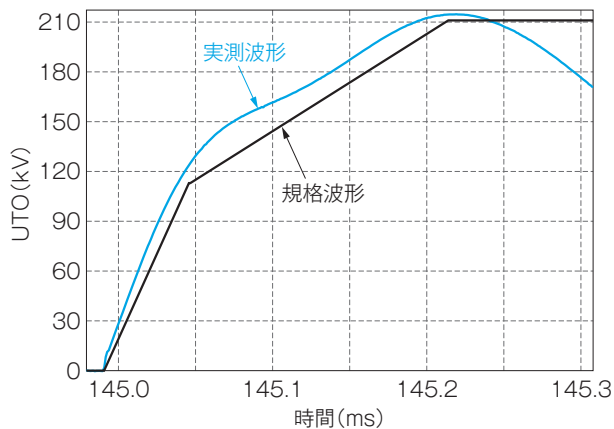
遮断試験におけるTRVの印加には、単一周波の2パラメータ法と複周波の4パラメータ法がある。規格では、84kVを越すCBの短絡試験は4パラメータ法が推奨されている。当社では従来、84kVを越すCBでも簡便な2パラメータ法を適用してきた。単一周波の2パラメータ法で4パラメータ法の規格値を包含するようにTRVを設定すると波高値到達時間が規格値より早く、TOにとって厳しい試験となる。VCBは絶縁回復特性が良いため、2パラメータ法と4パラメータ法とで性能差は出にくい、84kVを超えるCBを試験する機会が増えてきたことから、より最適な4パラメータ法を導入することとした。

第6図に4パラメータ法回路を示す。まず、C3を充電し、GからTOに規格を満たす遮断電流を通电する。TOを開極動作させ、任意のタイミングでGapをトリガさせる。L3・C3から成る電流をTO



第6図 4パラメータ回路

定格84kVを越すCBの合成試験における電圧源回路（TRVの4パラメータ法）を示す。



第7図 4パラメータ法適用時のTRV波形

VCBによるT100sの多重周波TRV波形を示す。

が遮断すると、C3に残った電荷は $R1 \cdot C1$ 及び $L2 \cdot C2$ に移動する。その際の合成波形が多重周波となり、4パラメータ波形が完成する。

第7図に84kVを越すVCBをTOにした場合の試験責務T100sのTRVの波形を示す。曲線が実測波形で連続した線分が規格値である。多重周波を生成し、波高値到達時間を遅らせた状態で、規格値を満足する適切な波形で試験ができた。

GCBなどのアーク電圧の高いCBの場合には、遮断試験時の実測TRVが規格値を下回ることが一般的であるが、実使用状態でも同様にTRVが低減されることから規格上許容されている。ただし、アナライザによる方法などで、試験回路の固有TRVが規格値を満たすことを確認しておく必要がある。

一方、VCBの場合はアーク電圧が低く理想のCBに近いので、試験回路の固有TRVと遮断試験時の実測TRVがほぼ一致する。そのため、当社ではア

ナライザによる方法などは適用せず、第7図に示すように実測波形が規格値を上回るように試験を行っている。

5 むすび

高電圧VCBの試験技術であるアーク延長試験・合成投入試験・4パラメータ法の事例を紹介した。

VCBは、 SF_6 ガスを使用しないCBとして期待が高まっている。今後の高電圧化大容量化開発は、VCBでは未経験のレベルに踏み込むことになり、遮断試験技術も同時に整備し発展させていくことが重要である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《参考文献》

- (1) R.P.P.SMEETS, S.KUIVENHOVEN, L.H.TE PASKE : "Testing of Vacuum Circuit Breakers for Transmission Voltage and for Generator Current Ratings", CIGRE Session paper, A3 309, 2010
- (2) R.P.P.SMEETS, A.B.HOFSTEE, R.M.NIJMAN, N.A.BELDA, B.BAUM : "Innovative T&D Switching Equipment and Development of its Testing Technology", CIGRE Session paper, A3 104, 2020
- (3) 常世田翔・亀井健次・伊藤弘基 : 「遮断器開閉現象の検討 (VCB大電流遮断時の遮断現象とアーク延長法)」, 電気学会共同研究会資料, ED-11-120, 2011
- (4) 落合昭二郎・加藤昭・荒川俊一・松波孝和 : 「しゃ断器の等価試験装置」, 特許 1357321, 1986
- (5) 中山明彦, 高橋哲仙, 青木功, 塩崎光康, 齋藤仁 : 「真空遮断器の合成短絡試験におけるアーク延長手法」, 令和3年電気学会全国大会, 6-015, 2021
- (6) 電気学会電気規格調査会標準規格 : 「交流遮断器」, JEC-2300, 2020

《執筆者紹介》



中山明彦
Akihiko Nakayama
基盤技術研究所
真空遮断器の研究開発と短絡試験業務に従事



齋藤 仁
Hitoshi Saito
基盤技術研究所
真空遮断器の研究開発と短絡試験業務に従事