

XTAP 例題集		番 号	CB-02
例題名	154 kV 系統における端子短絡遮断解析および進み小電流遮断解析		
分 野	基本計算（電力系統）		
文 献	<ul style="list-style-type: none"> ● 野田，大高，米澤，松本，松原，葛間，「電力系統の瞬時値解析・過渡現象解析手法の調査と XTAP による解析例（その 1）－開閉サージ性過電圧の解析－」，電力中央研究所報告 調査報告 H12005，2013 年 6 月 ● 電気学会 交流遮断器改訂規格の適用ガイドおよび電力系統での遮断責務調査専門委員会，「遮断器規格 JEC-2300 適用ガイド－電力系統の遮断に関する調査と規格改訂の背景－」，電気学会技術報告，第 1200 号，2010 年 9 月 		
概 要	<p>変電所に設置されている遮断器が電流を遮断すると，遮断器の極間には数十 Hz ～ 数十 kHz の振動成分を持つ過渡回復電圧（以降，TRV：Transient Recovery Voltage）が発生する。TRV は遮断器の電流遮断性能や絶縁回復特性を論ずる上で非常に重要なパラメータであり，かつ電力系統の構成や定数に応じて様々な振る舞いを示すため，TRV の検討には瞬時値解析が有効である。</p> <p>本例題は，154 kV 系統において遮断器の近傍で発生した故障を遮断する「端子短絡故障遮断」の解析（CB-02-BTF.xsf），および，変電所 3 次回路に接続されているコンデンサバンクを遮断する「進み小電流遮断」の解析（CB-02-CCS.xsf）を実施するものである。</p>		

解析回路・解析条件

モデル系統の単線結線図を図 1 に示す。図中の電流値は、電源から流れ込む短絡電流値を表している。解析の対象となるのは、図中の T 変電所である。

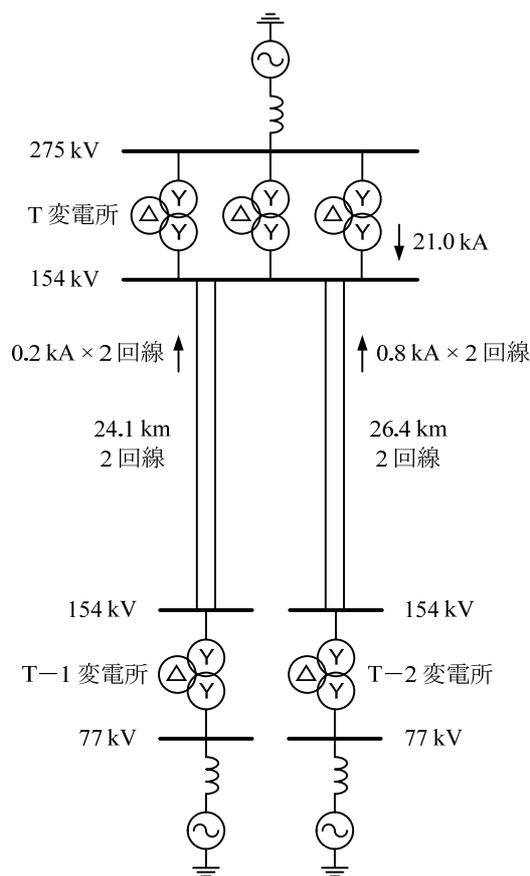


図 1 モデル系統の単線結線図

【 解析する現象 】

先に述べたように、遮断器が電流を遮断すると極間には数十 Hz ～ 数十 kHz の振動成分を持つ TRV が発生し、遮断器の電流遮断性能や絶縁回復特性を論ずる上で非常に重要なパラメータとなる。TRV の評価方法は、電気学会電気規格調査会 (JEC) の規格で言えば JEC-2300-2010 「交流遮断器」に、国際電気標準会議 (IEC) の規格で言えば、IEC 62271-100 “High-voltage switchgear and controlgear - Part 100: Alternating-current circuit-breaker” に詳しく述べられており、遮断現象に応じて種々の試験法が定められている。

図 2 に示すように、遮断器の近傍で発生した故障を遮断する場合を端子短絡故障 (以降、BTF : Breaker Terminal Fault) 遮断と呼ぶ。BTF は背後電源から流れ込む電流が最大となるため、電力系統を地絡・短絡故障から保護するための主要責務であると言える。ここでは、T 変電所 2 次側に設置されている遮断器が、その近傍で発生した故障を遮断する場合を想定する。

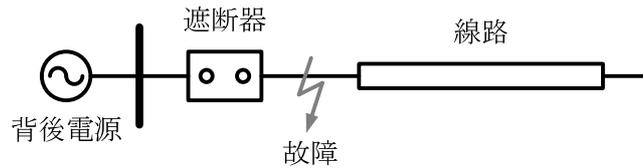


図 2 端子短絡故障の例

図 3 に示すように、コンデンサバンクを遮断する場合等を進み小電流遮断 (capacitive current switching) と呼ぶ。図 4 に進み小電流遮断時の電流・電圧波形を示す。遮断器が電流を遮断すると、遮断器端子電圧 U_T の波高値が負荷側 (線路側やコンデンサバンク側) に直流電圧 U_L として残留し、電源側電圧 U_S との差である $1-\cos$ 形の電圧が遮断器極間電圧 U_{CB} として現れる。短絡電流や地絡電流に比べると遮断電流が小さいため、遮断器極間が十分に開いていない状態で電流遮断が完了することがある。このような状態で高い回復電圧が発生すると、遮断器極間の絶縁耐力を上回り再点弧に至る可能性がある。特に、極間電圧の波高値付近で遮断器が再点弧すると、非常に高い過電圧が発生するので注意が必要である。ここでは、T 変電所 3 次側に設置されている遮断器が、その先に接続されているコンデンサバンクを遮断する場合を想定する。

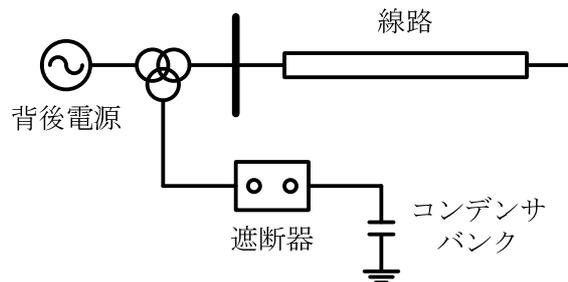


図 3 進み小電流遮断の例

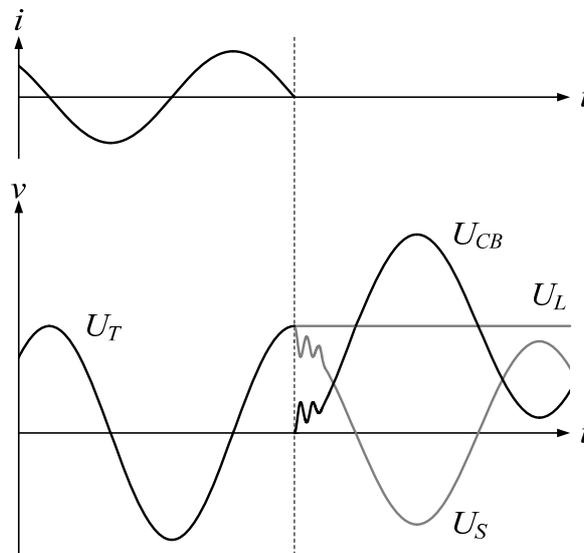


図 4 進み小電流遮断による TRV 波形例

【 電源の模擬 】

T 変電所 1 次側, T-1 変電所 2 次側, T-2 変電所 2 次側については, 文献 [1] に基づき, 短絡電流値が一致するように電源, 抵抗, インダクタンスを設定した。電源回路の力率が不明であるため, 直流分減衰時定数 ($\tau=L/R$) が 45 ms となるように抵抗とインダクタンスを調整した。また, 遮断第一相の TRV が JEC-2300-2010 相当となるように, 並列に抵抗とキャパシタンスを挿入した。

【 変圧器の模擬 】

容量, 巻線抵抗, 漏れインダクタンスは文献 [2] を参考に, キャパシタンスは文献 [3] を参考に設定した。中性点については, 275 kV 側は直接接地とし, 154 kV 側および 77 kV 側は抵抗接地としている。

【 線路の模擬 】

電線の線種については, 文献 [4] に掲載されている 154 kV 標準送電線のデータを使用した。電力線は TACSR 810 mm² (2 導体), 架空地線は AC 90 mm², 大地抵抗率は 100 Ω m である。周波数依存線路モデルによる模擬を行い, サンプル範囲は 0.1 Hz ~ 10 MHz, サンプル数は 400 点とした。

【 母線等の模擬 】

個別機器の対地静電容量が不明であるため, 一括して 1 母線あたり 40,000 pF の対地静電容量を付与した。

【 コンデンサバンクの模擬 】

T 変電所の変圧器 3 次回路に 60 MVA のコンデンサバンクを設置した。JIS C 4902 (1998) 「高圧及び特別高圧進相コンデンサ及び付属機器」に従い, コンデンサバンク容量に対して 6 % の直列リアクトルも設置した。

【 解析条件 】

解析条件は表 1 の通りとする。

表 1 解析条件

	端子短絡故障遮断解析	進み小電流遮断解析
計算時間刻み	0.1 μ s	1 μ s
計算開始時間	0 ms	0 ms
計算終了時間	200 ms	100 ms
表示開始時間	40 ms	20 ms
表示終了時間	160 ms	80 ms

【 XTAP 入力例 】

本例題を XTAP 上で作成した例を図 5 に示す。

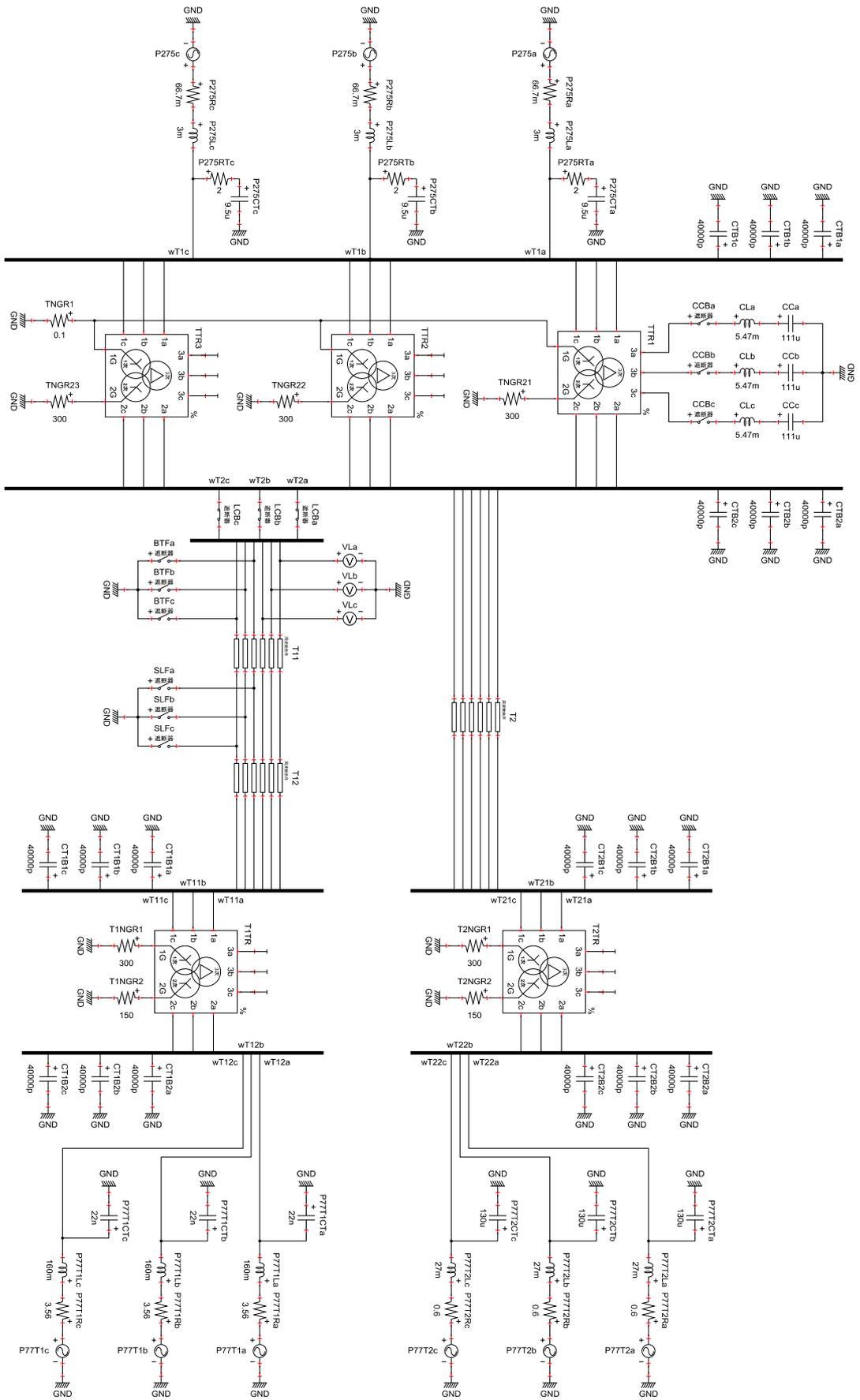


图5 XTAP 入力例

解析結果

まず、T 変電所から T-1 変電所へと至る線路における BTF 遮断解析を実施する。時刻 50 ms において T 変電所の直近で 1 回線三相地絡短絡故障が発生し、時刻 150 ms において T 変電所の遮断器を開放するケースを考える。図 6 に遮断器の電流波形、図 7 に遮断第一相 (c 相) の TRV 波形を示す。TRV は多重周波の 4 パラメータ波形となり、波高値 u_c は 249 kV、波高時間 t_2 は 307 μs であった。

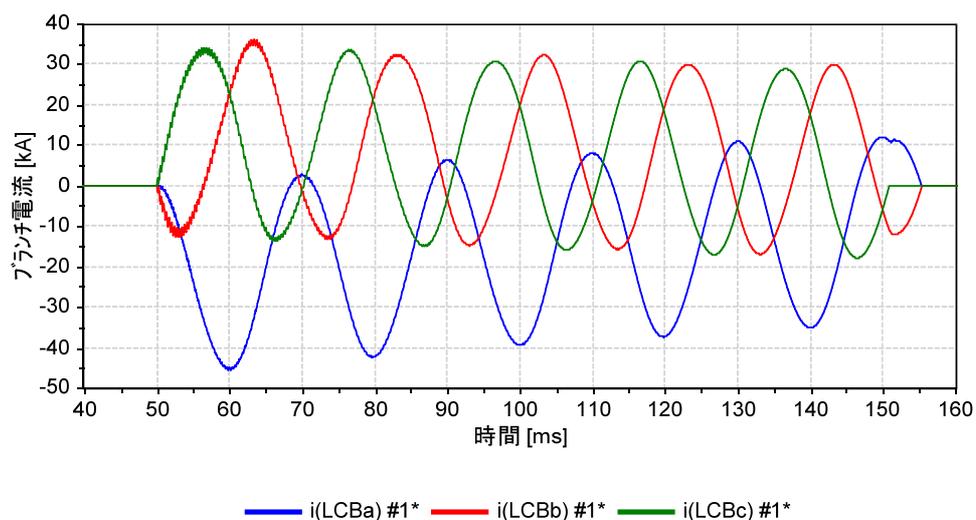


図 6 BTF 遮断時の電流波形

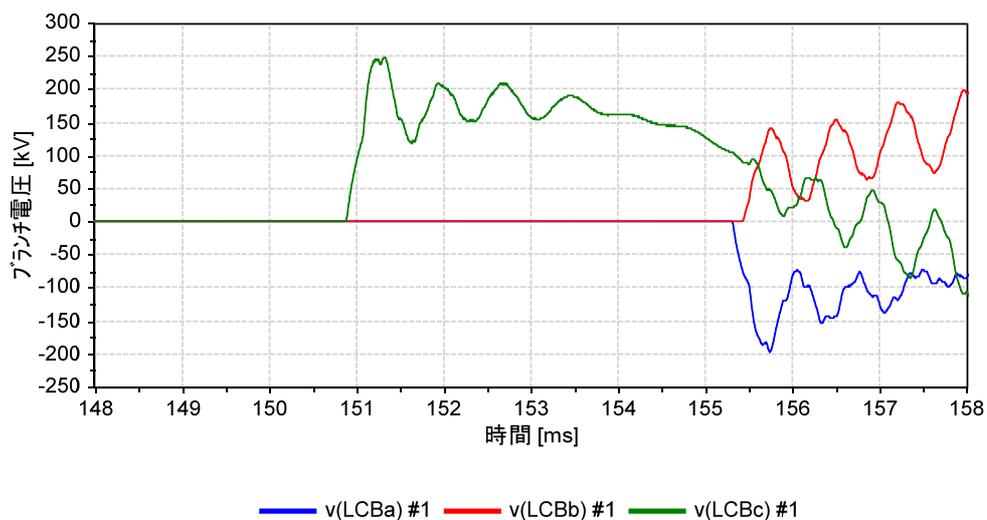


図 7 BTF 遮断時の TRV 波形

次に、T 変電所の変圧器 3 次回路における進み小電流遮断解析を実施する。時刻 50 ms において変圧器 3 次側の遮断器を開放し、コンデンサバンクに流れる電流を遮断するケースを考える。図 8 に遮断器を流れる電流波形、図 9 に遮断器に発生する TRV 波形を示す。遮断電流は 719 A であった。遮断第一相（c 相）の TRV 波高値は 64.2 kV となり、変圧器 3 次回路の対地電圧波高値 26.8 kV に対して 2.40 倍と高くなっている。

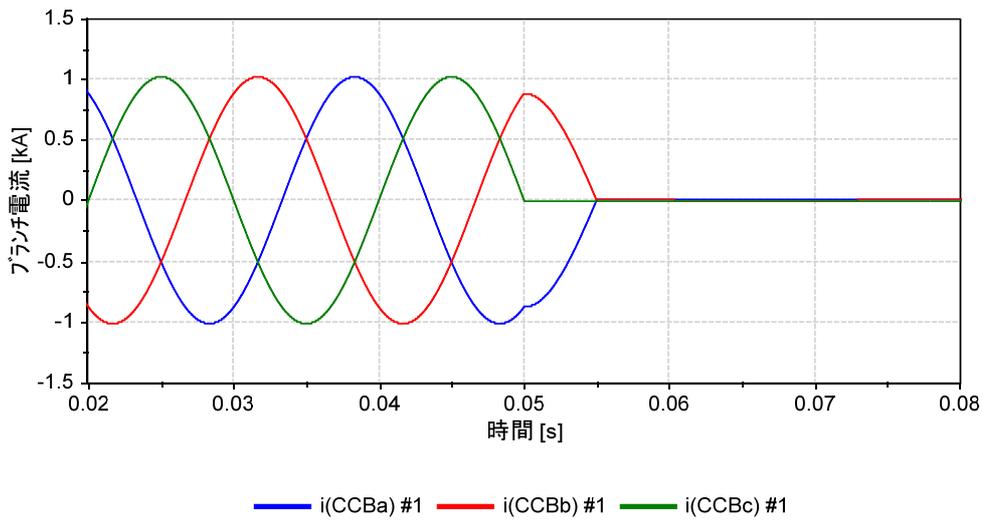


図 8 進み小電流遮断時の電流波形

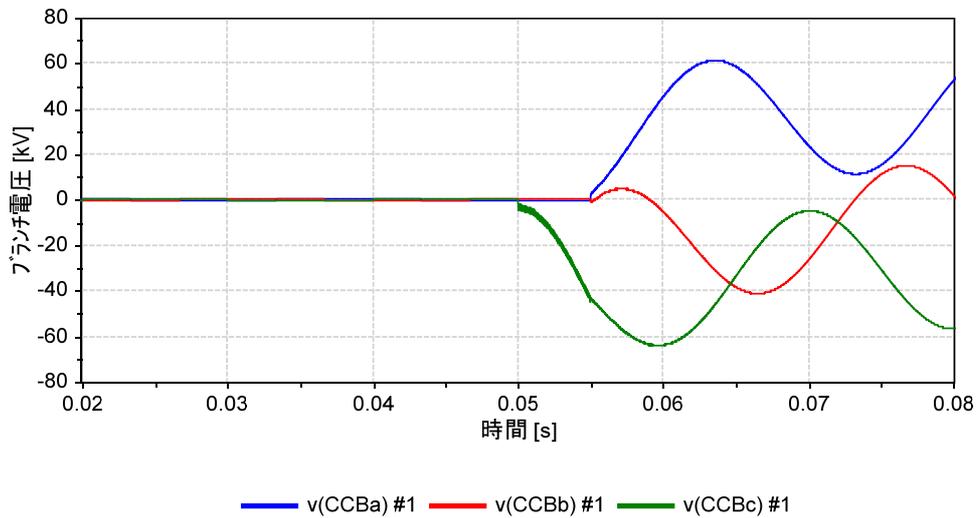


図 9 進み小電流遮断時の TRV 波形

参考文献

- [1] IEEE Working Group 15.08.09, “Modeling and analysis of system transients using digital programs”, IEEE PES Special Publication, TP-133-0, 1998
- [2] 日本電気技術者協会ホームページ, <http://www.jeea.or.jp/course/contents/03102/>, 2013 年 1 月現在
- [3] 電気学会 雷サージ評価高度化のためのモデリング調査専門委員会, 「雷サージ評価高度化のためのモデリング」, 電気学会技術報告, 第 704 号, 1998 年 11 月
- [4] 耐雷設計委員会 発変電分科会, 「発変電所および地中送電線の耐雷設計ガイド」, 電力中央研究所報告 総合報告, T40, 1995 年 12 月

以 上

更 新 履 歴

日 付	例題ファイル バージョン	変 更 内 容
2015/07/29	2.1	例題の名称を STRV-01 から CB-02 に変更 三相三巻変圧器の不具合を修正
2014/11/19	2.0	XTAP Ver. 2.00 用に修正 XTLC の変更に伴い、線路定数を再計算
2013/08/08	1.0	初版作成 (XTAP Version 1.21 用)