

XTAP 例題集		番 号	SLD-01
例題名	6.6 kV 配電線のフラッシュオーバ解析		
分 野	雷サージ計算, 過電圧解析		
文 献	<p>高圧配電線の耐雷設計に関する一般的な情報については以下を参照のこと。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・電力中央研究所 総合報告 T69 「配電線耐雷設計ガイド」 		
概 要	<p>高圧配電線に雷が直撃し、配電線と腕金の間に過電圧が発生することによりがいし沿面でフラッシュオーバが生じると、断線等の永久事故が生じる恐れがある。このため、架空地線や避雷器等の耐雷機材を効果的に施設して配電線を雷から保護する必要がある。</p> <p>本例題では、高圧配電線の雷サージ解析を行う際に必要となる配電線相導体、コンクリート柱、がいし、避雷器等のモデリング手法およびこれらを組み合わせることにより、架空地線と避雷器が併用された高圧配電線に雷が直撃した場合にがいし間に発生する雷過電圧の計算を行う。</p> <p>なお、XTAP には上記のモデルの多くが部品として登録されており、これらを組み合わせることで高低圧配電線の雷サージ解析が可能である。</p>		

解析回路・解析条件

図1に解析回路および導体配置を示す。解析線路は1径間40mの6.6kV高圧配電線1回線で、配電線路の両端は整合抵抗により終端することによって、無限長の配電線路を模擬している。計算では、線路の中心に位置する電柱への雷撃を想定している。

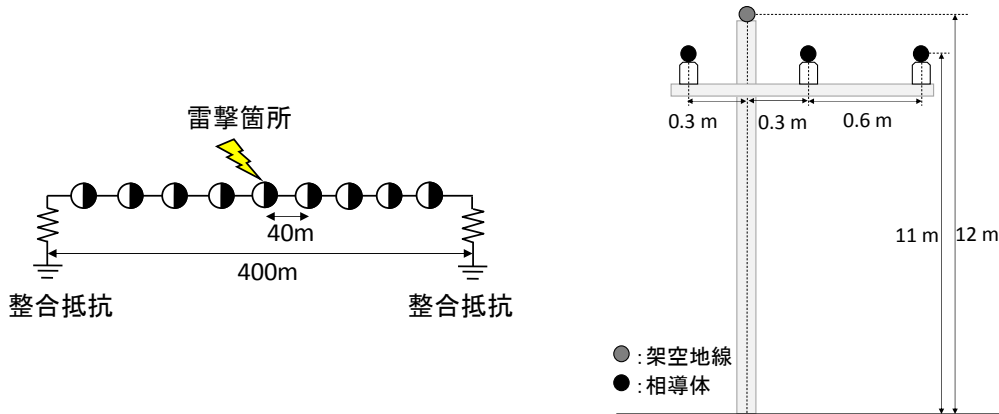


図1 解析線路の概要

配電線の各要素は以下の方法でモデル化される。

➤ 配電線モデル

XTAPに付属の線路定数計算プログラムXTLCを用いて図1の導体配置における線路定数を計算する。

本例題のようにフラッシュオーバーのみに着目するのであれば、一定パラメータ分布定数モデル(CP-Line)で線路定数の計算周波数を100kHz程度とすることで、実用的には十分な精度が得られる。

；本例題では、計算周波数を100kHz、大地抵抗率を100Ωmとして計算を行っている。

なお、避雷器の処理エネルギーの計算のように計算時間が長い場合には周波数依存線路モデル(FD-Line)を用いた計算を行う必要がある。

➤ コンクリート柱モデル

配電線直撃雷サージ解析を行う場合には、コンクリート柱に沿わせている引下げ接地線とコンクリート柱の鉄筋をまとめて単相の一定パラメータ分布定数線路モデルで模擬する場が多い。

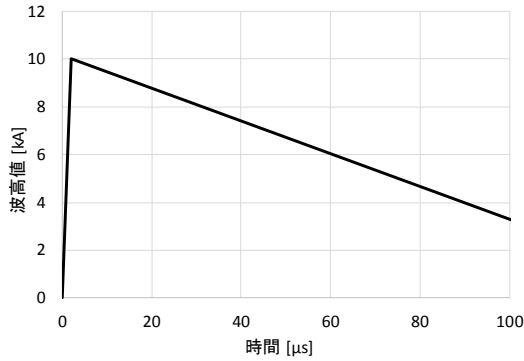
；本例題では、一定パラメータ分布定数モデルでコンクリート柱および引下げ接地線を、純抵抗で接地

➤ 雷電流波形

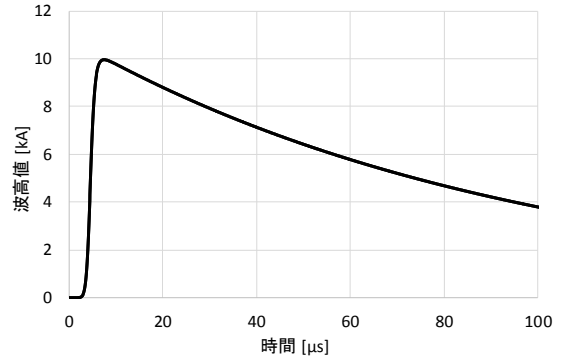
雷電流波形は多くの場合、図2(a)のような三角波で模擬されることが多い。一方で、より現実に近い波形として下式に示すようなHeidler関数(図2(b))で雷電流波形を評価することも可能である。

Heidler 関数 (図 2(b)では $n=1$, $\eta_1=0.92$, $n_1=10$, $\tau_{11}=4.6\times 10^{-6}$, $\tau_{12}=95.1\times 10^{-6}$ と設定)

$$i(t) = \frac{I_{01}}{\eta_1} \times \frac{(t/\tau_{11})^{n_1}}{1 + (t/\tau_{11})^{n_1}} \exp(-t/\tau_{21}) + \frac{I_{02}}{\eta_2} \times \frac{(t/\tau_{12})^{n_2}}{1 + (t/\tau_{12})^{n_2}} \exp(-t/\tau_{22}) + \dots + \frac{I_{0n}}{\eta_n} \times \frac{(t/\tau_{1n})^{n_n}}{1 + (t/\tau_{1n})^{n_n}} \exp(-t/\tau_{2n})$$



(a) 三角波



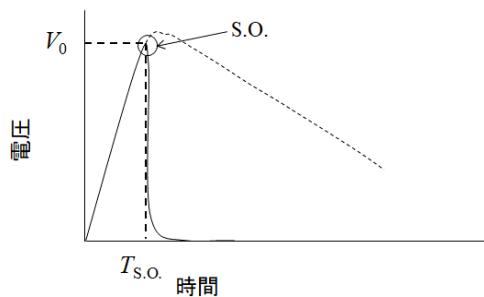
(b) Heidler 関数

図 2 雷電流波形 (波頭長 : 2 μ s, 波尾長 : 70 μ s)

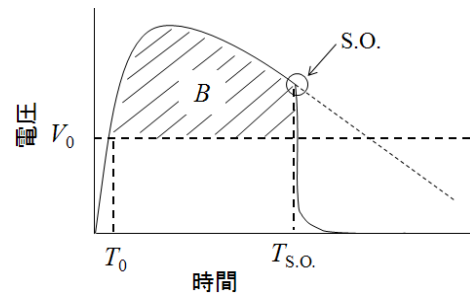
なお本例題では雷道インピーダンスは 1000 Ω としている。

➤ がいしのフラッシュオーバ

がいしのフラッシュオーバを模擬するモデルとして、本例題では積分法モデルを使用している。本モデルでは、がいしに発生する電圧波形のうち、 V_0 以上の部分の積分値 B が閾値を超えた際にフラッシュオーバが発生する。積分法モデルは、簡易性では一定電圧モデルに劣るものの、波形の依存性を考慮できるため多相フラッシュオーバ解析に適している。本例題では、10号中実がいしの雷インパルス試験結果をもとにフラッシュオーバモデルの定数 ($V_0=135$ kV, $B=0.065$) を設定している。



(a) 一定電圧モデル



(b) 積分法モデル

図 3 がいしのフラッシュオーバモデルの概要

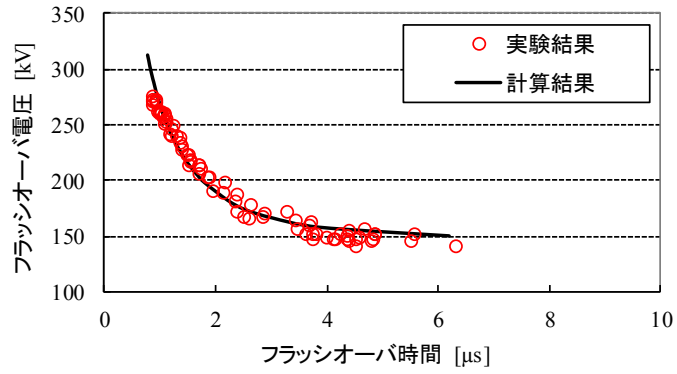


図4 10号中実がいしのフラッシュオーバー特性

配電用避雷器は指定電圧値で放電するスイッチと非線形抵抗の組み合わせで表現される。本例題では、放電電圧を 29 kV、 $V-I$ 特性を図4のように設定している。

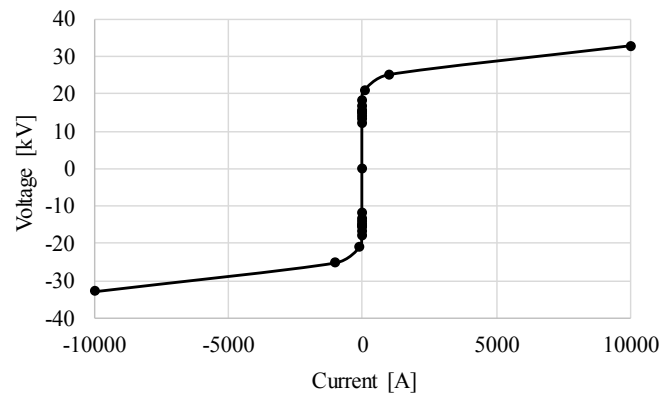
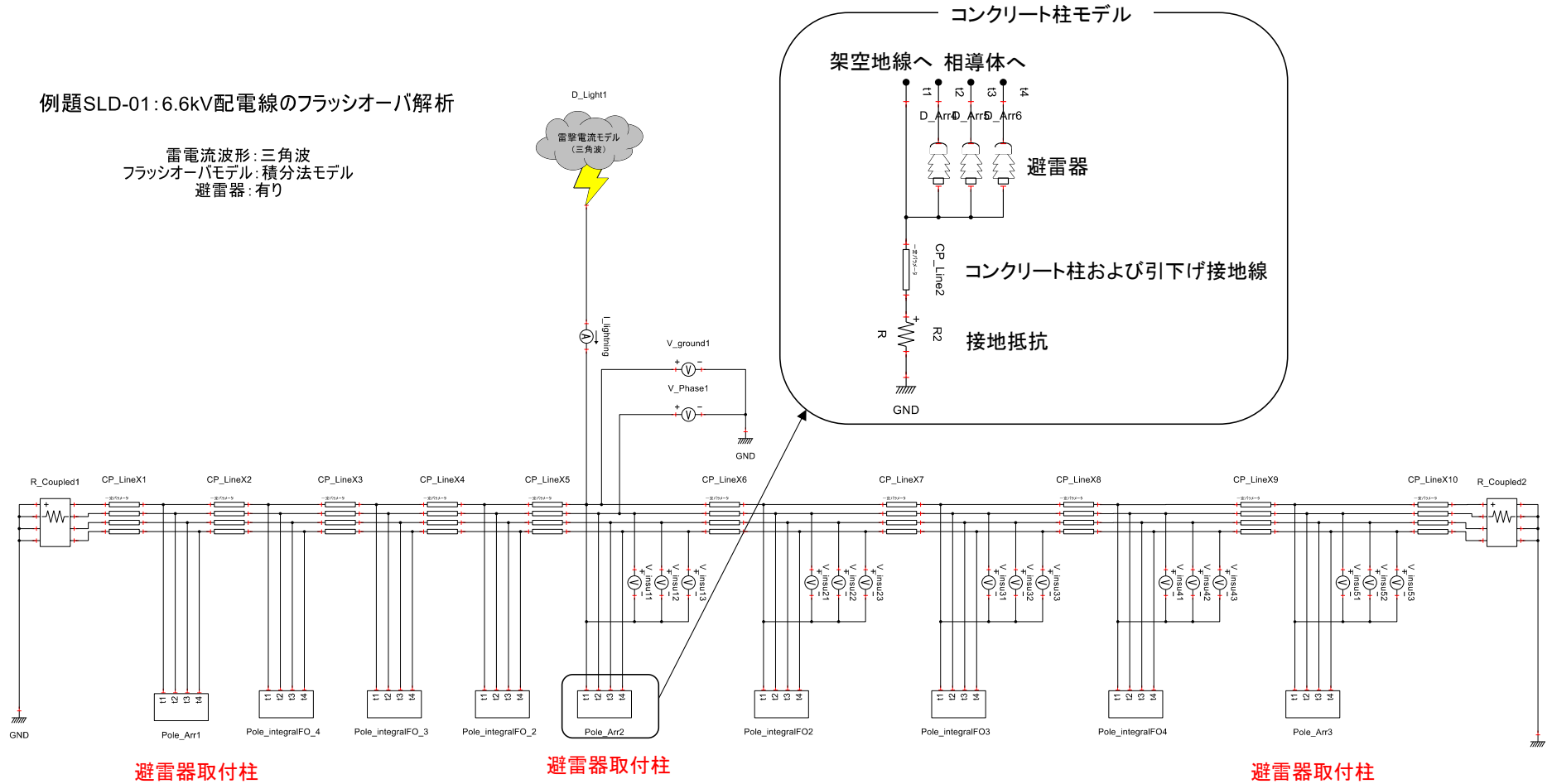


図5 避雷器の $V-I$ 特性

以上の条件の下、本例題を XTAP 上に構成したものが図6である。

例題SLD-01: 6.6kV配電線のフラッシュオーバー解析

雷電流波形: 三角波
 フラッシュオーバーモデル: 積分法モデル
 避雷器: 有り



避雷器取付柱

避雷器取付柱

避雷器取付柱

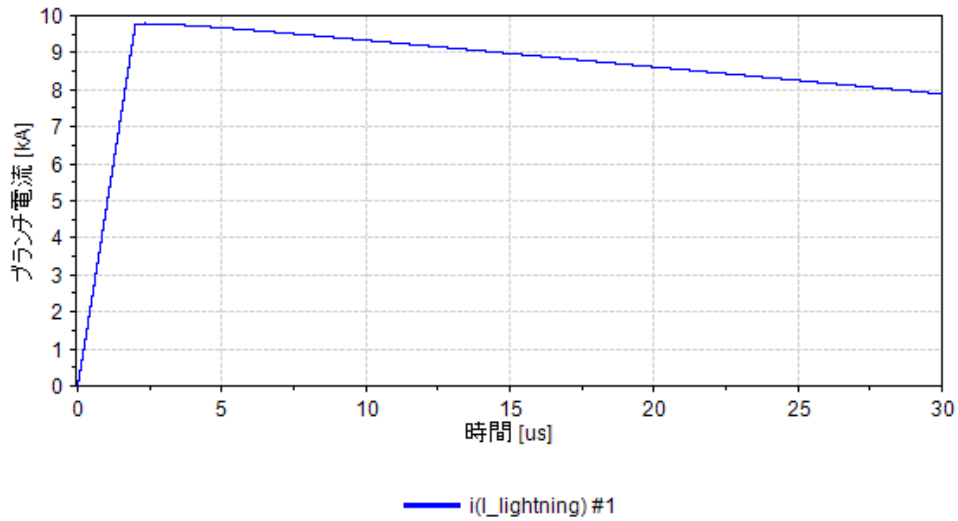
図6 XTAP 上での入力

解析結果

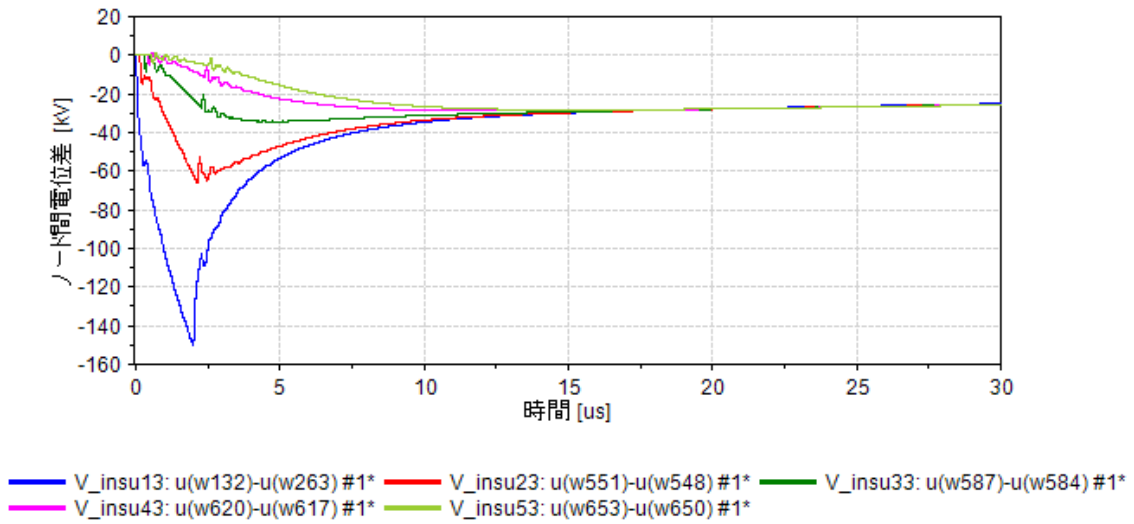
図 7 および図 8 に雷撃電流波形と電柱 1~5 のがいし間電圧の計算結果を示す。図 7 (b) および図 8 (b) は避雷器がないときのがいし間電圧であり、同図から雷撃電流波形を三角波の方が Heidler 関数の場合に比べがいし間電圧が大きくなっている。このことから、過酷側（がいし間電圧が大きめに評価される）の評価を行う際には、雷撃電流を三角波として模擬すればよいことが分る。また、図 7 (c) および図 8 (c) に示すように、避雷器が取付けられることによって、雷撃柱およびのがいし間電圧 (V_{insu13}) は避雷器の制限電圧に抑制されている。

図 9 に雷撃電流が三角波の時のフラッシュオーバ電圧波形を示す。雷撃柱に避雷器が取付けられることによって、フラッシュオーバ発生電流値が 15 kA から 40 kA に上昇している。また、フラッシュオーバ箇所も No. 1 柱から No. 3 柱へ変化している。

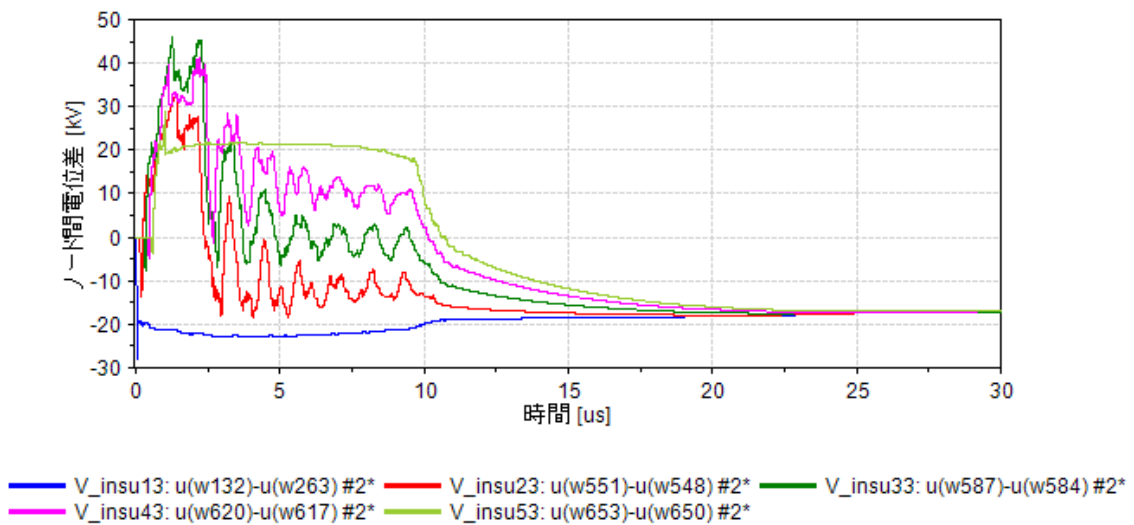
なお、本例題では 1 相フラッシュオーバのみを計算しているが、6.6 kV 配電線は非接地系統であるため、1 相のフラッシュオーバでは雷事故は通常生じない。このため雷事故率計算等では 2 相以上のフラッシュオーバを雷事故と見なす場合が多い。



(a) 雷撃電流波形

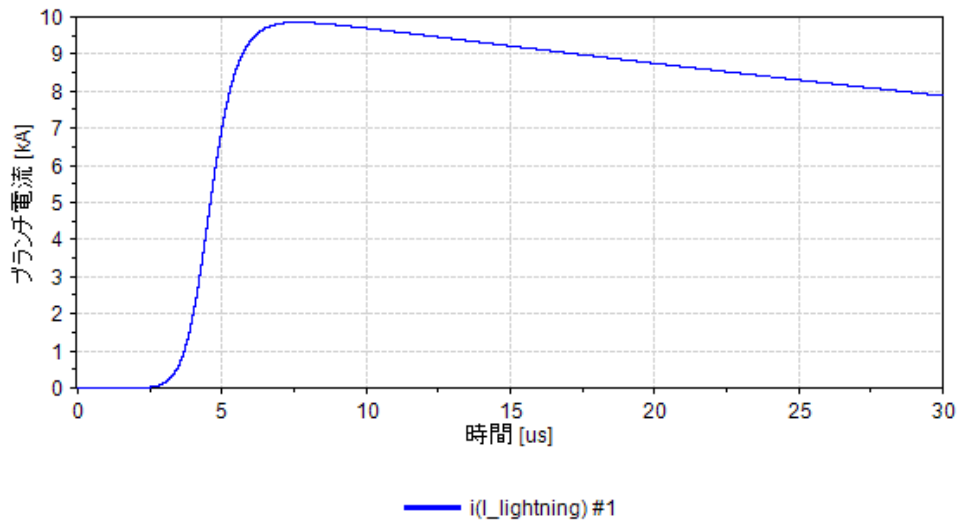


(b) 電柱 1~5 のがいし間電圧 (避雷器無し)

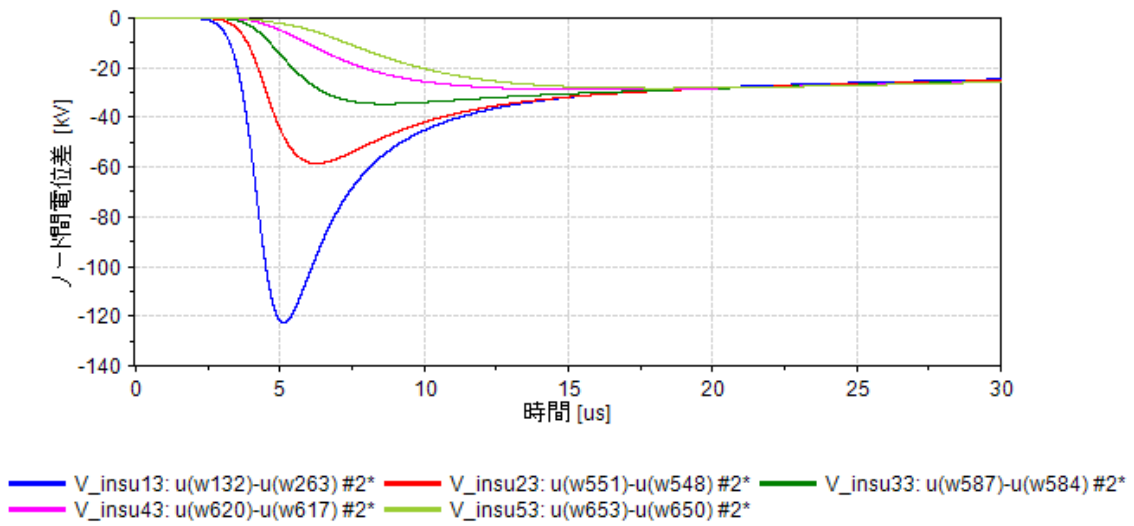


(c) 電柱 1~5 のがいし間電圧 (避雷器有り)

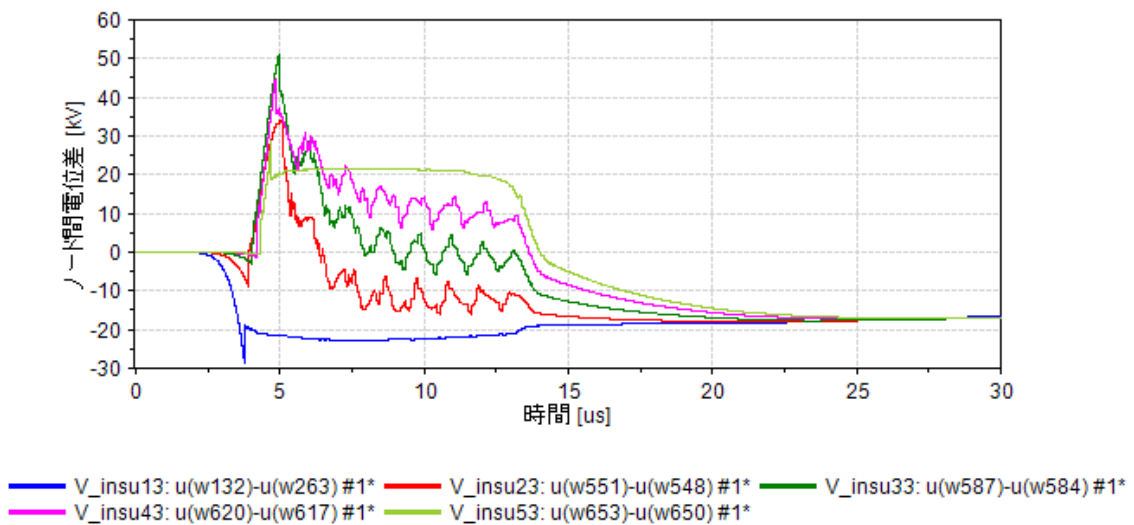
図 7 雷撃電流が三角波のときの計算結果



(a) 雷撃電流波形

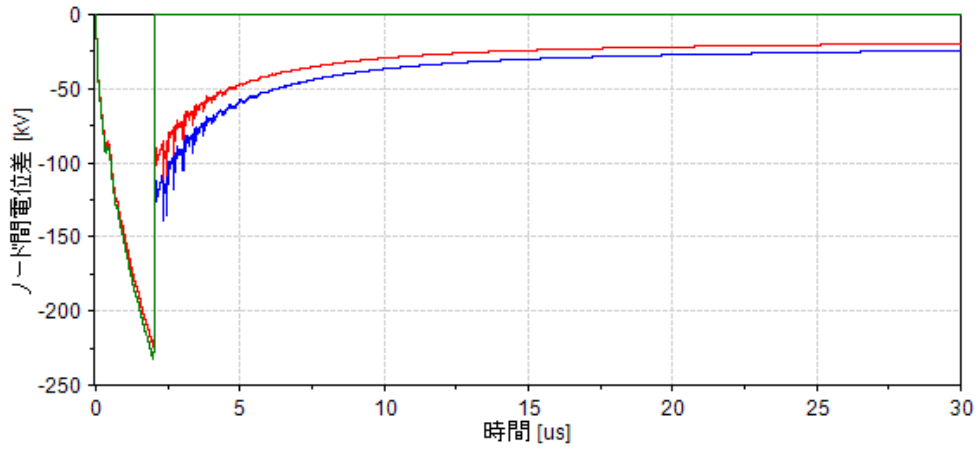


(b) 電柱 1~5 のがいし間電圧 (避雷器無し)



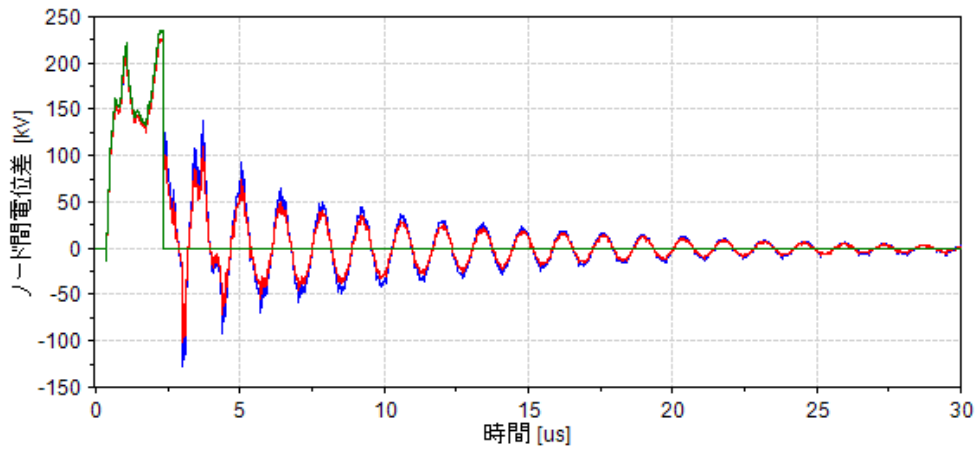
(c) 電柱 1~5 のがいし間電圧 (避雷器有り)

図 8 雷撃電流が Heidler 関数のときの計算結果



— V_ins11: u(w130)-u(w263) #1 — V_ins12: u(w131)-u(w263) #1 — V_ins13: u(w132)-u(w263) #1

(a) 避雷器が無い場合（雷撃電流：15 kA，フラッシュオーバ箇所：No.1 柱）



— V_ins31: u(w585)-u(w584) #1* — V_ins32: u(w586)-u(w584) #1* — V_ins33: u(w587)-u(w584) #1*

(b) 避雷器が取付けられた場合（雷撃電流：40kA，フラッシュオーバ箇所：No.3 柱）

図9 フラッシュオーバ時のがいし間電圧波形（三角波の場合）

更 新 履 歴

日 付	例題ファイル バージョン	変 更 内 容
2022/08/03	2.1	Heidler 関数の雷電流波形や積分法に基づくがいしのフラッシュオーバモデル等の解析モデルの追加に伴い例題内容を修正
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
2012/08/30	1.2	XTAP Ver. 1.20 用に修正
2011/09/08	1.0	初版作成（XTAP Version 1.11 用）