

XTAP 例題集		番 号	RELAY-01
例題名	距離リレーのモデリング		
分 野	電力系統保護		
文 献	大浦好文ら著「保護リレーシステム工学」, 電気学会		
概 要	<p>保護リレーの分野では、整定検討や協調判定は実効値解析で行うことが多いが、一方で、CT 飽和など非線形現象を伴う複雑事故や併架系統などの複雑系統における事故のリレー応動解析は瞬時値解析が有効的である。</p> <p>XTAP 上でリレー応動解析を行うためには、瞬時値解析用のリレーモデルを作成する必要がある。本例題では、広汎に用いられている距離リレーのモデリング方法について紹介してある。</p>		

1. 保護リレーの適用実績

66kV 以上の送電線保護用および母線保護用として広汎に用いられている保護リレー方式を表 1 に示す。送電線保護の場合、主保護として PCM 電流差動リレー方式、後備保護として距離リレー方式を用いられていることが多い。

表 1 保護リレー方式

保護目的		直接接地系	抵抗接地系
送電線保護	主保護	PCM 電流差動リレー方式	PCM 電流差動リレー方式 回線選択リレー方式（平行 2 回戦）
	後備保護	距離リレー方式	距離リレー方式
母線保護（二重母線構成）		電流差動リレー方式（一括）＋電流差動リレー方式（分割） 電圧差動リレー方式（一括）＋電流差動リレー方式（分割）	

2. 実効値解析と瞬時値解析の棲み分け

保護リレー解析を行う場合、系統全体の過渡的な安定性解析を行う実効値解析と系統の一部の電圧・電流波形の解析を行う瞬時値解析を棲み分けてシミュレーションを行う必要がある。実効値解析では大規模系統の解析のときや検討するパラメータの多い整定や協調検討のときに有効的である。一方で、位相依存性や非線形現象を伴う複雑事故のシミュレーションなどに向かない。瞬時値解析では、CT 飽和などの非線形現象を伴う複雑事故や併架系統などの複雑系統の事故に対するリレー応動解析を行える。一方で、大規模系統やパラメータが多い解析には向かないという特徴がある。

3. 距離リレーとは

距離リレーは 66kV 以上の送電線の後備保護として広く用いられている（ただし、抵抗接地系では地絡保護としては地絡方向リレーや地絡過電圧リレーなどが用いられる）。

距離リレーの特性例を図 1 を用いて説明する。距離リレーは大きくモー特性とリアクタンス特性があり、モー特性は方向要素として、リアクタンス特性は区間選択要素として機能する。距離リレーは自端の電圧と電流入力のみにより事故検出ができ、また、事故区間の選択が比較的確実で、保護区間に応じた各段の限時遮断により時間協調がとりやすい特徴がある。

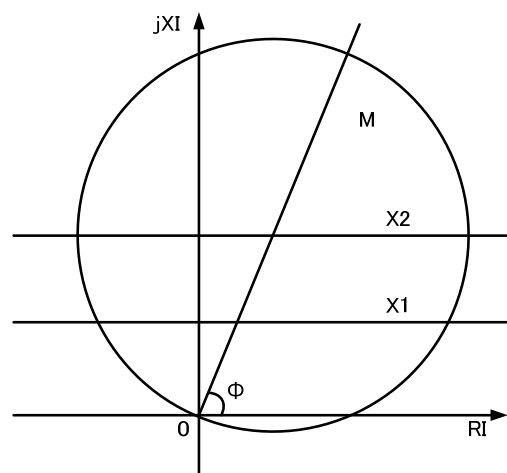


図 1 距離リレーの概念図

4. リレーのモデリング

4.1 モデリング方法

リレーモデルをモデリングする方法は大きく分けて2つの方法がある。一つはベクトル型原理式（多くの場合はベクトル型原理式で示されている）を内積や移相により直接演算する方法（直接演算）と、実機と同様にサンプリングデータを用いて演算する方法（サンプリング演算）がある。サンプリング演算の場合、リレーアルゴリズムは正確に知る必要があり、そのデータがなければモデリングすることはできないが、直接演算の場合はベクトル型原理式がわかればモデリングすることができる。各方法の特徴を表2に示す。

本例題では、リレーアルゴリズムやアナログフィルタの定数などによらず、モデリングが比較的容易なことから、直接演算におけるモデリング方法を紹介する。

表2 直接演算とサンプリング演算の比較

	直接演算	サンプリング演算
演算方法	・ベクトル型原理式を内積や振幅演算等を直接演算する方法	・実リレーと同様にサンプリング値を用いて演算する方法
特徴	・原理式を基に構築可能 (原理式はアルゴリズムによらず共通) ・動作時間を考慮する場合、別途設定	・実リレーを模擬 ・実リレーと同様の動作時間特性 ・アナログフィルタからリレーアルゴリズムまで全ての情報が必要 ・フィルタ構成やリレーアルゴリズムが多岐

4.2 基本的なリレー演算のモデリング例

多くの保護リレーのモデリングは次に示すような3つの基本的なリレー演算を組み合わせて実現することができる。各リレー演算のモデリングの一例を示す。

- 移相演算 (PSHIFT)

遅延部品(Delay)を用いて実現する。なお、進みを実現したい場合に、カーブフィッティング法(入力波形が正弦波であるという性質を用いる)より遅れを反転することで実現することができる。例えば、 75° の進みの電流には、電流を 105° 遅らせて反転(-1をかける)することで実現可能である。

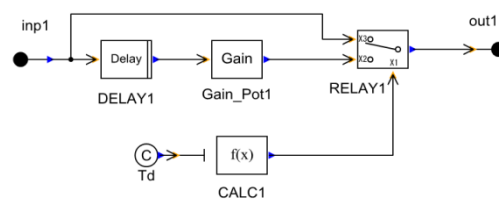


図2 移相演算

- 振幅値演算

振幅値演算は移動平均を用いて算出する。なお、データ窓長を長くすると、その分演算遅れが生じる。

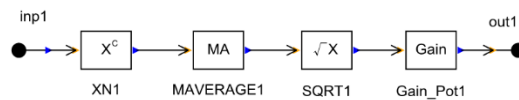


図3 振幅値演算

- 位相差演算 (内積)

各ベクトルを成分表示(x成分, y成分に分解)して、内積を行う。

$$x \cdot y = x_1y_1 + x_2y_2$$

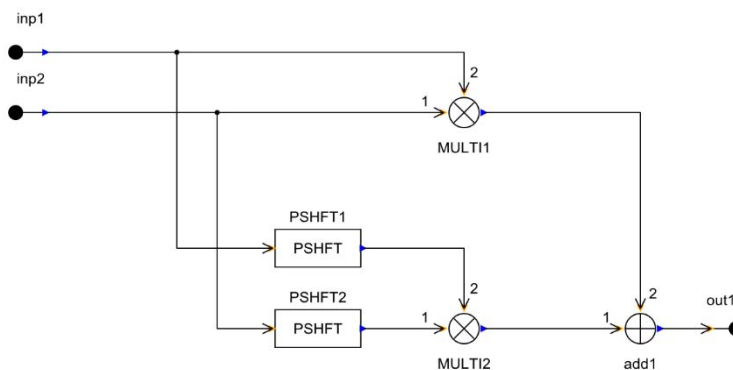


図4 位相差演算

4.3 距離リレーのモデリング例

前述のリレー演算を組み合わせて実現したりレーのモデリング例を以下に示す。

- 短絡保護用モーリレーの原理式

$$(Z_S \underline{\dot{I}}_{ab} \exp(j\phi) - \underline{\dot{V}}_{ab}) \cdot \underline{\dot{V}}_{ab} > 0$$

$$Z_S \underline{\dot{I}}_{ab} \exp(j\phi) \cdot \underline{\dot{V}}_{ab} - \underline{\dot{V}}_{ab} \cdot \underline{\dot{V}}_{ab} > 0 \quad (\text{なお, } \cdot \text{ は内積を示す})$$

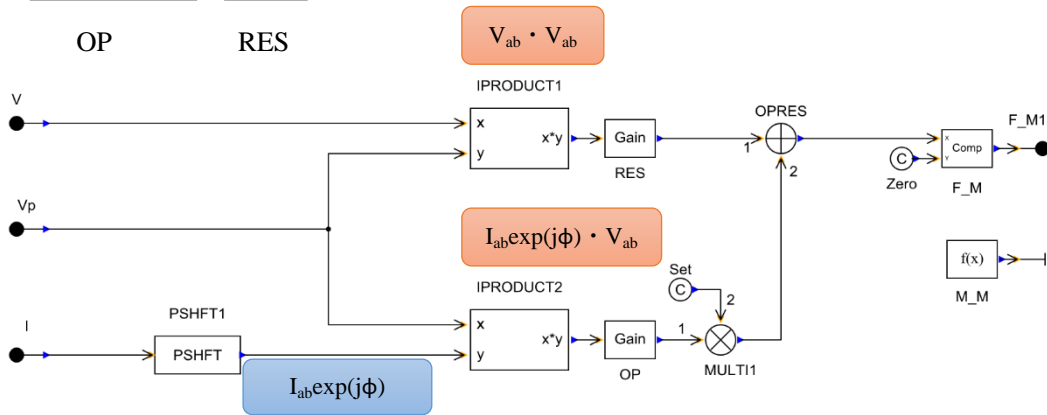


図5 モー要素のモデリング

- 短絡保護用リアクタンスリレーの原理式

$$(Z_S \underline{\dot{I}}_{ab} \exp(j\phi) - \underline{\dot{V}}_{ab}) \cdot \underline{\dot{I}}_{ab} \exp(j\phi) > 0$$

$$Z_S \underline{\dot{I}}_{ab} \exp(j\phi) \cdot \underline{\dot{I}}_{ab} \exp(j\phi) - \underline{\dot{V}}_{ab} \cdot \underline{\dot{I}}_{ab} \exp(j\phi) > 0$$

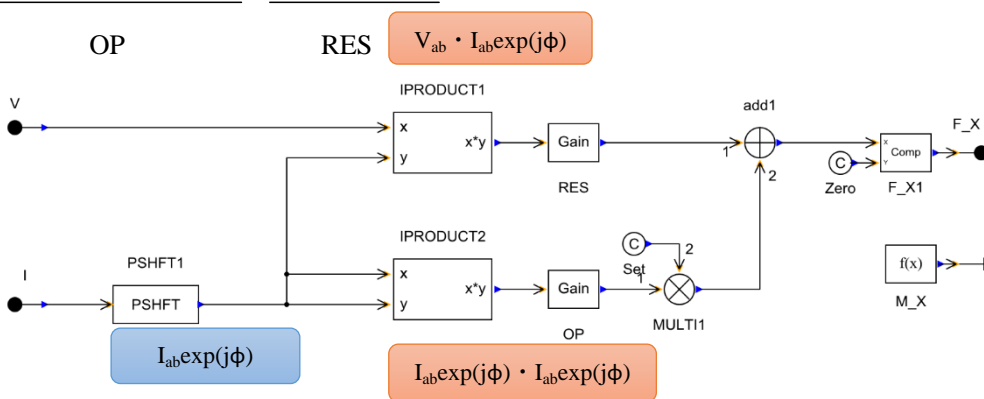


図6 リアクタンス要素のモデリング

5. シミュレーション

【目的】

内外部事故時の短絡保護用距離リレー（モーリレーとリアクタンスリレー）の応動を確認する。

【解析条件】

解析条件は以下の通りとする。

- ・ 計算時間刻み：1ms
- ・ 計算開始時間：0s
- ・ 計算終了時間：0.3s
- ・ 表示開始時間：0.1s
- ・ 表示終了時間：0.3s

【事故条件】

- ・ 2LS（ab相）
- ・ 内部事故：距離リレー1段の保護区間内事故
- ・ 外部事故：保護区間外の事故

【前提条件】

- ・ 距離リレーab相を対象とする
- ・ 短絡モーの極性電圧は現時点の値を使用（メモリー効果は考慮しない）
- ・ 小電流域でのリレーロック機構は考慮しない
- ・ 模擬範囲はデジタルフィルタ，リレー演算のみとする
- ・ リレーの整定値は以下のとおりとする
44X1：1.097Ω【自保護区間の正相リアクタンス（2次側換算値で1.367Ω程度）の80%】
44M：4.101Ω【自保護区間の正相リアクタンスの300%】
- ・ タイマは付けず，瞬時動作とする。
ただし，リレー演算に必要な時間（移相に必要な窓長など）がかかる。

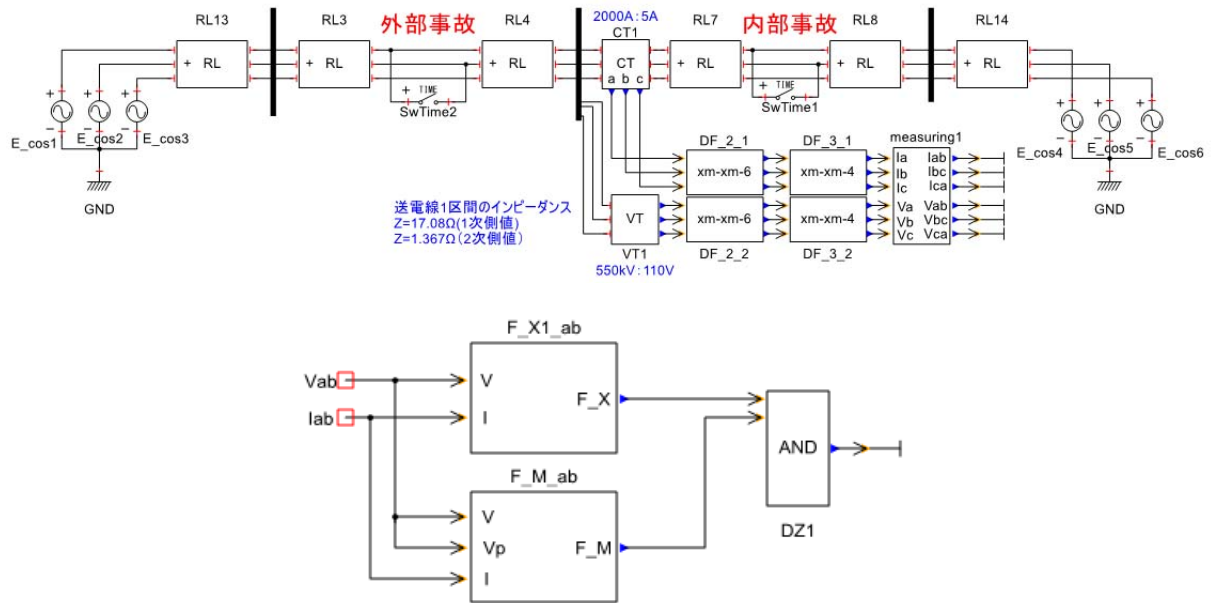


図7 解析回路およびリレーシーケンス

【解析結果】

表3に距離リレー1段の「リレーの見るインピーダンス (Z_{RY})」「リレーの動作判定」の結果を示す。「リレーの見るインピーダンス (Z_{RY})」については、モータリレーの見るインピーダンス (F_{M_ab}/M_{M}) およびリアクタンスリレーの見るインピーダンス (F_{X1_ab}/M_{X}) の結果を示している。距離リレーはこのリレーの見るインピーダンスが整定値を超えたときに動作となる。

リレーの見るインピーダンスの結果から、インピーダンスの挙動がモータリレーとリアクタンスリレーで多少異なる。これは、それぞれの原理式、特に最高感度角が異なることから生じる。

内部事故のときはリアクタンスリレーの整定値（前方リーチ：1.097Ω）を下回り、かつモータリレーの整定値（前方リーチ：4.101Ω，後方リーチ：0Ω）以内であることから距離リレーが動作していることが確認できる。一方で、外部事故のときはリアクタンスリレーの整定値は下回っているが、方向特性であるモータリレーは整定値外（後方側をみている）のため、リレーが不動作となっていることが確認できる。

ただし、事故発生からリレー動作まで遅れが生じているが、これはリレー演算による窓長であることに留意する必要がある。

以上の結果から、内部事故のときには距離リレーが動作し、外部事故のときには不動作となり、正常に動作していることを確認した。

表 解析結果

	内部事故	外部事故
Z _{RY}		
動作 フラグ		

以上

更 新 履 歴

日 付	例題ファイル バージョン	変 更 内 容
2015/05/29	1.0	初版作成（XTAP Version 2.01 用）

