三相 4 線式 11.4kV 配電方式の適用検討 (中性点接地方式の検討)

正 員 岡 圭介 (東京電力)

正 員 小泉 寛 (東京電力)

正 員 生石 光平 (東京電力)

Analysis of a Neutral Grounding Method for a Three-Phase Four-Wire 11.4kV Distribution System

Keisuke Oka, Member, Satoru Koizumi, Member (Tokyo Electric Power Co.)

Kohei Oishi, Member (Tokyo Electric Power Co.)

In selection of the neutral grounding method in a three-phase four-wire 11.4kV distribution system, it is necessary to take into consideration voltage rises in lower-voltage line and induced voltage on communication line in case of ground fault. In this paper, we perform EMTP/ATP simulation to select the optimal neutral grounding method and neutral grounding resistance with consideration to above mentioned conditions. The accuracy of the modelling procedure and simulation result is confirmed through verification test performed on test distribution line. As a result, we found 1) that the 11.4kV distribution system should be associated with a resistance single grounding method; and 2) that the neutral grounding resistance should be above 20 Ω .

キーワード : 三相 4 線式 11.4kV 配電方式, 中性点接地方式, 中性点接地抵抗値, EMTP/ATP

Keywords: three-phase four-wire 11.4kV distribution system, neutral grounding method, neutral grounding resistance, EMTP/ATP

1. まえがき

三相 4 線式 11.4kV 配電方式は過去に中性点接地方式を共通中性線多重接地方式として実施されたことがあるが、地絡事故時の事故電流および負荷不平衡による零相電流の一部が大地へ分流することによる共架通信線への誘導障害等が理由となって、広く普及することはなかった。

しかしながら、11.4kV 配電方式は、既設 6kV 配電設備の流用により送電容量を $\sqrt{3}$ 倍に増大が可能であり、地方流通設備の中長期的な拡充投資抑制策として現在でも有効な手段となり得る。

そこで改めて、11.4kV 配電方式について電力系統の過渡現象解析で実績のある EMTP/ATP⁽¹⁾を用い、同一モデルにおいて各種制約条件の面からの総合的な検討を実施することにより、最適な中性点接地方式および中性点接地抵抗値を選定することとした。

本論文では、通信事業者との協定や法規制により設けられている共架通信線への誘導、特別高圧と低圧混触事故時の低圧線対地電圧上昇の制約条件の面からの検討を行った。

検討にあたっては、これらの値を精度よく計算するため、装柱、線種、系統等について実設備に合わせたモデル化をし、シミュレーションを行い、それぞれの制約値と照らし合わせ、評価を行った。

また、実証試験線路における実測データと解析結果を比較し、シミュレーションの妥当性について確認した。

2. シミュレーション条件設定

<2.1> 接地方式の設定

接地方式として、共通中性線多重接地方式 (図 1)、低圧多重接地方式 (図 2)、単一抵抗接地方式 (図 3) の 3 種類を設定した。

(i) 共通中性線多重接地方式

中性線と架空共同地線を共用する方式であり、中性線は変電所のメッシュ抵抗 (R_m) と配電線路各所の B 種接地 (R_B) で接地される。この方式は、新たに中性線を架線する必要がないため、昭和 30 年後半に各電力会社で採用された実績がある。この方式では、地絡、混触事故時の電流が大きくなるため、誘導障害および低圧線対地電圧上昇が問題となる。

図 1 共通中性線多重接地方式

Fig.1 Multigrounded common-neutral method

(ii) 低圧多重接地方式

この方式では、地絡、混触事故電流の経路となる架空共同地線が変電所と接続されていないため、共通中性線多重接地方式に比べて事故電流が小さくなり、誘導障害および低圧線対地電圧上昇は軽減される。しかし、中性線を新たに施設する必要があるため、共通中性線多重接地方式に比べ費用の面で不利となる。

図2 低圧多重接地方式

Fig.2 Low voltage multigrounded neutral method

(iii) 単一抵抗接地方式

この方式では、中性線が抵抗(R_n)を介して接地される。このため地絡、混触時の事故電流は共通中性線多重接地方式、低圧多重接地方式より抑制され、誘導障害および低圧線対地電圧上昇はさらに軽減される。この際、中性点抵抗値を大きくすると、事故時の健全相対地電位が上昇し機器にかかる異常電圧が大きくなる。

低圧多重接地方式と同様に、中性線を新たに施設する必要があるため、共通中性線多重接地方式に比べ費用の面で不利となる。

図3 単一抵抗接地方式

Fig.3 Resistance single grounding method

〈2・2〉 装柱形態の設定

装柱形態は既設の6kV配電設備の流用を考慮し、通信線も含め、東京電力の高圧線水平装柱の標準形態とした。(図4)

共通中性線多重接地方式を除く中性線の位置は図4に「E」で示すように電圧線下1,050mmである。共通中性線多重接地方式については、中性線を図4に「A」で示す架空共同地線と共用し、中性線を新たに架線しない。

架空共同地線「A」はB種接地を施してある柱においてB種接地抵抗を介して、大地に接地している。また架空地線「G」と架空共同地線「A」は図5～7に示す各ノードにおいて直接接続しており、それぞれ中性線「E」との接続はない。

変電所から架空配電線の立ち上がりまでの間は地中ケーブルを使用している。

記号	
G	架空地線
U,V,W	特別高圧線
E	中性線
A	架空共同地線
S	通信線
T	通信線

図4 装柱形態

Fig.4 Assembly of 11.4kV distribution line

〈2・3〉 ケーブル及び電線の設定

EMTP/ATPのLINE CONSTANTS,CABLE CONSTANTSにより線路定数を求める際に用いる地中ケーブル及び架空電線の諸元は表1に示す通りである。なお、大地導電率は $100 \Omega \cdot m$ とした。

表1 ケーブル及び電線の諸元

Table1. Clue origin to electric cable and wire

地中ケーブル		325mm ² (電圧線)	60mm ² (中性線)
心線導体半径(mm)		10.85	4.65
シース導体内半径(mm)		16.05	8.65
シース導体外半径(mm)		16.45	-
外部絶縁体外半径(mm)		19.65	-
心線導体抵抗率($\Omega \cdot m$)		1.69×10^{-8}	1.69×10^{-8}
シース導体抵抗率($\Omega \cdot m$)		1.69×10^{-8}	-
導体比誘磁率		1	1
絶縁体比誘磁率		1	1
絶縁体比誘電率		2.35	2.35

架空線	240mm ² (電圧線)	120mm ² (電圧線、中性線)	32mm ² (電圧線)	通信線	架空地線
外径(mm)	20.0	13.6	7.2	0.4	6.9
抵抗(Ω / km)	0.0124	0.25	0.928	139	0.9299

〈2・4〉 系統電圧の設定

変電所送り出し電圧を対地電圧6.6kV、線間電圧11.4kVとした。

〈2・5〉 モデル系統の設定

地絡事故時の電流分布をより正確に模擬するため、事故配電線以外の他系統を含めたモデル系統⁽²⁾として、繁華街モデル(図5)、住宅地区モデル(図6)、農山村モデル(図7)の3パターンを設定した。

図5 繁華街モデル

Fig.5 System model of urban area

図6 住宅地区モデル

Fig.6 System model of residential area

図7 農山村モデル

Fig.7 System model of rural area

<2・6> モデル系統における亘長とブランチ長の設定

解析に用いるモデル系統（図5～7）の線路亘長、幹線亘長は表2のように設定した。各モデル系統とも1回線分を詳細モデルとし、同一バンクから出ている他の配電線は簡易モデルとした。また、各ノード間（ブランチ長）は表3のように設定した。図4に「A」で示す架空共同地線は配電線内において切れ目なく接続する。

また、東京電力における配電線亘長の分布は図8の通りであり、90%が亘長5.6km未満であることから、このモデルで大部分の系統を網羅できる。

表2 モデル系統における亘長

Table2. Line length of a model system

モデル系統	詳細モデル亘長	簡易モデル亘長
繁華街	1.5km(600m)	1.5km[2回線] 0.9km[3回線]
住宅地区	3.2km(200m)	3.2km[3回線]
農山村	5.6km(200m)	5.0km[2回線]

()内は地中ケーブル再掲

表3 モデル系統におけるブランチ長

Table3. Branch length of a model system

モデル系統	詳細モデルブランチ長		簡易モデルブランチ長	
	地中線路部	架空線路部	地中線路部	架空線路部
繁華街	600m	100m	600m(2回線) 400m(3回線)	450m(2回線) 250m(3回線)
住宅地区	200m	300m	200m(3回線)	1,500m(1回線) 2,000m(2回線)
農山村	200m	300m	200m(2回線)	2,400m(2回線)

図8 配電線亘長分布

Fig.8 Distribution of power line length

<2・7> 中性点接地抵抗値の設定

共通中性線多重接地方式ならびに低圧多重接地方式についてはメッシュ抵抗を介した直接接地であることからその抵抗値を 1.0Ω とした。単一抵抗接地方式については、抵抗値をパラメータとして変化させることとした。

<2・8> B種接地抵抗値の設定

既設6kV配電設備の流用を主体に検討を行うため、一極当たりの接地抵抗値が 20Ω （比較的抵抗値の得られやすい海岸接近部を模擬）の場合と、 65Ω （抵抗値が得られにくい山間部を模擬）の二通りとした。

各詳細モデル系統における1ブランチ当たりの接地抵抗値は表4の通りである。

各モデル系統における接地極数は東京電力における実績を基に設定した。

表4 1ブランチ当たりの接地抵抗値

Table4. Resistance value per a branch

モデル系統	1ブランチ当たりの 接地極数	1ブランチ当たりの接地抵抗値	
		$20\Omega/\text{極}$	$65\Omega/\text{極}$
繁華街	2.11	9.49 Ω	30.85 Ω
住宅地区	5.30	3.78 Ω	12.27 Ω
農山村	4.01	4.98 Ω	16.20 Ω

<2・9> 負荷の設定

電灯負荷は力率を100%とした。また、動力負荷は力率を遅れ80%とし、コンデンサにより95%まで補償した。結線（図9）は逆V結線とし、負荷が不平衡とならないよう、隣接幹線ノードにおいて電灯、動力変圧器の接続相が別相になるよう接続した。

図9 変圧器の結線

Fig.9 Connection of transformers

各モデル系統における設備負荷容量⁽²⁾および高圧の容量比は東京電力保有の実績データを基に、表5のように設定した。負荷容量は配電線最大容量とほぼ同等であり、重負荷時を模擬している。

表5 モデル系統別1ノード当たりの負荷容量

Table5. Load capacity for each model

	モデル系統		
	繁華街	住宅地区	農山村
低圧電灯	60.3	95.5	39.5
低圧動力	22.9	21	14.7
高圧電灯	192.3	84	142.5
高圧動力	73.2	18.4	52.8

(kVA/ノード)

<2・10> 事故抵抗値の設定

- (i) 地絡故障抵抗値を40Ωとした。⁽³⁾
(ii) 特別高圧と低圧混触時の接触抵抗を0Ωとした。⁽⁴⁾

<2・11> 通信線の設定

通信線の誘導危険電圧は通信線の片側を接地した際に、もう片端に発生する電圧と定義されていることから、配電線立ち上がりにて接地した。

また、最過酷条件として通信線は配電系統すべてに共架されているものとし、その地上高は実設備と同様に6.1mと5.8mの2ポイントに設定した。

3. 各接地方式におけるシミュレーション

<3・1> 検討内容と制約条件

一線地絡時、特別高圧と低圧混触時および定常時における共架通信線への誘導障害ならびに特別高圧と低圧混触時の低圧線対地電圧上昇の面から検討を行った。

- (i) 共架通信線への誘導障害に関する制約条件⁽⁵⁾

11.4kV配電方式は、既設6kV配電設備の流用を指向するため、通信線との共架は不可避であり、電磁誘導により生じる通信線への誘導電圧が問題となる。

①地絡事故時誘導危険電圧 電力線の地絡・特別高圧と低圧混触事故時に大地へ流れる事故電流により通信線の長さ方向に生じる誘導電圧で、事故電流は変電所において短時間で遮断されることを前提として300Vまで許容されている。

②常時誘導縦電圧 定常時の負荷不平衡、第3n次高調波などの零相電流が常時大地帰路に分流するために生じる誘導電圧であり、通信線に直接接続された宅内機器等の誤動作防止のため、15Vに制約されている。

- (ii) 低圧線対地電圧上昇に関する制約条件

特別高圧と低圧混触事故による低圧配電線対地電圧上昇は低圧機器の絶縁破壊の防止を目的として、「電気設備技術基準の解釈」において1秒以内に事故電流が遮断される場合には600V以内に制約されている。

- (iii) 制約条件の整理

検討内容と制約値をまとめると表6の通りとなる。

表6 検討内容と制約値

Table6. Summary of conditions

発生事象	検討項目	制約値
一線地絡事故	通信線への誘導危険電圧	300V
混触事故	低圧線対地電圧上昇	600V
	通信線への誘導危険電圧	300V
定常時	通信線誘導縦電圧	15V

<3・2> シミュレーション解析手順

シミュレーション解析は、各接地方式毎に事故点の位置、B種接地抵抗値および中性点接地抵抗値（単一抵抗接地方式のみ）をパラメータとして

- ・一線地絡事故時の通信線への誘導危険電圧
- ・特別高圧と低圧混触事故時の低圧線対地電圧上昇
- ・特別高圧と低圧混触事故時の通信線への誘導危険電圧
- ・定常時の通信線誘導縦電圧

について行い、最適な中性点接地方式および中性点接地抵抗値の選定を行った。

<3・3> 共通中性線多重接地方式における解析結果

- (i) 地絡事故時の通信線への誘導危険電圧

地絡抵抗=40Ω

事故点：系統末端 測定点：系統末端

（変電所から系統末端までの距離は表2における詳細モデル系統互長と同距離。以降同様）

$R_b = 20\Omega$

$R_b = 65\Omega$

図10 一線地絡事故時の通信線誘導危険電圧

Fig.10 Induced dangerous voltage on communication line in case of ground fault

誘導危険電圧は電力線と通信線の並行距離につれて増大するため、線路互長の長い農山村モデルにおいて最大となった。

地絡事故時には大地帰路電流の一部が大地からB種接地を通り、共通中性線に流れる。この電流は電圧線を通る事故電流と逆向きであるため両者の磁束は打ち消し合い誘導危険電圧は抑えられる。B種接地抵抗値 $R_b = 65\Omega$ の条件の方が共通中性線へ流れ込む電流が少なくなり、誘導危険電圧は大きくなったが、制約値の300V以内となった。

- (ii) 特別高圧と低圧混触事故時の低圧線対地電圧上昇

事故点：系統末端 測定点：系統末端

$R_b = 20\Omega$

$R_b = 65\Omega$

図11 特別高圧と低圧混触事故時の低圧線対地電圧上昇

Fig.11 Voltage rises in lower-voltage line coming into contact with higher-voltage line

低圧線対地電圧上昇はB種接地抵抗値とそこを流れる事故電流の積となるため、同一モデル系統であれば、B種接地の合成抵抗の大きい、繁華街モデルの方が大きくなる。解析の結果、制約値の600Vを超過するケースがあることが分かった。

(iii) 特別高圧と低圧混触事故時通信線誘導危険電圧

事故点：系統末端 測定点：系統末端

$R_B=20\Omega$

$R_B=65\Omega$

図 1 2 特別高圧と低圧混触事故時の通信線誘導危険電圧
Fig.12 Induced dangerous voltage on communication line with lower-voltage line coming into contact with higher-voltage line

一線地絡事故時と同様に誘導危険電圧は電力線と通信線の並行距離につれて増大するため、線路互長の長い農山村モデルにおいて最大となった。事故電流は架空共同地線に流れ込み、その一部がB種接地を通り一部大地へ分流することになる。B種接地抵抗値が高くなるとB種接地に事故電流が流れ難くなるため、架空共同地線に流れる帰路電流が大きくなり、その結果、事故電流との磁束の打ち消し合いが大きくなるため誘導危険電圧を抑えられることとなる。さらに、系統全体の合成抵抗値が大きくなるため、事故電流が小さくなる。これらの相乗効果により、B種接地抵抗値の高い $R_B=65\Omega$ の条件の方が電圧上昇は小さくなるが、解析の結果、制約値300Vを超過するケースがあることが分かった。

特別高圧と低圧混触事故時において、制約値を満足しないため、定常時における通信線誘導縦電圧のシミュレーション解析は行わない。

<3・4> 低圧多重接地方式における解析結果

(i) 一線地絡事故時の通信線への誘導危険電圧

地絡抵抗=40Ω

事故点：系統末端 測定点：系統末端

$R_B=20\Omega$

$R_B=65\Omega$

図 1 3 一線地絡事故時の通信線誘導危険電圧

Fig.13 Induced dangerous voltage on communication line in case of ground fault

共通中性線多重接地方式の場合と同様、線路互長が長い農山村モデル、B種接地抵抗値の大きい $R_B=65\Omega$ の条件で最大となるが、制約値の300Vを下回った。

(ii) 特別高圧と低圧混触事故時の低圧線対地電圧上昇

事故点：系統末端 測定点：系統末端

$R_B=20\Omega$

$R_B=65\Omega$

図 1 4 特別高圧と低圧混触事故時の低圧線対地電圧上昇
Fig.14 Voltage rises in lower-voltage line coming into contact with higher-voltage line

共通中性線多重接地方式の場合と同様に、B種接地の合成抵抗の大きい場合、すなわち互長が短いほど電圧上昇は大きくなる。

(iii) 特別高圧と低圧の混触事故時通信線誘導危険電圧

事故点：系統末端 測定点：系統末端

$R_B=20\Omega$

$R_B=65\Omega$

図 1 5 特別高圧と低圧混触事故時の通信線誘導危険電圧
Fig.15 Induced dangerous voltage on the communication line with lower-voltage line coming into contact with higher-voltage line

共通中性線多重接地方式の場合と同様、線路互長の長い農山村モデルが厳しい値となり、B種接地抵抗値が小さい方がより過酷となった。

制約値を満足しないため、定常時における通信線誘導縦電圧のシミュレーションは行わない。

<3・5> 単一抵抗接地方式における解析結果

単一抵抗接地方式においては中性点接地抵抗値をパラメータとして変化させ、解析を行った。

(i) 一線地絡事故時の通信線への誘導危険電圧

$R_n=5\sim 50\Omega$, 地絡抵抗=40Ω

事故点：系統末端 測定点：系統末端

$R_B = 20 \Omega$ $R_B = 65 \Omega$

図 16 一線地絡事故時の通信線誘導危険電圧

Fig.16 Induced dangerous voltage on the communication line in case of ground fault

中性点を抵抗接地とすることにより、地絡、混触時の事故電流は直接接地の共通中性線多重接地方式、低圧多重接地方式と比べ小さくなり、通信線への誘導危険電圧や低圧線対地電圧上昇は緩和される。

多重接地方式と同様に誘導危険電圧は、線路互長の長い農山村モデルにおいてB種接地抵抗値 $R_B = 65 \Omega$ の時により大きくなった。

中性点接地抵抗値が低いと事故電流が大きくなるため、誘導危険電圧も大きくなるが、制約値内に収まっている。

(ii) 特別高圧と低圧混触事故時の低圧線対地電圧上昇

$R_n = 5 \sim 50 \Omega$

事故点：系統末端 測定点：系統末端

$R_B = 20 \Omega$

$R_B = 65 \Omega$

図 17 特別高圧と低圧混触事故時の低圧線対地電圧上昇

Fig.17 Voltage rises in lower-voltage line coming into contact with higher-voltage line

多重接地方式と同様に線路互長の短い繁華街モデルにおいて $R_B = 65 \Omega$ の条件で、最大となった。

中性点接地抵抗値が小さいほど事故電流が大きくなるため、対地電圧上昇も大きくなり、制約値の600Vを超過するケースがあるが、中性点接地抵抗値を 20Ω 以上とすることにより制約値を満足できる。

(iii) 特別高圧と低圧混触事故時の通信線への誘導危険電圧

$R_n = 5 \sim 50 \Omega$

事故点：系統末端 測定点：系統末端

 $R_B = 20 \Omega$ $R_B = 65 \Omega$

図 18 特別高圧と低圧混触事故時の通信線誘導危険電圧

Fig.18 Induced dangerous voltage on the communication line with lower-voltage line coming into contact with higher-voltage line

多重接地方式と同様の傾向であり、農山村モデルにおいてB種接地抵抗値 $R_B = 20 \Omega$ の条件で、最大となった。

また、一線地絡事故時と同様に中性点接地抵抗値が小さいほど、事故電流が大きくなるため、誘導危険電圧は大きくなり、制約値300Vを超過したケースもあるが、この場合も、中性点接地抵抗値を 20Ω 以上とすることにより制約値を満足できる。

(iv) 定常時通信線誘導縦電圧

基本波+第3調波+第9調波合成値

$R_n = 5 \sim 50 \Omega$

測定点：系統末端

$R_B = 20 \Omega$

$R_B = 65 \Omega$

図 19 常時誘導縦電圧

Fig.19 Induced voltage in the case of normal operation

単一抵抗接地方式については、誘導危険電圧、低圧線対地電圧上昇面で制約条件を満足したため、常時誘導縦電圧についても評価を行った。

11.4 kV配電方式では、電灯変圧器が各相電圧線と中性線との間に接続されるため、各相の第3 n次高調波電流は中性線に流れ込む。第3 n次高調波電流は同相であるため中性線には3倍の第3 n次高調波電流が流れることとなる。ここでは、含有率の高い第3次と第9次の高調波電流を対象として、検討を行った。

高調波は電流源で模擬し、各負荷からの発生としている。

発生量は「特定需要家高調波抑制対策ガイドライン」を参考に、第3次高調波電流は5.83[mA/kVA]、第9次高調波電流は1.95[mA/kVA]と設定した。

負荷が不平衡の場合、中性線を常時電流が流れるため、

(1) 式で表される不平衡指数0.33(設備の管理基準0.3とほぼ同等)の場合についても検討した。

$$\text{※不平衡指数} = \frac{(I_a - I_c)}{(I_a + I_b + I_c)/3} \quad (I_a > I_b > I_c) \quad (1)$$

(I_a, I_b, I_c は特別高圧線の各相電流)

常時誘導電圧は電力線と通信線との離隔が小さいほど高くなる傾向が現れたが、十分低い値であった。

以上の結果より、単一抵抗接地方式においては、中性点接地抵抗値を20Ω以上とすることで、すべての制約条件を満たすことが確認された。

〈3・6〉 中性点接地方式と中性点接地抵抗値の選定

これらの解析から、共通中性線多重接地方式ならびに低圧多重接地方式においては、特別高圧と低圧混触時の低圧線対地電圧上昇、誘導危険電圧が制約値を越えるため、適用できないことがわかった。

単一抵抗接地方式において中性点接地抵抗値を20Ωとした場合の値と比べ、共通中性線多重接地における特別高圧と低圧混触時の低圧線対地電圧上昇は3.3倍程度、誘導危険電圧は3.6倍程度となった。

また、低圧多重接地方式における特別高圧と低圧混触時の低圧線対地電圧上昇は6.5倍程度、誘導危険電圧は4.4倍程度となった。

単一抵抗接地方式については、中性点接地抵抗値を20Ω以上とすることによりすべての制約値を満足できることがわかった。

以上の解析結果を表7に示す。

この結果より中性点接地方式には「単一抵抗接地方式」を、中性点接地抵抗値は20Ω以上を選定した。

表7 各接地方式におけるシミュレーション結果

Table7. The simulation result for each grounding system

発生事象	検討項目	制約値	共通中性線多重	低圧多重	単一抵抗 (Rn=20Ω)
接地絡事故	通信線誘導危険電圧	300V	○ 161.4V	○ 206.0V	○ 146.8V
	低圧線対地電圧上昇	600V	× 1,801.0V	× 3,552.6V	○ 544.1V
混触事故	通信線誘導危険電圧	300V	× 874.1V	× 1,050.0V	○ 239.7V
定常時	通信線誘導電圧	15V	-	-	○ 4.9V

〈3・7〉 架空地線の通信線誘導危険電圧に対する影響

配電系統に敷設されている架空地線は本来、配電線に対する雷害防止が目的であるが、架空地線は架空共同地線と各ノードで接続されており、事故時には架空共同地線と同様に電圧線を通る事故電流と逆方向電流が流れるため、通信線への誘導危険電圧の抑制効果もある。

単一抵抗接地方式において通信線への誘導危険電圧が最も大きい混触事故時の農山村モデルにおいて、架空地線が無い場合の影響を計算した。

理論的には架空地線が無い場合は、有る場合に比べ、事故電流が変電所へ帰還する架空電線路（架空地線「G」と架空共同地線「A」）の合成抵抗値が大きくなるため、大地を介して帰還する事故電流の割合が多くなり、通信線への誘導危険電圧は大きくなるが、実際には、架空地線のインピーダンスが大きいことから、図20に示すとおり、その影響は小さい。

$R_b = 20\Omega$

$R_b = 65\Omega$

図20 架空地線有無時の通信線への誘導危険電圧

Fig.20 Induced dangerous voltage on communication line at the time of ground wire existence

4. シミュレーション解析の妥当性検証

〈4・1〉 実証試験による解析精度の検証

解析精度を確認するために、線路亘長1.2kmの11.4kV試験線路を建設し、模擬実験を行い、その結果と、EMTP/ATP解析を行った結果との比較により、EMTP/ATP解析の妥当性の検証を行った。

(i) 試験線路概要

試験線路の中性点接地方式は単一抵抗接地方式であり、中性点接地抵抗値を変動させ、事故時における系統始端点、中間点、末端地点の通信線誘導危険電圧、低圧線対地電圧上昇、事故電流、接地電流の測定を行った。

試験線路は地中ケーブル部400m、架空線路部808mからなり、亘長は1,208mである。

図21 装柱形態

Fig.21 Assembly of 11.4kV distribution line

表8 ケーブル及び電線の諸元

Table8. Clue origin to electric cable and wire

地中ケーブル	250 [□] (電圧線中性線)
心線導体半径(mm)	9.5
シース導体内半径(mm)	14.7
シース導体外半径(mm)	14.8
外部絶縁体外半径(mm)	18.1
心線導体抵抗率(Ω・m)	1.69×10^{-8}
シース導体抵抗率(Ω・m)	1.69×10^{-8}
導体比誘電率	1
絶縁体比誘電率	1
絶縁体比誘電率	2.35

架空線	240mm ² (電圧線)	120mm ² (中性線)	通信線	架空地線
外径(mm)	20.0	13.6	2.6	6.9
抵抗(Ω/km)	0.0124	0.25	3.48	5.7621

以下に試験結果の一部を示す。

(ii) 試験条件

事故種別：特別高圧と低圧混触事故

事故点：系統末端

図 22 模擬試験回路
Fig.22 Verification test circuit

(iii) 試験結果と解析値との比較

測定点：系統末端

図 23 通信線誘導危険電圧
Fig.23 Induced dangerous voltage on communication line

測定点：系統末端

図 24 低圧線対地電圧上昇
Fig.24 Voltage rises in lower-voltage line

測定点：系統末端

図 25 事故電流
Fig.25 Fault current

測定点：系統末端

図 26 接地電流
Fig.26 Ground current

<4> 検証結果

事故時の各電流の乖離は概ね10%前後となり、良好な結果が得られた。通信線の誘導危険電圧については、測定値に事故電流による接地電圧上昇分が重畳されており、正確な値の把握、比較は困難であるが、末端における乖離が20%程度に収まることが確認できた。

EMTP計算誤差は定常領域において真値に対し-30~+10%程度となっていることが報告⁽⁶⁾されており、今回の解析値も概ねこの範囲に収まっていることから、EMTP/ATPによる解析結果と実験結果は実用上の範囲において一致が十分認められ、EMTP/ATPを用いたモデリングの妥当性が確認できた。

5. あとがき

本論文では、EMTP/ATPを用い、各種制約条件に対する検討を同一モデルにおいて総合的な観点から三相4線式11.4 kV配電系統における中性点接地方式と中性点接地抵抗値の選定を行った。

選定に当たり、各種接地方式毎に一線地絡時の通信線誘導危険電圧、特別高圧と低圧混触時の低圧線対地電圧上昇ならびに通信線誘導危険電圧、定常時における常時誘導縦電圧について検討を行った。

また、解析の妥当性については、実証試験線路における実験結果と同試験線路をモデル化した解析値との比較を行い評価を行った。

以上のことから、11.4kV配電系統の中性点接地方式として単一抵抗接地方式を選定し、中性点接地抵抗値は、誘導障害、特別高圧と低圧混触事故時の低圧線対地電圧上昇面から許容される20Ω以上とした。

これにより、過去に行われた方式より通信線への誘導障害が軽減され、さらに既設6.6 k V設備を活用できる配電方式が可能となった。

(平成 13 年 8 月 28 日受付, 平成 14 年 4 月 12 日再受付)

文 献

- (1)「電気・電子回路解析プログラムEMTP入門」, 電気学会
- (2)「電力系統における高調波とその対策」, 電気協同研究, 第46巻, 第2号
- (3)「Y11. 4 k V配電方式」, 電気協同研究, 第21巻, 第2号
- (4)「共通中性線多重接地方式3相4線式配電線路における電磁誘導」, 電気協同研究, 第23巻, 第1号
- (5)「20 k V級配電方式(架空編)」, 電気協同研究, 第30巻, 第3号
- (6)「EPRI/DOC:EMTP Review, Vol. 4, 1990. 8」

岡 圭介 (正員) 1942年11月3日生まれ。1966年3月
神奈川大学工学部電気工学科卒業。同年4月東京電力(株)入社。主として、
配電関係業務及び配電方式・接地方式
に関わる研究に従事。
現在、同社理事配電部担任。

小泉 覚 (正員) 1961年6月22日生まれ。1987年3月
東京大学大学院工学研究科電気電子工
学専攻修士課程修了。同年4月東京電力
(株)入社。主として、配電系統、配
電機材に関する研究に従事。
現在、同社国際部海外コンサルティング
グループ。

生石 光平 (正員) 1968年7月26日生まれ。1992年3
月神奈川大学工学部電気工学科卒業。同
年4月東京電力(株)入社。主として配
電系統に関する研究に従事。
現在、同社技術開発研究所分散電源技術
グループ。