

「高圧の地絡継電器では方向地絡方向性継電器があるのに、低圧（400V）ではなぜ方向性判別の漏電遮断器がないのでしょうか？」という疑問に答えたいと思います。

はじめに日本の電気システムを少し整理しておきましょう。

日本の場合

1) EHV 系（187 kV 以上の系統、および沖縄県主幹線）

方向距離リレー（事故時の $V_a/I_a, V_{ab}/I_{ab}$ などを判定原理とする）が使われます。

2) 高抵抗接地系（66～154kV 系）

1線地絡時の事故相電流 $I_a = 3 \cdot I_0$ が数百 Amp ほどしか流れないので V_a/I_a 原理のリレーは適用できず、代わりに零相電圧 V_0 と零相電流 I_0 を入力として利用する零相地絡方向リレー（ V_0/I_0 を判定原理とする）が多く使われています。

3) 6kV 配電系統（中性点非接地系）

日本の 6kV 配電系は“非接地系”と称されていますが、厳密に言えば“オープンデルタ結線の CT に高抵抗 R をつないで、1線地絡時に $I_a = 3I_0 = 1 \sim 5$ Amp 程度の地絡電流が流れるようになっています。微小な電流が流れるのですから厳密には微接地方式とでも称すべきかもしれません。1線地絡で地絡電流 I_0 がほとんど流れないので V_0/I_0 式の方向リレーも事実上使えません。一般に長い配電線の地絡事故検出や事故区間検出は容易ではありません。配電線路の途中で樹木接地などが生じても地絡事故検出ができず火災などに進展したら大変ですから、今日も様々なリレー方式の開発の努力が続いています。

4) 工場構内動力系系統

私企業の構内動力系統（変圧器が $\Delta - \Delta$ 結線の 3～20kV 級のばあいなど）では 3) 配電線の場合と大同小異ということになりますが、一般に 1 区間放射系統（直列複数区間構成ではない）である点は有利となります。

5) 工場構内低圧系（600V 以下）

ご質問のあった 400V 回路の場合は文字通りに“中性点非接地”の回路でしょう。これはもう文字通り $I_0 \cong 0$ の系統でしょうから零相電圧と零相電流の大きさと位相関係を比較する判定原理が役に立たない。したがって方向性を判定するリレーが作れないということになります。

ご質問の解答は以上です。

ところで質問の域を超えますが、・・・

このように全くの“非接地方式”とすれば変圧器の三相ベクトル電圧 v_a, v_b, v_c および中性電圧 v_0 (v_a, v_b, v_c の作る電圧三角の中央点の仮想端子電圧) は大地電圧に対して不定のふらふら状態ということになりますから低圧系といえども絶縁とか安全の面では好ましいことではありません。そこで負荷側(例えば3相電動機)中性点で接地をする方式とか、3相4線式にして第4線をアース線とする方式などが採用されます。また、比較的供給範囲が限られた低圧系回路では或る1相(例えばa相)を接地してしまう方式もありえます。この場合、電圧三角形のa相端子が対地電圧0になるのでb相,c相の対地電圧は通常でも $\sqrt{3}$ になることになり、またa相地絡が生じても地絡電流は流れませんがb相(or c相)地絡が生ずれば短絡電流相当の大電流が流れることになります。

いずれにしても“完全非接地”は接地されていないので大地電圧は不安定ということになります。回路の開閉機器操作時の異常現象(開閉失敗・絶縁破壊・鉄共振など)の遠因ともなりますので好ましくありません。対象としている系統の接地状況をしっかり見極めることが肝要です。

以上がご質問に対するとりあえずの解答です。

折角なので、もう少し理論的な補足説明を下記いたします。

それには3相回路を対称座標法の理論に沿って理解する必要があります。

一般に任意の三相回路の事故点Fの仮想端子から回路を見る対称座標法によって定義される正相・逆相・零相 impedance を $Z_1 \cong Z_2, Z_0$ とします。F点の1線地絡が生じた場合のF点の短絡電流と相電圧は下記のごとくになります。

対称座標法の012領域では

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{E_a}{\Delta}$$
$$V_0 = \frac{-Z_0}{\Delta} \cdot E_a, \quad V_1 = \frac{Z_0 + Z_2}{\Delta} \cdot E_a, \quad V_2 = \frac{-Z_2}{\Delta} \cdot E_a \quad \text{式(1)}$$

abc領域に変換すれば

$$I_a = \frac{3 \cdot E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}, \quad i_b = i_c = 0$$
$$V_a = \frac{R}{\Delta} \cdot E_a, \quad V_b = \frac{(a^2 - a)Z_2 + (a^2 - 1)Z_0 + a^2 \cdot 3R}{\Delta} \cdot E_a, \quad V_c = \frac{(a - a^2)Z_2 + (a - 1)Z_0 + a^2 \cdot 3R}{\Delta} \cdot E_a$$

ただし $\Delta = Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R$, $R \cong 0$ (R は地絡点のアーク抵抗でほぼゼロ) 式(2)

さてそこで質問事項に立ち返って、 $\Delta - \Delta$ 接続変圧器の低圧 400V 側回路はいわゆる中性点非接地（零相 impedance $Z_0 = +\infty$ ）とします。この回路で 1 線地絡が発生するとします。この場合は

$$Z_0 = +\infty \quad \frac{Z_1}{Z_0} \cong \frac{Z_2}{Z_0} \cong 0 \quad R \cong 0 \quad \Delta \cong Z_0 \quad \text{式(3)}$$

式(3)の条件を式(2)(3)に当てはめると下式を得ます。

012 領域では

$$I_0 = I_1 = I_2 \cong 0, \quad V_0 \cong E_a, \quad V_1 \cong V_2 \cong 0 \quad \text{式(4)}$$

abc 領域

$$I_a = \frac{3 \cdot E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \cong 0 \quad V_a \cong 0$$

$$V_b = \frac{(a^2 - 1)Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \cdot E_a \cong (a^2 - 1) \cdot E_a = ja\sqrt{3} \cdot E_a \quad \therefore |V_b| \cong \sqrt{3} \cdot |E_a|$$

$$V_c = \frac{(a - 1)Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \cdot E_a \cong (a - 1) \cdot E_a = -ja^2\sqrt{3} \cdot E_a \quad \therefore |V_c| \cong \sqrt{3} \cdot |E_a| \quad \text{式(5)}$$

式(5)より、中性点非接地 1 線地絡では地絡電流はほぼゼロ、ただし健全相の電圧がほぼ $\sqrt{3}$ 倍に跳ね上がることを意味します。また、式(4)より、事故前には $(V_0, I_0) = (0, 0)$ であったのが事故後には

$(V_0, I_0) \cong (E_a, 0)$ となることもわかります。“ほぼ”と書きましたが、実際の 400V 回路では計算の誤差要因として①多少は三相不平衡、②事故点アーク抵抗 R の影響がありますし、また③回路漏れキャパシタンス C による充電電流が少々流れることになるからです。

なお上記は定常計算であり、事故直後において短時間ながら過渡現象を伴うことはいうまでもありません。400V 回路に電動機負荷があるとのことですのでこの過渡現象は少々複雑かつ時間的に長くなるであろうといえます。しかしながらこの過渡期間、をも含めて事故後の地絡電流 I_a ほとんど流れないことには変わりはありません。

(以 上)