

5 系統故障の影響と対策

5.1 1 線地絡時の電圧上昇

無負荷発電機の一線地絡故障で導いた結果から、送電線でも同様に(11 回資料参照)

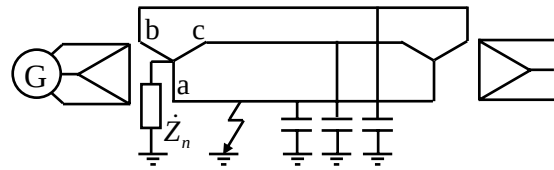
$$\dot{V}_a = \dot{V}_0 + \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = 0$$

$$\dot{V}_b = \dot{V}_0 + \alpha^2 \dot{V}_1 + \alpha \dot{V}_2 = \frac{(\alpha^2 - 1)\dot{Z}_0 + (\alpha^2 - \alpha)\dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_a$$

$$\dot{V}_c = \dot{V}_0 + \alpha \dot{V}_1 + \alpha^2 \dot{V}_2 = \frac{(\alpha - 1)\dot{Z}_0 + (\alpha - \alpha^2)\dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_a$$

$$\alpha = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \alpha^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$\dot{Z}_0, \dot{Z}_1, \dot{Z}_2$ は故障点から見た系統の対称分インピーダンス



通常, $\dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = jX_1$, $\dot{Z}_0 = R_0 + jX_0$ とおける。

$\dot{Z}_0$ は対地静電容量と中性点インピーダンスの和 $\dot{V}_b, \dot{V}_c$ に代入する。 $\dot{V}_c$ が大なので求めると

$$\dot{V}_c = \frac{\left(-\frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \left(\frac{R_0}{X_1} + j\frac{X_0}{X_1}\right) - \sqrt{3}}{\frac{R_0}{X_1} + j\left(2 + \frac{X_0}{X_1}\right)} \dot{E}_a$$

(赤字の 3 は板書の訂正)

$\frac{X_0}{X_1}$ を横軸にとり, $\frac{R_0}{X_1}$ をパラメータとして, $\left|\frac{\dot{V}_c}{\dot{E}_a}\right|$

の値をプロットすると右図

$R_0 = 0, X_0 = 0$ 近傍で健全相の電圧上昇割合が小。

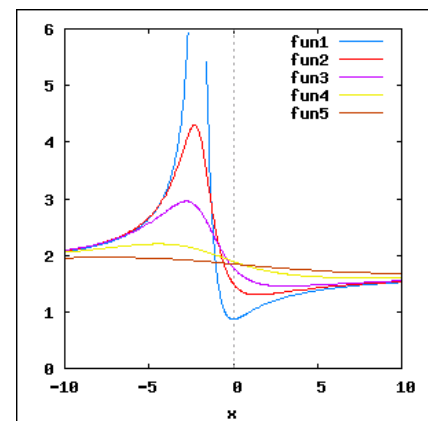
$\frac{R_0}{X_1} \leq 1, 0 \leq \frac{X_0}{X_1} \leq 3$ では $\left|\frac{\dot{V}_c}{\dot{E}_a}\right| \leq 1.4$ である。

電圧上昇を平常時の対地電圧の 1.4 倍以内に制限する条件の接地のことを有効接地とよぶ

青: $\frac{R_0}{X_1} = 0$

順に

1, 2, 5, 10



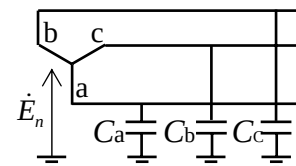
$\frac{X_0}{X_1} = -2, X_0 + X_1 + X_2 = 0$ のとき共振状態となり

で極大値をとる。非接地系のように $\dot{Z}_n \approx \infty$ で, $R_0 \approx 0$ となる場合は共振状態となる非常に高い電圧が出る。

短距離送電線で, $R_0 \approx 0, X_0 \approx 0$ と見なせる場合は, 電圧上昇は小さい。また正相, 逆相インピーダンスの抵抗分を考慮すると, 電圧上昇率は低下する。

中性点残留電圧

中性点非接地系統では, 各送電線の静電容量が等しくない場合は, 中性点に電圧が発生する。各静電容量を流れる電流を求めると



$$\dot{I}_a = j\omega C_a (\dot{E}_a + \dot{E}_n)$$

$$\dot{I}_b = j\omega C_b (\dot{E}_b + \dot{E}_n)$$

$$\dot{I}_c = j\omega C_c (\dot{E}_c + \dot{E}_n)$$

$$\dot{E}_n = -\frac{C_a + \alpha^2 C_b + \alpha C_c}{C_a + C_b + C_c} \dot{E} \text{ より,}$$

非接地だから $\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$ 。よって、

$$\dot{E}_n = -\frac{C_a \dot{E}_a + C_b \dot{E}_b + C_c \dot{E}_c}{C_a + C_b + C_c}, \text{ また}$$

$$\dot{E}_a = E, \quad \dot{E}_b = \alpha^2 E, \quad \dot{E}_c = \alpha E \text{ とおけば}$$

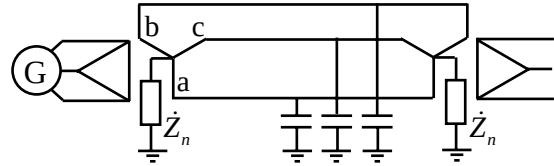
$$E_n = |\dot{E}_n| = \frac{\sqrt{C_a(C_a - C_b) + C_b(C_b - C_c) + C_c(C_c - C_a)}}{C_a + C_b + C_c} E$$

66kV 系では 50~500V 程度となる。

5.2 中性点接地方式

中性点接地の目的

- ・一線地絡等に起因する異常電圧の抑制と、各相対地電圧の上昇防止、機器絶縁保護
- ・地絡故障時の保護継電器の動作を確実にし、高速な選択遮断を実現する
- ・消弧リアクトル接地方式では、地絡電流(アーク放電)を早期に消滅させ、送電の継続を可能にする



通常変圧器の Y 結線の中性点を接地する

非接地方式: 低電圧・短距離送電

利点

$$\text{地絡電流小: } \dot{I}_g = \frac{\dot{E}_a}{R + (j3\omega C_s)^{-1}} \approx j3\omega C_s \dot{E}_a$$

誘導障害(後述)小, 地絡時に送電系継続可能, 変圧器を Δ 結線にできるため Y 結線でも送電継続可能, 施設費が少ない

欠点

線路の対地静電容量の影響が大, 異常電圧の発生が起こりやすい, 高圧送電系統には使えない

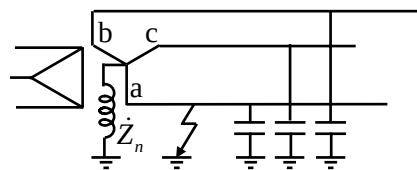
消弧リアクトル接地方式

a 相で一線地絡発生,

$$|\dot{V}_{ba}| = |\dot{V}_{ca}| = V = \sqrt{3}E, \quad \begin{aligned} \dot{I}_b &= j\omega C_s \dot{V}_{ba} \\ \dot{I}_c &= j\omega C_s \dot{V}_{ca} \end{aligned}$$

$$\dot{I} = \dot{I}_b + \dot{I}_c = j\omega C_s (\dot{V}_{ba} + \dot{V}_{ca})$$

$$|\dot{I}| = \sqrt{3}\omega C_s V = 3\omega C_s E$$



$$\dot{I}_L = \frac{\dot{E}_a}{j\omega L_e}, \quad |\dot{I}_L| = \frac{E}{\omega L_e}. \quad |\dot{I}| = |\dot{I}_L| \text{ より}$$

$$\omega L_e = \frac{1}{3\omega C_s} \text{ のとき地絡電流が 0 となる。}$$

利点

対地静電容量大でも一線地絡電流小, アークが消弧し易く自動的に故障が回復する, 送電の継続が可能, 電磁誘導障害小,

欠点

対地静電容量が変更になるとリアクタンス値を変更する必要がある, 地絡電流小のため地絡継電器の動作困難, 施設費が高い, 断線故障などで異常電圧発生,