

第13回の内容

- ・ 系統故障による電圧上昇
- ・ 中性点接地方式
- ・ 誘導障害

キーワード: 抵抗接地, 直接接地, 消弧リアクトル
中性点残留電圧,

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)

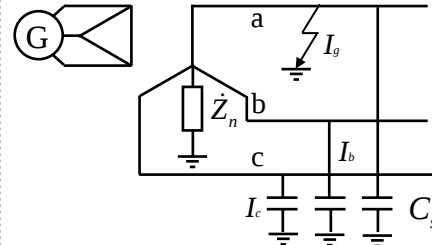
故障点から見た系統の対称分インピーダンスを $\dot{Z}_0, \dot{Z}_1, \dot{Z}_2$ とすれば

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

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

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

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



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(接地抵抗なども含めた零相回路)の和

$\dot{V}_b, \dot{V}_c$ に代入する。例えば $\dot{V}_c$ は

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

$\frac{X_0}{X_1}$ 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

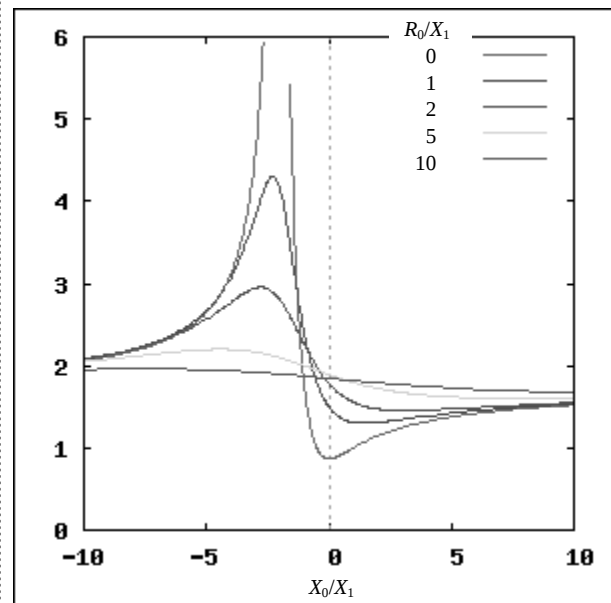
$R_0 = 0, X_0 = 0$ 近傍で健全相の電圧上昇割合が小であるので, 直接接地が有効。

$\frac{R_0}{X_1} \leq 1, 0 \leq \frac{X_0}{X_1} \leq 3$ 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

$\frac{X_0}{X_1} = -2$ で電圧上昇率大, この条件は

$X_0 + 2X_1 = X_0 + X_1 + X_2 = 0$ 。非接地系のように $\dot{Z}_n \approx \infty$ で, となる場合は零相回路のキャパシタンスと共振状態となって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。(ここでの R_0 は零相回路の抵抗分で, 中性点インピーダンスそのものではない, 接地抵抗など)

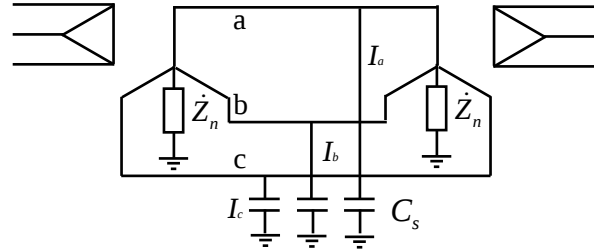
5.2 中性点接地方式

中性点接地の目的

- ・一線地絡故障時の健全相の対地電圧上昇を抑制し、機器絶縁を保護
- ・地絡電流を検出して、故障電流のしゃ断を確実にする
- ・消弧リアクトル接地方式では、地絡電流(アーク放電)を直ちに消滅させ、送電を継続する(通常変圧器のY結線の中性点を接地する)

種類

- ・非接地方式 $Z_N = \infty$
- ・抵抗接地方式 $Z_N = R$
- ・直接接地方式 $Z_N \approx 0$
- ・消弧リアクトル接地方式 $Z_N = jX_L$



非接地方式

- ・主に6.6kVの配電系統、また30kV以下の小規模な送電系統
- 地絡電流小のため誘導障害小,
- 地絡時に送電系継続可能, 変圧器をΔ結線にできるためV結線でも送電継続可能
- 施設費が少ない

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

抵抗接地方式

- ・154kV以下の送電系統に広く利用
- 抵抗値: 220kV: 30Ω, 154kV: 400~900Ω, 66kV: 200~400Ω
- 誘導障害の軽減
- 故障電流の制限, 過渡安定度の向上
- ..地絡電流の減少により検出感度低下
- ・1線地絡故障時の健全相対地電圧は $\sqrt{3}$ 倍以上

直接接地方式

- ・直接接地: 187kV以上の送電系統で広く採用
- 地絡電流が大きく保護継電器が確実動作
- 故障時の健全相の対地電圧上昇はほぼ無
- ×地絡電流が大きく誘導障害が大
- ×大電流遮断が必要

消弧リアクトル接地方式

- ・66~154kV系統で、主に紙ら理の多発地域で使用される(高価、タップ選択が煩雑のため、最近では採用が少ない)
- 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,

- ×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,

消弧リアクトル接地方式の原理

送電線 1 線と対地間の静電容量の 3 倍と並列共振になるリアクトルで接地する方式 $1/\omega L_e = 3\omega C_s$

a 相で一線地絡時の送電線対地容量により流れる対地電流は $\dot{I}_{ba} = j\omega C_s \dot{V}_{ba}$, $\dot{I}_{ca} = j\omega C_s \dot{V}_{ca}$

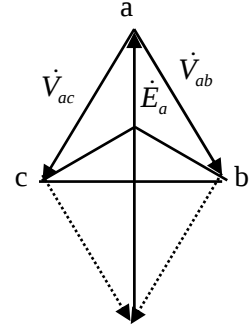
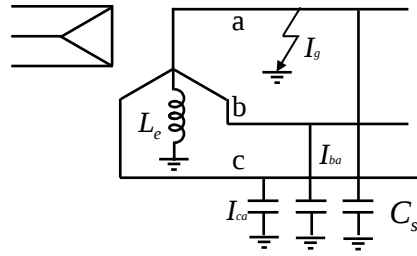
$$|\dot{V}_{ba} + \dot{V}_{ca}| = 2|\dot{V}_{ba}|\cos(\pi/6) = \sqrt{3}|\dot{V}_{ba}| = 3E_a,$$

$$\dot{I} = \dot{I}_{ba} + \dot{I}_{ca} = j\omega C_s (\dot{V}_{ba} + \dot{V}_{ca}) \text{ より } I = 3\omega C_s E_a$$

$$\text{リアクトル電流は } I_L = \frac{E_a}{j\omega L_e} = -j \frac{E_a}{\omega L_e}$$

よって地絡電流は

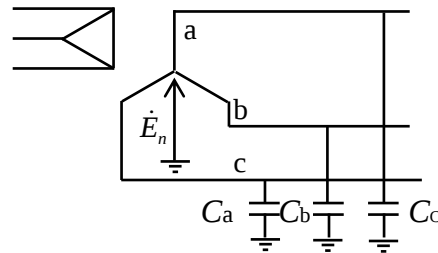
$$I_g = 3j\omega C_s E_a - j \frac{E_a}{\omega L_e} = j \left(3\omega C_s - \frac{1}{\omega L_e} \right) E_a$$



より $1/\omega L_e = 3\omega C_s$ で零。

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



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

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

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

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

$$\dot{E}_n (C_a + C_b + C_c) + C_a \dot{E}_a + C_b \dot{E}_b + C_c \dot{E}_c = 0$$

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

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

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

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

66kV 系では 50~500V 程度となる。

5.3 誘導障害

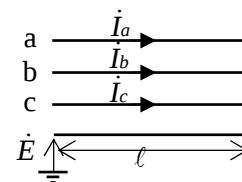
電磁誘導(通信線への電磁誘導)

送電線の電流によって通信線に誘導される電圧は、相互インダクタンスを L_m とすれば

$$\dot{E} = -j\omega L_m \ell (\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c) = -j\omega L_m \ell \times 3\dot{I}_0$$

電磁誘導電圧は零相電流によって誘起される。

よって電磁誘導は一線地絡(または断線)時の地絡電流が大きい直接接地方式で問題になる。



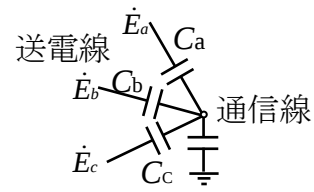
電磁誘導を低減するには、事故電流を高速遮断する方法、架空地線材料を鉄ではなく銅やアルミを使用して零相電流による磁束を打ち消す方法がある。

静電誘導

送電線からの通信線への静電誘導によって流れる電流を考えると

$$j\omega C_0 = C_a(\dot{E}_a - \dot{E}_s) + C_b(\dot{E}_b - \dot{E}_s) + C_c(\dot{E}_c - \dot{E}_s)$$

よって、 $\dot{E}_s = \frac{C_a\dot{E}_a + C_b\dot{E}_b + C_c\dot{E}_c}{C_a + C_b + C_c + C_0}$ 、送電線が十分にねん架されているときは



$\dot{E}_s = \frac{3C_a\dot{E}_0}{3C_a + C_0}$ となり、電力線の零相電圧によって誘導される。

静電誘導の低減には、シールド線を使用する。