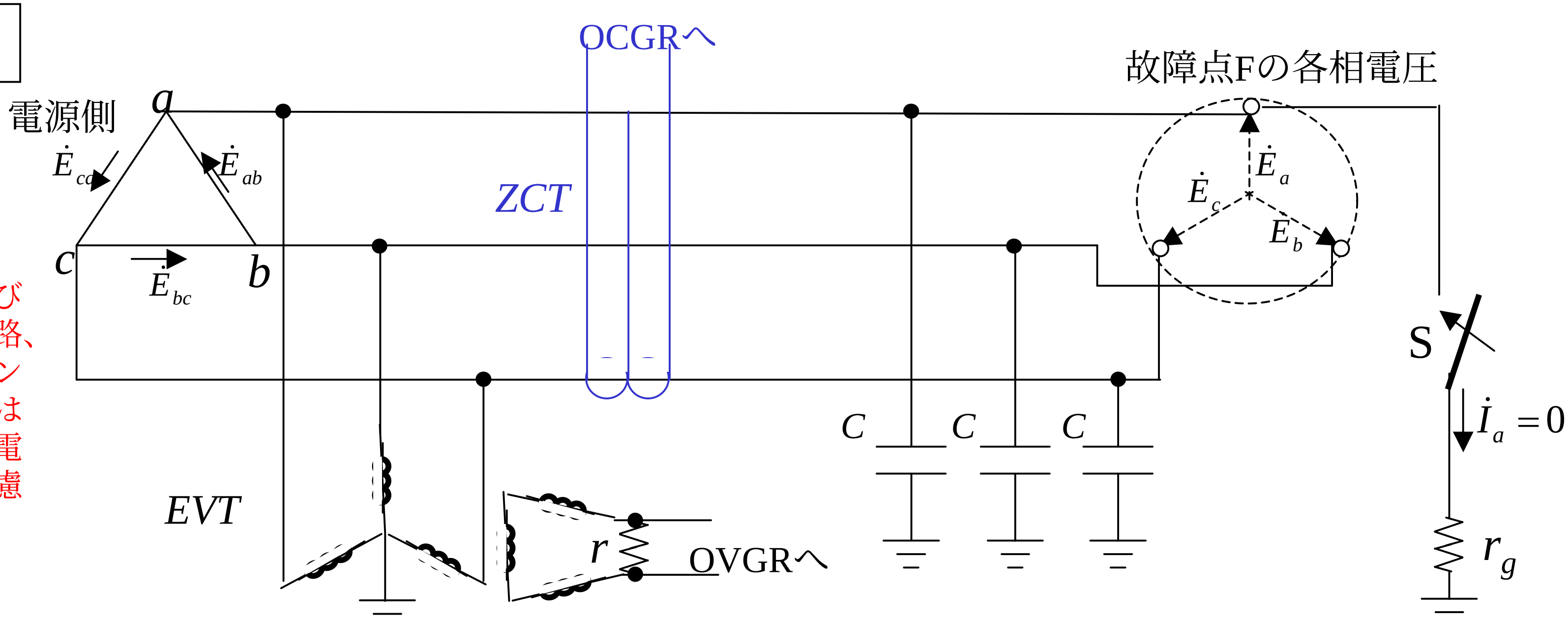
高圧配電線(非接地)の1線地絡および高低圧混触時の計算

高圧配電線(一般に非接地)で1線地絡(高低圧混触も同じ)が起きると、線路電圧、故障点抵抗と線路の対地静電容量(および接地変圧器(EVT、GPT)の等価接地抵抗)によって地絡電流が流れる。高低圧混触のときは、接地点での対地電圧は150V以下にすることが電気設備技術基準により定められている。
事故の検出には高圧側に零相変流器ZCTと接地変圧器(EVT、GPT)を設置し、地絡過電流継電器OCGRと地絡過電圧継電器OVGRおよびその組合せによって行うのが一般的である。

1線地絡



図a

正相分および逆相分の線路、変圧器のインピーダンスは無視し、静電容量のみ考慮する

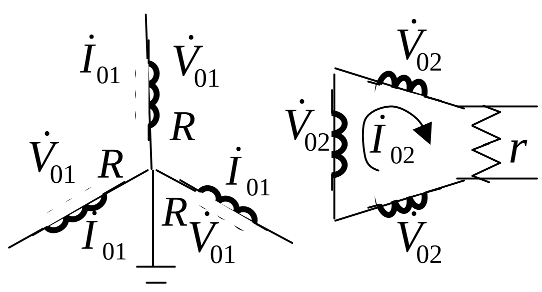
鳳ーテブナンの定理

図aで故障点FでスイッチSを閉じれば故障時の回路になるが、この状態は鳳ーテブナンの定理によって、次ページの図bと図cの重ね合わせによるものと同じである。図bでは故障点に電流は流れないから、図cによって故障時の電流が求められる。

EVTの部分

右図から、制限抵抗rを一次側に換算すると、各相当りRになるとすれば巻数比をnとして

$R = \dfrac{n^2 r}{3}$となる。



$V_{01} = nV_{02}$, $I_{01} = I_{02}/n$

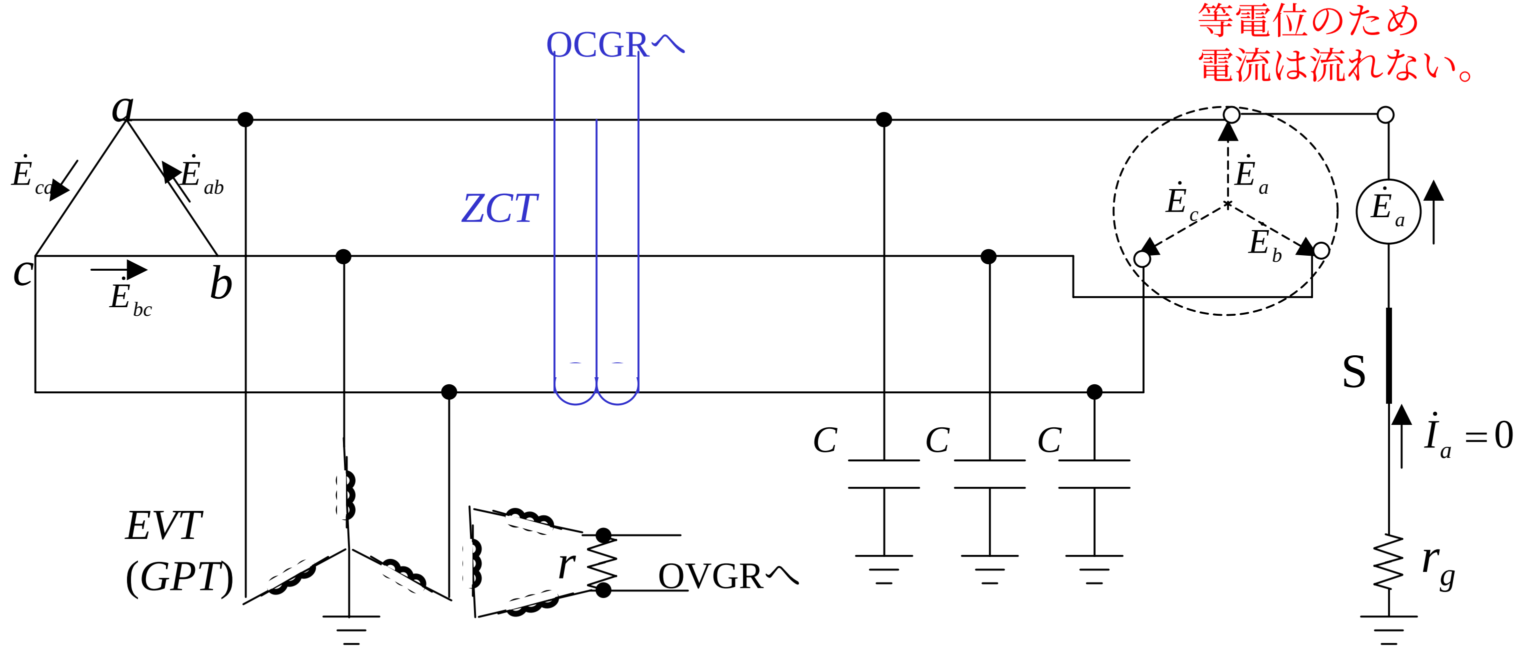
$I_{02} = 3V_{02}/r$

$\therefore R = V_{01}/I_{01} = n^2 V_{02}/I_{02}$

$= n^2 r/3$

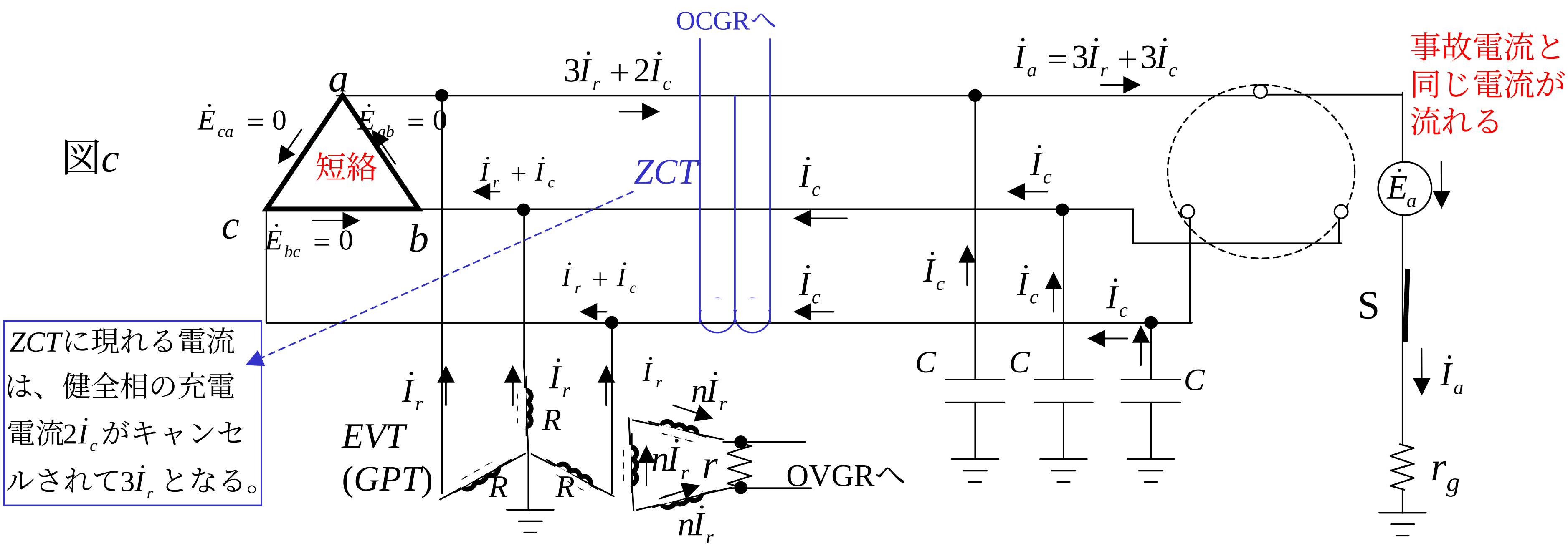
$\rightarrow$ 2次側各相に$r/3$ずつ配分されているのと同じである。

図b



等電位のため
電流は流れない。
OCGRへ
ZCT
EVT
(GPT)
OVGRへ
C
S
$\dot{I}_a = 0$
r_g

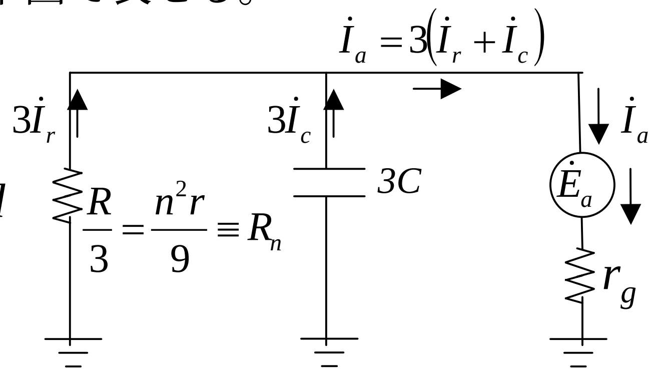
図c



OCGRへ
$3\dot{I}_r + 2\dot{I}_c$
$\dot{I}_a = 3\dot{I}_r + 3\dot{I}_c$
事故電流と
同じ電流が
流れる
$\dot{E}_{ca} = 0$
$\dot{E}_{ab} = 0$
$\dot{E}_{bc} = 0$
短絡
ZCT
ZCTに現れる電流は、健全相の充電電流$2\dot{I}_c$がキャンセルされて$3\dot{I}_r$となる。
EVT
(GPT)
OVGRへ
$n\dot{I}_r$
S
r_g

図c から1線地絡事故時の等価回路は下図で表せる。

図d



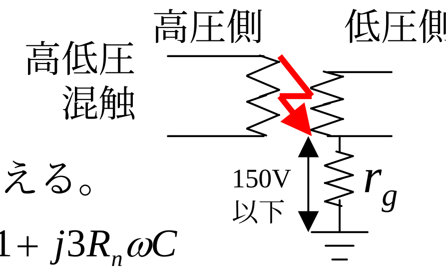
$$\dot{I}_a = \frac{\dot{E}_a}{r_g + \dfrac{1}{1/R_n + j3\omega C}}$$

$$= \dot{E}_a \frac{1/R_n + j3\omega C}{1 + r_g/R_n + j3\omega C r_g}$$

$$= \dot{E}_a \frac{1 + j3R_n\omega C}{R_n + r_g + j3R_n r_g \omega C}$$

高低圧混触を考える場合は、
変圧器の低圧側の接地抵抗を、
対地電圧の制限値150 [V]から
$|I_a| r_g \le 150$として求める。
右欄参照

高低圧混触時の対地電圧
接地抵抗、地絡電流



1線地絡の場合と全く同じに扱える。

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{E}_a}{r_g + \dfrac{1}{1/R_n + j3\omega C}} = \dot{E}_a \frac{1 + j3R_n\omega C}{R_n + r_g + j3R_n r_g \omega C}$$

高低圧混触を考える場合は、変圧器の低圧側の接地抵抗を、制限電圧$\le 150V$から$|I_a| \le \dfrac{150}{r_g}$として求める。

$$\left| \frac{\dot{E}_a (1 + j3R_n\omega C)}{R_n + r_g + j3R_n r_g \omega C} \right| = |\dot{E}_a| \sqrt{\frac{1 + (3R_n\omega C)^2}{(R_n + r_g)^2 + (3R_n r_g \omega C)^2}} \le \frac{150}{r_g}$$

これから両辺を2乗してr_gの2次式として解く。

簡略計算法

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{E}_a}{r_g + \dfrac{1}{1/R_n + j3\omega C}}$$から、$\dot{E}_a - \dot{I}_a r_g = \dot{I}_a (1/R_n + j3\omega C)$

$|\dot{E}_a - \dot{I}_a r_g| = E_a - I_a r$、すなわち、$\dot{E}_a$と$\dot{I}_a r_g$が同相と見なせるとき、$\dot{I}_a = (E_a - I_a r)\left(\dfrac{1}{R_n} + j3\omega C\right)$

からI_aとr_gを求める。

別解　対称座標法の応用として求める方法

対称座標法による故障計算によれば、a相の1線地絡時の対称分電流は、

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_a}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$、また、$\dot{I}_a = 3\dot{I}_0$

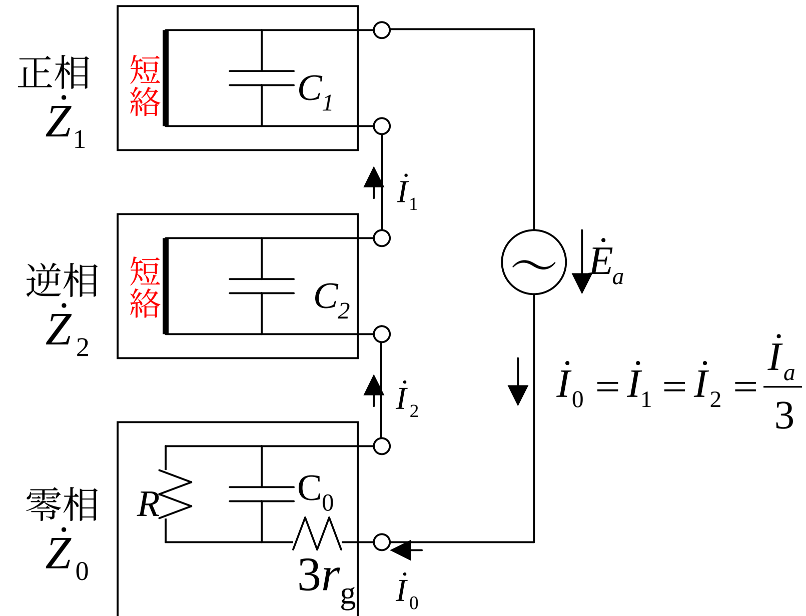
線路および変圧器の正相、逆相のZを無視した場合、静電容量分は変圧器の $Z_T = 0$ で短絡されるので、$\dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = 0$となる。(右上図$e$)

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_a}{\dot{Z}_0} = \frac{\dot{I}_a}{3}$$ となり、零相回路で計算できる。零相インピーダンス$\dot{Z}_0$は、系統内部電圧源を短絡し、故障点で3線一括したときの系統内部インピーダンスの3倍であり、図cから図fで表せる。そして、図f のインピーダンスを$\frac{1}{3}$倍すれば $\dot{I}_a$が流れる図dになる。

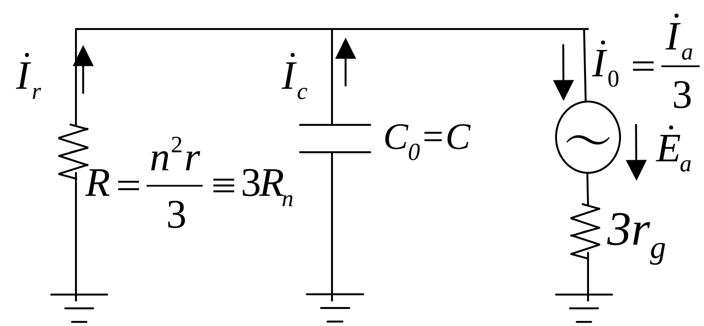
$$\dot{Z}_0 = 3\left(r_g + \frac{1}{1/R_n + j3\omega C}\right) = 3r_g + \frac{1}{1/(3R_n) + j\omega C}$$

$$\dot{I}_a = 3\dot{I}_0 = \frac{3\dot{E}_a}{\dot{Z}_0} = \frac{\dot{E}_a}{\dot{Z}_0/3} = \frac{\dot{E}_a}{r_g + \dfrac{1}{1/R_n + j3\omega C}}$$、この

分母は、$\dot{Z}_0/3$で、故障点3線一括時のZ に等しい。



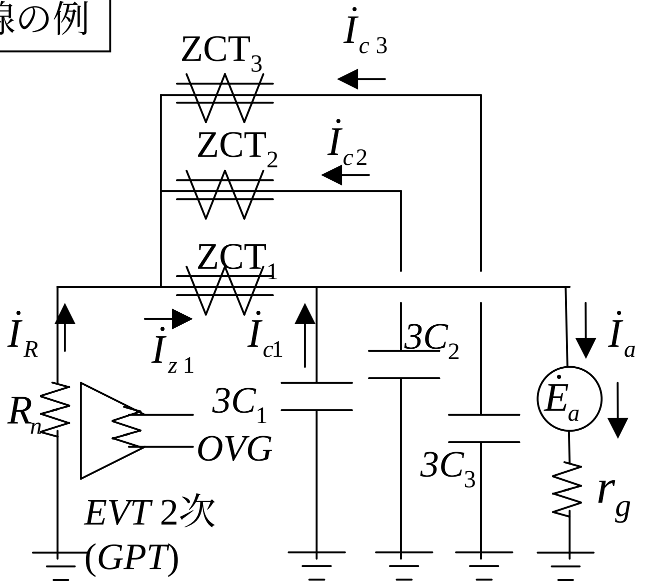
図e



図f

高圧配電線が複数回線ある場合の事故線検出法

3回線の例

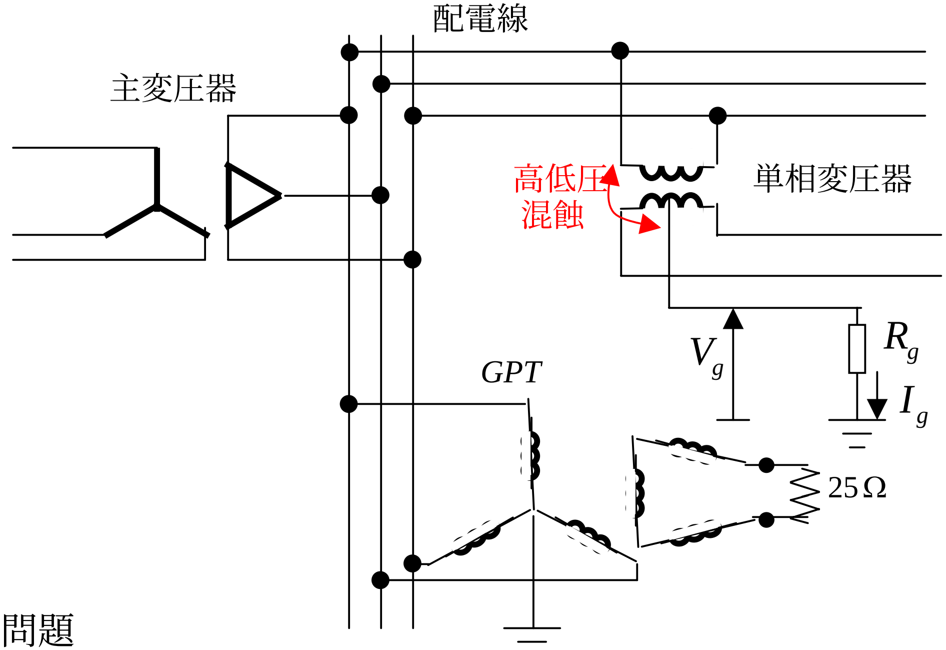


各線の送端に設置した零相変流器 ZCT の見る零相電流は健全回線では $\dot{I}_{c2}, \dot{I}_{c3}$ のように母線側に向かっているが、故障回線では

$\dot{I}_{z1} = \dot{I}_R + \dot{I}_{c2} + \dot{I}_{c3}$ となり、

虚数部分が逆向きになるので、区分可能であり、さらに、地絡過電圧OVGと組み合わせて電力検出型の継電装置を作ることによっても明確に区分できる。

例題(電験II種平成20年抜粋)



問題

図に示す6600[V], 50[Hz]の3相3線式配電線で、6.6[kV]/110[V]単相変圧器内部で高低圧混触が起き、1線がB種接地(抵抗Rg)を通じて地絡した場合について次の問に答えよ。ただし、配電線亘長は10[km]、1線当りの対地静電容量は0.01[$\mu F/km$]、接地形計器用変圧器(GPT)二次側開放三角結線端子間の抵抗は25[Ω]、GPTの変成比は6600[V]/110[V]とし、逆相分およびその他の定数は無視するものとする。

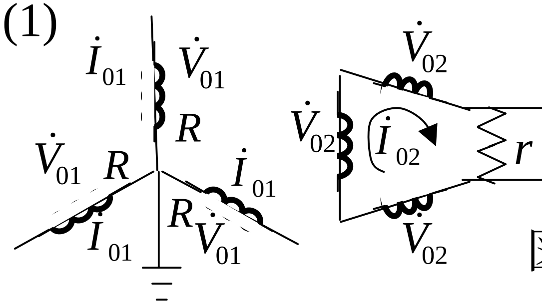
(1) GPTの1次側換算等価中性点抵抗値Rnを求めよ。

(2)高低圧混触時の高圧系統の等価回路を図示せよ。

(3)Vgを150[V]以内にするためのRgの最大許容値およびその際の電流値Igを求めよ。ただし、事故点の常時相電圧とVg は同相と見なしてよい。

略解

(1)



図A

$$\boxed{\begin{aligned} &V_{01}=nV_{02},\quad I_{01}=I_{02}/n\\ &I_{02}=3V_{02}/r\\ &\therefore R=V_{01}/I_{01}=n^2V_{02}/I_{02}\\ &\quad =n^2r/3 \end{aligned}}$$

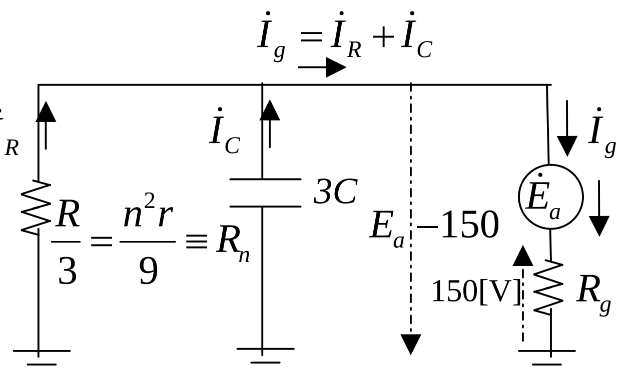
$\rightarrow$ 2次側各相に $r/3$ ずつ配分されているのと同じである。

$n=6600/110=60,\ r=25$

$R=n^2r/3,$

$R_n=R/3=n^2r/9=60^2\times25/9=10000[\Omega]$

(2)



図B

(3)

題意により

$$\left|\dot{E}_a-\dot{I}_gR_g\right|=E_a-I_gR_g=E_a-150$$

および図Bから、

$$\dot{I}_g=\left(E_a-150\right)\times\left(\frac{1}{R_n}+j\omega3C\right)$$

$E_a=6600/\sqrt{3}\approx3810.5,$

$R_n=1.0\times10^4,$

$\omega=2\pi\times50=314.169,$

$C=0.01\times10\times10^{-6}=1\times10^{-7}$

$\omega3C=314.169\times3\times10^{-7}=0.0942507\times10^{-3}$

$$\dot{I}_g=\left(3810.5-150\right)\times\left(\frac{1}{10^4}+j0.0942507\times10^{-3}\right)$$

$=3660.5\times\left(0.1+j0.0942507\right)\times10^{-3}$

$=\left(366.1+j345.0\right)\times10^{-3}$

$\left|\dot{I}_g\right|=503\times10^{-3}[A]$

$R_g=150/0503=298[\Omega]$