

ZCTの動作原理の話

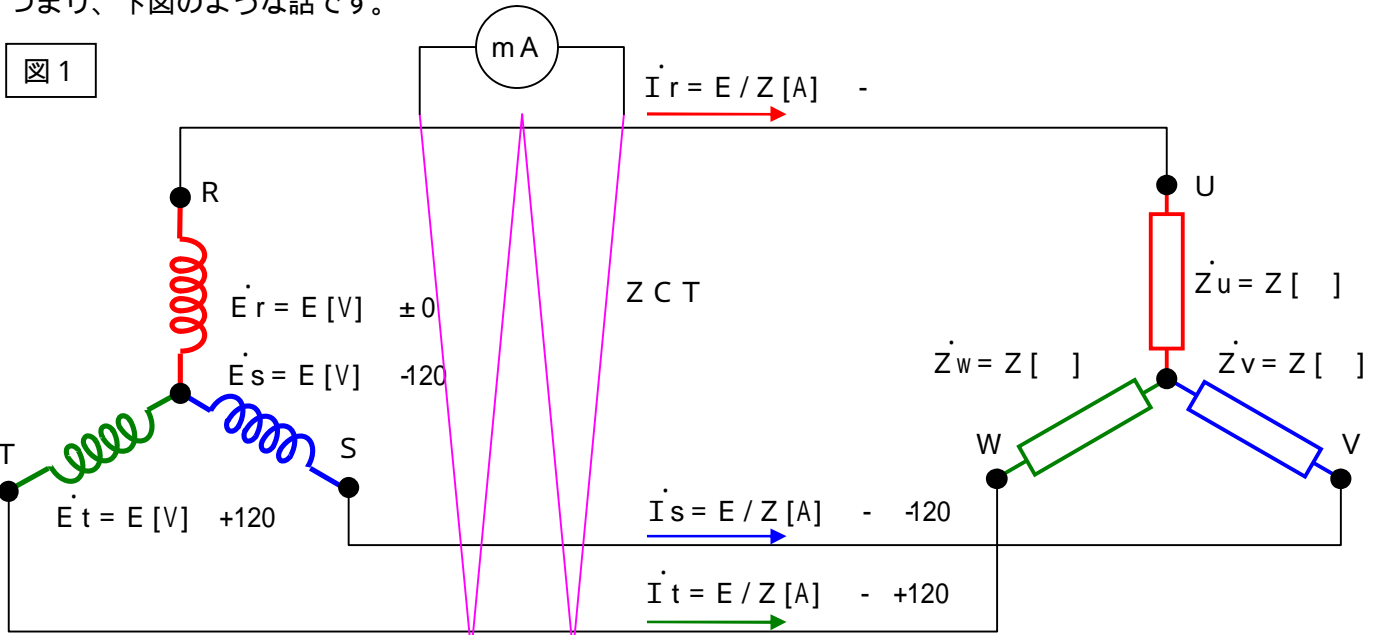
dende さんこんにちは
 今回のお題はZCTの動作原理です。
 普段よく見かける電気機器ですが、基本的な所をおさらいしましょう。

平成 鹿年 骨月 吉日
 貧電工附属 さいたまドズニールランド大学 学長 鹿の骨

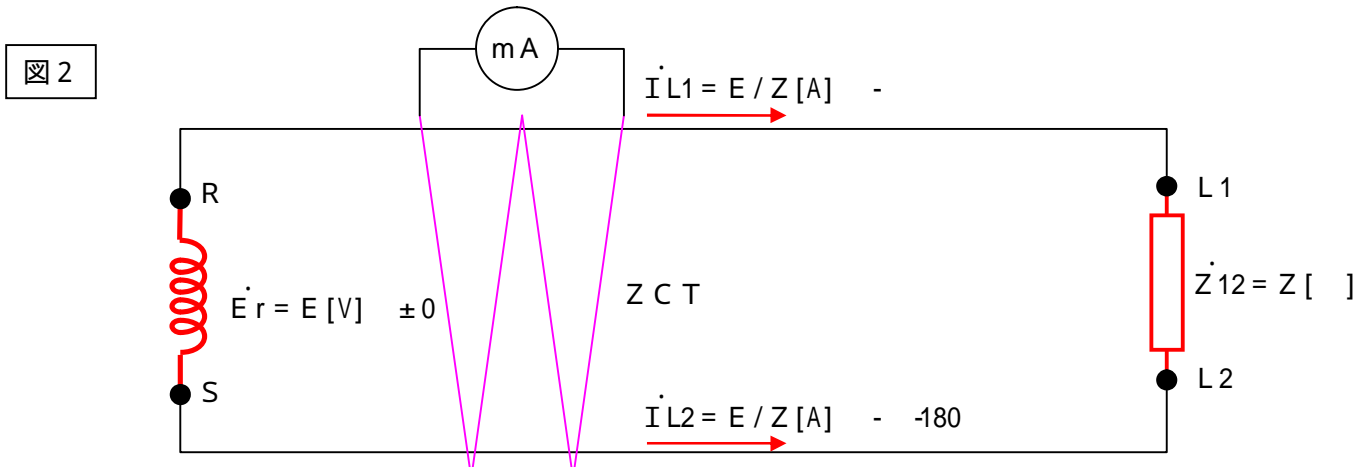
ZCTは漏電を検出する非常に大事な電気機器で、低圧高圧特別高圧など交流回路の色々な所で使用されています。

ZCTは、ZCTを貫通している電線に流れている電流のベクトル和がゼロになるかならないかを検出します。電流のベクトル和がゼロになると、ZCTに誘電する起電力がゼロになりますので、ZCTには電流が流れません。

つまり、下図のような話です。



三相平衡電圧電圧電源に三相平衡負荷を接続すると三相平衡電流が流れ、線電流のベクトル和はゼロになる。従って、ZCTに流れる電流はゼロになるので漏電では無いことが解る。



単相の場合、図の様に電流方向を定義する。

負荷から電源に帰る電流を の方向に取り、 $\dot{I}_{L1} = E/Z [A] -$ としてしまうと、行きと帰りの電流のベクトル和が次のような式になり、混乱する。

2線の電流のベクトル和 = $E/Z [A] - + E/Z [A] - = 2E/Z [A] -$? < == ナンジャコリヤ

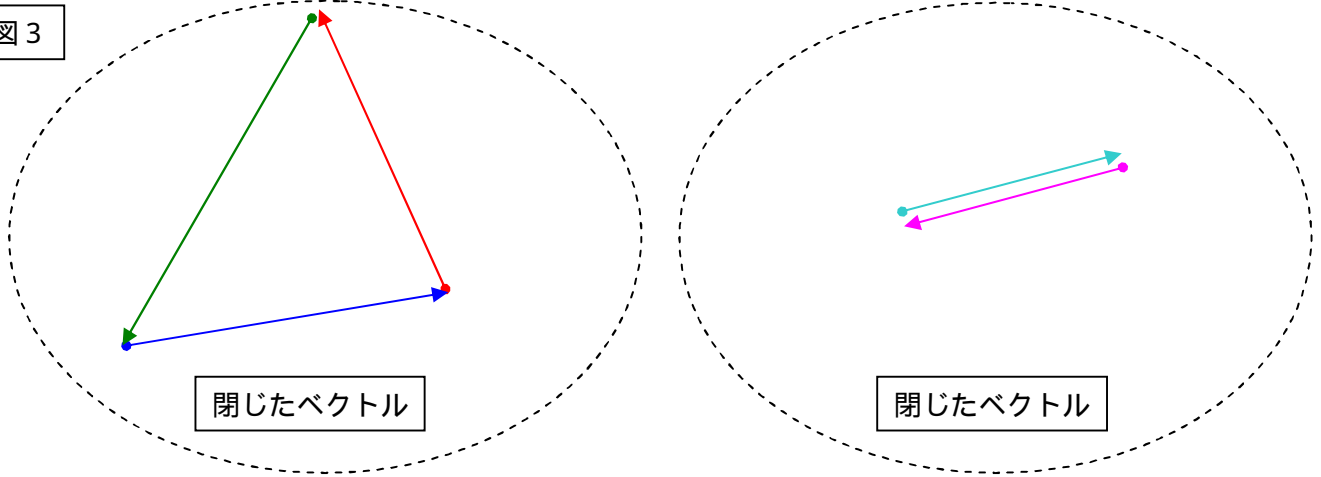
三相の場合と同様に、電源から出ていく方向を正方向として、電流を定義する。

電流のベクトル和 = $\dot{I}_{L1} + \dot{I}_{L2} = E/Z [A] - + E/Z [A] - -180 = 0$

予備知識

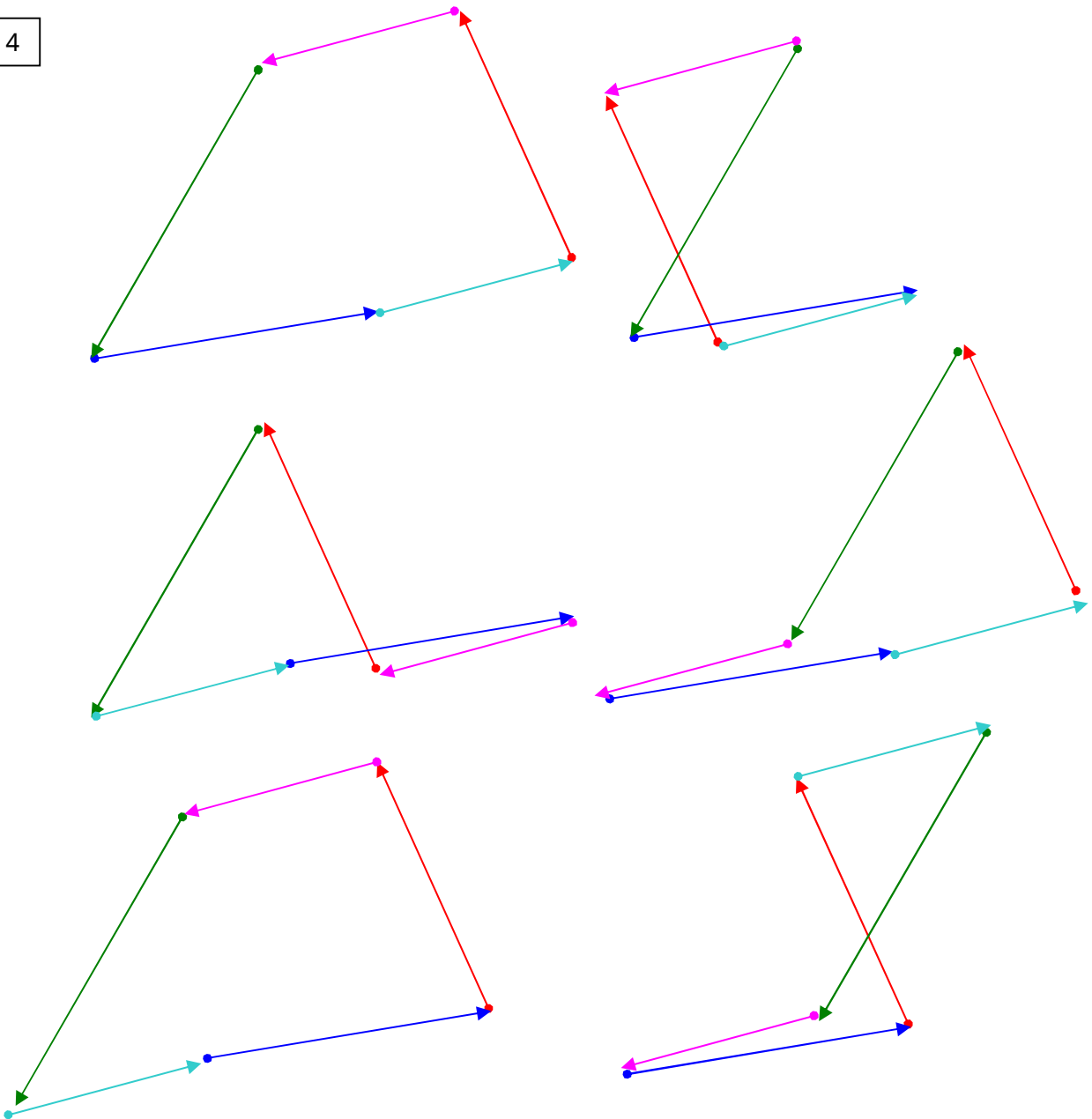
下記のような和がゼロになるベクトルを「閉じたベクトル」と言います。

図3

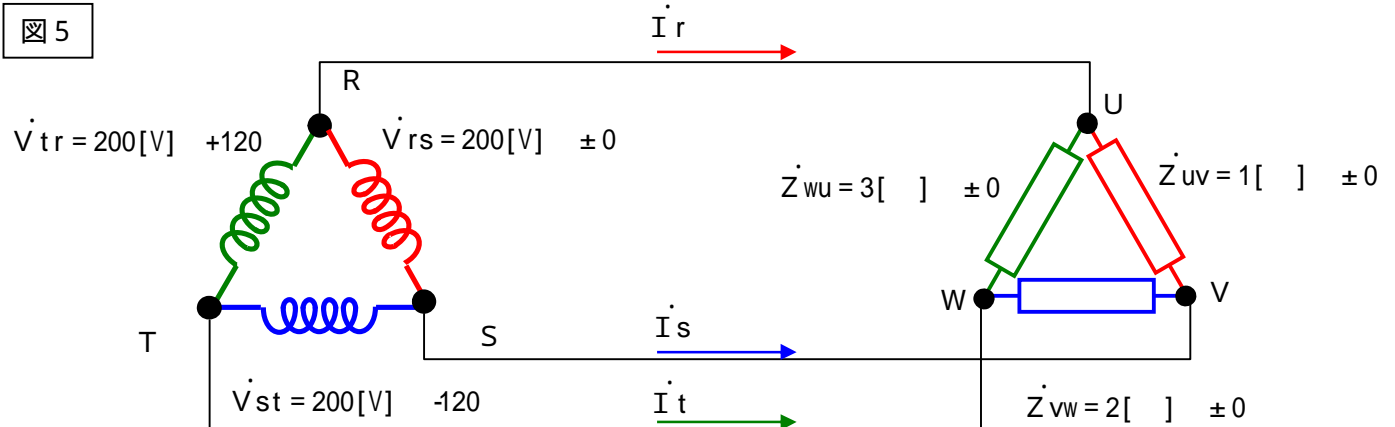


「閉じたベクトル」+「閉じたベクトル」も「閉じたベクトル」になります。
下図のようにどのような配置にしても必ず閉じます。(和がゼロになる。)

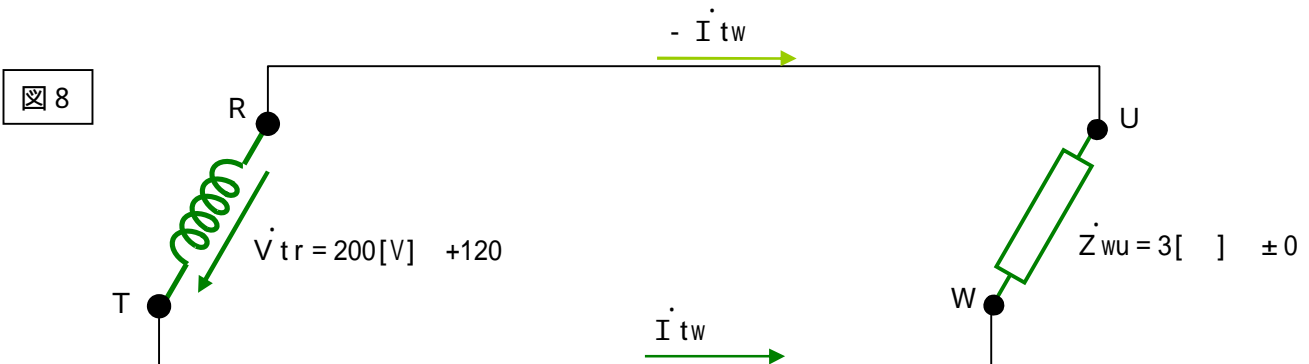
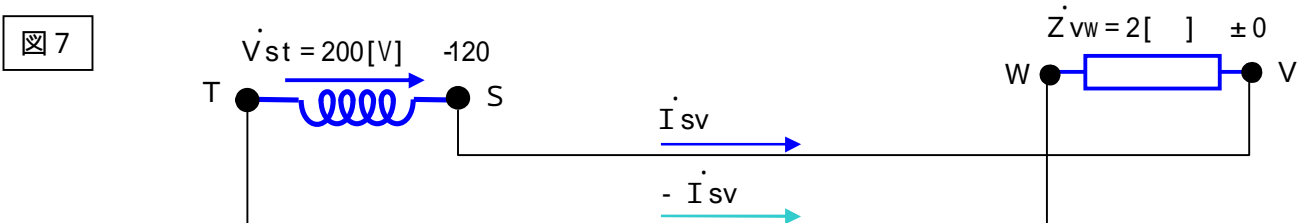
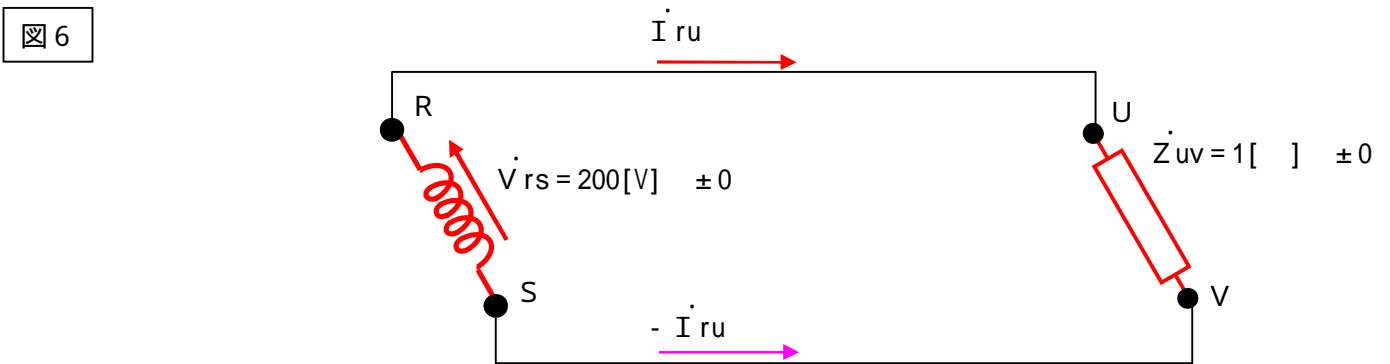
図4



三相電流は必ず閉じるように流れます。(閉じなかったら漏電。)
 不平衡負荷でも、電流ベクトルが閉じる例を提示します。
 下図のような場合で考えてみましょう。
 電源は三相平衡電圧電源です。線路のインピーダンスは無視します。
 図のように負荷が不平衡でデルタに組まれた場合です。



この図を下図のように分解します。



一見不思議に思えるかも知れませんが、この図は「重ねの理」の逆を書いたものです。

つまり図 5 = 図 6 + 図 7 + 図 8 です。

次ページでこの電流値の計算を行います。

\dot{I}_{ru} を計算します。

$$\dot{I}_{ru} = \dot{V}_{rs} \div \dot{Z}_{uv} = 200[\text{V}] \pm 0 \div 1[\] \pm 0 = 200[\text{A}] \pm 0$$

$$- \dot{I}_{ru} = 200[\text{A}] \quad 180$$

同様に

$$\dot{I}_{sv} = \dot{V}_{st} \div \dot{Z}_{vw} = 200[\text{V}] -120 \div 2[\] \pm 0 = 100[\text{A}] -120$$

$$- \dot{I}_{sv} = 100[\text{A}] \quad 60$$

$$\dot{I}_{tw} = \dot{V}_{tr} \div \dot{Z}_{wu} = 200[\text{V}] \quad 120 \div 3[\] \pm 0 = 66.7[\text{A}] \quad 120$$

$$- \dot{I}_{tw} = 66.7[\text{A}] \quad -60$$

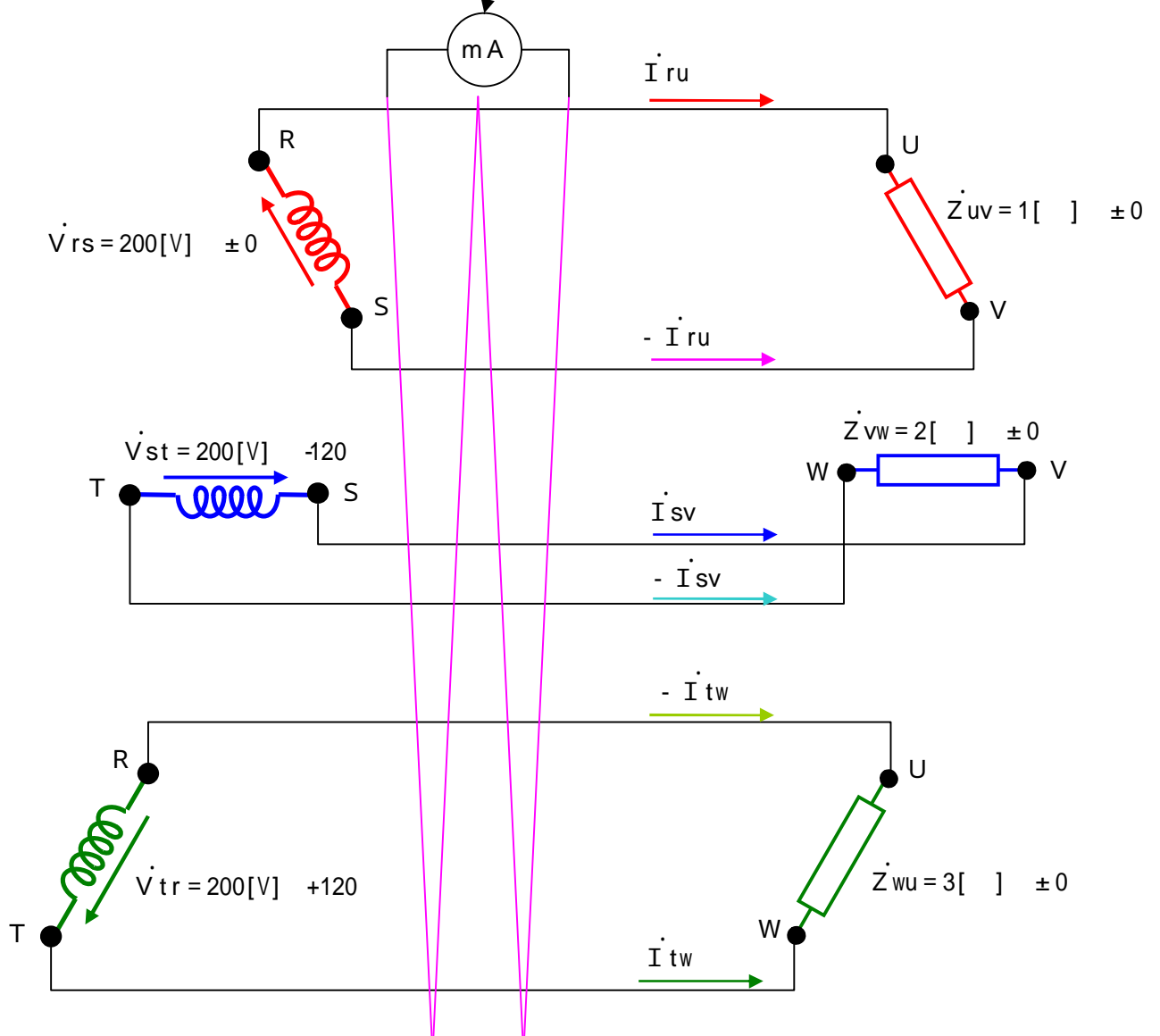
これら6つの電流の和は幾つになるのでしょうか？

計算するまでもありません。和は「**ゼロ**」です。

従って下図のような回路が描けます。

検出電流 = 0

図9



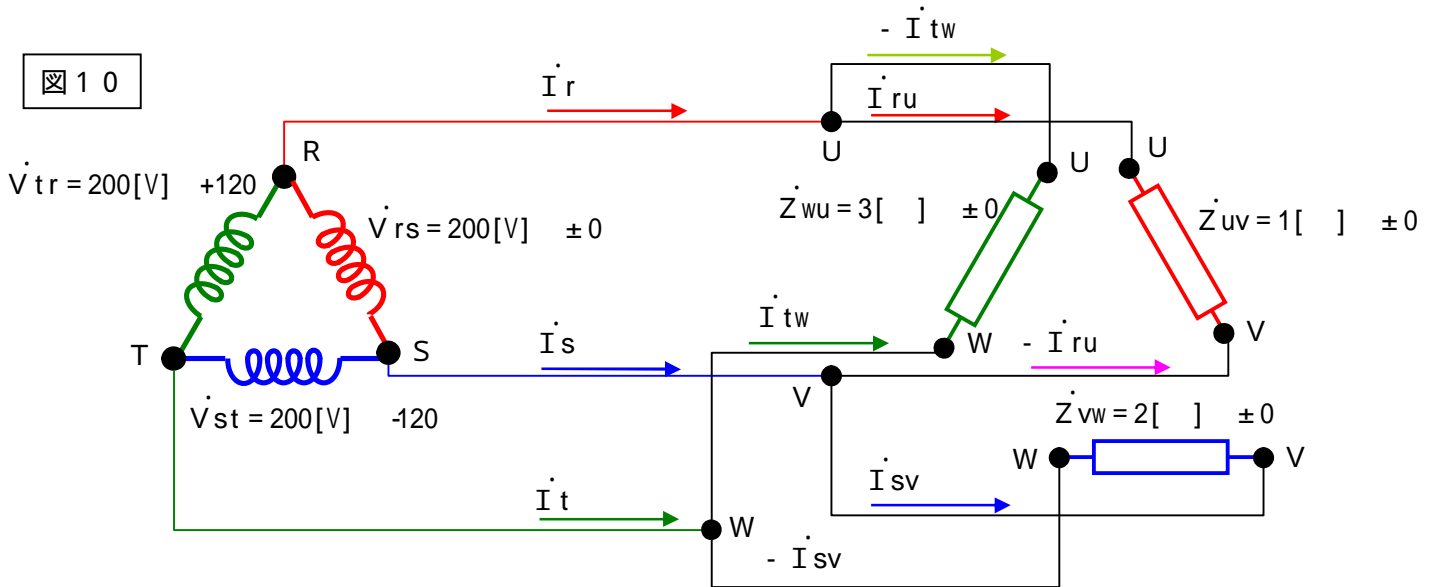
さて、バラバラにした回路の電流和はゼロになりました。

今度はこれを元の回路に戻して検討して見ましょう。

次ページで、この回路図を元に戻します。

下図は途中経過を示す図です。

図 1 0



図から解るとおり下記の関係式が導き出されます。

$$\begin{aligned} \dot{I}_r &= -\dot{I}_{tw} + \dot{I}_{ru} \\ &= 66.67 \quad -60 + 200 \quad \pm 0 \\ &= 66.67(1/2 - j \quad 3/2) + 200(1 + j 0) \\ &= 33.34 - j 57.73 + 200 + j 0 \\ &= 233.34 - j 57.73 \\ &= 240.37 \quad \pm 0 \quad -13.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_s &= \dot{I}_{sv} + (-\dot{I}_{ru}) \\ &= 100 \quad -120 + 200 \quad 180 \\ &= 100(-1/2 - j \quad 3/2) + 200(-1 + j 0) \\ &= -50 - j 86.6 - 200 + j 0 \\ &= -250 - j 86.6 \\ &= 264.57 \quad -199.11 = 264.57 \quad -120 \quad -79.11 \end{aligned}$$

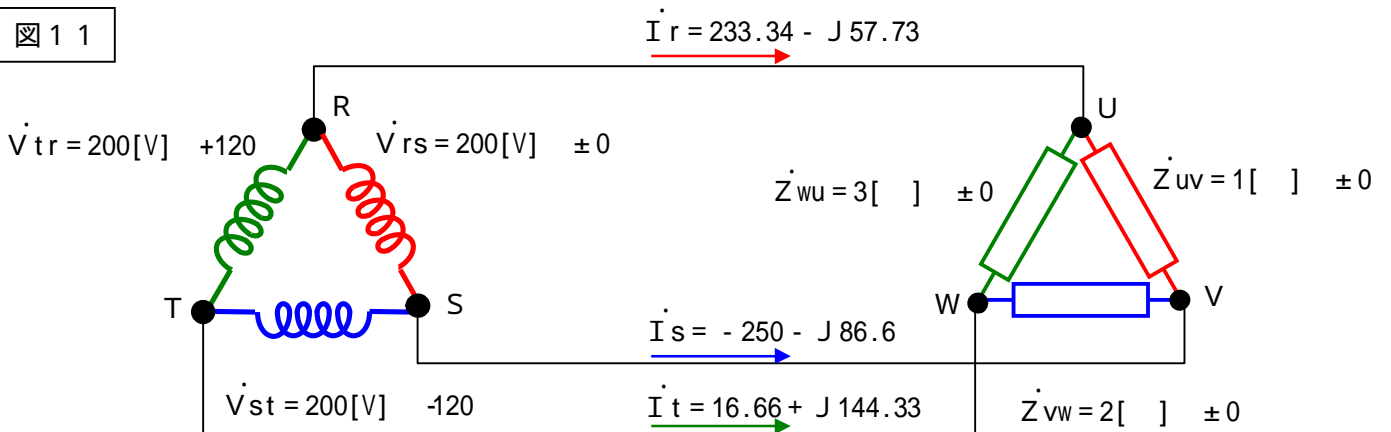
$$\begin{aligned} \dot{I}_t &= \dot{I}_{tv} + (-\dot{I}_{sv}) \\ &= 66.7 \quad 120 + 100 \quad 60 \\ &= 66.7(-1/2 + j \quad 3/2) \quad 120 + 100(1/2 + j \quad 3/2) \\ &= -33.34 + j 57.73 + 50 + j 86.6 \\ &= 16.66 + j 144.33 \\ &= 145.29 \quad 83.42 = 145.29 \quad +120 \quad -36.58 \end{aligned}$$

この3つの電流のベクトル和は

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \dot{I}_r + \dot{I}_s + \dot{I}_t \\ &= 233.34 - j 57.73 - 250 - j 86.6 + 16.66 + j 144.33 \\ &= 0 + j 0 \end{aligned}$$

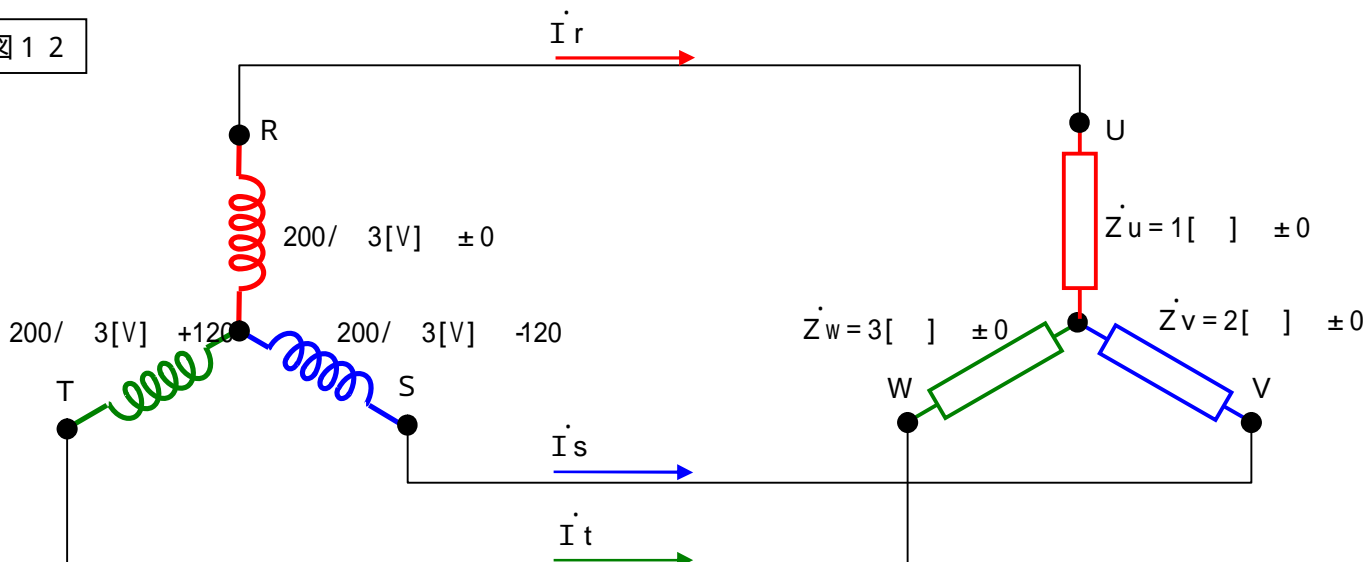
となりますので無事この電流ベクトルは閉じます。
値を記載した回路図を下図に示します。

図 1 1



今度はスターの場合です。電圧は少し変えて有ります。

図 1 2



立てる方程式は下記

$$\dot{I}_r + \dot{I}_s + \dot{I}_t = 0$$

$$\dot{I}_r Z_u + \dot{I}_s Z_v + \dot{I}_t Z_w + 3V_{nn'} = 0$$

しかし、このままでは解けません。苦肉の策で上図を下図のように変換します。
インピーダンスのスターデルタ変換。

図 1 1

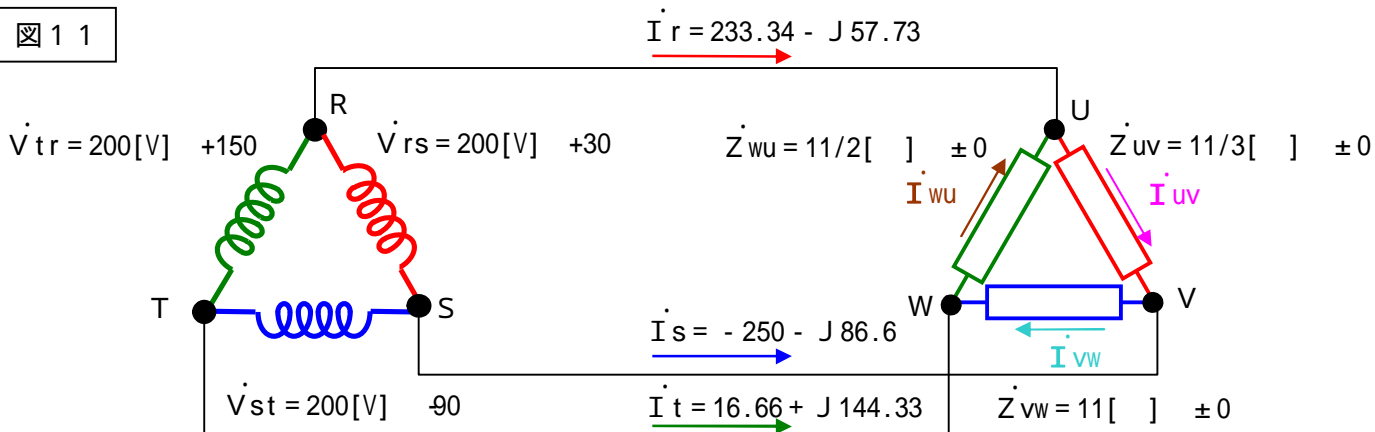


図 1 1 において、下記の方程式が成立します。

$$\dot{I}_{uv} = 200 \angle 30 \text{ 度} [V] / 11/3 [\]$$

$$\dot{I}_{vw} = 200 \angle 90 \text{ 度} [V] / 11 [\]$$

$$\dot{I}_{wu} = 200 \angle 150 \text{ 度} [V] / 11/2 [\]$$

これを解いて下記を得る。

$$\begin{aligned} \dot{I}_{uv} &= 200(\angle 3/2 + 1/2) / 11/3 \\ &= 300 \angle 3/11 + j 300/11 [A] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{vw} &= 200(0 - j 1) / 11 \\ &= 0 - j 200/11 [A] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{wu} &= 200(- \angle 3/2 + j 1/2) / 11/2 \\ &= - 200 \angle 3/11 + j 200/11 [A] \end{aligned}$$

線電流は下記の関係式になります。

$$\dot{I}_r = \dot{I}_{uv} - \dot{I}_{wu}$$

$$\dot{I}_s = \dot{I}_{vw} - \dot{I}_{uv}$$

$$\dot{I}_t = \dot{I}_{wu} - \dot{I}_{vw}$$

これを解いて下記を得る。

$$\begin{aligned} \dot{I}_r &= 300 \angle 3/11 + j 300/11 - (- 200 \angle 3/11 + j 200/11) \\ &= 78.73 + j 9.09 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_s &= - j 200/11 - (300 \angle 3/11 + j 300/11) \\ &= - 47.24 - j 45.45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_t &= - 200 \angle 3/11 + j 200/11 - (- j 200/11) \\ &= - 31.49 + j 36.36 \end{aligned}$$

$$\dot{I}_r + \dot{I}_s + \dot{I}_t = 0 \quad \leftarrow \text{OK}$$

この様に、スターの場合、負荷が不平衡でも負荷電流は閉じます。
従って、ZCTは漏電電流を検出しません。

宿題です。

前述のデルタの場合、及びスターの場合は、実値を計算したものです。
インピーダンスの値を一般記号 Z_1, Z_2, Z_3 とし、如何なる場合でも電流ベクトルが閉じることを証明して下さい。
尚、電源は三相平衡電圧電源とし、スター結線でもデルタ結線でも結構です。