

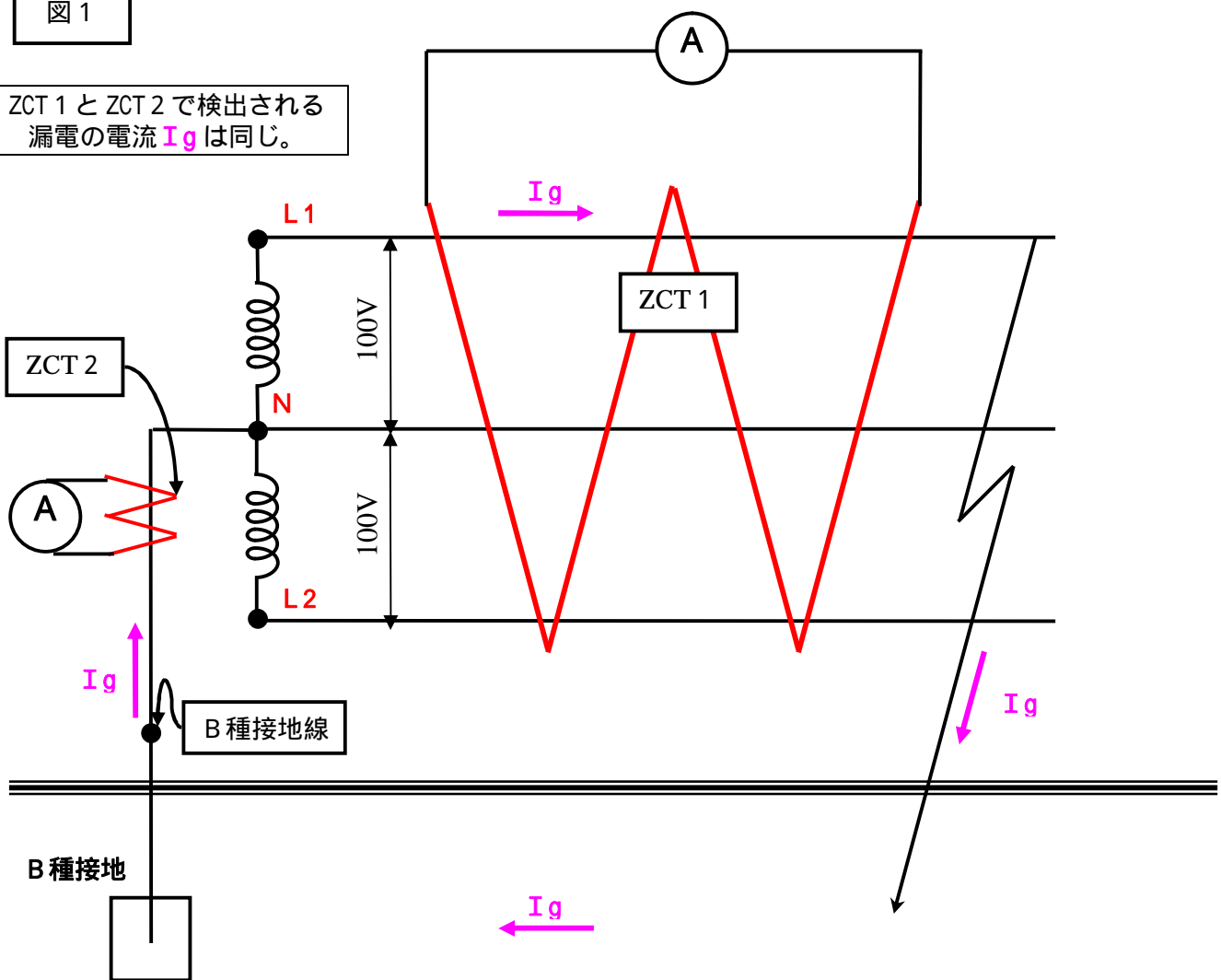
B種接地線に漏電で無いにも拘わらず、漏洩電流が流れる訳

日本の低圧配電線は事実上100%接地系配電です。
この配電線は、トランスの中性点又は電圧点の1点をB種接地で大地に直接接地しています。
このB種接地線にZCT（ゼロ相変流器）を設置すれば、漏電を検出出来ます。
ところが、漏電でも無いにも拘わらず、このZCTが電流を検出してしまい、漏電と間違える事が有ります。
ここでは、何故このような事が起きるのかを説明します。
この書き込みが皆様の何かの役に立てば幸いです。

平成 鹿年 骨月 吉日
SDU学長 鹿の骨

まず、B種接地線にZCTを設置すると、「何故漏電を検出、出来るか？」という事から説明します。
下図に、原理図を記載します。

図1



この図をご覧になれば、ご理解頂けると思いますが、2つのZCTに流れる、漏電の電流値は同じになります。
漏電した電流は、必ずB種接地を介して、トランスに戻ります。
従って、B種接地線にZCTを設置すれば、漏電を検出出来ます。

この様に、B種接地線にZCTを設置して、漏電を検出しますが、漏電でも無いにも拘わらず、このZCTが電流を検出してしまい、漏電と間違える事が有ります。

原因を先に申し上げます。

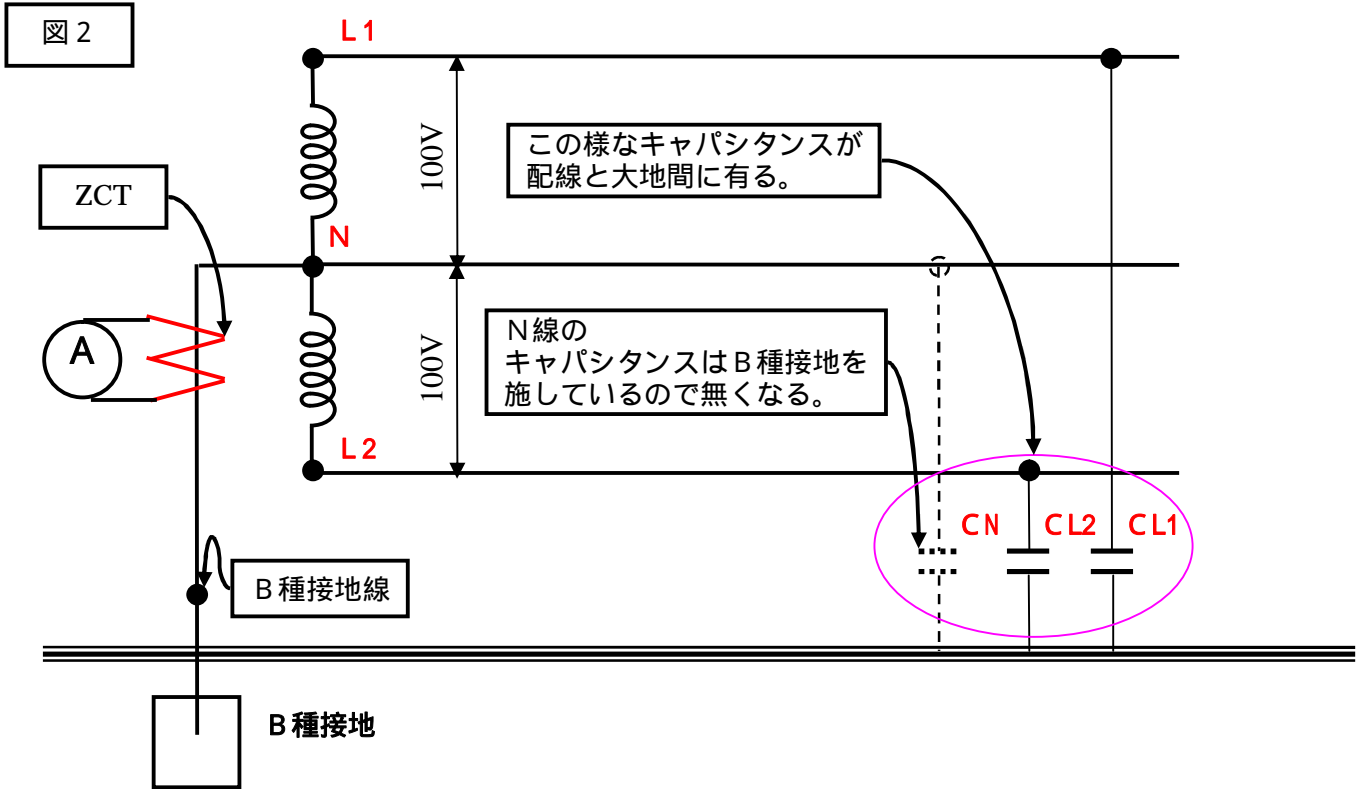
配線と大地間のキャパシタンス（コンデンサ分）のアンバランスが原因です。

配線と大地間のキャパシタンスは通常はバランスされ、表には出てきません。

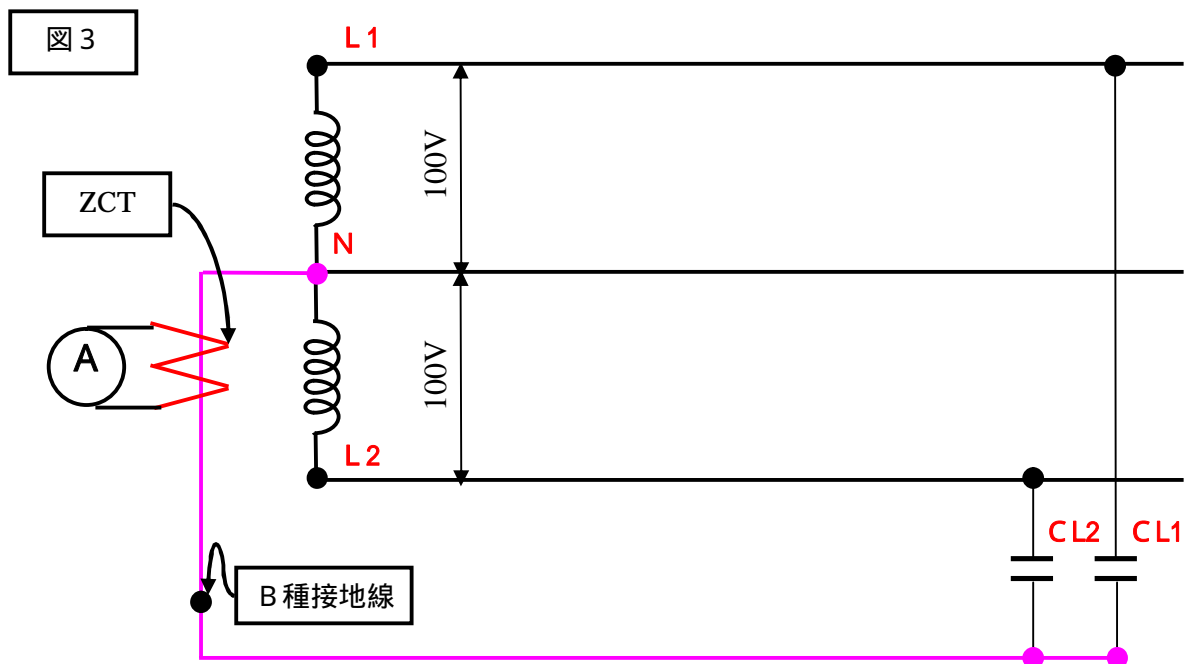
しかし、これがアンバランスになると、「漏洩電流」が発生します。

この電流は、漏電による「地絡電流」ではありませんので、「漏洩電流」と言い、区別します。

大地と配線のキャパシタンスがどうなっているかを図で説明します。

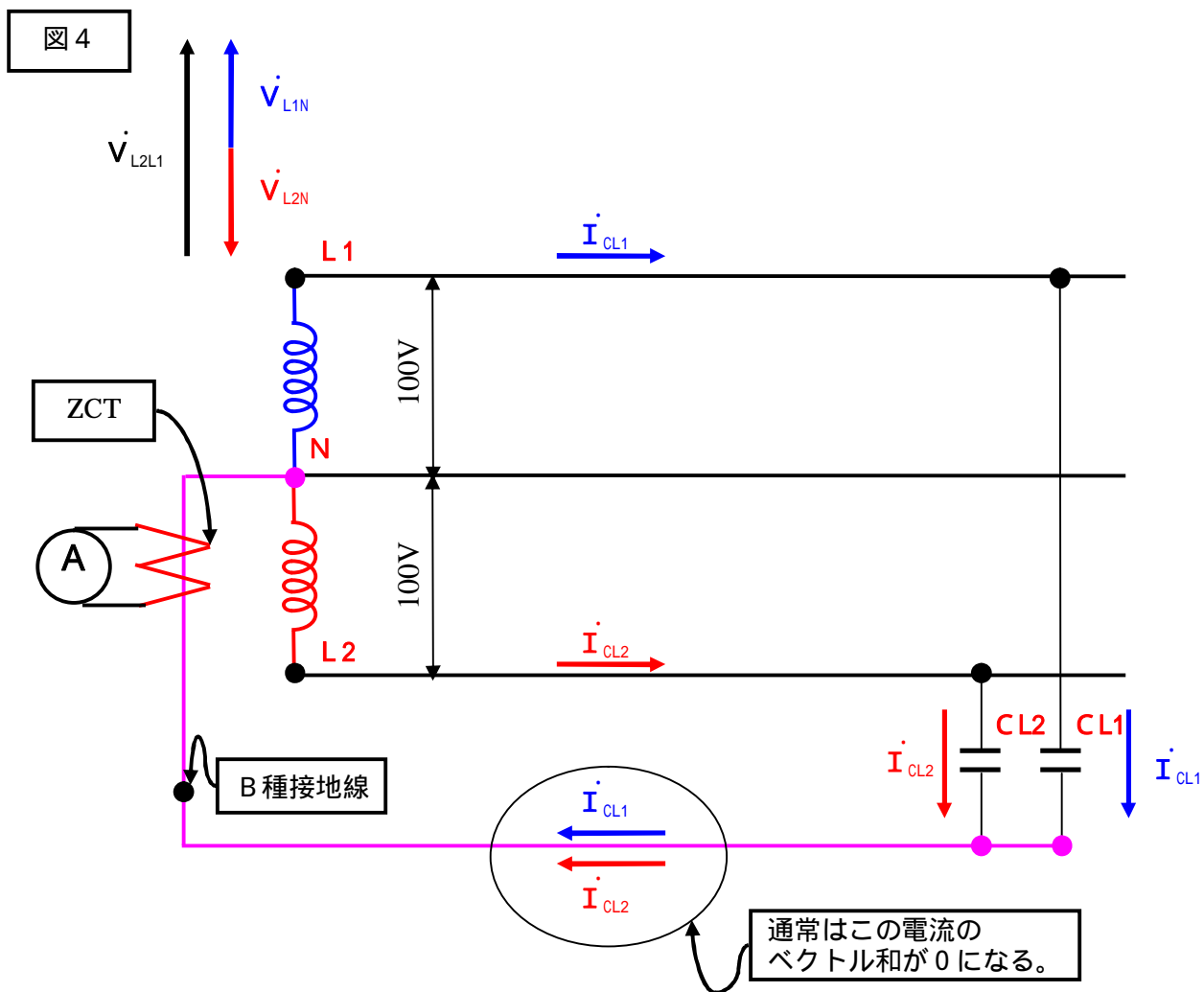


この図を書き直すと下図になります。

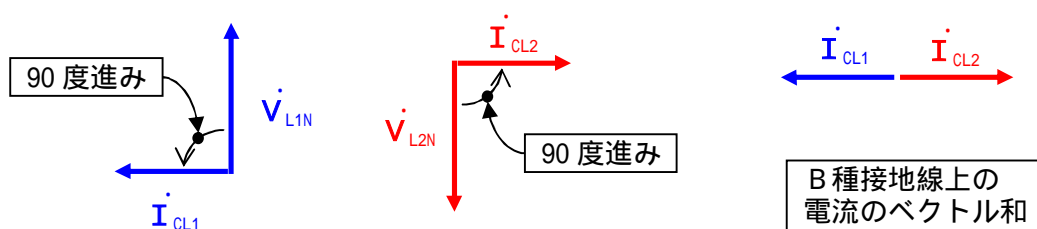


この回路にどのような電流が流れるのか解析して見ましょう。

その1 電圧ベクトルを下図の様に考えた場合。

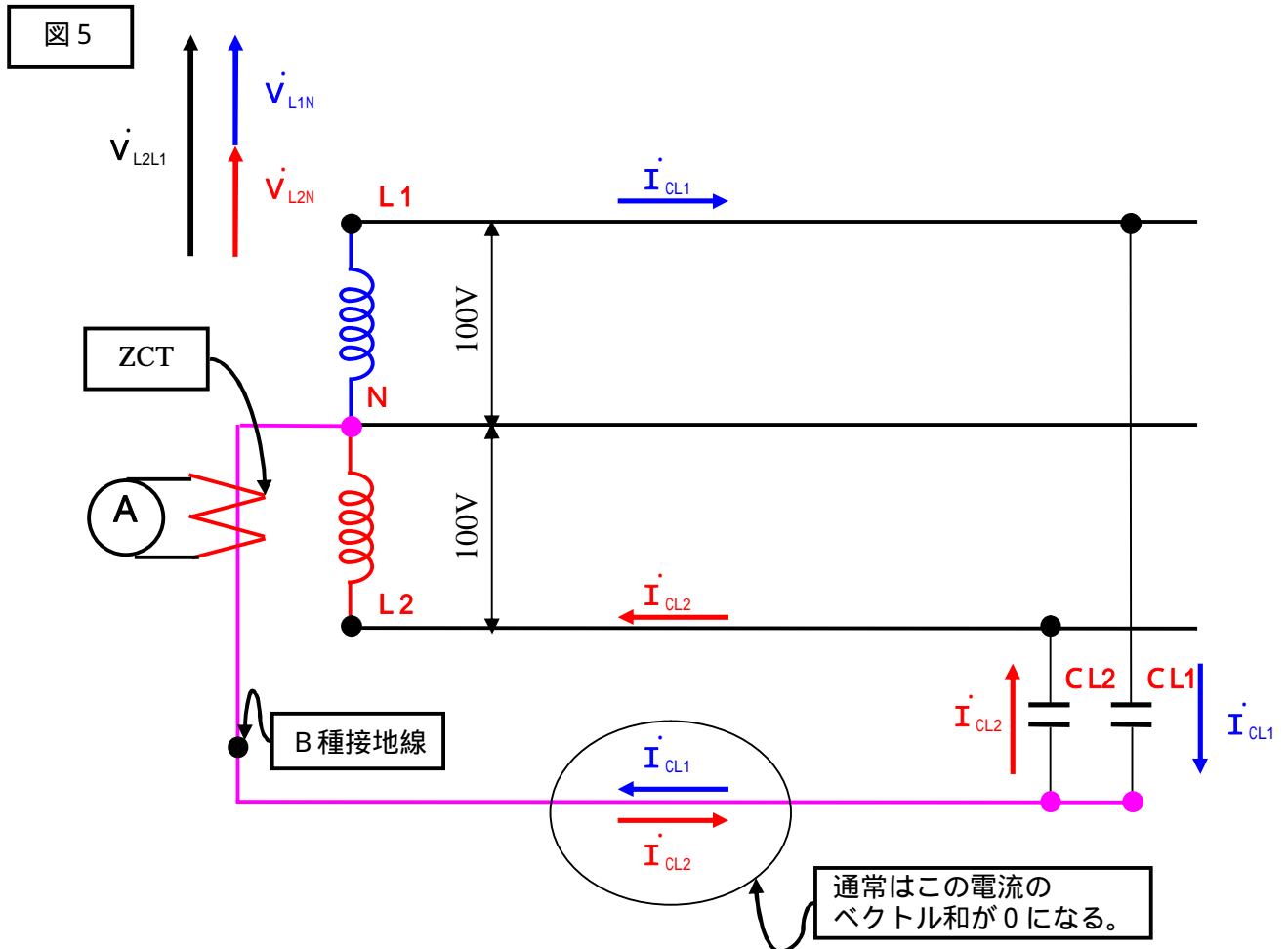


電圧と電流のベクトル図

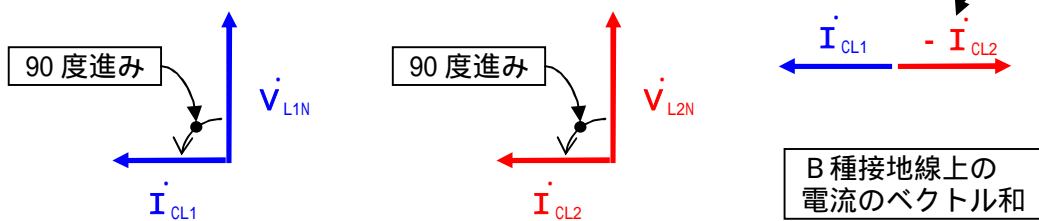


このベクトル図をご覧になると、理解されると思いますが、キャパシタンスの大きさが等しいときにはこの2つの電流がお互いに相殺され、ベクトル和がゼロになります。しかし、**配線のキャパシタンスのバランスが崩れると**、2つの電流のベクトル和がゼロになりません。従って、2つの電流の差分の電流がB種接地線に流れる事になります。この差分の電流をZCTは拾ってしまいます。従って、漏電では無いにも拘わらず、OCGR（電流動作型地絡継電器）の接点がメイクする事になります。

その2 電圧ベクトルを下図の様に考えた場合。

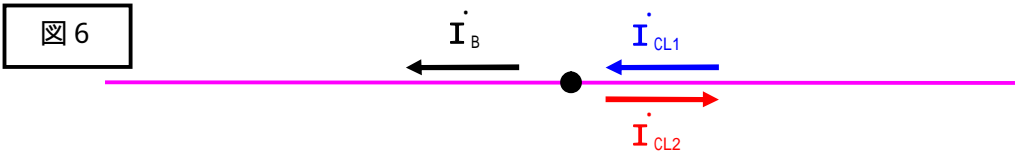


電圧と電流のベクトル図



¹符号が「-」になる理由の説明

下図の様なポイントを考え、このポイントでキルヒホッフの電流則を立てます。



B種接地を経由して、「トランスに帰る流れの方向を正方向」とし、この電流を「 I_B 」とします。キルヒホッフの電流則により下記の方程式が成立します。

流入する電流 - 流出する電流 = 0

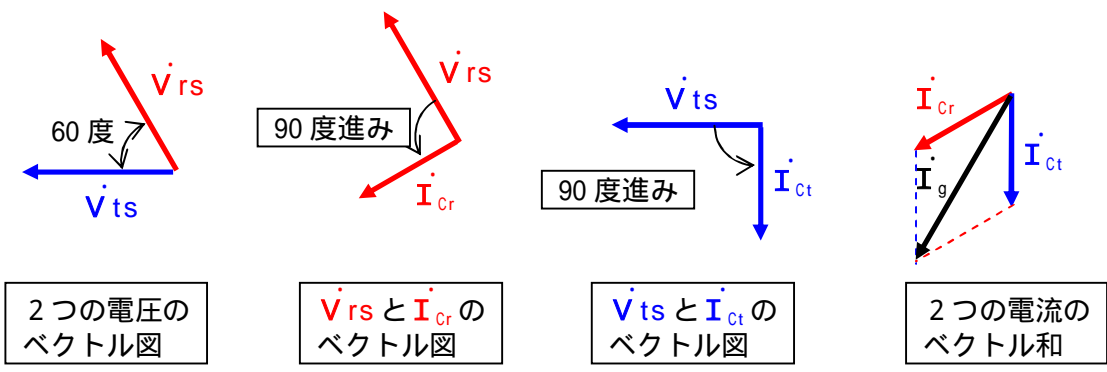
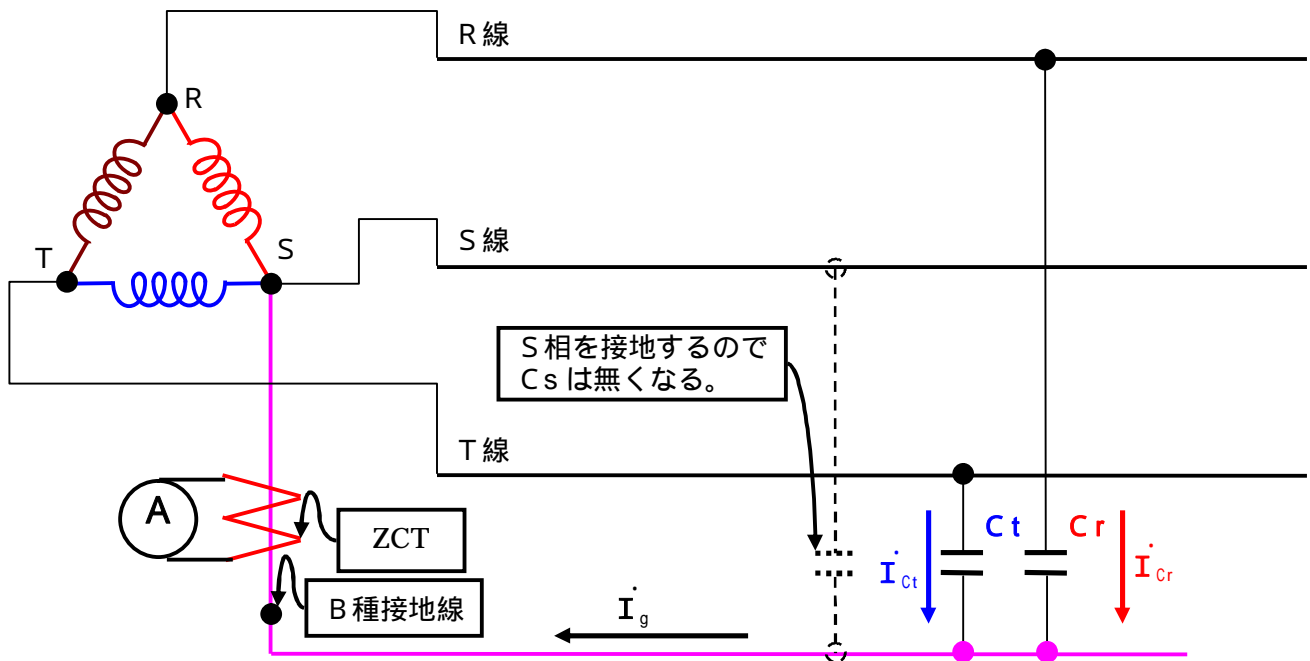
$$I_{CL1} - I_{CL2} - I_B = 0$$

$$I_B = I_{CL1} - I_{CL2} < = = I_{CL2} \text{ はマイナスになる。}$$

その1その2 双方とも同じ結果が得られますが、通常はその1で考える事が多いと思います。

今度は三相の場合です。
 三相3線式200V級の場合です。(事実上100%結線です。)
 実はこの場合、キャパシタンスのアンバランスは関係無く、定常的に漏洩電流が流れます。
 回路図及びベクトル図は下記になります。

図7



この様に、デルタ結線の場合は、キャパシタンスの容量がバランスしている、していないの如何を問わず定常的に漏洩電流が I_g が流れます。

因みに、2つのキャパシタンスの大きさが等しく、これを C [F] とすると、 I_g の大きさは下記の式になります。

$$I_g = 3 C V [A] = 2 f V = \text{線間電圧}$$

ちょっと待て！！ 何か変ではないかい？

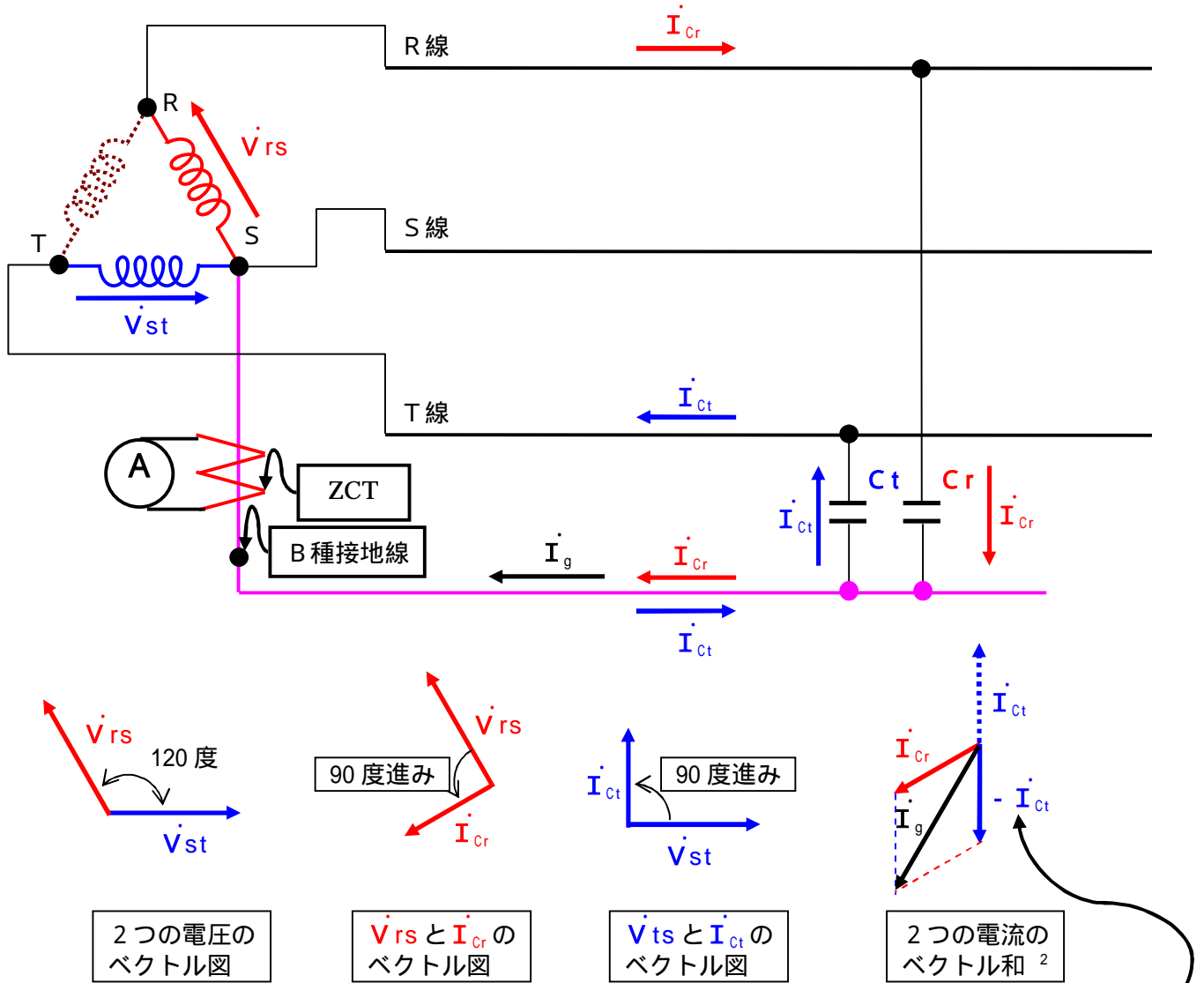
電圧ベクトル \dot{V}_{rs} はそのままだから納得出来るが、 \dot{V}_{ts} って何だよ？
 元々の電圧は \dot{V}_{st} ではないのか？ 何で180度ひっくり返ってしまうの？
 \dot{V}_{tr} は何処へ行ったの？

そう思いませんかあ～
 何か変なんです。あらゆる参考書の類が上記の説明で終わっています。
 次ページ以降にこの解説を書きます。

取り敢えず、 \dot{V}_{tr} は無視して下さい。

端子 S ~ T間の電圧を \dot{V}_{st} として、回路に流れる電流を書き直すと下図になります。

図 8



2

符号が「-」になる事に注意²

\dot{I}_{Ct} の符号マイナスになるのは、単相3線のその2の場合と同じです。
繰り返しになりますが、下記の方程式に依り、マイナス符号が付きます。

図 9

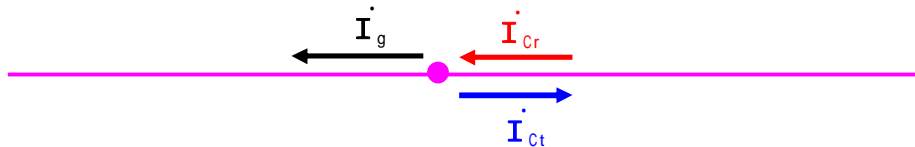


図9のの部分でキルヒホッフの電流則を立てると次の方程式が成立します。
流入する電流 - 流出する電流 = 0

$$\dot{I}_{Cr} - \dot{I}_{Ct} - \dot{I}_B = 0$$

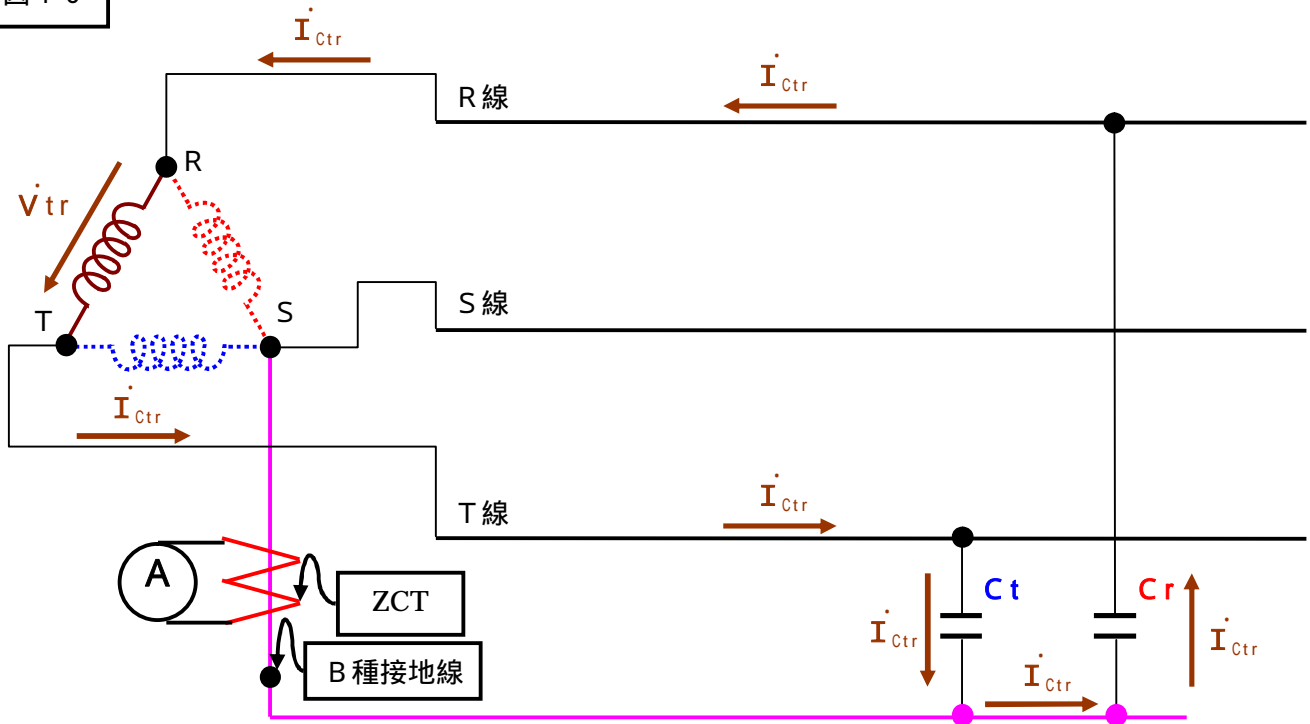
$$\dot{I}_B = \dot{I}_{Cr} - \dot{I}_{Ct} < == \dot{I}_{Ct} \text{はマイナスになる。}$$

この様に5ページで表した内容と同じ結果が得られます。

つまり、端子 S ~ T間の電圧ベクトルは \dot{V}_{st} と置いても \dot{V}_{ts} と置いても良い事が解ります。
何となく騙された様な気がする・・・と思ったアナタ・・・10ページ以降にしつこい解説書きました。

今度は無視した \dot{V}_{tr} に関する電流の解析です。
 \dot{V}_{rs} と \dot{V}_{st} を取り敢えず無視すると、下記の回路になります。

図 10



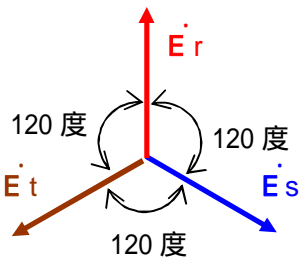
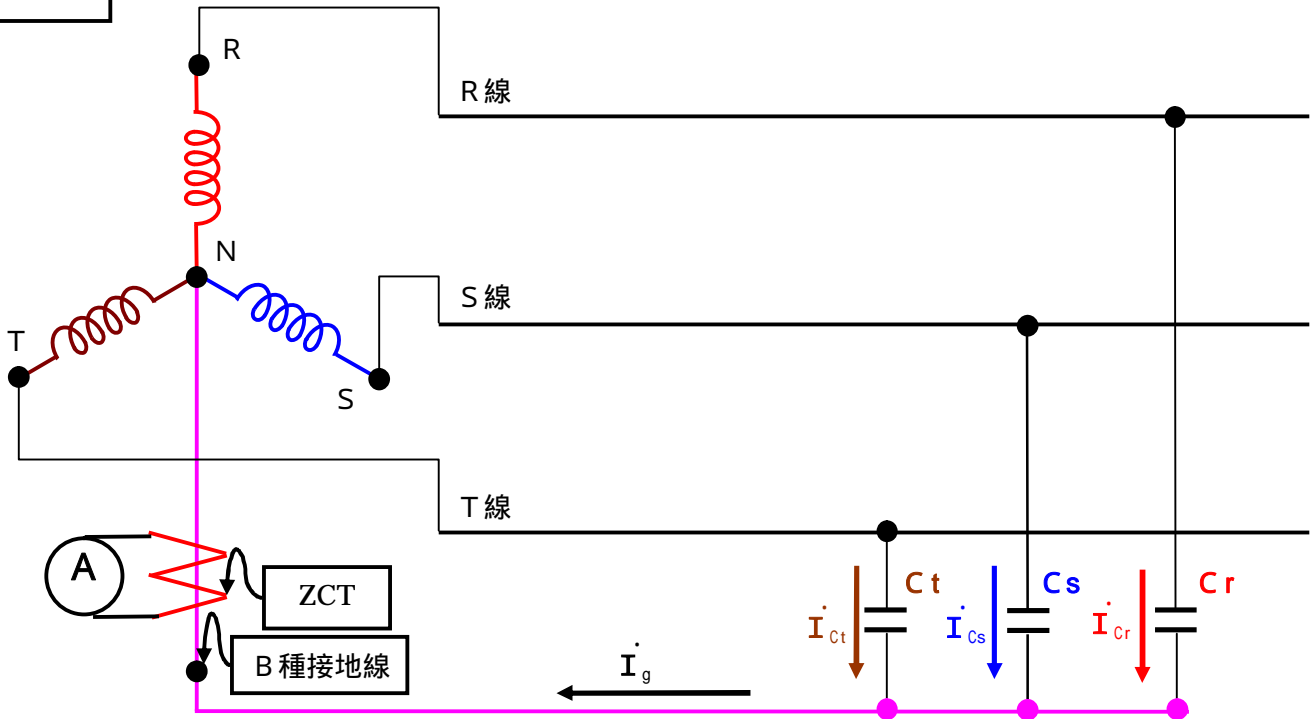
この様にこの電流 \dot{I}_{Ctr} は B 種接地線を通過しません。
 従って、B 種接地線に設置した OCG はコレを検出しません。
 又、R 線、S 線、T 線を一括で ZCT クランプした場合も、この電流はお互いに相殺する様に流れますので、検出されません。

実はこの回路図、自信が有りません。
 本当にこれで正解なののでしょうか？ どの参考書を見ても載っていません。
 間違いでしたら何方かご指摘下さい。

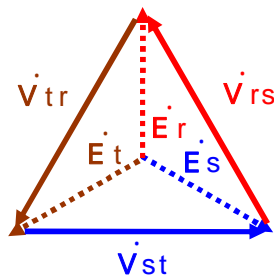


今度は三相3線式400V級の場合です。(事実上100%Y結線です。)
回路図及びベクトル図は下記になります。

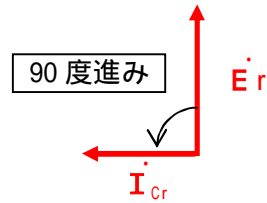
図11



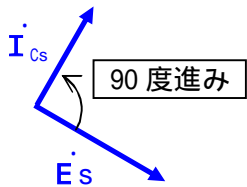
3つの相電圧のベクトル図



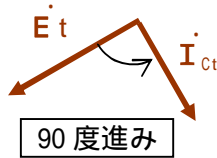
3つの線間電圧のベクトル図



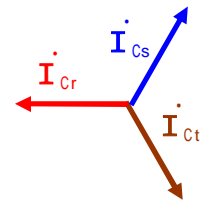
ErとICrのベクトル図



EsとICsのベクトル図



EtとICtのベクトル図

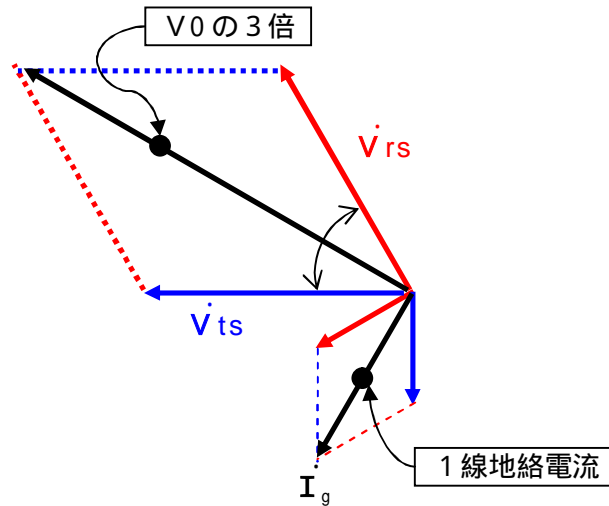


3つの電流のベクトル和

この様に、スター結線の場合は、キャパシタンスの容量がバランスしていれば、漏洩電流はゼロになります。

ところで、下記の様なベクトル図を見た事はありませんか？

図 1 2



このベクトル図は普通高圧 6 k V 級配電線の 1 線が完全地絡した場合の、地絡電流を求めるベクトル図です。このベクトル図をよく見ると、5 ページで描いたベクトル図と全く同じベクトル図で有る事が解ります。

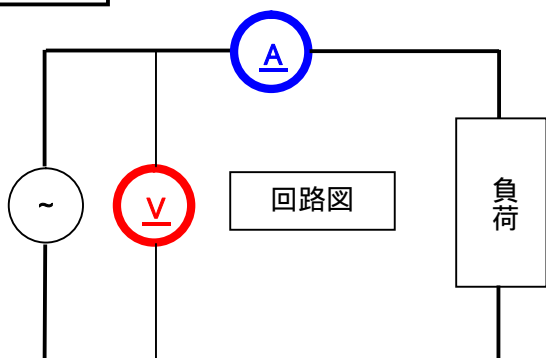
200 V 級配電では普通にやっている電圧点 S 点の直接接地。
6 k V 級配電（非接地系配電）では、S 点が大地に触れたら、地絡事故。
片や普通の状態、片や事故、コレって何なんだ！と思いませんか？

小生も詳しくは解りませんが、次の様に解釈しています。
200 V 級配電は配線距離が短い。長くても 200 m 程度が普通。
6 k V 級配電は配線距離が 200 V 級に比べれば、長い。20 km 程度の配線長さは普通にある。
従って、配線と大地間のキャパシタンスは、6 k V 級配電の方が大きい。
地絡時の健全電線～大地間の電圧は、公称電圧そのままになってしまうから、6 k V 級配電の地絡電流は無視出来ない大きさになる。
又、6 k V 級配電の健全状態の配線～大地間の電圧は 6 k V では無い。(6600 / 3 V になる。)
これが、完全地絡を起こすと、6 k V まで上昇するので、好ましくない。
こんな感じです。

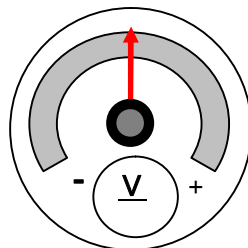
さてしつこい解説を書きます。
 そもそもベクトル図とはなんぞやと言う話から始めます。
 ウー~先が長そう・・・

ある回路に交流電圧をかけると電流が流れますが、下記回路のそれぞれの計器の読みを考えます。
 この計器はマイナス値も読める**直流電圧計**及び**直流電流計**です。
 あくまでも、仮想のものとしてください。

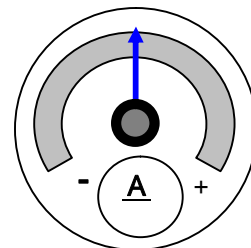
図 1 3



電圧計のイメージ



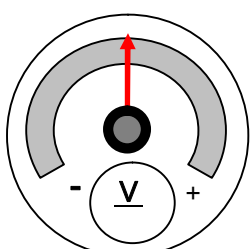
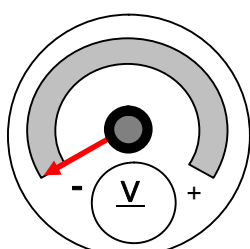
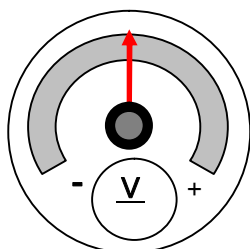
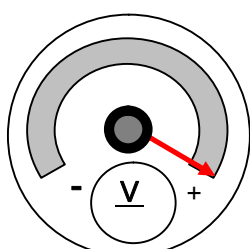
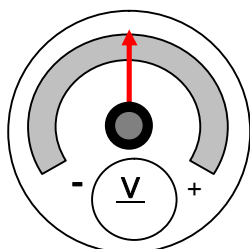
電流計のイメージ



電圧計を例にとって具体的な計器の様子を見ることにします。
 50Hzの場合を記載しますが、1秒間に針は盤面上を50往復しますので普通では目で追えません。
 仮想ですが、読めたらこうなると言う話です。

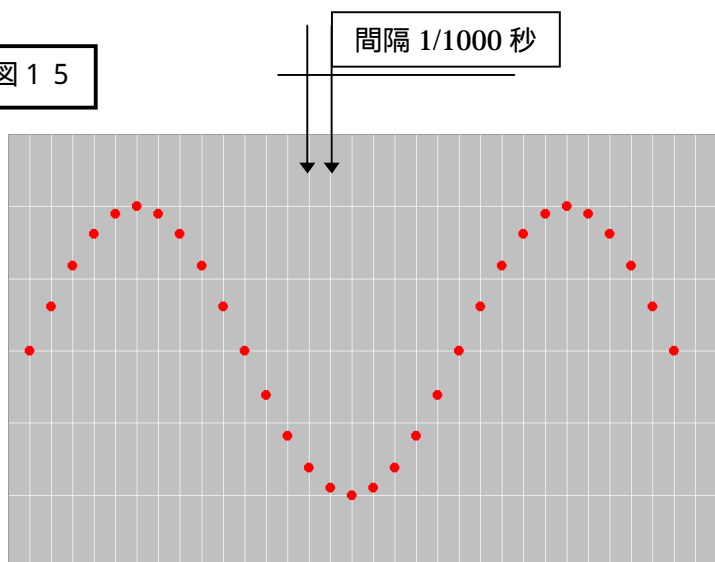
図 1 4

計器の読み



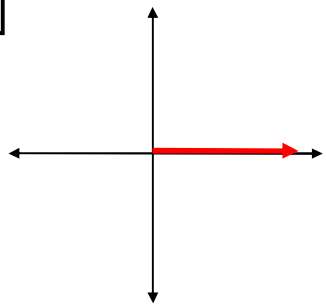
上記のメータの読みは、時刻の間隔がおおざっぱで(長すぎて)良く知りません。
 今度は時刻の間隔を1/1000秒にします。
 その読みをグラフ用紙に書くと下記ようになります。

図 1 5



このグラフを見ると解るのですが、このプロット図(点を記載したものはサインカーブになります。

図 1 6



これをベクトル図では左記のように書きます。
 の長さは上のグラフの波高値 です。
 向きは、これ 1 本のみのでベクトルですので、3 時の方向に書きます。

実はベクトルの長さを波高値とするのは一般的では有りません。
 実際は**実効値の長さ**とします。
 実効値と波高値の関係式は下記になります。
実効値 = 波高値 / 2

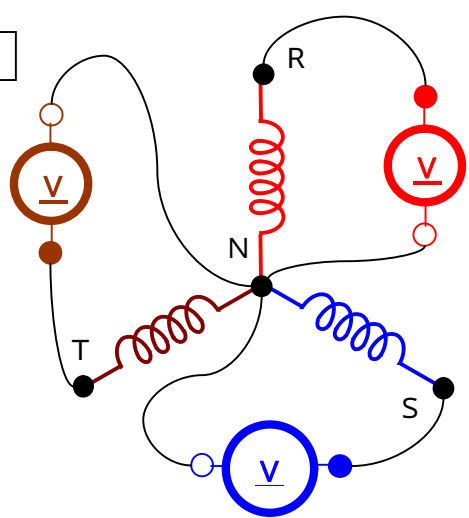
例
 実効値 1 0 0 V の波高値は 1 4 1 V です。
 以降ベクトル図のベクトル長さは全て実効値とします。

これが、ベクトル図の定義（擬き？）だったと思います。

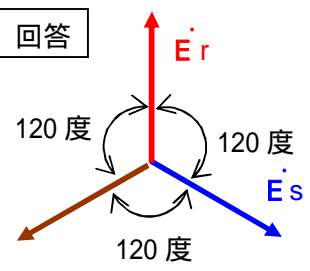
では、次の回路の電圧ベクトルを各電圧計を元に描いて下さい。
 が電圧計のプラス端子です。 がマイナス端子です。直流電圧計ですから極性があります。

図 1 7

回路図



回答



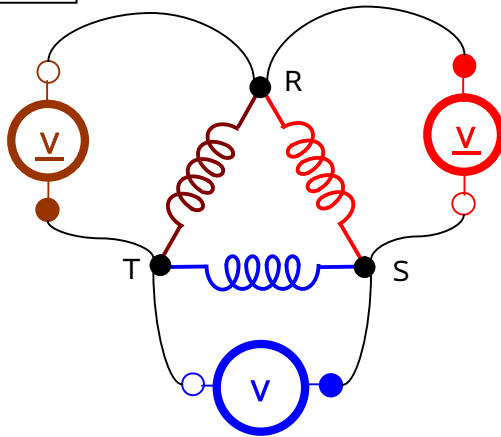
3つの相電圧のベクトル図

これはそんなに難しい問題では無いと思います。
 三相トランスのスター結線の相電圧のベクトルです。
 各電圧計のマイナス端子を全部N点に繋いでいます。

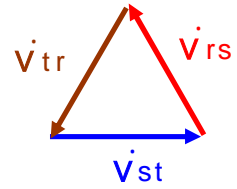
今度はデルタ結線です。
前ページと同様に考えて、ベクトル図を書いて下さい。

図 1 8

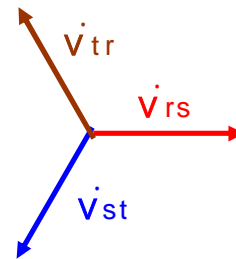
回路図



回答



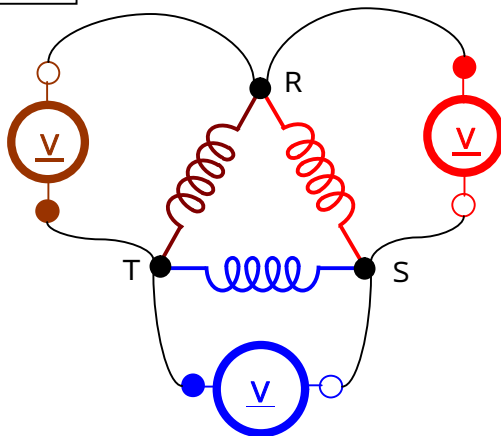
回答
の配置を換えると



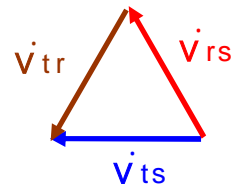
今度は次のベクトル図を書いて下さい。
図 1 8 と異なるのは青い電圧計の極性が反転しています。

図 1 9

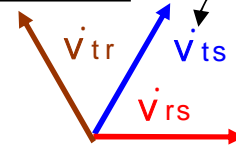
回路図



回答



回答
の配置を換えると



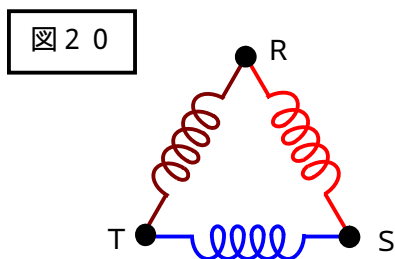
ベクトルの
名前に注意！

おかしいベクトル図が書けました。
このベクトル図は間違いなのでしょうか？
実はこのベクトル図は正しいベクトル図なのです。
ただし、もの凄く紛らわしいので、こんなベクトル図は普通は書きません。

もう一度考え直して見ましょう。
下図は、デルタ結線の結線図です。

ここで問題

R点、S点、T点はそれぞれ電圧点であるが、この点の内、電氣的に電圧が止まっている点は有るか？
有るとすると、どの点か？



解答

全部の電圧点が動いている。
止まっている点は無い。

解説

当たり前の話ですが、デルタ結線は中性点がありません。

従って、全部の電圧点が電氣的には動いています。

この時、2点間の電圧を定義する為には、2点のどちらかの点を基準に、もう片方の点を見ます。
つまり

R ~ S 点間の電圧は、S 点を基準に R 点を見ている。

S ~ T 点間の電圧は、T 点を基準に S 点を見ている。

T ~ R 点間の電圧は、R 点を基準に T 点を見ている。

と言う事になります。

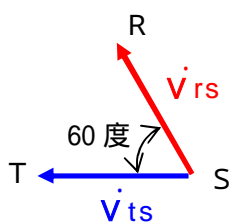
各相で基準となる点が異なります。

ところが、S 点を B 種接地した場合、大地に直接接地されますので、これは動かない点と考えた方が都合が良いのです。

「S ~ T 点間の電圧は、T 点を基準に S 点を見ている。」でしたが、これを S 点を基準に T 点を見る様に考え直します。

T 点は動いている点ですが、この動いている点を元のまま基準として、S 点（止まっている）を見ても良いわけですが、S 点を接地した場合は、動かない点を基準にしたほうが考えやすいのでこの様にします。

解ったかなあ ~ ???



S 点を B 種接地したときの
2つの電圧のベクトル図

オシマイ