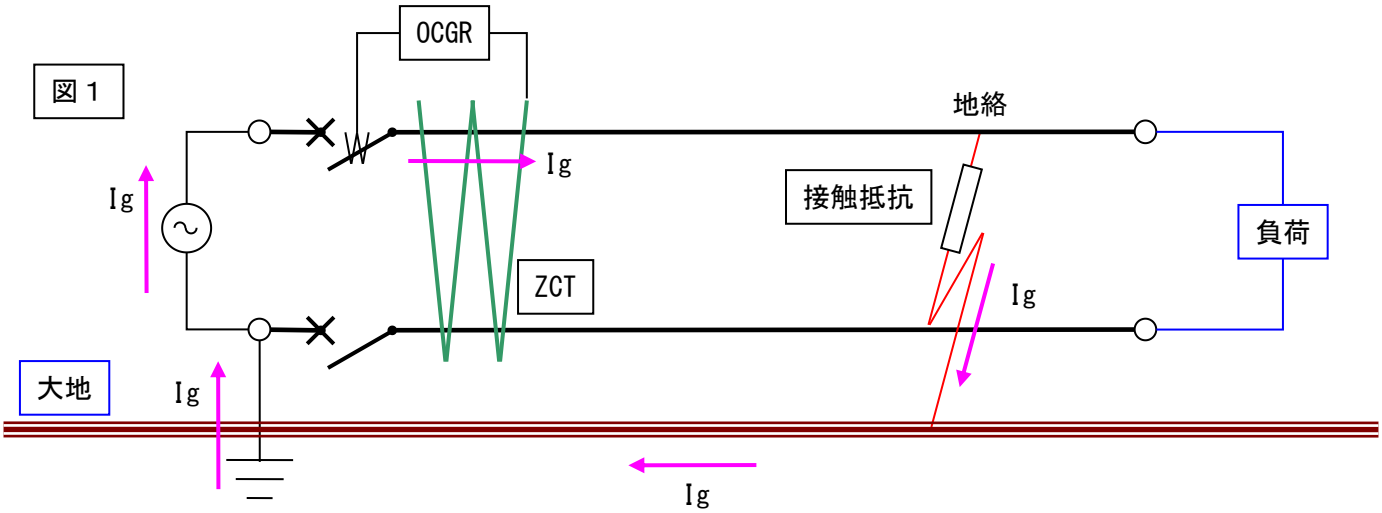
DGRとEVTの話

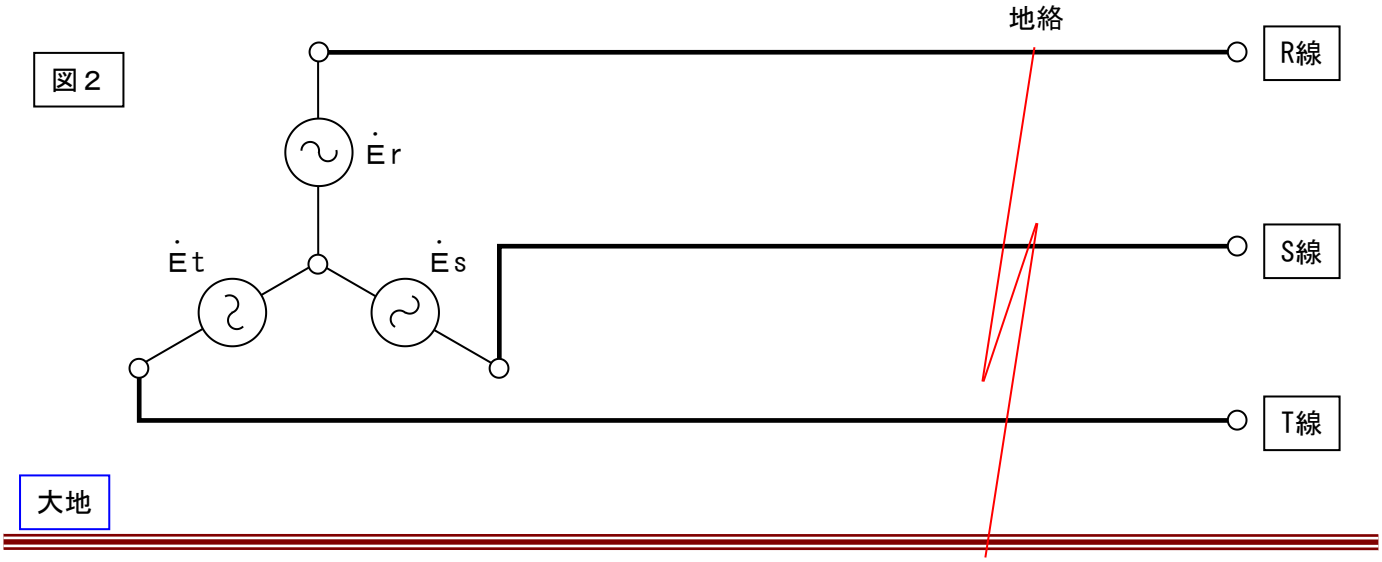
さて今回のお題は「DGR(方向性地絡継電器)とEVT(接地型計器用変圧器)」に関するものです。
知っている方にとっては今更の話をグダグダと書きます。

令和　鹿年　骨月　吉日
トルメキアニスタン・だ・サイタマ・ネズミーランド大学　学長　鹿の骨

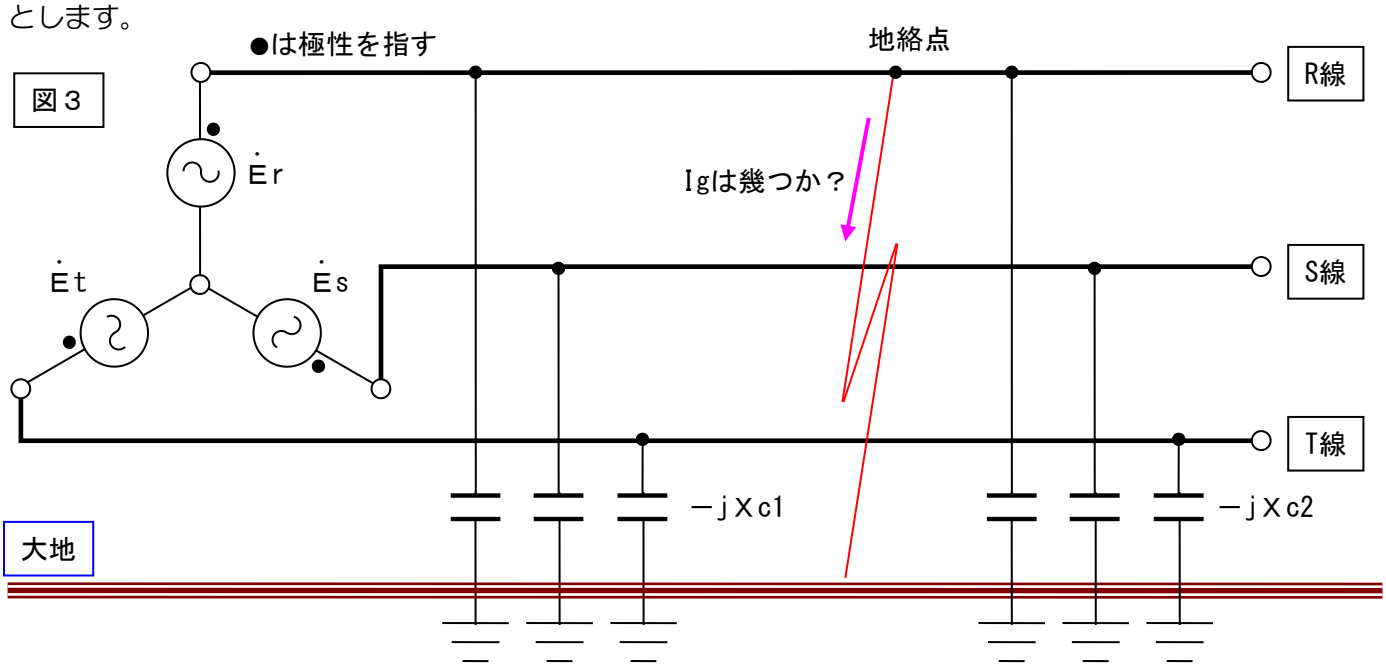
通常の地絡検出および遮断はZCT(零相変流器)OCGR(過電流動作型地絡継電器)CB(遮断器)を用います。
一番判り易い例を示します。低圧接地系配電の場合です。
（交流600V以下の低圧配電は中性点又は電圧点の一点を直接接地した接地系配電です。）
図1の様に閉回路が形成され、地絡電流Igが流れZCTで検出されOCGRがメイクしてCBがトリップします。
（健全時の地絡電流はゼロですが地絡時は地絡電流が流れますのでそれを地絡過電流と言っています。）



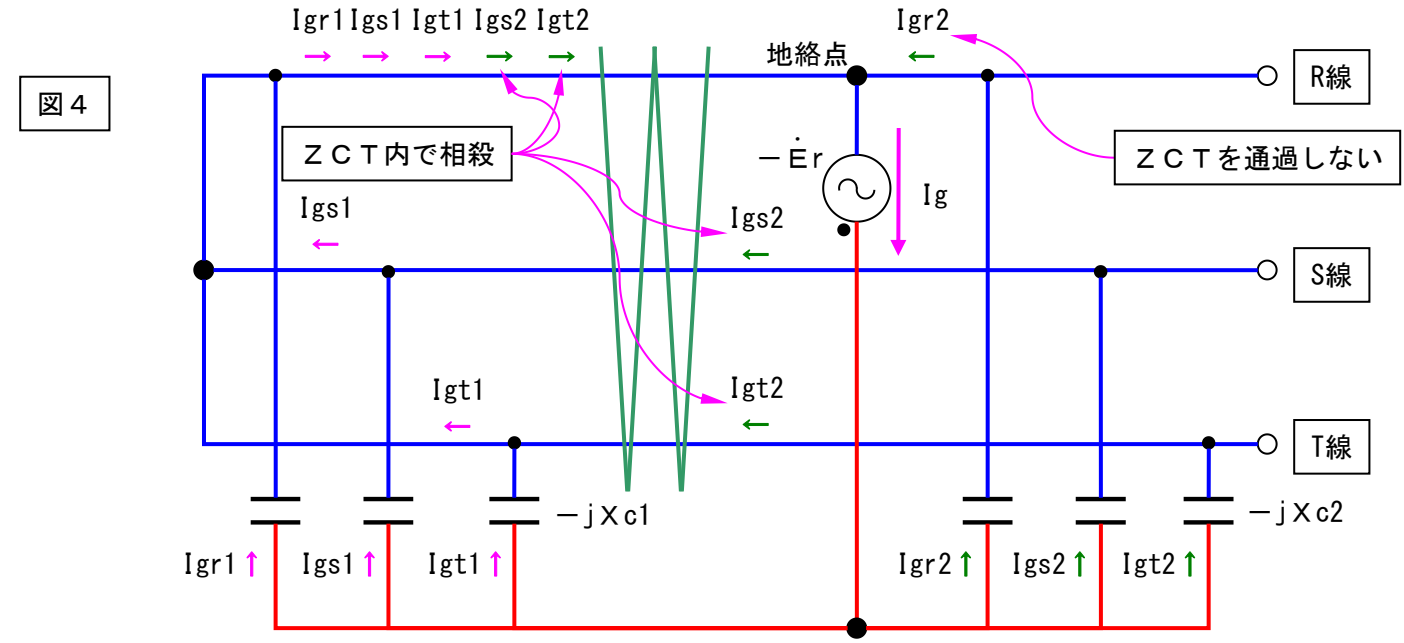
この様に接地系配電の場合は比較的理解しやすいのですが、これが非接地系配電になると途端にややこしい話になります。
日本の場合、普通高圧配電線は押しなべて非接地系配電です。厳密には高抵抗接地ですが此処では接地抵抗は無視して非接地として説明します。（後で高抵抗接地の話は出てきます。）
下に示す図２は6kV級普通高圧配電線の簡略図です。
図に示す通り普通高圧配電線は非接地系配電になっていて配線は電気的に宙に浮いています。
単純理論では地絡電流が流れませんが、実際には流れます。←重要！
その理由はこの図に書いていない要素に依るものですが、それを次ページで示します。



前ページの「この図に書いていない要素」とは対地間に発生するコンデンサ分です。
思いっ切り簡略化した図を下記に示します。
地絡はＲ線の途中で発生し、地絡抵抗を伴わない完全地絡とします。
対地間に発生するコンデンサのキャパシタンスを各線共通で地絡点の一次側は－jＸc1　二次側は－jＸc2
とします。



テブナンの定理を使ってこの図を描き直すと図４になります。
イキナリ色々なことを書きこみましたが、テブナンの定理の解説は巻末の資料に書きます。
ＺＣＴも加筆しましたが、原理的にＺＣＴは自身の二次側の地絡電流を拾うハズです。
今回はどんな結果になるのでしょうか？
理解を早める為に電気的に繋がっている部分を色分けしました。（青線と赤線）



Ig＝Igr1+Igs1+Igt1+Igr2+Igs2+Igt2　です。
Igr1＝Igs1＝Igt1＝Ėr/-jXc1　Igr2＝Igs2＝Igt2＝Ėr/-jXc2　です。　←　全量同相です。（つまり単相）
整理すると　Ig＝3Ėr/-jXc1+3Ėr/-jXc2　となりますが参考書によく書かれる　Ig＝3Er/ωC　と何故なるのかはご自分で考えて下さい。（各線毎の静電容量を一次二次関係なく一括してＣとするとこの式になる。）
ＺＣＴを通過する電流を良く見ると奇妙なことに気が付きます。
Igs2とIgt2はＺＣＴを各々２回ずつ通過していますので相殺になりますしIgr2は通過しません。
つまり「地絡点の二次側のコンデンサ分に依る地絡電流は検出出来ません。」となります。　←　重要！
ＺＣＴが必ずしも地絡電流の全量を検出している訳では無いことを理解して下さい。　←　重要！２回目！

次の話をします。
世の中には摩訶不思議な事が起きて→ナンジャコリャ？となって→そういう事か！となるという話です。
「他人様の地絡事後で自分の所のOCGRがメイクして遮断器が落ちる」と言う事態です。
何で他所ん家の事故で俺ん家の遮断器が落ちるのか？の説明です。

図５

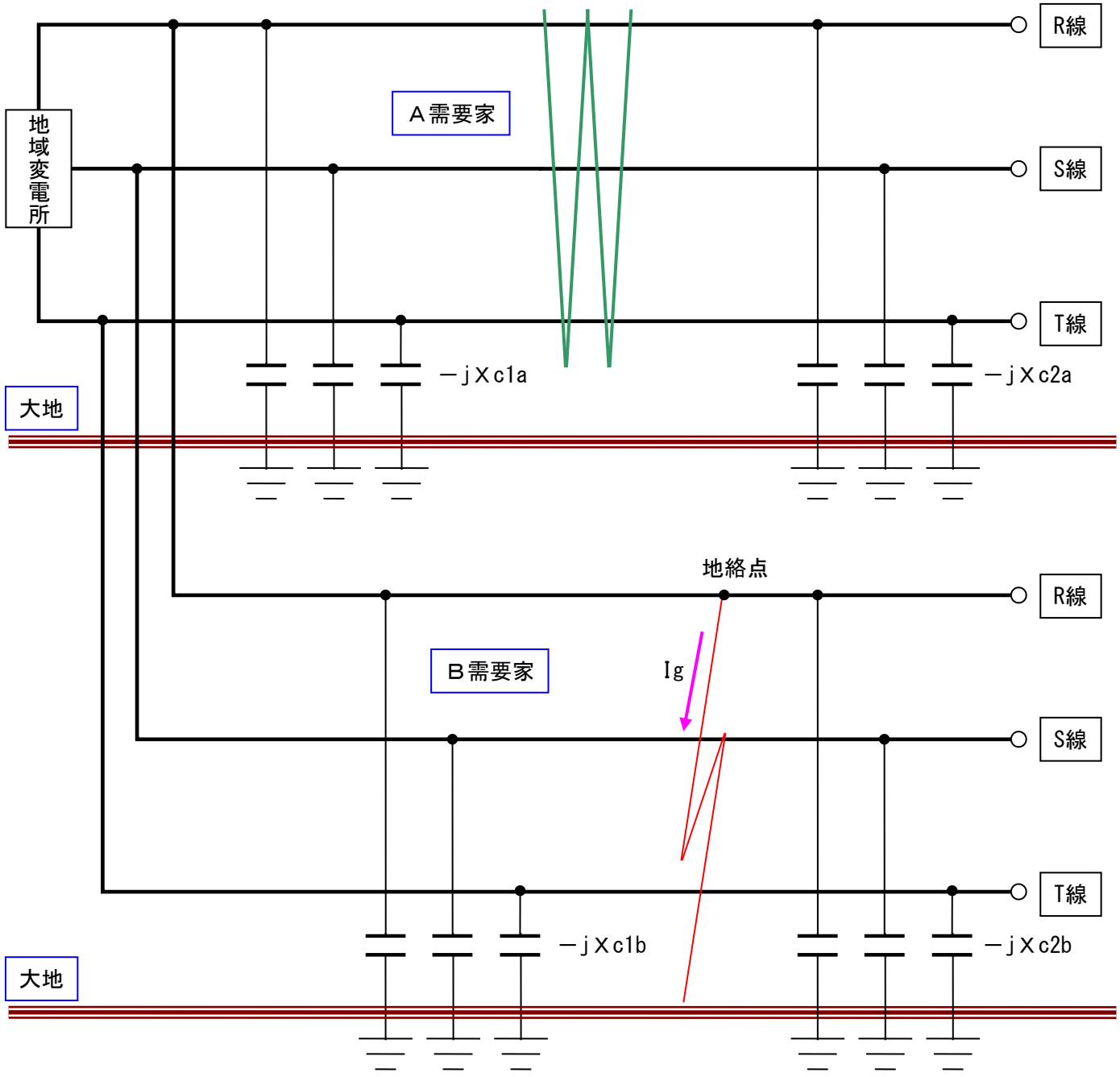
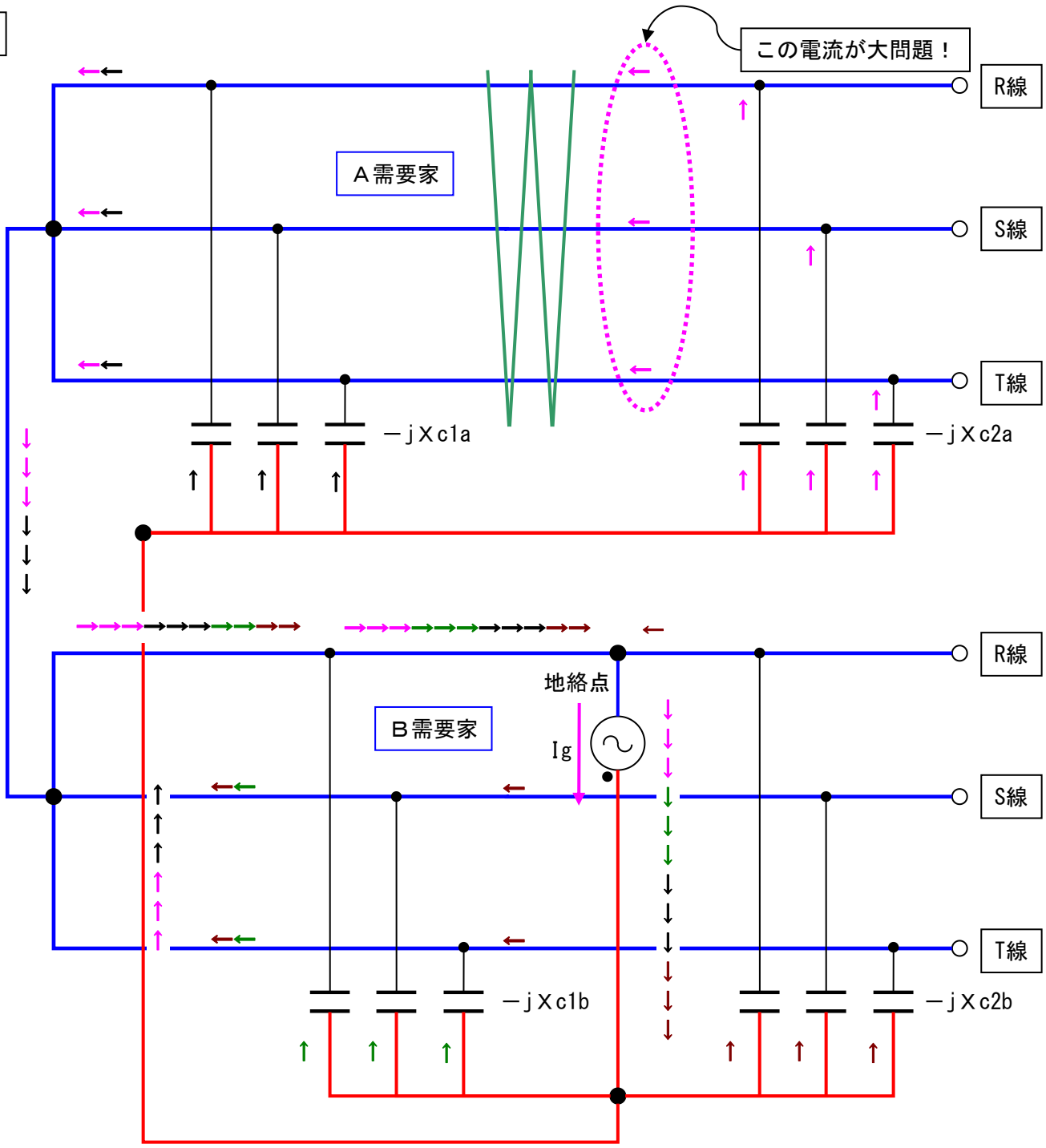


図５はＡＢ二つの需要家があってＢ需要家内で地絡事故が起きた場合を描いています。
これにテブナンの定理を適用して地絡電流がどの様に分布するかを次ページで解説します。

図４と同様に電気的に繋がっている部分を色分けしました。（青線と赤線）

図６

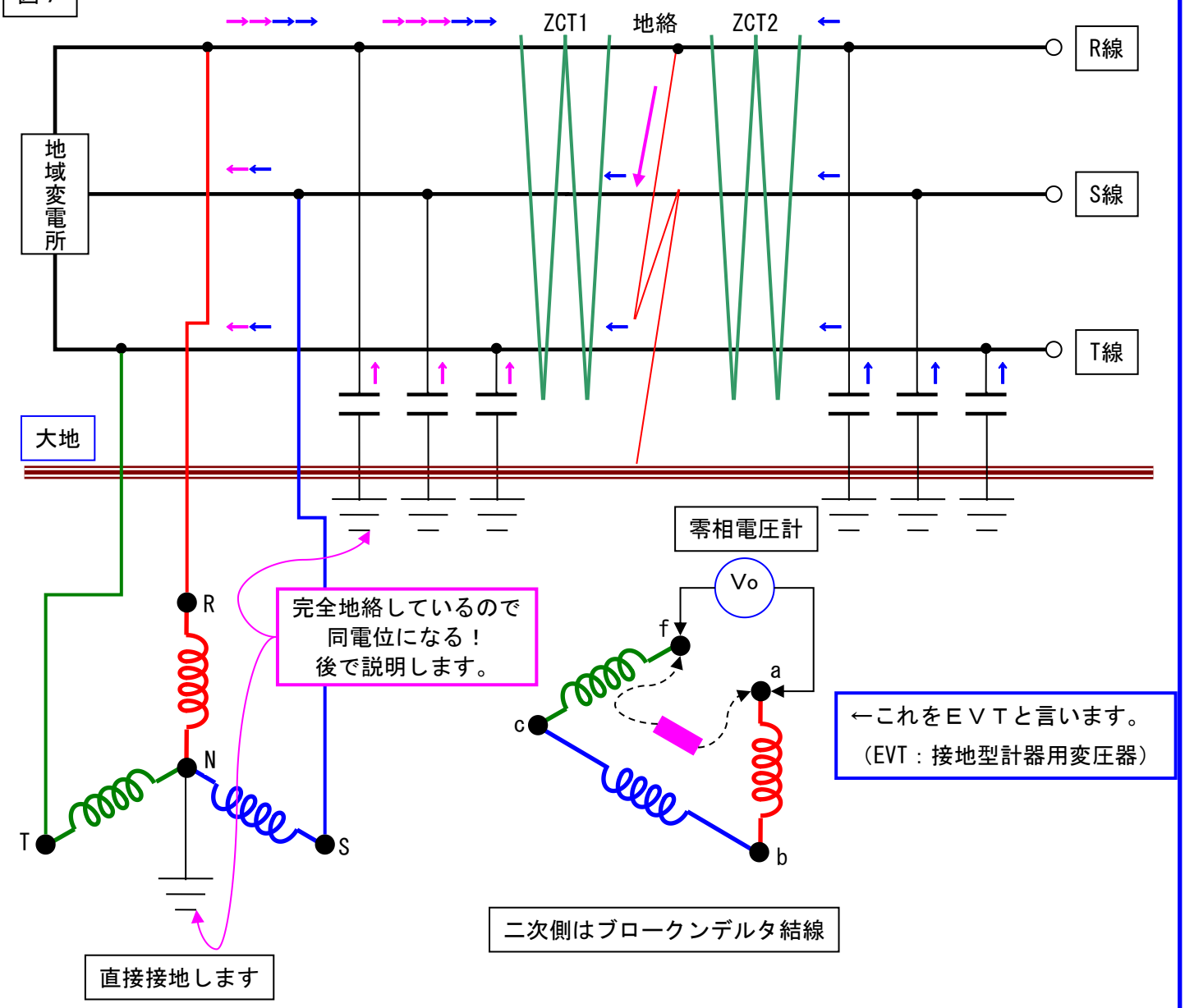


色々な色（→→→→）で各地絡電流を示しました。（かなり煩雑ですからヨーク見て下さい。）
地絡点に向かって各箇所から地絡電流が流れ込んで来ることが解ります。
此処で注目して頂きたいのは→で示した地絡電流です。
この電流はＡ需要家のＺＣＴを通過しますのでＡ需要家で地絡電流として検出されます。
ＯＣＧＲの感度にも依りますがこの電流に依り継電器接点がメイクして遮断器が飛びます。
これを「もらい事故」と言います。　←　重要
図を見ると「入って来る電流」と「出て行く電流」は違うので検出時に判断できそうに思われますが、
交流電流計測の原理としてそれは不可能です。　←　重要２回目！
例えば100A∠±0度の電流と100A∠180度の電流は電流計で同じ「100A」として計測されるだけで区別が出来ません。（電流計だけでは位相が解らない。）
そこで考え出されたのが「方向性地絡継電器ＤＧＲ」と言う代物です。

続く

さてその位相をどうやって見るのかという話ですが、ある電圧を使います。
その電圧とは「**零相電圧**」です。
ゼロソウデンアツゥ～・・・何それ？美味しいの？　と思ったアタナ！普通です。
零相電圧とは対象座標法に於ける地絡電流を流す電圧の事です。
タイショウザヒョウホウ？・・・何？・・・大正座標法なの？　と思ったアナタ！普通です。
普段こんなもの用は無いのですが、こと地絡に関しては避けて通れないものです。
下記に出来るだけ解り易く(結果は保証しない！キッパリ！)説明します。

図７



ピンクの■で示した部分は制限抵抗と言われる抵抗器が設置されますが、今回は省略して説明を始めます。
（後でこの制限抵抗は説明します）
解っている方にとっては今更の話ですが、これを始めてご覧になる方はナンジャコリャの話です。
ＥＶＴ一次側のＮ点は何と直接接地します。
もし二次側が普通の△結線だったら非接地では無く超高圧送電と同様な直接接地になってしまいます。
(容量0[kVA]の変圧器が本来の電源変圧器と並列運転しているものと等価になる。)
話が違うでは内科医？と思うのが普通です。
ＥＶＴの二次側はブロークンデルタ結線という結線になっていて図ではＲ巻線とＴ巻線の端子が直接繋がっていません。
本来は此処に制限抵抗という代物が併入されますが、此処では電圧計(内部抵抗＝∞)だけが繋がっているものとします。(つまりこの端子間は開放と同じ。)

さてそのＥＶＴの動作ですが、かいつまんで説明します。先ずは正常時の動作です。
正常時は単なるＹ-△結線の変圧器と同じです。
一般的にＥＶＴの変圧比は「6600V：110V：190/3V」です。←ナンジャ？この変な数値は・・・
一次側の電圧は6600/√3＝3811Vですから
　Ｒ相：3811V∠±0度　Ｓ相：3811V∠－120度　Ｔ相：3811V∠＋120度　となります。（←当たり前）
自動的に図９に示すＶo計で表示される電圧は±0[V]になります。（$\dot{\leftarrow}$＋$\dot{\leftarrow}$＋$\dot{\leftarrow}$＝±0ということです。）

図８

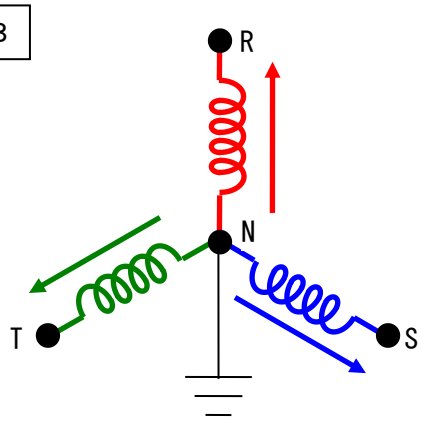
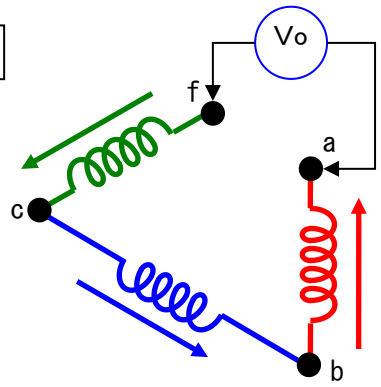


図９



次はＲ線が完全地絡した場合です。
驚いたことにＲ相のＲ点とＮ点は同電位になりますのでＲ巻線は電圧を失います。
一方で線間電圧6600Vは変わりませんので(変われないと言った方が実情に近い)Ｓ相およびＴ相の対地電圧は図１０の様に変化します。(専門的に言うとＮ点がＲ点まで移動すると言います。)
二次側に出る電圧は図１１に示す通りですが、巻線ab間には電圧が有りませんのでf～a間の電圧計をf～b間に繋ぎ変えても電圧計の指示値は同じ値になります。つまり電圧計には図１２に示す値が出ます。
実はこの値は零相電圧の３倍値です。ページを遡って2ページの図４に出て来るIgを流す電圧**$\dot{E}$r(の180度反転)**ですが**この値こそが零相電圧そのものです。←重要！**
図１２に$\dot{E}$r(の180度反転)を書いておきますが、３倍値になっているのが理解できるでしょうか？
ＥＶＴの定格電圧が190/3Vと言う頓珍漢な値になっているのはこの様なからくりがあります。
190V≒110V×√3　です。（　←　時々アタマがこんがらがる・・・ブツブツ・・・）

図１０

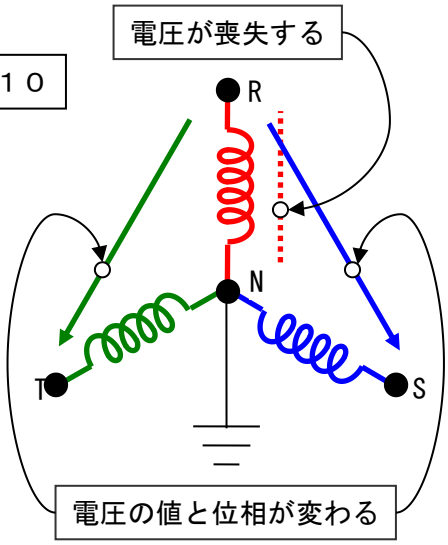


図１１

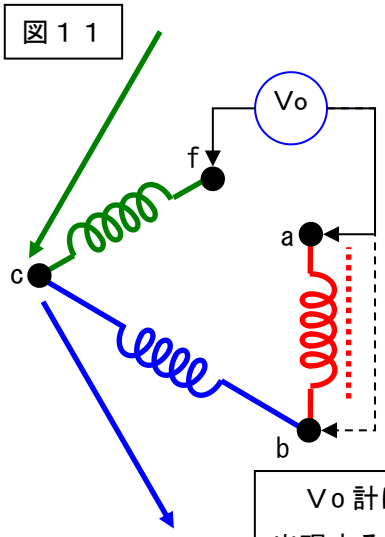
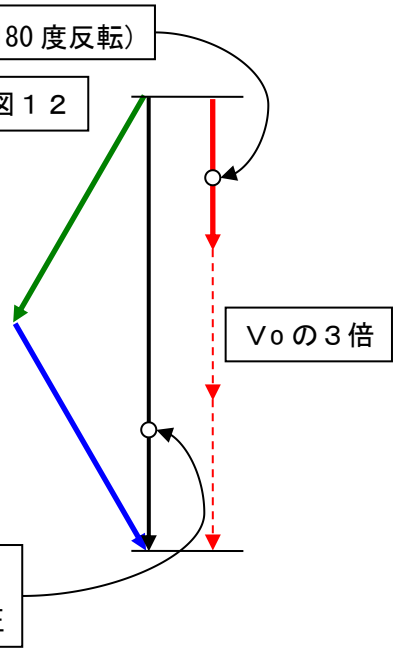


図１２



さてこのＥＶＴに出現する３倍値のＶoですが、この電圧を手掛かりにすると図７に示すＺＣＴ1とＺＣＴ2に流れる電流の判別が可能になります。

次ページに続く

さてもう一度５ページの図７に話は戻ります。
ＥＶＴから見てＺＣＴ１に流れる地絡電流はＺＣＴから出て行く電流でＺＣＴ２に流れる電流は入って来る電流です。
何れの電流もコンデンサに流れる電流ですから進み電流ですが、それは基準電圧の零相電圧に対して出て行く方向を正方向とした場合の話です。ＺＣＴ１そのまま進み電流で良いのですが、ＺＣＴ２に流れる電流は入って来る電流になりますので位相が180度反転して遅れ電流に見えます。
この見え方でＺＣＴの一次側の事故なのか二次側の事故なのかを判断しています。
これがＤＧＲの動作原理です。
（胡散臭い説明でしょう！～・・・これで理解が得られれば嬉しいのですが書いている本人が首を傾げながら書いていますから、読む方に理解しろというのもねぇ～・・・ブツブツ・・・）
まぁ兎に角余り深く考えないで基準電圧が得られれば電流の位相が解るので電流方向が判断できるってことで納得しましょう。

続いてブロークンデルタ端子に併入された制限抵抗の解説をします。（相当に胡散臭い怪説です。）

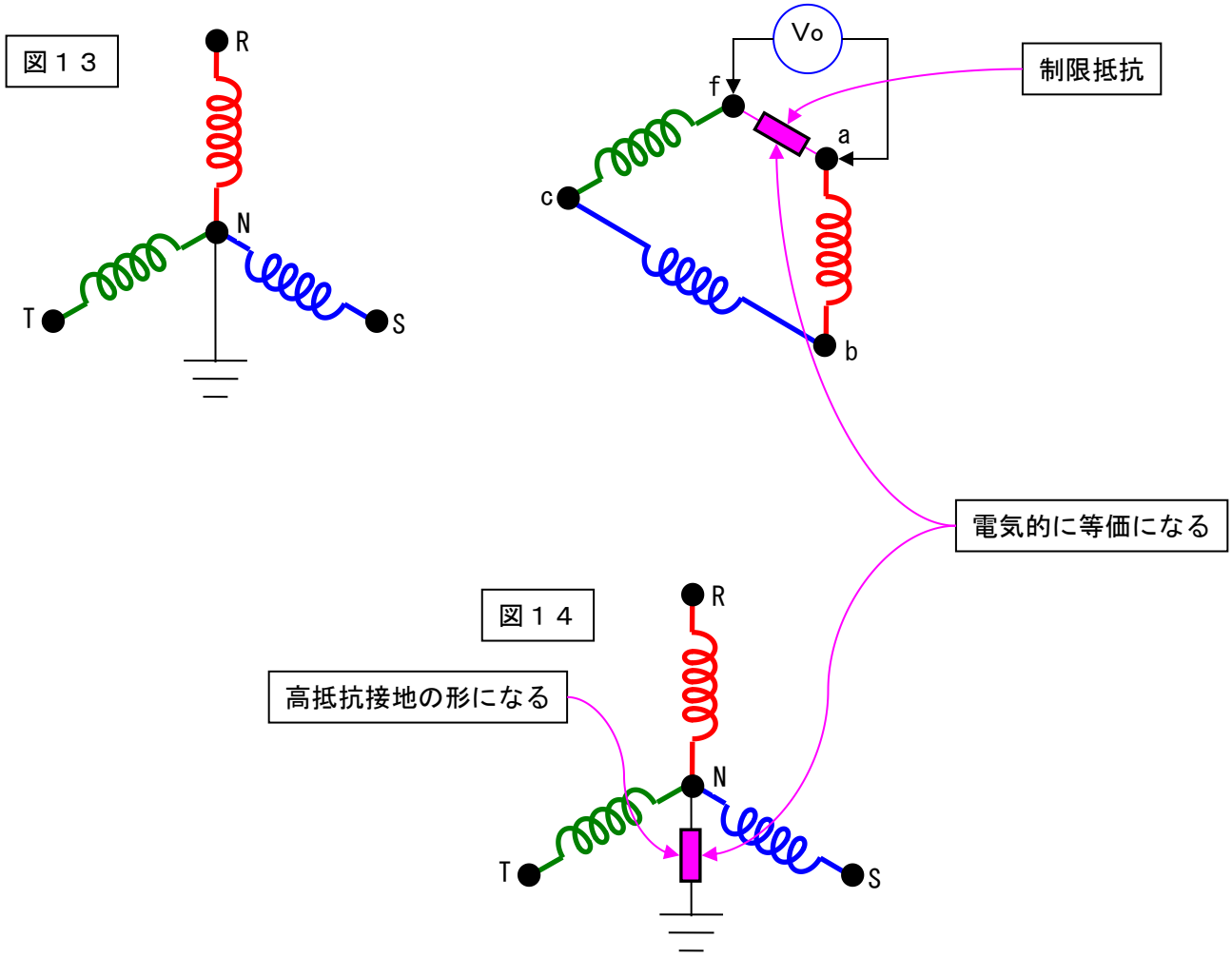


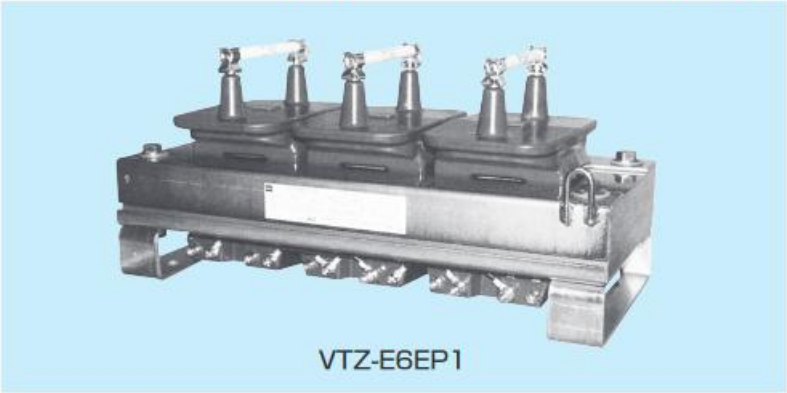
図１３はEVTの制限抵抗を復活させた図ですがこれは図１４に示す回路の等価回路を得るための手段です。
普通高圧配電線は原理的には非接地系配電ですが、き線の亘長が短い場合などで地絡電流が思うように流れなかったり、対地静電容量の不足に依り配電線の対地電圧が不安定になったりするのを防止する目的で高抵抗接地を採用します。（つまり擬似的にワザワザ接地系配電にしている。）
こうすることに依りOCGRの動作に必要な充分な感度を得たり、配電線の異常電圧を防止したりしています。
つまり普通高圧配電網は完全な非接地ではありません。
制限抵抗を高圧側接地抵抗に変換する過程は省略します。
次ページにＥＶＴカタログの抜粋を示します。

下記の写真はＥＶＴ(東芝カタログからの抜粋)です。
一次電圧6600V　二次電圧110V　三次電圧190/3Vです。
これを見てナルホドと思った人は相当に頭が良いです。普通はナンジャコリャ？になります。
定格電圧がどの端子の値を言っているのか今一良く解りません。
一次の6600VってU～V間ですか？U～O間ですか？どっちなの？
何で三次が190/3なの？　二次巻線って何に使うの？

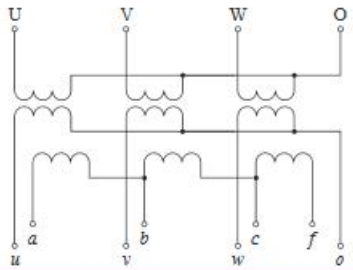
5.4 接地形計器用変圧器〈6.6kV以下〉

VTZ−E3E(P)、VTZ−E6E(P)形

●用　途　一般計器継電器用
●規　格　JIS C 1731−2
　　JEC−1201
●周波数　50, 60Hz共用


VTZ-E6EP1

結線図



形　式	一次電圧 (kV)	二次電圧 (V)	三次電圧 (V)	二次負担 (VA)	三次負担 (VA)	確度階級 (級)	耐電圧 (kV)	質　量 (kg)	外　形	納期区分
VTZ-E1E	0.44	110	190/3	3×200	3×200	1P/3G	0.88/—	61	図1	60日以内
			110/3							
VTZ-E1EP1			190/3						図2	
			110/3							
VTZ-E3E	3.3		190/3				6.6/45	61	図1	30日以内
			110/3							60日以内
VTZ-E3EP1			190/3						図2	即納
			110/3							60日以内
VTZ-E6E	6.6		190/3				13.2/60		図1	30日以内
			110/3							60日以内
VTZ-E6EP1			190/3						図3	即納
			110/3							60日以内
VTZ-E6EP2			190/3						図4	30日以内
			110/3							60日以内

※上記以外の定格も製作可能ですのでお問合せ下さい。

この様にヨーわからんＥＶＴですが、実は普通高圧配電で設置されるのは電力会社の地域変電所の普通高圧母線だけです。
需要家内の自家用受変電設備内に設置してはイカンことになっています。
これは地絡事故時の事故点探索を電力会社は直流メガーを使って行うそうですが、需要家内にＥＶＴが有ると素通しになってしまって絶縁抵抗を測定できないのが理由だそうです。（コイルに直流当てると素通しね！）
ですから需要家側でＤＧＲを設置しようとすればＥＶＴ以外のものを用いてVoを検出する必要があります。
そこでアタマの良い人達が作り上げたのがＺＰＤ（ＺＶＴが正式名称らしい？）です。

ＺＰＤの解説は次ページで・・・

ＺＰＤの解説です。下図参照

図１５

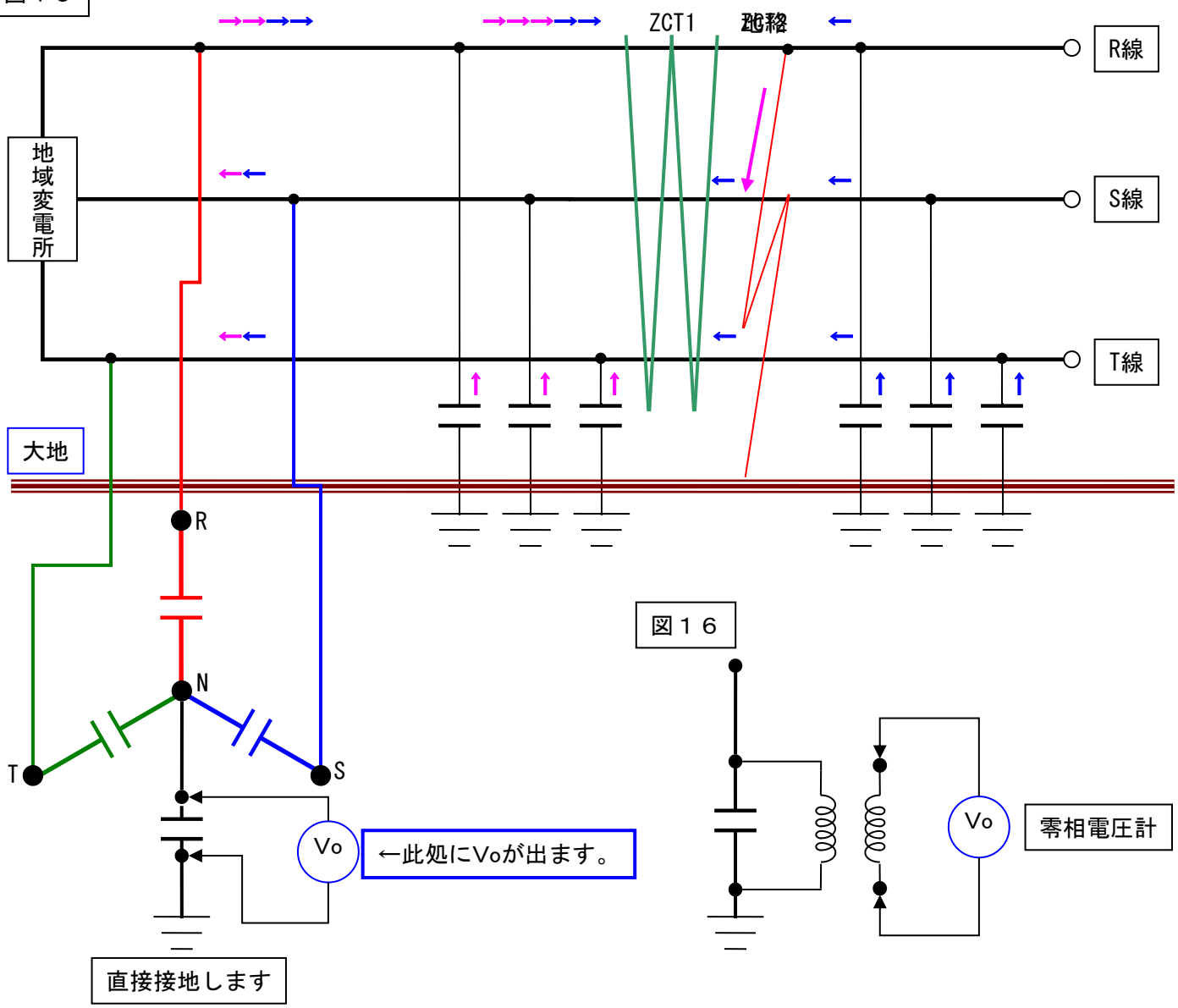


図１５に示す様に３つのコンデンサをスターに組んでN点と大地の間にコンデンサを挟んで直接接地します。
この様にコンデンサを組むとN点と大地との間に設置したコンデンサ端子両端にゼロ相電圧が出ます。
図１５は原理を書きましたが、実際には図１６に示す様にコンデンサ端子と並列に
変圧器(恐らく変圧比＝１：１)を介してゼロ相電圧計に接続します。高圧系との混触対策だと思います。
下記にZPDの光商工カタログの抜粋を示します。
https://www.hikari-gr.co.jp/products/search/product01/list01/item_8

取り敢えず怪説は此処まです。
次ページ以降は資料のページです。

資料のページ　テブナンの定理　適用手順

手順１

●は極性を指す

R線

S線

T線

$\dot{E}r$

$\dot{E}t$

$\dot{E}s$

電源を短絡させる

R線

S線

T線

手順２

手順３

手順４

R線

S線

T線

地絡

地絡

$\dot{E}r$

V

地絡

$-\dot{E}r$

地絡した

地絡部分にスイッチを設置して
スイッチの端子間の電圧を測る

測定した電圧の 180 度
反転の電圧源を接続する

結果としてこうなる

図４
再掲載

Igr1 Igs1 Igt1 Igs2 Igt2

Igr2

地絡点

R線

ＺＣＴ内で相殺

$-\dot{E}r$

Ig

ＺＣＴを通過しない

Igs1

Igs2

S線

Igt1

Igt2

T線

$-jXc1$

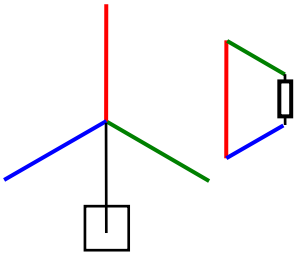
$-jXc2$

Igr1 Igs1 Igt1

Igr2 Igs2 Igt2

ＥＶＴ(旧ＧＰＴ)制限抵抗の二次側から一次側への変換

図１　元の状態



抵抗値＝ｒ

図２　変換その１

抵抗値＝ｒ／３が３個

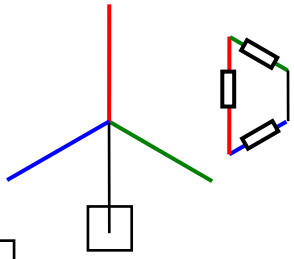


図３　変換その２

抵抗値＝（ｒ／３）×ｎ^{2}が３個
ｎは巻線比

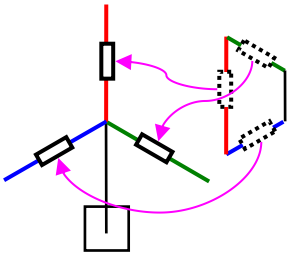
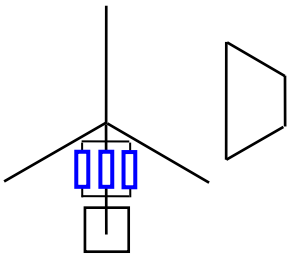
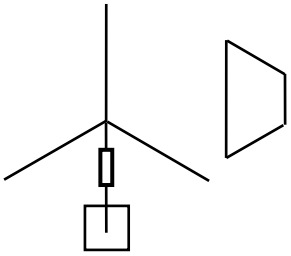


図４　変換その３



抵抗値＝（ｒ／３）×ｎ^{2}が**３個並列**
ｎは巻線比

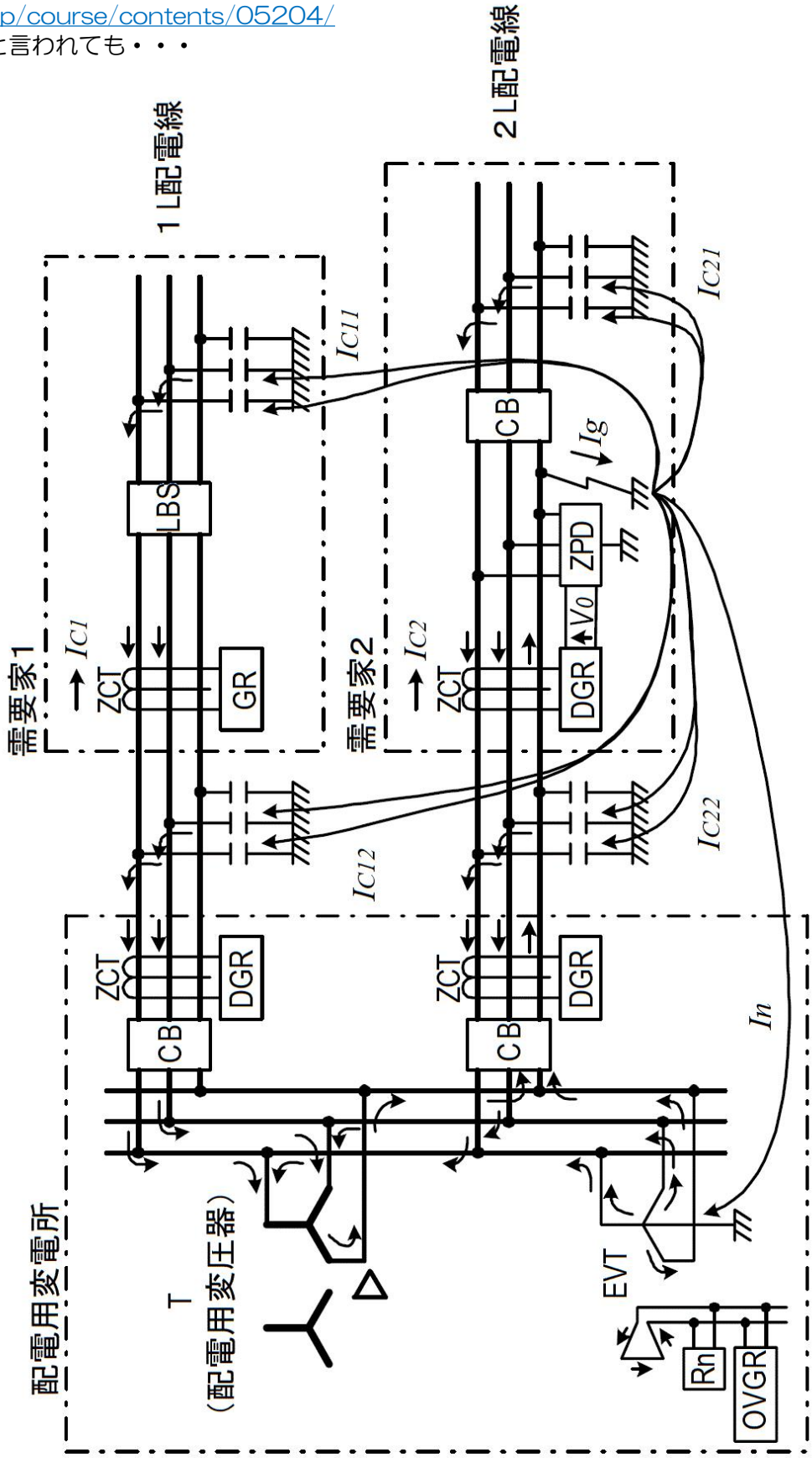
図５　変換その４



抵抗値＝（ｒ／３／３）×ｎ^2
　　＝（ｒ／９）×ｎ^{2}が１個
ｎは巻線比

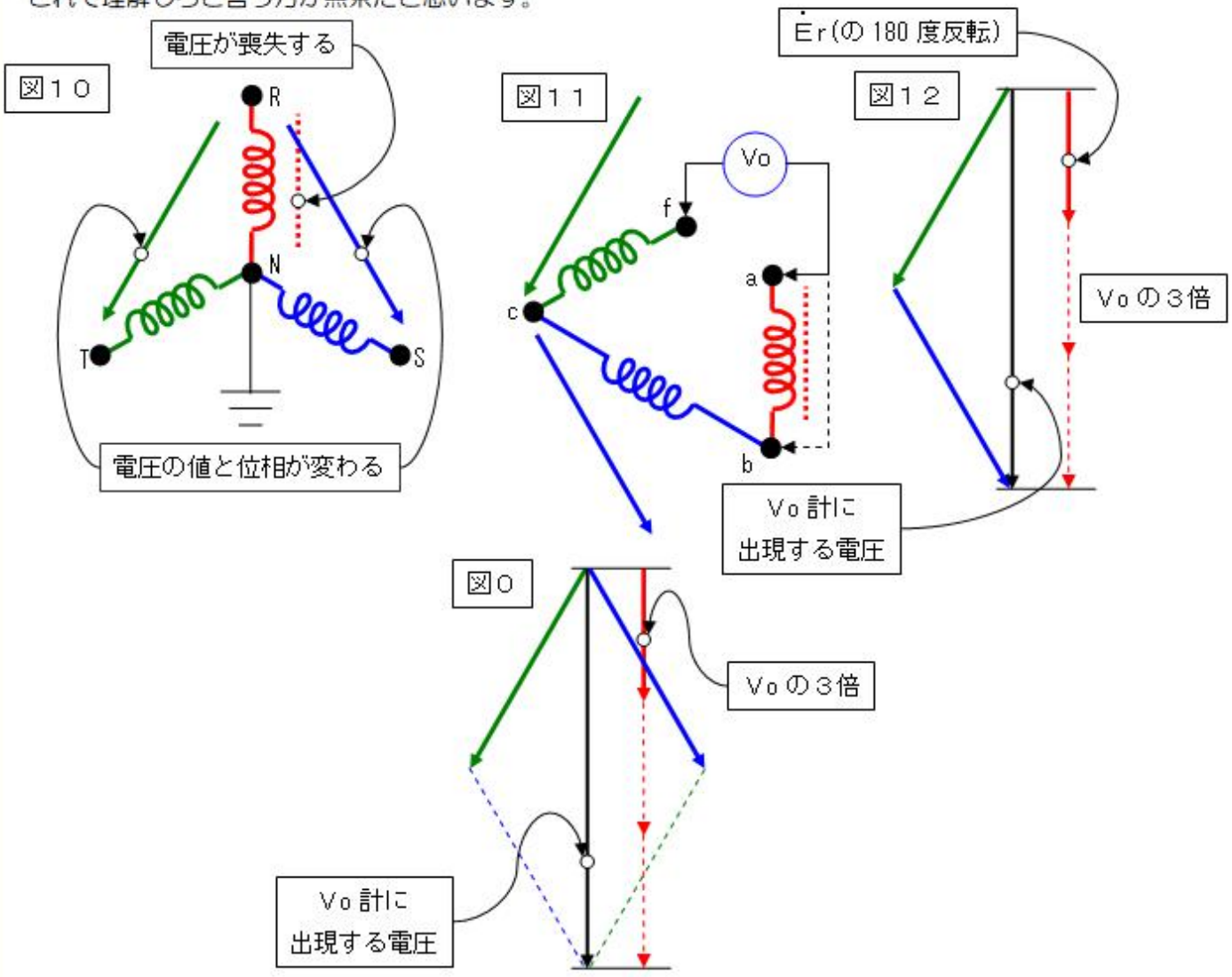
計算例　制限抵抗 25[Ω]を設置した場合
ｎ＝6600V/110V＝60
ｒ＝25[Ω]
抵抗値＝（ｒ／９）×ｎ^2
　　＝25/9×60^2
　　＝10,000＝10k[Ω]

ネットで拾った図を貼っておきます。
参照元：音声付き電気技術解説講座｜公益社団法人 日本電気技術者協会
https://jeea.or.jp/course/contents/05204/image/diagram/03_big.gif
元の講座
https://jeea.or.jp/course/contents/05204/
これで理解しろと言われても・・・

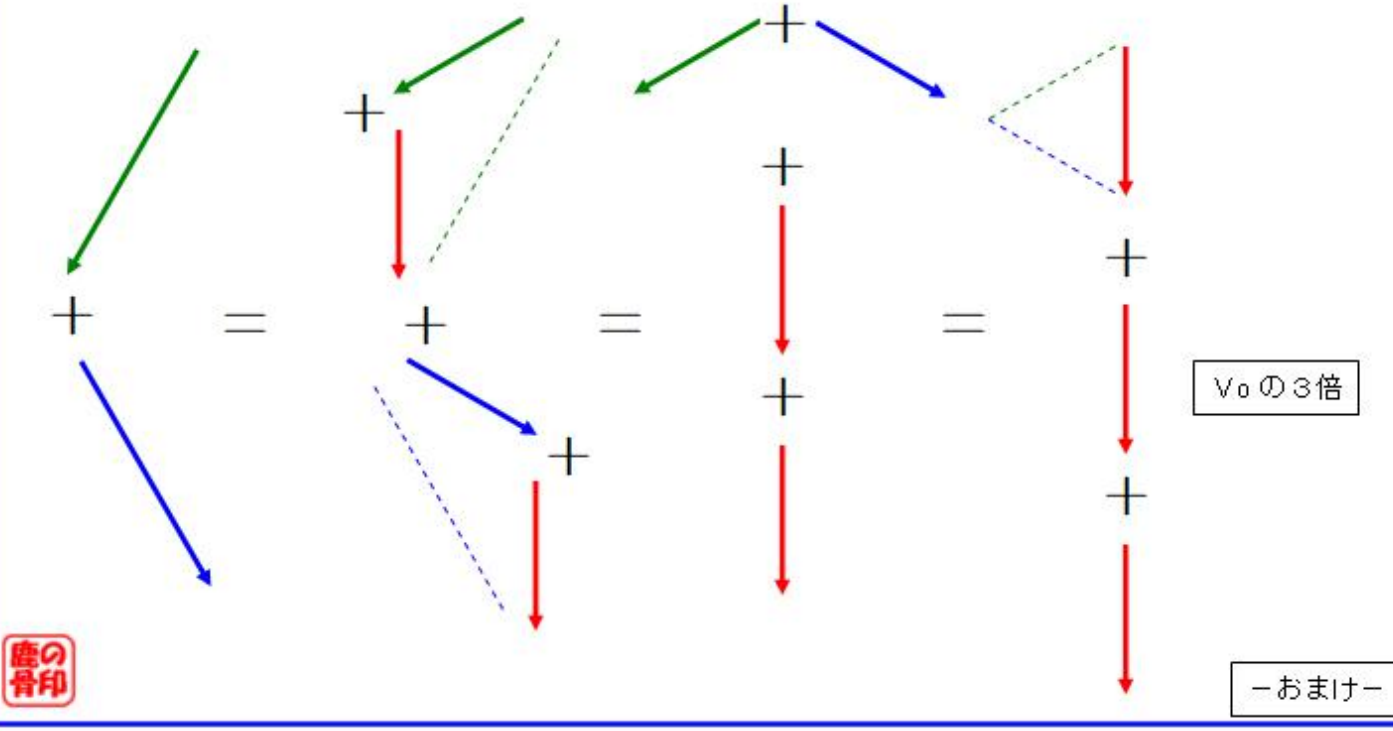


オマケのおまけ

世の中の参考書に書かれる解説図と此処に示された怪説図との比較です。
６ページ目の図１０～１２図ですが世の中の解説書はいきなり図０が示されます。
これで理解しろと言う方が無茶だと思います。



更に加筆すれば下記



－おまけ－