

V結線の話 V E R 2

以前に作ったV結線の解説書（擬き）がありますが、読み返して見るとページ数の割には内容が頓珍漢なところが有り、いまいちの感じがします。

あれから、時間も経ちましたので、改訂版を作る事にしました。

元々、この話シリーズは、小生が自分で理解をするために作ったものです。

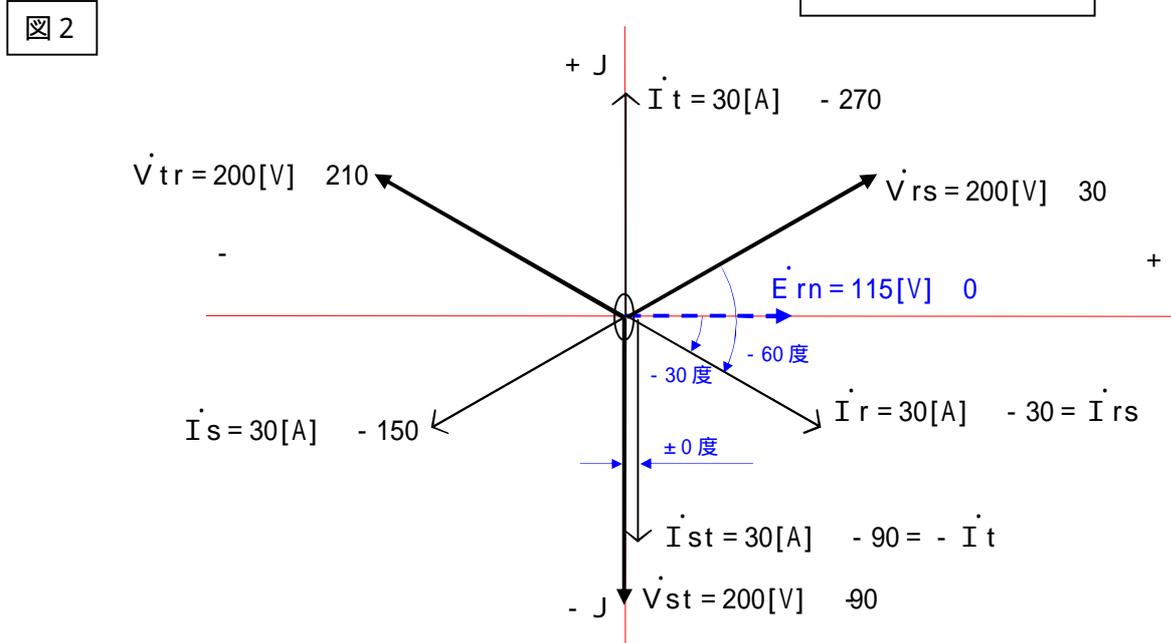
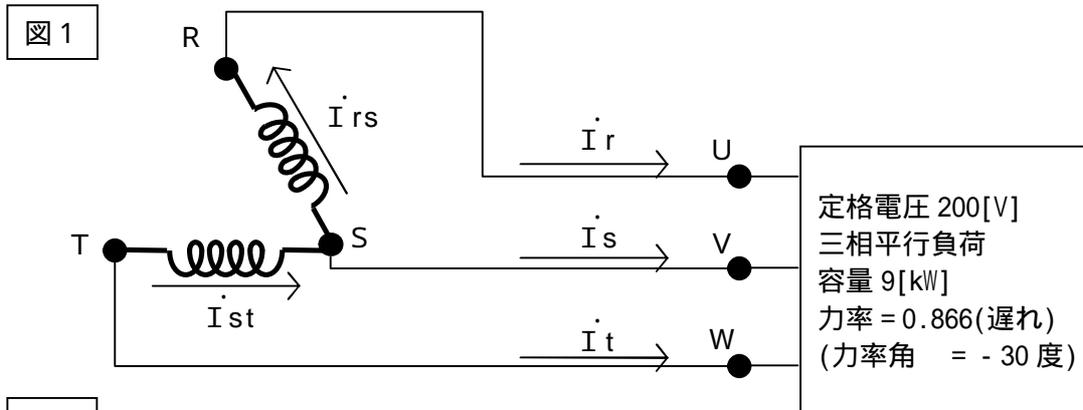
今回も、自分なりに整理したつもりですが、やはり頓珍漢な部分があるかも知れません。

お時間が有りましたらお読み下さい。

尚、この書き込みはベクトル図、複素数座標及び極座標を理解されていることを前提としています。予めご承知おき下さい。

平成 鹿年 骨月 吉日
 貧電工附属 埼玉ドズニールランド大学 (SDU) 学長 鹿の骨

下図をご覧ください。



この図を理解出来る人・・・次ページ以降の解説を読む必要は有りません。

この図を理解出来ない人・・・次ページ以降の解説を辛抱強く読んで下さい。

辛抱強く読んでも理解出来なかった人・・・申し訳ありません。他の参考書をお読み下さい。

図2は変なベクトル図です。

回路図に無い、 E_{rn} なんて言う電圧が基準ベクトルになっている。

中性点Nなんて何処にもナイジャン？ナンジャコリヤ？？

鹿の骨流講義の始まり始まり・・・

早速ですが、解説を始めます。

V結線を理解する時に要となる部分が有ります。下記の2つです。

その1

三相回路の解析を行う場合、力率角が何処に現れているかを理解すること。

その2

トランスの巻き線電流と配線の線電流の関係を理解すること。

尚、この2点を既に理解されている方は、9ページに飛んで下さい。

その1から話を始めます。

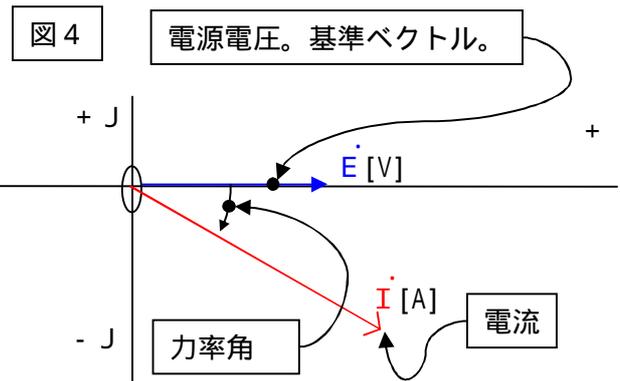
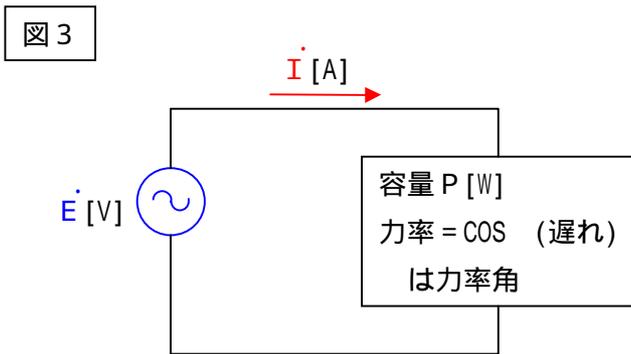
三相回路のベクトル図には色々なベクトルが出てきます。

負荷は固有の力率を持ち力率角とよばれる位相角があります。

この角度が何処に現れているかを正しく理解することが重要です。

この話はV結線に限らず、三相回路の考え方の基礎となるものです。確実にマスターしてください。

下記に単相の場合の例を記載します。



この図は理解出来ると思います。(幾ら何でもこれがワカランとは言わないよ！)
ベクトル図の中でも最も基本のものです。

上図は単相の場合です。

三相の場合も、基本的にこの図と大きくは変わりません。

単相と、三相の異なる部分は、電源が3セット有ることです。

基本的には、単相×3セットと言えます。

手始めに、次ページの問題を考えて下さい。

問題1

図5は三相電圧電源である。(スター結線)

端子R S T Nに係わる電圧ベクトルを総て描きなさい。

(は位相角を示します。値の単位は[度]です。)

電圧ベクトルを描けというので、捉えず描いたのが図6です。

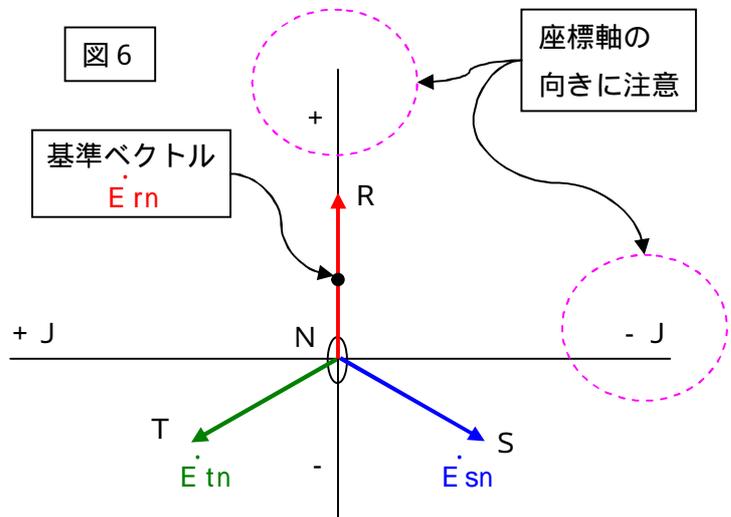
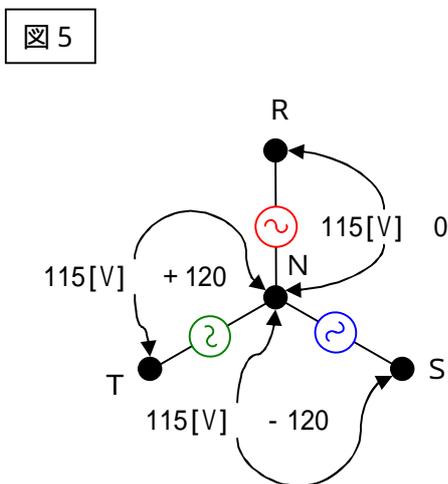


図6の図は間違いではありませんが、不十分です。

正解は下図の図7になります。

ベクトル図を書くときのお作法に従って、基準ベクトルを12時の方向ではなく、3時の方向で描いています。以下の説明で、ベクトル図を描くときは総て**3時の方向を基準方向**とします。

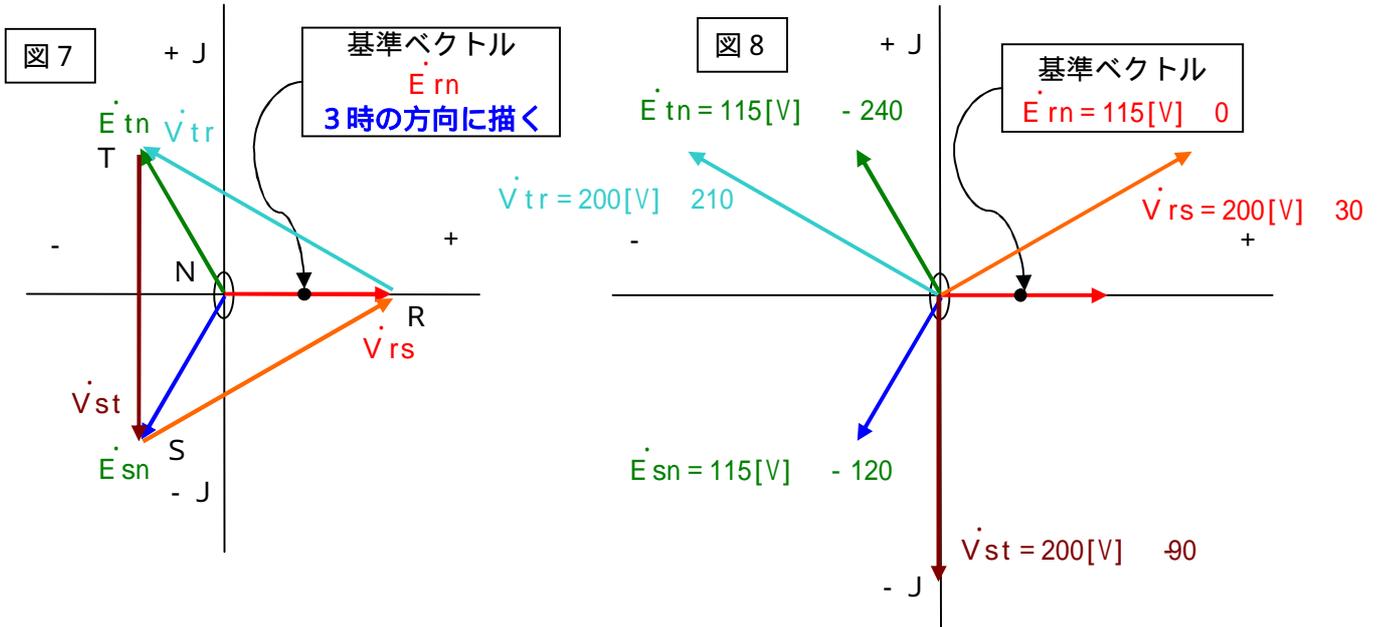
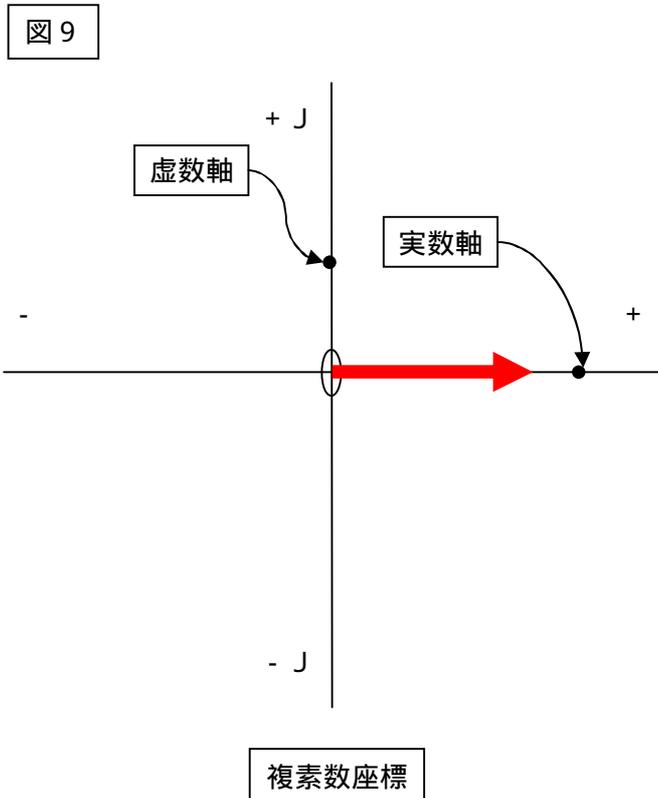


図7のベクトル図を描き直すと図8になります。

この様に、電圧源があるから描ける電圧ベクトル以外に、誘導される電圧に依る電圧ベクトルも書けます。

ここで学ぶべき事は

電圧ベクトルは、色々描けるということです。



此処で、**基準ベクトル = 3時の方向**がお作法の話を書きます。

ベクトル図は左図に示す通り、複素数座標で描きます。基準とするベクトルは **長さ ± 0** で示されますので、虚数部の値は必ずゼロになります。

従って、自動的に3時の方向を向くことになります。座標そのものを、90度回して、12時6時の方向を実数軸にすることもありますが、3時の方向を実数軸のプラス方向に描くのが一般的です。

回路図を描くときは、見やすさ理解のし易さ等で、色々な方向を用いて回路図が描かれます。

ですから、回路図の電源方向等と、このベクトル図の方向が合わない場合が多々あります。

ベクトル図は色々描く事が多いと思いますが、一般的な描き方に慣れて置いた方が良いと思います。

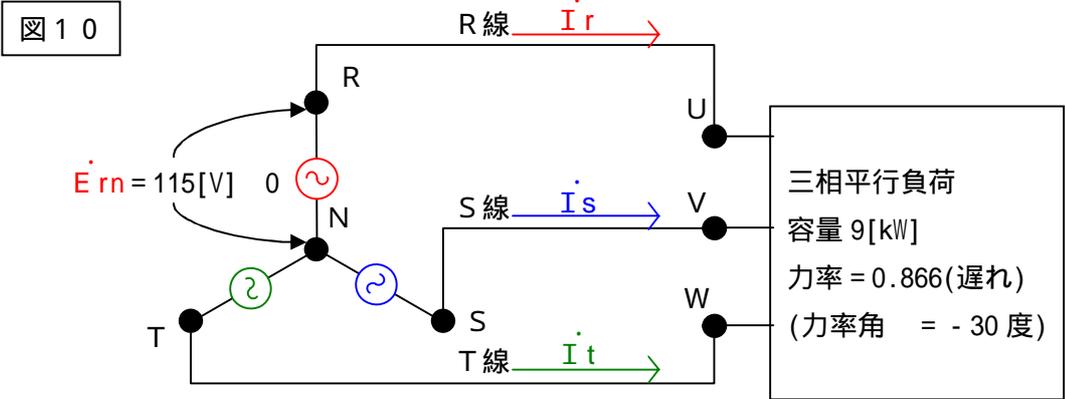
この解説書では、ベクトル図を描くときは、特に断り書きを入れない場合、3時の方向が実数の正方向とします。

引き続き次の問題を考えて下さい。

問題2

2 ページ図5 の電源に下図のような負荷を接続した。

流れる電流値を計算し、ベクトル図に示しなさい。基準ベクトルは \dot{E}_{rn} とする。
尚、配線のインピーダンスは無視する。



まず、電流の大きさを求めます。
これはスカラー式で算出が可能です。
電流値 = W値 ÷ 力率 ÷ 線間電圧 ÷ $\sqrt{3}$ (公式のまんまです。)
= $9000[\text{W}] \div 0.866 \div 200[\text{V}] \div \sqrt{3}$
= $30[\text{A}]$

となります。 $|\dot{I}_r| = |\dot{I}_s| = |\dot{I}_t| = 30[\text{A}]$ です。
電流値の大きさが解りましたので、今度は力率角がどの電圧に対する位相角なのかを考えます。

\dot{I}_r を考えます。 \dot{I}_s や \dot{I}_t の場合も位相が 120 度ずれるだけです。

\dot{I}_r は電圧 \dot{E}_{rn} に対して 30 度遅れています。

これを図示すると図 1 1 になります。

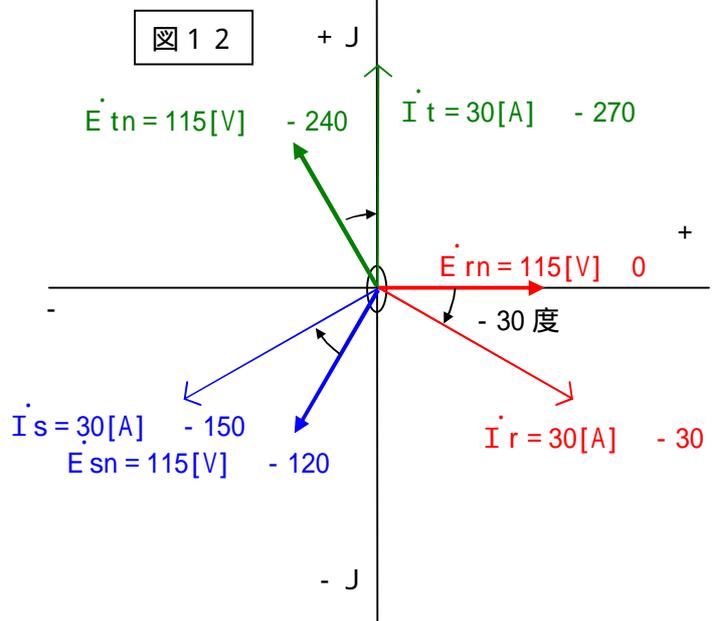
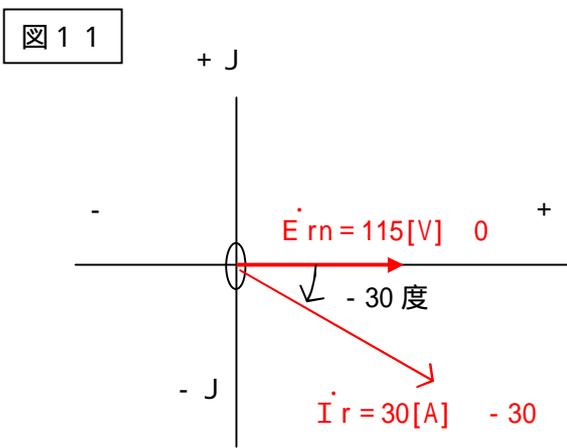


図 1 1 のベクトル図を三相分描くと図 1 2 になります。
ところで、線電流は相電圧に対して力率角を持ちますが、どうしてそうなるのかは、此処ではなるからなるとしてください。

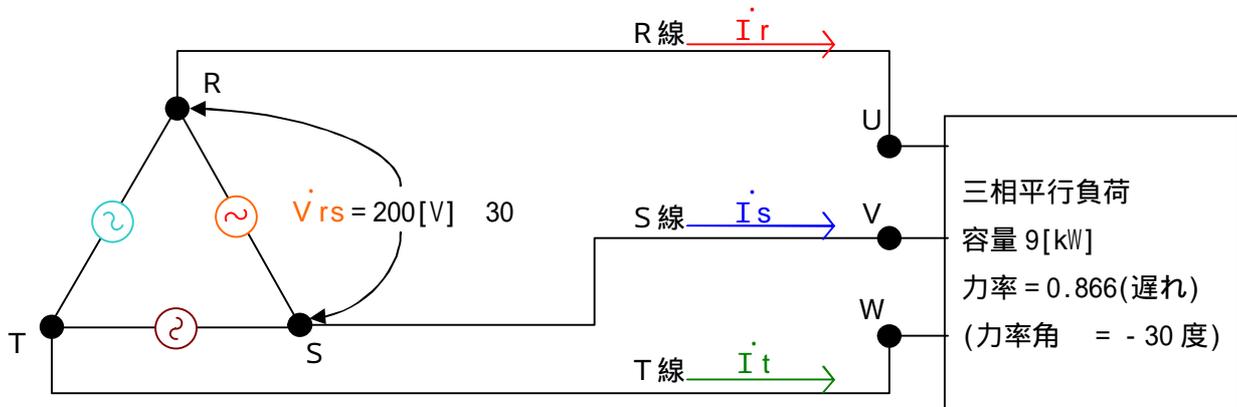
線間電圧 \dot{V}_{rs} 、 \dot{V}_{st} 、 \dot{V}_{tr} は無関係です。
後の方で、このカラクリは説明したいと思います。 1

引き続き次の問題を考えて下さい。

問題3

前ページ図10の電源に代えて下図のような電源を負荷に接続した。
 流れる電流値を計算し、ベクトル図に示しなさい。基準ベクトルは何でも良い。
 尚、配線のインピーダンスは無視する。

図13



何やら怪しげな問題です。
 前問題のスター電源をデルタ電源に置換したものです。
 電源は代わりましたが、**線間電圧は変わりません**。
 従って、線電流は、前問の値と変わりません。

$|\dot{I}_r| = |\dot{I}_s| = |\dot{I}_t| = 30[\text{A}]$ です。
 線電流の大きさは解っていますので、ベクトル図は描けるはずですが。
 「・・・**描けない!**」そうです、描けません!
 基準とすべき相電圧がこの結線にはありません。さて、どうしたものか?
 この様な場合は、**仮想の相電圧を定義します**。図14参照。

図14

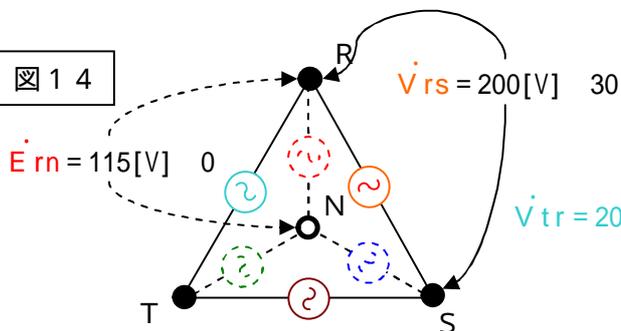
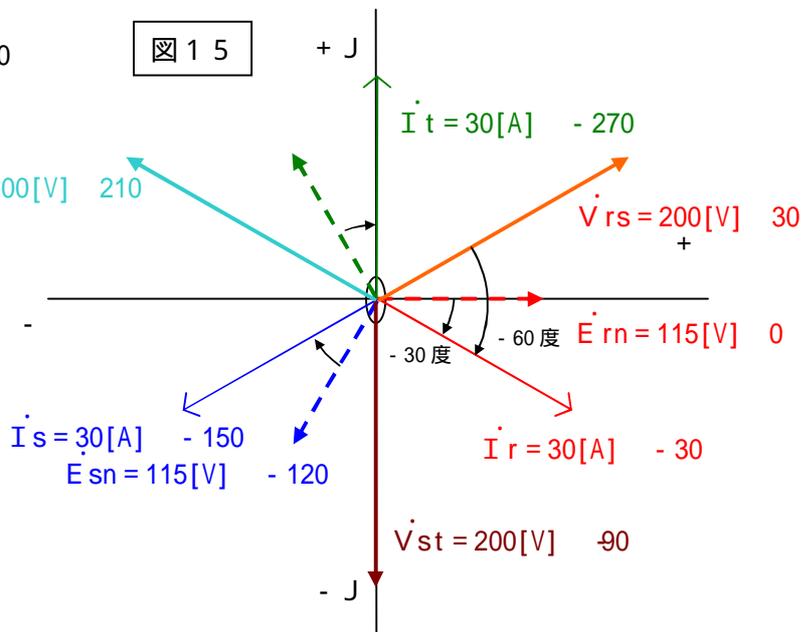


図15



この仮想の相電圧を基準として、ベクトル図を書くと図15になります。
 基準となるベクトル E_{rn} は実在しない電圧です。中性点Nも実在しません。
 力率角 30 度はこの実在しない相電圧と、線電流の挟み角になります。
 因みに、電圧 \dot{V}_{rs} と電流 \dot{I}_r との相差角は 60 度です。
 この様に、力率角は思わぬところにあります。この考え方は三相回路の考え方の基本です。
 納得がいかないかも知れませんが、後の方に詳しい説明を記載します。 1

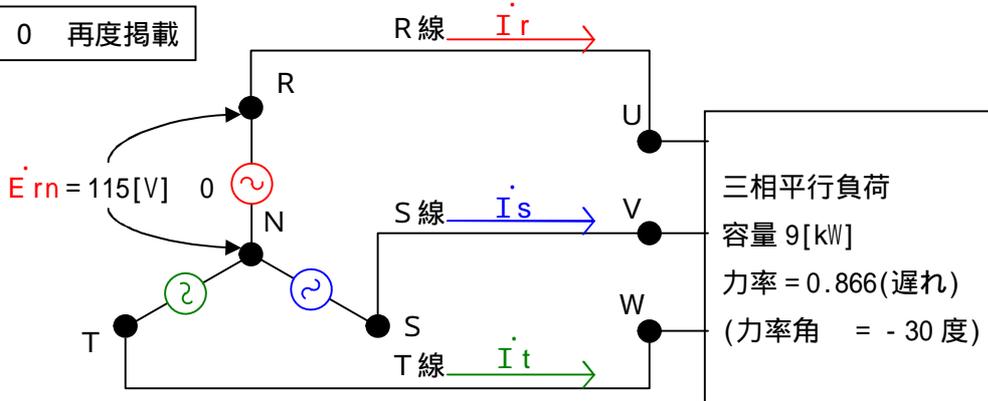
力率角の説明は此処までとします。

今度は電圧電源に流れる電流の話です。
引き続き次の問題を考えて下さい。

問題 4

図 1 0 の電圧電源に流れる電流を計算し、ベクトル図を描きなさい。

図 1 0 再度掲載



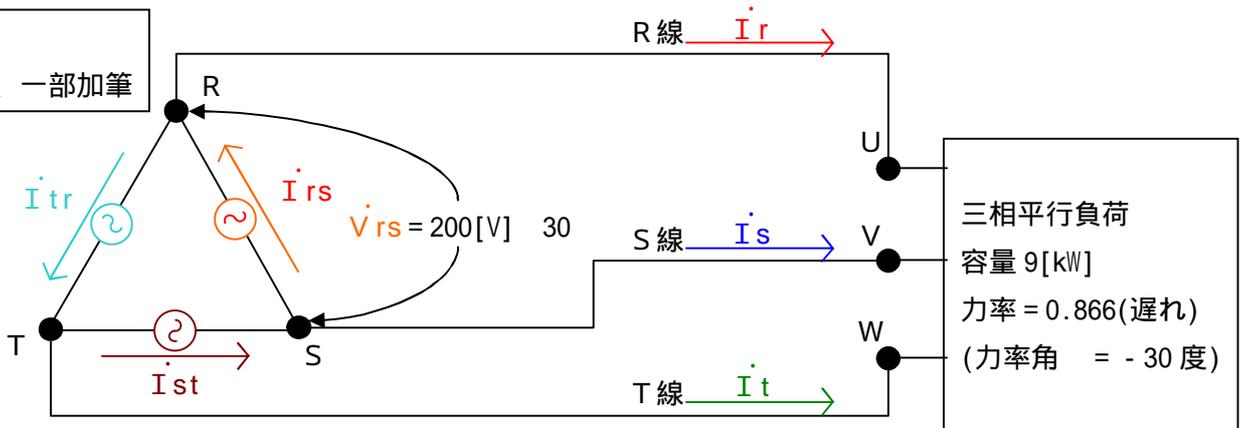
これは考えるまでも無い問題です。
電圧電源RNに流れる電流は線電流 \dot{I}_r と同じ電流です。
ベクトル図は4ページの図 1 2 のまんまです。

今度はデルタの場合です。

問題 5

図 1 3 の電圧電源に流れる電流を計算し、ベクトル図を描きなさい。

図 1 3 再度掲載、一部加筆



これは面倒くさい計算をすると出てきます。
此処では結果のみを示します。計算手法は後で書きます。 2
(此処で細かく書くとV結線の話になかなかたどり着けない。)

三相回路ですから、 $|\dot{I}_{rs}| = |\dot{I}_{st}| = |\dot{I}_{tr}|$ です。

又、 $|\dot{I}_{rs}| = |\dot{I}_r| / 3$ の関係があります。

$|\dot{I}_r|$ が $30[A]$ ですから、 $|\dot{I}_{rs}|$ は $30 / 3 = 17.32[A] = |\dot{I}_{st}| = |\dot{I}_{tr}|$ となります。

位相角の関係は、 \dot{I}_r を I_r と表した場合、 \dot{I}_{rs} は $\dot{I}_{rs} = I_{rs} (\ +30)$ となります。

つまり \dot{I}_{rs} は \dot{I}_r に対して大きさが $1 / 3$ で位相が 30 度進んだ電流になります。

ベクトル図を次ページに示します。

一相分を描いたのが図16です。基準とするベクトルは架空の \dot{E}_{rn} です。
 三相分を描くと図17になります。
 図17では基準ベクトルは描いていません。ご注意ください。

図16

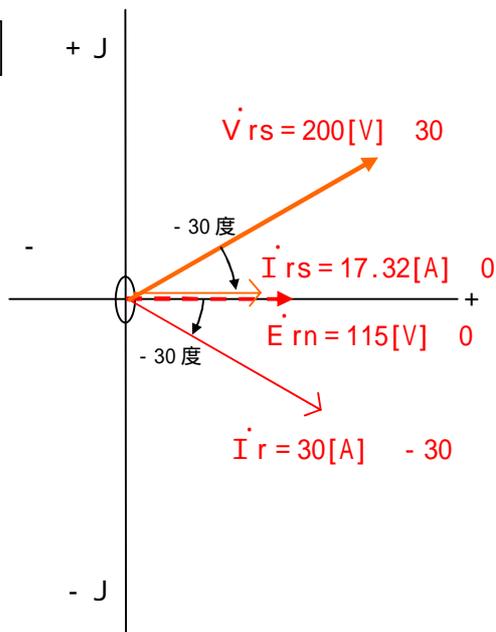
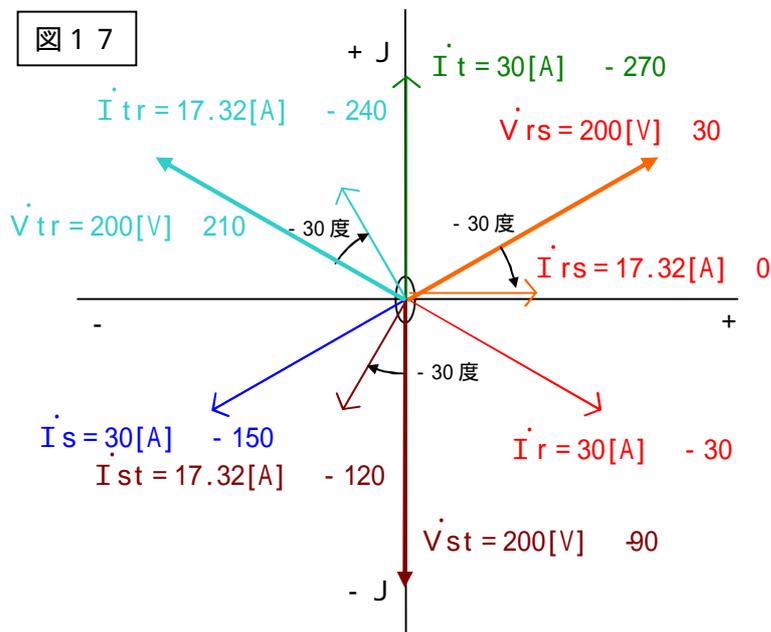


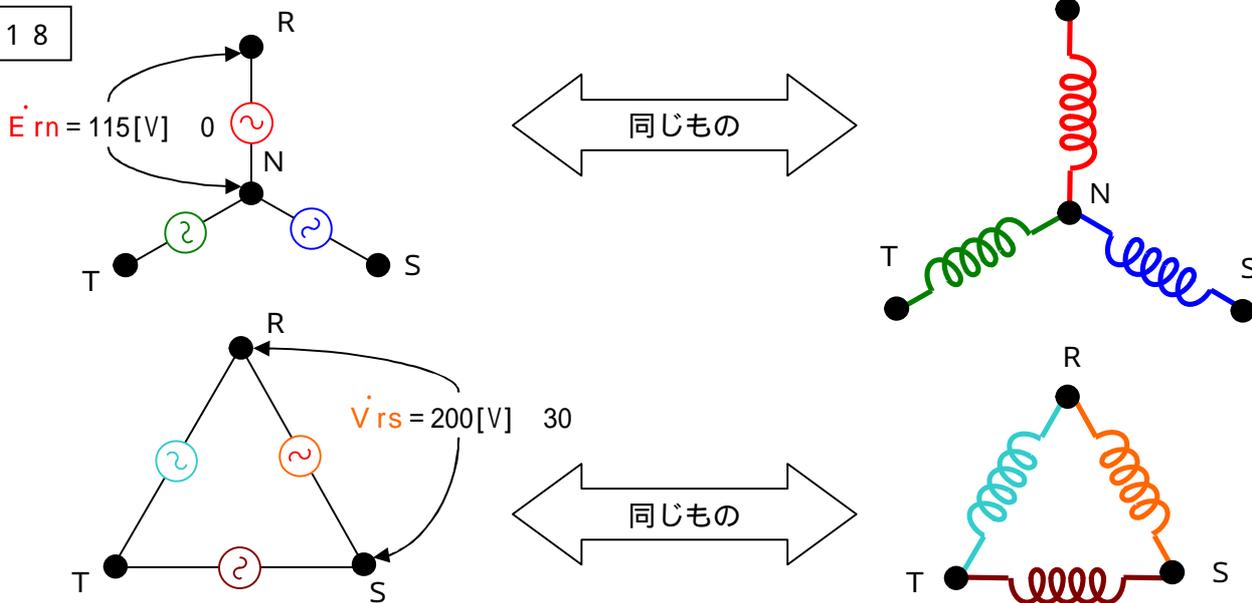
図17



これで、電圧電源に流れる電流と、線電流の違いを理解出来れば良いのですが、チョット無理があります。理解出来ない場合は、お手数ですが、資料6ページの計算手法をお読みになってから、戻ってきて下さい。

此処で、電圧電源とトランスの巻線の間を書きます。結論を先に書けば、回路解析上両者は同じです。

図18



この両者が違うものとして扱わなければならないとしたら、それはトランスが定電圧源として見なせないことを意味します。
 そんなトランスは通常では使い物になりません。
 従って、両者は同じものです。

やっとV結線の話に入ります。

V結線の説明手法は色々ですが、此处ではデルタ結線から、1バンクを取り去ったものとして説明します。早速ですが又問題を出しますので、考えて下さい。

問題5

図19はV結線と同等の電圧電源である。この電圧電源のベクトル図を描け。

図19

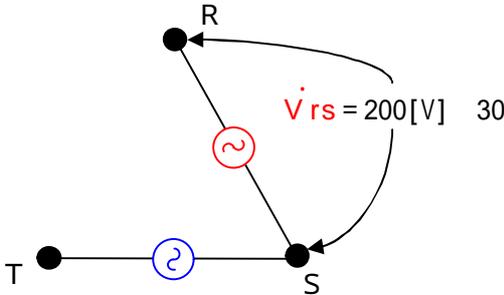
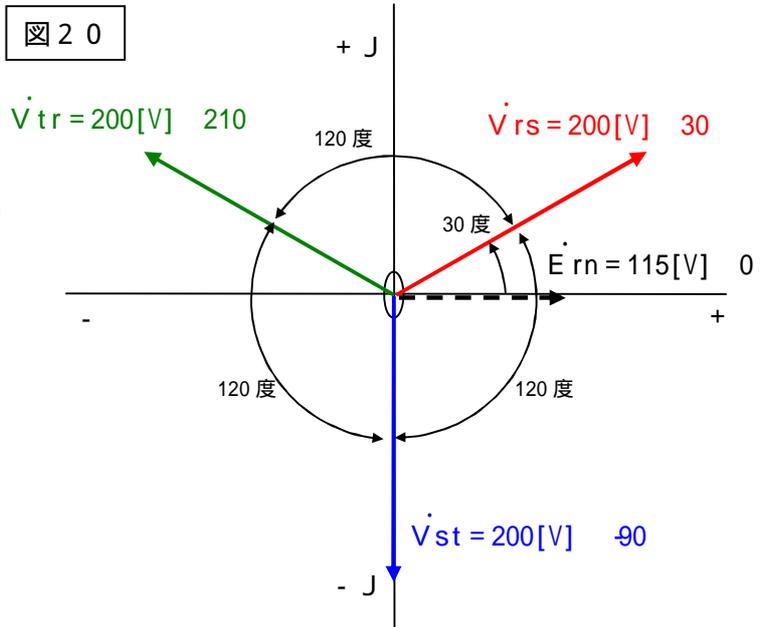


図20



ベクトル図を描いたものが図20です。

デルタ結線の場合と全く同じです。 どうしてこの様なベクトル図が描けるのか？

これは考えるまでも無いことです。

V結線は三相の結線です。

従って、120度位相の電圧ベクトルが3つ描けなかったら、それは三相電源ではありません。

デルタ結線と同じ電圧ベクトル図になることは当たり前の事です。

5ページ図15のベクトル図の内、電圧に関する部分と見比べて下さい。

全く同じ図であることが解ります。

端子TR間には誘導により電圧が発生し、この電圧はデルタ結線の場合の \dot{V}_{tr} と全く同じです。

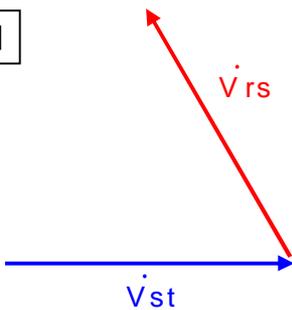
世の中の参考書には、V結線の電圧ベクトルを下図A、Bの様に記載したものもあります。

これらは、どの様な意図を持って描かれたかは解りませんが、電圧に関するものはCが正解として扱います。このC図を描き直すと図20になります。

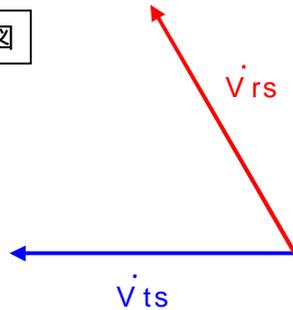
基準ベクトルは \dot{E}_{rn} です。(基準のベクトルを3時の方向に描く。)

図21

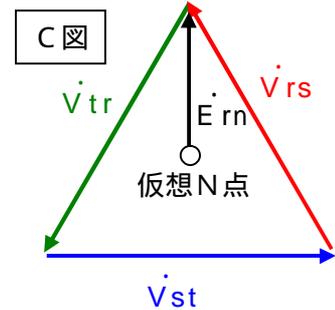
A図



B図



C図



次にV結線の電流の話に入ります。
話の前に又問題を出しますので、考えて下さい。

問題 6

電源の構成が解らない電源がある。
この電源に下図の様に負荷を接続した。
この電源は下図A図、B図、C図の内、何れか？
又、各線電流を計算しなさい。

図 2 2

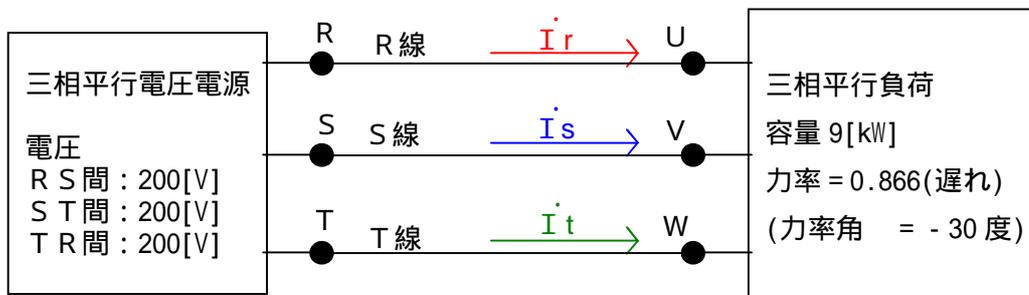
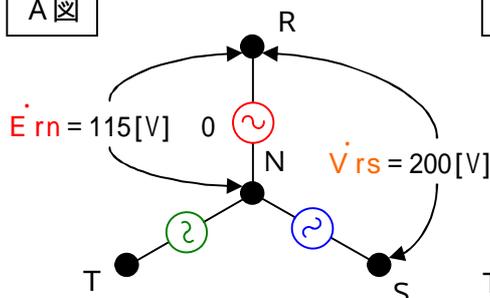
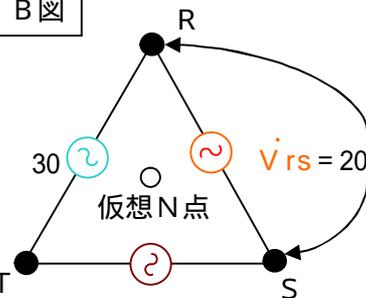


図 2 3

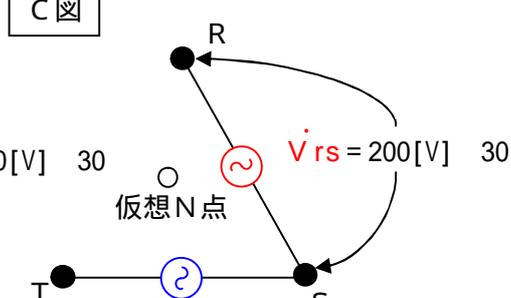
A 図



B 図



C 図



A 図はスター結線、B 図はデルタ結線、C 図はV 結線です。

解答は、**何れの結線でもOK。** < =これが解答。

一見不可解な解答の様に思えるかも知れませんが、図 2 2 の様に結線内容を隠した電源を、負荷側から見ると、中の結線はAでもBでもCでも良いのです。

総てR, S, T間の電圧は120度位相の200Vです。

だからどれでも良いことになります。

又線電流の計算ですが、これは計算するまでも無いのです。

$|\dot{I}_r| = |\dot{I}_s| = |\dot{I}_t| = 30[A]$ です。

A ~ Cの電源パターン全部に共通です。

つまり、線電流は電源の結線に無関係です。

スターでもデルタでもVでも、線電流は全部同じです。

電圧は同じ。線電流も同じ。**違うのは電源の中を通過する電流**です。

スターとデルタの電源内を通過する電流は既に記載しました。

問題はV結線の中を通過する電流です。

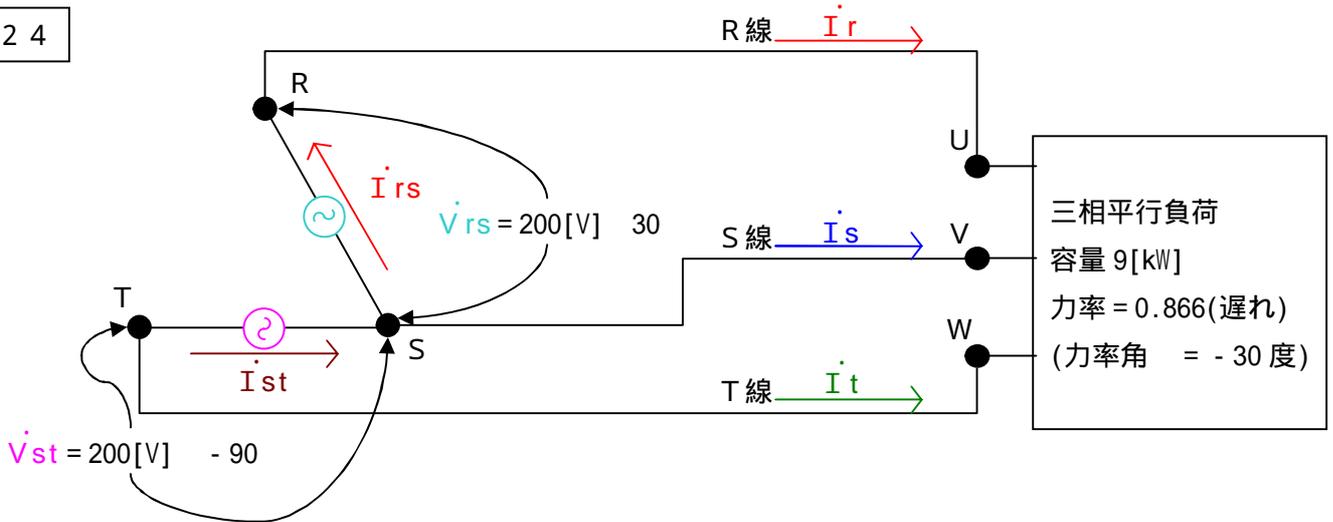
次ページに解説を記載します。



**頂上はもうすぐ！
ファイト！！**

電源部分、つまりトランスの巻線部分の電流の解析をします。
 下記の回路は今までと同じ負荷をV結線に電源に接続したものです。
電流の向き等は一切変えていません。
 デルタから1バンクを取っただけですから、このような回路図が書けます。 < == 重要!
 今まで使っていた色を少し変えています。ご注意ください。

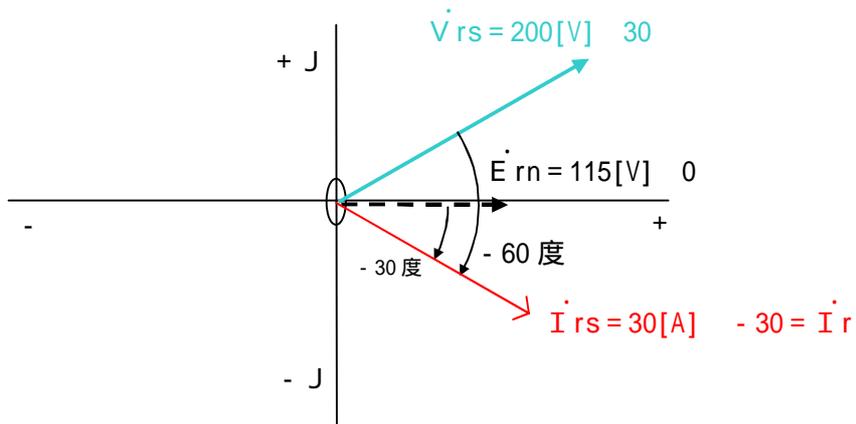
図 2 4



上記回路で、電圧は既に全部解っています。
 (6種類の電圧が描ける。Vrs、Vst、Vtr、Ern、Esn、Etnの6種類。)
 電流は全部で5種類ありますが、線電流のIr、Is、Itは既に解っています。
 ワカンナイのはIrsとIstです。
 まずIrsはどのような電流か考えてみましょう。
 図24図をヨーク見ると解ります。

Irs = Ir です。
 Irsは電圧源を出発して、点Rを通過し、そのまま線電流Irになります。
 従って、両者は全く同じ電流です。
 電圧Vrsと電流Irsの関係のみに注目して取り敢えずベクトル図を描いて見ましょう。

図 2 5



結果を見ると解りますが、IrsはVrsに対して60度の遅れ位相角を持ちます。
 力率角は本来30度ですが、この30度に足してさらに30度遅れます。
 と言って力率が $\cos 60 = \cos 30 = 0.5$ になるわけではありません。
 力率はあくまでも $\cos 30 = \cos 30 = 0.866$ です。
 次はIstの検討です。

\dot{I}_{st} の電流を理解するのは、厄介です。ワケワカランです。
 この部分が、**V結線で一番解らないところ**です。これが理解出来たらV結線が解った事になります。
 図24の \dot{I}_{st} に関する部分のみを抽出して、解説します。

図26

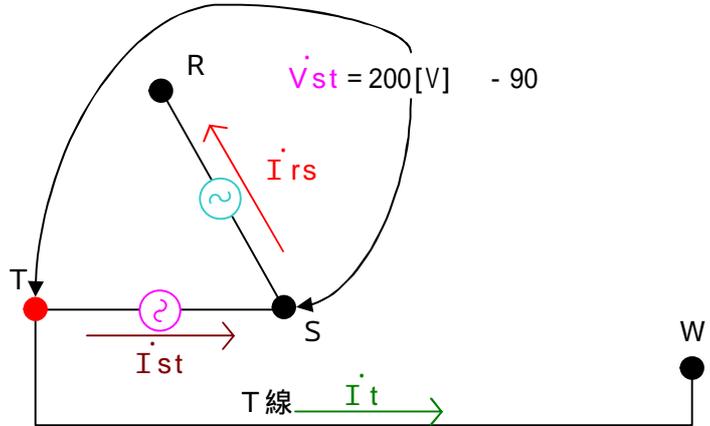
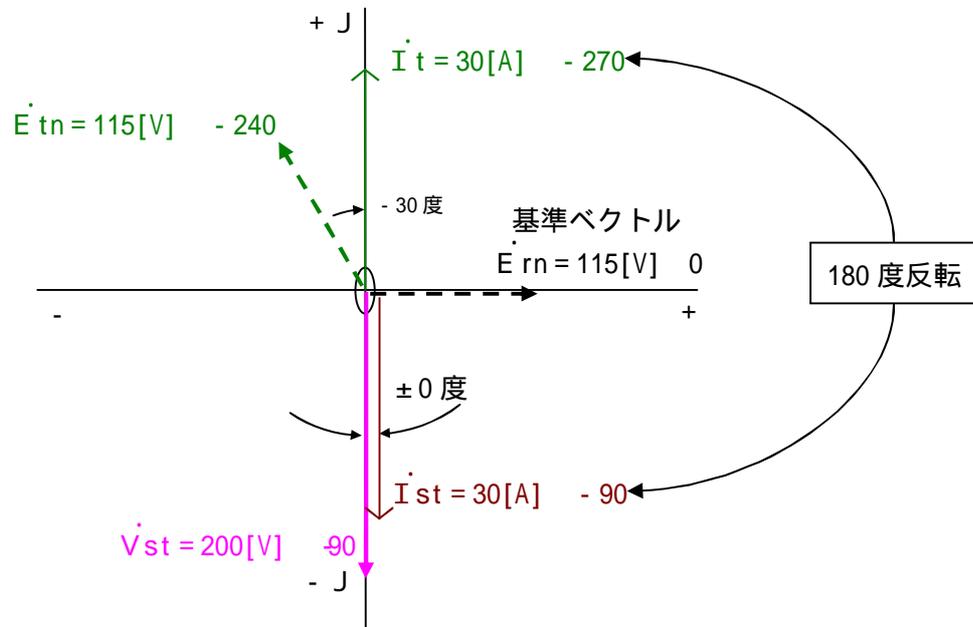


図26の点 Tに注目して下さい。
 この点から、電流 \dot{I}_{st} は流出しています。電流 \dot{I}_t も流出してます。
 流入する電流が無い！ < == ナンジャコリヤ?? 何だこの点は? 無限に電流が湧き出る泉か?
 疑問は果てしなく続きますが、この疑問は次のように解釈して解決します。

点 Tでキルヒホッフの電流則を立てます。
 流入する電流をプラス値、流出電流をマイナス値とします。
 流入する電流 - 流出する電流 = 0 < == 電流則のまんま
 $0 - \dot{I}_{st} - \dot{I}_t = 0$
 $\dot{I}_{st} = - \dot{I}_t$

つまり \dot{I}_{st} は \dot{I}_t を180度反転した電流となります。 < == もの凄く重要! V結線の要です。
 この部分のみのベクトル図を描いて見ましょう。

図27



この様なベクトル図になります。
 次ページに全部のベクトル図を書いたものを掲載します。

電圧ベクトルは6本描けます。

電流ベクトルは4本です。(回路図は5本であるが、1本は共通なので、4本になる。)

力率角が何処に現れて、巻線に流れる電流と巻線の電圧との位相差がどうなっているのかをヨーク見て下さい。

図1
再度掲載

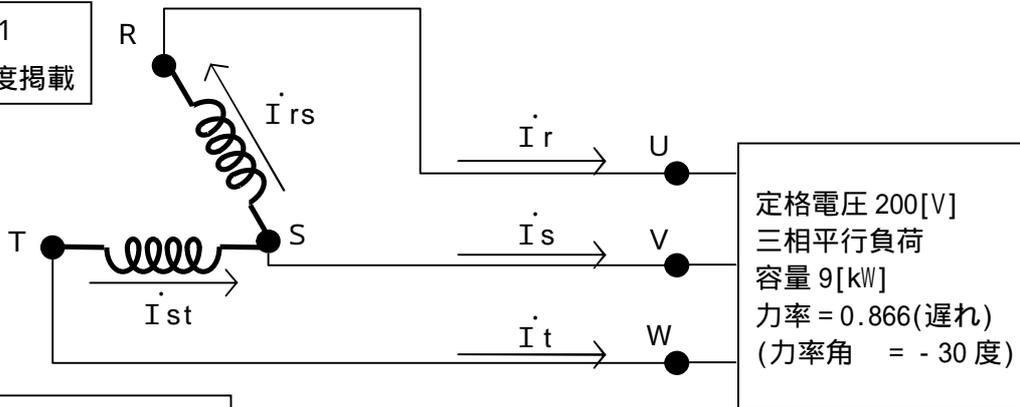
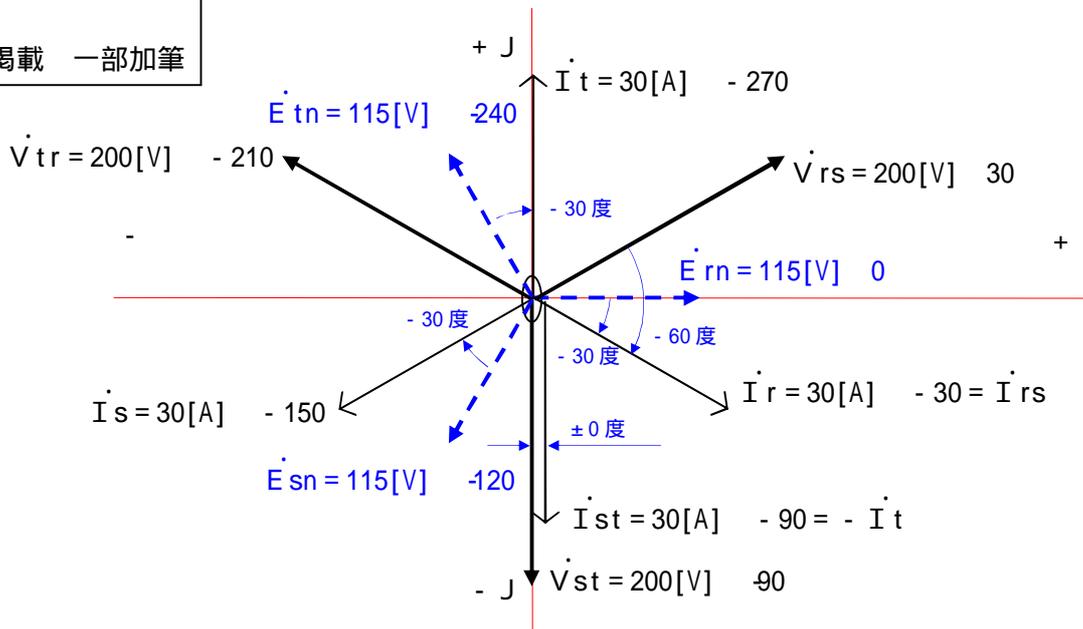


図2
再度掲載 一部加筆



若干の補足をします。

S 点の電流の出入りに関するものです。(R 点、 T 点は既に解説済みです。)

S 点でキルヒホッフの電流則を立てます。

流入する電流 + 流出する電流 = 0

$$I_{st} - I_{rs} - I_s = 0$$

$$(30[A] \angle -90^\circ) - (30[A] \angle -30^\circ) - (30[A] \angle -150^\circ) = 0$$

$$0 - j30 - (15 - j15) - (-15 - j15) = 0$$

$$0 - j30 - 15 + j15 + 15 - j15 = 0$$

$$0 = 0$$

となります。矛盾はありません。

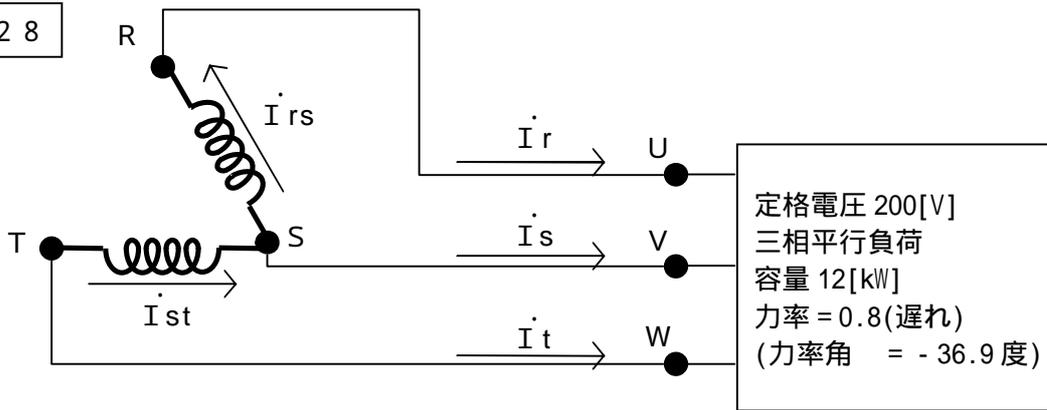
整理の意味で次ページに練習問題を記載します。

解いて下さい。

練習問題

下記回路の電圧及び電流ベクトルを描きなさい。
 (負荷の容量と力率が変わっただけです。)

図 2 8



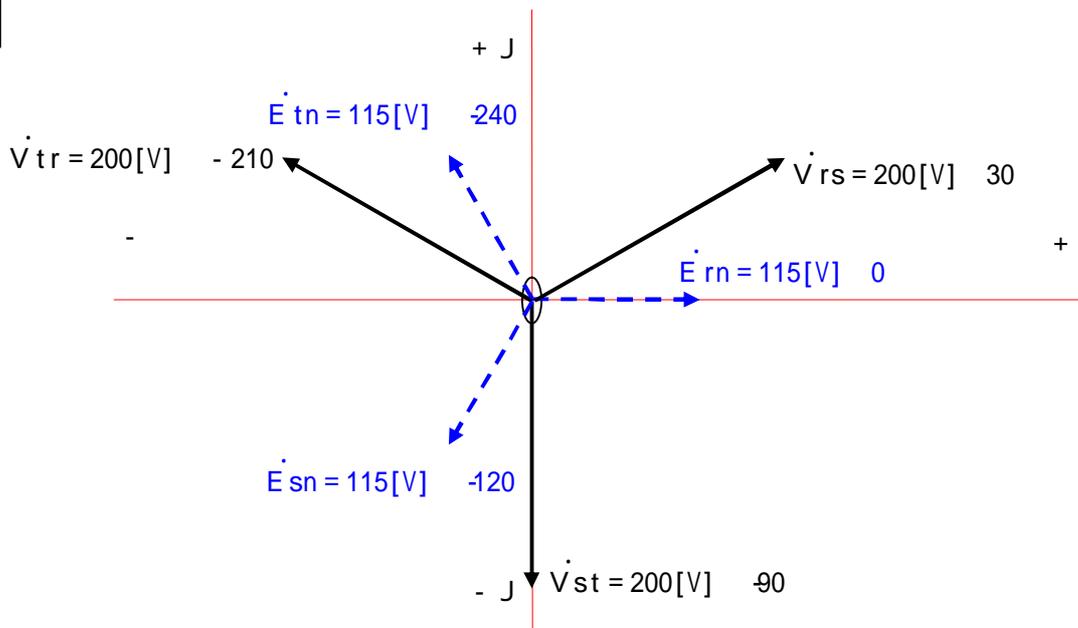
解答

手順を追って描いて行きます。

その 1

電圧ベクトルを記載します。全部で 6 本描けます。

図 2 9



その 2

線電流を描きます。線電流を計算しましょう。

容量が kW 値で与えられていますので、kVA 値変換します。

$$\text{kVA 値} = \text{kW 値} \div \text{力率} = 12[\text{kW}] \div 0.8 = 15[\text{kVA}]$$

$$\text{従って、線電流の A 値} = 15000[\text{VA}] \div 200[\text{V}] \div \sqrt{3} = 43.3[\text{A}]$$

力率角が -36.9 度と解っていますので、各線電流は下記になります。

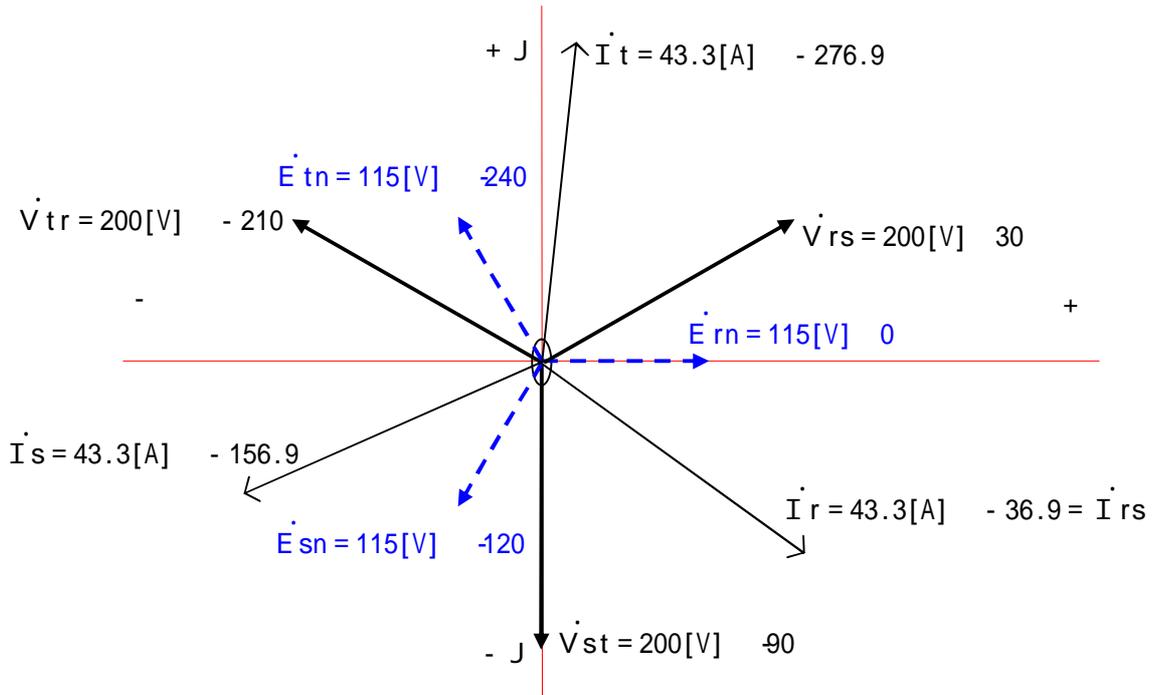
$$\dot{I}_r = 43.3 \quad -36.9$$

$$\dot{I}_s = 43.3 \quad -156.9$$

$$\dot{I}_t = 43.3 \quad -276.9$$

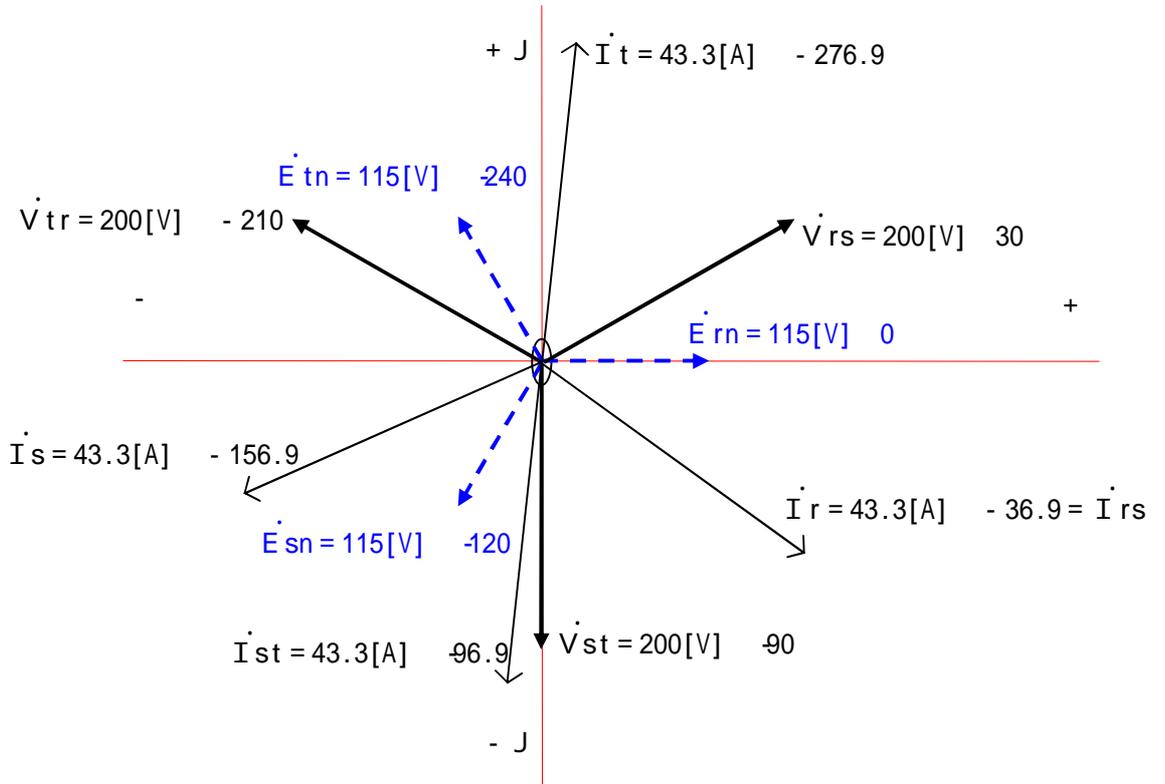
これを、図 2 9 に加筆します。次ページ参照。

図 3 0



その3
 電流ベクトルの最後の1本、 \dot{I}_{st} を描きます。
 \dot{I}_t を180度反転させて記載すればOKです。

図 3 1



これでベクトル図は出来上がりです。これで一応の説明は終わりです。

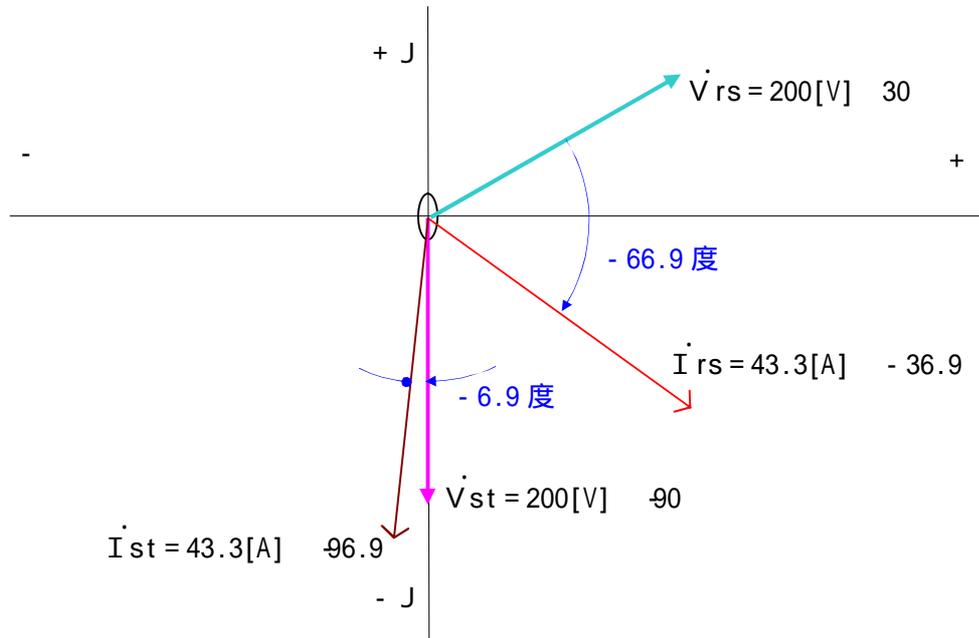
次ページにV結線の注目すべき点を記載します。



進みバンク、遅れバンクの話

下図は \dot{V}_{rs} 、 \dot{I}_{rs} 、 \dot{V}_{st} 、 \dot{I}_{st} のみを抽出したものです。

図 3 2



この図から解るとおり、各巻線に流れる電流は、巻線電圧に対して、位相差が両極端になります。

\dot{I}_{rs} は \dot{V}_{rs} に対して極端な遅れとなり、 \dot{I}_{st} は \dot{V}_{st} に対して位相差が殆ど無くなります。

この様に、位相差が大きく異なりますが、それぞれのバンクを「進みバンク」「遅れバンク」と言います。

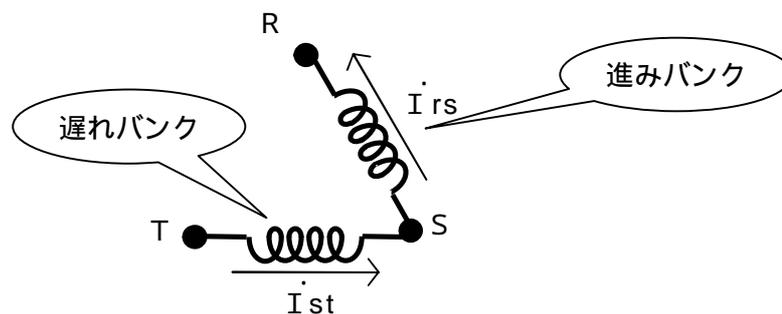
巻線 RS 側は極端に遅れになりますので、「遅れバンク」と言いそうですが、言いません。

RSバンクは「進みバンク」、STバンクは「遅れバンク」と言います。

これはRSバンクの電圧 \dot{V}_{rs} がSTバンクの \dot{V}_{st} に対して120度進んでいる為にこういう言い方をします。

間違いやすいので注意して下さい。

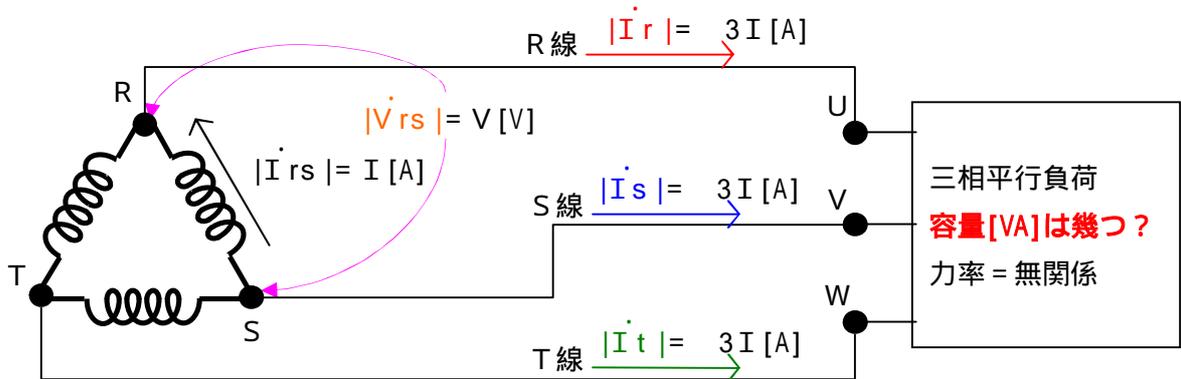
図 3 3



トランスの利用率の話

トランスの容量の単位は一般的に[VA]ですが、V結線は変則な結線の為に、無理をしている所があります。この無理をしているヶ所が、利用率に表れます。

図34 トランス容量 = 3 S [VA]
 $S [VA] = V [V] \cdot I [A]$ (= 1バンク当たりの容量)



上図はデルタ巻線の回路を描いたものです。
 このトランスに負荷は幾つまで接続出来るか考えてみましょう。
 トランス容量が3 S [VA]だと言っているの、3 S [VA]使えなかつたらインチキになります。
 トランスの定格電流(流し得る最大電流)をI [A]とした場合、線電流はこの電流の3倍になります。
 従って、接続出来る最大負荷は
 負荷容量[VA] = 3 × 線間電圧[V] × 線電流[A] < = = 公式のまま
 = 3 × V [V] × 3 I [A]
 = 3 × V [V] × I [A]
 = 3 S [VA]

となりますので、無事3 S [VA]の容量を接続出来ます。 < = = 当たり前の話ではV結線の場合はどうなるのでしょうか？

図35 トランス容量 = 2 S [VA]
 $S [VA] = V [V] \cdot I [A]$

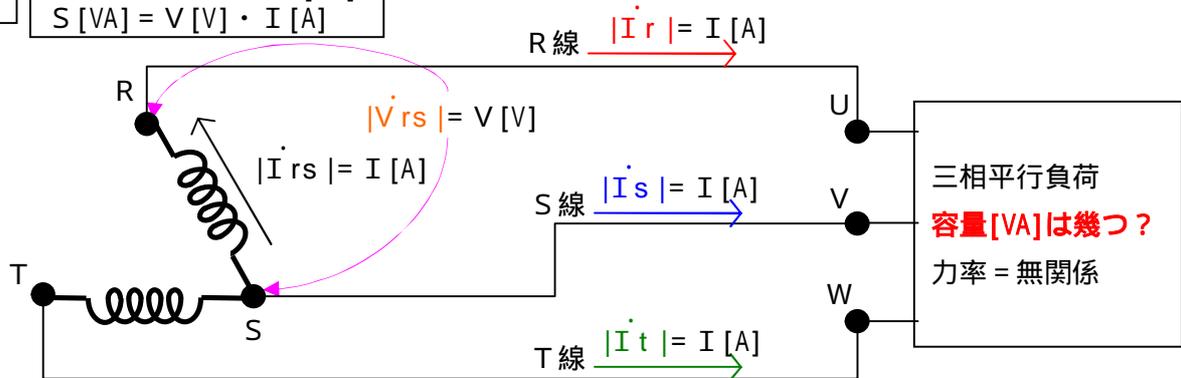


図34から1バンク撤去しました。
 トランス容量は2 S [VA]になります。 < = = 当たり前の話
 V結線の場合、巻き線電流と線電流の大きさは等しくなります。(線電流を3倍に出来ない。)
 従って接続可能な容量は下記になります。

負荷容量[VA] = 3 × 線間電圧[V] × 線電流[A] < = = 公式のまま
 = 3 × V [V] × I [A]
 = 3 S [VA] < = = 2 S [VA]より小さい値になる。

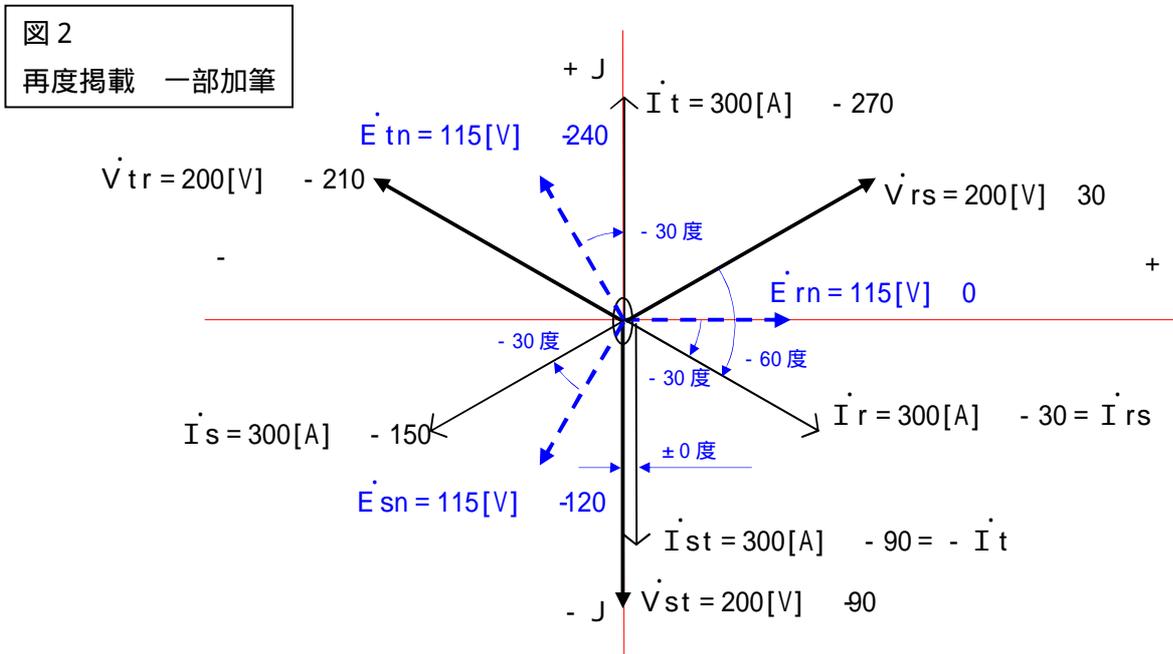
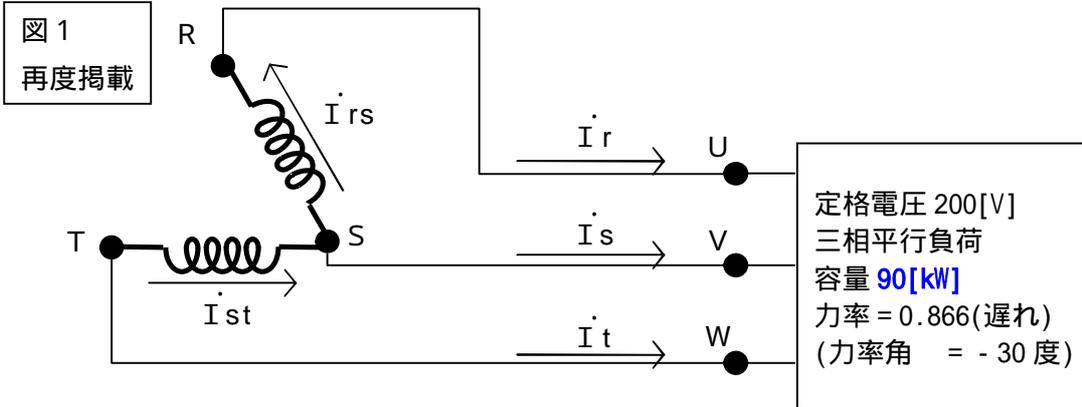
トランス容量は2 S [VA]ですが、接続可能な負荷容量は3 S [VA]です。

2 S [VA]の容量を接続出来ません。
 従って、この場合のトランスの利用率は
 利用率 = 接続可能な負荷容量 / トランス合計容量
 = 3 S [VA] / 2 S [VA]
 = 86.6 [%] < = = 100 [%]にならない。

となります。
 逆算をすると、負荷容量がD [kVA]の場合、V結線の容量は1.155 D [kVA] = 0.578 D [kVA] × 2バンク以上が必要です。

V結線の裏技話

前ページではトランスの利用率の話を書きましたが、此処ではこの利用率を改善する方法を書きます。非常にマニアックな方法です。普通はこんな事をやりませんがこんな手法もあるということ覚えておいて下さい。



上図は何度も描いたV結線の基本図です。話に興味を持たせるために容量を大きくしています。この回路の必要トランス容量を計算してみましょう。1バンクで必要トランス容量 = $200[V] \times 300[A] = 60[kVA]$ となります。STバンク(遅れバンク)に流れる電流は巻線電圧に対して位相差が無い電流です。従って、これ以上どうにもなりません。RSバンク(進みバンク)には60度の位相差を持った電流が流れます。これを何とかイジクリマワシテ何か出来ないか?を考えます。ソウダ!!コンデンサを接続してみよう!!

コンデンサを付けてみました。

図 3 6

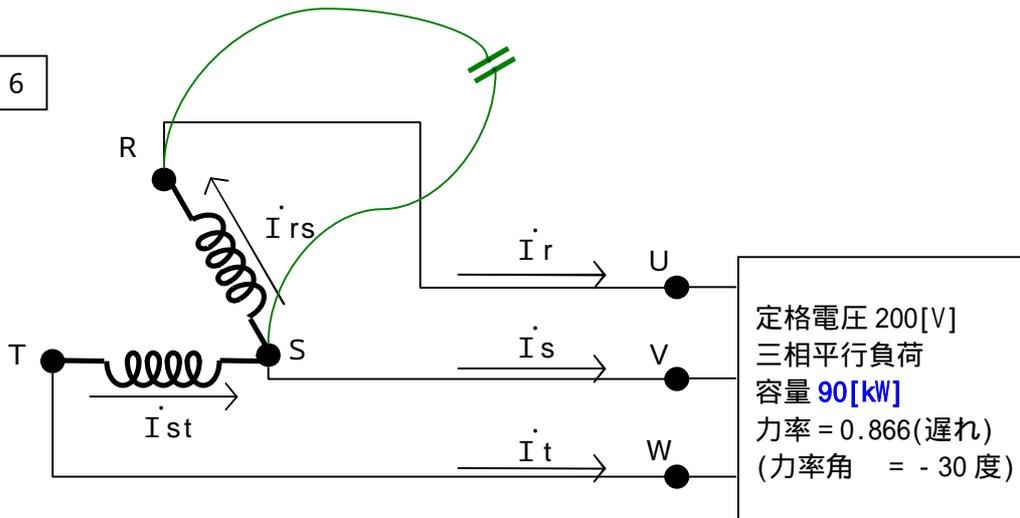


図 3 7

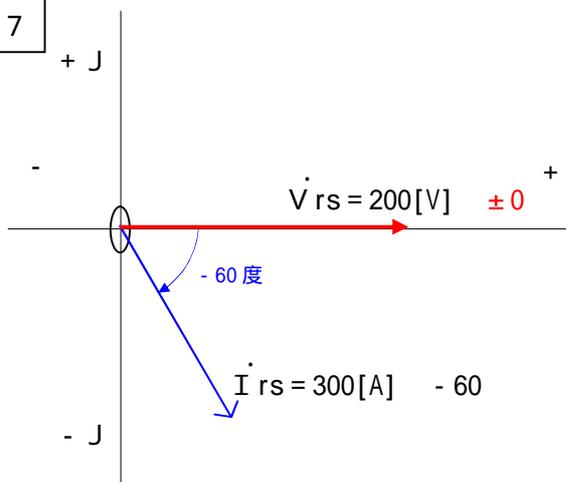


図 3 8

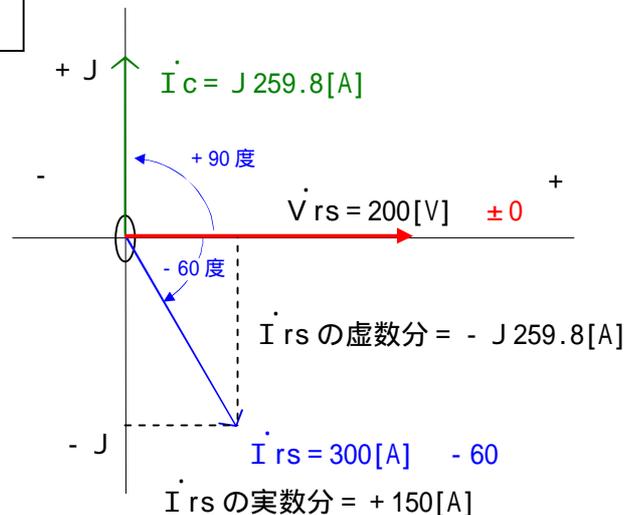


図 3 7 は電圧ベクトル \dot{V}_{rs} を基準ベクトルとして新たに描いたものです。

図 3 8 に示した様に \dot{I}_{rs} を実数分と虚数分に分解します。

虚数分の電流を打ち消す事が出来る電流をコンデンサで作ってやれば、電流値を減らすことができます。

図 3 8 で示した通り、 $J 259.8[A]$ を流すコンデンサを付ければ良いことになります。

このコンデンサの容量を計算します。

コンデンサ容量 $[var] = J 259.8[A] \times 200[V] = J 51.96[kvar]$ となります。

この時にトランスに流れる電流は

$$\begin{aligned} \text{トランス巻線電流} &= \text{線電流} + \text{コンデンサ電流} \\ &= 150 - J 259.8 + J 259.8 \\ &= 150[A] \end{aligned}$$

従って、必要なトランスバンク容量は

$$\text{バンク容量 (進みバンク側)} = 200[V] \times 150[A] = 30[kVA]$$

となりますので、元の容量 $60[kVA]$ の半分に出る事になります。 < = = 本当！

お勧め度

やらない方が良いと思います。お勧め出来ません。

負荷を計算上 $90[kW]$ で一定としましたが、実際の負荷は一定にはなりません。

負荷が停止しているときは、トランスから見た負荷はコンデンサだけになります。

コンデンサ容量は $51.96[kvar]$ でトランス容量は $30[kVA]$ ですから、3 倍の過負荷になります。

これではトランスがパンクします。

又、コンデンサ電流だけになった場合、フェランチ効果により電圧が上昇します。

ですから、やらない方が良いと思います。