

オトーサンの為の異容量V結線講座

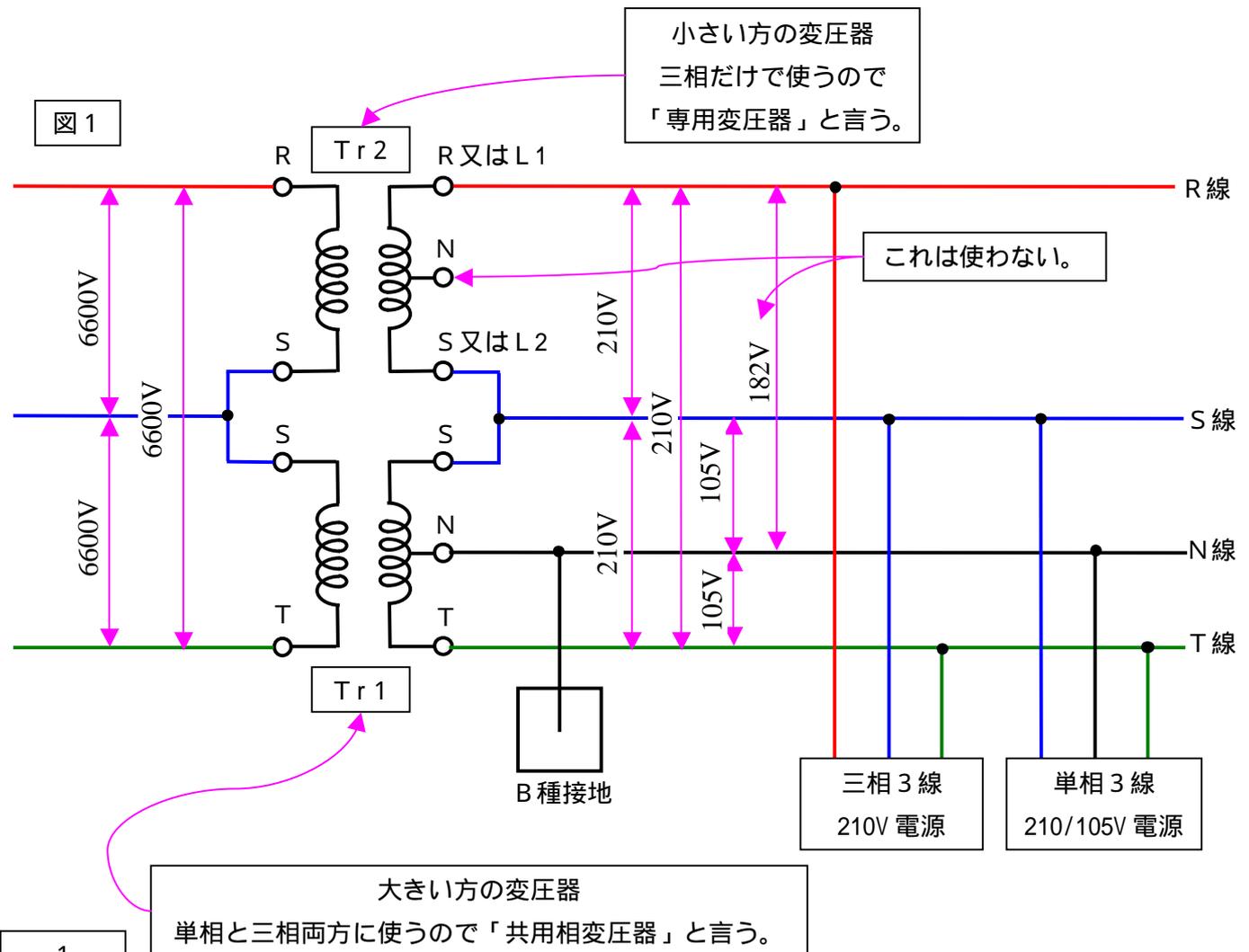
異容量V結線という結線があります。
 V結線の変則版なのですが、これが変則的に用いられるのであれば、余り注目するに値しません。
 しかし、世の中で結構用いられています。
 電力会社の低圧配電は殆どこの方式と言って良いと思います。
 ここでは、この結線の考え方、計算方法などを記載します。
 お時間が許す限りお付き合い下さい。

尚、V結線の基本的な事項は別のファイル「V結線の考え方」に示しましたのでお読み下さい。
 此处ではV結線を完全に理解している事を前提に話を進めます。

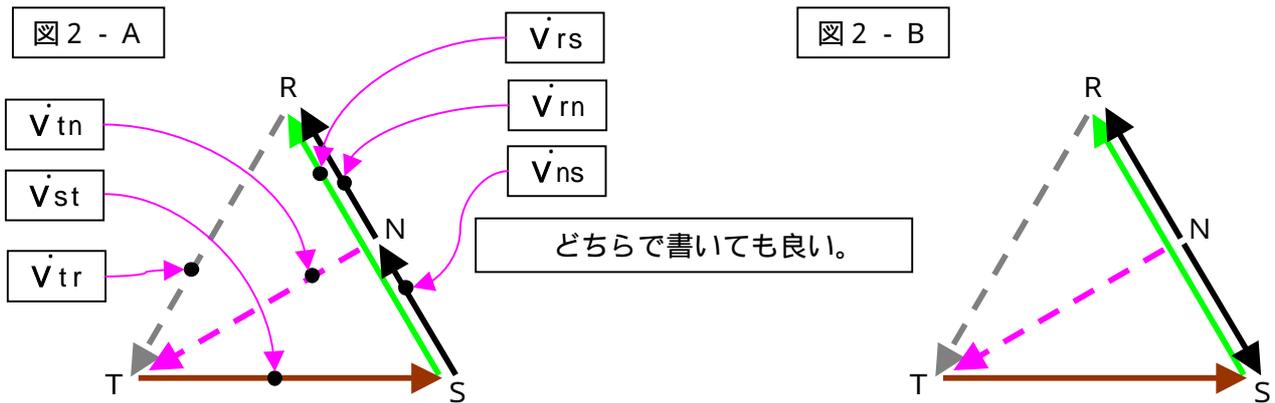
平成 鹿年 骨月 吉日
 埼玉ドズニールランド大学 学長 鹿の骨

尚、当学は東京オリエンタルランド殿が運営する東京ディズニーランドとは全く関係がありません。洒落です。

早速ですが異容量V結線の説明に入ります。
 この結線は文字通り容量の異なる単相トランス2台を使って、三相電源と単相電源の両方を得る結線です。
 容量の大きい方のトランスを単相3線(200/100V)及び三相3線(200V)用に使用し、
 容量の小さい方を三相3線専用とします。
 下記に基本的な結線図を示します。

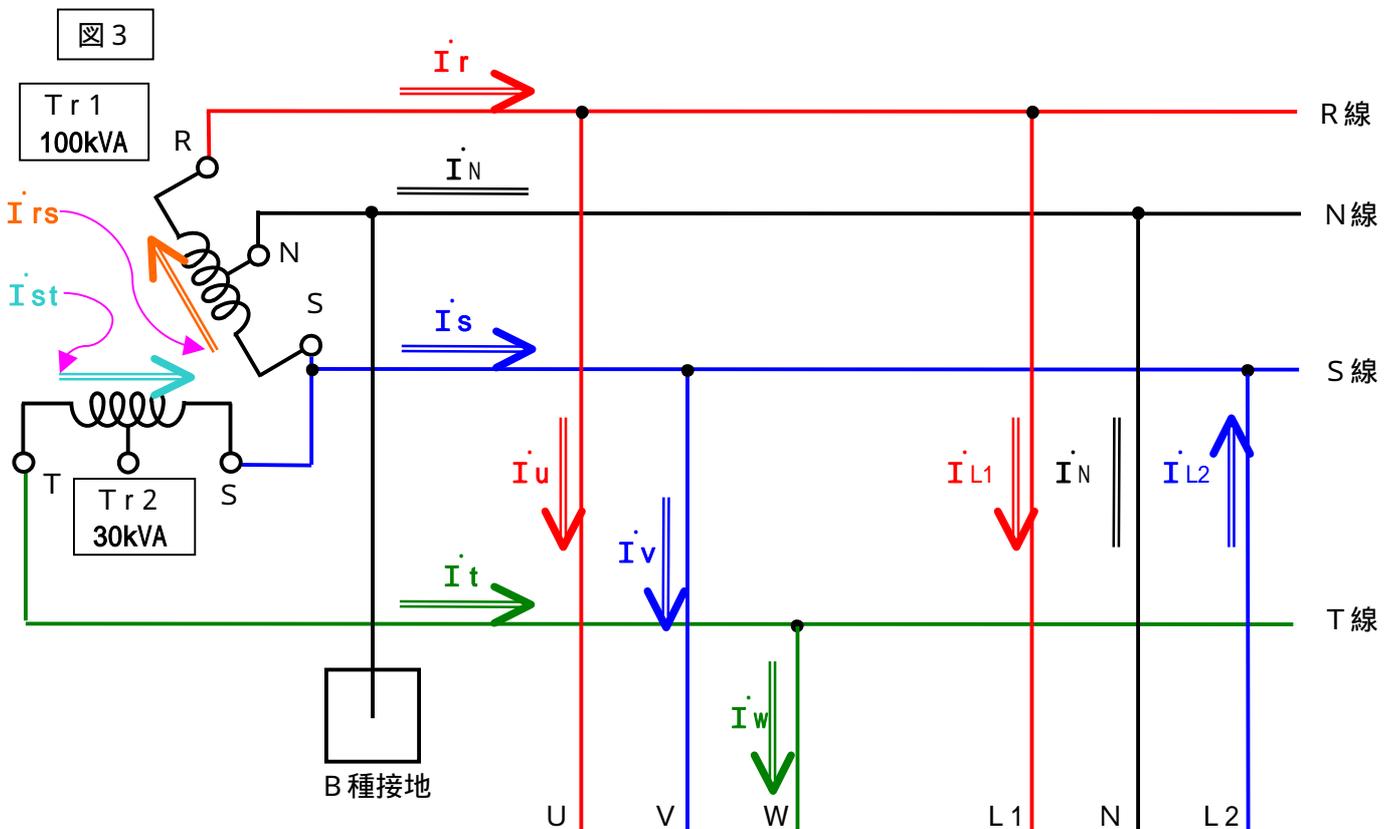


ベクトル図を書いて見ましょう。
 まず**電圧のベクトル図**です。下図（図2 - A , B）になります。



特に説明は書きませんが、A図、B図どちらで書いても正解です。
 A図の方が理解しやすいと思いますが、B図はN点が直接接地（B種接地）されていますので、この点を基準にしたものです。
 灰色の点線で書かれたもの及びピンクの点線の部分は巻線がありませんが、誘導される電圧を示します。
 電圧の値は描きませんが、お解り頂けているものとします。
 これに電流ベクトルを加えてベクトル図を完成させ、解析の及び計算の元とします。
 電流ベクトルを描く前に回路図を描きます。

下記に回路図を示します。
 具体的な負荷の容量及びトランス容量は下記のように設定しました。
 高圧部分及び電圧の標記は省略しました。

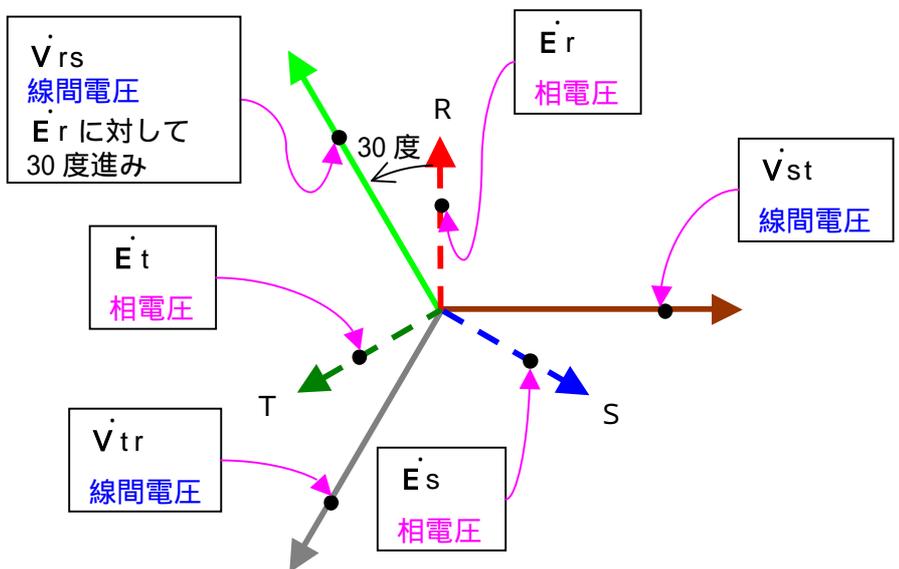


三相 3 線 200V を
 電源とする三相平衡負荷
50[KVA] 力率 = 80[%] (遅れ)
 力率角 = - 36.9[度]

単相 3 線 200/100V を
 電源とする単相平衡負荷
70[KVA] 力率 = 100[%]

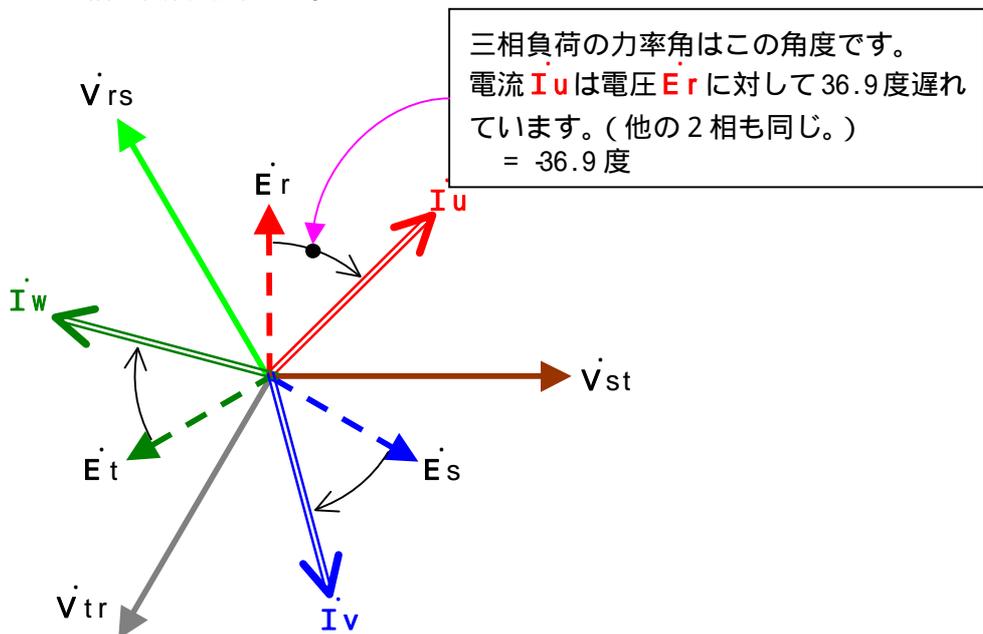
前ページ図2の線間電圧ベクトル図を組み直し、新たに架空の相電圧ベクトルを加筆します。どうしてこのようなベクトル図を書く必要が有るのは、此处では説明しません。三相交流のベクトル解析の基本です。詳細は「V結線の話」をお読み下さい。結果を図4に示します。解析に関係のない電圧ベクトルは未記入です。

図4



この電圧ベクトル図に電流ベクトルを加筆しますが、一度に全部描くと訳が解りません。順番に描いていきます。まずは三相の負荷電流です。結果を下図に示します。

図5



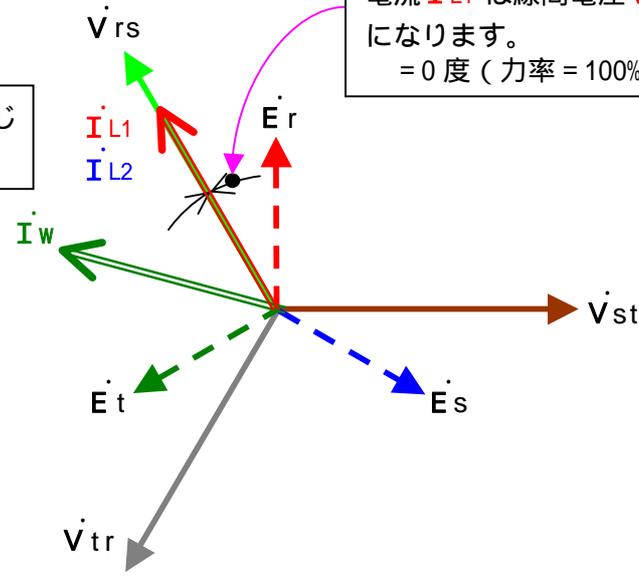
上図の注意書きにも書きましたが、力率角は、架空の相電圧に対する負荷電流の位相角となって出現します。線間電圧に対する位相角では有りません。角度が解りましたので、この電流の長さを計算します。計算式は
 電流値 = 三相皮相電力 ÷ 3 ÷ 線間電圧
 = 50 kVA ÷ 3 ÷ 200 V
 = 144 A (Iu = Iv = Iw)
 となります。

次に単相負荷電流ベクトルを書きます。
 下記に結果を示します。
 N相電流は負荷が平衡していますので現れません。

図6

\dot{I}_{L1} と \dot{I}_{L2} は同じベクトルになる。

単相負荷の力率角はこの角度です。
 電流 \dot{I}_{L1} は線間電圧 \dot{V}_{rs} に対して同相になります。
 = 0度 (力率 = 100%)



単相電流の位相角が解りましたので、長さを計算します。
 電流値 = 単相皮相電力 ÷ 線間電圧
 = 70 kVA ÷ 200 V
 = 350 A
 となります。

さて、此处まで、三相負荷電流及び単相負荷電流のベクトル図が書けましたので、今度は線電流を描きます。

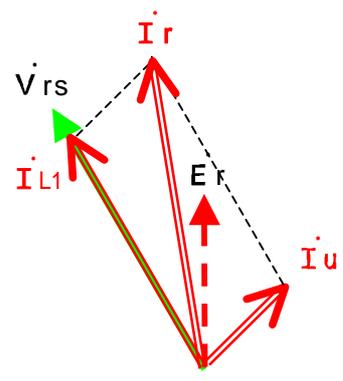
最初はR線電流 \dot{I}_r です。
 この電流に関連する部分のみを回路図から抽出すると下図になります。

図7



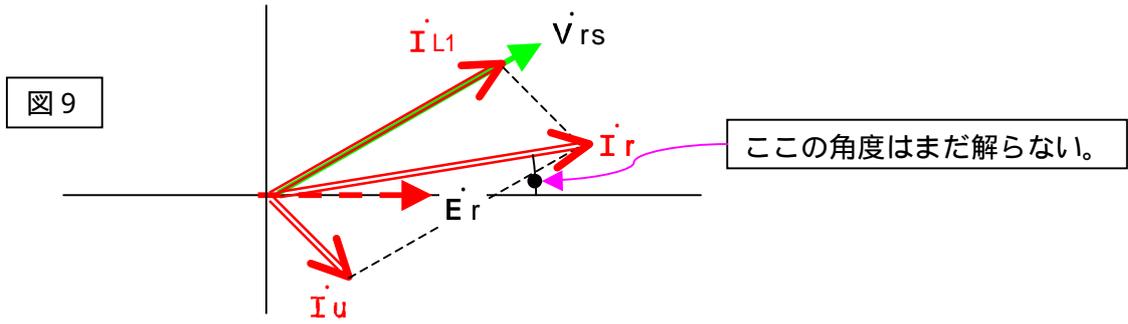
この回路図を見ると解りますが、 $\dot{I}_r = \dot{I}_u + \dot{I}_{L1}$ となります。
 これをベクトル図に加筆すると下図になります。
 電流値の縮尺を合わせて記載しました。
 記載に無関係な電圧ベクトルは記載していません。

図8



前ページのベクトル図から電流値を計算します。

このベクトル図ですが、電圧ベクトル \dot{E}_r を基準に書き直すと下図になります。



\dot{I}_r の値を求める為には、複素数を使ってベクトル演算します。

\dot{I}_{L1} は電圧ベクトル \dot{V}_{rs} と同相(位相差=0)です。又、長さは350Aで有る事が解っています。

電圧ベクトル \dot{V}_{rs} は \dot{E}_r より30度進んでいる事も解っています。

従って $\dot{I}_{L1} = 350 \times (\cos 30 + j \sin 30)$ と書き表す事が出来ます。

これを計算すると $\dot{I}_{L1} = 303.11 + j 175$ となります。

同様に \dot{I}_u は $144 \times \{\cos(-36.9) + j \sin(-36.9)\}$ になります。(\dot{I}_u は \dot{E}_r より36.9度遅れている。)

これを計算すると $\dot{I}_u = 115.2 - j 86.4$ となります。

$\dot{I}_r = \dot{I}_{L1} + \dot{I}_u$ ですからこれを計算すると

$$= (303.11 + j 175) + (115.2 - j 86.4)$$

$$= 418.31 + j 88.6$$

$|\dot{I}_r|$ は $(418.31^2 + 88.6^2)$ で計算できます。

計算結果を示すと、 $|\dot{I}_r| = 427.6 \text{ A}$ となります。

基準ベクトルとの角度ですが、 $418.31 + j 88.6$ の \tan (タンジェント)から計算します。

この角度を θ とすると $\tan \theta = 88.6 / 418.31$ となります。

この $\theta = \text{atan}(88.6 / 418.31)$ という関数で求めます。(atanはアークタンジェントと言う関数。)

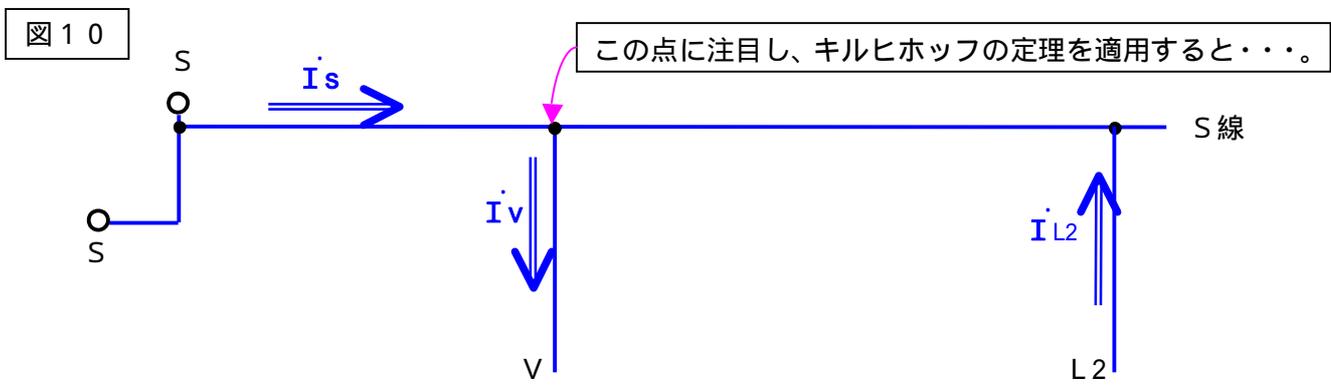
ここでは、関数電卓に依って求めた値を示します。

= 約12度と出ました。

従って、 $\dot{I}_r = 427.6 \angle 12^\circ$ と書けます。

同様な手法で今度は \dot{I}_s を求めます。

この電流に関連する部分のみを回路図から抽出すると下図になります。



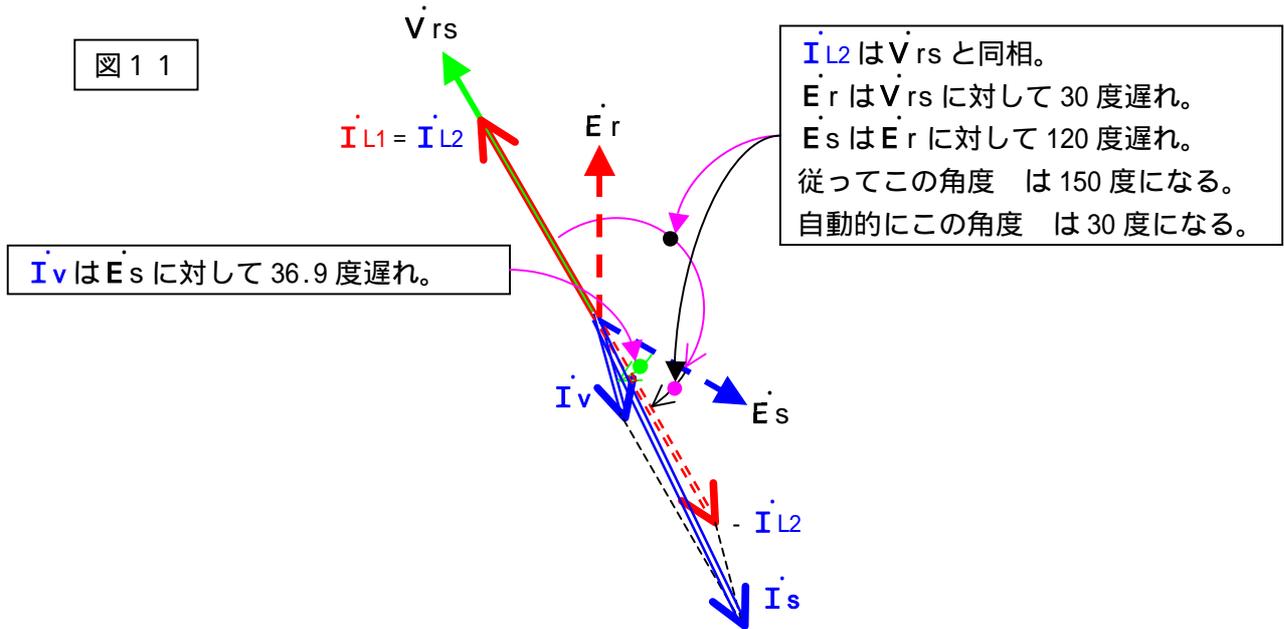
上記の点に対して、流入してくる電流をプラス、出ていく電流をマイナスで表すと、

$$\dot{I}_s + \dot{I}_{L2} - \dot{I}_v = 0 \text{ となります。 (キルヒホッフの定理を適用します。)}$$

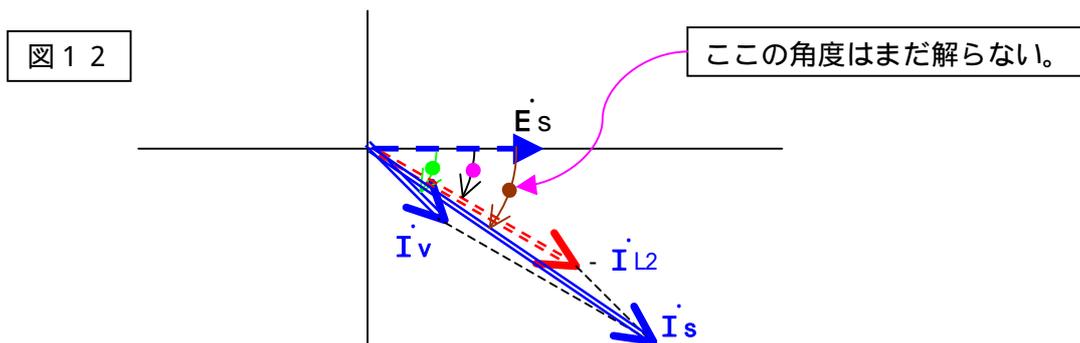
つまり $\dot{I}_s = \dot{I}_v - \dot{I}_{L2}$ となります。

\dot{I}_{L2} は \dot{I}_{L1} と同じ電流でしたので、 $\dot{I}_s = \dot{I}_v - \dot{I}_{L1}$ と書く事も出来ます。

ではこの電流ベクトルを電圧ベクトルに重ねて描いて見ましょう。
結果を下図に示します。



この図を元に \dot{E}_s を基準としたベクトル図を描くと下図になります。



\dot{I}_r を算出したのと同じ手法で \dot{I}_s を計算します。

$$\begin{aligned} \dot{I}_s &= \dot{I}_v + (-\dot{I}_{L2}) \\ &= 144 \times \{\cos(-36.9) + j \sin(-36.9)\} + 350 \times \{(\cos(-30) + j \sin(-30))\} \\ &= 115.2 - j 86.4 + 303.1 - j 175 \\ &= 418.1 - j 261.4 \end{aligned}$$

この複素数の角度 を求めます。

$$= \text{atan}(-261.4/418.1) = \text{約} -32 \text{ 度}$$

\dot{I}_s の長さは $(418.1 \text{ の } 2 \text{ 乗} + 261.4 \text{ の } 2 \text{ 乗}) = 493.1$

従って \dot{I}_s は次のように書けます。

$$\dot{I}_s = 493.1 \angle -32^\circ \quad (\dot{E}_s \text{ が基準})$$

これを \dot{E}_r のベクトルを基準に書き直すと下記になります。

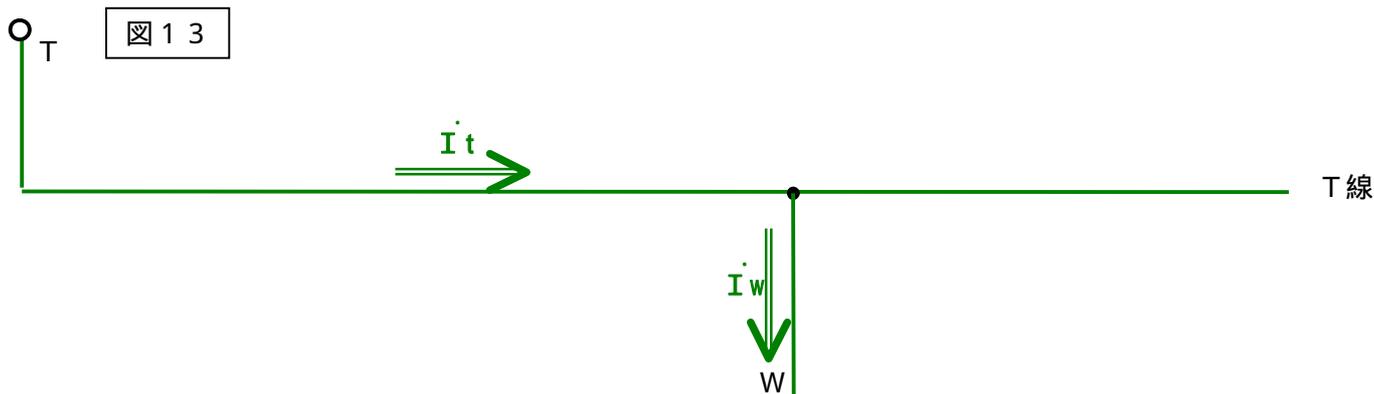
$$\begin{aligned} \dot{I}_s &= 493.1 \angle (-32^\circ - 120^\circ) \\ &= 493.1 \angle -152^\circ \quad (\dot{E}_r \text{ が基準}) \end{aligned}$$

ナンジャコリヤと思った方はベクトル演算の基礎をもう一度勉強してください。

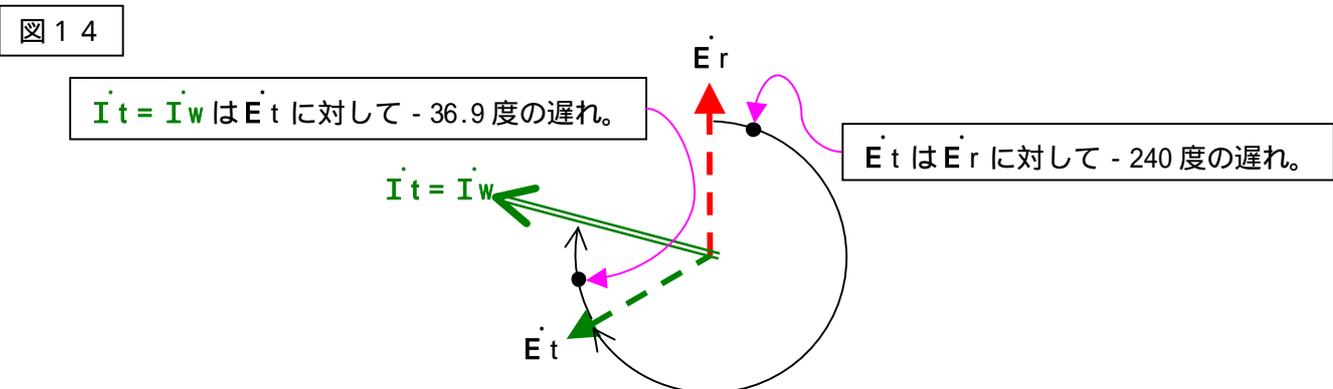
機会があればその内ベクトル演算の解説書を作ろうかとも思いますが、

今回はなるからなるとしてください。

次は \dot{I}_t です。
 同様に回路図の該当部分を抽出すると下図になります。



この図から明らかなように、 $\dot{I}_t = \dot{I}_w$ です。
 ベクトル図を描くと下図になります。



この図から \dot{I}_t は \dot{E}_r に対して $-240 - 36.9 = -276.9^\circ$ 遅れている事が解ります。
 $\dot{I}_t = \dot{I}_w$ の長さは 144 である事が解っていますので、 \dot{I}_t は下記のように書けます。
 $\dot{I}_t = 144 \angle -276.9^\circ$ (\dot{E}_r が基準)

今度は \dot{I}_{rs} です。

図3 (2ページ) を見ると解りますが、 $\dot{I}_{rs} = \dot{I}_r$ です。

従って $\dot{I}_{rs} = 427.6 \angle 12^\circ = \dot{I}_r$ です。

最後は \dot{I}_{st} です。

同様に図3を見ると $\dot{I}_{st} = -\dot{I}_t$ である事が解ります。(V結線の特性上こうなります。)

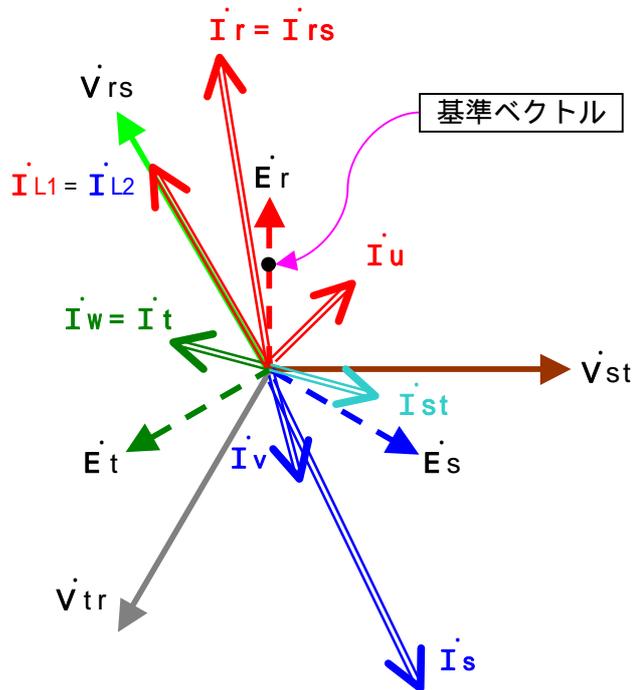
$\dot{I}_t = 144 \angle -276.9^\circ$ (\dot{E}_r が基準) ですから、 \dot{I}_{st} は下記になります。

$$\begin{aligned} \dot{I}_{st} &= 144 \angle (-276.9^\circ + 180^\circ) \\ &= 144 \angle -96.9^\circ \quad (\dot{E}_r \text{ が基準}) \end{aligned}$$

これで全部の電流値が解りましたので、電圧ベクトルに加筆したものを次ページに示します。

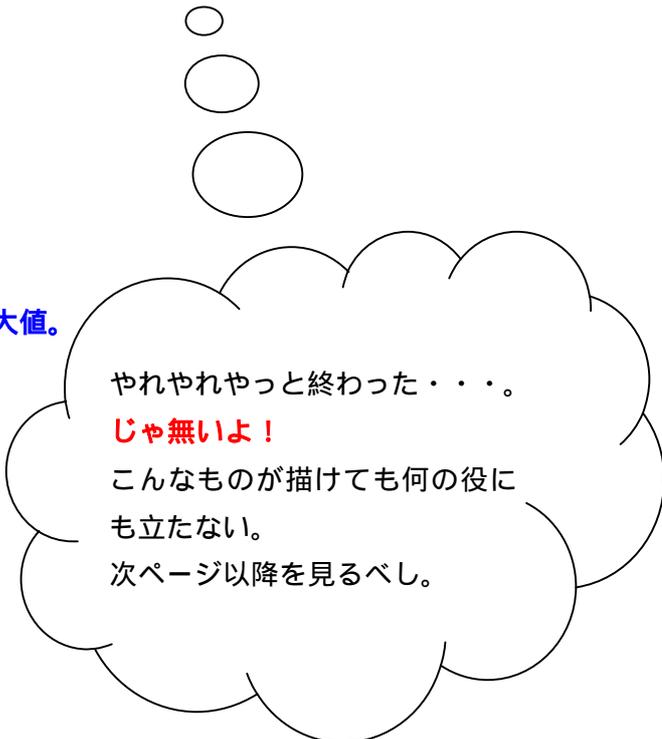
ベクトルを全部描きました。
 図がゴチャゴチャで何が何だか良く解らない感じがですが、結果はこんなものです。

図 15



各ベクトルの値は下記になります。

- $\dot{E}_r = 115 \quad 0^\circ$ (基準ベクトル。115 = 200 / 3)
- $\dot{E}_s = 115 \quad -120^\circ$ (\dot{E}_r が基準。以下同じ。)
- $\dot{E}_t = 115 \quad -240^\circ$
- $\dot{V}_{rs} = 200 \quad 30^\circ$
- $\dot{V}_{st} = 200 \quad -90^\circ$
- $\dot{V}_{tr} = 200 \quad -210^\circ$
- $\dot{I}_{L1} = 350 \quad 30^\circ$
- $\dot{I}_{L2} = 350 \quad 30^\circ$
- $\dot{I}_u = 144 \quad -36.9^\circ$
- $\dot{I}_v = 144 \quad -156.9^\circ$
- $\dot{I}_w = 144 \quad -276.9^\circ$
- $\dot{I}_r = 427.6 \quad 12^\circ$
- $\dot{I}_s = 493.1 \quad -152^\circ$ < == 電流値の最大値。
- $\dot{I}_t = 144 \quad -276.9^\circ$
- $\dot{I}_{rs} = 427.6 \quad 12^\circ$
- $\dot{I}_{st} = 144 \quad -96.9^\circ$



このベクトル図及び表から色々な事を考えるのが重要です。

まず、**トランス容量の検討**を行います。

Tr1及びTr2の定格電流は単純計算で次の様になります。

$$\begin{aligned} \text{Tr1の定格電流} &= \text{定格容量} \div \text{定格電圧} \\ &= 100 \text{ kVA} \div 200 \text{ V} \\ &= 500 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tr2の定格電流} &= \text{定格容量} \div \text{定格電圧} \\ &= 30 \text{ kVA} \div 200 \text{ V} \\ &= 150 \text{ A} \end{aligned}$$

この電流値と実際に流れる電流を見比べます。

Tr1に流れる電流値は $|\dot{I}_{rs}| = |427.6 \quad 12^\circ| = 427.6 \text{ A}$ です。
 $427.6 \text{ A} < 500 \text{ A}$ ですからこのトランスは過負荷にはなっていません。

同様にTr2を調べると・・・

Tr2に流れる電流は $|\dot{I}_{st}| = |144 \quad -96.9^\circ| = 144 \text{ A}$ です。
 $144 \text{ A} < 150 \text{ A}$ ですからTr2は過負荷にはなっていません。

これで「良かった良かったシャンシャン。」では有りません。

こういう風になるように最初から仕組んでいるのでこうなっただけです。

実務では次のような問題を解決する様な場面に出くわします。

「単相容量がP1[kVA]、三相容量がP3[kVA]有る。この容量に電源を供給するトランス容量は幾つか？」
と言った感じです。

この時に、単相トランスP1[kVA]以上、三相トランスP3[kVA]以上のものをそれぞれ持ってくるという解決方法も有ります。

この方法が一般的です。

しかし、此处では異容量V結線の話ですので、この手は使わないとします。

ここで、井勘定で次の様な計算をして見ます。

共用相トランス容量 = $(P1 + P3 / \sqrt{3})$ の直近上位値のトランス。

専用トランス容量 = $P3 / \sqrt{3}$ の直近上位値のトランス。

今回の例で計算して見ましょう。

$$\begin{aligned} \text{共用相トランス容量} &= (P1 + P3 / \sqrt{3}) \text{ の直近上位値のトランス。} \\ &= (70 + 50 / \sqrt{3}) \text{ の直近上位値のトランス。} \\ &= (70 + 28.87) \text{ の直近上位値のトランス。} \\ &= 98.87 \text{ の直近上位値のトランス。} = > 100 \text{ kVA} \text{ を選択。} \end{aligned}$$

98.87 kVAの電流値を単純計算すると

$$\text{電流値} = 98.87 \text{ kVA} \div 200 \text{ V} = 494.3 \text{ A} \text{ となります。}$$

今回の詳細な計算値は427.6A、井勘定の計算が494.3Aです。

約1.15倍程度井勘定の方が大きくなります。

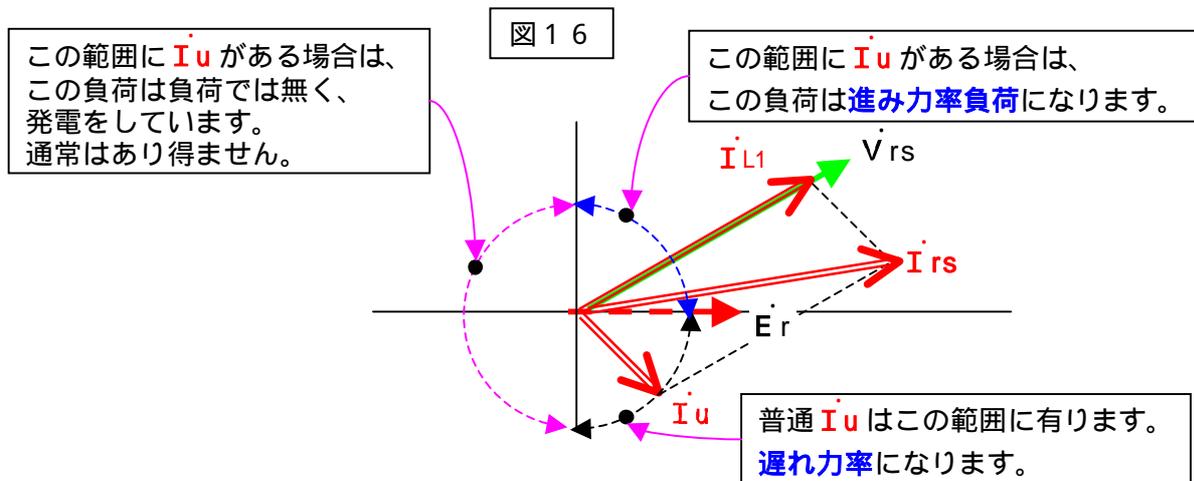
この値が「誤差が大きすぎる。」と見るか、「見当を付けるには十分な値である。」と見るかは微妙なところ
です。

尚、負荷の力率がどの様に変化しても実際にトランスに流れる電流は、絶対にこの井勘定の値を超える事
は有りません。

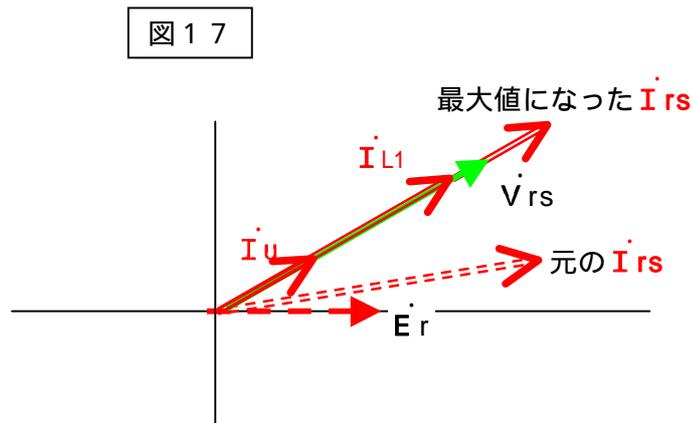
負荷の力率が変化したときに、この最大値になります。

次ページに説明を記載します。

負荷の力率が変化したときの電流の軌跡を見ます。
 取り敢えず、 \dot{I}_{L1} は固定とします。(力率は一定とする。)
 ここで \dot{I}_u の力率のみが変化した時の事を考えます。
 下記の円が、 \dot{I}_u の軌跡を示す事になります。



このような動きをした場合、 \dot{I}_{rs} の長さが最大になるのは \dot{I}_u と \dot{I}_{L1} が重なった時です。
 結果を下図に示します。納得頂けると思います。



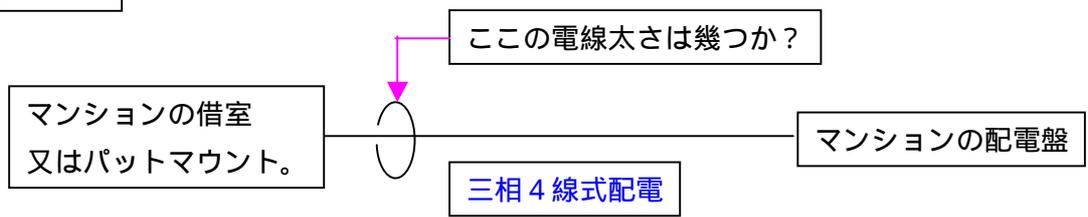
この時の、 \dot{I}_{rs} の長さは并勘定で計算した値と等しくなります。
 かなり特殊な条件(三相負荷が進み力率)ですが、全くあり得ない数値では有りません。
 つまり、この并勘定の計算は十分実用になる計算と思われれます。
 (トランス容量を設定する時点で負荷の力率が解らない事が多い。)
「共用相トランス容量 = (P1 + P3 / 3) の直近上位値のトランス。」となります。

次に専用トランスの容量に関して記載します。
 この容量の設定は単純です。
 三相容量 (kVA 値) の 1 / 3 以上の容量が必要です。
 三相負荷の力率に無関係です。(kVA 値が決まった場合。)
 (実は裏技が有る。)

これで終わりじゃ無いよ!

今度は電線の太さの話です。
 トランス容量が正しくても電線太さが適正でなければ電気は送れません。
 下図の様な場合を想定して検討をします。

図 1 8



この電線に流れる電流は下記の電流が流れます。

$I_r = 427.6 \text{ } 12^\circ$
 $I_s = 493.1 \text{ } -152^\circ$ < == 電流値の最大値。
 $I_t = 144 \text{ } -276.9^\circ$
 $I_n = 0$

この値で注意して頂きたいのは、 I_s の値 $493.1A$ です。
 この値は、普通にあり得る力率で計算したときの最大電流値です。
 つまり、「普通に計算すると、トランスに流れる電流よりも大きな電流が流れる電線が有る。」という事です。
 図 1 2 (6 ページ) を見ると解るのですが、単相電流と三相電流の位相角が非常に近いためにこのような事が起きます。
 この電流値と、井勘定の計算をした共用相トランス電流を比べると、この電流の方が小さい値です。
 この場合でも、単相電流と三相電流が重なった場合が最大値になります。
 つまり、電線に流れる電流の最大値は井勘定の値と等しいと見なしても事実上、実際の値と同じと扱えます。
 ですから、「電線の電流は (単相容量 KVA 値 / 200 + 三相容量 kVA 値 / 200 · 3) A 以上のものとする。」となります。

これで終わりか・・・NO! まだ有る・・・ゲェ～

低圧の電線太さを決める要素は大きく言って 2 つ有ります。

- 1 . 負荷電流が電線の許容電流を超えない事。
- 2 . 電圧降下が許容範囲に収まる事。

以上の 2 点です。

許容電流の検討は上記の内容で十分です。

電圧降下の計算は結構厄介です。

此処では、「土建屋式簡単計算」の方法で計算します。

($V = 3 (R \cos \theta + X \sin \theta)$ の式 (三相の場合) は使いません。)

次の式を使います。

| | 回路の電気方式 | 電圧降下 | 電線の切断面積 |
|---|----------------------------|---|--|
| 1 | 直流 2 線式、単相 2 線式 | $e = 35.6 \times L \times I$ $1000 \times A$ | $A = 35.6 \times L \times I$ $1000 \times e$ |
| 2 | 三相 3 線式 | $e = 30.8 \times L \times I$ $1000 \times$ | $A = 30.8 \times L \times I$ $1000 \times e$ |
| 3 | 直流 3 線式、単相 3 線式 三相 4 線式 | $e' = 17.8 \times L \times I$ $1000 \times$ | $A = 17.8 \times L \times I$ $1000 \times e'$ |

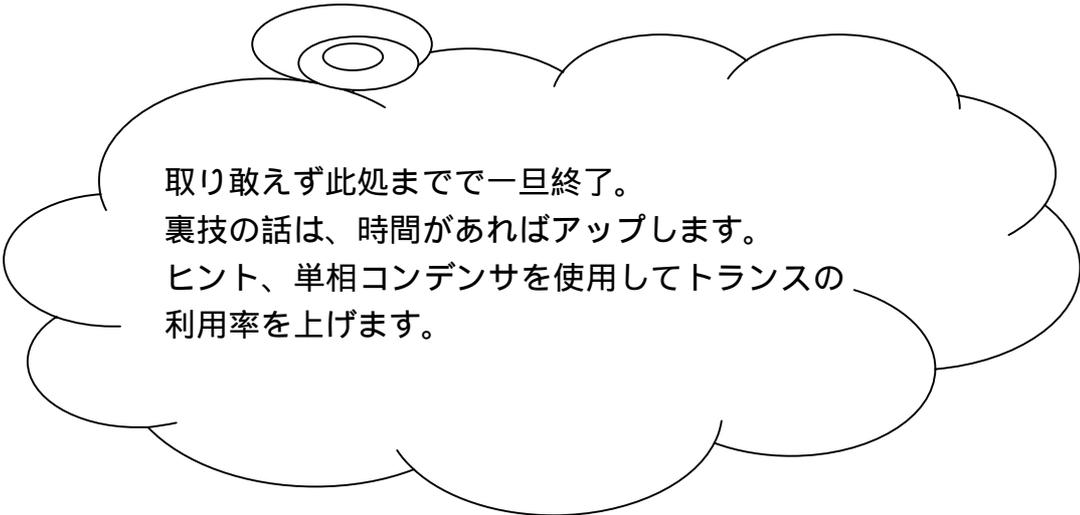
ここで e : 各線間の電圧降下 e' : 中性線との電圧降下 L : 電線 1 本の長さ [m] I : 電流 [A]
 A : 電線の断面積 [mm²]

図18でこう長が20mだった場合で計算して見ましょう。
内線規定の規定に従い、この部分も電圧降下の計算に入れる必要が有ります。
仮にこの部分の許容電圧降下を0.5%と設定します。
使う式は、1番の単相2線式の式です。
許容電圧降下のV値は $200 \times 0.5\% = 1V$ です。
電流値は、井勘定で計算した電流値 = $494.3A$ を使います。
必要とされる電線太さ = $35.6 \times 20 \times 494.3 / 1000 / 1$
= 351.94mm^2 以上 従って 400mm^2 を選択します。

許容電流の方で検討すると・・・。
配線方法は地中配管で、CVQケーブルを使用したものとします。
CVQケーブルの3導体通電の許容電流はCVTと同じです。
内線規定760ページのCV単心3個より1条の表中で 325mm^2 の許容電流 $475A$ を得る。
761ページの基底温度による電流補正係数 1.14 を得る。
これをかけ算して、 $475A \times 1.14$ 倍 = $541.5A$ を得る。
つまり 325mm^2 でOKです。

2つの値を検討して太い方を選択します。
今回は、電圧降下の方の値で決定され、 400mm^2 となりました。

尚、配電盤以降の計算等は普通の単相3線、三相3線の計算と同じです。



取り敢えず此処までで一旦終了。
裏技の話は、時間があればアップします。
ヒント、単相コンデンサを使用してトランスの
利用率を上げます。