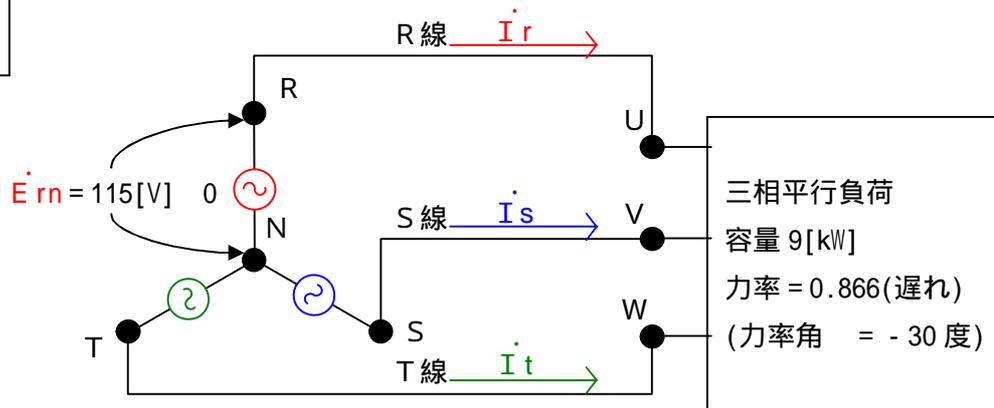


詳細説明 1 力率角は何処に現れるか？

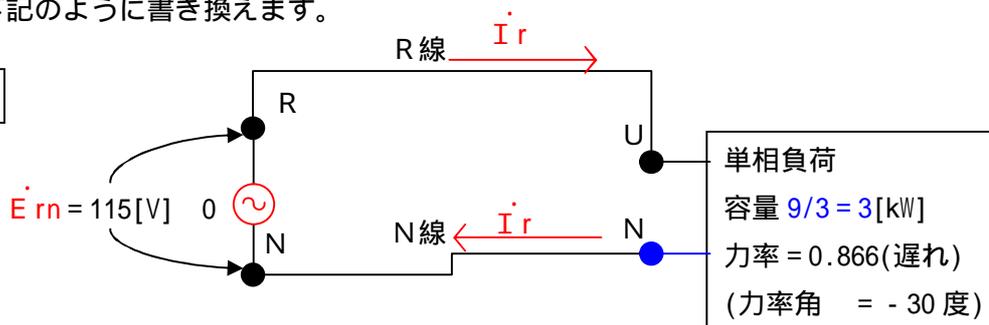
下図は図10をそのまま記載したものです。

図10
再度掲載

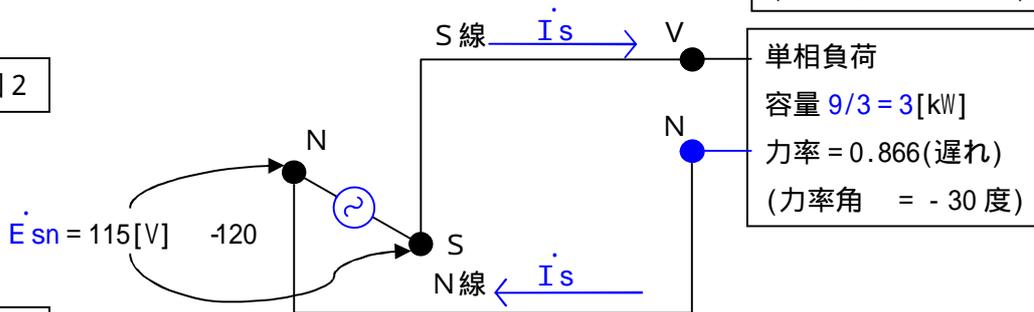


この図を下記のように書き換えます。

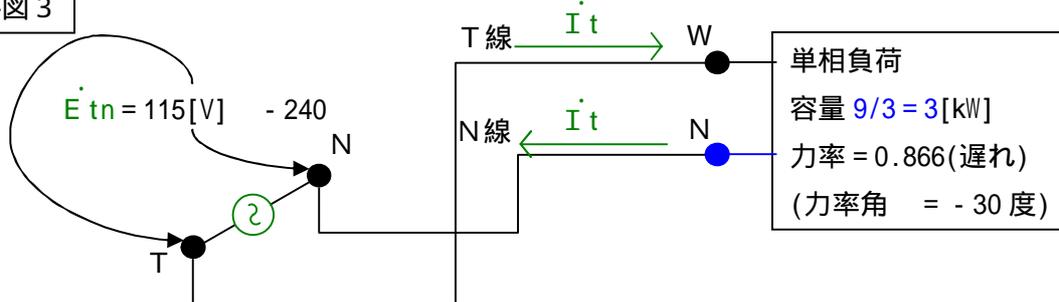
資料図1



資料図2



資料図3



ご覧の通り、単相回路×3セットに分解しました。

資料図1の電流を計算してみます。

$$|I_{rs}| = \text{容量[kW]} \div \text{力率} \div \text{線間電圧 (UN間の電圧)} \times 1000$$

$$= 3000 \div 0.866 \div 115$$

$$= 30.00[\text{A}]$$

この値は図10の電流値と同じです。力率角も同じです。

つまり、資料図1～図3の電流は図10の電流と全く同じ電流です。

又、資料図1～図3の負荷を合算すると、図10の負荷と同じになります。

N線に流れる3つの電流を総て合算するとゼロになります。

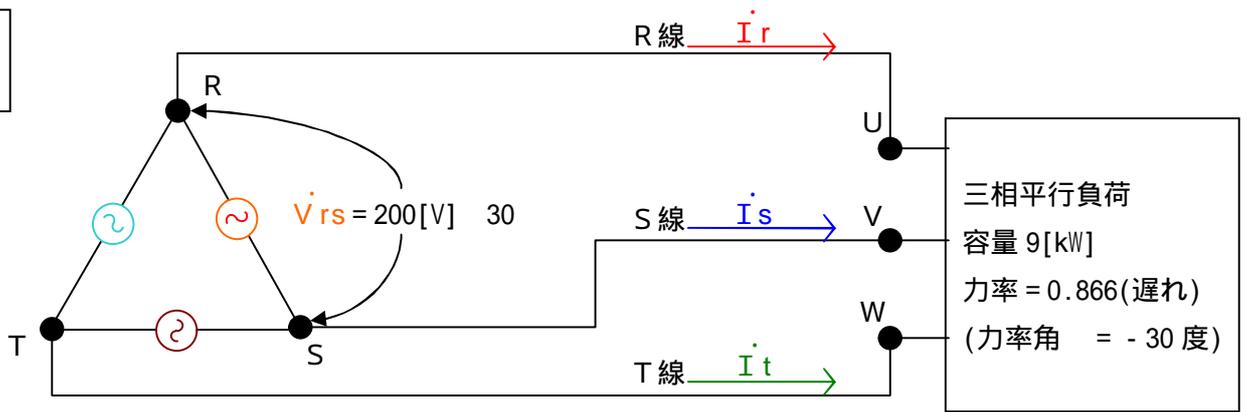
この3つの回路図を合算して元に戻す場合、N線は撤去出来ます。(N線は無くても良い。)

ですから、線電流は、相電圧に対して力率角を伴って流れると言えます。

三相は単相×3セットと言うのはこういう事を指します。

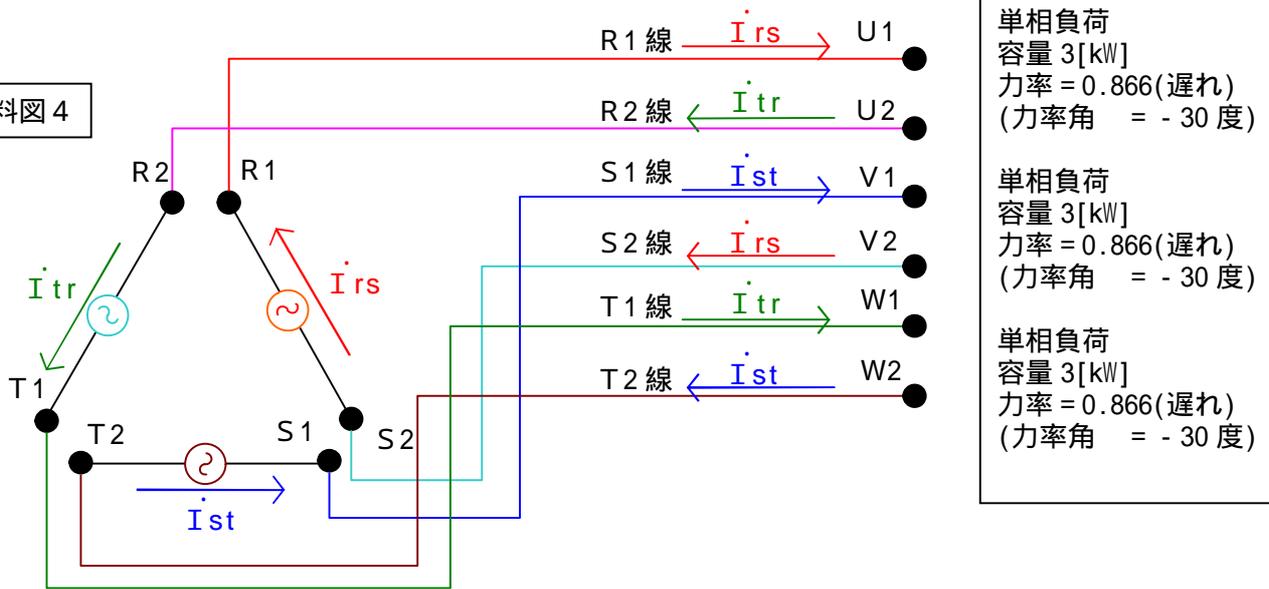
今度はデルタの場合です。

図13
再度掲載



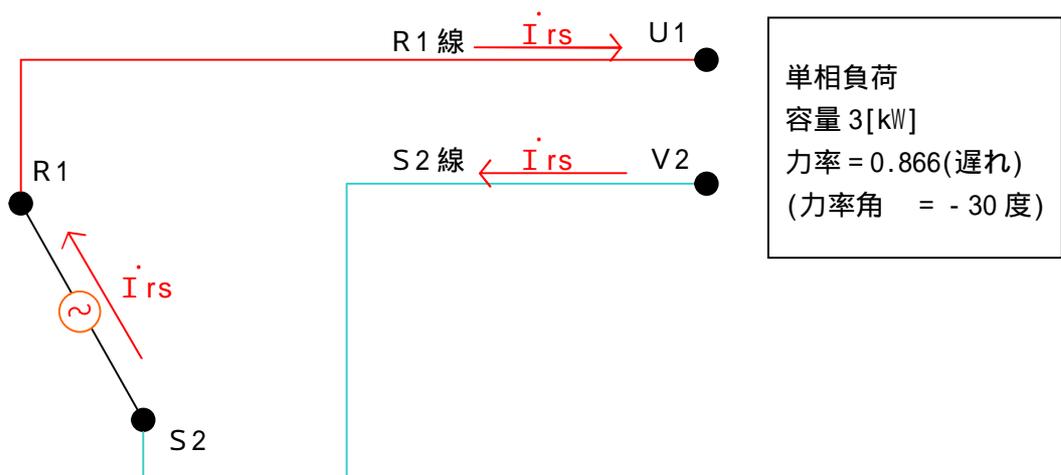
この図を下記のように分解します。

資料図4

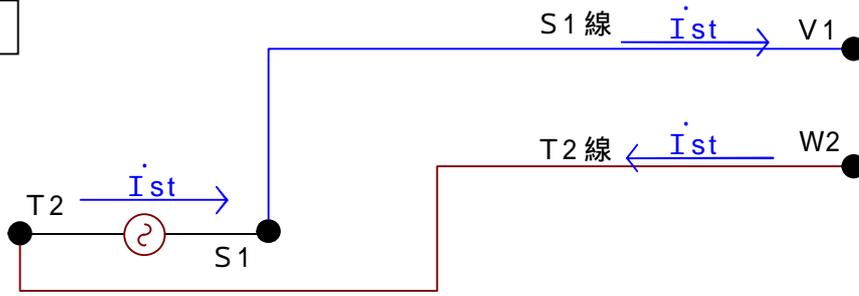


この図をさらに下記のように分解します。上の図をバラバラにただけです。

資料図5

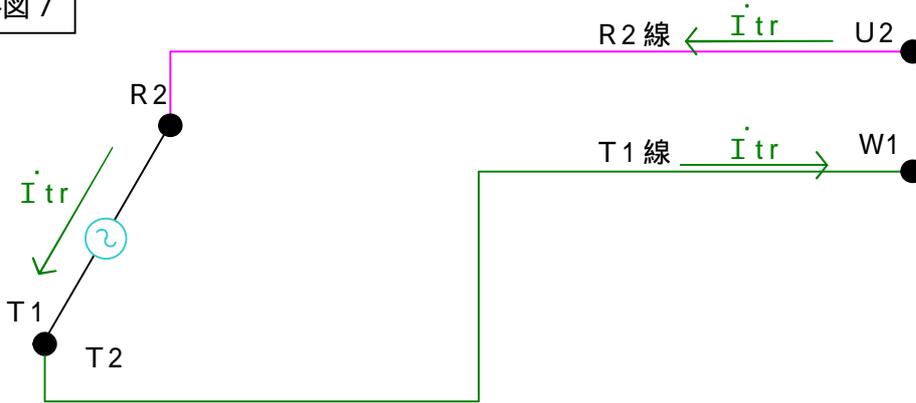


資料図 6



単相負荷
容量 3[kW]
力率 = 0.866(遅れ)
(力率角 = -30度)

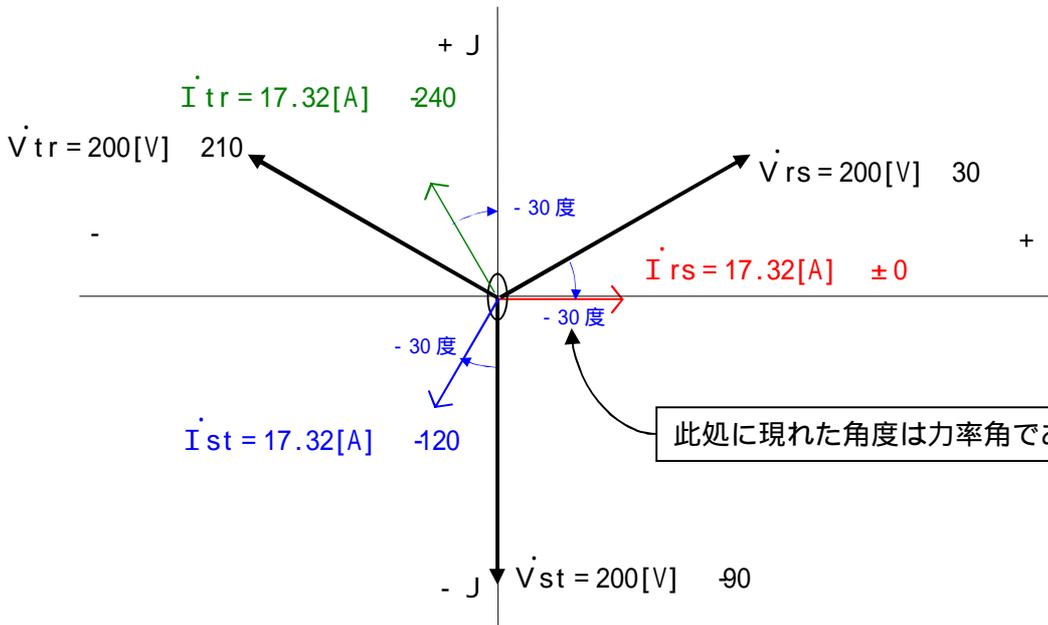
資料図 7



単相負荷
容量 3[kW]
力率 = 0.866(遅れ)
(力率角 = -30度)

各回路の電源電圧は総て 200 V で共通です。
負荷容量も 3 kW で共通ですので各線電流は下記の式で計算出来ます。
 $|\dot{I}_{rs}| = |\dot{I}_{st}| = |\dot{I}_{tr}| = 3000[\text{W}] \div 0.866(\text{力率}) \div 200[\text{V}] = 17.32[\text{A}] (= 30[\text{A}] \times 1/\sqrt{3})$
 \dot{I}_{rs} の位相角ですが、これは \dot{V}_{rs} に対して 30 度遅れになります。
 (電流がどの電圧に対して位相角 = 力率角を持つかを理解するのが重要。)
 \dot{V}_{rs} が $200[\text{V}] \angle 30^\circ$ で示されていますから、 \dot{I}_{rs} は $17.32[\text{A}] \angle \pm 0^\circ$ となります。
 同様に \dot{I}_{st} は $17.32[\text{A}] \angle -120^\circ$ 、 \dot{I}_{tr} は $17.32[\text{A}] \angle -240^\circ$ となります。
 コレをベクトル図に描くと下図になります。

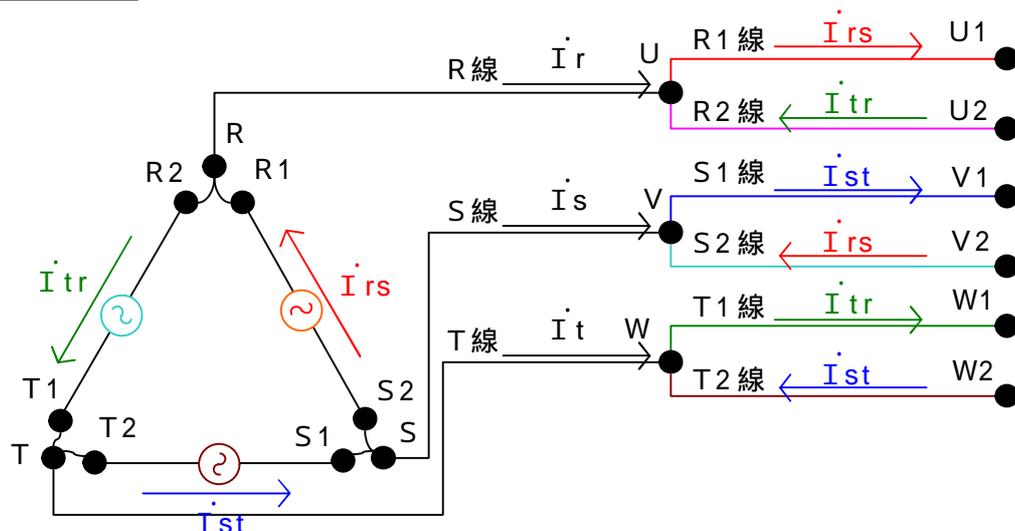
資料図 8



此処に現れた角度は力率角である。

各電流が解りましたので、今度はコレを合成します。

資料図 9



単相負荷
容量 3[kW]
力率 = 0.866(遅れ)
(力率角 = -30度)

単相負荷
容量 3[kW]
力率 = 0.866(遅れ)
(力率角 = -30度)

単相負荷
容量 3[kW]
力率 = 0.866(遅れ)
(力率角 = -30度)

何やら怪しげな回路図ですが、R1線とR2線をまとめてR線としたものです。
S1S2をS線に、T1T2をT線にまとめています。

R S Tに流れる電流を I_r 、 I_s 、 I_t とすれば、この電流は図 1 3 の電流と同じになればインチキです。
では実際に計算してみましょう。

U 点で電流則を立てます。

$I_r + I_{tr} - I_{rs} = 0$ (点に流入する電流をプラス、流出する電流をマイナスで計算。)

$$\begin{aligned} I_r &= I_{rs} - I_{tr} \\ &= 17.32[A] \pm 0 - 17.32[A] \angle -240 \\ &= 17.32 + j0 - (17.32 \cos -240 + j 17.32 \sin -240) \\ &= 17.32 + j0 - (-8.66 + j15.0) \\ &= 25.98 - j15.0 \\ &= 30 \arctan(-15/25.98) \\ &= 30[A] \angle -30 \end{aligned}$$

無事元の I_r と今回の I_r は同じものになりました。

同様に、V 点、W 点で計算を行えば、 I_s 、 I_t の計算が出来ます。

この様に解析すれば、デルタの場合も、どの電圧に対して電流が力率角を持つのか理解出来ると思います。
このやり方は、本来配線が3本のところを無理矢理6本にバラして計算し、最後に又3本にまとめると言うやり方ですから、面倒くさいやり方です。

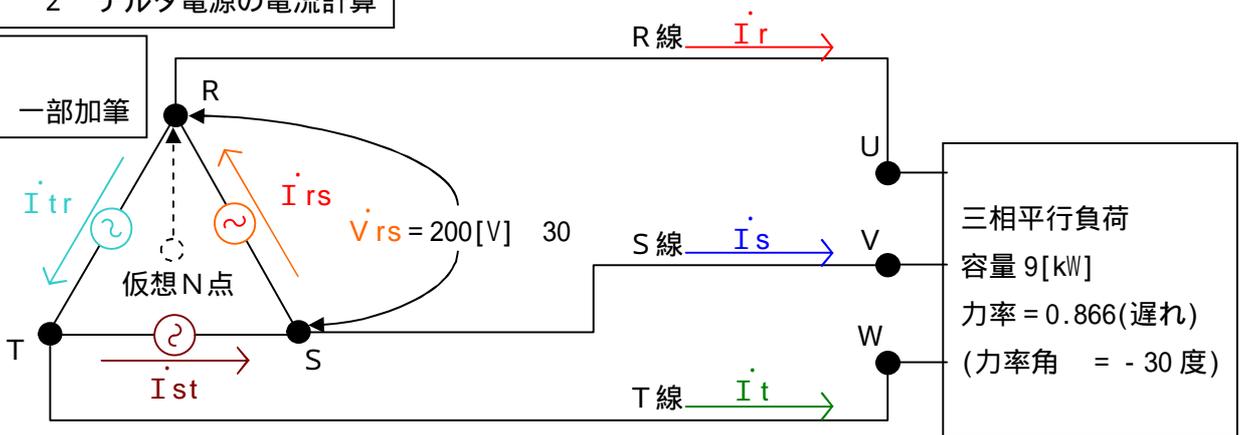
ですから電源がデルタの場合でも、仮想のスター結線を定義して計算した方が楽です。
どちらが解りやすいかは人それぞれですから、好みに応じて計算すれば良いと思います。

注記

\arctan は角度を求める関数です。
 $\tan = \dots$ とすると、 $\dots = \arctan \dots$ の関係があります。
 \arctan を \tan^{-1} と書くこともあります。

詳細説明 2 デルタ電源の電流計算

図 1 3
再度掲載、一部加筆



上図の電源に流れる電流を計算します。
線電流は既に解っています。

$\dot{I}_r = 30[\text{A}] \angle -30^\circ$, $\dot{I}_s = 30[\text{A}] \angle -150^\circ$, $\dot{I}_t = 30[\text{A}] \angle -270^\circ$ となっています。

複素数で表せば、

$$\dot{I}_r = 30[\text{A}](0.866 - j0.5) = 25.98 - j15$$

$$\dot{I}_s = 30[\text{A}](-0.866 - j0.5) = -25.98 - j15$$

$$\dot{I}_t = 30[\text{A}](0 + j1) = 0 + j30$$

となります。

\dot{I}_{rs} , \dot{I}_{st} , \dot{I}_{tr} を求める為に、R 点、S 点、T 点で電流則を立てます。

$$\dot{I}_{rs} - \dot{I}_{tr} - \dot{I}_r = 0$$

$$\dot{I}_{rs} = \dot{I}_{tr} + \dot{I}_r \quad \text{式}$$

同様に

$$\dot{I}_{st} = \dot{I}_{rs} + \dot{I}_s \quad \text{式}$$

$$\dot{I}_{tr} = \dot{I}_{st} + \dot{I}_t \quad \text{式}$$

不明な値が3つ、式が3つですから、この方程式は解けるように見えますが、実は解けません。

$\dot{I}_r + \dot{I}_s + \dot{I}_t$ の式を作ってみると・・・。

$$\dot{I}_{rs} + \dot{I}_{st} + \dot{I}_{tr} = \dot{I}_{tr} + \dot{I}_r + \dot{I}_{rs} + \dot{I}_s + \dot{I}_{st} + \dot{I}_t$$

左辺計=0、右辺計=0となり、 $0=0$ となるだけです。

別の手法で解きます。

\dot{I}_{rs} の絶対値は $|\dot{I}_{rs}|$ です。(絶対値マークを付けただけ。当たり前の話。)

$\dot{I}_{rs} = |\dot{I}_{rs}|$ と表すと、 \dot{I}_{tr} は $\dot{I}_{tr} = |\dot{I}_{rs}| \angle -240^\circ$ と書けます。(位相が -240° ずれているだけ。)

$|\dot{I}_{rs}| \angle -240^\circ$ はさらに、 $|\dot{I}_{rs}| \times 1 \angle -240^\circ$ と書けます。(極座標の公式のまま)

従って、 $\dot{I}_{tr} = \dot{I}_{rs} \times 1 \angle -240^\circ$ となります。

これを式に代入します。

$$\dot{I}_{rs} = \dot{I}_{tr} + \dot{I}_r \quad \text{式}$$

$$\dot{I}_{rs} = \dot{I}_{rs} \times 1 \angle -240^\circ + \dot{I}_r$$

$$\dot{I}_{rs} - \dot{I}_{rs} \times 1 \angle -240^\circ = \dot{I}_r$$

$$\dot{I}_{rs}(1 - 1 \angle -240^\circ) = \dot{I}_r$$

$$\dot{I}_{rs}\{1 - (-0.5 + j0.866)\} = \dot{I}_r$$

$$\dot{I}_{rs}(1.5 - j0.866) = \dot{I}_r$$

$$\dot{I}_{rs}(3/2 - j\sqrt{3}/2) = \dot{I}_r$$

$$3\dot{I}_{rs}(\sqrt{3}/2 - j1/2) = \dot{I}_r$$

$$3\dot{I}_{rs}(\cos -30^\circ + j\sin -30^\circ) = \dot{I}_r$$

$$3\dot{I}_{rs} \times 1 \angle -30^\circ = \dot{I}_r$$

$$\dot{I}_{rs} = \dot{I}_r \div 3 \angle -30^\circ$$

$$\dot{I}_{rs} = \dot{I}_r \times 1/3 \angle 30^\circ$$

この式は「 \dot{I}_{rs} は \dot{I}_r に対して、大きさが $1/\sqrt{3}$ 倍で、位相が 30 度進む。」ことを示しています。

同様に \dot{I}_{st} 、 \dot{I}_{tr} を求める事が出来ます。

$$\dot{I}_{st} = \dot{I}_s \times 1/\sqrt{3} \angle 30$$

$$\dot{I}_{tr} = \dot{I}_t \times 1/\sqrt{3} \angle 30$$

となります。

この様にして電源に流れる電流を求める事が出来ます。

ここでベクトルオペレータの話を書いておきます。

ベクトルオペレータは位相角が 120 度ずつずれたベクトルを表すのに用いられるものです。

これを a と書くと次のようになります。

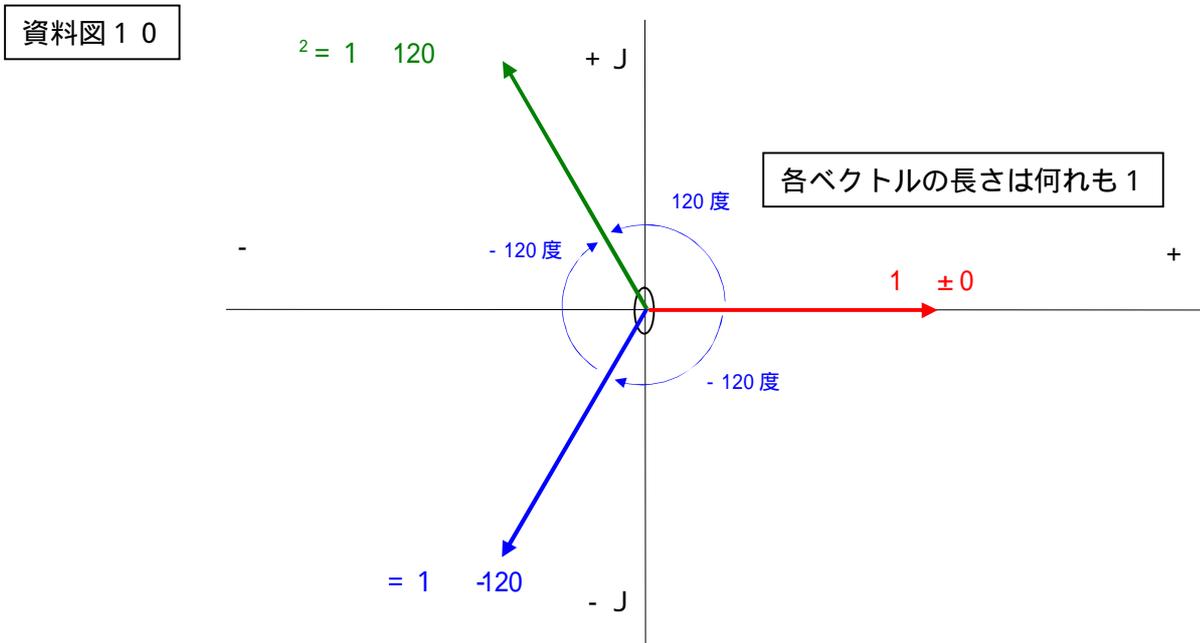
$$a = 1 \angle -120 = \cos -120 + j \sin -120 = \exp(-j 2\pi/3) = e^{j2\pi/3} = -1/2 - j \sqrt{3}/2$$

$$a^2 = 1 \angle -240$$

$$= 1 \angle 120$$

$1 + a + a^2 = 0$ となります。

ベクトル図で説明すると解りやすいかもしれません。



三相交流は 120 度の位相差を持つ値で示されますので、このベクトルオペレータを使って表現すると、表記が簡単になります。

前ページ図 1 3 の電源に流れる電流を下記のように書くことも出来ます。

$$\dot{I}_{st} = \dot{I}_{rs} \angle 120 = a^2 \dot{I}_{rs} \text{ と } \dot{I}_{st} \text{ は大きさが同じで、位相差が } 120 \text{ 度ある。}$$

$$\dot{I}_{tr} = a \dot{I}_{rs} \angle 240 = a \dot{I}_{rs} \text{ と } \dot{I}_{tr} \text{ は大きさが同じで、位相差が } 240 \text{ 度ある。}$$

雑感

小生が 20 歳代の頃、V結線の解説書を読みましたが全く理解出来ませんでした。

又、低圧単相コンデンサを用いてトランスの利用率を上げ、契約電力を下げる手法などもありました。

当時は、電力会社との契約はトランス容量で行っていたので、トランス容量を下げるのは契約電力を下げる有効な手法だったのです。(今はこんな馬鹿げた事はありません。)

全く理解出来ないで、こんなものは一生理解出来ないだろうと思っていました。

そして今、こうやって人様に向かって解説書を書いています。

実に不思議な気持ちです。

オシマイ