

スコットトランスの話

皆様こんにちは 鹿の骨です。

世の中色々なトランスが有りますが、スコットトランスと言うトランスが有ります。

これは、スコットさんと言う人が発明したトランスで、三相電源から単相電源×2を取得するためのトランスです。

三相から単相を取る場合、三相の片相から取っても良いのですが、三相バランスが崩れます。

だからスコットトランスを使うのですが、このトランスの内容を理解するのは相当に厄介です。

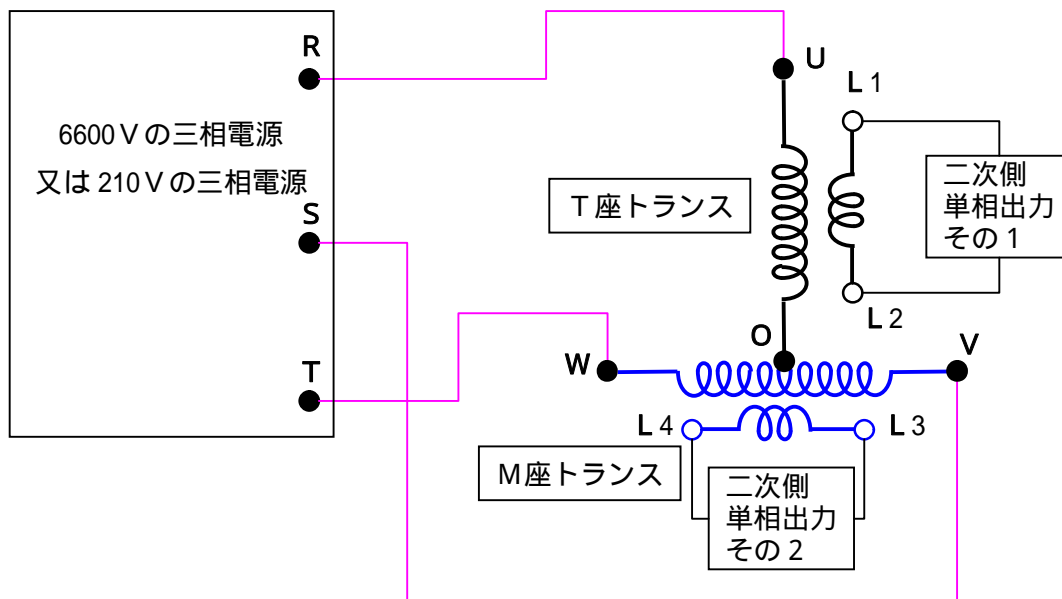
と言っている小生も最近迄は、ワケガワカランと思っていました。

今でも完全に理解した訳ではありませんが、この書き込みが、小生同様の悩める人たちの福音になれば幸いです。

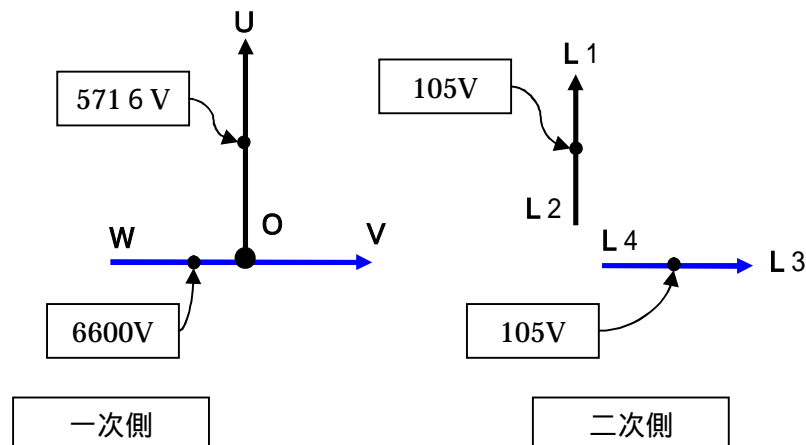
平成 鹿年 骨日 吉日

早速ですが、スコットトランスの結線及びベクトル図は下図のようになります。

回路図



ベクトル図



コレを見て理解出来る人は次ページ以降の解説を読む必要は有りません。

普通はナンジャコリヤです。

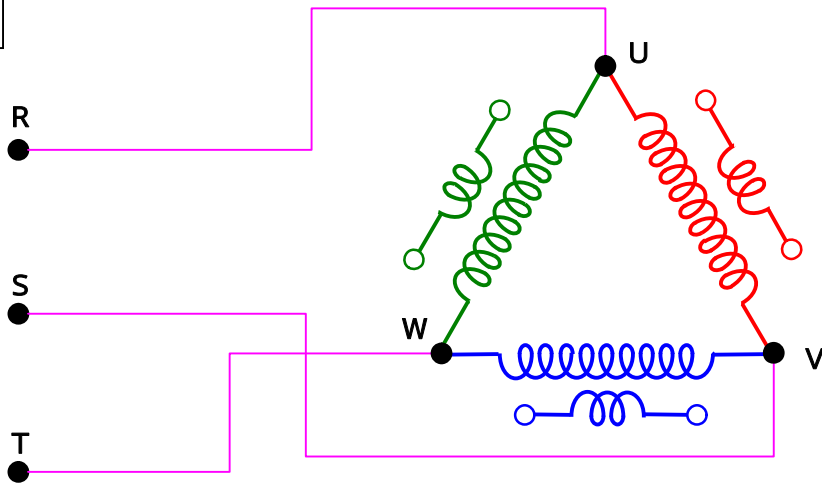
次ページ以降に説明を記載しますが、もの凄くヘンテコリンな説明の仕方です。

この説明でご理解頂けるとウレシイのですが・・・。

余計に訳が解らなくなった方・・・ゴメンナサイ。他の参考書で勉強して下さいね！

まず。結線のトランスを用意します。普通のトランスです。
取り敢えず二次側端子の全部を開放とします。何も繋ぎません。

図 1



このトランスの一次側に細工をします。
巻線VW間に怪しげな端子「O」を付けます。巻線の丁度半分のところでは。
端子UO間の電圧を計って見ましょう。

図 2

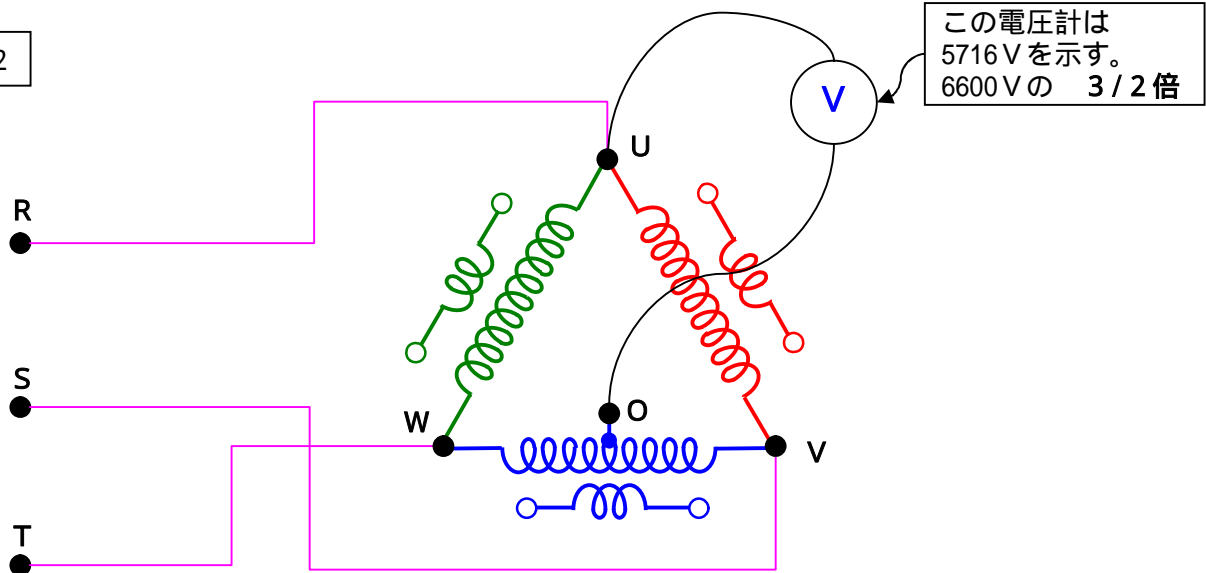


図 2 に示した通り、端子UO間には電圧があります。
この電圧の値は線間電圧の 3/2 倍の大きさになります。線間電圧の 86.6%です。
この電圧のベクトル図は下図のようになります。

図 3

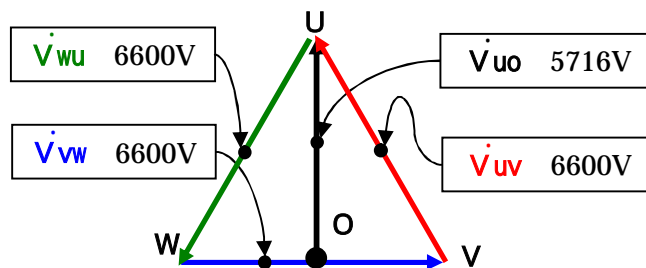
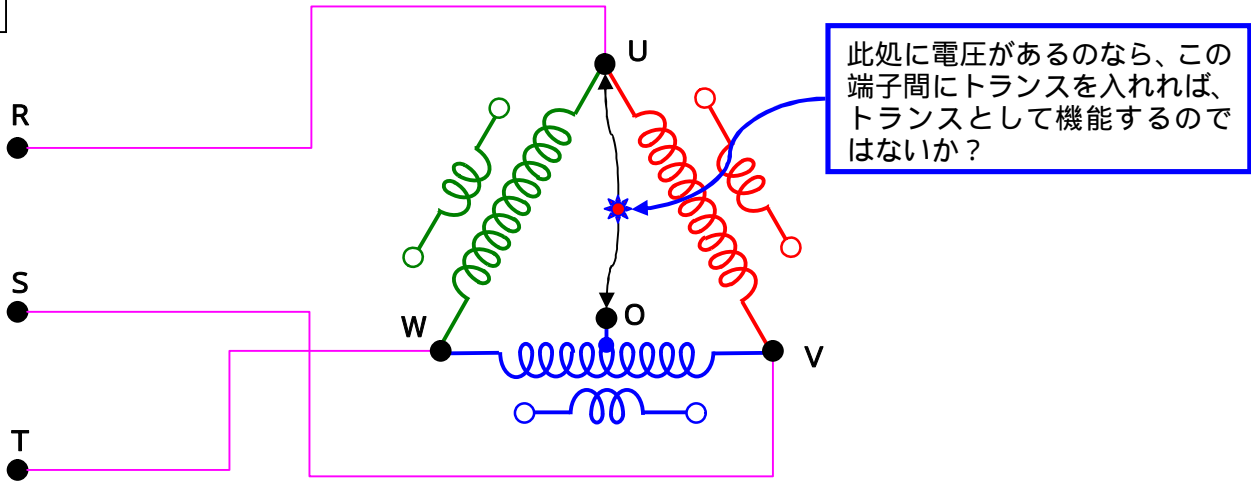


図3の様な電圧ベクトル図が書けましたが、今度は次のような事を考えます。

図4



やってみましょう。
 図5の様なトランスを用意してこの端子間に配置します。一次側の定格電圧に注目して下さい。

図5

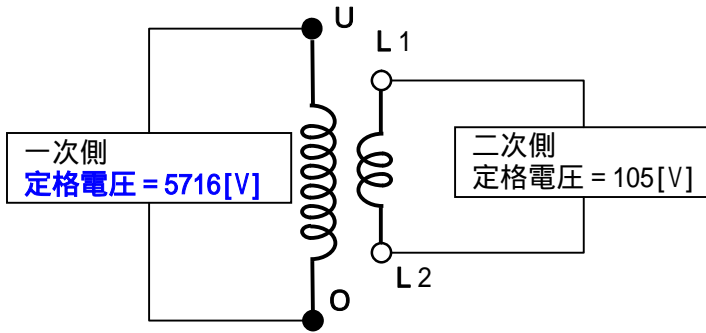
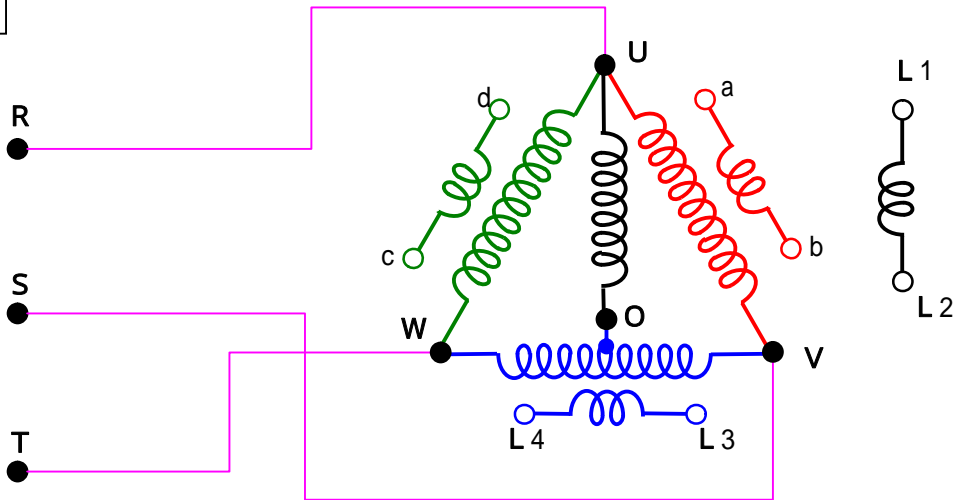


図6



無事接続出来ました。
 この時の、二次側の電圧、a~b、c~d、e~f、L1~L2は総て105Vです。
 三相電源から、単相×4セットを取得することができます。
 四相8線になります。

因みに、この二次側の電圧ベクトル図は下図のようになります。

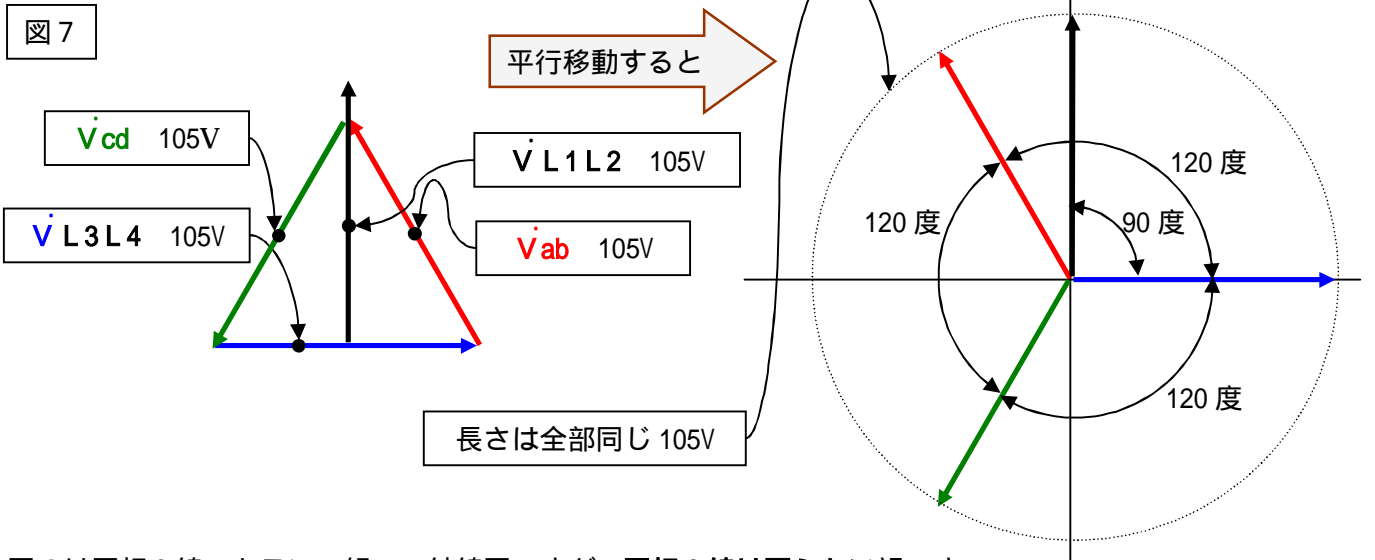
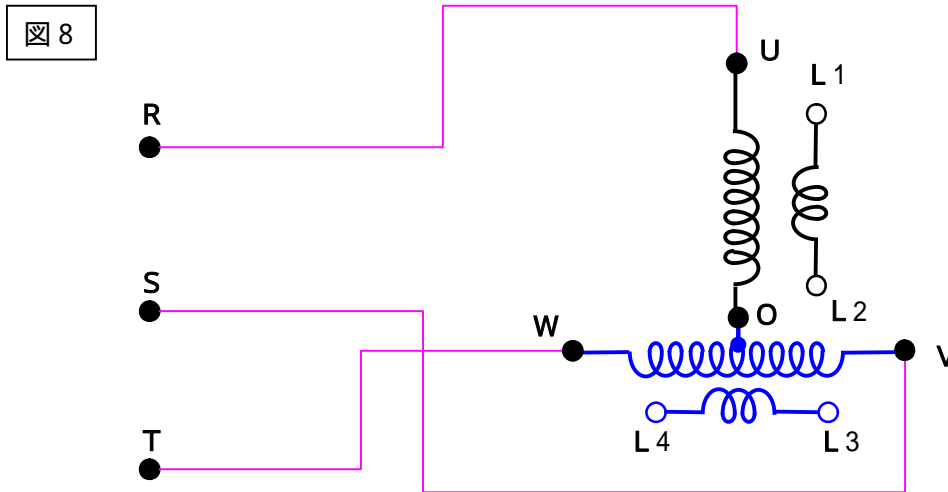
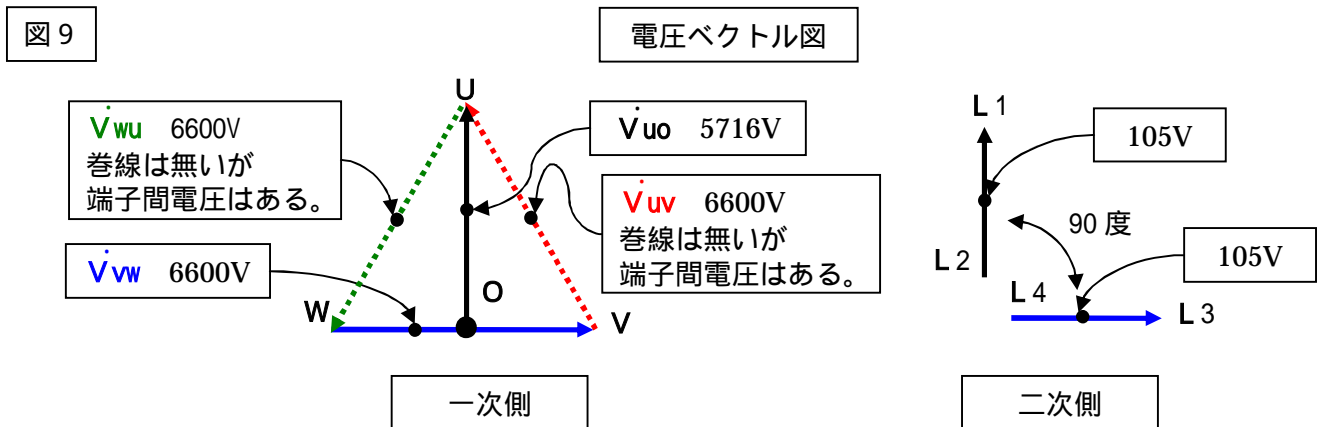


図 6 は四相 8 線のトランス組みの結線図ですが、四相 8 線は要らない訳です。そこで、不要なものを撤去します。UV 巻線と、WU 巻線を撤去します。下図参照。



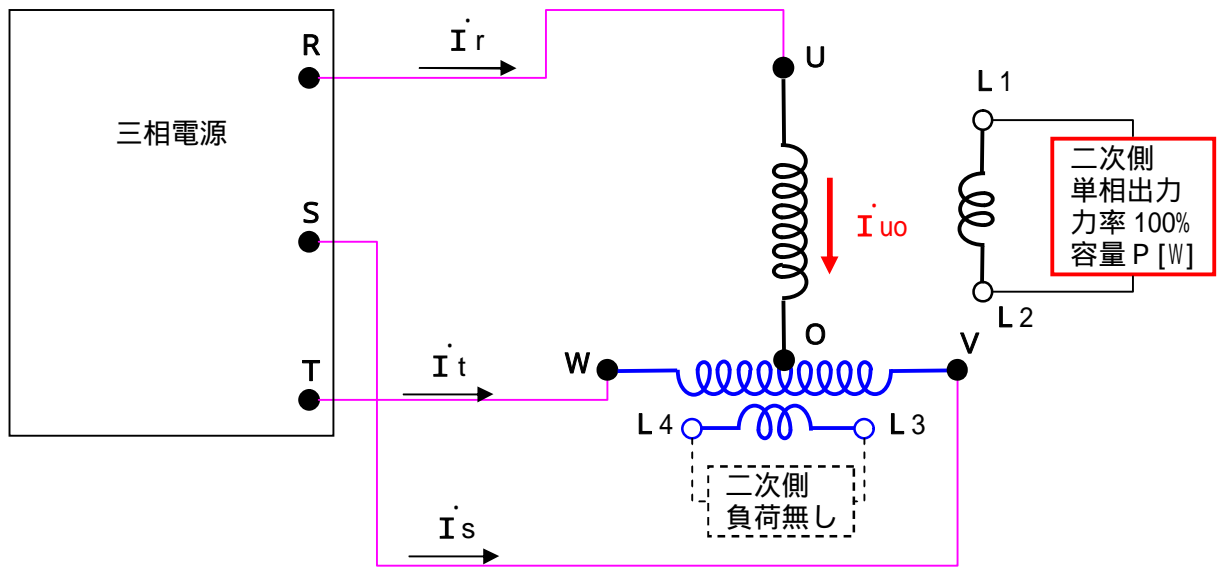
これでスコットトランスの出来上がりです。
1 ページに書いたものと全く同じものが出来ます。
電圧のベクトル図は下図になります。



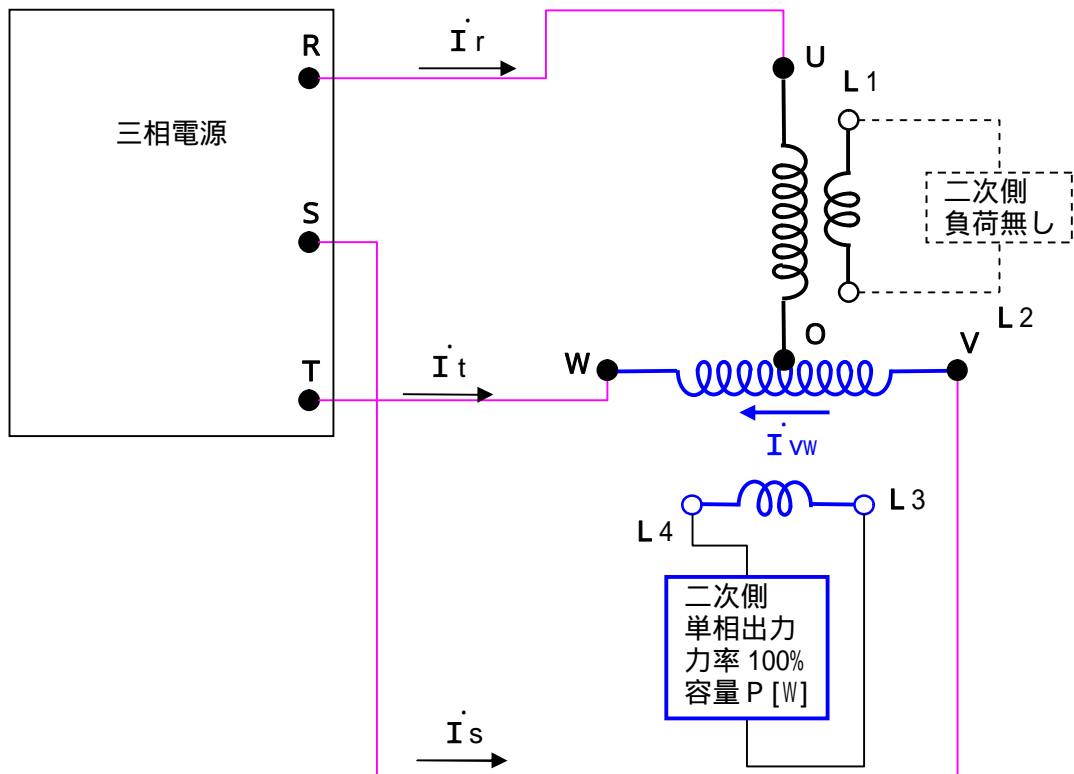
なんか騙されたみたいだ・・・と思ったあなた！ズウツ～と後ろのページを見るべし！！。
ひょっとしたら理解出来る何かを書いてあるかも知れない。

これで話は終わりではありません。(ゲェ～・・・と言わないで。)
 スコットトランスの最大特徴は**負荷の2相をバランスさせれば、電源側の三相がバランスすること**です。
 この事を利用してスコットトランスは用いられます。
 コレを証明しましょう。
 下記2図の様に、片方がそれぞれ無負荷の場合を考え、これを合算して考えます。
 取り敢えず負荷の力率は100%とします。

10図

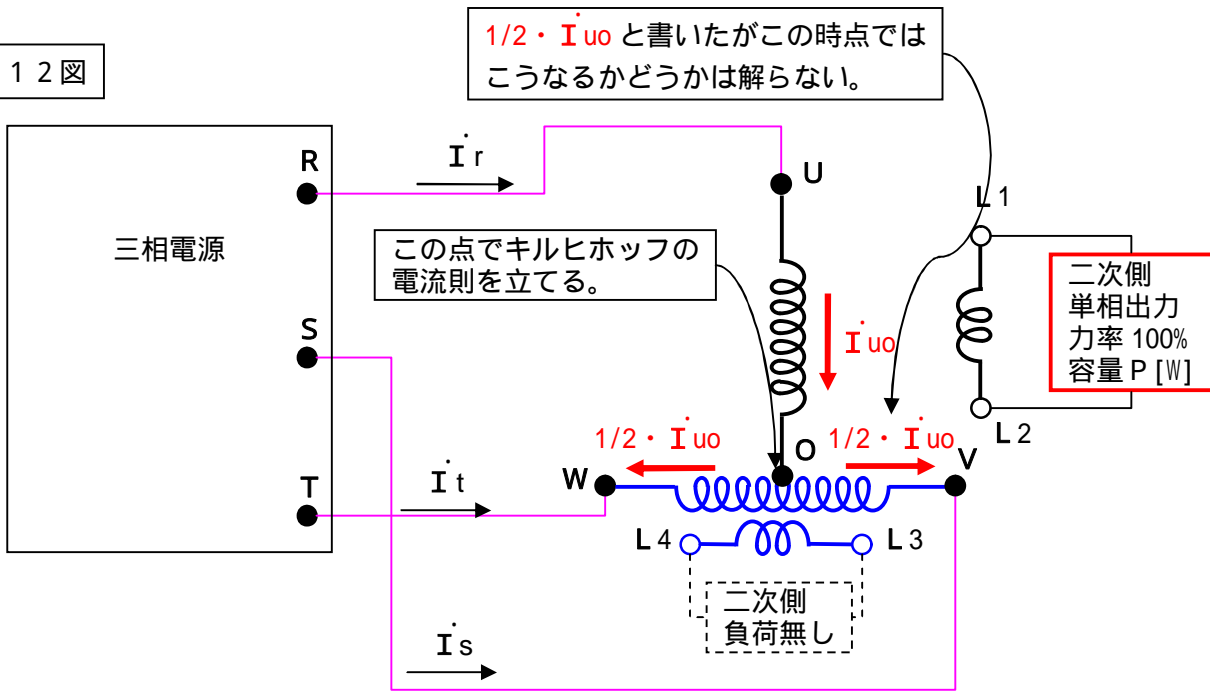


11図

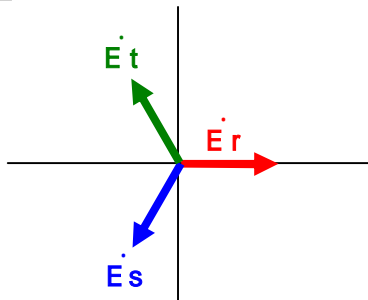


10図の場合から解析します。

12図

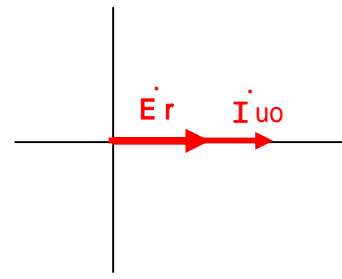


13図



三相電源電圧のベクトル図

14図



E_r と I_uo の関係

まず13図に示した、電源電圧のベクトル図からスタートします。
電源電圧は取り敢えずスターで書きましたが、デルタで考えても結果は同じになります。
ここでは考えやすいように、スターとします。

14図示す様に I_{uo} は E_r と同相の電流になります。
線間電圧を 6600[V]、負荷容量を 100[kVA] とすると、

$$|I_{uo}| = 100[\text{kVA}] / (6600 \cdot 3/2[\text{V}]) = 17.50[\text{A}] \text{ となります。}$$

ここで、 $I_{uo} = I_{uo} + j0$ と置きます。

$$I_s = a + jb$$

$$I_t = c + jd$$

と置くと、

$$(I_{uo} + a + c) + j(0 + b + d) = 0 \quad \leftarrow \text{O点で立てたキルヒホッフの電流則}$$

$$I_{uo} + a + c = 0 \quad \dots$$

$$b + d = 0 \quad \dots$$

式と式を満足する a, b, c, d の各値は無限に存在し、解けません。

コリヤ困った・・・仕方が無いので、

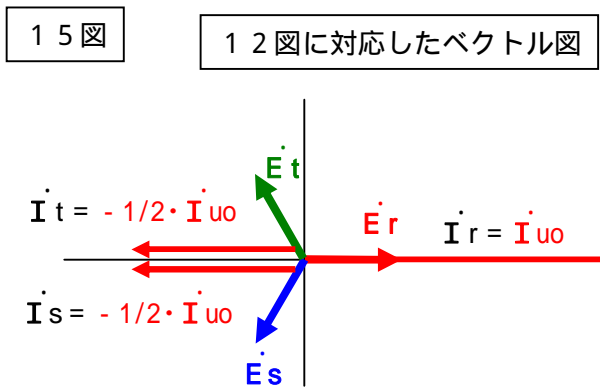
$$I_s = -1/2 \cdot I_{uo}$$

$$I_t = -1/2 \cdot I_{uo}$$

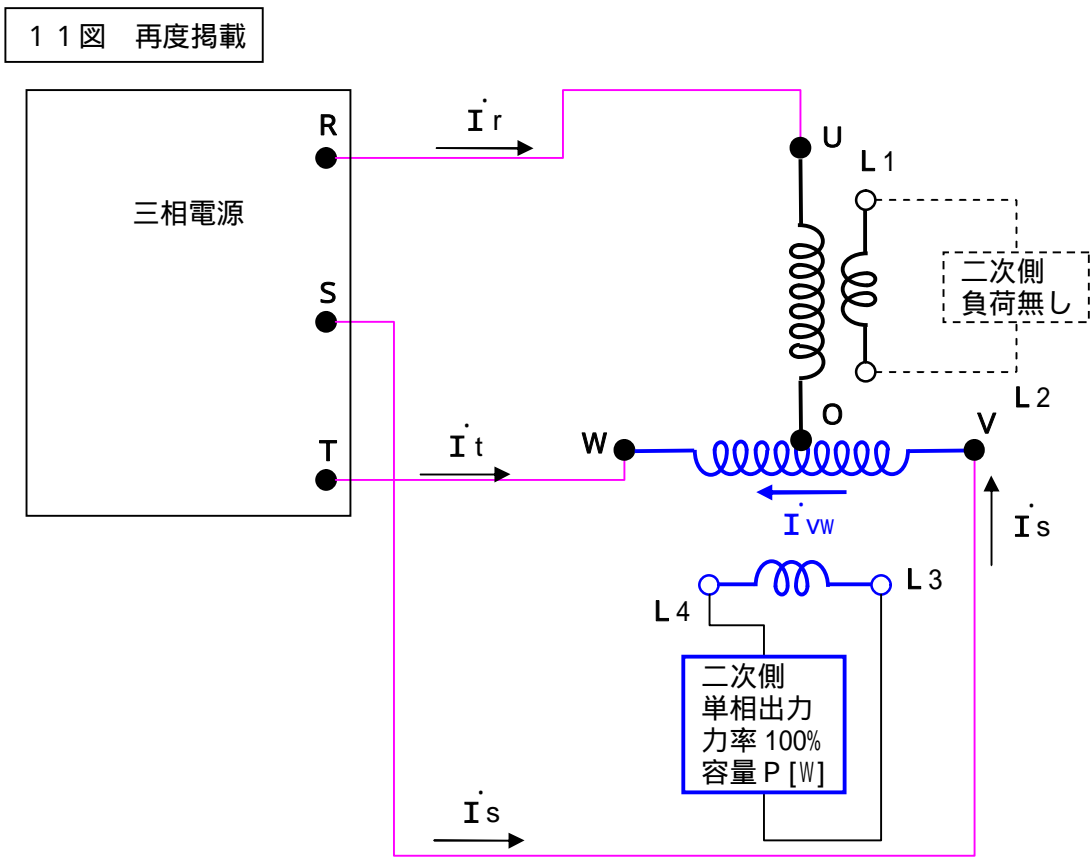
とします。

こうすると取り敢えず、O点でキルヒホッフの電流則は成立します。
実際にもこうなるのですが、どうしてこうなるかは後で説明します。

この電流のベクトル図を描くと下図のようになります。



次に図11の電流解析です。



図を見たとご理解頂けると思いますが、下記ようになります。

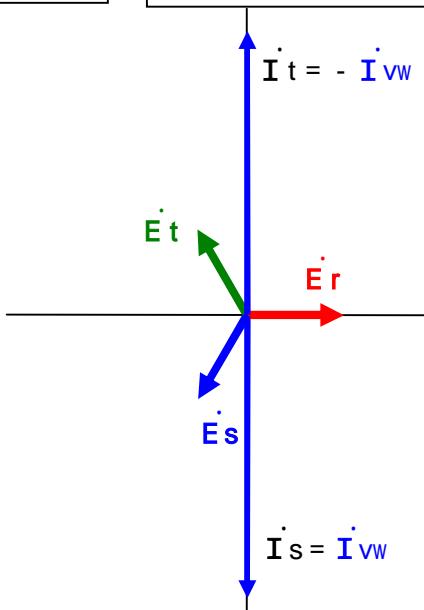
$$\begin{aligned} \dot{I}_r &= 0 \\ \dot{I}_s &= \dot{I}_{vw} \\ \dot{I}_t &= -\dot{I}_{vw} \quad (\text{W点でキルヒホッフの電流則を立てると、}\dot{I}_t + \dot{I}_{vw} = 0\text{となる。}) \end{aligned}$$

このベクトル図は次ページの様になります。

この電流のベクトル図を描くと下図のようになります。

16図

11図に対応したベクトル図



I_{vw} の計算式

線間電圧を V [V] とすると、 $|I_{vw}| = P/V$ [A]

一方、 $|I_{uo}| = P/3V$ [A] となるが、

$|I_{vw}| = P/V$ [A] = $(3/2) \cdot (2P/3V) = 3/2 \cdot |I_{uo}|$ となる。

従って $|I_{vw}| = 3/2 \cdot |I_{uo}|$

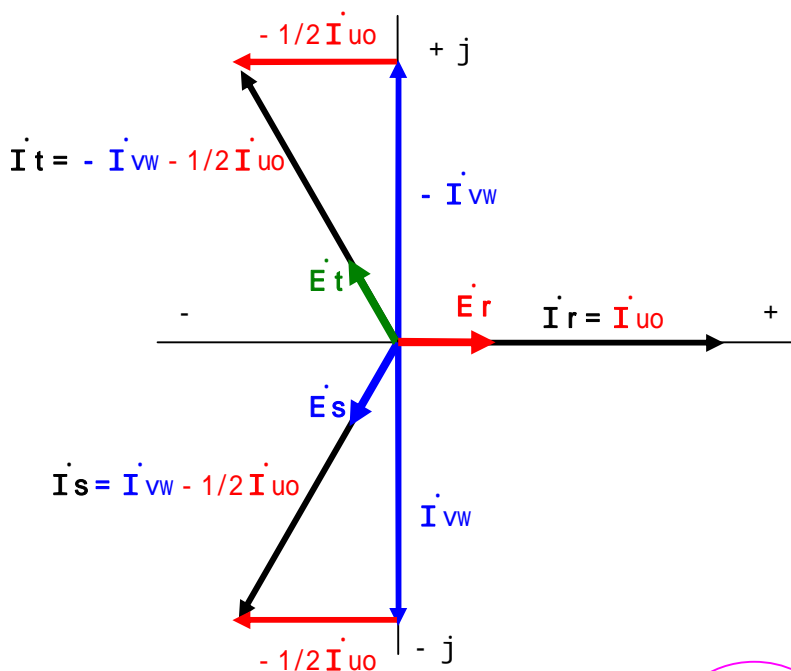
I_{vw} は I_{uo} に対して 90° 遅れているので、

$|I_{uo}| = I + j0 = I$ と置けば、 $I_{vw} = -jI \cdot 3/2$ [A] となる。

15図の電流ベクトル図と、図16図の電流ベクトル図を合算すると下図になります。

17図

合算した電流ベクトル図



$I_{uo} = I + j0$ [A] とすると、

$I_{vw} = -jI \cdot 3/2$ [A]

$I_r = I_{uo} = I + j0$ [A] = I 0°

$I_s = I_{vw} - 1/2 I_{uo} = I(-j \cdot 3/2 - 1/2)$ [A] = I -120°

$I_t = -I_{vw} - 1/2 I_{uo} = I(j \cdot 3/2 - 1/2)$ [A] = I 120°

$|I_r| = I$ [A]

$|I_s| = I \cdot (\sqrt{3/2^2 + 1/2^2}) = I$ [A]

$|I_t| = I \cdot (\sqrt{3/2^2 + 1/2^2}) = I$ [A]

$I_r + I_s + I_t = 0$

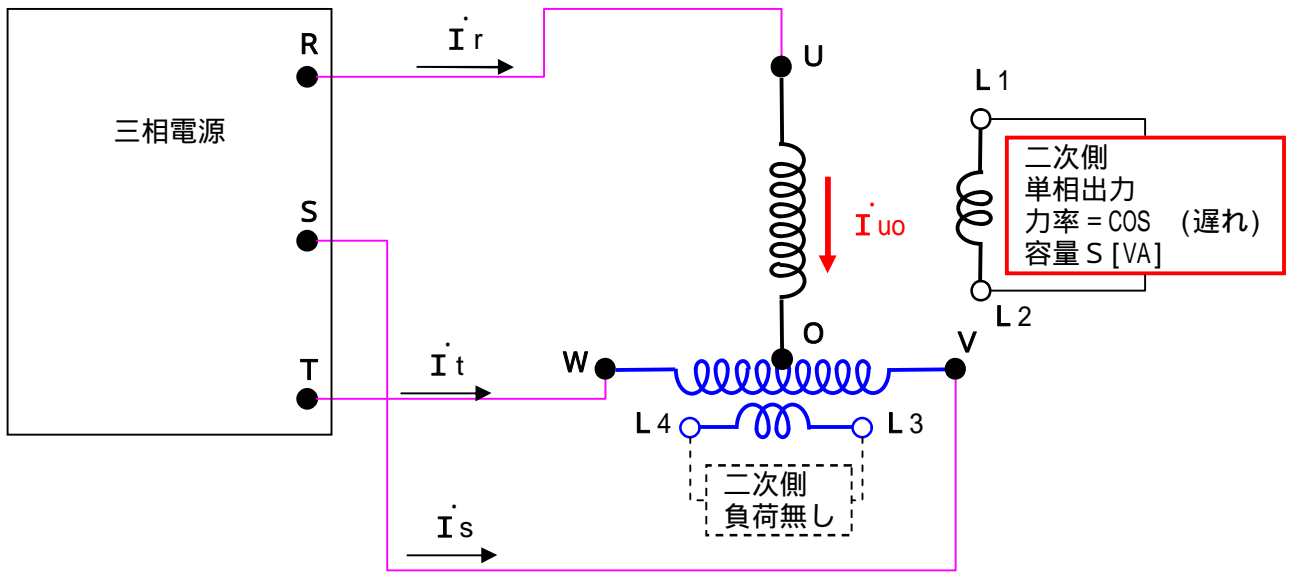
となりますので、三相バランスは完全に取れます。

スコットトランスはこの様に二次側二相が完全にバランスすれば、一次側もバランスします。

前ページまでは二次側負荷が力率 = 100% の場合でした。
 今度は力率角 (遅れ) の場合を解析して見ましょう。

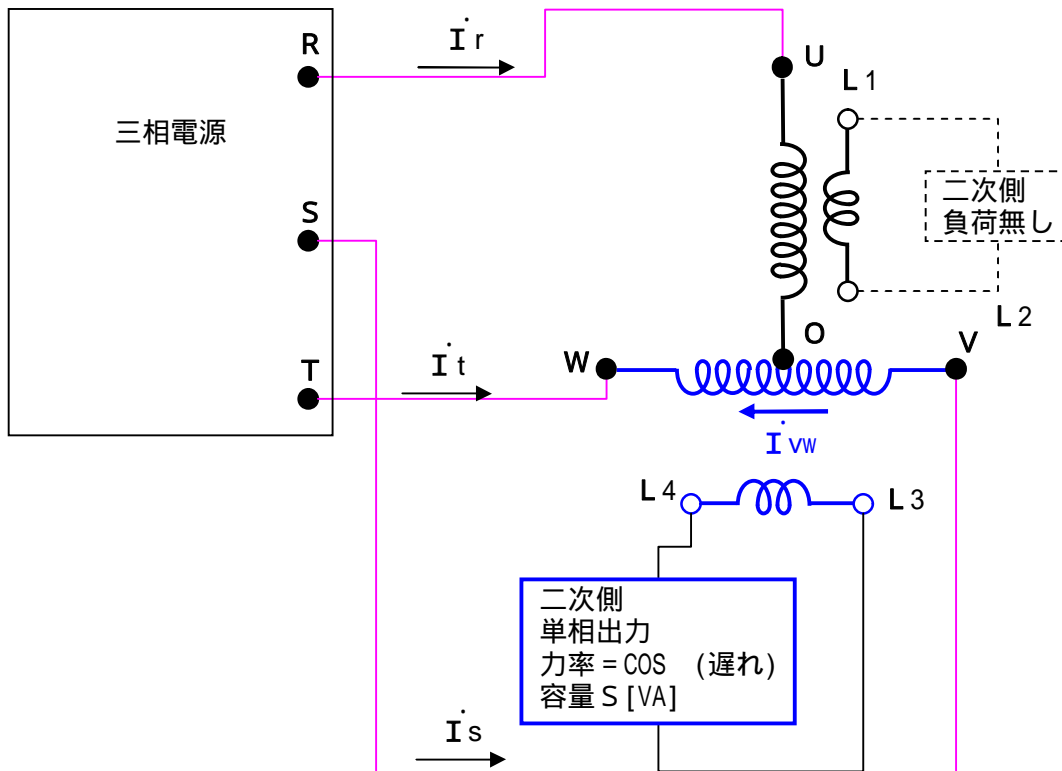
18図

10図の変形



19図

11図の変形

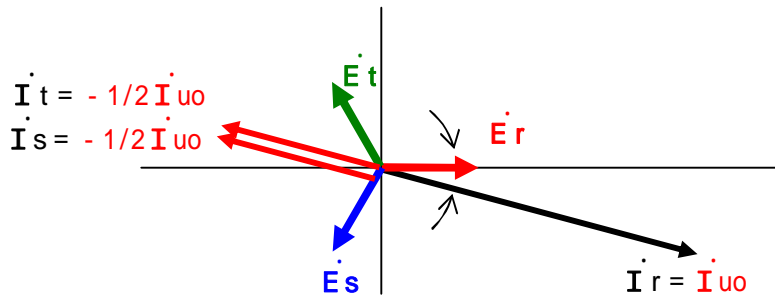


18図19図とも、負荷の容量及び力率を変えただけです。
 勿論両方の負荷は同じものとします。
 解析結果を次ページに示します。

力率角 (遅れ)の場合のベクトル図です。図は $\theta = 15$ 度で描いてあります。

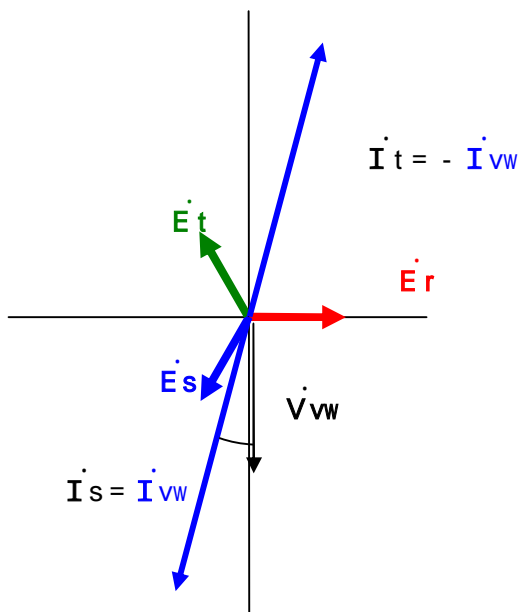
20 図

18 図に対応したベクトル図



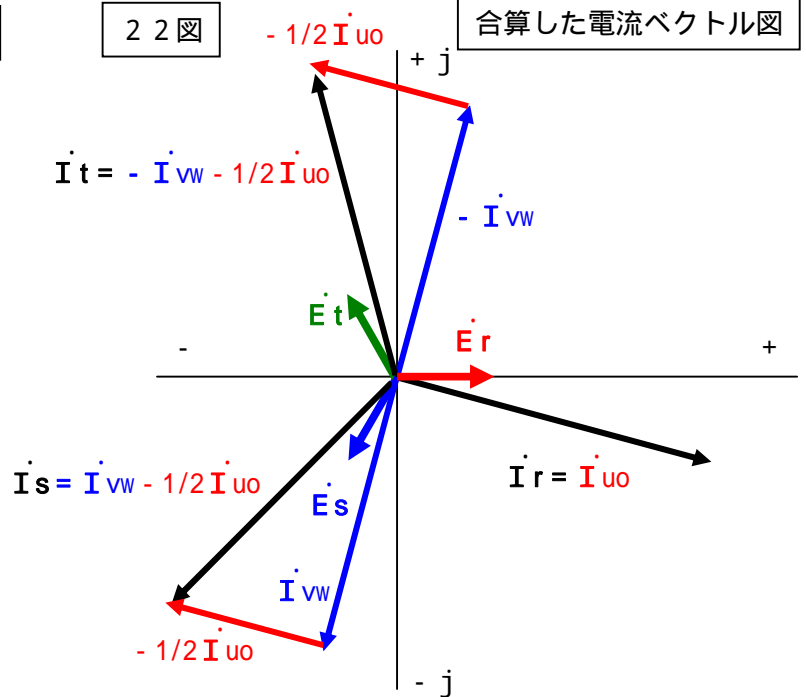
21 図

19 図に対応したベクトル図



22 図

合算した電流ベクトル図



\dot{E}_r を基準ベクトルとして、 $|\dot{I}_{u0}| = I$ [A] と置くと、

$$\dot{I}_{u0} = I \{ \cos(-) + j \sin(-) \} = I (-) \dots$$

$$\dot{I}_{vw} = -j \cdot \frac{3}{2} \dot{I}_{u0} = -j \cdot \frac{3}{2} I \{ \cos(-) + j \sin(-) \} = \frac{3}{2} I \sin(-) - j \cdot \frac{3}{2} I \cos(-)$$

$$\dot{I}_r = \dot{I}_{u0} = I \{ \cos(-) + j \sin(-) \}$$

$$\dot{I}_s = \dot{I}_{vw} - \frac{1}{2} \cdot \dot{I}_{u0} = \{ \frac{3}{2} \cdot I \sin(-) - j \cdot \frac{3}{2} \cdot I \cos(-) \} - \frac{1}{2} \cdot I \{ \cos(-) + j \sin(-) \}$$

$$= \{ \frac{3}{2} \cdot I \sin(-) - \frac{1}{2} \cdot I \cos(-) \} + j \{ -\frac{3}{2} \cdot I \cos(-) - \frac{1}{2} \cdot I \sin(-) \}$$

$$= I \{ \sin(120 \text{度}) \sin(-) + \cos(120 \text{度}) \cos(-) \} + j I \{ \cos(-120 \text{度}) \sin(-) + \sin(-120 \text{度}) \cos(-) \}$$

$$= I \{ \cos(-120 \text{度} -) + j \sin(-120 \text{度} -) \}$$

$$= I (-120 \text{度} -) \dots$$

$$\dot{I}_t = -\dot{I}_{vw} - \frac{1}{2} \cdot \dot{I}_{u0} = -\{ \frac{3}{2} \cdot I \sin(-) - j \cdot \frac{3}{2} \cdot I \cos(-) \} - \frac{1}{2} \cdot I \{ \cos(-) + j \sin(-) \}$$

$$= \{ -\frac{3}{2} \cdot I \sin(-) - \frac{1}{2} \cdot I \cos(-) \} + j \{ \frac{3}{2} \cdot I \cos(-) - \frac{1}{2} \cdot I \sin(-) \}$$

$$= I \{ \sin(-120 \text{度}) \sin(-) + \cos(-120 \text{度}) \cos(-) \} + j I \{ \cos(120 \text{度}) \sin(-) + \sin(120 \text{度}) \cos(-) \}$$

$$= I \{ \cos(120 \text{度} -) + j \sin(120 \text{度} -) \}$$

$$= I (120 \text{度} -) \dots$$

～ となりますので、三相バランスは完全に取れます。

(尚、上記展開式は結果が解っているので展開出来ます。ゼロからスタートしたら出来ません。ハイ。)

今度はトランスの利用率の話です。
 スコットトランスは利用率が100%になりません。
 トランスの利用率は次の式になります。

利用率 = 出力 / トランス容量

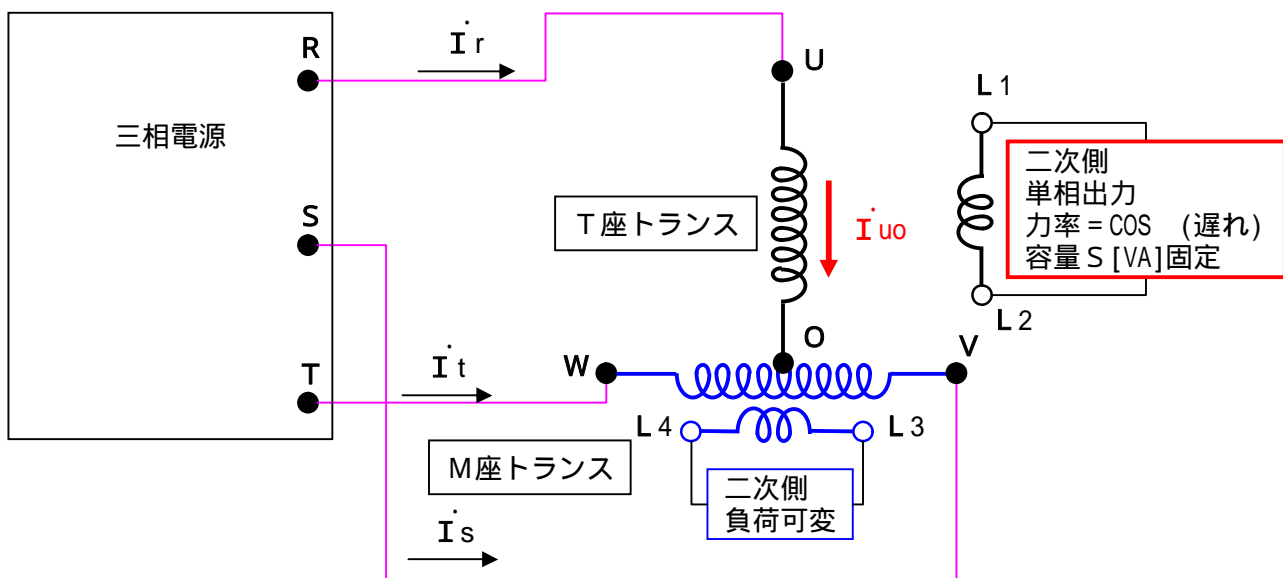
当たり前の話ですが、単相トランスで出力100[kVA]のトランスと云えば、二次側に100[kVA]の負荷が接続出来なければ、詐欺です。三相でも同じです。

ところが、スコットトランスは、見かけ上2つの単相トランスの組み合わせですが、この単相トランスの容量をS[VA]とすると、出力はS[VA]×2セットになりません。

どういう値になるのか、検証して見ましょう。

下図は18図を再度掲載したものです。

18図 再度掲載 一部変更

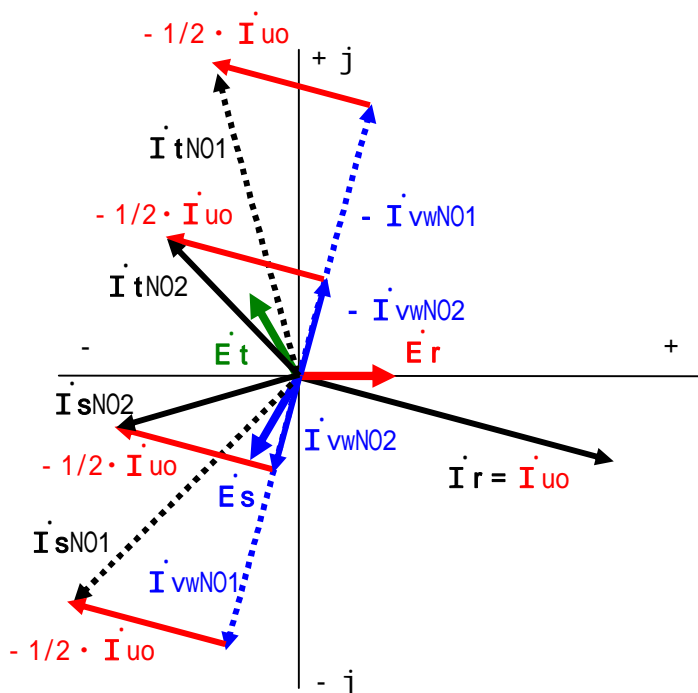


T座には容量S[VA]の負荷(S[VA]で固定)を接続し、M座側は可変負荷です。
 この時、T座の容量がS[VA]あれば、取り敢えずT座側の負荷を賄う事が出来ます。
 次に、M座に負荷を繋いだ場合、M座の負荷と無関係でT座に流れる電流は変わりません。

下図で、 I_{vw} がN01からN02に変わっても、 $I_r = I_{uo}$ は変わりません。

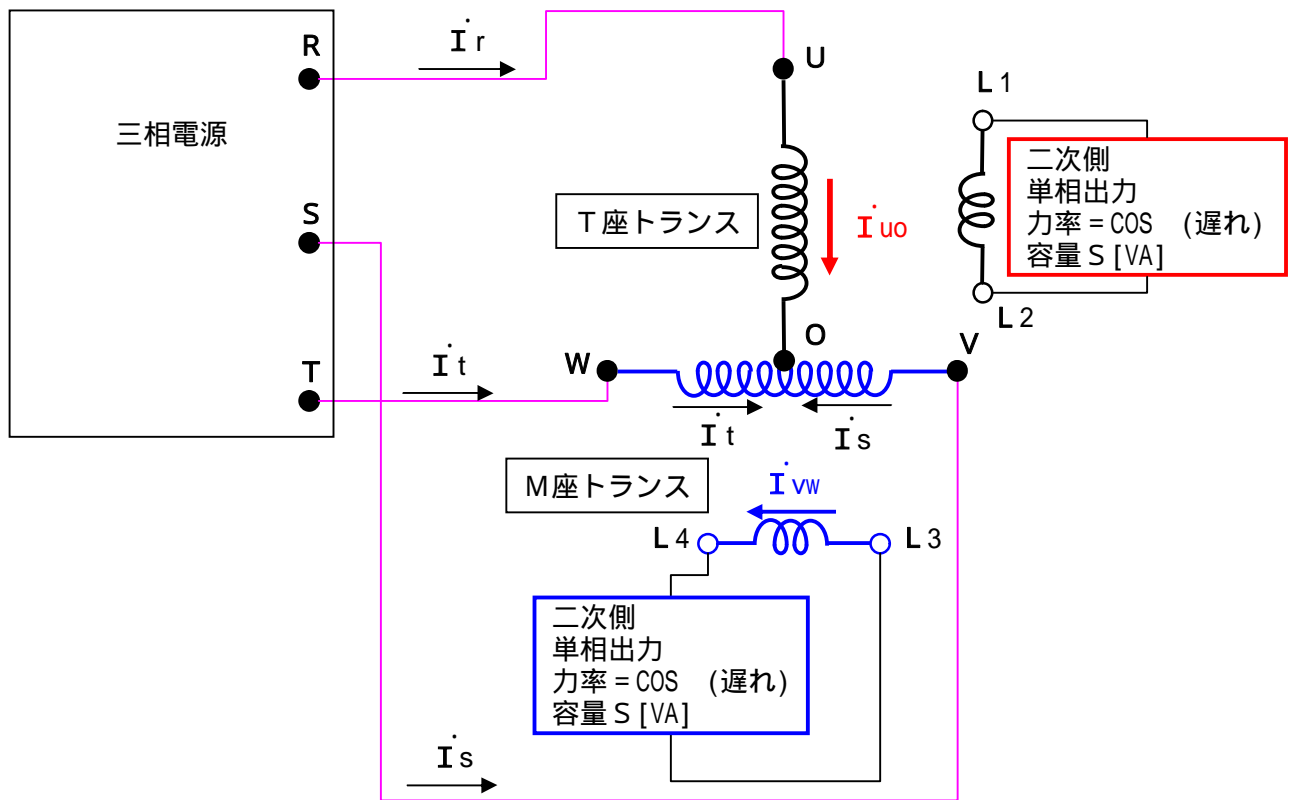
従って、T座トランスは負荷がS[VA]の場合、S[VA]の容量があれば良い事になります。
 T座トランスの利用率は100%です。

23図



次はM座トランスの解析です。
 下図はT座及びM双方にS [VA]の負荷を接続した場合です。

24図



上記の回路図を見ると解るのですが、M座トランスは「O点」に向かって、 \dot{I}_s と \dot{I}_t が流れ込みます。M座の負荷S [VA]に対応する電流は \dot{I}_{vw} ですが、下記のベクトル図から明らかなように、 \dot{I}_s 及び \dot{I}_t は \dot{I}_{vw} だけでなく、 $-1/2 \cdot \dot{I}_{uo}$ との合成電流になります。

10ページの計算で $|\dot{I}_r| = |\dot{I}_s| = |\dot{I}_t|$ である事が解っています。

$|\dot{I}_r| = I$ 、線間電圧をV [V]とすると、T座トランスで $S = 3/2 V I$ でした。

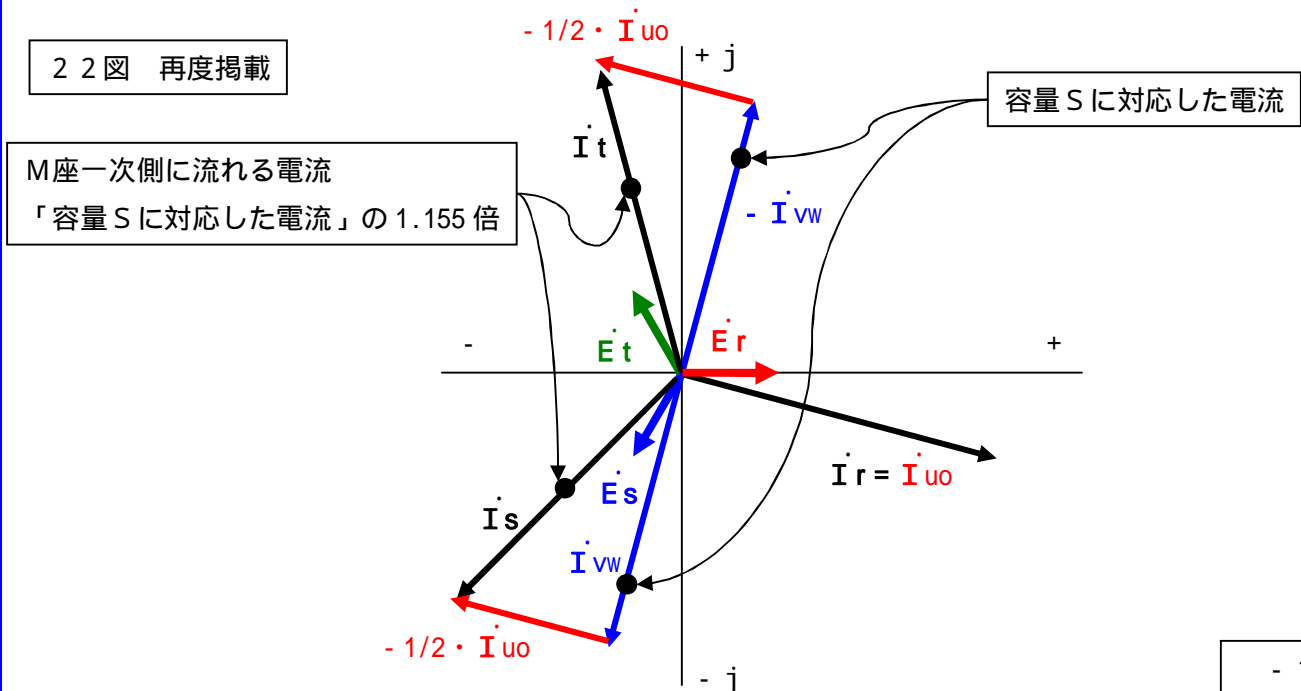
つまり、 $I = 2 / 3 \times S / V = S / V$ の1.155倍です。

S / VはM座トランスで負荷Sを賄う為に必要な電流値です。

ところがM座にはこの値の1.155倍の電流が流れる事になります。

これはM座トランスの容量はSの1.155倍の容量が必要であることを示しています。

22図 再度掲載



この結果を用いて利用率を計算すると次のようになります。

負荷容量 T座S [VA]、M座S [VA] 計2 S [VA]

トランス容量 T座S [VA]、M座2/ 3・S [VA] 計(1+2/ 3) S [VA] = 2.155 S [VA]

利用率 = 負荷容量 / トランス容量 = 2 S / 2.155 S = 92.8[%] となります。

つまり、100%ではありません。

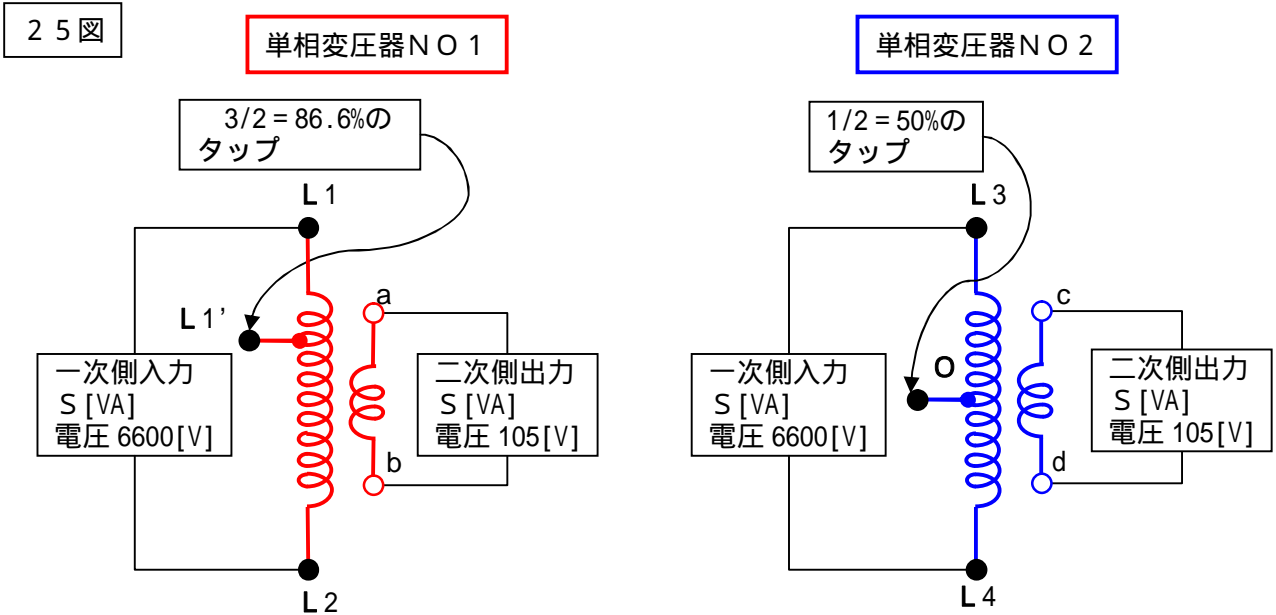
***** ちょっと一休み *****



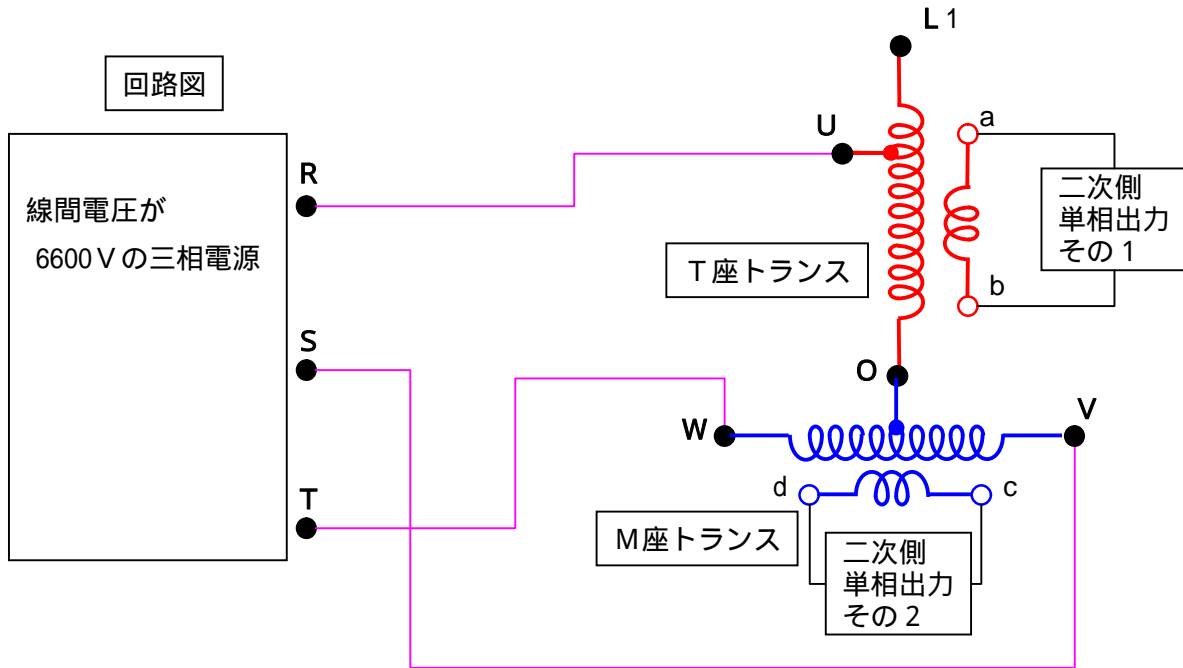
ヤッタダ!! これで 連チャン 記録です。

以上が鹿の骨流スコットトランスの説明です。
 世の中の市販参考書はこの様な説明の仕方をしていません。
 以下に、市販参考書に準じた説明を書きます。
 解り易いか、解り難いかは、読んだ方でご判断下さい。

まず単相トランスを2台用意します。容量はS [VA]です。
 このトランスは下記のような加工を施したものとします。



このトランスを下図のように接続します。



理解を助けるために、下記の宿題を考えて下さい。

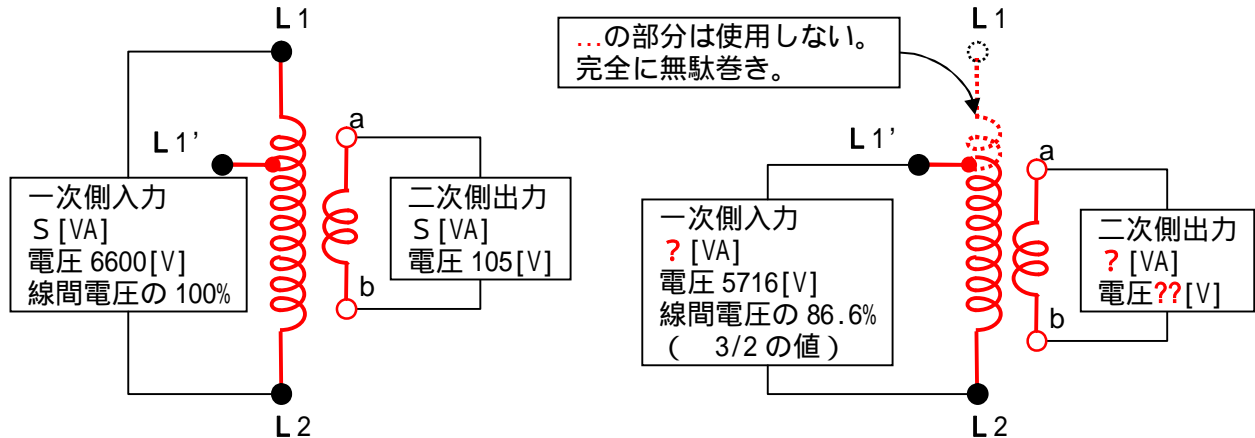
宿題
 このトランスの利用率は幾つか？

下記のトランスの容量を考えます。
 中間タップを使う場合と使わない場合です。

26図

単相変圧器NO1
 その1

単相変圧器NO1
 その2



その1の場合
 定格電圧で使いますので、定格容量そのままとなります。(当たり前の話。)

その2の場合

その1で一次側に流れる電流を I_{1n} とします。(容量 S を接続したときに流れる一次側の定格電流です。)
 この電流は如何なる場合でも超える事は出来ません。(超えたら過負荷になる。)

従って、その2で一次側に流して良い電流は I_{1n} で同じです。

この時、 $L1' \sim L2$ 間に印加されている電圧は定格電圧の $3/2$ 倍(5716[V])です。

従って、一次側が入力出来る容量は、電圧×電流ですが、 $= 3/2 \cdot V \times I_{1n}$ となります。

定格容量 $S = V \times I_{1n}$ ですから (V は定格電圧) その2の入力出来る容量は下記の容量になります。

その2の入力出来る容量 $= 3/2 \cdot V \times I_{1n} = 3/2 \cdot S = 0.866 S [VA]$

二次側に現れる電圧を計算します。(定格電圧のまま変わりません。)

定格の巻線比を $N : n$ 、一次側の定格電圧を V 、二次側の定格電圧を v とします。

一次側定格電圧 : 二次側定格電圧 $= V : v = N : n$

$v = nV/N$ となります。

その2の一次側の電圧は $3/2 \cdot V [V]$ で、その2の巻線比は $3/2 \cdot N : n$ になっています。

一次側の電圧 : 二次側の電圧 = 巻線比

$3/2 \cdot V : ?? = 3/2 \cdot N : n$

$?? = 3/2 \cdot Vn / (3/2 \cdot N) = Vn/N$

二次側電圧 $= Vn/N$ ですから、定格電圧と同じです。

しかし、この時の二次側電流は定格電流の $3/2$ 倍です。

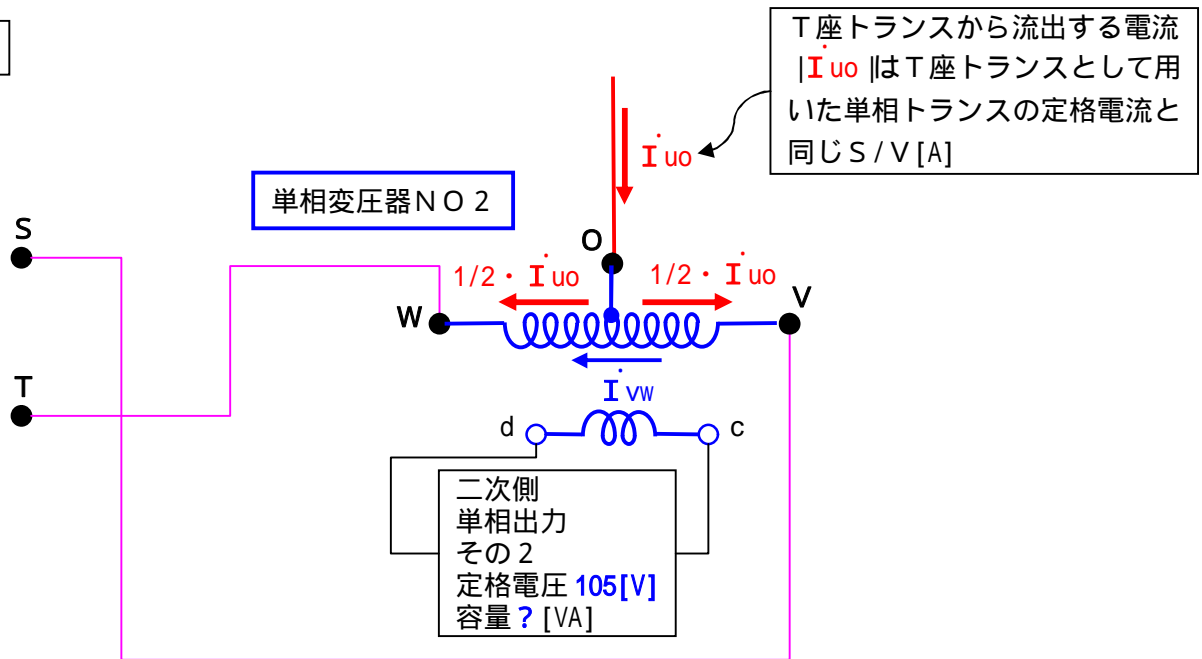
従って二次側の出力は $? [VA] = 3/2 \cdot S [VA] = 0.866 S [VA]$ となります。

このトランスをそのままT座トランスとして使用します。

この場合の利用率は $86.6\% (3/2)$ となります。

今度はM座トランスです。

27図



M座トランスも元は同じ容量が S [VA] のトランスです。

従って、一次側の巻線に流せる許容電流は S/V [A] となります。

M座トランスの一次側には、二次側負荷電流に相当する I_{vw} 以外に T座トランスから入り込んでくる $1/2 \cdot I_{uo}$ が流れます。

10ページの22図から k の二つの電流は位相が 90 度ずれている事が解っています。

従って次の関係式が成立します。

$$\begin{aligned} & \text{M座トランスの一次電流} \\ &= S/V \\ &= (1/2 \cdot I_{uo} \text{ の 2 乗} + I_{vw} \text{ の 2 乗}) \\ &= (1/2 \cdot S/V \text{ の 2 乗} + I_{vw} \text{ の 2 乗}) \end{aligned}$$

両辺を2乗して

$$(S/V)^2 = 1/4 \cdot S^2/V^2 + I_{vw} \text{ の 2 乗}$$

$$I_{vw} \text{ の 2 乗} = 3/4 \cdot S^2/V^2$$

$$I_{vw} = 3/2 \cdot S/V$$

この時M座トランスが取れる負荷容量は $I_{vw} \times$ 線間電圧となります。

$$\begin{aligned} \text{負荷容量} &= I_{vw} \times \text{線間電圧} \\ &= 3/2 \cdot S/V \times V \\ &= 3/2 \cdot S \end{aligned}$$

つまり定格容量の $3/2$ 倍 = 86.6[%] となります。

$$? = 3/2 \cdot S \text{ です。}$$

従って、T座トランス及びM座トランスの合計で考えると、双方のトランスが利用率 86.6[%] ですから、このスコットトランスの利用率も 86.6[%] となります。

相当に解りづらい内容になりました。

因みに、小生は最初にこれを読んだときは何が何だかサッパリ解りませんでした。

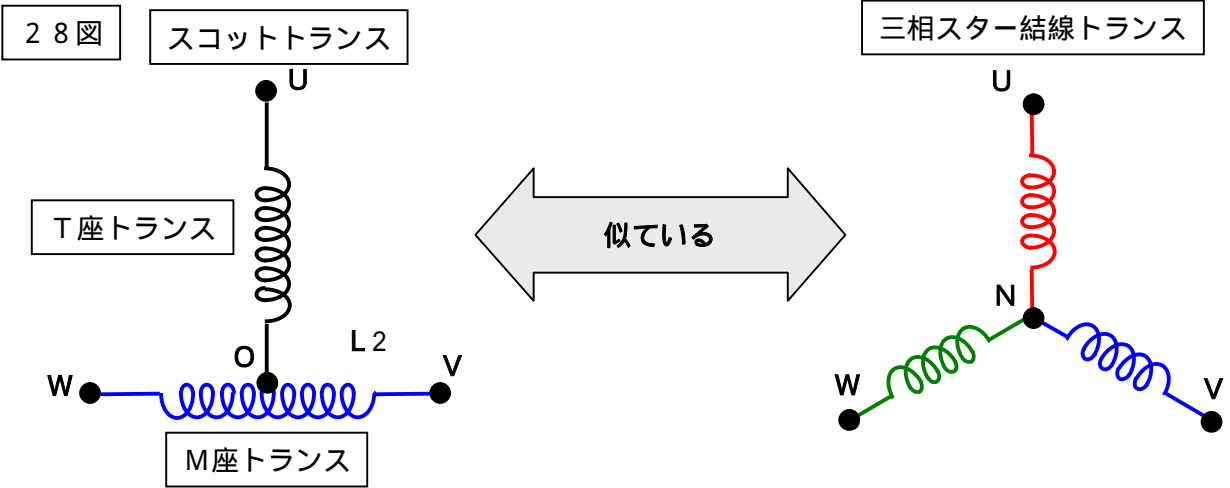
勿論、市販のスコットトランスはこんな作り方をしません。

スコットトランスの素朴な疑問その1

スコットトランスは見方に依ってはスター結線のトランスに見えるが何処がどう違うのか？

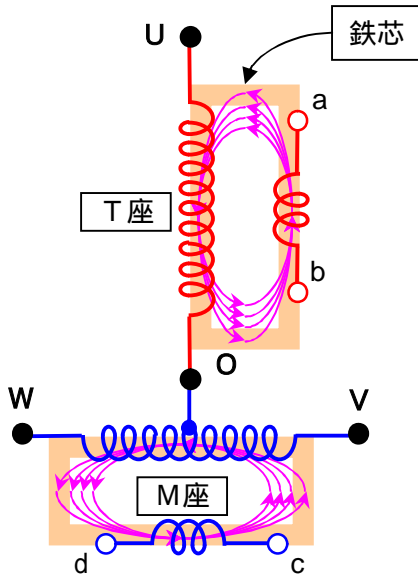
その1の怪盗（回答では無い！）

磁気回路の数が違う。下図参照。両者は全く違うトランス。



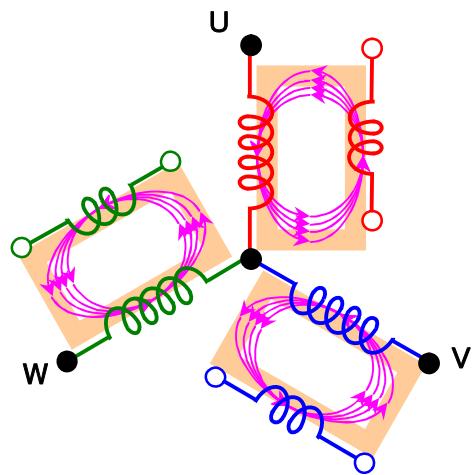
29図

スコットトランスの磁気回路



90度位相の磁気回路が2つ

三相スター結線トランスの磁気回路



120度位相の磁気回路が3つ

両者は全く違うトランス

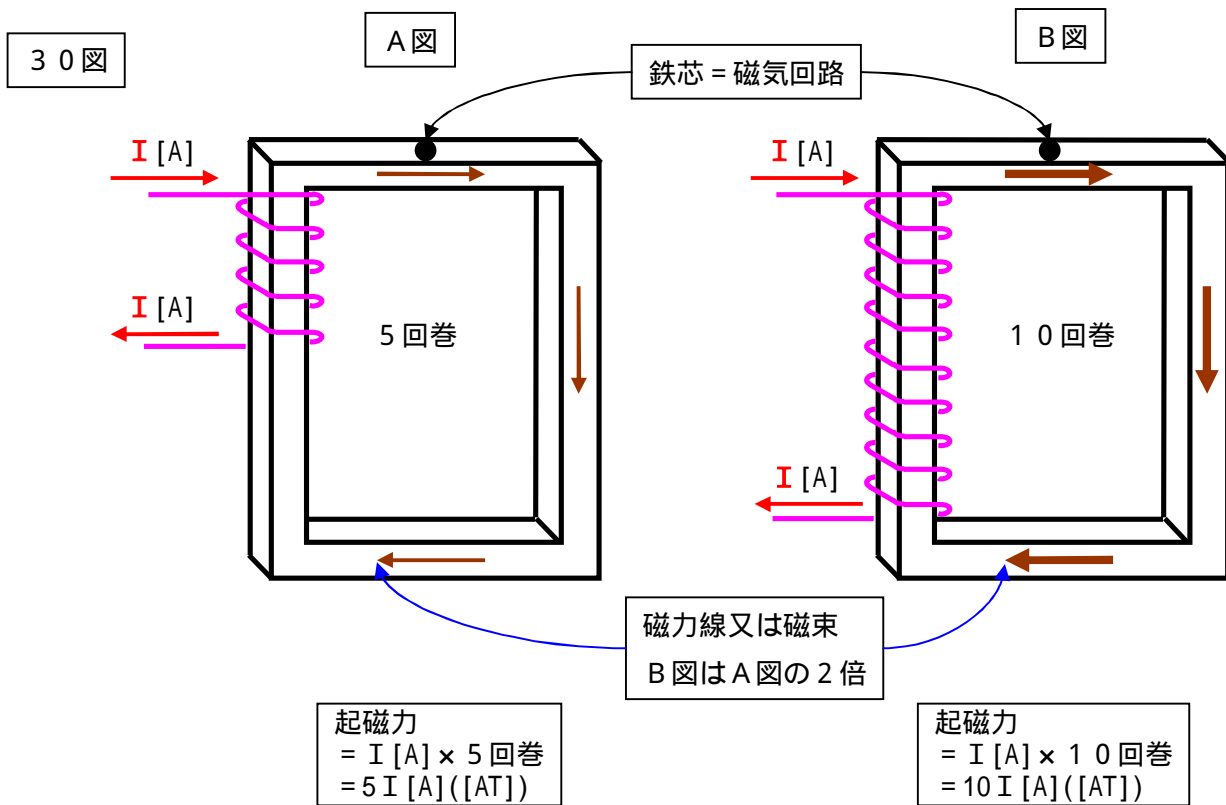
スコットトランスの素朴な疑問その2
T座M座の名前の由来は？

その2の回答（これは自信を持って言える。書ける。だから怪盗では無くて回答。）
英語で各トランスを次のように言います。
T座トランス：Teaser transformer
M座トランス：Main transformer（M座トランスは主座トランスとも言う。）
この英語の頭文字のままです。

スコットトランスの素朴な疑問その3
ところで、T座トランスを経由した電流が1/2づつM座に分流する話はどうなった？

その3の怪盗
ヤッパリ聞いてきたか……。自信は無いのだが……。
起磁力を考える……。

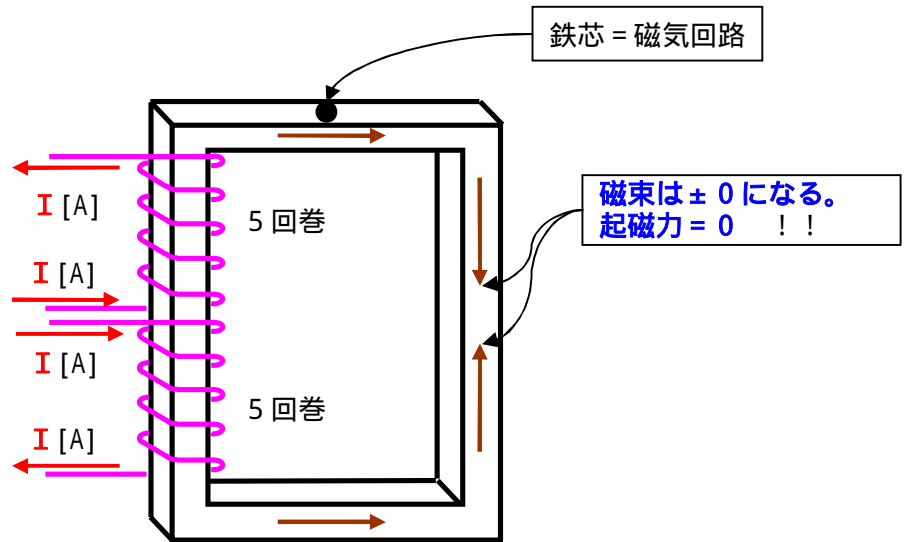
起磁力って何だ？
起磁力とは磁力線を起こす原動力を言う。（完全に理解して言っていない、要注意！）
単位は[根性]又は[気合]……。< == 嘘！！
単位は[AT]（アンペアターン）、正式には[A]（T：ターン＝巻数は単位として数えない。）
概念は下図参照



A図に対してB図は同じ電流で巻数が2倍。
従って起磁力は2倍になる。
結果として磁気回路に流れる磁力線又は磁束がB図はA図の2倍になる。

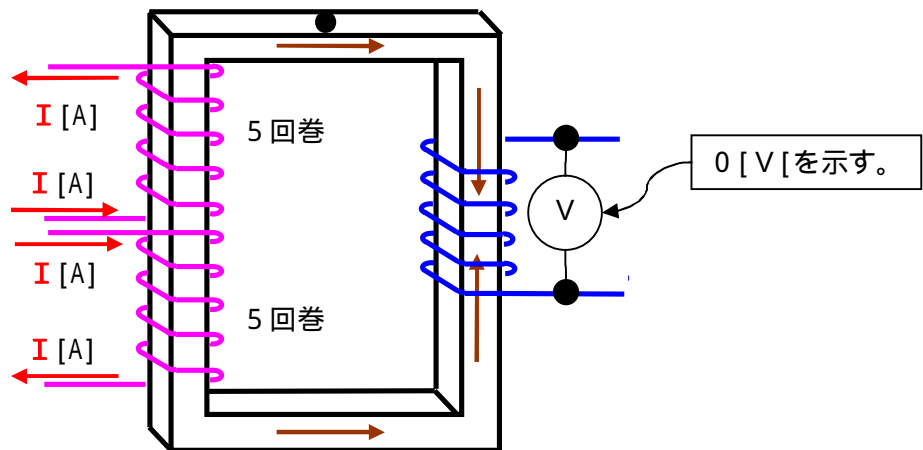
今度は下図のような場合を考えます。

3 1 図



巻線は2組あります。
巻方向は同じで、巻回数も同じです。
流す電流の向きが各々反対方向になっています。 < == 要注意 !!
この時の起磁力は「0」になります。
お互いに打ち消し合いますので、ゼロです。

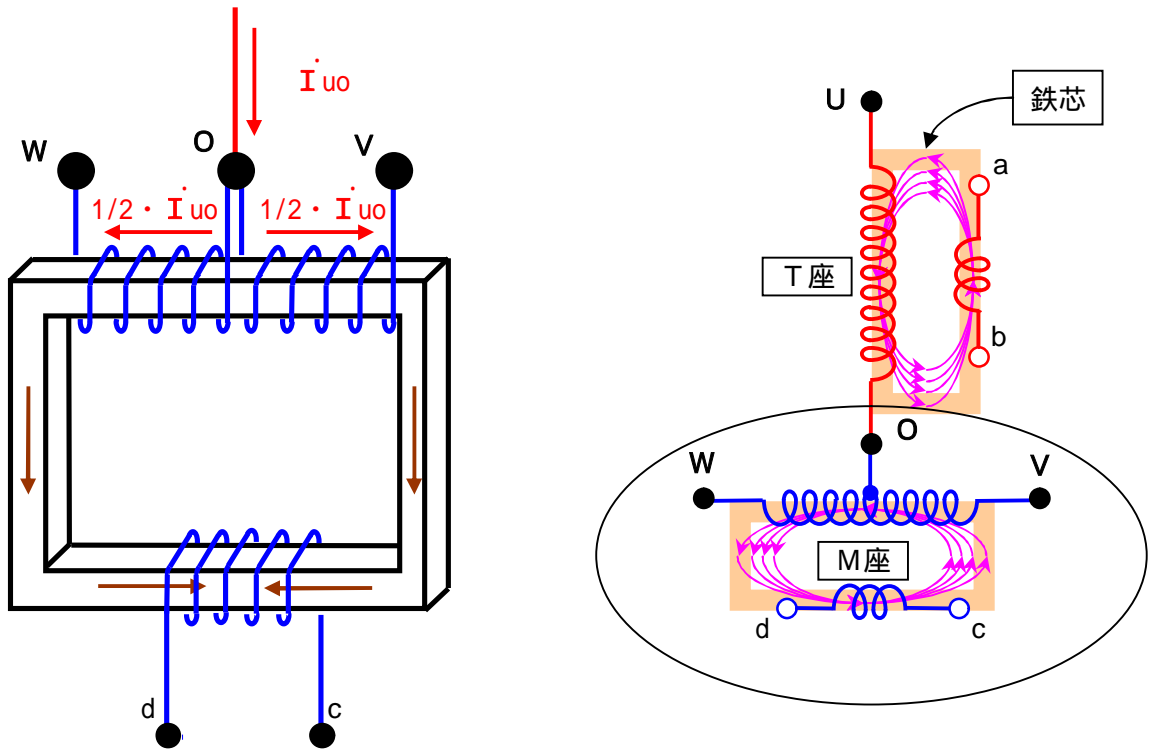
3 2 図



このトランスに二次巻線を巻いて、電圧計を設置しました。
この電圧計は何ボルトを示すでしょうか？
もうお解りだと思いますが、一次側の起磁力がゼロですから、二次側に電圧は出ません。
つまり、一次側に流れた電流は二次側に全く関与しません。(ただ流れるだけ。)

3 2 図を下図のように書き換えると、M座トランスになります。

3 3 図



この様に、T座トランスから出た電流 I_{uo} はM座トランスを通過するだけで、M座トランスの二次側には全く関与しない事になります。

逆に、関与してもらっては困るわけで、ただ通過して欲しいのでこの様な繋ぎ方をします。

何か胡散臭いなあ～・・・これ以上の説明はご勘弁下さい。

もうワカンナイ！！

おしまい。