灯動共用 V 結線変圧器の運用と容量計算

共用相と専用相、異容量と同容量、進相接続と遅相接続、B 種接地、四線式、Y 結線

技術士（電気電子・総合技術監理）増永秀人

灯動共用 V 結線は単相変圧器の組み合わせで、単相（電灯）と三相（動力）を供給する方式です。あまり知られていない名称ですが、一部の事業所の自家用、及びほとんどの家庭用配電用として多用されています。変圧器の全容量と利用容量の違い、単相と三相の電源共有部、接地点による各相の対地電圧に特徴があります。電源品質、作業安全、漏電保護等への注意が必要です。V 結線には動力専用結線もあります。類似の灯動共用方式として、灯動共用コンビネーション変圧器、ELB の使用に特に注意が必要な Y 結線四線式等があります。

漏電保護については、私の電力技術ページ（http://hanasaka.life.coocan.jp/denki/）で「漏電ブレーカ（ELB）の安全安心な取扱と漏電調査をご参照ください。

（2024/8/15）

内容

1. V 結線の使用目的
   1-1　灯動共用
   1-2　動力専用
2. 設備の特徴
   2-1　設備の外観
   2-2　配電方式　（電源品質　太陽光設備の設置）
   2-3　B 種接地と各相の対地電圧
   2-4　漏電保護
3. 設備容量の簡易計算と負荷率の推定
   3-1　灯動共用 V 結線の公称設備容量
   3-2　動力専用 V 結線の容量（利用率）
   3-3　変圧器負荷率の推定（変圧器許容電流）
   3-4　変圧器温度
4. 設備容量の詳細計算（単相と三相の位相差を考慮した容量計算）
   4-1　進相接続（共用相への低圧コンデンサ取付け）
   4-2　遅相接続
5. 類似の灯動共用設備
   5-1　ダブルパワー（コンビネーション）変圧器
      a）構造　b）単相負荷と三相負荷の相互関連　c）更新時の対地電圧変化（接地）
   5-2　Y 結線三相 4 線式
      a）構造　b）漏電保護
   5-3　Y 結線三相 7 線式

１．Ｖ結線の使用目的

トップへ

Ｖ結線変圧器は、三相３線式 200V 動力を複数の単相変圧器の組合せ（原則として２台）で発生する設備です。単相３線式電灯 200V-100V を併せて発生する灯動共用と、三相動力の発生のみを行う動力専用があります。

1-1　灯動共用

動力負荷に付帯して電灯負荷が使用される、又は電灯負荷に付帯して動力負荷が使用される場合に適する方式です。事業場等の高圧受電設備用と、電力会社の家庭用等の低圧配電用があります。三相と単相の発生に使用される変圧器を共用相、三相の発生のみに使用される変圧器を専用相と呼びます。電灯負荷に応じるため、共用相容量が専用相容量より数ランク大きい設備（異容量）が殆どですが、まれに、同容量の設備があります（共用相＜専用の場合もありますが、設置の間違いです)。

・高圧受電設備用（自家用）

図はキュービクル内設置の例です。左側が共用相 20kVA、右側が専用相 15kVA の設備です。共に単相変圧器です、高圧部の中相が変圧器端子間のワタリ配線となっている場合もあります。共用相変圧器は、動力と電灯を共用するため、低圧側端子から電灯配電盤と動力配電盤へ配線される、複雑な配線となっています。配電盤以降は一般的な単相３線式と三相３線式で配線されます。Ｂ種接地はキュービクル内で、共用相二次側の中央端子で取られています。

新設されることはほとんどなく、次節に説明する、過去の電力料金が変圧器容量契約であった年代に設置された設備として残存しています。

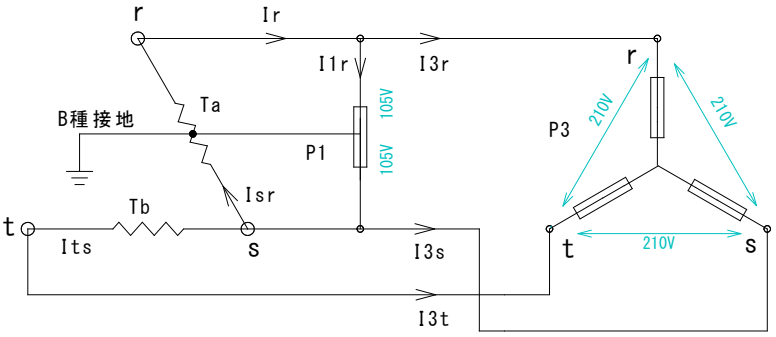
・低圧配電設備用

電力会社の低圧配電用に使用されています。変圧器は高圧配電線電柱の高所に、振り分けるように設置されています。一般的に異容量Ｖ結線で、図では左側が共用相、右側が専用相です。電灯負荷が主であるため、専用相は容量が小さく、筐体も小さくなります。

Ｂ種接地は電柱上で、共用相二次側の中央端子で取られます。Ｂ種接地点から中性相が引き出されます。需要家に分岐する電柱までは電灯と動力の極性相を併せて４本の配線で配電されます。三相４線式と呼ばれることもあります。需要家引き込みのための分岐部で高圧受電設備用と同様に電灯、動力共に３線式となります。電力計は電灯と動力が別途設置されます。需要家で 200V を 100V に降圧して使用することは、契約上できません。

・結線図

共用相変圧器が Ta、専用相変圧器が Tb で、P1 は単相三線式（210/105V）負荷、P3 は三相負荷です。共用相 T の中点の B 種接地から、単相三線式の中性相が引き出されます。P1 の全負荷は Ta が負担します。P3 は Ta と Tb が、1 相が不足したΔ結線として負担します。P3 の S 相は一般の三相変圧器使用の場合と異なり、接地相ではなく、対地電圧があります。2-3 節に電圧ベクトル図を示します。



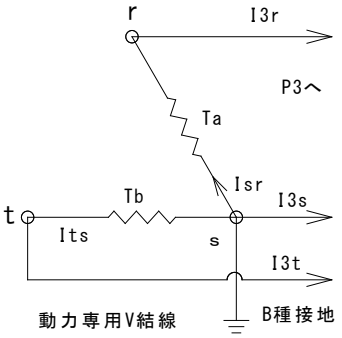
灯動共用V結線

Ta には P1（単相）と P3（三相）の負荷電流が同時に流れるため、モータ起動電流等で電灯電圧に歪が出る、電灯負荷使用量が大きいと三相電圧が不安定になる等の相互干渉が生じる場合があります。電源品質としては、良好ではありません。

※　灯動共用 V 結線は「電気取扱安全必携（中災防）」の低圧配電方式には含まれていませんでした（平成 30 年改訂版からは記載されました）。大型電気設備のみを取り扱っている電気技術者にはテキストでしか知らない人もいます。使い続けられてきたものなので、対地電圧等の特性等の概要を知っておくことが、安全作業に役立ちます。

1-2　動力専用

同容量の単相変圧器 2 台を使用し、三相動力専用として使用される方式です。電灯用の使用がないため、B 種接地は S 相に取ります。対地電圧等の特性はΔ結線と同様です。灯動共用と同様に（間違えて？）、片相の中点を接地しても三相の使用は可能ですが、対地電圧等は灯動共用と同じになるので推奨できません。



動力専用V結線

電灯電源として、別置の単相変圧器が使用される場合は、単相変圧器が 3 台並びます。

使用目的として、テキスト等ではΔ結線の 1 相が故障した場合の応急対策、将来の負荷増設を考慮して、と説明されていることもありますが、恒久設備として設置されたものがあります。使用例は灯動共用に比べると極めて少ないものになっています。

2. 設備の特徴

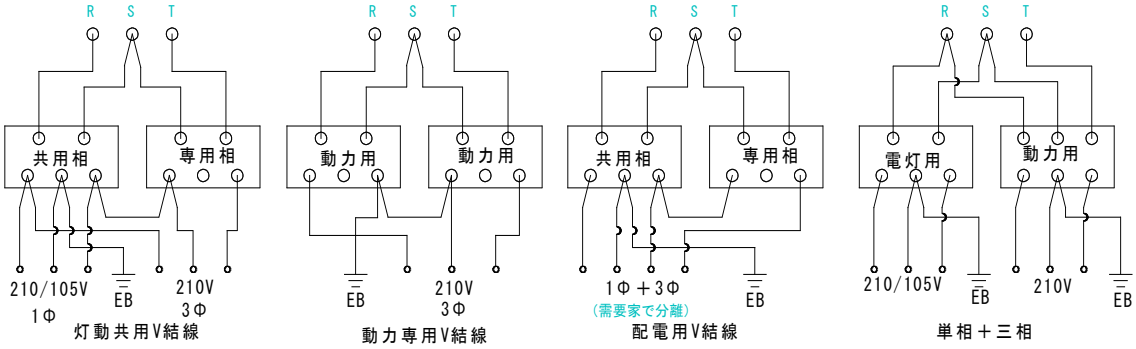
トップへ

2-1　設備の外観・配線

V 結線変圧器を判断するための特徴は次のようになります。

・二次側中央端子にB種接地線の無い（中央端子に緑色の配線が無い）単相変圧器がある。
・三相変圧器は無いが、配電盤に三相（動力）電流計がある。
・動力の全ての相に対地電圧がある（灯動共用の場合）。
変圧器の%インピーダンスは単相、三相が別の場合は2%以上、V結線用の場合は2%以下が多いようです。変圧器の%インピーダンスでも使用目的がわかることがあります。

下図に、灯動共用V結線、動力専用V結線、配電設備用V結線、単相＋三相変圧器での高圧及び低圧の配線例を示します。単相＋三相変圧器では低圧側に6本の電力配線が必要ですが、配電用では分岐点まで4本の配線で行うことができます。



※　自家用受電設備での使用

自家用設備で、かつて、多数が使用されていた理由としては次のようなものがあります。いずれも、現在は適用されません。
・1988年までは電力契約料金が変圧器容量であったため、単相と三相変圧器の組合せよりも設備容量を小さくすることができ、電力料金の削減ができた。
・容量50kVA未満は点検不要（自家用設備ではない）の時期があった。
自家用設備では、共用相の容量を大きくするために単相変圧器を並列使用するなど、3台以上の単相変圧器を使用した、特殊な形態のものも存しています。組合せ容量を50kVA未満にするために、変圧器名板の定格容量が小さな値に書き換えられたと考えられる、「お化けトランス」と呼ばれるものもあります。

2-2　配電方式

事業所（高圧受電）用では変圧器出口で単相3線式と三相3線式に分割され、キュービクル内の電灯配電盤と動力配電盤に別途に接続されます。共用相には電灯用と動力用に供用されるための2本の配線があるため、配電盤までの配線は入り乱れている感じになります。配電盤で電灯用と動力用に分離されるため、以降の共用部はありません。電灯、動力共に3線式となり、過電流保護はMCCBで行われます。動力専用の場合は二次側配線の全てが動力配電盤に接続されます。

配電（低圧受電）用では変圧器上部で低圧配電線と接続されます。需要家引込点までは上側の縦配置の配線のように中性相１線と併せて、4 線で配電されます。引込点では、それぞれ、3 線になります。過電流保護は接続部に取り付けられた過電流ヒューズ（ケッチヒューズ）で行われます。

需要が大きい場合、需要家が近い場合等は、下側の配線のように変圧器出口で電灯用と動力用に分かれ、それぞれ 3 線（合計 6 線）で配電される場合もあります。一目では分かりにくい配線となっています。

※　電源品質

都市伝説的なものに、電柱の下ではオーディオの音が良い、というものがあります。低圧配電（家庭用）で分岐点まで 4 線式で配電されている場合、4 線式で共用されている部分の動力の変動が配電線インピーダンスで電灯電圧のノイズとして作用している可能性が考えられます。電柱直下では電灯のみの 3 線式で直接配電され、配電線による干渉は避けられます。

自家用であっても共用相での電灯と動力の同時発生による影響は避けられません。高品質の電源が要求される場合は、単相変圧器と三相変圧器の使用が適しています。

※　太陽光設備の設置

受電設備が V 結線で、太陽光設備に単相パワーコンデショナーを使用して、単相三線式母線に接続する場合、専用相電流は常時系統側からの受電になります。太陽光設備の発電容量を共用相容量以下とすれば安全です。三相変圧器への更新は困難になります。専用相容量がおおきい場合は、三相での接続も可能です。

2-3　B 種接地と各相の対地電圧

・B 種接地の方法

灯動共用の場合は共用相の中央端子にのみとられます。動力専用では 1 台の右（又は左）の 1 端子にとられます。複数の単相変圧器があり、中央端子に接地のない単相変圧器がある状態になります。一般的な単相変圧器と三相変圧器の組合せでは、それぞれの中央端子が接地されているので区別がつきます。

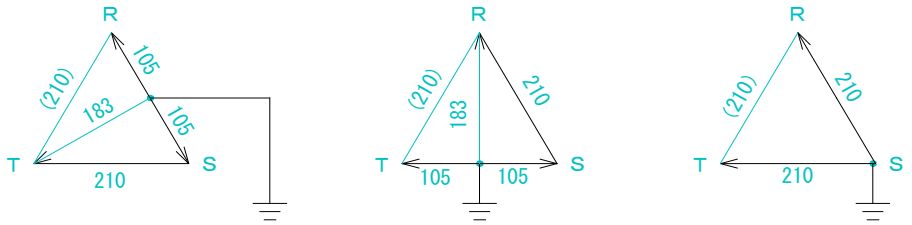
B 種接地は変圧器の高圧-低圧混触時の、低圧側への異常電圧移行による災害防止を目的とする、系統接地と呼ばれる接地です。接地線の電流測定で低圧の漏電監視を行うことは付帯的な応用です。接地線は変圧器端子と接地端子への直結で行います。ワタリ等を使用すると、正体不明の電流が流れます。漏電電流測定のためとして、動力配電盤等で S 相に B 種接地を追加することはできません。二次側巻線の 2 点地絡故障になります。

電力配電用では、電柱上の 1 台（大きな方の変圧器・共用相）の中央端子が接地されます。本体外箱等の A 種接地と共用されています。

・各相の対地電圧

灯動共用設備ではＢ種接地が共用相変圧器の中性点に取られているため、三相（動力）では全ての相に対地電圧が発生します。分電盤点検等で三相のＳ相は接地相である（触れても感電しない）と思いこむと、多重接地・感電等の思わぬ事故が生じます。

共用相の配置で進相接続と遅相接続があります。対地電圧を接地点からのベクトルで示すと下図のようになります。ほとんどが進相接続ですが、遅相接続の場合もあります。動力専用Ｖ結線はΔ結線・Ｓ相接地と同じです。



Ｖ結線進相接続　　Ｖ結線遅相接続　　動力専用（三相Δも同様）

三相部の対地電圧はR-S-T相の順に、進相接続では105-105-183V、遅相接続では183-105-105Vです。動力専用Ｖ結線（Ｓ相接地）ではΔ結線と同じで210-0-210Vです。結線の目視判断が困難な場合、動力配電盤MCCB二次側の対地電圧測定で、灯動共用Ｖ結線であるかを判定できます。進相接続と遅相接続の違いにより、4節に説明するように、設備容量の詳細計算値が異なります。3相が逆相となっている設備も多いので、進相接続と遅相接続の判定には検相器により相順を測定することも必要です。

単相部の対地電圧は進相・遅相接続ともに105-0-105Vです。対地電圧による、専用の単相変圧器使用の場合との区別はできません。

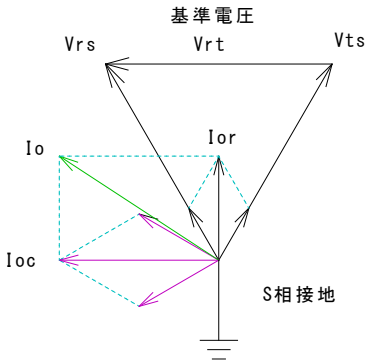
2-4　漏電保護

漏電保護は一般的なELBで行います。単相部では、漏電特性は単相変圧器と全く同じです。三相部では、一般的なΔ結線（動力専用Ｖ結線含む）のＳ相接地とは対地電圧が違うために、漏電電流に違いが生じます。一相のみの劣化では、相電圧105V・対地絶縁0.2Mの場合は0.05mAとなり、基準値の0.1mAの1/2になります。三相同時劣化では、Ｓ相接地ではＳ相以外の二相により漏電電流が生じますが、灯動共用Ｖ結線では三相ともに対地電圧があるため全相で漏電電流が生じ、ほぼ同じになります。漏電災害が電流値により生じると考えれば、感度電流等の選定も同様で良いと考えられます。

Ｂ種接地線電流での漏電電流監視では、接地が共有であるため、接地線電流が電灯と動力のどちらで生じているかの分別はできません。電流値が小さければ、電灯・動力共に小さいだろうとの推測はできます。

※　Ior の測定

灯動共用設備では、真の漏電電流値測定と呼ばれる Ior 方式は適用できません。絶縁抵抗劣化による Ior は、S 相接地の電圧ベクトルを前提として、除去すべき配線のキャパシタンスによる電流成分である Ioc の合成値は基準電圧 Vrt に同相、Ior の合成値は Vrt に対して 90 度進みとして推測されます。接地点が異なるため、Vrt を基準とすることができないためです。



動力専用 V 結線 S 相接地の場合は、Δ結線と同様のベクトル図になるので、Ior 方式が適用できます。

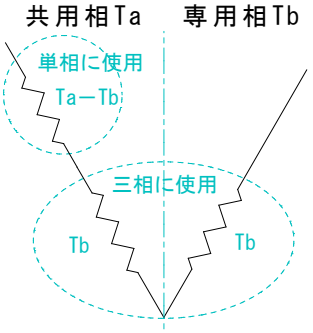
3. 設備容量の簡易計算と負荷率の推定

トップへ

3-1　灯動共用 V 結線の公称設備容量

共用相 Ta と専用相 Tb の容量が異なる、異容量の公称設備容量（kVA）は簡易計算で求めます。Ta と Tb の合計ではなく、共用相が三相動力の最大まで使用され、その条件で使用できる単相（電灯）容量との合計となります。電灯負荷容量と動力負荷容量が相互に影響することが特長です。3-3 節でも説明を行います。

共用相 Ta の容量を分割して考えます。図のように専用相 Tb と同容量分は三相電源に使用され、残りの (Ta－Tb) 分が単相電源に使用されるとして計算を行います。三相電源容量 P3 は専用相 Tb と動力用 V 結線の利用率 0.866（0.866 の根拠は 3-2 節説明）を使用して計算します。



P3 = 0.866×2×Tb　(kVA)

単相で使用できる電源 P1 は Ta と Tb の差分となります。

P1＝Ta－Tb　(kVA)

公称設備容量 P1 と P3 の計として求められます。

P＝P1＋P3＝（Ta－Tb）＋0.866×2×Tb　(kVA)

Ta＝Tb の同容量 V 結線は、Ta－Tb＝0 であるため、次節の動力専用と同じものになります。電灯負荷は、動力相に未使用分を残すこと（公称容量以下の運用）で分担されます。電灯負荷容量と動力負荷容量が相互に影響することが特長です。3-3 節でも説明を行います。

簡易計算値が公称設備容量として使用されます。公称容量の簡易計算では単相電流と三相電流の位相差が考慮されていないため、厳密な最大容量より小さい値になります。位相差を考えた詳細計算は 4 節で説明します。

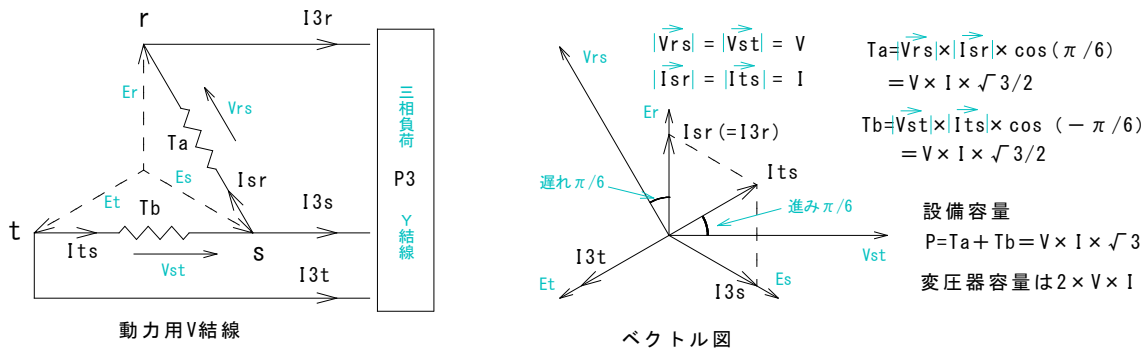
※　計算結果での少数点以下の桁数

数学的には有効数字の桁数になります。0.866 は次節に示すように $\sqrt{3}/2$ です。$\sqrt{3}$ = 1.7320508・・なので有効数字を 0.8660 と考えれば 100kVA 以下は小数点 2 桁が有効数字になります。100kVA 以上の場合、小数点 3 桁以上までを要求された場合等も、要求される桁数を 0.866 で計算した値を表示しても、簡易計算としては問題ないと考えます。

3-2　動力専用 V 結線の容量（利用率）

Ta＝Tb で三相負荷のみを供給する場合です。変圧器単体の容量合計と、使用できる三相電力の比率で利用率を求めます。利用率は灯動共用設備の三相電源部の利用率としても適用されます。同容量灯動共用の場合も、最大容量になる動力専用での容量が適用されます。

電圧と電流の関係を、三相負荷は Y 結線で力率 1 であるとし、電源部の相電圧$\vec{E}$r、$\vec{E}$s、$\vec{E}$t を下図左のように仮想します。電圧と電流のベクトルは下図右のようになります。



Ta の電圧は線間電圧$\vec{V}$rs、Tb の電圧は線間電圧$\vec{V}$stで、それぞれ相電圧 Er、Es より π/6 の位相進みとなります。線電流（負荷電流）$\vec{I}$3r、$\vec{I}$3s、$\vec{I}$3tは相電圧と同相です（力率 1）。このために Ta の電流$\vec{I}$sr（=$\vec{I}$3r）は電圧$\vec{V}$rsから π/6 の遅れ、Tb の電流$\vec{I}$ts（$\vec{I}$sr＋$\vec{I}$3s）は電圧$\vec{V}$stから π/6 の進みとなります。Ta、Tb は共に V×I×cos π/6＝V×I× $\sqrt{3}/2$ になります。変圧器全体の容量が 2×V×I、設備容量は $\sqrt{3}$ ×V×I/2×2 であるので、利用率は、

$$利用率＝\frac{\sqrt{3}\times V\times I}{2\times V\times I}=\frac{\sqrt{3}}{2}=0.866$$

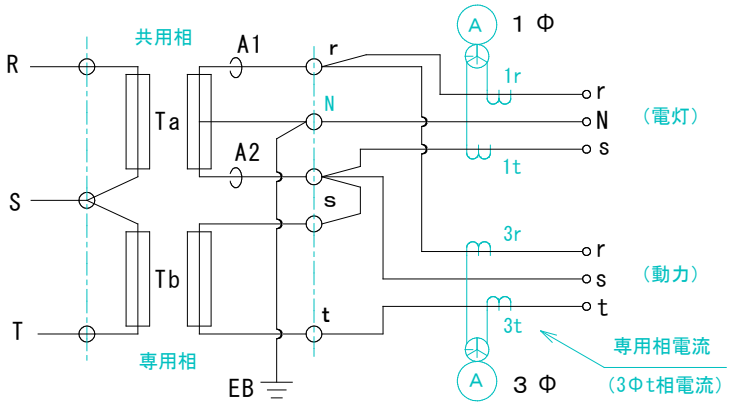
設備容量 P3 は、

P3 = 0.866 × 変圧器容量 ＝ 0.866×2×Tb (kVA)

利用率 0.866 は前項の設備容量簡易計算での、三相部の容量係数としても使用されます。

3-3　変圧器負荷率の推定（変圧器許容電流）

共用相と専用相の変圧器の負荷状況の、配電盤電流計の指示値を使用しての推定を考えます。低圧側配線は電灯、動力共に電灯配電盤と動力配電盤に接続され、それぞれには電流計（切替型）が取付けられているとします。



灯動共用Ｖ結線三線結線図

動力ｔ相は専用相に直接に接続されているため、電流計（3ｔ）の指示は専用相変圧器の電流になります。三相平衡負荷であれば、三相負荷電流がわかります。

電灯ｒ相と動力ｒ相が共用相に接続されていますが、電流計（1ｒ）と（3ｒ）の指示値を合計すると、絶対値は共用相の実電流よりも大きいものとなります。電灯電流と動力電流に、4 節に説明する位相差があるためです。安全側を取れば、共用相電流は（1ｒ）と（3ｒ）の合計となります。A1 又は A2 点であれば共用相変圧器電流の正確な測定ができますが、配線が輻輳しており、高圧側端子が近く、低圧用クランプ電流計の使用は危険です。専用相も同様です。

負荷率推定（安全側での簡易計算）

配電盤電流計の指示値を使用しての例を示します。設備の仕様及び運用状況を次のようにします。電灯、動力共に位相は不明とする、安全側での推定になります。

設備仕様　　共用相 Ta　50kVA　238A　　専用相 Tb　30kVA　142A　(210V)

公称容量　P1＋P3＝（50－30）＋0.866×2×30＝20＋51.96＝ 71.96 kVA

電灯盤電流計指示　20A-10A-30A　　動力盤電流計指示　110A-100A-95A

電流計誤差等を考えて、それぞれの最大値　電灯 30A　動力 110A　とします

全体負荷

電灯負荷　210×30 ＝ 6.3kVA

動力負荷　1.732×210×110 ＝ 40.0kVA

全体負荷率　（6.3+40.0）÷71.96 ＝ 0.64

変圧器別の負荷率を、電流と電力を基準として考えます。

共用相

変圧器電流基準　（30＋110）÷238＝0.59　（共用相変圧器の電流 1ｒ＋3ｒの比）

電灯電力基準　6.3÷20＝0.31　（簡易計算での電灯分容量比）

専用相

変圧器電流基準	110÷142＝0.77	（専用相変圧器の電流比）
動力電力基準	40÷51.96＝0.77	（簡易計算での動力分容量比）

専用相は三相電流のみを発生するため、電流基準と動力電力基準は同じです。共用相は単相電灯電流と三相動力電流を発生するため、電流基準＞電灯電力基準となります。共用相又は専用相の電流基準が 1 に近くなれば、システムとしての許容負荷に近いと判断できます。専用相又は共用相変圧器単体では余裕があっても、全体としての余裕はないことになります。

この例では、許容値 238A の共用相では 30＋110A（電流基準 0.59）が流れているため、98A の増加が可能になります。三相使用電力が現状のままとすれば、30A＋98A＝128A→26.9kVA が最大電灯使用となります。公称容量で使用した電灯容量の P1＝50－30＝20kVA より大きくなります。

動力の最大値は専用相 Tb 容量で制限され、P3＝0.866×2×Tb です。しかしながら、電灯の使用量が P1（20kVA）を超える場合に、P3 までの動力を使用すると、共用相の電流基準が 1 を超え、共用相が過負荷になります。変圧器の単体容量のみから、単相又は三相の許容電流を求めることはできません。

※　高圧側電流測定

高圧側の R と T 端子の電流を測定すれば、低圧側での位相、単相 3 線での N 相電流に関係なく変圧器負荷を判断することができます。対策として、知っておけば良い知識だと思います。高圧側の電圧変動、高圧クランプメータの誤差を考えても、低圧測定よりは精度があると考えられます。無改造の高圧用測定器を使用する、事前に高圧充電部を確認する、測定時にキュービクル内に体を入れない、高圧保護具の非着用範囲から 30cm 以内に高圧充電部（絶縁電線を含めて）がない等の安全対策が必要です。

※　変圧器更新

V 結線変圧器設備を単相変圧器と三相変圧器の組合せに変更する場合の新規変圧器の容量を考えます。

・変圧器容量

単相変圧器を共用相容量 Ta、三相変圧器を 0.866×2×Tb とすれば、現状設備で供給可能な単相と三相の電力量供給ができます。変圧器名板の容量表示が正しくないことがあり、次項の使用実績からの考えも併せて行います。

・使用実績からの方法

月次点検記録等から、電灯及び動力の年間最大電流を調べて、それぞれの容量とします。

3-4　変圧器温度

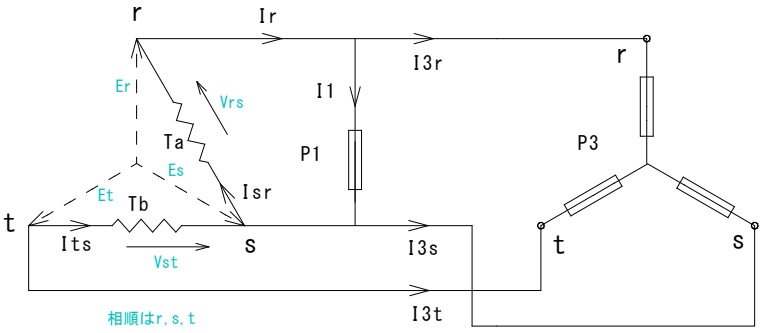
変圧器電流は負荷損として変圧器本体温度を上昇させます。変圧器の劣化を加速させる要因は巻線温度であるため、温度が許容値以内であれば、実運用上、負荷率は安全範囲内であると考えることができます。単相 2 台の V 結線の場合は、一般的に電流の大きさ同様に、共用相温度＞専用相温度の例が多いようです。電流変動による温度変動を数値的に判断することは困難なので、平常からの温度変化の経歴を把握しておくと、負荷変動の想定ができます。共用相が並列である場合等は温度のアンバランスは変圧器の異常と考えられます。二次側電流の直読ができないことが多いため、単相＋三相変圧器の組合せ以上に温度管理が重要になります。

4. 設備容量の詳細計算（単相と三相の位相差を考慮した容量計算）　トップへ

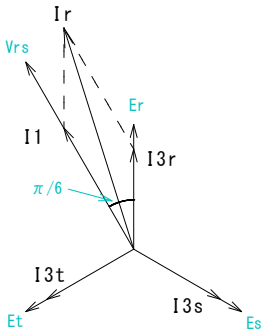
共用相に流れる単相電流と三相電流に位相差があることを考慮する容量計算です。公称値（簡易計算値）よりも大きくなりますが、電灯電流、動力電流の測定の誤差は大きく、負荷電流位相の調整はできません。ここまで使用できるという設備容量ではなく、参考になる難しい計算方法があると知っておけば役立つ知識だと思います。実運用では 3-1 節の公称値が使用されます。進相接続と遅相接続があり、位相差が異なるので、容量値も異なります。

4-1　進相接続

共用相を進相側 R-S に接続した場合の接続を図に示します。単相負荷（三線式）はバランス



灯動共用V結線



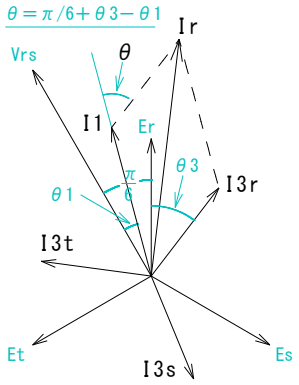
電流位相差（1）

しているものとして、中性線を省略しています。Δ結線の 1 巻線間に単相負荷を加えた場合には他巻線にも単相負荷電流が分流しますが、V 結線の単相負荷電流は共用相のみに負担されます。まず、単相負荷電流$\vec{I1}$と三相負荷電流$\vec{I3r}$の基本的な位相関係を理解するために、単相、三相負荷ともに力率 1 として考えます。電圧と電流のベクトルは位相差図（1）のようになります。$\vec{Vrs}$は相電圧$\vec{Er}$より π/6 進み位相、$\vec{I1}$は$\vec{Vrs}$と同相、$\vec{I3r}$は$\vec{Er}$と同相であるため、共用相 Ta を流れる$\vec{I1}$と$\vec{I3r}$には、それぞれの負荷力率が 1 であっても、$\vec{Vrs}$と$\vec{Er}$の位相差である π/6 の位相差が発生します。Ta の電流$\vec{Ir}$の絶対値は$\vec{I1}$の絶対値と$\vec{I3r}$の絶対値の合計よりも小さくなります。絶対値のみを考える簡易容量計算大きい単相負荷を負担できることになります。

次に単相負荷と三相負荷の力率が 1 でない場合を位相差図（2）で考えます。単相負荷の負荷

角を $\theta 1$、三相負荷の負荷角を $\theta 3$ とすると各ベクトルは図（2）のようになります。$\vec{I1}$は$\vec{Vrs}$より $\theta 1$ 遅れ、I3r は$\vec{Er}$より $\theta 3$ 遅れます。$\vec{Vrs}$は$\vec{Er}$より $\pi/6$ の進み位相であるため、$\vec{I1}$と$\vec{I3r}$の位相差 θ は次式になります。

$$\theta = (\pi/6 - \theta 1) + \theta 3$$



電流位相差（2）

単相電流$\vec{I1}$の絶対値を I1、三相電流$\vec{I3r}$の絶対値を I3 とすれば、位相差は（$\pi - \theta$）であるため、Ta の電流である$\vec{Ir}$の絶対値 I の間には、余弦定理から次式の関係が成立します。

$$I^2 = I1^2 + I3^2 - 2 \times I1 \times I3 \times \cos(\pi - \theta)$$

$\cos(\pi - \theta) = -\cos\theta$ を使用して

$$I^2 = I1^2 + I3^2 + 2 \times I1 \times I3 \times \cos\theta$$

線間電圧 V の 2 乗を両辺に掛けると

$$(V \times I)^2 = (V \times I1)^2 + (V \times I3)^2 + 2 \times (V \times I1) \times (V \times I3) \times \cos\theta$$

$Ta = V \times I$、$P1 = V \times I1$、$P3 = \sqrt{3} \times V \times I3$ を使用して上式を変形すれば、負荷 P1、P3 と Ta の関係が求められます。

$$Ta^2 = P1^2 + P3^2/3 + (2/\sqrt{3}) \times P1 \times P3 \times \cos\theta$$

三相負荷 P3 を Tb の容量まで使用した場合 $P3 = \sqrt{3} \times V \times I3 = \sqrt{3} \times Tb$ となります。

$$Ta^2 = P1^2 + Tb^2 + 2 \times Tb \times P1 \times \cos\theta$$

P1 でまとめると P1 の二次式が得られます。

$$P1^2 + 2 \times Tb \times \cos\theta \times P1 + (Tb^2 - Ta^2) = 0$$

この式を EXCEL 等で解けば Ta、Tb で可能な単相容量 P1 が求められます。

簡易計算との関係を調べるために、V 結線による$\vec{I1}$と$\vec{I3r}$の位相差が無いと仮定して $\theta = 0 \rightarrow \cos\theta = 1$ での P1 を求めます。

$$P1^2 + 2 \times Tb \times P1 + (Tb^2 - Ta^2) = 0$$

$$1 = -Tb \pm Ta \quad \rightarrow \quad P1 = Ta - Tb \qquad (\because P1 > 0 \quad Ta > Tb)$$

位相差を無視すれば、簡易計算と同じ式が得られます。

※　共用相低圧側への進相コンデンサ取付

共用相電流 I1 の$\vec{V}$rsからの位相遅れを小さくする、又は進相にすれば理論的には、θが大きくなり、共用相の電流が小さくなります。かつては、「省エネ」及び「設備容量増」を目的とする高度な技術として、進相接続の共用相側に単相低圧コンデンサが取付けられていることがありました。基本料金割引のための受電力率の補償を、直接の目的としたものではありません。電力料金算出のための受電力率調整（基本料金の割引）は。高圧コンデンサで行われています。実用上は不要の場合がほとんどです。経年劣化品は、保安上は危険です。

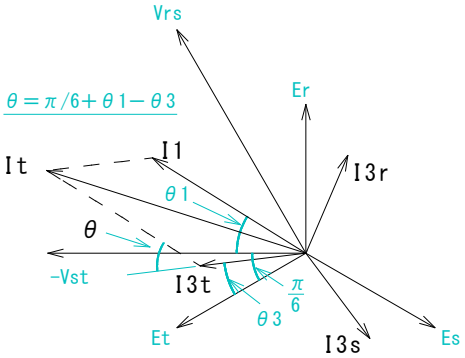
図左は、V 結線変圧器から単相＋三相変圧器へ改造され、そのまま低圧コンデンサが三相変圧器の低圧側に残ったものと考えられる設備です。高圧コンデンサがあるので不要として、MCCB は切位置となっています。

図右は低圧コンデンサの使用台数調整での力率調整を行うものです。運用上は常時最低台数となっています。コンビネーション変圧器の二次側母線に、三相及び単相の低圧コンデンサが取付られている場合も、同様の効果を目的としていると考えられます。

最近の設備でも、医療用設備等で受電設備の低圧側に三相コンデンサが使用されることがあります。設備安全の面から（高圧コンデンサの過熱・噴破等の重大事故防止）、受電力率調整用として、高圧コンデンサの使用を避けることを目的としたものです。

4-2　遅相接続

共用相を S-T 側に接続した場合が遅相接続となります。各ベクトルを位相差図（3）に示します。共用相の電流は三相電流を$\vec{I3}$t とすれば、単相電流$\vec{I1}$は－$\vec{V}$stを基準として流れるものになります。遅相接続では－$\vec{V}$stが相電圧$\vec{E}$tより π/6 遅れ位相であるため、単相力率のθ1 が$\vec{I1}$と$\vec{I3}$t の位相差θを広げるように作用し、三相力率θ3 は狭めるように作用します。位相差θが進相接続とは異なる形となります。



電流位相差（3）

$$\theta = (\pi/6 - \theta 3) + \theta 1$$

設備容量の計算は進相接続と同じになります。

一般的にθ3＞θ1 であるため、単相負荷電流と三相負荷電流の位相差は進相接続より小さくなります。共用相電流絶対値が大きくなるため、絶対値が同じ負荷電流であっても、変圧器にかかる kVA 容量は大きくなります。このために、通常は遅相接続ではなく、進相接続が使用されています。

5. 類似の灯動共用設備

トップへ

5-1　ダブルパワー変圧器（コンビ―ネーション変圧器）

a）構造

Δ結線の巻き線の一相分を強化して、単相と三相の共用としたものです。異容量Y-Δ結線とも呼ばれる、1 台で単相と三相を発生する灯動共用変圧器です。メーカによって呼び名は変わります。

変圧器の結線図を三菱電機殿 HP を引用して示します。u-w は強化されて、灯動共用相巻線として使用されています。B 種接地は共用相の中央点に取られていますが、接地用 o 端子として別途引き出されているので、二次端子は u,v,w と o の 4 端子になります。右写真の手前が o 端子で、緑色の B 接地線が接続されています。間違えて三相部のブスで v 相（s 相）などに接地を取らないことが必要です。

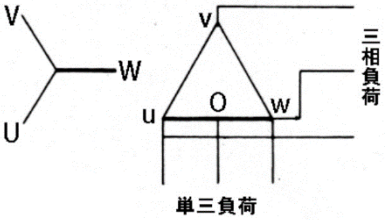
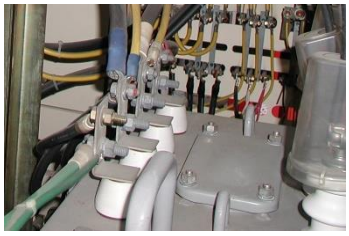


図 三菱ダブルパワー変圧器の結線



b）単相負荷と三相負荷の相互関連

単相と三相の負荷分担は V 結線同様に相互に影響します。現地での変圧器組み合わせではなく、メーカでの完成品として出荷されるので、可能な負荷分担が特性図（負荷分配曲線）として示されています。ほとんどの場合、その変圧器用の特性図が本体銘板横等に貼付けられています。三菱電機殿 HP の図を引用します。単相と三相が相互に関係していることが分かります。公称容量 200kVA の場合は、単相が 67kVA 以下では三相と合わせて 200kVA ですが、67kVA 以上になると三相が制限されます。単相 83kVA では三相 100kVA となり、全容量も 183kVA に制限されます。灯動共用 V 結線と同様の理由によるものと考えられます。図には、位相の要素はありませんが、小型設備用としての使用目的を考えると妥当だと考えられます。

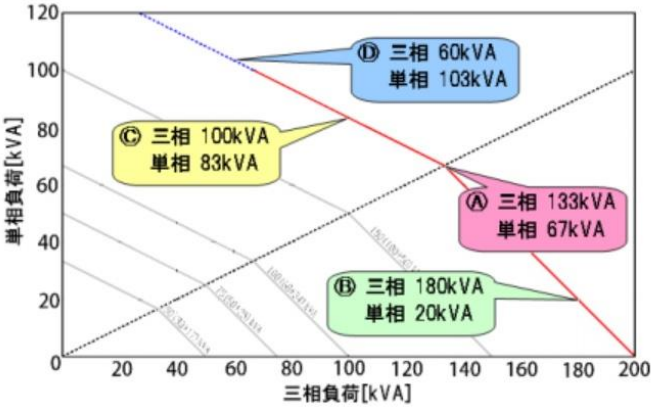


図 負荷分担曲線（デルタ中間タップ付異容量三相単相共用変圧器）

配電盤母線で単相と三相に分離しているため、後の配線では通常の漏電ブレーカが使用できます。受電設備の変圧器が 1 台で良いためコンパクトにできること、B 種接地線での漏電測定時の注意点、単相と三相の電圧変動が相互に干渉することは V 結線と同様です。電力料金が変

圧器容量契約であった時代の電力料金対策と考えられる、例えば２台並列とし、B 種接地端子（o）を連結して使用されている不思議？な設備が残存している等の経過もＶ結線と同様です。

c)　更新時の対地電圧変化

更新前後の変圧器低圧側結線の配列が同じであっても、中性点取付の相がメーカ、製造年により異なる場合があります。変圧器更新の後、単相三線式の引出端子が同じであっても、中性点位置が異なると、対地電圧が異なるものになります。図・左の二次側 u-v 端子間に中性点がある変圧器（u-N-v）を、図・右の u-w 端子間に中性点がある変圧器（u-N-w）に更新する場合を考えます。

単相三線式の配線をそのままの u 端子・N 端子・v 端子に接続した場合の電圧は

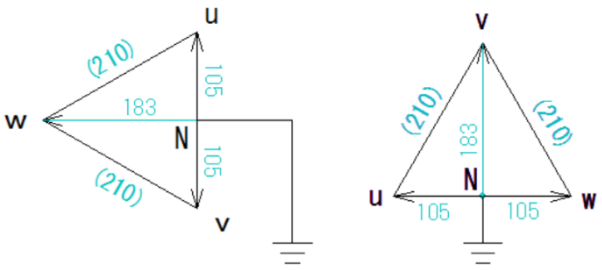
図・左（u-N-v）では

u-N＝105V、v-N＝105V、u-v＝210V

図・右（u-N-w）では

u-N＝105V、v-N＝183V、u-v＝210V

となり、v-N が異常値になり、v-N 間に接続される 100V 設備が過電圧で損傷します。v 端子であった配線を w 端子に移動して、u-N-v を u-N-w へ変更すれば正常電圧になります。中性点を考えての引出端子選択を行うことが必要です。

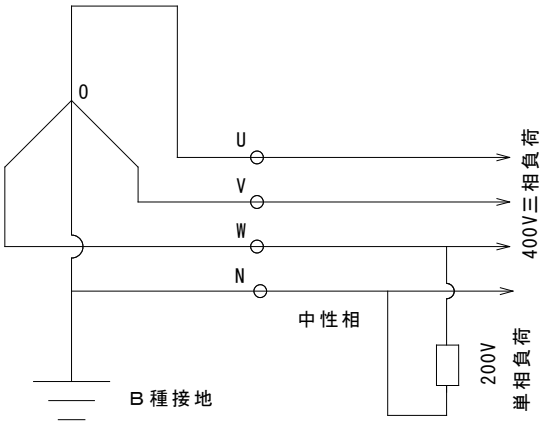


更新後は三相の相順のみでなく、単相三線式の線間電圧を測定し、正しい相が接続されているかを確認することが必要です。電灯用に専用の単相変圧器を使用する場合には生じない注意点です。u-N-v 型としては日立、東芝、ダイヘン製が、u-N-w 型としては三菱、愛知製があるようです。

5-2　Y 結線三相 4 線式

a) 構造

中性点接地の 400V 級 Y 結線配線で、単相負荷を極性相と中性相間に接続して使用するものです。400V 級三相負荷と 200V 級単相負荷が使用できます。外国製の太陽光設備等で、小容量の制御電源用として説明なしに使用されていることがあります。国内でもデータセンター等の大型設備で、大きな単相負荷が必要な場合等に使用され始めています。



設備使用と同時に漏電と間違われる現象が生じる場合があり、注意が必要です。次項で説明

します。

b) 漏電保護

3 極式 ELB を極性 3 相（U,V,W）に使用すると、単相負荷の N 相電流は漏電電流として検知され、ELB は単相負荷使用と同時に動作します。単相中性相(N)も含めた専用の 4 極式 ELB の使用が必要です。B 種接地線には単相負荷電流が流れる場合があります。

機器接地を N 相に取れば（T-N 接地系）漏電時にも大電流が流れ、MCCB で保護できますが、国内の電気設備技術基準の定義にはありません。

Y 結線の特徴として、B 種接地線での漏電分電流測定では、Y 結線中性点接地の特性として、三相負荷でのケーブル容量等の三相同一条件の事由による電流はベクトル的に打ち消しあいます。配線の対地静電容量による対地電流 Ioc は打ち消されます。絶縁監視装置などでの Ior 方式の測定は適用できません（Ior 演算を行った結果と同じになります)。

5-3　Y 結線三相 7 線式

Y 結線巻線の途中点から 105V 配線を引き出したものです。三菱電機殿 HP の図を引用します。実用例は少ないようです。

B 種接地が Y 結線中性点に取られる場合は、上記同様に Ior 方式の測定は適用できません。

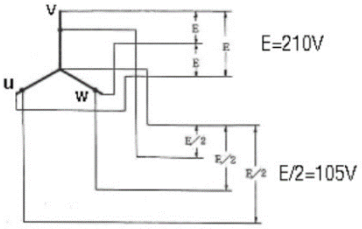


図 7線式の代表例

※　灯動共用設備には V 結線を含めて各種の電源方式があります。線間電圧、相電圧、対地電圧を、接地点の違いと関連させて理解することが安全作業にもつながると考えています。

本稿では灯動共用の安全取扱いを目的としたため、非常用電源等での三相の単相変換を目的とするスコット変圧器は除外しています。