

# 振幅補正不要な三相交流電源用連続的位相調整器

松本 和憲・藤原 彰二\*

(工学部電子情報工学科)

## 1. はじめに

新素材開発や機械・ガラス部品などの表面処理および半導体集積回路作成などの分野において、気体の一部だけが電離し温度が数万度以下の弱電離低温プラズマが盛んに利用されている<sup>1)</sup>。これは、プラズマが化学的に活性なラジカル種やイオン種および励起種の発生と第四の化学反応と呼ばれるそれらによる反応を容易に引き起こすことができるからである<sup>2)</sup>。

弱電離低温プラズマの応用分野の広がりとともに、大口径で高密度なプラズマの効率的な発生法への要望が強くなっている<sup>3)</sup>。最近、低コストで大容量の弱電離低温プラズマ(放電)を安定に発生できる交流放電用電源装置として、位相が調整(制御・配列)された複数個の出力から成る位相制御多出力型電源装置が、著者らによって提案された<sup>4)</sup>。この中で、三相商用交流電源より複数の変圧器のみを用いて構成される位相が等間隔に配列された位相配列多出力交流電源、即ち、多相交流電源は低コストで大容量化が容易な実用的電源であると指摘された。

多相交流電源を構成する場合、入力三相電圧源と位相の異なる幾つかの三相電圧源を作る必要がある。三相の位相は三相変圧器を用いて容易に調整(シフト)することができるが、従来の方法では、位相調整に伴う電圧値の補正を行う必要があり、電圧値を一定に保ちながら移相量を連続的に調整することは難しい<sup>5)</sup>。

本冊子は、二次巻線に摺動端子を持つ $\Delta$ -Y形結線の三相変圧器を用いて三相電圧源の位相を電圧値補正無しで連続的に調整する方法およびその具体的調整器の機械構成、更に、この位相調整器を用いて構成した多相交流電源について記述したものである。

以下、従来の位相調整法について概説した後、新位相調整法の考え方、器械構成および多相交流電源回路を示し、最後にまとめを記す。

## 2. 従来の位相調整法

三相商用交流電源から出力数が6の倍数(整数 $n$ )

で位相が等間隔に配列された多相交流電源を構成する場合、位相調整を行う一般的方法として、 $\Delta$ - $\Delta$ 結線した三相変圧器の各相の二次側巻線上の $n$ 等分点に $n$ 個の中間端子を取り付け、それらの端子と $\Delta$ 結線の頂点にある端子との間から三相出力を取る方法がある<sup>5)</sup>。しかし、この場合、頂点にある端子と中間端子間の電圧の大きさは中間端子の位置に依存して変化するので、電圧の大きさおよび位相間隔が全て揃った対称多相交流電圧源を得るためには、振幅調整用変圧器が必要である。

例えば、十八相電圧源を構成する時、位相調整用三相変圧器の二次側に3個の中間端子を取り付け、端子間から三組の位相の異なる三相電圧を得た後、それぞれの組の出力に対し振幅調整用変圧器を取り付ける。あるいは、位相調整用三相変圧器にて振幅の調整も同時に行う場合、3種類の移相量に応じた中間端子の付いた三組の位相調整変圧器を用いそれぞれの変圧比を変える。

多相交流電源を得るための位相調整法において、振幅調整が不要であることは実用上重要で、また、必要に応じ移相量を連続的に可変できることも望ましい。

一方、変圧器を用いない位相調整法として、三相誘導電圧調整器の固定子巻線を独立した二次巻線として使用する方法がある<sup>6)</sup>。この場合、入力三相電圧が印加された回転子巻線を一回転することにより、位相を連続的に一周期にわたって調整することが可能である。しかし、一般的に、変圧器を用いる方法に比べ製作コストが高くなる。

## 3. 振幅補正不要な位相連続調整

図1に示すように、 $\Delta$ -Y結線された変圧比1:1の三相変圧器の二次側中性点 $n$ と各相の終端子 $u$ 、 $v$ および $w$ との間に、 $u_1$ 、 $u_2$ 、 $v_1$ 、 $v_2$  および  $w_1$ 、 $w_2$  なる摺動端子対をそれぞれ取り付け、これらの端子間に発生する電圧を取り出すことを考える。但し、摺動端子は、それぞれ次式に示すような対称な位置にあるとし、

\*ムサシノキカイ(株)

$$\frac{|V_{u_1n}|}{|V_{un}|} = \frac{|V_{v_1n}|}{|V_{vn}|} = \frac{|V_{w_1n}|}{|V_{wn}|} = \alpha \quad \dots(1)$$

$$\frac{|V_{u_2n}|}{|V_{un}|} = \frac{|V_{v_2n}|}{|V_{vn}|} = \frac{|V_{w_2n}|}{|V_{wn}|} = \beta \quad \dots(2)$$

且つ、 $|V_{u_2v_1}| = |V_{u_1v_2}| = |V_{u_1v_1}|$   
 $= |V_{un}| = |V_{vn}| = |V_{wn}| \quad \dots(3)$

を満たすとする。

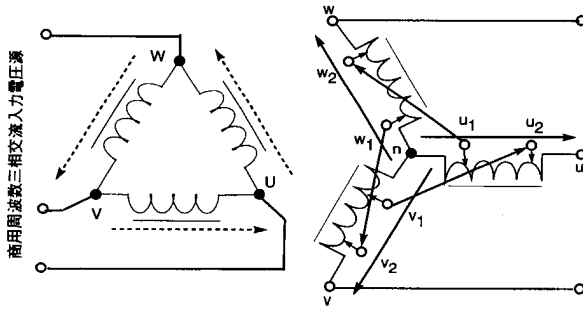


図1 二次側に褶動端子の付いた三相トランス

図2に、ベクトルの始点を全て揃えた場合の各端子間電圧の電気ベクトル図を示す。図より、二次側の褶動端子間に、一次側の対称三相電圧(破線のベクトル)と電圧の大きさは同じで、位相が $\theta$ だけがズレた( $0^\circ$ から $60^\circ$ )対称三相電圧が得られることが分かる。

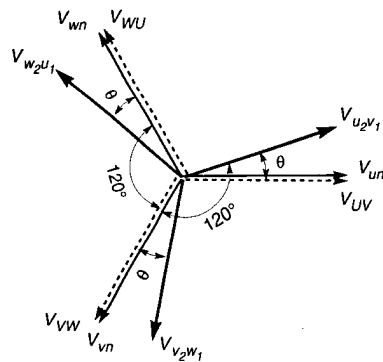


図2 褶動端子間出力三相電圧のベクトル図

図3に中性点と褶動端子との間の電圧ベクトルを明らかに示す。ここで、中性点nと褶動端子 $u_2$ および $v_1$ 間の電圧 $V_{u_2n}$ および $V_{v_1n}$ 、更に、褶動端子間電圧 $V_{u_2v_1}$ に注目し、それらの間の関係を三角法の正弦法則により求めると、

$$\frac{|V_{v_1n}|}{\sin\theta} = \frac{|V_{u_2v_1}|}{\sin 120^\circ} = \frac{|V_{u_2n}|}{\sin[180^\circ - (\theta + 120^\circ)]} \quad \dots(4)$$

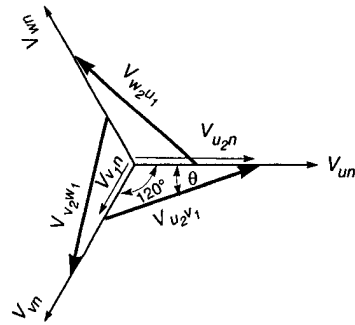


図3 Y結線二次側各相電圧のベクトル関係図

と表わされる。従って、(1)式、(2)式および(3)式より、 $\alpha$ および $\beta$ は、 $\theta$ と次のように関係付けられる。

$$\alpha = \frac{\sin\theta}{|V_{vn}|} \cdot \frac{|V_{u_2v_1}|}{\sin 120^\circ} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin\theta \quad \dots(5)$$

$$\beta = \frac{\sin(60^\circ - \theta)}{|V_{un}|} \cdot \frac{|V_{u_2v_1}|}{\sin 120^\circ} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin(60^\circ - \theta) \quad \dots(6)$$

逆に、 $\theta$ は $\alpha$ および $\beta$ と

$$\theta = \arcsin\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\alpha\right) \text{ or } 60^\circ - \arcsin\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\beta\right) \quad \dots(7)$$

と関係付けられる。また、(5)式および(6)より $\theta$ を消去すると、 $\beta$ は $\alpha$ により

$$\beta = \frac{\sqrt{4-3\alpha^2}-\alpha}{2} \quad \dots(8)$$

と表わされる。ここで、

$$0 \leq \theta < 60^\circ \quad \dots(9)$$

であるので、

$$0 \leq \alpha < 1 \text{ および } 0 < \beta \leq 1 \quad \dots(10)$$

となる。

図4に、移相量 $\theta$ に対する $\alpha$ および $\beta$ のグラフを示す。ここで、(5)式および(6)式において、 $\theta = 30^\circ \pm \Delta\theta$ とおくと、 $\alpha$ および $\beta$ は

$$\alpha = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin(30^\circ \pm \Delta\theta) \quad \dots(11)$$

および

$$\beta = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin(30^\circ \mp \Delta\theta) \quad \dots(12)$$

と表わされるので、 $\alpha$ および $\beta$ のグラフは $\theta = 30^\circ$ の縦軸に関して対称となることが分かる。

図5に、一方の中間端子の相対位置 $a$ に対する、も

う一方の中間端子の相対位置  $\beta$  とその時の位相の調整量 (移相量)  $\theta$  のグラフを示す。ここで、 $\alpha$  を決めた時、(8)式を満たすような  $\beta$  が自動的に位置決めされる機械的機構 (次節に示すようなカムなど) を工夫すれば、連続的に位相を調整することができる。

また、 $(V_{UV}, V_{VW}, V_{WU})$  の三相入力電圧に対する位相調整量は、図1の回路において、三相電圧の出力の取り出し方で、

- $(V_{u_2v_1}, V_{v_2w_1}, V_{w_2u_1})$  の場合、 $0^\circ$  から  $+60^\circ$  まで
- $(V_{v_1u_2}, V_{w_1v_2}, V_{u_1w_2})$  の場合、 $0^\circ$  から  $-60^\circ$  まで
- $(V_{w_1v_2}, V_{u_1w_2}, V_{v_1u_2})$  の場合、 $+60^\circ$  から  $+120^\circ$  まで
- $(V_{v_2w_1}, V_{w_2u_1}, V_{u_2v_1})$  の場合、 $-60^\circ$  から  $-120^\circ$  まで
- $(V_{w_2u_1}, V_{u_2v_1}, V_{v_2w_1})$  の場合、 $+120^\circ$  から  $+180^\circ$  まで
- $(V_{u_1w_2}, V_{v_1u_2}, V_{w_1v_2})$  の場合、 $-120^\circ$  から  $-180^\circ$  まで変えられる。

#### 4. 具体的位相調整器の構成

単相あるいは三相の交流電圧源の大きさを連続的に調整する時、スライダックと呼ばれる単巻線変圧器<sup>1)</sup>がよく利用される。図6(a)および(b)に単相の場合の回路および装置概略をそれぞれ示す。

巻線は一次巻線しかなく、それがトロイダル鉄芯に円周方向に沿って巻かれ、鉄芯上側平坦部の絶縁被覆が削り取られた巻線上を摺動端子が動かされる。出力電圧は、入力側の一本の線 (共通帰線) とトロイダル鉄芯上部を円周方向に移動する摺動端子との間から得られる。

この時、巻線は円周方向に角度  $\phi_0$  まで一様に巻かれているとすると、摺動端子の角度位置が  $\phi$  の出力電圧  $V_{out}$  は、入力電圧を  $V_{in}$  とおいて、

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} \approx \frac{\text{摺動端子までの巻数}}{\text{全体の巻数}} \approx \frac{\phi}{\phi_0} \dots (13)$$

と表わされる。三相交流用スライダックは、3個の単相スライダックが三段に重ねられて構成され、軸を共通にした3個の摺動端子が同時に回転移動し、三相出力電圧が調整される。

本小節では、トロイダル鉄芯を持つ単相変圧器 (単巻線変圧器ではない) を3台重ね、三相スライダックのように一つの軸を回転させることにより、電圧の大きさは入力側と同じで、位相のみが連続的に変化する三相交流位相調整器について考える。

図7に三相位相調整器の構成概略を示す。図1に示した回路が、 $\Delta$ -Y結線されたトロイダル鉄芯をもつ3台の単相変圧器により構成され、一つの軸に3段に重ねられている。

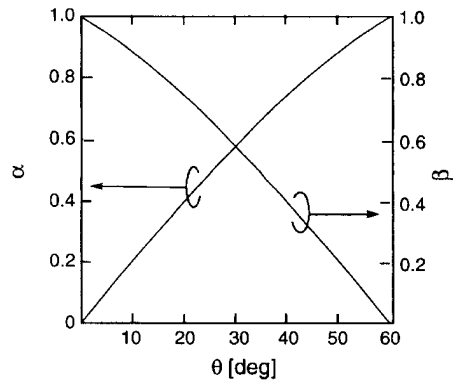


図4 調整移相量に対する摺動端子の位置

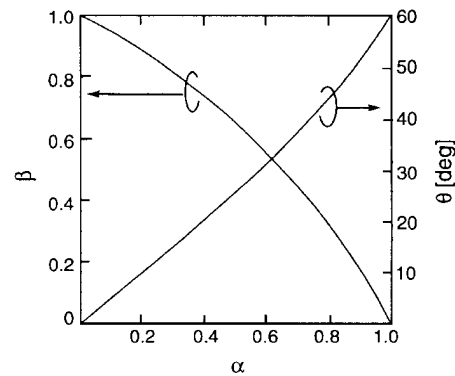


図5  $\alpha$  摺動端子位置と  $\beta$  摺動端子位置および位相調整量

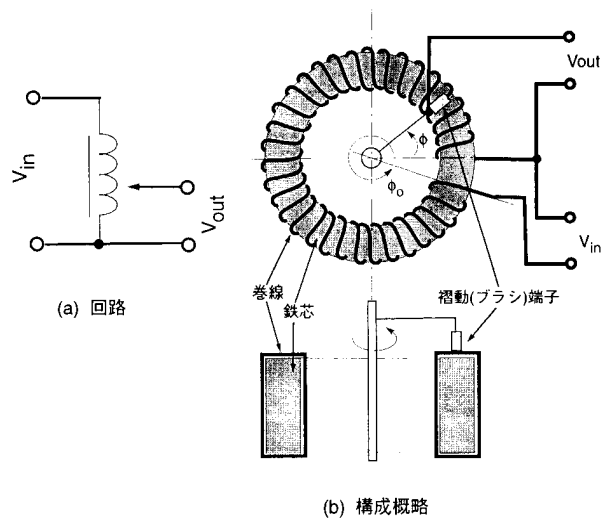


図6 単相交流電圧調整用の単巻線変圧器の構成

各相の二次巻線に、前節の  $\alpha$  および  $\beta$  端子に対応する二つの摺動端子が取り付けられ、 $\alpha$  対応摺動端子は中心軸の回転と一緒にトロイダル巻線の円周上を移動し、一方、 $\beta$  対応摺動端子は、(8)式で表わされた関

係が自動的に満たされるように、後述するカムによって調整されたもう一つの軸の回転とともにトロイダル巻線を移動する。

中心軸を回転させることにより、入力側三相交流電圧に対し位相が $0^\circ$ から $+60^\circ$ まで連続的に変化する三相交流電圧が、6つの褶動端子間から得られる。

4.1 褶動端子自動位置決めカム

図7 (或いは図1)において、中性点と褶動端子 $v_1, w_1, u_1$ 点および $u_2, v_2, w_2$ 点間における電圧値を、中性点と終端子間の値で規格化したものを、それぞれ、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  および  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  とおく。ここで、褶動端子はトロイダル巻線状を円周方向に移動するので、各相における褶動端子位置は鉄芯軸の回りの角度で表わされる。従って、最大回転角度を $\phi_0$ とすると、三相出力端子対  $(\alpha_i, \beta_i)$  ( $i=1,2,3$ ) は、次のような変数変換により、

$$\phi_i = \phi_0 \alpha_i, \quad \Phi_i = \phi_0 \beta_i \quad (i=1,2,3) \quad \dots(14)$$

$(\phi_i, \Phi_i)$  ( $i=1,2,3$ ) と表わされる。

$\alpha$  対応褶動端子の角度位置 $\phi$ を、図8(a)に示すような半径 $R$ の円形歯車の回転角度で表した時、 $\beta$  対応褶動端子の角度位置 $\Phi$ を図8(b)に示すような(歯付き)カムの回転角度で、(8)式および(14)式から定まる値に自動的に定めることを考える。

$\alpha$  と  $\beta$  および  $\phi$  と  $\Phi$  の変化は、

$$\alpha[0,1] \rightarrow \beta[1,0] \Rightarrow \phi[0, \phi_0] \rightarrow \Phi[\phi_0, 0] \quad \dots(15)$$

であるので、 $\alpha$  対応端子を正の方向に回転させた時、 $\beta$  対応端子は逆方向に同じ角度だけ回転する。従って、円形歯車とカムを(直接或いは間接的に)噛み合わせた時、円形歯車とカムの円周は完全に等しくなければならない。更に、 $\Phi$  は  $\phi$  の関数で、その値は(8)および(14)式より定まる値に等しくなければならない。

従って、図8(b)のカムの形を表わす軌跡の任意の微小区間  $(\Phi(\phi), \Phi(\phi)+d\Phi(\phi))$  において、対応する円形歯車の微小区間  $(\phi, \phi+d\phi)$  との間に、

$$Rd\phi = r(-d\Phi(\phi)) \quad \dots(16)$$

なる関係が常に成り立つ。ここで、 $-d\Phi(\phi)$  をとおいたのは、 $\Phi(\phi)$  の角度変化が負の値を持つからである。上式を変形して、微分方程式の形に書き直すと、

$$\frac{r}{R} = -\left(\frac{d\Phi}{d\phi}\right)^{-1} \quad \dots(17)$$

となる。一方、(14)式の変数変換より、

$$d\phi = \phi_0 d\alpha, \quad d\Phi = \phi_0 d\beta \quad \dots(18)$$

であるので、

$$\frac{d\Phi}{d\phi} = \frac{d\beta}{d\alpha} \quad \dots(19)$$

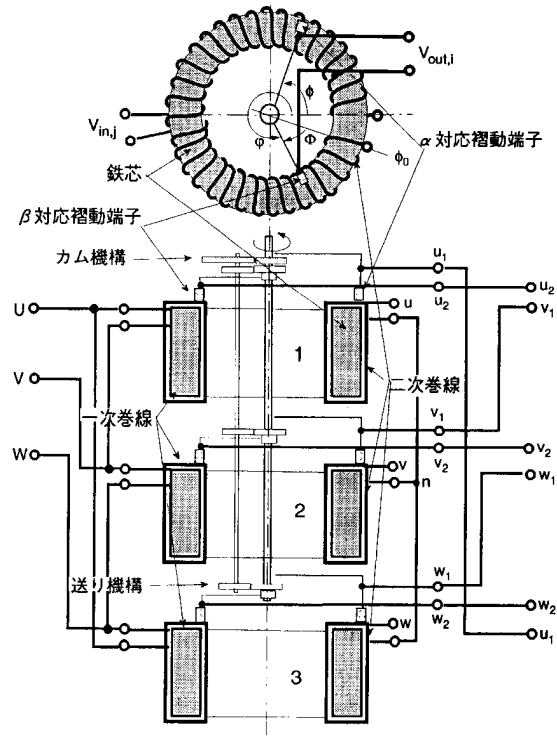


図7 三相交流調整器(移相器)の構成概略

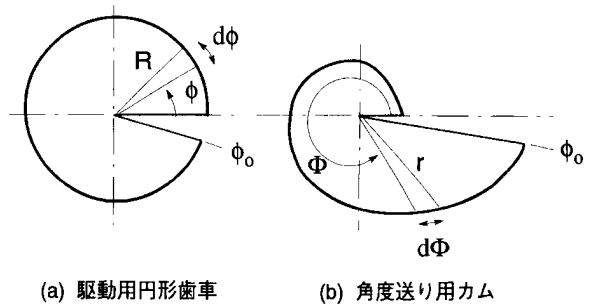


図8 褶動端子位置決めカム

が成り立ち、この式を(17)式に代入すると、

$$\frac{r}{R} = -\left(\frac{d\beta}{d\alpha}\right)^{-1} \quad \dots(20)$$

となる。上式に、(8)式より $\beta$ の $\alpha$ に対する微分式を求め代入する。

(8)式において両辺を二乗し、

$$\alpha^2 + \alpha\beta + \beta^2 - 1 = 0 \quad \dots(21)$$

更に、両辺を $\alpha$ で微分する。

$$2\alpha + \left(\beta + \alpha \frac{d\beta}{d\alpha}\right) + 2\beta \frac{d\beta}{d\alpha} = 0 \quad \dots(22)$$

左辺を  $d\beta/d\alpha$  でまとめると、

$$\frac{d\beta}{d\alpha} = -\frac{2\alpha + \beta}{\alpha + 2\beta} \quad \dots(23)$$

が得られる。右辺の  $\beta$  に (8) 式を代入すると、

$$\frac{d\beta}{d\alpha} = -\frac{\frac{1}{2}(3\alpha + \sqrt{4-3\alpha^2})}{\sqrt{4-3\alpha^2}} \quad \dots(24)$$

となる。これを (20) 式に代入し  $\alpha$  を  $\phi$  で表すと、

(17) 式は、

$$\frac{r}{R} = \frac{\sqrt{4-3\left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)^2}}{\frac{1}{2}\left(3\left(\frac{\phi}{\phi_0}\right) + \sqrt{4-3\left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)^2}\right)} \quad \dots(25)$$

と表される。一方、角度  $\Phi$  は、(8) 式の  $\beta$  に (14) 式で変換した変数を代入し、

$$\Phi = \phi_0 \cdot \frac{\sqrt{4-3\left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)^2} - \left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)}{2} \quad \dots(26)$$

と表される。

従って、求めるべき図 8 (b) のカムの形は、(25) 式および (26) 式より、直角座標の  $(x, y)$  点の軌跡として、

$$(x, y) = (r \cos \Phi, r \sin \Phi) \quad \dots(27)$$

と解析的に表現される。

図 9 に、(27) 式において、 $R=1, \phi_0=2\pi$  とおいた場合の計算結果を示す。

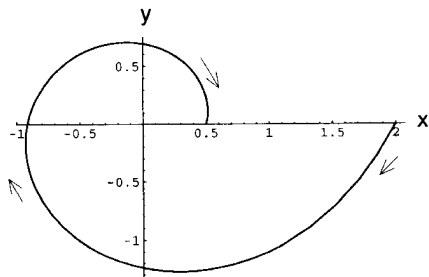


図 9 褶動端子位置決めカムの一例

#### 4.2 褶動端子送り歯車およびカムの機械的リンク

前節で求めたカムを利用して、 $\beta$  対応褶動端子を自動的に位置決めする機械的リンク法について考える。

まず、図 8 (a) および (b) の円形歯車とカムの組み合わせについて、図 11 にその考え方を示す。図 (a) は、初期位置の状態を、図 (b) はある回転角度における状態を示す。ここで、図を分かり易くするために、最大回転角度  $\phi_0$  を  $360^\circ$  とした。

$\alpha$  対応褶動端子が取り付けられている軸 (主軸) に円形歯車を固定し、これと同じピッチの歯が切られているカムを、図 9 に示されるような状態から  $x$  軸に関して反転させ円形歯車と組み合わせる。

円形歯車を正の方向に角度  $\phi$  だけ回転させると、カムは逆方向に回転し、カム先端部の回転軸に対する角度は (26) 式で表される値  $\Phi$  に等しくなる。

カムの取り付けられている軸 (副軸) に  $\beta$  対応褶動端子を取り付ければ (実際には、後述する図 12 に示すような主軸へ非固定の回転子に取り付ける)、主軸を回転させるだけで、 $(\alpha_i, \beta_i)$  に対応する褶動端子組を同時に且つ連続的に変化させることができる。

ここで、図 10 において明らかなように、回転角度により主副軸間の距離が変化するので、円形歯車とカムを常に噛み合わせるための機械的機構が必要であり、更に、回転角度が大きくなると歯車がカムの一部に衝突しカムが最後まで回転できないので、適当な子歯車を持つ機械的リンク装置が必要である。

図 11 は、このような問題点に配慮した、円形歯車とカムの実際的な組み合わせ方を示す。小さな子歯車で構成された開閉伸縮型 V 字リンク装置を用い、主副軸間距離を一定に保ちながら、円形歯車とカム間距離の変化に追随させ、且つ、カムの形に沿って最後まで回転させる。ここで、カムの終わりの部分は、子歯車が移動して来れるように内側に削り取られている。

図 11 (a)、(b)、(c) および (d) は、円形歯車の回転角度が異なる四つの場合における、V 字リンク装置およびカムの位置関係を示す。図 (a) は回し始め、図 (b) は終わりの状態である。

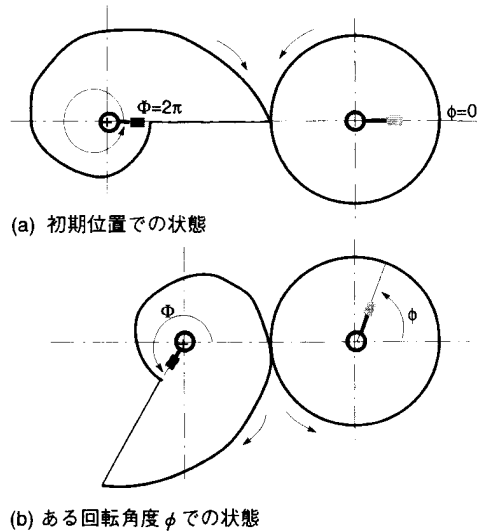


図 10 円形歯車とカムの組み合わせの考え方

### 4.3 位相連続調整のための機械的機構

図12は、図11を基にデザインした、三組の出力端子対  $(\alpha_i, \beta_i)$  に対応する褶動端子を連続的に駆動するための機械的機構を示す。図(a)は  $\alpha$  対応褶動端子とカム機構、図(b)は主軸に非固定の回転子に取り付けられた  $\beta$  対応褶動端子の駆動機構、および図(c)は駆動装置全体の断面図である。

$\alpha$  対応褶動端子を取り付けた主軸を回すと、これに固定された円形歯車が回り、V字リンクを通してカムが回る。この時、カム先端位置の副軸に対する回転角度は、 $\beta$  対応褶動端子の位置角度に等しい。この角度は、副軸に固定された回転子とベルトを通し主軸に非固定の回転子に伝えられる。ここで、この回転子へ  $\beta$  対応褶動端子が取り付けられているので、三組の褶動端子組の位置決めが自動的に行われる。

従って、主軸を一回転させることにより、出力三相交流電圧の位相を連続的に調整することができる。但し、一つの三相電圧出力の取り出し方における最大調整位相量は  $60^\circ$  である。

### 5. 新位相調整器を用いた対称多相交流電源

前章で提案した三相位相調整器を複数個利用すれば、例えば、 $n$  個 ( $n$  は任意の整数) の場合、三相商用交流電源から  $3n$  相あるいは  $6n$  相の多相交流電源を容易に構成することができる。

全ての成分の振幅は全て等しいが隣り合う成分の位相差は任意で均等でない多相交流電源を構成する場合、先ず、三相商用電圧源を  $n$  個の三相位相調整器へ並列に入力し、入力の三相電圧源の位相を基準にして移相量がそれぞれ  $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \dots, \Delta\theta_i, \dots, \Delta\theta_n$  となるように、図1で示した褶動端子の位置 ( $6n$  個) をそれぞれ定める。次に、これらの褶動端子から  $n$  種の三相交流電圧を求め、それらを  $n$  組の  $\Delta$ -Y 結線した三相変圧器へ入力し、出力より  $3n$  相の多相交流電圧を得る。但し、Y 結線の中性点を全て共通に接続する。ここで、 $6n$  相の多相交流電圧を求める場合は、 $n$  種の三相交流電圧を  $2n$  組の正相および逆相接続した  $\Delta$ -Y 結線の三相変圧器へ入力する。

隣り合う成分の位相差  $\Delta\theta$  が全て均等で、且つ、全ての成分の振幅が等しい対称  $3n$  相あるいは  $6n$  相交流電源を構成する場合、 $n$  個の三相位相調整器の移相量をそれぞれ、 $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2 = \Delta\theta_1 + \Delta\theta, \dots, \Delta\theta_i = \Delta\theta_1 + (i-1)\Delta\theta, \dots, \Delta\theta_n = \Delta\theta_1 + (n-1)\Delta\theta$  となるように定める。但し、対称  $3n$  相の時は  $\Delta\theta = (2\pi/3)/n$  とし、対称  $6n$  相の時は  $\Delta\theta = (\pi/3)/n$  とする。 $n$  種の三相交流電圧を  $n$  組あるいは  $2n$  組の  $\Delta$ -Y

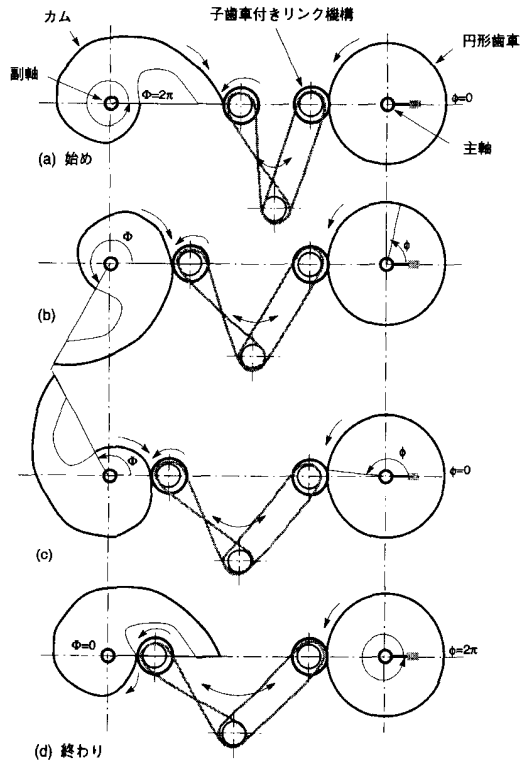


図11 円形歯車とカムの実際の組み合わせと回転角度による位置関係

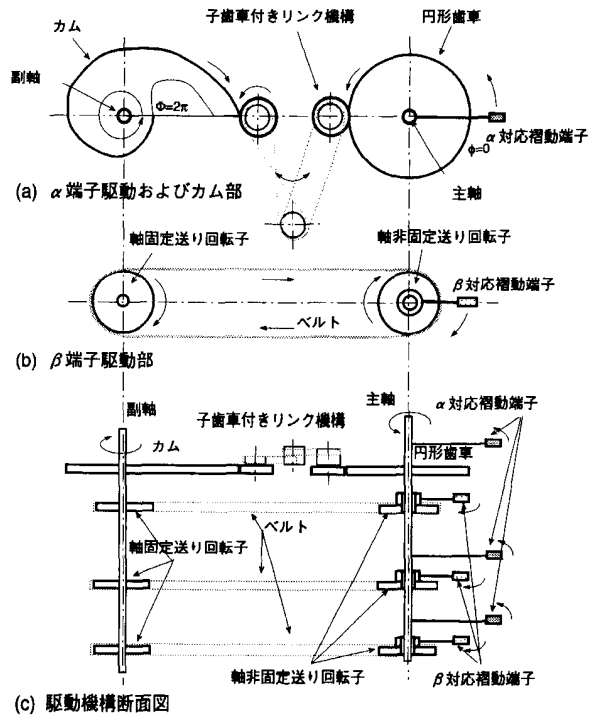


図12  $\alpha$  および  $\beta$  対応褶動端子の駆動機構

結線の三相変圧器へ入力し、対称  $3n$  相あるいは  $6n$  相交流電圧の出力を得る。

図13は、 $n$ 個の位相調整器と  $2n$ 個数の三相変圧器を用い、対称三相商用交流電圧源より対称  $6n$ 相交流電圧源を構成する場合の具体的回路図を示す。但し、

$\Delta\theta_1=0$ とした。

位相部の変圧比を通常の三相商用電源を念頭におき  $200V:200V$ とし、また、出力部の変圧比を出力電圧を一般化するために  $200V:xV$ とした。出力部のY結線の中性点を全て一つにまとめて接続し、共通帰

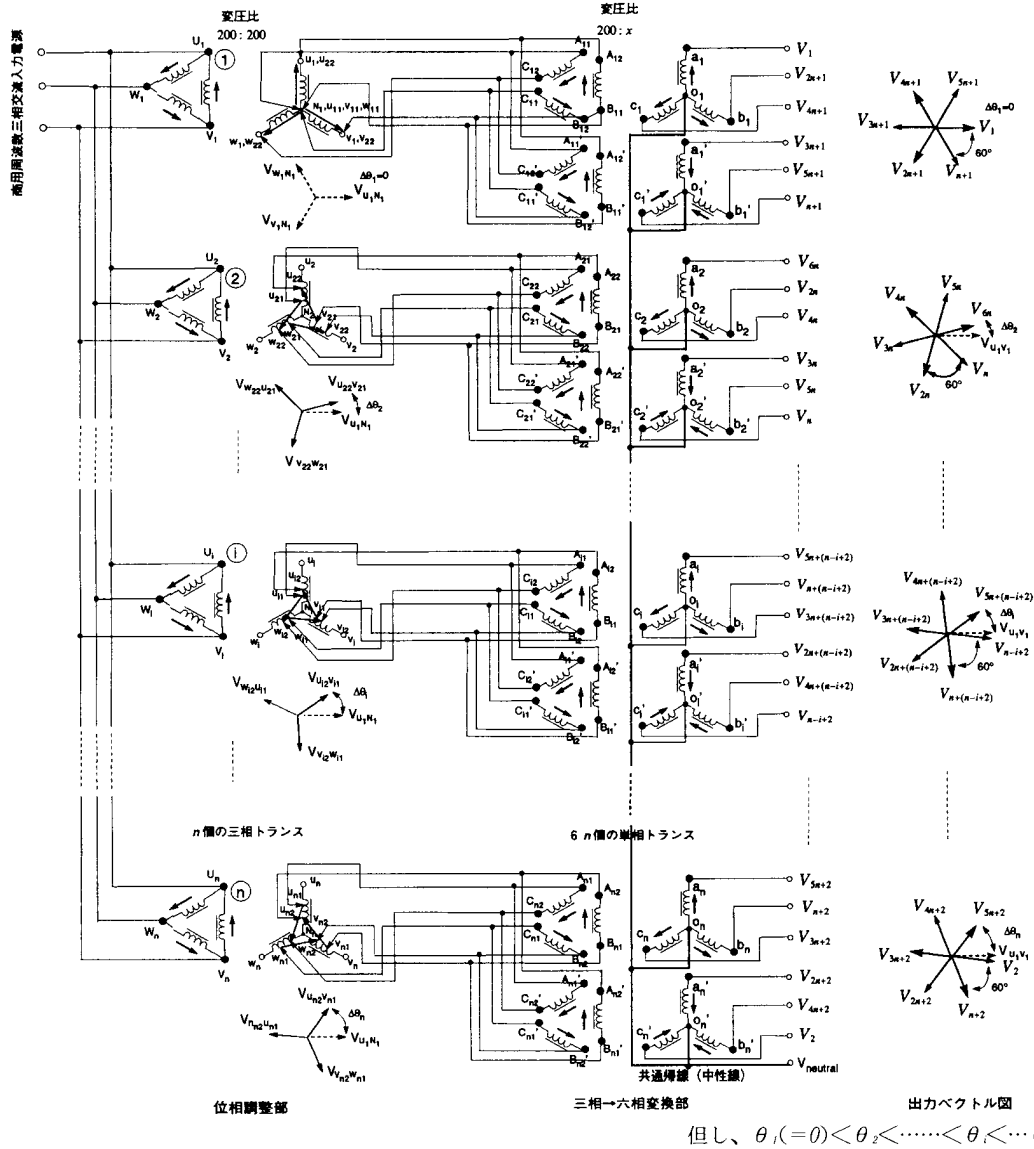


図13 三相交流電圧源より新位相調整器を用いて  $6n$ 相交流電圧源を構成する回路図

線とした。

位相部および出力部の三相変圧器は、 $3n$ 個および  $6n$ 個の単相変圧器を用いても構成できる。

図13の回路において、対称多相交流電源が三相商用交流電源より複数個の変圧器のみを用いて直接的に、然も、簡単に構成されているので、多相交流電源の低コスト化および大容量化が容易である。これは、実用上重要な特徴である。

## 6. おわりに

本論文において、摺動二次側端子付き変圧器を用いて、三相交流電源の位相を連続的に調整する（変化させる）方法およびその装置構成について記述した。

3台の単相変圧器を $\Delta$ -Y結線し、各相の二次側巻線に二つの摺動端子を取り付け、それらの位置を調整することにより、入力三相電圧と位相のみが異なる三相電圧出力が6つの摺動端子間から得られる。連続的に調整できる最大位相量は $60^\circ$ であるが、出力の取り出し方を変えることにより一周期にわたる位相を調整することができる。

トロイダル鉄芯を持つ単相変圧器を軸を共通にして3台重ね、各相の二次側巻線に円周方向に移動できる二つの摺動端子を取り付け、それらの摺動端子間の角度関係が自動的に位置決めするための機械的リンク装置とカムおよび送り機構を取り付けた具体的な位相調整器を提示した。軸を回転させることにより、電圧の大きさは入力側と同じで、三相出力の位相を連続的に変化させることができる。

最後に、本論文で提案された位相調整法は、商用電

力周波数三相交流電源より任意相数の多相交流電源を得るために必要な位相調整器への応用を念頭に検討されたものである。本位相調整法を適用することにより、対称多相交流電源のみならず、非対称（位相のみ）多相交流電源を容易に構成することができ、実際上有用である。

## 謝 辞

この研究をまとめるにあたり、貴重なご示唆をいただきました旭光学監査役中島亨氏、ムサンノキカイ(株)取締役会長加藤孝氏および東北ユニコム(株)取締役井上親朋氏に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 明石和夫編集代表, プラズマ材料科学ハンドブック, オーム社 (1992).
- 2) 明石和夫, 服部秀三, 松本修著, 光・プラズマ・プロセッシング, 日本工業新聞社 (1986).
- 3) Libeman M R and Gottscho R A, Proc. of 2nd Int. Conf. on Reactive Plasma (Yokohama), 1994, p33.
- 4) 松本和憲, 中島亨, 位相制御多電極型交流放電プラズマ発生装置, 富山県立大学紀要第6巻 (1995) p55.
- 5) 後藤文雄著 “電機概論” 丸善 (1959) 第4,5,7章.
- 6) 電気学会編集 “新版電気工学ハンドブック” オーム社 (1988) 第15編9章.



## **Continuous Phase Shifter without Amplitude Compensation for Three-Phase Electric Power Source**

Kazunori MATSUMOTO and Shoji FUJIWARA\*

Department of Electronics and Informatics, Faculty of Engineering

A new method to shift continuously a phase of the three-phase ac electric power source without any amplitude compensation has been proposed. A concrete design of the phase shifter for the three-phase power source is described in detail both on electrical connections and mechanical structures. The geometrical shape of a mechanical cam with which we can change continuously a value of phase-shifting is considered analytically and the mechanical link to vary a phase continuously by using the cam is presented schematically. It is shown that we can make easily a poly-phase ac electric power source with the same amplitude by using several phase-shifters proposed in this paper.

Key words : phase shifter, without amplitude compensation, three-phase ac electric power source, poly-phase ac electric power source

.....  
\*Musashino Kikai Co., Ltd.