一変電所における電圧・無効電力制御装置 に対する不感帯および制御分担領域の設定について

信州大学 飯 尾 稔

信州大学 永 野 泰 男

1. ま え が き

最近の経済的発展と生活水準の向上により電力需要はますます増大の一途をたどっており、これとともに電力の質の向上に対する要請もまた強まっている。これに対し各電力会社においても、単なる電圧制御のみならず、電圧変動の主要因である無効電力の適正配分をも目的とした電圧・無効電力制御装置が広く採用されるようになってきた。

電圧・無効電力制御方式には大別して二つの方式があり、制御効果の大きい超高压系や一次系に対しては、集中制御方式が採用される傾向にあるが、二次系以下においては通常経済的理由のため、各電気所があらかじめ周辺電気所との協調を考慮して作成した運転目標値を維持するよう、個別に電圧・無効電力調整設備を操作する個別制御方式が採用されており、制御効果からもこの方式でじゅうぶんな場合が多い。⁽¹⁾

また、制御機器として、負荷時タップ切換え変圧器 LRT (Load Ratio Transformer)、電力用コンデンサ SC (Static Capacitor)、および分路リアクトル SR (Shunt Reactor) を個別に選択制御する方式においては、電圧や無効電力の操作量が段階的であるので、ハンチングを起こさないようにするためにも、また操作ひん度が過度に多くなり、制御機器の寿命を著しく短縮することのないようにするためにも、制御回路に不感帯を設ける必要がある。また LRT と調相設備では

その制御効果が異なるので、各制御機器の制御分担領域を設けなければならない。

従来、この不感帯および制御分担領域の設定については、ハンチングおよび操作ひん度が主に考慮されているようであるが、⁽²⁾⁽³⁾制御系である以上、何らかの意味において制御の良さを考慮しなければならない。

本報告は LRT, SC および SR のみを制御機器とする一変電所における電圧・無効電力の個別制御方式を対象として、上記観点からまず制御効果を評価するための目的関数を導入し、ついでこの目的関数を最小にするための理論的最小不感帯と制御分担領域を求め、最後にひん度を考慮して実用的な不感帯の設定法について検討している。

2. 目的関数

制御機器として LRT, SC, SR のみを用いる一変電所の電圧・無効電力の個別制御方式（以下単に電圧・無効電力制御という）においては、第 1 図から明らかなように、制御量である変圧器二次側電圧（以下、電圧という）および変圧器通過無効電力（以下、無効電力という）をそれぞれの運転目標値に維持することがその目的となる。したがって、電圧および無効電力の目標からの偏差をそれぞれ $\Delta V(t)$ および $\Delta Q(t)$ とすれば（以下、必要のない限り時間変数 t を省く）、その目的は、制御機器を適当に操作することにより $\Delta Q - \Delta V$ 平面上の点 $(\Delta Q, \Delta V)$ を原点に保つことと見なしうる。

しかし、制御機器 LRT, SC, SR の操作量は段階的であり、さらに $\Delta V, \Delta Q$ が不規則量であることを考慮すれば、点 $(\Delta Q, \Delta V)$ を常に原点に保つことはできず、一般には原点の近傍に保つことができるのみで

Setting of Dead Zone and Control Zones for Voltage and Reactive Power Control System in a Substation. By M. IIO, Member & Y. NAGANO, Member (Faculty of Engineering, Shinshu University)

飯尾 稔: 正員, 信州大学工学部電気工学教室
永野泰男: 正員, 信州大学工学部電気工学教室

第 1 図 一変電所における電圧・無効電力制御装置構成図

Fig. 1. Block diagram of voltage and reactive power control system in a substation.

ある。それゆえこのような制御方式に対する目的関数としては、原点から点 \$(\Delta Q, \Delta V)\$ までの距離の平方の時間積分値を採用するのが合理的であろう。

しかし、\$\Delta V\$ および \$\Delta Q\$ の許容範囲に対する要求は必ずしも同程度ではなく、たとえば、電圧の質を確保する点からは \$\Delta V\$ のほうを優先して 0 に近づけるようにしたほうが好ましいと考えられる。したがって距離としては \$\sqrt{\Delta Q^2 + \Delta V^2}\$ を特別な場合として含むように、各偏差にウェイトをつけた量から構成するのがより一般的と考えられる。それゆえ本報告では、目的関数 \$J\$ としてある期間 \$T\$ にわたる時間積分値

$$J = \int_0^T (K_1^2 \Delta Q^2 + K_2^2 \Delta V^2) dt \dots\dots\dots (1)$$

を採用する。ここに \$K_1, K_2\$ は正の定数であり、各偏差に対する関心の度合により任意に定めることができる。たとえば、変電所二次母線電圧の偏差がある程度大きくても、下位の変電所の制御機器によりじゅうぶんそれが吸収できるような場合には、無効電力配分の適正化による送電損失軽減に重点を置き、その変電所に対しては \$K_1 > K_2\$ となるように定めることができ、逆に偏差電圧の大小が直接需要家電圧に大きな影響を与えるような変電所に対しては \$K_1 < K_2\$ となるように定めるのが好ましいであろう。特に \$K_1 = K_2\$ ならば、\$J\$ は原点から点 \$(\Delta Q, \Delta V)\$ までの距離の 2 乗積分値となる。

ここで

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_1 \Delta Q \\ K_2 \Delta V \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

により定義される状態ベクトル \$\mathbf{x}\$ を導入すれば、\$J\$ は

$$J = \int_0^T (x_1^2 + x_2^2) dt = \int_0^T |\mathbf{x}|^2 dt \dots\dots\dots (3)$$

となり、制御の良否は、\$K_1, K_2\$ の値のいかんにかかわらず、\$x_1-x_2\$ 平面上で、原点から \$\mathbf{x}\$ までの距離の 2 乗積分値により判断され、幾何学的直観が得られやすくなる。

また、ウェイト \$K_1, K_2\$ にとって本質的に重要なのは、それぞれの値でなく、その比であるので、\$K_1, K_2\$ ともに、1 より小さくおくことができ、したがって、\$x_1, x_2\$ なる量は、無効電力および電圧のトランスデューサの出力をそれぞれ分圧することにより簡単に得られ、\$\Delta Q, \Delta V\$ の代わりに \$x_1, x_2\$ を考察の対象にすることは、実用上も何らの障害にならない。

3. 制御効果ベクトル

LRT, SC, SR などの制御機器を単位量操作したとき、電圧および無効電力はともに段階的に変化し、その変化量は系統特性定数に比例した一定量である。⁽⁴⁾ したがって、これらの機器の単位量操作による効果はこれらの一定な変化量を成分とする 2 次元の一定ベクトルとして表わすことができるが、ここでは \$x_1-x_2\$ 平面上で考察できるように、これらの一定変化量をそれぞれ \$K_1\$ 倍および \$K_2\$ 倍した量を成分とするベクトルを考え、これを制御効果ベクトルと呼ぶことにする。

いま、LRT を 1 タップ上げたときの無効電力変化量を \$l_1 (>0)\$、電圧変化量を \$l_2 (>0)\$ とすれば、LRT のタップ上げに対する制御効果ベクトル \$\mathbf{a}\$ は

$$\mathbf{a} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_1 l_1 \\ K_2 l_2 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

であり、タップ下げに対するそれは \$-\mathbf{a}\$ である。

第2図 制御効果ベクトル

Fig. 2. Control effect vectors.

また、SC を1単位投入 (SR ならば除外) したときの無効電力変化量を $-m_1 (m_1 > 0)$ 、電圧変化量を $m_2 (> 0)$ とすれば、SC 投入 (SR ならば除外) に対する制御効果ベクトル $\mathbf{b}$ は

$$\mathbf{b} = \begin{pmatrix} -b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -K_1 m_1 \\ K_2 m_2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

であり、SC 除外 (SR ならば投入) に対するそれは $-\mathbf{b}$ となる。(第2図)

一般に LRT を j タップ上げ、SC を K 単位投入 (SR ならば除外) の操作を同時に行なったときの x_1 - x_2 平面上における効果は、制御効果ベクトルの一次結合 $j\mathbf{a} + k\mathbf{b}$ により表わされ、この操作により $\mathbf{x}$ は $\mathbf{x} + j\mathbf{a} + k\mathbf{b}$ に移ることになる。ここに j, k は整数であり、これが負のときは逆の操作を意味する。以下このような操作を操作 $(j\mathbf{a} + k\mathbf{b})$ と略記する。

いま、何ら制御を行なわないと仮定したときの状態ベクトルが $\mathbf{x}_0(t)$ であり、時刻 $t=t_i (i=1, 2, \dots, n)$ において操作 $(j_i\mathbf{a} + k_i\mathbf{b})$ を施したとすれば、このときの状態ベクトル $\mathbf{x}(t)$ は

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_0(t) + \sum_{i=1}^n \{(j_i\mathbf{a} + k_i\mathbf{b})u(t-t_i)\} \quad (6)$$

と表わされる。ここに $u(t)$ は単位ステップ関数である。したがって、電圧・無効電力制御の課題は次のように定式化できる。

ある拘束条件のもとに (たとえば、期間 T の間の操作回数の制限、タップの上下限の存在など) 与えられた $\mathbf{x}_0(t)$ に対し、 J が最小となるような t_i とそのときの操作 $(j_i\mathbf{a} + k_i\mathbf{b})$ の組の系列を求めること。

4. 理論的最小不感帯

前述の課題を検討するために、まずある時刻 $t=t_0$ における制御機器の操作 $(j\mathbf{a} + k\mathbf{b})$ の有効性について考える。このためには、このときの J の値と、操作時刻を少しずらして $t=t_0 + \Delta t$ としたときの J の値との差 ΔJ の正負を調べればよい。

操作時刻が $t=t_0$ のときの状態ベクトルは

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 + (j\mathbf{a} + k\mathbf{b})u(t-t_0) \quad (7)$$

また、 $t=t_0 + \Delta t$ のときは

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 + (j\mathbf{a} + k\mathbf{b})u(t-t_0-\Delta t) \quad (8)$$

となるので、 ΔJ は

$$\begin{aligned} \Delta J &= \int_0^T |\mathbf{x}_0 + (j\mathbf{a} + k\mathbf{b})u(t-t_0)|^2 dt \\ &\quad - \int_0^T |\mathbf{x}_0 + (j\mathbf{a} + k\mathbf{b})u(t-t_0-\Delta t)|^2 dt \\ &= \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} \{|\mathbf{x}_0 + j\mathbf{a} + k\mathbf{b}|^2 - |\mathbf{x}_0|^2\} dt \quad (9) \end{aligned}$$

となる。この ΔJ は、与えられた $\mathbf{x}_0$ と操作 $(j\mathbf{a} + k\mathbf{b})$ に対し、 t_0 のみならず Δt にも依存しており、 t_0 を定めても Δt の変化とともに正にも負にもなりうる。いま τ をじゅうぶん小さくとったとき、 $t_0 \leq t + \tau$ において

$$|\mathbf{x}_0 + j\mathbf{a} + k\mathbf{b}| \geq |\mathbf{x}_0| \quad (10)$$

が成立したとしよう。このとき、 $0 < \Delta t \leq \tau$ なる Δt に対しては ΔJ は常に正となり、したがって、たとえわずかでであっても、操作 $(j\mathbf{a} + k\mathbf{b})$ を時刻 $t=t_0$ に行なうより、 Δt だけ遅らせたほうが J を ΔJ だけ小さくできることになり、 $t=t_0$ における操作は不適当であったということになる。 τ は条件(10)式が成立すれば任意の大きさでよいので、 $\tau \rightarrow 0$ なる極限移行を行なって、時刻 $t=t_0$ における操作 $(j\mathbf{a} + k\mathbf{b})$ が不適当である条件として

$$|\mathbf{x}_0(t_0) + j\mathbf{a} + k\mathbf{b}| \geq |\mathbf{x}_0(t_0)| \quad (11)$$

が得られる。

この条件は第3図から明らかなように、 x_1 - x_2 平面上では、点 $-(j\mathbf{a} + k\mathbf{b})$ と原点を結ぶ線分の垂直二等分線 (以下ベクトル $-(j\mathbf{a} + k\mathbf{b})$ の垂直二等分線のようにいう) を境界とする半平面のうち原点を含むほうを表わしているが、垂直二等分線の性質から、この領域に $\mathbf{x}_0$ があるときに操作 $(j\mathbf{a} + k\mathbf{b})$ を行なえば、かえって原点から遠い点 $\mathbf{x}_0 + j\mathbf{a} + k\mathbf{b}$ に移り、この操作が不適当となることは直観的に明らかである。

なお、この領域は操作 $(j\mathbf{a} + k\mathbf{b})$ の不適当な領域を

第 3 図 操作 $(ja+kb)$ の不適当な領域

Fig. 3. Prohibited zone of switching.

 $(ja+kb)$

示すのみであり、したがって、この領域内においても他の操作は適当となりうる。そこで、 j, k に種々の可能な値を取らせたときの操作不適当な領域に対する共通部分を求めれば、いかなる操作も不適当な領域が得られる。この領域を理論的最小不感帯と呼び、 D_0 で表わすことにする。 D_0 は j, k に種々の値を取らせなくても、次のようにして簡単に求めることができる。

いま、制御効果ベクトル a と b が鋭角をなすとす。このとき、ベクトル a および b の各垂直二等分線より原点側にある領域は、 j, k が正の整数であれば、ベクトル $ja+kb$ の垂直二等分線より原点側にある領域に含まれてしまうので (付録参照)、 D_0 を求めるのにはやこのようなベクトル $ja+kb$ は考えなくてもよいことになる。

一方、ベクトル a と b は鈍角をなしているの、これに対してはベクトル $ja+k(-b)$ を考慮する必要がある。そこでまず $a-b$ を求め、これが a と $-b$ と鋭角をなしていれば、六つのベクトル $\pm a, \pm b, \pm(a-b)$ において隣接するベクトル間の角はいずれも鋭角となるので、もはやこれらの隣接するベクトルの係数が正の整数である一次結合は考える必要がなくなり、これら六つのベクトルの垂直二等分線を引くことにより D_0 が得られる。〔第 4 図 (a)〕これらの六つのベクトルを基本ベクトルと呼ぶことにする。

次にベクトル $a-b$ が a と $-b$ のうちの一方、たとえば a と鈍角をなすときは、 $a-b$ は $-a$ と鋭角をなし、したがって、その和となる $-b$ はもはや考慮しなくてもよいことになるので、あらためて a と $a-b$ をもととして、基本ベクトルが得られるまで同様の操作をくり返せばよい。〔第 4 図 (b)〕

(a)

(b)

第 4 図 理論的最小不感帯 D_0 Fig. 4. Theoretically minimum dead zone D_0 .

以上より明かなように、一般に D_0 は相対する辺が平行な六辺形となるが、特に制御効果ベクトルが互に直交するときは、 D_0 は退化して長方形となる。

以上、 D_0 を導き出すにあたっては、LRT と SC あるいは SR との同時操作のみならず、一時に LRT を数タップ、SC, SR は数単位操作できることを仮定していた。しかし、実際は 1 操作指令に対し LRT は 1 タップ、SC, SR は 1 単位ずつ操作され、しかも通常これらは同時に操作されることはない。したがってたとえば、第 5 図の点 P に x がある場合を考えるに、もし同時操作が可能ならば、操作 $(-a+b)$ により x は D_0 内の点 Q に移すことが可能であるが、同時操作が不可能であればまず操作 $(-a)$ により点 R に移し、ついで操作 (b) により点 Q に移すか、あるいは逆の順により $P \rightarrow S \rightarrow Q$ と移さざるを得ない。とこ

第5図 D_0 の実用上における問題点の説明

Fig. 5. Explanation of a problem in practical use of D_0 .

ろがこの例の場合は、点 P が操作 $(-a)$ に対しても (b) に対してもいずれも不適当な領域にあるので、 x ははじめの操作により、一時的にもせよ点 R または S のように点 P にくらべて原点より遠い点に移ることになる。もちろんこの場合は、第2の操作により、 D_0 内に入りうるのであるが、現実にはこれらの操作は機械的操作機構によって行なわれ、さらに操作時期の判定にも継電器により定まるある時間を必要とするので、一連の操作間には何がしかの時間遅れが存在する。それゆえはじめの操作は、たとえわずかではあっても、 J を増加させるように行なわれるという不合理を生ずることになる。

この例のばあいには、この不合理な状態も一時的であり、それによる J の増大もわずかであると考えられるので、実用上の障害にはならないかも知れないが、後述するように不感帯周辺部の x は、必ず1回の操作により不感帯にはいるように不感帯を設定しようとすれば、上述のような操作の結果 x が原点よりさらに遠ざかる事態は避けなければならない。

上述の不合理は、単位操作の不適当な領域が D_0 の外に存在しているために生じたのであるから、これを解消するには理論的最小不感帯として D_0 ではなく、単位操作の不適当な領域の共通部分、すなわち、ベクトル $\pm a$ および $\pm b$ の各垂直二等分線からなる平行四辺形 D_1 を採用すればよいことがわかる。(第6図)

5. 制御分担領域

LRT, SC, SR のみを用いた電圧・無効電力制御においては、前述のようにいかなる操作も不適当となる領域 D_0 が存在するので、 J を小さくするには x がこ

第6図 理論的最小不感帯 D_1

Fig. 6. Theoretically minimum dead zone D_1 .

の外にあるとき、適当な操作を施すことにより x を D_0 内に移してやればよい。この場合制御機器の制御効果が異なっているので、いかなる操作を行なうべきかを示す制御分担領域を設定する必要がある。

もし、同時操作が認められるならば、 D_0 を $ja+kb$ だけ平行移動させて、 x_1-x_2 平面を D_0 と合同な領域に蜂の巣状に分割することにより制御分担領域が得られる。そして、各領域において必要な操作は、操作 $-(ja+kb)$ となる。

もし同時操作が許されない場合は、上述の各制御分担領域のうち、同時操作を必要としている領域に対していずれの単位操作をさきに行なうべきかを決定しなければならない。この選択原理として、2種類の可能な単位操作がある場合には、 J をより小にする単位操作を優先させるという原理を採用する。たとえば、第5図の点 P においては、単位操作 $(-a)$ と (b) とが可能であるが、この原理によれば、点 S のほうが点 R より原点に近いので、操作 (b) を先に行なうことになる。この原理は制御の良否を J の大小により判断する立場からはきわめて自然であると思われる。

いま x が操作 (a) も (b) も行ないうる領域にあるとしよう。このとき x は操作 (a) により $x+a$ に、また操作 (b) により $x+b$ に移るので、操作時刻を $t=t_0$ とした場合、これらの2通りの操作に対する J の値の差 ΔJ は

$$\Delta J = \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} \{ |x+a|^2 - |x+b|^2 \} dt \dots (12)$$

となり、この正負によりどちらを優先させるべきかが判定される。(11)式を誘導したときと同様に考えればこれらの優先領域の境界として

$$|x+a| = |x+b| \dots (13)$$

第7図 優先領域の決定

Fig. 7. Determination of preferential zone.

が得られる。これは第7図から明らかなように、点 $-a$ と $-b$ を結ぶ線分の垂直二等分線であり、これを境界として、 x が点 $-a$ を含む側にあれば操作 (a) を、点 $-b$ を含む側にあれば操作 (b) を先に行なうべきであるということになる。同様にして操作 $(\pm a)$ と $(\pm b)$ の他の組合せに対しても優先領域の境界を求めることができる。

このようにして、先に求めた制御分担領域の図に重ねて4本の優先領域の境界を引けば、同時操作を認めない場合においても、各単位操作に対する制御分担領域が得られる。たとえば、同時操作 $(a-b)$ の領域を、操作 (a) と $(-b)$ の優先領域の境界が通っていれば、この境界の点 $-a$ を含む側にある部分では操作 (a) を、また残りの部分では操作 $(-b)$ を先に行なうべきであるということになる。

第8図にこのようにして求めた制御分担領域の例を示す。基本ベクトルに a および b がともに含まれる場合は、優先領域の境界が同時に単位操作に対する制御分担領域の境界になっているが〔第8図(a)〕、 a または b のいずれか一方しか含まれない場合には、優先領域の境界のうちの2本がベクトル $\pm a$ または $\pm b$ の延長と交わるので、これらの境界が第8図(b)のように操作 $(\pm ja)$ あるいは $(\pm kb)$ の領域を通ることになり、この2本の境界は単位操作に対する制御分担領域の境界になりえず、ジグザグの境界になる。しかしこのような場合は、調相設備の単位容量とLRTのステップの大きさの間、あるいは K_1 と K_2 の間に極端な不釣り合いが存在するときで、きわめてまれにしか生じないと思われる。

また、 D_1 に対しても制御分担領域は同様にして得られる、この場合はその境界が D_1 の各頂点からでている。〔第8図(c)〕

(a)

(b)

(c)

第8図 制御分担領域

Fig. 8. Control zones.

6. 実用的不感帯

LRT, SC, SR を用いた電圧・無効電力制御において、もし制御機器の操作回数に制限がなく、かつ同時操作も許されているとすれば、 D_0 を不感帯とし、 x が D_0 をでていずれかの制御分担領域にはいった瞬間に対応する操作を行えば、 x は常に D_0 内に留まることになり、このとき J は最小となる。

しかしながら現実問題としては、制御機器の寿命などの関係から無制限に操作を行なうことは好ましい方法でなく、また x が D_0 の境界近傍で変動するときは、そのごくわずかな変動に対しても操作をくり返すことになり、たとえ J は小さくなったとしても、電圧・無効電力の段階的変化のひん繁なくり返しは電圧の質のうえからは決して好ましくないであろう。

もちろん実用にさいしては操作時期の判定に限時継電器が用いられるので、ある程度までは操作回数を減らそうが、操作回数を減らすうえにおいて最も有効かつ簡単な方法は、不感帯を大きくすることである。

不感帯を拡大する方法としては種々な方法が考えられ、 D_0 に相似な形を不感帯として採用することも可能であるが、ここでは現在実用されているように、電圧および無効電力の偏差に対しそれぞれ独立に不感帯を設定する場合、したがって、不感帯の各辺が x_1 または x_2 軸に平行となるように設定する場合について以下検討する。

このような不感帯は当然のことながら D_0 を含まなくてはならず、したがって、操作回数を減らすと同時に、 J をもできるだけ小さくするためには、 D_0 に外接し、各辺がそれぞれ x_1 または x_2 軸に平行な長方

第 9 図 実用的最小不感帯 D と制御分担領域
Fig. 9. Practical minimum dead zone D and control zones.

形を用いなければならず、これが実用的最小不感帯となる。また制御分担領域としては、前述の同時操作が許されない場合のものを用いなければならない。第 9 図にはこのようにして構成した実用的最小不感帯 D と、その場合の D の周辺部において x を D 内に入れるために必要な操作と、その操作により D 内に入りうる x の領域が示してある。図から明らかなように、 D のごく近傍に x があるときでも、それが D_0 の頂点の近傍である場合を除いては、操作の結果 x は D のじゅうぶん内部にはいるので、 D_0 をそのまま実用化したときに予想されるひん繁なくり返し操作はじゅうぶん改善されたといえる。

また、 x が D の近傍にありながらも、それを D 内に入れるためには単位操作だけではできず、一連の操作を必要とする領域が存在している。このような領域の存在を一概に排除する必要はないと思われるが、もし不感帯周辺の x を単位操作により必ず不感帯内に入れようとするれば、さらに不感帯を拡大する必要がある。しかし、このためには第 4 章の終わりで述べたような不合理を生ずる領域が不感帯のほかに存在してはならないことから、 D_0 ではなく D_1 をもとにして考えねばならない。

ところで上述のような一連の操作を必要とする領域

第 10 図 実用的不感帯の設定法
Fig. 10. Setting method of practical dead zone.

第 11 図 実用的不感帯 D と制御分担領域Fig. 11. Practical dead zone D and control zone.

は、 D_0 の構成法からわかるように、 a と b の一次結合で表われる基本ベクトルの方向、したがって、鈍角をなす二つの制御効果ベクトルにはさまれた軸方向に生じている。したがって、このような領域を解消するには、 D_1 に外接し各辺が x_1 および x_2 軸に平行な長方形を、この軸と異なる軸方向にのみ拡大すればよく、その大きさは、次のようにして求めることができる。

いま、制御効果ベクトル a と b が鋭角をなしているとする。このときは x_2 軸方向にのみ不感帯を拡大すればよいが、上述の一連の操作を必要とする領域の解消のためには、第 10 図のように不感帯を a および $-b$ だけ平行移動できる領域の共通部分が、操作 $(-a)$ と (b) の制御分担領域の境界の一部を含んでいればよく、したがって、この境界の出発点となる D_1 の頂点を $-a$ および b だけ平行移動した点を、いずれも不感帯が含むように拡大すればよいことがわかる。

第 11 図はこのようにして構成した不感帯の一例であるが、この例では、不感帯の第 1 象限の頂点を $-b$ だけ移動させたとき、それが制御分担領域の境界上にくるように不感帯を拡大してある。図から明らかなように、不感帯周辺部においては、すべて 1 回の操作によって x を不感帯内に移すことが可能となっている。

7. む す び

LRT, SC, SR などの段階的操作量を有する制御機器のみを用いた一変電所における電圧・無効電力の個別制御方式において、制御の質を評価する目的関数として、電圧および無効電力の目標値からの偏差にそれ

ぞれ比例した量の平方の和の時間積分値を採用した場合、この目的関数を最小にするために必要な理論的最小不感帯は、制御効果ベクトルから簡単な幾何学的作図により得られる。

また、この理論的最小不感帯をもとにして、制御機器の操作ひん度の軽減をも考慮した実用的な不感帯も簡単な作図によって得られることを示した。

しかしながら実際の適用にあたっては、制御効果ベクトル自身が系統操作によって変化するので、種々の場合を想定してそれぞれに対する実用的不感帯を求めそれらが含まれるように余裕をもたせて不感帯を設定する必要があるだろう。

(昭和 47 年 9 月 4 日受付, 同 48 年 2 月 5 日再受付)

文 献

- (1) 吉田・太田: 給電工学 309 (昭 44)
- (2) 立松・永江・吉田: 富士時報 41, 11, 814 (昭 43)
- (3) 根本: 東芝レビュー 22, 11, 1345 (昭 42)
- (4) 関根: 電力系統工学 83 (昭 41)

付 録

ベクトル p と q が与えられたとき、これらのベクトルの垂直二等分線を境界とし、原点を含む側の半平面よりなる領域はそれぞれ

$$p^T \left(x - \frac{1}{2} p \right) \leq 0 \quad \text{..... (付 1)}$$

$$q^T \left(x - \frac{1}{2} q \right) \leq 0 \quad \text{..... (付 2)}$$

と表わされる。同様に、 j, k を正の整数とするとき、 p と q の一次結合ベクトル $j p + k q$ に対しては

$$(j p + k q)^T \left\{ x - \frac{1}{2} (j p + k q) \right\} \leq 0 \quad \text{..... (付 3)}$$

となるが、これは

$$\begin{aligned} & j p^T \left(x - \frac{1}{2} p \right) + k q^T \left(x - \frac{1}{2} q \right) \\ & \leq \frac{1}{2} j(j-1) p^T p + \frac{1}{2} k(k-1) q^T q \\ & + j k p^T q \quad \text{..... (付 4)} \end{aligned}$$

と変換される。

ベクトル p と q のなす角が鈍角でなければ $p^T q$ は正または 0 となるので、 x が (付 1), (付 2) 式を同時に満足していれば、(付 4) 式が成立し、したがって、(付 1) および (付 2) 式により表わされる領域の共通部分は、(付 3) 式により表わされる領域に含まれる。