直流法による電力潮流最適化

正 員 山 城 迪 (北見工大)

1. ま え が き

電力潮流の最適化問題は、一般に経済性の追求を目的としたものと、電力損失の最小化を目的とした問題とに大別される。

本論文は、前者の経済性追求の問題、すなわち「各負荷ノードでの負荷電力指定のもとで、火力発電所の総燃料費を最小にする発電機出力、線路潮流分布、および、各ノードの運転電圧を決ること⁽¹⁾」を目的としている。

この場合、送電損失を考慮した経済負荷配分における増分送電損失の取扱い方が重要な問題となるが、これまで報告されてきた主な増分送電損失の決定法は、各々、以下に述べる特徴を有する。

(1) B 係数法⁽²⁾⁽³⁾⁽⁷⁾は、最も一般的な、かつ、簡単な方法ではあるが、 B 係数の算定に多くの計算労力が必要であり、特に、系統構成の急変時における B 係数の計算を考えると、例えば、オンラインでの系統制御のような高速性が要求される場合には、実用的な手法とは言い難い。

(2) 電位差法⁽²⁾⁽³⁾は、もとの電力系統の接続状態から、消費電力一定の条件を満足する等価回路を導いて、このインピーダンスマトリクスの抵抗分、発電所出力電流および電圧の関数として増分損失を表わす方法であり、潮流計算に加えて、等価回路を求めるなど他の方法に比べて、かなり複雑な計算が要求される。

(3) 損失測定法⁽²⁾は、ある発電所に出力変化 ΔP が生じたとき、全系の送電損失の変化量を潮流計算から直接求める方法であるが、発電所の数だけ ΔP を決めて潮流計算を行なうことから、計算時間が比較的長いこと、 ΔP の大きさによって計算精度が左右される点に問題がある。

(4) Tudor 氏の方法⁽⁴⁾は、ノード電圧の大きさがほぼ一定であり、誘導性が支配的な線路インピーダ

ンスからなる系統を前提として、潮流計算から得られるノード電圧の大きさ、位相角の関数として増分損失を求める方法である。

(5) Happ 氏⁽⁵⁾の方法は、潮流計算にニュートン・ラフソン法を用い、増分損失はこの潮流計算の過程で得られる、ヤコビアン行列を用いる方法であり、(1)~(4)が近似法であるのに対して、これは厳密法である点に特徴がある。

なお、(1)を除く(2)~(5)の方法は、いずれも潮流計算を直接必要とする。

一方、信頼度制御のようなオンライン制御においては、高速潮流計算手法は最も基本的なソフトウェアであり、そのために、直流法(DC法)および交流法による種々の潮流計算手法が開発されている⁽⁶⁾。

以上のような考察から、電力系統のオンライン制御を行なう場合について、既に日常使われている高速潮流計算手法を利用して、古典的な B 係数法によらずに経済性を追求しようとするのが本論文の目的であり、ここでは、高速潮流計算をDC法で行なう場合を想定し、このDC法を用いた増分送電損失の算定を基礎とした電力潮流の最適化についての考察を行なうことにする。

すなわち、まず、増分送電損失の取扱いについては基本的にはTudor氏の方法によるが、ここではすべてのノード電圧の大きさを等しく単位値に固定することにより、電圧の大きさおよび無効電力に関する考察は一切除外し、ノード電圧の位相角のみの関数として増分送電損失を決定する。その結果、DC法潮流計算を利用して、簡単に増分送電損失の算定ができる点に本手法の特徴がある。

次に、DC法は、本来、送電損失を考えない潮流計算法であることから、近似的に送電損失を求める方法を示すと同時に、求まる送電損失と系統負荷を発電機分担負荷と考え、DC法により求めた増分送電損失から、最も経済的な発電機出力を決定していく、繰返し最適化の手法について述べる。

最後にモデル系統を用いて、本手法と厳密法である

Optimization of Power Flow by DC Method. By Susumu Yamashiro, Member (Kitami Institute of Technology).
山城 迪: 正員, 北見工業大学電気工学科

ニュートン・ラフソン法による最適化の結果とを比較検討することにより、DC 法を用いた電力潮流の最適化の妥当性を明らかにする。

2. DC 法による増分送電損失の算定

DC 法における、ノード i, j 間の有効電力は、 δ を電圧の位相角、 x_{ij} をノード i, j 間のリアクタンスとすると次式で与えられる。

$$P_{ij} = \frac{\mathbf{E}_i \cdot \mathbf{E}_j}{x_{ij}} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j) \approx \frac{1}{x_{ij}} (\delta_i - \delta_j) \quad (1)$$

ノード i における電力、 $P_i = \sum_{j=1}^n P_{ij}$ の関係を用いると、(1)式から次の行列表示を得る。

$$[\mathbf{P}] = [\mathbf{B}][\boldsymbol{\delta}] \quad (2)$$

但し、行列 $[\mathbf{B}]$ の要素は、 $b_{ij} = \sum_{j=1}^n 1/x_{ij}$ 、 $b_{ii} = -1/x_{ij}$ である。

(2)式から、ノード電圧の位相角 $\boldsymbol{\delta}$ を求めることが DC 法に他ならない。

一方、ノード i のベクトル電力 $\hat{S}_i$ は、

$$\hat{S}_i = P_i + jQ_i = \mathbf{E}_i \bar{\mathbf{I}}_i = \mathbf{E}_i \sum_{j=1}^n \bar{\mathbf{Y}}_{ij} \mathbf{E}_j \quad (3)$$

また、アドミタンス定数 $\bar{\mathbf{Y}}_{ij} = G_{ij} + jB_{ij}$ は一般に $\bar{\mathbf{Y}}_{ij} = \bar{\mathbf{Y}}_{ji}$ であるから、全系の有効電力損失 PL は次のようになる。

$$\begin{aligned} PL &= R_i \left\{ \sum_{i=1}^n \hat{S}_i \right\} \\ &= R_i \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |\dot{E}_i| |\dot{E}_j| \varepsilon^{j(\delta_i - \delta_j)} \right. \\ &\quad \left. \times (G_{ij} - j\beta_{ij}) \right\} \\ &= R_i \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |\dot{E}_i| |\dot{E}_j| \{ G_{ij} \right. \\ &\quad \times \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) \} \\ &\quad \left. + j \{ G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - B_{ij} \right. \\ &\quad \left. \times \cos(\delta_i - \delta_j) \} \right\} \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |\dot{E}_i| |\dot{E}_j| G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (4) \end{aligned}$$

ここで、 R_i は実数部を採る操作を、 δ はノードの電圧位相角を表わす。

上式は、全系の有効電力損失が $|\dot{E}|$ および δ の関数として表わされることを示している。

次に、増分送電損失は、ノード電圧の大きさを一定とすると、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial PL}{\partial P_i} &= \frac{\partial PL}{\partial \delta_1} \cdot \frac{\partial \delta_1}{\partial P_i} + \frac{\partial PL}{\partial \delta_2} \cdot \frac{\partial \delta_2}{\partial P_i} + \dots \\ &\quad + \frac{\partial PL}{\partial \delta_n} \cdot \frac{\partial \delta_n}{\partial P_i} \\ &= \left[\frac{\partial PL}{\partial \delta_l} \right] \left[\frac{\partial \delta_l}{\partial P_i} \right] \\ &\quad l=1, 2, \dots, n \quad (5) \end{aligned}$$

上式で $[\partial PL / \partial \delta_l]$ は n 次の行ベクトル、 $[\partial \delta_l / \partial P_i]$ は n 次の列ベクトルである。

いま、電圧の大きさ一定、誘導性が支配的な線路インピーダンスからなる系統を考えると、有効電力変化は電圧位相角の変化によって生ずるから、ノード i の電力 P_i の変化は、もし他のすべてのノード電力に変化がないときは、電圧位相角 δ_i の変化となって現われ、他のすべてのノードの位相角は、余り変化しない傾向を示す（これは、特に放射状系統について言える）。

このことから、増分送電損失を近似的に次式で与えることができる⁽⁴⁾。

$$\frac{\partial PL}{\partial P_i} \approx \frac{\partial PL / \partial \delta_i}{\partial P_i / \partial \delta_i} \quad (6)$$

(3)式および(4)式から

$$\frac{\partial PL}{\partial \delta_i} = -2 \sum_{j=1}^n |\dot{E}_i| |\dot{E}_j| G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} &= \sum_{j=1}^n |\dot{E}_i| |\dot{E}_j| \{ B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) \\ &\quad - G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) \} \quad (8) \end{aligned}$$

となるから、増分送電損失はアドミタンス定数およびノード電圧の大きさ、位相角の関数となるが、ここで、ノード電圧の大きさをすべて単位値に固定すると(7)、(8)式から(6)式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial PL}{\partial P_i} &\approx \frac{-2 \sum_{j=1}^n G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)}{\sum_{j=1}^n \{ B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) - G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) \}} \\ &\quad (9) \end{aligned}$$

一方、DC 法潮流計算は誘導性が支配的なインピーダンスからなる系統において、ノード電圧の大きさを単位値におけることを前提として電圧の位相角を求めることであるから、アドミタンス定数が与えられるなら、(9)式から DC 法によって近似的に増分損失を求めることができる。ここで、(9)式の増分損失を用いた電力潮流の最適解を DC 法近似解と呼ぶことにする。

また、ノード k の有効電力 P_k を P_i で微分すると

$$\left[\frac{\partial P_k}{\partial P_i} \right] = \left[\frac{\partial P_k}{\partial \delta_i} \right] \left[\frac{\partial \delta_i}{\partial P_i} \right]$$

$$l, k=1, 2, 3, \dots, n \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 $[\partial P_k / \partial P_i]$ は n 次の列ベクトル、 $[\partial P_k / \partial \delta_i]$ は $(n \times n)$ の行列である。

(10)式を用いて(5)式は次のようになる。

$$\frac{\partial PL}{\partial P_i} = \left[\frac{\partial PL}{\partial \delta_i} \right] \left[\frac{\partial P_k}{\partial \delta_i} \right]^{-1} \left[\frac{\partial P_k}{\partial P_i} \right] \dots\dots\dots (11)$$

上式で、 $[\]^{-1}$ は逆行列を意味する。特に、ノード電力を DC 法で表わす場合は、(2)式から

$$\left[\frac{\partial P_k}{\partial \delta_i} \right]^{-1} = [B]^{-1} \dots\dots\dots (12)$$

となり、(11)式は簡単化され次のようになる。

$$\frac{\partial PL}{\partial P_i} = \left[\frac{\partial PL}{\partial \delta_i} \right] [B]^{-1} \left[\frac{\partial P_k}{\partial P_i} \right] \dots\dots\dots (13)$$

(11)式または(13)式を用いた電力潮流の最適解を DC 法厳密解と呼ぶことにする。

3. 電力潮流最適化アルゴリズム

第1図に従って、以下に DC 法による最適化のアルゴリズムを示す。

(1) Step 1 この段階では、送電損失および増分送電損失は求められないから、ペナルティ・ファクタ $L=1/(1-\partial PL/\partial P)$ を 1、かつ、 $PL=0$ として付

第1図 計算手順

Fig. 1. Block diagram of computation.

録の協調方程式(付1)を用いて発電機出力(P^{old})を求め、DC 法潮流計算における発電機ノード電力とする。

(2) Step 2 P^{old} を用いて、DC 法により各ノード電圧の位相角および線路電流(ノード i, j 間の電流を I_{ij} とする)を求める。

(3) Step 3 例えば、(9)式を用いて増分送電損失を求める。また、付録Ⅱに示す方法により有効電力損失を求める。

(4) Step 4 (系統負荷+送電損失)を発電機分担負荷として、再び協調方程式から発電機出力(P^{new})を求める。更に、今回の DC 法潮流計算の準備として、次章で示す方法により、各ノード電力の修正を行なう。

(5) Step 5 収束の判定で、適当な十分小さい正の ε に対して $|P^{\text{new}} - P^{\text{old}}| < \varepsilon$ ならば終了。また、 $|P^{\text{new}} - P^{\text{old}}| > \varepsilon$ ならば、 $P' \Rightarrow P^{\text{old}}$ の置換えを行ない、(2)へ戻り、以下同様の計算を繰返す。但し、 P' は次章で示す修正されたノード電力である。

4. ノード電力の修正法

DC 法は、本来、送電損失を考えない潮流計算法であるから、付録Ⅱの方法で求めた送電損失を系統負荷とみなし、これを各ノードに割付け、ノード電力の修正を行なう。すなわち、前章の(4)項における P^{new} を次式によって修正する。

$$P_i' = P_i^{\text{new}} - \sum_{j=1}^n R_{ji} D_{ji} \dots\dots\dots (14)$$

但し、系統負荷は負の発電機として扱い、 R_{ji} は、 j ノードから i ノードへの送電損失を示し、 D_{ji} は次式から定まる定数である。

$$D_{ji} = \begin{cases} 1: \text{ノード } j \text{ から } i \text{ へ電力が流入する場合} \\ 0: \text{ノード } i \text{ から } j \text{ へ電力が流出する場合} \end{cases}$$

つまり、送電損失を負荷とみなし、電力流入のあったノードにのみ、この損失を割付ける(例えば、第2図で(a)図の送電損失 R_{ij} を(b)図のノード j に割付ける)。

ところで(14)式によると、仮に発電機ノードに他のノードからの電力流入がある場合には、発電機ノードからの全流出電力は、発電機出力 P^{new} の合計より小さくなり、その結果、今回の DC 法潮流計算による線路潮流の分布は、全体として小さく見積ることになって好ましくない。

そこで、以下に述べる方法によって、系統内の全線路潮流の和を全発電機出力の合計に等しくする。すなわち、発電機ノードに他ノードからの電力流入が生ず

第 2 図 送電損失の取扱い (負荷ノードへの割付け)

Fig. 2. Treatment of transmission loss.

第 3 図 送電損失の取扱い (発電機ノードの処理)

Fig. 3. Treatment of transmission loss.

るときは、流入電力によって生じた送電損失を「発電機ノードに接続し、かつ、発電機ノードから電力が流出していく負荷ノード」に等しく分配するものとする (第 3 図参照)。

5. モデル系統での試算例

第 4 図および第 1 表に示す、6 ノード、7 ブランチ、3 機系のモデル系統について種々の計算を行なった。なお、系統負荷の分布は第 4 図の % で示した値とし、この割合は種々の負荷に対して一定とする。

〈4・1〉 DC 法による最適化 まず、(9) 式の増分損失を用いた近似解法により、4 種類の負荷に対して電力潮流の最適化を行なった。第 2 表は結果の詳細であり、第 5 図には潮流分布の一例を示す。

第 4 図 モデル系統 (インピーダンス図)

Fig. 4. Model power system.

第 1 表 発電機特性定数

Table 1. Characteristic constants of units.

発電機 No.	燃料費特性 $F = a + bG + cG^2$ (千円/hr)			出力 (MW)	
	a	b	c	Gmax	Gmin
G ₁	15.3	1.17	0.00145	225	80
G ₂	13.7	1.30	0.00163	125	40
G ₃	10.3	1.48	0.00226	75	25

第 2 表 DC 法による最適化 ((9) 式による近似解)

Table 2. Optimization by DC method.

負荷 (MW)	発電機出力 (MW)			送電損失 (MW)	総燃料費 (千円/hr)
	G ₁	G ₂	G ₃		
250	135.115 (135.504)	95.790 (96.187)	29.256 (29.580)	10.160 (11.273)	408.572 (410.344)
300	155.111 (155.584)	116.193 (116.687)	42.763 (43.166)	14.066 (15.432)	496.144 (498.408)
350	175.314 (175.870)	136.969 (137.541)	56.443 (56.899)	18.726 (20.309)	588.358 (591.079)
400	195.752 (196.355)	158.132 (158.768)	70.285 (70.786)	24.168 (25.911)	685.408 (688.513)

注: () は送電損失を交流法潮流計算で算定した場合の値を示す

第 5 図 DC 法による最適化 (潮流分布の一例; 負荷=400MW の場合)

Fig. 5. Optimization by DC method.

なお、第 2 表中 () で示す値は、DC 法による最適化の結果得られた発電機ノード電力に基づいて交流法潮流計算を行ない、正確な送電損失を算定し、この値を DC 法最適化アルゴリズムの送電損失とした場合

第3表 DC法による最適化〔(11)式による厳密解〕

Table 3. Optimization by DC method.

負荷 (MW)	発電機出力 (MW)			送電損失 (MW)	総燃料費 (千円/hr)
	G_1	G_2	G_3		
250	129.873	87.910	41.508	9.291	407.915
300	148.732	106.682	57.483	12.897	495.174
350	167.714	125.686	73.788	17.189	586.964
400	195.196	153.531	75.000	23.728	684.651

第4表 DC法による最適化〔(13)式による厳密解〕

Table 4. Optimization by DC method.

負荷 (MW)	発電機出力 (MW)			送電損失 (MW)	総燃料費 (千円/hr)
	G_1	G_2	G_3		
250	130.447	88.192	40.711	9.350	407.922
300	149.230	107.029	56.701	12.959	495.182
350	168.097	126.113	73.041	17.251	586.974
400	194.993	153.726	75.000	23.720	684.650

第5表 N.R法による最適化

Table 5. Optimization by N.R method.

負荷 (MW)	発電機出力 (MW)			送電損失 (MW)	総燃料費 (千円/hr)
	G_1	G_2	G_3		
250	128.782	88.164	43.234	10.179	409.516
300	147.318	106.943	59.273	13.985	497.251
350	166.780	126.778	75.000	18.558	589.488
400	194.674	155.662	75.000	25.337	687.591

の計算結果である。

次に、(11)式および(13)式を用いたDC法厳密解を、第3表、第4表に示す。

〈4・2〉 ニュートン・ラフソン法による最適化⁽⁵⁾

DC法による計算結果の妥当性を検討する目的で、交流法潮流計算手法である、ニュートン・ラフソン法(N.R法)を用いた最適化手法による厳密解を求めた。第5表に結果の詳細を示す。

〈4・3〉 結果の考察および検討 まず、第2表のDC法近似解と第5表のN.R法の計算結果とを比較してみると、ほぼ等しい送電損失に対して、DC法の方が燃料費が小さく、一見したところ、より協調のとれた結果が得られたように思われるが、N.R法で求めた損失は厳密解であるのに対して、DC法から得られる損失は実際の値より小さく算定されていることに注意しなければならない。このことは第2表中の()の値をみれば明らかであり、DC法では実際の損失より1~1.7MW程度小さく見積っていることがわかる。この結果、DC法において、送電損失を実際の値に直した場合の燃料費はN.R法のそれより若干高

第6表 送電損失を無視した負荷配分

Table 6. Economic dispatch (Transmission losses are neglected).

負荷 (MW)	発電機出力 (MW)			総燃料費 (千円/hr)
	G_1	G_2	G_3	
250	140.179	84.821	25.000	392.209
300	161.373	103.675	34.975	472.654
350	181.127	121.248	47.626	555.985
400	200.881	138.820	60.299	642.180

第7表 ペナルティ・ファクタ (DC法近似解およびN.R法)

Table 7. Penalty factor.

負荷 (MW)	ペナルティ・ファクタ					
	DC法近似解			N.R法		
	G_1	G_2	G_3	G_1	G_2	G_3
250	1.04442 (1.03247)	1.01154 (0.99998)	1.01157 (1.00000)	1.01800 (1.08611)	0.98973 (1.05595)	0.93729 (1.00000)
300	1.05095 (1.03303)	1.01402 (0.99673)	1.01735 (1.00000)	1.02299 (1.09561)	0.99108 (1.06143)	0.93372 (1.00000)
350	1.05780 (1.03379)	1.01655 (0.99347)	1.02323 (1.00000)	1.02763 (1.10726)	0.99186 (1.06872)	0.92808 (1.00000)
400	1.06477 (1.03454)	1.01912 (0.99017)	1.02822 (1.00000)	1.02898 (1.13987)	0.98747 (1.09388)	0.90272 (1.00000)

注：() は G_3 のペナルティ・ファクタを1としたときの相対値

くなっていることから、N.R法の方がより協調のとれたものとなっていることがわかるが、両者の差は僅少であり(率にして0.1~0.2%程度)、DC法による最適化の妥当性は明らかである。

なお、第2表と第5表とでは、出力配分に多少の差異がみられるが、これは次のように説明される。

第6表の送電損失を無視した場合の出力配分結果を基礎にして、第7表のDC法近似解とN.R法におけるペナルティ・ファクタ(L)の値を検討すると、まず、DC法およびN.R法では、共に G_1 の L が特に大きく、送電損失を無視した場合に比べて G_1 の出力が低下する原因となっている。また、DC法では G_2 の L が最も小さいのに対して、N.R法では G_3 の L が最小となり、それが、第2表では G_2 の出力を第5表では G_3 の出力を相対的に大きくする結果となっている。

次に、第3表と第4表のDC法厳密解を見ると、燃料費および送電損失においてDC法近似解より良好な結果が得られ、かつ、出力配分パターンは、ほぼN.R法に等しいことがわかる。また、第3表と第4表とを比較してみると、出力配分においてはほとんど差異はなく、送電損失および燃料費もほぼ一致しており、この傾向は第8表に示すペナルティ・ファクタの結果にもみられる。

更に、ペナルティ・ファクタの相対値は、DC法厳

第 8 表 ペナルティ・ファクタ (DC 法厳密解)

Table 8. Penalty factor.

負 荷 (MV)	(11)式による DC 法厳密解			(13)式による DC 法厳密解		
	G_1	G_2	G_3	G_1	G_2	G_3
250	1.11281 (1.07822)	1.08479 (1.05107)	1.03208 (1.00000)	1.10597 (1.07473)	1.07866 (1.04819)	1.02907 (1.00000)
300	1.13354 (1.09647)	1.10159 (1.05585)	1.04332 (1.00000)	1.12602 (1.08329)	1.09451 (1.05298)	1.03944 (1.00000)
350	1.15509 (1.09487)	1.11904 (1.06070)	1.05500 (1.00000)	1.14697 (1.09210)	1.11101 (1.05786)	1.05024 (1.00000)
400	1.18642 (1.12054)	1.14396 (1.08044)	1.05879 (1.00000)	1.17719 (1.11706)	1.13428 (1.07634)	1.05283 (1.00000)

注: () は G_3 のペナルティ・ファクタを 1 としたときの相対値

第 9 表 計算時間の比較

Table 9. Comparison of computing time.

	計算時間 [cpa time (s)]			
	250MW	300MW	350MW	400MW
DC 法近似解	0.3	0.3	0.3	0.3
DC 法厳密解 (11) 式	0.4	0.4	0.4	0.4
DC 法厳密解 (13) 式	0.4	0.4	0.4	0.4
N.R. 法	1.3	1.7	1.2	1.2

密解と N.R. 法との結果がほぼ一致しており, 以上の点から, DC 法厳密解は燃料費と送電損失の協調の面で, N.R. 法とほぼ同程度, かつ, DC 法近似解より優れていることがわかる。

最後に, 計算時間についてみると, 第 9 表に示すように, DC 法近似解法, DC 法厳密解法, N.R. 法の順に計算時間が短く, また, DC 法は N.R. 法の約 1/3 ~ 1/5 の値であり, DC 法の高速度性が示されている。なお, 計算機は, 北海道大学大形計算機センタの FA-COM 230-75 を使用した。

6. む す び

電力系統のオンライン制御において, 潮流計算を DC 法で行なう場合を想定し, 経済性の追求を目的とした電力潮流の最適化手法について論じた。

すなわち, DC 法潮流計算で得られるノード電圧の位相角, 線路電流を用いて増分送電損失を算定し, 経済負荷配分を行ない, かつ, 送電損失を負荷ノードに割付ける最適化アルゴリズムとその適用例を示し, 同時にニュートン・ラフソン法による厳密解との比較検討を行ない, その妥当性を示した。

DC 法による増分送電損失の算定法として, 近似解法と厳密解法について述べ, 燃料費と送電損失の協調の面からは厳密解法が, また, 計算の単純さおよび計

算時間の面からは近似解法が優れていることを具体的に示した。

現実の系統運用において, いずれの方法を用いるべきかは, 対象となる系統の規模や構成, 更に要求される計算精度, 計算時間に応じて決められるべきものとする。

終りに, 絶えず御指導と御支援を頂く, 北海道大学工学部長 小池東一郎教授に深謝申し上げます。

また, 計算にあたって協力して頂いた本学電気工学科の中村陽一氏に厚くお礼申し上げます。

(昭和 51 年 8 月 24 日受付, 同 52 年 2 月 21 日再受付)

文 献

- (1) 関根: 電力系統解析理論 (昭 46) 電気書院
- (2) 給電専門委員会: 電学技報 II, 8 (昭 45)
- (3) 深尾・豊田: 電力系統へのコンピュータの応用 (昭 47) 産業図書
- (4) J. R. Tudor: AIEE Trans. Power Apparatus Syst. PAS-82, 676 (1963)
- (5) H. H. Happ: IEEE Trans. Power Apparatus Syst. PAS-92, 820 (1973)
- (6) 給電専門委員会: 電力系統の信頼度制御 (昭 47)
- (7) L. K. Kirchmayer: Economic Operation of Power System (Wiley) (1958)

付 録

(1) 協調方程式

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda \left(1 - \frac{\partial PL}{\partial P_i} \right) \quad i=1, 2, \dots, N$$

.....(付 1)

ここで, F は燃料費, P は出力, PL は送電損失であり, λ はラグランジュの未定乗数である。添字 i は発電機番号を示す。

(2) 有効電力損失の算定 DC 法潮流計算から求めた線路電流 I_{ij} は, 交流法潮流計算から求まる線路電流と大差ないと考えられるから, 抵抗分も考慮した線路インピーダンスにも I_{ij} が流れるものとして, R_{ij} を I_{ij} と抵抗 r_{ij} による, ノード i, j 間の有効電力損失とし, 次式から求め

$$R_{ij} = I_{ij}^2 r_{ij} \quad \text{.....(付 2)}$$

$R_{ij} = R_{ji}$, $R_{ii} = 0$ の関係を考慮すると, 近似的に次式から全系の送電損失を求めることができる。

$$PL = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} / 2 \quad \text{.....(付 3)}$$