ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXX, № 3, 1977 Серия технических наук

ЭНЕРГЕТИКА

М. А. БАЛАБЕКЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПРИРОСТОВ ПОТЕРЬ В СЕТЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМ МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ

При решении задачи по наивыгоднейшему распределению активных нагрузок между станциями энергосистем приходится определять относительные приросты потерь всех источников активной и реактивной мощностей, т. е. частные производные от суммарных потерь мощностей в сетях энергосистемы по мощностям соответствующего источника.

Задачу расчета относительных приростов потерь можно рассматривать как определенный этап расчета оптимальных установившихся режимов. Для расчета частных производных в уравнениях оптимальных режимов энергосистем применяются несколько методов. Получить точные выражения удельных приростов потерь затруднительно, так как при изменении какой-либо узловой мощности (активной или реактивной) изменяются значения модулей и фазовых углов всех напряжений, кроме базисного. Поэтому практически обычно пользуются приближенными формулами для удельных приростов потерь. Одним из таких методов является применение, так называемых, B-коэффициентов формулы потерь для расчета вышеуказанных частных производных [1]. Как известно, метод B-коэффициентов определения относительных приростов потерь основывается на следующих допущениях:

а) при изменении режимов модули и аргументы во всех узлах остаются неизменными;

б) отношение реактивных и активных мощностей во всех узлах при изменении режимов остается неизменным;

в) при изменении режимов каждая нагрузка является фиксированной долей общей нагрузки системы.

В [2; 3; 4] были предложены более усовершенствованные методы расчета относительных приростов потерь, однако эти методы также не обеспечивают требуемой точности при расчете оптимальных режимов больших энергосистем. В [5; 7] получены аналитические выражения для определения относительных приростов потерь, которые позволяют учитывать любые факторы, влияющие на режим данной энергосистемы. Здесь определение частных производных типа $\frac{\partial U_k}{\partial P_m}$, $\frac{\partial Q_n}{\partial P_m}$, $\frac{\partial \psi_j}{\partial P_m}$ сводится к обращению матриц порядка $2M$ (M—число узлов энергосистемы). Для больших энергосистем практическое применение этого метода стало почти невозможным, потому что метод требовал большой оперативной памяти вычислительной машины и много машинного времени вычисления. Применение предлагаемого метода определения указанных частных производных для больших энергосистем стало возможным благодаря принципиально новому подходу—представлению больших систем как совокупности радиально связанных оптимальных подсистем [6]. Этот метод позволяет при установлении численных значений вышеуказанных частных производных взамен обращения одной матрицы высшего порядка рассмотреть обращение ряда матриц несравненно низших порядков. Порядок отдельных подматриц характеризуется числом узлов соответствующих подсистем. Несмотря на то, что в этом методе обращается матрица низшего порядка, этот процесс неизбежен. А обращение матрицы при расчетах электрических режимов (установившихся и оптимальных), как известно, занимает основное машинное время вычисления.

Полученные аналитические выражения, для определения частных производных от потерь активных мощностей по мощностям станционных узлов, вводятся в общую систему уравнений оптимальных режимов больших энергосистем. Уравнения оптимальных режимов энергетических систем являются нелинейными и решаются методом итерации. Исследования показывают, что во многих случаях целесообразно в начальных итерациях пользоваться упрощенными выражениями частных производных, в которых нет обращения матриц.

В связи с этим, целью настоящей статьи является предложение более упрощенной формулы, которая может быть использована при организации первой стадии решения нелинейных алгебраических уравнений оптимальных режимов методом подсистемы. Упрощенную формулу частных производных можно использовать также и в других расчетах, не требующих большой точности.

В статье принимается следующая система индексов: для станционных узлов $m = 0,1,2,...,$ г, где г—число станционных узлов с неизвестными узловыми мощностями. Узел с нулевым индексом имеет зависимые узловые мощности и выбирается как базисный.

Для произвольных узлов, включающих в себя как станционные так и нагрузочные узлы, выбирается $i = 1, 2, \dots,$ г, г$+1, \dots,$ г$+$н$=$м,

где н—число нагрузочных узлов; м—число общих узлов в исследуемой энергосистеме, за исключением базисного.

Когда большая электроэнергетическая система представляется как совокупность радиально связанных подсистем, то потери мощностей каждой подсистемы определяются [6] так:

$$\Pi_{a_1} + j\Pi_{p_1} = \sum_{i_1=1}^{м_1}\sum_{j_1=1}^{м_1} \dot{I}_{i_1} Z_{i_1 j_1} \hat{I}_{j_1} + \sum_{j_1=1}^{м_1} \hat{U}_{0j_1} \hat{I}_{j_1},$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad (1)$$

$$\Pi_{a_N} + j\Pi_{p_N} = \sum_{i_N=1}^{м_N}\sum_{j_N=1}^{м_N} \dot{I}_{i_N} Z_{i_N j_N} \hat{I}_{j_N} + \sum_{j_N=1}^{м_N} \hat{U}_{0j_N} \hat{I}_{j_N},$$

где $м_1$ — число узлов первой подсистемы; $м_N$ — число узлов N-ой подсистемы; N — число подсистем.

Математическая модель потери мощности отдельных подсистем построена с учетом влияния прочих подсистем на данную подсистему. Эти влияния изучаются с помощью, так называемой, расчетной Z-матрицы и $\dot{U}_{б_i}$ $(\dot{U}_{0_i})$. Действительно, расчетная Z-матрица позволяет нелинейное алгебраическое уравнение установившегося режима большой электрической системы точно воспроизвести совокупностью систем нелинейных алгебраических уравнений установившихся режимов отдельных подсистем, а $\dot{U}_{б_i}(\dot{U}_{0_i})$ является реакцией остальных подсистем на данную подсистему.

Однако, при построении формулы частных производных потерь от активных мощностей станционных узлов, предполагается, что приращение активных мощностей в рассматриваемой подсистеме ведет к изменению других параметров только в этой подсистеме.

Из (1) представим выражения потерь активных мощностей отдельных подсистем следующим образом:

$$\Pi_{a_1} = \sum_{i_1=1}^{м_1}\sum_{i_1=1}^{м_1} R_{i_1 j_1}(I_{a_{i_1}} I_{a_{j_1}} + I_{p_{i_1}} I_{p_{j_1}}) + \sum_{j_1=1}^{м_1} U_{a_{j_1}} I_{a_{j_1}} - U_{0p_{j_1}} I_{p_{j_1}},$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad (2)$$

$$\Pi_{a_N} = \sum_{i_N=1}^{м_N}\sum_{j_N=1}^{м_N} R_{i_N j_N}(I_{a_{i_N}} I_{a_{j_N}} + I_{p_{i_N}} I_{p_{j_N}}) + \sum_{j_N=1}^{м_N} U_{0j_N} I_{a_{j_N}} - U_{0p_{j_N}} I_{p_{j_N}},$$

где I_{a_1} — активная составляющая узлового тока для I подсистемы;
I_{p_1} — реактивная составляющая узлового тока для I подсистемы;
I_{a_N} — активная составляющая узлового тока для N-ой подсистемы;
I_{p_N} — реактивная составляющая узлового тока для N-ой подсистемы.

Из выражения (2) нетрудно заметить, что потери активных мощностей отдельных подсистем являются функциями от составляющих узловых токов соответствующих подсистем. Поэтому их можно представить как:

$$\begin{aligned} &\Pi_{a_1} = \Pi_{a_1}(I_{a_{i_1}}, I_{p_{i_1}}) \qquad i_1 = 1, 2, \ldots, м_1, \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\Pi_{a_N} = \Pi_{a_N}(I_{a_{i_N}}, I_{p_{i_N}}) \qquad i_N = 1, 2, \ldots, м_N. \end{aligned} \tag{3}$$

Активные и реактивные составляющие узловых токов отдельных подсистем определяются как:

$$\begin{aligned} &I_{a_{i_1}} = \frac{P_{i_1}}{U_{i_1}} \cos \psi_{i_1} + \frac{Q_{i_1}}{U_{i_1}} \sin \psi_{i_1}, \\ &I_{p_{i_1}} = \frac{P_{i_1}}{U_{i_1}} \sin \psi_{i_1} - \frac{Q_{i_1}}{U_{i_1}} \cos \psi_{i_1}, \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &I_{a_{i_N}} = \frac{P_{i_N}}{U_{i_N}} \cos \psi_{i_N} + \frac{Q_{i_N}}{U_{i_N}} \sin \psi_{i_N}, \\ &I_{p_{i_N}} = \frac{P_{i_N}}{U_{i_N}} \sin \psi_{i_N} - \frac{Q_{i_N}}{U_{i_N}} \cos \psi_{i_N}. \end{aligned} \tag{4}$$

Если принять заданными активные и реактивные мощности, то выражения (4) в неявном виде можно представить как:

$$\begin{aligned} &I_{a_{i_1}} = I_{a_{i_1}}(U_1, \ldots, U_{м_1}, \psi_1, \ldots, \psi_{м_1}), \\ &I_{p_{i_1}} = I_{p_{i_1}}(U_1, \ldots, U_{м_1}, \psi_1, \ldots, \psi_{м_1}) \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &I_{a_{i_N}} = I_{a_{i_N}}(U_1, \ldots, U_{м_N}, \psi_1, \ldots, \psi_{м_N}), \\ &I_{p_{i_N}} = I_{p_{i_N}}(U_1, \ldots, U_{м_N}, \psi_1, \ldots, \psi_{м_N}). \end{aligned} \tag{5}$$

Из уравнений узловых напряжений

$$\begin{aligned} &\dot U_{i_1} = \dot U_{б_{i_1}} + \sum_{j_1=1}^{м_1} Z_{i_1 j_1} \dot I_{j_1}, \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\dot U_{i_N} = \dot U_{б_{i_N}} + \sum_{j_N=1}^{м_N} Z_{i_N j_N} \dot I_{j_N}, \end{aligned} \tag{6}$$

нетрудно получить:

$$U_{i_1}=\frac{U_{\text{ба}_{i_1}}}{\cos\psi_{i_1}}+\sum_{j_1=1}^{м_1}[(R_{i_1j_1}P_{j_1}+X_{i_1j_1}Q_{j_1})\frac{\cos\psi_{j_1}}{U_{j_1}\cos\psi_{i_1}}-$$

$$-(X_{i_1j_1}P_{j_1}-R_{i_1j_1}Q_{j_1})\frac{\sin\psi_{j_1}}{U_{j_1}\cos\psi_{i_1}},$$

$$\sin\psi_{i_1}=\frac{U_{\text{бр}_{i_1}}}{U_{i_1}}+\sum_{j_1=1}^{м_1}[(R_{i_1j_1}P_{j_1}+X_{i_1j_1}Q_{j_1})\frac{\sin\psi_{j_1}}{U_{i_1}U_{j_1}}+$$

$$+(X_{i_1j_1}P_{j_1}-R_{i_1j_1}Q_{j_1})\frac{\cos\psi_{j_1}}{U_{i_1}U_{j_1}},$$

. . . .

. . . . (7)

$$U_{i_N}=\frac{U_{\text{ба}_{i_N}}}{\cos\psi_{i_N}}+\sum_{j_N=1}^{м_N}[(R_{i_Nj_N}P_{j_N}+X_{i_Nj_N}Q_{j_N}\frac{\cos\psi_{j_N}}{U_{j_N}\cos\psi_{i_N}}-$$

$$-(X_{i_Nj_N}P_{j_N}-R_{i_Nj_N}Q_{j_N})\frac{\sin\psi_{i_N}}{U_{j_N}\cos\psi_{i_N}},$$

$$\sin\psi_{i_N}=\frac{U_{\text{бр}_{i_N}}}{U_{i_N}}+\sum_{j_N=1}^{м_N}[(R_{i_Nj_N}P_{j_N}+X_{i_Nj_N}Q_{j_N})\frac{\sin\psi_{j_N}}{U_{i_N}U_{j_N}}+$$

$$+(X_{i_Nj_N}P_{j_N}-R_{i_Nj_N}Q_{j_N})\frac{\cos\psi_{j_N}}{U_{i_N}U_{j_N}}.$$

При таких значениях потерь активных мощностей (3) и токов отдельных подсистем (5) частные производные от потерь активных мощностей по мощностям станционных узлов соответствующих подсистем можно представить в следующем виде:

$$\frac{\partial\Pi_{\text{а}_1}}{\partial P_{m_1}}=\frac{\partial\Pi_{\text{а}_1}}{\partial I_{\text{а}_{m_1}}}\cdot\frac{\partial I_{\text{а}_{m_1}}}{\partial P_{m_1}}+\frac{\partial\Pi_{\text{а}_1}}{\partial I_{\text{р}_{m_1}}}\cdot\frac{\partial I_{\text{р}_{m_1}}}{\partial P_{m_1}}+\sum_{i_1=1}^{м_1}\left(\frac{\partial\Pi_{\text{а}_1}}{\partial I_{\text{а}_{i_1}}}\cdot\frac{\partial I_{\text{а}_{i_1}}}{\partial U_{i_1}}\cdot\frac{\partial U_{i_1}}{\partial P_{m_1}}+\right.$$

$$\left.+\frac{\partial\Pi_{\text{а}_1}}{\partial I_{\text{а}_{i_1}}}\cdot\frac{\partial I_{\text{а}_{i_1}}}{\partial\psi_{i_1}}\cdot\frac{\partial\psi_{i_1}}{\partial P_{m_1}}\right)+\sum_{i_1=1}^{м_1}\left(\frac{\partial\Pi_{\text{а}_1}}{\partial I_{\text{р}_{i_1}}}\cdot\frac{\partial I_{\text{р}_{i_1}}}{\partial U_{i_1}}\cdot\frac{\partial U_{i_1}}{\partial P_{m_1}}+\frac{\partial\Pi_{\text{а}_1}}{\partial I_{\text{р}_{i_1}}}\cdot\frac{\partial I_{\text{р}_{i_1}}}{\partial\psi_{i_1}}\cdot\frac{\partial\psi_{i_1}}{\partial P_{m_1}}\right),$$

. . . .

. . . . (8)

$$\frac{\partial\Pi_{\text{а}_N}}{\partial P_{m_N}}=\frac{\partial\Pi_{\text{а}_N}}{\partial I_{\text{а}_{m_N}}}\cdot\frac{\partial I_{\text{а}_{m_N}}}{\partial P_{m_N}}+\frac{\partial\Pi_{\text{а}_1}}{\partial I_{\text{р}_{m_N}}}\cdot\frac{\partial I_{\text{р}_{m_N}}}{\partial P_{m_N}}+\sum_{i_N=1}^{м_N}\left(\frac{\partial\Pi_{\text{р}_N}}{\partial I_{\text{а}_{i_N}}}\cdot\frac{\partial I_{\text{а}_{i_N}}}{\partial U_{i_N}}\cdot\frac{\partial U_{i_N}}{\partial P_{m_N}}+\right.$$

$$+\frac{\partial \Pi_{a_N}}{\partial I_{a_{i_N}}}\cdot\frac{\partial I_{a_{i_N}}}{\partial \psi_{i_N}}\cdot\frac{\partial \psi_{i_N}}{\partial P_{m_N}}\Bigg)+\sum_{i_N=1}^{M_N}\left(\frac{\partial \Pi_{a_N}}{\partial I_{p_{i_N}}}\cdot\frac{\partial I_{p_{i_N}}}{\partial U_{i_N}}\cdot\frac{\partial U_{i_N}}{\partial P_{m_N}}+\frac{\partial \Pi_{a_N}}{\partial I_{p_{i_N}}}\cdot\frac{\partial I_{p_{i_N}}}{\partial \psi_{i_N}}\cdot\frac{\partial \psi_{i_N}}{\partial P_{m_N}}\right).$$

Формулы для нахождения частных производных, входящих в выражение (6), приведены в приложении I, а пример расчета относительных приростов потерь предложенным способом—в приложении II.

Нами проведен еще один эксперимент: оптимизированы режимы электрических систем, состоящих из 10; 25 и 51 узлов, используя частные производные, приведенные в [6]. Пользуясь упрощенной формулой частных производных, получились почти одинаковые параметры режима, по сравнению с предыдущими вариантами, сэкономив при этом 10÷12% машинного времени. Предполагается более ощутимый выигрыш во времени при расчете оптимальных режимов бо́льших электрических систем.

В ы в о д: в работе дается упрощенная формула для определения частных производных активных потерь по активным мощностям станционных узлов для схем замещения любой размерности с любыми рабочими режимами.

П р и л о ж е н и е I

Из выражения (2) можно получить*:

$$\frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial I_{a_{m_1}}}=2\sum_{i_1=1}^{M_1} R_{m_1 i_1} I_{a_{i_1}}+U_{0a_{m_1}};$$

$$\frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial I_{p_{m_1}}}=2\sum_{i_1=1}^{M_1} R_{m_1 i_1} I_{p_{i_1}}-U_{0p_{m_1}}.$$

Если принять заданными активные и реактивные мощности узлов, то из (4) получим:

$$\frac{\partial I_{a_{i_1}}}{\partial U_{i_1}}=-\frac{P_{i_1}\cos\psi_{i_1}+Q_{i_1}\sin\psi_{i_1}}{U_{i_1}^2};$$

$$\frac{\partial I_{p_{i_1}}}{\partial U_{i_1}}=-\frac{P_{i_1}\sin\psi_{i_1}-Q_{i_1}\cos\psi_{i_1}}{U_{i_1}^2};$$

$$\frac{\partial I_{a_{i_1}}}{\partial \psi_{i_1}}=\frac{-P_{i_1}\sin\psi_{i_1}+Q_{i_1}\cos\psi_{i_1}}{U_{i_1}};$$

$$\frac{\partial I_{p_{i_1}}}{\partial \psi_{i_1}}=\frac{P_{i_1}\cos\psi_{i_1}+Q_{i_1}\sin\psi_{i_1}}{U_{i_1}}.$$

---

* Здесь даются формулы только для первой подсистемы. Для остальных подсистем формулы аналогичны.

Так как ψ_{i_1} малые углы, то можно принять $\sin\psi_{i_1} \approx \psi_{i_1}$. Тогда из (7) получим:

$$\frac{\partial U_{i_1}}{\partial P_{m_1}} = \frac{R_{i_1 m_1}\cos\psi_{m_1} - X_{i_1 m_1}\sin\psi_{m_1}}{U_{m_1}\cos\psi_{i_1}};$$

$$\frac{\partial\psi_{i_1}}{\partial P_{m_1}} = \frac{R_{i_1 m_1}\sin\psi_{m_1} + X_{i_1 m_1}\cos\psi_{m_1}}{U_{i_1} U_{m_1}}.$$

Приложение II

Пример расчета. Для иллюстрации предложенного метода рассмотрим схему замещения одной энергосистемы, состоящей из десяти узловых точек [6]. Данная энергосистема разделена на три радиально связанные подсистемы. К узлам 0, 2, 5, 7, 9 этой схемы подключены генераторы, а к узлам 1, 3, 4, 6, 8 — нагрузки. В качестве базисного узла выбран генерирующий узел 0, в котором поддерживается постоянное напряжение $\dot{U}_б = 220$ *кВ*. Для заданной схемы замещения рассматривается сетевой режим, приведенный в табл. 1.

Таблица 1

Узлы	Параметры			
	P, МВт	*Q, Мвар*	*U, кВ*	*ψ, град*
0	150,2	89,9	220,0	0°
1	−110,0	−50,0	210,0	−1° 40′
2	106,0	92,5	215,0	−0° 50′
3	− 60,0	−28,0	211,8	−1° 30′
4	−104,0	−51,0	208,6	−1° 55′
5	85,0	−71,1	210,2	−0° 14′
6	−100,0	−48,0	208,1	−2° 9′
7	60,0	136,7	215,1	−2° 27′
8	− 94,0	−45,0	210,0	−2° 41′
9	80,0	− 5,8	212,1	−1° 23′

Численные значения расчетной Z-матрицы $\dot{U}_{0_j}$ и $\dot{U}_{б_j}$ отдельных подсистем приводятся в [6]. Для данного режима определяются значения узловых комплексных токов отдельных подсистем:

$$\begin{bmatrix}\dot{I}_1\\ \dot{I}_2\\ \dot{I}_3\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-0{,}5164 + j0{,}2520\\ 0{,}4870 - j0{,}4367\\ -0{,}2798 + j0{,}1394\end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix}\dot{I}_4\\ \dot{I}_5\\ \dot{I}_6\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-0{,}4900 + j0{,}2607\\ 0{,}4055 + j0{,}3374\\ -0{,}4719 + j0{,}2475\end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix}\dot{I}_7\\ \dot{I}_8\\ \dot{I}_9\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0{,}2515 - j0{,}6467\\ -0{,}4371 + j0{,}2350\\ 0{,}3778 + j0{,}0182\end{bmatrix}.$$

После расчета частных производных, на основании выражения (5), устанавливаем их значения для отдельных подсистем:

$$\frac{\partial \Pi_{э_1}}{\partial P_2} = -0{,}05275; \qquad \frac{\partial \Pi_{э_2}}{\partial P_5} = 0{,}03685; \qquad \frac{\partial \Pi_{э_3}}{\partial P_7} = -0{,}07312;$$

$$\frac{\partial \Pi_{э_3}}{\partial P_9} = -0{,}07152.$$

На основании предложенной формулы расчета относительных приростов потерь составлены программы на языке «Фортран-4» для ЭВМ «Урал-14Д», позволяющие определить численные значения искомых частных производных для схем замещения любой сложности.

Таблица 2

Режимы	Число независимых узлов в системе	Число подсистем	Число узлов на каждой подсистеме	Число генерирующих узлов на каждой подсистеме	Точные значения частных производных, подсчитанные по методу [6]	Значения частных производных по предложенной упрощенной формуле
1	9	3	3	1	—0,0540	—0,0527
			3	1	0,0410	0,0369
			3	2	—0,0748	—0,0731
					—0,0759	—0,0715
2	25	2	13	2	0,0820	0,0800
					0,2008	0,1901
			12	3	0,1360	0,1412
					0,0891	0,0862
					0,1067	0,0996

Сравнение результатов, приведенных в табл. 2 показывают, что полученные на основании предложенного упрощенного метода численные значения частных производных близки к результатам, полученным по методу [6].

АрмНИИЭ

Поступило 10.V.1976

Մ. Ա. ԲԱԼԱԲԵԿՅԱՆ

ԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՀԱՐԱԲԵՐԱԿԱՆ ԱՃԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԴԵԿՈՄՊՈԶԻՑԻԱՅԻ ՄԵԹՈԴՈՎ

Ամփոփում

Հոդվածում առաջարկվում է էլեկտրական ցանցերում հարաբերական աճերի որոշման պարզեցված բանաձև, երբ էներգահամակարգը բաժանված է շառավղորեն կապված ենթասխեմաների բազմության։

Զարգացված բանաձևը կարելի է հաջողությամբ օգտագործել էներգահամակարգի օպտիմալ ռեժիմների ոչ-գծային հանրահաշվական հավասարումների սիստեմի լուծման առաջին էտապը կազմակերպելու համար, ինչպես նաև էներգահամակարգի օպտիմալ ռեժիմների որոշման հաշվարկներում, երբ խնդիրը չի պահանջում մեծ ճշտություն։

ЛИТЕРАТУРА

1. *George E. E.* Intrasystem transmission losses. IEEE Trans. Vol. 62, March 1943.
2. *Kirchmayer L. K., Happ H. H., Stagg G. W., Hohenstein V. F.* Direct calculation of transmission loss formula. IEEE Trans. Power Appar. and systems. 1960, № 51.
3. *Адонц Г. Т.* К методу расчета потерь мощности в электрических сетях энергосистемы. «Электричество», 1962, № 11.
4. *Watson R. E., Stadein W. O.* The calculation of incremental transmission losses and the general transmission loss equation. Power Appar. and systems. 1959, № 41.
5. *Хачатрян В. С.* К вопросу об определении производных от потерь по активным мощностям. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», 1963, № 6.
6. *Хачатрян В. С.* Метод определения относительных приростов потерь в сетях больших электрических систем. Известия АН СССР. «Энергетика и транспорт», 1974, № 5.
7. *Хачатрян В. С.* К вопросу об определении производных от потерь активной и реактивной мощностей по активным мощностям стационарных узлов. Известия АН СССР, «Энергетика и транспорт», 1970, № 2.
8. *Фазылов Х. Ф., Юлдашев Х.* Об определении производных потерь в сетях электрических систем. «Известия АН УзбССР (серия Т. Н.)», 1970, № 4.