

В. С. ХАЧАТРЯН

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В СЕТЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ*

1. Методика расчета потерь и производных от потерь

Расчеты потерь мощности в высоковольтных сетях энергосистем и связанные с ними задачи по определению сетевых коэффициентов приобретают большое практическое значение для построения наилучших режимов современных сложных энергосистем. Сетевые коэффициенты входят в общезвестные выражения относительного прироста суммарных потерь активной мощности, имеющие следующий вид:

$$\frac{\partial \pi}{\partial P_m} = 2 \sum_{n=1}^{\Gamma} B_{mn} P_n, \quad (1)$$

где π — сумма потерь активной мощности в сетях энергосистемы;

P_m — активная мощность m -ой станции энергосистемы;

B_{mn} — сетевые коэффициенты, определяемые видом электрической связи между m -ой и n -ой станциями энергосистемы.

Выражение (1) получается дифференцированием «формулы потерь» (2), выведенной в приложении:

$$\pi = \sum_{m=1}^{\Gamma} \sum_{n=1}^{\Gamma} P_m B_{mn} P_n, \quad (2)$$

где m, n — индексы станций системы.

Здесь двойное суммирование по m и n распространяется на все генерирующие станции. Коэффициент B_{mn} , используемый в этой формуле, называется также коэффициентом формулы потерь. Количество сетевых коэффициентов, входящих в формулу (2), равно

$$\mu = \frac{\Gamma(\Gamma+1)}{2}, \quad (3)$$

где Γ — число генерирующих станций энергосистемы.

Целью настоящей статьи является разработка методики определения потерь в сетях энергосистемы и сетевых коэффициентов B_{mn}

* Работа проводилась в Институте энергетики АН Армянской ССР под руководством проф. Г. Т. Адосяна.

для заданной конфигурации энергосистемы, предусматривающей использование для этой цели модели сетей переменного тока.

II. Методика расчета сетевых коэффициентов

Ниже указана последовательность вычисления сетевых коэффициентов.

Собственные и взаимные сопротивления. В формулу сетевых коэффициентов входят собственные и взаимные активные сопротивления, которые являются постоянными параметрами пассивного многополюсника (рис. 1). До определения собственных и взаимных сопротивлений необходимо разомкнуть все генераторы, нагрузки, синхронные компенсаторы и емкости линии и затем выбрать базисный узел, в качестве которого можно принять шину одной из мощных электростанций. Для большей точности рекомендуется вычислить собственные и взаимные сопротивления аналитическим путем. После этого составляются матрицы сопротивлений отдельно для генераторных узлов (R_{m-n}) и

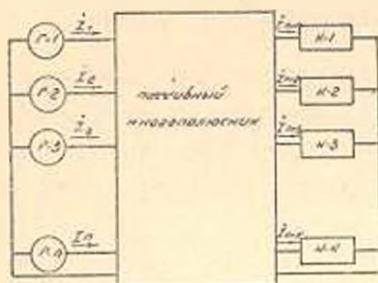


Рис. 1. Изображение энергосистемы в виде многополюсника.

отдельно для узлов между генераторами и нагрузками (R_{m-k}).

Определение R_m

Величина R_m определяется по формуле

$$R_m = \frac{\sum_{k=1}^n P_k R_{m-k}}{\sum_{k=1}^n P_k} \quad (4)$$

где P_k — мощности нагрузок в $мгвт$;

R_{m-k} — активные взаимные сопротивления между узлами генераторов (индекс m) и нагрузок (индекс k).

Здесь приняты следующие индексы:

$m = 1, 2, 3 \dots \Gamma$ — индекс генераторного узла схемы;

Γ — число генераторных станций;

$k = 1, 2, 3 \dots H$ — индекс нагрузочного узла схемы;

H — число нагрузок.

Коэффициент K_{mn}

Коэффициент K_{mn} вычисляется по формуле

$$K_{mn} = [(1 + \operatorname{tg}\varphi_m \cdot \operatorname{tg}\varphi_n) \cos\theta_{mn} + (\operatorname{tg}\varphi_m - \operatorname{tg}\varphi_n) \sin\theta_{mn}] \cdot \frac{1}{U_n U_m} \quad (5)$$

где U_m, U_n — напряжения на генераторных шинах m и n ;
 $\Theta_{mn} = \psi_{um} - \psi_{un}$ — фазовый сдвиг между напряжениями шин m и n ;
 $tg\varphi_m = Q_m/P_m$ — отношения реактивных и активных мощностей генерирующих станций.

K_{mn} , а следовательно и сетевой коэффициент B_{mn} очень чувствительны в отношении величины $tg\varphi_m$.

Коэффициент A_{mn}

Величина A_{mn} , входящая в формулу сетевых коэффициентов, определяется по выражению

$$A_{mn} = (R_{m-n} - R_m - R_n) K_{mn}, \quad (6)$$

где R_{m-n} — активные собственные и взаимные сопротивления между генераторными узлами.

Коэффициент R

Величина R определяется посредством эквивалентирования потерь, определяемых по формуле (2) и посредством суммирования потерь $I_i^2 R_i$ отдельных линий электропередач. Ток I_i , протекающий по отдельным линиям, измеряется при установлении соответствующего режима на модели сетей переменного тока.

Условие эквивалентирования потерь можно выразить с помощью уравнения

$$\sum_{i=1}^b I_i^2 R_i = \sum_{m=1}^{\Gamma} \sum_{n=1}^{\Gamma} P_m B_{mn} P_n, \quad (7)$$

где b — число ветвей энергосистемы.

Преобразование уравнения (7) дает:

$$\sum_{i=1}^b I_i^2 R_i = \sum_{m=1}^{\Gamma} \sum_{n=1}^{\Gamma} P_m A_{mn} P_n + R \sum_{m=1}^{\Gamma} \sum_{n=1}^{\Gamma} P_m K_{mn} P_n, \quad (8)$$

откуда

$$R = \frac{\sum_{i=1}^b I_i^2 R_i - \sum_{m=1}^{\Gamma} \sum_{n=1}^{\Gamma} P_m A_{mn} P_n}{\sum_{m=1}^{\Gamma} \sum_{n=1}^{\Gamma} P_m K_{mn} P_n}. \quad (9)$$

Определение сетевых коэффициентов

Сетевой коэффициент или коэффициент формулы потерь в общем виде определяется следующим образом:

$$B_{mn} = \frac{R_{mn}}{U_m U_n} [(1 + tg\varphi_m \cdot tg\varphi_n) \cos \Theta_{mn} + (tg\varphi_m - tg\varphi_n) \sin \Theta_{mn}], \quad (10)$$

$$\text{где } R_{mn} = (R_m - r - R_n + R). \quad (11)$$

Из выражения (10) видно, что сетевой коэффициент является функцией четырех переменных величин, определенных на модели сетей переменного тока:

$$B_{mn} = B_{mn}(P, Q, U, \varphi_n). \quad (12)$$

В зарубежной литературе сетевые коэффициенты B_{mn} принимаются строго постоянными при любых режимах работы данной энергосистемы. Это облегчает исследование энергосистемы за счет точности расчета. Как показано в (12), эти коэффициенты являются функциями P, Q, U и φ_n . Аргументы P, Q, U, φ_n изменяются при изменении режима работы энергосистемы. Следовательно, должны измениться и сетевые коэффициенты.

III. Пример расчета сетевых коэффициентов

Описание методики расчета иллюстрировано на примере одной энергосистемы, схема замещения которой показана на рис. 3. Она состоит из 6 генераторных и 9 нагрузочных узлов. Схема замещения приведена к базисному напряжению 230 кВ; построение ее осуществлено общеизвестным приемом и не требует дополнительных пояснений. Здесь преследуется цель сравнить сетевые коэффициенты при различных режимах и выявить пределы изменения этих коэффициентов.

В данном случае, для рассматриваемой энергосистемы, устанавливается три режима и измеренные результаты вносятся в таблицу 1. Для каждого режима приведены также полные потери, определенные посредством суммирования потерь отдельных ЛЭП

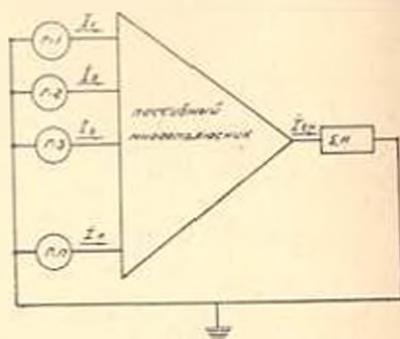


Рис. 2. Изображение энергосистемы с одной суммарной нагрузкой.

$$\left(\sum_{i=1}^n I^2 R_i \right).$$

В таблице 1 активная мощность (P) в мвт, реактивная — (Q) в мвар, напряжения шин (U) в кВ, угол напряжения (φ_n) в°. Теперь рассмотрим детальное решение первого режима (табл. 1).

Собственные и взаимные сопротивления. Для схемы замещения энергосистемы, показанной на рис. 3, могут быть определены согласно методу узловых напряжений следующие числовые значения элементов матрицы активных сопротивлений (выбранный базисный узел показан на рис. 3).

Таблица 1

Режим данной энергосистемы

№ реж.	Режим I				Режим II				Режим III			
	P	Q	U	$\cos \phi$	P	Q	U	$\cos \phi$	P	Q	U	$\cos \phi$
Г-1	54,4	37,5	250,0	81,5	54,7	38,5	250,0	82,0	57,6	32,0	219,0	13,9
Г-2	184,5	131,5	250,0	81,1	192,0	152,0	250,7	81,7	182,5	123,7	248,7	10,0
Г-3	21,9	21,2	247,9	80,7	23,0	25,0	250,5	81,5	17,7	9,5	235,5	11,0
Г-4	26,2	42,5	248,6	82,6	23,0	37,5	247,5	83,1	28,5	35,7	248,2	12,0
Г-5	19,8	-26,3	247,6	86,0	22,7	-21,2	246,0	86,1	24,4	8,5	250,7	14,1
Г-8	105,8	-12,5	247,6	95,0	106,5	-12,5	248,0	95,6	77,9	-25,9	246,7	21,0
$\sum R_i$	18,0272				21,0570				17,2380			

ПА-183

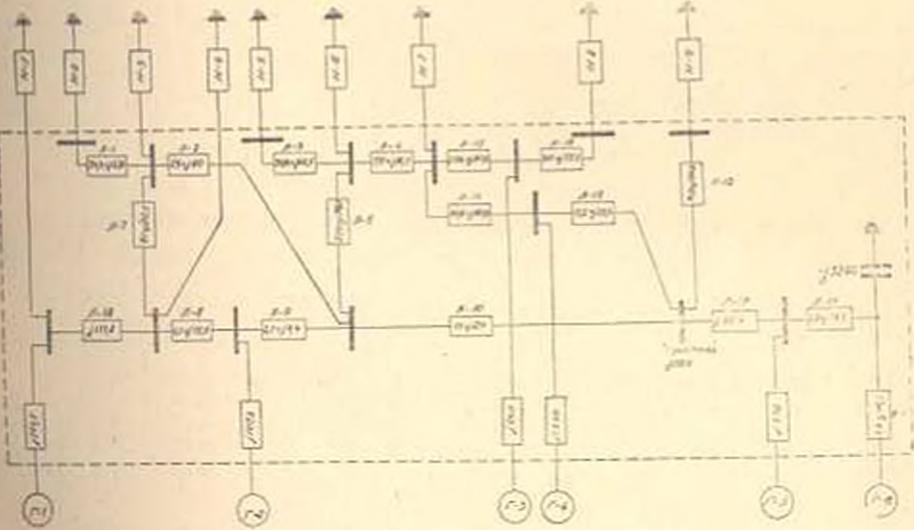


Рис. 3. Схема замещения данной энергосистемы.

Матрица R_m — собственных и взаимных активных сопротивлений генераторных узлов схемы замещения

Узлы	1	2	3	4	5	6
1	18,1324	13,1194	6,9689	1,6375	0	0
2	13,1194	13,3442	6,9689	1,6375	0	0
3	6,9689	6,9689	55,3881	6,1639	0	0
4	1,6375	1,6375	6,1639	11,5050	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	5,6000



Матрица R_m — k взаимных активных сопротивлений генераторных (индекс m) и нагрузочных (индекс k) узлов схемы замещения

Узлы	1	2	3	4	5	6
1	18,1324	13,1191	6,9689	1,6375	0	0
2	16,5136	12,7069	6,9689	1,6375	0	0
3	16,5136	12,7069	6,9689	1,6375	0	0
4	18,1324	13,1194	6,9689	1,6375	0	0
5	7,9616	7,9616	21,5840	5,1568	0	0
6	7,9616	7,9616	21,5840	5,1568	0	0
7	6,9689	6,9689	25,7880	6,1639	0	0
8	6,9689	6,9689	55,3881	6,1639	0	0
9	0	0	0	0	0	0

Числовые значения R_m

Полученные числовые значения представляются в виде следующей строчной матрицы.

1	2	3	4	5	6
13,2480	10,4373	13,2313	2,9690	0	0

Числовые значения K_{mn}

Соответствующая матрица K_{mn} имеет следующий вид:

	1	2	3	4	5	6
1	0,2361	0,2404	0,2681	0,3419	-0,0116	0,1135
2		0,2450	0,2747	0,3529	-0,0228	0,1101
3			0,3148	0,4203	-0,0807	0,0954
4				0,5830	-0,2119	0,0686
5					0,4492	0,2169
6						6,1653

Эта матрица симметричная.

Числовые значения A_{mn}

Матрица A_{mn} тоже симметрична и имеет следующий вид:

	1	2	3	4	5	6
1	-1,9746	-2,5401	-5,2315	-4,9847	0,1537	-1,5036
2		-1,8449	-4,5882	-4,1532	0,2380	-1,1491
3			9,1038	-4,2196	1,0680	-1,2625
4				3,2453	0,6291	-0,2037
5					0	0
6						0,9257

Коэффициент R

Вычислены следующие величины:

$$\sum_{m=1}^6 \sum_{n=1}^6 P_m K_{mn} P_n = 3,1035,$$

$$\sum_{i=1}^{18} I_i^2 R_i = 18,0272,$$

$$\sum_{m=1}^6 \sum_{n=1}^6 P_m A_{mn} P_n = -27,6979,$$

следовательно $R = 14,7333$

Числовые значения сетевых коэффициентов

	1	2	3	4	5	6
1	1,5039	1,0018	-1,2815	0,0526	-0,0172	0,1686
2		1,7648	-0,5410	1,0462	-0,0979	0,4730
3			13,7418	1,9728	-0,1210	0,1431
4				11,8348	-2,4929	0,8070
5					6,6182	3,1956
6						3,3611

Эта матрица тоже симметричная.

Аналогично определяем сетевые коэффициенты для остальных режимов и полученные результаты приводим в таблице 2.

Таблица 2

Коэффициенты B_{mn} $\left| \frac{10^4}{\text{мвт}} \right|$ для отдельных режимов

$m-n$	Режим I	Режим II	Режим III
1-1	1,5039	1,5966	1,2812
2-2	1,7648	1,9517	1,6066
3-3	13,7418	15,2920	12,7458
1-2	1,0018	1,1113	0,8424
1-3	-1,2815	-1,2334	0,1903
1-6	0,1686	0,2072	0,1270
2-3	-0,5410	-0,4667	0,8471
2-4	1,0462	1,2393	0,6101
3-4	1,9728	2,2936	2,8095
3-5	-0,1210	-0,0098	1,4169
4-6	0,8070	0,8151	1,4567
5-6	3,1956	2,7340	2,2232

IV. Пример расчета потерь и производных от потерь

Для данной энергосистемы определяются потери трех режимов и полученные результаты приводятся в таблице 3.

Таблица 3

Результаты вычисления потерь

Режимы	Потери, вычисленные по формуле (2) в мвт	Действительные потери в мвт
I	18,0316	18,0272
II	20,2862	21,0570
III	17,2441	17,2360

По данным табл. 3 не трудно заметить, что ощутимой разницы между потерями, вычисленными по формуле и действительными потерями, не существует. После вычисления производных от потерь результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4

Значения производных от потерь

Произв. от потерь	Режим I	Режим II	Режим III
$\partial \pi / \partial P_1$	0,0515	0,0600	0,0478
$\partial \pi / \partial P_2$	0,0868	0,1016	0,0877
$\partial \pi / \partial P_3$	0,0392	0,0530	0,1137
$\partial \pi / \partial P_4$	0,1172	0,1190	0,0930
$\partial \pi / \partial P_5$	0,0765	0,0788	0,1003
$\partial \pi / \partial P_6$	0,1080	0,1108	0,1125

V. Анализ вопроса о выборе расчетных значений сетевых коэффициентов

Анализ данных табл. 2 показывает, что сетевые коэффициенты B_{mn} (B_{11}, \dots, B_{66}) имеют строго положительные знаки при любом режиме, в то время как B_{mi} (B_{12}, \dots, B_{64}), могут иметь как положительные, так и отрицательные значения. Расчеты показывают, что сетевые коэффициенты весьма чувствительны к коэффициенту $tg \varphi_m$ и в зависимости от его значения ($-1 < tg \varphi_m < 1$) они резко изменяются. Следовательно, важным этапом при вычислении сетевых коэффициентов является правильный выбор отношения $tg \varphi_m = Q_m / P_m$. Величина напряжения U_m влияет на сетевые коэффициенты в меньшей степени чем начальная фаза ϕ_{um} .

Из табл. 2 не трудно заметить, что на величину потерь в основном будут влиять собственные сетевые коэффициенты B_{mn} , так как они во много раз превышают взаимные сетевые коэффициенты B_{mi} . Из приведенной таблицы видно также, что разница между коэффициентами при различных режимах не очень велика, особенно для коэффициентов B_{mn} . Однако принять их величиной постоянной для данной энергосистемы можно лишь после вычисления потерь и сравнения результатов. Для иллюстрации, примем сетевые коэффициенты

Таблица 5
Сравнение результатов потерь

Режимы	Потери, вычисленные по формуле при $V_{\text{пл}}$ —пост. для I режима (в мвт)	Действительные потери в мвт
I	18,0316	18,0272
II	18,6974	21,0570
III	15,6592	17,2380

первого режима за постоянные величины и вычислим потери для остальных режимов, исходя только из генерирующих мощностей.

Полученные данные приведены в таблице 5.

Из табл. 5 не трудно заметить, что при этом получают значительные расхождения между действительными потерями и потерями, вычисленными с помощью сетевых коэффициентов первого режима. Следовательно, подобный подход к выбору сетевых коэффициентов, когда они были приняты постоянными, не дает верных результатов и требует дополнительных корректировок и уточнений.

Ниже приводятся результаты расчета потерь (табл. 6) с помощью усредненных значений сетевых коэффициентов, полученных из сетевых коэффициентов рассмотренных режимов.

Таблица 6
Сравнение результатов потерь

Режимы	Потери, вычисленные с помощью $V_{\text{ср}}$, в мвт	Действительные потери в мвт
I	19,7081	18,0272
II	20,5900	21,0570
III	17,2512	17,2380

Таблица 6 показывает, что при этом точность повышается. Все же следует принять, что точность недостаточно высокая, хотя для практических целей, при решении инженерных задач, с успехом можно пользоваться этим методом. Затем пользуемся сетевыми коэффициентами, вычисленными после усреднения коэффициентов $k_{\text{ср}}$ рассматриваемых режимов. При этом снова режим I выбирается в качестве расчетного.

Сопоставление вычисленных и действительных потерь приведено в таблице 7.

Таблица 7

Режим	Потери, вычисленные с помощью V_{gr} в мвт	Действительные потери в мвт
I	18,9222	18,0272
II	19,7201	21,0570
III	15,2727	17,2380

Как видно из данных табл. 7, при таком подходе к вопросу также обеспечивается практически большая точность.

При анализе результатов приведенных в таблицах 6 и 7 можно прийти к следующему заключению.

Для данной энергосистемы можно получить расчетные значения сетевых коэффициентов посредством:

1) усреднения значения сетевых коэффициентов нескольких характерных режимов и

2) усреднения коэффициентов I_{gr} нескольких характерных режимов.

Здесь необходимо отметить, что для точности расчета важен правильный выбор характерных режимов энергосистемы. Однако первый способ определения расчетных значений сетевых коэффициентов связан с большими вычислительными работами. Поэтому рекомендуется, в основном, пользоваться вторым методом. Но, строго говоря, сетевые коэффициенты не постоянны, они изменяются с изменением параметров данной энергосистемы.

В заключение следует отметить, что данный расчет весьма трудоемок и связан с большим количеством вычислений. В связи с этим целесообразно расчет сетевых коэффициентов производить на электронной цифровой вычислительной машине.

П р и л о ж е н и е

Вывод формулы потерь. Для многополюсника по рис. 1 можно составить следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_n &= \sum_{m=1}^{\Gamma} I_m Z_{nm} - \sum_{k=1}^H I_{(\Gamma-k)} Z_{n(\Gamma+k)} \\ \dot{U}_{\Gamma+j} &= \sum_{m=1}^{\Gamma} I_m Z_{(\Gamma+j)m} - \sum_{k=1}^H I_{(\Gamma+k)} Z_{(\Gamma+j)(\Gamma+k)} \end{aligned} \right\} (1)$$

где $m, n = 1, 2, 3 \dots \Gamma$ — индексы генераторных узлов;

$j, k = 1, 2, 3 \dots H$ — индексы нагрузочных узлов.

Если принять, что каждый ток нагрузки $I_{(\Gamma+k)}$ является фиксированной долей общего тока нагрузки $I_{\Sigma H}$ ($I_{(\Gamma-k)} = I_{(\Gamma+k)} \cdot I_{\Sigma H}$, где

$\lambda_{\Gamma, k}$ комплексный коэффициент пропорциональности) и сумма всех токов входящих в энергосистему и выходящих из нее равна нулю, то система уравнений (1) примет следующий вид (рис. 2)

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_n &= \sum_{m=1}^{\Gamma} \dot{I}_m Z_{nm} - \dot{I}_{zH} Z_{zH} , \\ \dot{U}_{zH} &= \sum_{m=1}^{\Gamma} \dot{I}_m Z_{H\Gamma} - \dot{I}_{zH} Z_{HH} , \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

здесь

$$Z_{\Gamma H} = \sum_{k=1}^H l_{(\Gamma+k)} Z_{m(\Gamma+k)} \quad (3)$$

$$Z_{H\Gamma} = \sum_{k=1}^H \dot{l}_{(\Gamma+k)} Z_{m(\Gamma+k)} \quad (4)$$

$$Z_{HH} = \sum_{k=1}^H \sum_{j=1}^H \dot{l}_{(\Gamma+k)} Z_{(\Gamma+k)} l_{(\Gamma+j)} \quad (5)$$

Потери активной мощности

$$\pi = \operatorname{Re} \{ (\dot{U}_n - \dot{U}_{zH}) \dot{I}_n \} \quad (6)$$

$$\text{Учитывая, что } \dot{I}_n = \frac{P_n - jQ_n}{\dot{U}_n}; \quad \dot{I}_m = \frac{P_m + jQ_m}{U_m} \quad (7)$$

произведя соответствующие преобразования и некоторые упрощения, получим следующие выражения для потери активной мощности

$$\pi = \sum_{m=1}^{\Gamma} \sum_{n=1}^{\Gamma} P_m B_{mn} P_n \quad (8)$$

где

$$B_{mn} = \frac{R_{m-n} - R_m - R_n + R}{U_m U_n} \left[(1 + \operatorname{tg}\varphi_m \cdot \operatorname{tg}\varphi_n) \cos\theta_{mn} + \right. \\ \left. + (\operatorname{tg}\varphi_m - \operatorname{tg}\varphi_n) \sin\theta_{mn} \right] \quad (9)$$

В выражение B_{mn}

$$R_{m-n} = \operatorname{Re} (Z_{m-n}), \quad (10)$$

$$R_m = \operatorname{Re} (Z_{\Gamma H}), \quad (11)$$

$$R_n = \operatorname{Re} (Z_{H\Gamma}), \quad (12)$$

$$R = \operatorname{Re} (Z_{HH}). \quad (13)$$

Վ. Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ԷՆԵՐԳՈՍԻՍՏԵՄԻ ՑԱՆՅՈՒՄ ԶՋՈՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՈՒՄՏԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Ա. մ. Վ. ո. Վ. ո. լ. մ

Հողվածում տրվում է էներգոսիստեմի ցանցում ստաշացող հզորության կորուստի հաշվման մեթոդ: Քանի որ հզորության կորուստի որոշման համար անհրաժեշտ է իմանալ ալյակի կոշված ցանցային զորձակիցների (Յ_{տո}) արժեքները, ապա տրված է նաև նրանց որոշման մեթոդը: Ցանցային զորձակիցների քանակը կախված է միայն էներգոսիստեմում գործող էլեկտրական կայանների քանակից (Յ): Ցանցային զորձակիցներն օգտագործվում են նաև կորուստների աճերի որոշման համար, որոնք անհրաժեշտ են էներգոսիստեմների էկոնոմիկական աշխատանքային սեփմեհր ստանալու ժամանակ: Հողվածում արտածված մեթոդը կիրառված է կոնկրետ էներգոսիստեմի համար, որը կազմված է վեց էլեկտրակայաններից և ինն ենթակայաններից: Տվյալ օրինակում դիտված են մի քանի սկզբունքներ ցանցային զորձակիցների որոշման համար և ստացված արդյունքները տրված են համապատասխան աղյուսակների միջոցով: Պարզվում է, որ տվյալ էներգոսիստեմի համար, հաշվային ցանցային զորձակիցներ կարելի է ստանալ մի քանի (4—5) բնութագրիչ սեփմեհրի ցանցային զորձակիցների կամ էջ_տ զորձակիցների միջին արժեքով: Վերջին եզրակացությունը կիրառելի է ցանկացած բարդության էներգոսիստեմի համար:

Քանի որ ցանցային զորձակիցների կորուստների և կորուստների աճի որոշումը պահանջում է մեծ հաշվային աշխատանք և ժամանակ, ապա առաջարկվում է տվյալ հաշվումների կատարման ժամանակ օգտվել ժամանակակից դիսկրետ գործող հաշվիչ մեքենաներից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Маркович Н. М. Режимы энергетических систем. Госэнергоиздат. 1957.
2. Мельников Н. А. Учет потерь в сети при определении наимыгоднейшего режима энергосистемы. „Электричество“, № 2, 1960.
3. George E. E. Intrasystem Transmission Losses. „AIEE Transactions“, vol. 61, 1943, p. 153—58.
4. Kron G. G. Tensorial Analysis of Integrated Transmission Systems, Part I. The Six Basic Reference. „AIEE Transactions“, vol. 70, 1951, p. 1239—48.