

Из всего этого следует, что использование такого подхода позволяет уже на стадии проектирования системы солнечного теплоснабжения заложить наперед заданные температурные параметры теплоносителя и определить ожидаемые значения среднегодовых величин коэффициента полезного действия коллектора. Знание этих параметров весьма важно уже на стадии выполнения проекта, так как дает возможность сделать оценку технико-экономической эффективности работы установки и выполнить экспертную оценку целесообразности строительства установки на данной местности.

Для практической реализации такой экспертной оценки достаточно знать функцию $J(\varphi)$ и тепло-технические характеристики солнечного коллектора.

Значение функции $J(\varphi)$, как было ранее отмечено, могут быть построены по данным многолетних метеорологических станций, а тепло-технические параметры солнечного коллектора как правило всегда имеются в паспортных данных завода - изготовителя.

Таким образом, предложенную методику можно использовать как инструмент экспертной оценки эффективности работы солнечного коллектора в зависимости от местности предполагаемой эксплуатации солнечной установки.

Список литературы

1. Обозов А. Дж., Ботбаев Р. Н. – Возобновляемые источники энергии – Бишкек, ИЦ «Техник», 2010 г.
2. Аvezов Р.Р., Орлов А. Ю. – Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. Ташкент. ФАН. 1988 г.
3. Виссарионов В. И., Дерюгина Г. В. и др. – Солнечная энергетика. М., АСЭИ, 2008.
4. Мак – Вейг – Применение солнечной энергии М., Энергоиздат. 1981 г.

References

1. Obozov A.Dj., Botbaev R.N. - Renewable energy sources - Bishkek, PH "Technik", 2010
2. Avezov R.R., Orlov A.U. - Solar systems for heating and hot water supply. Tashkent. FAN. 1988
3. Vissarionov V.I., Deriugina G.V. et al. - Solar energy. M. ASEI, 2008.
4. Mac - Veyg - Application of solar energy M., Energoizdat. 1981

УДК.: 004.422.63: 621.317.614:621.316.1

СТРУКТУРИРОВАННЫЙ ИЕРАРХИЧЕСКИ-МНОГОУРОВНЕВЫЙ ПОДХОД К ПОЭЛЕМЕНТНОМУ РАСЧЕТУ НАГРУЗОЧНЫХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Актаев Эркин Тулкунович, аспирант, Кыргызский государственный технический университет им.И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: aefaiz@yandex.ru

Асанова Салима Муратовна, к.т.н., доцент, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: a_sm07@mail.ru

Сатаркулов Калмурза Асанович, к.т.н., доцент, Токмокский технический институт, Кыргызстан, Чуйская область, г. Токмок, ул. Гагарина, 65

Цель статьи – структурированный иерархически-многоуровневый подход к поэлементному расчету потерь электроэнергии в сложных разветвленных распределительных электрических сетях (РЭС) 6-20 кВ, характеризующихся большой размерностью, динамизмом развития, недостаточной полнотой и достоверностью режимной информации. Авторами описана структурная модель РЭС. Проведено содержательное описание структурированного иерархически-многоуровневого подхода к поэлементному расчету нагрузочных потерь на примере разветвленной РЭС с n узлами и m участками (линейными и трансформаторными) с древовидной структурой.

Ключевые слова: распределительные электрические сети, потери электроэнергии, структурированный иерархически-многоуровневый подход, древовидная структура, ориентированный граф, анализ топологии.

STRUCTURED HIERARCHICALLY - MULTILEVEL APPROACH TO ELEMENT-BY-ELEMENT CALCULATION OF LOAD LOSSES IN DISTRIBUTION POWER GRIDS

Aktayev Eric Tulkunovich, post graduate, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Kyrgyz Republic, 720044, Bishkek, Mir Avenue, 66, e-mail: aefaiz@yandex.ru

Asanova Salima Muratovna, Ph. D., associate Professor, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Kyrgyz Republic, 720044, Bishkek, Mir Avenue, 66, e-mail: a_sm07@mail.ru

Satarkulov Kalmurza Asanovich, Ph. D., associate Professor, Tokmok Technical Institute, Kyrgyzstan, Chui region, Tokmokcity, Gagarin str., 65.

The purpose of the article is structured hierarchically - multilevel approach to element-by-element calculation of energy losses in branched distribution power grids (DEGs) of 6-20 kV, characterized by a high dimensionality and dynamism of development, lack of completeness and reliability of performance information. The author describes DEG structural model. It has been made a narrative description of structured hierarchically - multilevel approach to element-by-element calculation of energy losses by branched DEG with n nodes and m portions (line and transformer) with a tree - like structure.

Keywords: distribution power grids, energy losses, structured hierarchically multilevel approach, tree - like structure, directed graph, analysis of topology.

Как известно, потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем состоят из следующих составляющих [1, 2]: нагрузочные потери в линиях и силовых трансформаторах; потери холостого хода трансформаторов; потери на корону в воздушных линиях; расход электроэнергии на собственные нужды подстанций; расход электроэнергии в компенсирующих устройствах; потери в реакторах подстанций; потери в измерительных трансформаторах тока и напряжения и в их вторичных цепях, включая счетчики электроэнергии.

При определении потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем наибольший интерес, с точки зрения удельного вклада в суммарную величину потерь, структурной сложности и сложности расчета, представляют нагрузочные потери в линиях и силовых трансформаторах сети. Значительная часть электроэнергии передается по сильно разветвленным распределительным сетям 6-20 кВ, которые работают, в основном, в разомкнутом режиме. Они характеризуются большой размерностью, динамизмом развития, недостаточной полнотой и достоверностью режимной информации. Величина потерь в этих сетях может достигать до 70% от общих потерь, поэтому объективная оценка потерь электроэнергии в рассматриваемых электрических сетях чрезвычайно важна. Также важна разработка эффективных, с точки зрения удобства реализации и вычислительной сложности, алгоритмизированных методов для решения этих задач.

С учетом сложности разветвленных распределительных электрических сетей (РЭС), в настоящей работе предлагается структурированный иерархически-многоуровневый подход к поэлементному расчету потерь электроэнергии в таких сетях. Применение аппарата вычислительных сетей Петри [3,4] для реализации данного подхода позволит получить самоорганизующийся многокомпонентный вычислительный алгоритм, удобный с позиции реализации его на ЭВМ, его модификации и интерпретации.

Постановка задачи. Рассматривается разветвленная РЭС с n узлами и m участками (линейными и трансформаторными) с древовидной структурой. Требуется определить нагрузочные потери на каждом участке сети и в сети в целом. Считаются заданными: схема РЭС, сопротивления участков, токи нагрузок.

Структурная модель РЭС. Далее схема РЭС представляется в виде ориентированного графа (L, Γ) с древовидной структурой, где L - множество узлов сети (вершин графа); Γ - отображение множества L в L , показывающее, как между собой связаны узлы сети из множества L , т.е.:

$$\Gamma: L \rightarrow L, \quad \Gamma(i) \subset L, \quad \forall i \in L \setminus L_0, \quad (1)$$

$$\Gamma \subseteq L \times L, \quad \Gamma_i = \{i\} \times \Gamma(i), \quad \forall i \in L \setminus L_0, \quad (2)$$

$$\Gamma(i) = \emptyset, \quad \Gamma_i = \emptyset, \quad \forall i \in L_0, \quad (3)$$

$$\Gamma = \bigcup_{i \in L \setminus L_0} \Gamma_i, \quad L \setminus \{0\} = \bigcup_{i \in L \setminus L_0} \Gamma(i), \quad L_0 \subset L, \quad (4)$$

где $\Gamma(i)$ - множество концевых вершин дуг (ориентированных ветвей), у которых начальной вершиной является узел $i \in L \setminus L_0$; Γ_i - множество дуг (i, j) , у которых начальной вершиной является узел $i \in L \setminus L_0$; L_0 - множество концевых вершин графа (L, Γ) , т.е. концевых (нагрузочных) узлов сети; $L \setminus L_0$ - множество промежуточных вершин графа (L, Γ) , включая его корень $i = 0$, т.е. промежуточных узлов, включая узел питания сети.

Каждой концевой вершине $i \in L_0$ графа (L, Γ) сети сопоставляется ток нагрузки J_i , а каждой дуге $(i, j) \in \Gamma$ - сопротивление R_{ij} и ток I_{ij} соответствующего участка сети. Здесь следует отметить, что ток I_{ij} дуги (i, j) равен току I_j , протекающему через концевую вершину j данной дуги (току j -го узла сети).

Описание предлагаемого подхода для решения поставленной задачи сопровождается примером РЭС, схема которой представлена в виде ориентированного графа, показанного на рисунке 1.

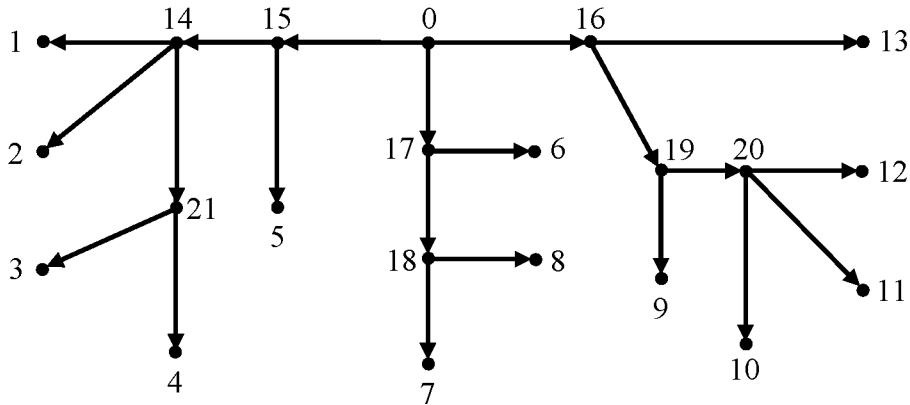


Рис. 1. Граф распределительной электрической сети.

Пример 1. Для рассматриваемого графа сети (рис. 1) имеем:

$$L = \{0, 1, 2, \dots, 21\},$$

$$L_0 = \{1, 2, 3, \dots, 13\},$$

$$L \setminus L_0 = \{0, 14, 15, \dots, 21\}.$$

множества $\Gamma(i)$, Γ_i , $\forall i \in L \setminus L_0$ из (1)-(4), соответствующие данному примеру, приведены в табл. 1; множество дуг Γ получается с помощью формулы из (4), т.е. объединением множеств Γ_i , $\forall i \in L \setminus L_0$ (табл.1).

Таблица 1.

Множества $\Gamma(i)$ и Γ_i , $\forall i \in L \setminus L_0$ к примеру 1.

	Множества $\Gamma(i)$, $\forall i \in L \setminus L_0$	Множества Γ_i , $\forall i \in L \setminus L_0$
1	$\Gamma(0) = \{15, 16, 17\}$	$\Gamma_0 = \{(0,15), (0,16), (0,17)\}$
2	$\Gamma(14) = \{1, 2\}$	$\Gamma_{14} = \{(14,1), (14,2)\}$
3	$\Gamma(15) = \{5, 14\}$	$\Gamma_{15} = \{(15,5), (15,14)\}$
4	$\Gamma(16) = \{13, 19\}$	$\Gamma_{16} = \{(16,13), (16,19)\}$
5	$\Gamma(17) = \{6, 18\}$	$\Gamma_{17} = \{(17,6), (17,18)\}$
6	$\Gamma(18) = \{7, 8\}$	$\Gamma_{18} = \{(18,7), (18,8)\}$
7	$\Gamma(19) = \{9, 20\}$	$\Gamma_{19} = \{(19,9), (19,20)\}$
8	$\Gamma(20) = \{10, 11, 12\}$	$\Gamma_{20} = \{(20,10), (20,11), (20,12)\}$
9	$\Gamma(21) = \{3, 4\}$	$\Gamma_{21} = \{(21,3), (21,4)\}$

Потери электроэнергии ΔW_{ij} в каждой ветви $(i, j) \in \Gamma$ в течение интервала времени Δt

$$\Delta W_{ij} = 3\Delta t R_{ij} I_{ij}^2 = 3\Delta t R_{ij} I_j^2 \tag{5}$$

Ток $I_{ij} = I_j$ участка сети (i, j) определяется как сумма токов нагрузок, проходящих от источника питания через данный участок:

$$I_{ij} = I_j = \sum_{k \in L_0^{(i,j)}} J_k, \quad \forall (i, j) \in \Gamma, \quad (6)$$

где $L_0^{(i,j)}$ - множество узлов нагрузки, для питания которых токи этих нагрузок J_k , $\forall k \in L_0^{(i,j)}$ от источника питания проходят через участок (i, j) .

Потеря в сети ΔW_C равна сумме потерь во всех ее ветвях:

$$\Delta W_C = \sum_{(i,j) \in \Gamma} \Delta W_{ij}. \quad (7)$$

В формуле (6) существует информационная неопределенность, т.к. множество $L_0^{(i,j)}$ не определено. Данное множество можно получить только путем решения задачи анализа топологии исходного графа сети. Для преодоления такой неопределенности без решения задачи анализа топологии сети в настоящей работе предлагается иерархически-многоуровневый подход к расчету нагрузочных потерь.

Введем следующее понятие. Вершина $i \in L \setminus L_0$ графа сети называется информационно обеспеченной, если токи I_j , $\forall j \in \Gamma(i)$ определены.

Содержательное описание структурированного иерархически-многоуровневого подхода к поэлементному расчету нагрузочных потерь. Данный подход состоит из следующих шагов (см. рис. 2).

Шаг 0. Формировать множество вершин $s = 0$ -го уровня иерархии из конечных вершин исходного графа сети, т.е. множество L_0 , и вычислить соответствующие этим вершинам токи:

$$I_i = J_i, \quad \forall i \in L_0. \quad (8)$$

Задать начальное состояние ΔW_C равным нулю, т.е. $\Delta W_C^{(0)} = 0$.

Шаг 1. Вычислить $s = s + 1$.

Шаг 2. Задать начальное состояние множеств L_s^B, L_s^H :

$$L_s^B = L \setminus L_0, \quad L_s^H = L_0. \quad (9)$$

Шаг 3. Формировать множество L_s информационно обеспеченных вершин s -го уровня иерархии:

$$L_s = \{i \in L_s^B \mid \Gamma(i) \subseteq L_s^H\}. \quad (10)$$

Шаг 4. Вычислить для каждой вершины $i \in L_s$ ток I_i :

$$I_i = \sum_{j \in \Gamma(i)} I_j, \quad \forall i \in L_s. \quad (11)$$

Шаг 5. Вычислить для каждой ветви $(i, j) \in \Gamma_i$, $\forall i \in L_s$ потерю ΔW_{ij} :

$$\Delta W_{ij} = 3\Delta t R_{ij} I_j^2, \quad \forall (i, j) \in \Gamma_i, \quad \forall i \in L_s. \quad (12)$$

Шаг 6. Суммировать потери в ветвях для определения общей потери в сети ΔW_C :

$$\Delta W_C^{(s)} = \Delta W_C^{(s-1)} + \sum_{(i,j) \in \Gamma_{L_s}} \Delta W_{ij}, \tag{13}$$

где $\Gamma_{L_s} = \bigcup_{i \in L_s} \Gamma_i$.

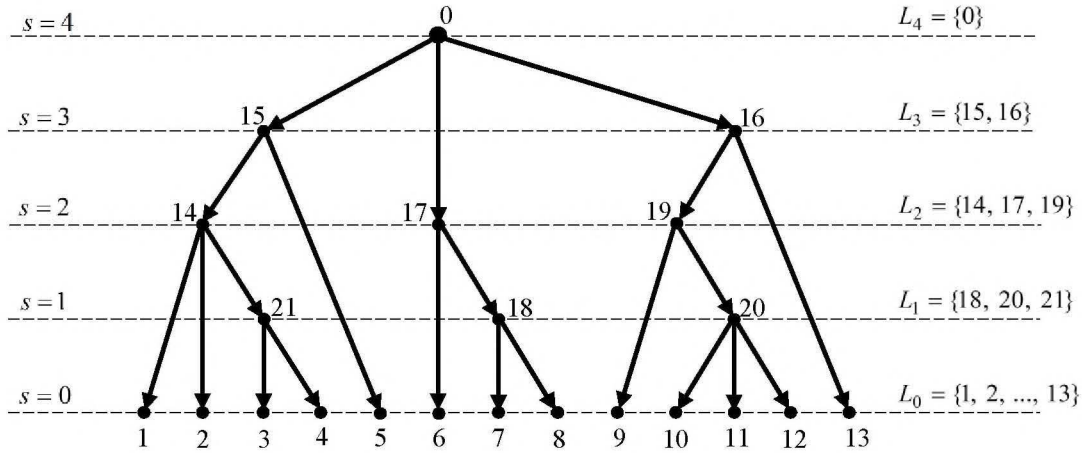


Рис. 2. Иерархически-многоуровневая структура исходного графа сети (L, Γ)

Шаг 7. Вычислить $s = s + 1$.

Шаг 8. Вычислить новое состояние множеств L_s^B, L_s^H :

$$L_s^B = L_{s-1}^B \setminus L_{s-1}, \tag{14}$$

$$L_s^H = L_{s-1}^H \cup L_{s-1} \tag{15}$$

где $L_s^B \cup L_s^H = L, \forall s \in \{1, 2, 3, \dots\}$.

Шаг 9. Если $L_s^B \neq \emptyset$ (или $L_s^H \neq L$), то перейти к шагу 3, иначе перейти к шагу 10.

Шаг 10. Вычислить максимальное количество уровней s_{\max} в иерархически-многоуровневой структуре сети:

$$s_{\max} = s - 1. \tag{16}$$

Шаг 11. Останов.

Пример 2. Множества $L, L_0, L \setminus L_0, \Gamma(i), \Gamma_i, \forall i \in L \setminus L_0$ для рассматриваемого графа сети (рис. 1) показаны в примере 1.

Шаг 0. $s = 0$ - нулевой уровень иерархически-многоуровневой структуры (рис. 2); $I_1 = J_1, I_2 = J_2, \dots, I_{13} = J_{13}$ - токи узлов $s = 0$ -го уровня иерархии (токи нагрузок); $\Delta W_C^{(0)} = 0$ - начальное состояние сумматора потерь в сети.

Шаг 1. $s = s + 1 = 1$ - первый уровень иерархии.

Шаг 2. $L_1^B = \{0, 14, 15, \dots, 21\}$ - множество вершин, среди которых производится поиск информационно обеспеченных вершин $s = 1$ -го уровня иерархии; $L_1^H = \{1, 2, 3, \dots, 13\}$ - множество вершин всех уровней иерархии, полученных до поиска информационно обеспеченных вершин текущего $s = 1$ -го уровня.

Первая итерация $s = 1$.

Шаг 3. $L_1 = \{i \in L_1^B \mid \Gamma(i) \subseteq L_1^H\} = \{18, 20, 21\}$ - множество информационно обеспеченных вершин текущего $s = 1$ -го уровня иерархии.

Шаг 4. $I_{18} = I_7 + I_8$; $I_{20} = I_{10} + I_{11} + I_{12}$; $I_{21} = I_3 + I_4$ - токи, соответствующие вершинам из множества L_1 (см. шаг 3).

Шаг 5. $\Delta W_{18,7} = 3\Delta t R_{18,7} I_7^2$, $\Delta W_{18,8} = 3\Delta t R_{18,8} I_8^2$ - потери электрической энергии, соответствующие дугам из множества Γ_{18} ; $\Delta W_{20,10} = 3\Delta t R_{20,10} I_{10}^2$, $\Delta W_{20,11} = 3\Delta t R_{20,11} I_{11}^2$, $\Delta W_{20,12} = 3\Delta t R_{20,12} I_{12}^2$ - потери, соответствующие дугам из Γ_{20} ; $\Delta W_{21,3} = 3\Delta t R_{21,3} I_3^2$, $\Delta W_{21,4} = 3\Delta t R_{21,4} I_4^2$ - потери, соответствующие дугам из Γ_{21} . Множества Γ_{18} , Γ_{20} , Γ_{21} определены в табл. 1 из примера 1.

Шаг 6. $\Delta W_C^{(1)} = \Delta W_C^{(0)} + \sum_{(i,j) \in \Gamma_{L_1}} \Delta W_{ij} = 0 + \Delta W_{18,7} + \Delta W_{18,8} + \Delta W_{20,10} + \Delta W_{20,11} + \Delta W_{20,12} + \Delta W_{21,3} + \Delta W_{21,4}$ - состояние сумматора потерь в сети при $s = 1$, где $\Gamma_{L_1} = \bigcup_{i \in L_1} \Gamma_i = \Gamma_{18} \cup \Gamma_{20} \cup \Gamma_{21} = \{(18, 7), (18, 8), (20, 10), (20, 11), (20, 12), (21, 3), (21, 4)\}$.

Шаг 7. $s = s + 1 = 1 + 1 = 2$ - второй уровень иерархии.

Шаг 8.

$L_2^B = L_1^B \setminus L_1 = \{0, 14, 15, \dots, 21\} \setminus \{18, 20, 21\} = \{0, 14, 15, 16, 17, 19\}$;

$L_2^H = L_1^H \cup L_1 = \{1, 2, 3, \dots, 13, 18, 20, 21\}$; $L_2^B \cup L_2^H = L = \{0, 1, 2, \dots, 21\}$.

Шаг 9. Поскольку $L_2^B \neq \emptyset$ (см. шаг 8), то перейти к шагу 3.

Вторая итерация $s = 2$.

Шаг 3. $L_2 = \{i \in L_2^B \mid \Gamma(i) \subseteq L_2^H\} = \{14, 17, 19\}$.

Шаг 4. $I_{14} = I_1 + I_2 + I_{21}$; $I_{17} = I_6 + I_{18}$; $I_{19} = I_9 + I_{20}$.

Шаг 5. $\Delta W_{14,1} = 3\Delta t R_{14,1} I_1^2$, $\Delta W_{14,2} = 3\Delta t R_{14,2} I_2^2$, $\Delta W_{14,21} = 3\Delta t R_{14,21} I_{21}^2$;
 $\Delta W_{17,6} = 3\Delta t R_{17,6} I_6^2$, $\Delta W_{17,18} = 3\Delta t R_{17,18} I_{18}^2$; $\Delta W_{19,9} = 3\Delta t R_{19,9} I_9^2$,
 $\Delta W_{19,20} = 3\Delta t R_{19,20} I_{20}^2$.

Шаг 6. $\Delta W_C^{(2)} = \Delta W_C^{(1)} + \sum_{(i,j) \in \Gamma_{L_2}} \Delta W_{ij} = \Delta W_C^{(1)} + \Delta W_{14,1} + \Delta W_{14,2} + \Delta W_{14,21} + \Delta W_{17,6} + \Delta W_{17,18} + \Delta W_{19,9} + \Delta W_{19,20}$, где $\Gamma_{L_2} = \bigcup_{i \in L_2} \Gamma_i = \Gamma_{14} \cup \Gamma_{17} \cup \Gamma_{19} = \{(14, 1), (14, 2), (14, 21), (17, 6), (17, 18), (19, 9), (19, 20)\}$.

Шаг 7. $s = s + 1 = 2 + 1 = 3$.

Шаг 8. $L_3^B = L_2^B \setminus L_2 = \{0, 14, 15, 16, 17, 19\} \setminus \{14, 17, 19\} = \{0, 15, 16\}$;

$L_3^H = L_2^H \cup L_2 = \{1, 2, 3, \dots, 13, 18, 20, 21\} \cup \{14, 17, 19\} =$

$= \{1, 2, 3, \dots, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21\}$;

$L_3^B \cup L_3^H = L = \{0, 1, 2, \dots, 21\}$.

Шаг 9. Поскольку $L_3^B \neq \emptyset$ (см. шаг 8 второй итерации), то перейти к шагу 3.

Третья итерация $s = 3$.

Шаг 3. $L_3 = \{i \in L_3^B \mid \Gamma(i) \subseteq L_3^H\} = \{15, 16, \}$.

Шаг 4. $I_{15} = I_5 + I_{14}$; $I_{16} = I_{13} + I_{19}$.

Шаг 5. $\Delta W_{15,5} = 3\Delta t R_{15,5} I_5^2$, $\Delta W_{15,14} = 3\Delta t R_{15,14} I_{14}^2$;

$\Delta W_{16,13} = 3\Delta t R_{16,13} I_{13}^2$, $\Delta W_{16,19} = 3\Delta t R_{16,19} I_{19}^2$.

Шаг 6.

$$\Delta W_C^{(3)} = \Delta W_C^{(2)} + \sum_{(i,j) \in \Gamma_{L_3}} \Delta W_{ij} = \Delta W_C^{(2)} + \Delta W_{15,5} + \Delta W_{15,14} + \Delta W_{16,13} + \Delta W_{16,19}, \text{ где}$$

$$\Gamma_{L_3} = \bigcup_{i \in L_3} \Gamma_i = \Gamma_{15} \cup \Gamma_{16} = \{(15, 5), (15, 14), (16, 13), (16, 19)\}.$$

Шаг 7. $s = s + 1 = 3 + 1 = 4$.

Шаг 8. $L_4^B = L_3^B \setminus L_3 = \{0, 15, 16\} \setminus \{15, 16\} = \{0\}$;

$L_4^H = L_3^H \cup L_3 = \{1, 2, 3, \dots, 13, 14, 17, \dots, 21\} \cup \{15, 16\} = \{1, 2, 3, \dots, 21\}$;

$L_4^B \cup L_4^H = L = \{0, 1, 2, \dots, 21\}$.

Шаг 9. Поскольку $L_4^B \neq \emptyset$ (см. шаг 8 третьей итерации), то перейти к шагу 3.

Четвертая итерация $s = 4$.

Шаг 3. $L_4 = \{i \in L_4^B \mid \Gamma(i) \subseteq L_4^H\} = \{0\}$.

Шаг 4. $I_0 = I_{15} + I_{16} + I_{17}$.

Шаг 5. $\Delta W_{0,15} = 3\Delta t R_{0,15} I_{15}^2$, $\Delta W_{0,16} = 3\Delta t R_{0,16} I_{16}^2$, $\Delta W_{0,17} = 3\Delta t R_{0,17} I_{17}^2$.

Шаг 6.

$$\Delta W_C^{(4)} = \Delta W_C^{(3)} + \sum_{(i,j) \in \Gamma_{L_4}} \Delta W_{ij} = \Delta W_C^{(3)} + \Delta W_{0,15} + \Delta W_{0,16} + \Delta W_{0,17}, \text{ где}$$

$$\Gamma_{L_4} = \bigcup_{i \in L_4} \Gamma_i = \Gamma_0 = \{(0, 15), (0, 16), (0, 17)\}.$$

Шаг 7. $s = s + 1 = 4 + 1 = 5$.

Шаг 8. $L_5^B = L_4^B \setminus L_4 = \{0\} \setminus \{0\} = \emptyset$,

$L_5^H = L_4^H \cup L_4 = \{1, 2, 3, \dots, 21\} \cup \{0\} = \{0, 1, 2, \dots, 21\}$;

$L_5^B \cup L_5^H = L = \{0, 1, 2, \dots, 21\}$.

Шаг 9. Поскольку $L_5^B \neq \emptyset$, то перейти к шагу 10.

Шаг 10. $s_{\max} = s - 1 = 5 - 1 = 4$ (см. рис.2).

Шаг 11. Останов.

Выводы: На примере сложной разветвленной РЭС был предложен структурированный иерархически-многоуровневый подход к поэлементному расчету потерь электроэнергии, показавший свою эффективность. Для реализации данного подхода, применение аппарата вычислительных сетей Петри позволит получить самоорганизующийся многокомпонентный вычислительный алгоритм, удобный с позиций реализации его на ЭВМ, его модификации и интерпретации.

Список литературы

1. Фурсанов М.И. Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем / М.И. Фурсанов. – МН.: УВИЦ при УП (Белэнергосбережение), 2005.

2. Пономаренко И.С. Автоматизация процессов управления эксплуатацией в системах электроснабжения городов [Текст]: учебное пособие для вузов / И.С. Пономаренко. – М.: Изд-во МЭИ, 1990. – 70 с.

3. Асанов М.С. Структурная модель вычислительных сетей Петри [Текст] / М.С. Асанов, С.М. Асанова, К.А. Сатаркулов // Известия КГТУ. – Бишкек, 2008. – №13. – С. 78-85.

4. Асанов М.С. Вычислительные компоненты, язык описания и правила функционирования вычислительных сетей Петри [Текст] / М.С. Асанов, С.М. Асанова, К.А. Сатаркулов // Известия КГТУ. – Бишкек, 2008. – №13. – С. 85-95.

References

1. Fursanov M. I. Definition and analysis of energy losses in grids of power systems / M. I. Fursanov. – MN.: UVIC under UP (Belenergoberezhnie), 2005.

2. Ponomarenko I. S. Process automation of operation control in power supply systems of cities [Text]: textbook for universities / I. S. Ponomarenko. – M.: Publishing house of MIPE, 1990. – 70 p.

3. Asanov M. S. Structural model of Petri computing nets [Text] / M. S. Asanov, S. M. Asanova, K. A. Satarkulov // Izvestiya of KSTU. – Bishkek, 2008. – No. 13. – p. 78-85.

4. Asanov M. S. Computational components, description language and rules of Petri computing nets functioning [Text] / M. S. Asanov, S. M. Asanova, A. K. Satarkulov // Izvestiya KSTU. – Bishkek, 2008. – No. 13. – p. 85-95.

УДК 331.41/43

ПОСТРОЕНИЕ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С НЕПОДВИЖНОЙ СИСТЕМОЙ КООРДИНАТ

Мельничук Валерий Геннадьевич - аспирант КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, melnichuc@mail.ru

Кадыров Ишембек Кадырович - д.т.н.профессор, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail:bgtu_kg@mail.ru

Цель статьи – выбор оптимальной замкнутой системы управления преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД) в режиме пуска.

Задачи, которые ставились для решения данной цели – это построение и исследование протекающих переходных процессов в электроприводе ПЧ-АД на примере математической модели в системе MATLAB с использованием метода решения вариационных задач. Одной из задач также было использование нового метода решения системы уравнений математического описания замкнутой нелинейной системы ПЧ – АД.

Ключевые слова: система управления преобразователь частоты – асинхронный двигатель, режим пуска асинхронного двигателя, пакет прикладных программ для решения задач в области энергетики.

BUILDING A CLOSED-LOOP CONTROL SYSTEM OF THE ASYNCHRONOUS MACHINE WITH A FIXED COORDINATE SYSTEM

Melnychuk Valery G. - postgraduate student Kyrgyzstan, 720044, c.Bishkek, KSTU named after I.Razzakov, melnichuc@mail.ru

Kadyrov Ishembek - Professor, Kyrgyzstan, 720044, c.Bishkek, KSTU named after I.Razzakov e-mail: bgtu_kg@mail.ru

The purpose of this article is a choice of the optimal closed-loop control system frequency Converter – asynchronous drive (FC – AD) in start-up mode. The tasks that were set for this purpose is the construction and investigation of the leaking of transient processes in the electric drive FC – AD on the example of the mathematical model in MATLAB using the method for solving variational problems. One of the tasks was the use of a new method for solving the system of equations the mathematical description of the closed-loop nonlinear system FC – AD.

Keywords: control system frequency Converter – asynchronous drive, the starting mode of the induction motor, a software package for solving problems in the field of energy.

Известно, что в режиме пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, в системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ – АД), возможны большие броски электромагнитных моментов и токов, которые могут вызывать опасные динамические нагрузки на обмотки электродвигателя. В