

УДК 004.942

А.В. Кычкин, А.В. ЧудиновПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия**ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ
В ПОЛУНАТУРНОЙ МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНОЙ АКТИВНО-
АДАПТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Рассматриваются основные методы оптимизации полунатурной модели локальной электрической активно-адаптивной сети. В локальной активно-адаптивной сети определен оптимальный режим распределения электроэнергии от генераторов к потребителям, а также решена задача оптимизации распределения полной мощности методом транспортной задачи. Расчет произведен для 4 генераторов электрической энергии и 6 потребителей, 2 из которых являются бытовыми потребителями, а 4 – электроприводами. Экспериментальные исследования основаны на результатах полунатурного моделирования локальной активно-адаптивной сети, реализованной на базе лабораторного оборудования кафедры МСА ПНИПУ. Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук, МК–5279.2014.8 «Синтез эффективных технологий удаленного мониторинга и управления состоянием интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью».

Ключевые слова: MicroGrid, локальная активно-адаптивная электрическая сеть, методы оптимизации, транспортная задача, целевая функция.

A.V. Kichkin, A.V. Chudinov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

THE HIL MICROGRID POWER OPTIMIZATION

This article discusses the basic methods of optimization of the local electric active-adaptive network. In a locally active – adaptive network determined the optimal mode of distribution of electricity from generators to consumers, as well as solved the problem of optimizing the allocation of the total power method of the transportation problem. The calculation is performed on the four generators of electricity and six customers, two of which are residential customers, and four electric drives. Work is educational research and based on the complex HIL local active-adaptive network, implemented on the basis of laboratory equipment chair of MSA PNRPU. The work was performed as part of the grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists – candidates, MK-5279.2014.8 "Synthesis of efficient technologies for remote monitoring and managing of intellectual power system with active-adaptive network".

Keywords: MicroGrid, local active-adaptive electric network, optimization methods, the transportation problem, the objective function.

Введение. Оптимальное управление режимами работы в локальной электрической активно-адаптивной сети (ААС) заключается в том, чтобы за исследуемый интервал времени обеспечить эффективное электроснабжение разнородных потребителей электроэнергией заданного качества при минимально возможных затратах [1, 2]. Задача оптимизации режима работы для схемы электроснабжения полунатурной модели ААС состоит в определении оптимальных значений всех параметров режима генерации и потребления при учете технических ограничений, заданных моделью [3]. Этот тип задач относится к задачам линейного программирования с ограничениями в виде уравнений установившегося режима.

Постановка задачи оптимизации полунатурной модели локальной электрической ААС. Оптимальный режим должен быть допустимым, т.е. удовлетворять условиям эффективности, включая качество электроэнергии [4]. Условия эффективности электроснабжения при расчетах таких допустимых режимов учитывают ограничения в виде равенств и неравенств на контролируемые параметры. Эффективный режим функционирования ААС – это такой из допустимых, при котором обеспечивается минимум суммарного расхода энергии при заданной в каждый момент времени нагрузке потребителей, регистрируемой с помощью систем энергомониторинга [5, 6].

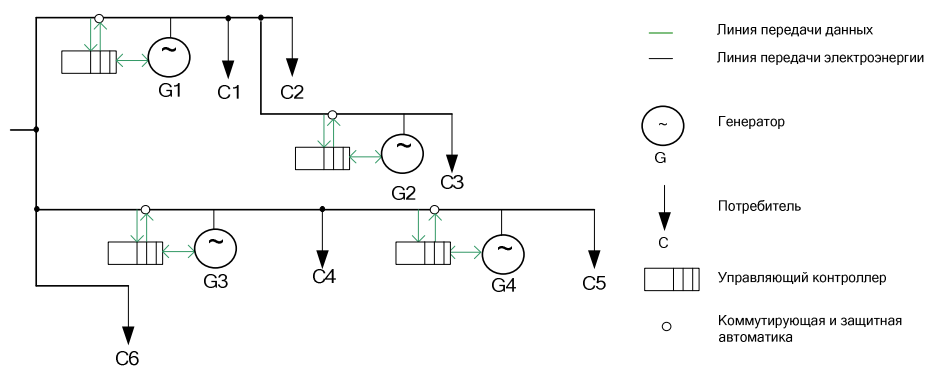


Рис. 1. Схема полунатурной модели локальной ААС

Задачу оптимизации рассмотрим для схемы локальной ААС, полунатурная модель которой включает 4 генератора (батарея солнечных элементов G2, G4; ветряной генератор G1, G3) и 6 потребителей электрической энергии (электропривод, потребители бытовой электросети).

Потери при передаче электрической энергии тем больше, чем больше расстояние от генератора до питающего им потребителя [7].

Целевая функция задачи распределения полной мощности в локальной ААС запишется как

$$F(x) = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b C_{ij} X_{ij},$$

где C_{ij} – потери при передаче мощности от i -го генератора к j -му потребителю; X_{ij} – передаваемая мощность от i -го генератора к j -му потребителю при условиях:

$$\sum x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$x_{ij} \geq 0.$$

В качестве переменных зададим следующие параметры: x_{11} – мощность электроэнергии, кВт, для 1-го потребителя, поступающего из 1-го генератора; x_{12} – мощность электроэнергии, кВт, для 1-го потребителя, поступающего из 2-го генератора, и т.д.

Ограничения по потреблению, кВт, получены на основе данных полунатурного моделирования [7, 8]:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \leq 8,821;$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \leq 3,31;$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} \leq 1,71;$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} \leq 13,8;$$

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} \leq 2,28;$$

$$x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} \leq 10897,99.$$

Ограничения по генерации, кВт, заданные в полунатурной модели:

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} \geq 10,09;$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} \geq 5,4;$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} \geq 8,28;$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} \geq 7,13.$$

С учетом заданных в модели потерь, характеризующихся расстоянием между генератором и потребителем, а также приведенной системы ограничений запишем матрицу начальных данных (табл. 1).

Таблица 1

Матрица начальных данных (потери)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Генерация
G1	0,05	0,07	0,07	0,22	0,27	0,33	10,09
G2	0,06	0,04	0,3	0,34	0,4	0,42	5,4
G3	0,26	0,35	0,25	0,03	0,08	0,1	8,28
G4	0,3	0,4	0,35	0,07	0,03	0,16	7,13
Потребление	8,82	3,31	1,71	13,8	2,28	1,71	

Проверим необходимое и достаточное условие разрешимости задачи, согласно которому:

$$\sum a = 10,09 + 5,4 + 8,28 + 7,13 = 30,9;$$

$$\sum b = 8,82 + 3,31 + 1,71 + 13,8 + 2,28 + 1,71 = 31,63.$$

Как видно, суммарная потребность больше генерируемой мощности. Следовательно, модель исходной транспортной задачи является открытой (несбалансированная транспортная задача). Чтобы получить закрытую модель, введем дополнительный (фиктивный) генератор мощности G5, равный 0,73 кВт·ч. Потери при распределении единицы мощности на все потребители от G5 примем равными нулю.

Занесем исходные данные в распределительную табл. 2.

Таблица 2

Распределительная таблица

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Генерация
G1	0,05	0,07	0,07	0,22	0,27	0,33	10,09
G2	0,06	0,04	0,3	0,34	0,4	0,42	5,4
G3	0,26	0,35	0,25	0,03	0,08	0,1	8,28
G4	0,3	0,4	0,35	0,07	0,03	0,16	7,13
G5	0	0	0	0	0	0	0,73
Потребление	8,82	3,31	1,71	13,8	2,28	1,71	

Используя метод наименьшей стоимости, построим первый опорный план транспортной задачи. Суть метода заключается в том, что из всей таблицы потерь выбираем наименьшую, и в клетку, которая ей соответствует, помещаем меньшее из чисел a_i или b_j . Затем из рассмотрения исключаем либо строку, соответствующую потребителю,

потребление которого полностью удовлетворено, либо столбец, соответствующий генератору, генерация которого полностью израсходована, либо и строку и столбец, если удовлетворено потребление и израсходована генерация. Из оставшейся части таблицы снова выбираем наименьшую потерю, и процесс распределения электроэнергии продолжаем, пока вся мощность не будет распределена, а генерация израсходована.

Используя метод северо-западного угла, построим первый опорный план транспортной задачи. План начинает заполняться с верхнего левого угла. Искомый элемент равен 0,05 (табл. 3).

Для этого элемента запасы равны 10,09, потребности 8,82. Поскольку минимальным является запас 8,82, то вычитаем его.

$$x_{11} = \min(10,09, 8,82) = 8,82.$$

Таблица 3

Расчеты для 1-го элемента

0,05	0,07	0,07	0,22	0,27	0,33	10,09 – 8,82 = 1,27
<i>x</i>	0,04	0,03	0,34	0,4	0,42	5,4
<i>x</i>	0,35	0,25	0,03	0,08	0,1	8,28
<i>x</i>	0,4	0,35	0,7	0,03	0,16	7,13
<i>x</i>	0	0	0	0	0	0,73
8,82 – 8,82 = 0	3,31	1,71	13,8	2,28	1,71	0

Затем аналогично проводим расчеты для величин потерь:

- 0,07 (запасы равны 1,27, потребности 3,31);
- 0,04 (запасы равны 5,4, потребности 2,04);
- 0,03 (запасы равны 3,36, потребности 1,71);
- 0,34 (запасы равны 1,65, потребности 13,8);
- 0,03 (запасы равны 8,28, потребности 12,15);
- 0,7 (запасы равны 7,13, потребности 3,87);
- 0,03 (запасы равны 3,26, потребности 2,28);
- 0,16 (запасы равны 0,98, потребности 1,71);
- 0 (запасы равны 0,73, потребности 0,73).

Запишем результаты расчетов в сводную табл. 4.

В результате получен первый опорный план, который является допустимым, так как вся электроэнергия распределена, генерация израсходована, а план соответствует системе ограничений транспортной

задачи. Подсчитаем число занятых клеток таблицы, их 10, а должно быть $m + n - 1 = 10$. Следовательно, опорный план является невырожденным.

Таблица 4

Первый опорный план

	1	2	3	4	5	6	Запасы
1	0,05[8,82]	0,07[1,27]	0,07	0,22	0,27	0,33	10,09
2	0,06	0,04[2,04]	0,3[1,71]	0,34[1,65]	0,4	0,42	5,4
3	0,26	0,35	0,25	0,03[8,28]	0,08	0,1	8,28
4	0,3	0,4	0,35	0,07[3,87]	0,03[2,28]	0,16[0,98]	7,13
5	0	0	0	0	0	0[0,73]	0,73
Потребности	8,82	3,31	1,71	13,8	2,28	1,71	

Значение целевой функции для этого опорного плана вычислим согласно:

$$F(x) = 0,05 \cdot 8,82 + 0,07 \cdot 1,27 + 0,04 \cdot 2,04 + 0,3 \cdot 1,71 + 0,34 \cdot 1,65 + 0,03 \cdot 8,28 + 0,07 \cdot 3,87 + 0,03 \cdot 2,28 + 0,16 \cdot 0,98 + 0 \cdot 0,73 = 2,43.$$

Проверим оптимальность опорного плана (табл. 5). Найдем предварительные потенциалы u_i, v_j по занятым клеткам таблицы, в которых $u_i + v_j = c_{ij}$, полагая, что $u_1 = 0$; $u_1 + v_1 = 0,05$; $0 + v_1 = 0,05$; $v_1 = 0,05$; $u_1 + v_2 = 0,07$; $0 + v_2 = 0,07$; $v_2 = 0,07$;

$$u_2 + v_2 = 0,04; 0,07 + u_2 = 0,04; u_2 = -0,03; u_2 + v_3 = 0,3; -0,03 + v_3 = 0,3; v_3 = 0,33;$$

$$u_2 + v_4 = 0,34; -0,03 + v_4 = 0,34; v_4 = 0,37; u_3 + v_4 = 0,03; 0,37 + u_3 = 0,03; u_3 = -0,34;$$

$$u_4 + v_4 = 0,07; 0,37 + u_4 = 0,07; u_4 = -0,3; u_4 + v_5 = 0,03; -0,3 + v_5 = 0,03; v_5 = 0,33;$$

$$u_4 + v_6 = 0,16; -0,3 + v_6 = 0,16; v_6 = 0,46; u_5 + v_6 = 0; 0,46 + u_5 = 0; u_5 = -0,46;$$

Таблица 5

Проверка первого опорного плана

	$v_1 = 0,05$	$v_2 = 0,07$	$v_3 = 0,33$	$v_4 = 0,37$	$v_5 = 0,33$	$v_6 = 0,46$
$u_1 = 0$	0,05[8,82]	0,07[1,27]	0,07	0,22	0,27	0,33
$u_2 = -0,03$	0,06	0,04[2,04]	0,3[1,71]	0,34[1,65]	0,4	0,42
$u_3 = -0,34$	0,26	0,35	0,25	0,03[8,28]	0,08	0,1
$u_4 = -0,3$	0,3	0,4	0,35	0,07[3,87]	0,03[2,28]	0,16[0,98]
$u_5 = -0,46$	0	0	0	0	0	0[0,73]

Опорный план не является оптимальным, так как существуют оценки свободных клеток, для которых $u_i + v_j > c_{ij}$:

- (1; 3): $0 + 0,33 > 0,07$; $\Delta_{13} = 0 + 0,33 - 0,07 = 0,26$;
 - (1; 4): $0 + 0,37 > 0,22$; $\Delta_{14} = 0 + 0,37 - 0,22 = 0,15$;
 - (1; 5): $0 + 0,33 > 0,27$; $\Delta_{15} = 0 + 0,33 - 0,27 = 0,06$;
 - (1; 6): $0 + 0,46 > 0,33$; $\Delta_{16} = 0 + 0,46 - 0,33 = 0,13$;
 - (2; 6): $-0,03 + 0,46 > 0,42$; $\Delta_{26} = -0,03 + 0,46 - 0,42 = 0,01$;
 - (3; 6): $-0,34 + 0,46 > 0,1$; $\Delta_{36} = -0,34 + 0,46 - 0,1 = 0,02$;
- $\max(0,26, 0,15, 0,06, 0,13, 0,01, 0,02) = 0,26$.

Выбираем максимальную оценку свободной клетки (1; 3): 0,07. Для этого в перспективную клетку (1; 3) поставим знак «+», а в остальных вершинах многоугольника – чередующиеся знаки «-», «+», «-».

Таблица 6

Первый промежуточный результат

	1	2	3	4	5	6	Запасы
1	0,05[8,82]	0,07[1,27][-]	0,07[+]	0,22	0,27	0,33	10,09
2	0,06	0,04[2,04][+]	0,3[1,71][-]	0,34[1,65]	0,4	0,42	5,4
3	0,26	0,35	0,25	0,03[8,28]	0,08	0,1	8,28
4	0,3	0,4	0,35	0,07[3,87]	0,03[2,28]	0,16[0,98]	7,13
5	0	0	0	0	0	0[0,73]	0,73
Потребности	8,82	3,31	1,71	13,8	2,28	1,71	

Цикл приведен в табл. 6 ($1,3 \rightarrow 1,2 \rightarrow 2,2 \rightarrow 2,3$). Из мощностей x_{ij} , стоящих в минусовых клетках, выбираем наименьшее, т.е. $y = \min(1, 2) = 1,27$. Прибавляем 1,27 к объемам мощностей, стоящих в плюсовых клетках, и вычитаем 1,27 из X_{ij} , стоящих в минусовых клетках. В результате получим новый опорный план, записанный в табл. 7.

Таблица 7

Второй опорный план

	1	2	3	4	5	6	Запасы
1	0,05[8,82]	0,07	0,07[1,27]	0,22	0,27	0,33	10,09
2	0,06	0,04[3,31]	0,3[0,44]	0,34[1,65]	0,4	0,42	5,4
3	0,26	0,35	0,25	0,03[8,28]	0,08	0,1	8,28
4	0,3	0,4	0,35	0,07[3,87]	0,03[2,28]	0,16[0,98]	7,13
5	0	0	0	0	0	0[0,73]	0,73
Потребности	8,82	3,31	1,71	13,8	2,28	1,71	

Аналогично проверяем оптимальность опорного плана. Опорный план не является оптимальным, так как существуют оценки свободных клеток, для которых $u_i + v_j > c_{ij}$ (табл. 8).

Таблица 8

Проверка второго опорного плана

	$v_1 = 0,05$	$v_2 = -0,19$	$v_3 = 0,07$	$v_4 = 0,11$	$v_5 = 0,07$	$v_6 = 0,2$
$u_1 = 0$	0,05[8,82]	0,07	0,07[1,27]	0,22	0,27	0,33
$u_2 = 0,23$	0,06	0,04[3,31]	0,3[0,44]	0,34[1,65]	0,4	0,42
$u_3 = -0,08$	0,26	0,35	0,25	0,03[8,28]	0,08	0,1
$u_4 = -0,04$	0,3	0,4	0,35	0,07[3,87]	0,03[2,28]	0,16[0,98]
$u_5 = -0,2$	0	0	0	0	0	0[0,73]

Аналогично просчитываю третий и четвертый опорные планы, которые не являются оптимальными, так как существуют оценки свободных клеток, для которых $u_i + v_j > c_{ij}$. Пятый опорный план является оптимальным (табл. 9, 10).

Таблица 9

Пятый промежуточный результат

	1	2	3	4	5	6	Запасы
1	0,05[6,73]	0,07	0,07[1,71]	0,22[1,65]	0,27	0,33	10,09
2	0,06[2,09]	0,04[3,31]	0,3	0,34	0,4	0,42	5,4
3	0,26	0,35	0,25	0,03[8,28][-]	0,08	0,1[+]	8,28
4	0,3	0,4	0,35	0,07[3,87][+]	0,03[2,28]	0,16[0,98][-]	7,13
5	0	0	0	0	0	0[0,73]	0,73
Потребности	8,82	3,31	1,71	13,8	2,28	1,71	

Таблица 10

Пятый опорный план

	1	2	3	4	5	6	Запасы
1	0,05[6,73]	0,07	0,07[1,71]	0,22[1,65]	0,27	0,33	10,09
2	0,06[2,09]	0,04[3,31]	0,3	0,34	0,4	0,42	5,4
3	0,26	0,35	0,25	0,03[7,3]	0,08	0,1[0,98]	8,28
4	0,3	0,4	0,35	0,07[4,85]	0,03[2,28]	0,16	7,13
5	0	0	0	0	0	0[0,73]	0,73
Потребности	8,82	3,31	1,71	13,8	2,28	1,71	

Проверим оптимальность опорного плана. Найдем предварительные потенциалы u_i, v_j по занятым клеткам таблицы, в которых $u_i + v_j = c_{ij}$, полагая, что: $u_1 = 0$; $u_1 + v_1 = 0,05$; $0 + v_1 = 0,05$; $v_1 = 0,05$; $u_2 + v_1 = 0,06$; $0,05 + u_2 = 0,06$; $u_2 = 0,01$;

$$\begin{aligned}
 &u_2 + v_2 = 0,04; 0,01 + v_2 = 0,04; v_2 = 0,03; u_1 + v_3 = 0,07; 0 + v_3 = 0,07; \\
 &v_3 = 0,07; \\
 &u_1 + v_4 = 0,22; 0 + v_4 = 0,22; v_4 = 0,22; u_3 + v_4 = 0,03; 0,22 + u_3 = 0,03; \\
 &u_3 = -0,19; \\
 &u_3 + v_6 = 0,1; -0,19 + v_6 = 0,1; v_6 = 0,29; u_5 + v_6 = 0; 0,29 + u_5 = 0; \\
 &u_5 = -0,29; \\
 &u_4 + v_4 = 0,07; 0,22 + u_4 = 0,07; u_4 = -0,15; u_4 + v_5 = 0,03; \\
 &-0,15 + v_5 = 0,03; v_5 = 0,18.
 \end{aligned}$$

Таблица 11

Проверка пятого опорного плана

	$v_1 = 0,05$	$v_2 = 0,03$	$v_3 = 0,07$	$v_4 = 0,22$	$v_5 = 0,18$	$v_6 = 0,29$
$u_1 = 0$	0,05[6,73]	0,07	0,07[1,71]	0,22[1,65]	0,27	0,33
$u_2 = 0,01$	0,06[2,09]	0,04[3,31]	0,3	0,34	0,4	0,42
$u_3 = -0,19$	0,26	0,35	0,25	0,03[7,3]	0,08	0,1[0,98]
$u_4 = -0,15$	0,3	0,4	0,35	0,07[4,85]	0,03[2,28]	0,16
$u_5 = -0,29$	0	0	0	0	0	0[0,73]

Опорный план является оптимальным (табл. 11). Так, все оценки свободных клеток удовлетворяют условию $u_i + v_j \leq c_{ij}$.

Минимальные затраты составят:

$$F(x) = 0,05 \cdot 6,73 + 0,07 \cdot 1,71 + 0,22 \cdot 1,65 + 0,06 \cdot 2,09 + 0,04 \cdot 3,31 + 0,03 \cdot 7,3 + 0,1 \cdot 0,98 + 0,07 \cdot 4,85 + 0,03 \cdot 2,28 + 0 \cdot 0,73 = 1,8019.$$

Для 1-го потребителя необходима электроэнергия из 1-го генератора (6,73 кВт) и из 2-го генератора (2,09 кВт).

Для 2-го потребителя необходима электроэнергия из 2-го генератора (3,31 кВт).

Для 3-го потребителя необходима электроэнергия из 1-го генератора (1,71 кВт).

Для 4-го потребителя необходима электроэнергия из 1-го генератора (1,65 кВт), из 3-го генератора (7,3 кВт) и из 4-го генератора (4,85 кВт).

Для 5-го потребителя необходима электроэнергия из 4-го генератора (2,28 кВт).

Для 6-го потребителя необходима электроэнергия из 1-го генератора (0,98 кВт).

Потребность 6-го потребителя остается неудовлетворенной на 0,73 кВт. Оптимальный план является вырожденным, так как базисная переменная $x_{56} = 0$.

Оптимальное распределение полной мощности представлено в виде графа на рис. 2.

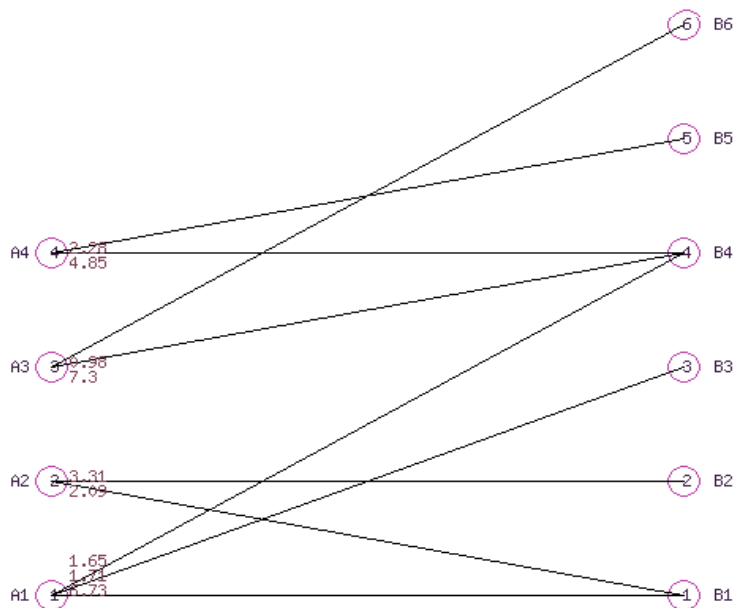


Рис. 2. Оптимальное распределение мощности полунатурной модели локальной электрической активно-адаптивной сети

Заключение. Проведена формализация задачи распределения мощности полунатурной модели локальной электрической активно-адаптивной сети, требуемой потребителям по источникам генерации. В рамках постановки задачи оптимизации предложен подход распределения мощностей на основе оптимального плана, формируемого по результатам решения задачи линейного программирования. Поскольку число потребителей и генераторов известно так же, как и их мощности, то сформулирована транспортная задача. Стоит отметить, что задача является несбалансированной, поскольку объемы потребления немного превышают объемы генерации. Проведенный расчет оптимизации по полной мощности на стенде полунатурного моделирования локальной активно-адаптивной сети позволит правильно распределить потребление электроэнергии с минимальными потерями.

Библиографический список

1. Ледин С.С. Интеллектуальные сети SmartGrid – будущее российской энергетики (ЗАО ИТФ «Системы и технологии») // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2010. – № 11(16). – С. 4–8.
2. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России // Энергоэксперт. – 2009. – № 4. – С. 15.
3. Полунатурное моделирование активно-адаптивной электрической сети / А.Б. Петроченков, Т. Франк, А.В. Ромодин, А.В. Кычкин // Электротехника. – 2013. – № 11. – С. 60–63.
4. Новиков В.В. Интеллектуальные измерения на службе энергосбережения // Энергоэксперт. – 2011. – № 3. – С. 68–70.
5. Аполлонский С.М., Леонтьев В.В. Электротехника и электроника. Трехфазные электрические цепи: учеб. пособие. – СПб.: СЗТУ, 2002. – 59 с.
6. Темичев А.А., Кычкин А.В. Программный симулятор ПЛК VIDA350 системы энергоменеджмента // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2011. – № 5. – С. 210–220.
7. Кычкин А.В. Долгосрочный энергомониторинг на базе программной платформы OpenJEVis // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 1(9). – С. 5–15.
8. Кычкин А.В., Даденков Д.А., Биалалов А.Б. Автоматизированная информационная система полунатурного моделирования статической нагрузки электроприводов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2013. – № 8. – С. 73–83.

References

1. Ledin S.S. Intellektual'nye seti SmartGrid – budushchee rossiiskoi energetik [Intelligent Networks SmartGrid - the Future of Russian Energy]. *Automation and IT in the energy sector*, 2010, no. 11(16), pp. 4-8.

2. Dorofeev V.V., Makarov A.A. Aktivno-adaptivnaia set' – novoe kachestvo edinoi energeticheskoi sistemy Rossii [An active and adaptive network – new quality of the power pool system of Russia]. *Jenergojeksper*t, 2009, no 4, 15 P.

3. Petrochenkov A.B., Frank T., Romodin A.V., Kychkin A.V. Polunaturalnoe modelirovanie aktivno-adaptivnoi elektricheskoi seti [Semi-natural modeling of an active and adaptive electric network] *Jelektrotehnika*. 2013, no. 11, pp. 60-63.

4. Novikov V.V. Intellektual'nye izmereniia na sluzhbe energosberezheniia [Intelligent Power-saving Measure in the Service]. *Energoekspert*, 2011, no. 3, pp. 68-70.

5. Apollonskii S.M., Leont'ev V.V. Elektrotehnika i elektro-nika. Trekhfaznye elektricheskie tsepi [Electrical engineering and electronics. Three-phase circuits]. Saint-Petersburg: Severo-zapadnyi zaochnyi universitet, 2002, 59 P.

6. Temichev A.A., Kychkin A.V. Programmnyi simulator PLK VIDA350 sistemy energomenedzhmenta [Program simulator of PLK VIDA350 of system of power management]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2011, no. 5, pp. 210-220.

7. Kychkin A.V. Dolgosrochnyi energomonitoring na baze programmnoi platformy OpenJEVis [A long-term energy monitoring on the basis of the program OpenJEVis platform]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2014, no. 1 (9), pp. 5-15.

8. Kychkin A.V., Dadenkov D.A., Bilalov A.B. Avtomatizirovannaia informatsionnaia sistema polunaturalnogo modelirovaniia staticheskoi nagruzki elektroprivodov [The automated information system of semi-natural modeling of static loading of electric drives]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2013, no. 8, pp. 73-83.

Сведения об авторах

Кычкин Алексей Владимирович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: aleksey.kychkin@gmail.com).

Чудинов Александр Валерьевич (Пермь, Россия) – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: aleksander.tchudinov@yandex.ru).

About the authors

Kichkin Alexey Vladimirovich (Perm, Russian Federation) is Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automation Microprocessors Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: aleksey.kychkin@gmail.com).

Chudinov Alexander Valeryevich (Perm, Russian Federation) is student Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: aleksander.tchudinov@yandex.ru).

Получено 12.09.2014