

УДК 621.31

Е.В. Жилин¹, М.В. Абдулваххаб²

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ИРАКА

¹ Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

² Дияла университет, Ирак

Описаны основные проблемы электроснабжения районов Республики Ирак. Выявлено, что наиболее эффективными мероприятиями для электроснабжения удаленных районов является использование распределенной генерации в виде фото-дизельных электростанций с автоматической системой регулирования напряжения. Указаны основные преимущества и недостатки, влияющие на режим работы электрической системы при использовании фото-дизельных электростанций. Для фрагмента электрической системы Ирака 11 кВ предложена методика и выполнен расчет нормального режима работы. Рассчитана мощность, генерируемая фото-дизельными электростанциями, определены потоки мощности в ветвях сети. Анализ режима показал, что предлагаемая методика расчета позволяет оптимизировать режим работы распределительной сети Ирака 11 кВ за счет выбора наиболее оптимальной мощности фото-дизельных электроустановок. Сделан вывод, что комплексное управление нормальными и послеаварийными режимами работы обеспечивает повышение эффективности работы распределительных сетей Ирака с распределенной генерацией.

Ключевые слова: нормальный режим работы, поток мощности, распределенная генерация, распределенная сеть Ирака, фото-дизельные электростанции.

1. Введение

Множество районов Республики Ирак не имеют доступа к центральному электроснабжению, а кроме того, вся электроэнергетическая система значительно устарела и перегружена. Для питания децентрализованных систем электроснабжения и снижения загрузки элементов электроэнергетических систем используется распределенная генерация в виде дизель-генераторов различной мощности [1-3]. Однако доставка топлива в удаленные места может привести к нестабильной работе таких установок. Высокий уровень солнечного излучения в Ираке позволяет использовать гибридные фото-дизельные электроэнергетические системы с фотоэлек-

трическими панелями и современными автоматизированными дизельными электростанциями [4, 5].

Используемые фото-дизельные электростанции имеют автоматические системы регулирования уровня напряжения в точке подключения. Такие установки положительно влияют на режимы работы распределительных сетей Ирака 11 кВ [6-8] и обеспечивают:

- изменение величины и направления потоков мощности;
- снижение потерь мощности и электроэнергии;
- повышение уровня напряжения в узлах нагрузок;
- обеспечение автономной работы на длительный срок при авариях.

Однако использование распределенной генерации создает проблемы при управлении режимами работы. Поэтому необходимо учитывать распределенную генерацию при расчете режимов работы распределительных сетей Ирака 11 кВ. Классические подходы расчета не позволяют учитывать в узлах фото-дизельные установки, способные регулировать напряжение.

Для расчета режимов разомкнутых распределительных сетей Ирака с распределенной генерацией в виде фото-дизельных электростанций, требуются подходы, применяемые при расчетах замкнутых электрических сетей с двухсторонним питанием, но при этом необходимо учитывать особенности топологии разомкнутых сетей. Однако в распределительных сетях фото-дизельные электростанции установлены более чем в двух узлах, что говорит о необходимости анализа расчета режимов распределительных сетей Ирака 11 кВ [9-11].

II. Расчетная схема

На рис. 1 представлен участок схемы распределительной сети Ирака 11 кВ. Схема состоит из 14 узлов и 13 ветвей, один из узлов является источников питания 11 кВ. К узлам 21, 22, 32, 34, 35, 41, 42, 5 подключены электрические нагрузки. В узлах 5, 35 установлены фото-дизельные электростанции.

Параметры схемы замещения и электрические нагрузки узлов представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Параметры схемы замещения и электрические нагрузки узлов

Параметры узлов			Параметры ветвей		
№ узла	P_p , кВт	Q_p , квар	№ ветви	Z , Ом	B , См·10 ⁻⁶
1	–	–	1 – 2	2,85+j5,68	-j79,8
2	–	–	2 – 21	3,26+j6,49	-j91,2
21	14	7	2 – 22	3,67+j7,31	-j102,6
22	7	3	2 – 3	2,24+j4,46	-j62,7
3	–	–	3 – 31	2,04+j4,06	-j57

Продолжение табл. 1.

31	–	–	31 – 32	$2,68+j4,55$	$-j29,9$
32	6	4	31 – 33	$2,92+j4,96$	$-j32,6$
33	–	–	33 – 34	$3,41+j5,79$	$-j38,1$
34	15	7	33 – 35	$1,95+j3,31$	$-j21,7$
35	5	3	3 – 4	$3,17+j5,38$	$-j35,3$
4	–	–	4 – 41	$2,68+j4,55$	$-j29,9$
41	15	6	4 – 42	$2,44+j4,14$	$-j27,2$
42	6	3	4 – 5	$2,19+j3,72$	$-j24,5$
5	7	4	–	–	–

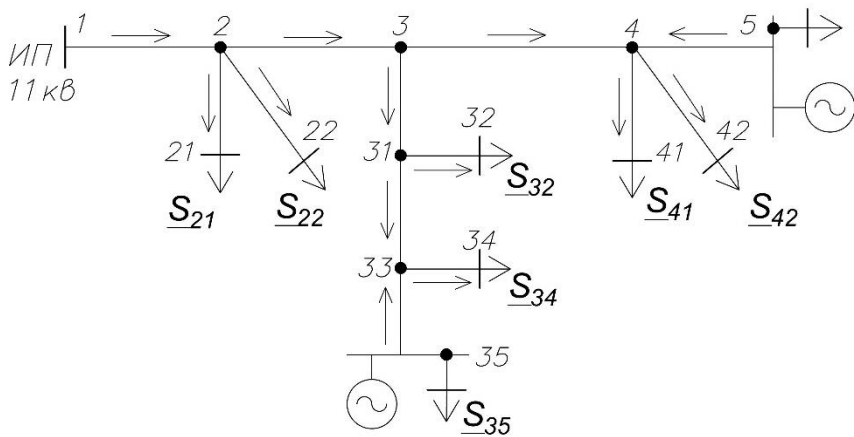


Рис. 1. Участок распределительной сети Ирака 11 кВ

При отключении фото-дизельной электростанции в узле 35 потоки мощности без учета потерь на участке 1-2 определяется по выражению [12, 13]:

$$\underline{S}_{12} = \frac{\underline{U}_1 - \underline{U}_5}{\underline{Z}_{1-5}} \cdot \underline{U}_H + \frac{\sum_{i=2}^4 \underline{S}_i \cdot \underline{Z}_{i-5}}{\underline{Z}_{1-5}}, \quad (1)$$

где \underline{U}_1 – напряжение в узле 1 (источник питания 11 кВ); \underline{U}_5 – напряжение в узле 5 (фото-дизельная электростанция); \underline{U}_H – номинальное напряжение распределительной сети; \underline{Z}_{1-5} – суммарное сопротивление участка между узлами 1 и 5; \underline{Z}_{i-5} – суммарное сопротивление участков между узлами i и 5:

$$\begin{cases} \underline{Z}_{2-5} = \underline{Z}_{2-3} + \underline{Z}_{3-4} + \underline{Z}_{4-5}; \\ \underline{Z}_{3-5} = \underline{Z}_{3-4} + \underline{Z}_{4-5}; \\ \underline{Z}_{4-5} = \underline{Z}_{4-5}. \end{cases} \quad (2)$$

При включении фото-дизельной электростанции в узле 35 распределительная электрическая сеть превращается в сеть с трехсторонним питанием. Для определения генерирующей мощности фото-дизельной электростанции необходимо составить уравнения второго закона Кирхгофа с учетом потоков уравнивающих мощностей для каждой ветви, соединяющей источник питания 11 кВ с генерирующим узлом.

III. Результаты расчета режима работы

Для рассматриваемого фрагмента схемы распределительной сети Ирака требуется составить два уравнения. За положительное направление обхода выбрано направление от источника питания к генерирующим узлам.

$$\begin{cases} \underline{S}_{1-2} \cdot \underline{Z}_{1-2} + \underline{S}_{2-3} \cdot \underline{Z}_{2-3} + \underline{S}_{3-31} \cdot \underline{Z}_{3-31} + \underline{S}_{31-33} \cdot \underline{Z}_{31-33} - \underline{S}_{33-35} \cdot \underline{Z}_{33-35} + \\ + \frac{U_1 - U_{35}}{Z_{1-35}} \cdot U_H = 0; \\ \underline{S}_{1-2} \cdot \underline{Z}_{1-2} + \underline{S}_{2-3} \cdot \underline{Z}_{2-3} + \underline{S}_{3-4} \cdot \underline{Z}_{3-4} - \underline{S}_{4-5} \cdot \underline{Z}_{4-5} + \frac{U_1 - U_5}{Z_{1-5}} \cdot U_H = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Потоки мощности в ветвях представлены через мощности нагрузок и неизвестные мощности, генерируемые фото-дизельными электростанциями в распределительную сеть:

$$\begin{cases} \underline{S}_{33-35} = \underline{S}_{35} - \underline{S}_{\Gamma 35}; \\ \underline{S}_{31-33} = \underline{S}_{34} + \underline{S}_{35} - \underline{S}_{\Gamma 35}; \\ \underline{S}_{3-31} = \underline{S}_{32} + \underline{S}_{34} + \underline{S}_{35} - \underline{S}_{\Gamma 35}; \\ \underline{S}_{4-5} = \underline{S}_5 - \underline{S}_{\Gamma 5}; \\ \underline{S}_{3-4} = \underline{S}_{41} + \underline{S}_{42} + \underline{S}_5 - \underline{S}_{\Gamma 5}; \\ \underline{S}_{2-3} = \underline{S}_{32} + \underline{S}_{34} + \underline{S}_{35} + \underline{S}_{41} + \underline{S}_{42} + \underline{S}_5 - \underline{S}_{\Gamma 5} - \underline{S}_{\Gamma 35}; \\ \underline{S}_{1-2} = \underline{S}_{21} + \underline{S}_{22} + \underline{S}_{32} + \underline{S}_{34} + \underline{S}_{35} + \underline{S}_{41} + \underline{S}_{42} + \underline{S}_5 - \underline{S}_{\Gamma 5} - \underline{S}_{\Gamma 35}. \end{cases} \quad (4)$$

После подстановки полученных потоков мощности в систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 (\underline{S}_{21} + \underline{S}_{22} + \underline{S}_{32} + \underline{S}_{34} + \underline{S}_{35} + \underline{S}_{41} + \underline{S}_{42} + \underline{S}_5 - \underline{S}_{\Gamma 5} - \underline{S}_{\Gamma 35}) \cdot \underline{Z}_{1-2} + \\
 + (\underline{S}_{32} + \underline{S}_{34} + \underline{S}_{35} + \underline{S}_{41} + \underline{S}_{42} + \underline{S}_5 - \underline{S}_{\Gamma 5} - \underline{S}_{\Gamma 35}) \cdot \underline{Z}_{2-3} + \\
 + (\underline{S}_{32} + \underline{S}_{34} + \underline{S}_{35} - \underline{S}_{\Gamma 35}) \cdot \underline{Z}_{3-31} + (\underline{S}_{34} + \underline{S}_{35} - \underline{S}_{\Gamma 35}) \cdot \underline{Z}_{31-33} - \\
 - (\underline{S}_{35} - \underline{S}_{\Gamma 35}) \cdot \underline{Z}_{33-35} + \frac{U_1 - U_{35}}{Z_{1-35}} \cdot U_H = 0; \\
 (\underline{S}_{21} + \underline{S}_{22} + \underline{S}_{32} + \underline{S}_{34} + \underline{S}_{35} + \underline{S}_{41} + \underline{S}_{42} + \underline{S}_5 - \underline{S}_{\Gamma 5} - \underline{S}_{\Gamma 35}) \cdot \underline{Z}_{1-2} + \\
 + (\underline{S}_{32} + \underline{S}_{34} + \underline{S}_{35} + \underline{S}_{41} + \underline{S}_{42} + \underline{S}_5 - \underline{S}_{\Gamma 5} - \underline{S}_{\Gamma 35}) \cdot \underline{Z}_{2-3} + \\
 + (\underline{S}_{41} + \underline{S}_{42} + \underline{S}_5 - \underline{S}_{\Gamma 5}) \cdot \underline{Z}_{3-4} - (\underline{S}_5 - \underline{S}_{\Gamma 5}) \cdot \underline{Z}_{4-5} + \frac{U_1 - U_5}{Z_{1-5}} \cdot U_H = 0.
 \end{array} \right. \quad (5)$$

Результатом решения системы уравнений являются неизвестные мощности, генерируемые фото-дизельными электростанциями:

$$\underline{S}_{\Gamma 5} = 46,25 + j20,9 \text{ МВА}; \quad \underline{S}_{\Gamma 35} = 24,53 + j13,4 \text{ МВА}. \quad (6)$$

Учитывая потоки мощности от источников распределенной генерации, выполняется расчет потокораспределения в остальных ветвях. Результаты расчета представлены на рис. 2.

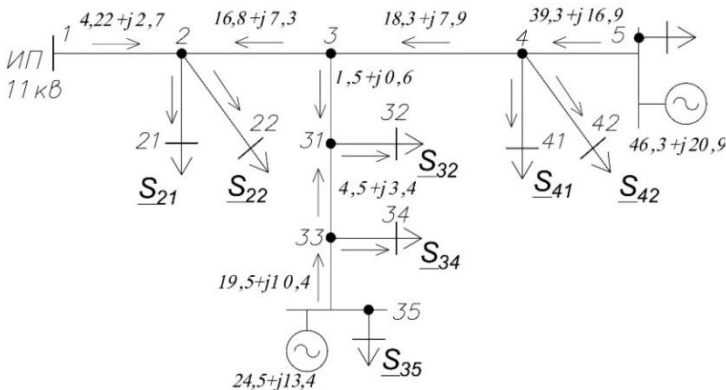


Рис. 2. Потокораспределение в распределительной сети Ирака

IV. Заключение

Представлен способ расчета режимов работы распределительных сетей Ирака 11 кВ с учетом распределенной генерации, работающей параллельно с энергосистемой. Полученный результат обеспечит повышение эффективности работы распределительных сетей, даст возможность комплексно управлять нормальными и послеаварийными режимами распределительной сети, включающей распределенную генерацию.

Представленный подход расчета позволит оптимизировать режим работы распределительной сети Ирака 11 кВ за счет выбора наиболее оптимальных мощностей фото-дизельных электроустановок.

© Жилин Е.В., 2019

© Абдулваххаб М.В., 2019

Библиографический список

- [1] Авербух М.А., Абдулваххаб М.В., Жилин Е.В., Сизганова Е.Ю. Особенности режимов распределительных электроэнергетических сетей Ирака // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2019. № 12 (5). С. 607-616.
- [2] Fishov A., Shiller M., Dekhterev A., Fishov V. Stability monitoring and control of generation based on the synchronized measurements in nodes of its connection // Journal of Power and Energy Engineering. 2015. № 9 (1). P. 59-67.
- [3] Mesquita F.G.G. Design optimization of stand-alone hybrid energy systems: MEEC thesis, FEUP, Portugal, Porto, 2010. – 120 p.
- [4] Costa P.M., Matos M.A. Loss allocation in distribution networks with embedded generation // IEEE transactions on power systems. 2004. № 19 (1). P. 384-389.
- [5] Воропай Н.И., Бат-Ундрал Б. Методы обеспечения эффективности и надежности систем электроснабжения с распределенной генерацией // Межд. науч. сем. «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики». 2009. № 59. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2009.
- [6] Булатов Б.Г., Тарасенко В.В. Алгоритмы интеллектуального управления режимом распределительной сети // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2012. № 37. С. 18-22.
- [7] Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б. Энергоэффективность фотоэлектростанций в автономных системах электроснабжения. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 140 с.
- [8] Mamaghani A.H., Escandon S.A.A., Najafi B., Shirazi A., Rinaldi F. Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia // Renewable Energy. 2016. № 97 (C). P. 293-305.
- [9] Веников В.А., Глазунов А.А., Жуков Л.А. Электрические системы. Электрические сети. М.: Высшая школа, 1998. – 511 с.
- [10] Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. М.: Энергоатомиздат, 1988. – 287 с.

- [11] Винников Б.Г., Зеленский Д.А., Картавец В.В. Расчет режимов разомкнутых распределительных сетей методом распределения мощности // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5. № 8. С. 171-174.
- [12] Бат-Ундрал Б., Воропай Н.И., Расчеты режимов радиальной электрической сети интервальным методом // Электричество. 2008. № 10. С. 64-66.
- [13] Фурсанов М.И., Золотой А.А., Макаревич В.В. Учет потребительских энергоисточников в расчетах распределительных электрических сетей 6-10 кВ // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2011. № 4. С. 11-16.

E.V. Zhilin¹, M.W. Abdulwahhab²

**FEATURES OF INFLUENCE
OF DISTRIBUTED GENERATION ON POWER FLOW
DISTRIBUTION OF ELECTRIC NETWORK OF IRAQ**

^{1,2} Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov
Belgorod, Russia

² University of Diyala
Diyala Governorate, Iraq

Abstract. The object of the study is the section of the 11 kV distribution network in Iraq. The main problems of power supply in the Republic of Iraq regions are described. As this study shows the most effective measures for the electrical supply of remote areas is the use of distributed generation in the form of photo-diesel power plants with an automatic voltage regulation system. It was also noted the main advantages and disadvantages affecting of the operating mode of the distribution network when using photo-diesel power plants. A brief description of the section of the 11 kV distribution network of Iraq is given, its main parameters are presented. The basic input data for calculating the normal mode of operation taking into account the use of distributed generation operating in parallel with the power system are indicated, and a method for calculating the normal mode of operation is proposed. The calculation of the operating mode for the section of the 11 kV distribution network of Iraq is completed. The generated power from a photo-diesel power plants has been calculated and the power flows in the branches of the 11 kV distribution network have been determined. The analysis of the regime showed that the proposed calculation method allows optimizing the operation mode of the 11 kV distribution network of Iraq by choosing the most optimal power of photo-diesel electrical installations. This will provide an increase in the efficiency of distribution networks, and will make it possible to comprehensively manage the normal and post-emergency modes of the Iraq distribution network, including distributed generation.

Keywords: distributed generation, Iraq's distributed networks, normal operation, photo-diesel power plants, power flow.

References

- [1] M.A. Averbukh, M.W. Abdulwahhab, E.V. Zhilin and E.Yu. Sizganova, «The Special features of the iraqi distribution electric power networks», *Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies*, vol. 12, no. 5, pp. 607-616, May 2019.
- [2] A. Fishov, M. Shiller, A. Dekhterev and V. Fishov, «Stability monitoring and control of generation based on the synchronized measurements in nodes of its connection», *Journal of Power and Energy Engineering*, vol. 9 (1), pp. 59-67, Jan. 2015.
- [3] F.G.G. Mesquita, *Design optimization of stand-alone hybrid energy systems*”, MEEC thesis, FEUP, Portugal, Porto. 2010.
- [4] P.M. Costa and M.A. Matos, «Loss allocation in distribution networks with embedded generation», *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 19, no. 1, pp. 384-389, Feb. 2004.
- [5] N.I. Voropai and B. Bat-Undral, «Metody obespecheniya effektivnosti i nadezhnosti sistem elektrosnabzheniya s raspredelennoj generaciej (Methods for ensuring the efficiency and reliability of distributed generation power systems)», in proc. *Rudenko Int. conf. «Methodological problems in reliability study of large energy system*», vol. 59, 2009. Irkutsk: ISEM SB RAS, 2009 (in Russian).
- [6] B.G. Bulatov and V.V. Tarasenko, «Algorithms of intelligent control of distributing network modes», *Bulletin of South Ural State University, Series «Power Engineering»*, vol. 37, pp. 18-22, Sept. 2012.
- [7] B.V. Lukutin and E.B. Shandarova, *Energoeffektivnost' fotoelektrostantsiy v avtonomnykh sistemakh elektrosnabzheniya (Energy efficiency of photovoltaic power plants in autonomous power supply systems)*. Tomsk: Izd-vo TPU (TPU Publishing House), 2008 (in Russian).
- [8] A.H. Mamaghani, S.A.A. Escandon, B. Najafi, A. Shirazi and F. Rinaldi, «Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia», *Renewable Energy*, vol. 97 (C), pp. 293-305, 2016.
- [9] V.A. Venikov, A.A. Glazunov and L.A. Zhukov, *Elektricheskiye sistemy. Elektricheskkiye seti (Electrical systems. Electric networks)*. Moscow: Vysshaya shkola (Higher School), 1998 (in Russian).
- [10] V.I. Idelchik, *Raschety i optimizatsiya rezhimov elektricheskikh setey i sistem. Energoatomizdat (Calculations and optimization of modes of electric networks and systems)*. Moscow: Energoatomizdat, 1988 (in Russian).
- [11] B.G. Vinnikov, D.A. Zelensky and V.V. Kartavtsev, «Calculation of rates of the distributive networks the method of distribution of capacity», *Bulletin of Voronezh State Technical University*, vol. 5, no. 8, pp. 171-174, 2009.
- [12] B. Bat-Undral and N.I. Voropai, «Raschety rezhimov radial'noy elektricheskoy seti interval'nym metodom (Calculation of the modes of the radial electric network by the interval method)», *Elektrichestvo*, vol. 10, pp. 64-66, 2008 (in Russian).
- [13] M.I. Fursanov, A.A. Zalatoi and V.V. Makarevich, «Account of consumer power sources in calculations of distributive electrical networks of 6-10 kV», *Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, vol. 4, pp. 11-16, 2011.