DOI: 10.17277/vestnik.2019.04.pp.560-566

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕГАТИВНЫХ СЕТЕВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ РЕЗКОПЕРЕМЕННОГО ХАРАКТЕРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В. И. Зацепина¹, Е. П. Зацепин¹, П. И. Скоморохов²

Кафедра электрооборудования, $\Phi \Gamma EOVBO$ «Липецкий государственный технический университет» (1);

Служба релейной защиты и автоматики (2), Филиал АО «СО ЕЭС» «Региональное диспетчерское управление энергосистем Липецкой и Тамбовской областей», pavelskomorokhov@mail.ru, г. Липецк, Россия

Ключевые слова: возмущения; высшие гармоники; искажения напряжения; моделирование; перенапряжение; провал напряжения; электроснабжение.

Аннотация: Рассмотрены результаты анализа воздействия негативных сетевых возмущений резкопеременного характера на такие параметры качества электрической энергии, как провалы, перенапряжения, высшие гармонические составляющие. Причем рассматривается их консолидированное влияние, отражающееся на кривой мгновенного напряжения в электрической сети. В программно-аппаратном комплексе МАТLАВ построена имитационная модель воздействия негативных сетевых возмущений, получены графические результаты в электронном осциллографе. На основании итоговых данных сформированы возможные пути решения такой прикладной научной задачи, как динамическая компенсация амплитудно-фазных искажений напряжения (АФИН) в распределительных электрических сетях. Предложена модель технического решения поставленной задачи.

Развивающаяся в геометрической прогрессии модернизация систем электроснабжения с нарастающим распространением автоматизации производственных процессов промышленных предприятий увеличивает сложность их режимов работы. В результате требуется разработка методик и мероприятий, повышающих рациональную эффективность функционирования таких систем электроснабжения. Появление сбоев в работе электрооборудования, а также полных отказов в работе зависит от многих случайных факторов и ведет к существенному снижению технико-экономических показателей работы предприятия [1].

Резкопеременный характер возникновения а, следовательно, и распространения по всей питающей электросети негативных сетевых возмущений обусловлен в первую очередь случайным характером варьирования рабочих мощностей, то есть коммутациями и отключениями различных нагрузок, которые происходят с определенной вероятностью. Характер возникновения амплитудно-фазных искажений напряжения (**АФИН**) и случайные по характеру возникновения коммутации нагрузок имеют прямую причинно-следственную связь [2].

Источниками резкопеременных нагрузок в системах электроснабжения являются электроприемники средней и большой мощности с графиками потребления мощности, имеющими случайный и независимый характер. Скачкообразное

изменение нагрузки также происходит при включении мощных электродвигателей с большой кратностью пускового тока [3].

При наличии резкопеременных нагрузок в системе электроснабжения наблюдается снижение качества электроэнергии, по отношению к системам с нормальными графиками нагрузок, в виде отклонений и колебаний напряжения, а также высших гармонических составляющих. Усугубляющим фактором в данном случае является то, что, возникая в какой-либо точке, негативные сетевые возмущения распространяются по системе электроснабжения всего предприятия. При этом распространение к шинам низшего напряжения происходит практически без затухания, а к шинам высшего напряжения — затухание только по амплитуде. К тому же электрическое освещение особенно чувствительно к колебаниям напряжения, что в первую очередь приводит к понижению эффективности труда рабочего персонала предприятия [4].

Чтобы провести достаточно полное описание возникновения и распространения негативных сетевых возмущений, возникающих в процессе коммутации нагрузок резкопеременного характера, предварительно необходимо изучить рассматриваемый процесс, то есть установить средние параметры и законы распределения длительностей импульсов и пауз, а также изменение амплитудно-фазных параметров реальных импульсов. Однако на данном первичном этапе исследования будет достаточно имитационного моделирования.

Для большей наглядности воздействия резкопеременных негативных сетевых возмущений и влияния их на кривую напряжения в распределительной электрической сети смоделировано в программно-аппаратном комплексе (ПАК) МАТLАВ воздействие генераторов возмущений с различными значениями амплитуды и фазы негативных сетевых возмущений. Схема сформированной модели приведена на рис. 1, результаты моделирования – рис. 2. Моделирование разделено на 3 этапа: на первом этапе электроприемники не подключены, на втором – через разные промежутки времени поочередно подключаются генераторы возмущений. При анализе осциллограммы напряжения для второй фазы моделирования очевидно сильное фазное искажение всех кривых напряжения. К тому же видна значительная посадка уровня напряжения — около 40 %. На третьем этапе (0,17 с по оси ординат) источники генерации АФИН отключаются и, так как система не обладает абсолютно устойчивостью, за отключением следует кратковременное скачкообразное повышение напряжения (до 10 – 12 %), и далее синусоиды всех трех фаз нормализуются.

Таким образом, вопросы повышения энергоэффективности для систем электроснабжения с резкопеременным характером негативных сетевых возмущений имеют важное значение. Специфика решения данных вопросов связана с большой мощностью установок, высоким питающим напряжением и резко стохастическим характером технологических процессов. Анализируя результаты моделирования наблюдается прямо пропорциональный характер зависимости возникновения и распространения негативных сетевых возмущений от изменения нагрузочного режима сети.

В результате требуется разработка мероприятий, повышающих рациональную эффективность функционирования таких систем электроснабжения. Появление сбоев при работе электрооборудования, а также его полных отказов зависит от многих случайных факторов, что ведет к существенному снижению технико-экономических показателей работы предприятия.

Учитывая резкий, сложно прогнозируемый характер возникновений и распространения рассматриваемых типов возмущений, очевидно, что, возможно, единственным действенным способом устранения их влияния на питающую сеть является их постоянная динамическая компенсация, основанная, в нашем случае, на принципе противофазы.

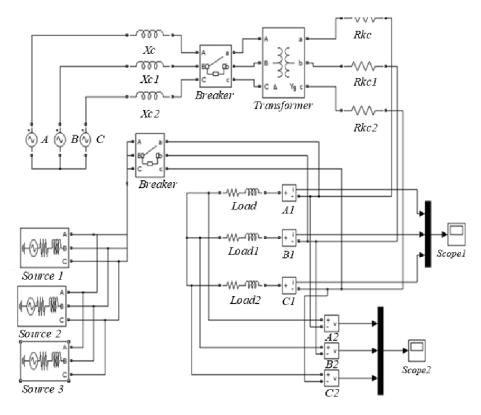


Рис. 1. Схема модели в ПАК МАТLАВ

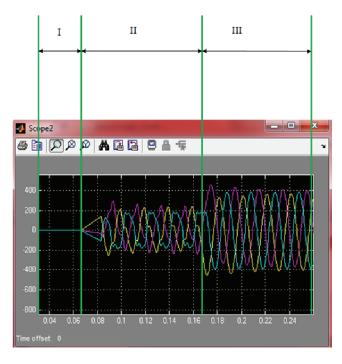


Рис. 2. Осциллограмма кривых напряжения с учетом воздействия амплитудно-фазных искажений напряжения резкопеременного характера

Пользуясь ПАК MATLAB, разработан способ динамической компенсации сразу по трем параметрам: провалу, перенапряжению, высшим гармоническим составляющим. Разберем подробнее реализацию технологии компенсации. Условно, разрабатываемая система динамического подавления АФИН (далее COMPENSATOR) состоит из семи блоков (рис. 3). Блок I является блоком вывода графической информации о токе и напряжении фазы сети. Он задает эталонную синусоиду напряжения, к которой необходимо стремиться при функционировании такой системы. Блок 2 осуществляет процесс суммирования параметров текущей кривой напряжения и параметров кривой компенсирующего напряжения. Одним из основных блоков является блок 3 - Fourier. Его функция состоит в том, что он берет информацию о форме и числовых значениях кривой напряжения на нагрузке и раскладывает ее в ряд Фурье, выделяя необходимые амплитуду и фазу напряжения. Далее с помощью дополнительных блоков 4 и 5 создаются исходные данные для генерации компенсирующей кривой напряжения, которая будет представлять собой по сути графическую и числовую разницу между эталонной кривой и кривой на нагрузке. Сгенерированная в блоке 6 компенсирующая кривая отображается в осциллографе 7, а поступает в источник DYNAMIC с программируемой функцией задачи кривой напряжения, который в свою очередь отдает ее в сеть, компенсируя амплитудно-фазные искажения.

Практическая реализация данной технологии для систем питающих такие резкопеременные нагрузки, как, например, дуговые сталеплавильные печи и высокомощные прокатные станы позволит резко повысить качество электрической энергии и эффективность производственного процесса, что приведет к повышению технико-экономических показателей предприятия. Стоит отметить, что, применимо к конкретной проблематике, основными преимуществами предполагаемого технического решения являются лучшая синхронизация режимов работы группы однотипных высокомощных электроустановок; улучшение качества электроснабжения; оптимизация расхода электроэнергии предприятием; более точное регулирование мощности на вводах за счет того, что система может осуществлять

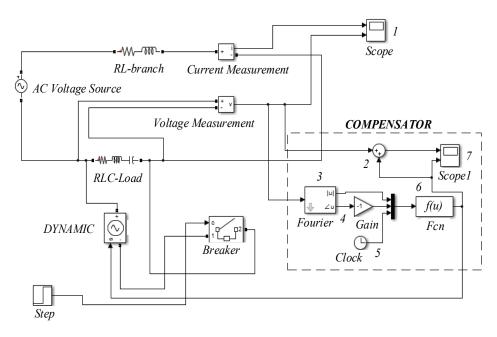


Рис. 3. Принципиальная схема предполагаемого технического решения

изменение параметров, как по амплитуде, так и по фазе мощности. Собственно именно за счет последнего свойства и предполагается решать основную проблему повышения эффективности электроснабжения в распределительной сети [5, 6].

Применительно к группе однотипных высокомощных электроприемников с помощью данного свойства *COMPENSATOR* можно перераспределять потоки мощности по ним, регулируя питающее напряжение и реактивную мощность в сети на основании данных о функционировании технологических агрегатов. Последний способ будет являться более эффективным в плане достижения поставленных выше целей, когда регулирование режима функционирования электрической системы будет подчинено технологическому процессу производства. Для создания систем регулирования режимов необходимо проводить дополнительные исследования, направленные на обеспечение электромагнитной совместимости и повышение быстродействия, что в условиях резкопеременных нагрузок является приоритетным.

Список литературы

- 1. Шпиганович, А. Н. Математическое моделирование систем и технологических комплексов случайными потоками : монография / А. Н. Шпиганович Липецк : ЛГТУ, 2007. 209 с.
- 2. Черепанов, В. В. Экспериментальное исследование графиков электрических нагрузок основных производств лесоперерабатывающей отрасли / В. В. Черепанов, Н. С. Бакшаева // Сборник научных трудов ВятГТУ. № 2. Электротехника и энергетика. Киров : ВятГТУ, 1997. С. 76 79.
- 3. Filimonova, A. A. Multilevel Control or Power Consumption at Metallurgical Plants / A. A. Filimonova, E. P. Zatsepin, V. I. Zatsepina // International Russian Automation Conference, 9 16 сентября 2018 г., Сочи. Сочи, 2018. С. 1 4. doi: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501746
- 4. Зацепин, Е. П. Особенности функционирования электротехнического комплекса «дуговая сталеплавильная печь система электроснабжения» / Е. П. Зацепин // Вести высш. учеб. заведений Черноземья. 2012. № 3 (29). С. 36 40.
- 5. Celada, Juan S. Electrical Analysis of the Steel Melting Arc Filmace / Juan S. Celada // Iron and Steel Engineer. 1993. Vol. 70, No. 5. P. 35 39.
- 6. Зацепина, В. И. Анализ провалов напряжения в системах электроснабжения / В. И. Зацепина, Е. П. Зацепин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№ 1. C. 387 390.

Analysis of the Impact of Negative Network Disturbances of Rapidly Changing Nature on the Efficiency of the Functioning of Power Supply Systems

V. I. Zatsepina¹, E. P. Zatsepin¹, P. I. Skomorokhov²

Department of Electrical Equipment, Lipetsk State Technical University (1); Relay Protection and Automation Service (2), pavelskomorokhov@mail.ru; Branch of JSC "SO UES" "Regional Dispatch Office of Power Systems of the Lipetsk and Tambov Regions", Lipetsk, Russia

Keywords: disturbances; higher harmonics; voltage distortion; modeling; overvoltage; voltage dip; power supply.

Abstract: The results of the analysis of the impact of negative network disturbances of rapidly changing nature on such parameters of the quality of electric energy as dips, overvoltages, and higher harmonic components are considered. Moreover, their consolidated influence which is reflected in the instantaneous voltage curve in the electric network is discussed. In the MATLAB software and hardware complex, a simulation model of the effects of negative network disturbances was built, and graphical results were obtained in an electronic oscilloscope. Based on the summarized data, possible ways of solving such an applied scientific problem as dynamic compensation of amplitude-phase voltage distortions (AFIN) in distribution electric networks have been formed. A model of the technical solution of the problem is proposed.

References

- 1. Shpiganovich A.N. *Matematicheskoye modelirovaniye sistem i tekhnologicheskikh kompleksov sluchaynymi potokami: monografiya* [Mathematical modeling of systems and technological complexes by random flows: monograph], Lipetsk: LGTU, 2007, 209 p. (In Russ.)
- 2. Cherepanov V.V., Bakshayeva N.S. *Sbornik nauchnykh trudov VyatGTU. № 2. Elektrotekhnika i energetika* [Collection of scientific works of Vyatka State Technical University. No. 2. Electrical engineering and power engineering], Kirov: VyatGTU, 1997, pp. 76-79. (In Russ.)
- 3. Filimonova A.A., Zatsepin E.P., Zatsepina V.I. *International Russian Automation Conference* [International Russian Automation Conference], 9-16 September, 2018, Sochi, Sochi, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/RUSAUTOCON.2018. 8501746 (In Eng.)
- 4. Zatsepin Ye.P. [Features of the functioning of the electrical complex "arc steel-smelting furnace power supply system"], *Vesti vysshikh uchebnykh zavedeniy Chernozem'ya* [News of higher educational institutions of the Black Earth Region], 2012, no. 3 (29), pp. 36-40. (In Russ.)
- 5. Celada Juan S. Electrical Analysis of the Steel Melting Arc Filmace, *Iron and Steel Engineer*, 1993, vol. 70, no. 5, pp. 35-39.
- 6. Zatsepina V.I., Zatsepin Ye.P. [Analysis of voltage dips in power supply systems], *Nauchnyye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Scientific problems of transport in Siberia and the Far East], 2009, no. 1, pp. 387-390. (In Russ., abstract in Eng.)

Analyse der Auswirkungen negativer Netzstörungen des stark variablen Charakters auf die Wirksamkeit der Funktionierung der Stromversorgungssysteme

Zusammenfassung: Es sind die Ergebnisse der Analyse der Auswirkungen von negativen Netzstörungen des stark variablen Charakters auf solche Parameter der elektrischen Energiequalität wie Einbrüche, Überspannungen und höhere harmonische Komponenten betrachtet. Darüber hinaus wird deren konsolidierter Einfluss berücksichtigt, der sich im momentanen Spannungsverlauf im Stromnetz widerspiegelt. Im MATLAB-Software- und Hardwarekomplex ist ein Simulationsmodell der Auswirkungen negativer Netzstörungen erstellt, grafische Ergebnisse sind in einem elektronischen Oszilloskop erhalten. Auf der Grundlage der

zusammengefassten Daten sind mögliche Lösungen für solche angewandte wissenschaftliche Aufgabe wie die dynamische Kompensation von Amplituden-Phasen-Spannungsverzerrungen (APHSV) in elektrischen Verteilungsnetzen entwickelt. Es ist ein Modell der technischen Lösung der gestellten Aufgabe vorgeschlagen.

Analyse de l'impact des perturbations de réseau négatives sur l'efficacité du fonctionnement des systèmes d'alimentation

Résumé: Sont examinés les résultats de l'analyse des effets des perturbations du réseau négatives de la nature brusque sur les paramètres de la qualité de l'énergie électrique tels que les creux, les surtensions, les composantes harmoniques supérieures. En outre, est considéré leur effet consolidé, qui se situe sur la courbe de la tension instantanée dans le réseau électrique. Dans le complexe matériel et logiciel MATLAB, est construit un modèle de simulation des effets des perturbations de réseau négatives et sont obtenus des résultats graphiques dans un oscilloscope électronique. A la base des résultats reçus, sont formulés les moyens possibles de résoudre un problème scientifique appliqué, tel que la compensation dynamique des distorsions de tension de phase (ATHÈNES) dans les réseaux de distribution électrique. Est propose un modèle de solution technique de la tâche est proposée.

Авторы: Зацепина Виолетта Иосифовна — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры электрооборудования; Зацепин Евгений Петрович — кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»; Скоморохов Павел Игоревич — ведущий специалист Службы релейной защиты и автоматики, Филиал АО «СО ЕЭС» «Региональное диспетчерское управление энергосистем Липецкой и Тамбовской областей», г. Липецк, Россия.

Рецензент: *Шпиганович Александр Николаевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электрооборудования, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, Россия.