

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 631.371:621:316.1

И.В. Наумов, И.В. Ямщикова
I.V. Naumov, I.V. Yamshchikova

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИММЕТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКИХ СЕТЯХ 0,38 КВ

THE EFFECTIVENESS OF BALANCER APPLICATION TO IMPROVE THE QUALITY AND REDUCE THE LOSSES OF ELECTRIC ENERGY IN RURAL NETWORKS OF 0.38 KV

Ключевые слова: система сельского электро-снабжения, симметрирующее устройство, качество электроэнергии, потери электроэнергии, регулируемые параметры.

Сельские электрические сети 0,38 кВ объективно работают в режиме несимметрии токов и напряжений. Отмечены три основных этапа развития систем сельского электроснабжения. Первый этап сосредотачивает внимание на построении модели развития системы как единого, целенаправленного развивающегося объекта. Второй этап посвящается анализу влиянию множества случайных факторов на процесс развития системы. Третий этап характеризует приспособление модели развития системы на получение прогнозных траекторий на длительные промежутки времени. Место установки симметрирующего устройства должно выбираться таким образом, чтобы токи нулевой последовательности замыкались на участке сети от точки подключения несимметричной нагрузки и местом установки симметрирующего устройства. Таким местом является ближайший узел нагрузок. Параметры симметрирующих устройств определяются в зависимости от мощности несимметричной нагрузки. Применяемые средства симметрирования должны соответствовать определенным требованиям. При довольно больших значениях токов нулевой последовательности мощность устройства может достигать значительной величины. В связи с этим токи прямой последовательности могут создавать дополнительные потери мощности и электрической энергии в самом устройстве, что значительно снижает экономическую целесообразность использования шунто-симметрирующих устройств в течение всего времени суток. Вследствие этого возникает проблема автоматизации таких устройств, т.е. его работы только в заданном временном или «нагрузочном» интервале. Предлагаемая схема симметрирующего устройства имеет дополнительно две ступени мощности и позволяет повысить эффективность симметрирования за счет регулируемых, автоматически изменяемых пара-

метров, которые меняются в зависимости от уровня несимметрии токов, то есть от величины тока нулевой последовательности.

Keywords: rural power supply system, balancer, electric power quality, electric power losses, adjustable parameters.

Rural electric networks of 0.38 kV objectively work in the mode of asymmetry of currents and voltage. Three main stages of development of systems of rural power supply are discussed. The first stage focuses on creating the model of development of the system as a uniform, purposeful developing object. The second stage is deals with the analysis of the influence of a set of random factors on the development of the system. The third stage characterizes the adaptation of the system development model to receiving expected trajectories for long periods. The installation site of the balancer should be chosen so that the zero sequence currents are isolated on a network site from a point of connection of asymmetrical loading and an installation site of the balancer. The closest load node is such a place. The parameters of the balancers are determined depending on the power of asymmetrical loading. The applied means of balancing have to conform to certain requirements. When zero sequence current values are quite large, the capacity of the device can reach a considerable value. As a result, positive-sequence currents can cause additional losses of power and electric energy in the device that considerably reduces the economic feasibility of using shunt balancing devices during all time of a day. Therefore, there is a problem of automation of such devices, i.e. its operation only in the set time or "load" interval. The proposed scheme of a balancing device has two additional steps of power and enables increasing the balancing effectiveness by adjustable, automatically changeable parameters that change depending on the level of current asymmetry, that is, on the zero sequence current amperage.

Наумов Игорь Владимирович, д.т.н., проф., каф. электроснабжения и электротехники, Иркутский национальный исследовательский технический университет. E-mail: professorsnaumov@list.ru.

Ямщикова Ирина Валентиновна, к.э.н., доцент, проф. каф. «Экспертиза и управление недвижимостью», Иркутский национальный исследовательский технический университет. E-mail: yamsirina@yandex.ru.

Naumov Igor Vladimirovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk Natl. Research Technical University. E-mail: professorsnaumov@list.ru.

Yamshchikova Irina Valentinovna, Cand. Econ. Sci., Assoc. Prof., Chair of Realty Survey and Management, Irkutsk Natl. Research Technical University. E-mail: yamsirina@yandex.ru.

Введение

Системные исследования в настоящее время – это широко распространённый научный подход (методология), наиболее продуктивный для исследования сложных объектов, представляющих целенаправленно развивающиеся высокоорганизованные множества сложной структуры. Одним из таких объектов является система сельского электроснабжения (ССЭ) в целом и сельские электрические сети 0,38 кВ в частности, которые имеют сложную разветвлённую структуру, неопределённый характер участия однородных и неоднородных нагрузок, несимметрию фазных токов, приводящую к увеличению дополнительных потерь и ухудшению качества электрической энергии в этих сетях [1].

Анализ и обсуждение результатов

Рост электропотребления в сельском хозяйстве связан с развитием энергетической базы сельского хозяйства, внедрением новых технологий и техники. Следует выделить три основных этапа в развитии СЭС.

Первый этап сосредотачивает внимание на построении модели развития системы как единого, целенаправленного развивающегося объекта. Исторически сложилось, что модели развития строятся с использованием регрессионного анализа, дисперсионного анализа или теории марковских процессов, цель которых – получить конечную многомерную функцию развития объекта. Задача оценивания параметров модели является матрицей взаимосвязей рассматриваемых факторов. При построении матрицы оценивания необходимо расширить область применения известных методов, в которых, как правило, определяется вектор взаимосвязей независимых переменных в функциональной модели развития. Таким образом, методы оценивания применяются для получения матрицы взаимосвязей для системы дифференциальных уравнений, а элементы матрицы представляют собой относительные скорости влияния рассматриваемых факторов.

Второй этап, как правило, посвящается анализу влияния множества случайных факторов на процесс развития системы. Принципиально на развитие объекта влияет множество факторов, из которых можно построить детерминированный закон, но вопрос о пол-

ноте конечного множества факторов остаётся открытым, т.к. неучтённых факторов во много раз больше и их влияние на процесс развития системы также необходимо оценивать. Эта задача решается с помощью анализа и оценивания вероятностных составляющих модели.

Третий этап может быть посвящён приспособлению модели развития системы на получение прогнозных траекторий на длительные промежутки времени (например, прогнозирование увеличения показателей несимметрии токов и напряжений). В связи с этим возникают следующие две задачи: во-первых, обеспечение устойчивости развития системы от некоторого состояния равновесия и, во-вторых, оценивание вероятностных составляющих на прогнозные отрезки времени.

Рассмотренные этапы реализованы в моделях и методах определения симметричных составляющих токов и напряжений, подробно рассмотренных в [2]. Разработка технических средств симметрирования для снижения потерь и повышения качества электрической энергии, обусловленных несимметрией токов, требуют необходимой оценки роста электрических нагрузок. Поэтому необходимо использовать наиболее конструктивные методы прогнозирования динамики роста потребления электрической энергии.

Установлено, что наиболее эффективным способом симметрирования режимов работы сельских сетей напряжением 0,38 кВ является применение специальных шунто-симметрирующих устройств (ШСУ) [1-3]. Несмотря на многообразие конструкций ШСУ, к ним предъявляется ряд общих требований, соблюдение которых, на наш взгляд, определяет эффективность их применения.

1. Все ШСУ должны иметь минимально возможное сопротивление токам нулевой последовательности. Благодаря этому обстоятельству, ток нулевой последовательности, обусловленный несимметричной нагрузкой, будет протекать только на участке электрической сети между несимметричной нагрузкой и местом подключения ШСУ. Замыкаясь на устройство, ток нулевой последовательности практически не проходит в следующем участке линии электропередачи между ШСУ и шинами трансформатора потребительской ТП или следующей точки разветвления сети.

2. Как показано в [3-5], параметры симметрирующего устройства не зависят от параметров электрической сети и определяются только параметрами несимметричной нагрузки, в частности величиной тока нулевой последовательности. Поэтому расчёт симметрирующего устройства необходимо осуществлять для режима максимальной несимметрии токов. Вследствие этого возникает необходимость предварительного исследования режимов работы распределительной сети 0,38 кВ на том участке, где предполагается установка ШСУ. Параметры СУ наиболее целесообразно определять, используя следующие выражения:

$$\begin{cases} Y_{cy1} = Y_{s1} - \frac{Y_1}{3} - \frac{Y_{s1}}{3} \\ Y_{cy2} = Y_{s2} - \frac{Y_2}{3} - \frac{Y_{s2}}{3} \\ Y_{cy0} = Y_{s1} - \frac{Y_0}{3} \end{cases}; \quad (1)$$

где

$$Y_{s1} = \frac{U_A \cdot Y_A + a \cdot U_B \cdot Y_B + a^2 \cdot U_C \cdot Y_C}{3 \cdot (U_{s1} - U_{n1})};$$

$$Y_{s2} = \frac{(-U_A \cdot Y_A - a^2 \cdot U_B \cdot Y_B - a \cdot U_C \cdot Y_C)}{3 \cdot U_{n2}};$$

$$Y_{s0} = \frac{(-U_A \cdot Y_A - U_B \cdot Y_B - U_C \cdot Y_C)}{3 \cdot U_{n0}}. \quad (2)$$

То есть, как показывают приведенные выражения, параметры СУ действительно определяются уровнем электропотребления.

3. При возникновении аварийных режимов в сети 0,38 кВ (например, при обрыве одной из фаз или несимметричном коротком замыкании) ток нулевой последовательности, протекающий по нулевому проводу и через ШСУ, резко возрастает и может привести к выходу устройства из строя. Вследствие этого необходимо либо предусмотреть защиту ШСУ от аварийных режимов, либо учитывать возникающие дополнительные составляющие тока нулевой последовательности при выборе мощности устройства.

4. Установлено, что сопротивление нулевой последовательности шунто-симметрирующего устройства (независимо от его типа) определяется только его активным сопротивлением, например, для ШСУ электромагнитного типа $Z_0 = 2r$ [1, 2, 6]. Это обстоятельство необходимо учитывать при конструктивном выполнении устройства (например, для ШСУ на индуктивно-ёмкостных элементах катушку индуктивности необходимо выполнять проводом большего сечения).

5. Место установки симметрирующего устройства в распределительной сети 0,38 кВ имеет первостепенное значение. Рядом авторов называются шины трансформатора распределительной ТП, как наиболее целесообразное место установки ШСУ в сети 0,38 кВ. Вместе с этим проведенные исследова-

ния [2, 3, 5] показали, что включение ШСУ на шинах трансформатора несколько улучшает качественный состав напряжения в узле нагрузок и на шинах трансформатора, но вместе с этим приводит к увеличению потерь электрической энергии. Включение симметрирующего устройства в узле нагрузок приводит как к снижению потерь мощности и электрической энергии, так и к снижению коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжений. Следовательно, наибольший эффект симметрирования режима работы сети 0,38 кВ достигается путём установки ШСУ в узле нагрузок.

6. В электрической сети 0,38 кВ симметрирующие устройства, как правило, выполняются с нерегулируемыми параметрами. При довольно больших значениях токов нулевой последовательности, мощность устройства может достигать значительной величины. В связи с этим токи прямой последовательности могут создавать дополнительные потери мощности и электрической энергии, что значительно снижает экономическую целесообразность использования шунто-симметрирующих устройств в течение всего времени суток. С целью повышения эффективности симметрирования предлагается СУ, позволяющее обеспечить автоматическое регулирование его мощности в зависимости от изменяющейся токовой нагрузки [7] (рис.).

Элементы КА1, КА2, КТ1 и КМ1 предназначены для управления первой ступенью мощности СУ; КА3, КА4, КТ2 и КМ2 – второй ступенью мощности СУ; КА5, КА6, КТ3 и КМ3 – третьей ступенью мощности СУ. Работу схемы автоматического управления (рис. б, в) поясним на примере следующих значений установок токовых реле КА1 – 1А, КА2 – 2А, КА3 – 3А, КА4 – 4А, КА5 – 5А, КА6 – 6А. При возрастании тока в нулевом проводе и во вторичной цепи трансформатора тока ТА до 1А замыкается замыкающий контакт реле КА1, при дальнейшем возрастании тока до 2А сработает (замкнется) замыкающий контакт реле КА2, получит питание катушка реле времени КТ1, с выдержкой времени замыкается замыкающий контакт реле КТ1 и получает питание катушка магнитного пускателя КМ1. После этого магнитный пускатель замыкает свои силовые контакты КМ1 и в работу включается первая ступень мощности СУ. Отключение от сети первой ступени мощности СУ произойдет после снижения тока до значения 1А. При этом замыкающий контакт КА1 приходит в исходное положение (размыкается), и катушка реле времени КТ1 теряет питание, контакт КТ1 размыкается с выдержкой времени, катушка магнитного пускателя КМ1 теряет питание и силовые контакты пускателя КМ1 размыкаются.

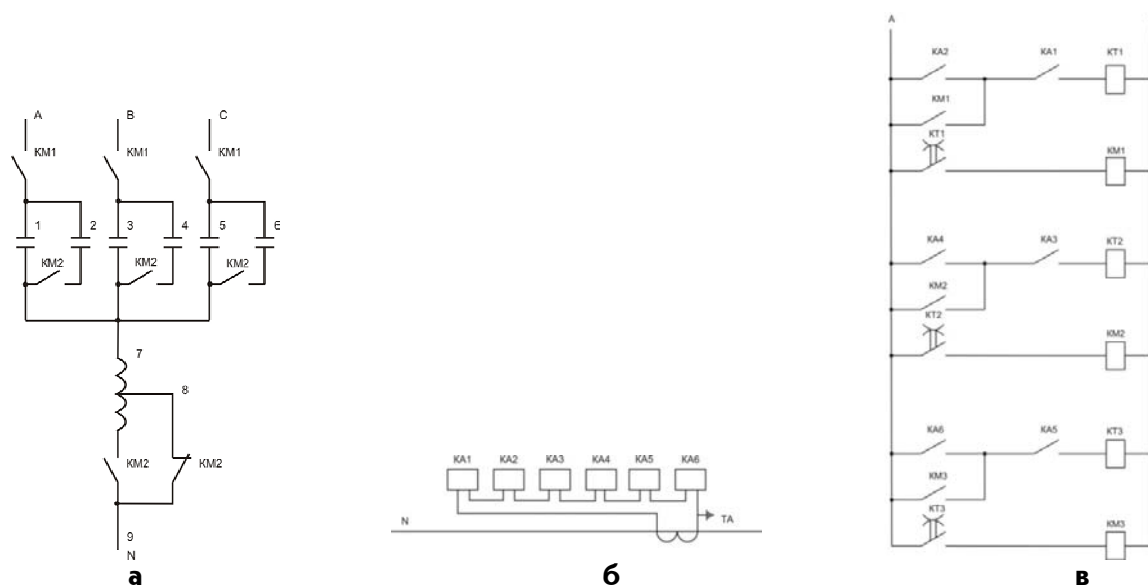


Рис. Симметрирующее устройство с регулируемыми параметрами:
а – электрическая схема; **б** и **в** – релейно-контактная схема управления работой СУ

При этом происходит отключение первой ступени СУ от сети. При снижении тока до 2А отключение не произойдет, т.к. замыкающий контакт реле КА2 блокируется вспомогательным контактом магнитного пускателя КМ1. Работа (подключение и отключение к сети) второй и третьей ступеней мощности СУ происходит аналогично. Выдержка времени при подключении и отключении ступеней мощности СУ осуществляется с помощью трех реле времени КТ1, КТ2 и КТ3 для предотвращения срабатывания ступеней устройства при кратковременных колебаниях нагрузки. Трансформатор тока ТА устанавливается в нулевой провод электрической сети 0,38 кВ и предназначен для подключения токовых реле ТА1 – ТА6. Недостатком схемы является то, что она выполнена с помощью релейно-контактной аппаратуры.

Вывод

Таким образом, предлагаемое устройство повышает эффективность симметрирования за счет селективности работы СУ в зависимости от уровня несимметрии токовой нагрузки, что позволяет в значительной степени уменьшить энергетические затраты при повышении качества и снижении потерь электрической энергии в сети 0,38 кВ.

Библиографический список

1. Наумов И.В. Оптимизация несимметричных режимов системы сельского электроснабжения. – Иркутск, 2001. – 217 с.
2. Наумов И.В. Снижение потерь и повышение качества электрической энергии в сельских распределительных сетях 0,38 кВ с помощью симметрирующих устройств: дис.

... докт. техн. наук. – Иркутск, 2002. – 387 с.

3. Наумов И.В., Пруткина А.В. Выбор параметров симметрирующего устройства в зависимости от изменяющихся показателей несимметрии в распределительных сетях 0,38 кВ с сосредоточенной нагрузкой // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2014. – Вып. 11. – С. 186-195.

4. Наумов И.В. Выбор места установки симметрирующего устройства в сети 0,38 кВ. Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М, 2002. – № 4.

5. Naumov I.V., Balishev O.K. Optimization of development of spatially distributed electric networks. 2005 IEEE St. Petersburg Power Tech Conference.

6. Naumov I.V. A method for estimation of additional power losses in spatially distributed electric networks. In: Influence of Distributed and Renewable Generation on Power Security. Proceedings of the GRIS Workshop 2006, Magdeburg 6-8 December 2006.

7. Пат. № 61063 Симметрирующее устройство для трёхфазной четырёхпроводной сети с регулируемыми параметрами / Наумов И.В и др.; опуб. 10.02.2007, Бюл. № 4.

References

1. Naumov I.V. Optimizatsiya nesimmetrichnykh rezhimov sistemy sel'skogo elektrosnabzheniya. – Irkutsk, 2001. – 217 s.
2. Naumov I.V. Snizhenie poter' i povyshenie kachestva elektricheskoi energii v sel'skikh raspredelitel'nykh setyakh 0,38 kV s pomoshch'yu simmetriruyushchikh ustroystv: diss. ... dokt. tekhn. nauk. – Irkutsk, 2002. – 387 s.
3. Naumov I.V., Prutkina A.V. Vybor parametrov simmetriruyushchego ustroystva v zavi-

simosti ot izmenyayushchikhsya pokazatelei nesimmetrii v raspredelitel'nykh setyakh 0,38 kV s sosredotochennoi nagruzkoi // Vestnik KrasGAU. – 2014. – № 11. – S. 186-195.

4. Naumov I.V. Vybor mesta ustanovki simmetriruyushchego ustroystva v seti 0,38 kV // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. – 2002. – № 4.

5. Naumov I.V., Balishev O.K. Optimization of development of spatially distributed electric networks. 2005 IEEE St. Petersburg Power Tech Conference.

6. Naumov I.V. A method for estimation of additional power losses in spatially distributed electric networks. In: Influence of Distributed and Renevabe Generaion on Power Security. Proceedings of the GRIS Workshop 2006, Magdeburg 6-8 December 2006.

7. Naumov I.V i dr. Simmetriruyushchee ustroystvo dlya trekhfaznoi chetyrekhprovodnoi seti s reguliruemyimi parametrami // Patent na poleznuyu model' № 61063 – Opublikovano 10.02.2007. Byul. № 4.



УДК 621.373

В.И. Шастин
V.I. Shastin

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

THE WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF LASER THERMOHARDENING OF IRON-CARBON ALLOYS

Ключевые слова: лазерное модифицирование, селективное покрытие, износостойкость, термоупрочнение, скорость нагрева, лазерное излучение, поглощение, автотракторная техника.

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований по разработке унифицированных поглотителей лазерной энергии, повышающих эффективность лазерного модифицирования металлических поверхностей. Показано, что зона термического влияния от воздействия лазерного излучения существенно зависит от коэффициента отражения металлической поверхности. Приведены экспериментальные зависимости зоны термического влияния от использования различных поглотителей энергии лазера. Предложено селективное двухслойное покрытие на основе полимерного плёнообразователя. Установлено, что предлагаемое покрытие, по сравнению с традиционными, способно заметно увеличить глубину зоны термического влияния. Экспериментально выявлено оптимальное соотношение компонентов поглощающего покрытия.

Keywords: laser modification, selective coating, wear resistance, thermohardening, heating rate, laser emission, absorption, automobiles and tractors.

The results of theoretical and experimental studies on the development of uniform laser energy absorbers to improve the efficiency of laser modification of metal surfaces are discussed. It is shown that the zone affected by the heat of laser emission essentially depends on the reflection coefficient of the metal surface. The experimental dependences of the heat affected zone by using different laser energy absorbers are presented. A selective two-layer coating based on a polymer film former is proposed. It is found that the proposed coating can significantly increase the depth of the heat affected zone as compared to the conventional coatings. The optimum ratio of the absorbing coating components has been experimentally found.

Шастин Владимир Иванович, к.т.н., доцент, зав. каф. технологии деревообработки, Сибирская академия права, экономики и управления, г. Иркутск. E-mail: kafedra-td@mail.ru.

Shastin Vladimir Ivanovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Woodworking Technologies, Siberian Academy of Law, Economics and Management, Irkutsk. E-mail: kafedra-td@mail.ru.

Введение

Высокоскоростной нагрев, присущий лазерному воздействию (ЛВ), в процессах термоупрочнения металлов и сплавов находит все более широкое применение, в том числе при производстве, эксплуатации и ремонте сельскохозяйственной техники. Стимулирующим фактором промышленного внедрения этой прогрессивной технологии является активно развивающееся современное лазерное

оборудование и самих технологий лазерного модифицирования в более широком их понимании (кроме упрочнения, к ним можно отнести, легирование, напыление, наплавку и различные виды термообработки).

Лазерная закалка эффективно применяется для большинства сталей, чугунов и других сплавов, используемых в автотракторной технике. При этом, как доказано многими исследованиями, износостойкость термоупроч-