



Родина Наталья Дмитриевна, канд. биол. наук, доцент кафедры «Продукты питания животного происхождения», Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина. Россия.

Степанова Светлана Сергеевна канд. биол. наук, старший преподаватель кафедры «Продукты питания жи-

вотного происхождения», Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина. Россия.

302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69.

Тел.: (4862) 76-15-17.

Ключевые слова: молочный десерт; внесение; декоративные цветы; рецептура.

INFLUENCE OF BIOLOGICALLY-ACTIVE COMPONENTS OF DECORATIVE FLOWERS ON QUALITY INDICATORS OF MILK DESSERTS

Noskova Elena Alekseevna, Magstrandt, Orel State Agrarian University named after. N.V. Parakhin. Russia.

Mamaev Andrey Valentinovich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the chair "Products of Animal Origin", Orel State Agrarian University named after. N.V. Parakhin. Russia.

Rodina Natalia Dmitrievna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the chair "Products of Animal Origin", Orel State Agrarian University named after. N.V. Parakhin. Russia.

Sergeeva Ekaterina Yuryevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Products of Animal Origin", Orel State Agrarian University named after. N.V. Parakhin. Russia.

Stepanova Svetlana Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Teacher of the chair "Products of Animal Origin", Orel State Agrarian University named after. N.V. Parakhin. Russia.

Keywords: milk dessert; application; decorative flowers; composition.

An optimum composition of dairy dessert enriched with decorative flowers is elaborated. It has been established that the application of decorative flowers reduces the fat content and energy content of the finished product. It is proposed to introduce advanced production technology, the recipe for the production of milk dessert with decorative flowers.

УДК 638.362

АСПЕКТЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ

ОРЛОВ Павел Сергеевич, Ярославская государственная сельскохозяйственная академия

ШКРАБАК Владимир Степанович, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

ГОЛДОБИНА Любовь Александровна, Санкт-Петербургский горный университет

ШКРАБАК Роман Владимирович, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

КОЧКИН Сергей Петрович, Ярославская государственная сельскохозяйственная академия

ХУДЯЕВ Олег Владимирович, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

Приведены результаты исследований по влиянию несимметричной нагрузки на эффективность и безопасность использования электрической энергии в агропромышленном комплексе страны и электрифицированных объектах других видов экономической деятельности. Отмечается, что симметричная нагрузка по фазам приводит к резкому сокращению электрических потерь в сетях. Анализом установлено, что в сетях ЕЭС количество современных компенсирующих устройств незначительно, а фильтрокомпенсирующие, фильтросимметрирующие и фазосдвигающие устройства практически отсутствуют.

Эффективность и безопасность электроснабжения сельскохозяйственного производства зависят от конструктивных, эксплуатационных и трудовых факторов, существенным образом влияющих на результат. Определяющими требованиями к конструктивным факторам являются стабильное обеспечение потребителей сельского хозяйства (производство, хранение, переработка, быт, системы жизнеобеспечения и функционирования и др.) и его агропромышленного комплекса (АПК) в целом (комбикормовые заводы, элеваторы, мукомольные предприятия, мясомолочная, хлебопекарная, кондитерская, пивобезалкогольная и др. виды деятельности) постоянным, качественным и своевременным энергопитанием. Определяющими требованиями к эксплуатации систем электрообеспечения является поддержание их

в работоспособном состоянии с обеспечением высококвалифицированными профессионалами и требуемой для этого материально-технической базой для профилактики и своевременного устранения неполадок и аварийных ситуаций (транспорт, оперативная связь, средства индивидуальной защиты и др.). Трудовые требования сводятся к исключению возможностей электропоражений обслуживающего персонала операторов, обслуживающих электрифицированные технологии и технику, и людей в быту и вблизи электрифицированных объектов и линий электропередач (обрыв электропроводов, шаговое напряжение и др.).

В решении поставленных задач важны базовые мероприятия, исключающие ситуации, ведущие к негативным последствиям при использовании электроэнергии. Специалисты обоснованно



утверждают о целесообразности создания ситуаций с равномерным распределением нагрузок по фазам электросети. Однако специфика сельскохозяйственного производства на практике такова, что невозможно абсолютно равномерно распределить однофазные (и неполнофазные) электроприемники по трем фазам четырех- и пятипроводной систем и обеспечить равномерность графика потребления нагрузки по фазам. Поэтому всегда наблюдается неравномерная нагрузка сети по фазам, приводящая к искажению фазных и линейных напряжений у потребителя с нарушением симметрии токов в фазных проводах, а в нулевом проводе (в нейтрали) появляется ток $I_N = \sum I_{\phi i}$, равный геометрической (векторной) сумме фазных токов. Ток в нулевом проводе вызывает падение напряжения ΔU_N и смещение нейтрали, приводящее при несимметричной нагрузке к потерям фазного напряжения на участках сети:

$$\Delta U_{\phi} = I_{\phi} (R_{\phi} \cos \varphi + X_{\phi} \sin \varphi),$$

где R_{ϕ} и X_{ϕ} – активное и индуктивное сопротивление участка (фазы или трансформатора), по которому течет ток нагрузки.

Суммируя падения напряжений на участках, находят падение фазного напряжения от источника $U_{\text{фист}}$ до потребителя ΔU_{Σ} :

$$\Delta U_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta U_{\phi i} = \sum_{i=1}^n \Delta U_{\text{флЭП}i} + \sum_{i=1}^n \Delta U_{\text{фТР}i}$$

Тогда фазное напряжение у потребителя (электроприемника $U_{\text{фЭПР}}$):

$$U_{\text{фЭПР}} = U_{\text{фист}} - \Delta U_{\Sigma} - \Delta U_N$$

В большинстве случаев несимметричная нагрузка на присоединении приводит к искажению симметрии напряжений у всех потребителей этого присоединения. По мере приближения от потребителя с несимметричной нагрузкой к источнику неограниченной мощности искажения напряжения уменьшаются. Несимметричная нагрузка ведет к тому, что в фазных проводах текут разные токи; появляется ток и в нулевом проводе, что сказывается на потерях мощности и энергии в линии, которые в два и более раз превышают потери электрической энергии по сравнению с сетями, работающими в симметричных режимах [1, 2].

Рассмотрим одинаковую несимметричную нагрузку по фазам: фаза А нагружена тремя параллельно включенными активными сопротивлениями $3R$. Остальные фазы не нагружены. Принимаем (для упрощения расчетов): сопротивление фазной линии R_{ϕ} равно сопротивлению нулевого R_N провода: $R_{\phi} = R_N$; потерю напряжения в питающих проводах не учитываем. Тогда через каждое сопротивление нагрузки R будет протекать ток I , ток по фазе А и по нулевому проводу равны $3I$. Потери мощности в линии:

$$\Delta P_{\Sigma}^A = \Delta P_{\phi}^A + \Delta P_N^A = (3I)^2 R_{\phi} + (3I)^2 R_{\phi} = 18I^2 R_{\phi}.$$

Ту же нагрузку распределим равномерно по двум фазам, нагрузка каждой из которых состоит из параллельно включенных сопротивлений R и $2R$; по каждой из фаз и по нулевому проводу в соответствии с векторной диаграммой (геометрическая сумма двух одинаковых по модулю векторов равна по модулю каждого из слагаемых), протекает ток $1,5I$. Потери мощности в линии (в фазах А и В и в нулевом проводе) составят:

$$\Delta P_{\Sigma}^{AB} = \Delta P_{\phi}^A + \Delta P_{\phi}^B + \Delta P_N^{AB} = 3(1,5I)^2 R_{\phi} = 6,75I^2 R_{\phi}.$$

По сравнению с однофазной нагрузкой потери в линии сократятся в 2,66 раза.

Равномерное распределение нагрузки по фазам обеспечивает равные фазные сопротивления R и токи I ; геометрическая сумма трех равных по модулю токов равна нулю, и ток в нулевом проводе также равен нулю. Потери мощности в линии (в фазах А, В и С) составят:

$$\Delta P_{\Sigma}^{ABC} = \Delta P_{\phi}^A + \Delta P_{\phi}^B + \Delta P_{\phi}^C = 3I^2 R_{\phi} = 3I^2 \rho L / F.$$

Электрические потери пропорциональны активному сопротивлению проводов ρ и длине линии L . Увеличение сечения проводов F снижает потери мощности, а симметрирование нагрузки приводит к резкому сокращению электрических потерь в сетях: равномерное распределение нагрузки по фазам снижает потери в сети в 6 раз по сравнению с однофазной нагрузкой и в 2,25 раза по сравнению с двухфазной [3]. Неравномерная нагрузка отрицательно сказывается не только на работе линии, но и на работе трансформаторов. Отсутствие симметрии вторичных напряжений трансформаторов неблагоприятно сказывается на потребителях: у асинхронных электродвигателей при питании их несимметричными напряжениями появляются симметричные составляющие токов обратной последовательности, магнитный поток становится эллипсным и электрическая машина генерирует обратный вращающий момент, снижающий крутящий момент на валу машины, вызывающий повышенный ток и перегрев электродвигателя; у ламп накаливания при питании повышенным напряжением резко снижается срок службы, питание ламп накаливания пониженным напряжением существенно снижает световой поток.

У трансформаторов несимметричная нагрузка вызывает перегрузку отдельных его обмоток, повышение фазных напряжений и насыщение магнитопровода. Работу трансформаторов в несимметричных режимах объясняют с помощью симметричных составляющих, в которых векторы токов прямой последовательности достигают максимумов последовательно в фазах А, В и С одинаковых по модулю. Векторы токов обратной последовательности также равны по модулю и достигают максимумов последовательно в фазах А, С и В. Система токов нулевой последовательности во всех трех фазах имеет одно направление (нулевой сдвиг по фазе) и равенство по модулю. Появление



токов и магнитных потоков нулевой последовательности аналогично появлению токов и магнитных потоков третьей гармоники, но они имеют разную природу возникновения. Токи и магнитные потоки нулевой последовательности появляются вследствие несимметрии нагрузки, а потоки и токи третьей гармоники – несимметрии магнитной системы и нелинейности магнитной характеристики стали магнитопровода. Кроме того, токи и магнитные потоки нулевой последовательности изменяются с частотой сети, а токи (и магнитные потоки) третьей гармоники – с утроенной частотой. Большая часть магнитных потоков нулевой последовательности охватывает первичную и вторичную обмотки и является потоками взаимной индукции, индуцирующими в обмотках ЭДС нулевой последовательности, но в случае отсутствия нулевого провода в трехстержневом трансформаторе токи нулевой последовательности в обмотках отсутствуют, так как в этом случае обмотки трансформатора для них разомкнуты [4, 5].

В отличие от вращающихся роторов электрических двигателей в трансформаторах, сопротивления прямой последовательности равны сопротивлениям обратной последовательности: если у трансформатора, работающего с симметричной нагрузкой, изменить порядок чередования фаз (поменять местами два провода из трех, которые подводят к первичной обмотке напряжение сети), то изменится на обратное и чередование токов фаз трансформатора, но внутреннее сопротивление трансформатора не изменится. Следовательно, токи обратной последовательности трансформируются из вторичной обмотки в первичную, как и токи прямой последовательности, и имеют одни и те же схемы замещения [3].

Сопротивление нулевой последовательности отличается от сопротивлений прямой и обратной последовательностей по значению и характеру, поскольку токи нулевой последовательности во всех трех фазах равны по модулю, не имеют сдвига по фазе и сумма их не равна нулю. Сопротивление нулевой последовательности и схема замещения для токов нулевой последовательности зависят как от схемы соединения обмоток, так и от конструкции магнитной системы трансформатора. При разложении несимметричной системы линейных токов вторичной обмотки трансформатора на симметричные составляющие нулевая последовательность может отсутствовать: токи нулевой последовательности могут существовать только в том случае, когда для них имеется контур, по которому они могут замкнуться. В этом случае токи нулевой последовательности фаз замыкаются через нулевой провод, а ток в нулевом проводе равен утроенному значению тока нулевой последовательности. Токи нулевой последовательности вторичной обмотки трансформатора не уравновешены соответствующими токами

первичной обмотки и не трансформируются в первичную обмотку трансформатора Y/Y_N (для них цепь первичной обмотки разомкнута – для токов нулевой последовательности все фазы первичной обмотки параллельны). Поэтому токи нулевой последовательности, протекая только по вторичным обмоткам, являются намагничивающими и создают в стержнях магнитопровода магнитные потоки нулевой последовательности, равные по модулю и параллельно направленные (в одну сторону). Поэтому магнитные потоки нулевой последовательности, возникшие в каждом из стержней магнитопровода трансформатора, не могут замкнуться через своих соседей, так как эти магнитные потоки имеют одинаковое направление в каждом из стержней. В результате магнитный поток нулевой последовательности замкнется от ярма к ярму через пространство, окружающее обмотки. В трехстержневых трансформаторах потоки нулевой последовательности относительно малы, так как замыкаются от ярма к ярму через среду с огромным магнитным сопротивлением – воздух и трансформаторное масло, металлический крепеж и стенки кожуха или бака трансформатора. Замыкание магнитных потоков через металлические детали приводит к появлению вихревых токов, разогревающих масло, обмотки и бак трансформатора. Перегрев сокращает срок службы изоляции. Растет температура масла, не позволяя нагрузить трансформатор даже номинальной нагрузкой, падает КПД трансформатора. Магнитные потоки нулевой последовательности индуцируют в обмотках ЭДС смещающие нейтраль фазных напряжений и увеличивая несимметрию нагрузки [4, 5].

Трехфазные асинхронные машины проектируют для работы с коэффициентом обратной последовательности $K_{2U} \leq 2\%$. В сельскохозяйственных и промышленных сетях с двухфазной нагрузкой этот норматив часто не соблюдается. При работе электродвигателя на номинальном вращающем моменте и $K_{2U} = 4\%$ срок службы изоляции снижается в 2 раза. При несимметрии напряжений одно или 2 фазных напряжения могут превышать номинальное значение, сокращая срок службы изоляции электрооборудования еще больше. Поскольку нулевая точка электродвигателя не соединяется с нулевой точкой источника, токи нулевой последовательности не протекают через статорные обмотки, поэтому система токов, протекающих в статорных обмотках при несимметрии питающих напряжений, может быть разложена только на токи прямой и обратной последовательностей. Скольжение для тока прямой последовательности:

$$s_1 = s_{\text{НОМ}} = (n_1 - n_2)/n_1.$$

Скольжение для тока обратной последовательности:

$$s_2 = [n_1 - (-n_2)]/n_1 = (n_1 + n_2)/n_1.$$



Подставим в формулу значение n_2 :

$$n_2 = n_1 - n_{1s_{\text{НОМ}}}$$

$$s_2 = [n_1 - (-n_2)]/n_1 = (n_1 + n_2) / n_1 =$$

$$= [n_1 + n_1(1 - s_{\text{НОМ}})]/n_1 = 2 - s_{\text{НОМ}}.$$

Частота тока обратной последовательности в роторе почти в 2 раза выше, чем для симметричных составляющих прямой последовательности. Это приводит к перегреву ротора, температура которого на 35 ... 40 °С выше температуры статора. Тепловое расширение стержней ротора приводит к повреждению роторной обмотки машины, снижая мощность электродвигателя и вызывая периодические колебания потребляемых токов (в асинхронных машинах снижение вращающего момента незначительно только до $K_{2U} \leq 4\%$). Значительная несимметрия (более 5 %) приводит к вибрации электродвигателя в результате появления знакопеременных вращающих моментов и сил, пульсирующих с двойной частотой. Электродвигатель, работающий под нагрузкой или вхолостую, уменьшает несимметрию питающей сети, так как становится источником ЭДС в фазе с наименьшим напряжением. Такой уравновешивающий эффект растет с уменьшением сопротивления обмотки [3] и возрастет с ростом мощности машины.

В сетях ЕЭС РФ количество современных компенсирующих устройств исчисляется единицами, а фильтрокомпенсирующие, фильтросимметрирующие, фазосдвигающие устройства практически отсутствуют. Не существует программы их разработки и внедрения в электрических сетях, поэтому невозможно существенное повышение энергетической эффективности российской электроэнергетики. Вместе с тем, существует указ Президента РФ № 889 «О снижении потерь электроэнергии к 2020 г. на 40 % по сравнению с 2007 г.».

Тем не менее, ведутся постоянные теоретические исследования по созданию симметрирующих устройств, что позволяет рассчитать параметры и создать реактивные симметрирующие устройства, для чего необходима информация о динамике изменения параметров нагрузки

Следует отметить органический неустранимый недостаток подобных симметрирующих устройств – невозможность плавной компенсации токов обратной и нулевой последовательностей из-за ступенчатого изменения емкостей конденсаторных батарей и индуктивностей, что позволяет только уменьшить, но не устранить полностью несимметрию нагрузки.

Для снижения потерь и повышения качества электроэнергии в сетях 0,38 кВ разработано фильтросимметрирующее устройство (ФСУ) для трехфазной четырехпроводной сети, содержащее три конденсаторные батареи (КБ) со ступенчатым регулированием емкости, соединенные по схеме

«звезда» (рис. 1). Между нулевой точки и нейтралью ФСУ включена рабочая обмотка I магнитного усилителя (МУ), обмотка управления II которого запитана от выпрямителя через регулировочные резисторы R_1 и R_2 . Конденсаторные батареи и рабочая обмотка I МУ, включенные последовательно, работают в режиме резонанса напряжения ФСУ, включенное в трехфазную четырехпроводную сеть напряжением 0,4 кВ с несимметричной нагрузкой, обладая малым сопротивлением нулевой последовательности (активным сопротивлением R_{LI} рабочей обмотки I МУ), шунтирует токи нулевой последовательности сети, снижая потери в линии и в трансформаторе и повышая качество электрической энергии [18].

Использование электромеханического привода для изменения сопротивлений регулировочных резисторов R_1 и R_2 с обратной связью и обратной связи в магнитном усилителе позволит полностью автоматизировать процесс поддержания резонансного режима фильтросимметрирующего устройства, но, как и все параллельно работающие устройства, ФСУ не в силах устранить несимметричную нагрузку по фазам.

Для надежной и безопасной эксплуатации электрооборудования важно качество электрической энергии, в особенности в сельских электрических сетях, где качество электроэнергии по уровню несимметрии напряжений часто неудовлетворительно ввиду применения трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда – звезда с нулем», наличие большой доли однофазных нагрузок и протяженности линий свыше 500 м. Несимметрия напряжений выражается в неравенстве между собой модулей векторов фазных напряжений и углов сдвига между ними и оценивается коэффициентами несимметрии симметричных составляющих нулевой и обратной последовательностей, которые не должны превышать 2 % в течение 95 % времени суток и 4 % в течение 5 % времени суток. На уровень несимметрии напряжений влияет сопротивление нулевой последовательности сети, в которую входят сопротивление нейтрального провода и сопротивление нулевой последовательности питающего силового трансформатора 10/0,4 кВ – сопротивление обмоток трансформатора протеканию токов нулевой последовательности. Для потребителей однофазной электроэнергии несимметрия напряжений в

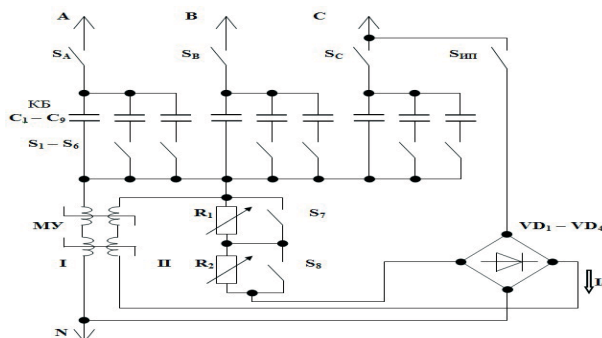


Рис. 1. Фильтросимметрирующее устройство



трехфазной сети может сопровождаться низким (или наоборот, высоким) уровнем питающего напряжения или даже опасностью возникновения перенапряжений. Понижение напряжения ведет к сбоям в работе автоматики, повышение – перерасходом электроэнергии или выходом из строя электрооборудования. Устранение несимметрии напряжений предлагается осуществлять тремя трехобмоточными во вторичной цепи трансформаторами. Устройство включается в разрыв линии и может использоваться как для индивидуального, так и группового улучшения качества электроэнергии по уровню несимметрии напряжений [7, 8].

Принципиальная электрическая схема устройства симметрирования напряжений трехфазной сети [8] аналогична устройству для симметричного распределения нагрузки по фазам трехфазной сети [9], но более затратна, так как требует применения одновременно трех трансформаторов.

В Белорусском академическом техническом университете (г. Минск) разработано и нашло применение специальное симметрирующее устройство, представляющее из себя дополнительную обмотку, наматываемую поверх всех трех фазных обмоток трансформатора Y/Y_n , включаемой в разрыв нулевого провода. Обмотка симметрирующего устройства рассчитана на длительное протекание номинального тока трансформатора (на полную однофазную нагрузку) и включена таким образом, что создаваемые ей в магнитопроводе трансформатора магнитные потоки $F_{ок}$ нулевой последовательности полностью компенсируют противоположно направленные магнитные потоки нулевой последовательности $F_{ор}$ в рабочих обмотках трансформатора, чем предотвращается перекося фазных напряжений [10]. Но предлагаемое симметрирующее устройство, как и трансформатор с обмотками, включенными по схеме зигзаг, только исключает генерирование магнитных потоков нулевой последовательности, снижая перекося фазных напряжений, но не устраняет асимметрию нагрузки по фазам.

Передача электрической энергии сельскохозяйственным потребителям традиционно осуществляется длинными маломощными электрическими воздушными линиями электропередач. Подобная система обладает рядом недостатков – высокой стоимостью, большими эксплуатационными издержками, низкой надежностью, длительным временем восстановления электроснабжения после возникновения аварийного режима. Определяющим фактором надежности электроснабжения является недофинансирование реконструкции и ремонта линий – износ ЛЭП растет, приближаясь к 100 %, растет количество аварийных отключений.

Динамика изменения аварийного потока отказов ВЛ 10 кВ (Ростовская область). показывает, что с 2003 по 2010 г. почти монотонно шел линейный рост отказов от 7,8 до 8,4 отказа в год. За 2010 г. поток отказов вырос до 9,8 отказа в

год, а с 2010 по 2011 г. поток отказов вырос с 9,8 до 11,8 отказа в год, почти догнав рост уровня отказов начала XXI в. – с 5 до 7,8 отказа в год. Средняя скорость нарастания потока отказов за исследуемые период составила 0,43 отказа в год на 100 км линий электропередач. За первые 30 мин устраняется 19 % всех аварий, за 6 ч – 56,5 % отключений, 23,5 % отказов устраняется за время от 6 до 24 ч, 0,89 % аварий устраняется за время более 24 ч. Среднее время устранения аварии – от 3,1 до 4,1 ч; 18 % всех отключений происходит из-за атмосферных осадков и ветра; 13 % – обрыва проводов; грозových перекрытий, повреждения оборудования и разрушения изоляторов – по 12 %; причина 14 % отключений не установлена. Наиболее эффективные способы борьбы с отключениями – усиление изоляции линий и распределительных устройств трансформаторных подстанций, плавка гололеда на проводах линий 10 и 35 кВ [11]. Одним из существенных факторов, определяющих качество электроснабжения, является влияние высших гармоник, приводящих к снижению эффективности процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии из-за появления дополнительных потерь электроэнергии в основных элементах систем электроснабжения, ускоренному старению изоляции электрооборудования, ложным срабатываниям устройств релейной защиты и автоматики, повреждениям средств защиты и снижению безопасности обслуживающего персонала, функциональным нарушениям, связанным с отказами, сокращению срока службы, выходу из строя оборудования, браку продукции и авариям. Анализ искажений спектра гармоник тока и напряжения выявил присутствие 3, 5, 7, 8, 11-й и 21-й гармоник.

Результирующая форма сигнала тока при сложении основной частоты с гармониками имеет сложную форму, искаженную наложением большого количества гармоник, наблюдаемых при сложных фазовых соотношениях. Результирующий сигнал имеет несинусоидальную форму. Воздействие этого сигнала проявляется в виде перегрузки и перегрева нейтрального провода, так как гармонические токи в нейтральном проводе не компенсируются, а их амплитуды складываются и составляют от 1,25 до 1,85 от амплитуды фазного тока. Токонесущая способность нейтрали оказывается не соответствующей нормативам, что приводит к функциональным нарушениям, выходу из строя оборудования и снижению безопасности эксплуатируемого объекта (вследствие отгорания нулевого провода); к ложным срабатываниям автоматических выключателей – УЗО не в состоянии суммировать высокочастотные составляющие, что приводит к ошибочным отключениям. Это связано с тем, что в одной цепи находится большое количество электрооборудования и из-за гармонических токов, протекающих в цепи, действующее его значение выше расчетного. Ложные



срабатывания УЗО приводят к выходу из строя оборудования и браку продукции. Высшие гармоники снижают коэффициент мощности (норма – 0,71...0,82), приводя к необходимости увеличения мощности питающего трансформатора, понижая коэффициент полезного действия трансформатора, увеличивает потери мощности и напряжения в линии электропередач. Так как на сеть электропитания влияет импеданс источника, гармонические составляющие тока нагрузки искажают сигнал на напряжения. Импеданс питающей сети складывается из двух составляющих: импеданса внутренней проводки от точки присоединения и импеданса питающего трансформатора. Искаженный ток нелинейной нагрузки вызывает искажение питающего напряжения на импедансе электропроводки. В результате напряжения искаженной формы прикладывается ко всем нагрузкам, включенным в цепь, приводя к генерации на них гармонических токов, даже если эти нагрузки линейны. В результате синусоидальный ток превращается в переменный ток произвольной остроконечной формы, модулированный высшими гармониками и момент перехода через «0» становится трудноуловимым, вызывая ложное срабатывание автоматики. Наиболее энергоемкие нелинейные однофазные нагрузки, образующие высшие гармоники: водонагреватели с тиристорным управлением мощности – 8 %, электронные балласты газоразрядных ламп среднего и высокого давления – 4 %, импульсные источники электропитания – 9 %; трехфазный: частотный электропривод – 64 %, холодильное оборудование – 16 % [12].

Специфика условий применения электрифицированного инструмента и бытовой техники в производстве и быту, обилие кустарных построек с земляными полами определяют повышенную опасность поражения электрическим током людей и животных. В сельских электроустановках напряжением 0,4/0,23 кВ с глухозаземленной нейтралью преобладающей системой обеспечения электробезопасности является зануление – преднамеренное соединение металлических корпусов электрооборудования с многократно заземленным нулевым проводом, выполняющим одновременно и рабочую и защитную функции, имеющую электрическую связь с заземленной нейтралью вторичной обмотки питающего силового трансформатора. При повреждении изоляции контакт фазного провода с корпусом электрооборудования вызывает короткое замыкание, приводящее к автоматическому отключению поврежденного участка плавкими предохранителями, автоматическими выключателями, токовыми реле от сверхтоков. Недостатки зануления: не защищает от поражения электрическим током в случае прикосновения к находящимся под напряжением токоведущим частям или оголенным проводникам; при ухудшении состояния изоляции вследствие неблагоприятных воздействий возрастает ток утечки на землю, развивается неполное короткое замыкание, не улавливаемое аппаратами защиты

по максимальному току и от перегрузки, приводящее к электротравме или к пожару; автоматические выключатели и плавкие предохранители, характеризующиеся большим разбросом токов и временем срабатывания, не обеспечивают быстрое действие при отключении поврежденных участков, особенно при неполном коротком замыкании; в случае обрыва нулевого провода условия электробезопасности ухудшаются для всего зануленного электрооборудования (электроприемники за точкой обрыва полностью лишаются защиты); при пробое изоляции в одном из электроприемников, на нем (и на всех последующих электроприемниках) может появиться напряжение порядка 220 В; отсутствует защита от поражения электрическим током, стекающим с оборванного и лежащего на земле (особо опасным на влажной или мокрой почве) фазного провода воздушной линии напряжением 10, 6, 0,4/0,23 кВ, а также от электрических потенциалов на нулевом проводе и корпусах электроприемников, вызванных несимметрией нагрузки по фазам (характерно для сельского хозяйства и на предприятиях горной промышленности); удлинение проводов проводок, возрастание числа электроприемников в процессе эксплуатации и увеличение уставок защитных аппаратов приводит к загромождению защиты и снижению ее эффективности. Анализ смертельного электротравматизма в сельском хозяйстве показал, что в 50 % случаев поражение работников вследствие контакта с токоведущими частями произошло на молочных, откормочных фермах, свинофермах, предприятиях переработки сельскохозяйственной продукции и отходов производства, стройплощадках, в теплицах и скотобойнях; в 60 % в воздушных сетях 0,4/0,23 кВ, наружных электроустановках, мобильных и передвижных и на пилорамах; по 33 % – на низкой стороне питающих электроподстанций, а также в группе электроприемников, объединяющих мастерские, котельные, гаражи, кормоцеха, насосные станции, пункты послеуборочной обработки зерна и технических культур, мельницы и элеваторы; по 25 % – комбикормовые заводы, пункты протравливания семян, склады, хранилища, бытовые. Более трети пожаров вызвано возгоранием электропроводки. Отсутствие средств для организации полноценного обслуживания приводит к износу электрооборудования, и бытовые электроприемники становятся потенциально опасными: с ростом парка электробытовых приборов и аппаратов в жилых помещениях («микроволновки», обогреватели, бытовые насосы, газонокосилки, пылесосы...) возрастает вероятность контакта с ними малограмотного населения (в том числе и детей). Отсутствие электротехнической службы на селе вынуждает не имеющих специальной подготовки фермеров, работников мелких и средних предприятий самостоятельно эксплуатировать электроустановки, что требует применения более надежной защиты людей от электропоражения, какой является устройство защитного отключения, обладающее высокой чувствительностью, быстродействием, надежностью,



самоконтролем работоспособности (лишено недостатков зануления). Для УЗО появляется возможность использования естественных связей металлических корпусов электрооборудования с землей. В России в обязательном порядке УЗО монтируется во всех квартирах новых и реконструируемых многоэтажных домов, торговых, культурных, спортивных, медицинских и развлекательных центрах, на строительных площадках, предприятиях бытового обслуживания и общественного питания, на производственных участках, в общественных зданиях в мастерских, на заводах, АЗС, и т.д. Исключение составляют электроустановки, не допускающие по технологическим причинам перерывы в электропитании (инкубаторы), а также электроприемники, отключение которых может привести к ситуациям, опасным для потребителей (поражение электрическим током или пожар). В таких случаях для защиты людей применяют контроль изоляции и разделительные трансформаторы. Устройство защитного отключения в этом случае применяется как дополнительное к усилению изоляции токоведущих частей, применению ограждений, установке барьеров, размещению электроустановок вне зоны досягаемости людей [13].

Предлагаемые авторами технические мероприятия позволяют повысить пропускную способность распределительных электрических сетей, надежность электроснабжения и безопасность однофазных потребителей электрического тока. Поставленная задача (рис. 2) достигается устройством для симметричного распределения нагрузки по фазам трехфазной сети [9], представляющим собой трехфазный разделительный одно- или многообмоточный (во вторичной цепи) трансформатор потребителя, каждая из вторичных обмоток которого имеет независимые от основной обмотки дополнительные витки, предназначенные для компенсации падения напряжения на линии, а каждый из потребителей многообмоточного разделительного трансформатора запитан от своей или от общей (для однообмоточного трансформатора) вторичной обмотки, в которой линия каждого потребителя запитана от трех фазных катушек трансформатора соединенных последовательно, любые две из которых включены согласованно, а третья – встречно.

Включение трех фазных катушек каждой вторичной обмотки трансформатора последовательно, любые две из которых включены согласованно, а третья – встречно, что позволяет получить однофазное переменное напряжение.

Запитывание однофазной обмотки одновременно от трех фаз позволяет равномерно распределить нагрузку по фазам и обеспечить абсолютную симметрию нагрузки линии, трансформатора подстанции и автономного генератора независимо от того, отбирает однофазную нагрузку один или несколько потребителей, или все потребители одновременно потребляют раз-

личную мощность.

Симметричная нагрузка автономного генератора линии и трансформатора подстанции позволяет увеличить пропускную способность электрической сети при пиках нагрузки, исключить перегрузку одной из фаз и предотвратить протекание тока по нулевому проводу, что позволит обеспечить повышение надежности всех защитных мероприятий, так как в принципе защищает сеть от «отгорания» нулевого провода.

Питание каждого из потребителей от своей обмотки многообмоточного трансформатора полностью исключает гальваническую связь с другими электропотребителями, повышает качество и безопасность электроснабжения. Питание потребителя через разделительный трансформатор обеспечивает гальваническую развязку потребителя от внешней мощной сети и повышает безопасность электроснабжения. В этом случае появление тока в нулевом проводе свидетельствует либо об аварийной ситуации, либо о наличии у потребителя импульсной нагрузки.

Векторная диаграмма одной из возможных схем включения вторичных обмоток трансформатора (рис. 3) иллюстрирует возможность осуществления симметричной работы сети при несимметричной нагрузке.

Каждая из трех вторичных обмоток фазы генерирует 110 В, а их последовательное соединение обеспечивает на зажимах трансформатора фазное напряжение 220 В при условии включения каждой третьей обмотки фазы встречно по отношению к двум другим обмоткам. Независимо от нагрузок любой из фаз, сеть и генератор всегда будут загружены равномерно по фазам, обеспечивая оптимальные условия работы генератора. Разделительный трансформатор потребителя также является заградительным фильтром, защищающим сеть от импульсных нагрузок.

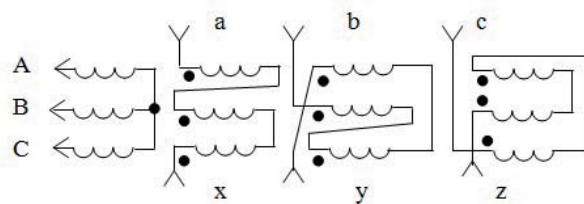


Рис. 2. Устройство для симметричного распределения однофазной нагрузки

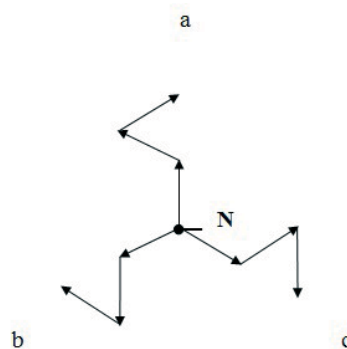


Рис. 3. Векторная диаграмма напряжений вторичных обмоток трансформатора

Учитывая неразрывность магнитных потоков в магнитопроводе трансформатора, появляется возможность (хотя и со значительными искажениями симметрии фазных напряжений по фазе) восстановление трехфазного напряжения даже при обрыве одного (любого) фазного проводника сети между генератором и трансформатором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снижение потерь электроэнергии в сельских сетях 0,38 кВТ при несимметричной нагрузке / Ф.Д. Косоухов [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 5. – С. 14–17.
2. Симметрирование однофазных нагрузок в сельских электрических сетях / Ф.Д. Косоухов [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 2. – С. 9–13.
3. Попов Н.М. Электроснабжение. Рабочие режимы сетей 0,38...10 кВ. – Кострома: КГСХА, 2010. – 202 с.
4. Сергеевков Б.Н., Киселев В.М., Акимов В.А. Электрические машины. Трансформаторы. – М.: Высш. шк., 1989. – 352 с.
5. Орлов П.С. Трансформаторы. Часть II трехфазные силовые трансформаторы. – Ярославль, 2006. – 75 с.
6. Фильтросимметрирующее устройство для трехфазной сети с нулевым проводом / Косоухин Ф.Д., Горбунов А.О., Романов В.А., Теремецкий М.Ю. // Патент на полезную модель. RU № 110876.
7. Криштопа Н.Ю., Егоров М.Ю., Самарин Г.Н. Техническое решение несимметрии напряжений // Сельский механизатор. – 2015. – № 5. – С. 28–29.
8. Устройство симметрирования напряжения трехфазной сети / Егоров М.Ю., Самарин Г.Н., Шилин В.А., Сукиасян С.М., Поляков С.В., Луканов С.Н. // Патент Р.Ф. № 2552377 H02J3/26. Заявка № 2013133563/07 от 18.07.2013, опубл. 10.06.2016.
9. Устройство для симметричного распределения нагрузки по фазам трехфазной сети / Орлов П.С., Голдобина Л.А., Шкрабак В.С. // Патент РФ № 2506676 H02J 3/00 по заявке № 2012115381 от 17.04.2012, Бюл. № 4.
10. Симметрирующее устройство для трансформаторов. Средство стабилизации напряжения и снижения потерь в сетях 0,4 кВ / А. Сердешнов [и др.] // Новости электротехники. – 2005. – № 3 (81). – С. 1–5.
11. Корчагин П.Т., Таранов Д.М. Надежность элек-

троснабжения удаленных потребителей // Сельский механизатор. – 2014. – № 3. – С. 28–29.

12. Сбитнев Е.А., Осокин В.Л. Влияние высших гармоник на качество электроэнергии в сельскохозяйственных предприятиях // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 11. – С. 19–22.

13. Борисов Ю.С., Некрасов А.А., Марчевский С.В. Повышение уровня электробезопасности защитой по току утечки. // Сельский механизатор. – 2015. – № 12. – С. 31–33.

Орлов Павел Сергеевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Электрификация», Ярославская государственная сельскохозяйственная академия. Россия.

150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58.

Тел.: (4852) 55-28-83.

Шкрабак Владимир Степанович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Безопасность технологических процессов и производств», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Россия.

196601, г. Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, 2.

Тел.: (812) 451-76-18.

Голдобина Любовь Александровна, д-р техн. наук, профессор кафедры строительства. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». Россия.

199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21-я линия, 2.

Тел.: 89043368678.

Шкрабак Роман Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Профессиональная аттестация и внедрение инноваций», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Россия.

196601, г. Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, 2.

Тел.: (812) 451-76-18.

Кочкин Сергей Петрович, зав. кафедрой «Распределительные электрические сети», Ярославская государственная сельскохозяйственная академия. Россия.

150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58.

Тел.: (4852) 55-28-83.

Худяев Олег Владимирович, аспирант кафедры «Безопасность технологических процессов и производств», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Россия.

196601, г. Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, 2.

Тел.: (812) 451-76-18.

Ключевые слова: энергообеспечение, сельское хозяйство, безопасность, эффективность, электросети, нагрузка, несимметричность.

ASPECTS OF EFFICACY AND SAFETY UNBALANCED LOAD IN THE ELECTRIC SYSTEM

Orlov Pavel Sergeyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the chair "Electrification", Yaroslavl State Agricultural Academy. Russia.

Shkrabak Vladimir Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Safety of Technological Processer and Productions", St. Petersburg State Agrarian University. Russia.

Goldobina Lyubov Alexandrovna, Doctor of Technical Sciences, National Mineral Resources University (Mining University). Russia.

Shkrabak Roman Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Professional Certification and Innovation", St. Petersburg State Agrarian University. Russia.

Kochkin Sergey Petrovich, Head of the chair "Power Distribution Networks", Yaroslavl State Agricultural Academy. Russia.

Hydaiev Oleg Vladimirovich, Post-graduate Student of the chair "Safety of Technological Processer and Productions", St. Petersburg State Agrarian University. Russia.

Keywords: energy supply; agriculture; security; efficiency; power; load asymmetry.

They are given the results of studies on the effect of unbalanced load on the efficacy and safety of the use of electric energy in the agricultural sector of the country and electrified objects of other economic activities. It is noted that balanced load by phase leads to a sharp reduction in electrical losses in the network. The analysis found out that the number of modern networks is small, and there are almost no filter compensation, filter symmetrize and phase shifters appliances.

