

### Литература

1. Селиванов Н.И. Регулирование эксплуатационных параметров тракторов // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 7. – С. 234–239.
2. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Макеева Ю.Н. Моделирование скоростных режимов и удельных показателей колесных тракторов на основной обработке почвы // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 1. – С. 81–89.
3. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Макеева Ю.Н. Удельная материалоемкость колесных тракторов // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 2. – С. 56–63.
4. Селиванов Н.И., Макеева Ю.Н. Балластирование колесных тракторов на обработке почвы // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 5. – С. 77–81.
5. Селиванов Н.И. Эффективное использование энергонасыщенных тракторов. – Красноярск, 2008. – 228 с.
6. Селиванов Н.И., Макеева Ю.Н. Адаптация колесных тракторов к технологиям почвообработки // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-19086> (дата обращения: 15.05.2015).
7. Руководство по эксплуатации тракторов Terrion. – URL: <http://www.yugprom.ru/technics/tractors/terrion/terrion-atm-5280.php> (дата обращения: 25.02.2015).
8. Руководство по эксплуатации тракторов John Deere. – URL: <http://mashintop.ru/manual.php?id=378> (дата обращения: 05.02.2015).
9. Руководство по эксплуатации тракторов «Versatil» серии Row Crop (250, 280, 305 л.с.). – URL: <http://mashintop.ru/manual.php?id=378> (дата обращения: 05.02.2015).



УДК 621.311.1

И.В. Наумов, И.В. Ямщикова

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ РОССИИ И ГЕРМАНИИ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИИ

*В статье изложены результаты экспериментальных исследований несимметричных режимов работы электрических сетей напряжением 0,38 кВ в России и Германии, а также представлено техническое средство, повышающее эффективность режимов работы этих сетей.*

**Ключевые слова:** несимметрия, качество, потери, эффективность функционирования, симметрирующее устройство.

I.V. Naumov, I.V. Yamshchikova

#### THE INCREASE OF THE OPERATING MODE EFFICIENCY OF THE LOW VOLTAGE NETWORKS IN RUSSIA AND GERMANY IN THE ASYMMETRICAL POWER CONSUMPTION

*The pilot research results of the asymmetrical operating modes of 0,38 kV electric networks in Russia and Germany are stated, the technical tool increasing the efficiency of these networks operating modes is presented in the article.*

**Key words:** asymmetry, quality, losses, efficiency of functioning, symmetrizing device.

---

**Введение.** В настоящее время во всем мире уделяется повышенное внимание вопросам энергосбережения и эффективного использования электрической энергии. В связи с этим разработ-

ка технических средств для повышения качества электрической энергии является актуальной задачей для электрических сетей всех иерархических уровней.

**Цель исследований.** Оценка повышения эффективности использования электрической энергии в низковольтных электрических сетях России и Германии.

**Задачи исследований.** На основе экспериментальных данных осуществить анализ несимметричных режимов работы низковольтных сетей России и Германии, а также разработать техническое средство для симметрирования режимов работы этих сетей.

**Методика и результаты исследований.** По некоторым оценочным данным, на электроэнергетическом рынке России имеется до 20 % избыточной электроэнергии от суммарной выработки электростанций, и поэтому интеграция Единой энергетической системы (ЕЭС) России в Объединённой энергосистеме Европы имеет существенное значение для снижения уровня необходимых резервов и обмена электроэнергией. Это тем более необходимо, так как за последнее время в энергосистемах многих стран стали происходить значительные системные повреждения, что привело к длительным отключениям электроэнергии городов и даже стран. Так, по опубликованным данным, за последние 30 лет примерно 20 отключений электроэнергии затронули около 550 млн человек. Стоимость каждого отключения возрастает год от года (в 1999 г. такие потери оценивались приблизительно в 26 млрд евро. Например, для сравнения, если система операций с банковскими карточками прекращает свою работу на час, издержки составляют более 2 млн евро). В середине июля 2015 г. в Нидерландах произошли массовые отключения электроэнергии. Больше всего пострадал север страны. По словам представителей энергоснабжающих компаний, ЧП возникло в результате перегрузок на ЛЭП. Отключения затронули и столицу Амстердам, включая зону аэропорта Схипол, который вынужденно работал в это время на резервных источниках питания.

Таким образом, подобное интегрирование вполне может рассматриваться как реальная возможность повышения устойчивости функционирования европейских энергосистем. В свете этого есть необходимость рассмотреть некоторые аспекты, касающиеся качества электроэнергии в России и странах Евросоюза, в частности в Германии (экспериментальные исследования осуществлены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 04-02-04010).

Межгосударственный стандарт на качество электроэнергии для стран СНГ (ГОСТ 32144)-2013 [1] и Европейский стандарт EN 50160:2010, NEQ [2] устанавливают уровень качества электроэнергии в сетях общего назначения. При этом требования к основным показателям качества электроэнергии (отклонение частоты, провалы напряжения, несинусоидальность, несимметрия напряжений) примерно одинаковы (с незначительным отличием) и устанавливают нормальные (с которыми сеть должна работать не более 95 % времени интервала измерения в неделю) и предельно допустимые значения. Вместе с этим такие сети (особенно потребительские сети низкого напряжения) России и Германии имеют два существенных различия.

1. Большинство потребительских сетей низкого напряжения в странах СНГ территориально распределены на значительные расстояния. Так, например, магистральные ответвления отходящих линий от шин ТП могут достигать нескольких километров. Электрические же сети Германии питают в основном сосредоточенную нагрузку и не имеют протяжённых магистралей линий электропередачи.

2. В Германии, как, впрочем, в большинстве стран Евросоюза, потребительские сети практически не имеют неполнофазных ответвлений, так как все потребители электроэнергии имеют трёхфазные вводы. Для России свойственно большое количество потребителей, особенно коммунально-бытовых, получающих питание по неполнофазным (в основном однофазным) ответвлениям. Особенно это характерно для распределительных сетей 0,38 кВ сельскохозяйственного назначения.

С учётом этого подходы стандартов [1] и [2] к оценке, например, несимметричных режимов работы также имеют некоторые различия.

В соответствии с требованиями ГОСТ 32144-2013 [1] несимметрия трёхфазной системы напряжений оценивается двумя основными показателями качества электроэнергии (ПКЭ): коэф-

коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2u}$  и коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0u}$ , которые определяются по выражениям:

$$K_{2U_i} = \frac{U_{2(1)_i}}{U_{1(1)_i}} \cdot 100; \quad K_{0U_i} = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{0(1)_i}}{U_{1(1)_i}} \cdot 100,$$

где  $U_{2(1)_i}$  – действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трёхфазной системы напряжений в  $i$ -м наблюдении, В, кВ;  $U_{0(1)_i}$  – действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты трёхфазной системы напряжений в  $i$ -м наблюдении, В, кВ;  $U_{1(1)_i}$  – действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты в  $i$ -м наблюдении, В, кВ.

Согласно требованиям [1], значения коэффициентов  $K_{2U_i}$  и  $K_{0U_i}$  должны составлять в 95 % времени десятиминутного интервала в неделю – 2 % и только 5 % времени суток эти показатели могут иметь максимальные значения – до 4 % в этом интервале.

В стандарте EN 50160 [2] аналогично установлено, что в нормальном режиме работы (в 95 % времени 10-минутного интервала измерений) напряжение обратной последовательности не должно превышать 2 % от действующего значения напряжения основной частоты. Максимальное же значение по сравнению со стандартом СНГ несколько ниже и не должно превышать 3 %. Исключение составляет коэффициент  $K_{0U_i}$ . Стандарт EN 50160 не регламентирует напряжение нулевой последовательности, полагая его несущественное влияние на качество электроэнергии.

Вместе с этим даже пофазно-равномерно распределённые однофазные электроприёмники (при трёхфазном вводе), в силу случайного характера их работы, также создают в электрической сети потоки нулевой последовательности. И эти потоки не только ухудшают качество электроэнергии (т.е. влияют на коэффициент  $K_{0U_i}$ ), но и определяют появление дополнительных потерь мощности в данной сети. Рассмотрим, как это происходит.

Потери мощности в сети 0,38 кВ при несимметричной нагрузке характеризуются коэффициентом потерь мощности [3]

$$K_p = 1 + K_{2i}^2 + K_{0i}^2 \cdot \frac{R_0}{R_1}, \quad (1)$$

где  $K_{2i}$  – коэффициент несимметрии токов по обратной последовательности, равный отношению тока обратной последовательности к току прямой последовательности;  $K_{0i}$  – коэффициент несимметрии токов по нулевой последовательности, равный отношению тока нулевой к току прямой последовательности;  $R_0, R_1$  – активные сопротивления соответственно нулевой и прямой последовательностей участка сети.

При одинаковом сечении фазного и нулевого проводов воздушной линии 0,38 кВ соотношение для линии  $R_0/R_1 = 4$ . Тогда выражение (1) преобразуется в следующий вид:

$$K_p = 1 + K_{2i}^2 + 4K_{0i}^2. \quad (2)$$

Следовательно, на величину коэффициента потерь мощности большее влияние оказывает коэффициент  $K_{0i}$ . В значительно меньшей степени на  $K_p$  влияют токи обратной последовательности. Заметное влияние на  $K_p$  эти токи будут оказывать при значении  $K_{2i} > 0,3$  [3].

Дополнительные потери мощности в сети, состоящей из  $n$  элементов, обусловленные несимметрией токов, определяются из выражения

$$\Delta P = \sum_{q=1}^n K_{pq} \cdot \Delta P_{1q}, \quad (3)$$

где  $\Delta P_{1q} = R_{\phi} \cdot (P_q^2 + Q_q^2) / U_{л}^2 = R_{\phi} \cdot P_q^2 / U_{л}^2 \cdot \cos^2 \varphi$  – потери мощности для q-го элемента сети при симметричном режиме для участка сети с активным сопротивлением фазы  $R_{\phi}$  и передаваемыми по нему активной  $P_q$  и реактивной  $Q_q$  мощностями;  $U_{л}$  – линейное напряжение сети;  $\varphi$  – угол сдвига фаз;  $K_{pq}$  – коэффициент потерь мощности в q-м элементе сети. В общем случае коэффициент потерь мощности для участка трёхфазной линии с нулевым проводом будет выглядеть как

$$K_p = 1 + K_{2i}^2 + K_{0i}^2 \cdot \left(1 + \frac{3R_N}{R_{\phi}}\right). \quad (4)$$

Для оценки несимметричных режимов работы нами были произведены исследования уровня несимметрии токов и напряжений распределительной сети 0,38 кВ в России и Германии.

Следует отметить, что осуществить абсолютно корректное сравнение исследуемых объектов весьма проблематично, поскольку очень трудно подобрать аналогичные сети с одинаковой нагрузкой. В качестве примера рассматривался магистральный участок ЛЭП 0,38 кВ длиной 800 м, отходящий от шин трансформаторной подстанции с номинальной мощностью 630 кВА.

Измерения производились прибором „ТОПАС-100“ в соответствии с требованиями [1] и [2]. Для определения симметричных составляющих токов и напряжений нами использовался аналитический метод расчёта с использованием модулей измеренных величин, предложенный профессором Ф.Д. Косоуховым и получивший название *модульный* [3, 4]. Этот метод, основанный на методе симметричных составляющих, позволяет не только определить модули этих величин, но и их аргументы, обеспечивая ту же точность расчёта, что и метод симметричных составляющих. Практически для расчёта показателей несимметрии напряжений и токов в четырёхпроводных сетях модульным методом необходимо провести измерение шести напряжений и пяти токов.

В качестве инструмента расчёта использовалась компьютерная программа «Несимметрия-1» [4], основанная на алгоритме модульного метода и позволяющая оценить степень несимметрии токов и напряжений в исследуемой электрической цепи.

По результатам расчётов построены временные диаграммы изменения токов и напряжений, а также показателей несимметрии напряжений и дополнительных потерь мощности для России (рис. 1–5) и для Германии (рис. 6–10).

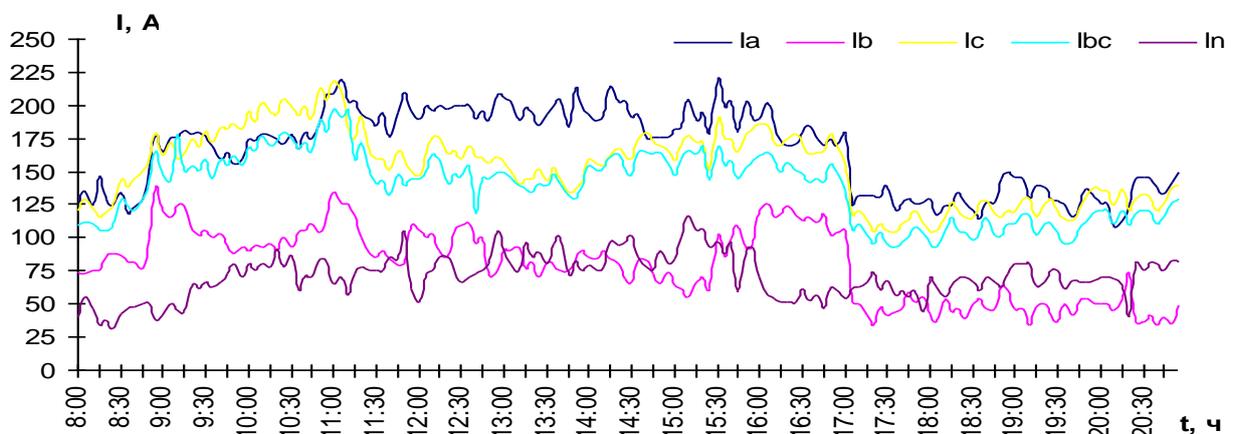


Рис.1. Временная диаграмма изменения токов (Россия)

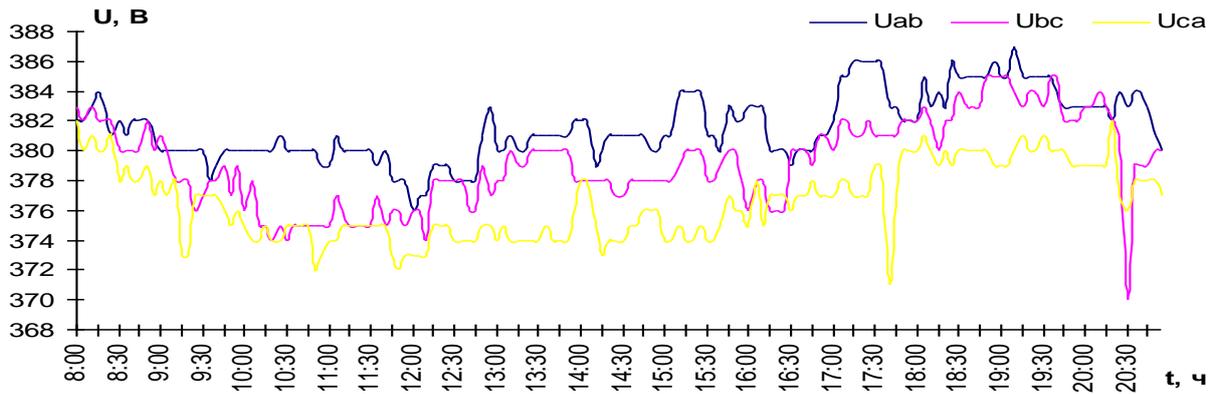


Рис. 2. Временные диаграммы изменения междуфазных напряжений (Россия)

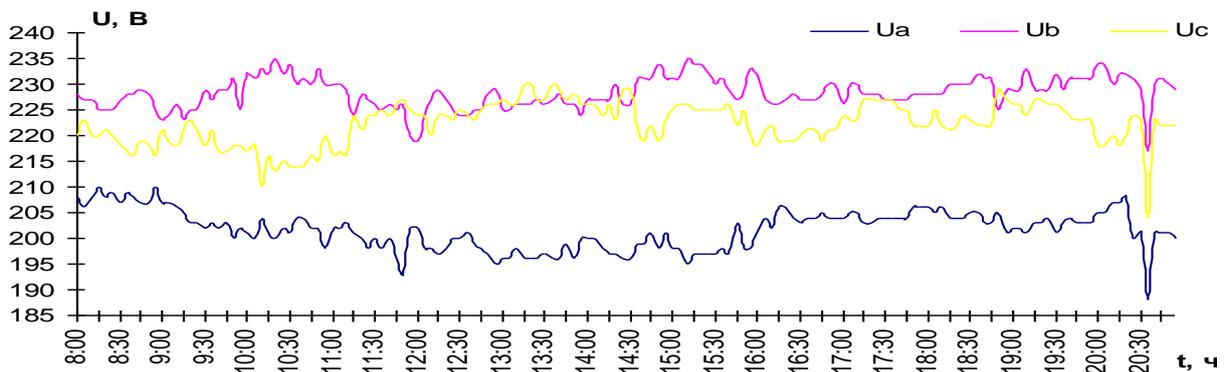


Рис. 3. Временные диаграммы изменения фазных напряжений (Россия)

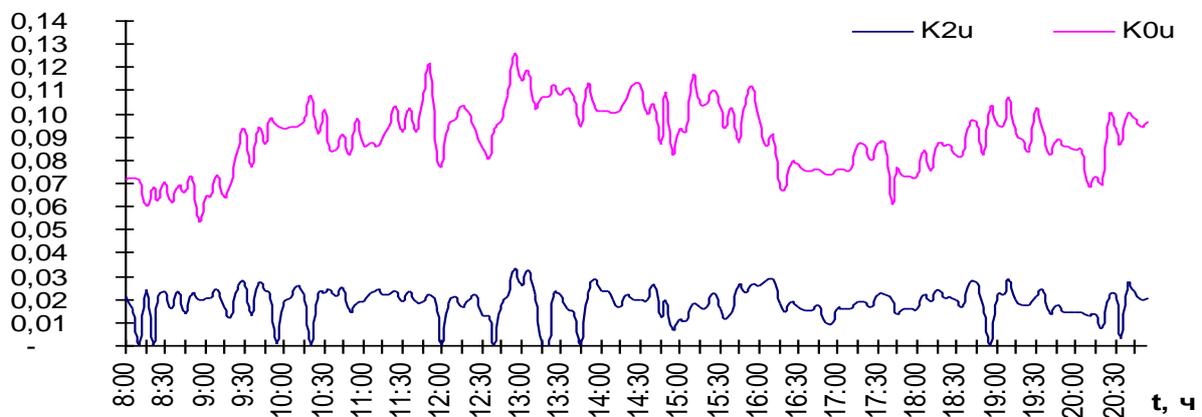


Рис. 4. Временные диаграммы изменения коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжений (Россия)

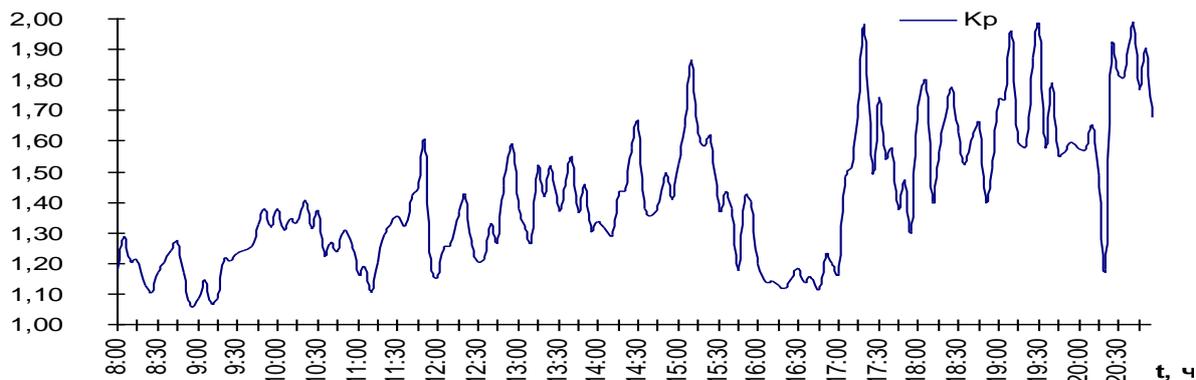


Рис. 5. Временная диаграмма изменения коэффициента дополнительных потерь мощности (Россия)

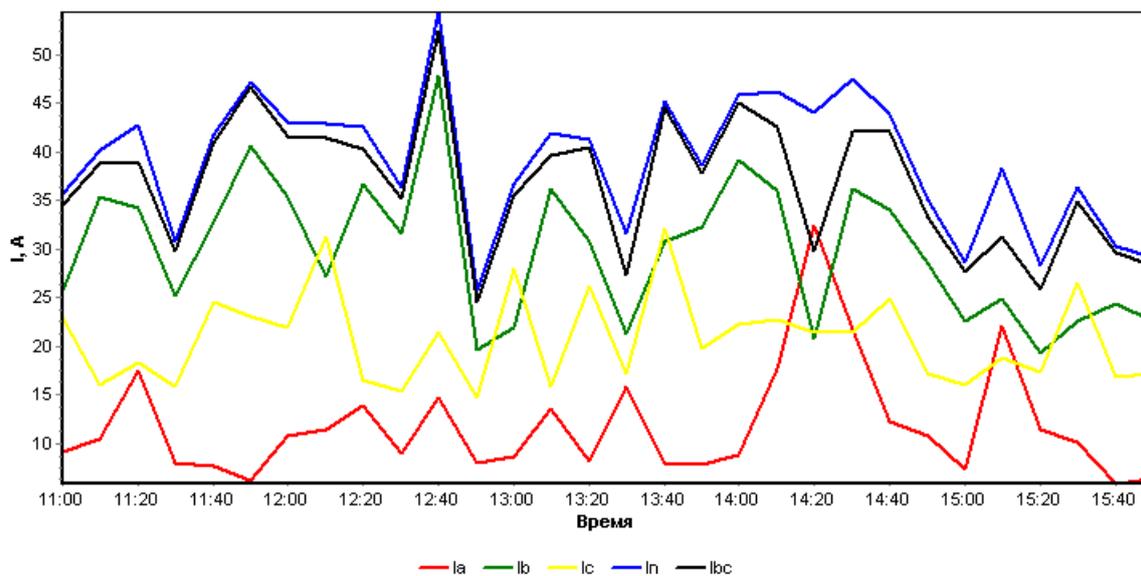


Рис. 6. Временная диаграмма изменения фазных токов (Германия)

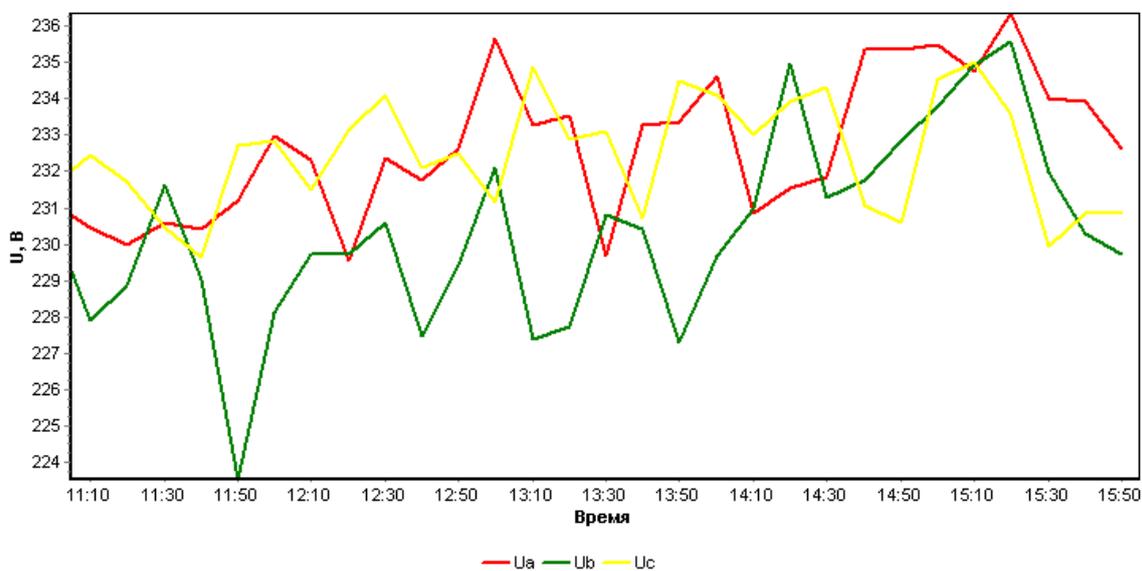


Рис. 7. Временная диаграмма изменения фазных напряжений (Германия)

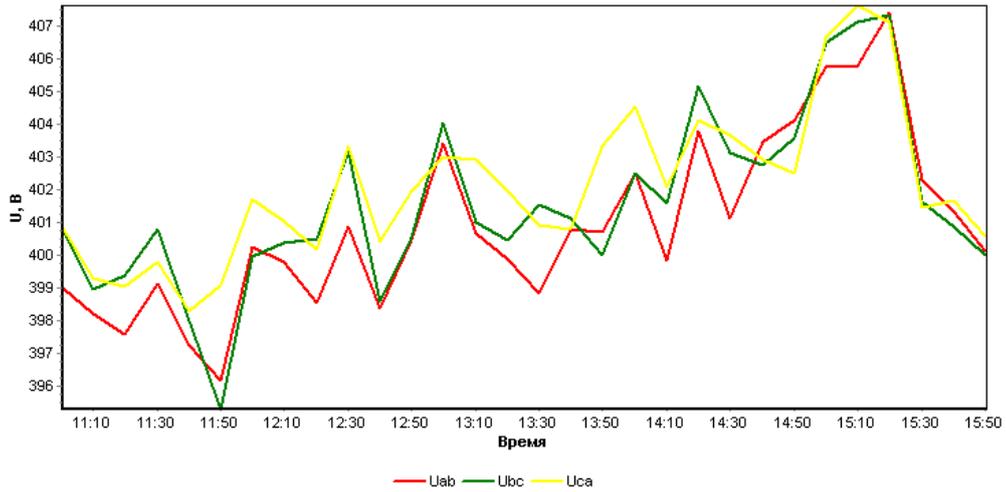


Рис. 8. Временная диаграмма изменения междуфазных напряжений (Германия)

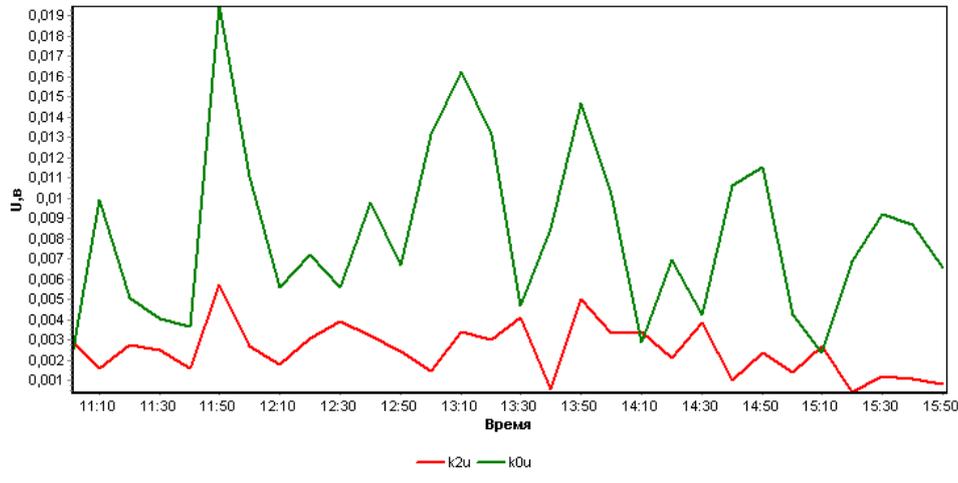


Рис. 9. Временная диаграмма изменения коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжения (Германия)

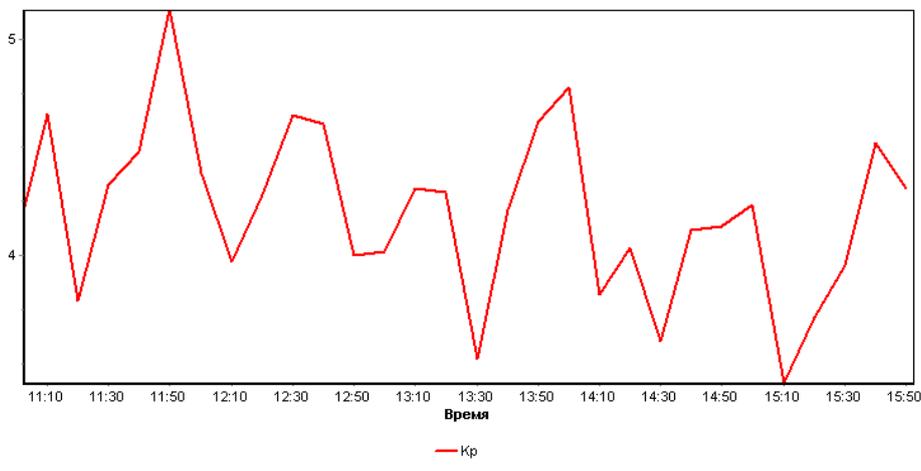


Рис. 10. Временная диаграмма изменения коэффициента дополнительных потерь мощности (Германия)

Анализ зависимостей для условий России (рис. 1–5) показал, что значение коэффициента обратной последовательности напряжений  $K_{2U_i}$  соответствует требованиям стандарта [1]. Коэффициент нулевой последовательности напряжения  $K_{0U_i}$  намного превышает требования данного стандарта. Его среднее (за период измерения) значение составило 9,5 %, что почти в 5 раз выше установленных нормальных значений и более чем в два раза превышает максимальные значения, устанавливаемые стандартом для данного коэффициента.

Коэффициент дополнительных потерь мощности имеет среднее за период измерения значение, равное 41 %. То есть потери, мощности, обусловленные несимметрией токов, более чем в 1,4 раза превышают потери мощности, обусловленные протеканием токов только нулевой последовательности. Причём из графика рисунка 5 видно, что наибольшие значения (свыше 90%) этот коэффициент имеет в вечернее время, т.е. когда происходит интенсивное использование однофазных коммунально-бытовых электроприёмников.

При анализе зависимостей для условий Германии (рис. 6–10) установлено, что качество электрической энергии по соответствующим показателям (коэффициентам обратной и нулевой последовательностей напряжений) за исследуемый интервал времени находится на высоком уровне. В 100 % десятиминутных интервалов времени значение этих коэффициентов находится в пределах, установленных [2]. Среднее значение для коэффициента обратной последовательности напряжения не превышает 0,25 %, а для коэффициента нулевой последовательности – 0,81 % (рис. 9). Иначе дело обстоит с дополнительными потерями мощности, обусловленными несимметрией токов. Как видно из рисунка 10, коэффициент потерь мощности изменяется в широких пределах. Его минимальное значение составляет 1,22, а максимальное – 5,88. Среднее значение данного коэффициента за исследуемый период времени составило 3,71. То есть в такое количество раз потери мощности (соответственно и электрической энергии) превышают потери в нормальном (обусловленном только протеканием токов прямой последовательности) режиме. И это только на исследуемом 800-метровом участке линии электропередачи, без учёта дополнительных потерь мощности в трансформаторе. При средней стоимости электроэнергии в Германии 0,16 евро за 1 кВт·час стоимость дополнительных годовых потерь электроэнергии (без учёта технических потерь) составит 5200 евро.

Таким образом, в низковольтных электрических сетях Германии, так же как и в России, объективно присутствует несимметрия фазных токов. И несмотря на высокое качество электрической энергии у потребителя (благодаря трёхфазному потреблению), непосредственно в сети происходят значительные дополнительные потери электроэнергии, обусловленные в основном именно токами нулевой последовательности.

Для снижения таких потерь и соответствующего повышения качества электрической энергии предлагается использовать шунто-симметрирующее устройство, установка которого непосредственно в точке подключения несимметричной нагрузки способствует значительному симметрированию режима работы этих сетей [5].

Задачей СУ является повышение качества симметрирования токов и напряжений в трехфазных сетях с нулевым проводом за счет саморегулирования мощности предлагаемого устройства при изменении тока в нулевом проводе. В предлагаемом устройстве предусмотрено три ступени мощности (рис.11, а). Если ток в нулевом проводе  $N$  невелик, то напряжение на конденсаторе  $C2$  тоже будет незначительно. В этом случае транзистор  $VT1$  ( $VT3$ ) будет закрыт, так как напряжение на стабилитроне  $VD9$  ( $VD10$ ) будет приложено к базам этих транзисторов через резистор  $R5$  ( $R13$ ) и делитель  $R3$  ( $R11$ ) и  $R4$  ( $R12$ ). При этом транзистор  $VT2$  ( $VT4$ ) будет открыт и катушка реле напряжения  $KV1$  ( $KV2$ ) будет получать питание (рис. 11, б).

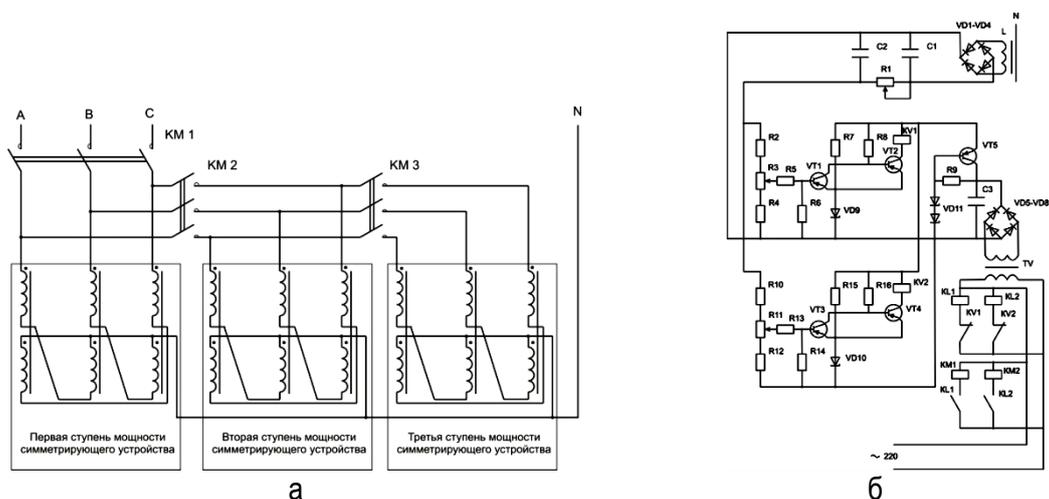


Рис. 11. Электромагнитное шунто-симметрирующее устройство: а – электрическая схема устройства; б – схема автоматического управления

При возрастании тока в нулевом проводе N напряжение на конденсаторе C2 также будет возрастать с выдержкой по времени, определяемой постоянной времени цепочки R1C2. Когда напряжение на конденсаторе достигнет определенного значения, напряжение, подаваемое с делителя R2-R3-R4 (R10-R11-R12) на базу транзистора VT1 (VT3), становится достаточным для его открытия, что, соответственно, вызывает закрытие транзистора VT2 (VT4) с последующим отключением катушки реле напряжения KV1 (KV2). Напряжение сравнения в данной схеме можно плавно регулировать потенциометрами делителей R3 и R11. Реле напряжения KV1 и KV2 размыкающими контактами KV1 и KV2 соответственно включают катушки промежуточных реле KL1 и KL2, контакты KL1 и KL2 которых подают напряжение на катушки магнитных пускателей секций СУ – KM1 и KM2. Устройство полностью отключается от сети при достижении тока в нулевом проводе минимальной величины, соответствующей допустимому значению показателей несимметрии напряжений, установленных ГОСТ 32144-2013.

### Выводы

1. Таким образом, предлагаемое шунто-симметрирующее устройство может быть использовано в качестве технического средства симметрирования режимов работы распределительной электрической сети 0,38 кВ, питающей коммунально-бытовую нагрузку.
2. Система автоматического управления позволяет минимизировать потери электрической энергии в самом ШСУ, что значительно повышает эффективность его использования.
3. Как показали произведенные расчеты, годовой экономический эффект от внедрения одного устройства составляет \$584; срок окупаемости – около 2 месяцев; экономия электроэнергии за счет снижения энергетических потерь составила 9101 кВт·ч.

### Литература

1. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 32144-2013, Национальный стандарт Российской Федерации. – М., Стандартинформ 2013. – 30 с.
2. EN 50160:2010 «Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks», NEQ.
3. Косоухов Ф.Д., Наумов И.В. Несимметрия напряжений и токов в сельских распределительных сетях. – Иркутск, 2003. – 260 с.

4. Наумов И.В. Оптимизация несимметричных режимов системы сельского электроснабжения. – Иркутск, 2001. – 217 с.
5. Пат. 2490768. Российская Федерация, С2 МПК H02J 3/26. Симметрирующее устройство для трехфазных сетей с нулевым проводом / Наумов И.В., Иванов Д.А., Подъячих С.В., Дамдинсүрэн Г. – Заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Иркутская государственная сельскохозяйственная академия» (RU). – №2010144245/07; заявл. 28.10.2010; опубл. 20.08.2013, Бюл. 23.



УДК 631.331

А.С. Вишняков, А.А. Вишняков, А.И. Клак

### ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ СЕМЯПРОВОДОВ НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ВИБРАЦИОННОГО АППАРАТА СЕЯЛКИ

*Исследовано влияние активных семяпроводов вибрационного высевашеющего аппарата сеялки на средние значения оценочных показателей высева. Установлен предельный угол отклонения семяпроводов, удовлетворяющий агротехническим требованиям высева.*

**Ключевые слова:** *вибрационный аппарат, активные семяпровода, равномерность, распределение семян.*

A.S. Vishnyakov, A.A. Vishnjakov, A.I. Klak

### THE INFLUENCE OF THE ACTIVE SEED HOSES ON THE WORKING PROCESS OF THE SEEDER VIBRATING APPARATUS

*The influence of the active seed hoses of the seeder vibrating sowing apparatus on the average values of the seeding performance assessment indicators is studied. The limit angle of the seed hose deviation meeting the seeding agro-technical requirements is established.*

**Key words:** *vibrating apparatus, active seed hoses, evenness, distribution of seeds.*

**Введение.** Одним из перспективных направлений совершенствования сельскохозяйственной техники является разработка и производство многофункциональных, в том числе почвообрабатывающе-посевных машин. Эти машины должны отвечать требованиям энерго- и ресурсосбережений, иметь несложную конструкцию и универсальные сменные рабочие органы.

На кафедре механизации сельского хозяйства Красноярского ГАУ для одной из таких машин разработан универсальный многоструйный высевашеющий аппарат вибрационного типа, новизна которого подтверждена целым рядом патентов Российской Федерации на изобретение.

Высевашеющий аппарат является одним из основных рабочих органов посевной машины. От его работы в большей степени зависит качество высева семян, а следовательно, и урожайность сельскохозяйственных культур. В связи с этим к высевашеющим аппаратам предъявляется целый ряд требований, которым должен удовлетворять режим его работы. К этим требованиям в первую очередь необходимо отнести возможность формирования стабильного и равномерного потока семян, отличающихся физико-механическими свойствами и нормами их высева. Соблюдение этих требований обеспечивает равномерность интервалов между семенами при различных способах их посева.

Неравномерность интервалов между семенами отрицательно сказывается на росте и развитии растений, а в дальнейшем и на урожайности возделываемой культуры.

На равномерность высева семян влияют все элементы потокопровода, с которыми контактируют семена при их движении из бункера до почвенных бороздок, формируемых сошниками се-