

приступил РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с РУП «НПЦ НАН Беларуси по продовольствию» и Белкоопсоюзом. Создание мобильного передвижного грибоварочного пункта, предназначенного для работы в местах массового сбора и первичной переработки дикорастущих грибов, позволит увеличить производство продукции из грибов на 35–40%, снизить затраты труда на 25–30%, увеличить качество продукции на 15–20% и ее экспортный потенциал на 5–8%. Данный грибоварочный пункт по технологическим и конструктивным характеристикам будет полностью соответствовать всем санитарным правилам и нормам и позволит более полно освоить имеющиеся ресурсы, тем самым увеличить объемы заготовок и переработки дикорастущих грибов.

В связи с этим актуальное значение приобретает внедрение научно обоснованной энергосберегающей технологии производства полуфабрикатов из грибов с помощью передвижных грибоварочных пунктов.

### Заключение

Научно обоснованная организация работ по заготовке грибов является главным элементом в увеличении объема заготовок, расширении их ассортимента и повышении экономической эффективности, что возможно с созданием мобильного передвижного грибоварочного пункта, позволяющего увеличить производство продукции из грибов на 35–40%, снизить затраты труда на 25–30%, увеличить качество продукции на 15–20% и ее экспортный потенциал на 5–8%.

18.07.11

### Литература

1. Коноваленко, Л.Ю. Опыт работы малых предприятий по заготовке и переработке дикорастущего пищевого сырья / Л.Ю. Коноваленко. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 68 с.

УДК 44.29.37

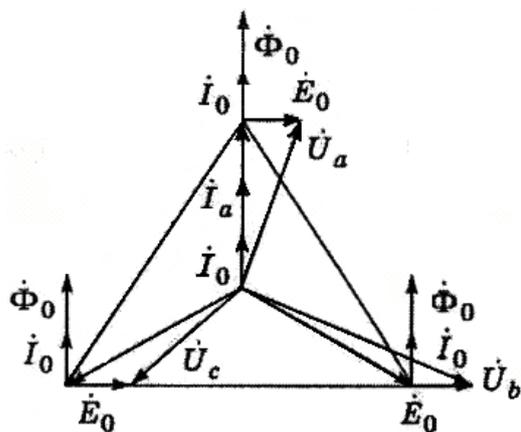
**А.Л. Тимошук, Д.В. Зимницкий**  
(РУП «НПЦ НАН Беларуси  
по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРЕХФАЗНОГО  
ТРАНСФОРМАТОРА  
С КОМПЕНСАЦИОННЫМ  
УСТРОЙСТВОМ В СЕТИ  
С БЫТОВОЙ НАГРУЗКОЙ**

### Введение

Питание электропотребителей в сельскохозяйственной местности, как правило, осуществляется с помощью трехфазных трансформаторных подстанций с полной мощностью 100–250 кВА и напряжением на стороне высокого напряжения 10 кВ. На выходе из трансформаторной подстанции к потребителю поступает трехфазное питание с линейным напряжением 0,38 кВ. Необходимость трехфазного питания вызвана наличием трехфазных потребителей – в

основном асинхронных двигателей, которые, как правило, используются только в сельскохозяйственных предприятиях, а также удобством преобразования поступающего на трансформаторную подстанцию трехфазного высоковольтного напряжения в низковольтное. Бытовые потребители не используют трехфазного питания, что вызвано отсутствием трехфазных бытовых приборов и опасностью линейного напряжения для жизни человека. Для совмещения питания промышленных и бытовых потребителей бытовые потребители, питаемые от одной подстанции, разбиваются на три группы по числу фаз. Группы бытовых потребителей не могут быть равно распределены по потреблению электроэнергии, имеют неравномерное по времени суток потребление и неустойчивую тенденцию к росту нагрузок. Такая неравномерность нагрузок приводит к значительному снижению напряжения в конце каждой линии. Напряжение в конце линии выравнивается путем повышения напряжения на выходе из трансформатора в начале линии электропитания. ГОСТ 13109–97 устанавливает допустимое значение изменения напряжения в электрической сети не более  $\pm 5\%$  в конце линии электропередачи [1–3]. Однако на практике выдержать установленное в ГОСТ 13109–97 значение не удастся. Значение падения напряжения в часы интенсивной нагрузки может в 2 и более раз превышать нормированный показатель. По данным проведенных в лаборатории энерго-сберегающих технологий, электрификации и автоматизации РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» исследований, значение отклонения напряжения может составлять в среднем 12–14%. В некоторых случаях отклонение напряжения составляет 25–30%. Возникающая нестабильность и неравномерность распределения тока по фазам вызывает разбалансирование магнитного потока в ветвях магнитопровода, возрастает ток нулевой



$I_0$  – ток нулевой последовательности;  
 $I_a$  – ток фазы  $a$ ;  $U_a, U_b, U_c$  – фазные напряжения;  $E_0$  – ЭДС нулевой последовательности;  
 $\Phi_0$  – магнитный поток нулевой последовательности

**Рисунок 138 – Несимметричный режим трансформатора**

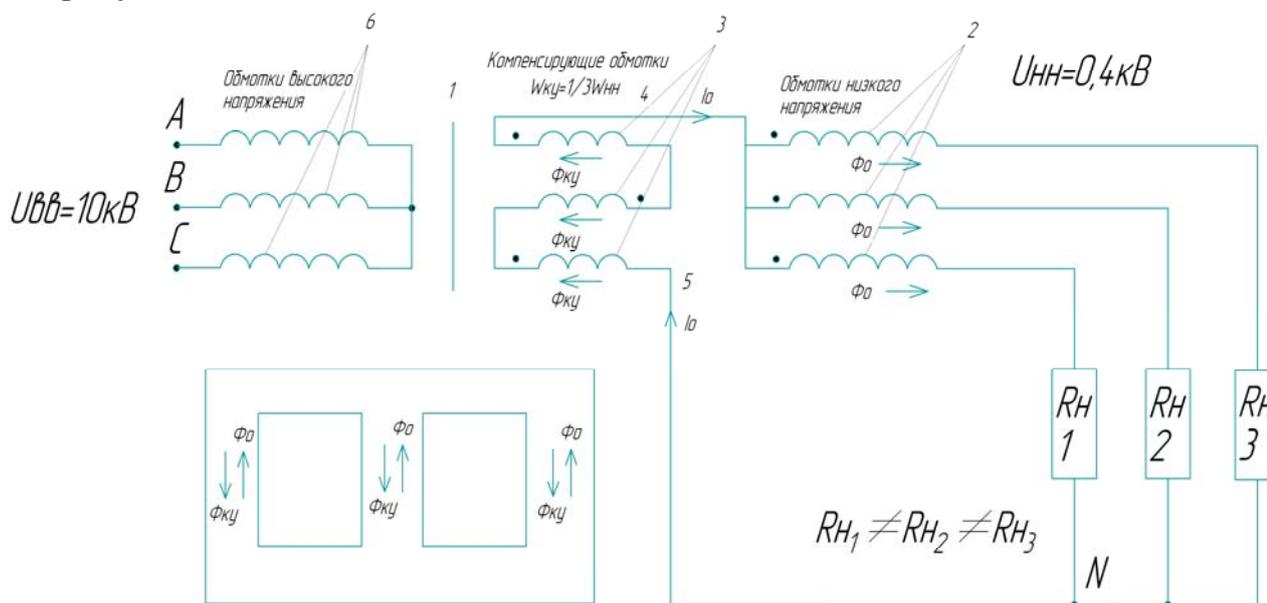
последовательности и, как следствие, магнитный поток нулевой последовательности, наведение в обмотках ЭДС нулевой последовательности и искажение фазных и линейных напряжений трансформатора при перегрузке на фазе  $a$ , как показано на рисунке 138.

У потребителей, расположенных наиболее близко к питающей подстанции, при колебаниях напряжения происходят быстрый износ и выход из строя бытовых приборов. Колебания падения напряжения по времени суток при неизменном значении прироста напряжения на трансформаторе также

сказываются на качестве обеспечения потребителя электроэнергией. В этой связи возникает необходимость в несложном и эффективном устройстве с низкой себестоимостью, способном быстро и эффективно выравнять фазные напряжения на выводах трехфазного трансформатора. Вариантом такого устройства является опытный образец трансформатора ТМКУ 100-10/0,4, разработанный в рамках задания 5.16 «Разработать и внедрить комплект оборудования, обеспечивающий энергосбережение и стабилизацию напряжения в сельских электрических сетях» ГНТП «Агропромкомплекс – возрождение и развитие села», с компенсационным устройством, позволяющий эффективно симметризовать фазные напряжения за счет подавления магнитного потока нулевой последовательности в магнитопроводе трансформатора дополнительными катушечными обмотками. Дополнительные катушки создают магнитный поток, компенсирующий поток нулевой последовательности.

### Оборудование и методы исследований

Испытания трансформатора проводились в аккредитованной лаборатории ПРУП «МЭЗ им. В.И. Козлова». Схема испытаний трансформатора показана на рисунке 139.



1 – трехстержневой магнитопровод; 2 – обмотки низкого напряжения; 3 – компенсационные фазные обмотки; 4, 5 – выводы компенсационной обмотки; 6 – обмотки высокого напряжения;  $R_{H1}$ ,  $R_{H2}$ ,  $R_{H3}$  – сопротивление нагрузки;  $\Phi_0$  – магнитный поток нулевой последовательности;  $\Phi_{кУ}$  – магнитный поток компенсационного устройства

**Рисунок 139 – Схема трансформатора с компенсационной обмоткой**

Обмотки низкого напряжения 2 (рисунок 139) размещены на всех трех стержнях трансформатора и соединены по схеме соединения «звезда с нейтралью». Компенсационные фазные обмотки 3 размещены на всех трех стержнях и соединены по схеме соединения «разомкнутый треугольник», один конец которого 4 подключен к нейтрали обмотки низшего напряжения, второй – 5, выведен наружу. Обмотки высокого напряжения 6 размещены на всех трех

стержнях и соединены в звезду. Витки компенсационной обмотки уложены и подключены таким образом, чтобы ток нулевого провода, равный утроенной величине тока нулевой последовательности  $I_0$ , проходя по ним, создавал встречные компенсирующие потоки  $\Phi_{KY}$  в той же магнитной цепи, в которой протекают потоки нулевой последовательности  $\Phi_0$ , создаваемые токами нулевой последовательности рабочих обмоток ( $I_0$ ). Полная компенсация потоков  $\Phi_0$  и  $\Phi_{KY}$  выполняется при равенстве ампер-витков рабочей ( $1/3 \cdot I_0 \cdot W_P$ ) и компенсационной ( $I_0 \cdot W_K$ ) обмоток:

$$1/3 \cdot I_0 \cdot W_P = I_0 \cdot W_K, \text{ отсюда } W_K = 1/3 \cdot W_P.$$

Для обеспечения лучшей технологичности изготовления компенсационной обмотки трансформатора, сокращения расхода материалов и повышения надежности работы витки компенсационной обмотки на среднем стержне трехфазного трансформатора выполняются с обратной намоткой относительно крайних.

Испытательный стенд с подключенным для испытаний трансформатором показан на рисунке 140а и 140б.



а)



б)

а) трансформатор; б) испытательный стенд

**Рисунок 140 – Вид трансформатора, подключенного к испытательному стенду**

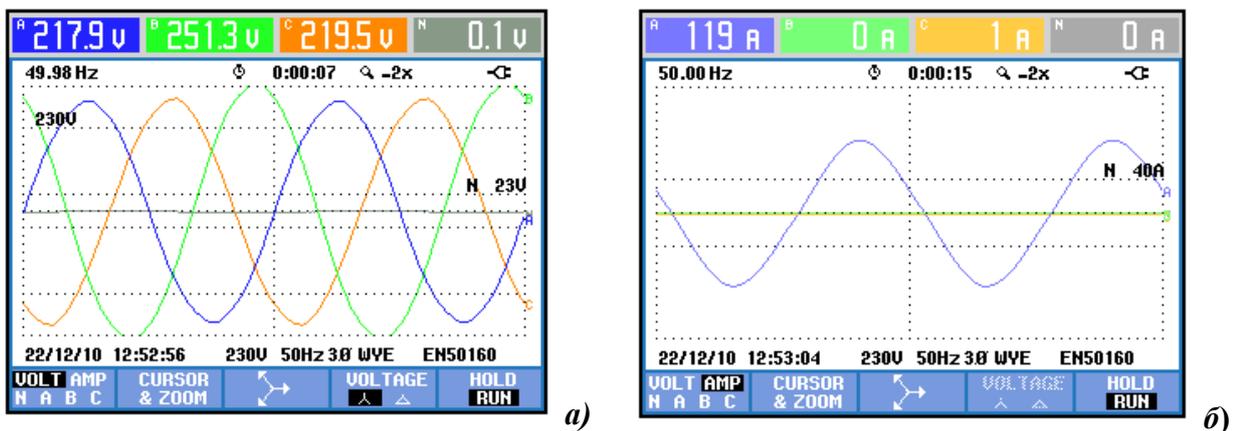
Измерения производились с применением стенда испытаний силовых трансформаторов I-II габарита и анализатора качества электроэнергии FLUKE-434.

### Результаты исследований

Бытовая нагрузка является активной, поэтому для определения эффективности применения компенсационного устройства одна фаза трансформатора подвергалась искусственной перегрузке активным сопротивлением ступенями 20А, 29А, 56А, 119А. Диаграммы напряжения и тока, полученные в режиме перегрузки 119А прибором FLUKE-434, показаны на рисунке 141.

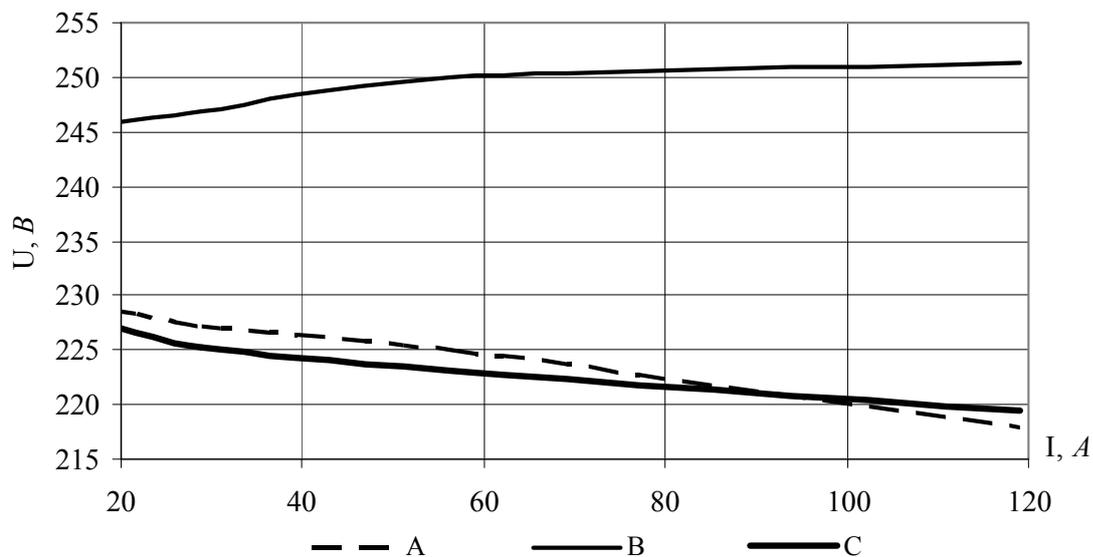
Как показано на рисунке 141, перегрузка фазы А током 119А не вызывает искажения синусоидальности и фазы напряжений. Отклонение напряжения на фазах А и С находится в допустимых пределах [1]. Отклонение напряжения на фазе В выше допустимого предела вызвано отсутствием на фазе В нагрузки.

Изменение напряжения на фазах в зависимости от тока перегрузки фазы А показано на рисунке 142.



а) фазные напряжения; б) токи

**Рисунок 141 – Фазные напряжения и токи в режиме перегрузки фазы А током 119А**



**Рисунок 142 – Изменение напряжения на фазах А, В, С в зависимости от изменения тока активной нагрузки на фазе А на выводах трансформатора ТМКУ 100-10/0,4**

Как показано на рисунке 142, отклонение напряжения на фазе А при перегрузке от 20 до 100% не превышает допустимого значения.

Ток в нулевом проводе, как показали результаты измерения в режиме опытной эксплуатации, не превышает 1 мА, что указывает на полную компенсацию потоков нулевой последовательности в магнитопроводе трансформатора с компенсационным устройством.

## Заключение

1) Трансформатор с компенсационным устройством сохраняет симметрию напряжения на фазах в пределах значения, допускаемого государственным стандартом при перегрузке на фазе до 100%.

2) Применение трансформатора в сетях с бытовой нагрузкой не влияет на синусоидальность и фазу напряжения и тока питающих потребителей.

3) Полная компенсация потоков нулевой последовательности компенсационным устройством приводит к исчезновению тока нулевой последовательности и снижению связанных с ним потерь на нагрев обмоток трансформатора.

28.09.11

## Литература

1. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109–97. – Введ. 01.01.99. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1998. – 31 с.
2. Янукович, Г.И. Исследование трансформатора со схемой соединения обмоток  $Y/Y$  – разомкнутый треугольник с целью использования его в сельских электрических сетях 380/220 В для повышения качества напряжения: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.02 / Г.И. Янукович; ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1975. – 20 с.
3. Бородин, И.Ф. Причины роста потерь электроэнергии и напряжения в сельских электрических сетях и пути их снижения / И.Ф. Бородин, А.П. Сердешнов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: материалы 3-й междунар. науч.-практ. конф., Москва, 14–15 мая 2003 г.: в 2 ч. / ГНУ ВИЭСХ. – Москва, 2003. – Ч. 1. – С. 253-264.