

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Г. И. Янукович

**ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕСИММЕТРИИ
И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ
В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ**

Минск
БГАТУ
2013

УДК 631.371:621.31

Янукович, Г. И. Пути улучшения показателей несимметрии и несинусоидальности напряжения в сельскохозяйственных электроустановках / Г. И. Янукович. – Минск : БГАТУ, 2013. – 216 с. : ил. – ISBN 978-985-519-622-9.

Изложены основные положения государственного стандарта на качество электрической энергии (ГОСТ 13109–97), приведены показатели качества электроэнергии и требования, предъявляемые к ним. Дан анализ способов повышения качества напряжения. Приведены теоретические и экспериментальные результаты исследования трансформаторов, рекомендованных кафедрой электроснабжения для повышения качества напряжения.

Предназначено для научных работников, руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий, преподавателей и студентов учреждений образования

Табл. 3. Ил. 59. Библиогр.: 188 назв.

Рецензенты:

профессор кафедры «Электрические системы»
УО «Белорусский национальный технический университет»,
доктор технических наук, профессор *М. А. Короткевич*;
проректор по научной работе
УО «Белорусский государственный аграрный
технический университет»,
доктор технических наук *М. А. Прищепов*

ISBN 978-985-519-622-9

© БГАТУ, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 6 |
| 1. ПРОБЛЕМА НЕСИММЕТРИИ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ..... | 7 |
| 1.1. Анализ качества напряжения в сельских электрических сетях 380/220 В..... | 7 |
| 1.2. Причины возникновения несимметрии и несинусоидальности напряжения | 10 |
| 1.3. Влияние несимметрии и несинусоидальности напряжения на работу потребителей..... | 13 |
| 1.3.1. Влияние отклонений напряжения..... | 13 |
| 1.3.2. Влияние несимметрии напряжений..... | 20 |
| 1.3.3. Влияние несинусоидальности напряжения | 23 |
| 1.4. Способы симметрирования напряжения в низковольтных электрических сетях | 28 |
| 1.5. Способы минимизации высших гармоник | 31 |
| 1.6. Влияние схем соединения обмоток трансформаторов на качество напряжения | 35 |
| 2. НЕСИММЕТРИЧНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНЫХ СИММЕТРИРУЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ | 43 |
| 2.1. Методика исследования несимметричной работы трансформаторов | 43 |
| 2.2. Трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда–звезда–нуль–разомкнутый треугольник» (Y/Y_n –разомкнутый треугольник) | 44 |
| 2.2.1. Общий случай несимметрии | 44 |
| 2.2.2. Расчет однофазного тока короткого замыкания..... | 65 |
| 2.2.3. Экспериментальные исследования симметрирующей способности трансформатора Y/Y_n –разомкнутый треугольник | 66 |
| 2.2.3.1. Задачи и методика экспериментальных исследований..... | 66 |
| 2.2.3.2. Экспериментальное определение напряжений с первичной и вторичной сторон трансформатора и тока в нулевом проводе для схем «звезда–звезда–нуль» (Y/Y_n) и Y/Y_n –разомкнутый треугольник при несимметричной нагрузке фаз | 68 |
| 2.2.3.3. Исследование зависимости фазного напряжения высокой и низкой сторон трансформатора для схем соединения Y/Y_n и Y/Y_n –разомкнутый треугольник от тока нагрузки | 68 |
| 2.2.3.4. Исследование зависимости коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности | 74 |
| 2.2.3.5. Исследование сопротивления нулевой последовательности трансформатора..... | 79 |
| 2.3. Трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда–звезда–нуль с симметрирующим устройством» (Y/Y_n СУ)..... | 88 |
| 2.3.1. Условия анализа несимметричной работы трансформатора | 88 |
| 2.3.2. Общий случай несимметрии..... | 89 |
| 2.3.3. Экспериментальные исследования симметрирующей способности трансформатора Y/Y_n СУ..... | 99 |
| 2.3.4. Исследование зависимости коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности трансформатора Y/Y_n СУ | 103 |
| 2.3.5. Сопротивление нулевой последовательности трансформатора Y/Y_n СУ | 105 |
| 2.3.6. Исследование влияния симметрирующего устройства на нагрев трансформатора Y/Y_n СУ | 110 |
| 2.4. Трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда–треугольник с зигзагом» (Y/Δ с зигзагом) | 118 |
| 2.4.1. Область применения трансформатора | 118 |
| 2.4.2. Работа трансформатора при несимметричной нагрузке фаз | 124 |
| 2.4.2.1. Общий случай несимметрии | 124 |
| 2.4.2.2. Экспериментальные исследования симметрирующей способности трансформатора Y/Δ с зигзагом..... | 137 |
| 3. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА СИММЕТРИРУЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ТРАНСФОРМАТОРОМ Y/Y_n | 142 |
| 3.1. Задачи и методика исследования | 142 |
| 3.2. Экспериментальное определение параметров и исследование их зависимостей при параллельной работе трансформаторов на несимметричную нагрузку..... | 143 |
| 3.3. Коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности при параллельной работе | |

| | |
|--|-----|
| пар трансформаторов Y/Y_n , Y/Y_n и Y/Y_n , Y/Y_n -разомкнутый треугольник | 148 |
| 3.4. Распределение нагрузки между параллельно работающими трансформаторами со схемами соединения обмоток Y/Y_n -разомкнутый треугольник и Y/Y_n при несимметричной нагрузке | 151 |
| 4. РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКЕ | 153 |
| 4.1. Общие замечания..... | 153 |
| 4.2. Характеристика спектра фазных напряжений вторичной стороны трансформаторов Y/Y_n -разомкнутый треугольник и Y/Y_n СУ при работе их на нелинейную нагрузку..... | 154 |
| 4.3. Экспериментальные исследования способности трансформаторов Y/Y_n -разомкнутый треугольник и Y/Y_n СУ улучшать форму кривой напряжения | 159 |
| 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ | 166 |
| 5.1. Конструктивное исполнение трансформаторов..... | 166 |
| 5.2. Методика расчета конструктивных параметров и технических характеристик трансформаторов | 169 |
| 5.3. Заводские и производственные испытания промышленных образцов симметрирующих трансформаторов..... | 170 |
| 5.4. Техничко-экономическая оценка эффективности применения трансформаторов для улучшения показателей несимметрии и несинусоидальности напряжения в сельскохозяйственных электроустановках..... | 175 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 180 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ..... | 195 |

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в хозяйствах республики имеется большое количество животноводческих предприятий, производящих продукцию на промышленной основе. Происходит всесторонняя автоматизация и комплексная механизация производственных процессов. Растет энерговооруженность сельскохозяйственного производства, а вместе с ней и энергопотребление.

С ростом производственной нагрузки растет и коммунально-бытовая нагрузка.

Одновременно с быстрым ростом потребления электрической энергии повышаются требования к надежности электроснабжения потребителей, и все более остро ставится вопрос повышения ее качества, так как от качества электрической энергии зависит и качество производимой продукции.

Качество электрической энергии характеризуется рядом показателей, при которых потребители могут нормально работать.

В Республике Беларусь, как и в ряде других стран СНГ, качество электроэнергии нормировано ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

В данной монографии приведены показатели и нормы качества электрической энергии в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в соответствии с указанным стандартом. Представлена информация ряда авторов о влиянии качества электрической энергии на работу потребителей. В краткой форме изложены известные способы повышения качества электрической энергии. Подробно рассмотрены предложенные и исследованные на кафедре электроснабжения Белорусского государственного аграрного технического университета трансформаторы со схемами соединения обмоток «звезда-звезда-нуль-разомкнутый треугольник», «звезда-звезда-нуль с симметрирующим устройством», «звезда-треугольник с зигзагом», улучшающие показатели несимметрии и несинусоидальности напряжения. Приведены их теоретические и экспериментальные исследования. Показана экономическая эффективность использования их в сельских электрических сетях.