

мгновенных значений. Минимальная частота опроса определяется в зависимости от наибольшего порядка гармоники, присутствующего в токе.

### Литература

1. Бохан А.Н., Вергунов Д.В. Микропроцессорный регулятор мощности конденсаторной установки // Известия вузов «Энергетика». – 1998. – №12.
2. Новаш В.И., Романюк Ф.А., Тишечкин А.А., Бобко Н.Н. Измерение частот, сдвига фаз и напряжений в устройстве автоматического синхронизатора // Известия вузов СССР «Энергетика». – 1990.

## ВЛИЯНИЕ СХЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ЦЕХОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ГЛУБИНУ ВНЕШНИХ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ

В. В. Прокопчик, О. Г. Широков, В. В. Довгаль

Гомельский государственный технический университет  
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

В настоящее время известно несколько схем параллельной работы цеховых трансформаторов (ЦТ), позволяющих улучшить показатели качества электрической энергии в узлах питания цеховых электроприемников, в том числе и снизить провалы напряжения [1, 2]. Условно эти схемы можно разделить на две группы: схемы параллельной работы ЦТ, питающихся от одного источника, и схемы параллельной работы ЦТ, питающихся от разных источников.

Влияние схем параллельной работы ЦТ на глубину внешних провалов напряжения проводилось экспериментальным и расчетным путем на физических моделях участка электрической сети, реализующих граничные с точки зрения независимости источников питания (ИП) схемы. Схемы модели участка электрической сети, осуществляющие с помощью выключателя QF3 параллельную и раздельную работу ЦТ, питающихся от одного внешнего источника ИП2 и от двух независимых внешних источников ИП1 и ИП2, представлены, соответственно, на рис. 1 и 2.

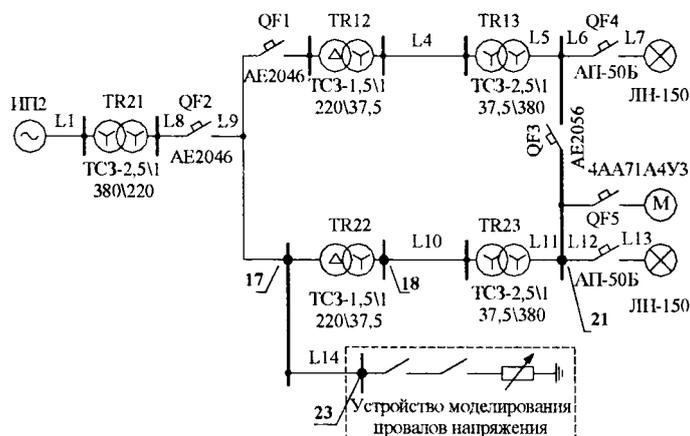


Рис. 1. Схема модели участка электрической сети с параллельно работающими трансформаторами, питающимися от одного источника

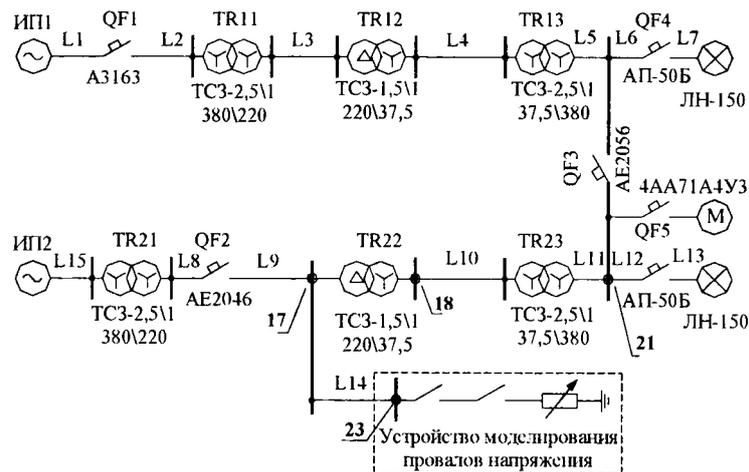


Рис. 2. Схема модели участка электрической сети с параллельно работающими трансформаторами, питающимися от двух источников

Экспериментально с помощью специального устройства моделировались симметричные трехфазные провалы напряжения одинаковой длительности и различной глубины. Регистрация провалов напряжения производилась в узлах 17, 18, 21 (см. рис. 1 и 2) светолучевым осциллографом.

С помощью программного комплекса ТКЗ–3000 для схем замещения рассматриваемых участков электрической сети за узлом 23 на разном электрическом удалении моделировались трехфазные короткие замыкания (КЗ) и определялась соответствующая им глубина провалов напряжения в узлах 17, 18, 21.

Данные, полученные в результате обработки осциллограмм провалов напряжения различной глубины, смоделированных в схемах по рис. 1 и 2 и полученные расчетным путем с помощью ТКЗ–3000 показали, что:

- параллельная работа трансформаторов, питающихся от одного источника, не оказывает влияния на глубину провалов напряжения по сравнению с раздельной работой трансформаторов при внешних трехфазных КЗ и, кроме того, глубина провалов напряжения остается практически неизменной на всех уровнях трансформируемого напряжения (узлы 17, 18, 21);
- параллельная работа трансформаторов, питающихся от независимых источников, снижает глубину провалов напряжения по сравнению с раздельной работой трансформаторов при внешних трехфазных КЗ. Причем, снижение глубины провалов напряжения тем больше, чем дальше электрически находится рассматриваемый узел от точки КЗ. Это иллюстрируется с помощью графиков на рис. 3, отражающих зависимость  $\delta U_{п.п.}$  – глубины провалов напряжения при параллельной работе трансформаторов от  $\delta U_{п.р.}$  – глубины провалов напряжения при раздельной работе трансформаторов, значение  $R_2$  – величина достоверности аппроксимации;
- влияние параллельной работы трансформаторов на глубину внешних провалов напряжения в рассматриваемых узлах, определенное опытным путем практически совпадает с расчетным. При глубине моделируемых провалов напряжения  $\delta U_{п.р.} > 8\%$  относительная погрешность расчетов не превышает 5,5%. Следовательно, с помощью программного комплекса ТКЗ–3000 можно проводить расчеты по определению влияния параллельной работы ЦТ в реальных системах электроснабжения (СЭС), где проведение натуральных экспериментов проблематично.

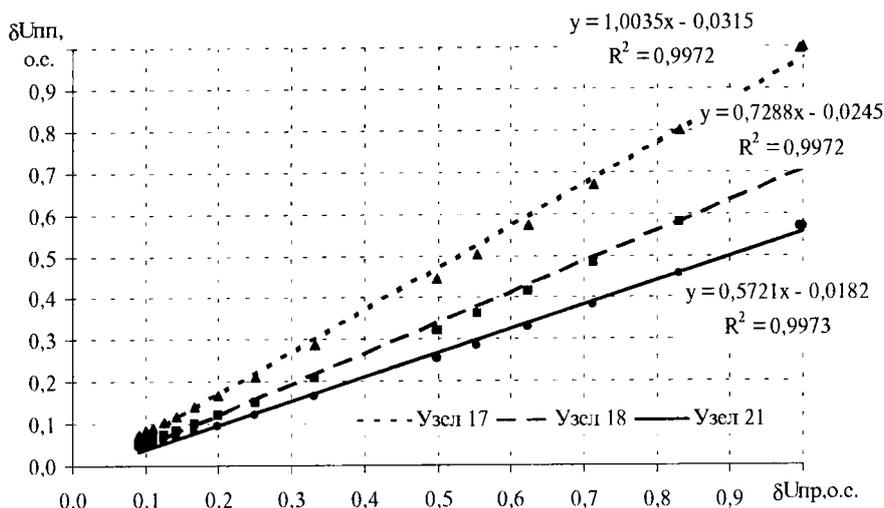


Рис. 3. График зависимости глубин провалов напряжения при раздельной и параллельной работе трансформаторов, питающихся от двух независимых источников (по схеме рис. 2)

Расчет влияния на глубину внешних провалов напряжения параллельной работы ЦТ, получающих питание от двух источников реальной энергосистемы на примере СЭС Белорусского металлургического завода (БМЗ), проводился при моделировании КЗ в электрических сетях Гомельэнерго и СЭС предприятия на стороне 110 кВ (узлы 1432, 1433), 10 кВ (узлы 2001, 2002, 2003, 2004) и 0,4 кВ (узлы 2007, 2008).

По результатам определения глубины провалов напряжения при раздельной и параллельной работе ЦТ БМЗ построен график зависимости  $\delta U_{п.п.}$  от  $\delta U_{п.р.}$  для рассматриваемых узлов (рис. 4).

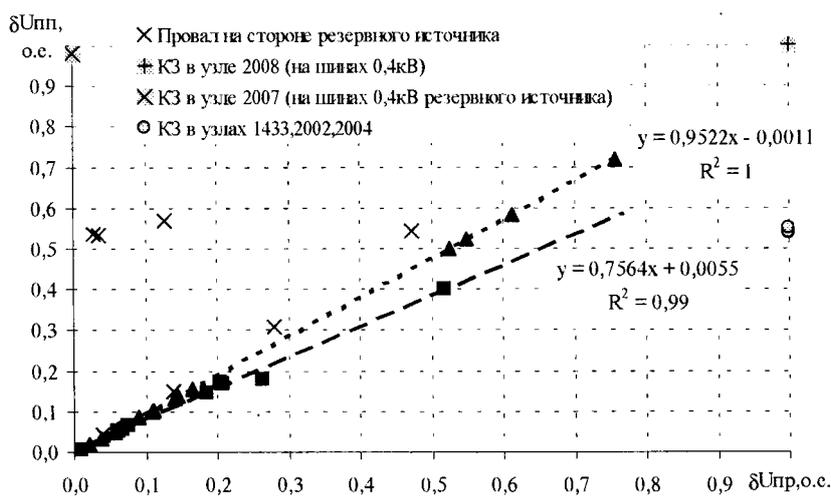


Рис. 4. График зависимости глубин провалов напряжения при раздельной и параллельной работе ЦТ БМЗ, при исходной конфигурации электрических сетей энергосистемы для узла 2008

Анализ рис. 4 показывает, что в реальных СЭС в отношении независимости источников питания могут существовать режимы, отличающиеся от граничных, представленных схемами на рис. 1 и 2. Это связано с проявлением различной степени электрической связи источников внешнего электроснабжения.

Таким образом, исследования влияния схем параллельной работы цеховых трансформаторов на глубину внешних провалов напряжения показали следующее:

- влияние параллельной работы ЦТ на глубину провалов напряжения определяется степенью независимости источников внешнего электроснабжения по отношению к месту КЗ, вызывающему провал напряжения, и рассматриваемому узлу. При питании от двух полностью независимых ИП влияние на глубину провалов напряжения параллельно работающих ЦТ наибольшее и отношение  $\delta U_{п.п} / \delta U_{п.р}$  близко к 0,5;
- параллельная работа ЦТ может увеличить количество провалов напряжения в защищаемом узле за счет появления провалов напряжения на резервном источнике питания, в этом случае отношение  $\delta U_{п.п} / \delta U_{п.р} > 1$ .

#### *Литература*

1. Гамазин С.И., Цырук С.А., Жохов Б.Д. Нетрадиционный способ повышения надежности электроснабжения ответственных промышленных потребителей электроэнергии // Оптимизация и повышение надежности систем электроснабжения: Сб. науч. трудов, №210. – М.: МЭИ, 1989. – С.61–66
2. Борисов Б.П., Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Шидловский А.К. Повышение эффективности использования электроэнергии в системах электротехнологии. – Киев: Навукова думка, 1990. – 240 с.

### **ТРЕХФАЗНЫЙ ГИБКИЙ ТОКОПРОВОД ПЕРЕМЕННОГО ТОКА КОМПАКТНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

**В. Н. Петренко, Г. И. Селиверстов**

*Гомельский государственный технический университет*

*им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Острый дефицит топливно-энергетических ресурсов обосновывает ряд организационно-технических мероприятий, направленных на жесткую экономию и поиск путей уменьшения потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения.

Развитие теории линий компактного типа, предложенных в [2], определило ряд актуальных задач. Основные из них заключаются в определении областей целесообразного применения уже известных компактных конструкций и разработке новых, простых по конструкции, имеющих улучшенные электрические характеристики и технико-электрические показатели.

В известных токопроводах все попытки достичь снижения индуктивных сопротивлений и симметрии параметров фаз направлены на создание пространственной симметрии (расположение трех фаз по вершинам равностороннего треугольника) с уменьшением расстояния между фазами до минимума [3, 4]. По конструктивным соображениям достижение значительного эффекта уменьшения индуктивного сопротивления затруднено по ряду причин. Одна из них определяется габаритами фаз, из-за чего снижается эффективность использования поверхности проводников. В свою очередь, пространственная симметрия фаз не определяет равномерность распределения тока по проводам внутри фазы. Применяемая с этой целью внутрифазовая пространственная транспозиция усложняет проведение монтажа, конструкцию и обслуживание токопроводов.

В [1] симметрия фаз и понижение значения индуктивных сопротивлений до значений, порядка 0,05–0,1 Ом/км, обеспечивается не путем пространственного симметрирования, а за счет компактной конструкции токопровода. Этот токопровод выполнен из трех жестких токоведущих шин (по одной на каждую фазу). Одна из фаз токопровода расположена внутри двух других и соосна с ними. Размещенные снаружи фазы располагаются симметрично относительно внутренней фазы, концентрически охватывая ее, и равномерно расположены относительно друг друга.

Несмотря на симметрию параметров фаз и низкое их индуктивное сопротивление токопровод компактной конструкции из-за наличия жестких шин не находит широкого применения в схемах электроснабжения. Расширить возможности и повысить эффективность токопровода в схемах электроснабжения при сохранении всех его положитель-