

ставляющей тока однофазного КЗ от системы  $I_{п0}^{(1)}$  в килоамперах определяют по формуле:

$$I_{п0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} U_{ср.НН}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}},$$

где  $r_{0\Sigma}$  и  $x_{0\Sigma}$  – суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления нулевой последовательности расчетной схемы относительно точки КЗ, мОм.

Сопротивления  $r_{0\Sigma}$  и  $x_{0\Sigma}$  равны:

$$r_{0\Sigma} = r_{0Т} + r_{0ш} + r_{0кл} + r_{ТА} + r_{кв} + r_{к};$$

$$x_{0\Sigma} = x_{0Т} + x_{0ш} + x_{0кл} + x_{ТА} + x_{кв},$$

где  $r_{0Т}$ ,  $x_{0Т}$  – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности понижающего трансформатора;

$r_{0ш}$ ,  $x_{0ш}$  – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности шинпровода;

$r_{0кл}$  и  $x_{0кл}$  – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабельной линии.

Учет нагрева активных сопротивлений кабелей для времени КЗ, отличного от нуля, производится с помощью кривых, приведенных в [1]. Там же приведена методика учета переходного сопротивления дуги.

### Литература

1. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – Минск, 2004.

УДК 621.316

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

*Степанькова М.П., Китель Д.В.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент СИЛЮК С.М.

Формирование принципов регулирования режимов основывается на определенных требованиях к качеству электрической энергии.

Для обеспечения требуемого качества электрической энергии установлены определенные нормы качества напряжения, которые должны соблюдаться во всех режимах и не выходить за предельно и нормально допустимые значения.

Качество напряжения оценивают несколькими показателями (таблица 1). Рассмотрим основные из них.

Основной задачей регулирования напряжения является поддержание оптимального режима напряжений и соблюдение требования стандарта к качеству напряжения у потребителей.

Общая задача регулирования напряжения в системообразующей сети формулируется так:

$$\Delta P = \Delta P_H(U) + \Delta P_K(U) \rightarrow \min,$$

при ограничениях:

Таблица 1. Нормы основных показателей качества напряжения

Показатель качества напряжения	Нормы качества напряжения	
	нормально допустимые	предельно допустимые
Установившееся отклонение напряжения $\delta U_y, \%$	$\pm 5$	$\pm 10$
Коэффициент искажения синусоидальности напряжения $k_U, \%$ , при $U_{ном}$		
0,38 кВ	8	12
6–20 кВ	5	8
35 кВ	4	6
110–330 кВ	2	3
Коэффициент $n$ -й гармонической составляющей напряжения $k_{U(n)}, \%$	В зависимости от напряжения и исполнения сети, номера гармоники	$1,5 k_{U(n)ном}$
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности $k_{2U}, \%$	2	4
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности $k_{0U}, \%$	2	4
Длительность провала напряжения при напряжении до 20 кВ включительно, $\Delta t_n, с$	–	30

$$\begin{cases} U_{i \min} \leq U_i \leq U_{i \max}; \\ I_k \leq I_{k \text{ доп}}. \end{cases}$$

Таким образом, для соблюдения приведенных условий в сетях применяются средства воздействия на напряжение.

Для регулирования напряжения в системообразующих и питающих сетях используют следующие средства:

- генераторы электростанций и синхронные компенсаторы;
- трансформаторы, автотрансформаторы и вольтодобавочные трансформаторы;
- батареи конденсаторов на системных и потребительских подстанциях;
- шунтирующие и управляемые реакторы;
- статические тиристорные компенсаторы.

Для регулирования напряжения в центрах питания (ЦП) распределительных сетей применяются трансформаторы с РПН (регулированием напряжения под нагрузкой), а также могут быть использованы компенсирующие устройства и некоторые другие средства (генераторы малых местных электростанций, синхронные двигатели и др.).

Диапазон регулирования напряжения на трансформаторах в зависимости от номинального напряжения составляет примерно от 18 до 32 %, что позволяет осуществить регулирование напряжения в распределительных сетях практически независимо от режима напряжений в системообразующей сети и тем самым обеспечить требуемое качество напряжения непосредственно у потребителей.

Выделяют несколько наиболее характерных режимов электропотребления.

1. Нагрузка в течение суток не изменяется или мало изменяется. Такой режим регулирования называется *режимом стабилизации напряжения* в ЦП.

2. Нагрузка в течение суток изменяется вполне определенным, заранее известным образом. В данном случае регулирование напряжения на шинах ЦП можно осуществлять по времени суток.

3. Нагрузка в течение суток изменяется случайным образом. В таких случаях на шинах ЦП используют принцип *встречного (согласного) регулирования напряжения*.

В связи с невозможностью применения трехобмоточных трансформаторов для точного регулирования напряжения из-за наличия устройства РПН только на обмотке высшего напряжения, должны быть применены дополнительные средства регулирова-

ния напряжения, например, регулируемые компенсирующие устройства, специальные вольтодобавочные трансформаторы, линейные регуляторы.

Сущность регулирования напряжения с помощью трансформаторов заключается в том, что при необходимости изменения напряжения на вторичной стороне трансформатора изменяют его коэффициент трансформации. С этой целью на всех трансформаторах выполняют специальные ответвления, каждое из которых соответствует определенному числу витков обмотки и, следовательно, определенному коэффициенту трансформации.

Регулирование напряжения за счет воздействия на потоки реактивной мощности по элементам электрической сети заключается в том, что при изменении реактивной мощности изменяются потери напряжения в реактивных сопротивлениях.

В отличие от активной мощности реактивную мощность в узлах сети можно изменять путем установки в них устройств поперечной компенсации, т. е. компенсирующих устройств, подключенных параллельно нагрузке. В качестве таких компенсирующих реактивную мощность устройств могут служить батареи конденсаторов, синхронные компенсаторы, шунтирующие и управляемые реакторы, статические тиристорные компенсаторы. К таким устройствам могут быть также отнесены генераторы местных электростанций, подключенных к системе передачи и распределения электроэнергии, синхронные электродвигатели, фильтры высших гармоник.

Часть из указанных компенсирующих устройств может только выдавать в сеть реактивную мощность, некоторые – только потреблять из сети реактивную мощность (шунтирующие и управляемые реакторы). Наиболее ценными для регулирования напряжения являются устройства, обладающие способностями в зависимости от режима сети как генерировать, так и поглощать реактивную мощность (синхронные компенсаторы, статические тиристорные компенсаторы).

#### Литература

1. Герасименко, А.А., Федин, В.Т. Передача и распределение электрической энергии: Учеб. пособие. – Красноярск: ИПЦ КГТУ; Минск: БНТУ, 2006. – 808 с.
2. Поспелов, Г.Е., Федин, В.Т., Лычев, П.В. Электрические системы и сети: Учебник. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 720 с.

УДК 621.316.5

## РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКИХ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

*Пашкевич Г.Н., Левонюк С.В., Безмен Д.Н.*  
Научный руководитель – **ПОНОМАРЕНКО Е.Г.**

При решении задач электродинамической стойкости гибких токоведущих конструкций имеются большие сложности, т. к. колебания гибких токоведущих конструкций, вызванные динамическим действием токов короткого замыкания, описываются нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных второго и четвертого порядка. Поэтому в проектной практике делается основной упор на упрощенные практические методы расчета электродинамической стойкости шин и проводов.

На кафедре «Электрические станции» БНТУ развивается научное направление по изучению электродинамической стойкости гибких токоведущих конструкций с помо-