



В. П. Базанов



Д. А. Пигалов

## Об опасности вынесенного потенциала при отключении и заземлении воздушных линий электропередачи

**БАЗАНОВ В. П., ПИГАЛОВ Д. А.**  
ЧОУ ДПО «Нижегородский УЦ «Энергетик»  
603052, г. Нижний Новгород,  
ул. Сормовское шоссе, д. 26А  
Bazanov-VP@nn.mrsk-cp.ru

Обозначены проблемные вопросы обеспечения электробезопасности при выполнении ремонтных работ на отключённых и заземлённых воздушных линиях (ВЛ) электропередачи всех классов напряжений. В нормативной документации по-разному определяется понятие «ремонт» для ВЛ. Предложено унифицировать Правила охраны труда при эксплуатации электроустановок для всех ВЛ, исключив из них понятие «линии под наведённым напряжением». При этом следует применить одинаковый подход ко всем ВЛ по их подготовке для последующего ремонта, который требует отключения и заземления линии. Показана опасность вынесенного потенциала для отключённых и заземлённых ВЛ в распределительных устройствах.

**Ключевые слова:** вынесенный потенциал, эксплуатационное состояние, «линия под наведённым напряжением», отключение и заземление линии, заземляющие ножи, оперативные переговоры, переносное заземление, ремонтный персонал, оперативный персонал.

Эксплуатационным персоналом электросетевых предприятий, организующих и выполняющих работу в соответствии с требованиями Правил охраны труда [1], как в действующей, так и предыдущей редакциях часто не принимаются во внимание требования ПУЭ 6 изд. (п. 1.7.50) [2] и ПУЭ 7 изд. (п. 1.7.89) [3] в части предотвращения выноса опасных потенциалов (5 – 10 кВ и более) с заземляющих устройств (ЗУ) за пределы электроустановок.

Эти потенциалы возникают при нештатных ситуациях в сети (КЗ, обрыве проводов, ударах молнии в молниеприёмники порталов подстанций и пр.), которые непредсказуемы по значению и времени появления. Приведённые разделы ПУЭ относятся к электроустановкам сетей с эффективным заземлением нейтрали.

Однако в сетях 6 – 10 – 35 кВ, работающих с компенсацией ёмкостных токов, на ЗУ подстанций так же появляются опасные потенциалы. Они могут достигать нескольких сотен вольт и существовать (в отличие от сетей с эффективным заземлением нейтрали) в течение многих часов («земля» в сети).

Нештатные ситуации в распределительных сетях высокого напряжения наиболее часто возникают в летнее время, т. е. в период проведения массовых ремонтных работ и грозовой активности. Для выполнения ремонтных работ ВЛ из эксплуатационного состояния «ВЛ в работе» переводится в «ВЛ в ремонте».

Перевод электрических схем и оборудования в соответствующее оперативное (эксплуатационное) состояние

регламентируется действующими нормативно-техническими документами [4, 5], которые по-разному определяют понятие «ремонт» и в них не регламентирован порядок заземления линии для последующего проведения на ней ремонтных работ.

Практическое отсутствие чёткого определения такого эксплуатационного состояния для ВЛ как «ВЛ в ремонте» приводит к тому, что при выводе линий в ремонт или отключении и заземлении ВЛ для подготовки рабочего места и последующего ремонта вопрос заземления линий в различных энергосистемах решают по-разному. Это утверждение особенно касается линий под наведённым напряжением [6].

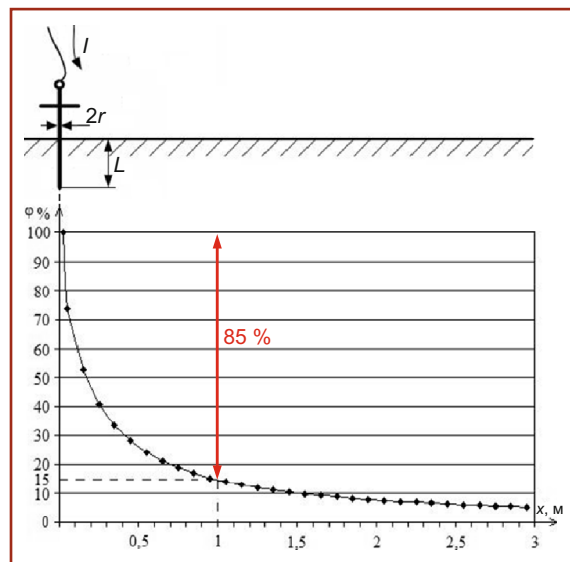
На практике эксплуатационное состояние «ВЛ в ремонте», как правило, используется (при ведении оперативных переговоров и общении персонала между собой) лишь для отключённой и заземлённой линии в распределительном устройстве (РУ). Формальное выполнение пункта п. 22.1 [1] приводит к тому, что факт включения заземляющих ножей ВЛ во всех РУ, к которым подключена ВЛ напрямую, нарушает требования [2, 3]: «...по предотвращению выноса опасных потенциалов (5 – 10 кВ и более) за пределы электроустановки», т. е. за пределы РУ.

Характерные особенности вынесенного потенциала:

- непредсказуемость по значению — от сотен вольт до более чем 10 кВ;
- непредсказуемость по времени появления и существования;
- вынесенный с ЗУ подстанций распространяется по проводам ВЛ сколь угодно далеко;
- имеет синфазный характер;
- достигая рабочего места на ВЛ, не создаёт симметричного трёхфазного КЗ на защитных проводниках переносного заземления (ПЗ), т. е. не «обнуляется»;
- незначительно уменьшается на комплекте ПЗ, установленном на рабочем месте, всего на 5 – 8 % [7];
- динамика потенциальной диаграммы в окрестностях заземлителя ПЗ такова, что находясь на расстоянии даже 1 м от заземлителя и касаясь проводов ВЛ, работник попадает, как минимум, под 85 % значения вынесенного потенциала (см. рисунок).

Из перечисленных особенностей следует, что при появлении на проводах ВЛ синфазного (или однофазного) потенциала защитные функции ПЗ утрачиваются. На рисунке показана потенциальная диаграмма в радиальных направлениях от заземлителя ПЗ, которая легко рассчитывается аналитически.

Кроме того, неоднократно проведён-



*Потенциальная диаграмма по поверхности грунта в районе штыревого заземлителя ПЗ*

ные натурные измерения подтвердили достоверность этой диаграммы.

Всё перечисленное справедливо для любой линии (радиальной, транзитной, под наведённым напряжением), отключённой и заземлённой во всех (или даже в одном) РУ, в целях последующего (после подготовки рабочего места) выполнения ремонта, если их отключение и заземление производится в соответствии с п. 22.1 Правил охраны труда [1].

Отдельно следует отметить линии под наведённым напряжением. В статье [7] подробно представлены компоненты наведённых напряжений и их «реакция» на заземление линий в РУ. Там же показано, что при возникновении КЗ на влияющей ВЛ на ПЗ рабочего места возникают напряжения в единицы киловольт. Это представляет реальную опасность для ремонтного персонала. Данное наведённое напряжение, так же как и вынесенный потенциал, имеет синфазный характер и наличие ПЗ на рабочем месте не является мерой обеспечения электробезопасности.

### Выводы

1. Заземляющие устройства в РУ следует всегда принимать как активный элемент схемы сети.
2. Необходимо рассмотреть целесообразность применения в Правилах охраны труда понятия «линия под наведённым напряжением», чтобы использовать единый подход к выводу из работы в ремонт всех ВЛ выше 1000 В.
3. Требование п. 38.45. Правил охраны труда должно соблюдаться безусловно для всех ВЛ, отключаемых для проведения ремонтных работ. При этом в обязательном порядке необходимо сохранять указанную в настоящем пункте технологию установки ПЗ на рабочем месте (либо на двух смежных опорах), т. е. заземляющие ножи во всех РУ после установки ПЗ должны быть отключены.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила охраны труда при эксплуатации электроустановок.* — М.: Омега-Л, 2014.
2. *Правила устройства электроустановок.* 6-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. *Правила устройства электроустановок.* 7-е изд. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.
4. *Инструкция по переключениям в электроустановках, утверждённая приказом Минэнерго России от 30.06.2003 г. № 266.*
5. *ГОСТ Р 55608—2013.* Национальный стандарт Российской Федерации, 2014.
6. *Вантеев А. И.* Ещё раз о необходимости корректировки межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации электроустановок // Энергетик. 2011. № 8.
7. *Базанов В. П.* О проблемах обеспечения электробезопасности при работах на ВЛ // Энергетик. 2010. № 2.

## РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ

### Использование программно-аппаратного комплекса RTDS для анализа функционирования автоматических регуляторов возбуждения: настройка АРВ разных типов для подавления низкочастотных колебаний в энергосистеме

АРЦИШЕВСКИЙ Я. Л., КЛИМОВА Т. Г., кандидаты техн. наук  
НИУ МЭИ; 111250, Москва, Красноказарменная ул., д. 14; TGKlim@mail.ru  
ЖУКОВ А. В., канд. техн. наук, САЦУК Е. И., доктор техн. наук  
РАСЦЕПЛЯЕВ А. И., магистр, ОАО «СО ЕЭС»



Я. Л. Арцишевский



Т. Г. Климова



А. В. Жуков



Е. И. Сацук



А. И. Расцепляев

Наличие низкочастотных колебаний (НЧК) режимных параметров в энергосистемах приводит к снижению статической и динамической устойчивости и существенно усложняет выбор настроек автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) для всех схемно-режимных ситуаций. К тому же в АРВ применяются различные алгоритмы работы каналов стабилизации. Представлены методики расчёта области статической устойчивости по требуемым параметрам АРВ и нахождения их значений, обеспечивающих заданное качество демпфирования. Данные методики проверены при анализе функционирования и определения настроек АРВ с алгоритмами работы каналов стабилизации в разнообразных схемно-режимных ситуациях. Проведено сопоставление работы АРВ с разными типами каналов стабилизации в одинаковых условиях работы, оценено влияние алгоритмов стабилизации на режимные параметры и демпфирование НЧК.

**Ключевые слова:** низкочастотные колебания, автоматический регулятор возбуждения, системные стабилизаторы, настройка автоматических регуляторов возбуждения, качество демпфирования.

**С**овременные системы моделирования, в том числе программно-аппаратные комплексы RTDS (Real-Time Digital Simulator), позволяют исследовать устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) в реальном времени, моделировать события и явления в электроэнергетической системе (ЭЭС) с физическим подключением устройств РЗА, создавать новые методики исследования и настроек устройств, а также проверять их в условиях, близких к реальным. Автоматический регулятор возбуждения синхронного генератора (СГ) — сложное устройство, работу которого необходимо проверять и определять

его настройки перед вводом в эксплуатацию.

Наличие НЧК в энергосистеме усложняет выбор настроек АРВ для всех схемно-режимных ситуаций. Из множества характеристик НЧК при настройке АРВ особенно важен частотный диапазон существования НЧК. Как показано в [1], все виды НЧК воспринимаются СГ и проявляются в режимных параметрах на резонансных частотах независимо от возмущений (внутренних или внешних), в результате которых они возникли.

Значения резонансных частот определяются параметрами СГ, электрической сетью, режимом работы.