

Это можно сделать любым из известных способов для решения СЛАУ, или используя ПК Mathcad

Используя команду

$$\text{Find}(X_{c1}, X_{c2}) \rightarrow \quad (6)$$

В данной работе был рассмотрен пример, как нужно поступать при отсутствии данных о сопротивлении энергосистемы. Расчёт аналогичен в обратной и нулевой последовательности при учёте их особенностей.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Готман В.И. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебное пособие— Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — 44 с.:
2. К.С.Демирчян, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин, В.Л.Чечурин Теоретические основы Электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1. -4-е изд.-СПб.:Питер, 2003.-463с.
3. ГОСТ 21027-75 «Системы энергетические. Термины и определения».
4. ГОСТ Р 55438-2013 Термины, определения и сокращения.

Научный руководитель: Ю.А. Краснятов. доцент, к.т.н., доцент каф. ЭСиЭ ЭНИН ТПУ.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКООМНОГО РЕЗИСТОРА КАК СРЕДСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СЕТЯХ 35 КВ**

А.В. Митрофанов  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭСиЭ, группа 5АМ52

В России до последнего времени режим изолированной нейтрали был закреплён в ПУЭ, именно этим положением можно объяснить его широкое применение [1]. Данный режим заземления нейтрали исторически был первым, из-за относительной простоты выполнения и надёжности питания потребителей в случае однофазных замыканий.

В связи со старением электросетевого оборудования однофазные замыкания зачастую переходят в многофазные. Сам по себе режим однофазного замыкания на землю не является аварийным, но общий износ сетей приводит к тому, что при однофазных замыканиях

изоляторы на смежных фазах не выдерживают перенапряжений. Происходит их перекрытие и в связи с тем, что замыкание переходит в многофазное, происходят отключения линий и потеря питания у потребителей. В результате теряется основное свойство изолированной нейтрали – сохранение надёжности питания потребителей при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ).

При анализе статистики технологических нарушений сетей ОАО «МРСК Сибири»-«Кузбассэнерго-РЭС» было выявлено, что около 80% ОЗЗ переходят в отключения, то есть в большинстве случаев, что на практике подтверждает факт увеличения ненадёжности режима изолированной нейтрали для потребителей по мере старения сетей.

Одним из способов ограничения перенапряжений является заземление через высокоомный резистор путём создания искусственной нейтральной точки в сети [2].

До 2003 года у эксплуатирующих электроэнергетических организаций не было формального права по внедрению на своих электроустановках 6-35 кВ защитных высокоомных резисторов (ЗР) для заземления нейтрали сети [3]. Но некоторые главные инженеры, видя перспективу по возможности организации безаварийной работы своих сетей под личную ответственность внедряли данные защитные аппараты. Подход эксплуатирующих организаций базировался на [4] и понимании физики процесса при установке ЗР. ЗР, производства ООО ПНП «БОЛИД», были установлены в сетях как с дугогасящими реакторами, так в сетях без компенсации ёмкостного тока ОЗЗ.

Высокоомный резистор может применяться в сетях с большими ёмкостными токами параллельно с дугогасящим реактором. Данный способ позволяет компенсировать ёмкостные токи и снижать уровень перенапряжений. Если же уровень ёмкостного тока, регламентированного в [5] не превышает уровня 10 А, требующего установки дугогасящего реактора возможно установить только высокоомный резистор.

В ходе данной работы исследовалась практическая эффективность высокоомного резистора как средства ограничения перенапряжений в сетях 35 кВ. Зная подстанции, на которых был он установлен, была обработана статистика технологических нарушений.

В сетях 35 кВ за период 2010-2014 гг. произошло 700 отключений. Из них 488 с успешным автоматическим повторным включением (УАПВ) и 212 с неуспешным автоматическим повторным включением (НАПВ).

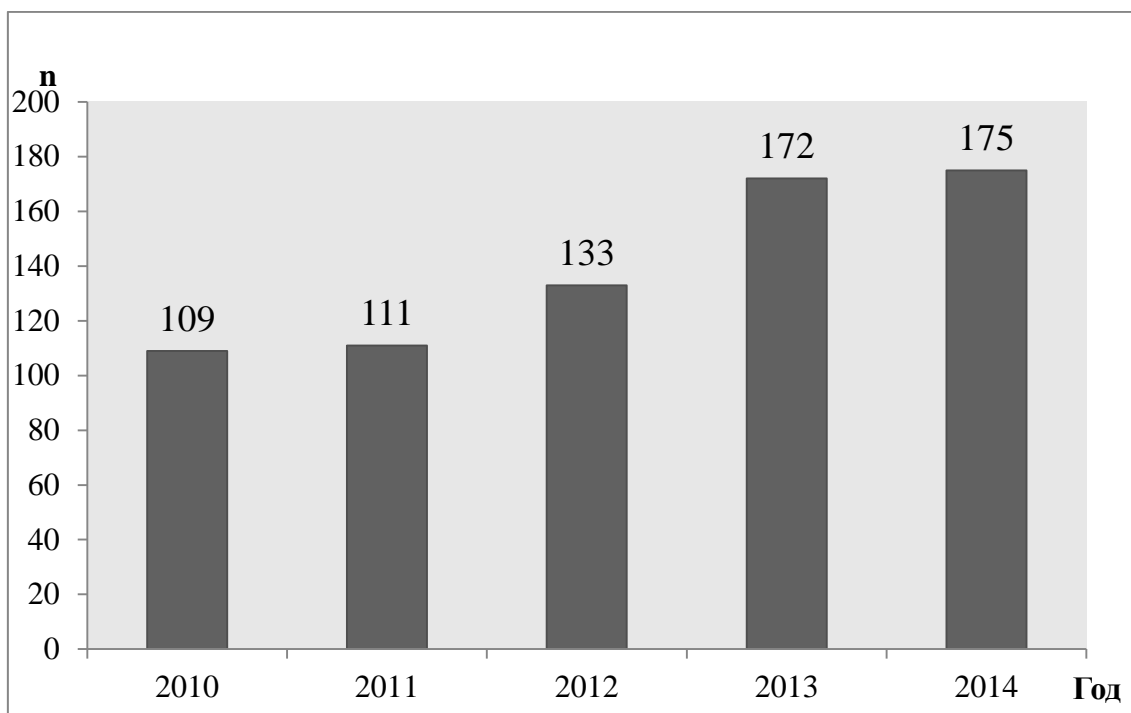


Рис. 1. Количество отключений в сетях 35 кВ за период 2010-2014 гг

Исследуемые отключения берём только с НАПВ, так как ОЗЗ перешедшее в короткое замыкание, не может повторно включиться.

В описании причин технологических нарушений зачастую можно обнаружить причины отключений линий. Так из 212 отключений с НАПВ было 57 отключений из-за атмосферных явлений (молния) и 80 отключений из-за причин, связанных с механическим повреждением электроустановок. Это падение деревьев с обрывом проводов, отгорание шлейфов на линиях, возгорание выключателей на подстанциях, поломка разъединителей, наброс птицами проволоки на провода и т.д.

Оставшиеся повреждения можно считать с высокой долей вероятности ОЗЗ перешедшими в КЗ, методом исключения остальных возможных причин отключений линий.

Табл. 1. Отключения с НАПВ за 2010-2014 гг.

	Отключения из-за грозовых явлений	Отключения из-за механических повреждений	Отключения из-за ОЗЗ перешедших в КЗ
2010	13	22	15
2011	9	23	19
2012	10	11	9
2013	13	14	20
2014	12	10	14
<b>Итого</b>	<b>57</b>	<b>80</b>	<b>77</b>

Были отобраны 77 отключений с НАПВ либо НРПВ в сетях 35 кВ за 5 лет. Для определения эффективности высокоомных резисторов необходимо было найти параметр – удельное количество отключений, то есть количество отключений на 100 км длины линии в год.

Зная длины линий и количества отключений в сетях с высокоомным резистором и без резистора, я установил зависимость удельных отключений за каждый год в течение 5 лет.

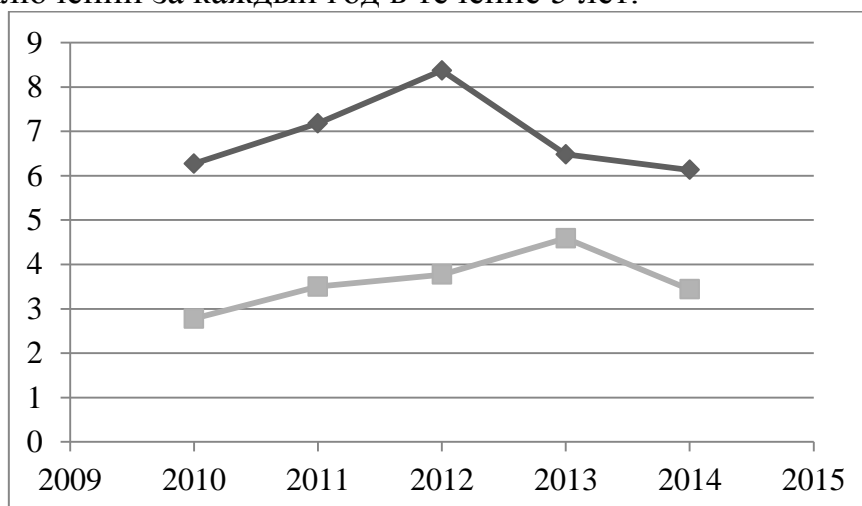


Рис 2. Удельные количества отключений в сетях с изолированной и резистивно-заземлённой нейтралью.

Построенные зависимости удельных отключений наглядно демонстрируют эффективность высокоомного резистора как средства ограничения перенапряжений и, как следствие, более низкого уровня аварийности по сравнению с сетями с изолированной нейтралью.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Кадомская К.П. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: учебник / К.П., Кадомская, Ю.А. Лавров, А.А. Рейхердт. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 368 с. – («Учебники НГТУ»).
2. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений / Ф. Х. Халилов, Г. А. Евдокунин, В. С. Поляков и др.; Под ред. Ф. Х. Халилова, Г. А. Евдокунина, А. И. Таджибаева. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ие, 2002. – 272 с.
3. О способах подключения высокоомных защитных резисторов для заземления нейтрали сети и их безопасной эксплуатации / Н.И. Емельянов, М.А. Ильиных, Д.С. Кудряшов – Новосибирск: Сборник V Всероссийской конференции, 2008.

4. Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ (ТИ 34-70-070-87). - М.: СПО Союзтехэнерго, 1988.
5. Правила устройства электроустановок.- 7-е изд. - М.: ЗАО "Энергосервис", 2007. –887 с.

Научный руководитель: Д.С. Кудряшов, к.т.н., начальник департамента энергетики и угольной промышленности, администрация Кемеровской области.

## **ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР ТИПА ГИБКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Э.Р. Маннанов, А.Н. Рукавицын

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

К основным технологическим направлениям формирования электроэнергетических систем XXI века можно отнести, прежде всего, повышение управляемости и в конечном счете переход к автоуправляемости электроэнергетических систем. Новые современные технологии позволяют энергетическим компаниям решать многие проблемы, включая растущую плотность энергопотребления. Условия работы современных электроэнергетических систем характеризуются увеличением плотности передаваемой энергии, и необходимостью компактного исполнения электроэнергетических объектов [1, 2]. В настоящий момент, преобразование электроэнергетики базируется на новой технологической основе путем создания активно-адаптивных сетей. Эти сети называются гибкими системами электропередачи. Их применение способно перевести систему в новое стабильное состояние при любых возмущениях, как в нормальных режимах, так и в аварийных.

После проведения энергетического обследования и выявления возможностей энергосбережения и повышения энергетической эффективности на исследуемом объекте, наиболее сложным этапом является предварительное определение типа гибкой системы электропередачи, поскольку характеристики и тип устройства должны определяться в ходе выполнения научно-исследовательской работы [2].

Работа посвящена оптимизации процедуры выбора типа гибкой системы электропередачи.

В таблице 1 представлен список наиболее известных типов устройств (Таблица 1). Этот список постоянно расширяется. Каждое