

И.В.НИЖЕВСКИЙ, аспирант, НТУ "ХПИ", Харьков

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НОРМИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ПОДСТАНЦИЯХ

Показане застосування нової математичної моделі для розрахунку електричних параметрів складного ЗП. По результатам широкого дослідження ЗП підстанцій обґрунтовано ефективність застосування дворівневої його конструкції під час модернізації. Підтверджено необхідність модернізації ЗУ підстанції замість існуючої реконструкції.

Показано применение новой математической модели для расчета электрических параметров сложного ЗУ. По результатам обширного исследования ЗУ подстанций обоснована эффективность применения двухуровневой его конструкции при модернизации. Подтверждена необходимость модернизации ЗУ подстанций вместо существующей реконструкции.

Введение. В настоящее время, как отмечено в работе [1], исходя из нормативных сроков эксплуатации (25 лет), количество подстанций в Украине, выработавших свой ресурс (без учета отдельных элементов модернизации), достигло 90%.

Для обеспечения эффективной работы длительно эксплуатируемых подстанций особую актуальность приобретает проблема повышения надежности функционирования их электротехнического оборудования. Особенно остро эта проблема касается и заземляющих устройств (ЗУ) подстанций, которые должны обеспечивать не только электромагнитную совместимость силовоточного оборудования со слаботочными элементами систем релейной защиты, автоматики, контроля и управления, но и необходимые условия электробезопасности.

Вопросам выполнения условий электробезопасности в электроустановках уделяется первостепенное значение, так как это позволяет сохранить жизни обслуживающего их персонала.

Электробезопасность на подстанциях зависит непосредственно от состояния их ЗУ. Практика многолетних обследований ЗУ подстанций Украины [2-4], а также стран СНГ выявляет в ряде случаев серьезные отклонения параметров ЗУ от нормируемых (проектных) значений. Зачастую уход параметров ЗУ от нормы связан со следующими причинами:

- нарушение проекта при сооружении ЗУ подстанции;
- нарушение связей при производстве земляных работ на территории подстанции в последующем;
- коррозия элементов ЗУ.

В связи с этим в настоящее время актуальной является задача восстановления параметров ЗУ, т.е. возврат их к норме. Эта задача может быть решена двумя путями:

- реконструкция ЗУ;
- модернизация ЗУ.

Цель работы – показать основные этапы решения задачи обоснования возможности и необходимости модернизации ЗУ на действующих подстанциях путем применения ЗУ в виде двухуровневой конструкции.

Математическое моделирование двухуровневой конструкции ЗУ и оценка точности расчета. Успешное решение поставленной задачи зависит от возможности определения электрических параметров двухуровневой конструкции ЗУ. Параметры ЗУ можно определить путем натурального эксперимента, с помощью физического моделирования и аналитическим путем. Наиболее точным, конечно же, является метод натурального эксперимента, но он позволяет получить параметры ЗУ только после его сооружения. Однако нормируемые параметры ЗУ должны быть определены на стадии проектирования и проверены после сооружения ЗУ (натурный эксперимент).

Физическое моделирование ЗУ, представленное в монографии [5], достаточно трудоемкое, требует изготовления моделей, выполнения эксперимента в сжатые сроки, учета некоторых особенностей при моделировании в электролитической ванне, и т.д.

Для исследования электрических параметров сложного ЗУ наиболее предпочтительным является аналитический путь, т.е. использование математических моделей. В данной работе, по сравнению с [6], автором применена математическая модель, в которой изменена последовательность отображения элементарного тока относительно границ раздела сред и интегрирования по длине заземлителя. Это позволило выразить потенциал заземлителя и его производные в векторной форме, инвариантной к расположению заземлителя относительно поверхности земли, а затем методом зеркальных изображений распространить решение на двухслойную модель земли. Данная математическая модель реализована в виде программы расчета электрических параметров ЗУ.

Однако применение данной математической модели для исследо-

ваний требует проверки точности расчета. Такая проверка может быть выполнена путем сопоставления результатов измерений интересующих параметров с результатами расчетов тех же параметров.

Исследование электрических параметров ЗУ, выполненное на физических моделях, как это представлено в работе [7], позволило оценить погрешность расчета при использовании математической модели ЗУ. Такая оценка выполнена для рассмотренного в работе [7] ЗУ по формуле

$$\delta = \frac{\Phi_p - \Phi_э}{\Phi_э} \cdot 100 \%.$$

Результаты оценки погрешности представлены в табл. 1.

Таблица 1

Φ_p	0,688	0,673	0,747	0,929	0,747	0,673	0,688	0,756	0,421
$\Phi_э$	0,752	0,715	0,697	0,88	0,706	0,699	0,702	0,77	0,413
δ	8,553	5,864	7,19	5,586	5,823	3,709	2,039	1,758	1,994

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что погрешность расчета сопротивления растеканию ЗУ не превышает 5%, а погрешность расчета относительных потенциалов $\Phi_p/\Phi_э$ на поверхности земли находится в пределах от $-8,553\%$ до $+5,586\%$ при средней погрешности $4,724\%$. Это позволяет утверждать, что математическая модель расчета электрических параметров ЗУ дает достаточную для инженерных целей точность и может успешно применяться на практике, как показано, например, в работе [8]. Следует также подчеркнуть, что точность расчета непосредственно зависит от точности задания исходной информации.

Модернизация ЗУ подстанций. Уход параметров ЗУ за пределы допустимых (нормируемых) значений требует скорейшего решения задачи восстановления нормируемых параметров существующих ЗУ.

По мнению автора данной работы, принимаемые меры для решения возникшей задачи, достаточно ограничены, громоздки и требуют существенного упрощения и доработки.

На основании анализа полученных в последние годы и частично опубликованных, например, в работе [8], результатов целенаправленного исследования было предложено новое решение поставленной задачи. Это решение представляет собой создание сетки второго уровня, которая может повторять по конфигурации сетку первого уровня, т.е. существующую. Принцип реализации такого решения представлен

на рис. 1 и защищен патентом [9].

В данном случае заземляющее устройство выполнено в виде двухуровневой конструкции, причем нижний уровень – горизонтальная сетка в общем случае с переменным шагом 1 с вертикальными электродами 2, характерная для типовых решений заземляющих устройств подстанций, а верхний уровень в виде дополнительной сетки 3 в верхнем слое земли 4. Конфигурация сетки верхнего уровня может повторять конфигурацию сетки нижнего уровня. Заземлители обоих уровней электрически многократно соединены, например проводниками 5, заземляющими оборудование 6.

Полученный патент предусматривает альтернативное реконструкции решение, а именно - модернизацию существующих ЗУ, приходящих в негодность целиком или частично в результате старения.

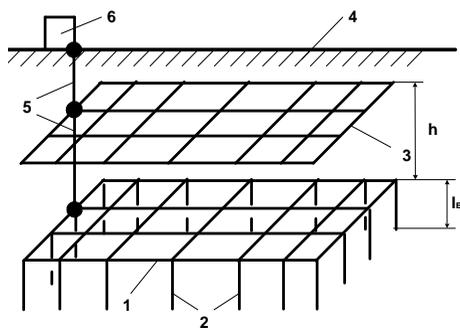


Рис. 1.

Для реализации запатентованного решения следует, во-первых, произвести монтажные работы, которые по причине небольшого уровня залегания верхней сетки (или ее частей) менее трудоемки, чем в случае реконструкции сетки (или ее частей) нижнего уровня. Во-вторых, требуется решить, в какой части сетка верхнего

уровня повторяет сетку нижнего уровня, т.е. старую.

Предварительный анализ показывает, что возможно в отдельных местах упрощение сетки, т.е. нет необходимости полностью повторять сетку нижнего уровня. Значительным преимуществом сетки верхнего уровня является снижение напряжения прикосновения $U_{пр}$.

Кроме того, проведенные в НТУ "ХПИ" в течение ряда лет исследования получили подтверждение в последующем в новой редакции ПУЭ [10], где на законодательном уровне было принято решение о том, что заземляющее устройство подстанции должно быть уложено на глубине не менее 0,3 м.

Технико-экономические показатели в случае реализации ЗУ подстанции по варианту существующего решения и по разработанному варианту (патент) свидетельствуют в пользу внедрения патента.

Преимущества нового решения:

а) размещение заземляющей сетки ближе к поверхности земли

снижает уровень напряжения прикосновения $U_{пр}$.

а) использование заземляющей сетки на малой глубине облегчает ее реализацию;

б) подключение оборудования к ЗУ на малой глубине значительно проще;

в) упрощается подключение нейтрали трансформаторов и укладка горизонтальных полос у нейтрали в случае необходимости;

г) в случае, если размер ячеек сетки ЗУ больше допустимого, облегчается укладка дополнительных горизонтальных полос;

д) пересечение полос на малой глубине лучше;

е) замена глубокой укладки заземляющей сетки на не глубокую укладку дает определенный экономический и технический эффект;

ж) упрощается периодический осмотр и контроль состояния ЗУ.

Новые рекомендации по улучшению параметров ЗУ.

Если подстанция имеет заземляющую сетку, которая по конфигурации не соответствует проектному решению, либо в процессе эксплуатации были нарушены по каким-либо причинам связи, т.е. нормируемые параметры ЗУ вышли за допустимые пределы, то необходимо:

1) дополнить связи на малой глубине (второй уровень);

2) выполнить заземляющую сетку второго уровня.

Вторая рекомендация является не только наиболее радикальной, но и наиболее надежной. Связано это с тем, что элементы существующего ЗУ подвергаются внешним воздействиям, например, коррозии. Выход из строя отдельных элементов произволен во времени. Иначе говоря, устранение нарушенных связей сегодня по существующим рекомендациям не исключает появления новых нарушений завтра, т.е. выход нормируемых параметров завтра за пределы допустимых, а, следовательно, возникновение опасных предаварийных ситуаций, что явно свидетельствует не в пользу существующих рекомендаций.

Выводы.

1. В статье показано применение математической модели сложного заземляющего устройства подстанции для расчета его электрических параметров. Модель реализована в виде алгоритма и программы расчета, что позволяет вести исследования по распределению потенциалов на поверхности земли, как по территории подстанции, так и за ее пределами.

2. Модернизация заземляющих устройств подстанций, которые находятся в длительной эксплуатации, путем сооружения двухуровневой конструкции заземлителя позволяет не только восстановить нормируемые параметры ЗУ на подстанциях, но и улучшить их.

Список литературы: 1. *Бабушкин В.М., Нейман В.А., Чевычелов В.А.* Электрические сети: развитие, новые решения. Пособие для электроэнергетиков. – К.: Энергетика и электрификация. – 2002. – 168 с. 2. *Борисов Р.К., Колиушко Г.М., Гримуд Г.И., Васьяковский А.П., Чевычелов В.А., Колиушко Д.Г.* Методика исследования заземляющих устройств объектов электроэнергетики // Энергетика и электрификация. – 2000. – № 4. – С. 29-32. 3. *Колиушко Г.М., Носулько В.Д., Воронина З.А., Колиушко Д.Г.* Опыт обследования заземляющих устройств подстанций напряжением 150 кВ Запорожских Восточных электрических сетей // Энергетика и электрификация. – 2000. – № 7. – С. 24-26. 4. *Борисов Р.К., Колечицкий Е.С., Горшков А.В., Балашов В.В.* Методика и технические средства для диагностики состояния заземляющих устройств энергообъектов // Электричество. – 1996. – № 1. – С. 65-67. 5. *Рябкова Е.Я.* Заземления в установках высокого напряжения. – М.: Энергия, 1978. – 224 с. 6. *Бургсдорф В.В., Якобс А.И.* Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с. 7. *Нижевский И.В., Нижевский В.И.* Экспериментальное исследование двухуровневого заземляющего устройства подстанции на физических моделях // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – №5/6 (41). – С. 61-65. 8. *Нижевский И.В., Нижевский В.И., Шишигин С.Л.* Исследование влияния глубины укладки заземляющей сетки верхнего уровня двухуровневого заземлителя подстанции на распределение потенциалов по поверхности земли // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – №6/6 (42). – С. 41-45. 9. Пат. 18292, Україна, МПК Н02В 1/00. Пристрій заземлення / В.І. Ніжевський, І.В. Ніжевський, В.І. Гуль – № u200603019. Заявлено 21.03.2006. Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11. – 3 с. 10. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – Харків: Індустрія, 2007. – 416 с.



Нижевский Илья Викторович. Защитил диплом инженера в Национальном техническом университете "Харьковский политехнический институт" по специальности электрические системы и сети в 2007 г. Аспирант кафедры "Передача электрической энергии" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" с 2008 г. Научные интересы связаны с проблемами молниезащиты, заземляющих устройств, перенапряжений в электрических сетях и координации изоляции.

Поступила в редколлегию 01.03.2010