

БЕХАТАРИИ ФАЪОЛИЯТИ ИНСОН- SAFETY OF HUMAN ACTIVITIES- БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 621.311

ОЦЕНКА КОСВЕННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СЕТЕЙ 6-10 кВ

Х.Д. Давлатзода, М.Ю. Юсуфзода, М.М. Вохидов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассмотрены косвенные методы определения сопротивления изоляции распределительных электрических сетей напряжением 6–10 кВ. Особое внимание уделено методу, основанному на подключении дополнительной емкости к одной из фаз сети. Проанализированы возможные источники погрешностей, связанные с характером и величиной нагрузки, а также несимметрией фазных напряжений относительно земли.

Ключевые слова: *распределительные электрические сети, сопротивление изоляции, косвенные методы, дополнительная емкость.*

АРЗЁБИИ УСУЛҲОИ БЕВОСИТАИ МУАЙЯН НАМУДАНИ МУҚОВИМАТИ ОИҚИ ШАБАКАҲОИ БАРҚИИ 6–10 кВ

Х.Д. Давлатзода, М.Ю. Юсуфзода, М.М. Вохидов

Дар мақола усулҳои бевоситаи муайян намудани муқовимати оиқи шабакаҳои тақсимоти барқии бо шиддати 6–10 кВ баррасӣ шудаанд. Таваҷҷуҳи асосӣ ба усуле рағбона шудааст, ки ба он пайваст кардани ғунҷоии иловагӣ ба яке аз фазаҳои шабака асос ёфтааст. Манбаъҳои эҳтимолии хатогиҳо, ки бо хусусият ва бузургии бор, инчунин нобаробарии фазаҳои шиддат нисбат ба замин вобастаанд, таҳлил шудаанд.

Вожаҳои калидӣ: *шабакаҳои тақсимоти барқӣ, муқовимати изолятсия, усулҳои ғайрибевосита, иқтидори иловагӣ.*

EVALUATION OF INDIRECT METHODS FOR DETERMINING THE INSULATION RESISTANCE OF 6–10 kV NETWORKS

Kh.D. Davlatzoda, M.Yu. Yusufzoda, M.M. Vohidov

The article examines indirect methods for determining the insulation resistance of distribution electrical networks with a voltage of 6–10 kV. Particular attention is paid to the method based on connecting an additional capacitance to one of the network phases. The possible sources of errors related to the nature and magnitude of the load, as well as the asymmetry of phase voltages relative to ground, are analyzed.

Keywords: *distribution electrical networks, insulation resistance, indirect methods, additional capacitance.*

Введение

Одним из важнейших факторов, определяющих надежность и электробезопасность распределительных электрических сетей, является состояние их изоляции. Нарушение изоляции приводит к аварийным отключениям, повреждению оборудования и значительным экономическим потерям. По статистике, до 40 % коммутационных аппаратов и до 90 % электрических машин выходят из строя именно из-за дефектов изоляции. В то же время правильная диагностика параметров изоляции позволяет существенно повысить надежность электроснабжения и уменьшить риск пожароопасных ситуаций [1–9]. Определение параметров изоляции может выполняться прямыми методами (металлическое замыкание на землю) или косвенными методами (подключение дополнительной проводимости). Несмотря на простоту прямого метода, его использование связано с высоким риском возникновения многоместных замыканий и ухудшением условий электробезопасности. Поэтому в условиях эксплуатации распределительных сетей напряжением 6–10 кВ предпочтение отдается именно косвенным методам.

Материалы и методы исследования

Прямой метод – металлическое замыкание одной из фаз на землю прост, позволяет определять полную проводимость изоляции фаз сети относительно земли и его составляющие. Однако его применение сопряжено с рядом трудностей организационного порядка, кроме того, замыкание одной из фаз на землю может стать причиной появления в сети многоместных замыканий на землю. Последнее приводит к снижению надежности электроснабжения и ухудшению условий электробезопасности для персонала, занятого измерениями в сети, а также эксплуатирующего оборудование, подключенное к ней.

Учитывая изложенное, предпочтение необходимо отдать косвенным методам определения указанных параметров. С точки зрения безопасности и точности измерений, в настоящее время, для определения параметров изоляции фаз сети относительно земли в сетях с изолированной нейтралью наиболее приемлемым является косвенный метод, основанный на подключении к одной из фаз сети дополнительной проводимости (рисунок.1) [1–4].

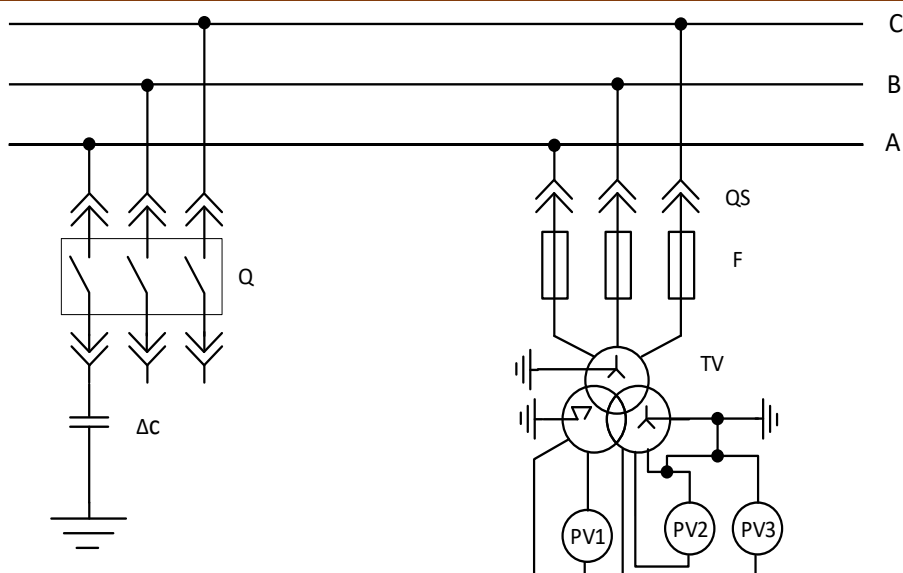


Рисунок 1 – Схема измерения при подключении к сети дополнительной ёмкости

Здесь приняты следующие обозначение: TV – трансформатор напряжения типа НТМИ-6; PV1, PV2 и PV3 – вольтметры для измерения напряжений фаз сети относительно земли; Q – выключатель, коммутирующий дополнительную емкость между фазой A электрической сети и землей; ΔC – дополнительная ёмкость, которая подключалась между фазой A электрической сети и землей.

Анализ известных методов [2, 5, 10 -12], практика применения их в реальных распределительных сетях показали, что в качестве дополнительной проводимости целесообразно применять емкости.

Исследование погрешностей определения заключается в раскрытии зависимостей величин установленной активной и емкостной проводимостей изоляции сети относительно земли от величины и характера нагрузки в сети, а также несимметрии напряжений фаз относительно земли.

С практической точки зрения большое значение имеет исследование погрешностей методов определения параметров изоляции. Подобные исследования провести в реальной распределительной электрической сети невозможно. С целью оценки влияния на точность определения параметров изоляции фаз сети относительно земли была разработана компьютерная модель с использованием «Matlab / Simulink» [13, 14], а также проверена ее адекватность.

Все рассмотренные методы применимы в кабельных, воздушных и смешанных электрических сетях, указанных выше напряжений. Эти методы предназначены для сетей с изолированной нейтралью или для сетей с компенсированной нейтралью [15 -19].

Результаты анализа

Исследования погрешностей определения параметров изоляции фаз сети относительно земли проводились по методике, приведенной в [2]. На рисунок. 2 и 3 показано влияние характера и величины нагрузки на точность измерения составляющих сопротивления изоляции фаз сети относительно земли.

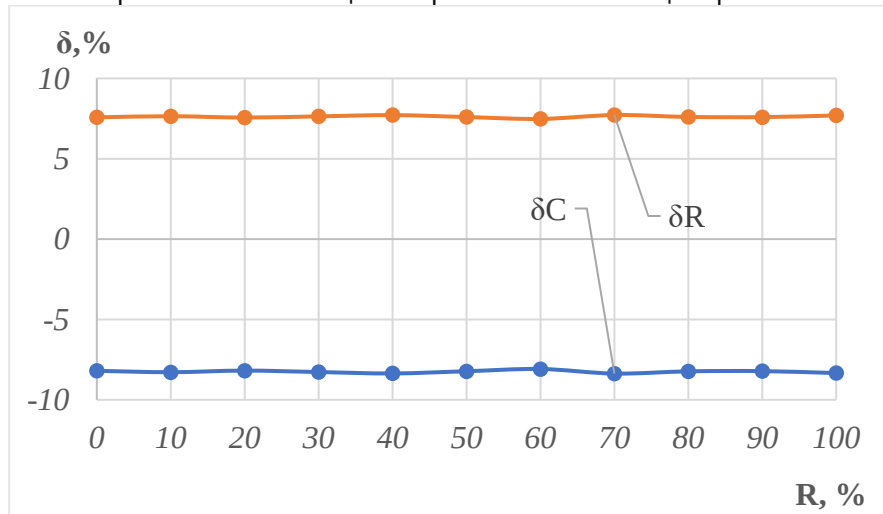


Рисунок 2 – Зависимость δR_{ϕ} и δC_{ϕ} при изменении активной нагрузки от 0 до 100 %

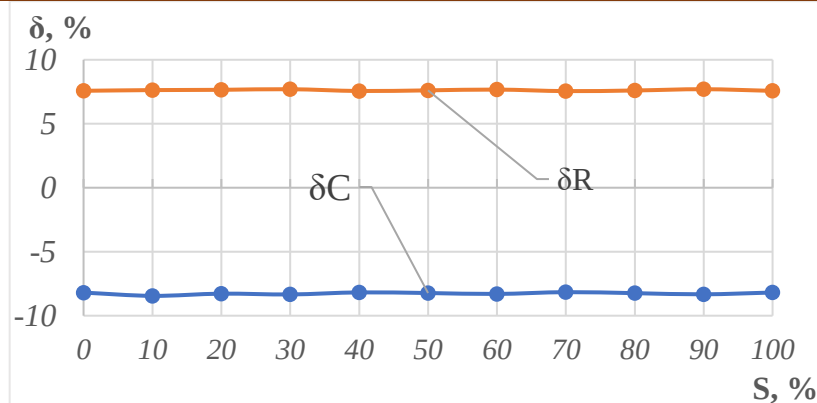


Рисунок 3 – Зависимость δR_{ϕ} и δC_{ϕ} при изменении полной нагрузки от 0 до 100 %

Оценим влияние несимметрии в сети на точность определения параметров изоляции. Несимметрия создается сопротивлениями изоляции фаз сети относительно земли. Следует отметить, что согласно ГОСТ 32144 – 2013 при несимметрии напряжения в трехфазных системах, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю [20].

На рисунок. 4 показано влияние несимметрии на точность измерения составляющих сопротивления изоляции фаз сети относительно земли.

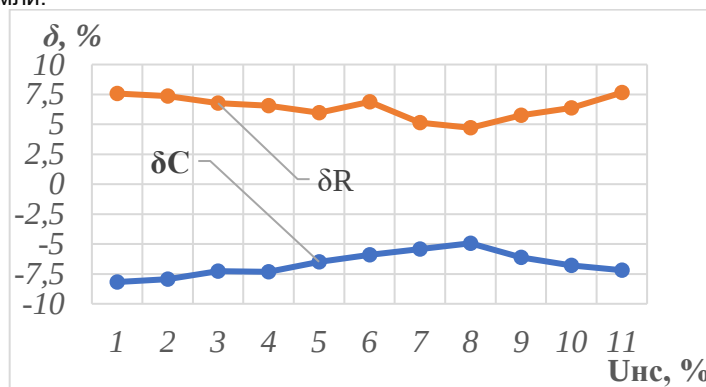


Рисунок 4 – Относительная погрешность определения параметров изоляции с учетом несимметрии в сети

Проведенные исследования на компьютерной модели показали, что при несимметрии в сети, а также при изменении величин и характера нагрузки погрешность в определении параметров изоляции не превышает 8 %.

В докладе приводятся результаты анализа существующих методов определения параметров изоляции фаз сети относительно земли, их достоинства и недостатки, а также сопоставительные данные о точности определения известными косвенными методами.

Заключение

Косвенные методы определения сопротивления изоляции, в частности метод с подключением дополнительной емкости, доказали свою эффективность при эксплуатации распределительных электрических сетей напряжением 6 – 10 кВ. Их применение позволяет не только определить активную и емкостную составляющие токов однофазных замыканий, но и выявить состояние изоляции фаз относительно земли без необходимости создания аварийных режимов.

Компьютерная модель подтвердила, что при корректном выборе параметров дополнительной емкости и учёте несимметрии напряжения погрешность измерений не превышает 8 %. Это делает исследованный метод перспективным для использования в системах контроля и диагностики электрических сетей с изолированной или компенсированной нейтралью.

Рецензент: Абдуллозода Р.П. — к.т.н., доцент кафедры “Релейная защита и автоматика” ПТФТУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Бухтояров, В.Ф. Защита от замыканий на землю электроустановок карьеров / В.Ф. Бухтояров, А.М. Маврицын. – М.: Недра, 1986. – 184 с.
2. Сидоров, А.И. Исследование погрешностей косвенного метода измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли на имитационной модели / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 9. – С. 24-29. – DOI 10.24000/0409-2961-2020-9-24-29. – EDN RVNDJL.
3. Маврицын, А.М. Электроснабжение угольных разрезов / А.М. Маврицын, О.А. Петров. – М.: Недра, 1977. – 184 с.
4. Электрификация открытых горных работ: Учебник для вузов / С.А. Волотковский, В.И. Щуцкий, Н.И. Чеботаев, и др. – М.: Недра, 1987. – 332 с.

5. Бобоев, Х.Д. Параметры изоляции относительно земли в карьерных распределительных сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан / Х.Д. Бобоев, А.В. Богданов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 29-37. – DOI 10.14529/power210103. – EDN WOLVIV.
6. Сидоров, А.И. Теория и практика системного подхода к обеспечению электробезопасности на открытых горных работах: Дис. ... докт. техн. наук: 05.26.01 / Сидоров Александр Иванович. – Челябинск, 1993. – 444 с.
7. Бобоев, Х.Д. Устройство контроля изоляции в сетях 6 кВ / Х. Д. Бобоев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 168-171. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-2-168-172. – EDN JNFPUM.
8. Анализ погрешностей косвенного метода контроля параметров изоляции сети относительно земли в программной среде MATLAB/Simulink / Х. Д. Бобоев, Ю.И. Аверьянов, А.В. Богданов, И. Л. Кравчук // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 106-116. – DOI 10.14529/power220112. – EDN UVOTCH.
9. Бобоев, Х.Д. Оценка вероятности возникновения электроопасной ситуации в сетях 6-10 кВ / Х.Д. Бобоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 2(62). – С. 13-17. – EDN TVGYBW.
10. Организация контроля изоляции в распределительной сети карьера "Тарпор" / Х.Д. Бобоев, Ю.И. Аверьянов, А.В. Богданов, И. Л. Кравчук // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 57-65. – DOI 10.14529/power210407. – EDN ZLICHK.
11. Бобоев, Х.Д. Анализ и оценка косвенных методов определения параметров изоляции сетей напряжением выше 1000 В / Х.Д. Бобоев // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2021. – № 10. – С. 46-50. – EDN KRXMBM.
12. Утегулов, Б.Б. Исследование условий и повышение уровня электробезопасности при эксплуатации электроустановок 6 кВ угольных разрезов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. Утегулов Болатбек Бахитжанович. – Москва, 1981. – 154 с.
13. Сидоров, А.И. Имитационная модель карьерной распределительной сети напряжением 6 кВ / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Научный поиск: материалы двенадцатой научной конференции аспирантов и докторантов, Челябинск, 17–19 марта 2020 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2020. – С. 18-23. – EDN OSCZEG.
14. Исследование параметров электрической сети напряжением 6 кВ Тарпорского карьера / Х.Д. Бобоев, Ю.И. Аверьянов, А.В. Богданов, И.Л. Кравчук // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 116-126. – DOI 10.14529/power220211. – EDN NQTVSW.
15. Бобоев, Х. Д. Анализ методов измерения емкостных токов однофазного замыкания на землю в сетях 6-10 кВ / Х.Д. Бобоев // Политехнический вестник. Серия: Техника и общество. – 2025. – № 1(9). – С. 19-24. – EDN NTAHJZ.
16. Сидоров, А.И. Компьютерная модель карьерной распределительной сети / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Безопасность технологических процессов и производств: Труды III Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 26 мая 2021 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2021. – С. 85-87. – EDN EXJVMY.
17. Электробезопасность на открытых горных работах [Текст] / В.И. Щуцкий, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин, Н.А. Бендяк. – М.: Недра, 1996. – 266 с.
19. Бобоев, Х.Д. Обзор методов и средств поддержания состояния изоляции распределительных электрических сетей / Х.Д. Бобоев // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 1. – С. 46-50. – EDN FDIQPR.
20. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации потребителей [Текст]. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 392 с.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Давлатзода Хуршед Давлатали	Давлатзода Хуршед Давлатали	Davlatzoda Khurshed Davlatali
н.и.т.	к.т.н.	Candidate of technical sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: khboboev-93@mail.ru		
TJ	RU	EN
Юсуфзода Манучехр Юсуф	Юсуфзода Манучехр Юсуф	Yusufzoda Manuchehr Yusuf
н.и.т., и.в. дотсент	к.т.н., и.о. доцента	Candidate of technical sciences, Acting Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: supergold84@mail.ru		
TJ	RU	EN
Воҳидов Миробид Мирвоҳидович	Воҳидов Миробид Мирвоҳидович	Vohidov Mirobid Mirvohidovich
н.и.т.	к.т.н.	Candidate of technical sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: manu_1804@mail.ru		