

ЭНЕРГЕТИКА

ENERGETICS

УДК 621.311

DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-213-223

Влияние дополнительных емкостей на переходные восстанавливающиеся напряжения в режиме неудаленных коротких замыканий*

**ДЖ.Б. РАХИМОВ^a, Ш.М. СУЛТОНОВ^b, ДЖ.С. АХЪЁЕВ^c,
ДЖ.Х. ХУДЖАСАИДОВ^d**

730092, РТ, г. Душанбе, ул. акад. Раджабовых, 10, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

^ajam-rahimov@mail.ru ^bsultonzoda.sh@mail.ru ^cjavod_66@mail.ru
^djahon_nstu@mail.ru

При отключении коротких замыканий (КЗ) на контактах высоковольтных выключателей (ВВ) появляется переходное восстанавливающееся напряжение (ПВН). Наибольший вклад в ПВН вносит составляющая восстанавливающегося напряжения (ВН) между контактом выключателя и землей со стороны воздушной линии электропередач (ЛЭП), имеющая пилообразный характер колебаний. Складываясь на основную составляющую ВН со стороны источника питания, эти высокочастотные колебания пилообразного типа оказывают влияние на скорость нарастания ПВН и этим затрудняют отключение тока КЗ выключателями. Как показывает мировой опыт, предотвратить такого рода аварии можно с помощью дополнительных емкостей, установленных между фазными выводами выключателя. Для оценки влияния дополнительных емкостей на скорости нарастания ПВН была принята схема электрической сети 110 кВ, разработанная с помощью программного комплекса EMTP-RV. Целью исследования является разработка технических рекомендаций по уменьшению скорости возрастания ПВН на контактах элегазовых ВВ при отключении КЗ на воздушных ЛЭП на некоторое расстояние от шин распределительных устройств (РУ). Приведены подробные результаты расчетов скорости нарастания и пикового значения ПВН на контактах элегазового выключателя 110 кВ при отключении тока КЗ на ЛЭП до и после установки на выводах выключателей дополнительных емкостей, равных 30, 40, 50 и 60 нФ. В результате исследования и анализа полученных значений скоростей нарастания ПВН на контактах элегазового выключателя при отключении КЗ на воздушных ЛЭП при разновидности параметров схемы было установлено, что при выборе дополнительной емкости необходимо учитывать емкость на землю электрооборудования, которое установлено на рассматриваемой подстанции (ПС), в том числе количество, сечения и длины проводников воздушных ЛЭП, присоединенных к шинам РУ. При уменьшении емкости электрооборудования на землю или отключении части отходящих воздушных ЛЭП от шин РУ скорость нарастания ПВН на контактах элегазового выключателя увеличивается.

* Статья получена 04 сентября 2018 г.

Ключевые слова: переходные восстанавливающиеся напряжения, выключатель, неудаленное короткое замыкание, короткое замыкание, конденсаторная батарея, линия электропередачи, высоковольтный выключатель, программный комплекс ЕМТР–RV

ВВЕДЕНИЕ

Наравне со значениями периодической и апериодической составляющих тока КЗ в узлах и на воздушных ЛЭП электрических сетей важным параметром, который характеризует отключающую способность ВВ, является допустимая скорость возрастания ПВН, которая, в свою очередь, влияет на напряжение между контактами выключателя, возникающее после гашения электрической дуги в нем.

Проектирование и реконструкция электрических сетей и электрических станций, а также определение скорости возрастания до пиковых значений ПВН на контактах ВВ в момент отключения тока КЗ может быть необходимым шагом на этапе выбора ВВ и для проверки ВВ, находящихся в эксплуатации, на соответствие отключающей способности при электромагнитных аварийных переходных процессах.

При происхождении КЗ на воздушных ЛЭП на небольшом расстоянии от выводов выключателя неизменно фигурируют определенные значения сопротивления линии. Это значение сопротивления препятствует току КЗ, т. е. приводит к уменьшению тока КЗ, а также является основным условием для поддержания некоторого уровня напряжения в электроэнергетической системе u_0 . После отключения тока КЗ на воздушной ЛЭП электрический заряд может освободиться и начать равномерное распределение по длине воздушной ЛЭП от точки КЗ до выводов ВВ. Данный электромагнитный аварийный переходный процесс может быть представлен в виде независимого движения в противоположном направлении двух косоугольных волн, имеющих пиковое значение напряжения $u_0 / 2$. Доходя до места КЗ и разомкнутого полюса ВВ, полуволны могут быть отражены с помощью коэффициентов, которые соответственно равны $K_{от} = +1$ и $K_{от} = -1$. Из-за потерь данный электромагнитный аварийный переходный процесс длится до момента снижения напряжения и тока до нуля [1, 2, 4, 5].

Составляющая скорость нарастания ВН со стороны воздушной ЛЭП в начальный момент аварийного переходного процесса значительно больше составляющей скорости нарастания ВН со стороны источника питания [5–8, 10, 11, 13]. При выборе ВВ в электрических сетях электроэнергетических систем, номинальное напряжение которых 110 кВ и выше, эта характерная особенность должна учитываться [9].

С увеличением значений токов КЗ в высоковольтных узлах электрических сетей электроэнергетических систем критическое условие работы большинства типов ВВ с $U_{ном} \geq 110$ кВ определяется отключающей способностью КЗ на воздушных ЛЭП на небольшом расстоянии от шин РУ. При неудаленном КЗ на воздушной ЛЭП скорость возрастания, первое амплитудное и пиковое значения ПВН складываются из составляющих источника питания и составляющих воздушной ЛЭП. Составляющая ВН со стороны воздушной ЛЭП имеет пилообразный характер колебаний. Частота таких

колебаний обратно пропорциональна, а амплитуда восстанавливающегося напряжения прямо пропорциональна значению расстояния от выводов ВВ до точки КЗ, расположенной на ЛЭП.

Известны случаи, когда несоответствие скорости нарастания и пиковых значений ПВН характеристикам выключателя приводили к его выходу из эксплуатации в процессе отключения КЗ [1].

Для ликвидации таких видов аварий проводятся специальные технические мероприятия, разработанные на базе расчета и анализа электромагнитных аварийных переходных процессов, которые возникают при отключении КЗ на воздушных ЛЭП на некотором расстоянии от ВВ.

Как видно из мировой практики, для снижения скорости возрастания ПВН на выводах ВВ при отключении токов КЗ наиболее эффективно использовать дополнительные емкости, которые установлены к фазным выводам контактов выключателя со стороны воздушных ЛЭП [14–17].

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для анализа и исследования влияний дополнительных емкостей на скорости возрастания и пикового значений ПВН на контактах ВВ в момент отключения тока КЗ на воздушной ЛЭП на некотором расстоянии от шин РУ была рассмотрена ПС со следующими исходными данными:

- номинальное напряжение $U_{\text{НОМ}} = 110$ кВ;
- номинальный ток отключения элегазового выключателя $I_{\text{НОМ.ОТК}} = 40$ кА;
- значение тока КЗ на шинах РУ $I_{\text{КЗ}} = 40$ кА;
- отношение тока КЗ на ЛЭП к току КЗ на выводах элегазового выключателя $M = 0,85$;
- значение тока КЗ на ЛЭП при $M = 0,85$ $I_{\text{КЗ.ВЛ}} = 34$ кА;
- количество отходящих воздушных ЛЭП от шин РУ $n = 4$ шт.;
- длина и сечение проводов отходящих воздушных ЛЭП от шин РУ $l = 50$ км и АС $F = 240$ мм²;
- эквивалентная емкость на землю электрооборудования, которое установлено на ПС, $C_c = 50$ нФ.

Для оценки влияния дополнительной емкости на параметры ПВН на контактах элегазового выключателя 110 кВ с использованием программного комплекса ЕМТР–RV был смоделирован электромагнитный аварийный переходный процесс с учетом параметров дугогасящей камеры, т. е. проводимость дуги, ток дуги, постоянное значение напряжение дуги, постоянное значение потери мощности, постоянное время Кэсси и постоянное время Майра.

На рис. 1 показана схема замещения электрической сети при подключении дополнительных емкостей к контактам ВВ со стороны воздушной ЛЭП и земли C_d .

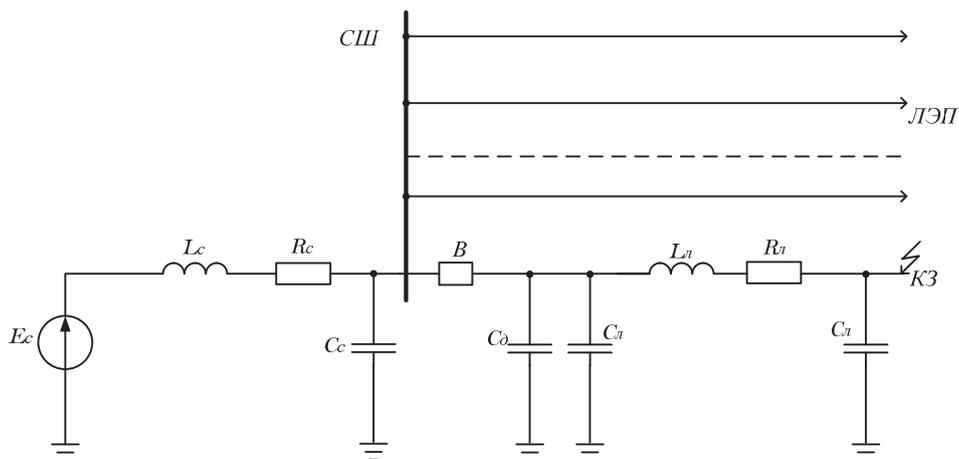


Рис. 1. Схема замещения электрической сети для расчета ПВН с подключением дополнительной емкости

Fig. 1. The equivalent circuit of the electrical network with the connection of an additional capacity for the TRV calculation

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В таблице приведены результаты расчетов скорости нарастания и первое амплитудное значение ПВН на контактах ВВ 110 кВ ликвидации КЗ на воздушной ЛЭП до и после установки дополнительных емкостей, равных 30, 40, 50 и 60 нФ.

Таблица 1

Table 1

Результаты расчетов параметров ПВН

The results of the TRV parameter calculations

C_d , нФ	S , кВ/мкс	u_1 , кВ
0	7,18	33,01
30	2,539	48,24
40	2,346	53,97
50	2,205	55,13
60	2,197	57,13

На рис. 2 показаны расчетные кривые ПВН на контактах ВВ с $U_{ном} = 110$ кВ при ликвидации тока КЗ на воздушной ЛЭП до и после установки дополнительных емкостей, равных 30, 40, 50 и 60 нФ.

На рис. 3 в развернутом виде показаны кривые изменения характеристик ПВН на элегазовом выключателе с $U_{ном} = 110$ кВ при ликвидации тока КЗ на воздушной линии до и после установки дополнительных емкостей, равных 30, 40, 50 и 60 нФ, условная граничная линия ПВН и линия запаздывания ПВН согласно ГОСТ Р 52565–2006.

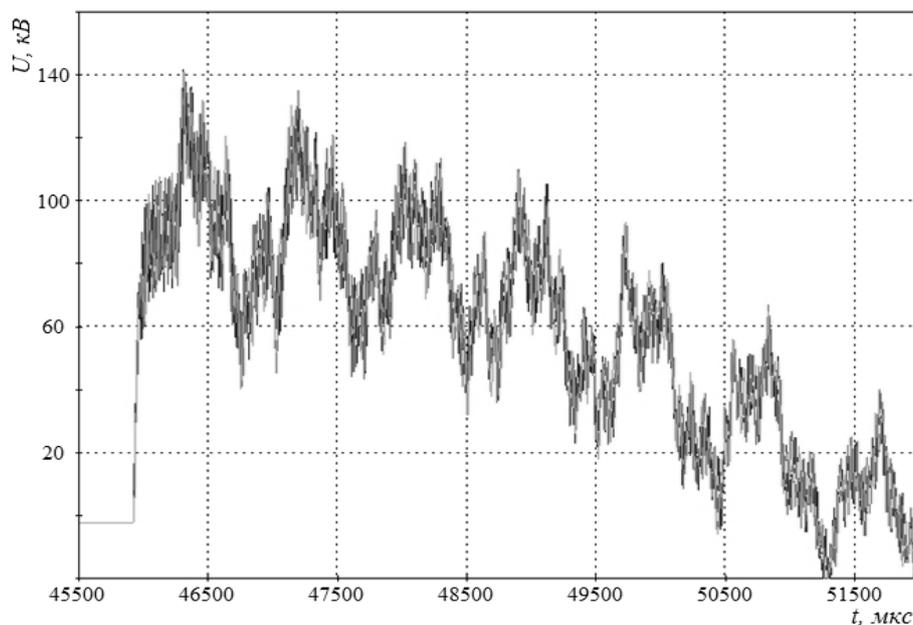


Рис. 2. Расчетные кривые ПВН до и после установки дополнительных емкостей

Fig. 2. Calculated TRV curves before and after installation of additional capacities

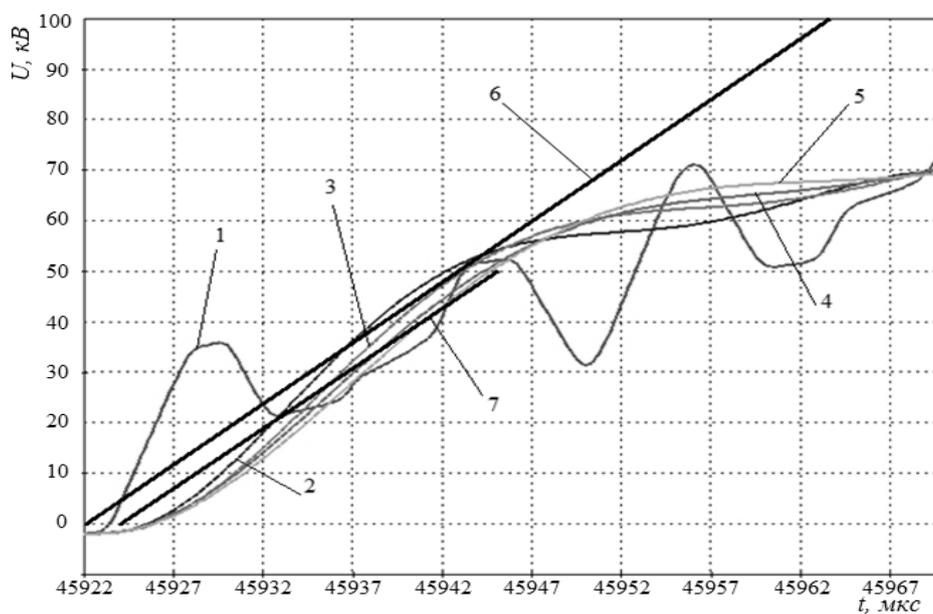


Рис. 3. Расчетные кривые ПВН до (кривая 1) и после установки емкостей $C_d = 30$ нФ (кривая 2), $C_d = 40$ нФ (кривая 3), $C_d = 50$ нФ (кривая 4), $C_d = 60$ нФ (кривая 5), условная граничная линия ПВН (кривая 6) и линия запаздывания ПВН (кривая 7)

Fig. 3. Calculated TRV curves before (curve 1) and after installation of capacities $C_d = 30$ nF (curve 2), $C_d = 40$ nF (curve 3), $C_d = 50$ nF (curve 4), $C_d = 60$ nF (curve 5), conditional TRV boundary line (curve 6) and TRV delay line (curve 7)

Из рис. 3 можно увидеть, что при ликвидации тока КЗ на воздушной ЛЭП на некоторое расстояние от элегазового выключателя до подключения дополнительных емкостей скорость возрастания ПВН (кривая 1) превышает допустимые значения ПВН (кривая 6), а также дважды переходит линию запаздывания ПВН (кривая 7). Также видно, что при подключении на выводах элегазового выключателя дополнительной емкости, равной 40 нФ, скорость нарастания ПВН (кривая 3) не пересекает допустимые значения ПВН (кривая 6) и лишь один раз пересекает линию запаздывания (кривая 7). Снижение скорости нарастания ПВН при подключении дополнительной емкости на контактах ВВ со стороны воздушной ЛЭП объясняется тем, что дополнительная емкость снижает высокочастотные колебания составляющих ВН со стороны воздушной ЛЭП. После анализа полученных характеристик изменения ПВН можно прийти к выводу о том, что чем больше значения подключенных дополнительных емкостей на выводах ВВ со стороны воздушной ЛЭП, тем меньше скорость возрастания ПВН.

При анализе результатов полученных значений скоростей возрастания ПВН на выводах ВВ в режиме удаленного КЗ при изменении показателей схемы соединения электрооборудования на ПС было выявлено, что при выборе дополнительных емкостей необходимо учитывать емкость на землю электрооборудования, которое установлено на рассматриваемой ПС, а также количество, сечения и длины проводов отходящих воздушных ЛЭП от шин РУ. При снижении емкости на землю электрооборудования или отключении части отходящих воздушных ЛЭП от шин РУ скорость нарастания ПВН на контактах элегазового выключателя увеличивается. Поэтому дополнительная емкость с параметрами, рассчитанными для шин ПС с большей емкостью на землю электрооборудования и с большим количеством отходящих воздушных ЛЭП от шин РУ, не приведет к снижению высокочастотных колебаний составляющих ВН со стороны воздушной ЛЭП до значений, при которых скорость нарастания ПВН не выходит за пределы допустимых значений ПВН. Например, при уменьшении емкости на землю электрооборудования, установленной на рассматриваемой выше ПС с 50 нФ до 25 нФ, и при отключении двух отходящих воздушных ЛЭП N_d от шин РУ дополнительная емкость, равная 40 нФ, не приведет к снижению скорости нарастания ПВН до нормируемого значения (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что при расчете скорости возрастания до пикового значения ПВН на выводах ВВ и при выборе значений дополнительных емкостей необходимым условием является учет значений емкости протекающих в землю от электрооборудования, установленного на рассматриваемой ПС, и также от количества линий присоединенных к шинам РУ ВН, которые в значительной мере могут повлиять на значение параметров скорости возрастания ПВН.

Следовательно, рекомендуется снижение скорости возрастания ПВН с помощью добавления конденсаторов, подключаемых к фазным выводам выключателя со стороны воздушной линии и на шинах ПС. Добавочные конденсаторы могут быть заменены экранированным силовым кабелем, один из концов которого подключается к выводам выключателя, а второй конец снабжается заглушкой из диэлектрического материала.

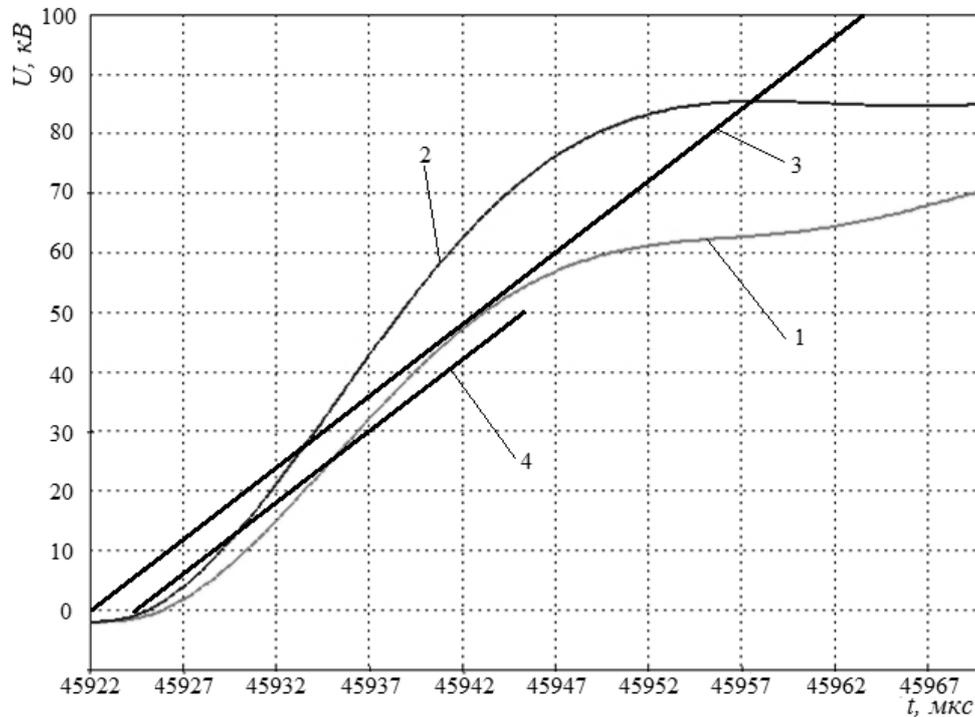


Рис. 4. Расчетные кривые ПВН после установки дополнительной емкости $C_d = 40$ нФ при суммарной емкости на землю электрооборудования 50 нФ и $N_L = 4$ шт. (кривая 1) и 25 нФ и $N_L = 2$ шт. (кривая 2), условная граничная линия ПВН (кривая 3) и линия запаздывания ПВН (кривая 4)

Fig. 4. Calculated TRV curves after installing additional capacity $C_d = 40$ nF with total capacity to ground of electrical equipment 50 nF and $N_L = 4$ pcs. (curve 1) and 25 nF and $N_L = 2$ pcs. (curve 2), the conditional boundary line PVN (curve 3) and the PVN delay line (curve 4)

Например, при необходимости добавочной емкости в 40 нФ для снижения скорости возрастания ПВН на выводах выключателя до допустимого значения необходимым считается подключение экранированного силового кабеля сечением не менее 500 мм^2 и длиной не более 206 м к выводам элегазового выключателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработанные рекомендации позволяют уменьшить скорость возрастания ПВН для ликвидации и отключения неудаленных токов КЗ на воздушных ЛЭП до допустимых пределов.

2. Подключенные к фазным выводам выключателя со стороны ЛЭП дополнительной емкости позволяет уменьшать скорость возрастания ПВН.

3. Рекомендовано использование экранированного силового кабеля в качестве дополнительной емкости, который с одной стороны подключается к выводам выключателя, а с другой стороны заглушен заглушкой из диэлектрического материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акодис М.М., Корзун П.А. Определение восстанавливающихся напряжений на контактах выключателя. – М.: Энергия, 1968. – 192 с.
2. Humphries M.B. Transient recovery voltage in the short line fault regime // Current interruption in high voltage networks. – New York: Plenum Press, 1978. – P. 29–65.
3. Проверка выключателей высокого напряжения по параметрам переходных восстанавливающихся напряжений / Ю.П. Гусев, Л.С. Касобов, А.Г. Каюмов, Дж.Б. Рахимов // Энергетик. – 2017. – № 9. – С. 28–30.
4. Colclaser R.G., Beehler J.E., Garrity T.F. A field study of the short-line-fault component of transient recovery voltage // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. – 1975. – Vol. 94, no. 6. – P. 1943–1953.
5. Рахимов Дж.Б. Оценка соответствия отключающей способности выключателей токам коротких замыканий и переходным восстанавливающимся напряжениям в энергосистеме Республики Таджикистан: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02. – М., 2018. – 160 с.
6. Habedank U. Application of a model for the evaluation of short circuit breaking test // IEEE Transactions on Power Delivery. – 1993. – Vol. 8 (4). – P. 1921–1925.
7. ГОСТ Р 52565–2006. Выключатели переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Общие технические условия. – Введ. 2007–04–01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 91 с.
8. Неклепаев Б.Н. Координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электрических системах. – М.: Энергия, 1978. – 152 с.
9. IEC 60909-0. Short-circuit currents in three-phase a. c. systems. Part 0: Calculation of currents. – Geneva, 2001. – 160 p.
10. IEC 62271-100. High-voltage switchgear and controlgear. Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers. – Geneva, 2003. – 588 p.
11. ANSI/IEEE Std. C37.06–2009. IEEE Standard for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis-preferred ratings and related required capabilities for voltages above 1000 V. – New York, 2009. – 46 p.
12. Denis D. Transient recovery voltages (TRVs) for high-voltage circuit breakers. Pt. 1. – San Antonio, USA, 2013. – 186 p.
13. Волков М.С., Гусев Ю.П. Оценка влияния характеристик токоограничивающего реактора на переходные восстанавливающиеся напряжения на контактах выключателя при отключении токов короткого замыкания // Наука и образование. – 2013. – № 7. – С. 329–336.
14. Гусев Ю.П., Насыр уулу К., Рахимов Дж.Б. Анализ возможных причин задержки прохождения тока через нуль в линии «Датка Кемин» при отключении коротких замыканий // Вестник КРСУ. – 2017. – Т. 17, № 5. – С. 54–60.
15. Kizilcay M. Breaking capability of a SF6 circuit breaker for short circuits close to a generation unit with delayed current zero crossing // International Conference on Power Systems Transients (IPST 2011). – Delft, Netherland, 2011.
16. Sluis L.V. Transients in power systems. – Chichester; New York: John Wiley & Sons, 2001. – 217 p.
17. Координация уровней токов коротких замыканий в электроэнергетической системе Кыргызстана / Ю.П. Гусев, К. Насыр уулу, Дж.Б. Рахимов, К.Б. Алиев // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – 2017. – Т. 41, № 1-1. – С. 25–30.

Рахимов Джамшиед Бобомуродович, старший преподаватель кафедры «Электрические станции» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. Основное направление научных исследований – переходные процессы в электроэнергетических системах. Имеет более 10 публикаций. E-mail: jam-rahimov@mail.ru

Султонов Шерхон Муртазокулович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Электрические станции» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. Основное направление исследований – оптимизация режимов ГЭС в энергетических системах. Автор более 30 публикаций. E-mail: sultonzoda.sh@mail.ru

Ахъёев Джавод Саламшоевич, ассистент кафедры «Электрические станции» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. Основное направление научных исследований – мониторинг и диагностика технического состоя-

ния электрооборудования на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики. Имеет более 25 публикаций. E-mail: javod_66@mail.ru

Худжасаидов Джахонгир Худжасаидович, ассистент кафедры «Электрические станции» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. Основное направление научных исследований – оптимизация режимов работы электроэнергетических систем. Имеет более 20 публикаций. E-mail: jahon_nstu@mail.ru

Rahimov Dzhamsheed Bobomurodovich, a senior lecturer at the department of electric plants, Tajik Technical University. The main field of his research includes transient processes in electric power systems. He is the author of over 10 publications. E-mail: jam-rahimov@mail.ru

Sultonov Sherhon Murtazokulovich, PhD (Eng.), head of the department of electric plants, Tajik Technical University. His research interests are focused on the optimization of hydroelectric plant modes in power systems. He is the author of over 30 publications. E-mail: sultonzoda.sh@mail.ru

Ahyoev Dzhavod Salamshoevich, a teaching assistant at the department of electric plants, Tajik Technical University. The main field of his research includes monitoring and diagnostics of electric equipment technical condition based on the theory of fuzzy sets and fuzzy logic. He is the author of over 25 publications. E-mail: javod_66@mail.ru

Khudzasaidov Dzhahongir Khudzasaidovich, a teaching assistant at the department of electric plants, Tajik Technical University. His research interests are focused on the optimization of electric power system modes. He is the author of over 20 publications. E-mail: jahon_nstu@mail.ru

DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-213-223

Effect of additional capacities on transients recovery voltage in the short – line fault mode*

*J.B. RAHIMOV^a, SH.M. SULTONOV^b, J.S. AHYOEV^c,
Dzh.Kh. KHUDZHASAIIDOV^d*

Tajik Technical University, 10, Acad. Rajabovikh Street, Dushanbe, 730092, Tajikistan

*ajam-rahimov@mail.ru bsultonzoda.sh@mail.ru cjavod_66@mail.ru
djahon_nstu@mail.ru*

Abstract

A transient recovery voltage (TRV) appears across the contacts of high-voltage circuit breakers (CB) with short-circuit clearing. The component of the recovery voltage (RV) between the contact of the CB and the earth from the side of electric transmission lines which has the sawtooth wave character makes the greatest contribution to TRV. Being superimposed on the main component of the RV from the voltage source these high-frequency sawtooth waves cause a very high rate of TRV rise and thus make it difficult for CBs to cut off short circuit currents. World experience shows that it is possible to prevent such accidents by installing additional capacities between the line terminals of the CB. To evaluate the effect of additional capacities on the rate of TRV rise a 110 kV electric circuit network was designed by using the EMTP – RV software package. The aim of the study is to develop recommendations on reducing the rate of TRV rise across the contacts of the 110 kV SF6 circuit breaker when disconnecting short-circuit on overhead transmission lines at some distance from the distribution unit (DU) buses. Detailed results of calculations of the PVN parameters on the contacts of a 110 kV SF6 circuit breaker are given when the short-circuit current on the transmission line is disconnected before and after the installation of additional 30, 40, 50 and 60 nF capacitors. As a result of the analysis of the obtained values of the rates of a PVN rise across the contacts of the SF6 circuit break-

* Received 04 September 2018.

er when disconnecting short-circuit on overhead transmission lines and varying various parameters of the circuit, it has been found that when selecting an additional capacitance, it is necessary to take into account the capacitance to ground of the electrical equipment installed at the substation under study and linear connections the DU buses. When reducing electrical equipment capacitance to ground or disconnecting a part of linear connections of the DU buses, the rate of PVN rise across the contacts of the SF6 circuit breaker increases.

Keywords: transient recovery voltage, circuit breaker, short – line fault, short circuit current, capacitor, power line, high-voltage circuit breaker, EMTP-RV software package

REFERENCES

1. Akodis M.M., Korzun P.A. *Opređenje vosstanavlivayushchikhsya napryazhenii na kontaktakh vyklyuchatelya* [Determination of the recoverable voltages at the switch contacts]. Moscow, Energiya Publ., 1968. 192 p.
2. Humphries M.B. Transient recovery voltage in the short line fault regime. *Current interruption in high voltage networks*. New York, Plenum Press, 1978, pp. 29–65.
3. Gusev Yu.P., Kasobov L.S., Kayumov A.G., Rahimov J.B. Proverka vyklyuchatelei vysokogo napryazheniya po parametram perekhodnykh vosstanavlivayushchikhsya napryazhenii [Inspection of high-voltage circuit breakers on parameters of transient recovery voltages]. *Energetik*, 2017, no. 9, pp. 28–30. (In Russian).
4. Colclaser R.G., Beehler J.E., Garrity T.F. A field study of the short-line-fault component of transient recovery voltage. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1975, vol. 94, no. 6, pp. 1943–1953.
5. Rahimov J.B. *Otsenka sootvetstviya otklyuchayushchei sposobnosti vyklyuchatelei tokam korotkikh zamykaniy i perekhodnym vosstanavlivayushchimsya napryazheniyam v energosisteme Respubliki Tadzhikistan*. Diss. kand. tekhn. nauk [Assessment of the disconnecting ability of short-circuit current switches and transient voltages in the power supply system of the Republic of Tajikistan. PhD eng. sci. diss.]. Moscow, 2018. 160 p.
6. Habedank U. Application of a model for the evaluation of short circuit breaking test. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1993, vol. 8 (4), pp. 1921–1925.
7. *GOST R 52565–2006. Vyklyuchateli peremennogo toka na napryazhenie ot 3 do 750 kV. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [State Standard R 52565–2006. Alternating-current circuit-breakers for voltages from 3 to 750 kV. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 91 p.
8. Neklepaev B.N. *Koordinatsiya i optimizatsiya urovnei tokov korotkogo zamykaniya v elektricheskikh sistemakh* [Coordination and optimization of short-circuit current levels in electrical systems]. Moscow, Energiya Publ., 1978. 152 p.
9. *IEC 60909-0. Short-circuit currents in three-phase a. c. systems. Part 0: Calculation of currents*. Geneva, 2001. 160 p.
10. *IEC 62271-100. High-voltage switchgear and controlgear. Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers*. Geneva, 2003. 588 p.
11. *ANSI/IEEE Std. C37.06–2009. IEEE Standard for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis-preferred ratings and related required capabilities for voltages above 1000 V*. New York, 2009. 46 p.
12. Denis D. *Transient recovery voltages (TRVs) for high-voltage circuit breakers*. Pt. 1. San Antonio, USA, 2013. 186 p.
13. Volkov M.S., Gusev Yu.P. Otsenka vliyaniya kharakteristik tokoogranichivayushchego reaktora na perekhodnye vosstanavlivayushchiesya napryazheniya na kontaktakh vyklyuchatelya pri otklyuchenii tokov korotkogo zamykaniya [Estimating the influence of current limiting coil's properties on transient recovery voltages at contacts of a high-tension switch in case of fault currents' cut-off]. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Bauman – Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 7, pp. 329–336.
14. Gusev Yu.P., Nasyr uulu K., Rahimov J.B. Analiz vozmozhnykh prichin zaderzhki prokhozheniya toka cherez nul' v linii "Datka Kemin" pri otklyuchenii korotkikh zamykaniy [Analyze of possible causes delays zero crossing of current while faults clearing in line "Datka-Kemin"]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiiskogo Slavyanskogo universiteta – Vestnik KRSU*, 2017, vol. 17, no. 5, pp. 54–60.

15. Kizilcay M. Breaking capability of a SF6 circuit breaker for short circuits close to a generation unit with delayed current zero crossing. *International Conference on Power Systems Transients (IPST 2011)*, Delft, Netherland, 2011.

16. Sluis L.V. *Transients in power systems*. Chichester, New York, John Wiley & Sons, 2001. 217 p.

17. Gusev Yu.P., Nasyr uulu K., Rahimov J.B., Aliyev K.B. Koordinatsiya urovnei tokov korotkikh замыканий v elektroenergeticheskoi sisteme Kyrgyzstana [Levels coordination of short circuit currents in electricpower system of Kyrgyzstan]. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova – News KSTU im. I. Razzakov*, 2017, vol. 41, no. 1-1, pp. 25–30. (In Russian).

Для цитирования:

Влияние дополнительных емкостей на переходные восстанавливающиеся напряжения в режиме неудаленных коротких замыканий / Дж.Б. Рахимов, Ш.М. Султонов, Дж.С. Ахъёев, Дж.Х. Худжасаидов // Научный вестник НГТУ. – 2019. – № 1 (74). – С. 213–223. – DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-213-223.

For citation:

Rahimov J.B., Sultonov Sh.M., Ahyoev J.S., Khudzasaidov Dzh.Kh. Vliyanie dopolnitel'nykh emkosteï na perekhodnye vosstanavlivayushchiesya napryazheniya v rezhime neudalennykh korotkikh замыканий [Effect of additional capacities on transients recovery voltage in the short-line-fault regime]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (74), pp. 213–223. DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-213-223.