

Оценка влияния характеристик токоограничивающего реактора на переходные восстанавливающиеся напряжения на контактах высоковольтного выключателя при отключении токов короткого замыкания

07, июль 2013

DOI: 10.7463/0713.0593546

Волков М. С., Гусев Ю. П.

УДК 621.311.17:621.313; 621.311.4

Россия, ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ»

m.s.volkov@mail.ru

GusevYP@mail.ru

Введение

Применение токоограничивающих реакторов (ТОР) в качестве средства ограничения токов короткого замыкания в сетях высокого напряжения 110 кВ и выше в настоящее время набирает все большую популярность в России. Однако ТОР обладают рядом недостатков: влияние на нормальные режимы энергосистемы, необходимость расширения территории подстанций, а так же влияние на переходные процессы при коротких замыканиях. Последнее выражается в превышении допустимых значений переходных восстанавливающихся напряжений (ПВН) на контактах выключателя при коммутациях [1], что может привести к выходу из строя выключателя.

Разработка модели для исследования переходных процессов

Для предотвращения такого рода аварий на кафедре «Электрические станции» МЭИ были проведены исследования коммутационных процессов, возникающих при отключении тока КЗ в цепи с ТОР. Исследования производились на разработанной модели в программном комплексе EMTP-RV, рис. 1.

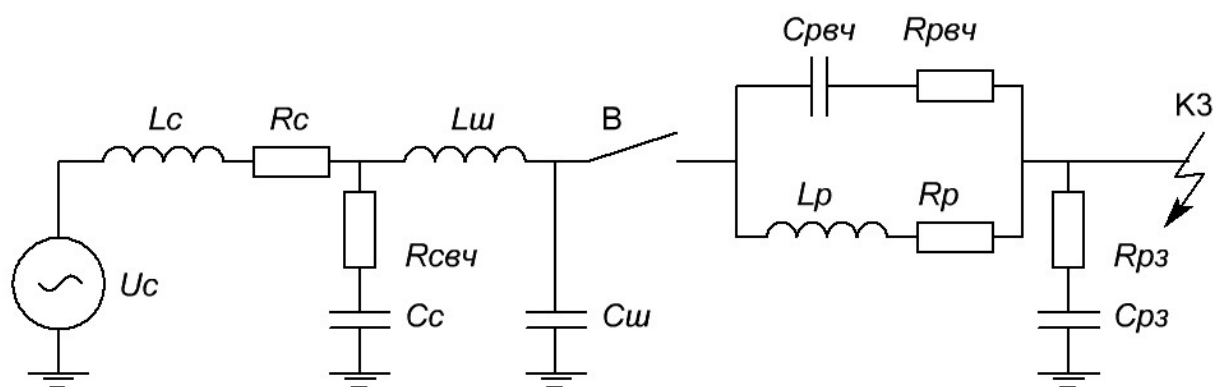


Рис. 1. Расчетная модель

Питающая энергосистема задается эквивалентным источником ЭДС U_c , а так же индуктивностью L_c и активным сопротивлением r_c .

Ёмкости на землю установленного на ПС оборудования (шины распределительных устройств, трансформаторы и автотрансформаторы, трансформаторы тока и напряжения, линии электропередачи, выключатели, разъединители, реакторы) задаются эквивалентной емкостью C_c .

Эквивалентное сопротивление $R_{свч}$ характеризует высокочастотные потери элементов примыкающего участка сети и трансформаторов подстанции.

Поперечные активные проводимости шин определяются значениями элементов $L_{ш}$ и $C_{ш}$.

ТОР представляется следующими элементами:

- индуктивностью L_p и активным сопротивлением R_p ;
- емкостью $C_{свч}$ между выводами реактора и емкостью фаза-земля ТОР $C_{рвч}$;
- высокочастотные потери в реакторе определяются эквивалентным сопротивлением $R_{рвч}$.

При расчете восстанавливающихся напряжений принят ряд допущений [2]:

- 1) закон изменения напряжения сети и тока короткого замыкания вплоть до момента ее обрыва считается синусоидальным;
- 2) все элементы считаются элементами с сосредоточенными параметрами;
- 3) расчетный вид короткого замыкания – трехфазное короткое замыкание;
- 4) все присоединенные к шинам ПС электрические аппараты учитываются суммарной емкостью на землю.

Основные факторы, влияющие на ПВН

В результате анализа серии расчетов переходных процессов, возникающих при отключении выключателем коротких замыканий в реактированных участках сети, при вариации параметров расчетной модели, были выявлены основные факторы, влияющие на параметры ПВН [1]:

- величина коммутируемого выключателем тока;
- характеристика ТОР;
- значение суммарной емкости между фазой оборудования, установленного на подстанции, а так же отходящих от нее линий, и землей.

Оценка влияния характеристик ТОР на ПВН

В ходе исследования было выяснено, что помимо индуктивности ТОР еще одним немаловажным фактором, влияющим на переходные процессы при коммутациях в реактированных сетях, является собственная резонансная частота токоограничивающего реактора. Этот параметр зависит от конструктивных особенностей ТОР, и для расчета переходных процессов его значение обязательно необходимо запрашивать у завода-изготовителя. Собственная резонансная частота ТОР уменьшается с увеличением индуктивного сопротивления реактора.

Собственная резонансная частота реактора f_p определяется значениями его индуктивности L_p и емкости между его выводами $C_{свч}$ и рассчитывается по выражению (1):

$$f_p = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_p \cdot C_{свч}}} \quad (1)$$

Обычно в расчетах резонансная частота ТОР принимается равной 100 кГц для ТОР с индуктивным сопротивлением от 1 до 5 Ом, равной 50 кГц для ТОР с индуктивным сопротивлением более 5 Ом [3, 4].

Для исследования влияния индуктивности и собственной резонансной частоты ТОР на переходные восстанавливающиеся напряжения на контактах выключателей в ходе работы были произведены расчеты переходных процессов для случаев отключения выключателем токов КЗ за ТОР с различными параметрами (индуктивное сопротивление и собственная резонансная частота).

В данной статье приведены результаты расчетов переходных процессов, возникающих при отключении выключателем с номинальным напряжением 110 кВ тока короткого замыкания в цепи с ТОР индуктивным сопротивлением от 1 до 8 Ом, которые получили наиболее широкое распространение в высоковольтных сетях. Ток КЗ со стороны системы составляет 63 кА.

Параметры токоограничивающих реакторов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры токоограничивающих реакторов

Индуктивное сопротивление ТОР, Ом	Индуктивность ТОР, мГн	Емкость между выводами реактора, нФ	Собственная резонансная частота ТОР, кГц
1	3,18	0,796	100
2	6,37	0,398	100
4	12,74	0,199	100
6	19,11	0,531	50
8	25,48	0,398	50

На рис. 2 приведены кривые ПВН, возникающих на контактах выключателя при отключении КЗ за ТОР с различным индуктивным сопротивлением.

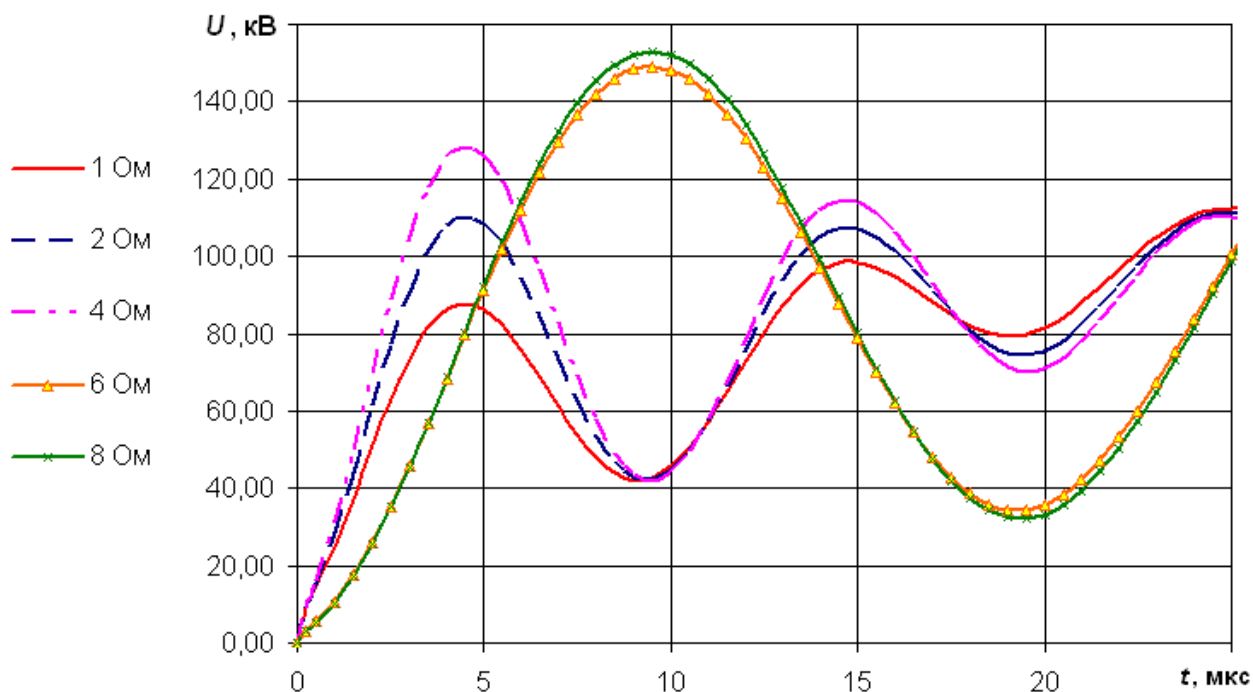


Рис. 2. Кривые ПВН при отключении КЗ за ТОР с различным индуктивным сопротивлением

Результаты расчетов переходных процессов – скорость нарастания ПВН и пиковое значение ПВН, сведены в таблицу 2. Значения, приведенные в таблице, получены численным методом обработки результатов расчетов. Программный комплекс ЕМТР-RV позволяет получать результаты расчетов как в форме осциллограмм, так и в форме табличных данных. Пиковое значение ПВН определялось как максимальное напряжение на контактах выключателя, скорость нарастания ПВН – как тангенс угла наклона касательной, проведенной из начала координат к кривой восстанавливающегося напряжения, то есть как максимальное из отношений U_n/t_n (2):

$$S = \operatorname{tg} \beta_1 = \left(\frac{dU}{dt} \right)_{\max} = \frac{U_n}{t_n}. \quad (2)$$

Например, для случая отключения КЗ за ТОР индуктивным сопротивлением 8 Ом пиковое значение ПВН равняется 152,95 кВ, а скорость нарастания ПВН – 19,32 кА, рис. 3.

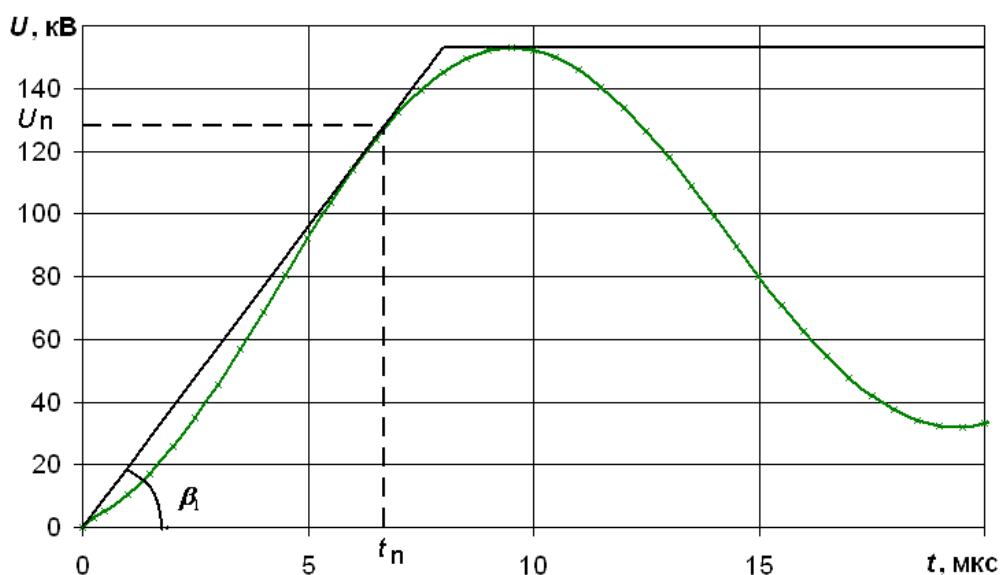


Рис. 3. Определение пикового значения и скорости нарастания ПВН

Таблица 2 – Результаты расчетов переходных процессов

Индуктивное сопротивление ректора, Ом	Действующее значение отключаемого тока КЗ, кА	Параметры кривой ПВН	
		S , кВ/мкс	U_c , кВ
1	31,65	25,29	117,57
2	21,13	30,81	111,93
4	12,69	35,47	128,41
6	9,07	18,54	149,12
8	7,06	19,32	152,95

На основании анализа полученных результатов расчетов были сделаны следующие выводы:

- При любых характеристиках ТОР скорость нарастания ПВН превышает допустимое для выключателя значение. При этом пиковые значения находятся в допустимых пределах;
- При большем индуктивном сопротивлении ТОР скорость нарастания ПВН выше (при равенстве собственной резонансной частоты ТОР);
- С уменьшением собственной резонансной частоты, характерной для ТОР с большим индуктивным сопротивлением, скорость нарастания ПВН снижается.

Таким образом, при расчете возникающих ПВН помимо величины отключаемого тока и параметров рассматриваемой подстанции следует учитывать так же и характеристики токоограничивающего реактора – индуктивность и собственную резонансную частоту.

Подтверждение достоверности полученных результатов

Достоверность полученных результатов расчетов подтверждается зарубежным опытом использования ТОР. В 1999 году на одной из подстанций в США [5] был зафиксирован случай повреждения выключателя с номинальным напряжением 138 кВ, установленного в цепи с ТОР. Причиной этого явилась недопустимо высокая скорость

нарастания ПВН на контактах выключателя. Расчетная скорость нарастания ПВН достигла 34 кВ/мкс, а пиковое значение 86,8 кВ. Допустимые же значения скорости и пикового значения ПВН для данного выключателя равны 1,8 кВ/мкс и 255 кВ, соответственно.

Выводы

1. Установка ТОР является причиной значительного увеличения скорости нарастания ПВН на контактах высоковольтного выключателя, что может быть причиной выхода его из строя. При этом превышение нормированного значения скорости нарастания ПВН наблюдается при любых значениях индуктивности и собственной резонансной частоты ТОР.

2. Скорость нарастания ПВН возрастает с увеличением индуктивности реактора. Для уменьшения скорости нарастания ПВН производителям рекомендуется предусматривать такую конструкцию ТОР, что бы его собственная резонансная частота была минимально возможной.

3. Установка ТОР недопустима без применения дополнительных демпфирующих устройств, ограничивающих скорость нарастания ПВН. Параметры демпфирующих цепей должны определяться путем расчета ПВН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков М.С., Гусев Ю.П. Электромагнитные переходные процессы в цепях с токоограничивающими реакторами // Актуальные вопросы современной техники и технологии : Сборник докладов XI-й Международной научной конференции (г. Липецк, 26 апреля 2013 г.) / Отв. ред. А.В. Горбенко. Липецк: Издательский центр «Гравис», 2013. С. 27-31.
2. Акодис М.М., Корзун П.А. Определение восстанавливающихся напряжений на контактах выключателя. М.: Энергия, 1968. 192 с.
3. Shoup D., Paserba J., Colclaser Jr R.G., Rosenberger T., Ganatra L., Isaac C. Transient recovery voltage requirements associated with the application of current-limiting series reactors // Electric Power Systems Research. 2007. Vol. 77, iss. 11. P. 1466-1474. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2006.08.030>
4. Santos D., Cabriel G. Transient recovery voltages when clearing a fault in presence of series limitation reactors // IPST'99 - International Conference on Power Systems Transients. 20-24 June, 1999. Budapest, Hungary. 1999. Available at: http://www.ipst.org/techpapers/1999/IPST99_Paper_089.pdf, accessed 01.06.2013.
5. Bellei T.A., Camm E.H., Ransom G. Current-Limiting Inductors used in Capacitor Banks Applications and Their Impact on Fault Current Interruption // Proceedings of the 2001 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference, Atlanta, Georgia, Oct. 28 - Nov. 2, 2001. Vol. 1. P. 603-607. DOI: [10.1109/TDC.2001.971302](http://dx.doi.org/10.1109/TDC.2001.971302)

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

07, July 2013

DOI: 10.7463/0713.0593546

Volkov M.S., Gusev Yu.P.

Russia, National Research University «Moscow Power Engineering Institute»

m.s.volkov@mail.ruGusevYP@mail.ru

One way to reduce fault currents in a high-voltage power network is application of current limiting coils. However, mounting of current limiting coils influences transient processes in case of short circuits. Rates of transient recovery voltage development at the contacts of a switch in case of commutation in circuits with current limiting coils exceed permissible values. In order to break a circuit successfully, it is required that the rate of recovery voltage in a switch circuit should not exceed the limiting normalized values permissible for the specified switch type. This paper considers the influence of current limiting coils' properties, such as inductivity and natural resonance frequency, on transient recovery voltages.

Publications with keywords: [current limiting reactor](#), [electromagnetic transients](#), [rate of rise of transient recovery voltage](#)

Publications with words: [current limiting reactor](#), [electromagnetic transients](#), [rate of rise of transient recovery voltage](#)

References

1. Volkov M.S., Gusev Yu.P. Elektromagnitnye perekhodnye protsessy v tsepyakh s tokoogranichivayushchimi reaktorami [Electromagnetic transients in circuits with current limiting reactors]. *Aktual'nye voprosy sovremennoy tekhniki i tekhnologii : sbornik dokladov 11-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Actual problems of modern engineering and technology: Proceedings of the 11th International Scientific Conference]. Russian, Lipetsk, 26 April 2013. Lipetsk, Publishing center "Gravis", 2013, pp. 27-31.
2. Akodis M.M., Korzun P.A. *Opreделение vosstanavlivayushchikhsya napryazheniy na kontaktakh vyklyuchatelya* [Definition of restoring voltage at the contacts of the switch]. Moscow, Energiya, 1968. 192 p.

3. Shoup D., Paserba J., Colclaser Jr R.G., Rosenberger T., Ganatra L., Isaac C. Transient recovery voltage requirements associated with the application of current-limiting series reactors. *Electric Power Systems Research*, 2007, vol. 77, iss. 11, pp. 1466-1474. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2006.08.030>.
4. Santos D., Cabriel G. Transient recovery voltages when clearing a fault in presence of series limitation reactors. *IPST'99 - International Conference on Power Systems Transients*. 20-24 June, 1999, Budapest, Hungary. 1999. Available at: http://www.ipst.org/techpapers/1999/IPST99_Paper_089.pdf , accessed 01.06.2013.
5. Bellei T.A., Camm E.H., Ransom G. Current-Limiting Inductors used in Capacitor Banks Applications and Their Impact on Fault Current Interruption. *Proceedings of the 2001 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference*, Atlanta, Georgia, Oct. 28 - Nov. 2, 2001, vol. 1, pp. 603-607. DOI: [10.1109/TDC.2001.971302](https://doi.org/10.1109/TDC.2001.971302)