

Применение колонковых элегазовых выключателей на ВЛ 330–750 кВ, оснащенных шунтирующими реакторами, потребовало изучения некоторых особенностей таких линий, например наличия в токе линии при ее включении под сетевое напряжение так называемой апериодической составляющей.

В статье Михаила Викторовича Дмитриева рассматривается возможность и целесообразность защиты выключателей линий 330–750 кВ от опасных апериодических токов и резонансных перенапряжений с помощью установки специальных высоковольтных резисторов в нейтраль шунтирующих реакторов.

РЕЗИСТОРЫ В НЕЙТРАЛИ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ 330–750 кВ

Особенности применения

Опасность апериодической составляющей тока подтверждается недавней серией повреждений выключателей: на ПС 500 (1150) кВ «Кокшетауская» в 2006 и в 2007 гг., на ПС 500 (1150) кВ «Алтай» в 2007 г., на ПС 500 кВ «Агадырь» в 2009 г., на ПС 750 кВ «Новобрянская» в 2011 г.

Объяснение механизма повреждения выключателя апериодическими токами впервые было дано группой российских и казахских специалистов в 2007 г., а в 2008 г. была опубликована соответствующая совместная статья [1]. Кроме того, нельзя забывать и о роли фирмы АВВ, активно участвовавшей тогда в расследовании ряда повреждений своих выключателей типа НРЛ на ПС «Кокшетауская». Следует отметить, что в объяснении механизма повреждения выключателей и в поиске защитных мероприятий важную роль сыграли и работы специалистов из Новосибирска – И.Е. Наумкина (например [2]) и Ю.А. Лаврова.

В настоящее время ситуация исправлена: ОАО «ФСК ЕЭС» требует при установке или замене выключателей обязательного расчета апериодической составляющей тока и обоснования мероприятий по ее ограничению до безопасных уровней.

Однако, несмотря на наличие опыта аналитических и компьютерных расчетов, нельзя признать, что проблема апериодических токов полностью исследована и получила простое и удобное решение. Поэтому появляются новые работы, например [3].

В частности, еще одним направлением для исследований стало предложение устанавливать на линии в цепи заземления шунтирующих реакторов специальные резисторы. Такое решение было внедрено на московской ПС 500 кВ «Очаково». В чем оно заключается и следует ли ожидать его массового использования?

ПРОБЛЕМЫ ЛИНИЙ С РЕАКТОРАМИ И ВАРИАНТЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Шунтирующие реакторы (ШР) применяются прежде всего в сетях 330–750 кВ (реже 110–220 кВ). Они предназначены:

- для компенсации зарядной мощности линий электропередачи и обеспечения тем самым баланса реактивной мощности сети;
- для снижения напряжения промышленной частоты на разомкнутом конце линий электропередачи в режиме их одностороннего питания от сети.

В [3] было показано, что ограничение напряжения требуется лишь для протяженных линий длиной более 300–400 км и в таких случаях реактор должен быть размещен на линии в ее конце. В остальных же случаях достаточно присоединять реакторы к сборным шинам распределительных устройств.

К сожалению, практика проектирования такова, что шунтирующие реакторы чаще всего размещают на линиях, а не на сборных шинах. Это становится причиной появления ряда опасных режимов, связанных с резонансными явлениями, в которых участвуют емкость линии электропередачи и индуктивность реактора. Среди таких проблем реактированных линий наиболее известны две:

1. Апериодические токи.
2. Резонансные перенапряжения.

Обе проблемы относятся прежде всего к воздушным линиям (ВЛ), поскольку кабельных линий в сетях 330–750 кВ существенно меньше и кабельные линии редко имеют реакторы.

Проблема апериодических токов

При включениях ВЛ под напряжение сети (плановых или в циклах трехфазного и однофазного автоматического повторного включения ТАПВ и ОАПВ) в токе выключателя линии проходит апериодическая составляющая тока реакторов ВЛ, которая при низком уровне периодической составляющей (из-за высокой степени компенсации зарядной мощности ВЛ реакторами) может вызвать повреждение выключателя, если вслед за включением линии потребуются ее быстрое отключение от сети [1–3].

Для ограничения апериодических токов можно оснастить выключатели ВЛ устройствами управляемой коммутации УК (рис. 1а) или предвключаемыми резисторами R_{Π} (рис. 1б). Однако в [3] показано, что УК и R_{Π} неэффективны для линий с высокой степенью компенсации зарядной мощности, близкой к 0,8–1,2.

Проблема резонансных перенапряжений

В неполнофазных режимах ВЛ (таких как ОАПВ) на отключенных от сети фазах ВЛ возможно возникновение резонансных повышений напряжения, опасных для нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН), а также для изоляции реакторов, выключателей и др. оборудования.

Для ограничения резонансных перенапряжений, возникающих при ОАПВ, в нейтрали ШР (в цепи заземления ШР) можно использовать так называемый нулевой реактор (НР), шунтированный в нормальном режиме выключателем $V_{НР}$ (рис. 2а). Однако для НР основной задачей является все же не борьба с перенапряжениями, а ограничение тока 50 Гц, подпитывающего место повреждения отключенной фазы ВЛ через межфазные емкости с оставшимися в работе фазами [4] и влияющего на успешность ОАПВ.

Универсальные способы борьбы с токами и перенапряжениями

Единственным простым универсальным способом решения одновременно проблем и апериодических токов, и резонансных перенапряжений могло бы стать отключение ШР от линии на время любых ее коммутаций (в том числе на время планового включения, на время ТАПВ и ОАПВ), но в [3] было показано, что при коротких замыканиях на ВЛ возможно повреждение выключателя ШР при его попытке отключить ШР от ВЛ.

Отсутствие простого способа решения обеих проблем реактированных линий привело к необходимости поиска других вариантов защиты, уже более дорогих с точки зрения стоимости реализации. Было предложено разместить в нейтрали ШР специальный высоковольтный резистор (рис. 2б) или группу из трех резисторов (рис. 2в), шунтированных в нормальном режиме и вводимых в действие лишь на время коммутаций ВЛ или на время существования неполнофазных режимов.

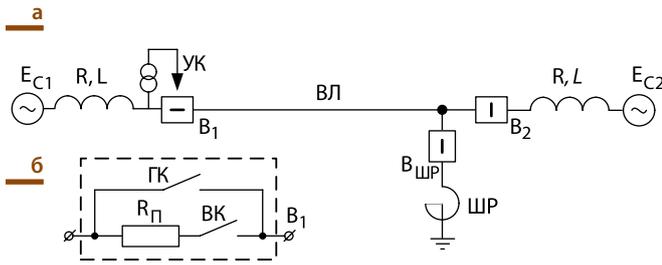


Михаил Дмитриев,
к.т.н., заместитель генерального
директора по научной работе

ПКБ «РосЭнергоМонтаж»,
г. Санкт-Петербург

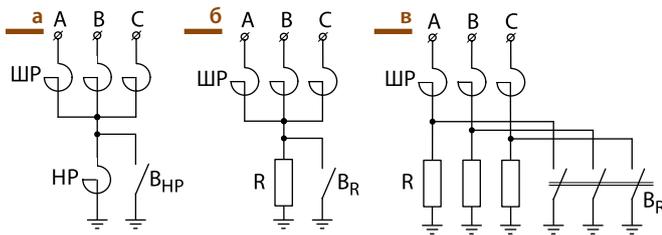
Включение линии 330–750 кВ, оснащенной ШР:
 а) с применением управляемой коммутации;
 б) с применением предвключаемых резисторов

Рис. 1 •



Варианты заземления нейтрали ШР:
 а) через нулевой реактор;
 б) через общий резистор;
 в) через три резистора

Рис. 2 •



Такие резисторы и схема их шунтирования выключателями очень похожи на известные схемы с НР, по которым накоплен определенный опыт эксплуатации (рис. 2а). Поэтому при анализе эффективности схемы с резисторами и перспектив ее использования на практике далее в статье будем обращаться к опыту применения НР [4].

При отсутствии повреждений изоляции линии сумма токов трех фаз ШР равна нулю. В том числе равна нулю сумма апериодических токов фаз ШР при включении ВЛ под напряжение. Следовательно, вариант общего резистора (рис. 2б) не будет эффективен, ведь в случае ложной работы релейной защиты ВЛ и формирования команды на быстрое отключение ВЛ вслед за ее включением такой резистор никак не ограничит апериодические токи выключателей ВЛ. Поэтому рассматривать надо вариант сразу трех резисторов (рис. 2в).

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ РЕЗИСТОРОВ

Установка резисторов в нейтрали реакторов (рис. 2в) уже была опробована на одном из отечественных объектов 500 кВ. Документация [5, 6] (далее ссылки на нее выделены курсивом – *ред.*) содержала, в частности, следующее: «В качестве выключателя В_R можно использовать любой вакуумный выключатель на номинальное напряжение 35 кВ. Предлагается использовать в качестве R резисторы типа РКЭ. Класс напряжения нейтрали 35 кВ, наибольшее рабочее напряжение 40,5 кВ, одноминутное испытательное напряжение 85 кВ».

Очевидно, что чем выше сопротивление резистора, тем сильнее его влияние на апериодическую составляющую тока и резонансные перенапряжения. Но применять резисторы высоких номиналов мешает ограниченная прочность изоляции реактора со стороны его нейтрали (для реактора 500 кВ нейтраль выполнена на 35 кВ). Так, формула для расчета величины периодической составляющей напряжения 50 Гц на дешунтированном резисторе имеет следующий вид:

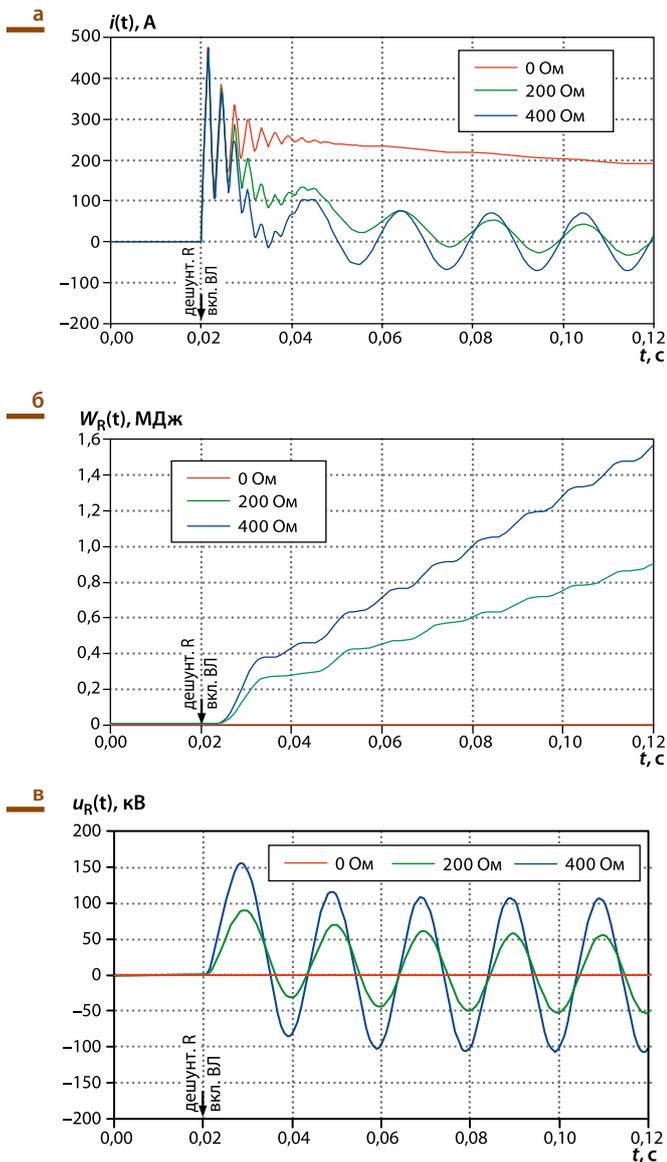
$$U_R = \frac{U_C / \sqrt{3}}{\sqrt{(R + R_{ШР})^2 + X_{ШР}^2}} \cdot R, \tag{1}$$

где U_C – наибольшее рабочее напряжение сети;
 R_{ШР}, X_{ШР} – активное и индуктивное сопротивление фазы реактора на частоте 50 Гц.

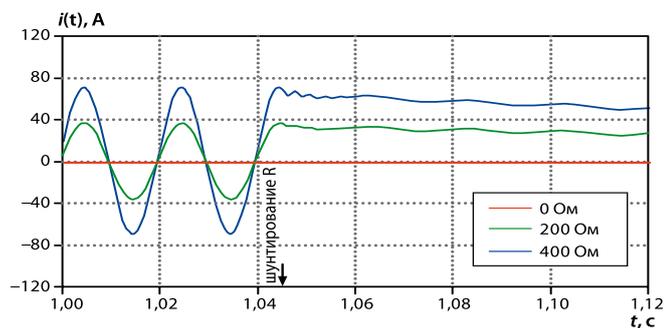
Для трехфазной группы однофазных реакторов 500 кВ мощностью 3х60 МВАр сопротивление фазы на 50 Гц составляет R_{ШР} = 3,5 Ом, X_{ШР} = 1531 Ом. При наибольшем рабочем напряжении сети U_C = 525 кВ получим, что U_R = 85 кВ достигается при сопротивлении резистора R = 440 Ом. ▶

• **Рис. 3.** Включение под напряжение ВЛ 500 кВ длиной 175 км с одним ШР в момент времени 0,02 с, отвечающий максимальному значению апериодической составляющей тока линии. Резисторы R в нейтрали ШР вводятся в работу (дешунтируются) в момент 0,02 с:

- а) ток выключателя линии;
- б) энергия наиболее нагруженного из трех резисторов в нейтрали ШР;
- в) напряжение на наиболее нагруженном из трех резисторов в нейтрали ШР



• **Рис. 4.** Ток выключателя ВЛ 500 кВ в условиях рис. 3. В момент времени 1,045 с происходит шунтирование резисторов R в нейтрали ШР



Сопротивление $R = 440$ Ом, как может показаться, является предельным для резисторов в нейтрали реакторов класса 500 кВ. Однако на самом деле обоснование предельной величины сопротивления резистора гораздо сложнее. Дело в том, что 85 кВ – это всего лишь одноминутное испытательное напряжение для изоляции нового оборудования класса напряжения 35 кВ, т.е. эта величина имеет мало общего с теми условиями, в которых будут работать резисторы, вводимые в работу многократно за срок эксплуатации линии, но на время не более нескольких секунд.

Условия, в которых планируется работа резисторов (рис. 2в), похожи на те, в которых в советские времена уже работали НР (рис. 2а). Такие реакторы согласно [4] имели индуктивное сопротивление $X_{НР}$ не более 360 Ом, а напряжение, которое на них возникало, составляло, пренебрегая активными R:

$$U_{НР} = \frac{U_c / \sqrt{3}}{X_{ШР} + X_{НР}} \cdot X_{НР} \quad (2)$$

Для трехфазной группы однофазных реакторов 500 кВ типовой мощности 3x60 МВАр при $X_{НР} \leq 360$ Ом имеем $U_{НР} \leq 58$ кВ, т.е. напряжение в нейтрали реактора не больше 0,7 от одноминутного испытательного напряжения 85 кВ изоляции класса 35 кВ.

Если ввести проверенное опытом эксплуатации значение $U_{НР} \leq 58$ кВ в формулу (1), то найдем сопротивление резистора $R \leq 300$ Ом. Именно 300, а не 440 Ом можно считать предельным значением сопротивления, гарантированно согласованным с прочностью изоляции нейтрали реакторов. Однако можно показать, что для выполнения возлагаемых на резисторы функций их сопротивление должно быть до 440 Ом, а 300 Ом может оказаться недостаточно.

Итак, предельным значением сопротивления резистора в нейтрали реактора на первый взгляд может показаться 440 Ом, но если обратиться к опыту эксплуатации, то получится, что значения сопротивления более 300 Ом уже не рекомендуются.

Проверим эффективность схемы рис. 2в и выберем сопротивление резисторов, рассмотрев следующие основные ситуации:

1. Плановое включение линии с реакторами.
2. Возникновение КЗ на линии.
3. Неполнофазный режим работы линии (ОАПВ и др.).

ПЛАНОВОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ЛИНИИ

«При постановке ВЛ под напряжение резистор R каждой фазы ШР должен находиться в работе – должен быть дешунтирован (выключатель B_R отключен). После успешной постановки линии под напряжение перед включением линии в транзит подается команда на включение выключателя B_R (шунтирование R)».

В [3] было показано, что наиболее опасной апериодической составляющей будет в случае отсутствия периодической, т.е. в случае полной 100% компенсации зарядной мощности ВЛ шунтирующими реакторами. Для линии 500 кВ типовой конструкции с одним реактором 100% компенсация достигается при длине линии около 175 км [3].

На рис. 3а даны осциллограммы тока выключателя ВЛ 500 кВ длиной 175 км при ее включении вблизи от нулевого значения синусоиды сетевого напряжения с учетом дешунтированных резисторов реактора. Как видно, при сопротивлении резисторов 200–400 Ом мгновенное значение тока выключателя ВЛ получает нулевые значения не позже 60–80 мс с момента коммутации, что можно считать достаточным для обеспечения быстрого отключения ВЛ без риска повреждения ее выключателя.

Согласно документам на резисторные установки класса 35 кВ их номинальная энергоемкость составляет около 3 МДж (на фазу), а наибольшая рабочая – 5 МДж. На рис. 3б показано, что только за время 0,1 с энергия, выделяющаяся в одном из трех резисторов сопротивлением 200 или 400 Ом, может достигать соответственно 1,0 или 1,5 МДж. Очевидно, что для исключения перегрева такие резисторы должны быть оперативно шунтированы, причем гораздо раньше того момента, когда дело дойдет до замыкания линии в транзит.

В пользу необходимости возможно быстрого шунтирования резисторов говорит и напряжение на резисторе (рис. 3в) – его действующее значение достигает 80 кВ для резистора 400 Ом (40 кВ для 200 Ом), что в 2 раза превосходит наибольшее рабочее напряжение оборудования класса 35 кВ, равное 40,5 кВ.

На рис. 4 показан ток выключателя ВЛ в случае шунтирования резисторов (линия по-прежнему имеет одностороннее питание и не за-

мкнута в транзит). Видно, что шунтирование резисторов 200–400 Ом, выполненное в «неудачный» момент времени, вызывает изменение параметров схемы и появление в токе выключателя линии новой аperiodической составляющей до 70 А, опасной, если потребуются быстрое отключение ВЛ от сети. Напомним, что точно такие же проблемы с новой аperiodической составляющей дает и шунтирование предвключаемого резистора R_n выключателя линии (рис. 16).

Если на линии несколько реакторов, то возникает вопрос: необходимо ли оснащать резисторами каждый ШПР, или достаточно всего одного комплекта резисторов на одном из реакторов, вероятность постоянного нахождения которого в работе выше? На рис. 5 дана осциллограмма тока одной из фаз выключателя ВЛ 500 кВ длиной 350 км с двумя реакторами. Видно, что один комплект резисторов (1x400 Ом) не дал нужного ограничения аperiodической составляющей, тогда как два комплекта резисторов (2x400 Ом) с задачей подавления аperiodической составляющей справились.

Итак, для эффективного ограничения аperiodической составляющей тока ВЛ, в нейтрали каждого реактора ВЛ необходимо установить группу из трех резисторов сопротивлением 200–400 Ом (схема рис. 2в). Для ограничения нагрева резисторов и снижения воздействий на изоляцию нейтрали реакторов шунтирование резисторов должно быть произведено возможно быстрее, и оно может сопровождаться новыми аperiodическими токами, опасными в случае необходимости отключения ВЛ.

КЗ НА ЛИНИИ

«При ТАПВ ВЛ резистор R каждой фазы ШПР должен находиться в работе – должен быть дешунтирован (выключатель B_R отключен). После успешной постановки линии под напряжение перед включением линии в транзит подается команда на включение выключателя B_R (шунтирование R)».

Пусть в схеме рис. 1а имел место нормальный режим работы, но на линии возникло однофазное КЗ. В [3] было отмечено, что если КЗ возникло вблизи от нулевого мгновенного значения синусоиды сетевого напряжения, то в элементах схемы появятся аperiodические токи. Они будут:

- в токе КЗ и токе выключателя линии;
- в токе фазы ШПР, одноименной с поврежденной фазой линии.

В токе выключателя ВЛ, кроме аperiodической составляющей тока КЗ, есть периодическая составляющая тока КЗ (рис. 6а), протекающая под действием напряжения сети. Поэтому мгновенное значение тока выключателей ВЛ имеет нулевые значения и выключатели ВЛ не будут иметь трудностей с отключением от сети аварийной фазы ВЛ.

В токе же ШПР, как это показано на рис. 6б, в отличие от тока выключателя ВЛ, периодическая составляющая отсутствует, поскольку фаза реактора оказалась шунтирована местом КЗ и напряжение сети уже не вызывает в реакторе тока 50 Гц. Это значит, что в токе реактора есть лишь аperiodический ток, который замыкается по контуру «ШПР – линия – место КЗ – земля – ШПР» (см. [3]) и будет протекать в этом контуре даже некоторое время после момента отключения линии от сети, пока аperiodический ток не затухнет или пока не погаснет дуга в месте повреждения.

Поскольку до попытки подачи напряжения на линию в цикле АПВ резисторы в нейтрали ШПР должны быть введены в работу (дешунтированы), то выключателю B_R во время размыкания контактов придется гасить дугу аperiodического тока, протекающего через ШПР, величина которого может достигать 200–300 А (рис. 6б). Справится ли с этой задачей вакуумный выключатель 35 кВ?

Итак, при коротких замыканиях на линии перед АПВ требуется ввод в работу резисторов в нейтрали ШПР, но их дешунтирование может не состояться по причине наличия в токе реактора аperiodической составляющей.

НЕПОЛНОФАЗНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ЛИНИИ

Из имеющегося описания резисторной установки не ясно, предназначена ли она только для ограничения аperiodических токов выключателей ВЛ или же может ограничивать резонансные перенапряжения на отключенной фазе ВЛ при ОАПВ и в других неполнофазных режимах. Однако если и размещать резисторы, то лучше использовать их для решения максимального числа задач, т.е. не только для ограничения токов, но и для ограничения перенапряжений. Условия для ввода в работу резисторов R (их дешунтирования) могли бы быть следующими:

- возникновение неполнофазного режима;

Рис. 5 • Ток выключателя ВЛ 500 кВ длиной 350 км с двумя ШПР при включении ВЛ в момент времени 0,02 с. Резисторы R в нейтрали ШПР дешунтируются в момент 0,02 с. Варьируется число комплектов резисторов $R = 400$ Ом 0, 1, 2 на линии

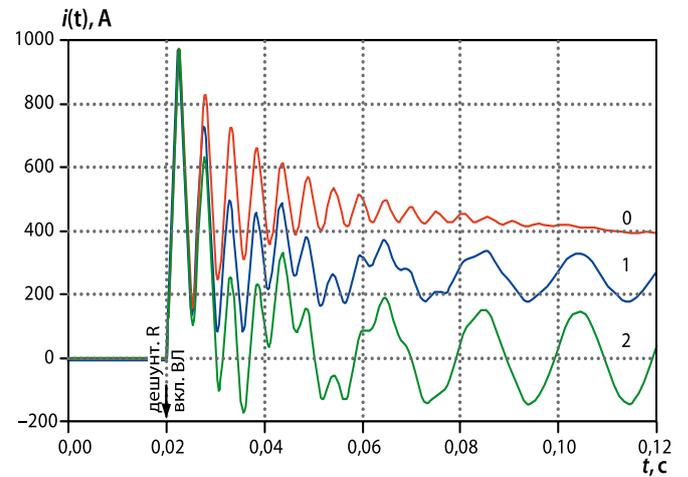


Рис. 6 • Короткое замыкание на ВЛ в момент 0,02 с: а) ток выключателя ВЛ; б) ток реактора

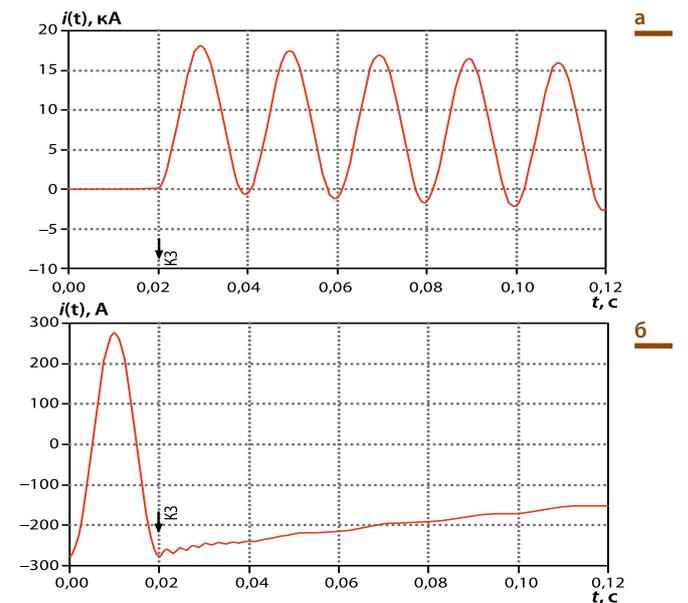
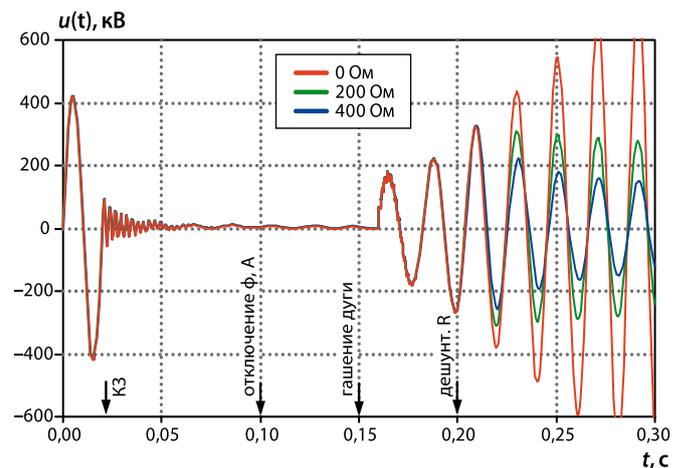


Рис. 7 • Перенапряжения в безтоковую паузу ОАПВ на ВЛ 500 кВ длиной 200 км с одним ШПР в зависимости от сопротивления резисторов R в нейтрали ШПР



- возникновение неполнофазного режима и появление опасных напряжений «фаза–земля», измеренных трансформаторами напряжения ВЛ.

Известно, что если апериодические токи представляют наибольшую опасность для выключателей ВЛ при коэффициенте компенсации зарядной мощности, равном 1,0, то наиболее опасные резонансные перенапряжения в цикле ОАПВ возникают при компенсации около 0,9 о.е. [3, 4]. Если коэффициент 1,0 для типовой ВЛ 500 кВ с одним реактором достигается при длине около 175 км, то коэффициент 0,9 – при длине около 200 км. Именно такой принята длина ВЛ 500 кВ, для которой на рис. 7 показано фазное напряжение аварийной фазы в цикле ОАПВ.

Из рис. 7 видно, что резисторы 200–400 Ом способны сбить резонанс, который возникает на отключенной от сети фазе ВЛ после гашения дуги в месте КЗ. Однако согласно расчетам, выполненным в условиях рис. 7, за каждую секунду с момента гашения дуги в резисторе аварийной фазы ВЛ 500 кВ выделяется энергия 2,5 МДж (резистор 200 Ом) и 1,5 МДж (резистор 400 Ом).

Поскольку пауза ОАПВ составляет до нескольких секунд, то ясно, что работа резистора 35 кВ, рассчитанного в общей сложности на 3 МДж (максимум на 5 МДж), в течение всей паузы невозможна. Тем более при нескольких циклах ОАПВ в течение короткого промежутка времени.

Итак, для эффективного ограничения резонансных перенапряжений на ВЛ, в нейтрали каждого реактора ВЛ необходимо установить группу из трех резисторов сопротивлением 200–400 Ом (схема рис. 2в). Для ограничения нагрева резисторов и снижения воздействий на изоляцию нейтрали реакторов шунтирование резисторов должно быть произведено возможно быстрее, однако сетевые организации скорее всего не пойдут на сокращение бестоковой паузы ОАПВ в угоду резисторам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Резисторы и шунтирующие их выключатели усложняют линию электропередачи, требуют места для установки, являются дорогостоящими и нуждаются в обслуживании. Эти соображения стали основанием для массового отказа от эксплуатации НР 35 кВ, которые применялись в нейтрали ШР в циклах ОАПВ для ограничения токов подпитки и резонансных перенапряжений.
2. При использовании резисторов только для защиты от апериодических токов возникают серьезные вопросы к их работе: во-первых, шунтирование резистора вызывает возникновение новой апериодической составляющей тока, хотя и меньшей величины, чем исходная; во-вторых, при КЗ на ВЛ существует риск того, что выключатели резисторов не смогут отключить ток в нейтрали ШР линии, имеющий апериодическую составляющую, т.е. не смогут дешунтировать резисторы

и ввести их в действие, необходимое при опробовании линии напряжением в цикле АПВ.

3. Логичным было бы применение резисторов не только для ограничения токов при включении ВЛ, но и для ограничения перенапряжений при ОАПВ. Однако для линии резонансной длины при ОАПВ длительностью до нескольких секунд емкости резисторов явно не достаточно и требуется сокращение паузы ОАПВ. Таким образом, при ОАПВ резисторы, скорее всего, придется беречь и не использовать.
 4. Немаловажным основанием для ограничения применения резисторов является возникающее на них напряжение промышленной частоты, воздействующее на изоляцию нейтрали ШР. Например, на ВЛ 500 кВ эффективной работы следует ожидать для резисторов класса 35 кВ сопротивлением около 400 Ом, но возникающее на таких резисторах напряжение промышленной частоты слишком высоко – оно приближается к 80 кВ, т.е. практически достигает одноминутного испытательного напряжения 85 кВ нового оборудования класса 35 кВ.
 5. Многократные коммутации ВЛ с малым интервалом времени, характерные для грозового сезона или сложных погодных условий, способны привести к выделению в резисторах за малый промежуток времени значительной энергии, перегреву и повреждению резисторов.
- Исследования показали, что на линиях 330–750 кВ использование резисторов в нейтрали обычных неуправляемых ШР вряд ли получит широкое распространение. Что же касается резисторов в нейтрали управляемых ШР, то целесообразность их применения будет рассмотрена в отдельной статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдштейн С.И., Дмитриев М.В., Евдокунин Г.А., Иваницкий Ю.М. Высоковольтные ВЛ: коммутации и воздействия на выключатели // *Новости ЭлектроТехники*. 2008. № 3(51).
2. Наумкин И.Е. Аварийные отказы элегазовых выключателей при коммутациях компенсированных ВЛ 500–1150 кВ // *Электричество*. 2012. № 10.
3. Дмитриев М.В. Требования к компенсации зарядной мощности ВЛ 500–750 кВ // *Новости ЭлектроТехники*. 2013. № 5(83).
4. Беляков Н.Н., Кадомская К.П., Левинштейн М.Л. и др. Процессы при однофазном повторном включении линий высоких напряжений / Под ред. М.Л. Левинштейна. М.: Энергоатомиздат, 1991.
5. <http://pnpbolid.com/ru/products/resistors/RKE/>
6. Патент на полезную модель №123597. Электропередача сверхвысокого напряжения с высоким уровнем компенсации зарядной мощности / И.Е.Наумкин, В.Н.Подъячев, Л.И. Сарин // *Бюл.Изобретения*. 2012. № 36. ■

ВЛ 330–750 кВ Проблемы компенсации дуги

Проблема с отключением апериодических токов элегазовыми выключателями известна достаточно давно. Ее первопричинами являются, с одной стороны, высокая степень компенсации воздушных линий 330–750 кВ шунтирующими реакторами и, с другой стороны, произошедшая замена воздушных линейных выключателей на элегазовые с компрессионным гашением дуги, которые не обеспечивают надежное отключение сравнительно небольших токов до перехода их значения через ноль.

На протяжении последних лет для решения указанной проблемы был предложен целый ряд технических решений, в том числе управляемая несинхронная коммутация выключателей, оснащение их предвключаемыми резисторами и т. д. Все эти решения усложняют и удорожают коммутационное оборудование, но не являются универсальными и эффективными во всех случаях. В еще большей степени это относится к подробно рассмотренному в статье варианту установки в нейтрали ШР дополнительных резисторов и шунтирующих их выключателей, которые усложняют линию электропередачи, требуют места для установки, наверняка являются дорогостоящими и нуждаются в обслуживании.

КОММЕНТАРИЙ

Андрей Долгополов,
д.т.н., технический директор ОАО «ЭЛПР»,
г. Москва

Дело в том, что бороться нужно не с последствиями, а с причинами: либо обеспечивать компенсацию ВЛ не выше 0,5–0,6, либо использовать иное коммутационное оборудование. Изготовители элегазовых выключателей не испытывают их в соответствующих режимах и не приводят конкретных значений или диапазонов апериодических и периодических значений отключаемого тока, при которых коммутация будет гарантирована либо невозможна.

Более того, проблема выключателя переносится на оборудование присоединения. Так, затруднения с отключением небольших периодических токов (несколько десятков ампер) становятся аргументом в пользу не только дополнительного оборудования управляемой коммутации элегазового выключателя, но и использования в качестве управляемых ШР реакторов с диапазоном РПН 60%, так как быстро и плавно регулируемые в полном диапазоне УШР могут работать с током нагрузки, нежелательным для выключателя.

Статья М.Дмитриева должна заинтересовать специалистов проектных и эксплуатирующих организаций, еще раз обратить их внимание на необходимость разработки уточненных методических указаний по реактированию ВЛ и технических требований к линейным выключателям. ■