

Носков А.В.

студент

2 курс магистратуры, факультет «Электроэнергетических систем»

Институт электроэнергетики

Россия, г. Москва

**МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ АПЕРИОДИЧЕСКИХ ТОКОВ В
ЭЛЕГАЗОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ ПРИ КОММУТАЦИИ
КОМПЕНСИРОВАННЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 220 КВ**

Аннотация. Статья посвящена методам подавления аperiodических токов в элегазовых выключателях при коммутации 220 кВ кабельных линий, компенсированных шунтирующими реакторами. Анализируются переходные процессы, приводящие к отсутствию перехода тока через ноль, что вызывает термические перегрузки и риск разрушения оборудования. Рассмотрены решения: отключение реакторов перед включением линии, их подключение к шинам подстанции, а также применение предвключенных резисторов в выключателях и цепях реакторов. На основе моделирования в EMTP-RV обоснованы оптимальные параметры резисторов (200–400 Ом) и время их ввода (0.008–0.02 с), обеспечивающие гашение тока в пределах критического времени (59 мс).

Ключевые слова: Электроэнергетика, переходные процессы, аperiodические токи, элегазовые выключатели, компенсированные кабельные линии, шунтирующие реакторы, предвключенные резисторы.

The article is devoted to methods of suppressing aperiodic currents in gas-insulated circuit breakers when switching 220 kV cable lines compensated by shunt reactors. Transient processes leading to the absence of current crossing zero, which causes thermal overloads and the risk of equipment destruction, are analyzed. The following solutions are considered: disconnecting reactors before

connecting the line, connecting them to the substation buses, and using pre-connected resistors in circuit breakers and reactor circuits. Based on modeling in EMTP-RV, the optimal parameters of resistors (200–400 Ohm) and their input time (0.008–0.02 s) are substantiated, ensuring current quenching within the critical time (59 ms). Keywords: Electric power engineering, transient processes, aperiodic currents, gas-insulated circuit breakers, compensated cable lines, shunt reactors, pre-connected resistors

При одностороннем включении кабельных линий (КЛ) 220 кВ, оснащенных шунтирующими реакторами (ШР) мощностью 100 МВАр, в электрической сети возникают переходные процессы. Зарядный ток линии, компенсированный реактором, содержит вынужденную, апериодическую и высокочастотную составляющие. Апериодическая составляющая, обусловленная параметрами схемы после коммутации, приводит к отсутствию перехода тока через ноль в элегазовых выключателях в течение критического времени (более 59 мс для ПС №1). Это вызывает термические и динамические перегрузки оборудования, нарушение работы релейной защиты и повышает риск разрушения выключателей. В статье рассмотрены методы подавления апериодических токов, подтвержденные моделированием в EMTP-RV.

Для снижения апериодической составляющей наиболее простыми решениями являются [1]:

- Отключение ШР перед включением КЛ.
- Подключение ШР на шины ПС;

Данные мероприятия опасны возникновением повышенных напряжений на концах линий при холостом ходе и возникновением апериодической составляющей в токе линейных выключателей при подключении реактора.

Так как на токи нагрузок на СШ I секции 2 (2,5-15А) значительно меньше зарядного тока линии, скомпенсированного током реактора

(142,5А), то режим с подключенной нагрузкой близок к режиму холостого хода. В этом случае можно использовать напряжения в узлах сети.

Превышения наибольших рабочих напряжений при летнем минимуме в 2024 и 2028 года для ремонтных режимов возникает на:

- 1-2 СШ 500 кВ ПС 500 кВ Очаково,
- 1 сек. 220 кВ ПС 500 кВ Очаково,
- 2 сек. 220 кВ ПС 500 кВ Очаково,
- 3 сек. 220 кВ ПС 500 кВ Очаково,
- 4 сек. 220 кВ ПС 500 кВ Очаково,
- 1 СШ 220 кВ ПС 220 кВ ПС №3,
- 2 СШ 220 кВ ПС 220 кВ ПС №3,
- 1 СШ 1 сек. 220 кВ ПС 220 кВ ПС №1,
- 1 СШ 2 сек. 220 кВ ПС 220 кВ ПС №1,
- 2 СШ 2 сек. 220 кВ ПС 220 кВ ПС №1

при аварийном отключении КВЛ 500 кВ ТЭЦ-26 – Очаково совместно с Р КВЛ 500 ТЭЦ-26 – Очаково в схеме ремонта Р КВЛ 500 Западная – Очаково.

Опасность превышения длительно допустимого напряжения 252 кВ при включении холостой КЛ без ШР возможно избежать, если в течении короткого времени подключить ШР к КЛ.

В случае отключения реактора перед включением КЛ также возникает опасная для линейных выключателей апериодическая составляющая в токах линейных выключателей и токах. Данный случай отключения линейных выключателей после включения реактора очень маловероятен.

При подключении ШР на шины ПС №1» аналогичным расчетным коммутационным случаем также является включение ШР на линию. В этом случае параллельно ШР подключаются емкости на землю оборудования ПС. Тогда условия перехода тока через ноль утяжеляются. В приложении В рассмотрены коммутационные случаи включения реактора на линию с учетом емкостей оборудования ПС №1».

Время апериодической составляющей зависит от постоянной времени контура, которая определяется параметрами всей цепи, участвующий в переходном процессе. Сильное влияние на уменьшение значения постоянной времени оказывает наличие активного сопротивления в схеме. Такое сопротивление вносят с помощью предвключенного резистора (рис. 1). ГК – главные контакты выключателя, ВК – вспомогательные контакты, $R_{ш}$ – сопротивление предвключенного резистора.

Резистор вносится в цепь с помощью ВК на время $T_{пред}$ (0,008 – 0,02с), начиная от включения выключателя. Затем происходит замыкание ГК с последующим отключением резистора [2].

Предвключённый резистор должен быть встроен в сам выключатель, поэтому применение этого способа потребует замены выключателя ЕЛК-14/НМВ.

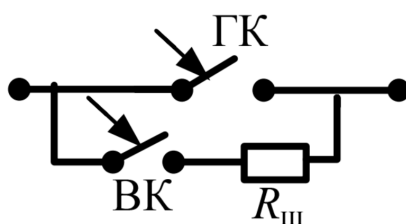


Рисунок 1. Принципиальные схемы выключателя с предвключаемым резистором

На основании моделирования разных комбинаций $R_{ш}$ и $T_{пред}$ рекомендуется установить выключатель с предвключенным резистором не менее $R_{ш} = 400$ Ом при $T_{пред} = 0,008$ с (рис.2 а, б), $R_{ш} = 300$ Ом при $T_{пред} = 0,013$ с, $R_{ш} = 200$ Ом при $T_{пред} = 0,020$ с. Во всех этих случаях время перехода тока через ноль менее 0,059 с.

Ещё один способ дополнительно внести активное сопротивление в контур – последовательная установка резисторов в каждую фазу реактора. Аналогично предвключаемым резисторам, данный резистор также подключается только на время коммутации $T_r = (0,008 – 0,02с)$.

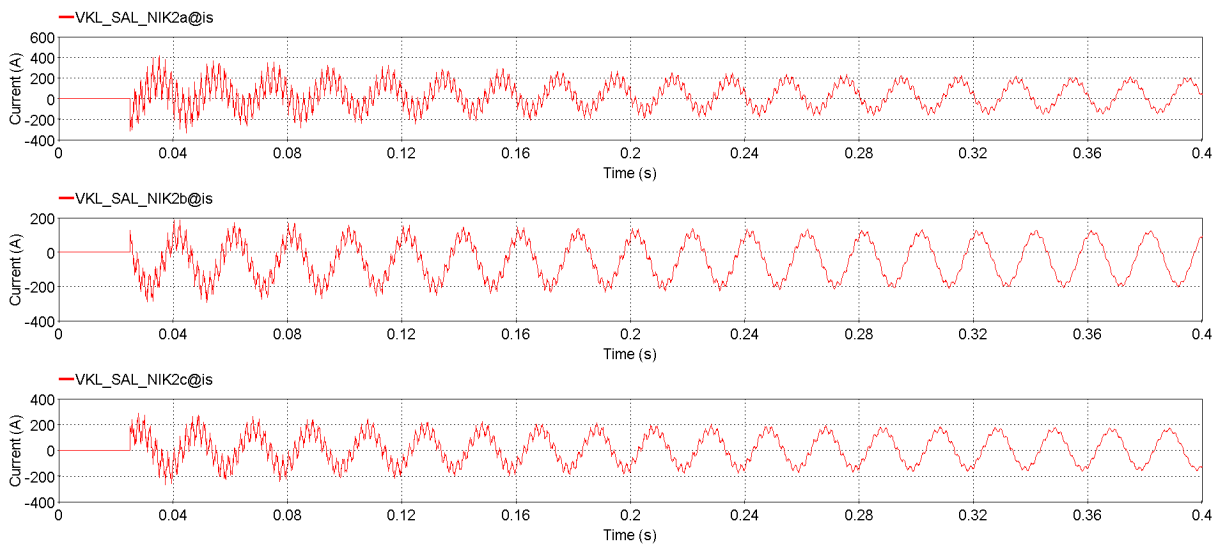


Рисунок 2.а. Токи в фазах коммутируемого элегазового выключателя с предвключенными резисторами ($R_{ш} = 200$ Ом при $T_{пред} = 0,02$ с) на ПС №1» при ОКЗ в конце КЛ 220кВ «ПС №3-ПС №1 1»(начало принято от ПС №3»)

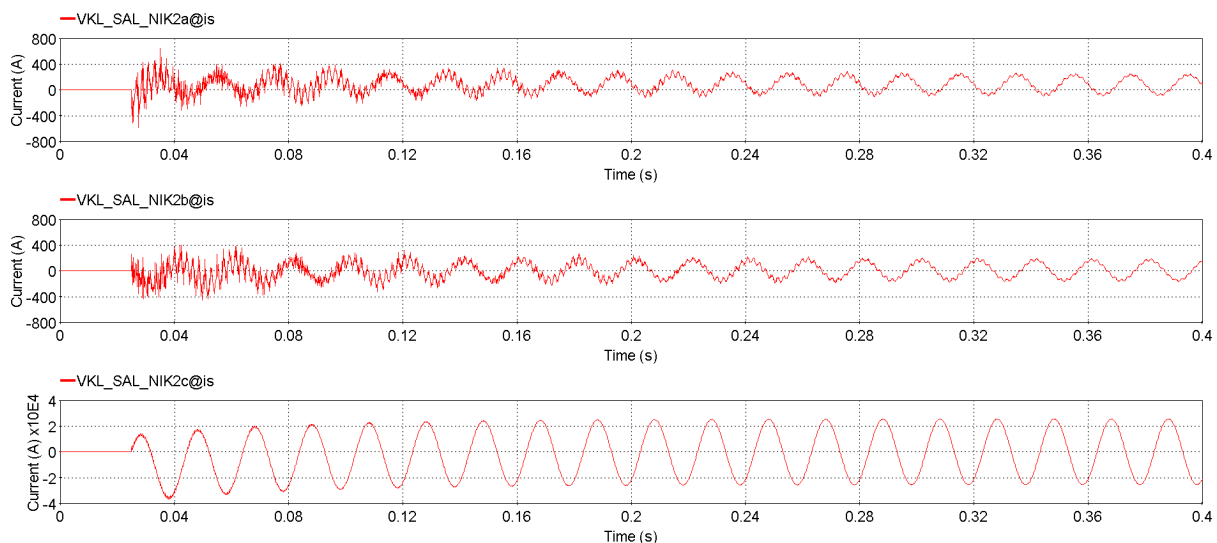


Рисунок 2.б. Токи в фазах коммутируемого элегазового выключателя с предвключенными резисторами ($R_{ш} = 200$ Ом при $T_{пред} = 0,02$ с) на ПС №1» при одностороннем включении КЛ 220кВ «ПС №3-ПС №1 1»

Моделированием было получено, что при $T_{пред} = 0,008$ с, $R_{ш} = 50$ Ом (рис. 3 а, б) переход тока через ноль практически отсутствует. Таким образом, при установке резисторов в цепь реактора их значения

сопротивлений должны быть не менее 50 Ом при времени включения резистора в схему 0,008с.

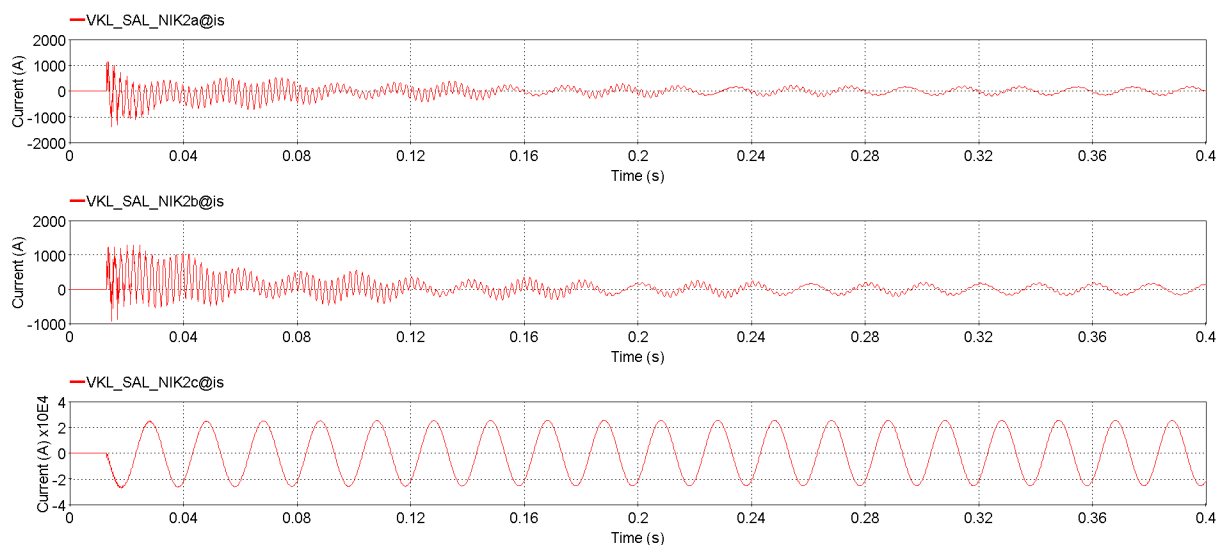


Рисунок 3.а. Токи в фазах коммутируемого элегазового выключателя на «ПС №1» при ОКЗ в конце КЛ 220кВ «ПС №3-ПС №1 1»(начало принято от «ПС №3») с резисторами в ветвях ШР ($R_{ш} = 50$ Ом при $T_{пред} = 0,008$ с)

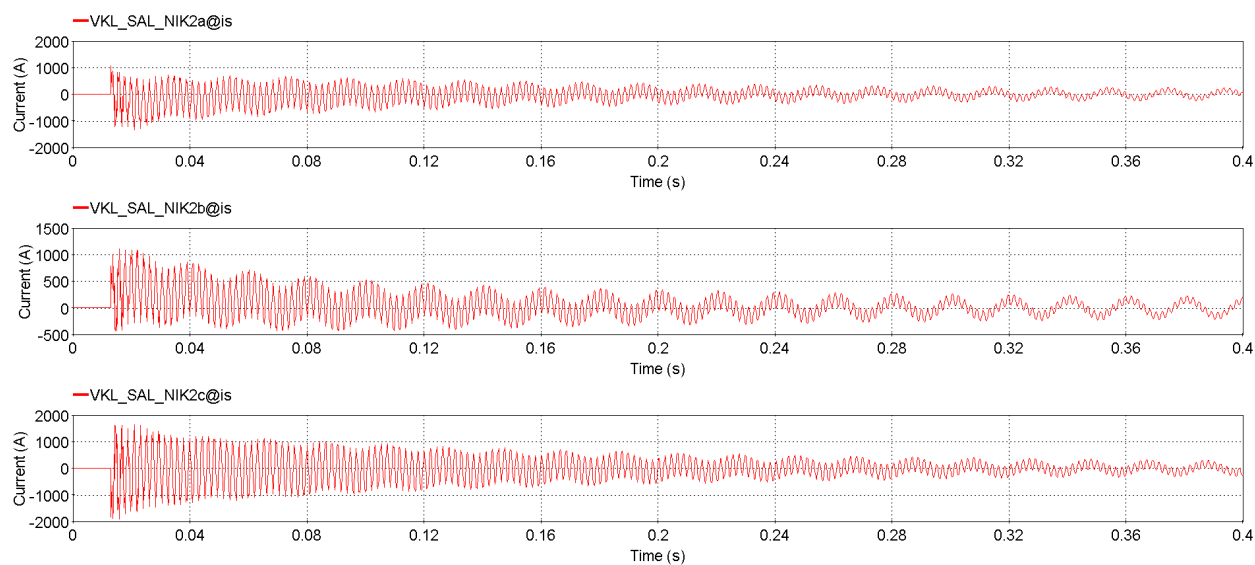


Рисунок 3.б. Токи в фазах элегазового выключателя на «ПС №1» при одностороннем включении КЛ 220кВ «ПС №3-ПС №1 1» с резисторами в ветвях ШР ($R_{ш} = 50$ Ом при $T_{пред} = 0,008$ с)

Использованные источники:

1. Дмитриев, М. В. Переходные процессы на КЛ 110–500 кВ с реакторами [Текст] / М. В. Дмитриев // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2019. — № 1 (52). — С. 90-95.
2. Дмитриев, М. В. ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ 110–750 кВ. Методика выбора мероприятий по борьбе с апериодическими токами. [Текст] / М. В. Дмитриев // Новости электротехники. — 2012. — № 4 (76). — С. 16-27.