

Складена модель ділянки електричного ланцюга з метою дослідження комутаційних перенапружень. Приведені можливі кратності перенапружень при варіації параметрів електричного ланцюга, умов комутації і використанні захисних засобів

Ключові слова: трансформатор, вакуумний вимикач, зріз струму, комутаційні перенапруження, обмежувач перенапружень нелінійний, захисний RC-ланцюжок

Составлена модель участка электрической цепи с целью исследования коммутационных перенапряжений. Приведены возможные кратности перенапряжений при вариации параметров электрической цепи, условий коммутации и использовании защитных средств

Ключевые слова: трансформатор, вакуумный выключатель, срез тока, коммутационные перенапряжения, ограничитель перенапряжений нелинейный, защитная RC-цепочка

The model of area of electric chain is made with the purpose of research of interconnect overstrains. The possible are resulted multiplicity of overstrains at variation of parameters of electric chain, terms of commutation and the use of protective facilities

Keywords: transformer, vacuum switch, cut of current, interconnect overstrains, the terminator of overstrains is nonlinear, protective RC-chainlet

ИССЛЕДОВАНИЕ В ОБОЛОЧКЕ MATLAB КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА КАБЕЛЬНОМ ПРИСОЕДИНЕНИИ ТРАНСФОРМАТОРА С ЭЛЕМЕНТАМИ ЗАЩИТЫ В ВИДЕ ОПН И RC-ЦЕПОЧКИ

С. В. Стариков
Магистр*

В. А. Чевычелов
Кандидат технических наук, главный инженер
АО «СКБ Электрощит»

В. И. Гуль
Кандидат технических наук, профессор*
*Кафедра «Передачи электрической энергии»
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

1. Введение

Вакуумные выключатели (ВВ) имеют ряд преимуществ перед традиционно применяемыми в средних классах напряжения масляными и электромагнитными выключателями (высокая износостойкость, полная взрыво- и пожаробезопасность, бесшумность, малые габариты, чистота и удобство обслуживания, высокая надежность и безопасность эксплуатации [1]), что и обусловило их широкое применение во всем мире. Однако, наряду с очевидными достоинствами, ВВ имеют ряд недостатков [5]. Основным недостатком вакуумных выключателей является возможность генерирования перенапряжений до 5 – 7 крат значений фазного напряжения при коммутациях индуктивных токов, например, при отключении ненагруженных трансформаторов [7].

2. Коммутационные перенапряжения и защита от них

Перенапряжения возникают в связи с тем, что вакуумные выключатели способны резко обрывать ток до его естественного перехода через нулевое значение, вызывая этим переходный процесс превращения электромагнитной энергии индуктивности в электростатическую.

Подобные перенапряжения могут превысить уровень изоляции отключаемого объекта и привести к перекрытиям и повреждению электрооборудования, снижая эксплуатационную надежность работы сети.

Наиболее существенными факторами, влияющими на кратность перенапряжения при отключении ненагруженных трансформаторов, являются: значение тока среза, емкость между выключателем и трансформатором (емкость кабеля и входная емкость трансформатора), исходный режим, предшествующий отключению,

форма кривой намагничивания и мощность трансформатора (индуктивность нагрузки).

При значительной длине кабельного присоединения перенапряжений из-за среза тока в выключателе вообще не возникает. Наличие даже небольшой активной нагрузки на вторичной стороне отключаемого силового трансформатора также исключает возникновение перенапряжений по причине среза. В то же время на энергетических предприятиях существует множество схем, особенности режимов работы и состав оборудования которых способствуют генерации опасных уровней перенапряжений. Одна из типовых схем такого плана представлена на рис. 1.

Мероприятия по защите от перенапряжений при работе ВВ рассматриваются во многих публикациях [5, 6, 7], как основной защитный аппарат предлагается ограничитель перенапряжений нелинейный (ОПН).

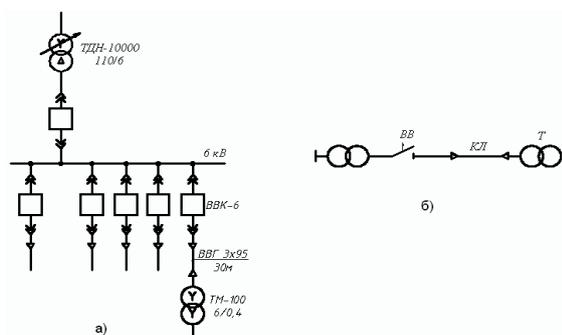


Рис. 1. Электрическая (а) и расчетная схемы (б) цепи с трансформатором

Поскольку варисторы ОПН постоянно находятся под влиянием напряжения (т.к. в силу своих высоконелинейных свойств подключаются непосредственно в электрическую сеть без искровых промежутков), нужно повышенное внимание уделять способности ОПН успешно (без потери тепловой стабильности) переносить влияния кратковременных и продолжительных повышенных напряжения, которые длятся от долей секунды до десятков часов. Предполагается [3], что правильный выбор ОПН с параметрами, которые отвечают конкретной ситуации, обеспечит надежную защиту электрооборудования от перенапряжений и безопасную работу ОПН на протяжении продолжительного времени. Известны также рекомендации по выбору ОПН [4], однако в доступных источниках информации встречаются мнения о нерезультативном использовании защитных аппаратов данного типа, в том

числе и об их разрушениях, по-видимому, вследствие внутренних повреждений.

С целью повышения эксплуатационной надежности ОПН и эффективного ограничения перенапряжений коммутационного характера на защищаемом оборудовании необходимо более детально выявить факторы, влияющие на процесс появления перенапряжений.

Намеченные исследования реализуются, в частности, методами математического моделирования. Одной из современных программ является MATLAB со своим специальным приложением Simulink [9]. Simulink выполняет как бы симуляции работы моделируемых систем и устройств, что принято называть имитационным моделированием.

3. Создание модели в MATLAB

Для построения функциональной блок-схемы моделируемых устройств Simulink предлагает обширную библиотеку блочных компонентов и удобный редактор блок-схем. Он основан на графическом интерфейсе пользователя и по существу является типичным средством визуально - ориентированного программирования. Используя палитры компонентов (наборы), пользователь с помощью мыши переносит нужные блоки с палитры на рабочий стол пакета Simulink и соединяет линиями входы и выходы блоков. Таким образом, создается блок-схема системы или устройства, то есть модель.

MATLAB автоматизирует следующий, наиболее трудоемкий этап моделирования: он составляет и решает сложные системы алгебраических и дифференциальных уравнений, описывающих заданную функциональную схему (модель), обеспечивая удобный и наглядный визуальный контроль за поведением созданного пользователем виртуальную устройства, а средства графической анимации программы наглядно представляют результаты моделирования.

Исходная схема по рис. 1б представлена моделью электрической цепи в оболочке MATLAB и изображена на рис. 2.

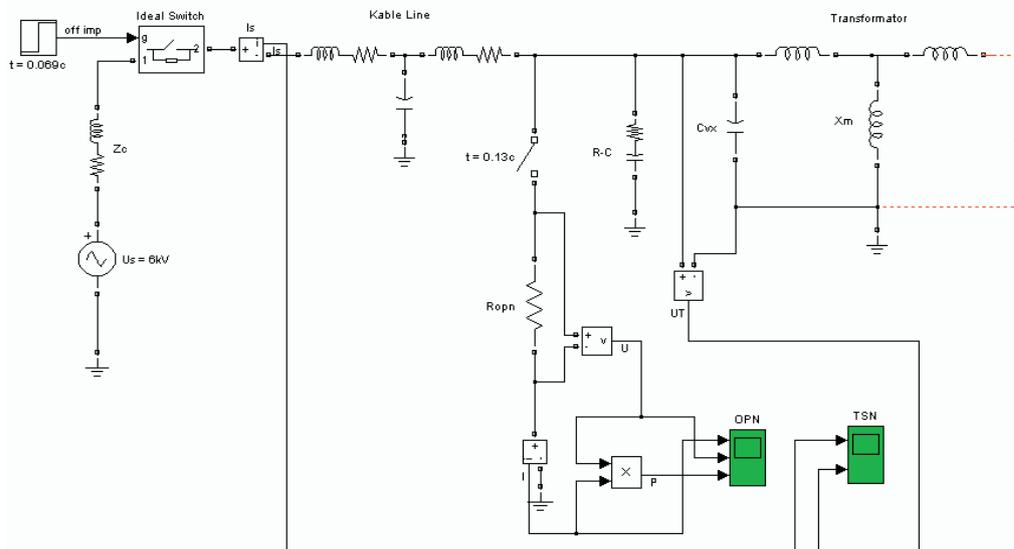


Рис. 2. Модель электрической цепи

Активными сопротивлениями в обмотках трансформатора и в ветви шунта намагничивания можно пренебречь, так как их величины значительно меньше сопротивлений соответствующих индуктивностей рассеяния. Отказ от учёта резисторов можно аргументировать тем, что их влияние будет способствовать затуханию переходного процесса, который ожидается в этой схеме, а это сделает его менее выраженным.

Модель ВВ – идеальный ключ, который получает команду на срабатывание от независимого источника, подающего импульс на отключение в любое заданное время. Ограничитель перенапряжений в данной математической модели представлен линейным резистором ($R = 60\text{ Ом}$), подключаемым между фазой и землей также с помощью ключа, тем самым симулируя переход ОПН в проводящее состояние.

На рис. 3 представлена одна из экспериментальных осциллограмм. Модель ОПН (линейный резистор) подключается к схеме в момент времени $t = 0,13\text{ с}$. и практически мгновенно происходит заметное снижение перенапряжения, вследствие рассеивания в сопротивлении запасенной к моменту коммутации выключателя энергии в шунте намагничивания и емкостях.

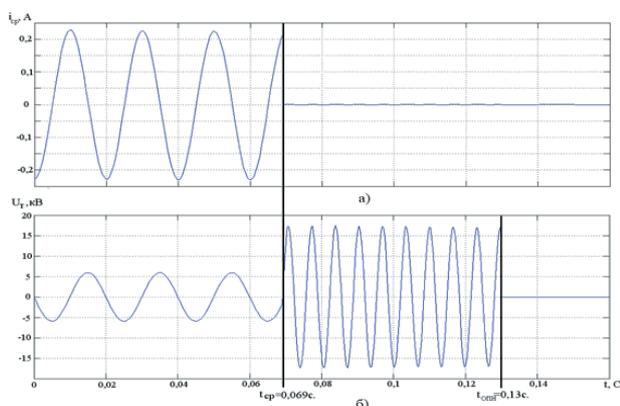


Рис. 3. Осциллограммы среза тока (а) вакуумным выключателем и напряжения на входе трансформатора (б)

Ток через модель ОПН и рассеиваемая энергия отображаются на осциллограммах, представленных на рис. 4. Форма кривой напряжения на резисторе идентична току в силу его линейности.

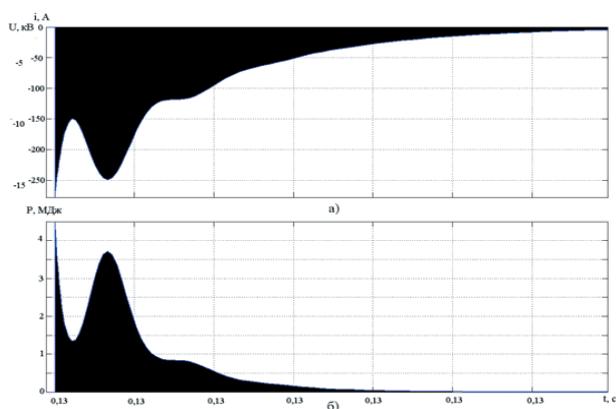


Рис. 4. Осциллограммы тока, напряжения (а) и мощности (б) для резистора (модели ОПН)

Осциллограмма для мощности (рис. 4б) является основой оценки выделяемой в адиабатическом режиме энергии (используется численный метод интегрирования). Допустимая величина энергии для конкретного типа ОПН приводится в его технических характеристиках; в случае, когда ожидаемая энергия превышает возможности данного ОПН, возможно параллельное включение двух аппаратов в данной точке сети.

Наличие ОПН не ограничивает скорость изменения напряжения при рассматриваемой коммутации на входе объекта защиты (трансформатор, электродвигатель). Эффективно применение R-C цепочки ($R = 18\text{ Ом}$, $C = 73\text{ нФ}$ [4]), которая выполняет роль демпфера.

Использование моделирования (пакет Simulink) позволяет достаточно просто и быстро анализировать вариации параметров многопараметрической цепи, с целью поиска наилучших параметров защитных устройств; например, изменять момент коммутации ВВ (величину тока среза (таблица 1)), длину питающей кабельной линии (таблица 2) и параметр C защитной R-C цепочки (таблица 3). В нашем примере величину сопротивления не варьируем ($R = 18\text{ Ом}$), т.к. её изменение приводит к изменению времени затухания колебаний и слабо влияет на амплитуду напряжения.

Отдельные результаты исследований для схемы на рис. 2 приведены в таблицах.

Таблица 1

Зависимость напряжения на трансформаторе от момента среза тока

$t_{\text{откл}}$, мс	65	66	68	69	70	73	74
$i_{\text{среза}}$, мА	0	68	18	21	22	13	7
$U_{\text{тр}}$, кВ	6	8	18,3	17,3	18	11,5	9,7

Таблица 2

Зависимость напряжения на трансформаторе от длины КЛ

$L_{\text{кд}}$, м	0	10	30	50	100	200	400
$U_{\text{тр}}$, кВ	48	33	17	14	10	7,5	6

Таблица 3

Зависимость напряжения на трансформаторе от емкости R-C цепочки

C, нФ	0	10	35	50	73	100	120
$U_{\text{тр}}$, кВ	17	13,4	9,5	8,5	7,3	6,6	6

4. Заключение

Отмечается следующее:

- с увеличением длины питающей кабельной линии кратность перенапряжений уменьшается.
- при вариации момента коммутации, с уменьшением величин тока среза, снижается запасенная в индуктивности трансформатора энергия; разрывая ток в нуле, перенапряжения можно исключить. Известно [8] устройство синхронизированного отключения.

- увеличение емкости защитной R-C цепочки приводит к снижению перенапряжений при коммутации; однако увеличение емкости повлечет за собой и повышение суммарной емкости цепи, что повлияет на мероприятия в сети при ОЗЗ.

Литература

1. Евдокунин Г.А., Тилер Г. Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения. - С.-Петербург: Издательство Сизова М.П., 2002 - 147 с.
2. Васюра Ю.Ф., Гавриков В.И., Евдокунин Г.А. Коммутационные перенапряжения на высоковольтных двигателях собственных нужд электростанций // Электротехника. - 1984. - № 12. - С. 4-7.
3. Методичні вказівки з вибору обмежувачів перенапруг нелінійних виробництва підприємства «Таврида Електрик» для електричних мереж 6 - 35 кВ, Севастополь 2003.
4. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозных и внутренних перенапряжений РД 153-34.3-35.125-99, РАО «ЕЭС России», Москва 1999.

5. Евдокунин Г.А., Корепанов А.А. Перенапряжения при коммутации цепей вакуумными выключателями и их ограничение – «Электричество», 1998, №4.
6. Безуткин В.В., Евдокунин Г.А., Халилов Ф.Х. Ограничение перенапряжений , возникающих при коммутации индуктивных цепей вакуумными выключателями - «Электричество», 1994, №2
7. Кузьмичева К.И., Подъячев В.Н., Шлейфман И.Л. Ограничение перенапряжений при отключении вакуумными выключателями пусковых токов электродвигателей с помощью ОПН – «Электрические станции», 1996, №4.
8. Устройство для синхронизированного отключения ВВ/Зилес Л.Д. и другие.
Заявка 93-04 1096 от 20.08.93 на полезную модель с решением о выдаче от 26.11.93.
9. В. П. Дьяконов «MATLAB 6.5 SPL/7 + Simulink 5/6. Основы применения.» Серия «Библиотека профессионала», Москва: СОЛОН - Пресс, 2005. 800 С.:

Розглянуто магнітну систему з високотемпературною надпровідниковою котушкою, математичне моделювання магнітного поля якої проведено з використанням програми FEMM.

Ключові слова: високотемпературний надпровідник, магнітна проникність, електромагніт

Рассмотрена магнитная система с высокотемпературной сверхпроводниковой катушкой, математическое моделирование магнитного поля которой проведено с использованием программы FEMM.

Ключевые слова: высокотемпературный сверхпроводник, магнитная проницаемость, электромагнит

The magnetic system with high-temperature superconducting coil is considered, which mathematical modeling of a magnetic field using program FEMM is carried out.

Keywords: high temperature superconductor, permeance, electromagnet

УДК 621.3.04

АНАЛІЗ ВПЛИВУ МАГНІТНОЇ ПРОНИКНОСТІ ВТНП КОТУШКИ НА МАГНІТНЕ ПОЛЕ

Є.В. Гончаров
 Молодший науковий співробітник
 Кафедра загальної електротехніки
 Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"
 вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002
 Контактний тел.: 8 (057) 707-64-27

Якщо розглядати тенденції розвитку надпровідникового устаткування за останні роки, то можна зауважити на постійний зріст кількості розробок у цій галузі та спроб впровадження у виробництво. Високотемпературні надпровідники (ВТНП) відрізняють-

ся від низькотемпературних тим, що надпровідний стан досягається при охолодженні до 77 К (низькотемпературні – до 4 К). У табл. 1 наведені деякі надпровідникові сполуки з відповідними критичними температурами. Використання ВТНП має ряд пере-