

**Верхола А. В.**  
старший преподаватель  
Донбасский государственный технический институт, г. Алчевск, ЛНР,  
**Коновалов С. А.**  
с.н.с.  
НИПКИ «Параметр», Донбасский государственный технический институт,  
г. Алчевск, ЛНР

## ПЕРСПЕКТИВЫ УЛУЧШЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ВАКУУМНЫХ КОНТАКТОРОВ

Рост объёма электронных компонентов в системах управления электромеханическими системами является одной из устойчивых тенденций последних лет. Электронные компоненты применяются как в виде силовых коммутационных аппаратов в цепях передачи энергии, так и в виде управляющих элементов в оперативных цепях. Другой устойчивой тенденцией в электроэнергетике и электротехнике является переход от коммутационных электрических аппаратов с открытым гашением дуги в воздухе к вакуумным электрическим аппаратам, в которых дуга гасится внутри герметичной вакуумной дугогасительной камеры. Вакуумные коммутационные аппараты являются энергоресурсосберегающими и имеют несомненные преимущества перед традиционными по таким показателям, как эксплуатационный ресурс, экономия контактных материалов (медь, серебро) и экономия электроэнергии. Кроме того, вакуумные коммутационные аппараты не загрязняют продуктами горения дуги окружающую среду, и поэтому являются более экологичными, чем традиционные.

Недостатком вакуумных коммутационных аппаратов является то, что при работе они создают большой уровень перенапряжений, опасных для электрической изоляции электрооборудования, размещённого в коммутируемой ими цепи. Кроме того, генерируемые вакуумными аппаратами коммутационные перенапряжения являются источником электромагнитных помех для управляющих электронных компонентов.

Причиной появления перенапряжений в контуре, содержащем в качестве коммутационного элемента вакуумный контактор, являются процессы преобразования энергии. При протекании тока  $i$  по контуру, содержащему индуктивность  $L$ , в нём накапливается электромагнитная энергия

$$W_{ЭМ} = \frac{L \cdot i^2}{2}. \quad (1)$$

Чем быстрее при коммутации обрывается ток, тем большая часть накопленной электромагнитной энергии преобразуется в энергию электростатического поля

$$W_{ЭС} = \frac{C \cdot U^2}{2}. \quad (2)$$

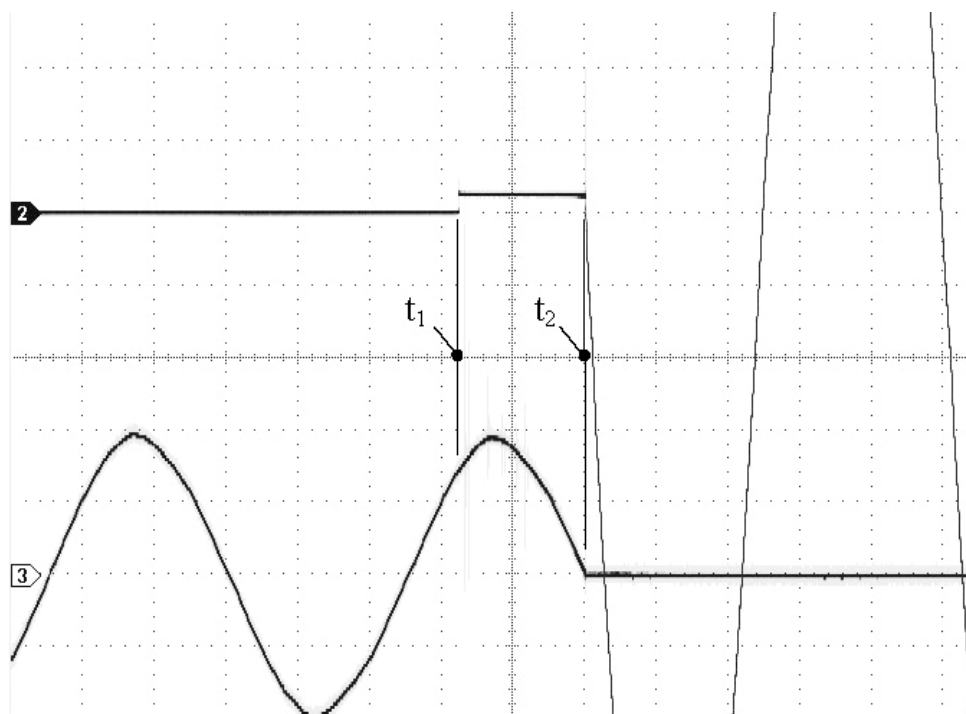
В результате ёмкость контура  $C$ , образованная проводниками и разделяющей их электрической изоляцией, оказывается под воздействием напряжения  $U$ , которое тем больше, чем большая часть электромагнитной энергии  $W_{ЭМ}$  оказалась преобразованной в электростатическую энергию  $W_{ЭС}$  [1].

Борьбе с коммутационными перенапряжениями, создаваемыми вакуумными контакторами, посвящено большое количество исследований и предложено большое количество способов и устройств, предназначенных для реализации полученных результатов [2–4]. Однако все они направлены на борьбу с уже возникшими перенапряжениями, и, как правило, предназначены для защиты конкретного устройства. В то же время существует возможность решить проблему кардинально: не допустить появления перенапряжений. Как было показано

ранее [5], с такой задачей способны справиться устройства, осуществляющие синхронное отключение. Синхронное отключение является частным случаем управляемой коммутации и заключается в размыкании контактов электрического аппарата синхронно с нулём синусоиды отключаемого тока. В соответствии с (1), в момент времени, когда ток в отключаемом контуре становится равным нулю вследствие изменения по синусоидальному закону, запасённая в контуре электромагнитная энергия  $W_{ЭМ}$  также принимает нулевое значение. Как следует из выражения (2), в этом случае нулю будут равны энергия электростатического поля  $W_{ЭС}$  и напряжение  $U$ , прикладываемое к изоляции контура. Преимущество предложенного способа заключается в том, что он борется не с последствиями перенапряжений, а предупреждает их появление. Таким образом, устраняется воздействие коммутационных перенапряжений не только на элементы отключаемого контура, но и на устройства, гальванически не связанные с ним, но подверженные воздействию электромагнитных помех, возникающих при коммутации. В этом смысле управляемая коммутация является средством, которое может улучшить электромагнитную совместимость низковольтных вакуумных контакторов.

Для создания адекватной математической модели, моделирующей процессы преобразования энергии при коммутации цепи низковольтным вакуумным контактором, недостаточно приведенных выше выражений. Отчасти это связано с тем, что формулы (1) и (2) не учитывают всего многообразия процессов, протекающих при коммутации. Например, они не отражают выделение энергии в дуге отключения.

С целью установления зависимости количества энергии, выделяющейся в дуге отключения низковольтного вакуумного контактора, ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ» совместно с НИПКИ «Параметр» были проведены исследования. Исследования проводились на низковольтном вакуумном контакторе при разных отключаемых токах, разном сдвиге фаз между током и напряжением и разных фазах размыкания контактов. С помощью цифрового осциллографа Micsig STO 1104C фиксировались кривые тока и напряжения дуги отключения (рис. 1).



маркер 2 — нулевой уровень напряжения; маркер 3 — нулевой уровень тока

Рисунок 1 — Осциллограммы напряжения и тока дуги отключения низковольтного вакуумного контактора

Значения энергии, выделяющейся в дуге, были определены интегрированием по осциллограммам:

$$W_D = \int_{t_1}^{t_2} U_D \cdot i_D dt, \quad (3)$$

где  $U_D$  — напряжение на дуге;  $i_D$  — ток в дуге;  $t_1$  — момент размыкания контактов и зажигания дуги (рис. 1);  $t_2$  — момент погасания дуги (рис. 1).

В результате проведенных исследований установлены зависимости количества энергии, выделяющейся в дуге отключения, от величины тока, индуктивности отключаемой цепи и фазы размыкания контактов.

Выводы:

– электромагнитная совместимость низковольтных вакуумных контакторов может быть улучшена путём применения управляемой коммутации;

– результаты проведенных исследований позволят создать более адекватную модель преобразования энергии при коммутации цепей низковольтными вакуумными контакторами, что необходимо как для совершенствования конструкции устройства, реализующего управляемую коммутацию, так и для выбора оптимального режима его работы.

### Список литературы

1. Вакуумные выключатели в схемах управления электродвигателями / В. А. Воздвиженский, А. Ф. Гончаров, В. Б. Козлов и др. ; под ред. В. Б. Козлова. — М. : Энергоатомиздат, 1988. — 200 с.
2. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ) / Главгосэнергонадзор России. — М. : Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007. — 610 с.
3. Электротехнический портал. Рекомендации по выбору и применению ОПН для оптимальной защиты электрооборудования [Электронный ресурс]. — 2022. — Режим доступа: <https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-elektroenergi/98/>.
4. Центр сварки. Выбор RC-цепочки, защитного диода, диода-стабилитрона, диода-резистора [Электронный ресурс]. — 2022. — Режим доступа: <https://oocentrsvarki.ru/teoriya/kak-rabotaet-zashchitnyj-diod.html>.
5. Верхола, А. В. Исследование коммутационных перенапряжений при отключении низковольтной цепи электромеханическим аппаратом / А. В. Верхола // XVII международная конференция «Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты» : труды МКЭЭЭ-2018. — Алушта, 2018. — С. 257–259.