

УДК 621. 313

Верхола А.В.,
Малинкин В.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ К КОММУТАЦИОННЫМ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯМ

С помощью расчётных соотношений исследована стойкость ряда асинхронных электродвигателей к перенапряжениям, возникающим при коммутации цепи вакуумными контакторами. Сделан вывод о необходимости учитывать возможность повреждения изоляции. Рассмотрен ряд способов ограничения коммутационных перенапряжений и предложен новый.

Ключевые слова: коммутационные перенапряжения, низковольтный вакуумный контактор, асинхронный электродвигатель, электрическая прочность изоляции.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

При исследовании процессов преобразования электромагнитной энергии в асинхронном двигателе он может быть представлен в виде LC – контура [1]. Во время коммутации, непосредственно перед прекращением протекания тока i в обмотках двигателя, в магнитном поле индуктивности L цепи сосредоточена энергия

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

В ёмкости C отключаемой цепи к моменту обрыва тока накапливается энергия

$$W_C = \frac{C \cdot U_o^2}{2}, \quad (2)$$

где U_o – мгновенное значение напряжения на ёмкости в момент времени, непосредственно предшествующий обрыву тока.

Преобразование накопленной электромагнитной энергии при отключении приводит к возникновению колебаний напряжения (перенапряжениям). Величина сгенерированных перенапряжений определяется скоростью спада тока, а их максимальное значение может оказаться критичным для изоляции двигателя.

Для коммутации электродвигателей в последнее время всё более широкое при-

менение находят вакуумные контакторы. Спецификой вакуумных контакторов является быстрое прерывание тока (срез тока), которое объясняется особенностями горения дуги в вакууме.

Необходимость учёта отрицательного воздействия коммутационных перенапряжений на срок службы изоляции электрических машин обязательна при разработке новых типов коммутационных аппаратов [2].

Известна методика оценки воздействия на эксплуатационную надёжность изоляции электрооборудования, которая использует данные экспериментальных испытаний готового аппарата [3].

На этапе проектирования контактора, когда ещё не могут быть получены экспериментальные зависимости, оценку стойкости изоляции электродвигателей к коммутационным перенапряжениям можно провести с помощью расчётных соотношений [4].

Постановка задачи. Задачей данной работы является исследование стойкости изоляции асинхронных электродвигателей к перенапряжениям, возникающим при коммутации цепи вакуумными контакторами с помощью расчётных соотношений.

Изложение материала и его результаты. Величина тока среза i_c вакуумной дугогасительной камеры, при прочих равных условиях, зависит от момента размыкания

контактов t_p относительно начала полупериода отключаемого тока (рис 1.).

Согласно [5] максимальное значение перенапряжения при срезе тока:

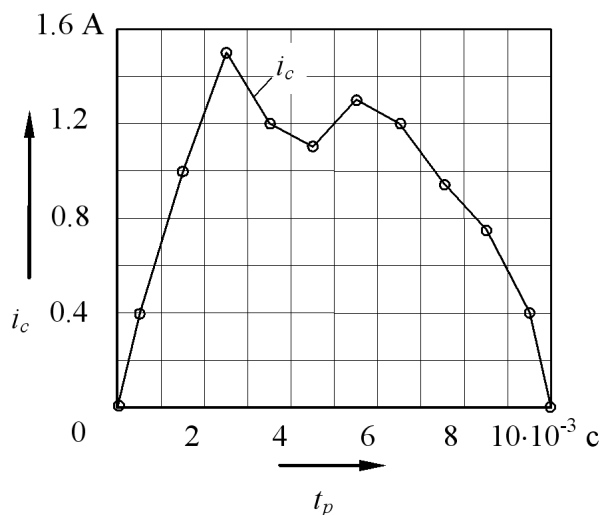


Рисунок 1 – Зависимость тока среза i_c от момента размыкания контактов t_p относительно начала полупериода отключаемого тока для вакуумной дугогасительной камеры КДВ-12-37

$$U_{\text{макс}} = U_o + i_c \cdot Z, \quad (3)$$

где Z – волновое сопротивление отключаемого контура, Ом; i_c – ток среза, А; U_o – мгновенное значение рабочего напряжения в момент среза тока, В.

Волновое сопротивление Z определяется по методике, изложенной в [6], или, по приведенной там же, эмпирической формуле:

$$Z = 1652 - 0.73 \cdot P, \quad (4)$$

где P – мощность отключаемого электродвигателя, кВт.

Для определения мгновенного значения рабочего напряжения в момент среза тока принимается следующее допущение: ток в отключаемом контуре сдвинут по фазе (отстаёт) на $\pi/2$ относительно напряжения. Корректность такого допущения объясняется тем, что наибольшее перенапряжение возникает при отключении индуктивной нагрузки, поэтому именно такое условие должно быть принято при опреде-

лении воздействий коммутационных перенапряжений на изоляцию. Как показал обзор методик оценки коммутационных перенапряжений, данное допущение можно считать общепринятым [1, 7, 8].

Мгновенное значение рабочего напряжения в момент среза тока:

$$U_o = U_a \cdot \cos\left(\arcsin \frac{i_c}{I_a}\right), \quad (5)$$

где U_a – амплитуда рабочего напряжения отключаемой цепи, В; I_a – амплитуда отключаемого тока, А; i_c – величина тока среза, А.

С учётом (5), максимальное значение перенапряжения:

$$U_{\text{макс}} = U_a \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{i_c}{I_a}\right)^2} + i_c \cdot Z. \quad (6)$$

Соотношения (3-6) были использованы для исследования стойкости электродвигателей к коммутационным перенапряжениям. Были рассчитаны максимальные значения перенапряжений с учётом момента размыкания контактов для двигателей ЭКВ-185, ЭКВ-63-55, ЭКВ4-45-6, ЭКВ4-30-6, 3В 3ВР225М2, Э2В 2ВР280S6, ВАО2-315L4, ВАО2-280M10, ЭДКОФВ315M4 и ЭДСВФ250L4. По результатам расчётов построены зависимости. На рисунке 2 показана зависимость перенапряжений от момента размыкания контактов при коммутации вакуумным контактором электродвигателя ЭКВ-63-55. Пунктирной линией на рисунке обозначен уровень импульсной прочности изоляции. Видно, что при любой фазе размыкания контактов вакуумного контактора перенапряжения меньше импульсной прочности, а, значит, угрозы повреждения изоляции двигателя нет. На рисунке 3 показана зависимость перенапряжений от момента размыкания контактов при коммутации вакуумным контактором электродвигателя ЭКВ4-45-6. Видно, что при моментах размыкания контактов от $2.3 \cdot 10^{-3}$ с до $3.0 \cdot 10^{-3}$ с уровень перенапряжений превышает импульс-

ную прочность изоляции электродвигателя, а, значит, может произойти электрический пробой изоляции. Аналогичная картина, когда уровень коммутационных перенапряжений превышает импульсную прочность изоляции двигателя, была зафиксирована для двигателей ЭКВ4-30-6, 3В 3ВР225М2, Э2В 2ВР280S6, ВА02-280М10, ЭДКОФВ315 М4 и ЭДСВФ250L4. Безопасные для изоляции двигателей перенапряжения генерируются при коммутации двигателей ЭКВ-185, ЭКВ-63-55 и ВА02-315 L4.

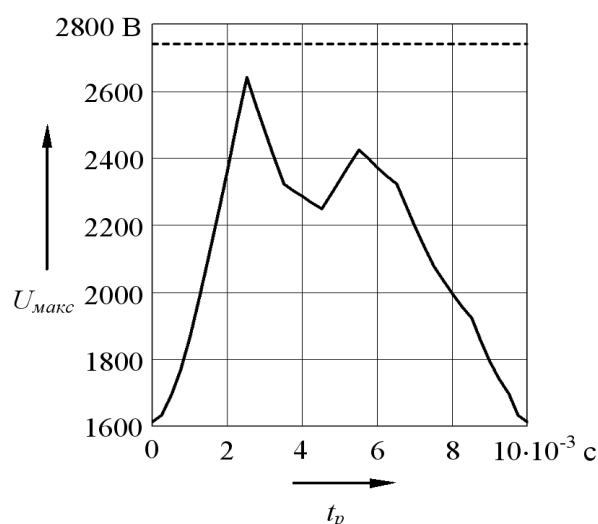


Рисунок 2 – Зависимость перенапряжений от момента размыкания контактов t_p для электродвигателя ЭКВ-63-55

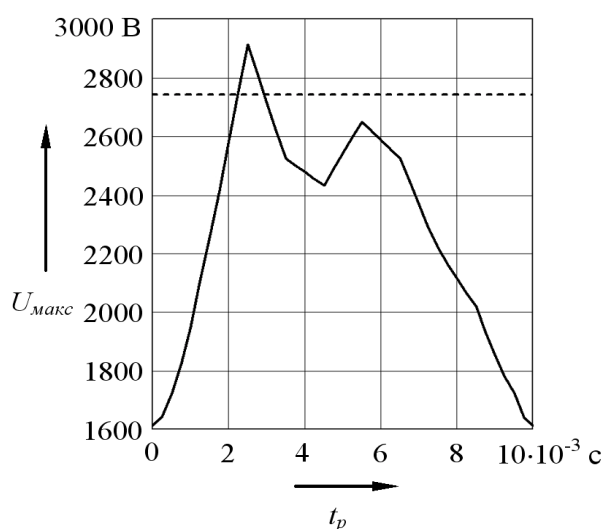


Рисунок 3 – Зависимость перенапряжений от момента размыкания контактов t_p для электродвигателя ЭКВ4-45-6

Выводы и направление дальнейших исследований.

Широкое внедрение вакуумных коммутационных аппаратов в цепях низкого напряжения требует всестороннего рассмотрения существующей проблемы возникновения коммутационных перенапряжений применительно к данным цепям.

Одним из первых способов ограничения коммутационных перенапряжений, возникающих при коммутации цепи низковольтными вакуумными контакторами, стало использование в вакуумных дугогасительных камерах композиционных контактов, в состав которых, как правило, входит легкоплавкий компонент. Недостатком способа является усложнение технологии изготовления вакуумной дугогасительной камеры и, как следствие, её удорожание. Кроме того, в качестве легкоплавкого компонента используются олово и сурьма, что создаёт экологические проблемы при изготовлении и утилизации камер с такими контактами.

К числу схемных мероприятий по ограничению коммутационных перенапряжений относится нормирование длины кабеля и использование РС – цепочек. Недостатком нормирования длины кабеля является возможное изменение его длины или параметров при эксплуатации. Применение РС – цепочек считается достаточно эффективным средством ограничения перенапряжений, однако, это достигается лишь в точке установки цепочки.

Наиболее совершенным в настоящее время считается применение с целью ограничения коммутационных перенапряжений в сетях напряжением 1140 В и 660 В нелинейных ограничителей перенапряжений на основе высоконелинейных резисторов или варисторов. Эти устройства обеспечивают необходимый уровень ограничения коммутационных перенапряжений, допустимые токи утечки и хорошую устойчивость основных рабочих характеристик. К недостаткам нелинейных ограничителей перенапряжений относится

возможность их повреждения при возникновении в цепи коротких замыканий, так как в этом случае через них протекает большой ток.

За исключением первого из рассмотренных способов, все остальные направлены на борьбу с уже возникшими коммутационными перенапряжениями. В то же время, имеется возможность значительно ограничения коммутационных перена-

пряжений путём более полного использования возможностей самого коммутационного аппарата – синхронное с нулём отключаемого тока размыкание контактов вакуумного контактора. Проведенные исследования [4] показывают перспективность этого способа ограничения коммутационных перенапряжений.

Библиографический список

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. Козырев Н. А. Влияние внутренних перенапряжений на сроки службы изоляции электрических машин / Н. А. Козырев, О. К. Хомуцецкий // *Изоляция электрических машин : сборник статей по методике определения срока службы изоляции электрических машин*. — М.: Отделение научно-технической информации, стандартизации и нормализации в электротехнике, 1965. — 143 с.
3. Эштейн И. Я. Методика оценки влияния коммутационных аппаратов на эксплуатационную надёжность изоляции электрооборудования / И. Я. Эштейн, А. Ф. Гончаров // *Электротехника*, 1990. — № 2. — С. 68 - 69.
4. Верхола А. В. Расчётные соотношения для оценки амплитуды коммутационных перенапряжений, генерируемых при отключении цепи синхронным вакуумным контактором / А. В. Верхола. // *Сборник научных трудов*. — Алчевск: НИПКИ "Параметр" ДГМИ, 1998. — 224 с.
5. Потаренко А. А. Перенапряжения при отключении шахтного асинхронного электродвигателя вакуумным выключателем / А.А. Потаренко // *Вопросы электроснабжения угольных предприятий. Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского*. — 1977. — Вып. 156. - С. 32.–38.
6. Каганов З. Г. Волновые напряжения в электрических машинах / З. Г. Каганов. — М. : Энергия, 1970. — 208 с.
7. Потаренко А. А. Выбор шахтных выключателей по допустимому току среза вакуумных дугогасительных камер / А. А. Потаренко // *Создание современного электрооборудования и систем электроснабжения шахт и разрезов. Научные сообщения ИГД им. А. А. Скочинского*. — 1978. — Вып. 168. — С. 56-61.
8. Карковский Л. И. К вопросу аналитической оценки допустимого тока среза вакуумного выключателя для асинхронных электродвигателей / Л. И. Карковский // *Силовые полупроводниковые и импульсные электромеханические преобразовательные устройства: (межвузовский (межведомственный) тематический сборник научных трудов)*. — Куйбышев, 1976. — С.146-150.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. ДонГТУ Мотченко А.И.,
к.т.н. ВНУ им. Даля Комиссаренко А.И.**

Верхола О.В., Малінкін В.В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДО КОМУТАЦІЙНИХ ПЕРЕНАПРУГ

За допомогою розрахункових співвідношень досліджена стійкість ряду асинхронних електродвигунів до перенапруг, що виникають при комутації ланцюга вакуумними контакторами. Зроблено висновок про необхідність враховувати можливість пошкодження ізоляції. Розглянуто ряд способів обмеження комутаційних перенапруг і запропоновано новий.

Ключові слова: комутаційні перенапруги, низьковольтний вакуумний контактор, асинхронний електродвигун, електрична міцність ізоляції.

Verkhola O.V., Malinkin V.V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

INVESTIGATION OF SWITCHING-SURGE INSULATION LEVEL OF ELECTRICAL MOTORS

Durability of asynchronous electrical motors to switching surges is developed with rated ratio when appearing at circuit switching with vacuum contactors. The conclusion was made of necessity to consider probable insulation damage. A number of ways on limitation the switching surges was studied and the new one was proposed.

Key words: switching surges, low-voltage vacuum contactor, asynchronous electrical motor, insulation strength.