

## ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИЕ СВОЙСТВА СИНХРОННОГО ВАКУУМНОГО КОНТАКТОРА

*А. В. Верхола, ст. преп.*

*Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск*

*пр. Ленина, 16, 94204, г. Алчевск, Украина*

*E-mail: verkhola@mail.ru*

Рассмотрены свойства синхронного вакуумного контактора, обеспечивающие сбережение электроэнергии и контактных материалов.

**Ключевые слова:** низковольтный вакуумный контактор, синхронное отключение, ресурсосбережение.

**Введение.** Для промышленности Украины характерны высокий уровень энерго- и материалоёмкости, чрезмерный износ основных фондов и низкие темпы их обновления, большое количество отходов и вредных выбросов. Нацеленная на преодоление сложившейся ситуации Государственная целевая экономическая программа энергоэффективности на 2010 – 2015 годы [1] предусматривает модернизацию предприятий, направленную на снижение материало- и энергоёмкости производства. Анализ структуры потерь в сфере производства, распределения и потребления электроэнергии показывает, что определяющая доля (до 90 %) потерь сосредоточена в области энергопотребления. Основным потребителем электроэнергии является электропривод (более 60 %) [2]. При анализе проблем ресурсосбережения в электроприводе, как правило, не рассматриваются потери, связанные с элементами управления, что не позволяет получить полную картины происходящих процессов.

**Анализ предыдущих исследований.** Исследованиями по энергосбережению в электроприводе рассматривается электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств [3]. При этом традиционно потери энергии в управляющем устройстве не учитываются [4, 5].

В исследованиях [6] рассмотрены потери энергии в трёх вариантах управляющего устройства: контактный контактор с гашением дуги в воздухе, гибридный контактор и тиристорный контактор. Выделены следующие составляющие потерь в контактных контакторах:  $\Delta P_K$  – потери в катушке электромагнитного привода;  $\Delta P_{кон}$  – потери в контактах во включенном состоянии;  $\Delta P_D$  – потери в электрической дуге. Анализ потерь в гибридных контакторах показал: потери  $\Delta P_D$  можно не учитывать благодаря практически полному отсутствию дуги; значительно снижены потери  $\Delta P_{кон}$  за счёт исключения катушек магнитного дутья из конструкции; добавляются потери  $\Delta P_U$  в схеме управления тиристорами. В тиристорных контакторах выделены:  $\Delta P_T$  – потери в цепи анод-катод;  $\Delta P_U$  – потери в цепи управления тиристорами. Исследованиями [6] наибольшие потери энергии обнаружены у тиристорных контакторов. Несколько меньшими потерями обладают контактные контакторы. Однако и для них потери энергии настолько велики, что цена израсходованной за срок службы контактора электроэнергии в несколько раз превышает цену самого контактора.

Со времени проведения исследований [6] достаточно широкое распространение получили низко-

вольтные вакуумные контакторы (НВК) и разработанный низковольтный синхронный вакуумный контактор (СВК). Исследований потерь энергии, как одного из показателей энергосберегающих свойств, для этих новых типов аппаратов не проводилось.

Кроме того, учитывая, что понятие ресурсосбережение включает в себя не только сбережение энергии, а и сбережение материальных, финансовых и природных ресурсов, представляется целесообразным провести исследования соответствующих свойств новых электрических аппаратов.

**Цель работы.** Исследование энергоресурсосберегающих свойств синхронного вакуумного контактора.

**Материал и результаты исследования.** Задачей проводимого исследования является выявление свойств СВК, ответственных за его ресурсосберегающие показатели, установление их зависимости от различных факторов и сравнение со свойствами известных аналогов.

Аналізу подверглись следующие ресурсосберегающие показатели СВК:

*энергоэкономичность* – показатель, характеризующий потери энергии или расход энергоресурсов при эксплуатации изделия [7];

*ресурсоэкономичность* – показатель, характеризующий расход материалов при эксплуатации и ремонте изделия (в том числе на запчасти) [7];

*ресурсоёмкость* – показатель, характеризующий массу потерь материала при эксплуатации изделия [7].

В контакторах с гашением дуги в воздухе время горения дуги может доходить до нескольких полупериодов. Всё это время в дуге выделяется энергия, которая рассеивается в окружающем пространстве. Так, в контакторах КТП6000 за один цикл коммутации выделяется энергия  $(0.45...1.75) \cdot 10^{-3}$  кВт·ч, в зависимости от величины коммутируемого тока [6]. За всё время эксплуатации контактора с номинальным током  $I_n = 400$  А в дуге отключения будет рассеяна суммарная энергия:

$$W_{дл} = W_D \cdot N_M = 1.12 \cdot 10^{-3} \cdot 10^7 = 1.12 \cdot 10^4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (1)$$

где  $N_M$  – механическая износостойкость контактора, циклов ВО;  $W_D$  – энергия, рассеиваемая в дуге за один цикл коммутации, кВт·ч:

$$W_D = \int_{t_1}^{t_2} U_D i_D dt, \quad (2)$$

где  $U_D$  – напряжение на дуге, В;  $i_D$  – ток дуги, А;  $t_1, t_2$  – время начала и окончания горения дуги, с.

Затраты предприятия на электроэнергию, рассеянную в дуге отключения одним контактором с но-

минальным током 400 А за весь срок эксплуатации, составят:

$$Z_{\Sigma} = W_{\text{дс}} \cdot C_{\Sigma} = 1.12 \cdot 10^4 \cdot 0.988 = 11066 \text{ грн}, \quad (3)$$

где  $C_{\Sigma} = 0.988 \text{ грн}$  – цена электроэнергии для предприятий по состоянию на II квартал 2011 года.

Средняя цена контактора КТП6043 в это же время составила 2500 грн, а отношение цены израсходованной на электрическую дугу энергии к цене контактора составило 4.43.

В низковольтных вакуумных контакторах дуга всегда гаснет в первый полупериод отключаемого тока и максимальное время её горения не превышает  $10 \cdot 10^{-3}$  с при частоте источника питания 50 Гц. Так как контакты НВК размыкаются в произвольный момент времени относительно полупериода отключаемого тока, то среднее время горения дуги в НВК составляет  $5 \cdot 10^{-3}$  с, что меньше, чем в контакторах с гашением дуги в воздухе. Этим объясняется то, что энергия, рассеиваемая за один цикл коммутации в НВК, меньше, чем в контакторах с гашением дуги в воздухе. В низковольтном синхронном вакуумном контакторе потери энергии ещё меньше, чем в НВК, так как в СВК среднее время горения дуги составляет  $1 \cdot 10^{-3}$  с. Например, в вакуумных контакторах на номинальный ток  $I_n = 400$  А во время отключения тока  $I_{\text{откл}} = 1.8 \cdot I_n$ , напряжении 380 В и  $\cos \varphi = 0.259$  за один коммутационный цикл при синхронном отключении через дугу проходит в среднем  $7.08 \cdot 10^{-5}$  кВт·ч электроэнергии, а при несинхронном отключении –  $6.75 \cdot 10^{-4}$  кВт·ч (табл. 1). Потери в дуге при синхронном отключении могут быть снижены ещё существеннее, если удастся уменьшить время упреждения  $t_y$  размыкания контактов вакуумной дугогасительной камеры перед нулём отключаемого тока. Время упреждения размыкания контактов при синхронном отключении – это время, за которое размыкаемые контакты должны успеть разойтись на необходимое для отключения цепи расстояние до того, как кривая отключаемого тока достигнет своего естественного нуля. В НВК для надёжного гашения дуги контакты достаточно развести на расстояние  $1 \cdot 10^{-4}$  м. На практике, для исключения случайных замыканий при воздействии на контактор вибрации, обеспечивается зазор не менее  $1 \cdot 10^{-3}$  м. Для перемещения размыкаемых контактов на заданное расстояние в СВК применяется специальный быстродействующий электромагнитный привод. На скорость срабатывания электромагнитного привода оказывает влияние большое количество факторов: отключаемый ток, температура окружающей среды, износ контактов и подвижных деталей привода, вихревые токи в магнитопроводе и элементах конструкции контактора и др. Это приводит к появлению разброса времени упреждения  $\Delta t_y$ . Наличие разброса времени упреждения ограничивает возможность уменьшения времени упреждения. Это объясняется тем, что время упреждения  $t_y$  нежелательно устанавливать меньше, чем половина разброса  $\Delta t_y$ . В противном случае некоторая часть замыканий контактов будет происходить в начале следующего полупериода отключаемого тока, что снижает эффективность ограничения выделения энергии в дуге.

Ресурсоэкономичность при проведении исследований оценивалась расходом материалов при эксплуатации и ремонте изделия, а также финансовыми затрата-

ми. Ресурсоёмкость оценивалась массой безвозвратных потерь материала при эксплуатации контакторов.

В процессе эксплуатации и ремонта контакторов КТП6000 расходуются следующие изделия и материалы:

- контакты медные цельные или медные с металлокерамическими накладками на основе серебра;
- гибкие связи медные;
- дугогасительные камеры.

Контакт медный подлежит замене, если в результате износа его толщина уменьшилась на 50 % от начальной. Медь износившейся части контакта теряется безвозвратно, так как в процессе эксплуатации она испаряется, разбрызгивается, превращается в окислы и механически истирается во время проскальзывания подвижного контакта. Медь сохранившейся части контакта может быть использована как вторичный ресурс.

Контакт медный с металлокерамическими накладками на основе серебра подлежит замене, если в результате износа толщина накладки уменьшилась на (80...90) % от первоначальной. Материал износившейся части, так же как и в медном контакте, теряется безвозвратно. При этом происходит опасное загрязнение окружающей среды, так как чаще всего в состав металлокерамической накладки наряду с серебром входит кадмий. Кадмий является канцерогеном, а все его соединения токсичны. Особенно опасным является вдыхание паров окиси кадмия CdO, которая является матрицей металлокерамической контактной накладки.

В НВК и СВК безвозвратных потерь меди главных контактов нет, так как контакты расположены внутри герметичной вакуумной камеры. Все материалы, испаряющиеся и разбрызгиваемые при износе контактов, остаются внутри камеры. Это позволяет использовать их вторично после переработки. Кроме того, окружающая среда не подвергается загрязнению продуктами горения дуги.

Одним из недостатков НВК является возможность генерирования опасных коммутационных перенапряжений в некоторых режимах работы. Для ограничения перенапряжений в конструкции контактов предусмотрена легкоплавкая составляющая, которая обычно состоит из олова и сурьмы. При правильной эксплуатации и утилизации НВК риск загрязнения окружающей среды этими материалами минимален. Однако остаётся проблема защиты персонала и окружающей среды на предприятиях - изготовителях вакуумных дугогасительных камер. Благодаря тому, что при работе СВК коммутационные перенапряжения сводятся к безопасному уровню за счёт свойств синхронного отключения, имеется возможность исключить из конструкции контактов легкоплавкую составляющую. Экономия ресурсов олова и сурьмы актуальна для отечественного хозяйства, так как собственных месторождений этих материалов в Украине нет.

Для оценки финансовых затрат был выбран удельный показатель – затраты на один цикл включения-отключения, осуществлённый рассматриваемым контактором:

$$Z = \frac{Z_K + n_K \cdot (Z_{\text{ПК}} + Z_{\text{ЗК}}) + n_D \cdot (Z_{\text{ПД}} + Z_{\text{ЗД}})}{N_M} + \frac{n_T \cdot (Z_{\text{ПТ}} + Z_{\text{ЗТ}}) + Z_O}{N_M}, \quad (4)$$

где  $Z_K$  – затраты на приобретение контактора, грн;  $n_K$  – количество замен контактов контактора;  $Z_{ПК}$  – затраты на приобретение контактов, грн;  $Z_{ЗК}$  – затраты на замену контактов, грн;  $n_D$  – количество замен дугогасительных камер контактора;  $Z_{ПД}$  – затраты на приобретение дугогасительных камер, грн;  $Z_{ЗД}$  – затраты на замену дугогасительных камер, грн;  $n_T$  – количество замен гибких связей контактора;  $Z_{ПГ}$  – затраты на приобретение гибких связей, грн;  $Z_{ЗГ}$  – затраты на замену гибких связей, грн;  $Z_O$  – затраты на обслуживание контакторов (про-верка раствора контактов, проверка и регулировка провалов, контактных нажатий и др.), грн.

Результаты исследований приведены в табл. 1.

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что по большинству энергоресурсосберегающих свойств СВК превосходит известные контакторы. Для более точной оценки энергоресурсосберегающих свойств СВК представляется целесообразным провести аналогичные исследования по большему количеству показателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності на 2010-2015 роки. [Електронний ресурс]: Постанова Кабінета Міністрів України від 01.03.10 р. № 243 . – Ре-

жим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?page=1&nreg=243-2010-%EF>.

2. Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр "Академия", 2008. – 208 с.

3. ДСТУ 3886-99. Энергосбережение. Системы электропривода. – Введен впервые; Введ. 18.06.99. – К.: Госстандарт Украины, 2000. – 55 с.

4. Электротехнический справочник: В 4 т. – Т. 4. Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г.Герасимова и др. (гл. ред. А.И.Попов). – 9-е изд., стер. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 696 с.

5. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия энергосбережения: Справочное издание: В 2-х книгах. Книга 2 / Под ред. В.Г.Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2005. – 768 с.

6. Могилевский Г.В. Гибридные электрические аппараты низкого напряжения.– М.: Энергоатомиздат, 1986. – 232 с.

7. ДСТУ 3052-95. Ресурсозбереження. Порядок встановлення показників ресурсозбереження у документації на продукцію. Введ. вперше; Чинний від 01.01.97. – К.: Держстандарт України, 1996. – 61 с.

Стаття надійшла 02.06.2011 р.  
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.  
Бялобржеським О.В.

**Таблица 1 – Энергоресурсосберегающие показатели низковольтных контакторов**

Показатель	Контактор				
	КТП6043	КВТн-400/1.14	КМ1937	КТ12P37	СВК
Номинальное напряжение, В	380	380, 660, 1140	380, 660, 1140	380, 660, 1140	380, 660, 1140
Номинальный ток, А	400	400	400	400	400
Механическая износостойкость, 10 <sup>6</sup> циклов ВО	10	3	5	5	5
Коммутационная износостойкость, 10 <sup>6</sup> циклов ВО	0.1	0.2	0.3	0.3	3
Масса, кг	39.5	12	16.4	22	24
Затраты на один цикл ВО, грн	0.007	0.011	0.02	0.016	0.002
Энергия дуги за один цикл ВО, кВт·ч	1.12·10 <sup>-3</sup>	6.75·10 <sup>-4</sup>	6.75·10 <sup>-4</sup>	6.75·10 <sup>-4</sup>	7.08·10 <sup>-3</sup>
Безвозвратные потери меди за время эксплуатации СВК, кг	7.5	0	0	0	0

## ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ВЛАСТИВОСТІ СИНХРОННОГО ВАКУУМНОГО КОНТАКТОРА

*О. В. Верхола, ст. викл.*

*Донбаський державний технічний університет, м. Алчевськ*

*пр. Леніна, 16, 94204, м. Алчевськ, Україна*

*E-mail: verkhola@mail.ru*

Розглянуто властивості синхронного вакуумного контактора, що забезпечують збереження електроенергії та контактних матеріалів.

**Ключові слова:** низьковольтний вакуумний контактор, синхронне відключення, ресурсозбереження.

## ENERGY AND RESOURCE SAVING PROPERTIES OF SYNCHRONOUS VACUUM CONTACTOR

*A. Verkhola, Sen. Lect.*

*Donbass State Technical University*

*pr. Lenina, 16, 94204, Alchevsk, Ukraine*

*E-mail: verkhola@mail.ru*

Consider the properties of synchronous vacuum contactor, providing energy savings and the contact materials.

**Key words:** low-voltage vacuum contactor, synchronous switch-off, resource saving.