

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В КОНТАКТНЫХ СИСТЕМАХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

В статье проведено исследование зависимостей величины потерь активной мощности в контактах и контактных системах автоматических выключателей, контакторов и магнитных пускателей от основных параметров электрооборудования. Разработаны модели функциональных зависимостей активных потерь от номинального тока для низковольтных коммутационных аппаратов некоторых заводов-изготовителей. Составлены аппроксимирующие функции данных характеристик и рассчитаны величина коэффициента детерминации полученных функций активных потерь и ошибка аппроксимации. Представлены графические зависимости исследуемых параметров низковольтной аппаратуры.

Ключевые слова: низковольтные коммутационные аппараты, контактные соединения, потери мощности, аппроксимирующие функции, конструктивные особенности.

Введение. В настоящее время низковольтное аппаратостроение во всем мире интенсивно развивается. Разрабатываются новые материалы и конструкции аппаратов, усложняются выполняемые ими функции. Предъявляются более жесткие требования к низковольтным коммутационным аппаратам (НКА), они должны обладать достаточным уровнем надежности и эффективно функционировать на протяжении всего срока эксплуатации [1, 2]. При этом НКА являются одними из основных элементов систем управления электроприводов и систем управления электрическими машинами [3]. Для правильного выбора типа и номинальных параметров НКА необходимо иметь достоверную информацию о величине расчетных нагрузок объектов электропотребления [4, 5].

Как известно, линии сетей внутрицехового электроснабжения содержат множество контактов и контактных соединений НКА. Для анализа и оценки потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях низкого напряжения необходимы данные о величине потерь в контактных соединениях НКА [6, 7].

Основными факторами, определяющими потери активной мощности в НКА, являются: величина номинального тока; геометрическая форма и площадь соприкосновения контактов; частота коммутаций аппарата; материал контактов: их форма и однородность структуры; сечения токопроводящих частей аппарата и среда эксплуатации электрооборудования.

На данном этапе развития электроэнергетики изменяются требования к учету потерь мощности и электроэнергии во внутрицеховых системах электроснабжения. При этом получение достоверной информации связано со сложностью определе-

ния параметрических и режимных данных систем электроснабжения. Достоверность информации о параметрах электрооборудования значительно повышает возможность принятия решений для увеличения энергоэффективности эксплуатации систем электроснабжения [8].

Постановка задачи. Для современных условий развития электротехнической промышленности характерным является увеличение номенклатуры выпускаемых НКА. Активно ведутся разработки по созданию как отечественных, так и зарубежных НКА. Исследуются новые конструкции аппаратов с дополнительными функциональными возможностями [2]. Так, например, современные автоматические выключатели в литом корпусе (АВАК) могут выполнять коммутационные операции без вмешательства оперативного персонала, т.е. работать в сочетании с программируемым логическим контроллером [9].

Проведем анализ и исследование технических параметров автоматических выключателей, магнитных пускателей и контакторов, которые наиболее распространены на отечественных промышленных предприятиях. Для исследования отобраны аппараты Курского электроаппаратного завода (КЭАЗ) и ряда зарубежных фирм-производителей (Schneider Electric, ABB, Legrand).

Большинство НКА предназначены для работы при длительном замкнутом состоянии контактов, поэтому необходимо, чтобы аппараты функционировали со стабильным значением переходного сопротивления контактных групп.

Как правило, в технической литературе не предоставляется информация о потерях мощности большинства НКА, в связи с этим возникает необходимость в исследовании законов изменения

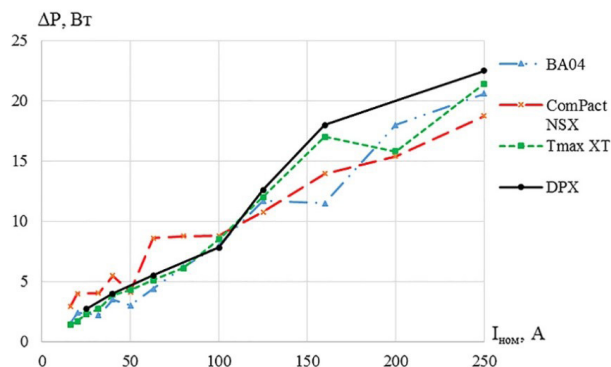


Рис. 1. Графические зависимости потерь активной мощности от номинального тока АВЛК различных заводов-изготовителей

потерь мощности в контактах и контактных соединениях различных групп аппаратов.

В зависимости от номинального тока аппарата его потери мощности будут различными. По каталожным данным НКА исследуем зависимость потерь мощности ΔP от номинального тока I_n для АВЛК (рис. 1), магнитных пускателей и контакторов (рис. 2) различных заводов-изготовителей.

Анализ данных (рис. 1) показывает, что основные технические параметры АВЛК заводов-изготовителей КЭАЗ, Schneider Electric, ABB и Legrand имеют близкие значения, однако имеются отличия в значениях потерь активной мощности на полюс.

На основании статистических данных отказов магнитных пускателей выявлено, что наиболее слабым элементом являются его силовые контакты [10]. При сравнении характеристик отечественных и зарубежных магнитных пускателей установлены сходства в технических параметрах. Так, для пускателей марок ПМЛ (КЭАЗ), КМИ (ИЕК) и EasyPact TVS (Schneider Electric) характерны одинаковые значения потерь активной мощности в силовых контактах.

Результаты экспериментов. Произведем аппроксимацию построенных функций для нахождения

зависимостей потерь мощности от номинального тока [11, 12]. Для исследуемых функций определим коэффициент детерминации R^2 и среднюю ошибку аппроксимации \bar{A} .

Аппроксимацией называют замену одних математических объектов другими, близкими к исходным:

$$\Delta P = F(I_n), \quad (1)$$

где $F(I_n)$ — функциональные зависимости значений потерь активной мощности от величины номинального тока; I_n — номинальный ток.

Коэффициент детерминации R^2 является статистической мерой согласия, с помощью которой можно определить, насколько модель регрессии соответствует данным, по которым она построена. Коэффициент R^2 соответствует значениям диапазона от 0 до 1 [13].

R^2 вычисляется по формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y})^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

где y_i — фактические значения переменных;

\hat{y} — расчетные значения исследуемой величины;

$\bar{y} = \frac{\sum_i y_i}{n}$ — среднее значение исследуемой величины;

$\sum_i (y_i - \hat{y})^2$ — сумма квадратов ошибок регрессии;

$\sum_i (y_i - \bar{y})^2$ — сумма квадратов отклонений точек данных от среднего значения.

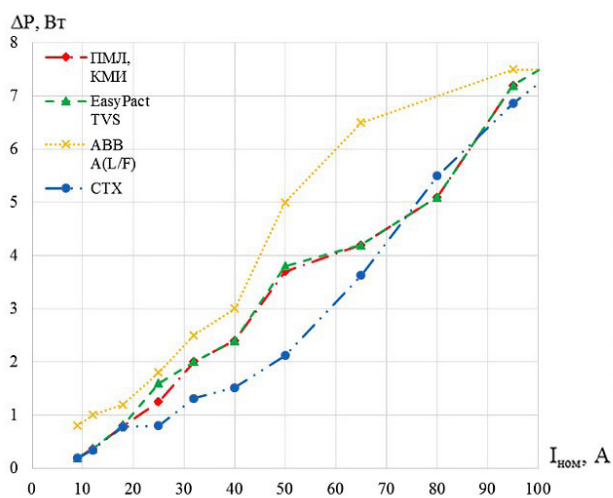
Исследуем параметры АВЛК ВА04 (КЭАЗ). При этом получены аппроксимирующие функции, которые представлены следующими выражениями:

— экспоненциальная

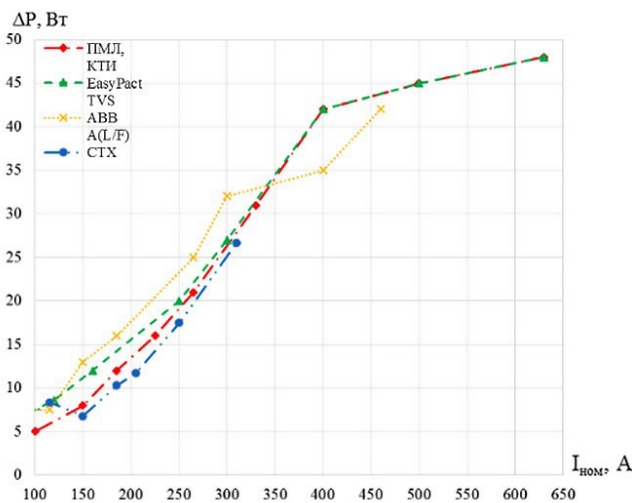
$$\Delta P_{BA1} = 1,9379e^{(0,0112 \cdot I_n)} \quad (3)$$

— линейная

$$\Delta P_{BA2} = 0,0869 \cdot I_n - 0,3237 \quad (4)$$



а)



б)

Рис. 2. Графические зависимости потерь активной мощности от номинального тока для: а — магнитных пускателей; б — контакторов

Результаты расчета коэффициента детерминации для полиномиальной функции

y_i	\hat{y}	\bar{y}	$(y_i - \hat{y})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	$\sum (y_i - \hat{y})^2$	$\sum (y_i - \bar{y})^2$	R^2	$\bar{A}, \%$
1,5	1,48	7,44	0,0003	35,265	8,59	515,11	0,9833	11,45
2,4	1,76		0,4051	25,381				
2,4	2,13		0,0795	25,381				
2,2	2,62		0,1773	27,437				
3,5	3,2		0,0867	15,508				
3	3,95		0,9035	19,696				
4,4	4,94		0,2948	9,229				
6,2	6,28		0,0066	1,533				
8	7,92		0,0071	0,316				
11,7	10,05		2,7291	18,165				
11,5	13,2		2,8951	16,500				
18	17,04		0,9111	111,55				
21,9	22,21		0,0964	209,15				

Таблица 2

Аппроксимирующие функции потерь мощности для исследуемых АВЛК

Аппроксимирующая функция		R^2	$\bar{A}, \%$
ВА04 (КЭАЗ)			
экспоненциальная	$\Delta P_{BA1} = 1,9379e^{(0,0112 \cdot I_n)}$	0,7629	19,65
линейная	$\Delta P_{BA2} = 0,0869 \cdot I_n - 0,3237$	0,9798	16,36
логарифмическая	$\Delta P_{BA3} = 6,6325 \cdot \ln(I_n) - 20,065$	0,8207	55,9
полиномиальная	$\Delta P_{BA4} = -8 \cdot 10^{-5} \cdot I_n^2 + 0,0673 \cdot I_n + 0,3855$	0,9833	11,45
степенная	$\Delta P_{BA5} = 0,1014 \cdot I_n^{(0,9518)}$	0,9639	10,4
ComPact NSX (Schneider Electric)			
экспоненциальная	$\Delta P_{NSX1} = 3,6152e^{(0,0076 \cdot I_n)}$	0,8286	18,3
линейная	$\Delta P_{NSX2} = 0,0668 \cdot I_n + 2,4667$	0,9690	10,71
логарифмическая	$\Delta P_{NSX3} = 5,3394 \cdot \ln(I_n) - 13,71$	0,8908	22,73
полиномиальная	$\Delta P_{NSX4} = -6 \cdot 10^{-5} \cdot I_n^2 + 0,082 \cdot I_n + 1,928$	0,9724	10,17
степенная	$\Delta P_{NSX5} = 0,4648 \cdot I_n^{(0,6584)}$	0,9673	10,4
Tmax XT (ABB)			
экспоненциальная	$\Delta P_{Tmax1} = 2,0861e^{(0,0107 \cdot I_n)}$	0,4659	32,27
линейная	$\Delta P_{Tmax2} = 0,0761 \cdot I_n + 0,6608$	0,9317	13,89
логарифмическая	$\Delta P_{Tmax3} = 6,1907 \cdot \ln(I_n) - 18,209$	0,8857	39,42
полиномиальная	$\Delta P_{Tmax4} = -2 \cdot 10^{-4} \cdot I_n^2 + 0,1209 \cdot I_n - 0,9538$	0,9541	13,27
степенная	$\Delta P_{DPX1} = 2,692e^{(0,0099 \cdot I_n)}$	0,9313	8,45
DPX (Legrand)			
экспоненциальная	$\Delta P_{DPX1} = 2,692e^{(0,0099 \cdot I_n)}$	0,6643	19,54
линейная	$\Delta P_{DPX2} = 0,0924 \cdot I_n + 0,4753$	0,9646	12,34
логарифмическая	$\Delta P_{DPX3} = 7,16 \cdot \ln(I_n) - 20,82$	0,8263	43,70
полиномиальная	$\Delta P_{DPX4} = -5 \cdot 10^{-5} \cdot I_n^2 + 0,1044 \cdot I_n + 0,0142$	0,9659	13,53
степенная	$\Delta P_{DPX5} = 0,1949 \cdot I_n^{(0,8492)}$	0,9485	15,37

— логарифмическая

$$\Delta P_{\text{BA3}} = 6,6325 \cdot \ln(I_{\text{H}}) - 20,065 \quad (5)$$

— полиномиальная

$$\Delta P_{\text{BA4}} = -8 \cdot 10^{-5} \cdot I_{\text{H}}^2 + 0,0673 \cdot I_{\text{H}} + 0,3855 \quad (6)$$

— степенная

$$\Delta P_{\text{BA5}} = 0,1014 \cdot I_{\text{H}}^{(0,9518)} \quad (7)$$

Вычислим коэффициент детерминации по выражению (2) для полиномиальной функции:

$$R^2 = 1 - \frac{(1,5 - 1,48)^2 + \dots + (21,9 - 22,21)^2}{(1,5 - 7,438)^2 + \dots + (21,9 - 7,438)^2} = 1 - \frac{8,59}{515,11} = 0,9833$$

Как известно, чем ближе значение коэффициента к 1, тем существеннее зависимость и точнее функция аппроксимации.

Далее вычислим среднюю ошибку аппроксимации:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_i \left| \frac{y_i - \hat{y}}{y_i} \right| \cdot 100 \% \quad (8)$$

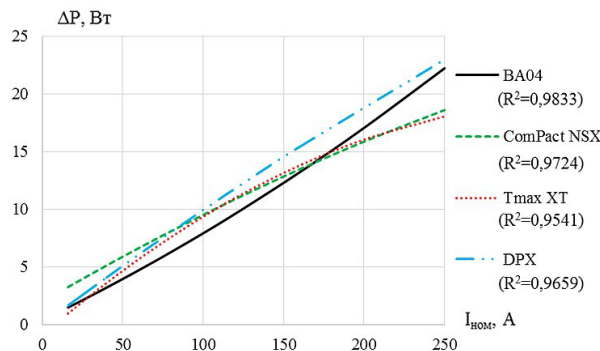


Рис. 3. Графики аппроксимирующих функций потерь активной мощности для АВЛК

$$\bar{A} = \frac{1}{13} \left(\frac{1,5 - 1,48}{1,5} + \dots + \frac{21,9 - 22,21}{21,9} \right) \cdot 100\% = 11,45\%$$

Ошибка составила менее 15%, что свидетельствует о достаточно высокой точности аппроксимации. Результаты расчета показаны в табл. 1.

В табл. 2 приведены аппроксимирующие функции для исследуемых АВЛК, их коэффициент детерминации и ошибка аппроксимации

Таблица 3

Аппроксимирующие функции потерь мощности для магнитных пускателей различных заводов-изготовителей

Аппроксимирующая функция		R^2	\bar{A} , %
ПМЛ (КЭАЗ); КМИ (IEK); EasyPact TVS (Schneider Electric)			
экспоненциальная	$\Delta P_{\text{ПМЛ1}} = 0,3607e^{(0,0363 \cdot I_{\text{H}})}$	0,504	46,08
линейная	$\Delta P_{\text{ПМЛ2}} = 0,0773 \cdot I_{\text{H}} - 0,5701$	0,9848	9,26
логарифмическая	$\Delta P_{\text{ПМЛ3}} = 2,697 \cdot \ln(I_{\text{H}}) - 6,7099$	0,8814	78,93
полиномиальная	$\Delta P_{\text{ПМЛ4}} = 9 \cdot 10^{-5} \cdot I_{\text{H}}^2 + 0,0679 \cdot I_{\text{H}} - 0,4125$	0,9856	7,23
степенная	$\Delta P_{\text{ПМЛ5}} = 0,0101 \cdot I_{\text{H}}^{(1,4646)}$	0,9483	13,87
ABB A (ABB)			
экспоненциальная	$\Delta P_{\text{ABB1}} = 0,853e^{(0,0272 \cdot I_{\text{H}})}$	0,67	22,58
линейная	$\Delta P_{\text{ABB2}} = 0,0877 \cdot I_{\text{H}} - 0,1078$	0,964	11,94
логарифмическая	$\Delta P_{\text{ABB3}} = 3,1114 \cdot \ln(I_{\text{H}}) - 7,2501$	0,89	41,45
полиномиальная	$\Delta P_{\text{ABB4}} = -3 \cdot 10^{-4} \cdot I_{\text{H}}^2 + 0,121 \cdot I_{\text{H}} - 0,666$	0,9717	17,5
степенная	$\Delta P_{\text{ABB5}} = 0,0703 \cdot I_{\text{H}}^{(1,0452)}$	0,962	11
CTX (Legrand)			
экспоненциальная	$\Delta P_{\text{CTX1}} = 0,2751e^{(0,0377 \cdot I_{\text{H}})}$	0,7942	29,36
линейная	$\Delta P_{\text{CTX2}} = 0,0762 \cdot I_{\text{H}} - 0,9405$	0,9576	52
логарифмическая	$\Delta P_{\text{CTX3}} = 2,5181 \cdot \ln(I_{\text{H}}) - 6,5$	0,7683	114
полиномиальная	$\Delta P_{\text{CTX4}} = 6 \cdot 10^{-4} \cdot I_{\text{H}}^2 + 0,0135 \cdot I_{\text{H}} + 0,112$	0,9925	12,48
степенная	$\Delta P_{\text{CTX5}} = 0,0088 \cdot I_{\text{H}}^{(1,4428)}$	0,98	11,45

Аппроксимирующие функции потерь мощности для контакторов различных заводов-изготовителей

Аппроксимирующая функция		R^2	\bar{A} , %
ПМЛ (КЭАЗ); КТИ (IEK); EasyPact TVS (Schneider Electric)			
экспоненциальная	$\Delta P_{\text{ПМЛ6}} = 5,5e^{(0,0042 \cdot I_n)}$	0,4058	28,03
линейная	$\Delta P_{\text{ПМЛ7}} = 0,0922 \cdot I_n - 2,9528$	0,9299	15,05
логарифмическая	$\Delta P_{\text{ПМЛ8}} = 27,167 \cdot \ln(I_n) - 126,6$	0,9389	25
полиномиальная	$\Delta P_{\text{ПМЛ9}} = -1 \cdot 10^{(-4)} \cdot I_n^2 + 0,1799 \cdot I_n - 15,52$	0,9725	14,8
степенная	$\Delta P_{\text{ПМЛ10}} = 0,0105 \cdot I_n^{(1,3517)}$	0,843	11,1
ABB A (ABB)			
экспоненциальная	$\Delta P_{\text{ABB6}} = 6,2703e^{(0,0045 \cdot I_n)}$	0,8278	17,82
линейная	$\Delta P_{\text{ABB7}} = 0,0969 \cdot I_n - 1,604$	0,9676	8,02
логарифмическая	$\Delta P_{\text{ABB8}} = 24,528 \cdot \ln(I_n) - 110,13$	0,9797	7,66
полиномиальная	$\Delta P_{\text{ABB9}} = -1 \cdot 10^{(-4)} \cdot I_n^2 + 0,178 \cdot I_n - 10,411$	0,9835	4,7
степенная	$\Delta P_{\text{ABB10}} = 0,0304 \cdot I_n^{(1,1926)}$	0,9461	9,54
CTX (Legrand)			
экспоненциальная	$\Delta P_{\text{CTX6}} = 3,0389e^{(0,0068 \cdot I_n)}$	0,9683	10,7
линейная	$\Delta P_{\text{CTX7}} = 0,1003 \cdot I_n - 6,7492$	0,8979	18,5
логарифмическая	$\Delta P_{\text{CTX8}} = 18,56 \cdot \ln(I_n) - 84,04$	0,7873	25,92
полиномиальная	$\Delta P_{\text{CTX9}} = 5 \cdot 10^{(-4)} \cdot I_n^2 + 0,1204 \cdot I_n + 14,614$	0,9887	6,2
степенная	$\Delta P_{\text{CTX10}} = 0,0137 \cdot I_n^{(1,2911)}$	0,8898	16,34

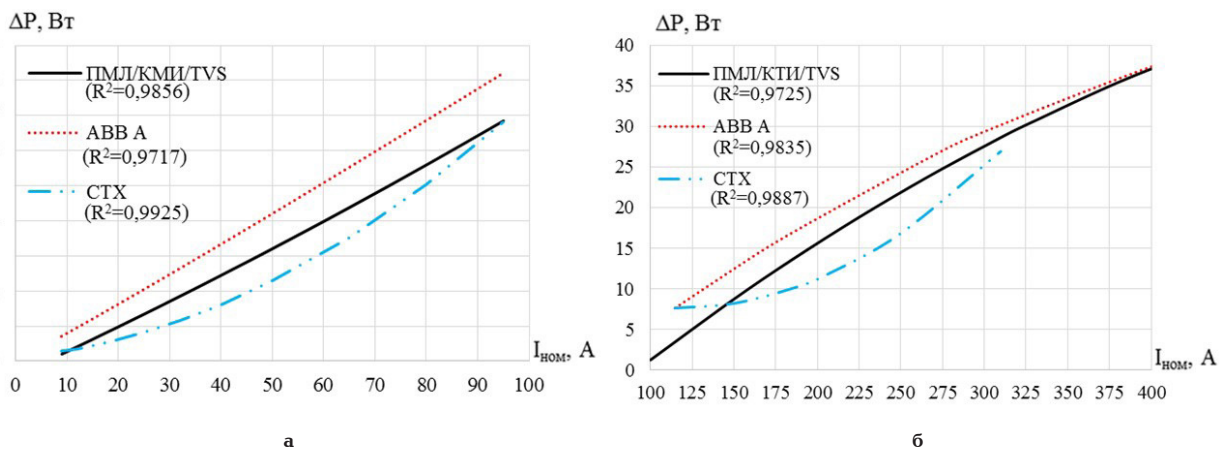


Рис. 4. Графики аппроксимирующих функций потерь активной мощности для: а — магнитных пускателей; б — контакторов

Данные (табл. 2) показывают, что наибольшая точность аппроксимирующих выражений для параметров, исследуемых АВЛК, характерна для полиномиальных функций зависимости $\Delta P = F(I_n)$, а наименее достоверно исследуемые параметры описывают экспоненциальные функции.

Таким образом, определены функциональные зависимости изменения потерь мощности на полюс от номинального тока — аппроксимирующие функции, имеющие наибольшие значения коэффициентов детерминации и наименьшие значения ошибок

аппроксимации. Для АВЛК, работающих с коэффициентом загрузки $K_3 = 1$, исследуемые зависимости имеют вид, представленный на рис. 3.

Далее исследуем технические характеристики магнитных пускателей марок ПМЛ (КЭАЗ), КМИ (IEK), EasyPact TVS (Schneider Electric), ABB A (ABB), CTX (Legrand); результаты представлены в табл. 3.

Результаты исследований (табл. 3 и 4) показывают, что наиболее точно зависимости потерь мощности от номинального тока магнитных пускателей и контакторов описывают полиномиальные выра-

жения, а наименее достоверными являются экспоненциальные и логарифмические функции.

В табл. 4 представлены аппроксимирующие функции потерь мощности для исследуемых контакторов марок ПМА (КЭАЗ), КТИ (IEK), EasyPact TVS (Schneider Electric), ABB A (ABB), CTX (Legrand).

Аппроксимирующие функции исследуемых магнитных пускателей и контакторов при $K_3 = 1$ с наибольшими коэффициентами детерминации представлены на рис. 4.

Заключение. В представленной статье проведено исследование зависимостей величины потерь активной мощности в автоматических выключателях, магнитных пускателях и контакторах от основных параметров оборудования. Сравнительный анализ технических характеристик автоматических выключателей ВА04, ComPact NSX, DPX, Tmax XT показал, что имеются различия в величинах потерь активной мощности на полюс аппарата.

Потери активной мощности в контактных системах магнитных пускателей и контакторов марок ПМА, КМИ/КТИ и EasyPact TVS совпадают.

Для исследуемых автоматических выключателей заводов-производителей низковольтной аппаратуры — КЭАЗ, Schneider Electric, Legrand и ABB в соответствии с каталожными данными разработаны функциональные зависимости активных потерь в контактных системах аппаратов от номинального тока. Аналогичные зависимости разработаны для магнитных пускателей и контакторов фирм — КЭАЗ, IEK, Schneider Electric, Legrand и ABB. Смоделированы зависимости изменения потерь мощности в контактах и контактных системах автоматических выключателей, магнитных пускателей и контакторов от номинального тока — аппроксимирующие функции, имеющие наибольшие коэффициенты детерминации и наименьшие ошибки аппроксимации.

Разработанные модели могут быть рекомендованы для уточнения величины потерь электроэнергии в системах внутрицехового электроснабжения.

Библиографический список

1. Грачева Е. И., Горлов А. И., Алимова А. Н. Алгоритмы и модели потерь мощности в автоматических выключателях, устанавливаемых в цеховых сетях // Вестник МГТУ. 2020. Т. 23, № 4. С. 345–353. DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-4-345-353.
2. Грачева Е. И., Горлов А. И., Алимова А. Н. [и др.]. Определение законов изменения сопротивления контактных групп электрических аппаратов низкого напряжения // Вестник МГТУ. 2021. Т. 24, № 4. С. 350–360. DOI: 10.21443/1560-9278-2021-24-4-350-360.
3. Сафин А. Р., Хуснутдинов Р. Р., Копылов А. М. [и др.]. Разработка метода топологической оптимизации электрических машин на основе генетического алгоритма // Вестник КГЭУ. 2018. № 4 (40). С. 77–85.
4. Солянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я. [и др.]. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62–71. DOI: 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71.
5. Солянов Ю. И., Федотов А. И., Ахметшин А. Р. [и др.]. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23, № 6. С. 134–147. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-6-134-147.
6. Егоров Е. Г., Иванова С. П., Луия Н. Ю. [и др.]. Исследование отключающей способности автоматических выключателей в режиме короткого замыкания // Электротехника. 2018. № 8. С. 12–15.
7. Егоров Е. Г., Егоров Г. Е., Луия Н. Ю. Особенности измерения восстанавливающейся электрической прочности в низковольтных контакторах переменного тока // Вестник Чувашского университета. 2019. № 3. С. 78–86.
8. Муратаева Г. А., Муратаев И. А., Сабитов С. Е. [и др.]. Метод оптимизации режима электрической сети для снижения потерь мощности // Вестник современных исследований. 2018. № 5.1 (20). С. 476–479.
9. Hnatiuc B., Borta M., Hnatiuc M. Switching Transient Regime of Shunts Release from a Low Voltage Circuit Breaker Commanded by a PLC // 2019 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), Craiova, Romania. 2019. P. 1–6. DOI: 10.1109/SIELMEN.2019.8905865.
10. Буторин В. А., Царев И. Б., Банин Р. В. [и др.]. Время первой проверки состояния контактов магнитного пускателя // Вестник Курганской ГСХА. 2019. № 2 (30). С. 58–60.
11. Feizifar B., Usta Ö. A new failure protection algorithm for circuit breakers using the power loss of switching arc incidents // Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences. 2019. № 27 (3). P. 1982–1997. DOI: 10.3906/elk-1805-84.
12. Lei C., Tian W., Zhang Y. [et al.]. Probability-based circuit breaker modeling for power system fault analysis // IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Tampa, FL, USA. 2017. P. 979–984. DOI: 10.1109/apec.2017.7930815.
13. Доугерти К. Введение в эконометрику. Москва: ИНФРА-М, 2009. 465 с.

ПЕТРОВ Алмаз Радикович, аспирант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Института электроэнергетики и электроники Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ), г. Казань.

Адрес для переписки: petroval13@mail.ru

ГРАЧЕВА Елена Ивановна, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Института электроэнергетики и электроники КГЭУ, г. Казань.

SPIN-код: 2676-5593

AuthorID (РИНЦ): 692465

ORCID: 0000-0002-5379-847X

AuthorID (SCOPUS): 57211789327

Адрес для переписки: grachieva.i@bk.ru

Для цитирования

Петров А. Р., Грачева Е. И. Моделирование потерь мощности в контактных системах низковольтных коммутационных аппаратов // Омский научный вестник. 2023. № 2 (186). С. 126–133. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-186-126-133.

Статья поступила в редакцию 08.02.2023 г.

© А. Р. Петров, Е. И. Грачева

MODELING OF POWER LOSSES IN CONTACT SYSTEMS OF LOW-VOLTAGE SWITCHING DEVICES

The article studies the dependences of active power losses in contacts and contact systems of circuit breakers, contactors and magnetic starters on the main parameters of electrical equipment. Models of functional dependences of active power losses on nominal current for low-voltage switching devices of some manufacturers are developed. Approximation functions of these characteristics have been compiled and the value of determination coefficient of the obtained functions of active losses and approximation error have been calculated. Graphical dependences of the investigated parameters of low-voltage equipment are presented.

Keywords: low-voltage switching devices, contact connections, power losses, approximating functions, design features.

References

1. Gracheva E. I., Gorlov A. N., Alimova A. N. Algoritmy i modeli poter' moshchnosti v avtomaticheskikh vyklyuchatelyakh, ustanavlivayemykh v tsekhovykh setyakh [Algorithms and models of power losses in circuit breakers installed in networks] // Vestnik MGTU. *Vestnik of MSTU*. 2020. Vol. 23, no. 4. P. 345–353. DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-4-345-353. (In Russ.).
2. Gracheva E. I., Gorlov A. N., Alimova A. N. [et al.]. Opredeleniye zakonov izmeneniya soprotivleniya kontaktnykh grupp elektricheskikh apparatov nizkogo napryazheniya [Resistance change of contact groups of low-voltage electrical apparatus: Determining the laws] // Vestnik MGTU. *Vestnik of MSTU*. 2021. Vol. 24, no. 4. P. 350–360. DOI: 10.21443/1560-9278-2021-24-4-350-360. (In Russ.).
3. Safin A. R., Khusnutdinov R. R., Kopylov A. M. [et al.]. Razrabotka metoda topologicheskoy optimizatsii elektricheskikh mashin na osnove geneticheskogo algoritma [Model of the control system rocking machines of oil the basic of a synchronous engines with the sensorless method] // Vestnik KGEU. *Vestnik KGEU*. 2018. No. 4 (40). P. 77–85. (In Russ.).
4. Soluyanov Yu. I., Fedotov A. I., Galitskiy Yu. Ya. [et al.]. Aktualizatsiya normativnykh znacheniy udel'noy elektricheskoy nagruzki mnogokvartirnykh domov v Respublike Tatarstan [Updating the Standard Specific Electric Loads of Apartment Buildings in the Republic of Tatarstan] // Elektrichestvo. *Elektrichestvo*. 2021. No. 6. P. 62–71. DOI: 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. (In Russ.).
5. Soluyanov Yu. I., Fedotov A. I., Akhmetshin A. R. [et al.]. Analiz fakticheskikh elektricheskikh nagruzok pomeshcheniy obshchestvennogo naznacheniya, vstroyennykh v zhilyye zdaniya [Analysis of the actual electrical loads of public premises embedded in residential buildings] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. *Problemy energetiki. Power Engineering: Research, Equipment, Technology*. 2021. Vol. 23, no. 6. P. 134–147. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-6-134-147. (In Russ.).
6. Egorov E. G., Ivanova S. P., Luiya N. Yu. [et al.]. Issledovaniye otklyuchayushchey sposobnosti avtomaticheskikh vyklyuchateley v rezhime korotkogo zamykaniya [Investigation of the breaking capacity of the automatic circuit-breakers in the short-circuit mode] // Elektrotehnika. *Electrical Engineering*. 2018. No. 8. P. 12–15. (In Russ.).
7. Egorov E. G., Egorov G. E., Luiya N. Yu. Osobennosti izmereniya vosstanavlivayushchey elektricheskoy prochnosti v nizkovol'tnykh kontaktorakh peremennogo toka [Features of measurement of recoverable electrical strength in low-voltage ac contactors] // Vestnik Chuvashskogo universiteta. *Bulletin of the Chuvash University*. 2019. No. 3. P. 78–86. (In Russ.).
8. Muratayeva G. A., Muratayev I. A., Sabitov S. E. [et al.]. Metod optimizatsii rezhima elektricheskoy seti dlya snizheniya poter' moshchnosti [Method for optimising grid operation to reduce power losses] // Vestnik sovremennykh issledovaniy. *Bulletin of Modern Research*. 2018. No. 5.1 (20). P. 476–479. (In Russ.).
9. Hnatiuc B., Borta M., Hnatiuc M. Switching Transient Regime of Shunts Release from a Low Voltage Circuit Breaker Commanded by a PLC // 2019 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), Craiova, Romania. 2019. P. 1–6. DOI: 10.1109/SIELMEN.2019.8905865. (In Engl.).
10. Butorin V. A., Tsarev I. B., Banin R. V. [et al.]. Vremya pervoy proverki sostoyaniya kontaktov magnitnogo puskatelya [Time of first check of condition contact magnetic pusher] // Vestnik Kurganskoy GSKHA. *Bulletin of KSAA*. 2019. No. 2 (30). P. 58–60. (In Russ.).
11. Feizifar B., Usta Ö. A new failure protection algorithm for circuit breakers using the power loss of switching arc incidents // Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences. 2019. No. 27 (3). P. 1982–1997. DOI: 10.3906/elk-1805-84. (In Engl.).
12. Lei C., Tian W., Zhang Y. [et al.]. Probability-based circuit breaker modeling for power system fault analysis // IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Tampa, FL, USA. 2017. P. 979–984. DOI: 10.1109/apec.2017.7930815. (In Engl.).
13. Dougerti K. Vvedeniye v ekonometriku [Introduction to econometrics]. Moscow, 2009. 465 p. (In Russ.).

PETROV Almaz Radikovich, Graduate Student of Power Supply of Industrial Enterprises Department, Institute of Electric Power and Electronics, Kazan State Power Engineering University (KSPEU), Kazan.

Correspondence address: petroval13@mail.ru

GRACHEVA Elena Ivanovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Power Supply of Industrial Enterprises Department, Institute of Electric Power and Electronics, KSPEU, Kazan.

SPIN-code: 2676-5593

AuthorID (RSCI): 692465

ORCID: 0000-0002-5379-847X

AuthorID (SCOPUS): 57211789327

Correspondence address: gracheva.i@bk.ru

For citations

Petrov A. R., Gracheva E. I. Modeling of power losses in contact systems of low-voltage switching devices // Omsk Scientific Bulletin. 2023. No. 2 (186). P. 126–133. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-186-126-133.

Received February 08, 2023.

© A. R. Petrov, E. I. Gracheva