

ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.316.37

А. М. Марков

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА ДУГОГАСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Рассматриваются проблемы расчёта дугогасительного устройства, позволяющего стабильно гасить дугу постоянного тока, возникающую на контактах электрического аппарата. Предложена методика выполнения расчёта дугогасительной системы, обеспечивающая необходимую инженерную точность и достоверность результатов.

Ключевые слова: электрическая дуга постоянного тока, коммутационная способность, поперечное магнитное поле, дугогасительная катушка тока.

Гашение электрической дуги в аппаратах низкого, до 1000 Вольт, напряжения является одной из актуальных проблем, содержащей весьма сложный комплекс вопросов электротехники и физики.

Задача проектирования дугогасительной системы заключается в том, чтобы система удовлетворяла следующим требованиям:

- имела заданную коммутационную — отключающую и включающую способность, т. е. величину отключаемых и выключаемых токов при заданных условиях;
- имела минимальное время горения дуги с целью уменьшения износа контактов и дугогасительной камеры;
- не создавала недопустимых перенапряжений;
- имела минимальные размеры дугогасительной системы и минимальный выброс пламени и ионизированных газов, могущих вызвать пробой изоляции между частями аппарата и комплектного устройства;
- имела минимальный звуковой и световой эффекты.

Гашение дуги постоянного тока в камере с продольной щелью в поперечном магнитном поле применяется в том случае, когда не удается погасить дугу механическим растягиванием и за счёт электродинамических усилий, возникающих вследствие взаимодействия магнитного поля тока, протекающего по деталям токоведущего контура и дуги [1, С. 270–273].

На рисунке 1 изображена типовая схема дугогасительной камеры с продольной щелью и поперечным магнитным полем. Камера имеет две боковые стенки 4 толщиной b_C из дугонагревостойкого электроизоляционного материала, охватывающие коммутирующие контакты 2 и 5. Расстояние между стенками (щель) в месте расположения контактов — δ_2 . Ширина технологического зазора b_3 между неподвижным контактом 2 и стенкой камеры 4 составляет 2 мм. К внешней поверхности стенок прилегают пластины-полюсы 25 электромагнитной системы, имеющей сердечник 1 и дугогасительную катушку 24. Расстояние

между пластинами-полюсами — δ_1 . Создаваемый электромагнитной системой магнитный поток Φ проходит между пластинами-полюсами в зоне образования и горения дуги, с последующим исчезновением после погасания дуги.

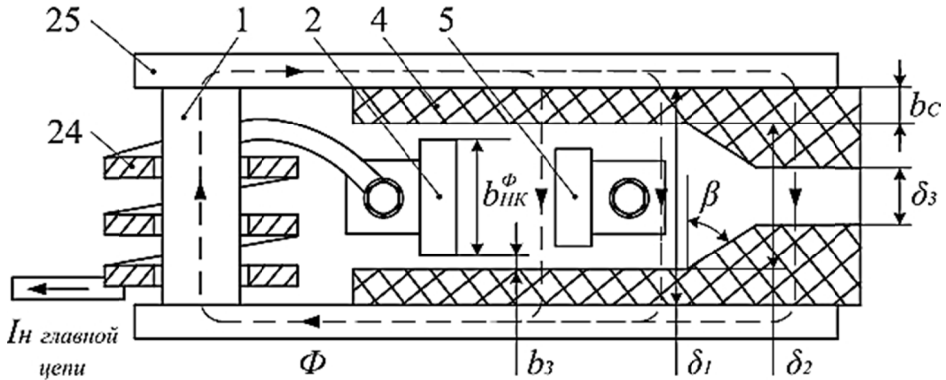


Рис. 1. Схема конструкции дугогасительной камеры с катушкой тока

При размыкании контактов 2 и 5 между ними образуется электрическая дуга. Вследствие возникших сил F_D (от магнитного поля и электродинамических усилий контура тока) дуга удлиняется, входит в узкую щель δ_3 , при этом её опорные точки перемещаются по дугогасительным рогам (на рисунке не показаны). С целью сокращения габаритов камеры и контактора, а также снижения массы и экономии материалов допускается выход дуги из камеры.

Большая длина дуги приводит к большим габаритам камеры и аппарата. Следует иметь в виду, что увеличение длины дуги при одинаковых габаритных размерах камеры можно получить за счёт применения зигзагообразной щели.

Для того чтобы загнать дугу в узкую щель, необходимо иметь плавный переход с углом сужения дугогасительной камеры β из широкой контактной части камеры δ_2 в щель δ_3 и создать достаточную напряженность H поперечного магнитного поля.

Напряженность H должна быть достаточной, чтобы загнать дугу в щель δ_3 . В таблице 1 приведены значения минимальной напряженности магнитного поля H_{min} , достаточной для вхождения дуги в узкую щель. Здесь $I_{от}$ — отключаемый ток; δ_2 — внутренняя ширина контактной части камеры; δ_3 — ширина щели; β — угол в месте перехода от δ_2 к δ_3 , как это показано на рисунке 1.

Следует отметить, что при последовательно включенной дугогасительной катушке её намагничивающая сила НС $(I \times w)_{ДКТ}$ ($w_{ДКТ}$ — число витков катушки 24) пропорциональна величине отключаемого тока.

Намагничивающая сила и сечение магнитопровода 1 рассчитываются так, чтобы при небольших разрываемых токах не было насыщения, а почти вся НС приходилась на воздушный зазор δ_1 между полюсами магнитопровода, т. е. на межконтактный промежуток, из которого надо вытолкнуть образовавшуюся дугу. При больших же токах магнитопровод должен быть насыщен, чтобы сни-

зять напряженность магнитного поля H в воздушном промежутке между полюсами и тем самым уменьшить скорость движения дуги, интенсивность её гашения, перенапряжения и износ контактов. Об отсутствии и наличии насыщения магнитопровода можно судить по кривой намагничивания магнитопровода, полученной при расчёте магнитной системы дугогашения.

Таблица 1

Минимальная напряженность H_{min} магнитного поля, требующаяся для перемещения дуги D в щель δ_3 дугогасительной камеры

Ток $I_{ог}$, А	δ_2 , мм	Минимальная напряженность H_{min} поля, А/см							
		$\delta_3 = 1$ мм			$\delta_3 = 2$ мм			$\delta_3 = 4$ мм	
		$\beta = 30^\circ$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 75^\circ$	$\beta = 30^\circ$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 75^\circ$	$\beta = 30^\circ$	$\beta = 75^\circ$
2	2	14	12	6	–	–	–	–	–
	4	–	104	–	8	6	2	–	–
	8	–	152	–	–	–	–	2	2
	16	168	164	136	20	12	10	2	2
35	2	22	18	10	–	–	–	–	–
	4	–	120	–	10	10	1,2	–	–
	8	–	155	–	–	–	–	4	1,2
	16	184	172	124	32	14	10	4	1,2
150	2	164	133	128	–	–	–	–	–
	4	–	137	–	10	6	2	–	–
	8	–	164	–	–	–	–	6	1,2
	16	190	176	140	36	28	18	6	1,2
300	2	175	152	144	–	–	–	–	–
	4	–	–	–	15	–	4	–	–
	8	–	–	–	–	–	–	6	1,2
	16	195	176	165	40	–	19	6	1,2
600	2	132	104	54	–	–	–	–	–
	4	–	112	–	46	12	6	–	–
	8	–	148	–	–	–	–	6	1,2
	16	188	168	136	168	114	92	6	1,2

Желательно, чтобы напряженность поля H была оптимальной по износу контактов в режиме наиболее частых отключений тока. При размыкании контактов между ними возникает короткий перешеек из расплавленного металла. При малой напряженности поля H происходит повышенный износ контактов 2 и 5 вследствие испарения металла из-за значительной продолжительности горения дуги. При большой напряженности поля H износ контактов повышается вследствие выбрасывания (разбрызгивания) расплавленного металла коммутирующих контактов электродинамическими силами [2, С. 291–297].

Наличие внешнего магнитного поля способствует резкому сокращению раствора контактов в области малых токов и незначительно сказывается на

процесс гашения при токах 100 А и выше. Наиболее оптимальной магнитной индукцией является $B = 0,0069$ Тл. Дальнейшее увеличение индукции B незначительно влияет на процессе гашения, но требует большей мощности для создания магнитного поля и связано с увеличением затрат меди на катушку.

Расчёт критической длины отключаемой электрической дуги

В процессе гашения электрическая дуга растягивается до критической (конечной) длины $l_{кр}$, после чего распадается на части и гаснет. Величина $l_{кр}$ может быть определена по эмпирической формуле:

$$l_{кр} = k_{кр} \times U_H \times \sqrt[3]{I_{от}}, \text{ м} \quad (1)$$

где $l_{кр}$ — критическая длина электрической дуги; $k_{кр} = (7 \div 13) \times 10^{-5}$ м/В \times А — коэффициент критической длины дуги; U_H — номинальное напряжение главной цепи; $I_{от}$ — предельный отключаемый ток.

Коэффициент $k_{кр}$ зависит от величины индуктивности, входящей в состав сопротивления нагрузки главной цепи контактора.

Расчёт площади пластины-полюса магнитной системы

При применении щелевой камеры разрыв предельного тока $I_{от}$ сопровождается выходом дуги за пределы камеры на $0,1 \div 0,2$ м. С учётом этого требуемая для размещения дуги площадь боковой поверхности камеры $S_{дк}$ при типичном для контакторов соотношении её сторон 1:2 определяется как:

$$S_{дк} = \frac{(0,04 \times l_{кр}^2)}{k_{ип}}, \text{ м}^2 \quad (2)$$

где $S_{дк}$ — площадь боковой поверхности дугогасительной камеры; $k_{ип} 0,7 \div 0,8$ — коэффициент использования пространства щелевой камеры.

Площадь ферромагнитной пластины-полюса $S_{пп}$, обеспечивающей подвод магнитного поля в зону горения дуги, рассчитывается по формуле:

$$S_{пп} = 0,6 \times S_{дк}, \text{ м}^2 \quad (3)$$

Расчёт расстояния между пластинами-полюсами

Величина воздушного (немагнитного) зазора δ_1 в магнитной системе дугогасительной камеры равна расстоянию между полюсами и зависит от фактической ширины неподвижного контакта $b_{нк}^{\phi}$. Кроме этого, предусматривается технологический зазор b_3 между стенками камеры и контактом $b_{нк}^{\phi}$, а также учитывается толщина стенки b_c из дугостойкого материала. В итоге, расстояние между пластинами-полюсами определяется по формуле:

$$\delta_1 = (b_{нк}^{\phi} + 2b_3 + 2b_c) \times 10^{-3}, \text{ м} \quad (4)$$

где δ_1 — расстояние между пластинами-полюсами дугогасительной камеры; $b_{нк}^{\phi}$ — фактическая ширина неподвижного контакта; $b_3 = 2$ мм — ширина за-

зора между неподвижным контактом и стенкой камеры; $b_c = 5 \div 15$ мм – толщина стенки дугогасительной камеры.

Расчёт магнитного потока в зоне пластин-полюсов

Параметры дугогасительной катушки 24 определяются по среднему значению магнитной индукции B_c в зоне пластин-полюсов, величина которой влияет на электромагнитную силу F_d , воздействующую на электрическую дугу. Уменьшение её снижает эффективность дугогашения, повышает время горения дуги t_d , а увеличение приводит к росту коммутационных перенапряжений и повышенному износу коммутирующих контактов.

Опыт конструирования и эксплуатации показал, что величина магнитной индукции $B_c = (0,01 \div 0,02)$ Тл обеспечивает приемлемое время гашения дуги в пределах $0,05 \div 0,1$ с и сравнительно невысокие перенапряжения на расходящихся контактах электрического аппарата [3, С. 139–149].

Величина магнитного потока $\Phi_{пп}$ в зоне пластин-полюсов определяется по формуле:

$$\Phi_{пп} = B_c \times S_{пп}, \text{ Вб} \quad (5)$$

где $\Phi_{пп}$ — величина магнитного потока в зоне пластин-полюсов; B_c — среднее значение магнитной индукции; $S_{пп}$ — площадь пластины-полюса дугогасительной камеры.

Величину магнитного потока Φ_c в сердечнике 1 катушки тока можно вычислить по формуле:

$$\Phi_c = k_{MP} \times \Phi_{пп}, \text{ Вб} \quad (6)$$

где Φ_c — величина магнитного потока в сердечнике; $k_{MP} = 4$ — коэффициент магнитного рассеяния.

При расчётной индукции B_c магнитное сопротивление стали магнитопровода пренебрежимо мало по сравнению с магнитным сопротивлением зазора между полюсами, что позволяет считать магнитное сопротивление цепи полностью сосредоточенным на воздушном зазоре δ_1 . Тогда:

$$B_c = \mu_0 \times H = \frac{\mu_0 \times (I \times w)_{ДКТ}}{\delta_1 \times k_{MP}}, \text{ Тл} \quad (7)$$

где $(I \times w)_{ДКТ}$ — намагничивающая сила (НС) катушки тока; w — количество витков дугогасительной катушки тока; δ_1 — расстояние между пластинами-полюсами.

Определим намагничивающую силу $(I \times w)_{ДКТ}$ катушки тока:

$$(I \times w)_{ДКТ} = \frac{B_c \times \delta_1 \times k_{MP}}{\mu_0}, \text{ А} \quad (8)$$

где $(I \times w)_{ДКТ}$ — намагничивающая сила дугогасительной катушки тока; $\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6}$ Гн/м — магнитная постоянная.

Расчёт количества витков дугогасительной катушки тока

Количество витков $w_{\text{ДКТ}}$ дугогасительной катушки можно определить по формуле:

$$w_{\text{ДКТ}} = \frac{(I \times w)_{\text{ДКТ}}}{0,5 \times I_{\text{H}}}, \text{ число витков} \quad (9)$$

В формуле (9) коэффициент 0,5 позволяет учесть тот факт, что индукция B_{C} должна обеспечиваться при среднем значении разрываемого тока в цепи, изменяющегося в процессе дугогашения от I_{H} до 0. Полученное значение w округляется до ближайшего большего целого числа.

Расчёт площади поперечного сечения сердечника катушки тока

Площадь поперечного сечения S_{C} сердечника дугогасительной катушки должна быть достаточна для предотвращения состояния насыщения стали. Это позволяет сохранить линейную зависимость между магнитным потоком Φ_{C} и создающим его током I_{H} в широком диапазоне токовых нагрузок. Для рационального проектирования системы электромагнитного дутья насыщение сердечника должно наступать при токах отключения $I_{\text{OT}} = (2,2 \div 3,5) I_{\text{H}}$.

Площадь поперечного сечения S_{C} ферромагнитного сердечника дугогасительной катушки тока определяется по формуле:

$$S_{\text{C}} = \frac{\Phi_{\text{C}}}{B_{\text{C}}}, \text{ м}^2 \quad (10)$$

Далее вычисляется расчётная величина диаметра сердечника d_{C}^{PI} :

$$d_{\text{C}}^{\text{PI}} = \sqrt{\frac{4 \times S_{\text{C}}}{\pi}}, \text{ м} \quad (11)$$

Для определения фактического значения диаметра сердечника дугогасительной катушки тока d_{C}^{PI} , полученное значение d_{C}^{PI} округляется до большего целого числа.

На заключительном этапе работы был проведён сравнительный анализ технических параметров существующих конструкций систем дугогашения контакторов постоянного тока различных модификаций, а также выполнено сравнение экспериментальных и расчётных результатов. При этом был сделан вывод о том, что погрешность расчётов составляет не более 10 ÷ 15 %, что является достаточно хорошим результатом. Таким образом, предложенная методика расчёта дугогасительной системы обеспечивает получение достоверных результатов с необходимой инженерной точностью.

Литература

1. Электрические и электронные аппараты [Текст]. В 2 т. Т 1. Электромеханические аппараты: учебник для студентов высших учебных заведений / Под ред. А. Г. Годжелло, Ю. К. Розанова. М. : Издательский центр «Академия», 2010. 352 с.
2. Чунихин А. А. Электрические аппараты. Общий курс: учебник для вузов. М. : Энергоатомиздат, 1988. 720 с.

3. Сахаров П. В. Проектирование электрических аппаратов (общие вопросы проектирования): учебное пособие для студентов электротехнических вузов. М. : Энергия, 1971. 560 с.

A. M. Markov

PARTICULARITIES OF THE CALCULATION OF THE SYSTEM OF THE EXTINGUISHING THE ELECTRIC ARC IN ELECTROMAGNETIC CONTACTOR OF THE DIRECT CURRENT

They are considered problems calculation systems of the extinguishing the arc, allowing stable to extinguish the arc of the direct current, appearing on contact of the electric device. The offered methods of the system calculation execution of the extinguish, providing necessary engineering accuracy and validity result.

Keywords: electric arc of the direct current, including ability, transverse magnetic field, spool of the current for extinguishing the electric arc.

Марков Александр Михайлович — доцент кафедры «Электропривод и системы автоматизации» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, канд. техн. наук, доцент.

УДК 389

В. М. Коробов

ПОВЫШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЁЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены проблемы повышения метрологической надёжности информационно-измерительных систем. Показано, что точность измерений в этих системах определяется, в основном, погрешностью первичного преобразования измерительной информации. Рассмотрен способ аппаратной коррекции погрешностей параметрических датчиков, имеющих зависимость метрологических характеристик от времени и условий эксплуатации.

Ключевые слова: информационно-измерительные системы, метрологическая надёжность, погрешность измерения, первичные преобразователи измерительной информации, программная и аппаратная коррекция.

Проблемы компьютеризации измерительных средств стали активно обсуждаться в начале 1980-х гг. Это было обусловлено общими тенденциями в развитии вычислительной техники, темпами её освоения в измерительной практике, достижениями в разработке микропроцессорных средств и их технических приложений.

Включение процессора в состав измерительной цепи позволило возложить на программную часть измерительного средства реализацию сложных измерительных преобразований, обеспечивающих выполнение косвенных, сово-