

РЕФРАТ

Выпускная квалификационная работа включает в себя: 86 страницы, 5 рисунков, 18 таблиц, 74 формулы, 13 источников, 1 приложения, 5 чертежей. Объектом проектирования является автоматический выключатель с тепловым и электромагнитным расцепителем, с номинальным током 83 А и напряжением питающей сети 380 В, с частотой 50 Гц.

Цель работы: спроектировать автоматический выключатель с номинальным током 83 А, и напряжением питающей сети 380 В, с частотой 50 Гц. Спроектировать токоведущий контур, дугогасительную решетку, электромагнитный расцепитель, выбрать необходимые материалы, разработать технологию производства, доказать конкурентно способность данного технического решения, обозначить выявленные вредные факторы при разработке и эксплуатации. Результатом проделанной работы будет спроектированный автоматический выключатель с тепловым и электромагнитным расцепителем.

В процессе работы:

- проведен анализ готовых конструкций, выбран наиболее подходящий прототип автоматического выключателя ВА-57-80;
- произведен необходимый расчет основных элементов конструкции автоматического выключателя по заданным параметрам;
- выбраны необходимые материалы для автоматического выключателя;
- разработана технология производства автоматического выключателя;
- определены основы безопасности;
- рассчитаны основные элементы ресурсоэффективности и ресурсосбережения;

В процессе работы использовались программы для расчета, проектирования: «Coil V2.1, Mathcad, Компас-3D v15».

Введение

В данной выпускной квалификационной работе требуется спроектировать автоматический выключатель с тепловым и электромагнитным расцепителем. Необходимо проанализировать исходные данные, рассчитать основные элементы конструкции автоматического выключателя; произвести расчет для токоведущего контура так, чтобы выполнялось условие термической стойкости проводника; произвести расчет силы контактного нажатия и произвести поверочный тепловой расчет; произвести расчет величины переходного сопротивления контактов; рассчитать дугогасительную решетку; провести расчет электромагнитного расцепителя; разработать технологию производства автоматического выключателя; определить вредные факторы при разработке и эксплуатации проектируемого аппарата; рассчитать основные элементы ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для выбора прототипа мы сделали анализ готовых конструкций, и решений для автоматического выключателя с тепловым и электромагнитным расцепителем. Наиболее подходящими выключателями оказались серии ВА-57-80 которые предназначены для коммутации тока в номинальном режиме и отключении при токах короткого замыкания, перегрузках сети, а также до 30 коммутаций электрической цепи в сутки, которые рассчитаны для пользования в электросетях с номинальным рабочим напряжением 380 (В) переменного тока с частотой 50 (Гц).

Автоматический выключатель отличается, от контактора тем, что имеет узел защиты, он автоматически обнаруживает возникновение в сети аномальных условий и дающий сигнал на отключение. Т.к. контактор рассчитан только для отключения токов перегрузки, токи достигают нескольких тысяч ампер, то автоматический выключатель отключает токи короткого замыкания, которые достигают десятков и даже сотен кило-ампер. Автоматический выключатель редко коммутирует электрическую цепь, он служит для защиты сети в то время как контактор предназначен для частых оперативных включений номи-

нальных токов нагрузки. Главной задачей по защите сети от возможных замыканий, автоматический выключатель также способен выполнять и ряд других функций. Так, к примеру, в сетях с повышенной нагрузкой подобное устройство станет идеальным ограничителем напряжения.

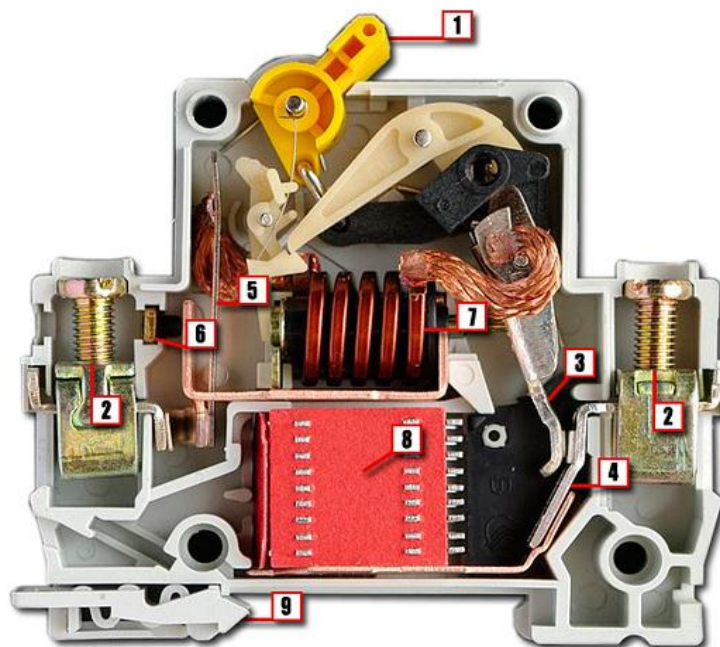


Рисунок 1 – Автоматический выключатель

На рисунке 1 изображен автоматический выключатель в разрезе. Автомат коммутирует электрическую цепь, к винтовым клеммам (2) подводятся и закрепляются контакты, подводимые к автомату. Подвижный контакт (3) подпружинен, необходим для быстрого расцепления контактов. Неподвижный контакт (4), осуществляет коммутацию цепи с подвижным контактом. Биметаллическая пластина (5), при превышении допустимого значения пластина нагревается, изгибается и приводит в действие механизм расцепления. Регулировочный винт (6), служит для настройки тока срабатывания. Соленоид (7), подвижный сердечник, который также приводит в действие механизм расцепления. Дугогасительная решетка (8), предотвращает возникновение электрической дуги при расцеплении контактов. Защелка (9), фиксирует корпус на DIN-рейке.

1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ С ТЕПЛОВЫМ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ РАСЦЕПИТЕЛЕМ

Основные технические данные :

- Номинальный ток выключателя I_n , А 83
- Номинальное рабочее напряжение главной цепи, 380 В ~ 50; 60 Hz
- Износостойкость выключателя общая коммутационная 10000 вкл

1.1. Определение токоведущего контура

В аппаратах в качестве основных материалов для токоведущего контура используют металлы: медь, бронза, латунь алюминий и др. Наиболее подходящая является медь. Для токоведущего контура расчет заключается в определении размеров сечения его частей. Сечение является исходной величиной для расчетов многих последующих вышеперечисленных частей аппарата.

Основной задачей для расчетов токоведущего контура является определение размеров сечения и частей токоведущего контура.

$I_n = 83 \text{ А}$ — номинальный ток аппарата;

ρ_{ϑ} — величина удельного сопротивления меди при температуре $\vartheta = 95 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

$\zeta = 0,05$ — коэффициент излучения;

Определение удельного сопротивления нагретой меди:

$$\rho_{\vartheta} = \rho_{20} (1 + \alpha (\vartheta)) \quad (1)$$

где $\rho_{20} = 1,62 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ — величина удельного сопротивления меди при температуре 20°C ; $\alpha = 0,00431$ — величина температурного коэффициента сопротивления меди;

1.2. Расчет и проверка сечения проводника на термическую стойкость

По формуле , минимальная площадь сечения проводника:

$$S_{\min} = I_{K3} \cdot \sqrt{\frac{t_{K3}}{A_K - A_H}} = 830 \cdot \sqrt{\frac{1}{(4.2 - 1.8) \cdot 10^4}} = 5.36 \text{ мм}^2 \quad (2)$$

где A_K и A_H определим по кривым нагрева проводников при кратковременном протекании тока для меди:

$$A_K = 4,2 \cdot 10^4 \frac{A^2 \cdot c}{\text{мм}^4}$$

при $T_K = 300^\circ \text{C}$,

$$A_H = 1,8 \cdot 10^4 \frac{A^2 \cdot c}{\text{мм}^4}$$

при $T = 100^\circ \text{C}$.

$t_{K3} = 1$ — длительность короткого замыкания.

$$b = \sqrt{n \cdot S_{\min}} = \sqrt{(1/3) \cdot 5.36} = 4 \text{ мм} \quad (3)$$

$$a = \frac{S_{\min}}{b} = \frac{5.36}{4} = 1.33 \text{ мм}, \text{ принимаем } a = 1.4 \text{ мм} \quad (4)$$

Уточняем

$$b = \frac{S_{\min}}{a} = \frac{5.36}{1.4} = 3.9 \text{ мм}, \text{ принимаем } b = 3.9 \text{ мм} \quad (5)$$

Рассчитаем окончательную площадь

$$S_{\min} = a \cdot b = 3.9 \cdot 1.4 = 5.46 \text{ мм}^2 \quad (6)$$

1.3. Рассчитываем сечение по номинальному току в продолжительном режиме

Учтем превышение температуры 5° технического запаса:

$$\nu_d = 105^\circ - 5^\circ = 100^\circ \text{C} \quad (7)$$

Разрешенное превышение температуры сечения:

$$\tau_d = \nu_d - \nu_0 = 100^\circ - 40^\circ = 60^\circ \text{C} \quad (8)$$

Температура определяющая конвекцию:

$$\nu_{cp} = \nu_0 + \frac{\tau_d}{2} = 40^0 + \frac{60^0}{2} = 70^0 C \quad (9)$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$\begin{aligned} K_{TO} &= 1.33 \left(\frac{T - T_{cp}}{L} \right)^{0.25} \cdot 2.04 \cdot 10^{-7} \cdot T_{cp}^3 \cdot \epsilon \cdot \left(\frac{2.08 \cdot T}{T_{cp}} - 1 \right) = \\ &= 1.33 \left(\frac{368 - 313}{1.4 \cdot 10^{-3}} \right)^{0.25} \cdot 2.04 \cdot 10^{-7} \cdot 313^3 \cdot 0.644 \cdot \left(\frac{2.08 \cdot 368}{313} - 1 \right) = 12.56 Bm / m^2 C^{\circ} \end{aligned} \quad (10)$$

L – определяющий размер равный а.

С учетом ухудшения в замкнутых средах коэффициент теплоотдачи:

$$K_{TOY} = \frac{K_{TO}}{1.5} = \frac{12.56}{1.5} = 8.37 Bm / m^2 C^{\circ} \quad (11)$$

Рассчитывать проводник следует по допустимому нагреву и номинальному току.

$$\Gamma = \frac{I_n^2 \cdot \rho_g \cdot 10^9}{K_{TO} \cdot \tau} = \frac{83^2 \cdot 2.28 \cdot 10^{-8} \cdot 10^9}{8.37 \cdot 60} = 312.8 мм^2 \quad (12)$$

$$b = \sqrt{\frac{\Gamma}{2 \cdot (n^2 + n)}} = \sqrt{\frac{312.8}{2 \cdot (9 + 3)}} = 8.3 мм \quad (13)$$

Принимаем из стандартного ряда $b = 8.3 мм$

$$a = \sqrt{\frac{\Gamma}{2 \cdot b} + \frac{b^2}{4}} - \frac{b}{2} = \sqrt{\frac{312.8}{2 \cdot 8.3} + \frac{8.3^2}{4}} - \frac{8.3}{2} = 1.85 мм \quad (14)$$

Принимаем из стандартного ряда $a = 1.9 мм$

$$n = \frac{b}{a} = \frac{8.3}{1.9} = 4.5 \quad (15)$$

Рассчитаем площадь шины:

$$S = a \cdot b = 8.3 \cdot 1.9 = 15.77 мм^2 \quad (16)$$

Уточненное значение температуры шины:

$$\tau y = \frac{I_n^2 \cdot k_d \cdot \rho_0}{K_{тоу} \cdot p \cdot S} = \frac{83^2 \cdot 1 \cdot 2.282 \cdot 10^{-8}}{8.37 \cdot 0.02 \cdot 5.32 \cdot 10^{-5}} = 17.3^0 C \quad (17)$$

$$p = 2 \cdot (a + b) = 2 \cdot (1.9 \cdot 10^{-3} + 8.3 \cdot 10^{-3}) = 0.02 \cdot 10^{-3} м \quad (18)$$

$$\theta = \tau y + 40 = 57.3^0 C \quad (19)$$

Принимаем площадь шины $S = 15.8 \text{ мм}^2$ и размеры сторон, рассчитанные по термической стойкости $a = 1.9 \text{ мм}^2$, $b = 8.3 \text{ мм}^2$.

Можно утверждать, что при исходных заданных данных установившееся превышение температуры получилось много допустимого, тк. шина была выбрана по термической стойкости.

1.4. Сила контактного нажатия

В настоящее время все электронные аппараты должны иметь перегрузочную способность, поэтому, рассчитывая силу конечного контактного нажатия, мы должны обеспечивать нормальную работу контактного узла, при всех режимах. В нашем случае необходимо предусматривать, чтобы исключалось сваривание контактов, их отброс, а также значительная вибрация, при их включении аппарата. При расчете контактного нажатия нам необходимо учитывать износ контактов, и учитывать достаточную силу нажатия контактов, при полностью выбранном провале.

Для надежной работоспособности коммутируемых контактов нам необходимо соблюдать, чтобы температура точки соприкосновений контактов Θ_K не выходила за пределы температуры рекристаллизации металла Θ_P . При температуре рекристаллизации начинается размягчение металла, и нарушается строение кристаллической решетки, и остаточная деформация. Для температуры рекристаллизации соответствует напряжение рекристаллизации $U_p = 0,09 В$ при $\Theta_P = 180^0 C$ для серебра.

$$\text{Удельное нажатие } F_{yo} = 15 \frac{\text{гс}}{\text{А}}$$

Сила нажатия на контакт:

$$F_K = f_K \cdot I_H = 15 \cdot 83 = 1245 \frac{\text{Гс}}{\text{А}} = 9,7 \text{ Н} \quad (20)$$

Сила первоначального контактного нажатия:

$$F_{KH} = 0.63 \cdot F_K = 0.65 \cdot 9.7 = 6 \text{ Н} \quad (21)$$

Количество точек контактирования $n=1$

1.5. Определение переходного сопротивления контактов

Электрическое сопротивление контактов состоит из сопротивления контакт-деталей и переходного сопротивления контактов. Во время эксплуатации на местах контактирования образуется окисная пленка, которая создает дополнительное сопротивление. За счет нажатия контакта на выступающих его участках контакта окисная пленка разрушается, и образуется перешеек – металлического контакта. Диаметр контактной площадки измеряется микронами, он в тысячи раз меньше видимой поверхности контактирования. Таких площадок может быть несколько. Электрический ток вынужден проходить только через эти площадки, происходит стягивание тока к площадке и увеличивается переходное сопротивление, которое называют сопротивлением стягивания R_{ct} . Сопротивление стягивания определяется следующим образом

$$R_{ct} = \frac{\rho}{2 \cdot a} = \frac{3.72 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 2.83 \cdot 10^{-4}} = 6.72 \cdot 10^{-5} (\text{Ом}) \quad (22)$$

ρ – удельное сопротивление материала контакта, приведённое к температуре нагрева контактных площадок $\text{Ом} \cdot \text{м}$

a – радиус круглой элементарной площадки, зависящий от вида деформации, м

Радиус площадки контактирования зависит от силы контактного нажатия, формы и материала контакта. При слабых нажатиях контакта

наблюдаем упругую деформацию материала контакта, для контактирования поверхностей сфера - сфера радиус площадки контакта определяется по формуле:

$$a = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_K \cdot r}{E}} = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3}}{7,5 \cdot 10^{10}}} = 2,83 \cdot 10^{-4} \quad (см) \quad (23)$$

r – радиус сферы контактной площадки, $см$

Механическое напряжение контактной площадки:

$$\sigma = \frac{F_K}{\pi \cdot a^2} = \frac{6}{3,14 \cdot (2,83 \cdot 10^{-4})^2} = 2,38 \cdot 10^7 \text{ Н / см} \quad (24)$$

$\sigma < \sigma_{см}$ следует что деформация контактов упругая, значит радиус площадки контакта a был найден верно.

Радиус скругления сферы контакта:

$$r = \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + \Delta h^2}{2 \cdot \Delta h} = \frac{\left(\frac{1 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 + (0,1 \cdot 10^{-3})^2}{2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}} = 0,13 см^2 \quad (25)$$

F_K – сила контактного нажатия, $Н$

E – модуль упругости материала из которого изготавливаем контакт,
 $Н / см^2$

Определим переходное сопротивление контакта

$$R_{nx} = \frac{K_{nx} \cdot \left[1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha (\vartheta_{кон} - 20)\right]}{F_K^m} = \frac{0,3 \cdot 10^{-3} \left[1 + \frac{2}{3} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} (180 - 20)\right]}{0,058^{0,5}} = 1,78 \cdot 10^{-4} \quad (26)$$

где K_{nx} – коэффициент, который учитывает материал и состояние контактных поверхностей, $K_{nx} = (0,2, 0,3) \cdot 10^{-3}$;

F_{kk} – сила конечного нажатия контакта, $Н$

m – коэффициент формы поверхности контакта, для точечного контакта $m = 0,5$.

Уточним переходное сопротивление контакта

$$R_{пер} = \frac{R_{nx} + R_{cm}}{2} = \frac{1.78 \cdot 10^{-4} + 6.6 \cdot 10^{-5}}{2} = 1.261 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \quad (27)$$

Если коммутирующий контакт замкнут, то падение напряжения в токоведущем контуре электрического аппарата складывается из сопротивления коммутирующих контактов, и переходного сопротивления. Расчитаем падение напряжения:

$$U_{\kappa} = I_{ном} \cdot R_{пер} \quad U_{\kappa} = 83 \cdot 1.2 \cdot 10^{-4} = 9.96 \cdot 10^{-4} \text{ В} \quad (28)$$

Следовательно, падение напряжения на контакте связано с превышением температуры контактной площадки над температурой металла контакта.

зависимость:

$$\Delta \vartheta = \frac{U_{\kappa}}{8 \cdot \lambda \cdot \rho} = \frac{9.96 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 325 \cdot 3.72 \cdot 10^{-8}} = 10.3 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (29)$$

Превышение температуры допустимо не более $(5-10)^{\circ}\text{C}$, т.е. полученное нами значение не превышает допустимого значения температуры.

Определим температуру растекания контакта:

$$\Delta v_p = \frac{I_{ном}^2 \cdot R_{пер}}{2 \cdot \sqrt{K_{TOY} \cdot a \cdot \lambda \cdot S}} = \frac{83^2 \cdot 1.2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot \sqrt{8.37 \cdot 1.9 \cdot 10^{-3} \cdot 325 \cdot 15.3 \cdot 10^{-6}}} = 12 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (30)$$

$$\Delta v_{np} = \frac{I_{ном}^2 \cdot \rho_v}{K_{TOY} \cdot b \cdot S} = \frac{83^2 \cdot 2.28 \cdot 10^{-8}}{8.37 \cdot 8.3 \cdot 10^{-3} \cdot 15.3 \cdot 10^{-6}} = 14.6 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (31)$$

$$v_{\kappa} = \Delta v_{\kappa} + \Delta v_p + \Delta v_{np} + 40 = 14.6 + 12 + 10.2 + 40 = 76.9 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (32)$$

Определим ток плавления контактов :

Температура плавления контакта принимаем температуре плавления серебра так, как оно начинает плавиться первым.

$$v_{нл} = 960 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Рассчитаем радиус площадки соприкосновения контактов, при пластической деформации.

$$a = \sqrt{\frac{F_k}{\pi \cdot HB}} = \sqrt{\frac{12.2}{3.14 \cdot 60 \cdot 10^3}} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (33)$$

$$A = 1200;$$

$$I_{нл} = A \sqrt{0.102 F_k} = 1200 \cdot \sqrt{0.102 \cdot 12.2} = 1339 \text{ А} \quad (34)$$

$$I_{исв} = \frac{2 \cdot U_{нл} \sqrt{0.102 \cdot F_k}}{\rho \cdot \sqrt{\pi \cdot HB}} = \frac{2 \cdot 0.37 \cdot \sqrt{0.102 \cdot 12.2}}{3.7 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt{3.14 \cdot 60 \cdot 10^3}} = 5.5 \cdot 10^4 \text{ А} \quad (35)$$

Ожидаемый по расчетам ток сваривания превышает ток короткого замыкания. Необходимы расчёты контактов на термическую стойкость.

1.6. Расчет дугогасительной решетки.

При размыкании электрической цепи с помощью контактов электрического аппарата обычно этих контактах возникает дуговой разряд, если величина тока и напряжения больше критического значения. Это критические значение зависят от множества факторов: параметров цепи, материала контактов, свойств среды и др.

Создание дуги на контактах электрического аппарата часто ведет к их значительному износу и сокращению срока работы аппарата. Степенью износа находится практически в прямой зависимости от силы размыкаемого тока и времени гашения дуги. Самый простой способ уменьшить износ контактов под влиянием дуги, является сокращение времени горения дуги.

При переменном токе дуга является проводящим элементом цепи в течение всей полуволны тока. Этот процесс гашения дуги по хорошему прохо-

дит очень близко к нулевой паузе тока, когда электромагнитная энергия цепи находится близко к нулю. В результате этого, вероятность появления опасных перенапряжений очень мала.

При размыкании контактов возникает дуга под электромагнитными силами, вызванными взаимодействием тока протекающего по токоведущему контуру электрического аппарата приводит увеличению электрической дуги. Такое явление будет способствовать уменьшению времени гашения электрической дуги.

Величина раствора для контактов при гашении дуги переменного тока до 1000 В не имеет важного значения, как при постоянном токе. Но при большом растворе и длинной дуге без необходимости увеличивается выделяемая в ней энергия.

Гашение дуги переменного тока в дугогасительной решетке:

а) Материал изготовления пластин решетки (низкоуглеродистая сталь)

Штампованные пластины покрываются защитным гальванопокрытием от коррозии .

б) Расстояние между пластинами принимается $\delta_{пл}$ обычно от 2 до 12 мм, менее 2 мм не рекомендуется.

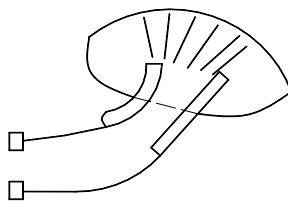


Рисунок 2 – Эскиз камеры с решёткой

Для автоматических выключателей предельный отключаемый ток цепей переменного тока:

$$I_{\text{прд.отк.}} = 10 \cdot I_N = 10 \cdot 83 = 830 \text{ A.} \quad (36)$$

После полного гашении дуги в любой момент времени когда, проход

тока через естественный ноль, восстанавливающая прочность межконтактного промежутка должна быть больше восстанавливающегося напряжения.

Определим величину начальной восстанавливающейся прочности. Для контактов из металлокерамики (Ag–CdO) при токе отключения $I_{отк.} = 830 \text{ А}$, начальная восстанавливающаяся прочность $U_{в.п.}^0 = 110 \text{ В}$.

Берем предельно возможную собственную частоту по кривым. Собственная частота отключаемой цепи, которая имеет значение $f_0 = 55 \text{ кГц}$, определяем по величине отключаемого тока.

По величине тока отключения определяем скорость роста прочности.

$$K_{\Pi} = 1,15 \text{ В / мкс.}$$

Для дугогасительных устройств со свободной дугой, определяем коэффициент амплитуды:

$$K_a = 1 + e^{-0,0003 \cdot f_0} = 1 + e^{-0,0003 \cdot 23000} \quad (37)$$

Рассчитаем удельную величину эквивалентного сопротивления дуги

$$R_{\text{д}}^0 = 0,015 + \frac{14200}{I_{отк}^2} = 0,015 + \frac{14200}{830^2} = 0,03 \text{ Ом / см} \quad (38)$$

Индуктивность отключаемой цепи:

$$L = \frac{U_H}{I_{от} \cdot \omega} \sqrt{1 - \cos^2 \phi} = \frac{380}{830 \cdot 314} \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,81 \text{ Гн.} \quad (39)$$

Определим длину дуги на один разрыв для токов (80,100) А

$$l_{\text{д}}^0 = \sqrt{\delta_K^2 + \frac{40,5 \cdot I_{отк}^2 \cdot t^2}{\delta_K}} = \sqrt{2^2 + \frac{40,5 \cdot 830^2 \cdot 0,008^2}{2}} = 29,9 \text{ мм.} \quad (40)$$

где t – время полного гашения дуги, принимаем меньше одного полу-периода тока $t = 0,008$ с, для того чтобы произошло гарантированное гашение дуги при первом переходе тока через нулевое значение.

Определим установившуюся температуру нагрева пластин по формуле:

$$T_y = 293 + 0.018 \cdot I_{откл} \cdot \sqrt{Z} + 0.05 \cdot Z = 293 + 0.018 \cdot 830 \cdot \sqrt{10} + 0.05 \cdot 10 = 340.7^\circ \text{K}. \quad (41)$$

где $I_{откл}$ – отключаемый ток, А

Z – число включений - отключений в час.

Определяем величину напряжения U_δ по формуле:

$$U_\delta^0 = (110 + 0.003 \cdot I_{откл}) \cdot (0.7 + 0.04 \cdot \delta_{пл}) = (110 + 0.003 \cdot 830) \cdot (0.7 + 0.04 \cdot 2) = 87,7 \text{ В} \quad (42)$$

где $\delta_{пл}$ расстояние между пластинами, мм

Определяем величину напряжения:

$$U^0 = 72 + 0.72 \cdot \delta_{пл} = 72 + 0.72 \cdot 2 = 73,4 \quad (43)$$

Определяем величину K_p^0 :

$$K_p^0 = \frac{(820 + 3^2 (\sqrt{I_{откл}} - 5.7)) \cdot \sqrt{\Delta} \cdot 10^6}{2 \cdot \sqrt{I_{откл}} \cdot (40 + \sqrt{T_y - 273})} = \frac{(820 + 3^2 (\sqrt{830} - 5.7)) \cdot \sqrt{2} \cdot 10^6}{2 \cdot \sqrt{830} \cdot (40 + \sqrt{T_y - 273})} = 5.1 \quad (44)$$

где $\delta_{пл}$ – это расстояние между пластинами, мм

$\Delta_{пл}$ – толщина

Определяем величину K_r по формуле:

$$K_r = \frac{L \cdot I_{откл}^{\frac{2}{3}} \cdot K_p^0}{1300} = \frac{8.74 \cdot 10^{-4} \cdot 830^{\frac{2}{3}} \cdot 5.1 \cdot 10^5}{1300} = 30.3 \quad (45)$$

где L – индукция отключаемой цепи, Гн

Определяется коэффициент K_H :

$$K_H = 0.9 \cdot K_{CX} \cdot \sqrt{1 - 0.8^2} = 0.9 \cdot 1.5 \cdot \sqrt{1 - 0.8^2} = 0.81 \quad (46)$$

Рассчитаем число пластин при апериодическом процессе:

$$\begin{aligned} n &\geq 0.6 + \left[\frac{\left[K_H U_H - Kr \left(1 + \left(\frac{l \cdot Kn \cdot Un}{Kr} \right) \right) \right]}{U^0 + 0.35 \cdot K_H \cdot U^0} \right]^2 = \\ &= 0.6 + \left[\frac{\left[0.81 \cdot 380 - 30.3 \left(1 + \left(\frac{2 \cdot 0.81 \cdot 380}{30.3} \right) \right) \right]}{73.4 + 0.35 \cdot 0.81 \cdot 87.7} \right]^2 = 12.4 \end{aligned} \quad (47)$$

где k_{CX} – коэффициент схемы определяем по схеме отключаемой цепи и отключаемого аппарата. Так для отключения трехфазной цепи для трехполюсных аппаратов $k_{CX} = 1,5$.

β_K – коэффициент, влияния контактного материала на скорость восстановления прочности. Дуга при , $n = 13$ будет гаситься.

Проверяем, выполнения условия перехода колебательного процесса восстановления напряжения, в апериодический:

$$f_0 = 23000 \geq (415 \cdot \sqrt{n_a - 0.6}) / \left(I^{\frac{2}{3}}_{откл} \cdot L \right) = \frac{415 \cdot \sqrt{13 - 0.6}}{L \cdot 830^{\frac{2}{3}}} = 18850 \text{ Гц}. \quad (48)$$

В нашем случае условие перехода выполняется, следовательно число разрывов дугогасительной решётки будет равно n_{na} . Следовательно, в рассматриваемом случае гашении дуги, наблюдается апериодический процесс восстановления напряжения. На основании этих расчетных данных, мы при

расчёте пластин при колебательном процессе, принимаем реальное число пластин, которое равно 13 расчётное значение .

1.7.Расчет электромагнитного расцепителя

Электромагнитный расцепитель автоматического выключателя обеспечивает очень быстрое срабатывание автомата в случае возникновения сверхтока короткого замыкания, достигающим тысяч ампер, что на графике время-токовой характеристики находится в нижней части, где время срабатывания составляет доли секунд, а токи во много раз превосходят номинальный ток автомата. Можно сказать, что характеристика расцепителя электромагнитного определяет мгновенное срабатывание автомата, при многократном превышении номинала автомата протекающим по цепи тока. Характеристика расцепителя электромагнитного соответствует нижней части характеристической кривой автоматического выключателя. В соответствии со схемой автоматического выключателя, электромагнитный расцепитель, который является просто соленоидом, подключен последовательно с силовыми контактами и тепловым расцепителем, что обеспечивает протекание тока через механизм электромагнитного расцепителя при включенном состоянии автомата. При появлении протекающего по автомату сверхтока короткого замыкания, ток, поступая на катушку соленоида электромагнитного расцепителя по гибкому проводнику от подвижного контакта, создает сильное магнитное поле, которое втягивает сердечник соленоида, который нижней своей частью толкает спусковую планку механизма расцепления автомата. Касание планки спускового механизма приводит к освобождению механической энергии, запасенной в спусковом механизме при взводе автомата. Усилие спускового механизма расцепляет силовую контактную пару и разрывает цепь, снимая напряжение с защищаемой линии прекращая течение тока по цепи.

1.7.1 Конструкция привода

Чертеж электромагнитного привода (ЭМП) с втяжным якорем с обозначением размеров показан на рис. 3.

ЭМП состоит из цилиндрического стального корпуса, в который помещается токопроводящая (обычно медная) обмотка, представляющая собой цилиндрический соленоид. С обеих сторон корпус закрывается стальными крышками. На одну из крышек устанавливается стальная вставка. В отверстие другой крышки вставляется стальной якорь. Между якорем и сердечником должен оставаться рабочий зазор. Величина рабочего зазора определяет максимальный ход якоря. При пропускании электрического тока через обмотку якорь создает тяговое усилие, стремясь втянуться внутрь обмотки. Для возврата якоря в исходное положение при отключении тока может использоваться пружина (на чертеже не показана).

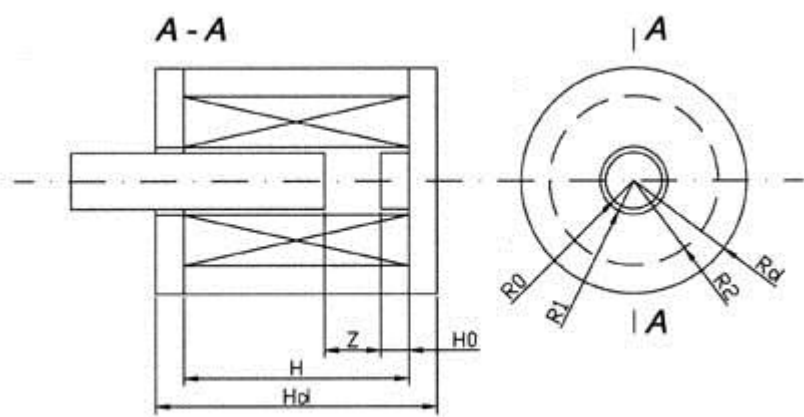


Рис. 3. Чертеж ЭМП.

1.7.2. Расчет допустимой плотности тока в обмотках

От плотности тока в обмотке зависит мощность тепловыделения и, соответственно, температура обмотки. Эта температура не должна превышать допустимой для данной марки провода. Расчет температуры внутри обмотки и, соответственно, допустимой плотности тока в обмотках можно произвести

методом конечных элементов . Величина допустимой плотности тока в проводах обмоток зависит от конструкции ЭМП и для соленоидов с толщиной обмотки ($R_2 - R_1$) до 20 - 30 мм может достигать 5 ... 8 А/мм² при длительной работе в воздушной среде температурой до 40 °С.

Если фактор упаковки принять равным 0.6, то при плотности тока в обмоточном проводе 5 А/мм² плотность тока в самой обмотке составит $5 * 0.6 = 3$ А/мм². При этом превышение температуры обмотки больше чем температура окружающей среды будет не более 60 °С, а теплостойкость изоляции обмоточного провода должна быть примерно 100 °С.

Если плотность тока в проводе обмотки достигает 7.5 А/мм² (плотность тока в обмоточном проводе 7.5 А/мм², плотность тока в самой обмотке 4.5 А/мм²), то превышение температуры обмотки больше температуры окружающей среды при длительной работе будет не более 120 °С. При намотке необходимо использовать провод с изоляцией соответствующей теплостойкости.

1.7.3. Расчет максимального тягового усилия ЭМП

Расчет распределения магнитного поля и возникающих при этом усилий можно произвести методом конечных элементов. Распределение магнитного поля в ЭМП показано на рис. 4.

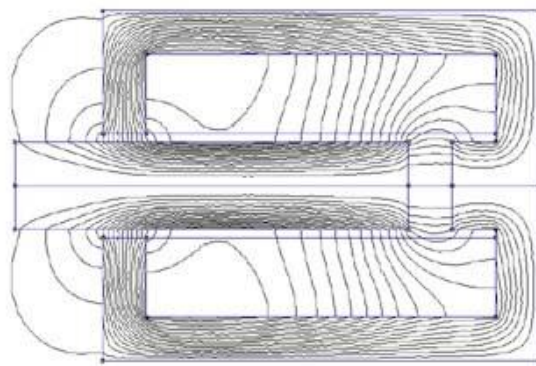


Рис. 4. Распределение магнитного поля в ЭМП.

1.7.4. Расчет обмотки ЭМП

Обмотка ЭМП представляет собой цилиндрический соленоид. Его расчет может быть выполнен разными способами, например, с помощью программы Coil . При заданных размерах соленоида и для заданного напряжения источника питания необходимо подобрать такой диаметр обмоточного медного провода, чтобы плотность тока в самом проводе была как можно ближе к полученному при расчете максимально допустимой плотности тока значению (например, 5 A/mm^2).

7.6. Расчет соленоида, воспользовались программой Coil V2.1 [13]

Coil V2.1: программа для расчета параметров и магнитного поля цилиндрического соленоида: активное сопротивление, индуктивность, потребляемый ток, рассеиваемая мощность, магнитная индукция в центре и в заданной точке пространства.

На рисунке 5 показан цилиндрический соленоид (без сердечника) в разрезе. Окружающая среда немагнитная и токонепроводящая (как правило, воздух).

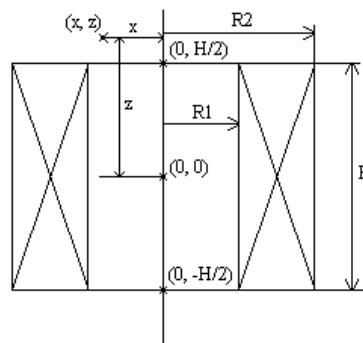


Рисунок 5 – геометрические параметры соленоида

Исходные данные:

$R1$ – внутренний радиус соленоида, м

$R2$ – внешний радиус соленоида, м

H – высота соленоида, м

D – диаметр обмоточного провода соленоида без изоляции, м

Λ – фактор упаковки (отношение площади, занятой проводом в поперечном сечении соленоида без учета изоляции, к площади поперечного сечения соленоида)

f – частота напряжения, Гц

E_d – значение напряжения, В

Расчетные данные:

R - активное сопротивление обмотки соленоида (условия нормальные), Ом

L - индуктивность соленоида, Гн

Z_L - реактивное сопротивление соленоида, Ом

N - число витков

I_d - действующее значение тока через соленоид, А

P - рассеиваемая в соленоиде мощность, Вт

B_{0d} - магнитная индукция (действующее значение) в центре соленоида, Тл

Программа Coil позволяет рассчитывать по заданным геометрическим размерам (R_1 , R_2 , H), диаметру провода D и фактору упаковки Λ : активное сопротивление R (по меди), индуктивность L , число витков N , величину тока I_d в обмотке при заданном напряжении E_d заданной частоты f , рассеиваемую при этом мощность P .

Для расчета соленоида, из размеров прототипа мы взяли геометрические параметры катушки, результат программы сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – результаты расчета соленоида

Параметры соленоида, источника питания	Значения	Расчетные данные	Значения
R_1 , м	0.007	R , Ом	$2 \cdot 10^{-3}$
R_2 , м	0.009	L , Гн	$4.86 \cdot 10^{-7}$
H , м	0.02	Z_L , Ом	$1.5 \cdot 10^{-4}$
D , м	0.002	N	7.639
Λ	0.6	I_d , А	6391
f , Гц	50	P , Вт	$6,314 \cdot 10^7$
E_d , В	380	B_{0d} , Тл	65,93
		m , кг	0,0105

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы был произведен анализ существующих конструкций автоматических выключателей, выбран наиболее подходящий прототип ВА-57-35. Спроектирован, токоведущий контур, определены площадь шины. Определенна необходимая сила контактного нажатия. Определенно переходное сопротивление контакта. Расчитанна дугогасительная решетка, число пластин в которой равно 13. Произведен расчет параметров катушки электромагнитного расцепителя, количество витков $n=8$, диаметр медного провода без изоляции 2 мм. Рассмотрели вопросы безопасности производства и эксплуатации при проектировании и производстве автоматического выключателя. Изучили порядок сборки, разборки, контрольных испытаний, ремонта. Так же составили маршрутную карту, где указано все оборудование, оснащение и приспособления, необходимые во время работы. Также в маршрутной карте было подробно описано выполнение операций сборки, контрольной операции и операции приемосдаточных испытаний, были разработаны эскизы, которые принадлежат к графической части данного курсового проекта. Составили пункты социальной ответственности, произвели анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации автоматического выключателя. Доказали конкурентоспособность данного технического решения, произвели SWOT-анализ, планирование, которое ограничило выполнение работы в 106 дней. Также был посчитан бюджет НТИ равный 247807 руб. Основная статья расходов приходится на зарплаты сотрудников.