

Введение

В данной выпускной квалификационной работе будет рассчитан и сконструирован разъединитель-переключатель с контактами врубного типа.

Разъединитель-переключатель предназначены для нечастых включений и отключений электрических цепей переменного тока 1140 В и частотой 50Гц, для создания видимого разрыва, входит в комплектацию силовых шкафов, щитов и других распределительных устройств электрической энергии без нагрузки и под нагрузкой .

Между контактами отключенного аппарата и выводами, оставшимися под напряжением, создается видимый воздушный промежуток, который гарантирует безопасные условия для работы обслуживающего персонала. Также конструкция разъединителя-переключателя позволяет осуществить реверс электродвигателя, это позволяет обойтись без дополнительного контактора, а значит, удешевляет конструкцию системы, в которой он установлен.

Исполнение корпуса из трекингоустойчивого материала, обеспечивает высокую взрыво- и пожаробезопасность, что позволяет применять разъединитель-переключатель в системах горно-шахтного оборудования, например, в трансформаторных подстанциях.

Основной задачей, является создание разъединителя-переключателя для коммутации электрических силовых цепей, обладающего высокой технологичностью производства, сборки и эксплуатации, высокими эксплуатационными свойствами, надежностью, безопасностью и широкими функциональными возможностями.

Для этого будут рассмотрены несколько видов различных разъединителей и на основе анализа конструкций выбран подходящий в качестве прототипа. И на основе прототипа рассчитан аппарат по исходным данным.

1. Обзор конструкций разъединителей-переключателей.

Наиболее распространенные на сегодняшний день и запущенные в серийное производство, являются разъединители-переключатели серии ВД 1-XX/5 X X УЗ.

Переключатели-разъединители трехполюсные для переднего присоединения проводников с передним приводом левого и правого расположения

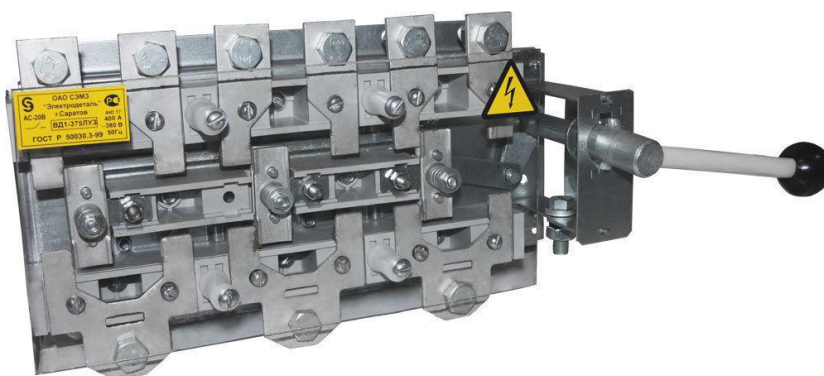


Рис.1. Разъединитель-переключатель серии ВД.

ВД 1-XX/5 X X УЗ

Условное обозначение аппарата:

1- серия разработки.

XX- условное обозначение номинального тока 35-250А

37- 400А

5- вид привода (передний).

X- расположение плоскости присоединения внешних зажимов
контактных выводов.

X- расположение привода. Л- левое

П- правое

УЗ- вид климатического исполнения. По ГОСТ 15150

Номинальное рабочее напряжение – 380 В.

Механическая износостойкость аппаратов на 400А категории применения АС-20В не менее 800 циклов «ВО»

Недостатками известных выключателей-разъединителей являются низкая технологичность производства, сборки и эксплуатации, невысокие эксплуатационные свойства, надежность, безопасность и недостаточные функциональные возможности.

Разъединитель серии HR 05

Также распространены разъединители с видимым разрывом типа HR 05 предназначенные для замыкания/размыкания цепей питания в промышленных и бытовых распределительных сетях напряжением до 690В, с созданием создания видимого разрыва.

Разъединители предусматривают установку ножевых предохранителей типоразмеров 0, 1, 2, 3, которые обеспечивают также защиту силовых цепей от перегрузки и короткого замыкания (в зависимости от характеристики предохранителей). Номинальный ток разъединителей 160, 250, 400 и 630А. Категория применения при 400В – АС 23В.



Рис. 2 Разъединитель серии HR- 05 (EASTEL)

Разъединитель HR-05 состоит из 2-х частей: стальной основы и пластиковой крышки-держателя. 3 пары контакторов установлены на основании с изоляционной прокладкой. Предохранитель установлен на

крышке-держателе. Пластиковая крышка кружится на оси и открывается таким образом, что предохранитель может полностью выниматься из литой установки. Для того, чтобы облегчить установку разъединителя и безопасно заменить предохранитель крышка легко снимается с основания.

Основные технические характеристики:

- Номинальное напряжение изоляции: 690 В.
- Номинальное рабочее напряжение - 660 В.
- Номинальный рабочий ток – 100 А, 200 А, 400 А, 630 А; 800 А (при 660 В: 100 А, 315 А, 425 А, 540 А).
- Механический срок службы разъединителя, циклов В-О: 1 700 циклов В-О (100 А), 1400 циклов В-О (200 А) и 800 циклов В-О (400 А и 630 А).
- Электрический срок службы 300 циклов и 200 циклов (200 А, 400 А и 630 А)

Разъединитель серии РЕ 19

Предназначены для пропускания номинальных токов и нечастых (до трех раз) неавтоматических коммутаций электрических цепей без нагрузки до 1000 В.

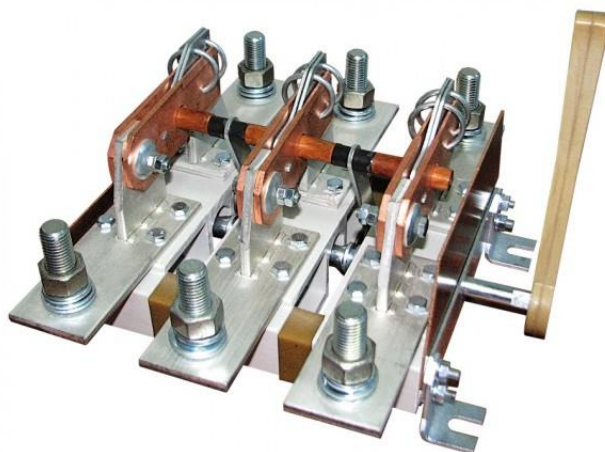


Рис.3. Разъединитель серии РЕ-19

- В конструкции разъединителя применена контактная система ножевого типа с видимым разрывом цепи;
- Токоведущие элементы изготовлены из высококачественной меди марки М1;
- Наличие вспомогательных контактов;
- Широкий выбор типоразмеров: по номинальному току; по виду ручного привода; по количеству направлений и полюсов; по расположению контактных выводов.

В конструктивном плане самые простые разъединители РЕ-19 состоят из нескольких контактов, которые закрепляются на изоляторы. В разъединителе РЕ-19 есть как подвижные, так и неподвижные контакты.

Разъединители РЕ-19 могут использоваться только для коммутации электрических цепей без тока нагрузки находящихся или не находящихся под напряжением. Допускается отключение отдельными разъединителями РЕ электрических сетей с небольшими токами.

Так как в нашей работе условием является коммутация цепи под нагрузкой, этот аппарат не подходит в качестве прототипа.

Разъединитель серии ВР-32

В данной работе в качестве прототипа был выбран разъединитель серии ВР-32

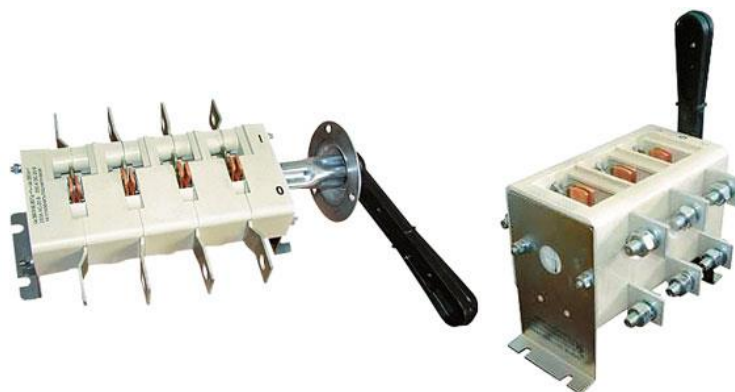


Рис. 4. Разъединитель серии ВР-32

Разъединитель-переключатель, содержит многосекционный изоляционный корпус, установленные в секциях изоляционного корпуса неподвижные контакты, управляющий вал, связанный с рукояткой, проходящий через секции изоляционного корпуса, подвижные контакты и крышки. Каждая секция изоляционного корпуса выполнена в виде контактного модуля, содержащего три неподвижных контакта, выполненных в виде контактных деталей, расположенных радиально, подвижную часть с установленными на ней подвижным контактом и механизм фиксации.

Технический результат заключается в повышении технологичности производства, сборки и эксплуатации путем полной унификации контактных модулей и крышек, снабженных замковыми соединениями, в обеспечении высоких эксплуатационных свойств путем обеспечения высокой коммутационной способности за счет обеспечения стабильного контактного нажатия и применения механизма фиксации, в повышении надежности и безопасности путем выполнения контактов с высокими коммутационными характеристиками, а разъединителя-переключателя пыле-влагозащищенным, в расширении функциональных возможностей путем обеспечения функции переключения цепей.

Данный класс аппаратов имеет достаточно большой раствор контактов, поэтому расчет на дугогасительные устройства не обязателен.

2. Расчет токоведущего контура и его частей

Предельно допустимая температура токоведущего контура выполненного из меди в аппаратах управления $T_d = 105^\circ C$ в продолжительном режиме. Принимается запас $\Delta T = 5^\circ C$.

$$T = T_d - \Delta T = 105 - 5 = 100^\circ C,$$

Следовательно превышение температуры :

$$\tau = T - T_{окр} = 100 - 40 = 60^\circ C.$$

Значение номинального тока $I_H = 400$ А берем за исходную величину при расчете токоведущего контура.

При отсутствии дополнительных требований исходя из тока короткого замыкания примем:

$$I_{кз} = I_H \cdot 10 = 10 \cdot 400 = 4000 \text{ А}.$$

Термическая устойчивость аппарата – это свойство аппарата кратковременно выдерживать тепловые воздействия тока короткого замыкания. Термическая устойчивость характеризуется током термической устойчивости, т.е. величиной тока неизменной силы, тепловое воздействие которой аппарат может выдержать в течение заданного времени так, что это не препятствует его исправной дальнейшей работе. Обычно время воздействия токов короткого замыкания значительно меньше постоянной времени нагрева токоведущих частей. При процессе нагрева тепло не отдается в окружающую среду, следовательно процесс считается адиабатический.

Расчет производим на время короткого замыкания $t_{кз} = 10$ с.

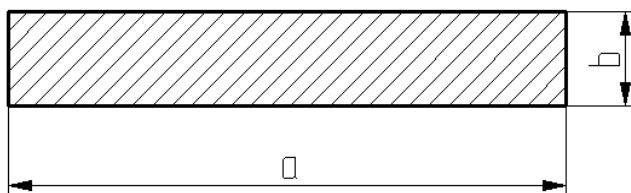


Рис.5. Эскиз сечения шины

Температура которая допустима для нагрева неизолированных токоведущих частей в режиме короткого замыкания и выполненных из меди, $T_k = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Рассчитаем площадь сечения шины:

$$S_T = I_{K3} \sqrt{\frac{t_{K3}}{A_K - A_H}} = 4000 \cdot \sqrt{\frac{10}{(3,75 - 1,5) \cdot 10^4}} = 84,32 \text{ мм}^2,$$

где A_K и A_H определим из кривых нагрева при кратковременном протекании тока для меди:

$$A_K = 3,75 \cdot 10^4 \frac{A^2 \cdot c}{\text{мм}^4}$$

при $T_k = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$,

$$A_H = 1,5 \cdot 10^4 \frac{A^2 \cdot c}{\text{мм}^4}$$

при $T = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Учитывая, что $S = a \cdot b$ и $n = \frac{a}{b} = 5$, получаем:

$$a_T = \sqrt{n \cdot S_T} = \sqrt{5 \cdot 84,32} = 20,5 \text{ мм},$$

$$b_T = \sqrt{\frac{S_T}{n}} = \sqrt{\frac{84,32}{5}} = 4,1 \text{ мм}.$$

Значение b_T округляется до ближайшего стандартного значения.

Выбираем $b_T = 4,5 \text{ мм}$.

Уточним значение размеров:

$$a_T = \frac{S_T}{b_T} = \frac{84,32}{4,5} \approx 18,8 \text{ мм}.$$

Уточнение значения площади сечения шины с учетом принятых значений:

$$S_T = a_T \cdot b_T = 18,8 \cdot 4,5 = 84,33 \text{ мм}^2.$$

2.1. Расчет сечения проводника по номинальному току.

В режиме номинального тока определяется сечения с учетом того, чтобы установившаяся температура частей токоведущего контура не была больше допустимой температуры для изоляции.

Процессы которые протекают в электрических аппаратах располагаются в пределах ограниченных температур, поэтому сложные процессы действия сразу трех видов теплообмена (конвекция, излучение и теплопроводность) рассматриваются как отдельные действия каждого вида, а потом складываются параметры, которые были полученные в результате отдельных расчетов. При этом учитывается влияние только конвекции и излучения из-за незначительного влияния теплопроводности.

Определяем значение средней температуры:

$$T_{cp} = T_{окр} + \frac{\tau}{2} = 40 + \frac{60}{2} = 70^{\circ}C.$$

Находим коэффициент теплоотдачи конвекции:

$$K_{ТОК} = \left(1,39 - \frac{T_{cp}}{700}\right) \left(\frac{\tau}{b_T}\right)^{0,25} = \left(1,39 - \frac{70}{700}\right) \cdot \left(\frac{60}{0,0045}\right)^{0,25} = 13,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Находим коэффициент теплоотдачи излучения:

$$K_{ТОи} = 0,227 \cdot \zeta \cdot \left(\frac{T_{cp} + 273}{100}\right)^3 = 0,227 \cdot 0,65 \left(\frac{70 + 273}{100}\right)^3 = 6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}},$$

где ζ – степень черноты, для меди $\zeta = 0,65$.

Суммарный коэффициент теплоотдачи определяется как:

$$K'_{ТО} = K_{ТОК} + K_{ТОи} = 2,41 + 7,05 = 19,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Т.к. шина располагается не в воздухе, а окружена остальными частями аппарата, коэффициент теплоотдачи уменьшается на 20-50 %. Для этого принимаем коэффициент $K_y = 1,3$ - коэффициент ухудшения.

$$K_{ТО} = \frac{K'_{ТО}}{K_y} = \frac{19,9}{1,3} = 15,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Рассчитываем удельное сопротивление меди при температуре T:

$$\rho = \rho_{20} (1 + \alpha(T - 20)) = 0,0184 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 0,0043(100 - 20)) = 2,47 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где ρ_{20} - это удельное сопротивление медного проводника при 20 °С,

$$\rho_{20} = 0,0184 \text{ мкОм} \cdot \text{м},$$

α - температурный коэффициент сопротивления, для меди в расчетах который принимают $\alpha = 0,0043 \frac{1}{^\circ\text{C}}$.

Находим величину геометрического показателя:

$$\Gamma = \frac{I_H^2 \cdot \rho \cdot 10^9}{K_{ТО} \cdot \tau} = \frac{400^2 \cdot 2,47 \cdot 10^{-8} \cdot 10^9}{15,3 \cdot 60} = 4038 \text{ мм}^2.$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{\Gamma}{2 \cdot n(n+1)}} = \sqrt[3]{\frac{4038}{2 \cdot 5 \cdot (5+1)}} = 4,2 \text{ мм}.$$

$$a = \sqrt{\frac{\Gamma}{2b} + \frac{b^2}{4}} - \frac{b}{2} = \sqrt{\frac{4038}{2 \cdot 4,2} + \frac{4,2^2}{4}} - \frac{4,2}{2} = 20,7 \text{ мм}.$$

Принимаем значение из стандартного ряда $a=25$ мм , $b=5$ мм.

Далее определяется фактическая площадь шины:

$$S_H = ab = 25 \cdot 5 = 125 \text{ мм}^2.$$

Выберем окончательные размеры шины, где $a=25$ мм, $b=5$ мм, которые удовлетворяют условиям термической устойчивости.

Производим проверку правильности выбора сечения шины.

Критерием правильности выбора сечения шины является величина тока термической стойкости:

$$\tau = \frac{P_{20} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot (T_{окр} - 20))}{K_{ТОп} \cdot \Pi - \alpha_{20} \cdot \rho_{20}} = \frac{1,5 \cdot (1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot (40 - 20))}{7,718 \cdot 8,6 - 4 \cdot 10^{-3} \cdot 1,84 \cdot 10^{-8}} = 3,7 \cdot 10^{-3}$$

$$I_{ТС} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot c \cdot s^2 \cdot (10^{-6})^2 \cdot \ln\left(\frac{1 + \alpha \cdot T_{кз}}{1 + \alpha \cdot T_H}\right)}{\rho \cdot \alpha \cdot t_{кз}}} = \sqrt{\frac{8900 \cdot 0,385 \cdot 159,8^2 \cdot (10^{-6})^{-2} \cdot \ln\left(\frac{1 + 0,004 \cdot 573}{1 + 0,004 \cdot 100}\right)}{2,17 \cdot 10^{-8} \cdot 0,004 \cdot 10}} = 12930 \text{ А}$$

Так, как ток термической стойкости получился значительно больше тока короткого замыкания, это удовлетворяет поставленному условию, следовательно размеры сечения шины выбраны правильно.

2.2. Проектирование контактных зажимов

Разъединители применяют не размыкаемые в процессе работы контактные соединения, это соединения внешних проводов и соединение токоведущих частей аппаратов внутри нее. В проектируемом аппарате применяют свинчиваемые соединения. Размеры контактного соединения выбираются по величине тока. На ток 400 А выбираем стальной болт диаметром 12 мм (М12). Выбираем площадку сечения под болт и рассчитываем давление болта:

$$j = (0,31 - 1,05 \cdot 10^{-4} \cdot (I_H - 200)) = (0,31 - 1,05 \cdot 10^{-4} \cdot (400 - 200)) = 0,29 \text{ А / мм}^2$$

$$s_K = \frac{I_H}{j} = \frac{400}{0,29} = 1384 \text{ мм}^2$$

$$P_0 = \frac{F_H}{s_K} = \frac{100}{13,84} = 7,23 \text{ кгс / см}^2$$

Переходное сопротивление контактного соединения:

$$R_{nx} = \frac{k_{nx}}{n(F)^m} \left(1 + \frac{2}{3} \alpha (T - T_{окр})\right) = \frac{0,98 \cdot 10^{-3}}{1(10 \cdot 10^3)^{0,7}} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 0,043(100 - 40)\right) = 1,83 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Расчет падения напряжения контактных соединений:

$$U_k = I_H \cdot R_{nx} = 400 \cdot 1,83 \cdot 10^{-6} = 7,29 \cdot 10^{-4} \text{ В.}$$

Находим температуру контактной площадки над температурой проводника:

$$\Delta\Theta_{кx} = \frac{U_k}{8\lambda\rho} = \frac{(7,29 \cdot 10^{-4})^2}{8 \cdot 390 \cdot 2,47 \cdot 10^{-8}} = 6,9 \cdot 10^{-3} \text{ С.}$$

3. Расчет коммутирующих контактов

Выбор конструкции контактной системы аппарата определяется по многим показателям. При больших токах, измеряемых сотнями ампер целесообразно применять линейный контакт клинового типа. При одинаковой силе нажатия переходное сопротивление линейных медных контактов в 2-3 раза меньше плоскостных. Узкая площадка линейного контакта создает хорошие условия для стирания окислов, пыли и продуктов разрушения металла дугой в процессе скольжения одного контакта по другому.

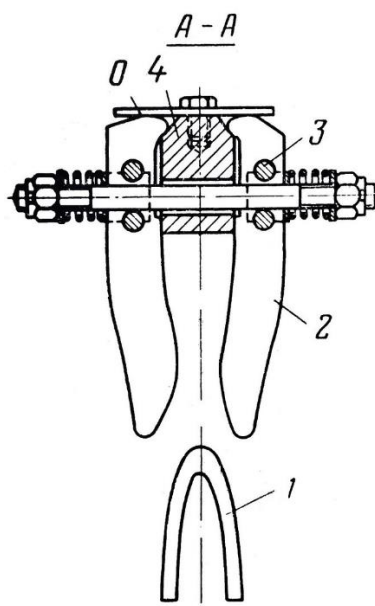


Рисунок 6. Контакт клиновой рычажный.

Материал коммутирующего контакта должен обладать такими свойствами, как низкое удельное и контактное переходные сопротивление, высокая теплопроводность, высокая стойкость против эрозии, коррозии и сваривания, высокая теплоемкость и температура плавления, высокая твердость следовательно и механическая износостойкость. Также материал должен обладать нужными технологическими свойствами и небольшой стоимостью. Материал контакта принимаем медь твердотянутая, имеет следующее обозначение М1-тв. Данный материал удовлетворяет большинству требований, имеет высокую дугостойкость, высокую стойкость против сваривания и высокую износостойкость.

Свойства выбранного материала (медь М1):

Удельное электрическое сопротивление: $\rho_{20} = 1,84 \cdot 10^{-8}$ Ом·м,

Плотность: $\gamma = 8,9$ г/см³,

Теплопроводность: $\lambda = 390$ Вт/(м·град),

Температурный коэффициент сопротивления: $\alpha = 0,0043$ 1/град,

Модуль упругости: $E = 12,3 \cdot 10^{10}$ Па.

Твердость по Бринеллю: $H_B = (8 \div 12) \cdot 10^8$ Па,

Размеры выбранных контактов в большей мере зависят от величины номинального тока.

Площадку подвижного контакта принимаем сферической.

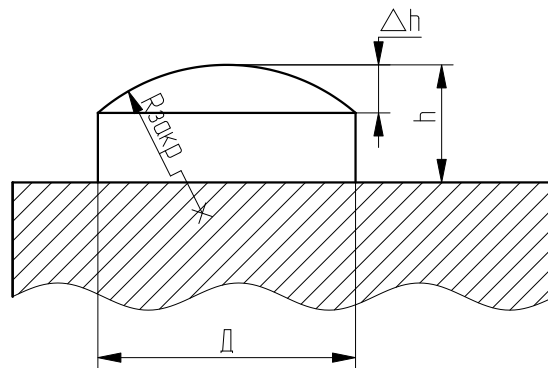


Рисунок 7. Контактная накладка сферической формы.

Цилиндрические контактные накладки принимаются по величине номинального тока. Примем диаметра контактной накладки согласно номинальному току $D = 32$ мм и высоту контакта $h = 3,5$ мм. Количество точек соприкосновения контактов принимается $n = 2$, так как контакт считаем линейным.

Находим радиус закругления контактов:

$$R_{\text{закр}} = \frac{(D/2)^2 + \Delta h^2}{2 \cdot \Delta h} = \frac{(32/2)^2 + 3,5^2}{2 \cdot 3,5} = 38,3 \text{ мм.}$$

Согласно ГОСТ 403-73 для контактов допустимая температура $T_{д} = 200^{\circ}C$. Данная температура ограничивается предельно допустимыми температурами соседних частей. Принимаем $T_{дон} = 120^{\circ}C$, т.к. контакты расположены рядом друг с другом.

В процессе протекания тока через замкнутые контакты при коммутациях, контакты сильно нагреваются, а переходное сопротивление увеличивается в связи с ростом удельного сопротивления материала контактов. Рассчитаем удельное сопротивление:

$$\rho = \rho_{20} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha (T_{дон} - 20)\right) = 1,84 \cdot 10^{-8} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 0,0043 (120 - 20)\right) = 2,631 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

В режимах кратковременных сверхтоков при пуске, перегрузке и коротком замыкании, для отсутствия возможности отбросов контактов вследствие электродинамических сил и их сваривания вследствие дугообразования при отбросах и вибрации, сила контактного нажатия должна быть достаточной величины.

Рассчитываем конечное контактное нажатие согласно:

$$F_K = f_K \cdot I_H = 200 \cdot 400 = 8000 \text{ гс} = 78,5 \text{ Н},$$

где f_K – удельное нажатие, для разъединителей. Удельное нажатие принимается в пределах $f_K = (100 \div 250)$ гс/А.

Примем окончательное значение $F_K = 78,5 \text{ Н}$.

По рекомендациям величина начального нажатия контактов принимается равной 0,4-0,75 величины конечного нажатия. Принимаем:

$$F_{KH} = 0,55 F_K = 0,55 \cdot 78,5 = 43,17 \text{ Н}.$$

Из результата исследования некоторых аппаратов установлено, что при силе нажатия от (0,1-0,15)Н до сотен ньютонов имеет место упругая деформация слоя металла. Задаем что деформация контактов –упругая. При этом виде деформации материала и радиус контактной площадки определяется по следующей формуле:

$$a = 1,11 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_K \cdot R_{закр}}{E \cdot n}} = 1,11 \cdot \sqrt[3]{\frac{78,5 \cdot 0,038}{12,3 \cdot 10^{10} \cdot 2}} = 2,55 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Определяется механическое напряжение для конечного нажатия:

$$P = \frac{F_K}{\pi \cdot a^2} = \frac{78,5}{3,14 \cdot (2,55 \cdot 10^{-4})^2} = 3,84 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2.$$

Находим переходное сопротивление коммутирующих контактов.

1. Находится переходное сопротивление, определяемое исходя из теоретических зависимостей. Зависимость для нахождения переходного сопротивления стягивания (сужения) имеет вид:

$$R_{CT} = \frac{\rho}{2 \cdot a \cdot n} = \frac{2,63 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 2,55 \cdot 10^{-4} \cdot 2} = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

2. Находится переходное сопротивление коммутируемых контактов, определяемое по зависимости которая основывается на опытных данных:

$$R_{PP} = \frac{k_{ПХ}}{(0,1 \cdot F_K)^m} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot (T_{дон} - 20) \right) =$$

$$= \frac{0,14 \cdot 10^{-3}}{(0,1 \cdot 78,5)^{0,7}} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 0,0043(120 - 20) \right) = 4,25 \cdot 10^{-5} \text{ Ом,}$$

где $k_{ПХ}$ – коэффициент, который учитывает материал и состояние контактных поверхностей, для меди $k_{ПХ} = (0,14)10^{-3}$,

m – коэффициент формы контактной поверхности, для точечного контакта $m=0,7$.

Находим напряжение на контакте:

При замкнутых коммутирующих контактах падение напряжения в токоведущем контуре аппарата в основном суммируется из переходного сопротивления коммутирующих контактов. Рассчитываем падение напряжения:

$$U_K = I_H \cdot R_{PP} = 400 \cdot 4,25 \cdot 10^{-5} = 17 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

В существующих конструкциях аппаратов управления при контактах в воздухе рассчитанное падение напряжения должно находиться в пределах до 2–20 мВ. Это условие в расчете выполняется.

Тепловой расчет

Определяем температуру коммутирующего контакта:

$$T_{KK} = \Delta T_{KX} + T_P + T_{Ш} + T_{ОКР.СР}.$$

Величина падения напряжения в контакте связана с превышением температуры контактной площадки над температурой металла контакта зависимостью:

$$\Delta T_{KX} = \frac{U_K^2}{8 \cdot \lambda \cdot \rho} = \frac{(17 \cdot 10^{-3})^2}{8 \cdot 390 \cdot 2,63 \cdot 10^{-8}} = 3,533^{\circ}C.$$

Температура не превышает (5-10) $^{\circ}C$, т.е. полученное значение не превышает допустимых значений.

$$T_P = \frac{P_K}{2\sqrt{\lambda \cdot S \cdot \Pi \cdot K_{ТО}}} = \frac{6,81}{2\sqrt{390 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0098 \cdot 7,718}} = 12,5^{\circ}C,$$

где P_K – тепловая мощность, выделяемая в контактах при прохождении тока:

$$P_K = I_H^2 R_{ПП} = 400^2 \cdot 4,25 \cdot 10^{-5} = 6,81 \text{ Вт.}$$

Т.о. температура коммутирующего контакта равна:

$$T_K = \Delta T_{KX} + T_P + \tau + T_{ОКР.СР} = 3,53 + 12,5 + 3,2 + 40 = 59,2^{\circ}C.$$

Т.к. шину выбрали по термической стойкости, ее температура значительно меньше допустимой. Поэтому температура коммутирующего контакта тоже значительно меньше принятого допустимого значения.

При протекании больших номинальных токов сквозь коммутирующие контакты, происходит повышенный нагрев и как результат их сваривание. Критерием оценки являются два параметра как начальный ток, ток сваривания и сила, которая потребуется для разрыва сварившихся контактов.

Существует несколько методов для определения тока сваривания.

Метод, приводящий к удовлетворительному совпадению расчетного значения с экспериментом, дает зависимость:

$$I_{CB} = \frac{2 \cdot U_{пл} \cdot \sqrt{F_K}}{\rho \cdot \sqrt{\pi \cdot H_B}} = \frac{2 \cdot 0,45 \cdot \sqrt{78,5}}{2,63 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt{3,14 \cdot 12 \cdot 10^8}} = 4936 \text{ А,}$$

где $U_{пл}$ – напряжение плавления металла контактов. Для контактов из меди $U_{пл} = 450$ мВ.

Другой методом определения тока сваривания, который устанавливает связь между падением напряжения в контактах и установившейся температурой контактной площадки, дает следующую зависимость:

$$I_{CB} = A \cdot \sqrt{f_{к.пл}} \cdot \sqrt{F_K} = 304 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{78,5} = 4467 \text{ А,}$$

где $f_{к.пл}$ – коэффициент, зависящий от силы нажатия и продолжительности импульса, характеризующий увеличение контактной площадки в процессе нагревания, который находится в пределах 2 – 4. Принимаем $f_{к.пл} = 3$;

A – постоянная для каждого материала величина,

$$A = \sqrt{\frac{32 \cdot \lambda \cdot T_{пл} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \alpha \cdot T_{пл}\right)}{\pi \cdot H_B \cdot \rho \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot T_{пл}\right)}} = \sqrt{\frac{32 \cdot 390 \cdot 1083 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,0043 \cdot 1083\right)}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^8 \cdot 2,63 \cdot 10^{-8} \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 0,0043 \cdot 1083\right)}} = 291,1$$

Расчетные значения токов сваривания значительно превышают ток короткого замыкания. Следовательно контакты удовлетворяют условиям расчета на термическую стойкость.

Динамическая стойкость

Проверяем силу отброса контактов. Электродинамическая сила, вызывающая отталкивание контактов, возникает вследствие сужения линий тока в контакт - детали при подходе его к месту контактирования:

$$F = 10^{-7} (I_{кз} / 2)^2 \cdot \ln(D / d) = 10^{-7} \cdot 2000^2 \cdot \ln\left(\frac{32 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}}\right) = 1,67 \text{ Н.}$$

Для надежной работы аппарата нужно чтобы выполнялось условие, где F не превышает (10-20)% от значения F_K ((10-20)% $F_K = (7,85-15,7)$ Н). Данное условие выполняется. A рассчитанная сила нажатия больше силы

электродинамического отталкивания в контактах, следовательно контакты не будут расходиться под действием электродинамических сил.

Ток сваривания получился больше тока короткого замыкания, значит материал и контактное нажатие были выбраны верно, что гарантирует безотказную работу аппарата. Это означает что в случае протекания больших токов и при дугообразовании не произойдет сваривание контактов. В нашем случае, ток сваривания является критерием правильного выбора контактов.

4. Расчет контактной пружины

Для выбранной конструкции подвижного контакта используем четыре пружины, для повышения устойчивости конструкции и уменьшения габаритных размеров. Расчет произведем для одной пружины, пример пружины на рис.6.

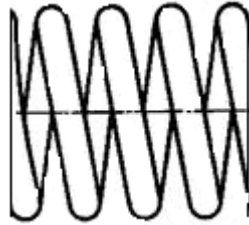


Рис. 8. Эскиз пружины

Материал: рояльная проволока:

$E = 8 \cdot 10^4 \text{ Н / мм}^2$ - модуль упругости,

$\sigma_{см} = 580 \text{ Н / мм}^2$

Рассчитаем конечное усилие пружины:

$$F_{кпр} = \frac{F_{\kappa}}{2} = \frac{78,5}{2} = 39,3 \text{ Н};$$

Найдем начальное усилие пружины:

$$F_{нпр} = \frac{F_{н}}{4} = \frac{43,2}{2} = 21,6 \text{ Н};$$

Определим рабочую деформация пружины:

$$j = \frac{F_{кпр} - F_{нпр}}{\Delta l} = \frac{39,3 - 21,6}{1} = 17,7 \text{ Н / мм};$$

Относительный инерциальный зазор:

$$\alpha = (0,05 \dots 0,25)$$

Принимаем $\alpha = 0,2$;

Максимальная силы пружины при полном сжатии:

$$F_m = \frac{F_{кпр}}{1 - \alpha} = \frac{39,3}{1 - 0,2} = 49 \text{ Н};$$

Максимальная деформация пружины:

$$f_m = \frac{F_m}{j_e} = \frac{49}{17,7} = 2,76 \text{ мм};$$

Средний диаметр пружины:

$$D_{cp} > \left(\frac{f_m}{2} \dots \frac{f_m}{4}\right) = \left(\frac{2,76}{2} \dots \frac{2,76}{4}\right) = (1,38 \dots 0,69) \text{ мм};$$

Примем

$$D_{cp} = 6 \text{ мм};$$

Определим диаметр проволоки:

$$d = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_m \cdot D_{cp}}{\pi \cdot \sigma_{кр}}} = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{49 \cdot 6}{3,14 \cdot 580}} = 1,01 \text{ мм};$$

Принимаем из стандартного ряда:

$$d = 1,2 \text{ мм}$$

Индекс пружины:

$$c = \frac{D_{cp}}{d} = \frac{6}{1,2} = 5;$$

Число витков

$$n = \frac{E \cdot d}{8 \cdot c^3 \cdot j_e} = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 1,2}{8 \cdot 5^3 \cdot 17,7} = 5,4;$$

Принимаем n=6

Уточняем напряжение кручения:

$$\sigma_{кр} = \frac{8 \cdot F_m \cdot c}{\pi \cdot d^2} = \frac{8 \cdot 49 \cdot 5}{3,14 \cdot (1,2)^2} = 520 \text{ Н}$$

Условие выполняется $\sigma_{кр} < \sigma_{см}$

Жесткость возвратной пружины:

$$j_e = \frac{E \cdot d}{8 \cdot c^3 \cdot n} = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 1,2}{8 \cdot 5^3 \cdot 6} = 17 \text{ Н / мм};$$

Минимальная длина пружины:

$$l_{e \min} = d \cdot (n + 1,5) = 1,2 \cdot (6 + 1,5) = 9 \text{ мм};$$

Рассчитываем свободную длину пружины:

$$l_{\text{eo}} = l_{\text{в min}} + \frac{F_m}{j_{\text{e}}} = 9 + \frac{49}{17} = 11,8$$

Рассчитываем шаг навивки:

$$t = \frac{l_{\text{eo}} - l_{\text{e min}}}{n} + \alpha = \frac{11,8 - 9}{6} + 0,2 = 0,7 \text{ мм};$$

Длина при разомкнутых контактах:

$$l_p = l_{\text{eo}} - \frac{F_{\text{нпр}}}{j_{\text{e}}} = 12,1 - \frac{21,6}{16} = 10,75 \text{ мм}$$

Уточненное конечное усилие:

$$F_{\text{кпр}} = (l_{\text{eo}} - l_p + \Delta l) \cdot j_{\text{e}} = (12,1 - 10,75 + 1) \cdot 16 = 39,6 \text{ Н};$$

Значение совпадает с заданным контактным нажатием, это значит что пружина будет развивать достаточное усилие для нормальной работы аппарата, следовательно расчеты произведены верно.

Заключение

В результате анализа в рамках ВКР изучены виды разъединителей-переключателей, принципы их работы и выбран наиболее удовлетворяющий по конструкции в качестве прототипа. Произведены необходимые расчеты токоведущего контура, его частей и сечения шины на термическую устойчивость, сечения проводника по номинальному току, коммутирующих контактов. Все расчеты проведены согласно ГОСТ, значения входят в допустимые пределы. По результатам расчетов, построены чертежи подвижных и неподвижных контактов, промежуточной крышки. А так же был выполнен сборочный чертеж разъединителя-переключателя. Чертежи можно увидеть в приложении А.

Далее был произведен технологический анализ изделия, где определен его сборочный состав, выбрана организационная форма и метод сборки, а также разработан технологический процесс общей сборки разъединителя-переключателя с контактами врубного типа и проведен анализ его технологичности. Было разработано специальное устройство для изготовления неподвижного контакта. Изделие приемлемо для крупносерийного производства. В процессе технологического анализа разработана маршрутная карта сборки разъединителя, где указано все оборудование, оснащение и приспособления, необходимые во время работы. В той же маршрутной карте было подробно описано выполнение операций сборки, контрольной операции и операции приемо-сдаточных испытаний, были разработаны эскизы.

Также была доказана конкурентоспособность данного технического решения, был произведен SWOT-анализ и планирование, ограничение на выполнение работы составило 114 дней. Также был посчитан бюджет НИИ, большая часть которого приходится на зарплаты сотрудников.

Был проведен анализ который не выявил вредных факторов при эксплуатации разъединителя кроме повышенного уровня электромагнитных излучений.

Несмотря на это были выявлены опасные факторы, такие как пожароопасность, повышенное значение напряжения в электрической цепи, возможность поражения током. К чрезвычайной ситуации отнесли выход из строя разъединителя, что может повлечь возгорания.