|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тема: **Розробка тиристорного перетворювача постійного струму**1. **Калашнік В.И**Разработка тиристорного преобразователя постоянного тока.

 2.1. Задание на проектирование.На базе основного схемного решения тиристорного преобразователя разработать преобразователь, отвечающий техническим требованиям по на­дежности, изложенным в техническом задании (ТЗ).* Обоснование выбора схемы выпрямления;
* расчет и выбор основных элементов силовой схемы;
* определение параметров силовой цепи с учетом реальных условий экс­плуатации;
* формулирование понятия отказа преобразователя на основании изучения физических процессов, протекающих при его работе;
* поэлементный (поблочный) расчет надежности с учетом режимов работы элементов и расчет надежности основного соединения преобразователя в целом;
* повышение надежности изделия за счет применения резервирования;
* разработка комплекса организационных и технических мероприятий (регламентные и восстановительные работы), направленных на предупреждение отказов при эксплуатации изделия;
* разработка технических средств диагностирования работоспособного со­стояния некоторых блоков (элементов).

2.2. Основные технические требования**.**1. Тиристорный преобразователь предназначен для регулирования напряжения на якоре двигателя постоянного тока.2. Основные технические требования к основной схеме преобразо­вателя изложены в первой части данной работы.3. Условия эксплуатации изделия - внутрицеховые.  4. Режим работы изделия в технологической установке - непрерыв­ный, односменный, с длительностью рабочей смены 8 часов. Выполнение профилактических и регламентных работ осуществляется вне рабочей смены. 5. Полагаем, что конструктивное исполнение преобразователя яв­ляется блочным с временем замены вышедшего из строя блока на резервный не более 0,5 часа. Исключение составляет замена отказавших силовых транс­форматоров. Для их замены в случае отказа предусмотрены следующие нор­мы (табл.2.1).Таблица 2.1.

|  |  |
| --- | --- |
| Типовая мощность трансформатора, кВА | Время замены, ч |
|  10÷50 |  0,5 |
|  60÷100 |  1,0 |
|  160÷250 |  1,5 |
|  320÷800 |  2,0 |
|  1000÷3200 |  4,0 |
|  4000÷10000 |  8,0 |

6. Для каждого из блоков преобразователя предусмотреть замену на резервный при выработке гамма-процентного ресурса при вероятности до­стижения своего предельного состояния и при экспоненциальном за­коне распределения времени безотказной работы.7. Считаем, что в цехе эксплуатируется не менее 10 аналогичных тиристорных преобразователей. Необходимый годовой резерв ЗИП рассчитать для 10 изделий.Параметры преобразователя:1. Номинальная мощность ДПТ -150 кВт.
2. Номинальное напряжение якоря - 354 В.
3. Напряжение питающей сети 380В. Возможные колебания первично­го напряжения 5%;
4. Схема силовой части ТП – трехфазная мостовая схема.
5. Способ подключения преобразователя к первичной сети - через токоограничивающие реакторы.
6. Схема соединение обмоток трансформатора: звезда ноль-двойная звезда (Yо/Yо-Y11).
7. Диапазон регулирования скорости ДПТ - 20.
8. Допустимые пульсации тока якоря - 2А.
9. Допустимый граничный ток - 40А.

2.3. Анализ существующих схемных решений применяемых в серийно выпус­каемых преобразователях.Производство электроэнергии осуществляется на электростанциях на переменном токе. Однако, значительная часть производственных процессов (электротехнология, электролиз в химии и металлургии, электрифицирован­ный транспорт, автоматизированный электропривод станков, роботов и т.д.) требует электропитания на постоянном токе. Преобразование электрической энергии из первичного переменного напряжения в нерегулируемое вторич­ное постоянное напряжение осуществляется с помощью диодных выпрями­телей. Если выпрямленное напряжение постоянного тока должно регулиро­ваться, либо требуется его стабилизация с отклонениями от заданного уров­ня меньшими, чем у первичного питающего напряжения, то в современных преобразователях, как правило, используются тиристорные выпрямители. Этот вид регулируемых преобразователей вытеснил все многообразие маг­нитных или электромагнитных преобразователей, применявшихся ранее.В последние годы в преобразователях постоянного тока малой и сред­ней мощности начали внедряться транзисторные регуляторы и регуляторы на запираемых тиристорах. Но в процентном отношении эти виды преобра­зователей составляют в настоящее время и обозримом будущем несуще­ственную долю от общего выпуска полупроводниковых преобразователей.Инженеры, работающие в области автоматизации электропривода и автоматизированных промышленных установок, электротехнологии и экс­плуатации электрооборудования и средств автоматизации, в своей практи­ческой деятельности сталкиваются с широким кругом вопросов, связанных с расчетами и выбором, наладкой и эксплуатацией тиристорных преобразова­телей различного назначения.Режимы работы тиристорных преобразователей зависят, в первую оче­редь, от характера нагрузки. Из всего разнообразия нагрузок следует выде­лить двигательную нагрузку. Работа тиристорного преобразователя на якорь машины постоянного тока является наиболее сложной с точки зрения проте­кающих физических процессов и математического описания. Работа тиристорного выпрямителя на другие виды нагрузок (активную, активно-емкостную и активно-индуктивную) может быть рассмотрена как частные случаи режимов работы системы "тиристорный выпрямитель-двигатель" (система ТВ-Д).Поэтому целесообразно рассмотреть в курсовой работе именно систему ТВ-Д, как с позиций наиболее общего примера многообразного класса тиристорных преобразователей, так и с позиций обеспечения надежности системы, нашедшей наиболее широкое применение в промышленности.В данной работе будет осуществлен расчет, связанный с надежностью нереверсивного тиристорного агрегата по трехфазной мостовой схеме с токоограничивающими реакторами. Схема приведена на рисунке 2.1.Повышение быстродействия и снижение пульсаций в выпрямленном напряжении достигается за счет увеличения числа фаз схем выпрямления. Так в широко используемых ТП серий ПТ, ЭТ3, ЭТ6, и БТУ-3501 нашли применение трехфазные нулевые, шестифазные нулевые и трехфазные мостовые схемы выпрямления. Диапазон выходных мощностей этих ТП лежит в пределах от 0,5 до 200 кВт, причем трехфазные мостовые схемы используются в диапазоне от 20 до 200 кВт. Источником первичного напряжения является сеть напряжений 380/220 В. Комплектные тиристорные устройства серий КТУ, КТЭ и тиристорные комплектные преобразовательные агрегаты серий ТРЗ, ТПЗ, ТЕРЗ, ТПРЗ, АТ, АТР выпускались на номинальные токи от 25 до 1600 А и выпрямленное напряжение 230, 345, 460, 660 В. В основу всех данных серий положена трех­фазная мостовая схема выпрямления с подключением к сети через токоограничивающий реактора (рис.2.1) или трехфазный согласующий трансформа­тор. Трехфазная мостовая схема положена в основу и модифициро­ванных комплектных электроприводов КТЭ с естественным охлаждением тиристоров, заменивших выпускавшиеся до этого агрегаты АТ, АТР, АТВ, АТРВ. Следующее поколение комплектных тиристорных агрегатов той же серии КТЭ расширила диапазон выходных мощностей преобразователей до 12 Мвт. Эти установки выпускаются на токи от 1,6 до 12,5 кА и напряжение 660, 825 и 1050 В.Безимени-1.gifРис. 2.1. Нереверсивный тиристорный агрегат по трехфазной мостовой схеме с токоограничивающими реакторами.2.4. Функциональная схема тиристорного преобразователя.В настоящее время основным видом преобразователей являются управ­ляемые тиристорные выпрямители (далее УТВ). Они вытеснили все осталь­ные виды преобразователей за счет более высокого КПД, отсутствия дви­жущихся элементов, повышенной надежности и более высокой приспособ­ленности к автоматическому регулированию [5]. На выход системы управления (рис.2.2) выпрямителем (СУВ) поступает управляющее напряжение Uу, где оно преобразуется в соответствующее значение угла открытия тиристоров α. Из­менение α ведет к регулированию выходного напряжения тиристорного бло­ка Ud. Кривая выпрямленного напряжения Ud(ωt) может содержать значи­тельные пульсации, что требует сглаживания выходного напряжения, осуществляемого блоком фильтрации (БФ). Согласование уровня первичного сетевого напряжения U1 и требуемого значения переменного напряжения, подаваемого на УТВ, осуществляется силовым согласующим трансформато­ром. Блок РПФ-БКА содержит коммутационную и защитную аппаратуру, осуществляющую рабочее и аварийное отключение (включение) ТП от пер­вичной сети, а также может содержать радиоподавляющие фильтры, предот­вращающие попадание высших гармоник, генерируемых преобразователем, в первичную сеть. Измерительное устройство осуществляет контроль пара­метров ТП (в частности тока и напряжения) и в случае аномальных режимов воздействует на коммутационную аппаратуру БКА и систему управления, вызывая запирание тиристоров (отключение преобразователя).Безимени-1.gif Рис. 2.2. Блок-схема ТП.РПФ – радиоподавляющий фильтр; БКА – блок коммутационной аппаратуры; УТВ – управляемый тиристорный выпрямитель; БФ – блок фильтров; СУВ – система управления выпрямителем.2.5. Описание работы схемы ТП**.**Трехфазная мостовая схема нереверсивного ТП с токоограничивающими реакторами приведена на рис. 2.3.Безымянный.jpgРис. 2.3. Структурная схема нереверсивного агрегата (ТЕ, ТП): БВ - блок питания обмотки возбуждения двигателя, ОВ - обмотка возбуждения, L - токоограничивающий реактор , QF - автоматический выключатель, ТТ - трансформатор тока, БТ - тиристорной блок, Д - двигатель, ТГ - тахогенератор, БУА - блок управления агрегатом, ЗУ - задающее устройство, ДТ - датчик тока, УЗ - узел защиты, РС - регулятор скорости, УТО - узел токовой отсечки, СИФУ - система импульсно-фазового управления, ДН - датчик напряжения, \* - связь для работы с обратной связью по ЭДС, \*\* - связь для работы с обратной связью по скорости.Принцип работы агрегата основан на свойствах и характеристиках управляемых выпрями­телей, а также ведомых сетью симметрично управляемых инверторов. Блок управления агрегатом обеспечивает регулирование частотой вращения двигателя преобразованием аналогового сигнала управления в фазу «α» импульсов управления тиристора­ми;Защита предусмотренная в агрегате:* от токов короткого замыкания (кз),
* от токов перегрузки (по величине и длительности),
* от исчезновения принудительного охлаждения ,
* от обрыва фазы,
* от перегрева двигателя (при наличии в двигателе датчика температуры).

Зашита от токов кз осуществляется системой: «автоматический выключатель, токоограничивающий реактор (трансформатор)» и узел зашиты, переводящий угол регулирования тири­сторами в αmax.Основу силовой выпрямительной части нереверсивного агрегата составляет трехфазный мостовой выпрямитель с одним тиристором в плече. Нереверсивные агрегаты обеспечивают:* плавный пуск,
* регулирование частоты вращения якоря двигателя,
* работу на установившейся частоте вращения двигателя,
* останов (на выбеге) двигателей постоянного тока.

Трехфазные мостовые схемы выпрямления с подключением к сети через токоограничивающий реактор рекомендуется применять при значениях выпрямленного напряжения Ud - 230, 354, 460, 660 В и номинальных токах от 25 до 1600 А.Можно приблизительно оценить КПД выпрямителя:0,99 где U - падение напряжение на тиристоре в открытом состоянии (1,5 В); n - число тиристоров, последовательно проводящих ток нагрузки и в выпрями­тельной схеме (для мостовых схем n=2).Рассчитаем зависимость КПД как функции от для нулевых и мосто­вых схем (табл.2. 2).Таблица 2.2.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | В | 24 | 40 | 60 | 110 | 154 | 220 | 354 |
| n=2 | - | 0.890 | 0.930 | 0.952 | 0.973 | 0.981 | 0.986 | 0.992 |

Очевидно, что для выпрямителей с Ud>220 В влияние n становится не столь существенным, а КПД определяется потерями в других элементах: трансформаторах, дросселях и др.Для трехфазной мостовой схемы 0,58 Ioc, cp – среднее за период значение тока через тиристор в открытом состоянии, Ioc – действующее значение тока через тиристор в открытом состоянии.Для проектируемой схемы 3. Выбор основных элементов силовой схемы.3.1. Определение параметров нагрузки.Номинальный ток якоря в двигателе можно рассчитать по формуле: (3.1) Потери в электродвигателе оценим по формуле:= 150000 Полагаем, что потери в меди якоря при номинальном токе составляют половину суммарных потерь. Это позволяет определить сопротивление якоря двигателя. Ом. (3.2) Индуктивность якорной цепи оценим по формуле Лицвилля:78(3.3)где p – число пар полюсов двигателя, ω – номинальная частота вращения, К – расчетный коэффициент (для компенсированных машин с большой мощностью равный 0,25). 3.2. Расчет параметров идеального выпрямителя.Идеальным является выпрямитель, выполненный на элементах, не имеющих потерь. Анализ схем выпрямления ведем, положив угол управления тиристорами равным нулю. В этом случае нет запаздывания в открытии ти­ристоров относительно точки естественной коммутации (ТЕК), а тиристоры можно условно заменить диодами. В этом режиме преобразователь обеспе­чивает на выходе максимальное выпрямленное напряжение, обозначенное Udo. Так как у идеального выпрямителя нет внутреннего падения напряже­ния, то Udo=Edo=Uян, где Edo - внутренняя ЭДС выпрямительной схемы при α=0. Очевидно, что при нагрузке на выходе выпрямителя R - либо RL - типа мощность, отдаваемая преобразователем, и загрузка его элементов будут максимальными при α=0. Поэтому выбор элементов преобразователя про­изводится в данном режиме его работы.Кроме указанных выше допущений считаем, что ток нагрузки id(ωt) идеально сглажен, т.е. id(ωt)=Id=const. Это является ошибочным предполо­жением при RL-нагрузке либо двигательной нагрузке. При работе на ДПТ допустимые пульсации в кривой выпрямленного тока id(ωt) как правило не должны превышать 5%. При больших уровнях пульсаций резко ухудшаются условия протекания коммутационных процессов на коллекторе ДПТ. Это проявляется в усилении искрения в щеточных контактах машин и обгорания коллектора.Необходимое соотношение между средним значением выпрямленного напряжения идеального выпрямителя Udo и вторичным напряжением транс­форматора (для идеального трансформатора U2ф=E2ф) устанавливается на основании соотношения 2.2.Основным показателем при выборе тиристоров по напряжению яв­ляется значение максимального напряжения, прикладываемого к тиристору в закрытом состоянии – Uзс,max. Отношение Uзс,max/Еdо назовем коэффициен­том использования вентилей по напряжению Кvu. Очевидно, что при задан­ном Еdо чем ближе Кvu к единице, тем на меньшее напряжение выбираются тиристоры по каталогу. Для большинства трехфазных схем выпрямленное значение Uv,max определяется амплитудой вторичного линейного напряже­ния (U3c, max=U2πm).Выбор тиристоров по току в идеальной схеме осуществляют по пре­дельно возможному значению среднего тока, протекающему через него. Для различных схем выпрямления продолжительность открытого со­стояния (угол ) и форма тока различны. Это означает, что при равных зна­чениях токов через вентили их действующие значения могут отличаться. Относительное значение действующего тока вентилей 0,58 3.3. Выбор силового трансформатора.Выбор силовых трансформаторов преобразовательных схем осу­ществляется по каталогам, исходя из следующих данных:* схема соединения обмоток трансформатора;
* значение первичного напряжения U1л/U1ф;
* значение вторичного фазного напряжения U2ф (или E2ф для идеального преобразователя);
* расчетное значение типовой мощности трансформатора:

, (3.4) где m1, m2 - числа фаз первичной и вторичной обмоток соответственно.Относительное значение типовой мощности трансформатора назовем коэффициентом использования трансформатора в выпрямительной схеме: 1.05 (3.5) 3.4. Расчет идеального преобразователя.Используя данные и соответствующие расчетные формулы для проектируемого преобразователя получим:1. Действующее значение ЭДС вторичных обмоток трансформатора:

 (3.6)1. Максимальное напряжение, прикладываемое к тиристору в закрытом состоянии:

 (3.7)1. Среднее значение тока через тиристор:

 (3.8)1. Эффективное значение тока через тиристор:

264,7А.1. Типовая мощность трансформатора:

 (3.9)3.5. Определение параметров силовых условий эксплуатации.При эксплуатации тиристорных преобразователей в реальных условиях возникают отклонения напряжения и тока от расчетных значений за счет неидеальности элементов схем и действия внешних возмущений (колебаний сетевого напряжения, температуры окружающей среды Тср и воздействия то­ковых перегрузок). На стадии проектирования при определении параметров схем вводят ряд коэффициентов запаса, каждый из которых позволяет учесть влияние определенных эксплуатационных факторов.Для синхронизации многоканальных систем управления обычно принимают Кα=1,05, а для цифровых (при высокой разрядности) и одноканальности синхронных систем Кα=1,02-1,03; КR - коэффициент запаса, учитывающий внутреннее падение напряжения в ТП.Для проектируемой трехфазной мостовой схемы принимаем:=1,05. Тогда 192ВДля ТП, работающего в составе электроприводов с широким диапазоном регулирования скорости (D>10:1), на этапе предварительного расчета можно ориентировочно принять равным значениям, приведенным в таблице 3.1:Таблица 3.1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Pн | кВт | 1-10 | 10-100 | 100-1000 |
| K13 | - | 1,08-1,12 | 1,04-1,08 | 1,02-1,04 |

K13=1.03 (150 кВт).В последствии К13 уточняется на основании технических данных трансфор­матора.Кр= - расчетный коэффициент для рассматриваемого вари­анта схемы. При этом коэффициент трансформации рассчитывается по приближенному выражению KT=U1/U2ф. В качестве U1 выбирается линей­ное или фазное первичное напряжение согласно ТЗ и схеме трансформатора.Значение типовой мощности трансформатора с учетом эксплуатацион­ных факторов рассчитаем по выражению: (3.10) где КР1 - коэффициент запаса по мощности, обеспечивающий устранение яв­ления насыщения стали. Так как из рассматриваемых схем явление подмагничивания стали имеет место только в трехфазной нулевой схеме (вариант 2а), то для этого варианта КР1=1,2, а для остальных вариантов КР1=1.3.6.Расчет трансформатора с учетом коэффициента запаса**.**Определяем значение коэффициента трансформации:Определяем значение коэффициентов запаса: (3.11)Тогда линейный ток, потребляемый из сети, составит: 388А (3.12)Определяем значение типовой мощности трансформатора: (3.13)3.7. Практические рекомендации по выбору трансформаторов.В электротехнических справочниках приведены технические параметры некоторых серийных трансформаторов, которые могут быть применены в проектируемых схемах ТП.Для однофазных мостовых преобразователей применение согласующих трансформаторов рекомендуется при выходных выпрямленных напряжениях Ud = 24, 36, 48, 60, 100 В. При напряжениях Ud = 115 и 154 В. работа ТП обеспечивается при подключении к однофазному сетевому напряжению U1 =22 В через токоограничивающие реакторы, а при Ud = 220 и 254 В при подключе­нии через реакторы к линейному напряжению U1=380 В. Для двухполупериодных однофазных преобразователей рекомендуются однофазные транс­форматоры. Трехфазные трехобмоточные трансформаторы серии ТТ в се­рийном исполнении имеют схему соединения "треугольник - двойная звезда".При проектировании конкретного варианта ТП можно допустить из­менение схемы соединения обмоток. Это предоставляет разработчику широ­кие возможности по использованию трансформаторов ТТ во многих вариан­тах ТП. Так, при последовательном соединении вторичных фазных обмоток можно образовать на стороне вторичного напряжения новые варианты сое­динения: звезда, треугольник, зигзаг. При этом новые значения вторичного линейного напряжения будут соответственно равны:где - значение вторичного линейного напряжения серийного трансфор­матора, приведенное в графе серийного трансформатора. Все вышесказанное относится к сухим трехобмоточным трансформато­рам серии ТС. Эти трансформаторы имеют два варианта исполнения пер­вичной обмотки: с соединением "звезда" и с соединением "треугольник" с подключенным к сети напряжением 380 В. Последний вариант допускает пе­ресоединение в "звезду" с подключением к сети 380 В, если данное напряжение сети предусмотрено ТЗ.Сухие трансформаторы серий ТСП и ТСЗП выполнены по схеме "звезда ноль - звезда одиннадцать" и предназначены для ТП по трехфазной мостовой схеме с выпрямленным напряжением Ud=154, 230, 354, 460 и 660 В, либо по трехфазной нулевой схеме с Ud = 115, 160, 230 и 330 В. Вторичные обмотки допускают пересоединение в "треугольник" со снижением линейно­го напряжения в n раз.У всех классов рассмотренных трансформаторов допускается регули­рование напряжения на вентильных обмотках в пределах ±5%. Это осу­ществляется переключением ответвлений сетевой обмотки на доске зажимов (щетке) при снятой нагрузке и отключением трансформатора от сети. Данная регулировка у трансформаторов называется подрегулировка без возбужде­ния (ПБВ).Для уменьшения влияния преобразовательных агрегатов на цеховые сети напряжением 380/220 В и улучшения энергетических показателей питания ТП мощностью 400 кВА и выше осуществляется при более глубоком вводе от сети напряжением 10/6 кВ.Таким образом, условия выбора конкретного трансформатора форму­лируются так:* первичное линейное напряжение серийного трансформатора U1лс должно соответствовать напряжению первичной сети U1л, определенному в ТЗ, т.е. U1лс= U1л;
* номинальная мощность серийного трансформатора Sнс не должна быть меньше требуемой мощности, определенной по выражению, т.е. Sнс≥ Sт.
* Схема соединения обмоток трансформатора и его основные конструк­тивные решения (число фаз первичных обмоток, число вторичных обмо­ток) должны соответствовать схеме, заданной в ТЗ;
* определенное значение фазного напряжения вентильных обмоток трансформатора U2ф должно соответствовать номинальному фазному на­пряжению вторичных обмоток серийного трансформатора, т.е. U2ф= U2фс. Применяя отмеченные выше переключения вторичных обмоток, удается расширить число возможных вариантов напряжения вторичных обмоток. Кроме того, наличие у трансформаторов ПБВ позволяет сделать условие U2ф= U2фс менее жестким, так как U2фс может приобретать за счет переклю­чения отпаек три значения: 0,95 U2фс, U2фс и 1,05 U2фс. Если U2ф не соответ­ствует ни одному из возможных вариантов при выполнении требований по этим пунктам, то осуществляется перерасчет параметров вторичной обмотки серийного трансформатора на новое вторичное напряжение.

3.8. Выбор тиристоров.Основным параметром, по которому осуществляется выбор тиристоров для преобразователей, работающих на частотах 5-1000 Гц, является предельно допустимый средний ток, протекающий через прибор в открытом состоянии (Iос,ср). Этот ток для унифицированных низкочастотных тиристоров серии Т определяется на заводах-изготовителях экспериментально в классификаци­онной однополупериодной схеме выпрямителя при работе на активную на­грузку при а=0. Следовательно, Iос,ср - это постоянная составляющая однопо­лупериодной волны синусоидального тока. При этом за номинальное значение принимают такой ток Iос,ср, который ра­зогревает полупроводниковую структуру прибора до предельной рабочей температуры Тп,max при определенных условиях охлаждения. Значение Iос.ср, определенное при принудительном охлаждении с номинальными скоростью и температурой охлажденного воздуха, указываются в обозначении тиристо­ра.Например, Т133-320 - это низкочастотный унифицированный тирис­тор, который при принудительном охлаждении с номинальными параметра­ми способен пропустить в однополупериодной схеме выпрямления средний ток не более 320 А (цифра 133 определяет конструктивное выполнение). При других условиях охлаждения или другой форме тока значение Iос,ср может существенно отличаться от паспортного.Первая задача, которую решает разработчик при выборе тиристоров - определение условий их охлаждения.По действующим нормативным документам при проектировании тиристорных выпрямителей, подключаемых к промышленным сетям, рекомен­дуется применение принудительного охлаждения тиристоров при выходной мощности преобразователя Рd≥250 кВт при напряжениях Ud≥200 В. Для низ­ковольтных выпрямительных установок принудительное охлаждение приме­няется при Idh≥1200-1500 А.При меньших мощностях (токах) применяется естественные охлажде­ния тиристоров. Радиаторы (охладители), на которых закрепляются тирис­торы, охлаждаются естественными восходящими конвенционными потоками без принудительного обдува. Но основе данных рекомендаций осу­ществляется выбор условий охлаждения тиристоров в проектируемой уста­новки. В тиристорных преобразователях, подключаемых к промышленным сетям, рекомендуется использовать унифицированные низкочастотные ти­ристоры серии Т. Для обеспечения выбора конкретного типа тиристора зна­чение Iос,ср для всех тиристоров этой серии при принудительном и естествен­ном охлаждении приведены в табл. 4.Рассчитаем максимальное значение среднего тока, протекающего через тиристор в проектируемом преобразователе. По данным табл.3.4. [8] подбирают тиристор и тип охладителя, исходя из условия Iос,ср ≥ Iv,ср,m. Причем ближайшее большее значение Iос,ср выбирается из столбца при соответствующих условиях охлаждения.При работе выбранного тиристора в реальном преобразователе усло­вия его работы, как правило, отличаются от классификационных. Эти отличия касаются формы и длительности тока, протекающего через тиристор и температуры охлаждающей среды. Таблица 3.4.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип тиристора | Тип охлаждения | Iос,ср при принудительном . охлаждении | Iос,сp при есте­ственном охлаждении |
| ТП2-10 | 0111-60 | 10 | 4 |
| Т112-16 | 16 | 6 |
| Т122-20 | 0221-60 | 20 | 12 |
| Т122-25 | 25 | 14 |
| Т132-16 | 0131-60 | 16 | 9 |
| Т132-25 | 25 | 12 |
| Т132-16 | 0231-80 | 16 | 11 |
| Т132-25 | 25 | 14 |
| Т132-40 | 0231-80 | 40 | 19 |
| Т132-50 | 50 | 21 |
| Т142-32 | 0141-60 | 32 | 13 |
| Т142-40 | 40 | 14 |
| Т142-50 | 0241-80 | 50 | 15 |
| Т142-32 | 32 | 15 |
| Т142-40 | 40 | 17 |
| Т142-50 | 50 | 29 |
| Т142-63  | 63 | 24 |
| Т142-80 | 80 | 27 |
| Т151-100 | 0151-80 | 100 | 30 |
| Т161-125 | 0171-80 | 125 | 45 |
| Т161-160 | 160 | 49 |
| Т171- 200 | 0181-110 | 200 | 75 |
| Т171-250 | 250 | 80 |
| Т171-320 | 320 | 85 |
| Т123-200 | 0123-100 | 200 | 75 |
| Т123-250 | 250 | 85 |
| Т123-320 | 320 | 95 |
| Т133-320 | 0143-150 | 320 | 100 |
| Т133-400 | 400 | 120 |
| Т133-400 | ОА-026 | 400 | 100 |
| Т143-400 | 0243-150 | 400 | 160 |
| Т143-500 | 500 | 180 |
| Т143-630 | 630 | 205 |
| Т153-630 | 0153-150 | 630 | 180 |
| Т153-800 | 800 | 210 |
| Т253-800 | 800 | 200 |
| Т253-1000 | 1000 | 250 |
| Т253-1250 | 1250 | 250 |

Если ТС особо ТЗ не оговаривается, а преобразователь предназначен для работы в цеховых условиях, то в летний пе­риод температура охлаждающего воздуха по кожухом преобразователя мо­жет достигать Тс,max=50-55°С. Зависимость Кф=f(λ) представлена в табл. 3.5.Таблица 3.5.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | рад |  |  |  |  |
| Кф | - | 1,41 | 1,73 | 2,0 | 2,45 |

Обычно рассчитанное для новых условий значение оказывается несколько меньше, чем выбранное из табл. 3.4. Для мощных ТП часто используют параллельное соединение тиристоров.В паспортных данных тиристоров не указываются конкретные значе­ния параметров тиристора по напряжению. Задача их выбора решается про­ектировщиком.Основными параметрами, определяющими способность тиристора вы­держать приложенное напряжение, являются:* Uзсп (VDRM) - допустимое постящееся импульсное напряжение между ано­дом и катодом в закрытом состоянии;
* Uoбрп(VRRM) - повторяющееся допустимое импульсное напряжение в обрат­ном направлении.

Унифицированные низкочастотные тиристоры выпускаются c равными значениями этих параметров Uзсп=Uoбрп. Тиристоры могут иметь Uзсп в пре­делах от 100 до 2000 В с дискретными значениями параметра через 100 В. Значение Uзсп в сотнях вольт называется классом тиристора по напряжению. Тиристоры могут иметь класс от 1-го до 20-и. С повышением класса стои­мость прибора возрастает. Следовательно избыточный запас при выборе тиристора по напряжению экономически неоправдан. К тиристору в услови­ях эксплуатации прикладываются:1. рабочее напряжение с амплитудой Uр,mах;
2. периодические импульсные перенапряжения с амплитудой Um,mах;
3. непериодические перенапряжения с амплитудой Uнеп,mах.

Для унифицированных тиристоров серии Т существует жесткая связь между тремя указанными параметрами. Выходная мощность проектируемого преобразователя при номинальной нагрузке двигателя составит при рабочем номинальном напряжении UДН=UЯН=354 В. В соответствии с Iос,ср≥179.3 А в графе допустимых средних токов при прину­дительном охлаждении (табл. 3.4) выбираем значение Iос,ср=200 А, которое яв­ляется основным токовым параметром тиристора Т171-200 при использова­нии серийного охладителя 0181-110 и при номинальных условиях охлажде­ния (скорость потока воздуха V=12 м/с, температура охлаждающего воздуха ТС=40°С).Основные технические данные тиристора Т171-200:* максимально допустимый средний ток в классификационной схеме Iос,ср=(ITAVM)=200 А;
* ударный неповторяющийся ток в открытом состоянии Iос,уд=(ITSM(10))=10 кА, при tn=(ti)= 10 мс и Тn,max= 125°С;
* критическая скорость нарастания анодного тока = 100 А/мкс;
* критическая скорость нарастания анодного напряжения: в закрытом состоянии при U3 cр=0,67U3 cп и Тп=125°С по группам:

Таблица3.6.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Группа | - | 4 | 5 | 6 | 7 |
|  | В/мкс | 200 | 320 | 500 | 1800 |

* пороговое напряжение в открытом состоянии U0=(UT(TO))1.1 В;
* максимальная температура перехода при отсутствии перегрузок Тn,max =(TJm)=125°С;
* динамическое сопротивление в открытом состоянии rДИН=(rТ)≤0,57-10-3Ом;
* время включения tвкл=(tdt)≤25 мин;
* время выключения tвыкл =( tdt)≤500 мин при ТП=125°С;
* отпирающее напряжение управления tу,от=(tGT)≤3,5 В при Тп=25 °С и Uзс=12 В;
* ток удержания в открытом состоянии Iзсп=(IPRM)≤30 мА;
* повторяющийся импульсный обратный ток Iобрп=( IRRM)≤30 мА;
* повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии Uзсп= (UPRM)=(URRM)=400-1600 В;

На основании полученных данных рассчитаем полное сопротивление "переход-среда".Принимаем предельно возможную температуру охлаждающего воздуха для цеховых условий Тс равной 50°С. Определяем значение Iос,ср для тиристоров Т171-200 при измененных условиях эксплуата­ции: = 182,2 А Полученное значение подтверждает пра­вильность выбора тиристора по току.Максимально возможная амплитуда периодического напряжения в трехфазной мостовой схеме составит:Тогда имеем: (3.14)Значит выбираем тиристор 7-го класса по напряжению с параметрами 1. Расчет надежности силовой части тиристорного преобразователя.
	1. Расчет надежности трехфазной мостовой схемы выпрямления.

Рассчитаем наработку на отказ трехфазного мостового выпрямителя (рис. 4), работающего на обмотку возбуждения постоянного тока; напряжение сети переменного тока 380/220 В, напряжение сети постоянного тока UdH=220 В, номинальное значение тока обмотки возбуждения IdH=21 А; условия эксплуатации – цеховые; считать, что поток отказов – простейший.Безимени-1.gifРис. 4.1. Нереверсивный тиристорный агрегат по трехфазной мостовой схеме с токоограничивающими реакторами.Под отказом в проектируемом источнике питания понимаются любые изменения режима работы источника, при котором напряжение на нагрузке снижается более, чем на 20%. Причинами колебания выходного напряжения могут являться только отказы элементов схемы. Провалы выходного напря­жения, вызываемые сверхнормативными колебаниями напряжения сети не рассматриваются как отказы. Это отказ всей установки в целом. Считаем, что колебания напряжения в сети могут достигать +10-15% (не является от­казом).4**.**2**.** Расчет параметров схемы.Вентильная группа.Средний ток вентилей IVCP=Id/3=21/3 =7 А.Учтем коэффициент запаса за счет нестандартной формы тока - Кз=1,1.Условие выбора вентилей по току IП≥Кз∙ IVCP = 1,1∙7=7,7 А,Ближайший диод по справочнику - ВД-10; IП =10 А.Максимальное рабочее напряжение на вентиле UVm=U2лин=1,057Udo=1,057∙220 = 232 В.Учтем возможное повышение напряжения сети на 10% и введем 20% запас на перенапряжение - Кз1=1,1, Кз2=1,2. Условие выбора диодов по на­пряжению:UПП≥ Кз1∙ Кз2∙ UVm =1,1∙1,2∙232=304,3. Выбираем диоды четвертого класса.Для данного типа диодов - λVO=(0,5-1,5) -106 1/час. Трансформатор силовой согласующий.U2ф=Udo/1,34=220/2,34=94В; Ктр=U1ф/U2ф=220/94=2,34; ST=1,057(UdH∙IdH)/(ηтр∙ηпреобp)= =1,057(220∙21)/(0,95∙0,99)=5200 ВА.По каталогу выбираем силовой согласующий трансформатор типа ТСП 6,0/0,7; STH=6 кVА, U2ф= =105 В.За счет переключения отпаек трансформатора напряжение может быть снижено до 100 В. С учетом пятипроцентного внутреннего падения напряже­ния обеспечивается заданное выпрямленное напряжение нагрузки U2ф =94 В. По таблице находим λTPO =5∙10-6 1/час. Автоматический выключатель. В качестве автоматического выключателя можно использовать выклю­чатель типа АК-50-6,3 с на номинальный ток IH=6-10 А.По таблице находим величину интенсивности отказа автоматического выключателя λAO≈12∙10-6 1/час. При отсутствии данных по автоматическим выключателям можно использовать соответствующие данные для контакто­ров λAO≈12∙10-6 1/час.4.3. Определение времени наработки на отказ трехфазной схемы вы­прямления.Время наработки на отказ схемы выпрямления определяется с по­мощью суммирования интенсивностей отказа отдельных элементов [7]: (4.1)Необходимо отметить, что полученное значение Т1 является оценочным, приближенным. В расчете не учитывался ни реальный характер распределе­ния, ни условия эксплуатации.При учете условий эксплуатации формулируется понятие отказа для элементов, определяются физические проявления и показатели отказов для групп однотипных элементов, рассчитываются или выбираются из таблиц или графиков соответствующие значения коэффициентов нагрузки. Трансформатор силовой согласующий. Учет степени влияния электрических, тепловых, механических явлений на работоспособность электрических элементов и систем осуществляется с помощью произведения КH∙h, где КH - коэффициент нагрузки, h - весовой показатель, учитывающий степень влияния тех или иных факторов.Если в процессе эксплуатации маловероятно воздействие, например, вибрации, весовой коэффициент h может принимать значение, меньшее еди­ницы, скажем h=0,4. А весовой показатель, учитывающий степень влияния электрических факторов определит величину h, большую единицы, напри­мер h=1,5.Свыше 98% отказов трансформаторов малой и средней мощности, по опыту более чем вековой эксплуатации, вызывается пробоем изоляции обмоток, т.е. причинами, зависящими от электрических факторов. Остальные 2% связаны с механическими повреждениями, приводящими чаще всего к исчезновению контактов на клеммнике. В трансформаторах большой мощ­ности, при S>400 кVА, появляются дополнительные виды отказов, носящие тепловой характер (перегрев, закипание масла, выход из строя доволь­но сложной системы охлаждения и т.д.).При любых видах отказов они являются полными и приводят к отказу источника питания.Коэффициент нагрузки по мощности трансформатора определяется следующим образом:КHP=SP/SH=UdIdКCX/η SH =5200/6000=0,865. Весовой показатель по электрической нагрузке hЭ выбирается по таб­лице hЭ = 1,5.Отметим, что учет реальных режимов работы приводит к росту интенсив­ности отказов в два раза.Тепловая нагрузка большого влияния не надежностные показатели не окажет, так как все величины температур находятся в рабочих допустимых пределах, поэтому значение весового показателя hΘ равно единице. Наконец, считаем, что вибрационная нагрузка на трансформатор, по услови­ям работы, отсутствует. Таким образом, интенсивность отказов трансфор­матора, с учетом реальных условий работы, равна: (4.2) Вентильная группа. Отказы у полупроводниковых диодов имеют два проявления:- пробой - короткое замыкание структуры;- обрыв структуры - потеря проводимости.Проведем расчет интенсивности отказов с учетом коэффициентов нагрузки. При этом учтем две составляющие причины увеличения интенсивности отказов: электрическую и тепловую. Электрическая составляющая характеризуется двумя величинами: током и напряжением.Отказ типа короткого замыкания любого из шести диодов вентильной группы ведет к кз на вторичной стороне трансформатора. В этом случае автомат должен отключить схему от сети, т.е. происходит полный отказ. С позиций отказов все диоды образуют последовательно соединенную структуру. Интенсивность отказов выпрямителя, вызванная кз, определяются простым суммированием или шестикратным увеличением (по числу диодов) величины . (4.3)Для шести диодов, т.е. для вентильной группы в целом имеем для : (4.4)Учет отказов типа обрыва структуры.По определению отказа только снижение напряжения на величину 20 % и более означает отказ источника питания в целом. Следовательно обрыв структуры одного диода вентильной группы не является отказом вы­прямителя. Отказ наступает, если у двух диодов происходит отказ типа об­рыва структуры.Время наработки на отказ Т1 состоит из двух отрезков времени: t1 от начала эксплуатации до выхода из строя одного из шести вентилей t1=1/6 и t2 - время между выходом из строя первого и последующим вы­ходом одного из пяти оставшихся вентилей t2=1/5. Отметим, что t2>t1.Из мостовой схемы имеем: (4.5)Но отказы типа обрыва имеют место в 10% случаев, следовательно: (4.6)Для вентильной группы в целом полная интенсивность отказов выпрямителя равна (9,06+0,46)∙10-6=9,52∙10-6 1/час.Автоматический выключатель. Основным функциональным назначением автоматического выключа­теля является оперативное подключение нагрузки к сети, а также аварийное отключение ее при тепловой перегрузке и мгновенных перегрузках (функции обеспечения тепловой и максимальной защиты). Отказы связаны с обгоранием главных контактов и неисправностями механической части ав­томатических выключателей.Характерной особенностью элементов САУ подобных автоматическим выключателям является наличие трех режимов работы.1. Установившийся режим - режим включенного состояния; за время этого режима допускается определенное число оперативных включений и вы­ключений.
2. Режим отключения аварийных перегрузок. Количество аварийных пере­грузок, как правило, нормируется. Но частота аварийных перегрузок раз­работчику неизвестна.
3. Режим отключенного состояния - режим хранения.

Каждый из режимов характеризуется своей интенсивностью отказов. При хранении учитываются условия хранения. Интенсивность отказов при хранении λXP колеблется в пределах (1,01-0,1) λP. При этом нижний предел - 1,01 принимается при хранении на складе, верхний предел - 0,1 - в цехе.Для автоматических выключателей типа АК, АП, АО, А3700 в техни­ческих условиях данных по надежности нет, но оговаривается число оперативных включений. Например, для автоматических выключателей АК-50 Т=2000. При односменном режиме работы число оперативных включений не превышает за смену десяти. Это позволяет ориентировочно рассчитать ре­сурс изделия Тγ при односменной эксплуатации:Тγ=N∙t/n=2000∙24/10=4800 час,где n - число оперативных включений за смену, N - допустимое гарантиро­ванное включение за смену, t - число часов в сутках.Гарантированный ресурс изделия γ=0,1. Отсюда Р(Тγ)=1-γ. Интенсивность отказов можно рассчитать из выражения: (4.7)Отсюда:Интенсивность отказов на один цикл включения λУ=22∙10-б/2000=11∙ 10-9 1/час.Вероятность безотказной работы изделия с учетом трех режимов рабо­ты:Р(t)=ехр-[λPtP+λXPtXP+λCPTЦh],где Тц - среднее время цикла, h - число циклов, λCP - интенсивность отказов при аварийном срабатывании.Интенсивность отказов автоматического выключения в течение време­ни работы без отключения выбирается из таблицы λPO=(2-5)∙10-6 1/час. Если выбрать λPO=3∙10-6 1/час и λXP=0,05λP, имеем λPO =0,05∙ λPO =0,05.3∙10-6=0,15∙10-б 1/час.Следовательно, для интенсивности отказов автоматического выключателя: λABO=( λPO tP + λXP tXP +λCPTЦh)/t, где t - среднее время эксплуатации, t=tP+tXP. Временем переключения пренебрегаем.При работе в одну смену tP/t=1/3; tXP/t=2/3. Следовательно, λAB= 1/ЗλP+ 2/З λXP +λCP или λAB=1/3∙3∙10-6+2/3∙0,15∙10-6+22∙10-6=23∙10-6 1/час. Суммарные показатели надежности. Теперь можно рассчитать суммарные показатели надежности изделия в целом: (4.8) (4.9)При ослаблении величин λ можно определить оптимальный запас ЗИПа, а также наиболее уязвимую часть изделия. |
|  |