

Министерство образования и науки Российской Федерации
Вологодский государственный университет

Кафедра электрооборудования

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания
для выполнения курсового проекта

Факультет электроэнергетический

Направление подготовки

бакалавриата: 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

магистратуры: 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство
предприятий, организаций и учреждений

Вологда
2016

УДК: 621.315.014.064.1(075.8)

Преобразовательная техника: методические указания для выполнения курсового проекта. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 16 с.

Методические указания предназначены для подготовки бакалавров и магистров по направлениям 13.03.02 и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений». В методических указаниях изложено содержание курсового проекта, отражающего вопросы, изучаемые в курсе «Преобразовательная техника».

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составитель А.В. Иванов, канд. техн. наук, доцент

Рецензент В.А. Дежнев, главный специалист ООО «Вологодское градостроительное бюро»

Подписано в печать 21.12.2015.	Усл. печ. л. 1,0	Тираж	экз.
Печать офсетная.	Бумага писчая.	Заказ № ____.	

Отпечатано: РИО ВоГУ, г. Вологда, ул. С. Орлова, 6

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания включают в себя основные вопросы курса «Преобразовательная техника». Приведена методика для разработки реверсивного тиристорного преобразователя (ТП) для электропривода постоянного тока, выбора его отдельных элементов (трансформатора, силовых вентилях, элементов защиты и т. д.), расчета и анализа основных характеристик.

В зависимости от назначения ТП выполняются по различным схемам и конструкциям: однофазные, трехфазные и многофазные схемы; для тиристорных применяется естественное и принудительное воздушное охлаждение; используются различные способы защиты от перенапряжений и токов короткого замыкания. Для электромагнитной совместимости с питающей сетью и нагрузкой на входе преобразователя в трехфазной сети переменного тока устанавливаются резонансные фильтры, а на выходе преобразователя в цепи постоянного тока – сглаживающие фильтры.

1 ЗАДАНИЕ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Целью курсового проекта является разработка ТП постоянного тока, выбор его отдельных элементов (трансформатора, силовых вентилях, элементов защиты), расчет и анализ основных характеристик ТП.

Исходными данными для расчета являются:

1. Тип схемы ТП и способ управления его преобразовательными группами (ПГ) – рис. 1.1а,б,в;
2. Тип и основные параметры электродвигателя (ЭД) [1], на который работает ТП – выдаются преподавателем;
3. Параметры питающей сети (напряжение $U_C=380(660)$ В, частота

$f=50$ Гц, колебания напряжения сети $\Delta u_C^{\%}=\pm 10\%$ от U_C);

4. Мощность короткого замыкания системы питания, S_{K3} ;
5. Допустимая амплитуда пульсаций тока якоря электродвигателя

$I_{п.доп}=0,1 I_{дн}$;

6. Допустимая величина уравнивающего тока $I_{ур}=0,1 I_{дн}$.

Задание на курсовой проект выполняется в следующей последовательности:

1. Рассчитать параметры и выбрать элементы ТП (трансформатор, ограничительный реактор, тиристоры, сглаживающий и уравнивающий реакторы, защитную аппаратуру), привести полную силовую электрическую схему ТП с подробным описанием ее работы и назначения всех элементов (в том числе привести паспортные данные вентиля, составить схему параллельных соединений тиристоров с учетом деления тока).

2. В соответствии с параметрами выбранных элементов схемы ТП рассчитать и построить:

а) ток короткого замыкания и время его действия;

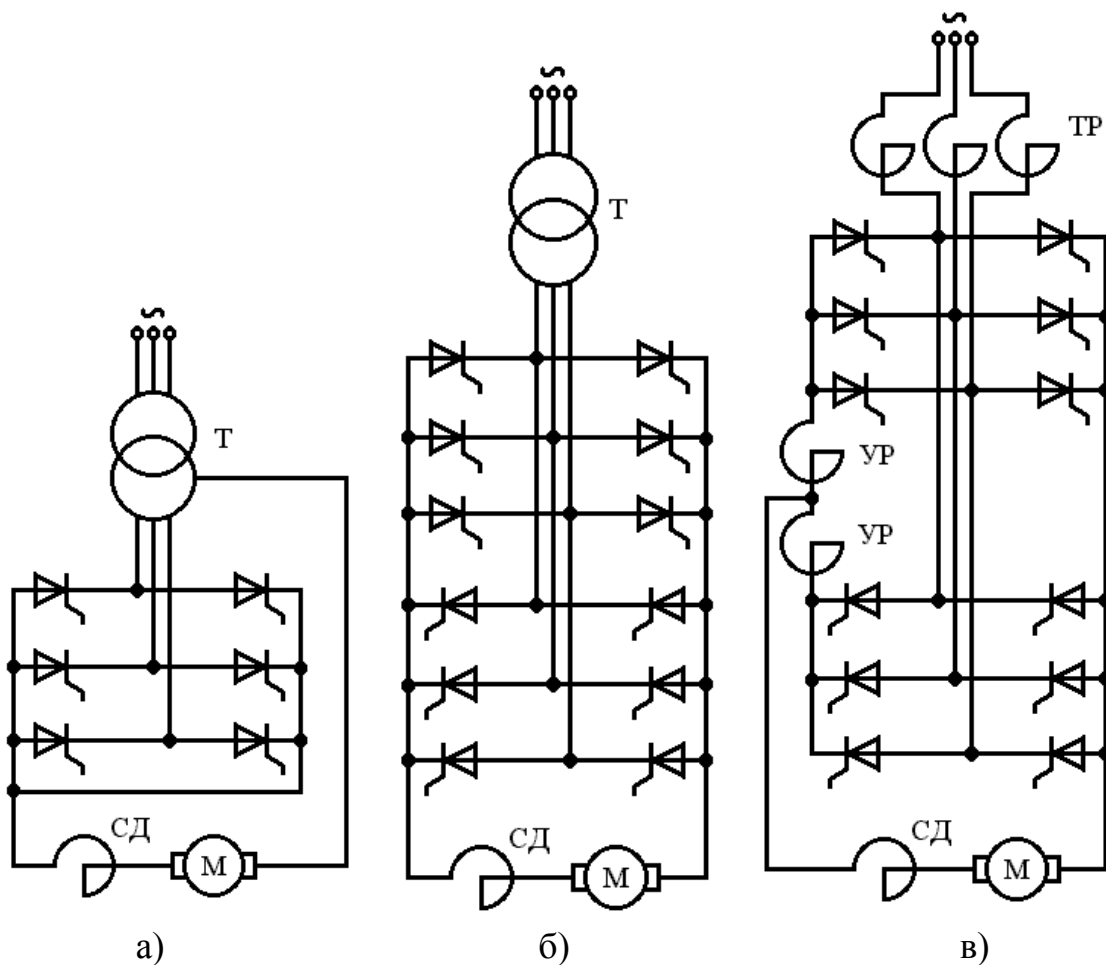


Рисунок 1.1 - Схемы ТП: а - трехфазный нулевой;
б - трехфазный мостовой ТП с РУ; в - трехфазный мостовой ТП с СУ

б) регулировочную характеристику $E_d = f(\alpha)$ и внешнюю характеристику ТП;

в) электромеханические характеристики системы ТП-ЭД $\omega_d = f(I_d)$ для следующих значений скорости двигателя:

$\pm \omega_{дн}; \pm 0,75 \omega_{дн}; \pm 0,5 \omega_{дн}; \pm 0,25 \omega_{дн}; \omega_d = 0$.

г) границу прерывистого режима работы ТП с раздельным управлением;

д) энергетические характеристики ТП: коэффициент мощности и коэффициент полезного действия в зависимости от скорости и тока.

Для реверсивных быстродействующих электроприводов используются двухкомплектные вентильные преобразователи, отдельные группы которых соединяются по встречно-параллельной мостовой или нулевой схемам включения ПГ (1.1а,б,в). В этих схемах применяется согласованное совместное

управление (СУ) или согласованное раздельное управление (РУ) ПГ. При РУ (1.1а,б) в одной из ПГ отключаются управляющие импульсы, а вторая работает в обычном режиме. При реверсе тока после уменьшения его до нуля (через 5-10 мс) импульсы в неработающей ПГ деблокируются, и она вступает в работу, а ранее работавшая ПГ отключается. СУ (1.1в) управляющие импульсы поступают одновременно на обе ПГ, при этом фазировка импульсов в одной из них соответствует выпрямительному режиму, а в другой - инверторному. Основным недостатком такого способа является наличие уравнительных токов. Для уменьшения уравнительных токов используют уравнительные реакторы (УР), индуктивность которых зависит от требуемого ограничения величины уравнительного тока, а количество определяется типом реактора и видом силовой схемы ТП.

В проекте обязательно должен быть указан номер варианта исполнителя, приведены полностью паспортные данные электродвигателя из справочника. Формулы должны быть написаны не только в символьном выражении, но и с подстановкой числовых значений. Там, где расчеты повторяются, должен быть пример. Обозначение выбранных элементов должно соответствовать ГОСТ.

2 РАСЧЕТ СИЛОВЫХ СХЕМ ТП ПОСТОЯННОГО ТОКА

2.1 Выбор ПТ и ограничивающего реактора

Для согласования заданной величины выпрямленного напряжения питающей сети и ограничения скорости изменения тока в тиристорах ТП используются преобразовательные трансформаторы (ПТ) - 1.1а,б. Если такого согласования не требуется, и трансформатор отсутствует, то для ограничения величины dI / dt могут быть установлены токоограничивающие реакторы (1.1в).

Выбор этих и всех последующих элементов ТП производится в предположении, что нагрузка на валу ЭД не зависит от направления его вращения. Поэтому обе ПГ в двухкомплектном ТП будет работать одинаково, и расчет можно проводить только для одной группы.

Преобразовательный трансформатор для рассматриваемых ТП выбирается в зависимости от силовой схемы преобразователя, расчетных значений мощности, тока и вторичного напряжения, а также напряжения питающей сети с использованием рекомендаций и каталожных данных, приведенных в [2].

При определении величины необходимого фазного напряжения на вторичной обмотке ПТ возникают трудности, связанные с тем, что в начальной стадии оказываются неизвестными многие падения напряжения в отдельных элементах ТП. В этом случае выбор ведется следующим образом.

Для питания ТП по трехфазным выпрямительным схемам предназначены трансформаторы с одной активной частью двухобмоточные (типов ТСП, ТСЗП, ТНЗП, ТМП, ТДП) и с расщепленными обмотками (типов ТРМП, ТРДП) [2].

Трансформаторное оборудование выбирается в соответствии с параметрами ТП. Номинальный ток преобразователя $I_{дН}$ совпадает с номинальным током ЭД $I_{дН}$, так как $I_d = I_d$.

$$I_{дН} = \frac{P_{дН}}{U_{дН}\eta}, \quad (2.1)$$

где $P_{дН}$ - номинальная мощность ЭД;

$U_{дН}$ - номинальное напряжение на якоре ЭД;

η - к. п. д. ЭД.

Структурная схема преобразования напряжения без учета падений напряжений в цепях трансформатора и ТП приведена на рис. 2.1: $U_{сф}$ - фазное напряжение сети; $K_{тр}^H$ - коэффициент трансформации по напряжению; $E_{2ф}$ - фазное напряжение вторичной обмотки ПТ (зависит от напряжения вентильной обмотки ПТ U_2 [2] и схемы соединения вторичных обмоток); $K_{сх}^H$ - коэффициент схемы ТП по напряжению (для мостовой – 2,34, для нулевой – 1,17); E_{d0} - ЭДС на выходе ТП при нулевом значении угла управления α .

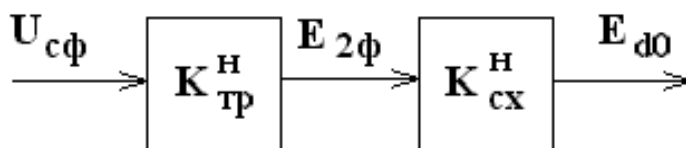


Рисунок 2.1 - Структурная схема преобразования напряжения

Величина $K_{сх}^H \cdot E_{2ф} = E_{d0}$ должна быть больше номинального напряжения на якоре ЭД $U_{дН}$ не менее чем на 10-15 % для компенсации падений напряжений в цепях трансформатора и ТП.

Величина фазного напряжения во вторичной обмотке ПТ при соединении ее в звезду определяется по формуле:

$$E_{2ф} = \frac{U_2}{\sqrt{3}}. \quad (2.2)$$

Расчетные значения мощности первичной S_1 и вторичной S_2 обмоток определяются по максимальной расчетной мощности на стороне выпрямленного напряжения из уравнения:

$$S_1 = S_2 = K_{сх}^M E_{d0} I_{дН}, \quad (2.3)$$

где $K_{сх}^M$ - коэффициент схемы по мощности (для мостовой – 1,045, для нулевой – 1,46).

Действующее значение тока вторичной обмотки:

$$I_2 = K_{cx}^T I_{дн}, \quad (2.4)$$

где K_{cx}^T - коэффициент схемы по току (для мостовой – 0,82, для нулевой – 0,58).

Если при заданных значениях выпрямленного напряжения требуемое анодное напряжение близко совпадает с напряжением питающей сети, то вместо ПТ можно установить токоограничивающие реакторы.

Выбор токоограничивающего реактора производится следующим образом. По заданному значению номинального тока якоря ЭД определяется действующее значение тока, проходящего через токоограничивающий реактор:

$$I_p = K_{cx}^T I_{дн}. \quad (2.5)$$

Далее на основании методики выбираются вентили, и по их каталожным данным находится допустимая (критическая) величина скорости изменения тока $dI_{доп}/dt$ [3].

При заданном значении напряжения питающей сети и известном значении I_p выбирается токоограничивающий реактор [2]. Затем проверяется, достаточна ли его индуктивность для ограничения величины $dI_{доп}/dt$ по условию:

$$L_p \geq K \frac{U_C}{2 \frac{dI_{доп}}{dt} (N-1)}, \quad (2.6)$$

где U_C - линейное напряжение питающей сети;

N - количество параллельно включенных в выпрямителе тиристоров;

$K=1,2-1,3$ - коэффициент запаса.

2.2 Определение тока короткого замыкания и времени его действия

За расчетный режим для определения значения тока короткого замыкания принимается режим короткого замыкания на нагрузке. Расчет ведется по эквивалентной схеме для одной фазы на стороне выпрямленного напряжения для номинального режима. Эффективное значение установившегося тока короткого замыкания:

$$I_{кз} = \frac{E_{2\phi}}{Z_c + Z_{Tp}}, \quad (2.7)$$

где Z_c, Z_{Tp} - сопротивления соответственно внешней сети и трансформатора (или токоограничивающего реактора).

Сопротивление внешней сети зависит от мощности короткого замыкания системы:

$$Z_c = \frac{3E_{2\phi}^2}{S_{кз}}. \quad (2.8)$$

Сопротивление трансформатора:

$$Z_{Tp} = \frac{3E_{2\phi}\bar{U}_K}{S_{Tp}}, \quad (2.9)$$

где $\bar{U}_K$ - напряжение короткого замыкания ПТ в отн. ед.; S_{Tp} - мощность трансформатора.

Для выбора вентиля необходимо знать амплитудное значение тока короткого замыкания:

$i_{K3.a} \approx 2\sqrt{2}I_{K3}$ - в случае, если защита срабатывает в течение времени, не превышающем 10 мс;

$i_{K3.a} \approx \sqrt{2}I_{K3}$ - в случае, если защита срабатывает в течение времени 10 мс и более.

Первый случай соответствует применению в качестве защиты от токов замыкания быстродействующих плавких предохранителей (БПЛ) или быстродействующих автоматических выключателей. БПЛ применяются, если соблюдается соотношение:

$$\frac{i_{K3.a}}{I_{dH}} \geq 12.$$

При использовании обычных предохранителей и выключателей время срабатывания защиты составляет 40-60 мс.

2.3 Выбор тиристоров

Согласно рекомендациям, приведенным в [3], тиристоры выбираются по напряжению с учетом рекомендуемого рабочего напряжения схемы преобразователя, возможного повторяющегося перенапряжения и возможного неповторяющегося (случайного) перенапряжения. Необходимый класс вентиля по напряжению выбирается на основании соотношения:

$$U_{KL} = K_{II}K_HK_{CX}^{obr}E_{2\phi}, \quad (2.10)$$

где $K_{II}=1.25$; $K_H=1,5$ – коэффициенты, учитывающие повторяющиеся и кратковременные перенапряжения на вентилях;

K_{CX}^{obr} – коэффициент схемы, характеризующий величину максимального обратного напряжения на ключе (для трехфазных схем $K_{CX}^{obr}=\sqrt{6}$).

Выбор вентиля по току должен производиться на основании величины максимального среднего значения тока, проходящего через тиристор:

$$I_{KL} = \frac{K_I I_{dH}}{3}, \quad (2.11)$$

где K_I - коэффициент перегрузки ЭД по току [1].

При выборе тиристоров следует учитывать, что в справочнике [3] приводятся значения максимально допустимого среднего за период значения тока, длительно протекающего через прибор в классификационной схеме выпрямления, т.е. однофазной однополупериодной схеме с активной нагрузкой при частоте 50 Гц, синусоидальной форме тока, угле проводимости 180 электрических градусов и максимально допустимой температуре структуры при различных условиях его охлаждения. Большая часть приведенных в справочнике тиристоров может обеспечить максимально возможный ток лишь при наличии охладителей и заданных условиях охлаждения.

Для того чтобы выбрать тиристор, предназначенный для работы в рассматриваемой схеме, необходимо предварительно по соотношению (2.11) определить максимальный ток, а затем, полагая, что тиристор будет работать в классификационной схеме, выбрать его. На основании методики, изложенной в [4], определить потери в тиристоре при работе в классификационной схеме $\Delta P_{кл}$ и потери при работе в рассматриваемой схеме ΔP_p (при уровнях угла регулирования и угла проводимости тиристора, соответствующих номинальному режиму работы ЭД). Сопоставляя полученные значения потерь, решают вопрос о правильности предварительного выбора тиристора – тиристор выбран правильно, если $\Delta P_{кл} > \Delta P_p$. После выбора тиристора необходимо привести его полное обозначение в соответствии с ГОСТ 20859-79, паспортные данные и эскиз [3].

2.4 Выбор реакторов для ограничения уравнительных токов

В двухкомплектных реверсивных ТП при согласованном управлении ПГ из-за неравенства мгновенных значений напряжений возникают уравнительные токи. Для их ограничения в уравнительном контуре устанавливаются реакторы.

Требуемая индуктивность уравнительного реактора, исходя из заданного допустимого значения уравнительного тока $I_{ур}$, может быть определена из соотношения:

$$L_{ур} = \frac{U_{т.л}}{\omega I_{ур}} K_{\phi} - nL_{т.р}, \quad (2.12)$$

где $U_{т.л} = \sqrt{2}U_2$ - амплитуда линейного напряжения анодной цепи преобразователя;

ω - круговая частота питающей сети;

K_{ϕ} - коэффициент формы, определяемый видом ТП и диапазоном изменения угла регулирования α . Его величина может быть определена на основании графика рис. 2.2 (так как привод предназначен работать в большом диапазоне изменения скорости вращения, то значение K_{ϕ} следует выбирать из графика максимальным);

p - количество фазных обмоток, находящихся в цепи уравнительного тока;

L_{Tp} - индуктивность фазы ПТ, приведенная к вторичной обмотке. Если эта величина не задана в каталоге, то ее значение приближенно можно определить из соотношения:

$$L_{Tp} \approx \frac{\bar{u}_k E_{2\phi}}{\omega I_2}. \quad (2.13)$$

Полученная по соотношению (2.12) величина индуктивности дает основание для выбора уравнительного реактора. При этом необходимо учитывать следующее. Если для схемы будут выбраны реакторы, ненасыщающиеся от основного тока [2], то необходимо их установить в цепи каждой ПГ, и индуктивность каждого из них должна быть равной половине от общего значения; если реакторы выбраны с насыщением, то каждый из них должен иметь полную индуктивность, определенную из соотношения (2.12). Параметры сглаживающих реакторов серии ФРОС приведены в [2].

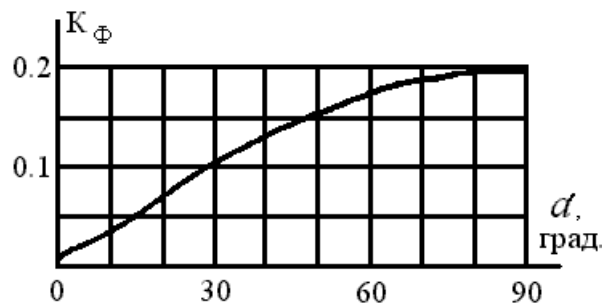


Рисунок 2.2 - Зависимость коэффициента формы от угла управления

2.5 Выбор сглаживающего реактора

В электроприводах применяются однофазные сглаживающие реакторы, включаемые в цепь постоянного тока. Величина необходимой индуктивности сглаживающего реактора цепи выпрямленного тока определяется в зависимости от схемы преобразователя и допустимого значения пульсаций тока из соотношения:

$$L_{\Sigma} \equiv \frac{\bar{i}_{II} E_{d0}}{I_{II, доп} \omega m_2}, \quad (2.14)$$

где $\bar{i}_{II}$ - относительное значение амплитуды пульсирующего тока, определяемое видом преобразователя и заданным диапазоном изменения выпрямленного напряжения (для мостовой схемы – 0,057, для нулевой – 0,25);

m_2 - эквивалентное число фаз (пульсность) ТП.

Требуемая величина индуктивности сглаживающего реактора (СР) определяется, исходя из имеющейся индуктивности цепи выпрямленного тока

(трансформатора, якорной цепи ЭД, уравнильных реакторов, если они выбраны без насыщения от рабочего тока ЭД и т.д.) по соотношению:

$$L_{сд} = L_{\Sigma} - nL_{Tp} - L_{yp} - L_{яд}, \quad (2.15)$$

где n - число фазных обмоток трансформатора, находящихся в цепи выпрямленного тока.

Индуктивность цепи якоря ЭД может быть определена из соотношения:

$$L_{яд} = C_x \frac{U_{дн}}{I_{дн} \omega p}, \quad (2.16)$$

где p - число пар полюсов; C_x - коэффициент, равный:

0,6 - для некомпенсированных машин;

0,1 - для компенсированных машин.

Если вместо трансформатора установлен токоограничивающий реактор, то при определении величины $L_{сд}$ необходимо учесть его индуктивность вместо L_{Tp} .

Если в результате расчета получаем, что заданная величина пульсаций тока обеспечивается без установления СР, то в этом случае с помощью соотношения (2.14) необходимо определить действительную величину пульсаций. Параметры сглаживающих реакторов серии ФРОС приведены в [2].

2.6 Расчет и выбор элементов защиты ТП

Для защиты полупроводниковых преобразователей от короткого замыкания широко применяются БПЛ, которые устанавливаются в цепи каждого полупроводникового прибора и являются самыми простыми и дешевыми защитными аппаратами.

БПЛ выбираются обычно по полному интегралу отключения $W_{пр}$, равному сумме интегралов плавления и дуги. Для надежной защиты полупроводникового прибора полный интеграл отключения должен быть меньше допустимого защитного показателя самого прибора $W_{п}$. Дополнительными мерами по обеспечению надежной защиты приборов являются либо недогрузка приборов по току, что позволяет использовать предохранители на меньший номинал, либо увеличение числа параллельно включенных полупроводниковых приборов.

С учетом коэффициента запаса $K=1,2-1,5$ условие надежной защиты полупроводникового прибора можно записать:

$$W_{пр} \leq W_{п} / k. \quad (2.17)$$

Коэффициент k учитывает также допускаемое превышение на 10 % значений $W_{ид}$, указанных в технических условиях.

При внутреннем повреждении преобразователя (пробое полупроводникового прибора) с параллельным включением вентилей аварийный ток, который течет через предохранитель, установленный в цепи поврежденного прибора, в N раз больше, чем ток в цепи каждого из неповрежденных приборов, где N - количество параллельно включенных приборов. Тепловое воздействие аварийного тока на неповрежденные приборы в этом случае будет $W_{пр} / N^2$, а условие надежной защиты полупроводниковых приборов примет вид:

$$W_{пр} / N^2 \leq W_{п} / k. \quad (2.18)$$

Из (2.18) можно определить минимальное число параллельно включенных приборов, при котором будет обеспечиваться надежная защита при внутренних повреждениях:

$$N \geq \sqrt{k W_{пр} / W_{п}}. \quad (2.19)$$

Параметры БПЛ типа ПП приводятся в справочной литературе [5].

Для защиты преобразователей при внутренних коротких замыканиях и перегрузках применяются также быстродействующие автоматические выключатели (АВ) серии ВАБ и ВАТ и общепромышленные серии А-3700, АП и др. [5]. Достоинство АВ заключается в том, что в них совмещены устройство защиты и коммутационный аппарат, позволяющий производить включение и выключение преобразователей. Однако автоматические выключатели уступают по быстродействию плавким предохранителям.

Переходные процессы в цепях статических преобразователей часто сопровождаются перенапряжениями, основными из которых являются: перенапряжения, обусловленные внутренними процессами в полупроводниковых приборах в моменты коммутации тока; коммутационные перенапряжения, возникающие в моменты отключения внешних цепей с индуктивностями; напряжения, вызванные резонансными явлениями в преобразователях; внешние перенапряжения, поступающие из питающей сети. Перенапряжения могут привести к электрическому пробое приборов, вызывающему, как правило, возникновение коротких замыканий.

Для устранения перенапряжений, возникающих в моменты выключения приборов, применяются RC -цепочки, включаемые параллельно приборам. В момент выключения прибора обратный ток из цепи прибора коммутируется в RC -цепочку. Заряд конденсатора цепочки при этом носит колебательный характер, обусловленный параметрами контура схемы замещения. Выбор элементов RC -цепочки при определенном значении индуктивности в схеме L определяется компромиссным решением с учетом достаточного ограничения уровня напряжения на тиристоре, а также ограничения амплитуды разрядного тока защитного конденсатора в момент включения тиристора при максимальном угле регулирования. Емкость для RC -цепочек, защищающих полупроводниковые приборы от внутренних перенапряжений, можно определить по формуле [5]:

$$C = \bar{u}_k I_{RRM}^2 / \omega I_{TRM} U_{DRM}, \quad (2.20)$$

где I_{RRM} - повторяющийся импульсный обратный ток;

I_{TRM} - максимально допустимый средний ток в открытом состоянии;

U_{DRM} - повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии.

Сопротивление R защитной цепочки выбирается на основании соотношений:

$$R = U_{DRM} / I_{RRM}. \quad (2.21)$$

3 ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТП

3.1 Построение регулировочной и внешней характеристик ТП

Регулировочная характеристика ТП $E_d = f(\alpha)$ в зоне непрерывного тока может быть построена на основании соотношения:

$$E_d = E_{d0} \cos \alpha. \quad (3.1)$$

При известной характеристике $E_d = f(\alpha)$ необходимо построить график выпрямленного напряжения на якоре ЭД при номинальном токе нагрузки в функции изменения по соотношению:

$$U_{яд} = E_{d0} \cos \alpha - I_{дн} R_{тп}, \quad (3.2)$$

где $R_{тп}$ - сопротивление цепи выпрямленного тока, за исключением сопротивления якоря ЭД.

На основании полученного графика и выражения (3.2) определяется угол регулирования α_H ТП, соответствующий номинальному режиму двигателя, а также проверяется правильность выбора ПТ.

Наклон внешней характеристики зависит от типа выпрямителя и величины сопротивлений преобразователя. Характеристика прямолинейна и строится для $\alpha = \alpha_H$ по двум точкам при холостом ходе и номинальной нагрузке на основании выражения:

$$U_d = E_{d0} \cos \alpha_H - [I_d (R_{тп} + R_k) + \Delta U_B]. \quad (3.3)$$

3.2 Построение электромеханической характеристики системы ТП-ЭД

Характеристика $\omega_d = f(I_d)$ может быть построена из соотношения:

$$\omega_d = \frac{E_{d0} \cos \alpha - I_d (R_{\Sigma} + R_k)}{C_e \Phi}, \quad (3.4)$$

где $(R_{\Sigma} + R_k)$ - полное сопротивление цепи выпрямленного тока системы ТП-ЭД.

Прежде чем вести построение характеристики, необходимо при $I_d = I_{дн}$ из (3.4) определить значение углов регулирования α , соответствующих заданным значениям ω_d .

3.3. Построение зоны прерывистых токов

Для преобразователей с раздельным управлением ПГ необходимо определить зону прерывистых токов нагрузки.

Граничное значение прерывистого тока I_{dip} , определяющее эту зону в зависимости от угла регулирования α , в общем виде для любого преобразователя может быть определено из соотношения:

$$I_{dip} = \frac{E_{d0}}{\omega L_{\Sigma}} \left(1 - \frac{\pi}{m_2} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{m_2}\right) \sin \alpha, \quad (3.5)$$

где L_{Σ} - суммарная индуктивность цепи выпрямленного тока.

После определения $I_{dip} = f(\alpha)$ эта зависимость строится графически на семействе электромеханических характеристик системы ТП-ЭД. При этом величины I_{dip} определяются для углов α , рассчитанных в п. 3.2, и наносятся на соответствующие электромеханические характеристики.

3.4 Определение минимального угла инвертирования

При работе преобразователя в инверторном режиме система управления ТП должна обеспечить ограничение величины минимального угла регулирования $\beta_{мин}$ с тем, чтобы избежать возможного прорыва инвертора. Этот угол должен быть больше суммы угла коммутации γ и угла, определяющего время восстановления запирающих свойств вентиля δ , т.е.:

$$\beta_{мин} \geq \gamma + \delta. \quad (3.6)$$

Величина угла коммутации определяется соотношением:

$$\gamma = \arccos\left(\cos \alpha - \frac{2I_d R_k}{E_{d0}}\right) - \alpha, \quad (3.7)$$

а значение δ :

$$\delta = \frac{\omega}{\pi} 180^\circ t_{выкл} [\text{эл. град.}], \quad (3.8)$$

где $t_{выкл}$ - время выключения вентиля [3].

3.5 Расчет энергетических характеристик ТП

Коэффициент мощности χ зависит от режима работы выпрямителя, угла коммутации γ и мощности намагничивания трансформатора:

$$\chi = \frac{U_d I_d}{\sqrt{3} U_C I_{xx} + \frac{U_d I_d}{\nu \cos(\gamma/2)}}. \quad (3.9)$$

В числителе стоит мощность в нагрузке, первое слагаемое знаменателя - мощность намагничивания трансформатора, второе слагаемое знаменателя - полная мощность выпрямителя, $\nu = 0,935$ - коэффициент учета высших гармонических в линейном токе трансформатора; I_{xx} - ток холостого хода ПТ.

Коэффициент полезного действия выпрямителя определяется по выражению:

$$\eta = \frac{U_d I_d}{U_d I_d + \Delta P_{\Sigma}}, \quad (3.10)$$

где ΔP_{Σ} - сумма потерь мощности выпрямителя, складывается из следующих составляющих:

а) потери в силовом трансформаторе:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{\kappa 3} \left(\frac{U_d I_d}{S_{TP}^{ном}} \right), \quad (3.11)$$

где $S_{TP}^{ном}$ - номинальная мощность ПТ.

б) потери в вентилях преобразователя (без учета величины угла проводимости):

$$\Delta P_B = n_B (I_{dB} \Delta U_B + I_{dB}^2 R_{дин.В}), \quad (3.12)$$

где n_B - общее число одновременно проводящих вентилях;

I_{dB} - средний ток вентиля в данном режиме.

в) потери в выходном фильтре, зависят только от активных потерь в реакторе фильтра:

$$\Delta P_{др} = I_d^2 R_{др}. \quad (3.13)$$

д) потери в RC-цепочках постоянны и не зависят от нагрузки:

$$\Delta P_{RC} = 0,005 P_{дн}. \quad (3.14)$$

е) мощность, потребляемая системой управления и защиты, постоянна и не зависит от нагрузки: $\Delta P_y = 0,2$ кВт.

На основании приведенных соотношений строятся:
 зависимости χ в функции относительного значения скорости вращения электродвигателя $\omega_d / \omega_{дн}$ (0, 0,25; 0,5; 0,75; 1) для значений тока нагрузки $I_d = I_{дн}$ и $I_d = 0,5I_{дн}$. При этом для заданных значений $\omega_d / \omega_{дн}$ и I_d используются соответствующие значения углов регулирования α . Далее определяются углы коммутации γ , а затем ведется построение искомых зависимостей;
 зависимости η в функции тока $I_d / I_{дн}$ (0, 0,25; 0,5; 0,75; 1) для двух значений скоростей $\omega_d = \omega_{дн}$, $\omega_d = 0,5\omega_{дн}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. Т.1 / под ред. И.П. Копылова. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
2. Комплектные тиристорные электроприводы: справочник / под ред. В.М. Перельмутера. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.
3. Замятин, В.Я. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: справочник / В.Я. Замятин. – Москва: Радио и связь, 1987. – 576 с.
4. Башарин, А.В. Примеры расчета автоматизированного электропривода / А.В. Башарин, Ф.Н. Голубев, В.Г. Кепперман. – Ленинград: Энергия, 1972. – 440 с.
5. Глух, Е.М. Защита полупроводниковых преобразователей / Е.М. Глух, В.Е. Зеленев. – Москва: Энергоиздат, 1982. – 252 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ЗАДАНИЕ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	3
2 РАСЧЕТ СИЛОВЫХ СХЕМ ТП ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	5
2.1 Выбор ПТ и ограничивающего реактора.....	5
2.2 Определение тока короткого замыкания и времени его действия	7
2.3 Выбор тириستоров.....	8
2.4 Выбор реакторов для ограничения уравнительных токов.....	9
2.5 Выбор сглаживающего реактора.....	10
2.6 Расчет и выбор элементов защиты ТП	11
3 ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТП	13
3.1 Построение регулировочной и внешней характеристик ТП	13
3.2 Построение электромеханической характеристики системы ТП-ЭД	13
3.3 Построение зоны прерывистых токов	14
3.4 Определение минимального угла инвертирования	14
3.5 Расчет энергетических характеристик ТП	15