**Липецкий государственный технический университет**

Факультет автоматизации и информатики

Кафедра электропривода

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

по электронике

«Расчет силовой части тиристорного преобразователя для электропривода постоянного тока»

Вариант 41

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент |  | Кондратьев С.Е. |
| Группа МР-19-1 |  |  |
| Руководитель |  | Безденежных Д.В. |
| к.т.н., доцент |  |

## Задание и исходные данные

Выполнить расчет силовой части реверсивного двухкомплектного тиристорного преобразователя, предназначенного для питания якорной цепи двигателей постоянного тока, в следующей последовательности:

1. Составление расчетной электрической схемы силовой части преобразователя и выбор для нее трансформатора, тиристоров и реакторов;
2. Расчет и выбор элементов защиты;
3. Расчет и построение регулировочных характеристик преобразователя;
4. Расчёт и построение семейства электромеханических характеристик привода при совместном и раздельном управлении тиристорными комплектами;
5. Построение временных диаграмм уравнительного напряжения и тока при совместном управлении тиристорными комплектами;
6. Расчёт зависимости, потребляемой преобразователем активной, реактивной и полной мощности, коэффициента мощности и коэффициента полезного действия от частоты вращения якоря двигателя (при номинальном токе якоря).
7. Изображение принципиальной электрической схемы силовой части преобразователя, с указаниемназначения всех ее элементов и подробным описанием работы преобразователя в установившемся и переходном режимах.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1. Она содержит:

1. Схему реверсивного преобразователя;

2. Угол рассогласования Δα=(αВ+αИ)-180° между выпрямительным и инверторным комплектом;

3. Угол управления выпрямительной группы αIВ для построения диаграмм уравнительного напряжения и тока при совместном управлении;

4. Координаты гранично-непрерывного режима IМИН/IНОМ. и ωЯ(IМИН.)/ωЯ.НОМ. при раздельном управлении;

5. Линейное напряжение питающей сети U1 ЛИН.;

6. Тип и мощность двигателя постоянного тока. (Параметры двигателя приведены в таблице 2).

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

|  |  |
| --- | --- |
| Схема преобразователя | Мостовая встречно-параллельная |
| Δα=(αВ+αИ)-180° | 30 эл. град. |
| αIВ | 60 эл. град |
| IМИН./IНОМ. | 35% |
| ωЯ(IМИН.)/ωЯ.Н. | 25% |
| U1 ЛИН | 380 В |
| Тип и мощность двигателя | П101 42 кВт |

Таблица 2 – Параметры двигателя П101

|  |  |
| --- | --- |
| Номинальная мощность Pн | 42 кВт |
| Номинальная частота вращения nн | 750 об/мин |
| Номинальный ток якоря Idн | 222 А |
| Номинальное напряжение якоря Udн | 220 В |
| Сопротивление якорной цепи rя+rд.п. | 0,049 Ом |
| Число полюсов 2p | 2 |

## Расчет силовой схемы тиристорного преобразователя

### Определение параметров и выбор трансформатора

Трансформатор выбирают по типовой (габаритной) мощности при условии, что напряжения и токи его обмоток соответствуют расчётным значениям. При работе в зоне непрерывных токов расчётное значение фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора определяют по формуле:

, В, (1)

где – коэффициент, зависящий от схемы преобразования; – коэффициент, учитывающий возможное снижение напряжения в сети; – коэффициент, учитывающий неполное открывание вентилей для минимального угла управления при ; – коэффициент, учитывающий внутреннее падение напряжения в преобразователе; – номинальное напряжение якоря двигателя.

Для минимальных и максимальных значений коэффициентов формулы (1) вычисляют расчётные значения фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора и, соответственно.

, В;

, В.

Расчётное значение тока фазы вторичной обмотки трансформатора вычисляем по формуле:

, А,

где – коэффициент, зависящий от схемы преобразования; – коэффициент, учитывающий отклонение формы фазного тока от прямоугольной; – номинальный ток якоря двигателя.

, А.

Типовая мощность трансформатора характеризует его габариты и расход материалов на изготовление магнитопровода и обмоток. Её определяют в по формуле:

, кВА,

где – коэффициент, зависящий от схемы преобразования и группы соединения обмоток.



, кВА.

Трансформатор выбирают, определяя его типовую мощность , номинальные значения фазного напряжения и фазного тока вторичной обмотки из соотношений:

,

,

,

Номинальное значение межфазного напряжение первичной обмотки трансформатора должно быть равно линейному напряжению сети .

Тип выбранного трансформатора – ТСП – 100/0,7. Его технические данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические данные трансформатора ТСП – 100/0,7

|  |  |
| --- | --- |
| Группа соединения обмоток | ∆/Y – 11 |
| Номинальная мощность | 93 кВА |
| Номинальное линейное напряжение первичной обмотки | 380 В |
| Номинальное линейное напряжение вторичной обмотки | 205 В |
| Номинальный фазный ток вторичной обмотки | 262 А |
| Напряжение короткого замыкания | 5,8% |
| Ток холостого хода | 4% |
| Потери короткого замыкания | 2300 Вт |

По техническим данным вычисляем:

– коэффициент трансформации:

;

– номинальное значение фазного тока первичной обмотки:

, А;

– значение линейного тока первичной обмотки:

, А;

– активное сопротивление фазы трансформатора:

, Ом;

– индуктивное сопротивление фазы трансформатора:



, Ом.

### Выбор тиристоров

Тиристоры выбирают по максимальному значению тока, протекающего через открытый вентиль в переходных режимах пуска и торможения двигателя, и по максимальному значению напряжения, которое прикладывается к вентилю в закрытом состоянии.

Среднее значение тока через открытый вентиль вычисляют по формуле:

, А,

где – коэффициент запаса, учитывающий увеличение тока через вентиль в переходном процессе пуска или торможения двигателя; – коэффициент, учитывающий интенсивность охлаждения тиристора (при естественном воздушном охлаждении с использованием стандартного радиатора, при принудительном охлаждении).

В паспортных данных тиристоров указан максимально допустимый средний ток в открытом состоянии , значение которого дано для классификационной схемы – однофазной однополупериодной схемы выпрямления синусоидального тока с активной нагрузкой при угле проводимости вентиля 1800(рисунок 1а). В трёхфазных схемах, работающих на якорь двигателя в режиме непрерывного тока, форма тока вентиля приближается к прямоугольной, а угол проводимости равен 1200 (рисунок 1б).

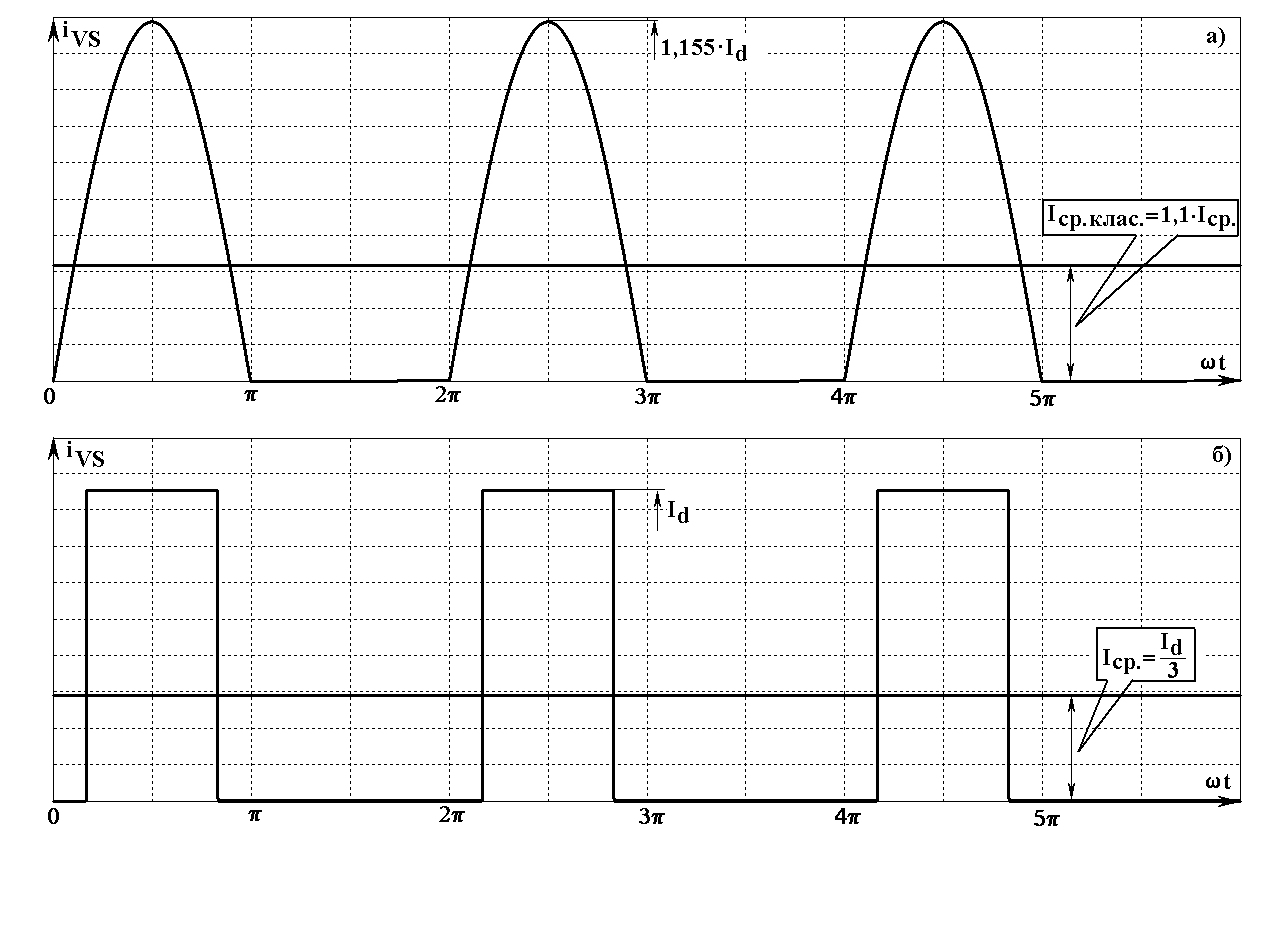


Рисунок 1 – Ток вентиля в классификационной схеме (а) и в трехфазных схемах преобразования (б) при одинаковом действующем значении.

Как следует из рисунка 1, для правильного выбора тиристора значение необходимо привести к классификационной схеме:

, А.

Максимальное напряжение на вентиле в запертом состоянии в трёхфазных схемах равно межфазному напряжению вторичной обмотки трансформатора. С учётом возможных перенапряжений его вычисляют по формуле:

, В,

где – коэффициент запаса по напряжению.

В паспортных данных тиристоров указано повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии , – максимально допустимое мгновенное значение напряжения, которое может быть приложено к запертому вентилю. Из справочника [2] выбирают тиристоры с предельными эксплуатационными параметрами, определяемыми из условий:

;

.

Тип выбранного тиристора – Т153-800. Технические данные прибора представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические данные тиристора ТБ153-800

|  |  |
| --- | --- |
| Предельные эксплуатационные параметры | |
| Повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии | 600-1200 В |
| Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии | 800 А |
| Ударный неповторяющийся ток в открытом состоянии при заданной длительности импульса tи= 10 мс | 12 кА |
| Защитный показатель I2t при заданной длительности импульса tи= 10 мс | 750 кА2∙с |
| Импульсное напряжение в открытом состоянии, | 1,8 В |
| Время выключения tвакл | 32-63 мкс |
| Время обратного восстановления tвос. обр. | 4,5 мкс |

### Расчёт индуктивности уравнительных реакторов

В реверсивных тиристорных преобразователях при совместном управлении группами мгновенные значения напряжений выпрямителя и инвертора могут быть неодинаковы, поэтому появляется неуравновешенное напряжение, под действием которого протекает ток. Для ограничения этого тока применяют уравнительные реакторы, индуктивность которых определяют по формуле:

где – действующее значение уравнительного тока (), – частота питающей сети, – коэффициент действующего значения уравнительного тока. Для расчёта используют максимальное значение коэффициента , определённое из графика зависимости для мостовой встречно-параллельной схемы.

;

Номинальный ток выбранного уравнительного реактора должен быть не меньше номинального тока якоря двигателя и индуктивность не меньше расчетной.

Тип выбранного уравнительного реактора – РОС64/0,5Т. Его технические характеристики приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики уравнительного реактора РОС64/0,5-Т

|  |  |
| --- | --- |
| Номинальный постоянный ток | 320 А |
| Номинальное действующее значение уравнительного тока | 31А |
| Индуктивность | 18,76 мГн |

### Расчёт индуктивности сглаживающего реактора

Сглаживающий реактор включают последовательно с якорем двигателя. Его индуктивность выбирают из условия снижения пульсаций выпрямленного тока до допустимого значения, указанного в задании.

Расчёт индуктивности цепи выпрямленного тока при совместном управлении производят по формуле:

,

где – количество пульсаций за период сетевого напряжения (для трёхфазной мостовой схемы ); –допустимый коэффициент пульсаций, вычисляемый как отношение амплитуды основной гармоники выпрямленного тока к номинальному току якоря.

.

– амплитуда основной гармоники выпрямленного напряжения, определяемая при номинальных частоте вращения и токе якоря двигателя.

Тиристорные преобразователи с симметричными схемами выпрямления при номинальных значениях напряжения и тока имеют угол управления около 30º, что позволяет, в случае необходимости, компенсировать понижение напряжения в сети и увеличение внутреннего падения напряжения в преобразователе. Поэтому величину определяют при , используя график зависимости , ().

.

Учитывая наличие в цепи нагрузки индуктивности якоря двигателя и уравнительных реакторов , величину индуктивности сглаживающего реактора определяют как:

Коэффициент перед индуктивностью уравнительного реактора в зависимости от его типа и схемы преобразования принимает следующее значение:

– при использовании насыщающихся реакторов.

Индуктивность якоря двигателя определяют по формуле:

где – для некомпенсированных машин; – число пар полюсов двигателя; – номинальная угловая частота вращения якоря.

Определим величину индуктивности сглаживающего реактора:

Расчет индуктивности сглаживающего реактора из условия обеспечения непрерывного тока в рабочем диапазоне изменения нагрузок при раздельном управлении группами тиристорного преобразователя при трехфазной мостовой схеме производим по формуле:

где – гранично-непрерывный ток, определяемый по формуле:

– угол регулирования, определяемый по формуле:

где – минимальное значение частоты вращения двигателя при гранично-непрерывном токе, определяемое по формуле:

– конструктивная постоянная двигателя при неизменном потоке главных полюсов, определяемая по формуле:

где – номинальная ЭДС якоря двигателя; – номинальная частота вращения якоря двигателя; – сопротивление якорной цепи при температуре 15°С, включающее сопротивление обмотки якоря и дополнительных полюсов;

Установка в схему сглаживающего реактора при раздельном управлении не требуется.

### Выбор элементов защиты преобразователя

#### 2.5.1 Выбор элементов защиты преобразователя

Для защиты вентилей от аварийных перегрузок по току используют плавкие предохранители, которые включают последовательно с тиристорами.

Они характеризуются значениями номинального напряжения ., номинального тока плавкой вставки и интеграла Джоуля (защитного показателя) . Для обеспечения нормального гашения дуги, возникающей при расплавлении вставки, номинальное напряжение применяемого предохранителя должно быть не меньше номинального напряжения преобразователя:

Номинальный ток плавкой вставки определяют по номинальному току двигателя из соотношения:

где – коэффициент запаса, учитывающий увеличение тока через вентиль в переходном процессе пуска или торможения двигателя;

– количество параллельно соединенных вентилей.

Номинальный ток держателя (или основания) предохранителя должен быть не меньше номинального тока плавкой вставки:

По условиям (1)…(3) выбираем предохранитель и плавкую вставку для него. Выбранный предохранитель должен ограничивать время протекания аварийного тока через вентиль таким образом, чтобы не превысить максимально допустимую температуру полупроводника и предела термодинамической стойкости элементов конструкции вентиля. Для оценки защищенности вентиля сравнивают его защитный показатель с интегралом Джоуля предохранителя . При этом должно выполняться условие:

где – ударный неповторяющийся ток тиристора в открытом состоянии.

Условие, которое представлено выше должно выполняться во всем диапазоне изменения тока отключения предохранителя.

Выбранный тип предохранителя – ПП57-3437. Его технические данные приведены в таблице 6. Характеристика интеграла Джоуля предохранителя представлена на рисунке 2.

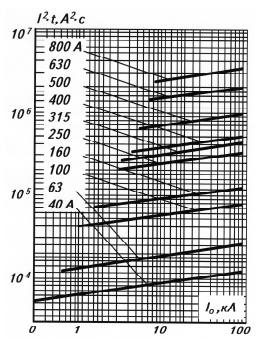


Рисунок 2 – Характеристика интеграла Джоуля предохранителя ПП57-3437

Таблица 6 – Технические данные предохранителя ПП57-3437

|  |  |
| --- | --- |
| Номинальный ток предохранителя | 250 А |
| Номинальный ток плавких вставок | 250 А |
| Наибольшее допустимое напряжение постоянного тока | 440 В |

#### 2.5.2 Защита вентилей от перенапряжений

Для защиты тиристоров от перенапряжений, возникающих при включении и отключении трансформатора, между фазными выводами вторичной обмотки включают демпфирующие цепи (рисунок 3).

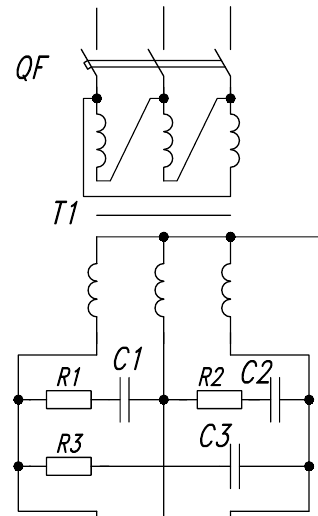


Рисунок 3 – Защита вентилей от перенапряжений в фазах трансформатора.

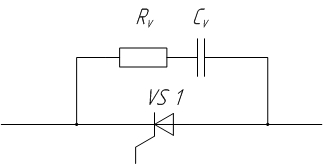
Емкость конденсатора такой цепи определяют по формуле (в микрофарадах):

где – номинальная мощность трансформатора, кВА; – ток холостого хода трансформатора, А;

. – максимально допустимое повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии вентиля, В; – максимальное напряжение на закрытом вентиле в схеме, В;

Примем емкость Сф=2,4 мкФ. В справочнике [3] выбираем конденсатор К77-1-400-2,7 мкФ±10%. Для обеспечения апериодического переходного процесса в контуре, образуемом демпфирующей цепочкой с индуктивностью рассеяния трансформатора, сопротивление резистора выбирают из соотношения:

Принимаем сопротивление Rф =20 Ом. Выберем резистор ПЭВ10-20±5% Для подавления периодических коммутационных перенапряжений на вентиле, возникающих при его запирании, параллельно каждому тиристору подключают цепь RVCV (рисунок 4).

Рисунок 4 – Защита вентиля от коммутационного перенапряжения

Емкость конденсатора в этой цепи определяют по формуле (в микрофарадах):

где – напряжение короткого замыкания трансформатора, в %. Максимальное значения обратного тока тиристора , вычисляют из соотношения:

где – угловая частота сети; – время обратного восстановления вентиля; – угол управления при номинальных напряжении и токе преобразователя, – максимальный угол коммутации вентиля.

Принимаем значение . Выберем конденсатор К72П-6-500-0,01 мкФ ± 10%. Сопротивление RV выбирают равным:

Принимаем значение . Выберем резистор ПЭВ10-200 ± 5%.

#### 2.5.3 Защита двигателя

В преобразователе предусматривают защиты: от включения двигателя при наличии напряжения на выходе преобразователя, от превышения напряжения на якоре, максимальную токовую и от чрезмерного ослабления магнитного потока главных полюсов. Их обеспечивает релейно-контакторная схема, показанная на рис. 5. В ней якорь двигателя подключен к выходу преобразователя через главные контакты КМ контактора КМ, в цепи катушки которого находятся контакты защитных реле.

Защита от включения двигателя при наличии напряжения реализована с помощью реле КV1. Его катушка через добавочный резистор R16 подключена к выходу преобразователя ТП до главных контактов контактора, а размыкающий контакт реле включен последовательно с пусковой кнопкой SB2.

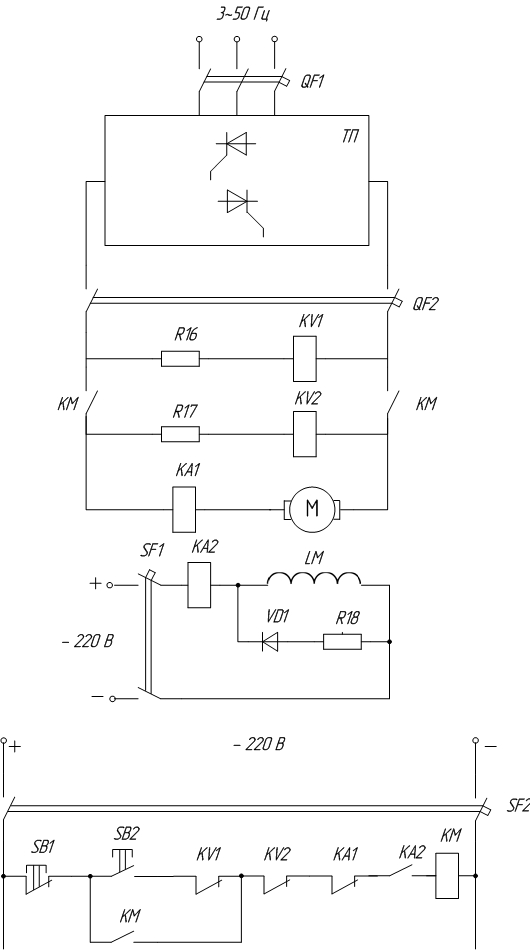


Рисунок 5 – Релейно-контакторная схема защиты двигателя

Защита якоря двигателя от недопустимого увеличения напряжения выполнена на реле КV2. Его катушка через добавочный резистор R17 подключена к выходу преобразователя после главных контактов контактора, а размыкающий контакт включен последовательно с катушкой контактора КM.

Реле КA1 осуществляет максимальную токовую защиту. Его катушка включена последовательно с якорем двигателя, а размыкающий контакт – последовательно с катушкой контактора КM.

Защиту от чрезмерного уменьшения тока возбуждения осуществляет реле КA2, катушка которого включена в цепь обмотки возбуждения двигателя, а замыкающий контакт находится в цепи катушки контактора КM. Вентиль VD1 с резистором R18 образуют цепь разряда индуктивности обмотки возбуждения двигателя после размыкания контактов автоматического выключателя SF1.

#### 2.5.4 Выбор автоматических выключателей

Для преобразователей, питающихся от сети с напряжением не более 380 В, на первичной стороне устанавливают автоматический выключатель переменного тока серии АП50Б или А3700. Для включения якоря двигателя к преобразователю используют быстродействующий автоматический выключатель постоянного тока серии А3700, который одновременно выполняет функции защиты от аварийных режимов. Для включения питания обмотки возбуждения двигателя и цепи собственных нужд преобразователя используют автоматический выключатель постоянного тока серии АП50Б.

Для включения трансформатора в сеть выберем автоматический выключатель серии А3715Б (QF1) на переменный ток с параметрами:

– номинальный ток выключателя;

– номинальное напряжение;

– номинальный ток тепловых расцепителей.

Для включения якоря двигателя к преобразователю применим автоматический выключатель постоянного тока А3725Б (QF2):

– номинальный ток выключателя;

– номинальное напряжение;

– номинальный ток полупроводниковых расцепителей.

Для включения цепи возбуждения параллельной обмотки двигателя и релейно-контакторной схемы применим автоматические выключатели постоянного тока АП50Б2МТ (SF1, SF2):

– номинальное напряжение;

– номинальный ток расцепителей.