

Министерство образования и науки РФ
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
Высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Нижекамск

2014

УДК 621.314.5
Т 83

Печатается по решению редакционно-издательского совета Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

Рецензенты:

Горбачевский Н.И., кандидат технических наук, заведующий кафедрой электротехники и энергообеспечения предприятий НХТИ;
Касаткин И.И., главный энергетик ООО «Нижнекамский завод грузовых шин».

Тумаева, Е.В.

Т 83 Расчет основных параметров и выбор элементов управляемых выпрямителей : методические указания / Е.В. Тумаева, Д.В. Горбунова. – Нижнекамск : Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2014. - 16 с.

Рассмотрены основные схемы силовых трехфазных выпрямителей, применяющихся на нефтехимических и нефтеперерабатывающих производствах. Приведена методика расчета и выбора элементов управляемых выпрямителей.

Предназначены для самостоятельной работы студентов очной и заочной формы обучения, изучающих дисциплины «Силовая электроника», «Преобразовательная техника нефтехимических производств». Могут быть использованы при проектировании синхронных электроприводов, а также электроприводов постоянного тока.

Подготовлены на кафедре электротехники и энергообеспечения предприятий НХТИ.

УДК 621.314.5

© Тумаева Е.В., Горбунова Д.В., 2014
© Нижнекамский химико-технологический институт
(филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2014

СОДЕРЖАНИЕ

1	Основные теоретические сведения о трехфазных выпрямителях...	4
1.1	Трехфазная нулевая схема	4
1.2	Трехфазная мостовая схема	6
1.3	Сравнение многофазных схем выпрямления	8
1.4	Управляемые выпрямители тока	9
2	Расчет основных параметров и выбор элементов разрабатываемого устройства	11
2.1	Расчет и выбор элементов управляемого выпрямителя	11
2.2	Пример определения расчетных параметров и выбор элементной базы устройства преобразования электроэнергии переменного тока в постоянный ток.....	14
	ЛИТЕРАТУРА	16

1. Основные теоретические сведения о трехфазных выпрямителях

Выпрямителем называется статический преобразователь переменного тока в постоянный, в общем случае состоящий из следующих основных узлов:

- 1) трансформатора;
- 2) блока вентильных элементов;
- 3) выходного фильтра.

Выпрямители обычно классифицируют:

- 1) по мощности:
 - маломощные (до 1 кВт);
 - средней мощности (до 100 кВт);
 - мощные (свыше 100 кВт);
- 2) по напряжению:
 - низкого (до 250 В);
 - среднего (до 1000 В);
 - высокого (свыше 1000 В);
- 3) по числу фаз первичной обмотки трансформатора:
 - однофазные;
 - трехфазные;
 - многофазные;
- 4) по схеме выпрямления:
 - со средней точкой;
 - мостовые;
- 5) по способу регулирования выходного напряжения:
 - управляемые;
 - неуправляемые.

1.1 Трехфазная нулевая схема

Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом приведена на рис. 1а, а временные диаграммы токов и напряжений при $L_d = \infty$ - на рис.1б. [1]

В каждый момент времени в схеме проводит вентиль той фазы, которая наиболее положительна. За нуль принят потенциал нулевого провода. Выпрямленное напряжение формируется из вершущек полуволн. Ток I_d постоянен, т.к. $L_d = \infty$.

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{d0} = 1,17U_{2\phi}. \quad (1.1)$$

Среднее и амплитудное значения выпрямленного тока

$$I_d = I_{d \max} = \frac{U_{d0}}{R_d}. \quad (1.2)$$

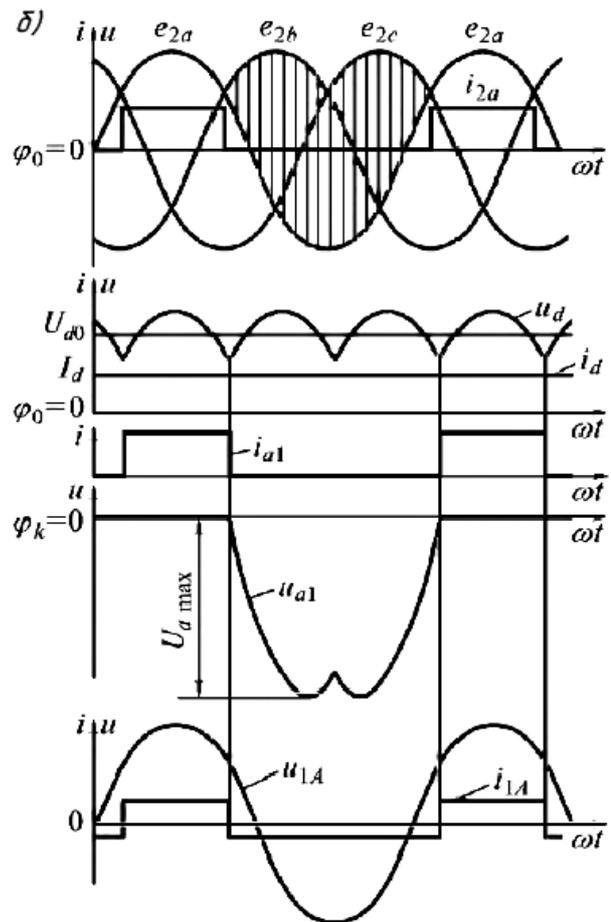
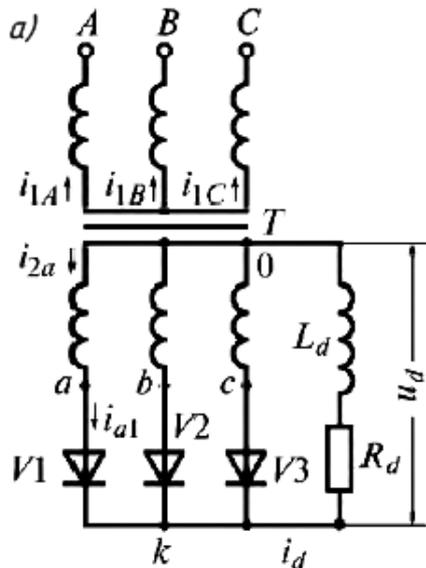


Рис.1. Трехфазная нулевая схема выпрямления (а) и диаграммы токов и напряжений, иллюстрирующие ее работу при $L_d = \infty$ (б).

Среднее и амплитудное значения тока через вентиль

$$I_a = I_d; \quad (1.3)$$

$$I_{a \max} = I_d. \quad (1.4)$$

Амплитуда напряжения на вентиле

$$U_{a \max} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{2\phi} = 2,09 U_{d0}. \quad (1.5)$$

Действующее значение первичного напряжения:

$$U_1 = U_2 \cdot n = \frac{U_{d0} \cdot n}{1,17}, \quad (1.6)$$

где n – коэффициент трансформации.

Расчетные мощности обмоток и трансформатора:

$$S_2 = 3 U_2 I_2 = 3 \frac{U_{d0} \cdot n}{1,17} \cdot \frac{I_d}{\sqrt{3}} = 1,48 \cdot P_d. \quad (1.7)$$

$$S_I = 3U_I I_I = 3 \frac{U_{d0} \cdot n}{1,17} \cdot \frac{\sqrt{2} I_d}{3n} = 1,21 \cdot P_d. \quad (1.8)$$

$$S_T = \frac{S_1 + S_2}{2} = 1,34 \cdot P_d. \quad (1.9)$$

Коэффициент при P_d показывает, во сколько раз можно было бы увеличить мощность, пропускаемую через обмотки трансформатора, если бы он работал не на выпрямитель, а на активную нагрузку при синусоидальном токе.

Увеличение расчетной мощности трансформатора вызвано:

- 1) плохим использованием вторичных обмоток трансформатора, пропускающих ток не все время;
- 2) загрузкой трансформатора гармониками тока, которые не используются. На выходе выпрямителя нужна только постоянная составляющая.

Полученные результаты для расчетных мощностей не отражают реального расхода активных материалов, так как в трансформаторе имеется поток вынужденного намагничивания, который приводит к несимметричному перемагничиванию сердечника, увеличению тока холостого хода и потерь в стали. Это вызывает увеличение расхода меди и стали. Таковы **недостатки** схемы.

Схема широко применяется в электроприводах постоянного тока малой и средней мощности, а также для питания обмоток возбуждения синхронных двигателей.

1.2 Трехфазная мостовая схема

Трехфазная мостовая схема выпрямления (схема Ларионова) приведена на рис. 2а, а временные диаграммы токов и напряжений при $L_d = \infty$ - на рис. 2б. Вентили V_2, V_4, V_6 , у которых соединены аноды, называют **анодной тройкой вентилей**; V_1, V_3, V_5 , у которых соединены катоды - **катодной тройкой вентилей**. В катодной тройке вентилей проводит вентиль, у которого анод самый положительный; в анодной тройке вентилей проводит вентиль, у которого катод самый отрицательный. Если в данный момент фаза a самая положительная, а c - самая отрицательная, то ток проходит от фазы a через V_1 в нагрузку, через V_2 на фазу c . Нумерация вентилей соответствует порядку их работы.

Выпрямленное напряжение u_d формируется из верхушек линейных напряжений. Ток нагрузки i_d из-за наличия в схеме индуктивности сглажен. На рисунке он представлен прямой линией. Токи через вентили $i_{a1} \dots i_{a6}$ изображаются прямоугольниками, соответствующими участкам проводимости. Вторичный ток i_{2a} переменный, а первичный i_{1A} имеет такую же форму. В отличие от трехфазной нулевой схемы трансформатор работает в нормальных условиях.

В трехфазной мостовой схеме число пульсаций выпрямленного напряжения за период $m = 6$, тогда

$$U_{d0} = 1,35U_{2Л} = 2,34U_{2ф}, \quad (1.10)$$

где $U_{2Л}$ - линейное напряжение на вторичной стороне трансформатора.

Среднее значение выпрямленного тока:

$$I_d = \frac{U_{d0}}{R_d}. \quad (1.11)$$

Среднее и амплитудное значения тока через вентиль:

$$I_a = I_d, \quad (1.12)$$

$$I_{a\max} = I_d. \quad (1.13)$$

Амплитуда напряжения на вентиле:

$$U_{a\max} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{2ф} = 1,045U_{d0}. \quad (1.14)$$

Действующее значение вторичного напряжения, с учетом (1.10)

$$U_2 = \frac{U_{d0}}{2,34}. \quad (1.15)$$

Действующее значение вторичного тока, с учетом диаграммы (см. рис.2б)

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{6} \int_0^{\frac{\pi}{3}} I_d^2 dt + \frac{1}{6} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} I_d^2 dt + \frac{1}{6} \int_{\frac{2\pi}{3}}^{\pi} I_d^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{6} \int_0^{\pi} I_d^2 dt} = \frac{I_d}{\sqrt{3}}. \quad (1.16)$$

Действующее значение первичного тока

$$I_1 = \frac{I_2}{n}. \quad (1.17)$$

Действующее значение первичного фазного напряжения

$$U_1 = U_2 \cdot n. \quad (1.18)$$

Расчетная мощность обмоток и расчетная (типовая) мощность трансформатора

$$S_I = S_2 = S_T = 3 \frac{U_{d0}}{2,34} \sqrt{\frac{1}{6} \int_0^{\pi} I_d^2 dt} = 1,045 \cdot P_d. \quad (1.19)$$

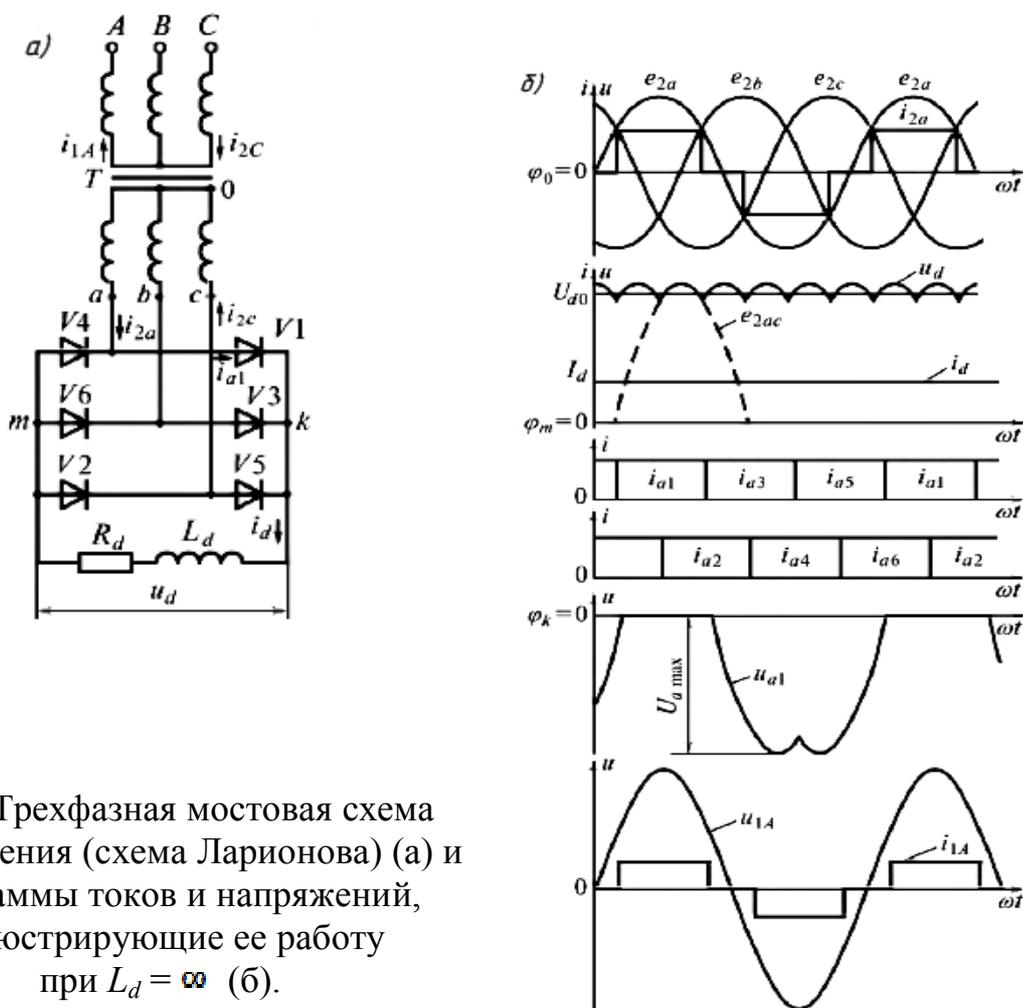


Рис.2. Трехфазная мостовая схема выпрямления (схема Ларионова) (а) и диаграммы токов и напряжений, иллюстрирующие ее работу при $L_d = \infty$ (б).

1.3 Сравнение многофазных схем выпрямления

Преимущества трехфазной мостовой схемы:

- 1) минимальная расчетная мощность трансформатора, трансформатор работает в хорошем режиме, нет потока вынужденного намагничивания;
- 2) самое большое выпрямленное напряжение при том же фазном;
- 3) малые пульсации;
- 4) возможность применения схемы без трансформатора.

Недостаток: двойное падение напряжения на вентилях, что особенно важно при малых напряжениях.

Преимущества трехфазной нулевой схемы (по сравнению с мостовой):

- 1) простота;
- 2) меньше падение напряжения на вентилях, что особо важно при низких напряжениях;
- 3) меньше вентиляей, но они рассчитаны на большее напряжение.

Недостаток: наличие потока вынужденного намагничивания.

Трехфазные схемы выпрямления находят широкое применение в выпрямителях средней и большой мощности. В большинстве случаев применяется для работы в составе электроприводов постоянного тока.

1.4 Управляемые выпрямители

Управляемые выпрямители позволяют не только выпрямлять напряжение, но и изменять его величину.

Регулировочная характеристика - это зависимость выпрямленного напряжения от угла управления α : $U_d = f(\alpha)$.

На рис. 3а приведена схема управляемого выпрямителя, выполненного по трехфазной нулевой схеме. Временные диаграммы токов и напряжений при $L_d = \infty$ приведены на рис. 3б. При построении приняты допущения, что вентили и трансформатор идеальны.

Для регулирования выпрямленного напряжения нужно изменять угол управления. Диаграмма рис. 3б иллюстрирует работу выпрямителя в непрерывном режиме.

$$U_{d\alpha 0} = U_{d0} \cos \alpha . \quad (1.20)$$

Выражение (1.20) является уравнением регулировочной характеристики выпрямителя в непрерывном режиме. Его часто записывают в относительных единицах ($U_{d\alpha 0} / U_{d0} = f(\alpha)$), принимая за базу напряжение U_{d0} :

$$\frac{U_{d\alpha 0}}{U_{d0}} = \cos \alpha . \quad (1.21)$$

Диаграмма рис. 3в иллюстрирует работу выпрямителя в прерывистом режиме при $L_d = \infty$. Из диаграммы видно, что если угол управления станет меньше 30° , то прерывистый режим сменится непрерывным. Угол управления, при котором меняется режим, называется граничным.

На рис.4. представлены регулировочные характеристики в относительных единицах для различных схем выпрямления. За базовое принято выпрямленное напряжение неуправляемого выпрямителя U_{d0} . Таким образом, вид регулировочной характеристики зависит от режима

В непрерывном режиме регулировочная характеристика идеального выпрямителя не зависит от вида нагрузки. В прерывистом режиме регулировочная характеристика зависит от схемы (пульсности) и величины индуктивности. С ростом индуктивности нагрузки замедляется спад анодных токов, и, поэтому растет граничный угол. Одновременно из-за появления отрицательных участков выпрямленного напряжения уменьшается угол

управления, при котором среднее значение выпрямленного напряжения становится равным нулю.

Таким образом, диапазон изменения угла управления, необходимый для полного регулирования выпрямленного напряжения определяется регулировочной характеристикой выпрямителя.

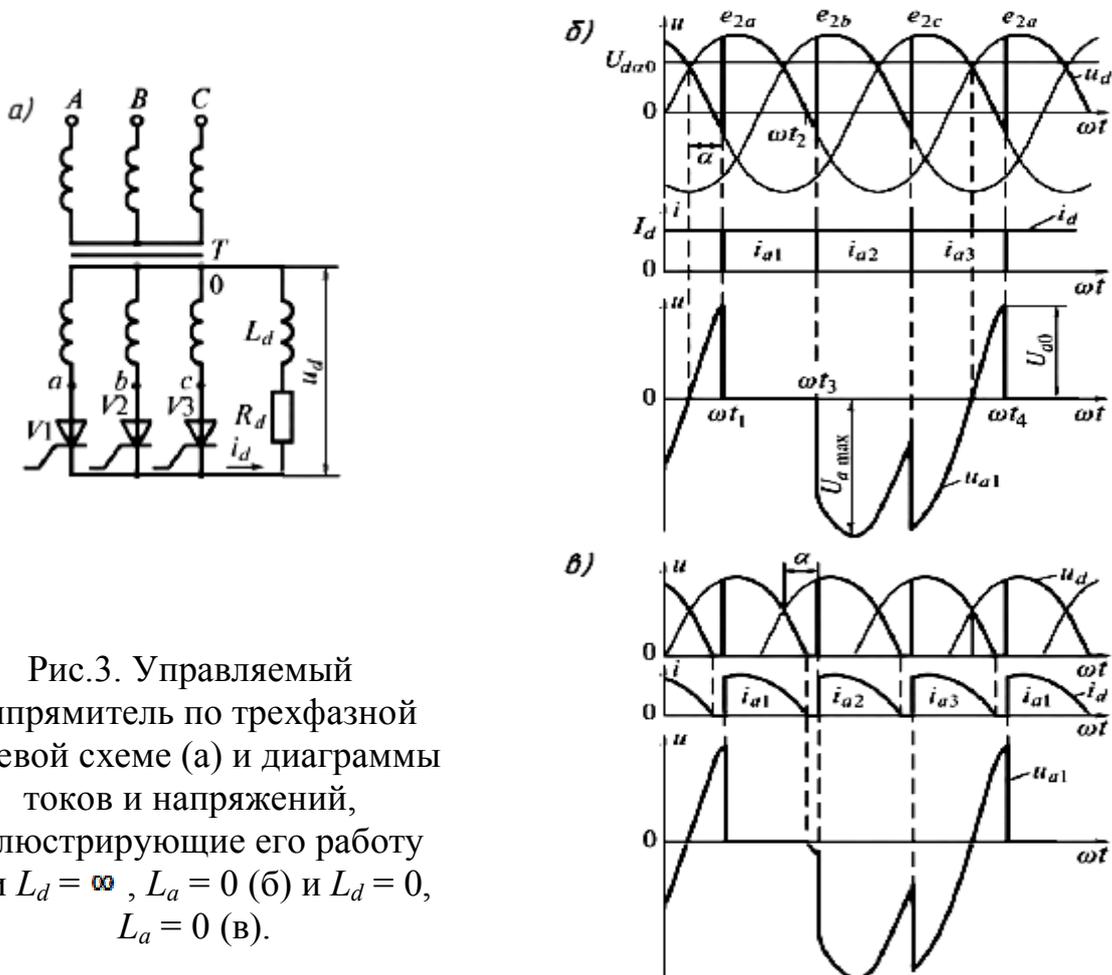


Рис.3. Управляемый выпрямитель по трехфазной нулевой схеме (а) и диаграммы токов и напряжений, иллюстрирующие его работу при $L_d = \infty$, $L_a = 0$ (б) и $L_d = 0$, $L_a = 0$ (в).

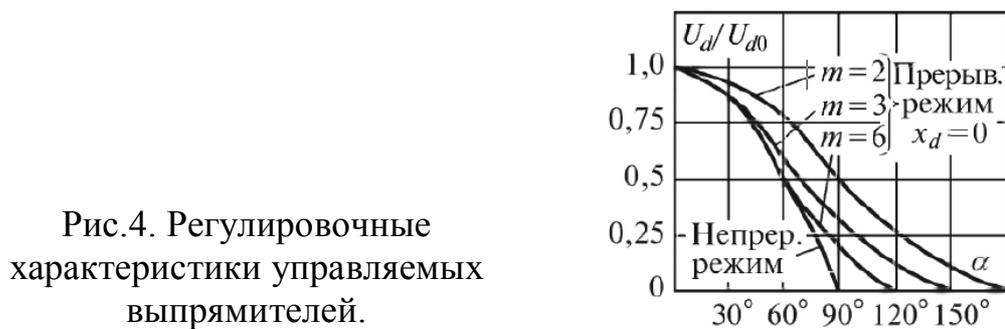


Рис.4. Регулировочные характеристики управляемых выпрямителей.

2. Расчет основных параметров и выбор элементов разрабатываемого устройства

Основная задача конструирования - реализация схемы устройства путем выбора, размещения и обеспечения функциональных связей электрических аппаратов, блоков модулей, узлов, связанных друг с другом силовыми цепями, цепями управления и информации. Важным этапом при этом является выбор аппаратной и элементной базы устройства. Выбор аппаратной и элементной базы производится по справочной литературе на аппараты и элементы с одновременным сравнением данных, указанных в справочниках по эксплуатационным характеристикам с соответствующими значениями, указанными в расширенном техническом задании (ТЗ) на разработку устройства или полученных расчетным путем.[2]

При выборе элементов учитывается:

- совместимость аппаратов и элементов (конструктивная, электрическая, электромагнитная, по условиям эксплуатации);
- соответствие элементной базы условиям эксплуатации, указанным в расширенном ТЗ;
- совместимость элементной базы по надежности.

Для повышения надежности устройства при выборе элементов рабочий диапазон параметров элементов по паспорту должен иметь 20 % запас.

При выборе по справочникам элементной базы учитываются показатели качества с весовыми коэффициентами, заданными в индивидуальном задании.

По результатам анализа электрической принципиальной схемы и выбора аппаратов и элементов устройства составляется таблица сравнительных технических характеристик элементной базы устройства. По суммарной установочной площади и массогабаритным показателям элементов производится предварительная компоновка модулей, блоков и всего устройства в целом, в зависимости от степени защиты и условий эксплуатации.

2.1 Расчет и выбор элементов управляемого выпрямителя

Порядок расчета. По заданным параметрам сети переменного тока, напряжению на стороне постоянного тока (или необходимому диапазону его изменения), выходным значениям напряжения и тока (U_d , I_d) производится расчет трансформатора преобразователя.

Расчетное значение фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{2\phi}$ определяют по формуле:

$$U_{2\phi} = k_U \cdot k_c \cdot k_a \cdot k_R \cdot U_d. \quad (2.1)$$

Коэффициент k_U , характеризующий соотношение напряжений $U_{2\phi}/U_d$ в идеальном выпрямителе, приведен в табл.2.1.

Коэффициент запаса $k_c = 1,05-1,1$ учитывает возможное снижение напряжения сети на 5-10 % от $U_{с.ном}$.

Коэффициент $k_\alpha = 1,05-1,1$ учитывает неполное открывание тиристорov.

Коэффициент $k_R = 1,05-1,1$ учитывает падение напряжения в обмотках трансформатора и в тиристорах.

Таблица 2.1.

Наименование схемы выпрямления	Коэффициенты					
	$k_U =$ $U_{2\phi}/U_{do}$	$k_I =$ $I_{2\phi}/I_d$	$k_s =$ $S_{mp}/(U_{do} \cdot I_d)$	$k_{Uобр} =$ $U_{обр.макс}/U_{do}$	$k_\phi =$ $I_{в.дейст}/I_{в.ср}$	$I_{ср}/I_{дейст}$
Однофазная двух полупериодная	1,11	0,707	1,34	3,14	1,41	0,5
Однофазная мостовая	1,11	0,707	1,11	1,57	1,41	0,5
Трехфазная нулевая	0,855	0,577	1,35	2,09	1,73	0,33
Трехфазная мостовая	0,427	0,817	1,05	1,05	1,73	0,33

Расчетное действующее значение тока вторичной обмотки определяют по формуле:

$$I_{2.ф.расч} = k_I \cdot k_i \cdot I_d. \quad (2.2)$$

Коэффициент схемы k_I (табл. 2.1), характеризует отношение токов $I_{2\phi}/I_d$ в идеальном выпрямителе.

Коэффициент $k_i = 1,05-1,1$ учитывает отклонение формы анодного тока тиристорov от прямоугольной.

Действующее значение тока первичной обмотки:

$$I_{1.ф.расч} = I_{2.ф.расч} / k_{mp}. \quad (2.3)$$

Коэффициент трансформации трансформатора $k_{mp} = w_1/w_2 = 0,95 U_{1\phi}/U_{2\phi}$.

Определяют расчетную типовую мощность трансформатора, кВА,

$$S_{mp} = k_s \cdot k_c \cdot k_\alpha \cdot k_i \cdot U_d \cdot I_d \cdot 10^{-3}, \quad (2.4)$$

где коэффициент k_s - коэффициент схемы (табл.2.1), характеризующий соотношение мощностей $S_{mp}/U_d \cdot I_d$ для идеального выпрямителя с нагрузкой на противоЭДС.

На основании расчетных данных (I_1, I_2, U_2, S_{mp}) выбирается по справочнику силовой трансформатор.

Выбор тиристорov производится по предельному значению тока, протекающего через прибор, и максимальному значению обратного напряжения с учетом условий охлаждения тиристора и отличия формы тока от полусинусоиды.

В трехфазных схемах тиристорных преобразователей при работе на якорь двигателя или на обмотку возбуждения со значительной индуктивностью силовой цепи, ток, протекающий через тиристоры, имеет форму близкую к прямоугольной, а угол проводимости λ составляет 120° . В этом случае действующее значение тока:

$$I_d = 1,73 \cdot I_d / 3. \quad (2.5)$$

Среднее значение прямого тока тиристора в заданной схеме управления определяется по формуле:

$$I_{\text{ср.расч}} = k_{3.1} \cdot \frac{I_{\text{дном}}}{m_T \cdot k_{\text{охл}}}. \quad (2.6)$$

Коэффициент $k_{3.1} = (2-2,5)$ - коэффициент запаса по току, учитывает кратность пускового тока;

m_T - число фаз преобразовательного силового трансформатора.

$k_{\text{охл}}$ - коэффициент, учитывающий интенсивность охлаждения силового тиристора ($k_{\text{охл}}=1,0$ при принудительном и $k_{\text{охл}}=0,33-0,35$ при естественном воздушном охлаждении со стандартным радиатором, соответствующим данному типу полупроводникового прибора).

Расчетное значение максимального обратного напряжения, прикладываемого к тиристорам, вычисляется по формуле:

$$U_{\text{обр.расч}} = k_{3.U} \cdot k_{U_{\text{обр}}} \cdot U_{do}. \quad (2.7)$$

$k_{3.U} = (1,4 - 1,6)$ - коэффициент запаса по напряжению, учитывающий возможные повышения напряжения питающей сети и периодические выбросы ($U_{\text{обр}}$, обусловленные процессом коммутации вентилей).

$k_{U_{\text{обр}}}$ (табл.2.1) - коэффициент обратного напряжения, равный отношению напряжений $U_{\text{обр.max}}/U_{do}$ принятой схемы выпрямления.

$U_{do} = U_{2\phi} / k_U$ - напряжение на выходе преобразователя при $\alpha=0$.

По полученным данным выбираются силовые тиристоры, имеющие параметры:

$$\begin{aligned} I_{\text{ср.т}} &\geq I_{\text{ср.расч}}; \\ U_{\text{п}} &\geq U_{\text{обр.расч}}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Выбор сглаживающего реактора, включенного последовательно с якорем двигателя, производится из условий обеспечения непрерывности тока двигателя во всем диапазоне нагрузок от $I_{d \text{ мин}}$ до $I_{d \text{ ном}}$ и изменении угла регулирования от $\alpha_{\text{мин}}$ до $\alpha=90^\circ$, а также ограничения пульсаций выпрямленного тока i_d до $(0,03-0,05)I_{d \text{ ном}}$, которые ухудшают процессы коммутации на коллекторе двигателя и увеличивают потери, и, соответственно нагрев двигателя.

С достаточной для инженерных расчетов точностью, требуемая суммарная индуктивность якорной цепи преобразователь-двигатель, равная $L_d = L_{\text{дв}} + L_{\text{тр}} + L_{\text{с.р}}$ может быть определена по формуле:

$$L_{d.\text{необх}} \geq . \quad (2.9)$$

U_{d1} - действующее значение 1-й гармоники выпрямленного напряжения;

$I_{d \text{ мин}}$ - минимальный ток нагрузки преобразователя, принимаемый равным (3-5) % от $I_{d \text{ ном}}$;

m - число пульсаций выпрямленного напряжения за период частоты напряжения сети.

Действующее значение 1-й гармоники выпрямленного напряжения U_{d1} при предельном угле регулирования $\alpha = 90^\circ$ для соответствующего значения числа пульсаций m определяется по известному значению U_{do} :

если $m=2$, $U_{d1}/U_{do}=0,93$;

если $m=3$, $U_{d1}/U_{do}=0,52$;

если $m=6$, $U_{d1}/U_{do}=0,26$.

Необходимая индуктивность сглаживающего реактора будет равна:

$$L_{\text{с.р}} = L_{d.\text{необх}} - (L_{\text{дв}} + L_{\text{тр}}), \quad (2.10)$$

где $L_{\text{дв}} = L_{\text{я.д}} + L_{\text{д.п}}$ - индуктивность якоря и дополнительных полюсов двигателя для машин постоянного тока рассчитывается по формуле:

$$L_{\text{дв}} = k \cdot \frac{U_{d \text{ ном}}}{p_n \cdot \omega_{\text{ном}} \cdot I_{d \text{ ном}}}. \quad (2.11)$$

k - коэффициент, равный (0,5-0,6) для некомпенсированных и $k=0,1$ для компенсированных машин;

p_n и $\omega_{\text{ном}}$ - число пар полюсов и номинальная угловая скорость двигателя.

Индуктивность фазы трансформатора, приведенная к контуру двигателя, приближенно можно определить по зависимости:

$$L_{\text{тр}} = \frac{x_{\Gamma}}{2\pi f_1}. \quad (2.12)$$

$$L_{\text{тр}} \approx 2 \cdot, \quad (2.13)$$

где $u_k \%$ - напряжение короткого замыкания трансформатора ($u_k \%= (3-6)\%$),
 $\omega_c = 2\pi f_c$ - угловая частота 1-ой гармоники напряжения сети при $f_l = 50$ Гц.

2.2 Пример определения расчетных параметров и выбор элементной базы устройства преобразования электроэнергии переменного тока в постоянный ток

Расчеты параметров преобразователя и выбор элементов произведем для двигателя постоянного тока.

Исходные данные: параметры электродвигателя $P_n = 8,8$ кВт, $U_n = 220$ В, $I_n = 48$ А, $n_n = 1500$ об/мин, $2p = 4$, $r_{я} + r_{д.п} = 0,274$ Ом. Преобразователь собран по 3-фазной мостовой схеме. $U_c = 380$ В, $f_l = 50$ Гц.

1) Выбор силового трансформатора.

Фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора:

$$U_{2\phi} = k_U \cdot k_c \cdot k_a \cdot k_R \cdot U_d = 0,427 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 220 = 125 \text{ (В)}.$$

Действующее фазное значение тока вторичной обмотки трансформатора:

$$I_{2.ф.расч} = k_I \cdot k_i \cdot I_d = 0,817 \cdot 1,1 \cdot 48 = 43,14 \text{ (А)}.$$

Действующее значение фазного тока первичной обмотки трансформатора:

$$I_{1.ф.расч} = I_{2.ф.расч} / k_{mp} = I_{2.ф.расч} \cdot U_{2\phi} / 0,95 \cdot U_{1\phi} = (43,14 \cdot 125) / (0,95 \cdot 220) = 25,8 \text{ (А)}.$$

Типовая мощность трансформатора:

$$S_{mp} = k_s \cdot k_c \cdot k_a \cdot k_i \cdot U_d \cdot I_d \cdot 10^{-3} = 1,05 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 220 \cdot 48 \cdot 10^{-3} = 14,76 \text{ (кВа)}.$$

С учетом не полной загрузки двигателя заданной в исходных данных $M/M_n = 0,9$ выбираем силовой 3-фазный трансформатор типа ТТ-14 со следующими параметрами: $P_n = 14$ кВа, $U_{1л} = 380$ В, $U_{2л} = 208$ В, $I_{1л} = 25$ А, $u_k = 10\%$.

2) Выбор тиристоров.

Среднее значение тока через тиристор:

$$I_{ср.расч} = k_{з.л} \cdot \frac{I_{дном}}{m \cdot k_{охл}} = 2 \cdot \frac{48}{3 \cdot 0,35} = 91,4 \text{ (А)}$$

Максимальное обратное напряжение на тиристоре:

$$U_{обр.расч} = k_{з.л} \cdot k_{Uобр} \cdot U_{do} = k_{з.л} \cdot k_{Uобр} \cdot U_{do} \cdot (U_{2\phi} / k_U) = 1,6 \cdot 1,05 \cdot (125 / 0,427) = 492 \text{ (В)}$$

Следовательно, тиристоры должны быть не ниже 6 класса (квалификационное напряжение не ниже 600 В).

Выбираем тиристор типа Т151-100, который имеет длительно допустимое среднее значение номинального рабочего тока в классификационной схеме равное 30 А, в условиях естественного охлаждения с типовым охладителем типа 0151-80 - при $T_{oc} = 40$ °С (в рассматриваемой схеме преобразователя длительный ток через тиристор: $I_d/3=48/3=16$ А)

3) Расчет индуктивности сглаживающего реактора.

$$L_{с.р} = - (L_{дв} + L_{тр}).$$

Индуктивность якоря электродвигателя вычисляем по формуле:

$$L_{дв} = k \cdot \frac{220}{4 \cdot 157 \cdot 48} = 0,73 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

с^{-1}

где $\omega = \pi \cdot n_n / 30 = 3,14 \cdot 1500 / 30 = 157$ - угловая частота.

Индуктивность силового трансформатора:

$$L_{тр} \approx 2 \cdot \frac{10 \cdot 125}{100 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 43,14} = 1,85 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Необходимая индуктивность цепи якоря:

$$L_{необх} = \frac{\sqrt{2} \cdot 76,1}{6 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,05 \cdot 48} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

где при $m=6$ $U_{dl} = 0,26 \cdot U_{2\phi н} / k_{\phi} = 0,26 \cdot 125 / 0,427 = 76,1$ В.

Сумма индуктивностей $L_{дв} + L_{тр} = 2,58 \cdot 10^{-3}$ Гн достаточна для обеспечения непрерывности тока и применять дополнительно сглаживающий реактор при заданных условиях нет необходимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов, В.А. Проектирование электротехнических устройств : учебное пособие / В.А. Анисимов, А.О. Горнов, А.А. Фролов; под ред. В.В. Москаленко. - М.: Изд-во МЭИ, 2001.
2. Гельман, М.В. Преобразовательная техника : учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2009.

Учебное издание

Тумаева Е.В.

кандидат технических наук, доцент

Горбунова Д.В.

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Корректор Габдурахимова Т.М.

Худ. редактор Федорова Л.Г.

Сдано в набор 2.06.2014

Подписано в печать 24.06.2014.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Тираж 100.

Заказ №33.

НХТИ (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».
г. Нижнекамск, 423570, ул.30 лет Победы, д.5а.