

Этот курсовой сделан по старой методичке,

Часть я убрал, чтобы показать, что я не обманываю..

Введение

1. Анализ исходных данных.
2. Принцип работы и анализ электромагнитных процессов в цепях выпрямительного преобразователя.
3. Расчет проектных параметров и выбор типа преобразовательного трансформатора.
 - 3.1. Расчет проектных параметров преобразовательного трансформатора.
 - 3.2. Выбор типа и обозначения преобразовательного трансформатора.
4. Проект вентильной части преобразователя.
 - 4.1. Параллельное соединение вентиляей.
 - 4.2. Последовательное соединение вентиляей.
 - 4.3. Расчет общего числа вентиляей преобразователя.
 - 4.4. Разработка силовой схемы вентильного плеча.
 - 4.5. Определение типа разработанного преобразователя.
5. Характеристика и энергетические параметры преобразователя.
 - 5.1. Расчет углов коммутации.
 - 5.2. Внешняя характеристика преобразователя.
 - 5.3. Энергетические параметры преобразователя.

Заключение

Список использованной литературы

Введение

Электроподвижной состав электрифицированного, магистрального, городского транспорта и метрополитена является одним из основных потребителей энергии постоянного тока. В связи с этим возникает необходимость преобразования энергии переменного тока в постоянный.

Эту функцию выполняют выпрямительные преобразователи.

1. Анализ исходных данных.

Назначение преобразователя			промышленный транспорт
Тип преобразователя			УВП
Номинальное линейное напряжение сети	$U_{1Л}$	кВ	10
Мощность короткого замыкания питающей сети	$S_{кз}$	МВА	100
Номинальное напряжение выпрямителя	$U_{дн}$	кВ	3,3
Коэффициент повторяющихся перенапряжений	$K_{п} = U_{п} / U_{v MAX}$		2
Коэффициент перегрузки выпрямителя	$K_{пер}$		1,85
Схема выпрямителя			12ПАР
Колебания напряжения питающей сети	ΔU_1	%	$\pm 3,5$
Номинальный ток выпрямителя	$I_{дн}$	А	2000
Тип диодов			T143-500
Коэффициент неповторяющихся перенапряжений	$K_{нп} = U_{нп} / U_{v MAX}$		2,35
Напряжение КЗ преобразовательного трансформатора	$u_{кт}$	%	9,5
Скорость потока, охлаждающего вентиля, воздуха	V	м/с	6

2. Принцип работы и анализ электромагнитных процессов в цепях выпрямительного преобразователя.

Схема 12-пульсного выпрямителя с последовательным соединением выпрямительных мостов состоит из трехфазного трехобмоточного преобразовательного трансформатора и двух выпрямительных мостов, каждый из которых собран по трехфазной мостовой схеме. Преобразовательный трансформатор этой схемы на первичной стороне имеет одну сетевую обмотку (СО) с числом витков равным ω_1 , а на вторичной стороне две вентильные обмотки (ВО), соединенные в "звезду" ("У") и в "треугольник" ("Д"). К этим обмоткам подключены выпрямительные мосты, которые соединены последовательно.

$$U_{d1} + U_{d2} = U_d \quad (2.1)$$

$$U_{d1} = U_{d2} = U_d / 2 \quad (2.2)$$

$$I_{d1} + I_{d2} = I_d \quad (2.3)$$

Для получения 12-пульсного режима выпрямления необходимо выполнить два условия:

- 1) угол сдвига фаз между одноименными линейными напряжениями ВО "У" и ВО "Д" должен составлять 30° ;
- 2) Выпрямленные напряжения U_{d1} и U_{d2} ВМ1 и ВМ2 должны быть равны.

Первое условие достигается тем, что вентильные обмотки трансформатора соединены в "У" и "Д". Второе условие сводится к равенству линейных напряжений ВО "У" и "Д", т.е.

$$U_{2ЛУ} = U_{2ЛД} \quad (2.4)$$

Но в "У" $U_{2ЛУ} = \sqrt{3} U_{2ФУ}$, а в "Д" $U_{2ЛД} = U_{2ФД}$.

Для получения 12-пульсного режима число витков ВО "Д" должно быть в $\sqrt{3}$ раз больше чем в ВО "У".

$$U_{2ЛД} = \sqrt{3} U_{2ФУ} \quad (2.5)$$

$$\omega_{2ЛД} = \sqrt{3} \omega_{2ФУ} \quad (2.6)$$

3. Расчет проектных параметров и выбор типа преобразовательного трансформатора.

3.1. Расчет проектных параметров преобразовательного трансформатора.

Статические преобразователи, помимо вентильного комплекта, содержат специальные преобразовательные трансформаторы. Они служат для согласования напряжения питающей сети с напряжением на выходе преобразователя, а также электрической изоляции нагрузки от питающей сети.

Ориентировочное значение напряжения холостого хода (ХХ) для 12-пульсного выпрямительного преобразователя (ВП):

$$U_{d0} = 1,05 * U_{дн} \quad (3.1)$$

где $U_{дн} = 3,3$ кВ - номинальное значение выпрямленного напряжения ВП

$$U_{d0} = 1,05 * 3,3 = 3,47 \quad (\text{кВ})$$

Величина условной мощности ВП P_{d0} , кВт, определяется по формуле

$$P_{d0} = U_{d0} * I_{dH}, \quad (3.2)$$

где $I_{dH} = 2000$ А - номинальное значение выпрямленного тока ВП

$$P_{d0} = 3,465 * 2000 = 6930 \quad (\text{кВт})$$

Значение номинальной мощности сетевой обмотки трансформатора S_{1H} , кВА, вычислим по формуле

$$S_{1H} = 1,012 * P_{d0} \quad (3.3)$$

$$\overline{S_{1H}} = 1,012 * 6930 = 7013,16 \quad (\text{кВА})$$

Напряжение короткого замыкания (КЗ) питающей сети, % рассчитывается по формуле

$$u_{K3} = \frac{S_{1H}}{S_{K3}} * 100\% \quad (3.4)$$

Где $S_{K3} = 100000$ кВА - мощность короткого замыкания питающей сети

$$u_{K3} = \frac{7013,16}{100000} * 100\% = 7,01 \quad \%$$

Значение напряжения КЗ цепи коммутации, %

$$u_K = u_{K3} + u_{KT} \quad (3.5)$$

где $u_{KT} = 9,5$ % - напряжение КЗ преобразовательного трансформатора

$$u_K = 7,01 + 9,5 = 16,51 \quad \%$$

Уточненное значение U_{d0} , которое принимается в дальнейших расчетах, находится по формуле

$$U_{d0} = \frac{U_{dH}}{1 - (A * u_K) / 100} - \Delta U_{\Pi} \quad (3.6)$$

где $A = 0,26$ - коэффициент наклона внешней характеристики, зависящий от схемы выпрямления

$\Delta U_{\Pi} = 0,03$ кВ - потеря напряжения в вентильных преобразователях

$$U_{d0} = \frac{3,3}{1 - (0,2588 * 16,51) / 100} - 0,03 = 3,41 \quad (\text{кВ})$$

Рассчитаем и сведем в таблицу 3.1 следующие параметры преобразовательного трансформатора :

1) Уточненное значение U_{d0} , рассчитанное по формуле 3.6

$$U_{d0} = 3,41 \quad (\text{кВ})$$

2) Условную мощность выпрямителя P_{d0} определяется по формуле 3.2 с учетом уточненного

значения U_{d0}

$$P_{d0} = U_{d0} * I_{dн} = \frac{\quad}{\quad} = 3,4143 * 2000 = 6828,6 \text{ (кВт)}$$

3) Номинальную мощность сетевой обмотки трансформатора $S_{1н}$ вычислим по формуле 3.3.

$$S_{1н} = 1,012 * P_{d0} = 1,012 * 6828,6 = 6910,54 \text{ (кВА)}$$

10) номинальный ток сетевой обмотки

$$I_{1н} = \frac{0,79 * I_d}{K_T} \quad (3.13)$$

$$I_{1H} = \frac{0,7887 * 2000}{3,96} = 398,33 \quad (\text{A})$$

11)номинальные мощности вентиляных обмоток, соединенных:

- в "звезду"
 $S_{2HY} = 0,5236 * P_{d0} \quad (3.14)$

- в "треугольник"
 $S_{2HD} = 0,5236 * P_{d0} \quad (3.15)$

$$S_{2HY} = 0,5236 * 6828,6 = 3575,45 \quad (\text{кВА})$$

$$S_{2HD} = 0,5236 * 6828,6 = 3575,45 \quad (\text{кВА})$$

12)Общую номинальную мощность вентиляных обмоток

$$S_{2H} = S_{2HY} + S_{2HD} \quad (3.16)$$

$$S_{2H} = 3575,45 + 3575,45 = 7150,9 \quad (\text{кВА})$$

13)Типовую мощность трансформатора

$$S_T = 1,029 * P_{d0} \quad (3.17)$$

Таблица 3.1 - Параметры преобразовательного трансформатора

Параметр		Расчетные значения	Параметр		Расчетные значения
U_{d0}	(кВ)	3,41	K_T		3,96
P_{d0}	(кВт)	6828,6	I_{1H}	(А)	398,33
S_{1H}	(кВА)	6910,54	S_{2HY}	(кВА)	3575,45
u_{KC}	%	6,91	S_{2HD}	(кВА)	3575,45
u_K	%	16,41	S_{2H}	(кВА)	7150,9
U_{2Y}	(кВ)	1,46	S_T	(кВА)	7026,63

$U_{2Д}$	(кВ)	2,53	$S_{ур}$	(кВА)	136,57
$I_{2У}$	(А)	816,4	$S_{тс}$	(кВА)	7163,2
$I_{2Д}$	(А)	942,8	ΔP_{xx}	(кВт)	14
$U_{1Ф}$	(кВ)	5,77	$\Delta P_{кз}$	(кВт)	50

3.2. Выбор типа и обозначения преобразовательного трансформатора.

Выберем стандартную номинальную типовую мощность из следующего условия

$$S_{нт} \geq S_T \quad (3.21)$$

где S_T - расчетная типовая мощность трансформатора, кВА
 $S_{нт}$ - стандартная номинальная типовая мощность, кВА

$$S_{нт} = 10000 \quad (\text{кВА})$$

$$10000 \text{ кВА} \geq 7026,63 \text{ кВА}$$

Определим схемы соединения сетевой и вентильной обмоток:

- сетевая обмотка соединена в звезду;
- вентильные обмотки соединены в "звезду" и "треугольник";

Запишем полное условное обозначение трансформатора :ТРДП-10000/10П-У/УД-0-11

Расшифровывается следующим образом:

Т- трансформатор трехфазный;

Р- с расщепленными вентильными обмотками;

Д - масляное охлаждение с принудительным дутьем;

П- для питания полупроводникового преобразователя ;

10000 - типовая мощность,кВА

10 - номинальное напряжение сетевой обмотки, кВ;

П - промышленный транспорт;

У - сетевая обмотка соединена в "звезду";

УД - вентильные обмотки соединены в "звезду" и "треугольник";

0-11 - группы соединения вентильных обмоток трансформатора , соответственно для "звезды" и "треугольника"

4. Проект вентильной части преобразователя.

4.1. Параллельное соединение вентиляей.

4.1.1. Постановка задачи.

Число параллельно соединенных диодов в одном вентильном плече определяется для следующих расчетных режимов:

- а) режима номинальной нагрузки;
- б) режима перегрузки;
- в) аварийного режима.

Для указанных режимов по исходным данным рассчитываются токи, протекающие по вентильному плечу:

- для режима номинальной нагрузки - средний ток вентильного плеча I_V ;
- для режима перегрузки - ток вентильного плеча в режиме перегрузки $I_{Vпер}$;
- для режима КЗ - ударный ток $i_{уд}$.

Кроме того , для заданного вентиля определяются:

- максимально допустимый ток длительного режима - I_{FAVm} ;

- максимально допустимый средний прямой ток в режиме 10-секундной перегрузки - $I_{F(OV)}$;
- ударный неповторяющийся прямой ток длительностью 10 мс - I_{FSM} .

4.1.2. Расчет токов в цепях вентильной части преобразователя .

4.1.2.1. Расчет среднего тока вентильного плеча.

Условия работы вентильных плеч ВП при номинальном режиме определяются средними значениями токов вентильных плеч I_V , численные значения которых могут быть рассчитаны по формуле:

$$I_V = I_d / 6 \quad (4.1)$$

$$I_V = 2000/6 = 333,33 \text{ (A)}$$

4.1.2.2. Расчет тока вентильного плеча при перегрузке.

Условиями задания на курсовую работу определена работа преобразователей в течении 10 секунд с перегрузкой в $K_{ПЕР} = 1,85$ раз по сравнению с с максимальным током вентильного плеча $I_{V MAX}$.

$$I_{V MAX} = I_d * 0,5 = 1000 \text{ (A)}$$

Значение тока вентильного плеча при перегрузке определяется следующим соотношением:

$$I_{V ПЕР} = K_{ПЕР} * I_{V MAX} \quad (4.2)$$

$$I_{V ПЕР} = 1,85 * 1000 = 1850 \text{ (A)}$$

4.1.2.3. Расчет ударного тока при аварийном режиме.

Вентильная часть преобразователя должна выдерживать перегрузки при аварийном режиме. Таким режимом для ВП является глухое КЗ между плюсовым и минусовым выводами при угле регулирования $\alpha = 0$.

Полный ток аварийного режима состоит из периодической и аperiodической составляющих. Значение амплитуды тока аварийного режима (ударный ток), протекающий через вентильное плечо при КЗ для ВП можно определить по упрощенной формуле:

$$i_{уд} = 255 * \frac{I_{2 НУ}}{u_K}$$

где $I_{2 НУ} = 816,4$ (А) номинальное значение тока вентильной обмотки трансформатора, соединенной в "У" (таблица 3.1)

$u_k = 16,41$ % , напряжение КЗ цепи коммутации (таблица 3.1)

$$i_{уд} = 255 * \frac{816,4}{16,41} = 12686,29 \text{ (A)}$$

4.1.3. Расчет допустимых токов одного вентиля

4.1.3.1. Расчет максимально допустимого среднего прямого тока вентиля

Максимально допустимый средний прямой ток I_{FAVm} одного и того же вентиля зависит от схемы преобразователя ,характера нагрузки ,типа охладителя и системы охлаждения. Его величина при заданных условиях определяется по следующей формуле:

$$I_{FAVm} = \frac{\sqrt{U_{(TO)}^2 + 4 * k_{\Phi}^2 * r_T * \frac{T_{jm} - T_a}{R_{thja}}}}{2 * k_{\Phi}^2 * r_T} - U_{(TO)}, \text{ где}$$

$U_{(TO)} = 1,1$ - пороговое напряжение вентиля, В;

$k_{\Phi} = \sqrt{3}$ коэффициент формы кривой тока вентиляного плеча, равный отношению действующего значения тока к среднему;

$r_T = 0$ - дифференциальное сопротивление вентиля, Ом;

$T_{jm} = 125$ $^{\circ}\text{C}$ - максимально допустимая температура вентиля;

$T_a = 40$ $^{\circ}\text{C}$ - температура охлаждающей среды, зависящая от климатических условий и места установки преобразователя;

R_{thja} - полное тепловое сопротивление "переход - охлаждающая среда", зависящая от типа вентиля , охладителя и способа охлаждения.

Величину R_{thja} можно найти по выражению:

$$R_{thja} = R_{thjc} + R_{thch} + R_{thha}$$

$R_{thjc} = 0,03$ $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ - тепловое сопротивление "переход - корпус";

$R_{thch} = 0,01$ $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ - тепловое сопротивление " корпус - поверхность охладителя";

$R_{thha} = 0,08$ $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ - тепловое сопротивление " поверхность охладителя - охлаждающая среда ";

$$R_{thja} = 0,034 + 0,01 + 0,08 = 0,12 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

$$I_{FAVm} = \frac{\sqrt{1,1^2 + 4 * 3 * 0,00057 * \frac{125 - 40}{0,12}}}{2 * 3 * 0,00057} = 388,52 \text{ (A)}$$

4.1.3.2. Расчет допустимого среднего тока перегрузки вентиля.

В процессе эксплуатации преобразователя вентили могут подвергаться рабочим перегрузкам по току.

Исходными данными для расчета перегрузок по току являются тип вентиля, тип охладителя, способ и интенсивность охлаждения, форма кривой тока. Допустимая амплитуда тока при длительности перегрузки 0,1...100 с определяется из выражения:

$$I_{F(OV)} = \frac{1}{2 * r_T} * \left(\sqrt{U_{(TO)}^2 + 4 * r_T * \frac{T_{im} - T_j + P_{F(AV)} * Z_{(th)tja}}{0,3 * Z_{(th)tja} + 0,7 * Z_{(th)tjc}}} - U_{(TO)} \right) \quad (4.6)$$

где T_j - температура перехода при нагреве его токами предварительной нагрузки;
 $P_{F(AV)}$ - мощность потерь в вентиле, обусловленных токами предварительной нагрузки;
 $Z_{(th)tja}$ - переходное тепловое сопротивление "переход-охлаждающая среда";
 $Z_{(th)tjc}$ - переходное тепловое сопротивление "переход-корпус";

Температуру T_j , мощность $P_{F(AV)}$ и сопротивление $Z_{(th)tja}$ можно найти из следующих соотношений.

$$T_j = T_a + P_{F(AV)} * R_{thja} \quad (4.7)$$

$$P_{F(AV)} = U_{(TO)} * I_{FAV} + k_{\phi}^2 * r_T * I_{FAV}^2 \quad (4.8)$$

$$Z_{(th)tja} = Z_{(th)tjc} + Z_{(th)tch} + Z_{(th)tha} \quad (4.9)$$

где I_{FAV} - ток предварительной нагрузки вентиля;
 $Z_{(th)tch}$ - переходное тепловое сопротивление "корпус-поверхность охладителя";
 $Z_{(th)tha} = 0,02 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$ - переходное тепловое сопротивление "поверхность охладителя - охлаждающая среда".

Наиболее тяжелым будет режим с предварительной нагрузкой, равной номинальному току I_{dn} , т.е.

$$a_3 = \frac{12686,29}{K_1 * I_{FSM}} + a'_3 \quad (4.14)$$

где $K_1 = 0,9$ - коэффициент, учитывающий возможное неравномерное распределение тока между параллельными вентилями;
 a'_2, a'_3 - числа, округляющие результаты расчета до большего целого.

$$a_1 = 1 \quad (\text{шт.})$$

$$a_2 = \frac{1850}{0,9 * 777,55} + 0,36 = 3 \quad (\text{шт.})$$

$$a_3 = \frac{12686,29}{0,9 * 10000} + 0,59 = 2 \quad (\text{шт.})$$

Окончательно число параллельно соединенных вентилях в каждом плече выберем как наибольшее из трех рассчитанных значений

$$a = 3 \quad (\text{шт.})$$

Основные результаты расчета числа параллельно включенных вентилях сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1. Расчет числа параллельно соединенных вентилях в плече ВП

I_V	(А)	333,33
$I_{V \text{ ПЕР}}$	(А)	1850
$i_{yд}$	(А)	12686,29
R_{thja}	$^{\circ}\text{C/Вт}$	0,12
$Z_{(th) tja}$	$^{\circ}\text{C/Вт}$	0,06
$P_{F(AV)}$	(Вт)	556,66
I_{FAVm}	(А)	388,52
$I_{F(OV)}$	(А)	777,55
I_{FSM}	(А)	10000
a_1	(шт.)	1
a_2	(шт.)	3
a_3	(шт.)	2
a	(шт.)	3

4.2. Последовательное соединение вентилях

Число последовательно соединенных диодов в вентиляльном плече определяется для следующих трех расчетных режимов:

- рабочего режима преобразователя ;
- режима повторяющихся перенапряжений;
- режима неповторяющихся перенапряжений.

Для указанных режимов по исходным данным рассчитываются напряжения, прикладываемые к вентиляльному плечу от вентиляхных обмоток. Так для рабочего режима рассчитывается амплитуда рабочего обратного напряжения U_{Vmax} , для режима повторяющихся перенапряжений - амплитуда повторяющегося перенапряжения U_{VP} и для режима неповторяющихся перенапряжений - амплитуда не-

повторяющегося перенапряжения $U_{\text{ВПН}}$.

Кроме того, после выбора класса заданного вентиля определяются его допустимые импульсные обратные напряжения: рабочее U_{RWM} , повторяющееся U_{RRM} и неповторяющееся U_{RSM} .

4.2.2. Расчет амплитуд обратных напряжений, прикладываемых к вентильному плечу от вентильных обмоток

4.2.2.1. Расчет амплитуды рабочего обратного напряжения U_{VMAX}

Амплитудное значение рабочего обратного напряжения U_{VMAX} , прикладываемого к вентильному в непроводящую часть периода, зависит от схемы и напряжения XX преобразователя. Оно может быть найдено по соотношению:

$$U_{\text{VMAX}} = 1,05 * U_{\text{d0}} \quad (4.15)$$

$$U_{\text{VMAX}} = 1,05 * 3,4143 = 3,57 \text{ (кВ)} = 3574,8 \text{ (В)}$$

4.2.2.2. Расчет амплитуды повторяющегося перенапряжения

Повторяющиеся (коммутационные) перенапряжения $U_{\text{ВП}}$ возникают при включении и отключении преобразователя, а также во время его работы при переходе тока с одного вентильного плеча на другое.

$$U_{\text{ВП}} = K_{\text{П}} * U_{\text{VMAX}} \quad (4.16)$$

где $K_{\text{П}} = 2$ - коэффициент повторяющихся перенапряжений

$$U_{\text{ВП}} = 2 * 3,5748 = 7,15 \text{ (кВ)} = 7149,6 \text{ (В)}$$

4.2.2.3. Расчет амплитуды неповторяющегося перенапряжения

Неповторяющиеся перенапряжения возникают при грозовых и аварийных явлениях. Для защиты преобразователей используют разрядники.

Численное значение неповторяющихся перенапряжений $U_{\text{ВНП}}$, прикладываемых к вентильному плечу, зависит от пробивного или остающегося напряжения разрядников, которыми защищен преобразователь

Величину $U_{\text{ВНП}}$ можно определить по формуле:

$$U_{\text{ВНП}} = K_{\text{НП}} * U_{\text{VMAX}} \quad (4.17)$$

где $K_{\text{НП}} = 2,35$ - коэффициент неповторяющихся перенапряжений

$$U_{\text{ВНП}} = 2,35 * 3,5748 = 8,4 \text{ (кВ)} = 8400,8 \text{ (В)}$$

4.2.3 Выбор класса вентиля

Для того, чтобы в плече не применять последовательное соединение вентиляей, класс вентиля должен быть выбран из следующего условия:

$$K \geq \frac{U_{\text{ВП}}}{100} = \frac{7149,6}{100} = 71,5 \quad (4.18)$$

Выбираем класс диода: $K = 10$

4.2.4. Определение импульсных обратных напряжений, выдерживаемых одним выбранным вентиляем.)

Для вентиляей каждого класса установлены численные значения рабочего импульсного обратного напряжения U_{RWM} , повторяющегося импульсного обратного напряжения U_{RRM} и неповторяющегося импульсного обратного напряжения U_{RSM} , которые вентиль может выдержать без повреждений.

Для заданного вентиля:

U_{RRM}^2 В	100 К	1000
U_{RSM}^2 В	111 К	1110
U_{LP}^2 В	-	
U_{RWM}^2 В	80 К	800

$$S_3 = \frac{8400,8 \cdot \left(1 + \frac{3,5}{100}\right)}{0,9 \cdot 1110} + 0,3 + 1 = 10 \quad \text{шт.}$$

Окончательное число последовательно включенных вентилях в плече выбирается как наибольшее из трех рассчитанных значений, то есть:

$$S = 10 \quad (\text{шт})$$

Основные результаты расчета сведем в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Расчет числа последовательно соединенных вентилях в плече ВП

Параметр	Значение
U_{VMAX}^2 В	3574,8
U_{VIP}^2 В	7149,6
$U_{VНПЛ}^2$ В	8400,8
U_{RWM}^2 В	800
U_{RRM}^2 В	1000
U_{RSM}^2 В	1110
S_1 , шт.	2
S_2 , шт.	10
S_3 , шт.	10
S , шт.	10

4.3. Расчет общего числа вентилях преобразователя

Общее число вентилях N , которое необходимо для комплектации преобразователя равно:

$$N = n \cdot a \cdot S \quad (4.22)$$

$n = 12$ - число вентиляхных плеч.

$$N = 12 \cdot 3 \cdot 10 = 360 \quad \text{шт}$$

4.4. Разработка силовой схемы вентиляхного плеча.

4.4.1. Расчет и выбор устройств выравнивания распределения напряжения

Из - за расхождения обратных ветвей ВАХ вентилях, а также прямых ветвей ВАХ

Для выравнивания распределения напряжения между последовательно включенными вентилями параллельно им включают шунтирующие резисторы $R_{ш}$ и резисторно емкостные цепи $R_{в} - C_{в}$. Сопротивление и мощность шунтирующего резистора находится из следующих выражений:

$$R_{III} = \frac{S * U_{RRM} - U_{VII}}{(S - 1) * I_{RRM} * a} \quad (4.23)$$

$$P_{III} \geq \frac{U_{VII}^2}{4 * S^2 * R_{III}} \quad (4.24)$$

где $I_{RRM} = 0,03$ (А) - повторяющийся импульсный обратный ток

$$R_{III} = \frac{10 * 1000 - 7149,6}{(10 - 1) * 0,03 * 3} = \frac{2850,4}{0,81} = 3519,01 \text{ (Ом)} = 3,52 \text{ (кОм)}$$

$$P_{III} = \frac{7149,6^2}{4 * 100 * 3519,01} = \frac{###}{1407604} = 36,31 \quad (\text{Вт})$$

Выбираем резистор R_{III} типа ПЭВ - 50 с $R_H = 3,6$ (кОм) и $P_{MAX} = 50$ Вт

Емкость конденсаторов определяется по формуле:

$$C_B \geq \frac{(S - 1) * Q_{ГГ}}{4 * (S * U_{RSM} - U_{ВП})} \quad (4.25)$$

Где $Q_{ГГ} = 800$ мкКл заряд восстановления вентиля

$$C_B = \frac{(10 - 1) * 800}{4 * (10 * 1000 - 7149,6)} = \frac{7200}{11401,6} = 0,63 \quad (\text{мкФ})$$

Рабочее напряжение, которое должен выдерживать конденсатор C_B , определяется из условия:

$$U_c \geq 1,5 * U_{RSM} \quad (4.26)$$

$$U_c = 1,5 * 1110 = 1665 \quad (\text{В})$$

Выбираем конденсатор типа МБГП с $U_{CH} = 1000$ (В) и $C_H = 1,3$ (мкФ)

Число последовательно соединенных конденсаторов определяется из условия:

$$n_c = U_c / U_{CH} = 1665 / 1000 \approx 2 \quad (\text{шт})$$

Сопротивление резисторов R_B ориентировочно можно выбрать по формуле:

$$R_B \geq 80 / a \quad (4.27)$$

$$R_B = 80 / 3 = 26,67 \text{ (Ом)}$$

Выберем резистор R_B типа ПЭВ - 15 с $R_H = 27 \text{ (Ом)}$

4.4.2. Выбор устройств выравнивания распределения тока

Так как число параллельных ветвей равно 3 то применяем схему включения с замкнутой кольцевой схемой включения

4.5. Определение типа разработанного преобразователя

Разработка вентильной части преобразователя завершается определением полного условного обозначения по ГОСТ 26284 - 84

Тип разработанного выпрямительного преобразователя :

В -ТПП -2к - 3,3к

В - выпрямитель

Т - трехфазный ток питающей сети

П - постоянный ток на выходе преобразователя

П - принудительное воздушное охлаждение

2 - Номинальный выходной ток кА

3,3 - номинальное выходное напряжение кВ

5. Характеристики и энергетические параметры преобразователя

5.1. Расчет углов коммутации

Во время работы преобразователя через интервал $2\pi/3$ происходит переход тока с одного вентильного плеча на другое. Этот процесс называется коммутацией тока, а время, в течении которого он происходит, называется углом коммутации γ и выражается в угловых единицах.

Величина угла коммутации γ зависит от схемы преобразователя, режима его работы и индуктивного сопротивления цепи коммутации. В общем виде формула для его расчета имеет вид:

$$\gamma = \arccos \left(\cos \alpha - \frac{2 * K_{CX} * X_a * K_3 * I_{dH}}{\sqrt{6} * U_{2Y}} \right) - \alpha \quad (5.1)$$

где

$\alpha = 0$ α - угол регулирования ВП, примем равным нулю

$K_{CX} = 0,5$ коэффициент схемы (таблица №2);

X_a - индуктивное сопротивление фазы цепи коммутации, приведенное к напряжению U_{2Y} вентильной обмотки;

$K_3 = \frac{I_d}{I_{dH}}$ - коэффициент загрузки преобразователя, примем равным 0; 0,5; 1.

Индуктивное сопротивление фазы цепи коммутации можно найти из выражения:

$$X_A = \frac{3 * U_{2Y}^2}{S_{IH}} * \frac{u_K}{100} \quad (5.2)$$

$$X_A = \frac{3 \cdot 1459}{6910540} \cdot \frac{16,41}{100} = 0,15 \text{ (Ом)}$$

При $K_3 = 0$

$$\gamma = \arccos \left[1 - \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 0,1516 \cdot 0 \cdot 2000}{2,449 \cdot 1459} \right] - 0 = 0 \text{ эл.}^\circ$$

При $K_3 = 0,5$

$$\gamma = \arccos \left[1 - \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 0,1516 \cdot 0,5 \cdot 2000}{2,449 \cdot 1459} \right] - 0 = 16,75 \text{ эл.}^\circ$$

При $K_3 = 1$

$$\gamma = \arccos \left[1 - \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 0,1516 \cdot 1 \cdot 2000}{2,449 \cdot 1459} \right] - 0 = 23,77 \text{ эл.}^\circ$$

5.2. Внешняя характеристика преобразователя

Зависимость среднего значения выпрямленного напряжения U_d от выпрямленного тока I_d называется внешней характеристикой ВП. Внешняя характеристика выпрямителя является падающей и описывается уравнением:

$$U_d = U_{d0} \cdot \left[\cos \alpha - A \cdot \left(\frac{u_k}{100} \right) \cdot K_3 \right] - \Delta U_{\Pi} \quad (5.3)$$

где $A = 0,26$ - коэффициент наклона внешней характеристики, зависящий от схемы преобразователя;

ΔU_{Π} - потери напряжения в вентильных плечах ВП.

Потери напряжения в вентильных плечах ВП зависят от схемы преобразователя, типа вентиля, числа последовательно и параллельно включенных вентиляей.

$$\Delta U_{\Pi} = p \cdot s \cdot \left(U_{(TO)} + r_T \cdot \frac{K_{сх} \cdot K_3 \cdot I_{дН}}{3 \cdot a} \right) \quad (5.4)$$

Потери мощности в вентилях преобразователя зависят от типа вентиля, числа последовательно и параллельно включенных вентилях в плече

$$\Delta P_{\Pi} = \frac{K_{CX} * K_3 * I_{дн} * p * s}{3} * \left(U_{(TO)} + r_T * \frac{K_{CX} * K_3 * I_{дн}}{a} \right) \quad (5.9)$$

$$K_3 = 0$$

$$\Delta P_{\Pi} = \frac{0,5 * 0 * 2000 * 2 * 10}{3} * \left(1,1 + 0,00057 * \frac{0,5 * 0 * 2000}{3} \right) =$$

$$= 0 \quad (\text{Вт}) = 0 \quad (\text{кВт})$$

$$K_3 = 0,5$$

$$\Delta P_{\Pi} = \frac{0,5 * 0,5 * 2000 * 2 * 10}{3} * \left(1,1 + 0,00057 * \frac{0,5 * 0,5 * 2000}{3} \right) =$$

$$= 3983,33 \quad (\text{Вт}) = 3,98 \quad (\text{кВт})$$

$$K_3 = 1$$

$$\Delta P_{\Pi} = \frac{0,5 * 1 * 2000 * 2 * 10}{3} * \left(1,1 + 0,00057 * \frac{0,5 * 1 * 2000}{3} \right) =$$

$$= 8600 \quad (\text{Вт}) = 8,6 \quad (\text{кВт})$$

Потери мощности в сглаживающем устройстве

$$\Delta P_{cy} = r_{cy} * I_d^2 \quad (5.9)$$

активное сопротивление сглаживающего реактора

$$r_{cy} = 0$$

$$\Delta P_{cy} = 0,002 * (K_3 * I_{dH})^2$$

$$K_3 = 0$$

$$\Delta P_{cy} = 0,002 * (0 * 2000)^2 = 0 \quad (\text{Вт}) = 0 \quad (\text{кВт})$$

$$K_3 = 0,5$$

$$\Delta P_{cy} = 0,002 * (0,5 * 2000)^2 = 2000 \quad (\text{Вт}) = 2 \quad (\text{кВт})$$

$$K_3 = 1$$

$$\Delta P_{cy} = 0,002 * (1 * 2000)^2 = 8000 \quad (\text{Вт}) = 8 \quad (\text{кВт})$$

Мощность системы охлаждения

$$\Delta P_{ox} = 2 \quad \text{кВт}$$

Мощность системы управления

$$\Delta P_y = 1,5 \quad \text{кВт}$$

Суммарные потери мощности

$$K_3 = 0 \quad \Delta P_d = 14 + 0 + 0 + 2 + 1,5 = 17,5 \quad (\text{кВт})$$

$$K_3 = 0,5 \quad \Delta P_d = 26,5 + 3,98 + 2 + 2 + 1,5 = 35,98 \quad (\text{кВт})$$

$$K_3 = 1 \quad \Delta P_d = 64 + 8,6 + 8 + 2 + 1,5 = 84,1$$

$$K_3 = 0$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_d}{U_d * I_d}} = \frac{1}{1 + \frac{17,5}{3,4143 * 2000 * 0}} = 0$$

$$K_3 = 0,5$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_d}{U_d * I_d}} = \frac{1}{1 + \frac{35,98}{3,4143 * 2000 * 0,5}} = 0,99$$

$$K_3 = 1$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_d}{U_d * I_d}} = \frac{1}{1 + \frac{84,1}{3,4143 * 2000 * 1}} = 0,99$$