

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсового проекта

«Расчет непосредственных преобразователей частоты»

по дисциплинам «Преобразователи, ведомые сетью»,

«Преобразователи для электропривода», а также

бакалаврского и дипломного проектирования

для студентов направления 05.08.02

«Электронные устройства и системы»,

специализирующихся в силовой электронике

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета,

Протокол № 2 от 25.06.2015.

Харьков
НТУ «ХПИ»
2015

Методические указания к выполнению курсового проекта «Расчет непосредственных преобразователей частоты» по дисциплинам «Преобразователи, ведомые сетью», «Преобразователи для электропривода», а также бакалаврского и дипломного проектирования для студентов направления 05.08.02 «Электронные устройства и системы», специализирующихся в силовой электронике /Сост.: Г.Г. Жемеров, Д.С.Крылов. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2015. – 36 с. – Рус. яз.

Составители: Г.Г. Жемеров
 Д.С. Крылов

Рецензент В.В. Замаруев

Кафедра промышленной и биомедицинской электроники

ВСТУПЛЕНИЕ

Настоящими методическими указаниями рекомендуется пользоваться вместе с методическими указаниями по дисциплине «Преобразователи, ведомые сетью», которые были изданы в 2008 г. [1] и касались проектирования управляемых выпрямителей (УВ).

В настоящих методических указаниях рассматриваются вопросы проектирования непосредственных преобразователей частоты (НПЧ) средней и большой мощности, включая выбор элементов и расчет параметров силовой схемы, расчет регулировочных и внешних характеристик, аварийных режимов, разработку структурной схемы управления, конструктивную компоновку преобразовательного агрегата.

В методических указаниях приведены расчетные соотношения и графические зависимости, необходимые для проектирования, даны ссылки на справочную литературу, которую необходимо использовать при курсовом проектировании.

Для расчета НПЧ используется ряд расчетных соотношений из методических указаний по проектированию УВ [1], в каждом таком случае дана соответствующая ссылка.

В основу методических указаний положены лекции по дисциплине «Преобразователи, ведомые сетью» и «Преобразователи для электропривода», читаемые для студентов кафедры «Промышленная и биомедицинская электроника». На курсовое проектирование необходимо отвести 30 учебных часов.

1. ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Исходные данные на курсовое проектирование выдает руководитель курсового проекта в виде одного из вариантов исходных данных, приведенных в Приложении А.

В Приложении А приняты следующие условные обозначения:

S_{2H} – номинальная полная мощность на выходе НПЧ;

U_{21H} – номинальное действующее значение основной гармоники напряжения на нагрузке НПЧ;

I_{21H} – величина действующего значения основной гармоники тока нагрузки НПЧ;

m_2 – число фаз нагрузки НПЧ;

f_{2H} – номинальная частота на выходе;

f_{2min}, f_{2max} – соответственно минимальное и максимальное значения выходной частоты НПЧ;

$\cos \varphi_H$ – номинальный коэффициент мощности нагрузки;

m – пульсность вентиляльной группы НПЧ (число пульсаций выходного напряжения вентиляльной группы за период напряжения питающей сети);

$U_{\text{л.н}}$ – действующее линейное напряжение питающей сети;

$e_{\text{к}\Sigma}$ – напряжение короткого замыкания преобразовательного трансформатора с учетом ошиновки и индуктивности питающей сети;

$\tau_{\text{Ф}}$ – постоянная времени фазы преобразовательного трансформатора с учетом ошиновки и индуктивности питающей сети;

АД – асинхронный двигатель;

СД – синхронный двигатель;

И – индуктор.

Конструктивное исполнение силовой части НПЧ предусматривает, что силовые блоки, автоматические выключатели, ошиновка размещены в металлических шкафах. Охлаждение силовых тиристоров – естественное или воздушное принудительное ($v = 6 \text{ m/s}$) в зависимости от номинальной мощности НПЧ. Преобразовательный трансформатор и нагрузка НПЧ располагаются отдельно от вентиляльной части и соединяются с ней силовыми кабелями. Высоковольтный вакуумный выключатель (на напряжение 10 kV) располагается в отдельной высоковольтной ячейке. Система управления выполняется на двухсторонних или многослойных печатных платах с применением микросхем и микропроцессоров. В курсовом проекте разрабатывается функциональная схема системы управления.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект должен содержать следующие разделы:

- введение;
- обоснование применения силовой схемы НПЧ;
- расчет параметров преобразовательного трансформатора, выбор стандартного трансформатора, соответствующего расчетным параметрам;
 - выбор типа тиристоров и охладителей, расчет числа параллельных ветвей в плече;
 - расчет углов коммутации тока в вентилях;
 - расчет максимально допустимого значения угла управления;
 - расчет регулировочной и внешней характеристик НПЧ;
 - расчет составляющих полной мощности и энергетических коэффициентов на стороне сети НПЧ;
- определение параметров RC -цепей защиты от повторяющихся перенапряжений;
- проверка устойчивости элементов силовой схемы к токам короткого замыкания;
- определение мощности короткого замыкания сети, при которой коэффициент несинусоидальности напряжения сети не превышает допустимого по стандарту значения;

- выбор защитных и коммутирующих аппаратов;
- разработка функциональной схемы системы управления;
- расчет КПД преобразовательного агрегата;
- конструктивная компоновка, оценка габаритов, массы и стоимости преобразовательной установки;
- анализ возможных способов изготовления и продажи выпрямительных агрегатов;
- расчет на персональной ЭВМ параметров шунтирующих RC -цепей.

3. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Оформление курсового проекта должно быть выполнено в соответствии со стандартами НТУ "ХПИ".

Текст пояснительной записки должен быть отпечатан или написан от руки чернилами (пастой) на белой бумаге формата А4 (210x297мм).

Титульный лист оформляется в соответствии с требованиями СТП-ХПИ-4-83.

Задание на разработку курсового проекта выполняется в соответствии с Приложением А.

Принципиальные схемы и рисунки выполняются карандашом или с помощью ЭВМ в соответствии с требованиями стандартов на отдельных листах пояснительной записки.

4. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Перед выполнением курсового проекта необходимо ознакомиться с содержанием конспекта лекций и книг, названия которых приведены в списке литературы настоящих методических указаний.

Попробуйте найти ответы на такие вопросы:

- какая доля потребляемой электрической энергии преобразуется с помощью вентильных преобразователей в промышленно развитых странах, как будет изменяться эта доля в будущем;
- какие фирмы являются основными изготовителями и поставщиками преобразовательных агрегатов в странах СНГ, Европы и Америки;
- предприятия каких отраслей являются основными потенциальными покупателями вентильных преобразователей;
- какие технические характеристики, конструктивные особенности и эргономические показатели могут способствовать конкурентоспособности вентильных преобразователей на рынке;
- каковы рыночные цены тиристорных преобразователей в СНГ и других странах; каково соотношение цен между отдельными элементами преобразовательного агрегата: преобразовательным трансформатором, силовой вентильной частью, сглаживающим реактором, системой управления и защитными автоматическими выключателями;

- каковы современные тенденции развития силовой электроники;
- каковы преимущества и недостатки НПЧ по сравнению с преобразователями частоты других видов.

Ответы на эти вопросы можно получить в указанной литературе, на заводах-изготовителях вентильных преобразователей Украины, в проектных организациях, в представительствах зарубежных электротехнических фирм.

Полученная информация по перечисленным вопросам послужит основой для введения к курсовому проекту.

5. ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛОВОЙ СХЕМЫ

Тип силовой схемы НПЧ определяется требованиями задания. В курсовом проекте необходимо обосновать целесообразность применения шестипульсной мостовой схемы вентильных групп НПЧ, выбрать способ потенциального разделения фаз нагрузки, способ управления вентильными группами (совместная или раздельная работа), число и тип автоматических выключателей и разъединителей, тип устройства защиты от неповторяющихся перенапряжений.

Номинальная мощность рассчитывается по формуле

$$S_{2н} = m_2 \cdot U_{21н} \cdot I_{21н} \cdot \quad (1)$$

Проверьте соответствие исходных данных формуле (1).

На рис.1 в качестве примера приведена схема силовых цепей трехфазно-трехфазного шестипульсного НПЧ с потенциальным разделением фаз нагрузки.

На рис.1 приняты следующие обозначения:

L_0 – индуктивность питающей сети;

Q_1 – воздушный ($U_{1л.н} = 380 V$) или масляный ($U_{1л.н} = 10 kV$) выключатель;

T_1 – преобразовательный трансформатор;

T_2 – измерительный трансформатор напряжения;

Q_2 – быстродействующий выключатель;

УЗП – устройство защиты от внешних (неповторяющихся) перенапряжений;

$ВГ_{п}$ – положительная вентильная группа;

$ВГ_{о}$ – отрицательная вентильная группа;

M – нагрузка – машина переменного тока;

$СУ$ – система управления;

ДЗС – датчик закрытого состояния тиристоров;

f_2 – сигнал задания выходной частоты НПЧ;

v – сигнал задания величины напряжения на выходе НПЧ.

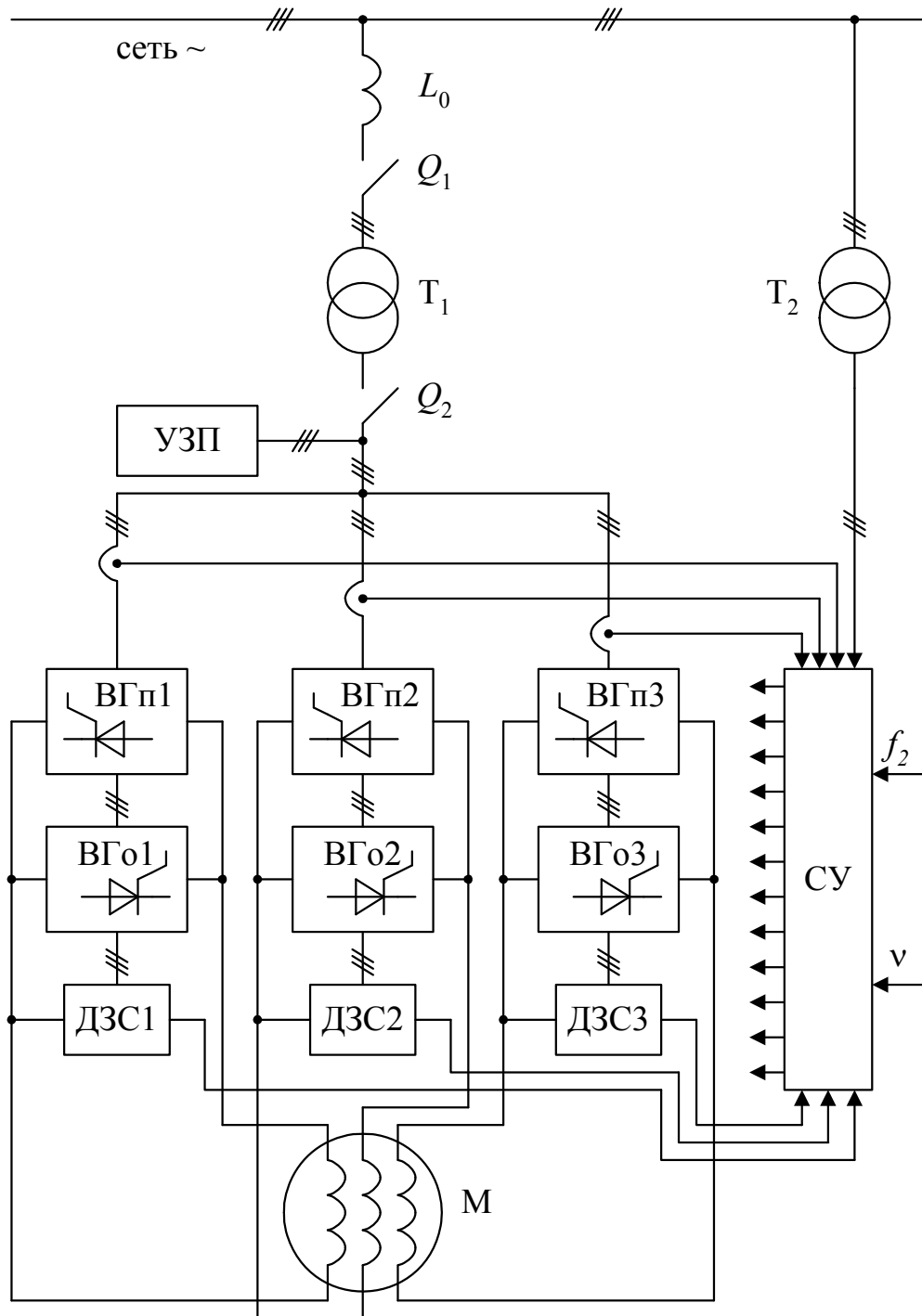


Рисунок 1 – Схема силовых цепей трехфазно-трехфазного шестипульсового НПЧ с потенциальным разделением фаз нагрузки

6. РАСЧЕТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В этом разделе необходимо рассчитать номинальные значения напряжений и токов вентильных и сетевых обмоток трансформатора, коэффициент трансформации ($\kappa_{\text{тр}}$), коэффициент трансформации эквивалентной нулевой схемы ($\kappa_{\text{тр.э}}$), который будет необходим при дальнейших расчетах, выбрать

стандартный трансформатор, параметры которого наиболее близки к расчетным.

Номинальное линейное напряжение сетевых обмоток $U_{1л.н}$ выбирается равным линейному напряжению питающей сети:

$$U_{1н} = U_{1л.н} \cdot \quad (2)$$

Номинальное линейное напряжение вентиляльных обмоток ($U_{2лн}$) выбирается по заданному номинальному значению основной гармоники фазного напряжения на выходе преобразователя ($U_{21н}$) из табл. 1.

Таблица 1 – Номинальные линейные напряжения вентиляльных обмоток

$U_{21н} (V)$	160	315	425	520	620
		330		560	
				550	
$U_{2л.н} (V)$	200	400	570	710	900
	(205)	(410)		(720)	

Поверочный расчет напряжения вентиляльных обмоток необходимо выполнить по следующим соотношениям (см. [8, с. 193]), справедливым для шестипульсных мостовых схем:

$$\frac{U_{2л.н}}{U_{21н}} = \frac{\pi}{2,7(0,9848 - 1,74e_{k\Sigma})} \quad (3)$$

при $a = 2, m = 6м$ и

$$\frac{U_{2л.н}}{U_{21н}} = \frac{\pi}{2,7(0,9848 - 0,863e_{k\Sigma})} \quad (4)$$

при $a = 1, m = 6м$.

Значения параметра a дано в задании (см. Приложение А).

Соотношения (3), (4) получены из условий безопасного инвертирования максимального тока нагрузки НПЧ при снижении напряжения сети на 10% от номинального значения.

Коэффициент трансформации преобразовательного трансформатора

$$k_{тр} = \frac{U_{1л.н}}{U_{2л.н}} \quad (5)$$

Эквивалентный коэффициент трансформации ($k_{тр.э}$) для шестипульсовых мостовых схем:

$$k_{тр.э} = \frac{1}{\sqrt{3}} k_{тр}. \quad (6)$$

Номинальные действующие значения токов в обмотках трансформатора, соединенных в звезду, определяются из соотношений [8, с.190]:

$$I_{w2 \text{ дн}} = I_{21н} \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sqrt{1 + \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}}, \quad (7)$$

$$I_{w1 \text{ дн}} = I_{21н} \frac{2\sqrt{3}}{3k_{тр.э}} \sqrt{1 + \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}} \quad (8)$$

- при $m_2 = 3$ и

$$I_{w2 \text{ дн}} = I_{21н} \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}}, \quad (9)$$

$$I_{w1 \text{ дн}} = I_{21н} \frac{2\sqrt{3}}{3k_{тр.э}} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}} \quad (10)$$

- при $m_2 = 2$.

При соединении обмоток в треугольник величины токов пересчитываются с использованием коэффициента $\sqrt{3}$.

Таким образом, в результате расчета преобразовательного трансформатора должны быть получены значения напряжений и токов обмоток трансформатора и величина коэффициента трансформации. По этим параметрам необходимо выбрать трансформатор по справочнику [3].

Необходимо учитывать, что соотношения (7)–(10) справедливы для случая, если НПЧ длительно работает с номинальным током нагрузки при малых значениях параметра глубины регулирования выходного напряжения ($v \cong 0$). В ряде случаев такой режим техническими требованиями не предусматривается, т.е. номинальный ток нагрузки соответствует значению параметра $v = 1,0 \dots 0,8$. Номинальный ток в обмотках преобразовательного трансформатора в этом случае несколько ниже [8, с. 167] – коэффициент снижения равен 0,95. Это дает возможность маневра при выборе стандартного трансформатора.

Предпочтение при выборе по справочнику [3] следует отдавать сухим и масляным трансформаторам перед совтоловыми, руководствуясь их экологи-

ческими характеристиками. Коэффициенты трансформации выбранных трансформаторов могут незначительно (в пределах нескольких процентов) отличаться от рассчитанных. Необходимо указать параметры выбранного трансформатора: напряжение короткого замыкания $e_k(u_k)$, массу, габаритные размеры, суммарные потери мощности, коэффициент полезного действия, наличие устройства регулирования напряжения вентильных обмоток типа ПБВ или РПН, стоимость, завод изготовитель.

Сравните напряжение короткого замыкания трансформатора с суммарным напряжением короткого замыкания по заданию $e_{k\Sigma}$. Последнее должно быть больше первого. Если неравенство не соблюдается, проконсультируйтесь у руководителя курсового проекта.

7. ВЫБОР ТИПА ТИРИСТОРОВ И ОХЛАДИТЕЛЕЙ

Класс тиристора равен округленному до целого числа в сторону увеличения числу сотен вольт допустимого для него по справочнику повторяющегося напряжения U_{RRM} .

Выбор класса тиристора осуществляется по следующему соотношению

$$U_{RRM} \geq U_{T \text{ повт}} = E_{am} k_1 k_2 k_3, \quad (11)$$

где

$U_{T \text{ повт}}$ – повторяющееся напряжение, прикладываемое к тиристорам в момент окончания коммутации, V ;

E_{am} – амплитуда анодного напряжения, V ;

k_1 – коэффициент, учитывающий возможное повышение напряжения питающей сети;

k_2 – коэффициент, учитывающий относительную величину повторяющихся перенапряжений;

k_3 – коэффициент технологического запаса.

Амплитуда анодного напряжения в шестипульсном мостовом НПЧ равна:

$$E_{am} = \sqrt{2} U_{2л.н}. \quad (12)$$

Рекомендуемые значения коэффициентов: $k_1 = 1,1$; $k_2 = 1,4$; $k_3 = 1,1$.

Выбор тиристоров по току необходимо выполнять по одной из известных методик, например, по упрощенной методике, основанной на сравнении реальных и допустимых по каталогу [5] средних и действующих значений тока тиристора.

Среднее и действующее значения тока тиристора НПЧ [8, с. 124] :

$$I_{T\text{ср}} = \frac{\sqrt{2}I_{21\text{н}}}{3\pi}, \quad (13)$$

$$I_{T\text{д}} = \frac{I_{21\text{н}}}{\sqrt{6}}. \quad (14)$$

Номенклатура тиристоров, предлагаемая в настоящее время фирмами-производителями, например, приведенная в [5], позволяет выполнить силовую схему при заданных в табл.1 [5] номинальных токах с одним тиристором в плече. Если одного тиристора все же оказывается недостаточно, следует использовать параллельное включение нескольких тиристоров. В этом случае последовательно с каждым тиристором должен быть включен быстродействующий предохранитель, который выбирается в [3, табл. 6,7] или из каталогов. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя должен быть равным или несколько большим действующего тока тиристора. Разбаланс токов в параллельных ветвях принимается равным $\pm 15\%$ от усредненного значения тока тиристора. Охлаждатель тиристора выбирается в зависимости от принятой системы охлаждения: естественное воздушное или принудительное воздушное при скорости охлаждающего воздуха в межреберном пространстве $v = 6 \text{ m/s}$. Рекомендации по выбору охлаждателя даны в справочнике [5].

8. РАСЧЕТ УГЛОВ КОММУТАЦИИ ТОКА В ВЕНТИЛЯХ

В отличие от управляемого выпрямителя углы коммутации тока в вентилях НПЧ циклически изменяются в интервале повторяемости вследствие изменения тока нагрузки i_2 и угла управления α . В курсовом проекте необходимо рассчитать углы коммутации в интервале времени, равном полупериоду тока нагрузки при номинальном токе нагрузки ($I_{21} = I_{21\text{н}}$) и максимальном значении параметра регулирования напряжения $\nu = 1$.

На рис.2 указаны значения $\omega_2 t$ в полупериоде тока нагрузки, при кото-

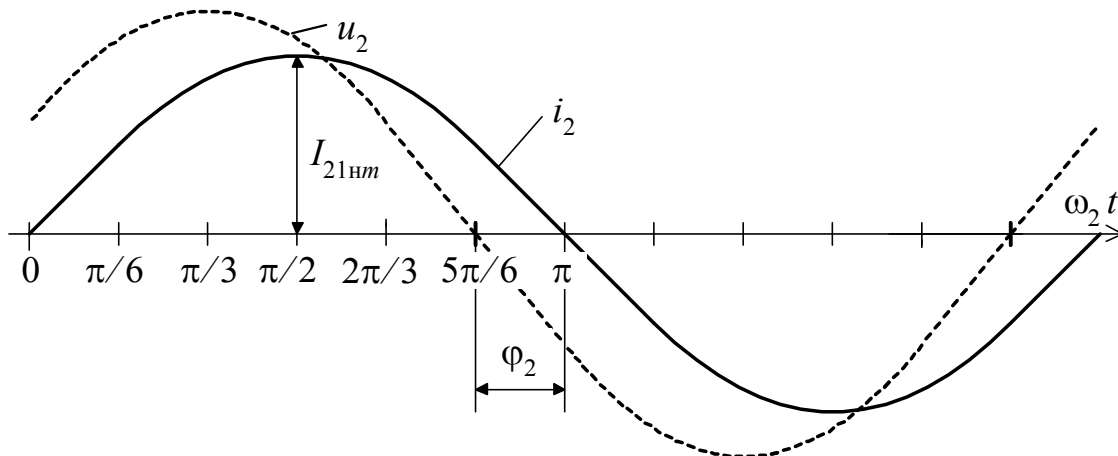


Рисунок 2 – Диаграмма тока и напряжения

ром необходимо определить углы коммутации.

Угол коммутации γ при $p \rightarrow \infty$ определяется из соотношения :

$$\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma) = \frac{i_2}{I_{21nm}} e_{k\Sigma}, \quad (15)$$

где

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \arcsin(v) \sin(\omega_2 t + \varphi_{2H}), \quad (16)$$

i_2 – мгновенное значение тока нагрузки НПЧ в расчетных точках (значениях $\omega_2 t$). В интервале коммутации $i_2 = Const$.

В соответствии с рис.2

$$\frac{i_2}{I_{21nm}} = \sin \omega_2 t. \quad (17)$$

Угол коммутации необходимо рассчитать при следующих значениях

$$\omega_2 t: \quad \omega_2 t = 0, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2}, \frac{2\pi}{3}, \frac{5\pi}{6}, \pi.$$

Значения $e_{k\Sigma}$ и $\cos \varphi_{2H}$ приведены в задании на курсовое проектирование (см. Приложение А).

Результаты расчета можно проверить по кривым, приведенным на рис.3 в [1], если положить, что

$$g = \frac{i_2}{I_{21nm}} e_{k\Sigma}, \quad (18)$$

а угол α рассчитать по соотношению (16).

9. РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО УГЛА УПРАВЛЕНИЯ

Значение максимального угла управления в инверторном режиме α_{max} рассчитывается из условия коммутации максимально возможного тока нагрузки. Особенностью схем НПЧ с потенциальным разделением фаз нагрузки является возможность взаимного влияния коммутационных процессов в вентильных группах разных фаз, коммутации тока в которых могут совпадать во времени. В соответствии с [8, с. 196-200], максимальный угол управления α_{max} в трехфазно-двухфазном НПЧ определяется из соотношения:

$$\sqrt{3}U_{2л.н}[\cos \alpha_{max} - \cos(\pi - \delta)] = 2XI_{21nm}, \quad (19)$$

а в трехфазно-трехфазном НПЧ :

$$\sqrt{3}U_{2л.н}[\cos \alpha_{max} - \cos(\pi - \delta)] = 4XI_{2Hm}, \quad (20)$$

где

$$\delta = \frac{\pi}{18} - \text{угол выключения,}$$

X – индуктивное сопротивление рассеяния фазы, приведенное к вентиляльной обмотке трансформатора:

$$X = \frac{U_{2л.н}}{\sqrt{3}I_{w2л.н}} e_{к\Sigma}. \quad (21)$$

10. РЕГУЛИРОВОЧНАЯ И ВНЕШНЯЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Регулировочная характеристика НПЧ представляет собой зависимость действующего значения основной гармоники выходного напряжения от параметра глубины регулирования в режиме холостого хода НПЧ.

В соответствии с [8, с. 115]

$$U_{21} = U_{2л.н} \frac{3}{\pi} v. \quad (22)$$

Внешняя характеристика НПЧ представляет собой зависимость действующего значения основной гармоники выходного напряжения от тока нагрузки. Величины v и коэффициента мощности нагрузки $\cos \varphi_2$ входят в уравнение внешней характеристики как параметры. В соответствии с [8, с. 119]

$$U_{21} = U_{2л.н} \left(\frac{3}{\pi} v - \frac{3e_{к\Sigma}}{\pi\sqrt{2}} \frac{I_{2m}}{I_{2Hm}} \cos \varphi_2 \right). \quad (23)$$

В курсовом проекте необходимо рассчитать и построить семейство внешних характеристик при различных сочетаниях параметров v , $\cos \varphi_2$ ($0 \leq v \leq 1$, $-1 \leq \cos \varphi_2 \leq 1$):

$$U_{21} = f \left(e_{к} \frac{i_{2m}}{I_{2Hm}} \right). \quad (24)$$

Например, можно принять $v = 0; 0,5; 1$; а $\cos \varphi_2 = \cos \varphi_{2н} ; -\cos \varphi_{2н}$.

11. ОЦЕНКА ГАРМОНИК ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В кривой выходного напряжения НПЧ содержатся два ряда высших гармоник напряжения, порядок которых относительно частоты питающей сети определяется из соотношений :

$$n_1 = km \frac{p-1}{p} \mp \frac{1}{p}, \quad (25)$$

$$n_2 = km \frac{p+1}{p} \mp \frac{1}{p}, \quad (26)$$

где $p = \frac{f_0}{f_2}$ – отношение частоты сети к частоте на выходе НПЧ.

При низкой выходной частоте ($p \rightarrow \infty$) или при низком выходном напряжении НПЧ ($v \rightarrow 0$) в кривой выходного напряжения содержатся лишь гармоники порядка km , т.е. такого же как в m -пульсном управляемом выпрямителе.

В курсовом проекте необходимо рассчитать порядок гармоник при значении параметра p , соответствующем номинальной выходной частоте преобразователя, и оценить их амплитуды, полагая, что они не могут быть больше амплитуд гармоник соответствующего управляемого выпрямителя.

12. РАСЧЕТ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НА СТОРОНЕ СЕТИ

Расчет выполним в соответствии с теорией мощности О.А. Маевского. Как и управляемый выпрямитель, НПЧ обуславливает на стороне питающей сети активную P_1 и реактивную Q_1 мощности, значения которых определяются амплитудой и фазой основной гармоники сетевого тока. От величин высших гармоник сетевого тока зависит мощность искажения T_1 , величина которой характеризует степень искажения напряжения питающей сети.

Указанные составляющие связаны с полной мощностью S_1 соотношением [8]

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2 + T_1^2}, \quad (27)$$

где

S_1 – полная мощность на стороне сети,

P_1, Q_1, T_1 – соответственно мощности активная, реактивная и искажения на стороне сети НПЧ.

Соотношение между полной мощностью и ее составляющими определяют величины трех энергетических коэффициентов: коэффициент сдвига

$$k_{c1} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}, \quad (28)$$

коэффициент искажения

$$k_{и1} = \frac{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}{S_1}, \quad (29)$$

коэффициент мощности

$$k_{м1} = \frac{P_1}{S_1} = k_{c1}k_{и1}. \quad (30)$$

Для определения коэффициента сдвига и коэффициента искажения могут быть использованы и другие соотношения:

$$k_{c1} = \cos \varphi_1, \quad (31)$$

$$k_{и1} = \frac{I_{11}}{I_{1д}}, \quad (32)$$

где

φ_1 – угол сдвига основной гармоники сетевого тока относительно соответствующего фазного напряжения сети;

I_{11} – действующее значение основной гармоники сетевого тока;

$I_{1д}$ – действующее значение тока сети.

В курсовом проекте необходимо рассчитать действующее значение $I_{1д}$ сетевого тока, составляющие полной мощности P_1 , Q_1 , T_1 и энергетические коэффициенты k_m , k_c , k_u в номинальном режиме работы НПЧ.

Поскольку КПД НПЧ средней и большой мощности близок к единице, активная мощность на стороне сети принимается равной активной мощности нагрузки

$$P_1 = P_2 = m_2 U_{21} I_{21н} \cos \varphi_{2н}. \quad (33)$$

Из (33) и (23) при $\nu = \nu_n = 1$, $\frac{I_{2m}}{I_{2нm}} = 1$

$$P_1 = m_2 U_{2л.н} \left(\frac{3}{\pi} - \frac{3}{\pi\sqrt{2}} e_{к\Sigma} \cos \varphi_{2н} \right) I_{21н} \cos \varphi_{2н}. \quad (34)$$

Реактивная мощность на стороне сети НПЧ определяется по кривым, приведенным на рис.3 [8, с. 169].

Подставив в (28) значение P_1 из (34) и Q_1 , рассчитанное по кривым, представленным на рис.3, определите k_{c1} . Проверку правильности расчета k_{c1} проведите по кривым, представленным на рис.4 [8, с.169].

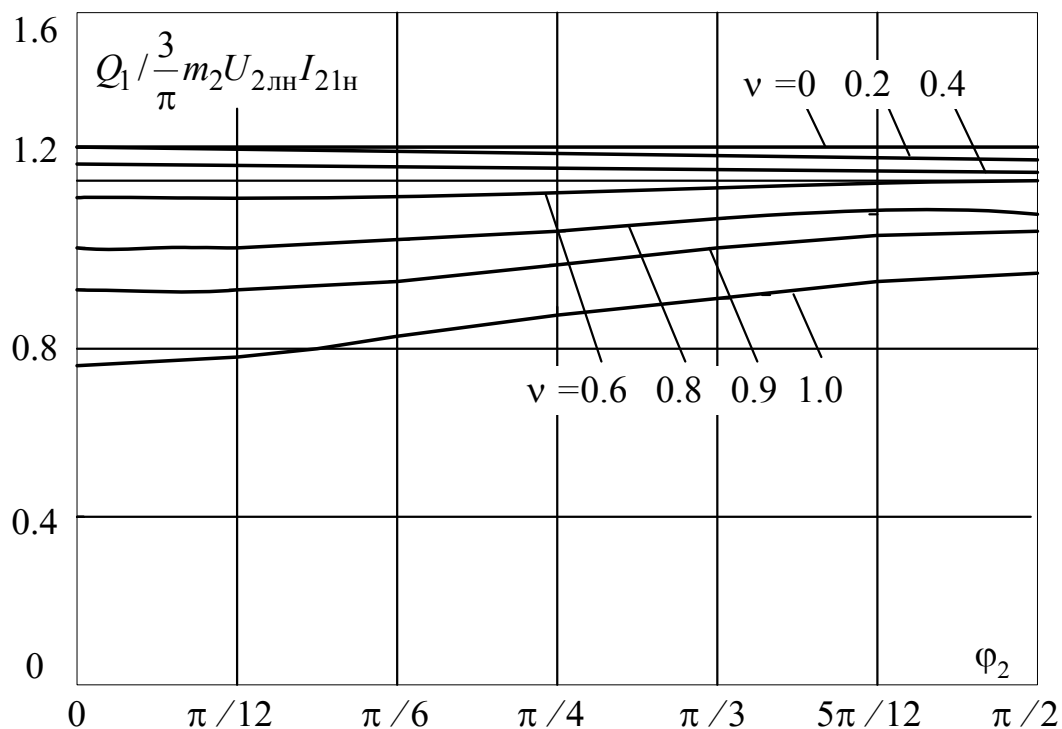


Рисунок 3 – Реактивная мощность шестипульсового преобразователя при $U_k=0.1$; $I_{2m}=I_{2нм}$

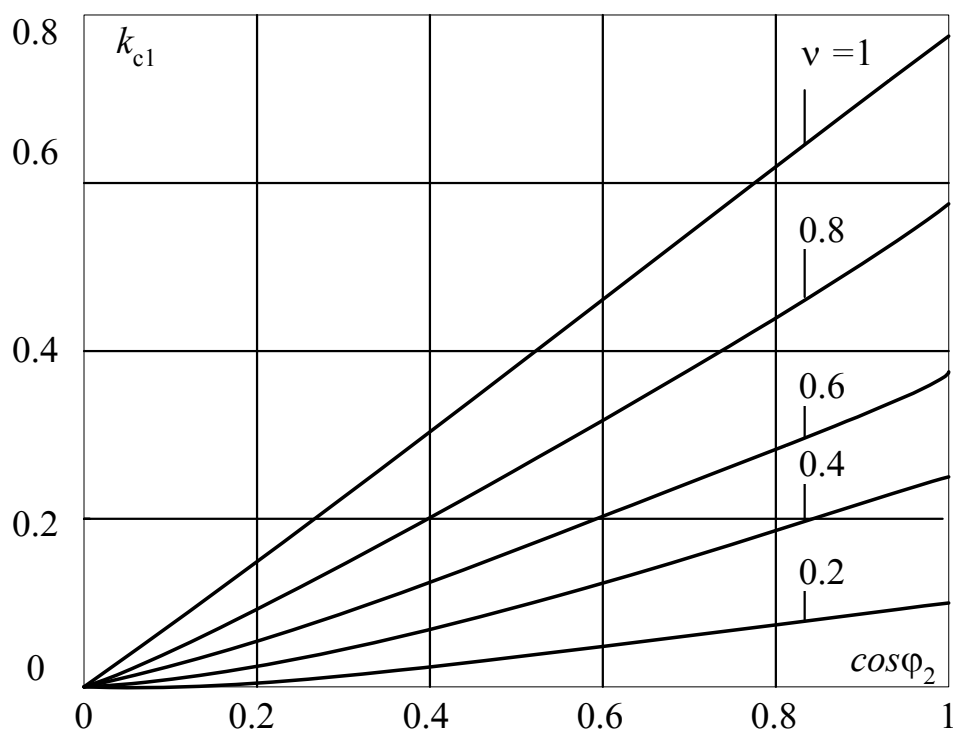


Рисунок 4 – Коэффициент сдвига шестипульсового преобразователя при $U_k=0.1$; $I_{2m}=I_{2нм}$

Полная мощность трехфазно-трехфазного и трехфазно-двухфазного НПЧ определяется соответственно по кривым, представленным на рис.5 и рис.6.

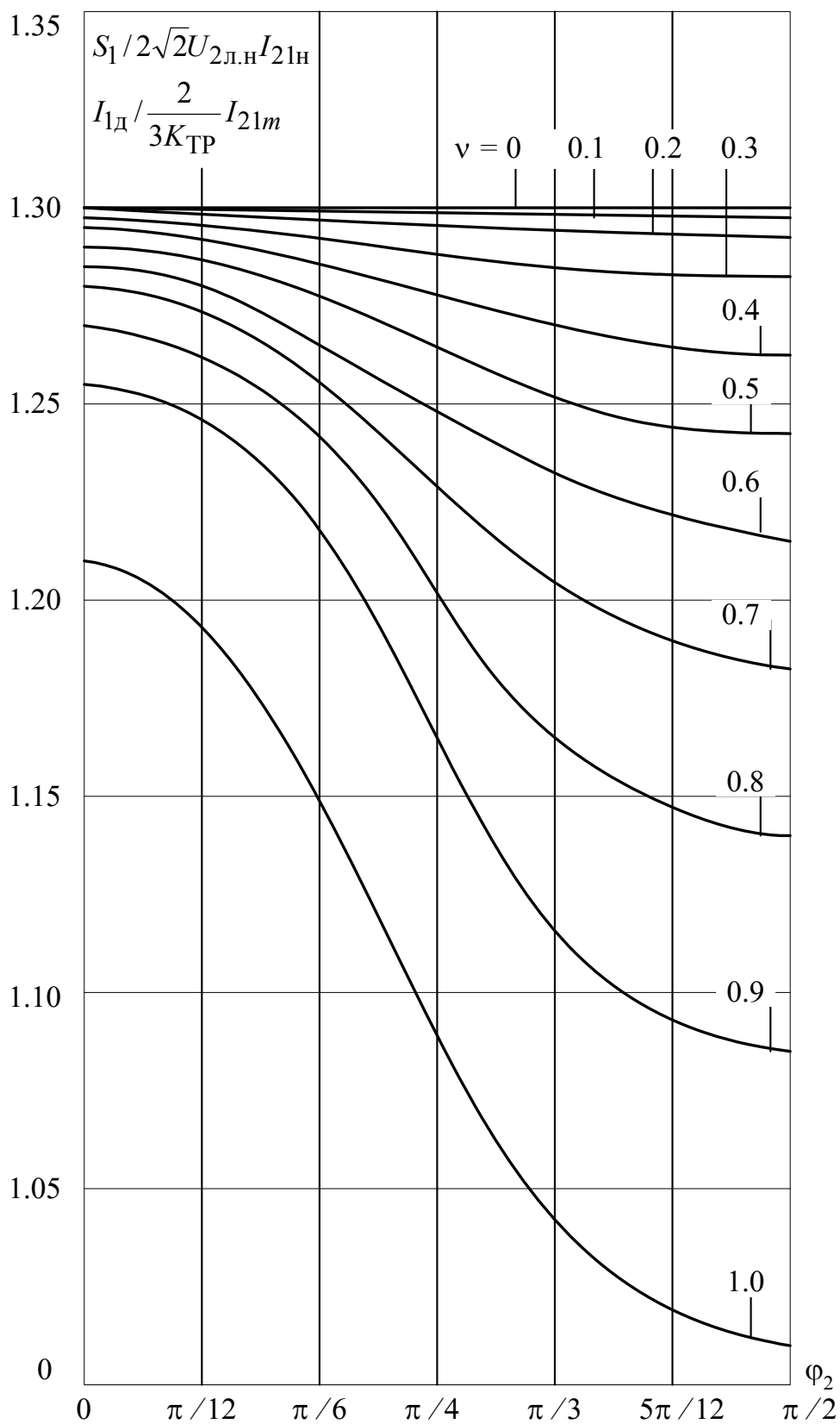


Рисунок 5 – Действующее значение первичного тока и полная мощность трехфазно-трехфазного преобразователя

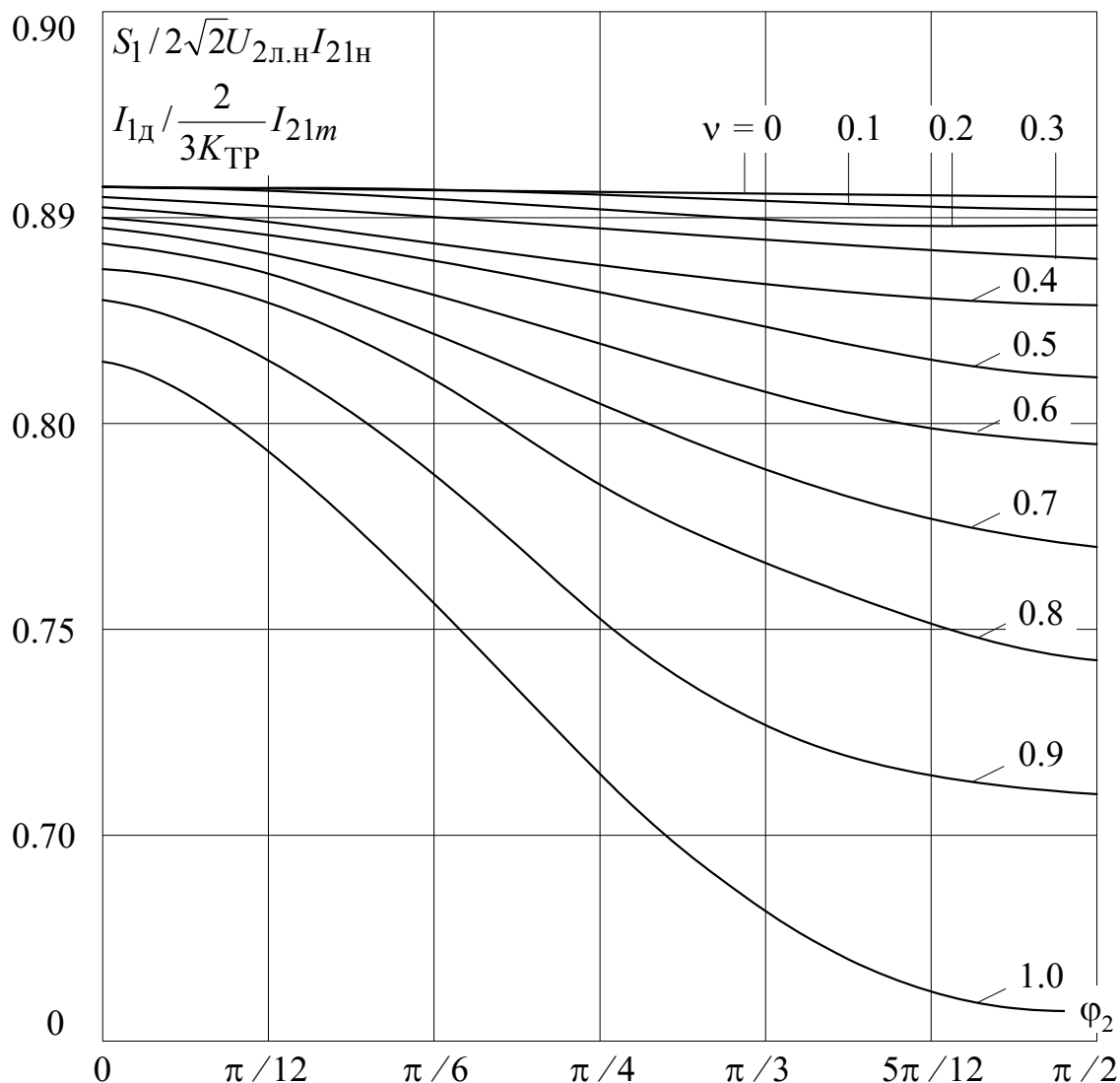


Рисунок 6 – Действующее значение первичного тока и полная мощность трехфазно-двухфазного преобразователя

Зная величины активной, реактивной и полной мощностей, по соотношению (29) необходимо рассчитать коэффициент искажения, а затем по соотношению (30) – коэффициент мощности.

13. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РС-ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ ТИРИСТОРОВ ОТ ПОВТОРЯЮЩИХСЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Расчет параметров цепей защиты от повторяющихся перенапряжений можно выполнить по методике, приведенной в [8].

Эквивалентная расчетная схема представлена на рис.7.

На рис.7 $E_{ам}$ – амплитуда анодного напряжения, определяемая по (12); I_0 – амплитуда обратного тока тиристора в момент начала восстановления запирающих свойств; L_{Δ} – эквивалентная индуктивность в контуре коммутации тока:

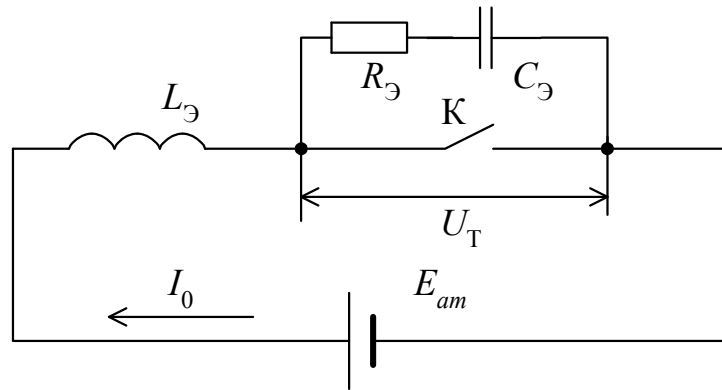


Рисунок 7 –Эквивалентная расчетная схема

$$L_{\text{Э}} = 2L_{\text{ф}} , \quad (35)$$

где

$$L_{\text{ф}} = \frac{U_{2\text{Л.Н}}}{\sqrt{3}I_{w2\text{ д.Н}}100\pi} e_{\text{к}} . \quad (36)$$

$I_{w2\text{ д.Н}}$ – определяется соответственно по (8) при $m_2=3$ и по (10) при $m_2=2$.

Величины эквивалентных значений сопротивления $R_{\text{Э}}$ и емкости $C_{\text{Э}}$ RC-цепей зависят от схемы силовой части НПЧ и от комбинации включенных тиристоров в момент восстановления запирающих свойств рассматриваемого тиристора [8, с.205-207]. В курсовом проекте рекомендуется принять

$$C_{\text{ЭКВ}} = \frac{25C}{3} , \quad (37)$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{3R}{25} \quad (38)$$

для трехфазно-двухфазного преобразователя по шестипульсной мостовой схеме и

$$C_{\text{ЭКВ}} = \frac{38C}{3} , \quad (39)$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{3R}{38} \quad (40)$$

для трехфазно-трехфазного преобразователя по шестипульсной мостовой схеме.

Для определения начального тока I_0 в расчетной схеме необходимо определить максимальную скорость коммутации тока в тиристорах

$$Y = \frac{E_{\text{ам}}}{L_{\text{Э}}} = \frac{\sqrt{2}U_{2\text{Л.Н}}}{2L_{\text{ф}}} , \quad (41)$$

где $L_{\text{ф}}$ определяется по (36).

По скорости коммутации и известной из каталога величине заряда обратного восстановления выбранного типа тиристоров Q_{rr} рассчитывается величина I_0 :

$$I_0 = \sqrt{2Q_{rr}kY} . \quad (42)$$

В соотношении с (42) введен эмпирический коэффициент k , учитывающий конечную скорость обрыва обратного тока тиристора и рекомбинацию неосновных носителей.

Рекомендуется принять $k = \frac{1}{3}$.

Допустимый уровень повторяющихся перенапряжений принимают:

$$U_{Tmax} = (1,2...1,35)E_{am} . \quad (43)$$

Расчет параметров RC -цепей производится с использованием кривых, представленных на рис.8, рис.9 .

На рис.8 и рис.9 приняты следующие обозначения:

$$\Delta U_{T*} = \frac{\Delta U_T}{E_{am}} = \frac{U_{Tmax} - E_{am}}{E_{am}} , \quad (44)$$

$$(I_0R)_* = \frac{I_0R_{\Theta}}{E_{am}} , \quad (45)$$

$$\beta T = \sqrt{\frac{4L_{\Theta}}{R_{\Theta}^2 C_{\Theta}} - 1} , \quad (46)$$

где βT – расчетный параметр.

Алгоритм расчета RC -цепей:

1. По каталогу определяем заряд обратного восстановления тиристора Q_{rr} (в кулонах).

2. По соотношению (43) при $k = \frac{1}{3}$, значению Y по (41) и $U_{2л.н}$ – по табл.1 [8] вычисляем I_0 .

3. Выбираем значение $(I_0R)_*$ из диапазона $0,8 \leq (I_0R)_* \leq 1,3$ и по соотношению

$$R_{\Theta} = (I_0R)_* \frac{E_{am}}{I_0} \quad (47)$$

определяем значение R_{Θ} .

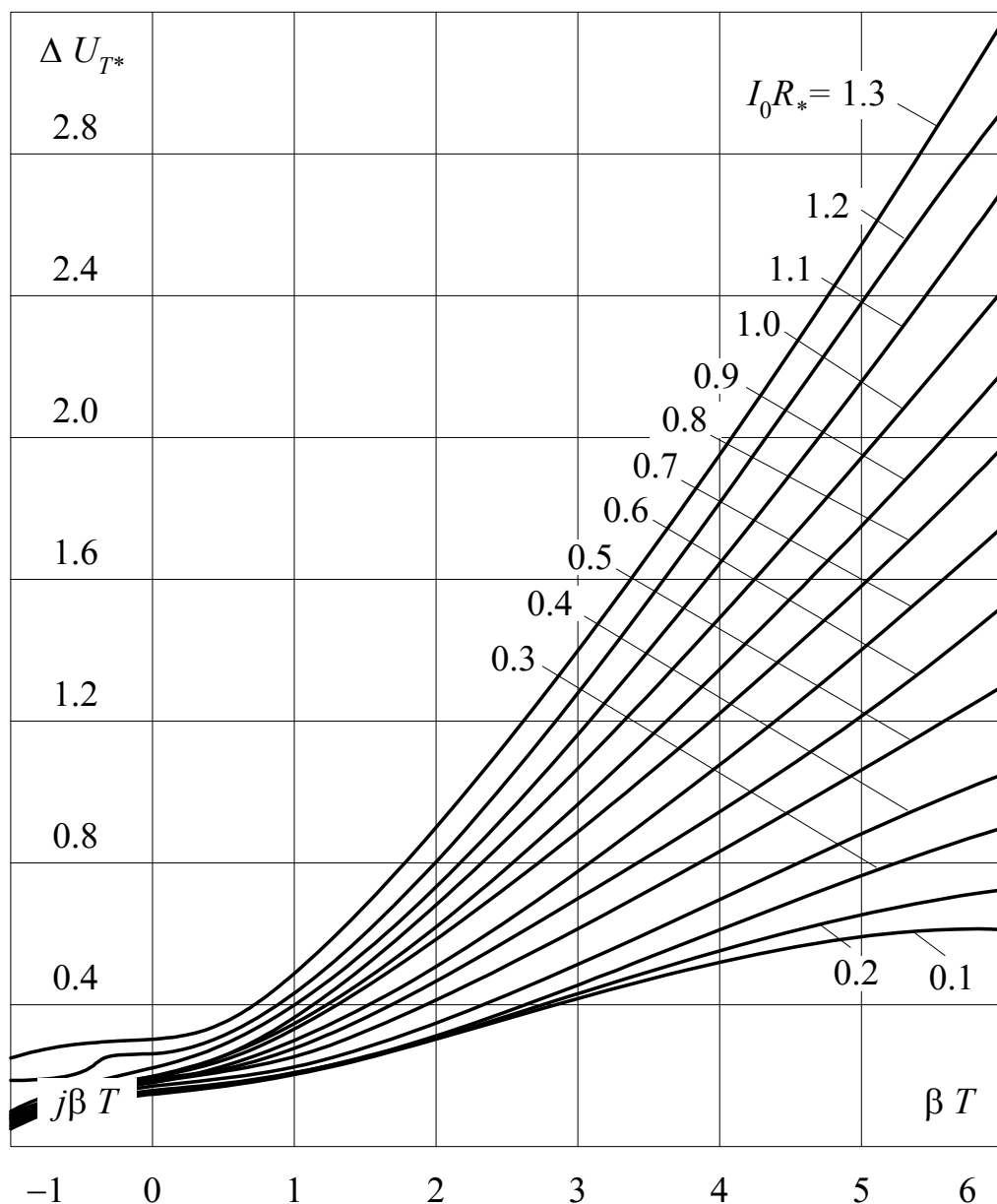


Рисунок 8 –Повторяющиеся перенапряжения на тиристоре

4. Зная величину $(I_0R)_*$, по кривым рис. 8, 9 выбираем значение βT , при котором $\Delta U_{T*} < 0,3$.

5. По соотношению (46) определяем величину C_3 , соответствующую принятым значениям βT , R_3 и L_3 .

6. По соотношениям (39), (40) для трехфазно-трехфазного преобразователя или по соотношениям (37), (38) для трехфазно-двухфазного преобразователя рассчитываем параметры RC -цепи (величины R и C), шунтирующей тиристор.

7. Выбираем стандартные значения сопротивления резистора и емкости конденсатора, наиболее близкие к величинам R и C , полученным в п.6.

8. По соотношениям (37), (38) или (39), (40) в зависимости от числа фаз нагрузки m_2 находим значения $C_{\text{экв}}$ и $R_{\text{экв}}$, соответствующие выбранным значениям сопротивления R и емкости C шунтирующей RC -цепи.

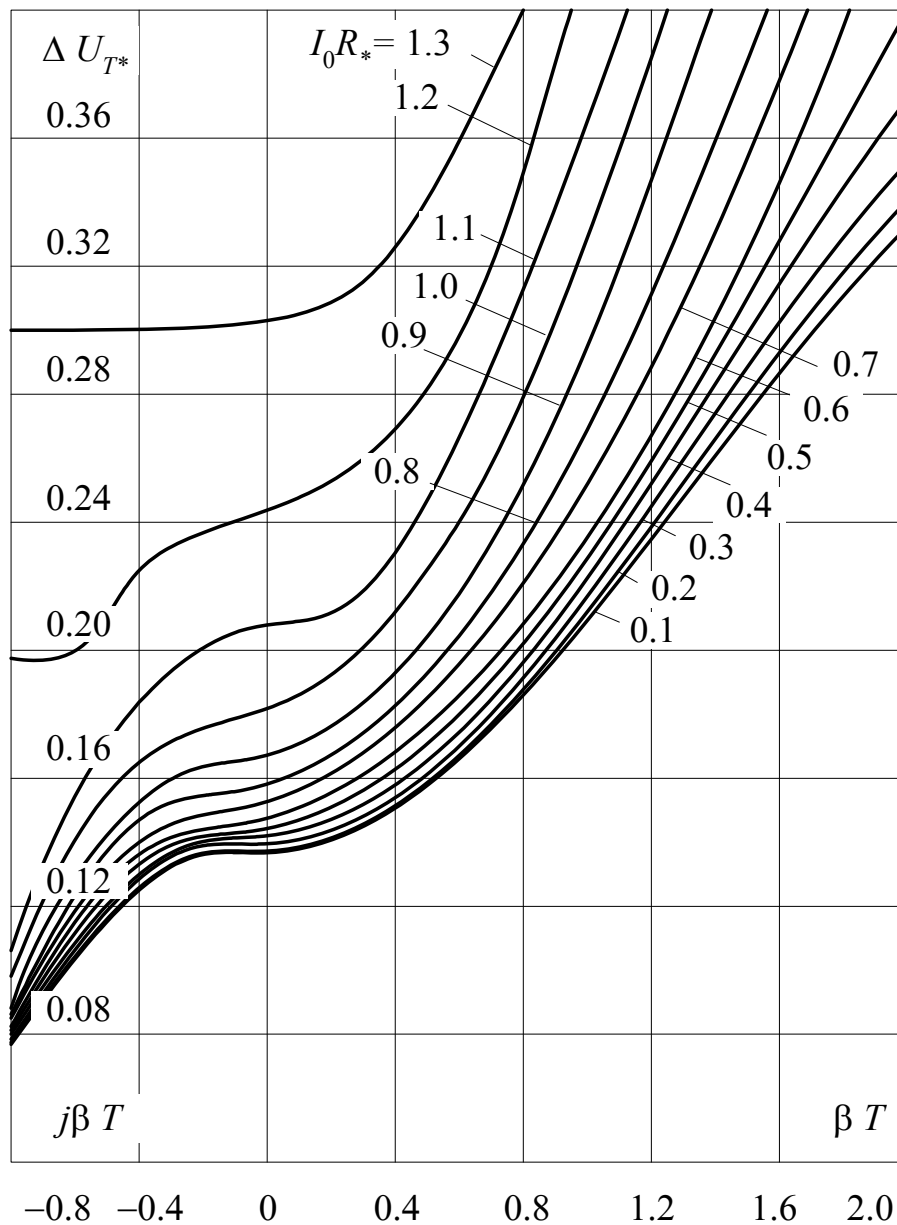


Рисунок 9 –Повторяющиеся перенапряжения на тиристоре (начальный участок)

9. По (45) определяем новое значение $(I_0R)_*$, а по (46) – новое значение βT . По кривым рис. 8, 9 находим величину ΔU_{T*} соответствующую новым значениям $(I_0R)_*$ и βT . Если величина $\Delta U_{T*} \leq 0,3$, переходим к п.10, если $\Delta U_{T*} > 0,3$, то переходим к п.3.

10. Определяем максимальную мощность, рассеиваемую в резисторе RC -цепи по соотношению:

$$P_{Rmax} = \frac{7}{2} f_0 C U_{2л.н}^2 . \quad (48)$$

11. Окончательно выбираем тип, величины сопротивления и допустимой рассеиваемой мощности резистора, тип, емкость и номинальное напряжение конденсатора.

Продумайте, как выполнить подключение RC -цепи к электродам тиристора, где целесообразно расположить элементы защиты от перенапряжений конструктивно. Можно ли уменьшить мощность потерь в резисторах RC -цепей.

14. ПРОВЕРКА УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ СХЕМЫ К ТОКАМ К.З.

При возникновении в силовой схеме НПЧ какого-либо аварийного режима должна срабатывать электронная защита, которая блокирует или смещает в область инверторного режима управляющие импульсы тиристоров и, в случае необходимости, подает команду на отключение коммутирующих аппаратов. Максимальное время, необходимое для смещения импульсов управления в область инвертирования, равно примерно полупериоду напряжения питающей сети. Поэтому элементы силовой схемы НПЧ – тиристоры, быстродействующие предохранители должны выдерживать один импульс аварийного тока длительностью равной полупериоду напряжения сети.

В настоящем разделе курсового проекта необходимо рассчитать параметры аварийного тока и проверить по каталогам, допускают ли такие токи тиристоры и быстродействующие предохранители.

Наиболее вероятным аварийным режимом является пробой тиристора. Величина тока короткого замыкания (к.з.) в этом аварийном режиме зависит от постоянной времени фазы преобразовательного трансформатора τ_ϕ и угла управления α . В курсовом проекте следует рассмотреть наиболее тяжелый случай, когда $\alpha = 0$.

Базовый ток установившегося режима двухфазного к.з. определяется из соотношения

$$I_k = \frac{U_{2л.н}}{2\sqrt{R_\phi^2 + \omega_0^2 L_\phi^2}} . \quad (49)$$

В соотношении (49) L_ϕ определяется по соотношению (36), а

$$R_\phi = \frac{L_\phi}{\tau_\phi} , \quad (50)$$

где τ_ϕ – постоянная времени, указанная в задании в Приложении А.

Амплитуда и длительность тока к.з. i_k при пробое тиристора определяется по кривым, приведенным на рис.10. Пунктирные кривые на рис.10 соответствуют случаю ограничения тока короткого замыкания с помощью устройства электронной защиты путем блокировки управляющих импульсов или смещения их в область глубокого инверторного режима.

Необходимо проверить, выдерживают ли аварийный импульс тока выбранные в курсовом проекте тиристоры, сравнив этот импульс с допустимым однократным импульсным током тиристора по каталогу [5].

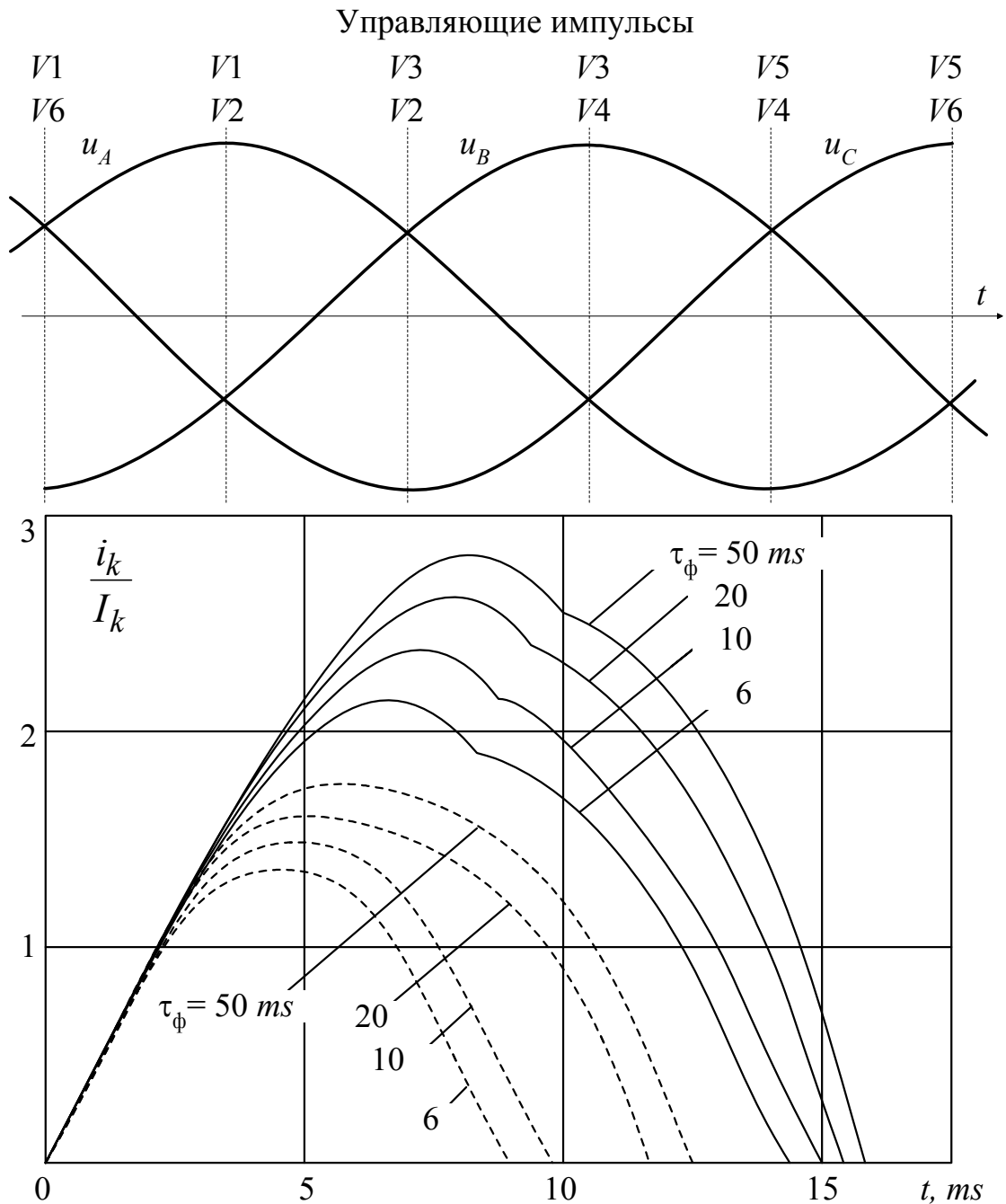


Рисунок 10 – Амплитуда и длительность тока к.з. при пробое тиристора

Перечислите другие виды аварийных режимов в НПЧ, указав возможные причины их возникновения.

15. ОГРАНИЧЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ НПЧ

Сетевые токи НПЧ содержат высшие гармоники, которые вызывают искажения напряжения питающей сети в точке подключения преобразователя. Степень искажения напряжения питающей сети характеризуется коэффициентом несинусоидальности

$$k_{\text{нс}} = \frac{\sqrt{U_1^2 - U_{11}^2}}{U_{11}}, \quad (51)$$

где

U_1 – действующее значение напряжения сети;

U_{11} – действующее значение основной гармоники напряжения сети.

Коэффициент несинусоидальности напряжения сети в точке подключения преобразователя зависит от ряда параметров: отношения мощности сети к мощности НПЧ, параметра глубины регулирования выходного напряжения НПЧ v , угла сдвига тока нагрузки НПЧ относительно напряжения на нагрузке φ_2 . Очевидно, что чем больше отношение мощности питающей сети к мощности преобразователя, тем меньше искажения напряжения сети при неизменных прочих условиях.

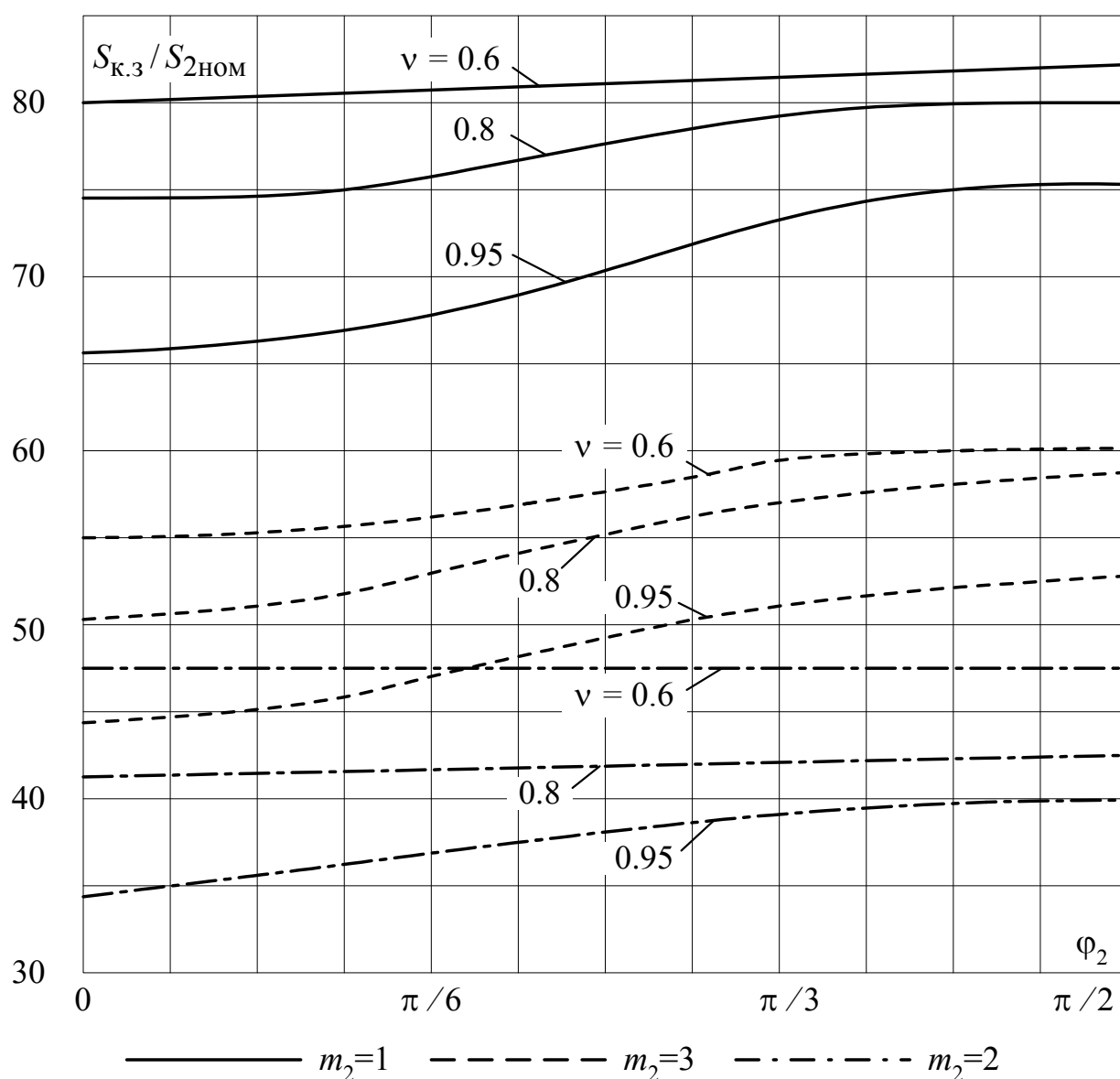


Рисунок 11 – Минимально допустимое значение $S_{к.3}/S_{2ном}$ при коэффициенте несинусоидальности напряжения сети 5% (кривые рассчитаны при $e_k=0,1$; $m=6$)

В курсовом проекте необходимо рассчитать минимальное значение мощности короткого замыкания сети $S_{к.з}$ (в точке подключения НПЧ), при котором в номинальном режиме работы преобразователя коэффициент несимметричности напряжения сети не превышает 5%.

Расчет производится по универсальным кривым [14], приведенным на рис.11.

При заданных значениях m_2 , $S_{2ном}$, e_k и при

$$\varphi_2 = \arccos(\cos \varphi_{2н}) \quad (52)$$

определяем по кривым рис.11 определяем величину

$$\frac{S_{к.з}}{S_{2ном}} = C, \quad (53)$$

а затем величину $S_{к.з}$

$$S_{к.з} = CS_{2ном}. \quad (54)$$

В пояснительной записке объясните физическую природу искажений напряжения питающей сети при работе НПЧ.

Каково должно быть минимальное значение номинальной мощности сетевого трансформатора $110kV/10kV$, к которому подключается проектируемый НПЧ? Для ответа на этот вопрос надо учесть полученное в настоящем параграфе минимальное значение мощности к.з. $S_{к.з}$ и принять, что относительное значение напряжения короткого замыкания сетевого трансформатора равно 0,1.

16. ВЫБОР ЗАЩИТНЫХ И КОММУТИРУЮЩИХ АППАРАТОВ

Тип и количество автоматических выключателей зависят от напряжения питающей сети и от мощности преобразователя.

При напряжении сети $380V$ можно ограничиться одним автоматическим выключателем $Q1$, имеющем время отключения в аварийных режимах $10-15 ms$ [3, с.184-195]. Выключатель $Q2$ в этом случае можно не устанавливать.

При напряжении питающей сети $10kV$ выключатель $Q1$ представляет собой масляный выключатель, устанавливаемый, как правило, в шкафах высоковольтного ввода типа ШВВ [3, с. 181]. Установка выключателя $Q2$ в этом случае необязательна, можно ограничиться электронной защитной блокировкой или смещением в инверторный режим управляющих импульсов.

Автоматические выключатели должны иметь расцепитель максимального тока, тепловой расцепитель и независимый расцепитель. Для удобства управления целесообразно предусмотреть возможность дистанционного управления выключением.

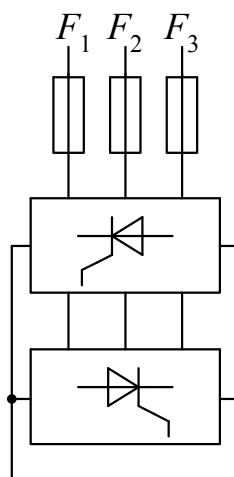


Рисунок 12 – Схема включения предохранителей

Защита тиристоров может осуществляться также с помощью быстродействующих плавких предохранителей [3, с. 199–201], которые включаются в каждой фазе НПЧ, как показано на рис.12.

При срабатывании одного из быстродействующих предохранителей должна быть автоматически отключена вся преобразовательная установка. Предохранители должны иметь вспомогательные контакты.

В настоящем разделе курсового проекта необходимо обосновать схему защиты, выбрать необходимые защитные электрические аппараты, описать их взаимодействие в аварийных режимах.

17. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НПЧ

В современных промышленных образцах НПЧ система управления выполняется на базе аналоговых и аналогово-цифровых датчиков и управляющих микро ЭВМ. Основными функциональными блоками системы управления НПЧ являются: устройство формирования напряжения управления, фазосмещающее устройство, устройство усиления и распределения управляющих импульсов, устройство раздельного управления, устройство питания и фильтров синусоид опорных напряжений, устройство управления, защиты и сигнализации.

В устройстве формирования напряжения управления e_y цифро-аналоговым или программным способом формируются низкочастотные синусоидальные сигналы, частота которых определяет частоту напряжения на выходе НПЧ – f , а амплитуда - параметр глубины регулирования v .

В фазосмещающем устройстве осуществляется сравнение напряжения управления e_y с напряжением опорных синусоид $u_{оп}$, подаваемых на его вход от питающей сети через фильтры. Управляющие импульсы вырабатываются в момент равенства напряжений e_y и $u_{оп}$. Количество опорных напряжений равно числу пульсаций напряжения на выходе НПЧ.

Формирование управляющих импульсов по амплитуде и длительности осуществляется в устройстве усиления и распределения управляющих импульсов. На выход устройства усиления и распределения импульсов подаются

ся импульсы с выхода фазосмещающего устройства длительностью в десятки микросекунд. Эти импульсы преобразуются в управляющий импульс, подаваемый на управляющий переход тиристора, который должен иметь следующие параметры: амплитуда тока – $1A$, падение напряжения в цепи управляющего перехода – $10V$, длительность – $0,3-0,4ms$, крутизна переднего фронта импульса – более $1 \frac{A}{\mu s}$. В устройстве усиления и распределения им-

пульсов необходимо предусмотреть потенциальное разделение между силовой частью НПЧ и системой управления. Для этого применяется обычно импульсный трансформатор. С целью уменьшения габаритов импульсного трансформатора управляющий импульс подвергается высокочастотной широтно-импульсной модуляции с тактовой частотой в несколько десятков килогерц.

Устройство раздельного управления обеспечивает запирающее (блокирование) управляющих импульсов неработающей вентильной группы силовой схемы НПЧ и бестоковую нагрузку при переключении вентильных групп. На вход устройства управления раздельной работой подаются напряжение управления e_y , знак которого несет информацию о том, какая вентильная группа должна включиться при очередном изменении знака тока нагрузки, сигнал от датчиков тока и сигнал от датчиков закрытого состояния тиристор.

Устройство питания и фильтров синусоид опорных напряжений вырабатывает постоянные и синусоидальные напряжения, необходимые для работы всей системы управления.

Устройство управления, защиты и сигнализации предназначено для управления коммутирующими аппаратами, введения необходимых блокировок, сигнализации о состоянии аппаратов и о работе элементов силовой схемы и системы управления.

В курсовом проекте необходимо вычертить функциональную схему системы управления с указанием основных ее составных частей, датчиков тока и напряжения, связей между элементами схемы.

18. РАСЧЕТ КПД ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Коэффициент полезного действия НПЧ рассчитывается по следующему соотношению:

$$\eta = \frac{S_{2H} \cos \varphi_{2H}}{S_{2H} \cos \varphi_{2H} + \Delta P_V + \Delta P_{TP} + \Delta P_{OШ} + \Delta P_{RC} + \Delta P_{var} + P_{C.Y} + P_{вент}}, \quad (55)$$

где ΔP_V – потери в тиристорах,

ΔP_{TP} – потери в преобразовательном трансформаторе,

$\Delta P_{\text{ОШ}}$ – потери в соединительных шинах и кабелях,
 ΔP_{RC} – потери в цепях защиты от повторяющихся перенапряжений,
 ΔP_{var} – потери в цепях защиты от неповторяющихся перенапряжений,
 $P_{C.y}$ – потери в системе управления,
 $P_{\text{вент}}$ – активная мощность, потребляемая двигателями вентиляторов системы охлаждения.

Потери в тиристорах определяются из соотношения

$$\Delta P_T = m_2 \left(0,9 U_0 \cdot I_{21H} + R_d I_{21H}^2 \right) n_{\Sigma} , \quad (56)$$

где U_0, R_d – параметры прямой ветви вольт-амперной характеристики тиристора выбранного типа,

n_{Σ} – число тиристорov, участвующих одновременно в формировании фазного тока нагрузки одного направления.

Для шестипульсовой мостовой схемы силовой части НПЧ – $n_{\Sigma} = 2$.

Потери в преобразовательном трансформаторе рассчитываются как сумма потерь короткого замыкания $P_{к.з}$ и потерь холостого хода $P_{х.х}$:

$$\Delta P_{\text{ТР}} = P_{к.з} + P_{х.х} , \quad (57)$$

которые приведены для выбранного типа преобразовательного трансформатора в [3].

Потери в шинах (кабелях):

$$\Delta P_{\text{ОШ}} = m_2 R_{\text{ОШ}} I_{21H}^2 , \quad (58)$$

где $R_{\text{ОШ}}$ – сопротивление участка шин (кабелей) силовой схемы.

$$R_{\text{ОШ}} = \rho \frac{L}{S} , \quad (59)$$

где ρ ($\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$) – удельное сопротивление материала шины (кабеля). Для

медной шины $\rho = \frac{1}{57} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$.

$L(m)$ – длина участка шины (кабеля), определяемая по рис.13 в зависимости от конструктивной компоновки преобразовательного агрегата;

$S(\text{mm}^2)$ – поперечное сечение шины (кабеля).

Суммарная длина участка шин (кабелей) приблизительно равна удвоенной сумме расстояний от преобразовательного трансформатора Т до вентиляционной части В, обозначенной на рис.13 – L_1 , и расстояния от вентиляционной части до нагрузки, обозначенной на рис.13 – L_2 .

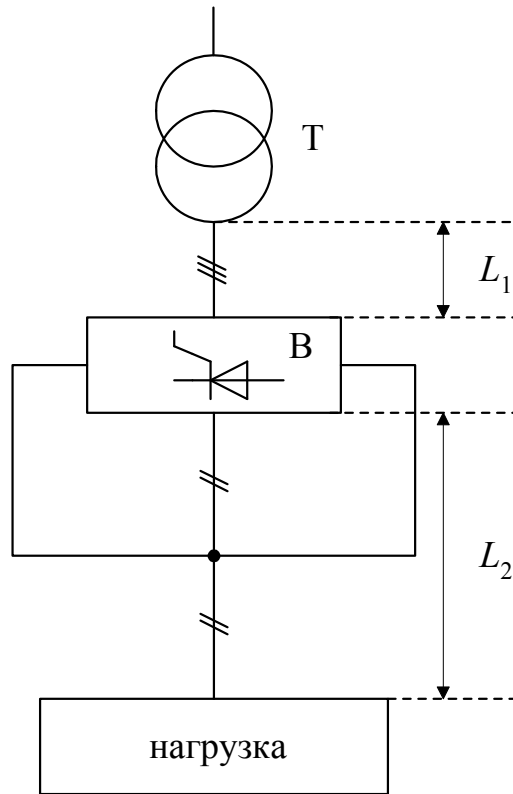


Рисунок 13 – Структура кабельных линий НПЧ

$$L = 2(L_1 + L_2) \quad (60)$$

Поперечное сечение шины (кабеля) может быть приближенно определено по допустимой плотности тока в шине (кабеле) $\gamma_{\text{доп}}$

$$S = \frac{I_{21\text{н}}}{\gamma_{\text{доп}}} \quad (61)$$

При расчетах рекомендуется принять $\gamma_{\text{доп}} = 6 \frac{A}{\text{мм}^2}$.

При расчете потерь в резисторных цепях защиты от повторяющихся перенапряжений ΔP_{RC} необходимо учесть результаты расчетов $P_{R \max}$ по соотношению (48) и зависимость, представленную на рис.14.

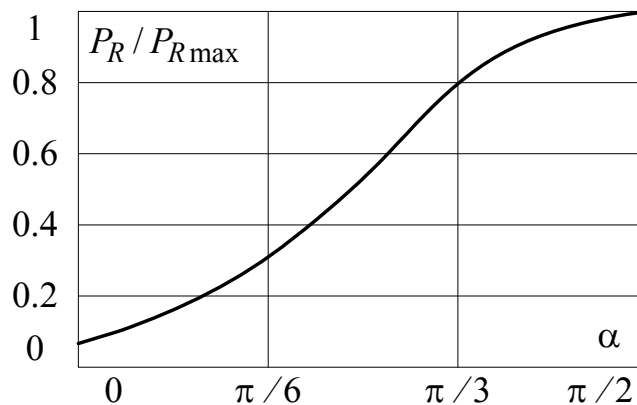


Рисунок 14 – Расчетная зависимость

Рекомендуется принять расчетное значение угла α на рис.14 – 30...45эл.град.

Потери в цепях защиты от внешних перенапряжений, если последние выполнены на варисторах, рассчитываются с учетом сопротивления варисторов при номинальном напряжении питающей сети P_{var} :

$$P_{var} = \frac{U_{2л.н}^2}{R_{var н}} . \quad (62)$$

Потери в системе управления, зависящие от номинальной мощности преобразователя, могут быть рассчитаны по эмпирической формуле

$$P_{с.у} = 100W + 10^{-4} S_{2н} . \quad (63)$$

Мощность двигателя вентилятора принудительной воздушной системы охлаждения тиристоров рекомендуется принять равной 25W на один тиристор. Суммарная мощность, потребляемая системой охлаждения :

$$P_{вент} = 25 \cdot m_2 \cdot p \cdot 2 . \quad (64)$$

Подумайте, как можно измерить КПД реальной установки. Предложите схему измерений, оцените возможную погрешность измерений.

19. КОНСТРУКЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В этом разделе курсового проекта эскизно прорабатывается конструктивное исполнение преобразователя. Необходимо руководствоваться следующими соображениями. Силовая часть преобразователя, элементы системы охлаждения, коммутирующая аппаратура и система управления размещаются в металлических шкафах габаритами:

ширина по фронту $L = 400, 600, 800mm$;
глубина $B = 400, 600, 800mm$;
высота $H = 800, 1400, 1800, 2200mm$.

Сочетания L, B, H могут быть любыми из приведенных рядов значений, однако, для установок более 300 kVA целесообразно принять $H = 1800mm$ или $2200mm$.

Тиристоры устанавливаются на охладителях, рекомендуемых в справочниках и каталогах [3, 4, 5], и соединяются между собой медными шинами. Вблизи силовых тиристоров должны быть расположены цепи защиты от повторяющихся перенапряжений и ячейки, вырабатывающие управляющие импульсы с разделительными импульсными трансформаторами. Вентиляторы воздушного принудительного охлаждения тиристоров, число которых опре-

деляется при конструировании, продувают воздух в межреберном пространстве охладителей тиристоров, образующих “шахту”. Коммутирующие аппараты располагаются внутри шкафа или на передней дверце шкафа (для удобства ручного управления). Система управления размещается на ячейках управления с двухсторонними или многослойными печатными платами, которые могут размещаться в кассетах управления или располагаться на дверцах шкафа. На передней дверце или на панели шкафа должны быть расположены измерительные приборы, сигнальные табло, коммутирующие аппараты.

Преобразовательный трансформатор и нагрузка размещаются вне шкафа и могут отстоять от них на расстояние до 50 метров.

Преобразовательный трансформатор на сетевое напряжение $10kV$ подключается к сети через специальные шкафы высоковольтных входных устройств [3], внутри которых размещается масляный выключатель.

При курсовом проектировании следует обосновать тот или иной вариант, привести эскизный чертеж конструкции.

20. ОРГАНИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В этом разделе автор курсового проекта должен изложить свои соображения о возможных способах организации разработки чертежей, изготовления, поставки и ввода в эксплуатацию преобразовательной установки в случае, если заказчиком является предприятие Украины.

Продумайте способы изготовления и испытаний преобразовательной установки, условия транспортировки, монтажа у заказчика, наладки и ввода в эксплуатацию.

Рассмотрите различные варианты: заказ оборудования на предприятиях Украины, СНГ, ведущих европейских фирм.

21. РАСЧЕТ НА ПЕРСОНАЛЬНОЙ ЭВМ

Составьте программу расчета параметров RC -цепей по алгоритму, описанному в п.13, используя язык программирования, которым владеете. Рассчитайте параметры RC -цепей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по выполнению курсового проекта "Расчет многопульсных управляемых выпрямителей" по дисциплине "Преобразователи, ведомые сетью" и "Преобразователи для электропривода". / Г.Г. Жемеров, Д.С. Крылов. – Харьков.: НТУ"ХПИ", 2009. – 52с.
2. Забродин Ю.С. Промышленная электроника / Ю.С. Забродин. – М.: Высш. шк., 1982. – 496с.
3. Перельмутер В.М. Комплектные тиристорные электроприводы / под ред. В.М.Перельмутера – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320с.
4. Чебовский О.Г. Силовые полупроводниковые приборы. / О.Г. Чебовский, Л.Г. Моисеев, Р.П. Недошивин – М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. Semikron. Innovation + Service. Semikron International. Germany, 1997..
6. Резинский С.Р. Конструирование силовых преобразовательных агрегатов. / С.Р. Резинский, В.С. Лабковский и др. – М.: Энергия, 1973. – 288с.
7. Глух Е.М. Защита полупроводниковых преобразователей. / Е.М Глух, В.Е. Зеленов – М.: Энергия, 1970. – 152с.
8. Жемеров Г.Г. Тиристорные преобразователи частоты с непосредственной связью / Г.Г. Жемеров – М.: Энергия, 1977. – 280с.
9. Шипилло В.П. Автоматизированный вентильный электропривод / В.П. Шипилло/ – М.: Энергия, 1969. – 400с.
10. Руденко В.С. Основы преобразовательной техники. / В.С. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко/ – Высш. шк., 1980. – 424с.
11. Маевский О.А. Энергетические показатели электроэнергии вентильных преобразователей / О.А. Маевский – М.: Энергия, 1968, – 304 с.
12. Горбачев Г.Н. Промышленная электроника / Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин; под ред. В.А. Лабунцова.– М.: Энергоатомиздат, 1988.
13. Круглянский И.М. Расчет мощности потерь в шунтирующих RC-цепях / И.М. Круглянский // Электротехническая промышленность. Преобразовательная техника, 1971. – Вып. 23–24.
14. Жемеров Г.Г. Влияние непосредственных преобразователей частоты на питающую сеть / Г.Г. Жемеров, И.Л. Коляндр. // Электричество, 1981, №11. С.20–27.

Приложение А. Варианты исходных данных

Номер варианта	S_{2H} (kVA)	U_{21H} (V)	I_{21H} (A)	m_2	f_{2H} (Hz)	$f_{2min} \dots f_{2max}$ (Hz)	$\cos \varphi_{2H}$	m	a	$U_{1л.н}$ (kV)	$e_{кΣ}$	τ_{ϕ} (ms)	Тип нагрузки
1	154	160	320	3	20	0,5...20	0,8	6	2	0,38	0,05	20	АД
2	428	315	500	3	20	0,5...20	0,8	6	2	0,38	0,06	20	АД
3	638	425	500	3	20	0,5...20	0,8	6	2	10,0	0,07	20	АД
4	1248	520	800	3	20	0,5...20	0,8	6	2	10,0	0,08	20	АД
5	2496	520	1600	3	20	0,5...20	1,0	6	2	10,0	0,08	50	СД
6	4650	620	2500	3	20	0,5...20	1,0	6	2	10,0	0,10	50	СД
7	5952	620	3200	3	20	0,5...20	1,0	6	2	10,0	0,10	50	СД
8	528	330	800	2	3,0	0,2...3,0	0,1	6	1	10,0	0,07	20	И
9	1792	560	1600	2	3,0	0,2...3,0	0,1	6	1	10,0	0,08	20	И
10	2750	550	2500	2	3,0	0,2...3,0	0,1	6	1	10,0	0,10	20	И

Для всех вариантов :

$f_0 = 50 \text{ Hz}$ – частота питающей сети;

$m_1 = 3$ – число фаз питающей сети;

$a = I_{21\max} / I_{21H \max}$ – кратность перегрузки по току;

$t_a = 15 \text{ s}$ – длительность перегрузки по току;

$\theta_a = 0 \dots 45 \text{ }^\circ\text{C}$ – диапазон изменения температуры окружающей сети в машзале;

$v = 6 \text{ m/s}$ – скорость охлаждающего воздуха в межреберном пространстве охладителей тиристоров;

$v_{\text{ном}} = 1$ – номинальное значение параметра глубины регулирования.

Форма напряжения управления на входе фазосмещающего устройства – синусоидальная.

Характеристика фазосмещающего устройства – арккосинусоидальная.

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПЛЕНИЕ.....	3
1. Задание на проектирование.....	3
2 Содержание курсового проекта.....	4
3. Оформление курсового проекта.....	5
4. Подготовка к выполнению курсового проекта.....	5
5. Обоснование применения силовой схемы.....	6
6. Расчет преобразовательного трансформатора.....	7
7. Выбор типа тиристоров и охладителей.....	10
8. Расчет углов коммутации тока в вентилях.....	11
9. Расчет максимального угла управления.....	12
10. Регулировочная и внешняя характеристики.....	13
11. Оценка гармоник выходного напряжения.....	14
12. Расчет составляющих полной мощности и энергетических коэффициентов на стороне сети.....	14
13. Расчет параметров RC -цепей защиты тиристоров от повторяющихся перенапряжений.....	18
14. Проверка устойчивости элементов силовой схемы к токам к.з.	23
15. Ограничение искажений напряжения питающей сети при работе НПЧ..	24
16. Выбор защитных и коммутирующих аппаратов.....	26
17. Система управления НПЧ.....	27
18. Расчет КПД преобразователя.....	28
19. Конструкция преобразователя.....	31
20. Организация разработки и изготовления.....	32
21. Расчет на персональной ЭВМ.....	32
Список литературы.....	33
Приложение А. Варианты исходных данных	34

Навчальне видання

**Методичні вказівки
до виконання курсового проекту
«Розрахунок безпосереднього перетворювача частоти»
з дисциплін «Перетворювачі, ведені мережею»,
«Перетворювачі для електроприводу», а також
бакалаврського та дипломного проектування
для студентів напрямку 05.08.02
«Електронні пристрої та системи»,
що спеціалізуються в силовій електроніці**

Російською мовою

Укладачі ЖЕМЕРОВ Георгій Георгійович
 КРИЛОВ Денис Сергійович

Відповідальний за випуск Є.І. Сокол
Роботу рекомендував до друку В. Т. Долбня

В авторській редакції

План 2015, поз. 187

Підп. до друку 10.07.2015г.

Друк – ризографія.

Ум. друк. арк. 2.0

Зам. № 218 .

Формат 60x84 1/16. Папір офсет. №2.

Гарнітура – Times New Roman.

Тираж 100 прим.

Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ"ХПІ", 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009р.
