

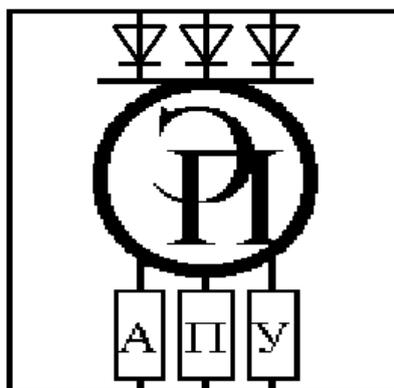
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и АПУ»

СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»
дневной и заочной форм обучения*

Часть 1



Могилев 2017

УДК 621.314
ББК 31.264.5
С 36

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и АПУ» «08» сентября 2017 г.,
протокол № 2

Составители: ст. преподаватель Г. В. Бочкарев;
ст. преподаватель В. А. Лапицкий

Рецензент канд. техн. наук С. В. Болотов

В методических рекомендациях изложены необходимые сведения для
выполнения лабораторных работ по дисциплине «Силовая преобразовательная
техника».

Учебно-методическое издание

СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Часть 1

Ответственный за выпуск Г. С. Леневский

Технический редактор А. А. Подошевка

Компьютерная верстка М. М. Дударева

Подписано в печать . Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 115 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изделий

№ 1/156 от 24.01.2014.

Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2017



Содержание

1 Содержание отчета.....	4
2 Графическая часть отчета.....	4
3 Лабораторная работа № 1. Исследование режимов работы и определение параметров неперевсивного управляемого выпрямителя типа БУ3509.....	4
3.1 Краткие теоретические сведения.....	4
3.2 Порядок выполнения работы.....	14
4 Лабораторная работа № 2. Исследование режимов работы и определение параметров реверсивного управляемого выпрямителя в составе электропривода ЭТ-6.....	20
4.1 Основные теоретические сведения.....	20
4.2 Порядок выполнения работы.....	24
5 Лабораторная работа № 3. Исследование режимов работы и определение параметров тиристорного широтно-импульсного преобразователя.....	27
5.1 Краткие теоретические сведения.....	27
5.2 Порядок выполнения работы.....	37
Список литературы.....	40



1 Содержание отчета

При выполнении лабораторных работ обязательному рассмотрению и отражению в отчете подлежат следующие разделы.

- 1 Изучение методических указаний и учебной литературы.
- 2 Анализ выполнения этапов лабораторной работы.
- 3 Изучение схемы электрической принципиальной стенда для исследования преобразователя.
- 4 Изучение схемы электрической принципиальной силовой части преобразователя.
- 5 Математическое моделирование силовой части преобразователя.

Рекомендуемый объем отчета – 10...12 с. из расчета, что отчет отпечатан на принтере, шрифт Courier New 14, допускается применение других шрифтов.

Отчет выполняется на листах формата А4, оформление производится в соответствии с рекомендациями и требованиями [1].

2 Графическая часть отчета

Графическая часть отчета выполняется на двух листах формата А4.

На первом листе выполняется схема электрическая принципиальная стенда для исследования преобразователя; на втором – схема электрическая принципиальная силовой части преобразователя.

Оформление производится в соответствии с рекомендациями и требованиями [1].

3 Лабораторная работа № 1. Исследование режимов работы и определение параметров нереверсивного управляемого выпрямителя типа БУ3509

Цель работы:

- 1) исследование статических характеристик нереверсивного трехфазного мостового управляемого выпрямителя (УВ);
- 2) исследование электромагнитных процессов в силовой части нереверсивного трехфазного мостового УВ.

3.1 Краткие теоретические сведения

Выпрямитель – устройство, предназначенное для преобразования переменного напряжения в постоянное.

Выпрямители – источники вторичного электропитания, реализующие статический метод преобразования энергии переменного тока в энергию постоянного тока.

Выпрямители классифицируются по ряду признаков.



1 Однофазное питание (50 Гц, 220 В). Выпрямители питаются от одной фазы электросети. Число фаз m_1 первичной обмотки трансформатора выпрямителя равно единице.

2 Трехфазное питание (50 Гц, 220 / 380 В). Выпрямители питаются от трех фаз электросети. Число фаз m_1 первичных обмоток трансформатора выпрямителя равно трем.

Схема выпрямления характеризуется числом фаз и числом тактов.

1 Число фаз m_2 схемы выпрямления определяется числом вентильных обмоток трансформатора, то есть вторичных обмоток, в которые включены выпрямительные диоды (вентили).

2 Число тактов p схемы выпрямления определяется возможностью протекания тока по вентильным обмоткам трансформатора в одном или двух направлениях, то есть использованием одного или обоих полупериодов (тактов) переменного выпрямляемого напряжения. Соответственно, схемы выпрямления могут быть либо одноктактными ($p = 1$), либо двухтактными ($p = 2$). Двухтактные схемы реализуются на базе диодных мостовых схем, поэтому их называют мостовыми схемами выпрямления.

Основными элементами выпрямителя являются трансформатор и вентили, с помощью которых обеспечивается одностороннее протекание тока в цепи нагрузки, в результате чего переменное напряжение преобразуется в пульсирующее.

Электрический вентиль – нелинейный элемент с преимущественно односторонней электрической проводимостью (диод, тиристор и пр.).

Трансформаторы – это статическое электромагнитное устройство, имеющее две или большее число индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока.

Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения к выходным зажимам выпрямителя подключают электрический сглаживающий фильтр.

Сглаживающие фильтры – это фильтры низких частот.

Фильтры различают:

- по элементарной базе, схеме соединения этих фильтров и количеству звеньев;
- пассивные, состоят из R, L, C элементов;
- активные – фильтры, где, кроме пассивных, есть еще и активные элементы (транзисторы, микросхемы, ОУ);
- Г-образные фильтры и П-образные LC-фильтры;
- индуктивно-емкостные с компенсационной обмоткой и др.;
- однозвенные и многозвенные;
- одиночные.

Сглаживающие фильтры предназначены для уменьшения переменной составляющей напряжения и тока на выходе выпрямителя и относятся к классу фильтров низких частот (ФНЧ).



Они должны обладать малым сопротивлением по постоянному току для элементов, включенных последовательно с нагрузкой, а также малым сопротивлением по переменному току и большим по постоянному току для элементов, включенных параллельно нагрузке.

Сглаживающий фильтр должен отвечать следующим требованиям:

- обладать коэффициентом сглаживания пульсаций, позволяющим снизить пульсации на зажимах потребителя энергии до допустимого значения;
- КПД фильтра должен быть высоким;
- сглаживающий фильтр не должен вносить искажений в работу потребителя;
- масса, габариты, стоимость должны быть малыми.

В выпрямительном режиме, характеризующимся отдачей мощности в цепь нагрузки, напряжение вторичной обмотки трансформатора и анодный ток вентилей имеют одинаковое направление (это соответствует работе сети переменного тока в качестве генератора энергии).

В зависимости от числа фаз питающего напряжения различают схемы однофазные, трехфазные и многофазные питания. Независимо от мощности выпрямители подразделяют на однотактные и двухтактные.

К однотактным относят схемы, у которых по вторичным обмоткам трансформатора ток протекает только один раз за полный период (полупериод или его части). Отношение частоты пульсаций выпрямленного напряжения к частоте сети в однотактных схемах равно числу фаз вторичных обмоток трансформатора. В таких схемах, кроме простейшего однофазного однополупериодного выпрямителя, обязательно выводится нулевая точка трансформатора.

К двухтактным относят схемы, у которых в каждой фазе вторичных обмоток трансформатора ток протекает дважды за один период. Кратность пульсаций выпрямленного напряжения в таких системах в два раза больше, чем число фаз вторичных обмоток трансформатора. Мостовые схемы выпрямителей относятся к двухтактным.

В мостовых схемах ток во вторичной цепи всегда проходит последовательно по двум вентилям.

Схемы выпрямителей делят на простые и сложные. Простыми являются схемы, упомянутые ранее. К простым относят также схемы с умножителем напряжения, в которых в качестве умножителей используют заряженные конденсаторы. В сложных схемах несколько простых схем выпрямителей соединены последовательно или параллельно.

В зависимости от назначения выпрямители могут быть управляемые и неуправляемые. Входные параметры выпрямителя, диапазон регулирования, условия работы вентилей и трансформатора по току и напряжению существенно зависят от характера нагрузки, определяющегося типом нагрузки или первым элементом фильтра.

Различают следующие режимы работы выпрямителя:

- работа на индуктивную нагрузку;
- работа на нагрузку с противоЭДС;



– работа на активно-ёмкостную нагрузку.

Основными характеристиками, характеризующими эксплуатационные свойства выпрямителей, являются:

- 1) среднее значение выпрямительного напряжения и тока U_d, I_d ;
- 2) коэффициент полезного действия η ;
- 3) коэффициент мощности K_M ;
- 4) внешние характеристики, представляющие зависимость напряжения на выходе от тока нагрузки $U_d = f(I_d)$ при различных углах управления α ;
- 5) регулировочная характеристика, представляющая зависимость выпрямленного напряжения от угла регулирования $U_{d\alpha} = f(\alpha)$;
- 6) коэффициент пульсаций тока, представляющий отношение величины амплитуды пульсаций к величине среднего значения тока:

$$K_n(q) = \frac{U_m(q)}{U_d}. \quad (1)$$

С помощью трансформаторов в выпрямительных устройствах производится преобразование величины входного напряжения, электрическое разделение цепей преобразователя, преобразование числа фаз системы напряжений, питающих выпрямитель.

Инвертор – это устройство, предназначенное для преобразования постоянного тока в переменный. В преобразовательных установках инверторный режим часто чередуется с выпрямительным, т. е. одна и та же преобразовательная установка может быть и выпрямителем, и инвертором. Это имеет место, например, в электроприводах постоянного тока. В двигательном режиме преобразовательная установка выполняет функции выпрямителя, передавая мощность двигателю постоянного тока. При переходе машины в генераторный (движение под уклон, спуск груза, торможение и т. д.) преобразователь работает в инверторном режиме, отдавая мощность, генерируемую машиной постоянного тока, в сеть переменного тока. Таким образом, при инвертировании источник постоянного напряжения работает как генератор электрической энергии, характеризующийся тем, что направления его ЭДС и тока совпадают, а нагрузка (сеть переменного тока) – как потребитель, у которого направления ЭДС и тока противоположны, т. е. напряжение вторичной обмотке трансформатора и анодный ток вентилей имеют разное направление.

Нереверсивные управляемые выпрямители

Управляемые (регулируемые) выпрямители – это выпрямители, выходное напряжение которых регулируется (вручную или автоматически) в заданных пределах. Они делятся по:

- роду напряжения:
 - а) переменного напряжения (до выпрямления);
 - б) постоянного напряжения (после выпрямления);
- способу регулирования:
 - а) ручное;



- б) автоматическое;
- задаче регулирования:
 - а) стабилизация;
 - б) программное регулирование;
- режиму работы регулирующего элемента:
 - а) непрерывный;
 - б) дискретный;
- типу регулирующего элемента:
 - а) тиристорное;
 - б) транзисторное;
 - в) дроссельное (дроссель насыщения);
 - г) трансформаторы;
 - д) автотрансформаторы.

В трехфазном мостовом выпрямителе последовательно соединены две трехфазные выпрямительные группы: анодная VS2, VS4, VS6 и катодная VS1, VS3, VS5, каждая из которых повторяет работу трехфазной схемы с нулевым выводом. Следовательно, при таком же значении ЭДС вторичной обмотки трансформатора E_2 и $\alpha = 0$, как и в трехфазной схеме с нулевым выводом, данная схема имеет среднее выпрямленное напряжение U_d в 2 раза больше E и, наоборот, при том же значении U_d значение E_2 будет в 2 раза меньше ($E_2 = 0,43 U_d$).

Особенность работы управляемого выпрямителя заключается в задержке на угол α момента отпирания очередных тиристоров относительно точек естественного отпирания. Это обусловлено задержкой на угол α моментов подачи отпирющих импульсов на тиристоры от системы управления.

При активной нагрузке ($L_a = 0$, $L_d = 0$, $R_a = 0$) в мостовой схеме одновременно пропускают ток два вентиля: один – с наиболее высоким потенциалом анода относительно нулевой точки трансформатора из

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

Отсюда видно, что предельный угол регулирования при $L_d = \infty$ равен 90° . Коэффициент мощности выпрямителя при $L_d = \infty$ и $L_a = 0$

$$\cos \phi = \frac{3}{\pi} \cos \alpha. \quad (3)$$

Коэффициент пульсаций



$$K_n(q) = \frac{U(q)_m}{U_{da}} = \frac{\sqrt{|U'(q)_m|^2 + |U''(q)_m|^2}}{U_{da}}, \quad (4)$$

где

$$U'(q)_m = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} E_{2m} \sin v \cdot \sin q \cdot m_n \cdot v \cdot dv; \quad (5)$$

$$U''(q)_m = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} E_{2m} \cdot \sin v \cdot \cos q \cdot m_n \cdot v \cdot dv. \quad (6)$$

Закономерность изменения внешних характеристик зависит от угла регулирования α . Поэтому для управляемых выпрямителей строят семейства внешних характеристик $U_d = f(I_d)$ при различных значениях угла α .

Закономерность изменения внешней характеристики зависит от длительности пропуска тока каждым вентиляем $\lambda = 2\pi/3 + \gamma$, который в свою очередь определяется числом вентиляей, одновременно пропускающих ток.

Величина угла коммутации γ , а следовательно, и величина угла λ изменяются при изменении величины тока нагрузки. При токах нагрузки близких к номинальному значению, $\gamma < \pi/3$ и $\lambda < \pi$. Поэтому в этом режиме в схеме одновременно пропускают ток либо два, либо три вентиля. С ростом тока нагрузки величина угла γ увеличивается, интервал одновременной работы трех вентиляей расширяется и наступает второй характерный режим работы схемы, для которого $\gamma = \pi/3$. При этом $\lambda = \pi$ и в схеме одновременно пропускают ток три вентиля (рисунок 1).

Дальнейшее увеличение тока приводит к возникновению третьего режима работы, характеризующегося величиной $\gamma > \pi/3$, $\lambda > \pi$ (рисунок 2).

В этом режиме пропускают ток либо три, либо четыре вентиля. При последующем увеличении тока интервал одновременной работы четырех вентиляей расширяется, что в конечном счете может привести к аварийному режиму короткого замыкания.

Режим $\gamma = \pi/3$. На рисунке 3 отображены временные диаграммы токов и напряжений для этого режима. В интервале одновременной работы вентиляей (например, VS1 и VS6) мгновенное значение выпрямленного напряжения определяется разностью $E_a - E_c$, а мгновенные значения токов в вентиляях – постоянным значением выпрямленного тока I_d .

Режим $\gamma = \pi/3$. Данный режим наступает, как только интервал, в течение которого одновременно пропускают ток два вентиля, становится равным нулю, и в схеме в любой момент времени пропускают одновременно ток три вентиля. При дальнейшем увеличении тока нагрузки в случае, если $\alpha < \pi/6$, угол коммутации продолжает оставаться неизменным, равным $\pi/3$.



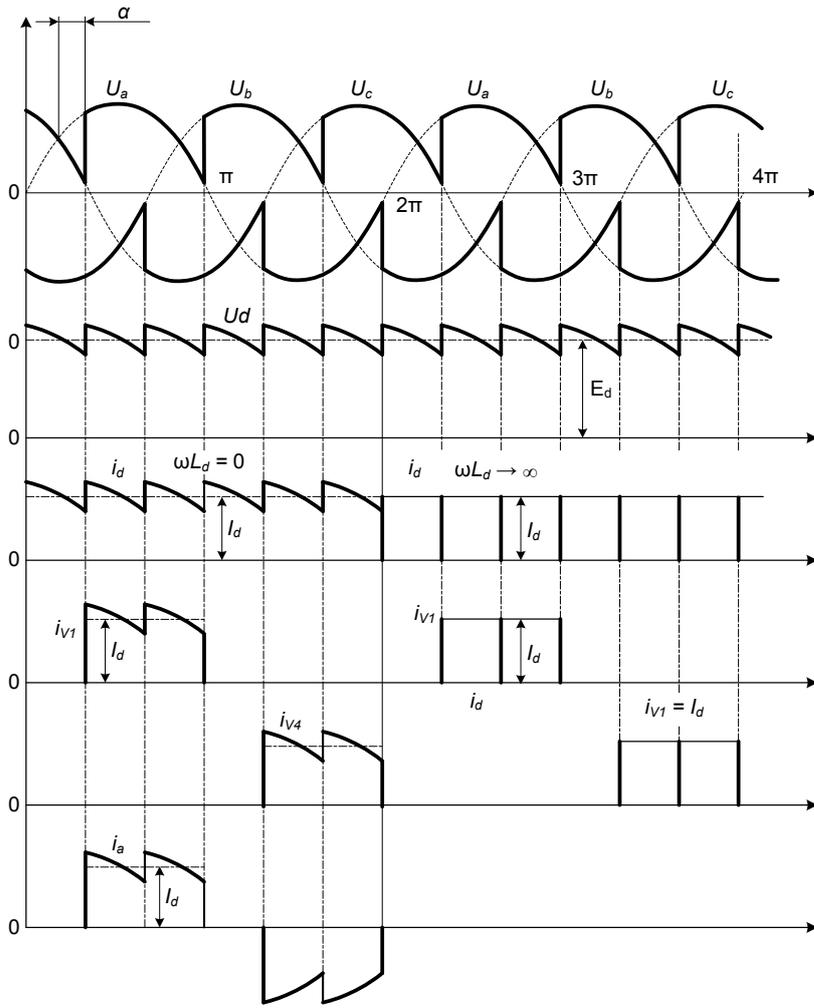


Рисунок 1 – Диаграммы токов и напряжений при $0 < \alpha < \pi/3$

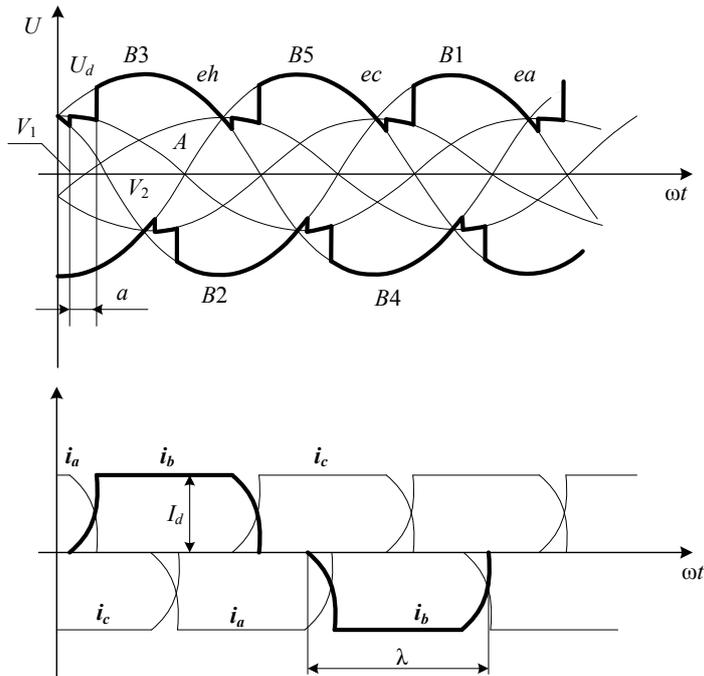


Рисунок 2 – Временные диаграммы для режима $\gamma < \pi/3$



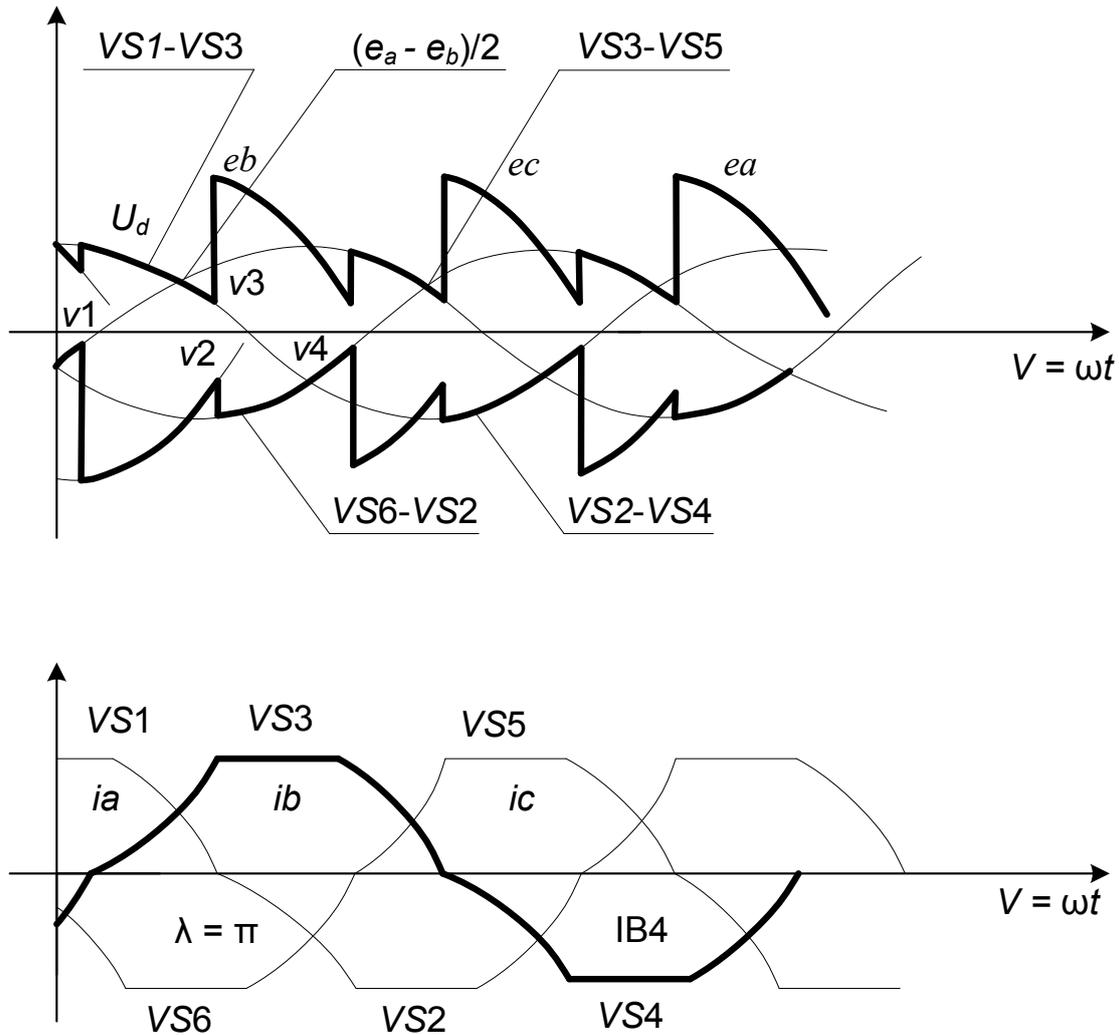


Рисунок 3 – Временные диаграммы режима $\gamma = \pi/3$

Это объясняется тем, что при увеличении тока нагрузки в схеме по-прежнему одновременно пропускают ток только три вентиля, т. к. для четвертого вентиля не будет условий, при которых он сможет начать пропускать ток. Так, например, если ток пропускают вентили $VS1, VS6, VS3$, то вентиль $VS2$ не сможет вступить в работу, т. к. потенциал его анода определяется отрицательным потенциалом нагрузки, равным потенциалу катода работающего вентиля $VS4$.

Такой режим будет длиться до тех пор, пока суммарный угол $\alpha + \gamma$ не станет равным $\pi/2$.

Во втором режиме угол α с ростом тока нагрузки автоматически увеличивается, а угол γ остается неизменным $\pi/3$. В результате среднее значение выпрямленного напряжения с увеличением тока нагрузки уменьшится.

Режим $\gamma = \pi/3$. Данный режим может начинаться с момента, для которого $\alpha + \gamma = \pi/2$. С этого момента в схеме возможно одновременное пропускание тока четырьмя вентилями, т. к. потенциал анода очередного, четвертого, вентиля становится положительным по отношению к потенциалу катода. Например, в момент, соответствующий точке $V3$ (рисунок 4), до которого одновременно пропускают ток три вентиля $VS1, VS3, VS6$, при подаче отрицательного потенциа-

ла на вентиле VS2 последний вступает в работу и в схеме одновременно в течение времени, соответствующего углу γ_1 , будут пропускать ток четыре вентиля VS1, VS2, VS3, VS6. При этом выпрямленное напряжение равно нулю, т. к. цепь нагрузки закорочена вентилями VS1 и VS2. Интервал γ_1 закончится, как только ток вентиля VS1 станет равным нулю.

При наличии достаточно большой индуктивности в цепи нагрузки задержка вступления в работу очередных тиристоров создает задержку на такой же угол α моментов запираания тиристоров. При этом кривые потенциалов $\varphi d(+)$ и $\varphi d(-)$ и напряжения U_d приобретают другой вид. Кривой выпрямленного напряжения создаются «вырезки», вследствие чего среднее значение напряжения U_d уменьшается. Таким образом, при изменении угла α осуществляется регулирование величины U_d . Поскольку в трехфазной мостовой схеме выпрямлению подвергается линейное напряжение, кривая U_d состоит из участков линейных напряжений вторичных обмоток трансформатора U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} .

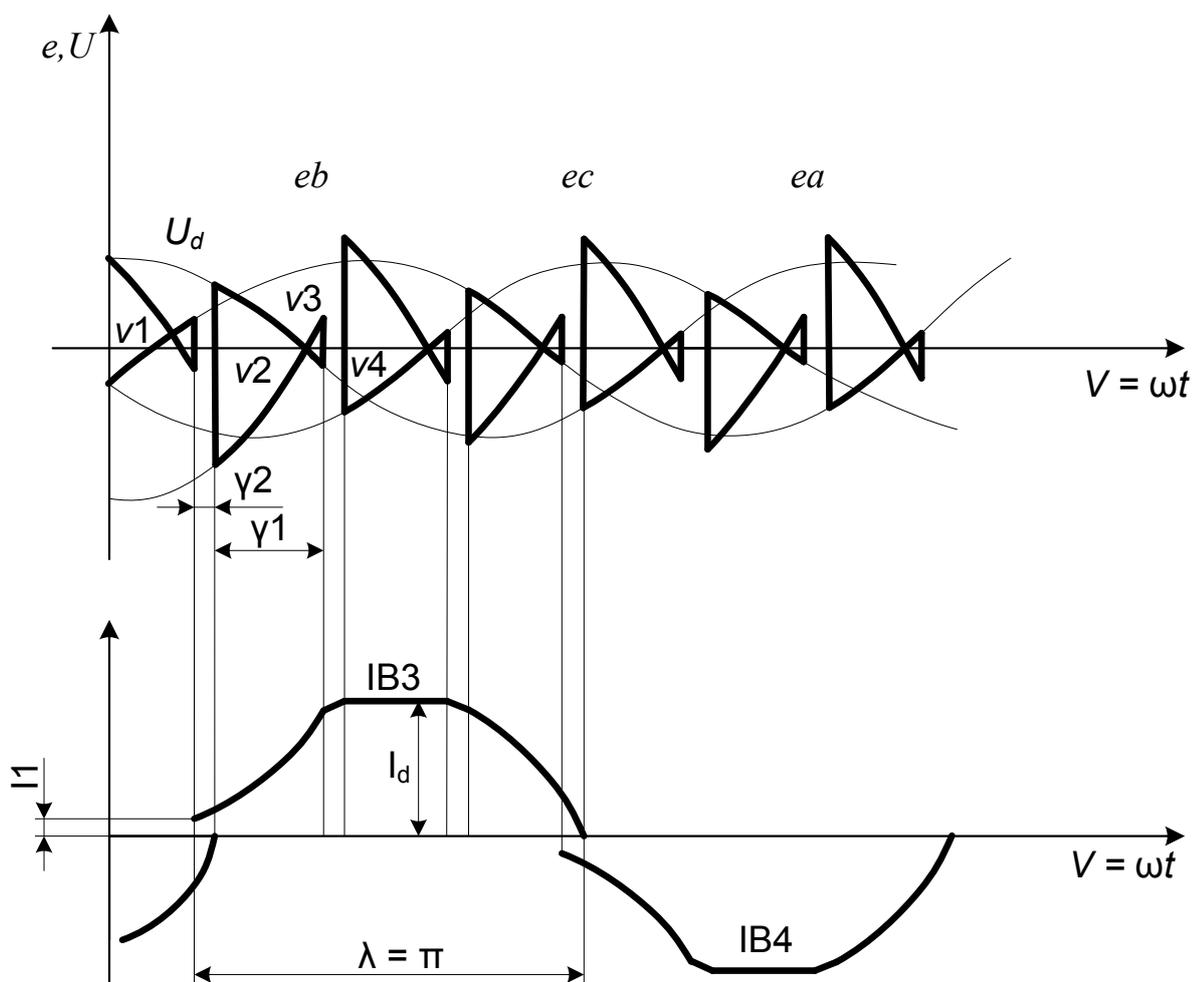


Рисунок 4 – Временные диаграммы в режиме $\gamma > \pi/3$

Нереверсивный управляемый выпрямитель БУ3509

Тиристорный преобразователь нереверсивный унифицированный серии БУ3509 осуществляет питание якорных цепей и цепей возбуждения двигателей постоянного тока и рассчитан на использование обратной связи по ЭДС двигателя (тахомост) или по частоте вращения (тахогенератора) в зависимости от требуемого диапазона регулирования 1:50/100 и 1:1000 соответственно.

Питание БУ3509 осуществляется непосредственно от промышленной сети напряжением 220, 380 В и частотой 50 Гц для внутрисоюзных и напряжением 220, 380, 415 В частотой 60 Гц для поставок на экспорт.

Устройства управления БУ3509 изготавливают в климатическом исполнении У и Т категории размещения 4 по ГОСТ 15150 и ГОСТ 15543–70.

Нормальная работа обеспечивается при следующих условиях:

- высота над уровнем моря – не более 1000 м;
- окружающая среда – не взрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, значительного количества агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию;
- группа условий эксплуатации – М1 по ГОСТ 17516–72;
- рабочее положение – вертикальное. Допускается отклонение не более чем на 5 град в любую сторону.

При работе в замкнутой системе регулирования частоты вращения двигателя устройства управления с уровнем задающего сигнала 10 В обеспечивают следующие характеристики.

Диапазон регулирования частоты вращения двигателя:

- для устройства с обратной связью по ЭДС – 1:100;
- для устройства с обратной связью по частоте вращения при использовании тахогенераторов с выходным напряжением 20 В при номинальной частоте вращения – 1:1000.

Динамические характеристики: полоса пропускания в линейной зоне при скачкообразном изменении задающего сигнала не более 0,3 с во всем диапазоне регулирования частоты вращения при перерегулировании не более 20 %.

Диапазон 1:100 для устройства с обратными связями по ЭДС обеспечивается с несколько большими погрешностями на нижней скорости (ориентировочно суммарная погрешность $\Delta_c = 30\%$).

Устройства при работе на якоре двигателя обеспечивают коэффициент двигателя по току не ниже 0,8. Устройство управления состоит из силовой части с элементами защиты его от коротких замыканий и перенапряжения, системы регулирования с источниками питания, сглаживающими дросселями.



Задание

- 1 Записать паспортные данные электрических машин и УВ в отчет.
- 2 Записать данные измерительных приборов в таблицу 1.

Таблица 1 – Данные измерительных приборов

Обозначение на схеме	Система прибора	Класс точности	Предел измерения	Цена деления

3 Ознакомиться со схемой и порядком включения стенда.

4 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке.

5 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов на активно-индуктивной нагрузке.

6 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке.

7 Снять внешнюю характеристику преобразователя.

8 Снять регулировочную характеристику преобразователя.

9 Сделать обработку полученных данных. Провести анализ результатов лабораторной работы и составить подробный отчет.

3.2 Порядок выполнения работы

Перед началом проведения опыта следует ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. В процессе проведения опыта необходимо выполнить описание режимов работы силовой части НУВ, согласно схеме, на уровне временных диаграмм напряжений и токов ее элементов; рассчитать регулировочную характеристику НУВ; рассчитать внешние характеристики НУВ; определить последовательность подключения контрольных гнезд для исследования преобразователя.

Исследование характеристик управляемого выпрямителя проводится по схеме, представленной на рисунке 5.



Исследование электромагнитных процессов при активной нагрузке

- 1 Собрать схему, соединив клеммы ХТ3–ХТ4, ХТ6–ХТ7 (см. рисунок 5).
- 2 Для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке соединить клеммы ХТ9–ХТ10 (см. рисунок 5).
- 3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 (см. рисунок 5).
- 4 Нажать кнопку SB3.
- 5 Включить осциллограф в сеть и прогреть 10 мин.
- 6 Для снятия напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS14, а щуп в XS9.
- 7 Для снятия тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS10, а щуп в XS9.
- 8 Для снятия формы напряжения фазы А включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS2.
- 9 Для снятия формы напряжения фазы В включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS3.
- 10 Для снятия формы напряжения фазы С включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS4.
- 11 Отключить стенд, нажав SB1, выключить QF1.

Исследование электромагнитных процессов при индуктивной нагрузке

- 1 Собрать схему, соединив клеммы ХТ3–ХТ4, ХТ6–ХТ7 (см. рисунок 5).
- 2 Для снятия электромагнитных процессов на активно-индуктивной нагрузке соединить клеммы ХТ9–ХТ12 (см. рисунок 5).
- 3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 (см. рисунок 5).
- 4 Нажать кнопку SB3.
- 5 Включить осциллограф в сеть и прогреть 10 мин.
- 6 Для снятия напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS14, а щуп в XS9.
- 7 Для снятия тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS10, а щуп в XS9.
- 8 Для снятия формы напряжения фазы А включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS2.
- 9 Для снятия формы напряжения фазы В включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS3.
- 10 Для снятия формы напряжения фазы С включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS4.
- 11 Отключить стенд, нажав SB1, выключить QF1.



Исследование электромагнитных процессов при двигательной нагрузке

- 1 Собрать схему соединив клеммы ХТ3-ХТ4, ХТ6-ХТ7 (см. рисунок 5).
- 2 Для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке соединить клеммы ХТ 9-ХТ11 (см. рисунок 5).
- 3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 и QF2 (см. рисунок 5).
- 4 Увеличить напряжение на обмотке возбуждения М1 путем поворота РР4.
- 5 Нажать кнопку SB3.
- 6 Включить осциллограф в сеть и прогреть 10 мин.
- 7 Для снятия напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS14, а щуп в XS9.
- 8 Для снятия тока на нагрузке включаем общий провод осциллографа в XS10, а щуп в XS9.
- 9 Для снятия формы напряжения фазы А включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS2.
- 10 Для снятия формы напряжения фазы В включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS3.
- 11 Для снятия формы напряжения фазы С включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS4.
- 12 Отключить стенд, нажав кнопку SB1, выключить QF1.
- 13 Повторить п. 7–11 для нескольких значений нагрузки.
- 14 Отключить стенд, нажав кнопку SB1, выключить QF2 и QF1.

Исследование внешней характеристики

- 1 Собрать схему, соединив клеммы ХТ3-ХТ4, ХТ6-ХТ7 (см. рисунок 5).
- 2 Для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке соединить клеммы ХТ9–ХТ11 (см. рисунок 5).
- 3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 и QF2 (см. рисунок 5).
- 4 Увеличить напряжение на обмотке возбуждения М1 путем поворота РР4.
- 5 Регулятор скорости РР2 вывести в крайнее левое положение, которое соответствует минимуму скорости двигателя.
- 6 Нажать кнопку SB3.
- 7 Изменяя напряжение управления регулятором скорости РР2, снять показания вольтметра PV1 и амперметра РА1 (таблица 2).

Таблица 2 – Внешняя характеристика для минимума диапазона регулирования

I_d, A						
U_d, B						

- 8 Отключить стенд, нажав кнопку SB1, выключить QF2 и QF1.



Исследование регулировочной характеристики

- 1 Собрать схему, соединив клеммы ХТ3–ХТ4, ХТ6–ХТ7 (см. рисунок 5).
- 2 Для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке соединить клеммы ХТ9–ХТ11 (см. рисунок 5).
- 3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 и QF2 (см. рисунок 5).
- 4 Увеличить напряжение на обмотке возбуждения М1 путем поворота RP4.
- 5 Регулятор скорости RP2 вывести в крайнее левое положение, которое соответствует минимуму скорости двигателя.
- 6 Нажать кнопку SB3.
- 7 Плавно изменяя напряжение задания скорости регулятором RP2, снять регулировочную характеристику $U_d = f(\alpha)$ (таблица 3).

Таблица 3 – Регулировочная характеристика

α , град						
U_d , В						

- 8 Отключить стенд, нажав кнопку SB1, выключить QF2 и QF1.
- Выполнить построение графиков внешней и регулировочной характеристик.

Контрольные вопросы

- 1 Классификация нереверсивных УВ (рисунок 6).
- 2 Особенности работы несимметричных УВ.
- 3 Работа выпрямителя на индуктивную нагрузку.
- 4 Каким образом зависят статические характеристики УВ от состава нагрузки?
- 5 Объяснить причину резкого подъема внешних характеристик УВ при переходе в режим прерывистого тока нагрузки.
- 6 Пояснить закономерность изменения электромагнитных процессов при изменении индуктивности нагрузки.
- 7 Какое влияние оказывает обратный диод на статические характеристики и электромагнитные процессы УВ?
- 8 Работа УВ в режиме $\gamma = \pi/3$.
- 9 Работа УВ в режиме $\gamma > \pi/3$.
- 10 Работа УВ в режиме $\gamma < \pi/3$.



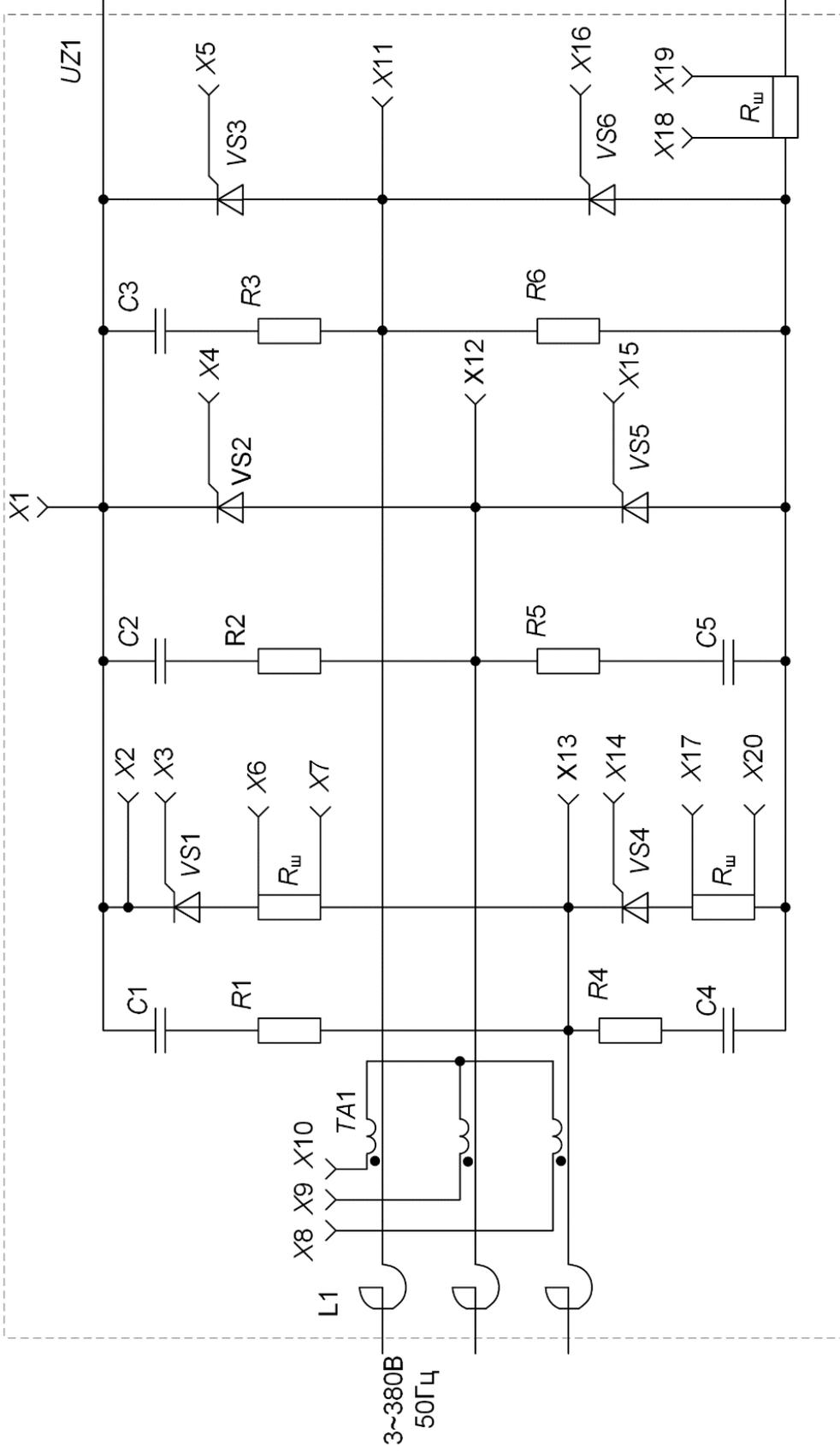


Рисунок 6 – Схема электрическая принципиальная силовой части преобразователя БУ3509

4 Лабораторная работа № 2. Исследование режимов работы и определение параметров реверсивного управляемого выпрямителя в составе электропривода ЭТ-6

Цель работы:

- 1) исследование статических характеристик реверсивного трехфазного управляемого выпрямителя (УВ) с нулевым выводом силового трансформатора;
- 2) исследование электромагнитных процессов силовой части реверсивного трехфазного УВ с нулевым выводом.

4.1 Основные теоретические сведения

В реверсивных преобразователях применяются две вентильные группы для работы «вперед» и «назад». Если одна из них работает в выпрямительном режиме, то вторая должна быть готова к инверторному режиму.

Получили распространение два метода управления реверсивными группами – раздельное и совместное, а их разновидностью могут быть согласованное и несогласованное управление.

При согласованном управлении выполняется равенство средних значений напряжений обеих групп, т. е.

$$\alpha_{\text{в}} + \alpha_{\text{н}} = 180^\circ \text{ или } \alpha_{\text{в}} = \beta_{\text{н}},$$

где $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{н}}$ – углы регулирования выпрямителя и инвертора.

При согласованном управлении возникает неравенство мгновенных значений напряжений групп, которое приводит к появлению уравнительного напряжения и тока.

Для уменьшения уравнительных токов в силовой схеме включают уравнительные дроссели. При несогласованном управлении угол $\beta_{\text{н}}$ может поддерживаться неизменным на уровне 15...20°. Его величина определяет величину уравнительного тока.

Все схемы реверсивных управляемых выпрямителей делятся на два класса: однокомплектные и двухкомплектные. Однокомплектные преобразователи с реверсом в цепи нагрузки или выполненные на специальных приборах с двухсторонней проводимостью (симисторах) имеют такие же схемы, что и нереверсивные УВ. Двухкомплектные схемы реверсивных управляемых выпрямителей (РУВ) образуются встречно-параллельным или перекрестным подключением к нагрузке двух вентильных комплектов, выполненных на тиристорах. В реверсивных электроприводах наибольшее распространение получили встречно-параллельные схемы ввиду следующих преимуществ:

- содержат простой двухобмоточный трансформатор, имеющий наименьшую типовую мощность по сравнению с другими схемами;
- могут питаться непосредственно от трехфазной сети через анодные токоограничивающие реакторы.



В двухкомплектных схемах РУВ используются отдельный и совместный способы управления вентиляльными комплектами. Область применения того или иного способа также определяется их достоинствами и недостатками. При отдельном управлении отпирающие импульсы подаются на вентили одного из комплектов в зависимости от знака управляющего воздействия и наличия тока в цепи нагрузки или вентиля. При таком управлении в моменты реверса необходимо обеспечивать бестоковую паузу с целью восстановления запирающих свойств вентиля. Недостатками данного способа управления РУВ являются наличие зоны прерывистых токов и неоднозначность регулировочных и внешних характеристик в зоне малых напряжений.

Устранение данных недостатков РУВ возможно при совместном управлении вентиляльными комплектами, при котором отпирающие импульсы одновременно подаются на оба вентиляльных комплекта. При этом один из комплектов работает в выпрямительном режиме, а второй – в инверторном. При совместном управлении даже при равенстве средних напряжений выпрямителя и инвертора мгновенные напряжения между полюсами вентиляльных комплектов не равны нулю. Поэтому для ограничения протекающего между комплектами РУВ уравнивающего тока необходимо включать уравнивающие дроссели, что является недостатком данного способа управления.

Линейность внешних характеристик и однозначность регулировочных характеристик таких РУВ достигается при согласованном совместном управлении, когда углы управления вентиляльными комплектами выдерживаются равными $\alpha_1 + \alpha_2 = \pi$. При несогласованном управлении, когда $\alpha_1 + \alpha_2 > \pi$, удается уменьшить габариты уравнивающих дросселей, однако в регулировочных характеристиках вентиляльных комплектах появляется зона неоднозначности (люфт).

Реверсивный управляемый выпрямитель ЭТ-6

Электроприводы серии ЭТ-6-3 предназначены для механизмов подачи универсальных металлорежущих станков, станков с ЧПУ и других механизмов и устройств. Один тиристорный преобразователь может одновременно управлять тремя двигателями различных типов. Диапазон регулирования скорости 1:10000.

Привод питается от промышленной трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В и частотой 50 Гц. Область применения: в станкостроении – в механизмах подачи и главного движения, в том числе в станках с ЧПУ, роботах и других механизмах различных отраслей промышленности.

Условия эксплуатации электропривода ЭТ-6

Электропривод предназначен для работы в закрытых отапливаемых помещениях при следующих условиях:

- высота над уровнем моря 1000 м;
- размещается в электрошкафах;



- температура окружающего воздуха (внутри шкафа) – от плюс 5 до плюс 45 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха – 80 % при температуре 30 °С;
- окружающая среда – не взрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров в помещениях, разрушающих металлы и изоляцию;
- содержание масел и пыли – в пределах санитарных норм.

Состав тиристорного электропривода ЭТ-6

В состав комплектного тиристорного электропривода входят (рисунок 7):

- электродвигатель постоянного тока с тахогенератором и центробежным выключателем (при необходимости);
- ТП для питания якоря электродвигателя, состоящий из силовых тиристорных с системой охлаждения, защитных предохранителей, разрядных и защитных, С-цепей, СИФУ, устройств выделения аварийного режима, контроля предохранителей и защиты от перенапряжений;
- ТП для питания обмотки возбуждения;
- силовой трансформатор или анодный реактор;
- коммутационная и защитная аппаратура в цепях постоянного и переменного токов (автоматические выключатели, линейные контакторы, рубильники);
- сглаживающий реактор в цепи постоянного тока (при необходимости);
- устройство динамического торможения (при необходимости);
- шкаф высоковольтного ввода, используемый при подключении нескольких электроприводов к одному масляному выключателю;
- система управления электроприводом (якорем и обмоткой возбуждения электродвигателя);
- комплект аппаратов, приборов и устройств, обеспечивающих оперативное управление, контроль состояния и сигнализацию электропривода;
- узлы питания обмотки возбуждения тахогенератора и электромеханического тормоза;
- контрольно-испытательные стенды;
- датчики, устанавливаемые на механизме, которые, как правило, не включаются в комплект поставки, так как их выбор и установка осуществляются предприятиями, изготавливающими механическую часть технологического агрегата, однако электропривод должен иметь возможность работы с этими датчиками.



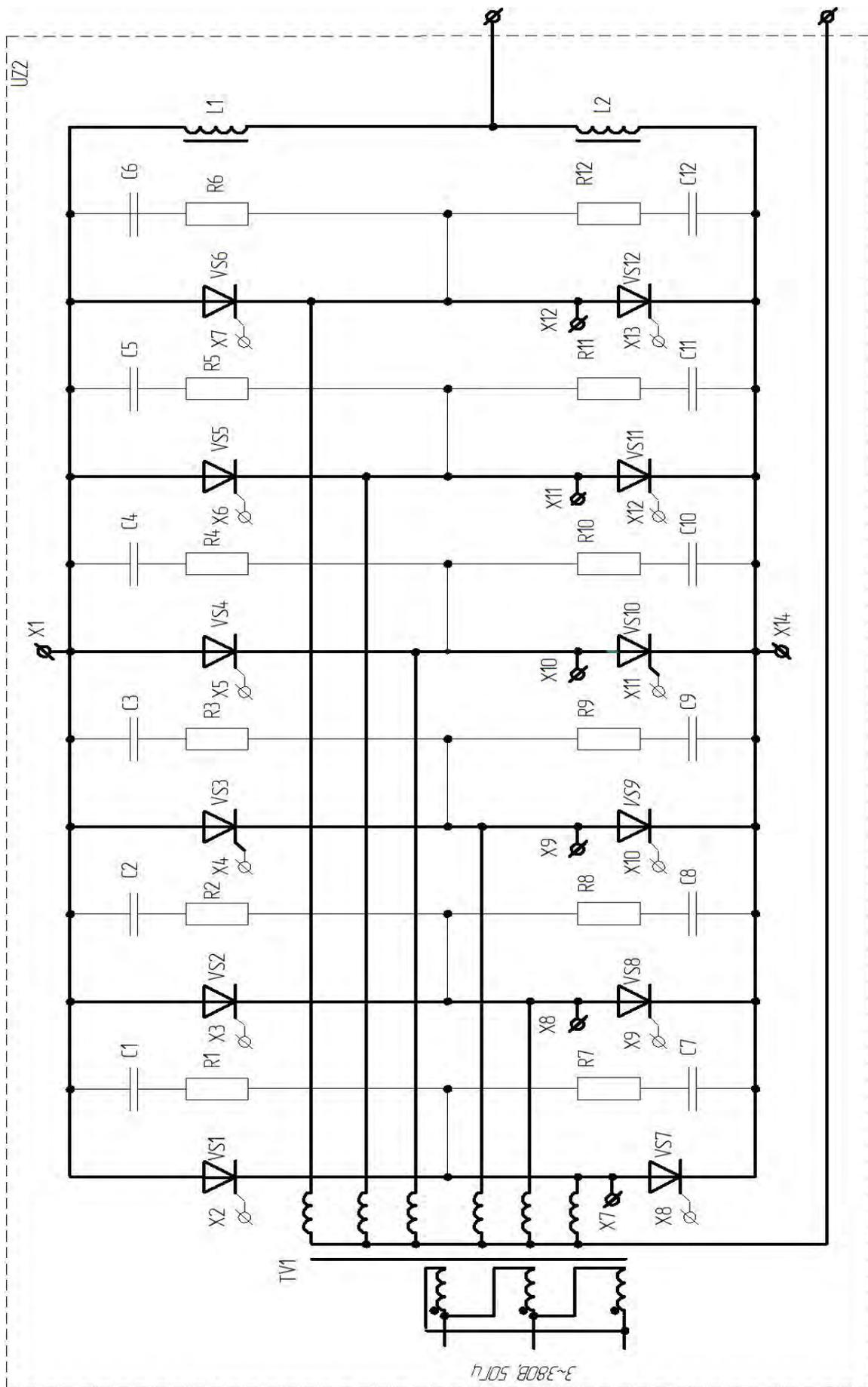


Рисунок 7 – Схема электрическая принципиальная силовой части преобразователя ЭТ-6



Задание

- 1 Ознакомиться с конструкцией преобразователя. Ознакомиться с электрооборудованием стенда. Изучить схему установки.
- 2 Выполнить описание работы силовой части преобразователя на уровне временных диаграмм напряжения и тока её элементов.
- 3 Записать данные измерительных приборов в таблицу 4.

Таблица 4 – Данные измерительных приборов

Обозначение на схеме	Система прибора	Класс точности	Предел измерения	Цена деления

- 4 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке.
- 5 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов на активно-индуктивной нагрузке.
- 6 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке.
- 7 Сделать обработку полученных данных. Провести анализ результатов лабораторной работы и составить подробный отчет.

4.2 Порядок выполнения работы

Перед началом проведения опыта следует ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. В процессе проведения опыта необходимо выполнить описание режимов работы силовой части ЭТ-6, согласно схеме, на уровне временных диаграмм напряжений и токов ее элементов; рассчитать регулировочную характеристику ЭТ-6; рассчитать внешние характеристики ЭТ-6 (для режима непрерывных токов); определить последовательность подключения контрольных гнезд для исследования электромагнитных процессов.

Исследование электромагнитных процессов при активной нагрузке

- 1 Собрать схему, соединив клеммы ХТ1–ХТ4, ХТ2–ХТ7 (см. рисунок 5).
- 2 Для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке соединить клеммы ХТ9–ХТ10 (см. рисунок 5).
- 3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 (см. рисунок 5).
- 4 Нажать кнопку SB3.
- 5 Включить осциллограф в сеть и прогреть 10 мин.
- 6 Для снятия напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS14, а щуп в XS9.



7 Для снятия тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS10, а щуп в XS9.

8 Для снятия формы напряжения фазы А включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS2.

9 Для снятия формы напряжения фазы В включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS3.

10 Для снятия формы напряжения фазы С включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS4.

11 Отключить стенд, нажав SB1, выключить QF1.

Исследование электромагнитных процессов при индуктивной нагрузке

1 Собрать схему, соединив клеммы XT1–XT4, XT2–XT7 (см. рисунок 5).

2 Для снятия электромагнитных процессов на активно-индуктивной нагрузке соединить клеммы XT9–XT12 (см. рисунок 5).

3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 (см. рисунок 5).

4 Нажать кнопку SB3.

5 Включить осциллограф в сеть и прогреть 10 мин.

6 Для снятия напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS14, а щуп в XS9.

7 Для снятия тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS10, а щуп в XS9.

8 Для снятия формы напряжения фазы А включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS2.

9 Для снятия формы напряжения фазы В включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS3.

10 Для снятия формы напряжения фазы С включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS4.

11 Отключить стенд, нажав SB1, выключить QF1.

Исследование электромагнитных процессов при двигательной нагрузке

1 Собрать схему, соединив клеммы XT1–XT4, XT2–XT7 (см. рисунок 5).

2 Для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке соединить клеммы XT 9–XT11 (см. рисунок 5).

3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 и QF2 (см. рисунок 5).

4 Увеличить напряжение на обмотке возбуждения М1 путем поворота RP4.

5 Нажать кнопку SB3.

6 Включить осциллограф в сеть и прогреть 10 мин.

7 Для снятия напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS14, а щуп в XS9.

8 Для снятия тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS10, а щуп в XS9.



9 Для снятия формы напряжения фазы А включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS2.

10 Для снятия формы напряжения фазы В включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS3.

11 Для снятия формы напряжения фазы С включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS4.

12 Отключить стенд, нажав кнопку SB1, выключить QF1.

13 Повторить п. 7–11 для нескольких значений нагрузки.

14 Отключить стенд, нажав кнопку SB1, выключить QF2 и QF1.

Исследование внешней характеристики

1 Собрать схему, соединив клеммы XT1–XT4, XT2–XT7 (см. рисунок 5).

2 Для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке соединить клеммы XT9–XT11 (см. рисунок 5).

3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 и QF2 (см. рисунок 5).

4 Увеличить напряжение на обмотке возбуждения М1 путем поворота RP4.

5 Регулятор скорости RP2 вывести в крайнее левое положение, которое соответствует минимуму скорости двигателя.

6 Нажать кнопку SB3.

7 Изменяя напряжение управления регулятором скорости RP2, снять показания вольтметра PV1 и амперметра PA1 (таблица 5).

Таблица 5 – Внешняя характеристика для минимума диапазона регулирования

I_d, A						
U_d, B						

8 Отключить стенд, нажав кнопку SB1, выключить QF2 и QF1.

Исследование регулировочной характеристики

1 Собрать схему, соединив клеммы XT1–XT4, XT2–XT7 (см. рисунок 5).

2 Для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке соединить клеммы XT9–XT11 (см. рисунок 5).

3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 и QF2 (см. рисунок 5).

4 Увеличить напряжение на обмотке возбуждения М1 путем поворота RP4.

5 Регулятор скорости RP2 вывести в крайнее левое положение, которое соответствует минимуму скорости двигателя.

6 Нажать кнопку SB3.

7 Плавно изменяя напряжение задания скорости регулятором RP2, снять регулировочную характеристику $U_d = f(\alpha)$ (таблица 6).



Таблица 6 – Регулировочная характеристика

α , град						
U_d , В						

8 Отключить стенд, нажав кнопку SB1, выключить QF2 и QF1.

Выполнить построение графиков внешней и регулировочной характеристик.

Контрольные вопросы

- 1 Трёхфазные неуправляемые выпрямители с нулевым выводом.
- 2 Классификация реверсивных УВ.
- 3 Реверсивные выпрямители. Схемы реверсивных вентильных преобразователей.
- 4 Преимущества и недостатки отдельного и совместного способов управления РУВ.
- 5 Согласованное и несогласованное управление вентильными группами РУВ.
- 6 Внешние и регулировочные характеристики РУВ при различных видах нагрузки.
- 7 Влияние способов управления группами вентилей РУВ на вид электромагнитных процессов.

5 Лабораторная работа № 3. Исследование режимов работы и определение параметров тиристорного широтно-импульсного преобразователя

Цель работы:

- 1) исследование статических характеристик нереверсивного тиристорного ШИП с последовательной коммутацией;
- 2) исследование электромагнитных процессов в коммутирующем устройстве и силовой части нереверсивного тиристорного ШИП.

5.1 Краткие теоретические сведения

Особенности импульсного метода регулирования постоянного напряжения

Регулирование постоянного напряжения потребителя посредством импульсных преобразователей (ИП) принято называть импульсным регулированием.

С помощью импульсного преобразователя источник постоянного напряжения периодически подключается к нагрузке. В результате на выходе преоб-



разователя формируются импульсы напряжения. Если регулирующий элемент преобразователя считать идеальным ключом и пренебречь сопротивлением соединительных проводов, то в интервале, когда ключ замкнут (интервал проводимости), мгновенное напряжение на нагрузке равно напряжению источника питания, а в интервале, когда ключ разомкнут (интервал паузы), мгновенное напряжение на нагрузке равно нулю.

Регулирование напряжения на нагрузке можно осуществлять изменением времени открытого состояния импульсного элемента регулятора по отношению к периоду коммутации. При этом регулируется относительное время проводимости ключа за период, что приводит к плавному изменению среднего значения напряжения на нагрузке. Выходное напряжение идеального преобразователя представляет собой последовательность прямоугольных импульсов с постоянной амплитудой и изменяющейся скважностью.

Для преобразования импульсного напряжения преобразователя в постоянное напряжение служит демодулятор, который представляет собой дроссель L и диод VD . В течение интервала проводимости в дросселе L запасается энергия; в течение интервала паузы эта энергия передается нагрузке через диод VD , в результате ток нагрузки i_n получается сглаженным, а ток источника ЭДС i_d пульсирующим.

Регулирование относительного интервала проводимости импульсного элемента осуществляют либо путем изменения интервала проводимости ключа при постоянстве частоты его прерывания, либо изменением частоты при постоянстве интервала проводимости импульсного элемента. Такое регулирование называют широтно-импульсным, а преобразователи – широтно-импульсными (ШИП).

Второй метод реализуется более простыми и экономичными устройствами. Однако, если предъявляются жесткие требования к величине пульсаций выходного напряжения, применяется первый метод, позволяющий использовать при постоянной частоте настроенные фильтры.

Широтно-импульсные преобразователи находят все более широкое применение для регулирования и стабилизации различного рода нагрузок (на электротранспорте, в приводе металлообрабатывающих станков, для питания бортовых систем и т. д.), что объясняется рядом их преимуществ. Перечислим основные из них:

1) высокий КПД, так как потери мощности на регулирующем элементе преобразователя незначительны по сравнению с потерями мощности в случае непрерывного регулирования;

2) слабая чувствительность к изменениям температуры окружающей среды, поскольку регулирующим фактором является время проводимости ключа, а не величина внутреннего сопротивления регулирующего элемента, что имеет место при непрерывном регулировании;

3) высокое быстродействие, что особо важно для автоматизированного электропривода;

4) возможность получения значительных пусковых моментов электрических двигателей;

5) высокая точность управления при сохранении устойчивости;

6) гибкость регулирования выходного напряжения в широком диапазоне.



Однако широтно–импульсным преобразователям присущи и некоторые недостатки:

1) импульсный режим работы регулирующего элемента обуславливает значительные пульсации выходного напряжения, что приводит к необходимости устанавливать громоздкие фильтры;

2) наличие громоздких фильтров вызывает инерционность процесса регулирования в замкнутых системах;

3) импульсные преобразователи неустойчиво работают на импульсную нагрузку;

4) высокие скорости включения и выключения тока в силовой цепи ШИП приводят к возникновению радиопомех.

Несмотря на указанные недостатки, применение импульсных преобразователей весьма перспективно в тех случаях, когда на первое место выдвигаются требования высокой экономичности, надежности, малых габаритов, малой чувствительности к колебаниям температуры, высокой гибкости и точности регулирования.

Классификация широтно-импульсных преобразователей и их сравнительная оценка

Существующие схемы тиристорных широтно-импульсных преобразователей можно классифицировать по их специфическим признакам.

Импульсные преобразователи постоянного напряжения делятся на две большие группы: нереверсивные и реверсивные. Последние обычно используются для регулирования электроприводов и представляют собой широко известные схемы автономных мостовых инверторов напряжения. Группу нереверсивных ШИП можно разделить на два больших класса: параллельные и последовательные.

Последовательные ШИП

В последовательных ШИП (рисунок 8) рабочий тиристор VS включен последовательно с нагрузкой. Кроме того, в схеме предусмотрены коммутирующий узел (предназначен для запирающего рабочего тиристора) и система управления. Выходная часть устройства состоит из фильтрующего дросселя L, нагрузки R_n и диода VD. На входе схемы включен блокировочный конденсатор $C_{вх}$, емкость которого определяется внутренним сопротивлением источника питания и частотной коммутации.

Нагрузочная часть схемы может быть выполнена либо с автотрансформаторным включением диода VD, либо с подключением его к отпайке фильтрующего дросселя.

Первая схемная модификация выходной цепи применима тогда, когда напряжение на нагрузке не регулируется до значений, близких к нулевым. Такое включение дает возможность скомпенсировать внутренние потери напряжения в схеме.



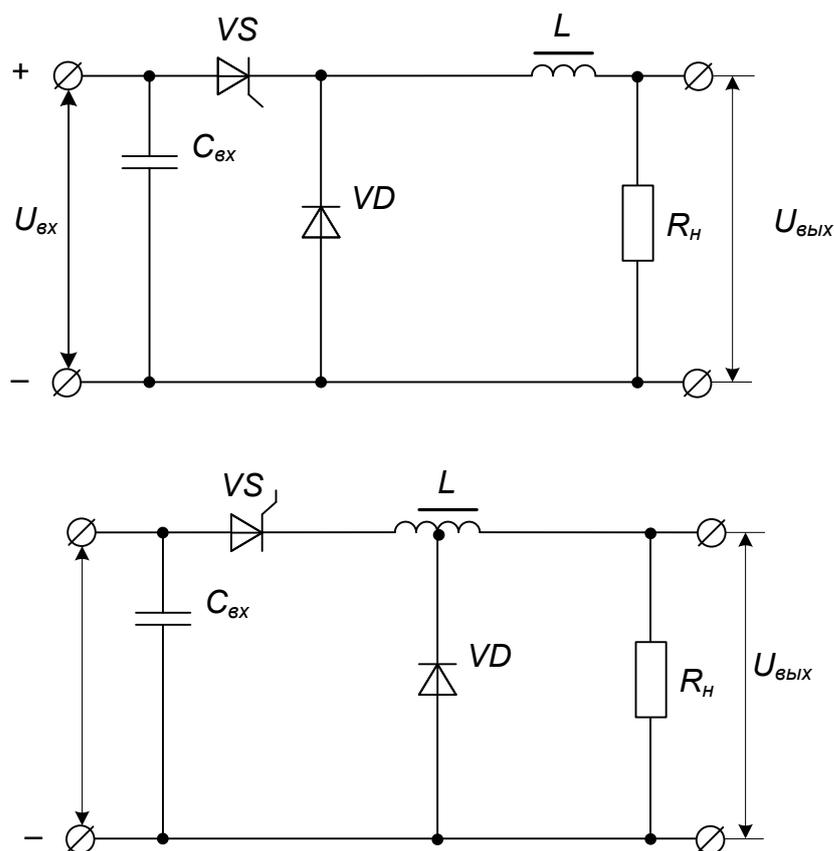


Рисунок 8 – Схемы последовательных ШИП.

В данной схеме обе секции дросселя L включены последовательно с нагрузкой, что приводит к снижению бросков тока через тиристор VD , когда он работает в режиме больших токов и малых скважностей $\gamma = t/T$. Характерной особенностью последовательных ШИП является невозможность получения напряжения на их выходе выше напряжения источника питания.

Классификацию последовательных импульсных преобразователей необходимо проводить с учетом особенностей их коммутирующих цепей. Схемы последовательных ШИП строятся двояко в зависимости от выполнения узлов коммутации. В одних устройствах узел коммутации связан либо с цепью рабочего тиристора, либо с цепью нагрузки, в других он отделен от этих цепей.

Первую группу последовательных ШИП называют импульсными преобразователями с зависимыми узлами коммутации, или просто зависимыми ШИП, а вторую – импульсными преобразователями с независимыми коммутирующими узлами, или независимыми ШИП.

Зависимые ШИП с зарядом коммутирующего конденсатора через рабочий тиристор.

ШИП с параллельной емкостной коммутацией

Схема ШИП с параллельной емкостной коммутацией изображена на рисунке 9. Принцип действия ее заключается в следующем. При отпирании рабочего тиристора VS_p ток протекает через нагрузку, и конденсатор C заряжается до напряжения источника питания через тиристор VS_p и резистор R_k .

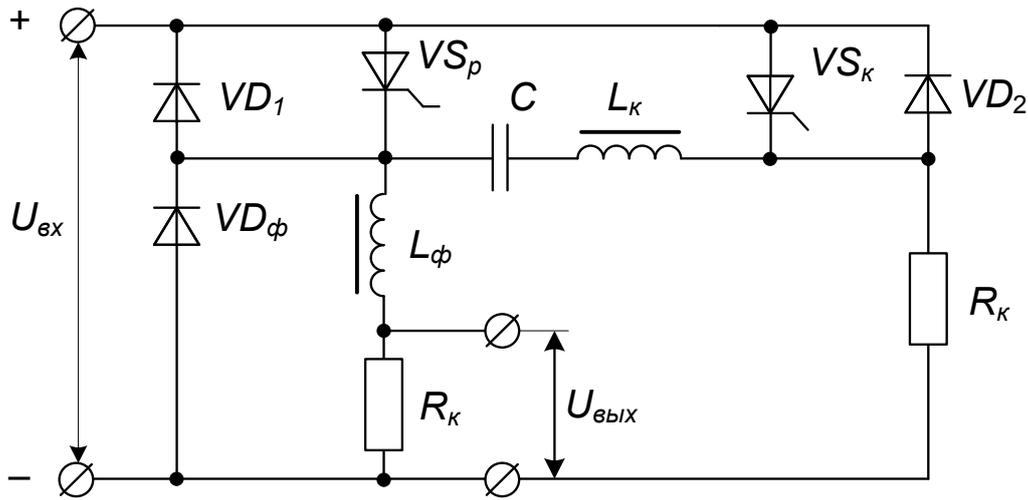


Рисунок 9 – ШИП с параллельной емкостной коммутацией

После отпирания коммутирующего тиристора VS_k конденсатор C разряжается через тиристоры VS_k и VS_p , что приводит к запирающему последнему. При работе данной схемы на емкостную нагрузку или нагрузку другого вида с противоЭДС в процессе коммутации возникают недопустимо большие токи.

ШИП с резонансной коммутацией

Существенным недостатком ШИП с параллельной емкостной коммутацией является то, что в процессе переключения напряжение на нагрузке достигает удвоенных значений питающего напряжения. От этого недостатка свободна схема с резонансной коммутацией (рисунок 10).

В течение интервала коммутации напряжение на нагрузке в данной схеме меняется менее чем на 2 В. К недостаткам схемы с резонансной коммутацией следует отнести сложность настройки резонансного контура с конденсатором C и дросселем L , а также большее, по сравнению с первой схемой, число элементов.

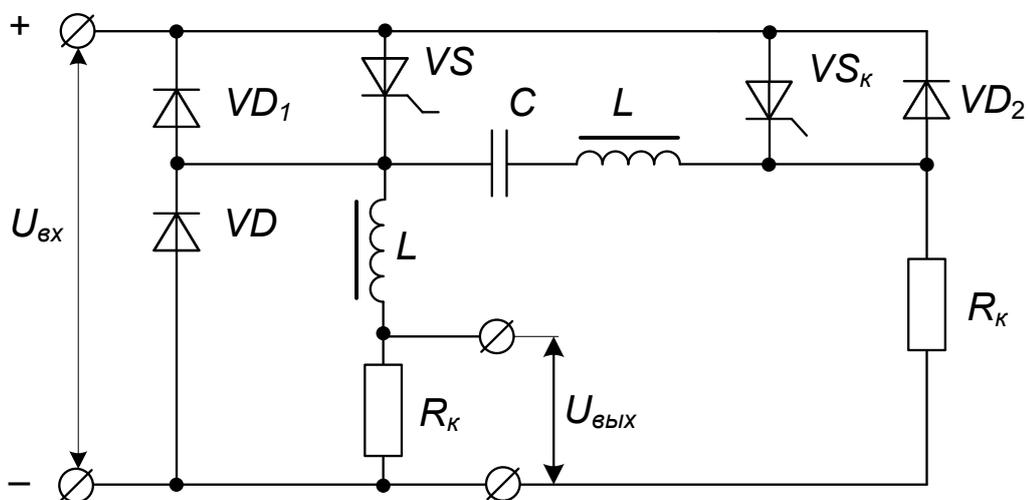


Рисунок 10 – ШИП с резонансной коммутацией

ШИП с автотрансформаторной коммутацией

ШИП с автотрансформаторной коммутацией (рисунок 11) отличается тем, что заряд коммутирующего конденсатора происходит не только в результате резонанса, но также вследствие магнитной связи обмоток автотрансформатора TV. Эта особенность обуславливает более устойчивую коммутацию при изменениях нагрузки. Схема обеспечивает возможность коммутации значительных токов при меньшем значении емкости коммутирующего конденсатора.

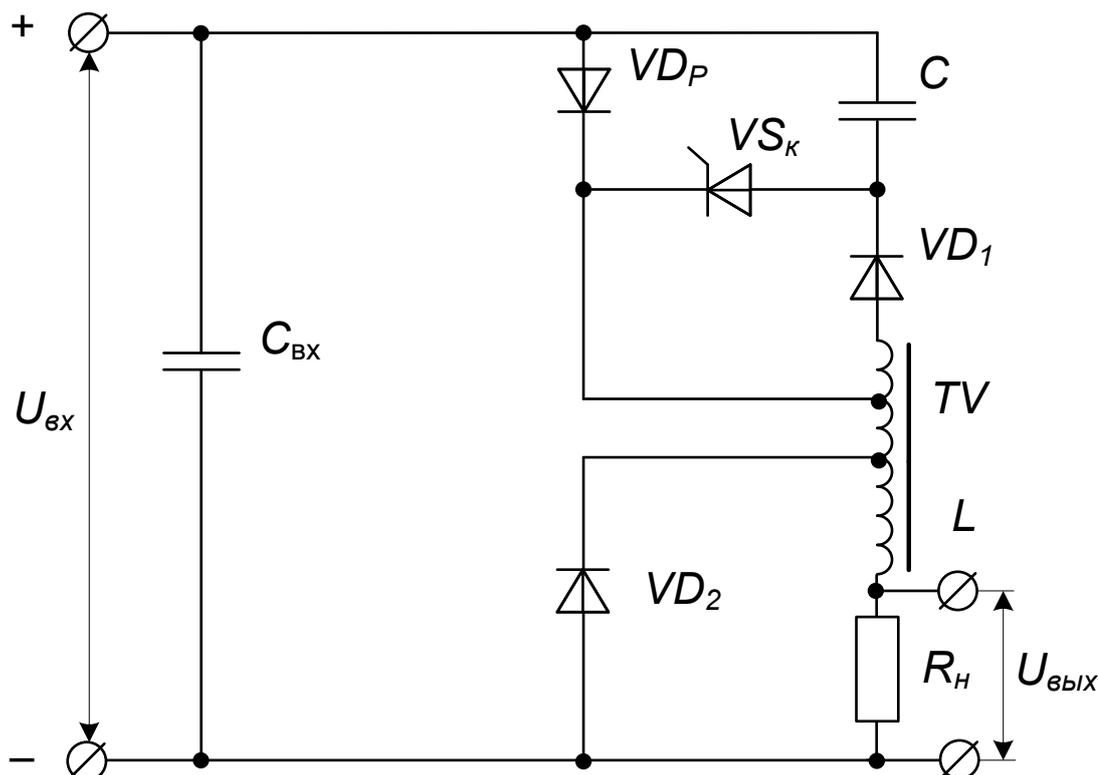


Рисунок 11 – ШИП с автотрансформаторной коммутацией

Кроме того, ШИП с автотрансформаторной коммутацией менее чувствителен к вибрациям, не требует сложной настройки и удобен в эксплуатации, что дало ему широкое распространение в регулируемом электроприводе. Заряд коммутирующих конденсаторов рассмотренных схем осуществляется через рабочий тиристор, что может привести к сбоям в работе ШИП в результате ухудшения перезаряда конденсатора при снижении нагрузки.

Зависимые ШИП с зарядом коммутирующего конденсатора через нагрузку. ШИП с дополнительным тиристором

На рисунке 12 изображена схема широтно-импульсного преобразователя с дополнительным коммутирующим тиристором и линейным дросселем в узле коммутации.

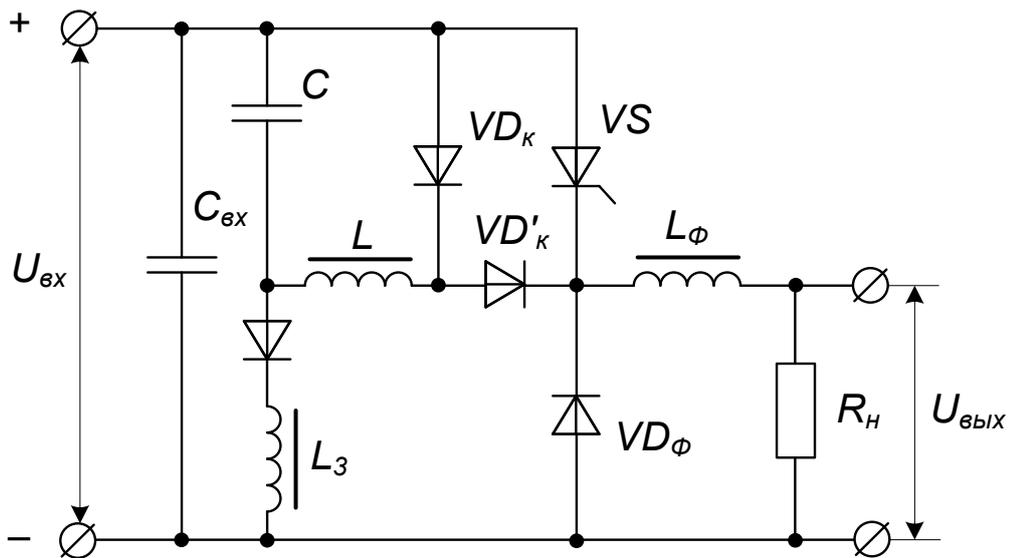


Рисунок 12 – ШИП с дополнительным тиристором

К моменту открытия рабочего тиристора VS коммутирующий конденсатор C заряжается до напряжения источника питания через элементы L , VD_K , $L_Ф$, R_H . Отпирание рабочего тиристора приводит к появлению тока в цепи нагрузки. После включения коммутирующего тиристора VS образуется колебательный контур L , C , VD_K

В течение первого полупериода колебаний ток разряда конденсатора протекает через тиристор VS в прямом направлении. Диод VD'_K не сможет пропускать ток до тех пор, пока не изменится знак напряжения на конденсаторе, а ток в колебательном контуре не достигнет нулевого значения. Такой момент наступает после полного перезаряда конденсатора. Диод VD_K открывается, в результате чего образуется новый колебательный контур C , L_K , VD_K , $VD_Ф$, ток которого снижает ток через рабочий тиристор до нуля. После запираания тиристора конденсатор C разряжается через нагрузку.

Главным ограничением в применении рассматриваемой схемы является то, что в процессе коммутации броски тока через тиристор VS намного превышают амплитуду тока через рабочий тиристор; данная зависимость наиболее сильно проявляется при высокой частоте коммутации ШИП. Это приводит к необходимости увеличения мощности коммутирующего тиристора, т. е. установленной мощности импульсного преобразователя.

Параллельные ШИП

Характерной особенностью параллельных ШИП является возможность получения напряжения на нагрузке, превышающего по величине напряжение источника питания. Принцип построения таких преобразователей очевиден из рисунка 13. В качестве импульсного элемента здесь используется тиристор VS_P , который периодически замыкает источник питания на дроссель $L_Ф$. В процессе размыкания рабочего тиристора на дросселе $L_Ф$ наводится значительная ЭДС, направленная согласно с напряжением источника питания, в результате через

диод VD_{ϕ} и выходной конденсатор $C_{\text{вых}}$ течет ток, имеющий форму всплеска.

Напряжение на нагрузке при этом равно сумме напряжений на дросселе L_{ϕ} и источника питания. Возможны несколько схемных решений параллельных ШИП. Иногда диод VD_{ϕ} подключается к отпайке фильтрующего дросселя L_{ϕ} . Такое включение позволяет снизить потери мощности на коммутацию за счет снижения величины тока, однако степень повышения выходного напряжения при этом также уменьшается. Данный способ применяется, если необходимо поддерживать выходное напряжение достаточно стабильным при изменениях нагрузки.

Если требуется широкий диапазон регулирования выходного напряжения, применяется схема с подключением рабочего тиристора к отпайке фильтрующего дросселя. Однако такая схема обладает худшими энергетическими показателями за счет увеличения коммутационных потерь.

Основные различия рассмотренных ШИП заключаются в особенностях выполнения их коммутирующих узлов, исходя из чего и проведена классификация существующих схем.

Электромагнитные процессы, протекающие в коммутирующих цепях ШИП, описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, так как моменты переключения ШИП зависят от параметров элементов контура коммутации.

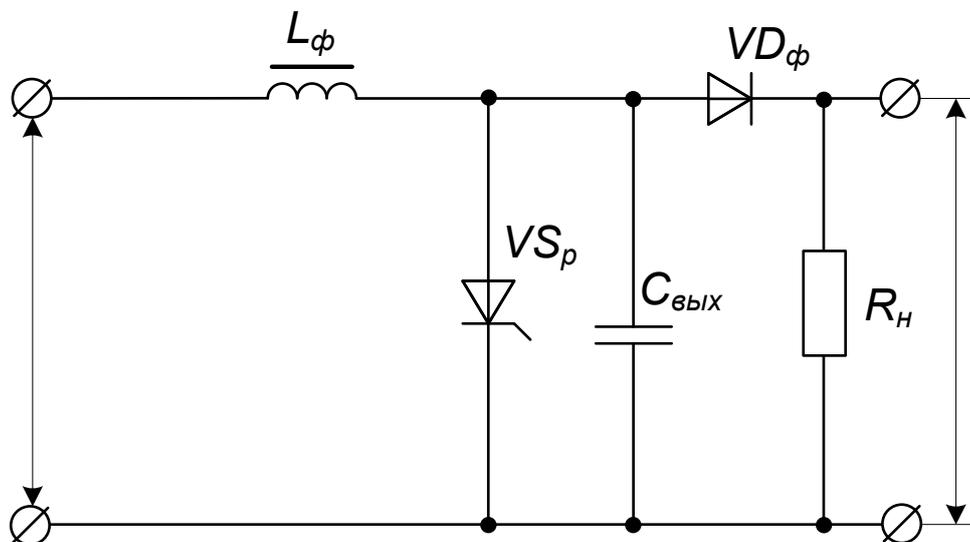


Рисунок 13 – Схемы параллельных ШИП постоянного напряжения

Приведенная классификация, отражающая особенности перезаряда коммутирующего конденсатора, облегчает выбор метода анализа процессов в ШИП, что очень важно, так как в настоящее время нет единого метода анализа нелинейных цепей. В каждом конкретном случае следует выбирать такой метод анализа, который позволил бы получить наименьшую погрешность конечного результата.

В качестве примера проанализируем электромагнитные процессы в наиболее характерных схемах ШИП.

ШИП с дросселем насыщения

В схеме ШИП с дросселем насыщения (рисунок 14) коммутация осуществляется с помощью насыщающегося дросселя.

Дроссель насыщения выполняет те же функции, что и элементы VD_p , L , VD'_p в предыдущей схеме (см. рисунок 13). Кроме того, дроссель L_3 обеспечивает задержку времени, которая ранее осуществлялась цепью управления тиристора VD_1 .

Основным достоинством данной схемы является наличие одного тиристора, что упрощает систему управления. Недостатком этого ШИП выступает значительная установленная мощность дросселя насыщения.

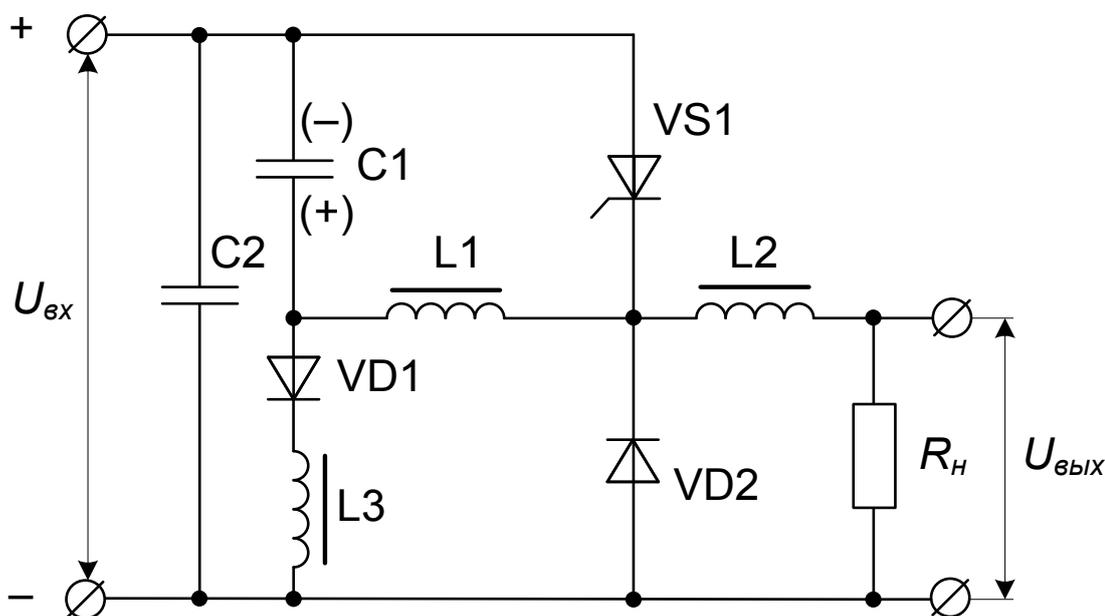


Рисунок 14 – Схемы ШИП с дросселем насыщения

Схема силовой части тиристорного ШИП с последовательной коммутацией представлена на рисунке 15.

Задание

- 1 Ознакомиться со схемой и порядком включения стенда.
- 2 Заполнить таблицу данных измерительных приборов (таблица 7).

Таблица 7 – Данные измерительных приборов.

Обозначение на схеме	Система прибора	Класс точности	Предел измерения	Цена деления

3 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке.

4 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов на активно-индуктивной нагрузке.

5 Провести опыты для снятия электромагнитных процессов на двигательной нагрузке.

6 Провести опыты для снятия внешней характеристики.

7 Провести опыты для снятия регулировочной характеристики.

8 Рассчитать статические характеристики (внешнюю и регулировочную).

9 Построить графики электромагнитных процессов.

10 Сделать обработку полученных данных. Провести анализ результатов лабораторной работы и составить подробный отчет.

5.2 Порядок выполнения работы

Перед началом проведения опыта следует ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. В процессе проведения опыта необходимо выполнить описание режимов работы силовой части ШИП, согласно схеме, на уровне временных диаграмм напряжений и токов ее элементов.

Исследование характеристик тиристорного ШИП проводится по схеме, представленной на рисунке 5.

Исследование преобразователя при активной нагрузке

- 1 Собрать схему, соединив клеммы XT4–XT5, XT7–XT8 (см. рисунок 5).
- 2 Для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке соединить клеммы XT9–XT10 (см. рисунок 5).
- 3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 (см. рисунок 5).
- 4 Нажать кнопку SB4.
- 5 Включить осциллограф в сеть и прогреть 10 мин.
- 6 Для снятия напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS14, а щуп в XS9.



7 Для снятия тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS10, а щуп в XS9.

8 Для снятия формы напряжения фазы А включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS2.

9 Для снятия формы напряжения фазы В включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS3.

10 Для снятия формы напряжения фазы С включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS4.

11 Отключить стенд, нажав SB1, выключить QF1.

Исследование преобразователя при индуктивной нагрузке

1 Собрать схему, соединив клеммы XT4–XT5, XT7–XT8 (см. рисунок 5).

2 Для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке соединить клеммы XT9–XT12 (см. рисунок 5).

3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 (см. рисунок 5).

4 Нажать кнопку SB4.

5 Включить осциллограф в сеть и прогреть 10 мин.

6 Для снятия напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS14, а щуп в XS9.

7 Для снятия тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS10, а щуп в XS9.

8 Для снятия формы напряжения фазы А включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS2.

9 Для снятия формы напряжения фазы В включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS3.

10 Для снятия формы напряжения фазы С включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS4.

11 Отключить стенд, нажав SB1, выключить QF1.

Исследование преобразователя при двигательной нагрузке

1 Собрать схему соединив клеммы XT4–XT5, XT7–XT8 (см. рисунок 5).

2 Для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке соединить клеммы XT9–XT11 (см. рисунок 5).

3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 (см. рисунок 5).

4 Нажать кнопку SB4.

5 Включить осциллограф в сеть и прогреть 10 мин.

6 Для снятия напряжения на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS14, а щуп в XS9.

7 Для снятия тока на нагрузке включить общий провод осциллографа в XS10, а щуп в XS9.

8 Для снятия формы напряжения фазы А включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS2.



9 Для снятия формы напряжения фазы В включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS3.

10 Для снятия формы напряжения фазы С включить общий провод осциллографа в XS1, а щуп в XS4.

11 Отключить стенд, нажав SB1, выключить QF1.

Исследование внешней характеристики

1 Собрать схему, соединив клеммы XT4–XT5, XT7–XT8 (см. рисунок 5).

2 Для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке соединить клеммы XT9–XT11 (см. рисунок 5).

3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 (см. рисунок 5).

4 Нажать кнопку SB4.

5 Изменяя угол управления с помощью RP3, снять показания вольтметра PV1 и амперметра PA1, данные занести в таблицу 8.

Таблица 8 – Внешняя характеристика

I_d, A						
U_d, B						

6 Отключить стенд, нажав SB1, выключить QF1.

По полученным данным построить внешнюю характеристику.

Исследование регулировочной характеристики

1 Собрать схему, соединив клеммы XT4–XT5, XT7–XT8 (см. рисунок 5).

2 Для снятия электромагнитных процессов на активной нагрузке соединить клеммы XT9–XT11 (см. рисунок 5).

3 Для подачи напряжения на стенд включить QF1 (см. рисунок 5).

4 Нажать кнопку SB4.

5 Изменяя угол управления с помощью RP3, снять показания вольтметра PV1, данные занести в таблицу 9.

Таблица 9 – Регулировочная характеристика

$\alpha, \text{град}$						
U_d, B						

6 Отключить стенд, нажав SB1, выключить QF1.

7 Построить зависимость $U_d = f(\alpha)$.



Контрольные вопросы

- 1 Классификация тиристорных ШИП.
- 2 Способы управления нереверсивными тиристорными преобразователями постоянного тока.
- 3 Регулировочные и внешние характеристики тиристорных ШИП с последовательной коммутацией при различном характере нагрузки.
- 4 Особенности работы ШИП с коммутирующим трансформатором.
- 5 Пояснить зависимость электромагнитных процессов в коммутирующем контуре от величины тока нагрузки.

Список литературы

- 1 Использование стандартов в курсовом и дипломном проектировании : метод. указания / Сост. Г. С. Ленецкий, А. Н. Шапчиц. – Могилев : МГТУ, 2002. – Ч. 1–3.
- 2 **Замятин, В. Я.** Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: справочник / В. Я. Замятин, Б. В. Кондратьев, В. М. Петухов. – Москва : Радио и связь, 1987. – 576 с.
- 3 **Попков, О. З.** Основы преобразовательной техники: учебное пособие для вузов / О. З. Попков. – 2-е изд., стер. – Москва: МЭИ, 2007. – 200 с.
- 4 **Руденко, В. С.** Преобразовательная техника / В. С. Руденко, В. Н. Сенько, И. М. Чиженко. – Киев : Вища школа, 1978. – 430 с. : ил.
- 5 **Рама Редди, С.** Основы силовой электроники / С. Рама Редди – Москва: Техносфера, 2006. – 288 с.
- 6 **Чванов, В. А.** Перспективная преобразовательная техника / В. А. Чванов // Электротехника. – 2006. – № 9. – С. 61–65.
- 7 **Виноградов, А. Б.** Учет потерь в стали, насыщения и поверхностного эффекта при моделировании динамических процессов в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе / А. Б. Виноградов // Электротехника. – 2005. – № 5. – С. 57–61.
- 8 **Фираго, Б. И.** Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск : Техноперспектива, 2006. – 363 с.
- 9 **Евзеров, И. Х.** Комплектные тиристорные электроприводы : справочник / И. Х. Евзеров, А. С. Городец, Б. Н. Мошкович ; под ред. В. М. Перельмутера. – Москва. : Энергоатомиздат, 1988. – 319 с. : ил.
- 10 **Глазенко, Т. А.** Тиристорные ШИП для систем ЭП постоянного тока / Т. А. Глазенко. – Ленинград : ЛДНТП, 1968. – 38 с. : ил.
- 11 **Герман-Галкин, С. Г.** Широтно-импульсные преобразователи / С. Г. Герман-Галкин. – Ленинград : Энергия, 1979. – 96 с. : ил.
- 12 **Руденко, В. С.** Основы преобразовательной техники / В. С. Руденко. – Ленинград : Высшая школа, 1980. – 421 с.



13 **Алексеева, Н. Н.** Тиристорные регулируемые электроприводы постоянного тока / Н. Н. Алексеева, Г. И. Андреев, Ю. Я. Морговский. – Москва : Энергия, 1970. – 136 с.

14 **Остриров, В. Н.** Опыт создания преобразовательной техники для регулируемых электроприводов / В. Н. Остриров // Приводная техника. – 2007. – № 5 (69). – С. 9–13.

15 **Соколовский, Г. Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для вузов / Г. Г. Соколовский. – 2-е изд., испр. – Москва : Академия, 2007. – 272 с.

