

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

**М. Н. Погуляев, В. В. Логвин, В. С. Захаренко**

## **СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к контрольным работам по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
заочной формы обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

**Гомель 2009**

УДК 62-83:621.314(075.8)  
ББК 31.291я73  
П43

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 6 от 15.06.2007 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Промышленная электроника»  
ГГТУ им. П. О. Сухого *Е. А. Храбров*

**Поголяев, М. Н.**  
П43 Силовая преобразовательная техника : метод. указания к контрол. работам по одной дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» заоч. формы обучения / М. Н. Поголяев, В. В. Логвин, В. С. Захаренко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 31 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.  
ISBN 978-985-420-796-4.

Изложен порядок расчета нереверсивного тиристорного широтно-импульсного преобразователя с узлом параллельной двухступенчатой коммутации, дано задание к контрольной работе, приведены теоретические вопросы.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» заочной формы обучения.

УДК 62-83:621.314(075.8)  
ББК 31.291я73

ISBN 978-985-420-796-4

© Поголяев М. Н., Логвин В. В., Захаренко В. С.,  
2009  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2009

## 1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Выполнение контрольной работы является важным этапом в самостоятельной работе студентов заочной формы обучения над дисциплиной и должно свидетельствовать о том, что соответствующие разделы курса проработаны и глубоко усвоены. Для облегчения изучения курса «Силовая преобразовательная техника» учебными планами предусмотрены лекции по отдельным его разделам, лабораторные и практические занятия.

Задание на контрольную работу состоит из двух пунктов: 1) решение задачи; 2) ответ на теоретический вопрос.

Варианты заданий контрольной работы выдаются преподавателем.

Студенты должны выполнить данную контрольную работу в сроки, установленные учебным планом.

При оформлении контрольной работы студенты должны придерживаться следующих требований:

1. На титульном листе контрольной работы должны быть указаны название учреждения образования, факультет, кафедра, дисциплина, номер варианта, фамилия, имя, отчество студента, курс, группа, адрес студента.

2. Контрольные работы оформляются в тетради аккуратно, без помарок и должны быть выполнены так, чтобы можно было без затруднений прочесть каждую букву, знак, слово. Работы, оформленные небрежно, вызывающие затруднение и сомнение при их чтении, возвращаются студенту для переработки. Допускается оформление контрольной работы на листах формата А4, которые должны быть сшиты и иметь правильно оформленный титульный лист.

3. Страницы тетради должны быть пронумерованы, на каждой из них следует оставлять поле шириной не менее 25 мм.

4. Все расчетные действия должны сопровождаться краткими, но четкими пояснениями. Обозначение величин в тексте, формулах, схемах должны быть согласованы и расшифрованы.

5. Схемы, рисунки должны выполняться с применением чертежных инструментов. При выполнении схем следует руководствоваться правилами ЕСКД. Схемы, рисунки должны быть пронумерованы и иметь подрисуночные надписи. В тексте контрольной работы нужны обязательно ссылки на соответствующие схемы и рисунки.

6. В тексте вначале записывается расчетная формула в общем виде, а затем с проставленными числовыми значениями. В конце каждой расчетной формулы обязательно указывается размерность полученных величин в системе СИ и при необходимости номер формулы. Результаты повторяющихся расчетов следует сводить в таблицы.

7. В излагаемый материал обязательно включаются используемые методики расчета, основные допущения и обозначения. При использовании графиков, численных коэффициентов, формул и методик необходимо делать ссылки на соответствующие литературные источники. Не допускается сокращение слов, кроме общепринятых.

## **2. ЗАДАНИЕ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ**

### **2.1. Рассчитать параметры и характеристики нереверсивного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с узлом параллельной двухступенчатой коммутации**

2.1.1. Изобразить схему нереверсивного ШИП с одним тиристорным ключом и цепями коммутации для питания электропривода постоянного тока.

2.1.2. Рассчитать напряжение питания ШИП ( $U_d$ ) для заданной нагрузки, принимая максимальное значение скважности  $\gamma_{\max} = 0,92$ .

2.1.3. Рассчитать параметры узла принудительной параллельной двухступенчатой коммутации и выбрать все его элементы. 7

2.1.4. Определить диапазон регулирования напряжения на нагрузке.

2.1.5. Рассчитать и построить внешние характеристики ШИП при значениях скважности:  $\gamma = 0,25$ ;  $\gamma = 0,5$ ;  $\gamma = 0,75$ ;  $\gamma = 0,92$ , при изменении тока нагрузки от 0 до  $1,2 \cdot I_{\text{ном}}$ . Внутреннее сопротивление источника питания принять равным 10 % от сопротивления нагрузки равного  $R_{\text{н}} = R_{\text{я}} + R_{\text{дп}}$ .

2.1.6. Рассчитать величину пульсаций тока в нагрузке в режимах непрерывного и прерывистого токов при  $\gamma = 0,5$ . Для рассчитанных режимов построить диаграммы напряжений и токов в нагрузке.

2.1.7. Рассчитать и построить электромеханические и механические характеристики ДПТ при  $\gamma = 0,25$ ;  $\gamma = 0,5$ ;  $\gamma = 0,75$ ;  $\gamma = 0,92$ .

2.1.8. Построить временные диаграммы напряжений и токов (в цифрах), отражающих работу узла искусственной коммутации при  $\gamma = 0,5$ .

## 2.2. Ответить на теоретический вопрос

1. Необходимые для расчета данные берутся из приложения (табл. П.1.1), в соответствии с вариантом задания и сводятся в табл. 2.1.

*Примечание.* Номер варианта задания выдается преподавателем.

Таблица 2.1

### Исходные данные для расчета

Номер варианта	Тип двигателя	$P_n$ , кВт	$U_{ном}$ , В	$\eta_{ном}$ , %	$R_{я}$ , Ом	$R_{дп}$ , Ом	$L_{я}$ , мГн	$n_n$ , об/мин	Номер вопроса

## 3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

### 3.1. Назначение и схема нереверсивного ШИП

Широтно-импульсный преобразователь (ШИП) преобразует неизменное напряжение постоянного тока в регулируемое напряжение постоянного тока и по сравнению с тиристорным преобразователем (ТП) характеризуется большей полосой пропускания и большей линейностью характеристик управления. Поэтому ШИП применяется для электропривода с высокими быстродействием и точностью регулирования.

На рис. 3.1 изображена нереверсивная схема ШИП с тиристорным ключом и цепями коммутации для питания электропривода постоянного тока. Функцию собственно ключа выполняет тиристор  $VS1$ , а тиристор  $VS2$  служит для управления процессом коммутации  $VS1$ . Работает тиристорный коммутатор следующим образом. Вначале конденсатор  $C_k$  предварительно заряжают через  $VS2$  с положительным зарядом на верхней обкладке. При подаче управляющего импульса на  $VS1$  на двигателе появляется импульс напряжения  $U_d$  и через  $VS1$  протекает ток нагрузки. Одновременно по контуру, в который входят конденсатор  $C_k$ , тиристор  $VS1$ , диод  $VD1$  и реактор  $L_k$ , происходит процесс перезаряда конденсатора, заканчивающийся через полупериод собственных колебаний контура с положительным зарядом на нижней обкладке. Диод  $VD1$  запирает конденсатор от дальнейшей перезарядки. Сигналом на закрытие  $VS1$  является управляющий импульс, подаваемый на  $VS2$ . Через открытые тиристоры  $VS2$  и  $VS1$  раз-

ряжается конденсатор и своим током запирает  $VS1$ . После запираания  $VS1$  ток, протекающий через  $VS2$ , дозаряжает конденсатор до первоначального уровня с положительным зарядом на верхней обкладке. Диод  $VD_0$  служит для создания цепи протекания тока нагрузки после закрытия рабочего тиристора  $VS1$ , тем самым защищая элементы схемы от перенапряжения. Более подробно с работой данной схемы можно ознакомиться в [2], [3]. При расчете и анализе коммутационных процессов в представленной схеме приняты следующие допущения: ток нагрузки в период коммутации постоянен; индуктивность нагрузки достаточно велика; тиристоры и диоды идеальные.

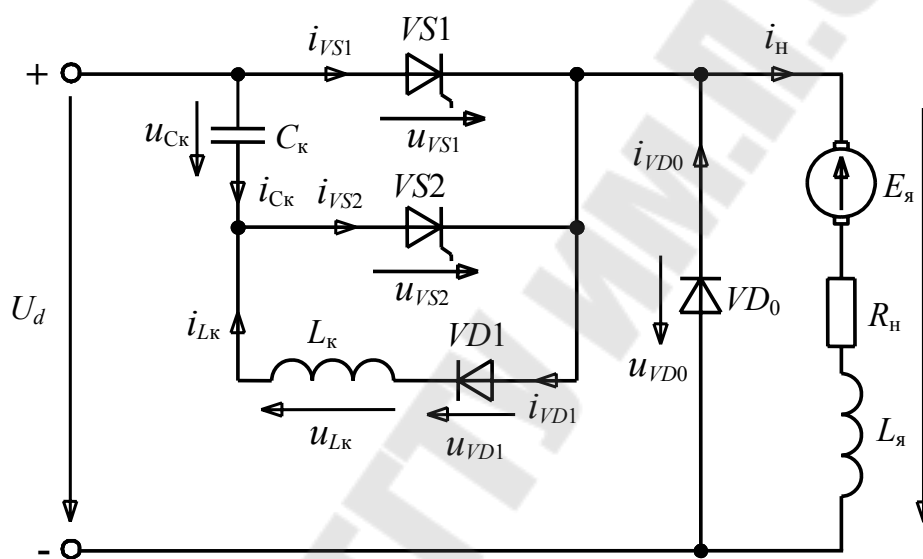


Рис. 3.1. Электрическая схема нереверсивного ШИП с узлом параллельной двухступенчатой коммутации

### 3.2. Определение значения напряжения источника питания

$$U_d = \frac{U_{\text{НОМ}} + \Delta U_{VS1\text{ос.и}}}{\gamma_{\text{max}}} + I_{\text{НОМ}} \cdot R_{\text{ВН}}, \quad (3.1)$$

где  $U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение питания двигателя постоянного тока;  $\Delta U_{VS1\text{ос.и}} = (1,5-2,5)$  В – импульсное падение напряжения на тиристоре  $VS1$  в открытом состоянии;  $\gamma_{\text{max}} = 0,92$  – максимальная скважность;  $I_{\text{НОМ}}$  – номинальный ток нагрузки

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{НОМ}}}; \quad (3.2)$$

$P_{\text{ном}}$ ,  $\eta_{\text{ном}}$  – номинальные мощность и КПД двигателя;  $R_{\text{вн}}$  – внутреннее сопротивление источника питания  $R_{\text{вн}} = 0,1 \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{дп}})$ ;  $R_{\text{я}}$  – сопротивление якорной обмотки ДПТ;  $R_{\text{дп}}$  – сопротивление дополнительных полюсов.

### 3.3. Расчет параметров узла принудительной параллельной двухступенчатой коммутации и выбор его элементов

#### 3.3.1. Предварительный расчет и выбор рабочего тиристора VS1

Предварительный выбор рабочего тиристора VS1 производится исходя из условий:

$$\begin{cases} I_{VS1\text{ср.предв}} = (1,1 \dots 1,2) \cdot I_{\text{ном}}, \\ U_{VS1\text{обр.расч}} = (1,5 \dots 1,8) \cdot U_d, \end{cases} \quad (3.3)$$

где  $I_{VS1\text{ср.предв}}$  – предварительное значение среднего тока тиристора VS1;

$U_{VS1\text{обр.расч}}$  – расчетное значение обратного напряжения тиристора VS1.

Тиристор VS1 выбирается исходя из условий:

$$\begin{cases} I_{VS1\text{ос.ср.мах}} \geq I_{VS1\text{ср.предв}}, \\ U_{VS1\text{зс.п}} \geq U_{VS1\text{обр.расч}}, \end{cases} \quad (3.4)$$

где  $I_{VS1\text{ос.ср.мах}}$  – максимальное значение среднего тока тиристора в открытом состоянии;  $U_{VS1\text{зс.п}}$  – повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии.

В схеме ШИП необходимо использовать высокочастотные или быстродействующие тиристоры [7].

После выбора тиристора (указать тип) его параметры записываются в табл. 3.1. Импульсное значение тока тиристора VS1 в открытом состоянии  $I_{\text{ос.и}}$  принимается равным  $I_{\text{ос.и}} = \pi \cdot I_{\text{ос.ср.мах}}$ .

Таблица 3.1

Основные параметры рабочего тиристора VS1

Тип тиристора	$I_{\text{ос.ср.мах}}$ , А	$I_{\text{ос.и}}$ , А	$U_{\text{зс.п}}$ , В	$t_{\text{выкл}}$ , мкс	$t_{\text{вкл}}$ , мкс

3.3.2. Расчетное значение номинальной емкости коммутирующего конденсатора  $C_k$

$$C_{k,расч} \geq (1,2 - 1,5) \cdot \frac{I_{НОМ} \cdot t_{ВЫКЛ.VS1}}{U_d - E_{НОМ}}, \quad (3.5)$$

где  $E_{НОМ}$  – номинальное значение ЭДС якоря ДПТ:

$$E_{НОМ} = U_{НОМ} - I_{НОМ} \cdot R_H = U_{НОМ} - I_{НОМ} \cdot (R_{Я} + R_{ДПТ}). \quad (3.6)$$

Расчетное значение номинального напряжения конденсатора

$$U_{C_{k,расч}} \geq 1,2 \cdot U_d.$$

Конденсатор выбирается исходя из условий:

$$\begin{cases} C_{k,НОМ} \geq C_{k,расч}, \\ U_{C_{k,НОМ}} \geq U_{C_{k,расч}}. \end{cases}$$

Рекомендуется использовать неполярные конденсаторы следующих типов МБГЧ, МБГО, КБГ-МП, К40У-5, БГТ и др. [9]. После выбора конденсатора(ов) (указать тип и количество) его параметры заносятся в табл. 3.2. Если необходимо, несколько конденсаторов соединяют параллельно (для увеличения суммарной емкости).

Таблица 3.2

Основные параметры коммутирующего конденсатора  $C_k$

Тип конденсатора	$C_{НОМ}$ , мкФ	$U_{НОМ}$ , В	Количество

3.3.3. Расчет коммутирующей индуктивности  $L_k$

$$L_k = C_k \cdot \left( \frac{U_d - E_{НОМ}}{I_{VS1ос.и} - I_{НОМ}} \right)^2. \quad (3.7)$$

Стандартный ряд серийно выпускаемых дросселей достаточно ограничен как по величине индуктивности, так и по рабочему току. Поэтому выбирается неунифицированный дроссель с индуктивностью, равной расчетной  $L_k$ .



### 3.3.4. Собственная частота колебаний контура $L_k C_k$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_k C_k}}. \quad (3.8)$$

Тогда

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2 \cdot \pi}. \quad (3.9)$$

Период собственных колебаний контура  $L_k C_k$ :

$$T_0 = \frac{1}{f_0}. \quad (3.10)$$

Время перезаряда конденсатора  $C_k$ :

$$t_1 = \frac{T_0}{2}. \quad (3.11)$$

### 3.3.5. Максимальная частота работы ШИП

$$f_{\max} = \frac{1}{t_{\text{вкл. min}} + t_{\text{откл. min}}}, \quad (3.12)$$

где

$$t_{\text{вкл. min}} = \pi \cdot \sqrt{L_k C_k}, \quad (3.13)$$

$$t_{\text{откл. min}} = 2 \cdot \left( \frac{U_d - E_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}}} \right) \cdot C_k + t_{\text{выкл. VS1}}. \quad (3.14)$$

### 3.3.6. Рабочая частота ШИП

$$f_{\text{раб}} = \frac{1}{T_{\text{раб}}}, \quad (3.15)$$

$$\text{где } T_{\text{раб}} = \frac{1}{1 - \gamma_{\max}} \cdot t_{\text{откл. min}}. \quad (3.16)$$

### 3.3.7. Расчетное значение среднего тока диода VD1

$$I_{VD1 \text{ ср. расч}} = \frac{1}{T_{\text{раб}}} \cdot \int_0^{T_0} I_{VD1 \text{ max}} \cdot \sin(\omega_0 t) dt = \frac{I_{VS1 \text{ ос. и}} - I_{\text{ном}}}{\omega_0 \cdot T_{\text{раб}}}. \quad (3.17)$$

### 3.3.8. Уточнение выбора тиристора VS1

Уточненное расчетное значение среднего тока тиристора VS1 в открытом состоянии

$$I_{VS1\text{ос.ср.расч}} = I_{\text{ном}} + I_{VD1\text{ср.расч}} \cdot \quad (3.18)$$

Далее необходимо проверить выполнение условия  $I_{VS1\text{ос.ср.мах}} \geq I_{VS1\text{ос.ср.расч}}$  для выбранного в п. 1.3.1 тиристора VS1. В случае невыполнения данного условия выбирается другой тиристор и расчеты по п.3.3.1–3.3.8 повторяются.

### 3.3.9. Выбор диода VD1

Выбранный диод должен удовлетворять трем условиям:

$$\begin{cases} I_{VD1\text{пр.ср.мах}} \geq I_{VD1\text{ср.расч}} , \\ I_{VD1\text{пр.и}} \geq I_{VD1\text{и.расч}} , \\ U_{VD1\text{обр.и.п}} \geq 1,2 \cdot U_d , \end{cases} \quad (3.19)$$

где  $I_{VD1\text{пр.ср.мах}}$  – максимальное значение среднего тока диода в прямом направлении;  $I_{VD1\text{ср.расч}}$  – расчетное значение среднего тока через диод;  $I_{VD1\text{пр.и}}$  – импульсное (повторяющееся) значение прямого тока диода;  $I_{VD1\text{и.расч}}$  – расчетное значение импульсное прямого тока диода

$$I_{VD1\text{и.расч}} = \frac{U_d - E_{\text{ном}}}{\sqrt{\frac{L_k}{C_k}}} = I_{VS1\text{ос.и}} - I_{\text{ном}} ; \quad (3.20)$$

$U_{VD1\text{обр.и.п}}$  – повторяющееся импульсное значение обратного напряжения диода.

В схеме ШИП необходимо использовать высокочастотные или быстродействующие диоды [8]. После выбора диода (указать тип) его параметры сводятся в табл. 3.3.

Импульсное (повторяющееся) значение прямого тока диода VD1  $I_{\text{пр.и}}$  принимается равным  $I_{\text{пр.и}} = \pi \cdot I_{\text{пр.ср.мах}}$ .

Таблица 3.3

Основные параметры диода VD1

Тип диода	$I_{\text{пр.ср.мах}}$ , А	$I_{\text{пр.и}}$ , А	$U_{\text{обр.и.п}}$ , В	$t_{\text{вос.обр}}$ , мкс

### 3.3.10. Расчет и выбор коммутирующего тиристора VS2

Данный тиристор должен удовлетворять следующим требованиям:

$$\begin{cases} I_{VS2\text{ос.ср.мах}} \geq I_{VS2\text{ср.расч}} , \\ I_{VS2\text{ос.и}} \geq I_{VS2\text{и.расч}} , \\ U_{VS2\text{обр.и.п}} \geq 1,2 \cdot U_d , \end{cases} \quad (3.21)$$

где

$$I_{VS2\text{и.расч}} = I_{\text{ном}} ,$$

$$I_{VS2\text{ср.расч}} = I_{\text{ном}} \cdot \frac{t_{\text{пер}}}{T_{\text{раб}}} .$$

Время перезаряда конденсатора  $C_K$  определяется выражением

$$t_{\text{пер}} = 2 \cdot C_K \cdot \frac{U_d - E_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}}} . \quad (3.22)$$

Исходя из численных значений указанных выше требований выбирается тиристор [7] и его параметры записываются в табл. 3.4. Значение тока  $I_{\text{ос.и}}$  принимается равным  $I_{\text{ос.и}} = \pi \cdot I_{\text{ос.ср.мах}}$ .

Таблица 3.4

**Основные параметры коммутирующего тиристора VS2**

Тип тиристора	$I_{\text{ос.ср.мах}}$ А	$I_{\text{ос.и}}$ А	$U_{\text{зс.п}}$ В	$t_{\text{выкл}}$ мкс	$t_{\text{вкл}}$ мкс

### 3.3.11. Выбор диода VD<sub>0</sub>

Данный диод должен удовлетворять следующим условиям:

$$\begin{cases} I_{VD_0\text{пр.ср.мах}} \geq I_{VD_0\text{ср.расч}} , \\ I_{VD_0\text{пр.и}} \geq I_{VD_0\text{и.расч}} , \\ U_{VD_0\text{обр.и.п}} \geq 1,2 \cdot U_d , \end{cases} \quad (3.23)$$

где

$$I_{VD_0\text{ср.расч}} = I_{\text{ном}} \cdot \frac{t_{\text{откл.мах}}}{T_{\text{раб}}} = I_{\text{ном}} \cdot \frac{T_{\text{раб}} - t_{\text{вкл.мин}} - t_{\text{откл.мин}}}{T_{\text{раб}}} ,$$

$$I_{VD_0\text{и.расч}} = I_{\text{ном}} .$$

Выбранный диод [8] должен отвечать данным условиям, а его параметры сводятся в табл. 3.5. Значение тока  $I_{пр.и}$  принимается равным  $I_{пр.и} = \pi \cdot I_{пр.ср.мах}$ .

Таблица 3.5

Основные параметры диода  $VD_0$

Тип диода	$I_{пр.ср.мах}, A$	$I_{пр.и}, A$	$U_{обр.и.п}, B$	$t_{вос.обр}, мкс$

### 3.4. Диапазон регулирования напряжения на нагрузке

$$D = \frac{U_{н.мах}}{U_{н.мин}} = \frac{\gamma_{мах}}{\gamma_{мин}}, \quad (3.24)$$

где  $U_{н.мин}$ ,  $U_{н.мах}$  – минимальное и максимальное значения напряжений на нагрузке:

$$U_{н.мин} = U_d \cdot \gamma_{мин}, \quad U_{н.мах} = U_d \cdot \gamma_{мах};$$

$\gamma_{мин}$  – минимальная скважность работы ключа ШИП:

$$\gamma_{мин} = \frac{t_{вкл. мин}}{T_{раб}}. \quad (3.25)$$

### 3.5. Построение внешних характеристик

В широтно-импульсном преобразователе возможны три режима работы по току:

- 1) режим непрерывного тока;
- 2) граничный режим;
- 3) режим прерывистых токов.

В режиме непрерывного тока (без учета падения напряжения на открытом ключе) внешняя характеристика ШИП описывается следующим уравнением:

$$U_{шип} = U_d \cdot \gamma - I_n \cdot R_{вн}, \quad (3.26)$$

где  $U_{шип}$  – напряжение на выходе ШИП (на нагрузке);  $I_n$  – ток нагрузки.

В режиме непрерывного тока значение  $I_n$ , согласно заданию, изменяют в пределах от  $I_{гр}$  до  $1,2 \cdot I_{ном}$ .

Граничные значения ЭДС  $E_{гр}$  и тока нагрузки  $I_{н.гр}$  [2]:

$$E_{гр} = U_d \cdot a_1 \cdot \frac{b_1 - 1}{1 - a_1}, \quad I_{н.гр} = \frac{U_d}{R_H} \cdot \left( \gamma - a_1 \cdot \frac{b_1 - 1}{1 - a_1} \right), \quad (3.27)$$

где коэффициенты  $a_1$  и  $b_1$  рассчитываются по формулам:

$$a_1 = e^{-\frac{T_{раб}}{T_H}}, \quad b_1 = e^{\frac{\gamma \cdot T_{раб}}{T_H}}. \quad (3.28)$$

Постоянная времени нагрузки

$$T_H = \frac{L_{я}}{R_{я} + R_{дп}}, \quad (3.29)$$

где  $L_{я}$  - индуктивность якорной цепи.

Напряжение ШИП в граничном режиме:

$$U_{шип.гр} = U_d \cdot \gamma - I_{н.гр} \cdot R_{вн}. \quad (3.30)$$

В режиме прерывистых токов для заданного  $\gamma$  задается ряд значений ЭДС  $E$  двигателя в диапазоне от  $E_{гр}$  до  $U_d$  и рассчитывается время  $t_m$  (длительность протекания тока):

$$t_m = T_H \cdot \ln \left( e^{\frac{\gamma \cdot T_{раб}}{T_H}} \cdot \left( 1 + \frac{U_d - E}{E} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\gamma \cdot T_{раб}}{T_H}} \right) \right) \right). \quad (3.31)$$

В этом режиме длительность протекания тока  $t_m$  должно удовлетворять неравенству

$$T_{раб} > t_m > \gamma \cdot T_{раб}. \quad (3.32)$$

Далее рассчитываются значения напряжений  $U_{шип.пр}$  и токов  $I_{н.пр}$  в этом режиме

$$U_{шип.пр} = U_d \cdot \gamma - I_{н.пр} \cdot R_{вн} + E \cdot \left( 1 - \frac{t_m}{T_{раб}} \right), \quad (3.33)$$

$$I_{н.пр} = \frac{U_d \cdot \gamma - E \cdot \frac{t_m}{T_{раб}}}{R_H}. \quad (3.34)$$

Примерный вид внешних характеристик ШИП для различных режимов работы при  $\gamma = 0,25$ ;  $\gamma = 0,5$ ;  $\gamma = 0,75$ ;  $\gamma = 0,92$  изображен на рис. 3.2.

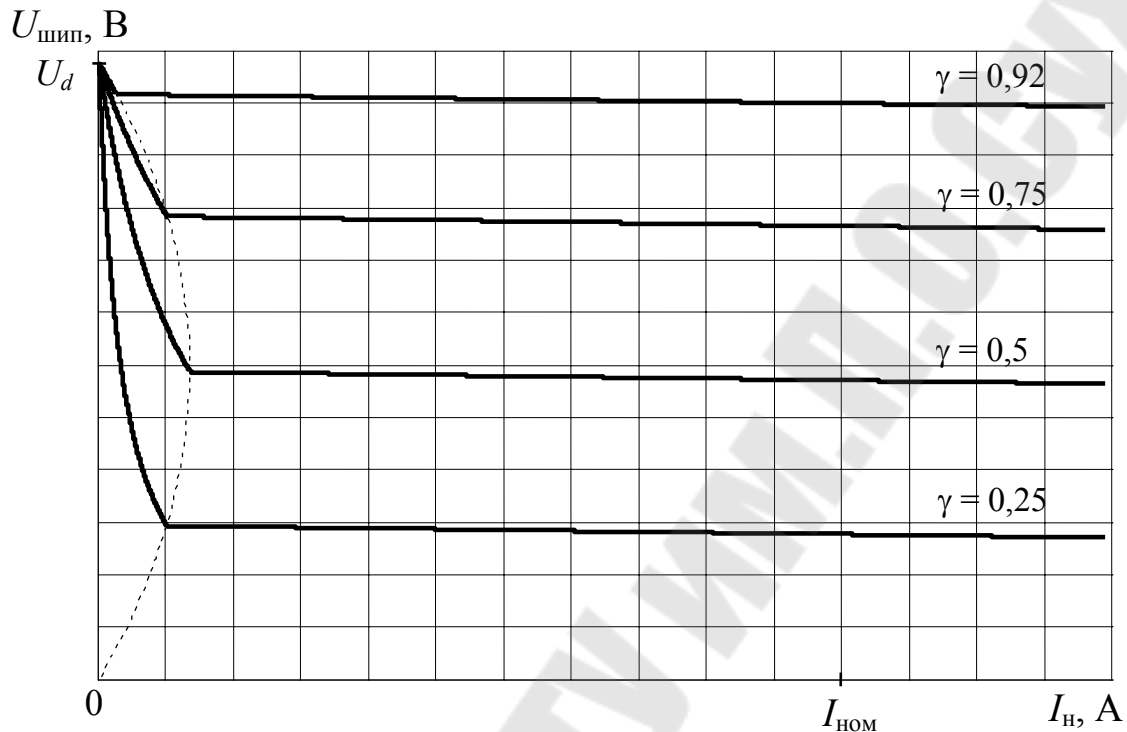


Рис. 3.2. Вид внешних характеристик ШИП при  $\gamma = 0,25$ ;  $\gamma = 0,5$ ;  $\gamma = 0,75$ ;  $\gamma = 0,92$

### 3.6. Расчет пульсаций тока в нагрузке

3.6.1. Расчет пульсаций тока в нагрузке в режиме непрерывного тока при  $\gamma = 0,5$

Расчет пульсаций тока в данном режиме производится для значения ЭДС, равного

$$E = U_d \cdot \gamma - I_{\text{ном}} \cdot R_H.$$

Максимальное и минимальное значения тока в нагрузке [2]:

$$I_{\text{н. max}} = \frac{U_d \cdot (1 - b_1^{-1})}{R_H \cdot (1 - a_1)} - \frac{E}{R_H}, \quad (3.35)$$

$$I_{\text{н. min}} = \frac{U_d \cdot a_1 \cdot (b_1 - 1)}{R_H \cdot (1 - a_1)} - \frac{E}{R_H}. \quad (3.36)$$

Среднее значение тока в нагрузке в режиме непрерывного тока:

$$I_H = \frac{I_{H.\max} + I_{H.\min}}{2}. \quad (3.37)$$

Размах пульсаций тока:

$$\Delta I_H = \frac{U_d \cdot (1 - b_1^{-1}) \cdot (1 - a_1 \cdot b_1)}{R_H \cdot (1 - a_1)}. \quad (3.38)$$

Пульсации тока в нагрузке:

$$\delta I_H \% = \frac{\Delta I_H}{2 \cdot I_{\text{НОМ}}} \cdot 100 \%. \quad (3.39)$$

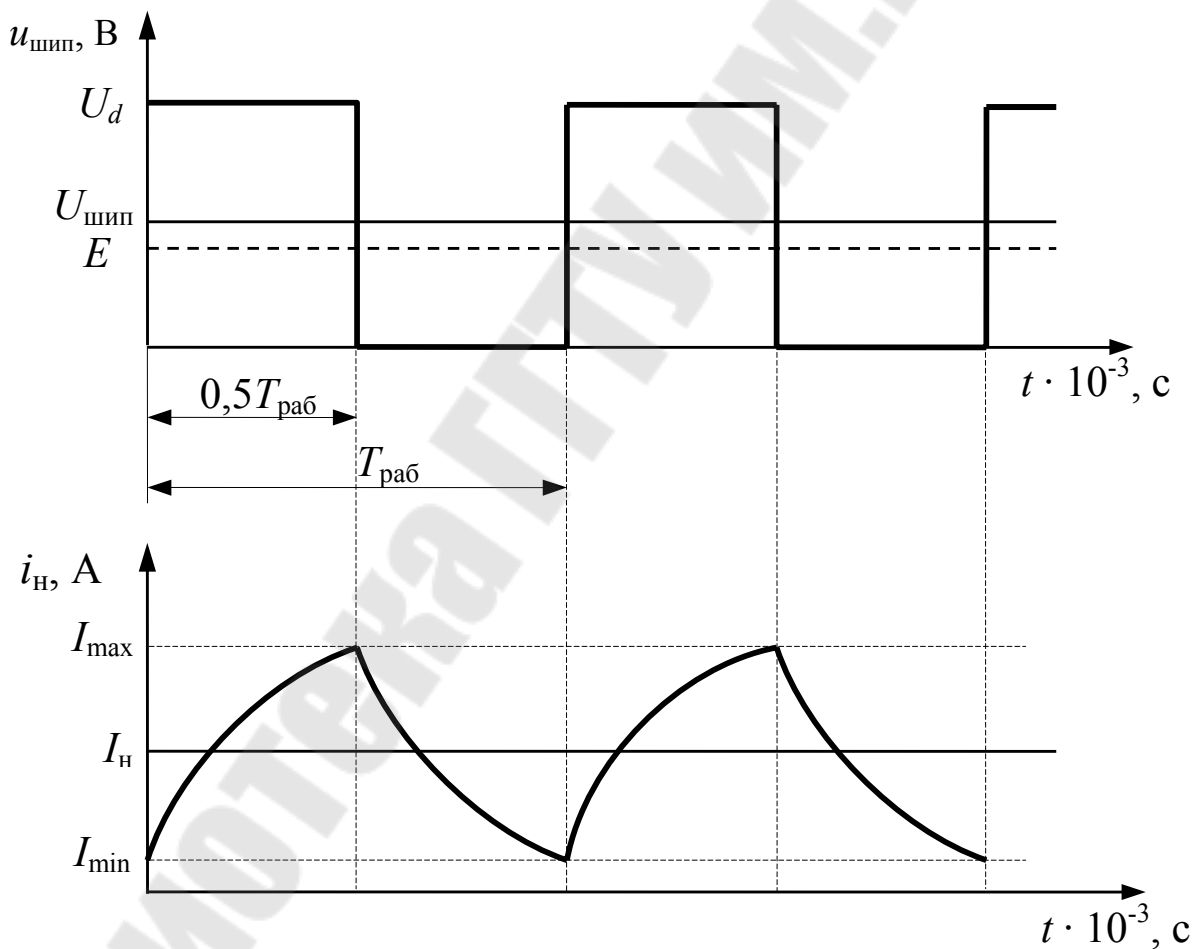


Рис.3.3. Временные диаграммы напряжения  $u_{\text{шип}}(t)$  и тока  $i_H(t)$  в режиме непрерывного тока

По результатам расчетов строятся временные диаграммы  $u_{\text{шип}}(t)$  и  $i_{\text{н}}(t)$  с указанием численных значений переменных по осям  $X$  и  $Y$  (рис. 3.3).

3.6.2. Расчет пульсаций тока в нагрузке в режиме прерывистого тока и скважности  $\gamma = 0,5$

Расчет пульсаций тока производится для значения ЭДС, равного

$$E = \frac{U_d + E_{\text{гр}}}{2}, \quad (3.40)$$

где  $E_{\text{гр}}$  – граничное значение ЭДС при  $\gamma = 0,5$ .

Максимальное значение тока в нагрузке в режиме прерывистого тока [2]:

$$I_{\text{н.макс.пр}} = \frac{U_d - E}{R_{\text{н}}} \cdot (1 - b_1^{-1}). \quad (3.41)$$

Очевидно, что минимальное значение тока в нагрузке  $I_{\text{н.минпр}}$  в этом режиме равно нулю, т. е.  $I_{\text{н.мин.пр}} = 0$ .

Длительность протекания тока в данном случае:

$$t_m = T_{\text{н}} \cdot \ln \left( e^{\frac{\gamma \cdot T_{\text{раб}}}{T_{\text{н}}}} \cdot \left( 1 + \frac{U_d - E}{E} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\gamma \cdot T_{\text{раб}}}{T_{\text{н}}}} \right) \right) \right). \quad (3.42)$$

Среднее значение тока в нагрузке в режиме прерывистого тока:

$$I_{\text{н.пр}} = \frac{U_d \cdot \gamma - E \cdot \frac{t_m}{T_{\text{раб}}}}{R_{\text{н}}}. \quad (3.43)$$

Пульсации тока в нагрузке:

$$\Delta I_{\text{н}} \% = \frac{I_{\text{макс.пр}} - I_{\text{мин.пр}}}{2 \cdot I_{\text{н.пр}}} \cdot 100\%. \quad (3.44)$$

По результатам расчетов строятся временные диаграммы  $u_{\text{шип}}(t)$  и  $i_{\text{н}}(t)$  (рис. 3.4)



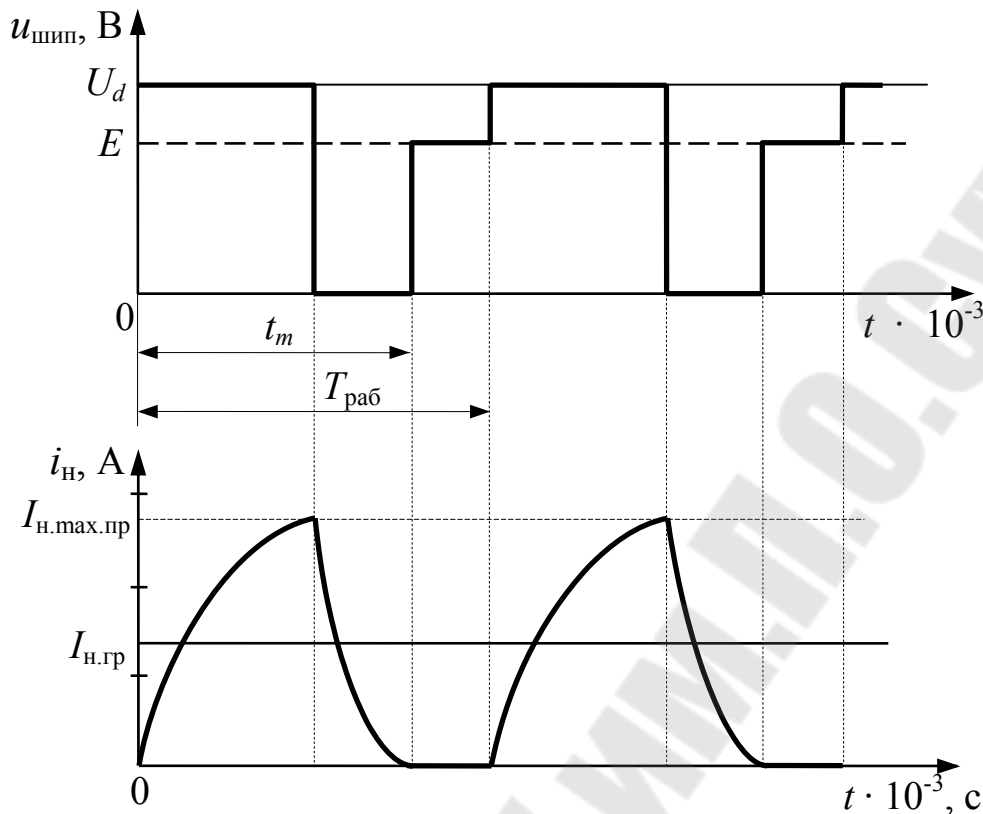


Рис. 3.4. Временные диаграммы напряжения  $u_{\text{шип}}(t)$  и тока  $i_n(t)$  в режиме прерывистого тока

### 3.7. Расчет и построение электромеханических (скоростных) и механических характеристик ДПТ при $\gamma = 0,25$ ; $\gamma = 0,5$ ; $\gamma = 0,75$ ; $\gamma = 0,92$

#### 3.7.1. Расчет и построение скоростных характеристик

Скоростная характеристика ДПТ (зависимость угловой скорости  $\omega$  от тока нагрузки  $I_n$ ) описывается уравнением [5], [6]

$$\omega = \frac{U_{\text{шип}}}{K_E \cdot \Phi} - \frac{I_n \cdot R_n}{K_E \cdot \Phi}, \quad (3.45)$$

$$\text{где } K_E \cdot \Phi = \frac{U_{\text{ном}} - I_{\text{ном}} \cdot R_n}{\omega_{\text{ном}}}, \quad \omega_{\text{ном}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ном}}}{30}. \quad (3.46)$$

Подставляя в уравнение значения напряжения  $U_{\text{шип}}$  и тока  $I_n$  для различных режимов работы ШИП и различных значений скважности  $\gamma$  (в соответствии с п. 3.5), рассчитываются значения угловой скорости и строятся скоростные характеристики ДПТ (рис. 3.5).

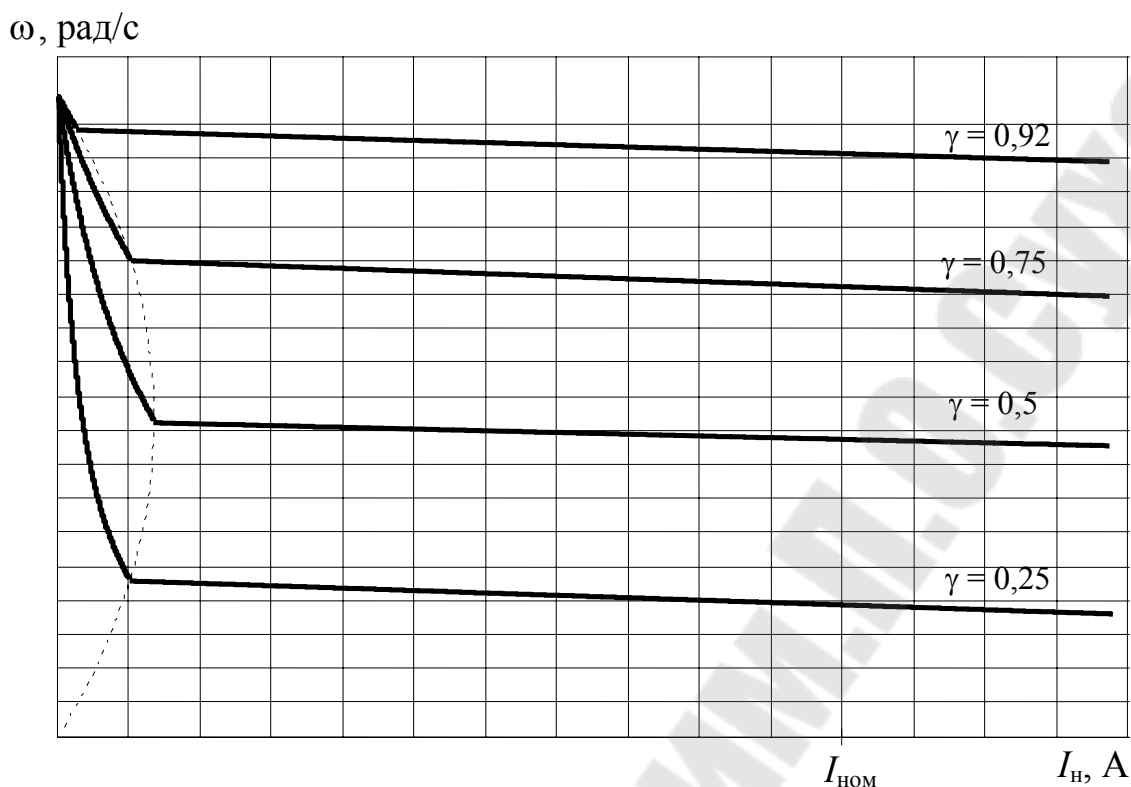


Рис.3.5. Вид скоростных характеристик ДПТ

### 3.7.2. Расчет и построение механических характеристик

Механическая характеристика представляет зависимость угловой скорости  $\omega$  от момента нагрузки  $M_n$  на валу двигателя.

Выражение для механической характеристики ДПТ имеет вид [5], [6]:

$$\omega = \frac{U_{шип}}{K_E \cdot \Phi} - \frac{M_n \cdot R_n}{(K_E \cdot \Phi)^2}. \quad (3.47)$$

Момент нагрузки и ток нагрузки (ток в якоре двигателя) связаны соотношением

$$M_n = K_E \cdot \Phi \cdot I_n. \quad (3.48)$$

Подставляя в данные выражения значения напряжения  $U_{шип}$  и тока  $I_n$  для различных режимов работы ШИП (в соответствии с п. 3.5) и различных значений скважности  $\gamma$ , рассчитываются значения угловой скорости и момента и строятся механические характеристики ДПТ (рис. 3.6).

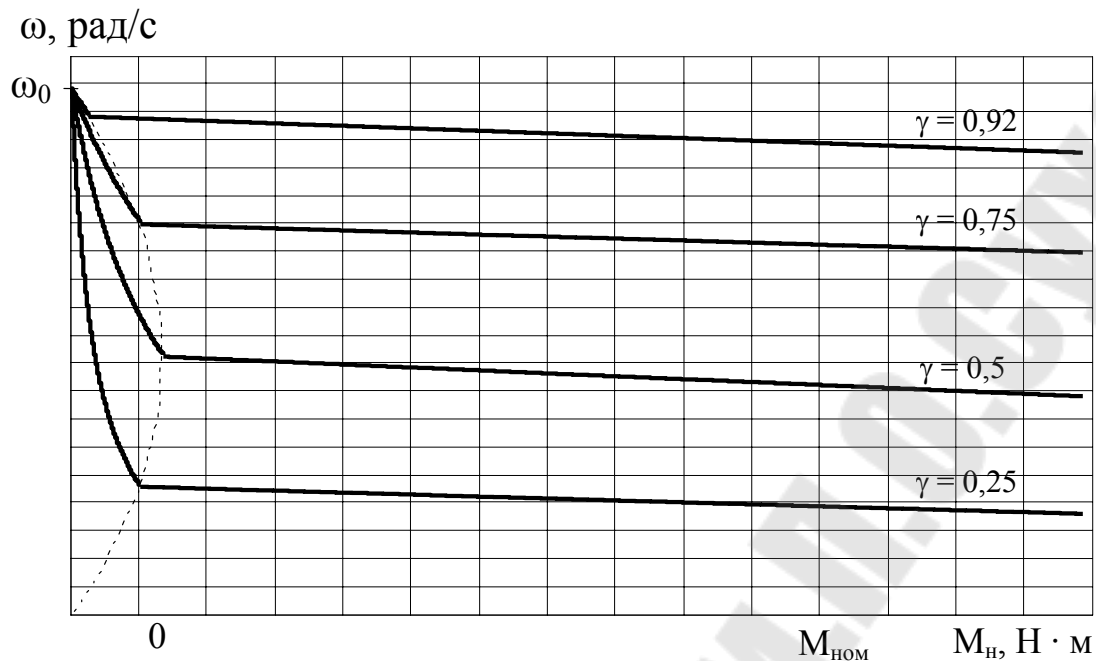


Рис. 3.6. Вид механических характеристик ДПТ

### 3.8. Построение временных диаграмм напряжений и токов

Временные диаграммы напряжений и токов, отражающие работу узла искусственной коммутации, строятся после расчета значений напряжений и токов в элементах схемы ШИП при скважности работы управляемого ключа  $\gamma = 0,5$  (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Значения напряжений и токов в элементах схемы ШИП при  $\gamma = 0,5$

№ п/п	Участок	Параметр	$t_0-t_1$	$t_1-t_2$	$t_2-t_3$	$t_3-t_4$	$t_4-t_5$
1		Значение $t$ в начале и в конце участка, $10^{-3}$ , с					
2		Длительность участка, мс					
3	Ток в нагрузке $i_n$ , А	Значение $i_n$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения тока $i_n$					
4	Ток в конденсаторе $C_k$ $i_{Ck}$ , А	Значение $i_{Ck}$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения тока $i_{Ck}$					
5	Ток в тиристоре $V_{S1}$ $i_{VS1}$ , А	Значение $i_{VS1}$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения тока $i_{VS1}$					

№ п/п	Участок		$t_0-t_1$	$t_1-t_2$	$t_2-t_3$	$t_3-t_4$	$t_4-t_5$
			Параметр				
6	Ток в диоде $VD_0$ $i_{VD0}$ , А	Значение $i_{VD0}$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения тока $i_{VD0}$					
7	Ток в тиристоре $VS_2$ $i_{VS_2}$ , А	Значение $i_{VS_2}$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения тока $i_{VS_2}$					
8	Ток в диоде $VD_1$ $i_{VD_1}$ , А	Значение $i_{VD_1}$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения тока $i_{VD_1}$					
9	Ток в индуктивности $L_k$ $i_{Lk}$ , А	Значение $i_{Lk}$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения тока $i_{Lk}$					
10	Напряжение на нагрузке $u_H$ , В	Значение $u_H$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения напряжения $u_H$					
11	Напряжение на конденсаторе $C_k$ $u_{Ck}$ , В	Значение $u_{Ck}$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения напряжения $u_{Ck}$					
12	Напряжение на тиристоре $VS_1$ $u_{VS_1}$ , В	Значение $u_{VS_1}$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения напряжения $u_{VS_1}$					
13	Напряжение на тиристоре $VS_2$ $u_{VS_2}$ , В	Значение $u_{VS_2}$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения напряжения $u_{VS_2}$					
14	Напряжение на диоде $VD_1$ $u_{VD_1}$ , В	Значение $u_{VD_1}$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения напряжения $u_{VD_1}$					
15	Напряжение на индуктивности $L_k$ $u_{Lk}$ , В	Значение $u_{Lk}$ в начале, середине и конце участка					
		Характер изменения $u_{Lk}$					

Период работы управляемого ключа можно разделить на пять интервалов  $t_0-t_1$ ,  $t_1-t_2$ ,  $t_2-t_3$ ,  $t_3-t_4$ ,  $t_4-t_5$  (рис. 3.7), на которых происходят изменения состояния элементов схемы (открытие или закрытие тиристорov, перезаряд конденсатора и т. д.). Рассмотрим более подробно

процессы, происходящие на каждом интервале в режиме непрерывного тока. Падением напряжения на открытых тиристорах и диодах будем пренебрегать. Пусть конденсатор  $C_k$  был предварительно заряжен до напряжения  $U_{Ck}(0)$ . В момент времени  $t = t_0$  подается отпирающий импульс  $U_{\text{уп.}VS1}$  на рабочий тиристор  $VS1$  и он открывается. Конденсатор  $C_k$  начинает перезаряжаться по контуру  $VS1-VD1-L_k$ . Ток в контуре определяется выражением

$$i_{Ck} = I_{Ck.\text{max}} \sin \omega_0 t, \quad (3.49)$$

где  $I_{Ck.\text{max}} = \frac{U_{Ck}(0)}{Z_k}$  – амплитуда тока перезаряда конденсатора;

$Z_k = \sqrt{\frac{L_k}{C_k}}$  – характеристическое сопротивление контура  $L_k C_k$ ;

$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_k C_k}}$  – частота собственных колебаний контура  $L_k C_k$ .

Перезаряд продлится полпериода собственных колебаний и закончится за время  $t_1$ :

$$t_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{2\pi}{\omega_0} = \pi \sqrt{L_k C_k}. \quad (3.50)$$

В момент времени  $t_1$  напряжение на конденсаторе станет равным  $U_{Ck}(t_1) = -U_{Ck}(0)$  и это напряжение сохраняется, поскольку диод  $VD1$  будет закрыт обратным напряжением.

При подаче открывающего импульса  $U_{\text{уп.}VS2}$  в момент времени  $t_2 = \gamma \cdot T_{\text{раб}}$  на тиристор  $VS2$  он открывается. К тиристорам  $VS1$  и  $VS2$  в начальный момент прикладывается обратное напряжение  $U_{Ck}(t_1)$ , и конденсатор  $C_k$  начинает перезаряжаться через  $VS2$  и  $VS1$ . Поскольку в данной цепи отсутствует индуктивность, то процесс спада тока в тиристоре  $VS1$  до нуля происходит за время включения тиристора  $VS2$  и его при анализе процессов можно не учитывать. После закрытия тиристора  $VS1$  перезаряд конденсатора происходит через нагрузку. Суммарная ЭДС, действующая в контуре перезаряда  $E = U_d - E_{\text{я}}$ , а напряжение, прикладываемое к нагрузке в момент времени  $t_2$ :

$$U_{\text{н}} = U_d + U_{Ck}(t_1). \quad (3.51)$$

За счет индуктивности нагрузки ( $L_{\text{я}}$ ) перезаряд конденсатора протекает линейно и заканчивается, когда напряжение на конденсаторе уравнивает суммарную ЭДС  $E = U_d - E_{\text{я}}$ . Произойдет это

в момент времени  $t_4$ . При этом конденсатор заряжается до исходного состояния, т. е.

$$U_{Cк}(t_4) = U_{Cк}(0) = -U_{Cк}(t_1) = E = U_d - E_я. \quad (3.52)$$

Тиристор  $VS1$  и конденсатор  $C_к$  на интервале времени  $t_2-t_4$  соединены параллельно. При этом на участке  $t_2-t_3$  напряжение, прикладываемое к тиристоры  $VS1$ , будет обратным:

$$t_3 - t_2 = C_к \frac{U_{Cк}(t_1)}{I_{н.маx}} = C_к \frac{U_d - E_я}{I_{н.маx}}, \quad (3.53)$$

где  $E_я$  – ЭДС якоря при  $\gamma = 0,5$ :

$$E_я = U_d \gamma - I_{ном} \cdot R_н = U_d \gamma - I_{ном} \cdot (R_я + R_{дп});$$

$I_{н.маx}$  – ток нагрузки в момент времени  $t_2$ , Определяется по выражению п. 3.6.1.

Длительность участка  $t_3-t_4$  равна длительности участка  $t_2-t_3$ . Момент  $t_5$  по времени соответствует периоду работы ключа ШИП  $T_{раб}$ .

Значение тока нагрузки в произвольный момент времени можно рассчитать по следующим выражениям:

– на интервале нарастания тока

$$i_н = \frac{(U_d - E) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_н}}\right)}{R_н} + I_{н.мин} e^{-\frac{t}{T_н}}; \quad (3.54)$$

– на интервале спада тока

$$i_н = -\frac{E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-\gamma T}{T_н}}\right)}{R_н} + I_{н.маx} e^{-\frac{t-\gamma T}{T_н}}. \quad (3.55)$$

В данных выражениях отсчет времени  $t$  производится от начала периода работы ключа (момент времени  $t_0$ ).

Значения напряжений и токов в других элементах схемы рассчитывается с использованием законов Кирхгофа. Примерный вид временных диаграмм напряжений и токов представлен на рис. 3.7. В контрольной работе при построении диаграмм необходимо указать значения переменных по осям  $X$  и  $Y$ . Более подробно о работе данного и других видов ШИП можно ознакомиться в [2], [3]. Здесь также приведены и другие схемы узлов искусственной коммутации.

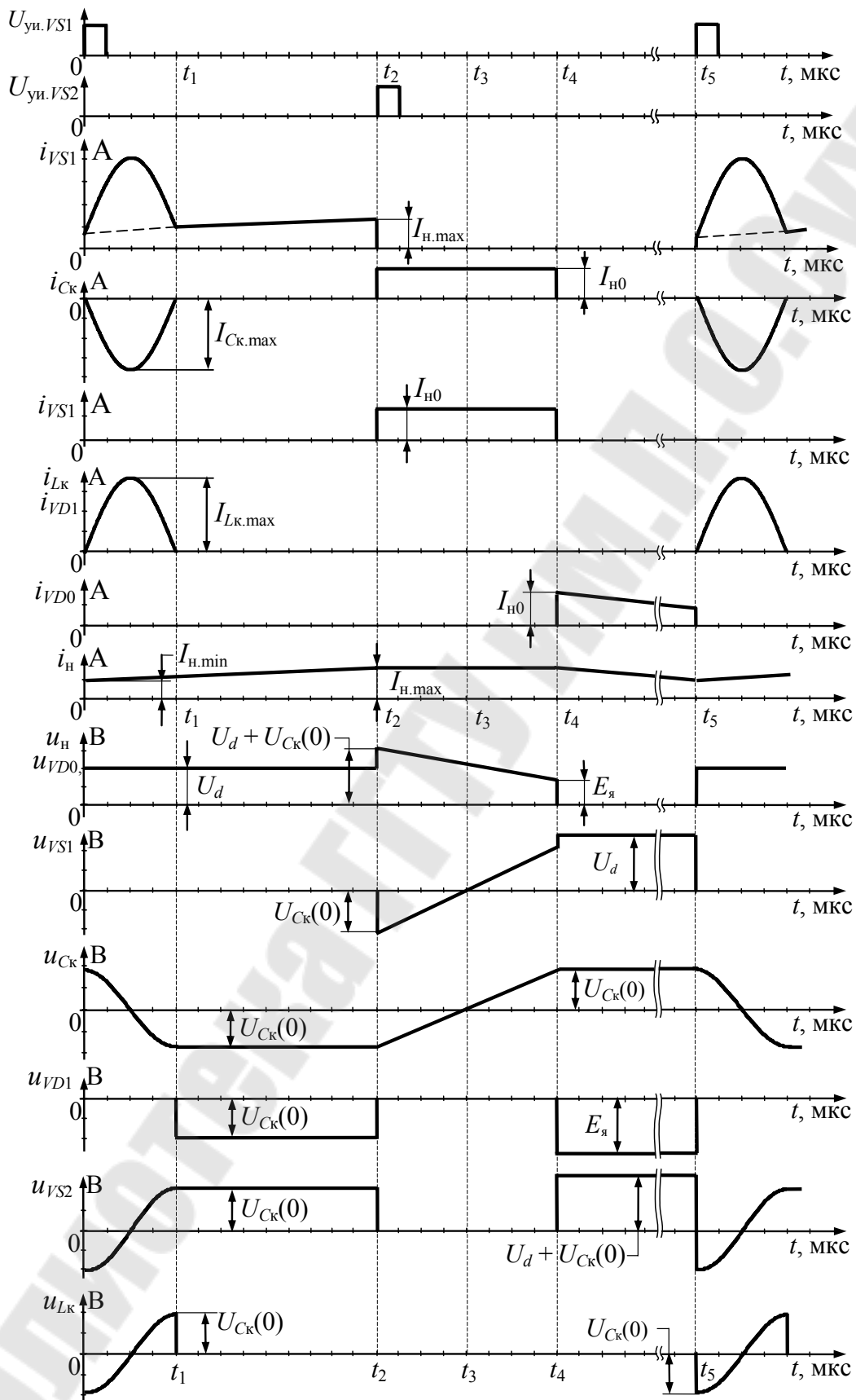


Рис. 3.7. Временные диаграммы работы узла искусственной коммутации ШИП

#### 4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

1. Изобразить схему и временные диаграммы напряжений и токов при активной и активно-индуктивной нагрузке с учетом и без учета коммутации вентилей в однофазном двухполупериодном неуправляемом выпрямителе со средней точкой. Описать работу схемы. Привести основные соотношения между напряжениями и токами.

2. Изобразить схему и временные диаграммы напряжений и токов при активной и активно-индуктивной нагрузках с учетом и без учета коммутации вентилей в однофазном двухполупериодном управляемом выпрямителе (ТП) со средней точкой. Описать работу схемы. Привести основные соотношения между напряжениями и токами.

3. Изобразить схему и временные диаграммы напряжений и токов при активной и активно-индуктивной нагрузке с учетом и без учета коммутации вентилей в однофазном мостовом неуправляемом выпрямителе. Описать работу схемы. Привести основные соотношения между напряжениями и токами.

4. Изобразить схему и временные диаграммы напряжений и токов при активной и активно-индуктивной нагрузке с учетом и без учета коммутации вентилей в однофазном мостовом управляемом выпрямителе. Описать работу схемы. Привести основные соотношения между напряжениями и токами.

5. Изобразить схему и временные диаграммы напряжений и токов при активной и активно-индуктивной нагрузке с учетом и без учета коммутации вентилей в трехфазном нулевом выпрямителе. Описать работу схемы. Привести основные соотношения между напряжениями и токами.

6. Изобразить схему и временные диаграммы напряжений и токов при активной и активно-индуктивной нагрузках с учетом и без учета коммутации вентилей в трехфазном мостовом выпрямителе. Описать работу схемы. Привести основные соотношения между напряжениями и токами.

7. Изобразить схему и временные диаграммы напряжений и токов при активной и активно-индуктивной нагрузках с учетом и без учета коммутации вентилей в трехфазном нулевом ТП. Описать работу схемы. Привести основные соотношения между напряжениями и токами.



8. Изобразить схему и временные диаграммы напряжений и токов при активной и активно-индуктивной нагрузках с учетом и без учета коммутации вентилей в трехфазном мостовом ТП. Описать работу схемы. Привести основные соотношения между напряжениями и токами.

9. Что такое типовая мощность трансформатора? Как рассчитывается мощность для различных схем ТП (однофазных, трехфазных, нулевых, мостовых, с уравнительным реактором) при активной и активно-индуктивной нагрузках?

10. Изобразить и пояснить временные диаграммы напряжений и токов однофазного мостового ТП при его работе на: а) активную; б) активно-индуктивную; в) активно-емкостную нагрузку.

11. Изобразить схему сдвоенного трехфазного выпрямителя с уравнительным реактором и пояснить принцип его работы.

12. Что такое внешняя характеристика выпрямителя? Уравнения и вид внешних характеристик при работе выпрямителя на активную, активно-индуктивную и активно-емкостную нагрузки.

13. Что такое инвертор? Типы инверторов. Какие ограничения накладываются на угол опережения для осуществления нормальной работы тиристорного преобразователя в режиме инвертирования. Что такое опрокидывание инвертора, ведомого сетью, и какие причины приводят к опрокидыванию?

14. Изобразить схему и временные диаграммы работы трехфазного нулевого инвертора, ведомого сетью. Пояснить работу схемы.

15. Изобразить схему и временные диаграммы работы трехфазного мостового инвертора, ведомого сетью. Пояснить принцип работы схемы.

16. Реверсивные тиристорные преобразователи. Схемы и принципы построения. Способы управления вентильными группами в реверсивных преобразователях.

17. КПД и коэффициент мощности тиристорных преобразователей. Активная, реактивная и полная мощности, потребляемые ТП. Что такое мощность искажений и чем она вызывается?

18. Пояснить причины возникновения потока вынужденного намагничивания в трехфазном выпрямителе со средней точкой.

19. Внешняя характеристика тиристорного преобразователя. Уравнение и вид внешней характеристики преобразователя в выпрямительном и инверторном режимах работы. Как влияет угол коммутации вентилей на вид характеристик?

20. Проанализировать особенности работы ТП в составе электропривода.

21. Что такое регулировочная характеристика управляемого выпрямителя? Как она описывается и какой имеет вид в зависимости от характера нагрузки ( $R$  или  $RL$ ).

22. В каких случаях появляются уравнивающие токи в реверсивных тиристорных преобразователях? Чем они вызываются, на каком уровне и чем они ограничиваются? Привести временные диаграммы уравнивающих напряжений и токов.

23. Назначение и принцип построения непосредственных преобразователей частоты (НПЧ) с естественной коммутацией. Изобразить схемы НПЧ. Пояснить принцип формирования кривой выходного напряжения НПЧ.

24. Преобразователи переменного напряжения (тиристорные регуляторы напряжения (ТРН)). Назначение и схемы однофазных тиристорных регуляторов переменного напряжения. Фазовые методы регулирования переменного напряжения.

25. Регулировочные характеристики и диаграммы работы однофазных тиристорных регуляторов переменного напряжения (ТРН) на активную и активно-индуктивную нагрузку.

26. Трехфазные тиристорные регуляторы переменного напряжения (ТРН). Схемы, особенности и диаграммы их работы.

27. Указать способы коммутации тиристоров. Схемы узлов искусственной коммутации вентиляей, их краткая характеристика.

28. Изобразить и пояснить схему и временные диаграммы токов и напряжений нереверсивного ШИП постоянного тока на полностью управляемых вентилях.

29. Что представляет собой реверсивный ШИП постоянного тока. Каковы способы управления реверсивных ШИП? Изобразить схему и с помощью временных диаграмм пояснить ее работу.

30. Классификация автономных инверторов. Каковы основные особенности автономных инверторов тока (АИТ), автономных инверторов напряжения (АИН) и резонансных инверторов?

31. Изобразить и пояснить временные диаграммы токов и напряжений однофазного автономного инвертора тока.

32. Изобразить и пояснить временные диаграммы напряжений и токов трехфазного параллельного и последовательного инвертора тока.

33. Изобразить временные диаграммы токов и напряжений однофазного мостового АИН на полностью управляемых вентилях и поясните их.

34. Каковы способы регулирования выходного напряжения АИ? Приведите алгоритмы получения одно- и двуполярных кривых выходного напряжения в однофазном АИН.

35. Какие вы знаете виды широтно-импульсной модуляции выходного напряжения АИН? Способы улучшения качества выходного напряжения АИН.

36. Привести временные диаграммы токов и напряжений трехфазного мостового инвертора на полностью управляемых вентилях при угле проводимости тиристоров  $180^\circ$ . Как они зависят от коэффициента мощности нагрузки?

37. Привести временные диаграммы токов и напряжений трехфазного мостового инвертора на полностью управляемых вентилях при угле проводимости тиристоров  $120^\circ$ . Как они зависят от коэффициента мощности нагрузки?

38. Изобразить схему трехфазного мостового АИН на тиристорах с межвентильной коммутацией. Объясните принцип ее работы.

39. Изобразить схему трехфазного мостового АИН на тиристорах с пофазной коммутацией. Объясните принцип ее работы.

40. Назначение и основные требования, предъявляемые к системам управления полупроводниковыми преобразователями.

41. Системы импульсно-фазового управления (СИФУ) преобразователями с естественной коммутацией. Функциональная схема горизонтальной системы управления и диаграммы ее работы.

42. Функциональная схема вертикальной синхронной системы управления. Диаграммы работы такой СИФУ.

43. Асинхронная система импульсно-фазового управления. Функциональная схема и принцип ее работы.

44. Цифровая система импульсно-фазового управления. Функциональная схема и принцип ее работы.

45. Привести схему нереверсивного тиристорного ШИП с двухступенчатой параллельной коммутацией, в которой перезаряд коммутирующего конденсатора осуществляется током нагрузки, и пояснить принцип ее работы.

46. Изобразить схемы АИН на тиристорах с индивидуальной, групповой, общей и межфазной коммутацией. Объяснить принцип их работы.

47. Привести схему нереверсивного тиристорного ШИП с двухступенчатой параллельной коммутацией, в которой перезаряд коммутирующего конденсатора осуществляется током нагрузки, и пояснить принцип ее работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. / под общ. ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – Т. 1. – 456 с. : ил.
2. Руденко, В. С. Основы преобразовательной техники : учеб. для вузов / В. С. Руденко, В. И. Сенько, И. М. Чиженко. – Москва : Высш. шк., 1980. – 424 с. : ил.
3. Терехов, В. М. Элементы автоматизированного электропривода : учеб. для вузов. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 224 с.
4. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника : учеб. для вузов / Ю. С. Забродин. – Москва : Высш. шк., 1982. – 496 с. : ил.
5. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В. А. Елисеева и А. В. Шинянского. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 616 с. : ил.
6. Справочник по проектированию электропривода и систем управления технологическими процессами / под ред. В. И. Круповича, Ю. Г. Барыбина, М. Л. Самовера. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 486 с. : ил.
7. Тиристоры : справ. / О. П. Григорьев [и др.]. – Москва : Радио и связь, 1990. – 272 с. : ил.
8. Диоды : справ. / О. П. Григорьев [и др.]. – Москва : Радио и связь, 1990. – 336 с. : ил.
9. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА : справ. / Н. Н. Акимов [и др.]. – Минск : Беларусь, 1994. – 591 с. : ил.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П.1.1

**Основные параметры двигателей постоянного тока [1]**

Номер варианта	Тип двигателя	$P_{ном},$ кВт	$U_{ном},$ В	$\eta_{ном},$ %	$n_{ном},$ об/мин	$R_{я},$ Ом	$R_{дп},$ Ом	$L_{я},$ мГн	Номер теорети- ческого вопроса
1	2ПН132М	4	220	79	1500	0,564	0,336	11	15
2	2ПН132L	8,5	440	84,5	2240	0,67	0,445	14	1
3	2ПН160М	13	220	85,5	2120	0,081	0,056	2,2	16
4	2ПН160L	16	220	86,5	2360	0,044	0,031	1,4	2
5	2ПН180М	26	440	89	2240	0,15	0,092	4,9	17
6	2ПН180L	42	440	90,5	3000	0,065	0,044	2,2	3
7	2ПН200L	75	440	91,5	3150	0,031	0,02	1,2	18
8	2ПН132М	7,0	220	83	2240	0,226	0,166	4,6	4
9	2ПН132L	5,5	220	80,5	1500	0,322	0,27	7	19
10	2ПН132М	10,5	440	85	3000	0,564	0,336	11	5
11	2ПН132L	14	440	86,5	3150	0,322	0,27	7	20
12	2ПН160М	18	220	87	3150	0,037	0,024	1	6
13	2ПН160L	11	440	85,5	1600	0,385	0,364	12,5	21
14	2ПН180М	15	220	85,5	1500	0,084	0,056	2,7	7
15	2ПН180L	18,5	220	87	1500	0,065	0,044	2,2	22
16	2ПН180М	37	440	79,5	3150	0,084	0,056	2,7	8
17	2ПН180L	30	440	89	2200	0,136	0,084	4,4	23
18	2ПН200М	36	220	88,5	2200	0,026	0,016	0,9	9
19	2ПН200L	53	440	90,5	2360	0,055	0,037	2,1	24
20	2ПН200М	60	440	90,5	3150	0,047	0,029	1,6	10
21	2ПН200М	22	220	87,5	1500	0,047	0,029	1,6	25
22	2ПБ200L	6,0	220	84,5	800	0,22	0,15	9,4	11
23	2ПФ180L	10	440	78	750	0,99	0,644	32	26
24	2ПО180L	20	220	90	3000	0,025	0,018	0,92	12
25	2ПБ200L	15	440	90	2360	0,125	0,08	5,3	27
26	2ПО160М	8,0	220	86,5	2240	0,145	0,101	4,6	13
27	2ПН160L	4,0	440	78,5	750	2,02	1,8	63	28
28	2ПФ132М	7,5	220	85	3000	0,14	0,094	2,85	14
29	2ПБ132L	5,3	220	85,5	3000	0,167	0,124	4	29
30	2ПО132L	6,7	440	86,5	3000	0,518	0,323	11,6	41
31	2ПО180М	17	440	90	3000	0,15	0,092	5,6	30
32	2ПФ180М	26	220	89	3150	0,022	0,015	0,68	40

Окончание табл. П.1.1

Номер варианта	Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$ , кВт	$U_{\text{ном}}$ , В	$\eta_{\text{ном}}$ , %	$n_{\text{ном}}$ , об/мин	$R_{\text{я}}$ , Ом	$R_{\text{дп}}$ , Ом	$L_{\text{я}}$ , мГн	Номер теоретического вопроса
33	2ПН200М	13	220	85	1120	0,106	0,061	3,6	31
34	2ПН200L	30	440	89,5	1600	0,185	0,08	4,6	39
35	2ПБ132L	5,3	440	85,5	3150	0,562	0,407	13,6	32
36	2ПФ180L	25	220	89	2120	0,042	0,03	0,81	38
37	2ПФ180М	12	220	82	1060	0,15	0,092	4,9	33
38	2ПН200М	8,5	220	82	800	0,188	0,116	6,4	37
39	2ПН200L	16	440	86	1000	0,343	0,224	12,9	34
40	2ПБ160L	8,1	220	86,5	3350	0,044	0,031	1,6	36

## Содержание

1. Общие требования к выполнению контрольной работы .....	3
2. Задание к контрольной работе .....	4
3. Рекомендации по выполнению контрольной работы.....	5
3.1. Назначение и схема нереверсивного ШИП.....	5
3.2. Определение значения напряжения источника питания .....	6
3.3. Расчет параметров узла принудительной параллельной двухступенчатой коммутации и выбор его элементов.....	7
3.4. Диапазон регулирования напряжения на нагрузке .....	12
3.5. Построение внешних характеристик .....	12
3.6. Расчет пульсаций тока в нагрузке.....	14
3.7. Расчет и построение электромеханических (скоростных) и механических характеристик ДПТ при $\gamma = 0,25$ ; $\gamma = 0,5$ ; $\gamma = 0,75$ ; $\gamma = 0,92$ .....	17
3.8. Построение временных диаграмм напряжений и токов .....	19
4. Теоретические вопросы к контрольной работе .....	24
Литература .....	28
Приложение 1 .....	29

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Погуляев Михаил Никифорович**  
**Логвин Владимир Васильевич**  
**Захаренко Владимир Сергеевич**

## **СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

**Методические указания  
к контрольным работам по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
заочной формы обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

Редактор *Н. В. Гладкова*  
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 25.02.09.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,84.

Изд. № 93.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Издательский центр учреждения образования  
«Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.