

**ОМСКИЙ ИНСТИТУТ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА – ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ВОДНОГО
ТРАНСПОРТА»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к практическим работам
дисциплины «МДК.05.01.Электронная и преобразовательная техника»
26.02.06 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств
автоматики»**

Омск 2018

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1. ПАСПОРТ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ	4
2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ (САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ)	5
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ	8

ПАСПОРТ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «МДК.05.01.ЭЛЕКТРОННАЯ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА»

1.1. Область применения методических указаний

Методические указания по организации практической работы дисциплины является частью примерной основной профессиональной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО **26.02.06**

«Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики»

1.2. Цели и задачи методических указаний по организации самостоятельной работы обучающихся – требования к результатам освоения дисциплины:

Целью самостоятельной работы обучающихся, по дисциплине «Электронная и преобразовательная техника» является формирование профессиональной компетентности будущего техника-электромеханика:

уметь:

- работать с нормативными документами и справочной литературой;
- выбирать электрооборудование, определять оптимальные варианты его использования;
- составлять планы размещения электрического и электромеханического оборудования;
- читать принципиальные, электрические и монтажные схемы;
- анализировать неисправности электрического и электромеханического оборудования, бытовых машин и приборов;

знать:

- перспективы развития электротехнической промышленности;
- методы проектирования электрооборудования;
- классификацию, физические принципы работы, конструкцию, технические характеристики электрического и электромеханического оборудования;

– положения Правил устройства электроустановок (ПУЭ), Правил техники безопасности (ПТБ), Правил технической эксплуатации электроустановок (ПТЭ);

– классификацию, конструкции, принцип действия, технические характеристики электрических машин и механизмов.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Результатом освоения общепрофессиональной дисциплины является овладение обучающимися видом профессиональной деятельности в области **электротехники и электроники**, в том числе профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями:

Код	Наименование результата обучения
ПК 1.	Обеспечивать оптимальный режим работы электрооборудования и средств автоматики с учётом их функционального назначения, технических характеристик и правил эксплуатации
ПК 2.	Измерять и настраивать электрические цепи и электронные узлы
ПК 3.	Выполнять работы по регламентному обслуживанию электрооборудования и средств автоматики
ПК 4.	Выполнять диагностирование, техническое обслуживание и ремонт судового электрооборудования и средств автоматики
ПК 5.	Осуществлять эксплуатацию судовых технических средств, в соответствии с установленными правилами и процедурами, обеспечивающими безопасность операций и отсутствие загрязнения окружающей среды
ОК 1.	Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес

ОК 2.	Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество
ОК 3.	Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность
ОК 4.	Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития
ОК 5.	Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности
ОК 6.	Работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями
ОК 7.	Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий
ОК 8.	Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации
ОК 9.	Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности
ОК 10.	Владеть письменной и устной коммуникацией на государственном и / или иностранном (английском) языке

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА С
(П и ПИ) – РЕГУЛЯТОРАМИ СКОРОСТИ И ОДНОФАЗНЫМ
ПОЛУУПРАВЛЯЕМЫМ ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ.

Цель работы: изучение принципа действия, статических и динамических свойств тиристорного электропривода с П и ПИ – регуляторами скорости.

1. ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ.

Структурная схема электропривода приведена на рис. 1.

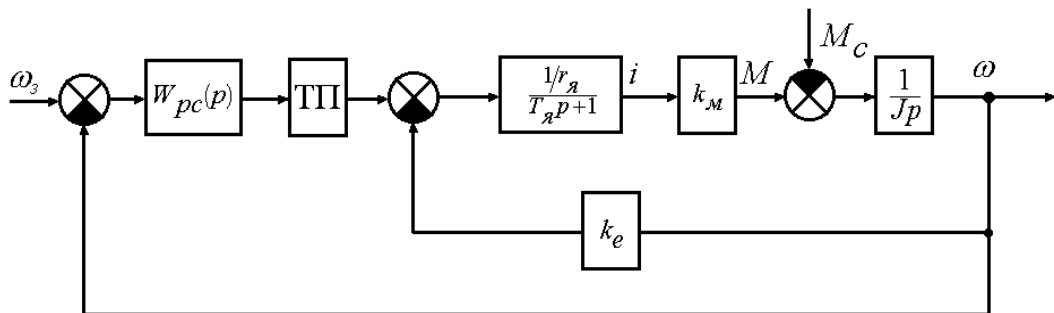


Рис. 1.

Здесь $r_я, i$ - сопротивление и ток якорной цепи;

ω - угловая скорость вала двигателя;

M_c - момент нагрузки;

$T_я$ - электромагнитная постоянная времени;

$k_e = k_m$ - конструктивный коэффициент;

ω_3 - заданная скорость двигателя;

$W_{pc}(p)$ - передаточная функция регулятора скорости;

$W_{pc}(p) = k_{pc}$ - в случае П – регулятора;

$$W_{pc}(p) = k_{pc} + \frac{k_u}{p} = \frac{k_u \left(\frac{k_{pc}}{k_u} + 1 \right)}{p} = \frac{k_u (\tau p + 1)}{p} \quad \text{- в случае ПИ –}$$

регулятора;

ТП – тиристорный преобразователь.

Тиристорные преобразователи нашли широкое применение в регулируемых электроприводах. Они обладают рядом достоинств:

- 1) высокий КПД, обусловленный незначительным падением напряжения на тиристоре (менее 1 В);
- 2) незначительная инерционность, обусловленная неуправляемостью тиристорных в течение интервала проводимости (10 – 20 мс);
- 3) высокая надежность при использовании быстродействующей защиты.

К недостаткам тиристорных преобразователей следует отнести:

- 1) значительные пульсации на выходе ТП порождает проблемы нагрева и коммутации; для улучшения кривой тока, как правило, требуется установка сглаживающих реакторов;
- 2) низкий коэффициент мощности при глубоком регулировании напряжения;
- 3) искажения питающего напряжения, вносимые работой преобразователя;
- 4) повышенный уровень излучаемых радиопомех.

Структурная схема ТП приведена на рис. 2.

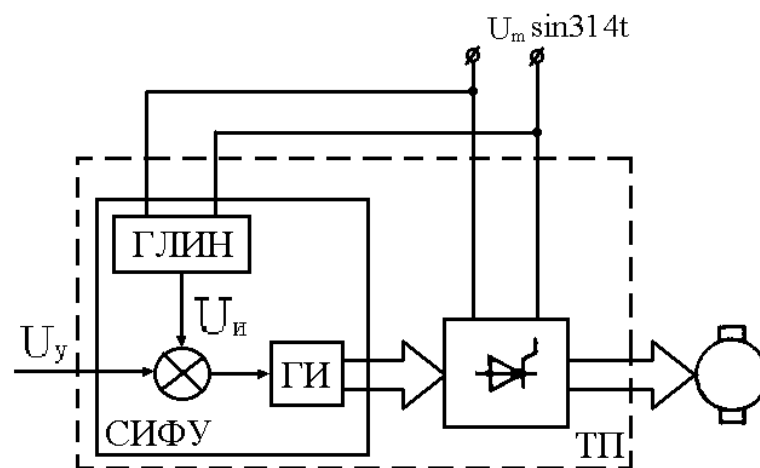


Рис. 2.

Она состоит из системы импульсно-фазового управления (СИФУ) и силовой части. Система импульсно-фазового управления состоит из элемента сравнения, генератора линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН), генератора импульсов (ГИ). Назначение СИФУ – преобразование сигнала управления U_y в угол управления α , отсчитываемого от момента естественного отпирания тиристорных.

Силовая часть однофазного полупроводящего тиристорного преобразователя может быть выполнена по двум схемам.

а) С нулевой точкой трансформатора – рис 3.

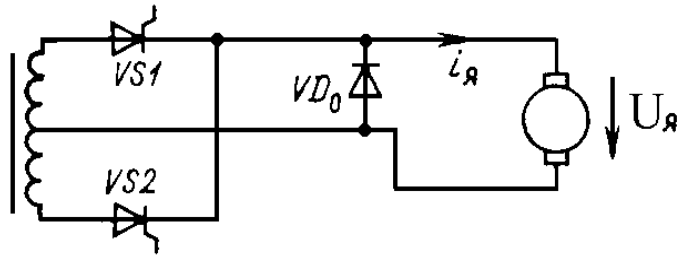


Рис. 3.

б) Мостовая схема с неполным числом вентилей (однофазная несимметричная мостовая) – рис. 4.

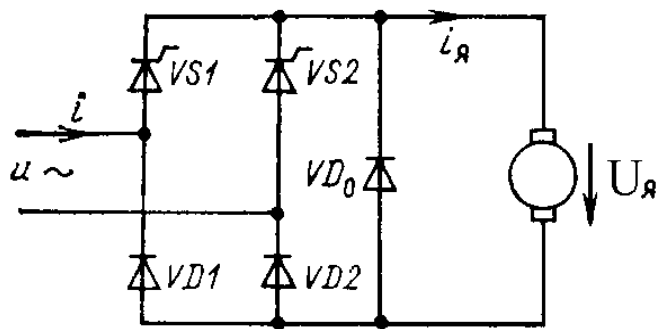


Рис. 4.

Временные диаграммы работы ТП в режиме непрерывных токов приведены на рис. 5.

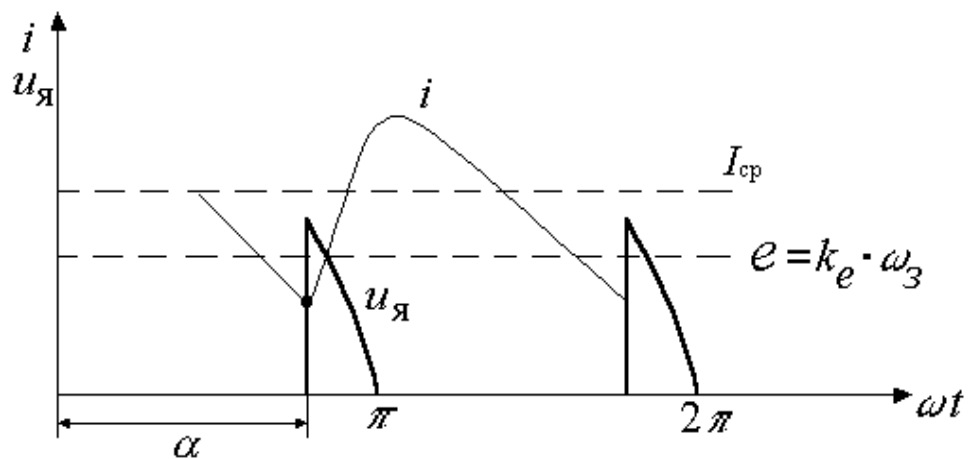


Рис. 5.

Среднее значение выходного напряжения за период (рис. 5.)

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{я} dt = \frac{U_m}{\pi} (1 + \cos \alpha), \quad (1)$$

тогда при $\alpha = 0$ величина $U_{cp} = \frac{2 \cdot U_m}{\pi}$,

а при $\alpha = \pi$ $U_{cp} = 0$.

Отсюда видно, что для осуществления пропорциональной зависимости между напряжением управления U_y и величиной U_{cp} необходимо обеспечить:

при $U_y = 0$ угол управления α должен быть $\alpha = \pi$,

а при $U_y = U_{y \max}$ величина $\alpha = 0$.

Такое соотношение между U_y и α можно выполнить применением ГЛИН с формой выходного напряжения U_u , показанной на рис. 6.

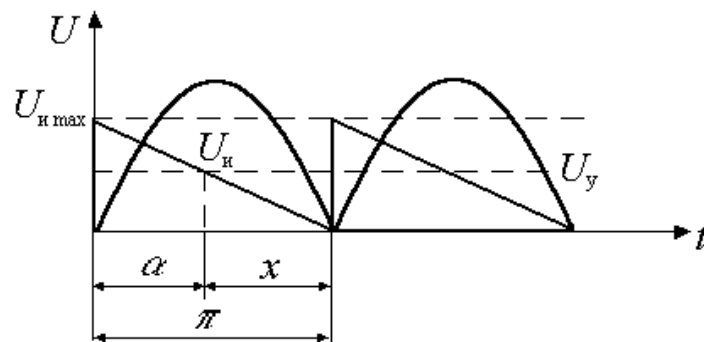


Рис. 6.

Угол управления α формируется в момент равенства напряжения управления U_y и напряжения ГЛИН U_u .

Определим связь между углом управления α и напряжением управления U_y .

$$U_{u \max} = k \cdot \pi \Rightarrow k = \frac{U_{u \max}}{\pi}.$$

Формирование импульса напряжения, открывающего тиристор, происходит, когда:

$$U_y = U_u = k \cdot (\pi - \alpha) = \frac{U_{u \max}}{\pi} (\pi - \alpha) = U_{u \max} - \frac{U_{u \max}}{\pi} \cdot \alpha .$$

Отсюда:

$$\frac{U_{u \max}}{\pi} \cdot \alpha = U_{u \max} - U_y$$

и

$$\alpha = \pi - \frac{\pi}{U_{u \max}} \cdot U_y .$$

Отсюда можем определить связь между средним значением за период выходного напряжением ТП U_{cp} и выходным напряжением управления U_y :

$$U_{cp} = \frac{U_m}{\pi} \cdot \left[1 + \cos \left(\pi - \frac{\pi}{U_{u \max}} \cdot U_y \right) \right] . \quad (2)$$

Зависимость $U_{cp} = f(U_y)$ приведена на рис.7.

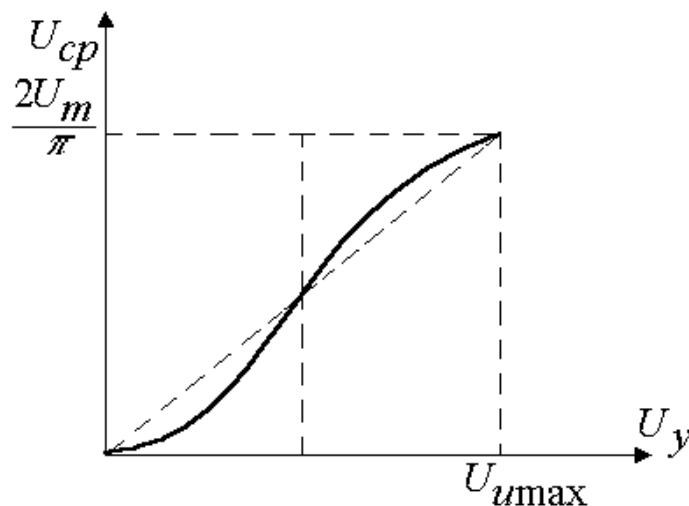


Рис. 7.

Возможна грубая линеаризация нелинейной характеристики. В этом случае принимают:

$$U_{cp} = k_{ТП} \cdot U_y,$$

где

$$k_{ТП} = \frac{2 \cdot U_m}{\pi \cdot U_{u \max}} \quad -$$

(3)

- коэффициент передачи ТП.

Найдем амплитуду выходного напряжения вторичной обмотки трансформатора, необходимую для обеспечения вращения вала двигателя в заданном диапазоне скорости и момента сопротивления.

При работе двигателя совместно с тиристорным преобразователем на интервале проводимости тиристорov напряжение на якоре двигателя:

$$U_y = U_m \cdot \sin(314t + \alpha).$$

При исследовании установившегося периодического режима ТП принимают, что в течение периода питающего напряжения (20 мс) скорость двигателя существенно не изменяется и величина противоЭДС:

$$e = k_e \cdot \omega = const = k_e \cdot \omega_3,$$

тогда уравнения, описывающие двигатель постоянного тока независимого возбуждения, принимают вид:

$$\begin{cases} U_y = r_y \cdot i + L_y \frac{di_y}{dt} + k_e \cdot \omega_3 \\ 0 = k_m \cdot I_{cp} - M_c \end{cases}$$

где $I_{cp} = \frac{M_c}{k_m}$ - среднее значение тока якоря за период.

Необходимо учитывать, что тиристоры ТП могут открыться, только если величина напряжения сети $U_y(\alpha)$ больше противоЭДС двигателя

$$U_y(\alpha) > k_e \cdot \omega_3,$$

или

$$U_m \cdot \sin \alpha > k_e \cdot \omega_3.$$

(4)

Электропривод должен обеспечить вращение вала двигателя в заданном диапазоне скорости

$$\omega_3 = (\omega_{\min} \dots \omega_{\max}),$$

и момента сопротивления

$$M_c = (M_{c \min} \dots M_{c \max}).$$

Очевидно, что это выполняется, если среднее напряжение на якоре двигателя

$$U_{cp \max} = r_y \cdot \frac{M_{c \max}}{k_m} + k_e \cdot \omega_{\max}. \quad (5)$$

С другой стороны

$$U_{cp \max} = \frac{U_m}{\pi} \cdot (1 + \cos \alpha_{\min}), \quad (6)$$

где α_{\min} - минимальный угол управления.

Отсюда:

$$\frac{U_m}{\pi} \cdot (1 + \cos \alpha_{\min}) = r_y \cdot \frac{M_{c \max}}{k_m} + k_e \cdot \omega_{\max}. \quad (7)$$

Задаваясь каким-либо минимальным углом управления (например $\alpha_{\min} = 10^0$), из (7) можно получить амплитуду выходного напряжения вторичной обмотки трансформатора.

$$U_m = \frac{\left(r_y \cdot \frac{M_{c \max}}{k_m} + k_e \cdot \omega_{3 \max} \right) \cdot \pi}{1 + \cos \alpha_{\min}}. \quad (8)$$

Результат расчета U_m по (8) зависит от интуиции проектировщика (удачного выбора α_{\min}). Полученное значение U_m необходимо проверить на выполнение условия (6).

Возможен расчет U_m без предварительной оценки α_{\min} . Из (6):

$$\sin \alpha_{\min} = \frac{k_e \cdot \omega_{z \max}}{U_m},$$

а из (6):

$$U_{cp \max} = \frac{U_m}{\pi} + \frac{U_m}{\pi} \cdot \cos \alpha_{\min}.$$

Отсюда

$$\cos \alpha_{\min} = \frac{U_{cp \max} \cdot \pi}{U_m} - 1.$$

Учитывая, что $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$, получим

$$\left(\frac{k_e \cdot \omega_{z \max}}{U_m} \right)^2 + \left(\frac{U_{cp \max} \cdot \pi}{U_m} - 1 \right)^2 = 1,$$

тогда

$$\left(\frac{k_e \cdot \omega_{z \max}}{U_m} \right)^2 + \left(\frac{U_{cp \max} \cdot \pi}{U_m} \right)^2 - 2 \cdot \frac{U_{cp \max} \cdot \pi}{U_m} + 1 = 1.$$

Отсюда

$$\frac{(k_e \cdot \omega_{z \max})^2 + (U_{cp \max})^2}{U_m^2} = \frac{2 \cdot U_{cp \max} \cdot \pi}{U_m},$$

$$U_m = \frac{(k_e \cdot \omega_{з \max})^2 + (U_{ср \max} \cdot \pi)^2}{2 \cdot U_{ср \max} \cdot \pi},$$

или, с учетом (5) окончательно получим:

$$U_m = \frac{(k_e \cdot \omega_{з \max})^2 + \left[r_z \cdot \frac{M_{с \max}}{k_m} \cdot \pi + k_e \cdot \omega_{з \max} \cdot \pi \right]^2}{2 \cdot r_{я} \cdot \frac{M_{с \max}}{k_m} \cdot \pi + 2 \cdot k_e \cdot \omega_{з \max} \cdot \pi}.$$

(9)

Выражение (9) позволяет определить амплитуду выходного напряжения вторичной обмотки трансформатора, достаточную для обеспечения вращения вала двигателя со скоростью $\omega_{з \max}$ и момента сопротивления $M_{с \max}$.

Моделирование исследуемых электроприводов на ЭВМ производится с помощью программного пакета «СИМТЕХ».

Структурная схема электропривода с П – регулятором и полууправляемым тиристорным преобразователем приведена на рис. 8.

С помощью блоков 1, 2 собран генератор пилообразного напряжения, выходной сигнал которого сравнивается с напряжением управления в сумматоре 3. Временная диаграмма выходного напряжения сумматора U_c приведены на рис. 9.

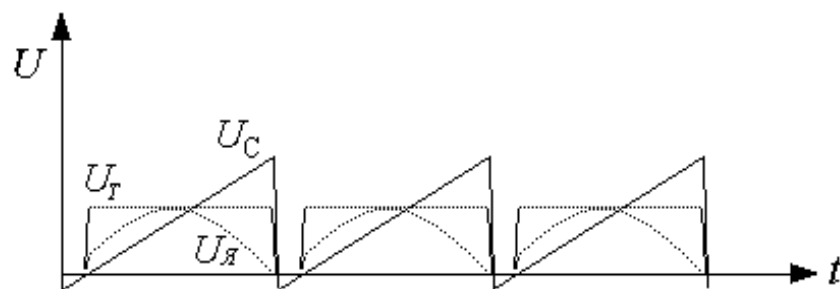


Рис. 9.

Одновибратор (блок 4) формирует короткий импульс в момент перехода напряжения U_c из отрицательной области в положительную, который устанавливает триггер (блок 5) в единичное состояние. Блок 6 формирует короткий импульс в момент сброса интегратора. Этот импульс сбрасывает триггер в нулевое состояние. Временная диаграмма работы триггера приведена на рис 9 (напряжение U_T).

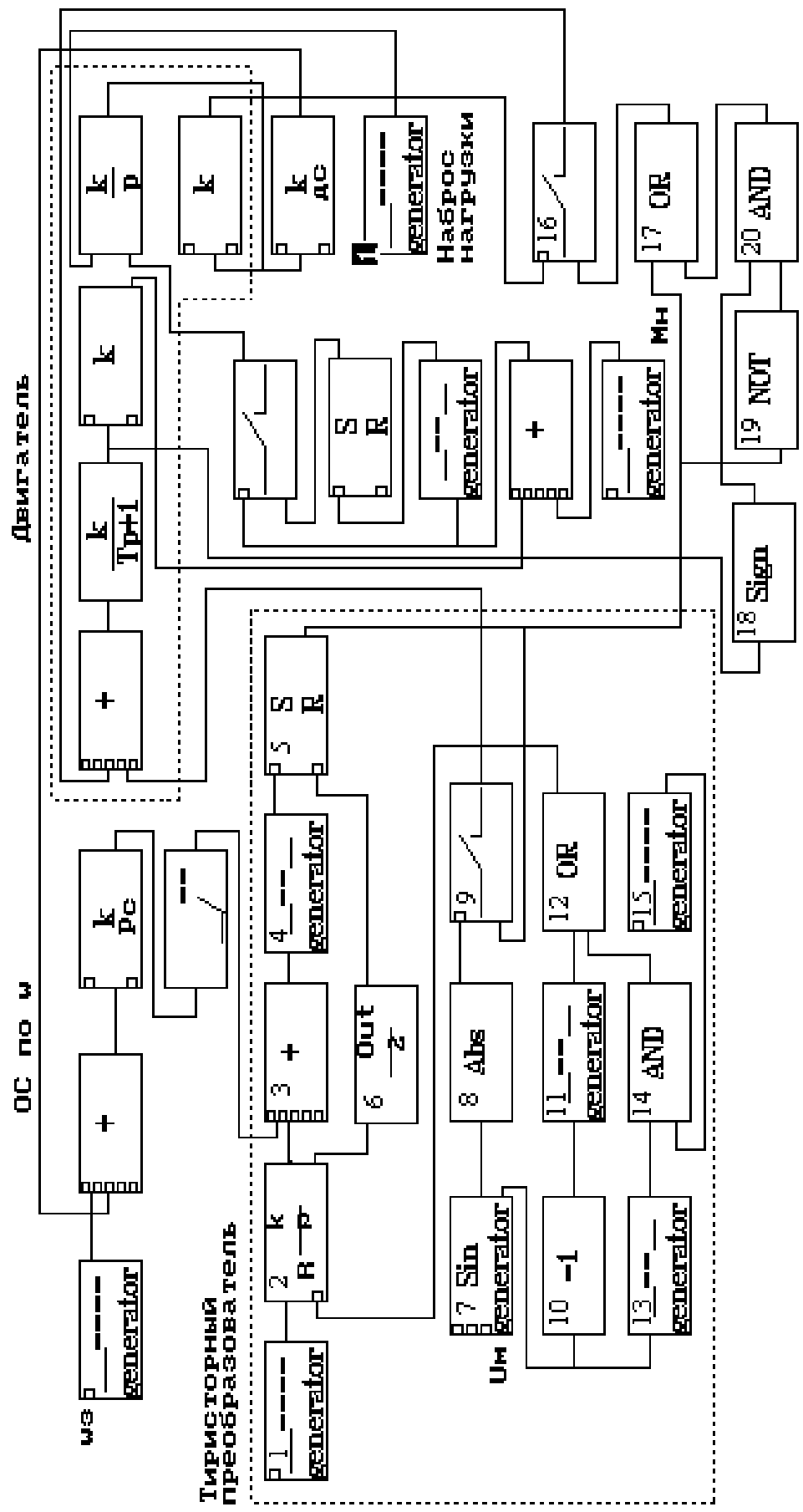


Рис. 8.

Напряжение вторичной обмотки трансформатора (генератор 7) выпрямляется с помощью блока 8.

Релейный элемент 9 и триггер 5 имитируют работу тиристоров (их закрытое или открытое состояние). В результате напряжение с блока 9 представляет собой выходное напряжение тиристорного преобразователя $U_{я}$, подаваемое на якорь двигателя (рис. 9).

С помощью блоков 10 – 15 осуществляется синхронизация работы генератора пилообразного напряжения с напряжением вторичной обмотки трансформатора.

В полууправляемом тиристорном преобразователе ток якоря не может быть отрицательным. Для того, чтобы обеспечить $i_{я} > 0$ в модели СИМТЕХ, необходимо коммутировать обратную связь по противоЭДС с помощью ключа 16. Блоки 17 – 20 обеспечивают замыкание ключа 16 на интервалах времени, когда $u_{я} > 0$ и $i_{я} > 0$.

Параметры двигателей:

1. 4ПБМ112МГ04

$$\begin{aligned} P_n &= 1,0 \text{ кВт}; & M_n &= 6,2 \text{ Н} \cdot \text{м}; & U_n &= 220 \text{ В}; & ; \\ n_n &= 1550 \text{ об/мин}; & I_n &= 5,7 \text{ А}; & J &= 0,015 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \\ T_{я} &= 5,9 \cdot 10^{-3} \text{ с}; & T_m &= 62 \cdot 10^{-3} \text{ с}; & k_e &= k_m = 1,088 \text{ В} \cdot \text{с}; \\ r_{я} &= 7,63 \text{ Ом}; & L_{я} &= 45 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}. \end{aligned}$$

2. 2ПБ112ЛГ04

$$\begin{aligned} P_n &= 0,9 \text{ кВт}; & M_n &= 6,11 \text{ Н} \cdot \text{м}; & U_n &= 110 \text{ В}; & ; \\ n_n &= 1500 \text{ об/мин}; & I_n &= 10,1 \text{ А}; & J &= 0,018 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \\ T_{я} &= 6,036 \cdot 10^{-3} \text{ с}; & T_m &= 68,8 \cdot 10^{-3} \text{ с}; & k_e &= k_m = 0,605 \text{ В} \cdot \text{с}; \\ r_{я} &= 1,4 \text{ Ом}; & L_{я} &= 8,45 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}. \end{aligned}$$

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ.

- 2.1. Изучить принцип действия однофазного полупроводящего тиристорного преобразователя.
- 2.2. Для заданных преподавателем параметров двигателя и $\omega_3 = 50 \text{ c}^{-1}$, $M_c = 3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ рассчитать напряжение U_m вторичной обмотки силового трансформатора, поступающего на силовую часть ТП.
- 2.3. Для заданной преподавателем величины максимального напряжения $U_{u \max}$ рассчитать и построить график зависимости среднего напряжения ТП от напряжения управления $U_{cp} = f(U_y)$.
- 2.4. Рассчитать коэффициент передачи тиристорного преобразователя по формуле (3).

3. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ.

- 3.1. Для привода с П – регулятором и заданной преподавателем величиной k_{pc} исследуйте процессы отработки ступенчатого задающего воздействия и наброса нагрузки, контролируя величины $U_r(t)$, $i_r(t)$, $\omega(t)$. Нарисуйте графики этих величин. Определите значения максимальной величины скорости ω_{\max} , перерегулирование σ , размах колебаний скорости в установившемся режиме $\Delta\omega$, время регулирования t_p .
Результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1. Исследование привода с П - регулятором.

$M_c,$ $\text{Н} \cdot \text{м}$	k_{pc}	$\omega_{\max},$ c^{-1}	$\Delta\omega,$ c^{-1}	$\sigma, \%$	$t_p, \text{с}$
3					
3					

- 3.2. Для привода с ПИ – регулятором и заданной преподавателем величинам k_{pc} , k_u повторите исследования по пункту 3.1. Результаты занесите в таблицу 2.

Таблица 2. Исследование привода с ПИ - регулятором

$M_c,$ $H \cdot m$	k_{pc}	$\omega_{max},$ c^{-1}	$\Delta\omega,$ c^{-1}	$\sigma, \%$	t_p, c
3					
3					

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 4.1. Объясните принцип действия, достоинства и недостатки однофазного полууправляемого тиристорного преобразователя.
- 4.2. Каким образом можно определить коэффициент передачи ТП ?
- 4.3. Как рассчитать величину напряжения U_m вторичной обмотки силового трансформатора, обеспечивающую вращение вала двигателя с заданной скоростью и заданной величиной момента сопротивления на валу двигателя ?
- 4.4. Объясните назначение блоков структурной схемы рис. 8.
- 4.5. Какое влияние оказывают величины k_{pc}, k_u регуляторов на быстродействие и точность привода ?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА С (П и ПИ) – РЕГУЛЯТОРАМИ СКОРОСТИ И ОДНОФАЗНЫМ ПОЛНОСТЬЮ УПРАВЛЯЕМЫМ ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ.

Цель работы: изучение принципа действия, статических и динамических свойств тиристорного электропривода с П и ПИ – регуляторами скорости.

2. ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ.

Структурная схема электропривода приведена на рис. 1.

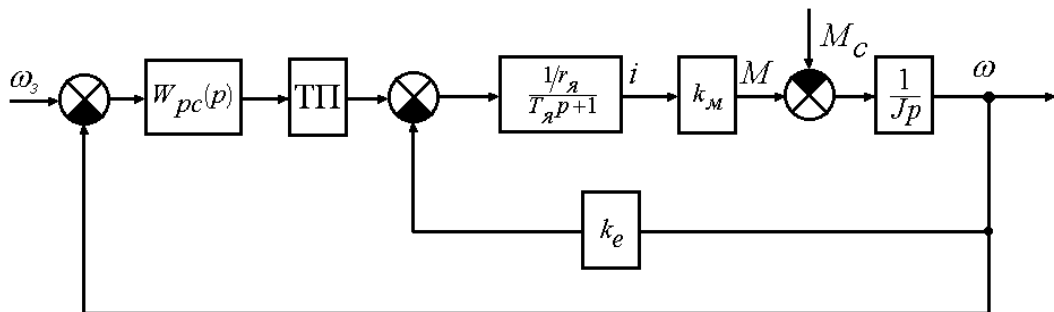


Рис. 1.

Здесь $r_я, i$ - сопротивление и ток якорной цепи;

ω - угловая скорость вала двигателя;

M_c - момент нагрузки;

$T_я$ - электромагнитная постоянная времени;

$k_e = k_M$ - конструктивный коэффициент;

ω_3 - заданная скорость двигателя;

$W_{pc}(p)$ - передаточная функция регулятора скорости;

$W_{pc}(p) = k_{pc}$ - в случае П – регулятора;

$$W_{pc}(p) = k_{pc} + \frac{k_u}{p} = \frac{k_u \left(\frac{k_{pc}}{k_u} + 1 \right)}{p} = \frac{k_u (\tau p + 1)}{p} \quad \text{в случае ПИ –}$$

регулятора;

ТП – тиристорный преобразователь.

Структурная схема ТП приведена на рис. 2.

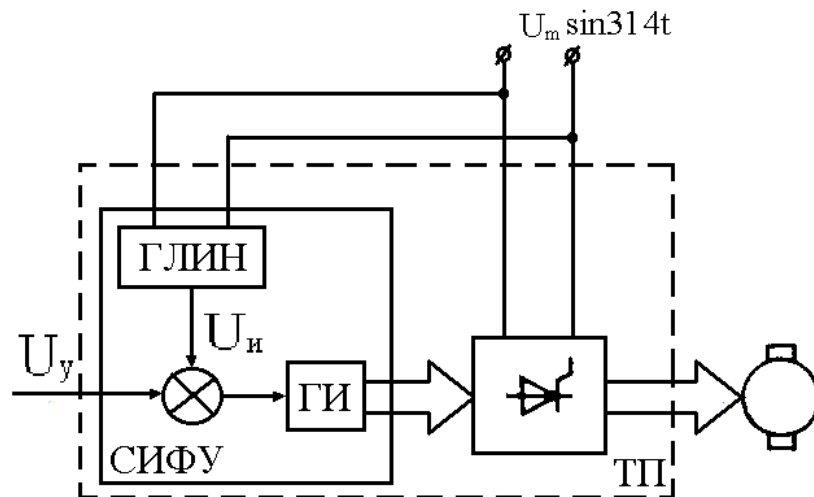


Рис. 2.

Она состоит из системы импульсно-фазового управления (СИФУ) и силовой части. Назначение СИФУ – преобразование входного непрерывного напряжения управления U_y в угол управления α , отсчитываемого от момента естественного отпирания тиристоров.

Силовая часть однофазного полностью управляемого тиристорного преобразователя приведена на рис. 3.

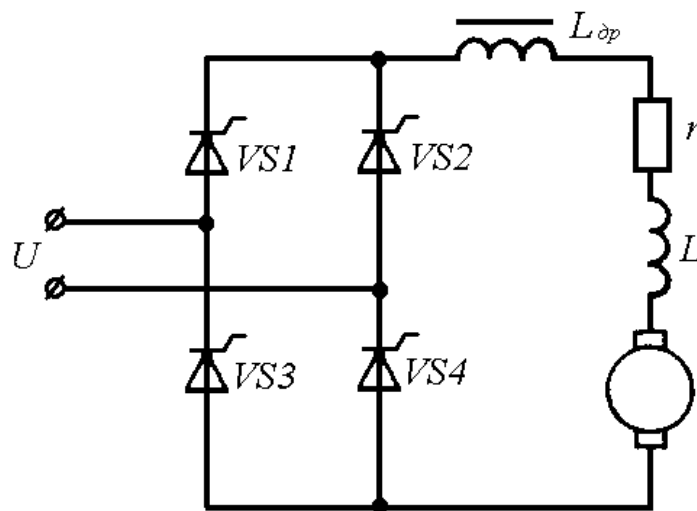


Рис. 3.

Временные диаграммы работы ТП в режиме непрерывных токов приведена на рис. 4.

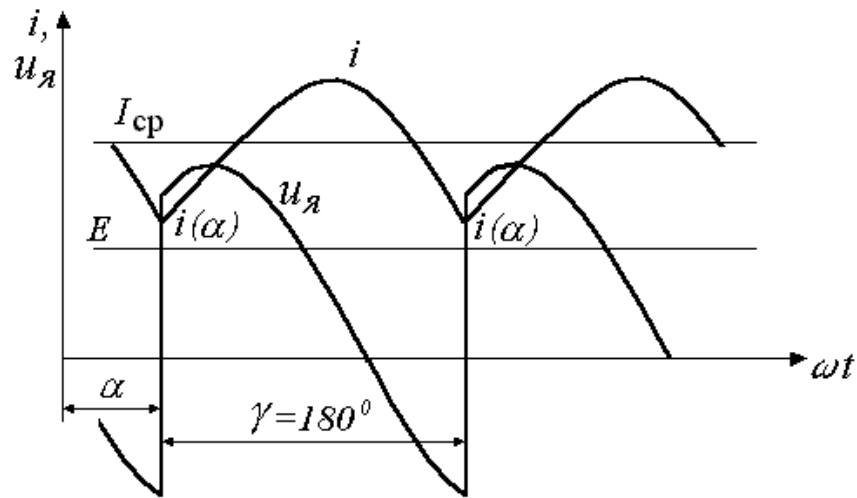


Рис. 4.

Здесь α - угол управления,
 $\gamma = 180^\circ$ - угол проводимости тиристоров.

Среднее значение выходного напряжения за период (рис. 4)

$$U_{cp} = \frac{2 \cdot U_m}{\pi} \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

где U_m - амплитуда выходного напряжения вторичной обмотки силового трансформатора.

Тогда при $\alpha = 0$ величина $U_{cp} = \frac{2 \cdot U_m}{\pi}$,

при $\alpha = 90^\circ$ $U_{cp} = 0$.

Отсюда видно, что для осуществления пропорциональной зависимости между напряжением управления и величиной U_{cp} необходимо обеспечить:

при $U_y = 0$ угол управления α должен быть $\alpha = \frac{\pi}{2}$, при $U_y = U_{y \max}$

величина $\alpha = 0$. Такое соотношение между U_y и α можно выполнить

применением ГЛИН с формой выходного напряжения U_u , показанной на рис. 5.

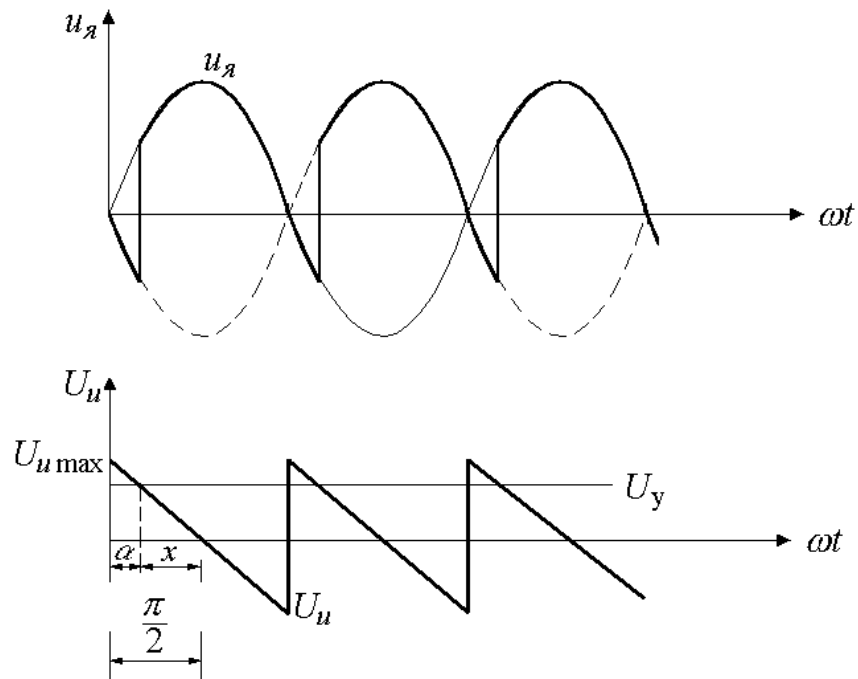


Рис. 5.

Определим связь между углом управления α и напряжением управления U_y :

$$U_{u \max} = k \cdot \frac{\pi}{2}, \Rightarrow$$

$$k = \frac{2U_{u \max}}{\pi}.$$

Формирование импульса напряжения, открывающего тиристор, происходит, когда

$$U_y = U_u = k \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = \frac{2U_{u \max}}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right). \quad (2)$$

Решая (2) относительно α , получим

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \frac{U_y \cdot \pi}{2U_{u \max}}. \quad (3)$$

Тогда, с учетом (1), окончательно получим

$$U_{cp} = \frac{2U_m}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{U_y \cdot \pi}{2U_{u\max}}\right). \quad (4)$$

Зависимость $U_{cp} = f(U_y)$ приведена на рис.6.

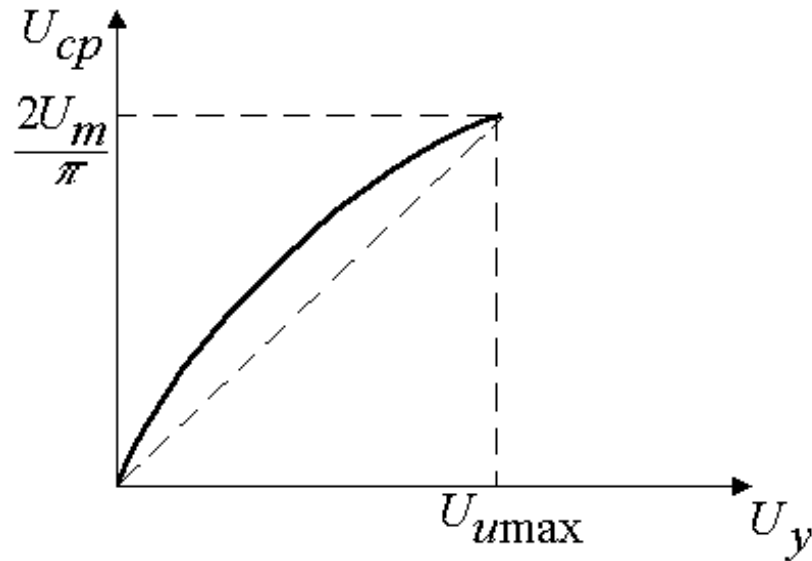


Рис. 6.

Возможна грубая линейризация нелинейной характеристики. В этом случае принимают

$$U_{cp} = k_{ТП} \cdot U_y,$$

где

$$k_{ТП} = \frac{2U_m}{\pi \cdot U_{u\max}}. \quad (5)$$

- коэффициент передачи ТП.

Найдем амплитуду выходного напряжения вторичной обмотки трансформатора, необходимую для обеспечения вращения вала двигателя в заданном диапазоне скорости $\omega_3 = (\omega_{\min} \dots \omega_{\max})$ и момента сопротивления $M_c = (M_{c\min} \dots M_{c\max})$. Тогда среднее значение за период выходного напряжения ТП:

$$U_{cp} = U_{\max} = r \cdot \frac{M_{c \max}}{k_m} + k_e \cdot \omega_{z \max} . \quad (6)$$

Это напряжение обеспечиваются минимальным углом управления:

$$\cos \alpha_{\min} = \frac{U_{\max} \cdot \pi}{2 \cdot U_m} . \quad (7)$$

Результат расчета U_m по (7) зависит от интуиции проектировщика (удачного выбора α_{\min}).

Необходимо учитывать, что тиристоры ТП могут открыться, только если величина напряжения сети больше противоЭДС двигателя

$$U_m \sin \alpha > k_e \omega_z . \quad (8)$$

Поэтому величину U_m , рассчитанную на основании (7), необходимо проверить на выполнение условия (8).

Возможен расчет U_m без предварительной оценки величины α_{\min} . Из (8):

$$\sin \alpha > \frac{k_e \cdot \omega_z}{U_m} . \quad (9)$$

Учитывая (7), (9) и

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 ,$$

получим:

$$U_m > 0,5 \cdot \sqrt{(U_{\max} \cdot \pi)^2 + (2 \cdot k_e \cdot \omega_{z \max})^2} . \quad (10)$$

Выражение (10) позволяет определить амплитуду выходного напряжения вторичной обмотки трансформатора, достаточную для обеспечения вращения вала двигателя со скоростью $\omega_{z \max}$ и момента сопротивления $M_{c \max}$.

Моделирование исследуемых электроприводов на ЭВМ производится с помощью программного пакета «СИМТЕХ». Структурная схема привода с П – регулятором приведена на рис. 7.

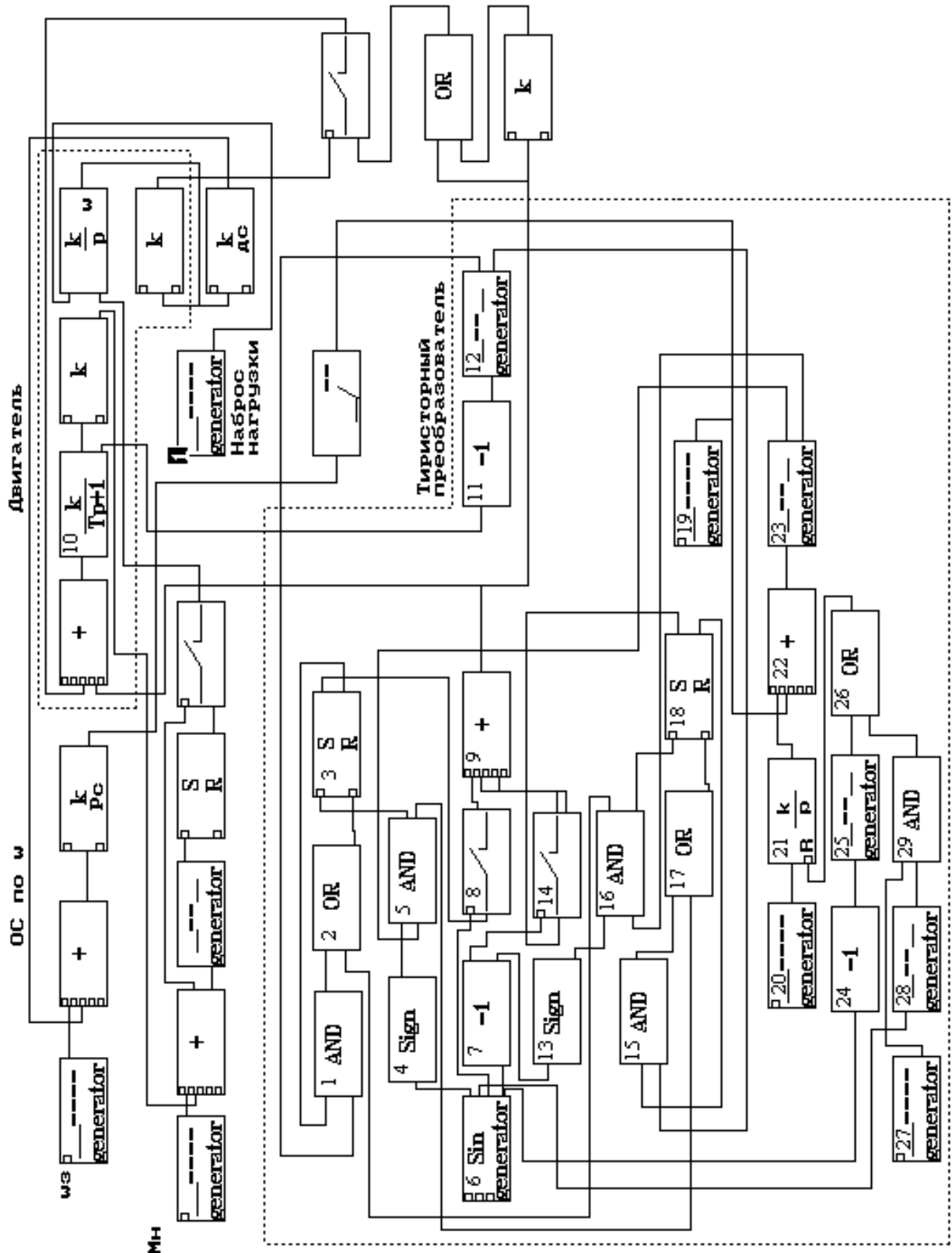


Рис. 7.

Временные диаграммы работы блоков модели ТП приведены на рис. 8.

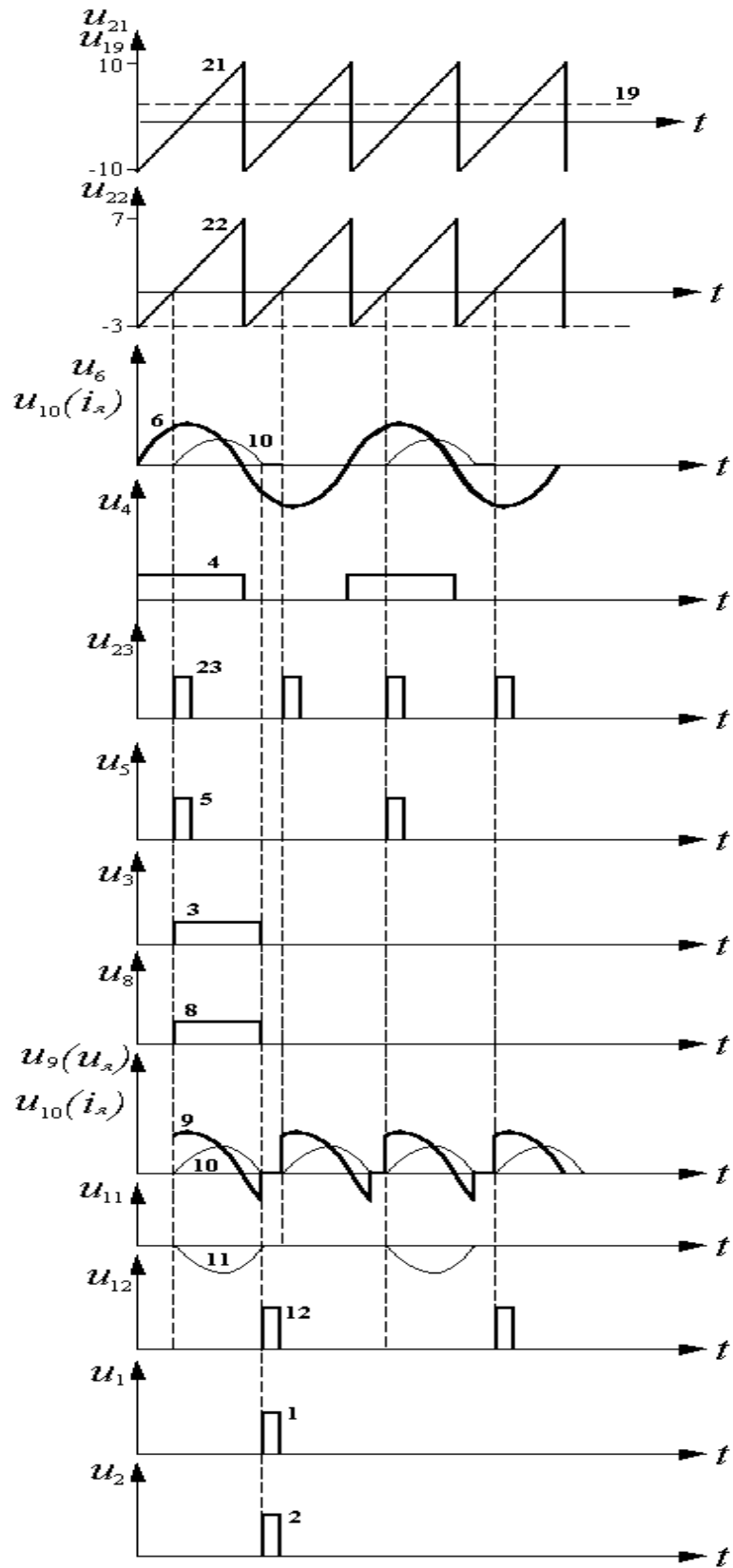


Рис. 8.

Система импульсно-фазного управления (СИФУ) состоит из блоков 20 – 29. Выходное напряжение генератора линейно изменяющегося напряжения (блок 21) сравнивается с напряжением управления (блок 19) в сумматоре 22, выходной сигнал которого приведен на рис. 8. Одновибратор 23 формирует короткий импульс в момент перехода входного напряжения из отрицательной области в положительную. Этот импульс поступает на вход элемента И (блок 5). Синусоидальный генератор (блок 6) имитирует вторичную обмотку силового трансформатора, выходное напряжение которого с помощью реле (блок 4) преобразуется в последовательность прямоугольных импульсов (рис. 8). Эти импульсы подаются на второй вход элемента И (блок 5). В момент совпадения входных импульсов на выходе блока 5 формируется импульс, который устанавливает триггер 3 в единичное состояние. Последний замыкает контакты реле 8 через которые напряжение со вторичной обмотки трансформатора (блок 6) подается на якорь двигателя (блок 10). Ток якоря инвертируется блоком 11. В момент перехода напряжения блока 11 из отрицательной области в положительную (он соответствует уменьшению тока якоря до нуля) одновибратор 12 формирует короткий импульс, который подается на первый вход элемента И (блок 1). На второй вход блока 1 поступает выходное напряжение триггера 3. Поскольку оба сигнала находятся в единичном состоянии, на выходе блока 1 формируется импульс, который сбрасывает триггер 3 в нулевое состояние. Последний размыкает контакты реле 8, что соответствует закрытому состоянию тиристоров преобразователя.

Параметры двигателей:

1. 4ПБМ112МГ04

$$\begin{aligned}
 P_n &= 1,0 \text{ кВт}; & M_n &= 6,2 \text{ Н} \cdot \text{м}; & U_n &= 220 \text{ В}; & ; \\
 n_n &= 1550 \text{ об/мин}; & I_n &= 5,7 \text{ А}; & J &= 0,015 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \\
 T_{я} &= 5,9 \cdot 10^{-3} \text{ с}; & T_m &= 62 \cdot 10^{-3} \text{ с}; & k_e &= k_m = 1,088 \text{ В} \cdot \text{с}; \\
 r_{я} &= 7,63 \text{ Ом}; & L_{я} &= 45 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.
 \end{aligned}$$

2. 2ПБ112ЛГ04

$$\begin{aligned}
 P_n &= 0,9 \text{ кВт}; & M_n &= 6,11 \text{ Н} \cdot \text{м}; & U_n &= 110 \text{ В}; & ; \\
 n_n &= 1500 \text{ об/мин}; & I_n &= 10,1 \text{ А}; & J &= 0,018 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \\
 T_{я} &= 6,036 \cdot 10^{-3} \text{ с}; & T_m &= 68,8 \cdot 10^{-3} \text{ с}; & k_e &= k_m = 0,605 \text{ В} \cdot \text{с}; \\
 r_{я} &= 1,4 \text{ Ом}; & L_{я} &= 8,45 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.
 \end{aligned}$$

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ.

- 2.1. Изучить принцип действия однофазного полностью управляемого тиристорного преобразователя.
- 2.2. Для заданных преподавателем параметров двигателя и $\omega_3 = 50 \text{ c}^{-1}$, $M_c = 3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ рассчитать напряжение U_m вторичной обмотки силового трансформатора, поступающего на силовую часть ТП.
- 2.3. Для заданной преподавателем величины максимального напряжения $U_{u \max}$ рассчитать и построить график зависимости среднего напряжения ТП от напряжения управления $U_{cp} = f(U_y)$.
- 2.4. Рассчитать коэффициент передачи тиристорного преобразователя по формуле (5).

3. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ.

- 3.1. Для привода с П – регулятором и заданной преподавателем величиной k_{pc} исследуйте процессы отработки ступенчатого задающего воздействия и наброса нагрузки, контролируя величины $U_y(t)$, $i_y(t)$, $\omega(t)$. Нарисуйте графики этих величин. Определите значения максимальной величины скорости ω_{\max} , перерегулирование σ , размах колебаний скорости в установившемся режиме $\Delta\omega$, время регулирования t_p .
Результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1. Исследование привода с П – регулятором.

$M_c,$ $\text{Н} \cdot \text{м}$	k_{pc}	$\omega_{\max},$ c^{-1}	$\Delta\omega,$ c^{-1}	$\sigma, \%$	$t_p, \text{с}$
3					
3					

- 3.2. Для привода с ПИ – регулятором и заданной преподавателем величинам k_{pc} , k_u повторите исследования по пункту 3.1. Результаты занесите в таблицу 2.

Таблица 2. Исследование привода с ПИ - регулятором

$M_c,$ $H \cdot m$	k_{pc}	$\omega_{max},$ c^{-1}	$\Delta\omega,$ c^{-1}	$\sigma, \%$	t_p, c
3					
3					

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 4.1. Объясните принцип действия, достоинства и недостатки однофазного полностью управляемого тиристорного преобразователя.
- 4.2. Каким образом можно определить коэффициент передачи ТП ?
- 4.3. Как рассчитать величину напряжения U_m вторичной обмотки силового трансформатора, обеспечивающую вращение вала двигателя с заданной скоростью и заданной величиной момента сопротивления на валу двигателя ?
- 4.4. Объясните назначение блоков структурной схемы рис. 7.
- 4.5. Какое влияние оказывают величины k_{pc}, k_u регуляторов на быстродействие и точность привода ?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА С (П и ПИ) – РЕГУЛЯТОРАМИ СКОРОСТИ И ИДЕАЛЬНЫМ УСИЛИТЕЛЕМ МОЩНОСТИ.

Цель работы: изучение принципа действия, статических и динамических свойств регулируемого электропривода при различных настройках регуляторов.

3. ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ.

Структурная схема электропривода приведена на рис. 1.

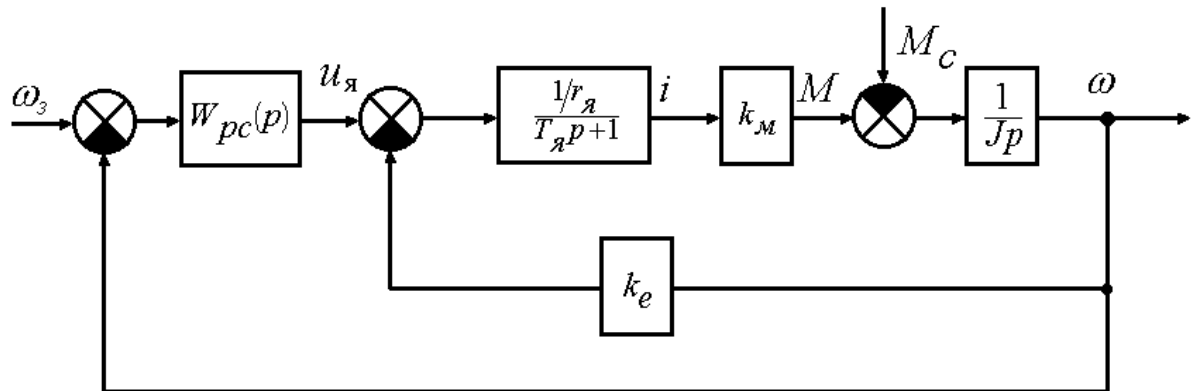


Рис. 1.

Здесь $r_я, i$ - сопротивление и ток якорной цепи;

ω - угловая скорость вала двигателя;

M_c - момент нагрузки;

$T_я$ - электромагнитная постоянная времени;

$k_e = k_M$ - конструктивный коэффициент;

ω_3 - заданная скорость двигателя;

$W_{pc}(p)$ - передаточная функция регулятора скорости. Это звено совмещает регулятор и идеальный усилитель мощности.

В случае П – регулятора:

$$W_{pc}(p) = k_{pc};$$

Структурная схема ПИ – регулятора приведена на рис. 2.

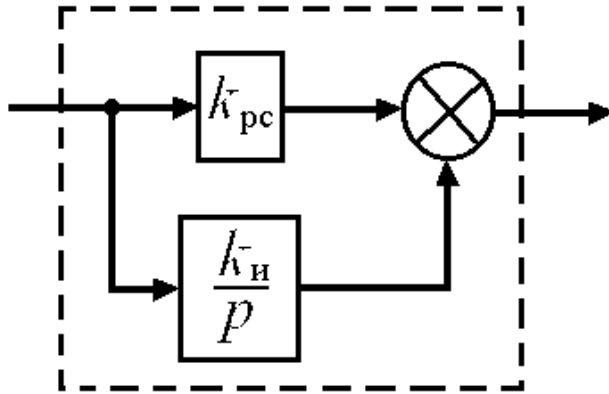


Рис. 2.

Передаточная функция ПИ – регулятора имеет вид:

$$W_{pc}(p) = k_{pc} + \frac{k_u}{p} = \frac{k_{pc}p + k_u}{p} = \frac{k_u \left(\frac{k_{pc}}{k_u} p + 1 \right)}{p} = \frac{k_u(\tau p + 1)}{p};$$

Изображение скорости для привода с П – регулятором:

$$\omega(p) = \frac{k_{pc} \cdot \frac{1}{k_e}}{T_{\text{я}} \cdot T_{\text{м}} \cdot p^2 + T_{\text{м}} \cdot p + 1 + \frac{k_{pc}}{k_e}} \cdot \omega_{\text{з}}(p) - \frac{\frac{r_{\text{я}}}{k_e \cdot k_{\text{м}}} \cdot (T_{\text{я}} \cdot p + 1)}{T_{\text{м}} \cdot T_{\text{я}} \cdot p^2 + T_{\text{м}} \cdot p + 1 + \frac{k_{pc}}{k_e}} \cdot M_{\text{с}}(p);$$

(1)

Здесь $T_{\text{м}} = \frac{J r_{\text{я}}}{k_e k_{\text{м}}}$ - электромеханическая постоянная времени двигателя.

По (1) рассчитываются переходные процессы в системе и отсюда же следует выражения механической характеристики электропривода.

$$\omega_{уст} = \frac{k_{pc} \cdot \frac{1}{k_e}}{1 + \frac{k_{pc}}{k_e}} \cdot \omega_3 - \frac{\frac{r_\alpha}{k_e \cdot k_m}}{1 + \frac{k_{pc}}{k_e}} \cdot M_c ; \quad (2)$$

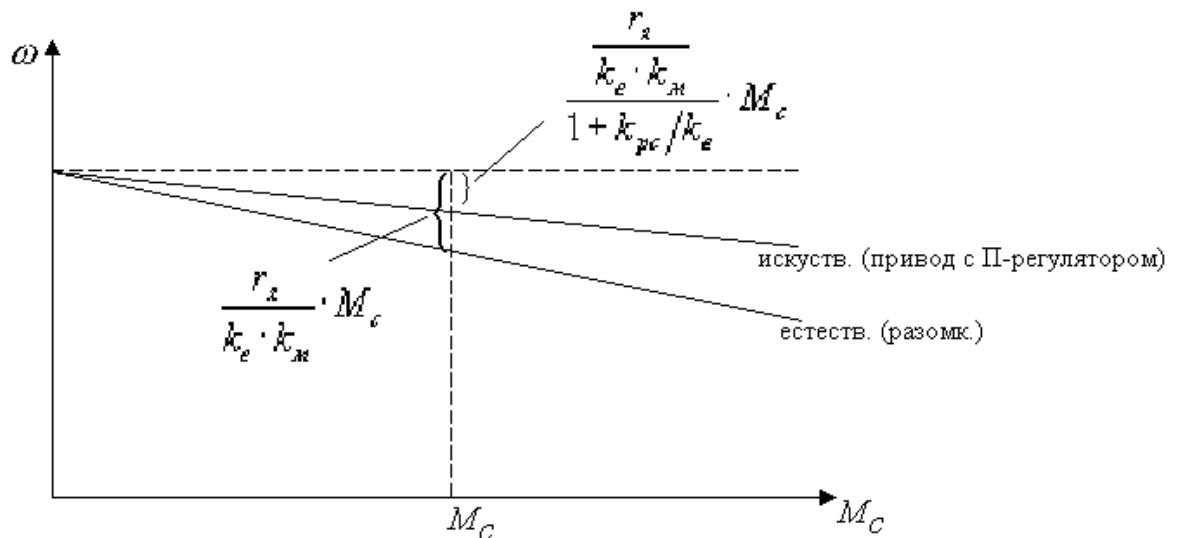


Рис. 3.3.

Система с П – регулятором является статической относительно задающего воздействия и возмущения.

Величина статической ошибки:

$$X_{уст} = \frac{\omega_3}{1 + \frac{k_{pc}}{k_e}} + \frac{\frac{r_\alpha}{k_e k_m}}{1 + \frac{k_{pc}}{k_e}} M_c . \quad (3)$$

Ее можно уменьшить путем увеличения коэффициента усиления регулятора скорости k_{pc} . Кроме того, увеличение k_{pc} вызывает ускорение (до определенных пределов) протекания переходных процессов. Однако вместе с этим меняется и вид переходных процессов. Если у исследуемого двигателя

$$T_m > 4T_\alpha ,$$

то аperiodический переходный процесс обеспечивается при

$$k_{pc} < \left(\frac{T_m}{4T_y} - 1 \right) k_e, \quad (4)$$

а колебательный переходный процесс – при

$$k_{pc} > \left(\frac{T_m}{4T_y} - 1 \right) k_e. \quad (5)$$

Недостаток привода с П – регулятором – наличие статической ошибки по скорости, которую можно устранить введением в систему ПИ – регулятора. В этом случае изображение по скорости имеет вид:

$$\omega(p) = \frac{\tau \cdot p + 1}{\frac{T_y \cdot T_m}{k_u} \cdot k_e \cdot p^3 + \frac{T_m}{k_u} \cdot k_e \cdot p^2 + \left(\tau + \frac{k_e}{k_u} \right) \cdot p + 1} \cdot \omega_3 -$$

$$- \frac{\frac{r_y}{k_m \cdot k_u} \cdot p \cdot (T_y \cdot p + 1)}{\frac{T_y \cdot T_m}{k_u} \cdot k_e \cdot p^3 + \frac{T_m}{k_u} \cdot k_e \cdot p^2 + \left(\tau + \frac{k_e}{k_u} \right) \cdot p + 1} \cdot M_c(p). \quad (6)$$

Из (6) следует, что система обладает астатизмом 1 – го порядка относительно задающего воздействия и возмущения.

В отличие от привода с П – регулятором данный привод не сохраняет устойчивость при увеличении коэффициентов усиления ПИ – регулятора k_{pc} , k_u .

Для устойчивости системы необходимо

$$1 + \frac{k_{pc}}{k_m} > \frac{T_y}{k_e} \quad (7)$$

Моделирование исследуемых электроприводов на ЭВМ производится с помощью программного пакета «СИМТЕХ».

Структурная схема электропривода с П – регулятором и идеальным усилителем мощности приведена на рис. 4.

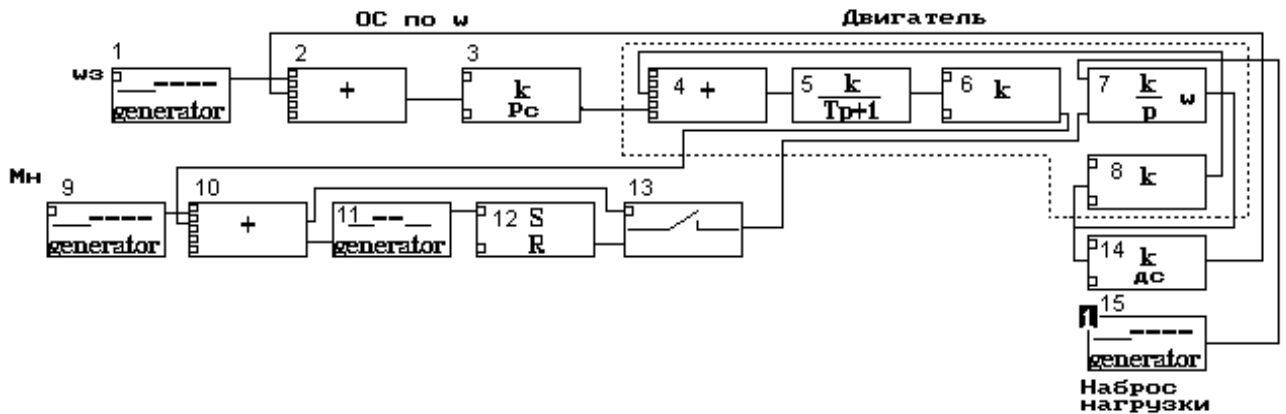


Рис. 4.

Структурная схема состоит из следующих блоков:

- 1, 9, 15 – генератор ступенчатого сигнала;
- 2, 4, 10 – сумматор;
- 3, 6, 8, 14 – усилитель;
- 5 – инерционное звено первого порядка;
- 7 – интегратор усилитель;
- 11 – генератор одиночного импульса;
- 12 – RS-триггер;
- 13 – контакт-реле.

С помощью блоков 4 – 8 реализован двигатель постоянного тока независимого возбуждения. Блок 9 определяет величину M_c на валу двигателя. Элементы 10 – 13 служат для подачи в модель двигателя момента сопротивления M_c только после того как ток якоря превысит величину

$$i_{я} > \frac{M_c}{k_m}. \text{ Тем самым реализуется механическая характеристика}$$

исполнительного органа типа «сухое трение». Блок 1 определяет величину заданной скорости. Пропорциональный регулятор скорости выполнен с помощью блока 3.

Структурная схема электропривода с ПИ – регулятором и идеальным усилителем мощности приведена на рис. 5.

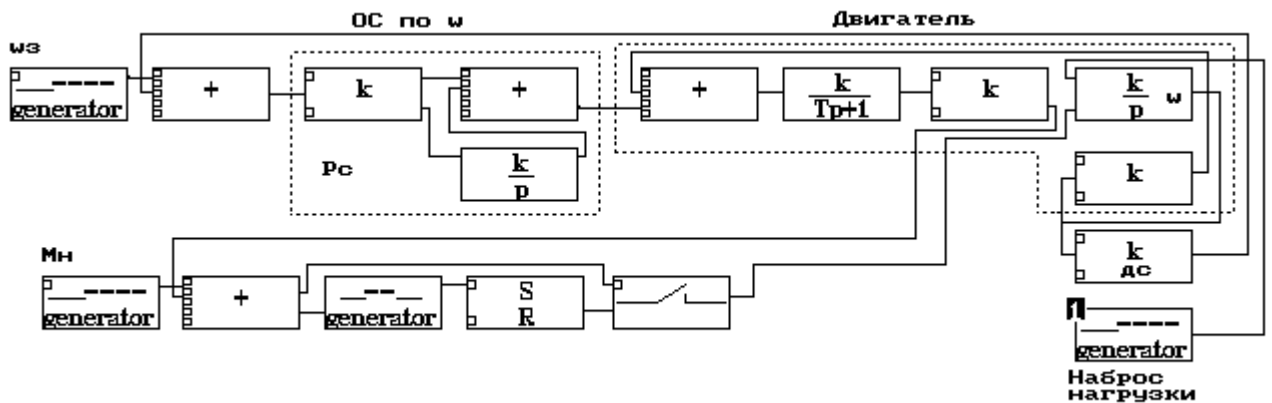


Рис. 5.

Параметры двигателей:

1. 4ПБМ112МГ04

$$\begin{aligned}
 P_n &= 1,0 \text{ кВт}; & M_n &= 6,2 \text{ Н} \cdot \text{м}; & U_n &= 220 \text{ В}; & ; \\
 n_n &= 1550 \text{ об/мин}; & I_n &= 5,7 \text{ А}; & J &= 0,015 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \\
 T_{я} &= 5,9 \cdot 10^{-3} \text{ с}; & T_m &= 62 \cdot 10^{-3} \text{ с}; & k_e &= k_m = 1,088 \text{ В} \cdot \text{с}; \\
 r_{я} &= 7,63 \text{ Ом}; & L_{я} &= 45 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.
 \end{aligned}$$

2. 2ПБ112ЛГ04

$$\begin{aligned}
 P_n &= 0,9 \text{ кВт}; & M_n &= 6,11 \text{ Н} \cdot \text{м}; & U_n &= 110 \text{ В}; & ; \\
 n_n &= 1500 \text{ об/мин}; & I_n &= 10,1 \text{ А}; & J &= 0,018 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \\
 T_{я} &= 6,036 \cdot 10^{-3} \text{ с}; & T_m &= 68,8 \cdot 10^{-3} \text{ с}; & k_e &= k_m = 0,605 \text{ В} \cdot \text{с}; \\
 r_{я} &= 1,4 \text{ Ом}; & L_{я} &= 8,45 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.
 \end{aligned}$$

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ.

2.1. Изучить принцип построения и функционирования электроприводов с (П и ПИ) - регуляторами, их статические и динамические свойства.

2.2. Для заданных преподавателем параметров двигателя и $k_{pc} = 50$;

$$k_{pc} = 20; M_c = 3 \text{ Н} \cdot \text{м}; \omega_s = 50 \text{ с}^{-1} \text{ рассчитать величины}$$

$\omega_{уст}$, $X_{уст}$ для привода с П – регулятором. Результаты расчетов занести в таблицу 1.

Таблица 1. Исследование привода с П – регулятором.

M_c , $H \cdot м$	k_{pc}	ω_{max} , c^{-1}	σ , %	$\omega_{уст}$, c^{-1}	$X_{уст}$ расч, c^{-1}	$X_{уст}$ мод., c^{-1}	t_p , с
3	20						
3	50						

2.3. Для привода с ПИ – регулятором и величин $k_{pc} = 50$, $k_{pc} = 20$ рассчитать величину k_u , обеспечивающую устойчивость привода (формула (7)).

3. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ.

- 3.1. Для привода с П – регулятором ($k_{pc} = 20, 50$) исследуйте процессы отработки ступенчатого задающего воздействия и наброса нагрузки, контролируя величины $U_{я}(t)$, $i_{я}(t)$, $\omega(t)$. Нарисуйте графики этих величин. Определите значения максимальной величины скорости ω_{max} , перерегулирование σ , установившееся значение скорости $\omega_{уст}$, время регулирования t_p . Результаты занесите в таблицу 1.
- 3.2. Для привода с ПИ – регулятором повторите исследования по пункту 3.1. Результаты занесите в таблицу 2.

Таблица 2. Исследование привода с ПИ – регулятором.

M_c , $H \cdot м$	k_{pc}	ω_{max} , c^{-1}	σ , %	$\omega_{уст}$, c^{-1}	$X_{уст}$ расч, c^{-1}	$X_{уст}$ мод., c^{-1}	t_p , с
3	20						
3	50						

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 4.1. Объясните принцип действия, достоинства и недостатки привода с П – регулятором.
- 4.2. Объясните назначение блоков структурной схемы рис. 4.

- 4.3. Объясните принцип действия, достоинства и недостатки привода с ПИ –регулятором.
- 4.4. Какое влияние оказывают величины k_{pc} , k_u регуляторов на быстродействие и точность привода ?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА С (П и ПИ) – РЕГУЛЯТОРАМИ СКОРОСТИ И ТРАНЗИСТОРНЫМ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ.

Цель работы: изучение принципа действия, статических и динамических свойств тиристорного электропривода с широтно-импульсным преобразователем.

4. ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ.

Структурная схема электропривода приведена на рис. 1.

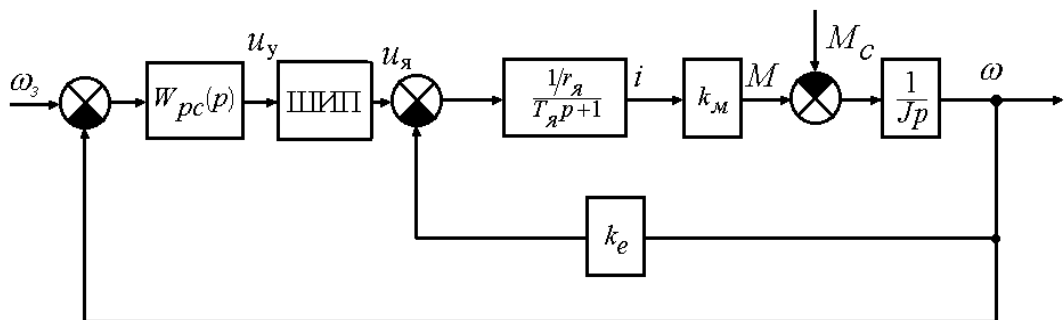


Рис. 1.

Здесь $r_я, i$ - сопротивление и ток якорной цепи;

ω - угловая скорость вала двигателя;

M_c - момент нагрузки;

$T_я$ - электромагнитная постоянная времени;

$k_e = k_m$ - конструктивный коэффициент;

ω_3 - заданная скорость двигателя;

$W_{pc}(p)$ - передаточная функция регулятора скорости;

В случае П – регулятора

$$W_{pc}(p) = k_{pc},$$

В случае ПИ – регулятора

$$W_{pc}(p) = k_{pc} + \frac{k_u}{p} = \frac{k_u \left(\frac{k_{pc}}{k_u} + 1 \right)}{p} = \frac{k_u (\tau p + 1)}{p}.$$

В электроприводах постоянного тока в качестве силовых преобразователей широко используются широтно-импульсные преобразователи (ШИП) неизменного напряжения постоянного тока в регулируемое напряжение постоянного тока. Функционально ШИП состоит из двух частей: широтно-импульсного модулятора (ШИМ) и вентильного (транзисторного) коммутатора ВК – рис.2.

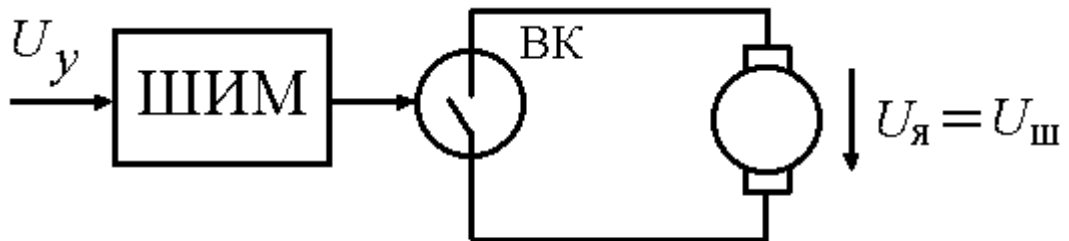


Рис. 2.

В зависимости от полярности выходного напряжения ШИП делятся на однополярные и двухполярные (рис. 3).

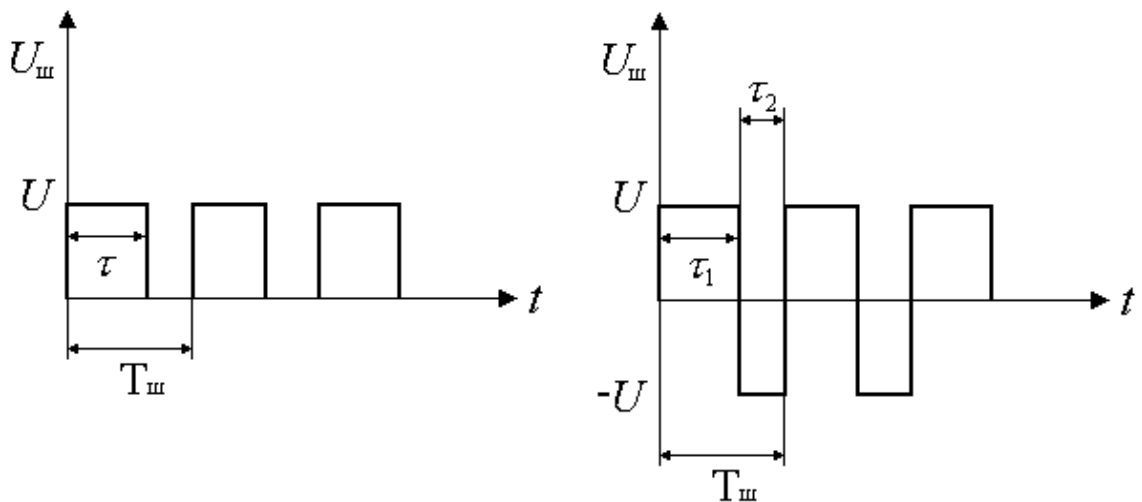


Рис. 3.

Выбор однополярного или разнополярного выходного напряжения определяется необходимостью изменения направления вращения вала двигателя.

Рассмотрим работу однополярного ШИМ – модулятора, который можно представить как некоторый безынерционный усилитель среднего значения выходного импульсного напряжения – рис. 4.

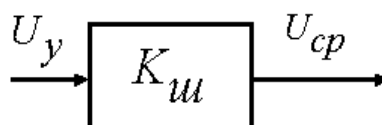


Рис. 4.2.

Для него справедливо:

$$U_y \cdot K_{ш} = U_{ср} \quad , \quad (1)$$

где: U_y - напряжение управления (входное напряжение ШИМ – модулятора).

$$U_{ср} = \frac{1}{T_{ш}} \cdot \int_0^{T_{ш}} U dt = \frac{\tau}{T_{ш}} \cdot U \quad , \quad (2)$$

- среднее значение выходного напряжения ШИМ,

U - амплитуда выходных импульсов ШИМ.

$K_{ш}$ - коэффициент передачи по среднему значению.

Величина $K_{ш}$ зависит от конкретной реализации широтно-импульсного модулятора.

Рассмотрим работу ШИМ – модулятора, выполненного по структурной схеме – рис.5.

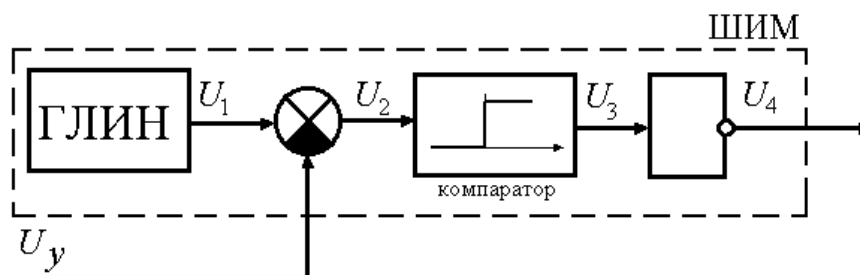


Рис. 4.3.

Временные диаграммы, иллюстрирующие работу ШИМ, приведены на рис.6.

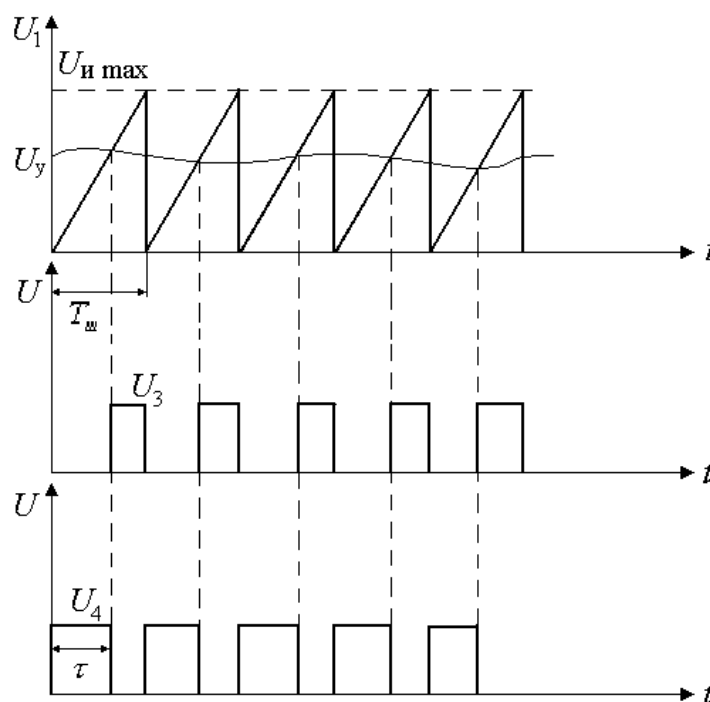


Рис. 6.

Из рис. 6.:

$$\frac{U_{и \max}}{T_{ш}} \cdot \tau = U_y ; \quad (3)$$

где $U_{и \max}$ - максимальное выходное напряжение генератора линейно – изменяющегося напряжения (ГЛИН).

Отсюда:

$$\frac{\tau}{T_{ш}} = \frac{U_y}{U_{и \max}} . \quad (4)$$

Тогда:

$$U_{cp} = \frac{\tau}{T_{\text{ш}}} \cdot U = U_y \cdot \frac{U}{U_{u \max}} ; \quad (5)$$

Окончательно

$$K_{\text{ш}} = \frac{U}{U_{u \max}} . \quad (6)$$

Выходное импульсное напряжение ШИП подается на обмотку якоря двигателя. Импульсное регулирование напряжения сопровождается пульсациями тока якоря – рис. 7.

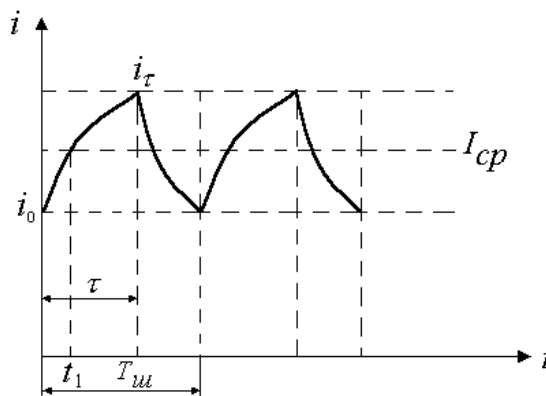


Рис. 7.

Размах пульсаций тока

$$\Delta_i = (i_\tau - i_0)$$

зависит от соотношения $T_{\text{я}}/T_{\text{ш}}$ и величины среднего тока

$$I_{cp} = \frac{1}{T_{\text{ш}}} \int_0^{T_{\text{ш}}} i di .$$

Как правило, требуется, чтобы

$$I_{cp} / \Delta i > 10 ,$$

то есть размах колебаний составлял не более 10 % от среднего значения.

Обозначим

$$I_{cp} / \Delta i = a . \quad (7)$$

При каком соотношении $T_{я} / T_{ш}$ обеспечивается заданная величина a ? Точное аналитическое решение данной задачи затруднено. Решим ее приближенно, для чего заменим на интервале τ экспоненциальную форму тока прямолинейной.

Тогда

$$\Delta i = \left(\frac{di}{dt} \Big|_{t_1} \right) \cdot \tau = \frac{I_{cp}}{a} , \quad (8)$$

Дифференциальное уравнение, описывающее цепь якоря двигателя:

$$U = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + k_e \cdot \omega , \quad (9)$$

откуда:

$$\frac{di}{dt} = \frac{U - r_{я} i - k_e \omega}{L_{я}} . \quad (10)$$

Очевидно, что при $t = t_1$ величина

$$i = I_{cp} = \frac{M_c}{k_m} , \quad (11)$$

тогда:

$$\frac{di}{dt} \Big|_{t_1} = \frac{U - r_{я} \frac{M_c}{k_m} - k_e \omega}{L_{я}} . \quad (12)$$

Подставим полученное выражение для производной тока в (8):

$$\frac{U - r_{\text{я}} \frac{M_c}{k_m} - k_e \omega}{L_{\text{я}}} \cdot \tau = \frac{I_{\text{cp}}}{a} = \frac{M_c}{k_m a};$$

Отсюда:

$$\tau = \frac{M_c L_{\text{я}}}{a [k_m (U - k_e \omega) - r_{\text{я}} M_c]}. \quad (13)$$

Величину среднего напряжения на якоре можно определить как

$$U_{\text{cp}} = r_{\text{я}} I_{\text{cp}} + k_e \omega = r_{\text{я}} \frac{M_c}{k_m} + k_e \omega = \frac{\tau}{T_{\text{ш}}} U. \quad (14)$$

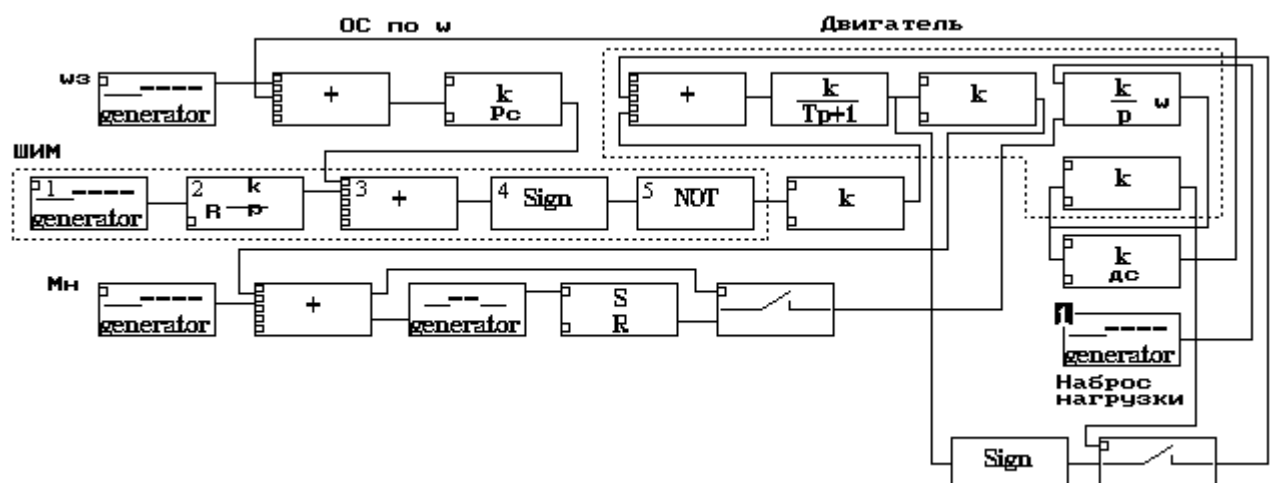
Подставляя в (14) величину τ из (13), окончательно получим:

$$a = \frac{U M_c k_m r_{\text{я}}}{(r_{\text{я}} M_c + k_e k_m \omega) [k_m (U - k_e \omega) - r_{\text{я}} M_c]} \frac{T_{\text{я}}}{T_{\text{ш}}}. \quad (15)$$

Полученное выражение (15) позволяет определить период выходного напряжения ШИМ – модулятора в зависимости от заданной величины пульсаций тока якоря a и электромагнитной постоянной $T_{\text{я}}$.

Моделирование исследуемых электроприводов на ЭВМ производится с помощью программного пакета «СИМТЕХ».

Структурная схема электропривода с П – регулятором и ШИМ - модулятором приведена на рис. 8.



3. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ.

3.1. Экспериментально определите зависимость $a = f\left(\frac{T_{я}}{T_{и}}\right)$ с помощью модели. Результаты занесите в таблицу 1.

3.2. Постройте графики $a = f\left(\frac{T_{я}}{T_{и}}\right)$ (теоретическую и экспериментальную зависимости).

3.3. Для привода с П – регулятором ($k_{pc} = 20, 50$), $M_c = 3 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $\omega_3 = 50 \text{ с}^{-1}$ и заданной преподавателем величины a исследуйте процессы отработки ступенчатого задающего воздействия и наброса нагрузки, контролируя величины $U_{я}(t)$, $i_{я}(t)$, $\omega(t)$. Нарисуйте графики этих величин. Определите значения максимальной величины скорости ω_{\max} , перерегулирование σ , установившееся значение скорости $\omega_{уст}$, время регулирования t_p . Результаты занесите в таблицу 2.

Таблица 2. Исследование привода с П – регулятором.

$M_c,$ $\text{Н} \cdot \text{м}$	k_{pc}	$\omega_{\max},$ с^{-1}	$\sigma, \%$	$\omega_{уст},$ с^{-1}	$X_{уст}$ расч, с^{-1}	$X_{уст}$ мод., с^{-1}	$t_p, \text{с}$
3	20						
3	50						

3.4. Для привода с ПИ – регулятором повторите исследования по пункту 3.3. Результаты занесите в таблицу 3.

Таблица 3. Исследование привода с ПИ – регулятором.

$M_c,$ $\text{Н} \cdot \text{м}$	k_{pc}	$\omega_{\max},$ с^{-1}	$\sigma, \%$	$\omega_{уст},$ с^{-1}	$X_{уст}$ расч, с^{-1}	$X_{уст}$ мод., с^{-1}	$t_p, \text{с}$
3	20						
3	50						

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 4.1. Объясните принцип действия и назначение ШИМ – модулятора.
- 4.2. Как определить частоту ШИМ – модулятора, обеспечивающую требуемую величину пульсаций тока якоря ?
- 4.3. Объясните назначение блоков структурной схемы рис. 8.
- 4.4. Объясните принцип действия, достоинства и недостатки привода с ШИМ – модулятором.