

Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по дисциплине
«Автоматизированный электропривод»
(для студентов специальности 7.092501)

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Краматорск 2016

УДК 075.8

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Автоматизированный электропривод» (для студентов специальности 7.092501).
Лабораторный практикум / Сост. О. В. Субботин. - Краматорск : ДГМА, 2016. – 44 с.

Изложены общие положения и порядок проведения лабораторных работ по изучению систем автоматизированного управления электроприводами постоянного тока на базе комплектных тиристорных преобразователей.

Составитель

О. В. Субботин, доцент

Ответственный за выпуск

О. В. Субботин, доцент

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Курс лабораторных работ направлен на получение практических навыков и закрепление теоретических знаний по проектированию и эксплуатации систем автоматизированного управления электроприводами постоянного тока. Основное внимание уделено устройству и принципу работы комплектных тиристорных и транзисторных преобразователей, работающих в качестве источников питания двигателей в электромеханических системах.

При подготовке к выполнению каждой работы студент должен:

- изучить соответствующий материал в конспекте лекций, рекомендуемой литературе и в методических указаниях к лабораторной работе;
- познакомиться с описанием лабораторной работы;
- составить таблицы для записи результатов исследований;
- усвоить правила техники безопасности при работе с лабораторными установками и контрольно-измерительной аппаратурой.

По каждой лабораторной работе студент должен составить индивидуальный отчет, который должен содержать краткие теоретические сведения, принципиальные схемы и экспериментальные исследования в виде таблиц и графиков с необходимыми пояснениями и выводами.

Во время защиты лабораторных работ и последующей сдачи зачета студент должен показать прочные знания по соответствующим разделам дисциплины, а также использованию методов экспериментального исследования и расчета.

2 ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

2.1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА (САУ РЭП) ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ПРИ СИСТЕМЕ ПИТАНИЯ «ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ—ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА» (ТП-ДПТ)

Цель работы — изучить работу и устройство системы питания ТП-ДПТ, системы управления регулируемым электроприводом, действие обратных связей; снять электрические характеристики в разомкнутой и замкнутой САУ РЭП.

План работы

- 1 Ознакомиться с описанием лабораторной работы, схемой опытной установки, записать технические данные двигателя, преобразователя ПТЗ, электроизмерительных приборов.
- 2 Изучить схему преобразователя по рис.1.
- 3 Включить и опробовать работу схемы на холостом ходу.
- 4 Снять и построить скоростные характеристики двигателя в зоне высоких $[\omega = (0.8-1.0)\omega_H]$, средних $[\omega = (0.5-0.6)\omega_H]$ и низких $[\omega = (0.1-0.2)\omega_H]$ скоростей при следующих настройках системы:
 - а) в разомкнутой системе с коэффициентом обратной связи по скорости K_C , равным нулю;
 - б) в замкнутой системе с отрицательной обратной связью по скорости.
- 5 Произвести прямой пуск двигателя при установке потенциометра ПЗС, задающего величину скорости, в положение для работы с половинной скоростью. Замерить максимальный толчок тока и проследить характер изменения скорости тока якоря.
- 6 Проследить поведение системы при приеме и сборе нагрузки, оценить колебательность системы.

Основные теоретические сведения

Наибольшее распространение в современном электроприводе получила система питания «тиристорный преобразователь—двигатель постоянного тока» (ТП-ДПТ), позволяющая экономично изменять питающее напряжение, а значит, регулировать скорость вращения электропривода в широком диапазоне. В настоящее время создана целая гамма тиристорных преобразователей от старых модификаторов типа ПТЗ, ПТЗР до современных ЭТУ, БТУ, ЭПУ. Последние три разновидности выпускаются комплектно с реализацией в них систем подчиненного регулирования (со встроенными регуляторами скорости и тока).

Уравнение скоростной характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при питании от управляемого преобразователя конечной мощности в разомкнутой САУ представляется зависимостью

$$\omega = \underbrace{\frac{E_{d_0} \cos \alpha - \Delta U_B}{k\Phi}}_{\omega_0} - \underbrace{\frac{I_d R_{я.ц}}{k\Phi}}_{\Delta\omega},$$

где E_{d_0} - ЭДС тиристорного преобразователя при $\alpha_p = 0$; α_p - угол открывания, регулирования тиристорного преобразователя; ΔU_B - потери напряжения на вентиле; $k\Phi$ - коэффициент пропорциональности между ЭДС и магнитным потоком; $R_{я.ц}$ - сопротивление якорной цепи; $R_{я.ц} = R_{п} + R_{я} + R_{дп} + R_{ш}$; I_d - ток двигателя.

Это уравнение прямой линии.

Жесткость семейства характеристик (рис.2) при этом определяется снижением угловой скорости $\Delta\omega_p$ под воздействием нагрузки I_d .

Величина жесткости при этом определяется по формуле

$$\beta = \frac{(k\Phi)^2}{R_{я}},$$

а значение статизма определится как

$$\sigma = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} 100\%.$$

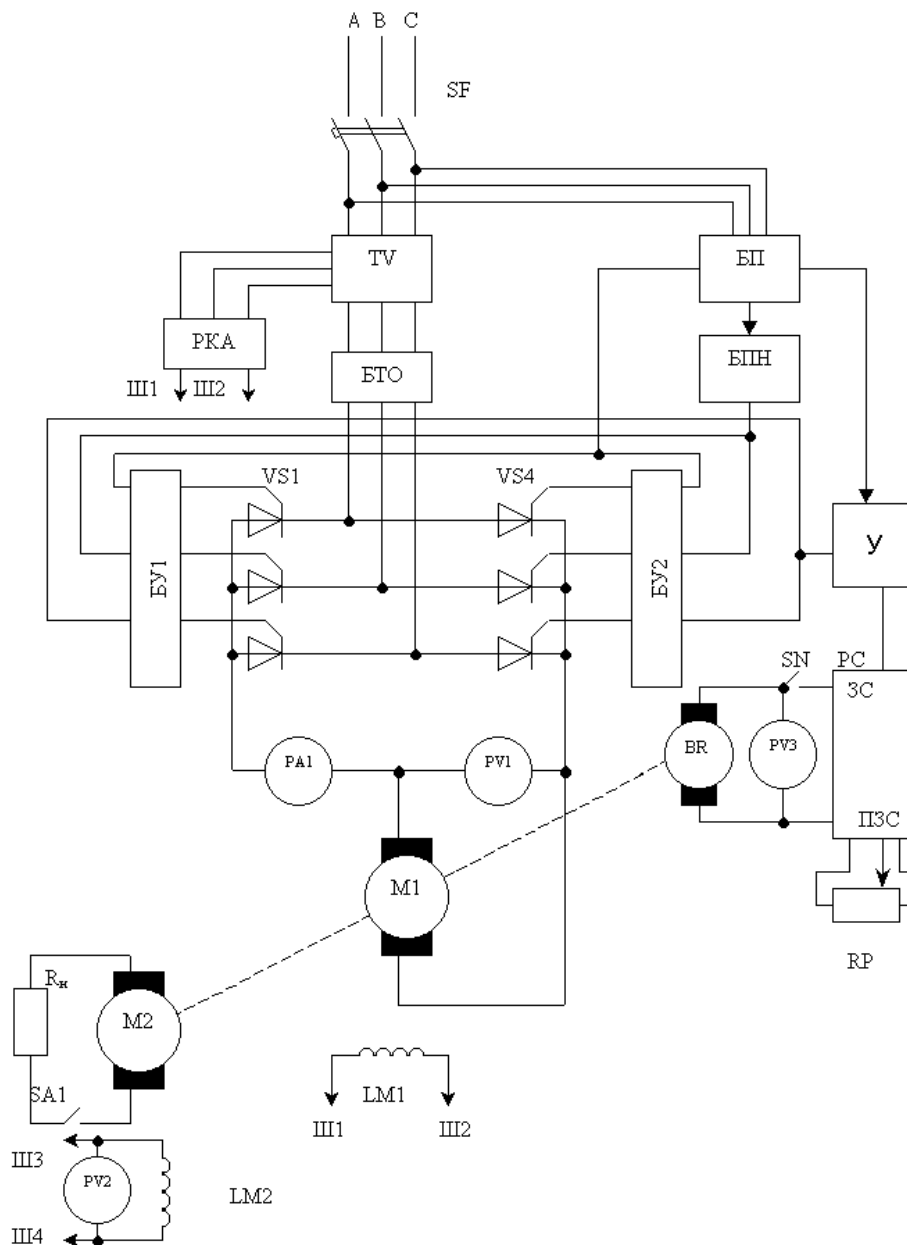


Рисунок 1 - Функциональная схема установки

Для повышения жесткости скоростной характеристики в сложных замкнутых системах электропривода используются отрицательные обратные связи по скорости ЭДС, которые дают возможность увеличить жесткость характеристик и тем самым расширить диапазон регулирования скорости, осуществить непрерывное регулирование тока и момента двигателя при переходных процессах, изменить время протекания переходных процессов и т.д.

Отрицательная токовая обратная связь в виде отсечки по току, увеличивающая статизм, применяется, как правило, для формирования упорной характеристики.

Уравнение статической электромеханической характеристики в замкнутой САУ РЭП с отрицательной обратной связью по скорости имеет вид

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega = \frac{K_{ТП} U_{ВХ}}{\kappa\Phi(1 + K_C K_{ТП} K_\delta)} - I_l \frac{R_{Я} + R_{П}}{\kappa\Phi(1 + K_C K_{ТП} K_\delta)} .$$

Это также уравнение прямой линии. Жесткость такой характеристики за счет действия отрицательной обратной связи существенно повышается по сравнению с разомкнутой системой.

При неограниченном увеличении коэффициента преобразования тиристорного преобразователя имеем:

$$\lim \Delta\omega = \lim I_{Д} \frac{R_{Я} + R_{П}}{\kappa\Phi(1 + K_C K_{ТП} K_\delta)}$$

при $K_{ТП} \longrightarrow \infty$.

Таким образом, предельной характеристикой в замкнутой САУ с отрицательной обратной связью является абсолютно жесткая характеристика.

Принцип действия жесткой отрицательной обратной связи по скорости заключается в следующем. При увеличении нагрузки на валу двигателя несколько уменьшится его скорость. Следовательно, сигнал тахогенераторов $U_{ТГ} = K_C \omega$ также уменьшится. Измерительный элемент, наоборот, повышает сигнал $\Delta U = U_{ВХ} - K_C \omega$ и напряжение $U_{Д}$. Это, в свою очередь, приводит к более или менее полной компенсации снижения скорости ω за счет возрастания ЭДС преобразователя $E_{П}$, хотя некоторая статическая ошибка и здесь, конечно, остается.

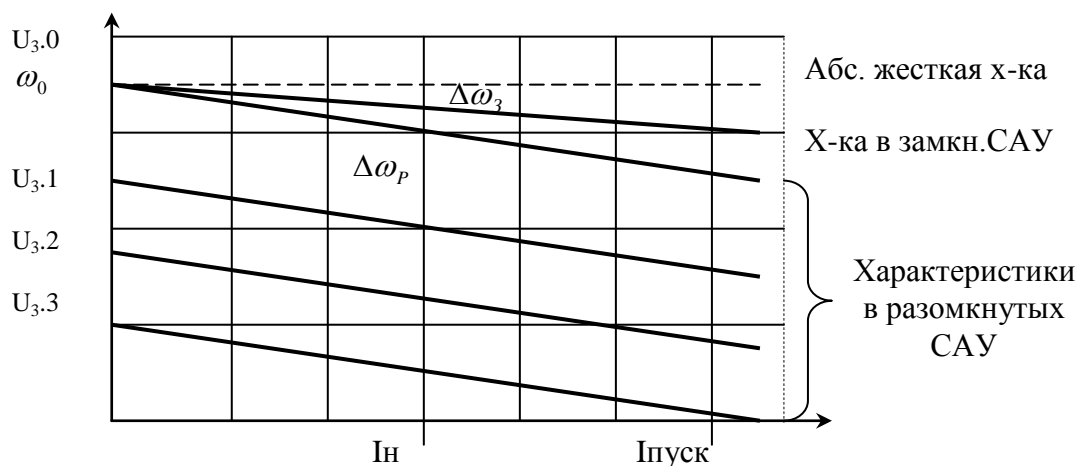


Рисунок 2 - Статические электромеханические характеристики

В замкнутой САУ задающее напряжение выше заданного напряжения разомкнутой системы во столько раз, во сколько коэффициент передачи разомкнутой системы превосходит коэффициент передачи замкнутой. Статизм характеристики замкнутой системы можно записать так:

$$\sigma_3 = \frac{\Delta\omega_3}{\omega_0} 100\% = I_0 \frac{R_{\text{Я}} + R_{\text{П}}}{k\Phi(1 + K_{\text{С}}K_{\text{ТП}}K_{\text{Д}})} \frac{100}{\omega_0}.$$

Таким образом, при возрастании величины $K_{\text{С}}K_{\text{ТП}}$ статизм характеристики может стать сколь угодно малым. Это указывает на возможность точного поддержания скорости при помощи рассмотренного узла.

Описание опытной установки

В качестве опытной установки используется привод серии ПТЗ (привод тиристорный трехфазный). Этот привод выполнен по системе «тиристорный преобразователь – двигатель» (ТП-Д) и представляет собой комплектный регулируемый нереверсивный электропривод постоянного тока, функциональная схема которого представлена на рис. 3. В комплект привода входят силовой трансформатор серии ТТ(TU), управляемый тиристорный преобразователь, электродвигатель серии ПБСТ со встроенным тахогенератором BR и задатчик скорости RP – потенциометр заданной скорости (ПЗС).

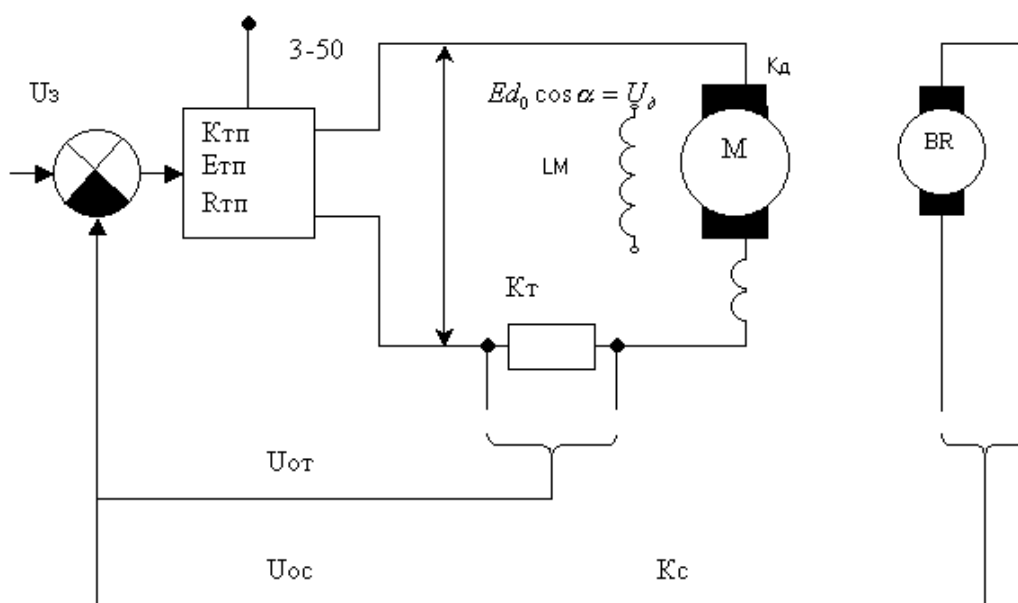


Рисунок 3 - Функциональная схема САУ РЭП

Преобразователь (см. рис.1) состоит из шести лавинных тиристоров (VS1...VS6), включенных по трехфазной мостовой схеме, и импульсной системы фазового вертикального управления, собранной в блоках БУ-1 и БУ-2. В систему управления преобразователем входят:

- промежуточный транзисторный усилитель U , охваченный стабилизирующим интегродифференцирующим контуром;
- блок пилообразных напряжений БПН;
- токоограничения БТО;
- блок питания электронных узлов БП;
- блок питания обмоток возбуждения электродвигателя, тахогенератора, релейно-контакторной аппаратуры (РКА).

Электродвигатели серии ПБСТ, разработанной ВНИИЭМ для станкостроения, имеют закрытое необдуваемое исполнение с одинаковыми условиями охлаждения, независимо от скорости якоря. Это позволяет полностью использовать двигатель по нагреву на низких скоростях. Двигатели имеют меньшие моменты инерции, меньшие сопротивления и индуктивности якорных цепей по сравнению с двигателями тех же габаритов и мощностей серии П. Встроенное исполнение тахогенератора ВР значительно повышает надежность работы привода.

Привод ПТЭ имеет замкнутую систему автоматического управления с отрицательной обратной связью (ОС) по скорости и току. Управление скоростью осуществляется изменением подводимого к якорю напряжения. Привод обеспечивает в диапазоне регулирования до 200:1 поддержание скорости с точностью 5% при изменении нагрузки от холостого хода до номинального значения и при колебаниях напряжения в сети $\pm 10\%$. Торможение динамическое.

Принцип управления приводом заключается в том, что сигнал постоянного напряжения от регулятора скорости алгебраически суммируется с сигналом обратной связи и поступает на вход промежуточного усилителя. Усиленный сигнал поступает на вход системы управления (БУ1, БУ2), где накладывается на пилообразное напряжение, формируемое блоком БПН. Знак и величина сигнала от регулятора скорости определяют изменение фазы выходных импульсов блоков управления. В свою очередь, фаза управляющих импульсов определяет величину угла

отпирания тиристоров, а следовательно, величину среднего значения выпрямленного напряжения, подводимого к двигателю, и его скорость. При коротких замыканиях и перегрузках привод отключается автоматически выключателем с комбинированным расцепителем.

Блок управления (БУ) включает в себя три идентичных системы управления углом отпирания тиристоров одной группы (катодной или анодной). Система управления состоит из фазосдвигающего устройства с формирователем, усилителя и генератора импульсов, выполненного по схеме ждущего блокинг-генератора.

Фазосдвигающее устройство работает по принципу вертикального управления. На вход системы управления подается два напряжения: пилообразное напряжение, формируемое блоком пилообразных напряжений, и управляющее напряжение постоянного тока, которое снимается с выхода промежуточного усилителя. Необходимый сдвиг рабочей зоны пилообразного напряжения обеспечивается соответствующим включением обмоток трансформаторов пилообразных напряжений относительно вторичных обмоток силового трансформатора.

Блоки управления обеспечивают получение управляющих импульсов с амплитудой $U_{\text{ВЫХ}}=10$ В при токе $I_{\text{ВЫХ}}=500$ мА, ширина импульса – 10...20 град. Напряжение питания блока управления – 24 В, напряжение входного сигнала постоянного тока - ± 10 В.

Промежуточный усилитель (У) выполнен по балансовой схеме на кремниевых транзисторах. Усилитель напряжения имеет следующие параметры:

- напряжение питания – 36 В;
- напряжение на выходе - ± 10 В;
- коэффициент усиления – 100...200;
- входное сопротивление – 1000 Ом.

В качестве датчика скорости (ПЗС) используются ползунковые переключатели ППЗ6-11 с напаянными резисторами. Величина степени регулирования зависит от диапазона регулирования. Сопротивление регулятора скорости 58 кОм.

Релейно-контакторная аппаратура обеспечивает пуск и останов, а также служит для защиты электропривода при некоторых режимах работ.

Технические данные привода серии ПТЗ:

- мощность электродвигателя – 1.5...9 кВт;
- номинальное напряжение электродвигателя – 220 В;
- диапазон регулирования – до 200 : 1;
- изменение скорости вращения при изменении нагрузки в пределах $(0.1...1.0)M_H - \pm 5\%$;
- изменение скорости при изменении напряжения сети в пределах 0.9... 1.1 - $\pm 5\%$;
- изменение скорости вращения при подогреве элементов электроприводов - $\pm 5\%$.

Электроприводы серии ПТЗ предназначены для работы в таких условиях:

- высота над уровнем моря – не более 1000 м;
- температура окружающей среды воздуха – 5...40 °С;
- окружающая среда не взрывоопасна, не содержит агрессивных газов и паров.

Электропривод серии ПТЗ обеспечивает длительную, кратковременную и повторно-кратковременную работу электродвигателя с номинальным моментом на валу во всем диапазоне скоростей. Скоростные характеристики электропривода экскаваторные, ток упора можно регулировать в широких пределах.

Подключение установки к сети переменного напряжения осуществляется автоматом А1. Нагрузка на испытуемом двигателе создается с помощью генератора, сочлененного с электродвигателем. Обмотка возбуждения генератора включается в сеть постоянного тока от выпрямителя В, встроенного в ПТЗ. Схема управления электроприводом работает по принципу отключения с отрицательной обратной связью по скорости, которая реализуется с помощью тахогенератора ВR. Замыкание и размыкание системы осуществляется с помощью переключателя SN. Включение нагрузки осуществляется с помощью выключателя SA1.

Методические указания

1 При изучении схемы (см. рис.1) необходимо уяснить назначение каждого блока, принципы работы, взаимодействие.

2 Перед каждым пуском двигателя убедиться, что потенциометр заданной скорости ПТЗ установлен в положение, соответствующее $U_3=0$, включить автомат

A1, тумблером SA2 включить реле К. Плавно поворачивая рукоятку потенциометра ПЗС, разогнать двигатель до номинальной скорости.

3 Перед снятием скоростных характеристик убедиться, что переключатель SN стоит в положении РС (разомкнутая система). Вначале снимается характеристика при максимальном задающем напряжении. Первую точку получают при разомкнутом выключателе SA1, последующие – при замкнутом SA1, но разных значениях сопротивления нагрузки R_H . Затем уменьшают напряжение до получения половинной скорости и опыты повторяют. Аналогично поступают при снятии характеристики на низких скоростях.

4 Перед снятием характеристик в замкнутой системе убедиться, что выключатель SA1 разомкнут (генератор M2 разгружен). Переключатель установить в положение ЗС (замкнутая система).

В дальнейшем опыты проводятся аналогично описанному выше. Ток якорной цепи двигателя измеряется амперметром PA1, скорость вращения – электротахометром PV3. Результаты измерений заносятся в табл. 1.

Таблица 1 - Результаты опытов

Зона скоростей под нагрузкой	Разомкнутая САУ				Замкнутая САУ			
	Опыт	I_d , А	n , об/мин	U_d , В	опыт	I_d , А	n , об/мин	U_d , В
$(0.8 \dots 1.0)n_H$	1							
	2							
	3							
$(0.5 \dots 0.6)n_H$	1							
	2							
	3							
$(0.1 \dots 0.2)n_H$	1							
	2							
	3							

По результатам измерений строятся электромеханические характеристики в разомкнутой и замкнутой системах. Характеристики строятся в одной системе координат. Величину астатизма для разомкнутой и замкнутой САУ РЭП определить в соответствии с выражением

$$\sigma = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot 100\%.$$

Опыты пунктов 5 и 6 плана работы можно выполнять с использованием двухлучевого осциллографа. В процессе опытов следует зафиксировать максимальный толчок тока при прямом пуске и изобразить кривую его изменения во времени; изобразить кривую изменения тока во времени при сбросе и наброске нагрузки; изобразить импульсы, поступающие на управляющие электроды тиристоров на фоне анодных напряжений.

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Схема опытной установки (см. рис.1).
- 3 Технические данные двигателя, преобразователя ПТЗ, электроизмерительных приборов.
- 4 Таблица с опытными данными.
- 5 Построенные статические скоростные характеристики для разомкнутой и замкнутой систем в одних координатах.
- 6 Кривые изменения тока при прямом пуске, приеме и сбросе нагрузки, управляющие импульсы и кривые анодных напряжений.
- 7 Анализ результатов опытов и краткие выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

- 1 Объясните действие обратной связи по скорости и ее назначение.
- 2 Объясните действие отрицательной обратной связи по току с отсечкой и ее назначение.
- 3 Как работает блок токовой отсечки БТО?
- 4 Как работает блок управления БУ?
- 5 Какие процессы происходят в системе при регулировании скорости?
- 6 Объясните назначение релейно-контакторной аппаратуры и ее работу.
- 7 Как осуществляется торможение двигателя?
- 8 Чем отличаются характеристики двигателя в разомкнутой системе от характеристик замкнутой системы?
- 9 Изобразите блок-схему привода ПТЗ.
- 10 Какую роль выполняет генератор в лабораторной установке?

2.2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛЕДЯЩИМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ (СЭП) С СИСТЕМОЙ ПИТАНИЯ ТП-ДПТ

Цель работы – исследовать качество регулирования в следящем электроприводе по положению (при единичном скачке) и по скорости (при линейно нарастающем сигнале) в зависимости от структуры САУ и регуляторов.

План работы

- 1 Ознакомиться с описанием лабораторной работы, схемой опытной установки, записать технические данные электродвигателя и тиристорного преобразователя, электроизмерительных приборов.
- 2 Изучить схему преобразователя по рис.4.
- 3 Снять переходную характеристику $Q_{вых}(t)$ в статической САУ при отработке задания по положению.
- 4 Снять переходную характеристику $Q_{вых}(t)$ в астатических САУ I и II порядка при отработке задания по положению.
- 5 Оценить влияние структуры САУ РЭП на быстродействие и статическую погрешность.

Основные теоретические сведения

Задачей следящей САУ приводом рабочих органов механизмов является обеспечение перемещения исполнительного органа (ИО) в соответствии с изменяющимся по произвольному закону управляющим (входным) сигналом.

При этом выделяют 2 группы следящих САУ:

- САУ позиционирования, осуществляющие режим управления положением (линейным L или угловым Q), при котором задачей системы является перемещение рабочего органа из одного фиксированного положения в другое. Входное воздействие при этом является единичным скачком – $g(t)=Q_{вх}(t)=1(t)$. Собственно следящие САУ, осуществляющие воспроизведение входного сигнала, нарастаю-

щего с постоянной скоростью [$g(t)=V(t)$], с постоянным ускорением [$g(t)=at^2/2$], или гармонического сигнала [$g(t)=\theta \sin \omega t$]. При этом $g(t)=Vt$ называют линейно нарастающим, а $g(t)=at^2/2$ - квадратичным сигналом.

Функциональная схема, реализующая задачи следящих САУ, приведена на рис.4.

Следящая САУ рассматривается с позиции теории подчиненного регулирования с последовательной коррекцией (последовательным включением регуляторов).

Как известно, величина ошибки САУ в установившемся режиме зависит от порядка астатизма (числа интегрирующих звеньев в системе) V .

Статические САУ ($V=0$) при управлении положением рабочего органа [$g(t)=Q_{вх}=\theta_{ex}(t)=const$] имеют установившуюся ошибку, называемую статической или ошибкой по положению: $\sigma_{cm}=Q_{ex}/(1+K_c)$, где K_c – коэффициент передачи разомкнутой САУ.

При управлении скоростью перемещения рабочего органа $g(t)=Vt$ или ускорением $g(t)=at^2/2$ в статических следящих САУ установившиеся ошибки возрастают неограниченно.

В статических САУ I порядка ($V=1$) при управлении положением, скоростью и ускорением рабочего органа ошибки определяются: по положению - $\sigma_{cm}=0$, по скорости - $\sigma_{cm}=v/K_v$, по ускорению - $\sigma_{cm} \rightarrow \infty$. Здесь v – скорость изменения входного сигнала; K_v – коэффициент передачи разомкнутой системы по скорости (добротность системы по скорости).

В астатических САУ II порядка ($V=2$) установившиеся ошибки компенсируются: по положению и скорости - $\sigma_{cm}=0$, а по ускорению при квадратичном сигнале - $\sigma_{cm}=a/K_a$, где a - ускорение изменения входного сигнала; K_a - добротность системы по ускорению.

Как следует из приведенного, величины ошибок при соответствующем порядке астатизма определяются также величиной, скоростью и ускорением входного сигнала и находятся в обратной зависимости от коэффициента передачи системы K_c . Последний определяет устойчивость САУ - при неограниченном возраста-

нии погрешность может быть полностью скомпенсирована, однако устойчивость будет нарушена. Поэтому между качеством (величиной σ_{cm}) и устойчивостью существует противоречие, которое решается выбором компромиссного значения.

Аппаратное решение следящих САУ обычно осуществляется на базе ТП-Д с активными корректирующими звеньями последовательного действия – регуляторами на операционных усилителях (по системе подчиненного регулирования).

Описание опытной установки

Функциональная схема исследуемой следящей САУ ЭП по положению представлена на рис.4. Система питания САУ ЭП выполнена по схеме ТП-ДПТ. В качестве ТП используется комплектный реверсивный тиристорный преобразователь типа ЭТУ 3601. САУ СЭП реализует принципы подчиненного регулирования в трехконтурной системе. Основным регулируемым параметром (III контур) является положение рабочего органа $\theta_{вых}$. Подчиненными параметрами являются угловая скорость ω (II контур) и силы тока I (I контур).

Обратная связь по положению осуществляется с помощью потенциометрического датчика угла поворота $B\varphi$, обратная связь по скорости – с помощью тахометрического моста RP, обратная связь по току – с помощью трансформаторов тока.

В качестве регуляторов во всех контурах используются операционные усилители, охваченные обратными связями в виде резисторов или емкостей. Регулятор в III контуре – регулятор положения РП – совмещает функции элемента сравнения.

САУ ЭП отрабатывает заданный угол поворота θ_{ex} , при этом с помощью потенциометра задания ПЗ устанавливают заданный угол поворота рабочего органа - рычага редуктора Р (ИМ).

Задание скорости изменения угла поворота осуществляют с помощью синхронного электродвигателя. В этом случае САУ отрабатывает задание по скорости.

Система состоит из устройства сравнения, выполненного в виде моста на задающем потенциометре ПЗ и потенциометре положения ПП. С диагонали моста

снимается сигнал ΔU , пропорциональный ошибке по положению $\Delta\theta$, который поступает в регулятор положения РП. ТП питает якорную цепь ДПТ, выходной вал которого, вращаясь с угловой скоростью ω , обеспечивает угловое перемещение $\theta_{\text{вых}}$ рычага (рабочего органа) редуктора Р. Редуктор связан с потенциометром положения ПП, который осуществляет обратную связь по положению (по углу поворота).

Тахометрический мост (RP) осуществляет обратную связь по скорости. Сигнал с RP поступает на регулятор скорости РС, осуществляя коррекцию САУ.

Методические указания

- 1 Подать питание на обмотку возбуждения ДПТ с помощью автомата SF3.
- 2 Отключить муфту М, установить ПЗ в нулевое положение.
- 3 Установить ПП в среднее положение с помощью маховика на редукторе.
- 4 Подать питание на измерительный мост.
- 5 Отключить цепь обратной связи по скорости с помощью выключателя SA1.
- 6 Подать питание на ТП с помощью автомата SF1.
- 7 Установить ЗП в одно из крайних положений, произвести замеры значений $\theta_{\text{вых}}$, ΔU и рассчитать коэффициенты передач:

$$K_1 = \frac{\Delta U}{\Delta\theta},$$

$$K_2 = \frac{U_g}{\Delta U},$$

$$K_g = \frac{U_g}{\Delta\theta}.$$

8 Проследить за обработкой входного воздействия системой по положению в статической САУ (SA2 и SA3 включены).

Исследовать влияние коэффициента усиления системы K_c на обработку задания по положению. Изменение K_c осуществить за счет регулировки R в регуляторе скорости.

Результаты замеров свести в табл.2.

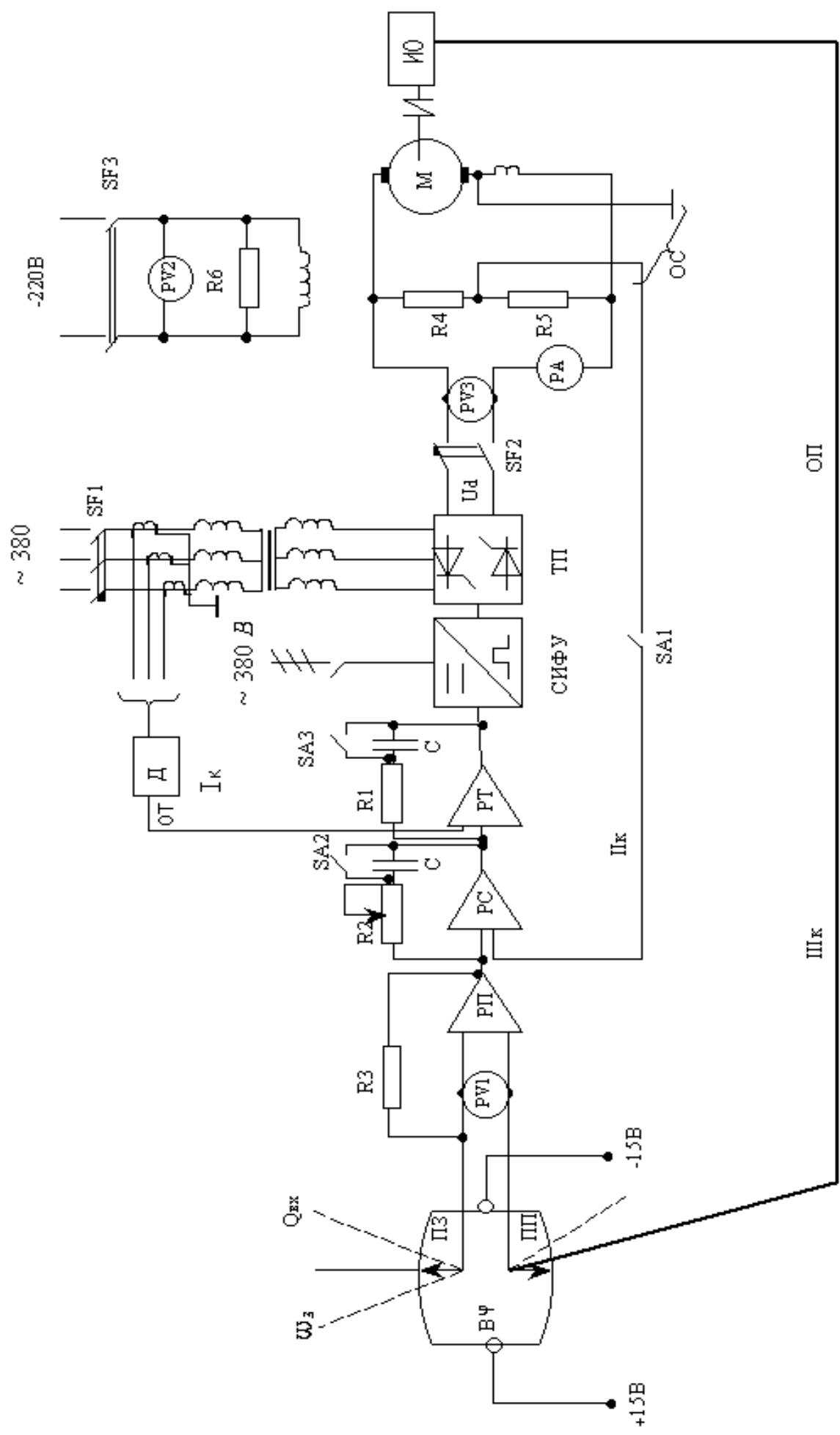


Рисунок 4 – Схема опытной установки

Таблица 2 - Результаты опытов

Опыт	1	2	3	4	5	6
$\theta_{вых}$						
t						

По данным табл. 2 построить кривую переходного процесса с управлением по положению.

9 Включить обратную связь по скорости и проследить за обработкой входного воздействия при различных значениях коэффициента передачи тахометра $K_{ос}$. Построить семейство переходных функций $\theta_{вых}(t)$.

10 Произвести аналитические расчеты величины погрешности $\Delta\theta$ для статической ($V=0$) и астатической ($V=1$) САУ при обработке ступенчатого воздействия (по положению):

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{ex.o}}{1 + K_c} ,$$

где $K_c = K_1 K_2 K_g$, $\theta_{ex.o}$ - выходное перемещение, задается в градусах.

11 Исследовать влияние структуры регулятора скорости на качество регулирования. Для этого пропорциональный регулятор тока (РТ) преобразовать в ПИ-регулятор (ввести в САУ интегрирующее звено) путем размыкания SA3. Проследить за обработкой входного воздействия системой по положению. Качество регулирования осуществить с помощью потенциометра R1. Результаты замеров свести в табл. 3 и построить кривую переходного процесса.

Таблица 3 - Результаты экспериментов

Порядок астатизма		Опыт			
		1	2	3	4
$V=1$	$\theta_{вых}$				
	t				
$V=2$	$\theta_{вых}$				
	t				

12 Отключить SA2, ввести второе интегрирующее звено в САУ (регулятор скорости – ПИ регулятор).

13 Результаты замеров свести в табл.3 и построить кривую переходного процесса.

14 Осуществить качественное сравнение переходных процессов в следящей САУ, оценить влияние астатизма на характер переходного процесса, точность и быстродействие.

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Схема опытной установки.
- 3 Технические данные преобразователя, электроизмерительных приборов, двигателя.
- 4 Таблицы с опытными данными.
- 5 Кривые переходных процессов в статической и астатической САУ СЭП.
- 6 Анализ результатов опытов и краткие выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

- 1 Объяснить действие обратной связи по положению.
- 2 Объяснить принцип работы САУ СЭП при отработке задания по положению и задания по скорости.
- 3 В чем сущность ошибки по положению, скорости, ускорению?
- 4 В чем сущность порядка астатизма в САУ СЭП?
- 5 Объяснить влияние порядка астатизма на точность и устойчивость САУ.
- 6 Отличительные особенности систем позиционирования.

2.3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ САУ РЭП НА БАЗЕ ОДНОФАЗНОГО ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТИПА ЭПУ2-1-Е

Цель работы – изучить особенности схемы и работу однофазного ТП типа ЭПУ2-1-Е; исследовать статические электромеханические характеристики в САУ с обратной связью по скорости и ЭДС; исследовать влияние структуры регуляторов на быстродействие; получить навыки монтажа САУ РЭП.

План работы

- 1 Ознакомиться с описанием лабораторной работы, схемой и электрооборудованием установки. Записать технические (паспортные) данные электрических машин, аппаратов, измерительных приборов.
- 2 Скоммутировать схему внешних соединений лабораторной установки.
- 3 Снять электромеханические характеристики в замкнутой системе. Оценить влияние коэффициента передачи САУ и структуры регулятора на жесткость статических характеристик.
- 4 Исследовать влияние K_{PC} и закона регулирования на быстродействие САУ РЭП.

Основные теоретические сведения

Характерной особенностью однофазных тиристорных преобразователей является двухполупериодное выпрямление переменного напряжения с помощью диодного моста и регулирование выпрямленного напряжения с помощью симистора, что упрощает структуру системы импульсно-фазового управления (СИФУ).

Структура САУ РЭП содержит две обратные связи: по ЭДС и по скорости, обеспечивающие высокую жесткость статической характеристики. Предельной характеристикой является абсолютно жесткая характеристика. Это определяется известным выражением:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega = \frac{U_{BX} K_{ТП}}{K\Phi(1 + K_C K_{ТП} K_\delta)} - I_\delta \frac{R_\delta + R_{II}}{K\Phi(1 + K_C K_{ТП} K_\delta)} .$$

При увеличении как коэффициента обратной связи по скорости, так и коэффициента передачи всей разомкнутой системы K_{PC} , статизм статической характеристики может быть снижен до нуля:

$$\sigma = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} 100\%, \quad \Delta\omega = I \frac{R_\delta + R_{II}}{K\Phi(1 + K_C K_{ТП} K_\delta)} .$$

Изменение структуры регулятора скорости (П- или ПИ-законы регулирования) приводит также к изменению погрешности. В статических САУ с П-регулятором (число интегрирующих звеньев $\nu = 0$) погрешность пропорциональна нагрузке. В астатических САУ с ПИ-регулятором (число интегрирующих звеньев $\nu = 1$) погрешность существенно снижается.

Увеличение коэффициента передачи системы K_C и усложнение структуры регулятора в контуре скорости увеличивает также быстродействие системы управления (уменьшает длительность переходных процессов).

Описание опытной установки

Схема установки приведена на рис.5. Однофазный электропривод, на котором выполнена опытная установка, изготовлен на современной элементной базе с применением интегральных микросхем, транзисторов и силовых полупроводниковых ключей – симисторов. Электропривод осуществляет плавное изменение частоты вращения вала электродвигателя, автоматическое поддержание ее на заданном уровне, независимо от изменения нагрузки. Применение полупроводниковых «ключей» в электроприводе исключает дуговые и искровые разряды при коммутации, а также резко сокращает габариты преобразователя.

Силовая часть опытной установки содержит однофазный тиристорный преобразователь ЭПУ 2-1, реакторы L1 и L2, электродвигатель постоянного тока со встроенным тахогенератором типа ТС1М.

Нагрузка на электродвигатель создается электрическим способом путем сочленения электродвигателя с генератором постоянного тока, нагружаемого проволочным реостатом R_H .

Схема подключений преобразователя представлена на рис.6. Подключение к сети – бестрансформаторная, с помощью автоматического выключателя $SF1$, защита в главной цепи и цепи возбуждения осуществляется с помощью плавких предохранителей FU . Коммутация преобразователя с реактором и электродвигателем осуществляется с помощью клеммников $XЧА$, $XЧБ$, $XЧВ$, $ЧЗА$ и $ХЗБ$. Контроль выпрямленного напряжения выполняется с помощью вольтметра $PV1$, токовой нагрузки – амперметром $PA1$, частоты вращения – pn .

Комплектный тиристорный преобразователь типа ЭПУ2-1 состоит из нескольких функциональных блоков, связанных между собой и работающих следующим образом.

В блоке регулятора ЭДС (РЕ) происходит сравнение задающего сигнала, устанавливаемого с помощью резистора $R1$, с сигналом обратной связи, формируемым тахогенератором BR и подключаемым через $SA1$ или цепью ЭДС и подключаемым через $SA2$. Величина коэффициента усиления обратной связи регулируется с помощью резистора $R26$. Параметры обратной связи по ЭДС изменяются с помощью резистора $R17$.

Регулятор ЭДС (скорости) может изменять свою структуру за счет включения $SA3$. При этом регулятор изменяет свой закон регулирования из пропорционально-интегрирующего (ПИ) в пропорциональный (П). Пороговый сигнал, соответствующий допустимому углу регулирования ТП, устанавливается блоком токоограничения (ТО) с помощью резистора $R42$.

Результирующий сигнал поступает в систему импульсно-фазового управления (СИФУ), которая вырабатывает управляющие импульсы в зависимости от угла регулирования симистора. В блоке управляемого тиристорного выпрямителя (УТВ) переменное напряжение питающей сети выпрямляется мостом $VC25-26$, регулируется по величине симистором $VC27$. Ток якоря проходит по силовой обмотке реактора $L1$, наводит ЭДС в компенсационной обмотке того же реактора. Последняя прямо пропорциональна току якоря, поэтому служит датчиком тока.

Блок стабилизатора напряжения обмотки возбуждения (СОВ) поддерживает величину напряжения возбуждения на заданном уровне. Источник питания (ИП) подает питающее напряжение на функциональные блоки схемы электропривода.

Методические указания

1 Установить задатчик скорости – потенциометр $R1$ – в нулевое положение; отключить нагрузку выключателем $SA4$; включив $SA3$, преобразовать регулятор скорости в П-регулятор; с помощью выключателя $SA1$ замкнуть цепь обратной связи по скорости.

2 Подать питание на преобразователь с помощью автоматического выключателя $SF1$.

3 Снять электромеханические характеристики в статической САУ с обратной связью по скорости. Для этого установить с помощью задатчика выбранную скорость, включить цепь нагрузки с помощью $SA4$ и, изменяя величину нагрузки R_n , снять 4...5 точек.

Результаты опытов занести в табл.4.

Таблица 4 - Результаты опытов в статической САУ РЭП

Вид обратной связи		Опыт			
		1	2	3	4
По скорости	I_n				
	n				
По ЭДС	I_n				
	n				

4 Снять электромеханические характеристики в статической САУ с обратной связью по ЭДС. Для этого отключить установку, перевести $R1$ в нулевое положение, отключить $SA1$, включить $SA2$, снять по аналогии с п.3 4...5 точек характеристики. Результаты опытов занести в табл.4.

По данным табл.4 построить статические характеристики и оценить величину статизма по выражению

$$\sigma = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} 100\% .$$

5 Повторить опыты по пп.3 и 4 при других значениях коэффициента передачи обратных связей по скорости - R_{26} и по ЭДС - R_{17} и R_{42} . Оценить влияние коэффициентов передач обратных связей на величину статизма характеристик.

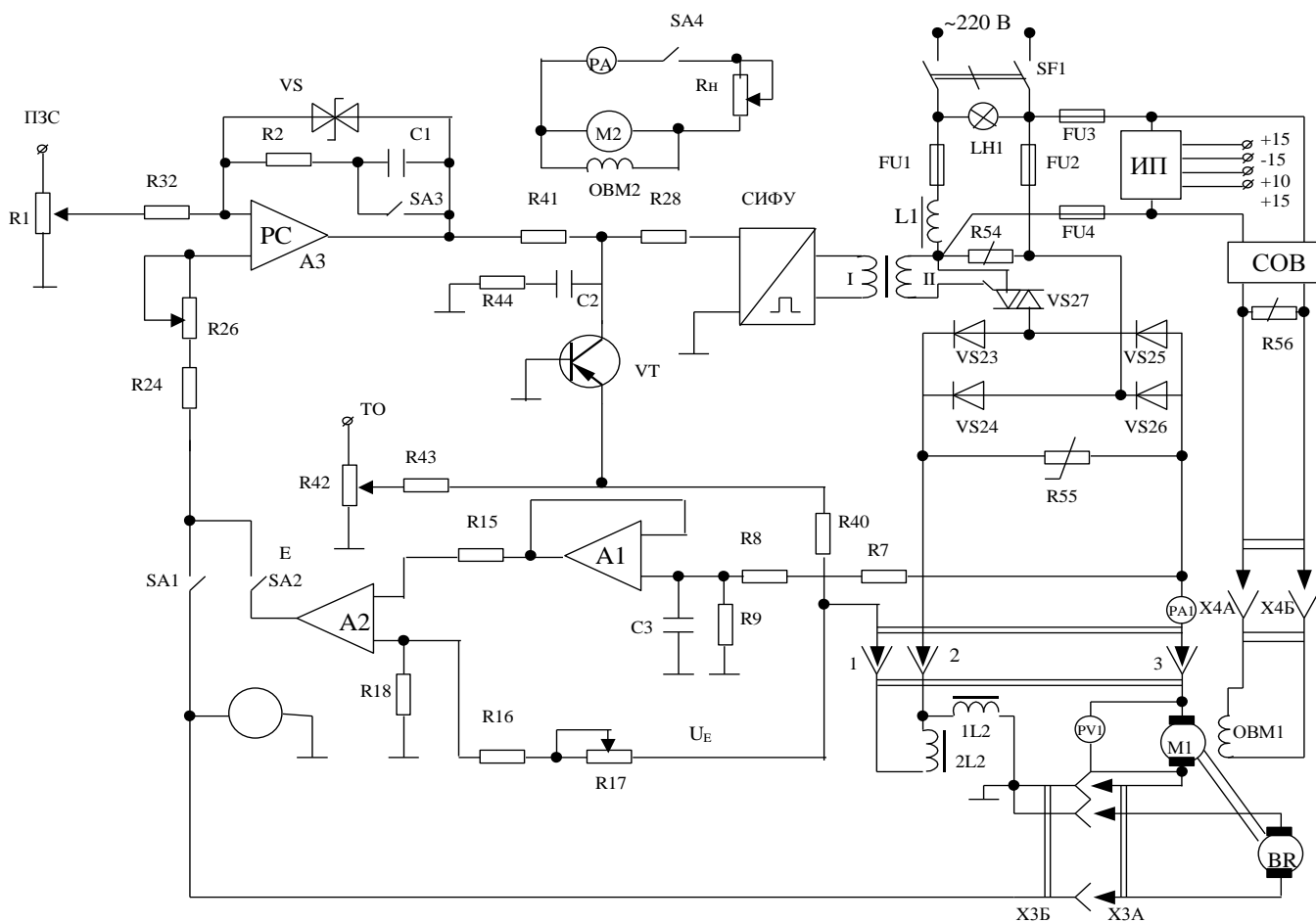


Рисунок 5 - Схема опытной установки

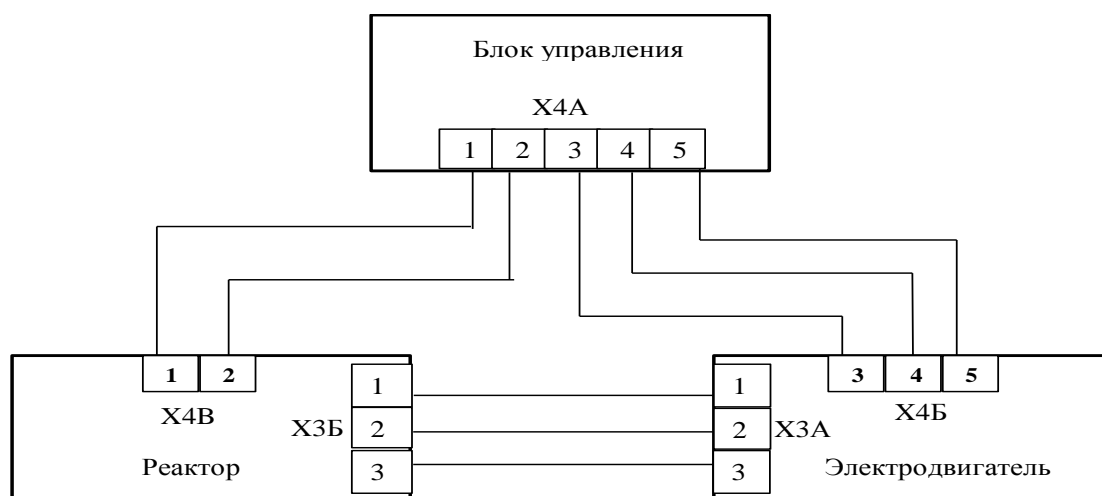


Рисунок 6 - Схема подключения блоков установки

6 Снять электромеханические характеристики в астатической САУ. Для этого отключить САЗ, преобразовав тем самым РС в ПИ-регулятор. Повторить опыты по пп.3 и 4. Результаты опытов занести в табл.5. По данным табл.5 построить статические характеристики и оценить величину статизма.

Таблица 5 - Результаты опытов в астатической САУ РЭП

Вид обратной связи		Опыт			
		1	2	3	4
По скорости	I_n				
	n				
По ЭДС	I_n				
	n				

7 Произвести сравнительную оценку статической и астатической САУ, оценить влияние структуры регулятора на жесткость статических характеристик.

8 С помощью осциллографа оценить длительность переходных процессов по току и скорости при пуске и наброске нагрузки в статической и астатической САУ РЭП.

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Схема опытной установки.
- 3 Технические данные преобразователя, электродвигателя и электроизмерительных приборов.
- 4 Таблица с опытными данными.
- 5 Кривые переходных процессов в статической и астатической САУ РЭП.
- 6 Анализ результатов опытов и краткие выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

- 1 Особенности однофазных тиристорных преобразователей.
- 2 Функциональные задачи лабораторной установки.
- 3 Сравнительная оценка структуры П- и ПИ- регуляторов.
- 4 Факторы, влияющие на повышение жесткости статических характеристик в САУ РЭП.

5 Факторы, влияющие на быстроедействие САУ РЭП.

2.4 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ ТИПА «КЕМРОН»

Цель работы - изучить схему управления системой питания ТП-Д; исследовать СИФУ; построить выходную, регулировочную и электромеханическую характеристики.

План работы

- 1 Ознакомиться с описанием лабораторной работы, схемой и электрооборудованием установки. Записать технические данные высокомоментного двигателя 23МВН, тахогенератора, измерительных приборов.
- 2 С помощью двухлучевого осциллографа исследовать работу блок-схемы СИФУ и составить диаграмму.
- 3 Экспериментально снять и построить выходную характеристику преобразователя $U_{\text{вых}} = f_1(U_{\text{вх}})$, определить коэффициент усиления.
- 4 Экспериментально снять и построить регулировочную характеристику $U_{\alpha} = f_2(\alpha)$, определить минимальный α_{min} и максимальный α_{max} углы управления.
- 5 Снять и построить электромеханическую характеристику системы ТП-Д $n = f_3(I)$ для углов α_1 и α_2 . Определить диапазон регулирования.

Основные теоретические сведения

Систему «тиристорный преобразователь-двигатель» (ТП-Д) можно представить в виде трех основных частей: системы импульсно-фазового управления, собственно тиристорного преобразователя и двигателя (рис.7).

Система импульсно-фазового управления (СИФУ) преобразует непрерывный входной сигнал управления $U_{\text{упр}}$ в фазовый сдвиг импульса α (формируемого генератором импульсов ГИ), отсчитываемый от момента естественного отпирания тиристора. На рис.8 для фазы А показано пилообразное опорное напряжение с линейно нарастающим рабочим участком.

Пусть изменению $\omega t = \pi/2$ (ω - круговая частота напряжения питания) соответствует изменение напряжения на выходе генератора пилообразного напряжения ($U_{Г1}$), тогда на основании состояния

$$\frac{\alpha_{нач} - \alpha}{U_{упр}} = \frac{\pi/2}{U_{Г1}}$$

имеем выражение, связывающее угол управления с сигналом на входе СИФУ:

$$\alpha = \alpha_{нач} - \frac{\pi U_{упр}}{2 U_{Г1}}.$$

Значение выпрямленного напряжения U_B будет пропорционально $\cos \alpha$.

Описание опытной установки

В качестве опытной установки используется электропривод типа «Кемрон». Электропривод имеет двухкомплектный шестипульсный тиристорный выпрямитель с уравнительным дросселем. Система регулирования – двухконтурная с регуляторами тока и скорости. Блок-схема привода приведена на рис.9 и содержит следующие обозначения:

РС—регулятор скорости;

РТ—регулятор тока;

РУТ—регулятор уравнительного тока;

ИНВ—инвертор;

СИФУ—система импульсно-фазового управления;

АР—адаптивный регулятор;

КЗ—корректирующее звено;

ФП—функциональный преобразователь нелинейного токоограничения;

ПЭ—пороговый элемент;

БНТО—нелинейное токоограничение;

ОС—защита от превышения максимального тока;

ОЛ—защита от длительной перегрузки;

ОС—защита от превышения максимальной частоты вращения;

ТГ—защита от обрыва в цепи тахогенератора;

СР—защита от обрыва фазы и непрерывного чередования фаз;

БЗ—блок защиты;
 ТР—силовой трансформатор;
 ТП—тиристорный преобразователь;
 Я—двигатель;
 ТГ—тахогенератор;
 L—уравнительные дроссели;
 БП—блок питания.

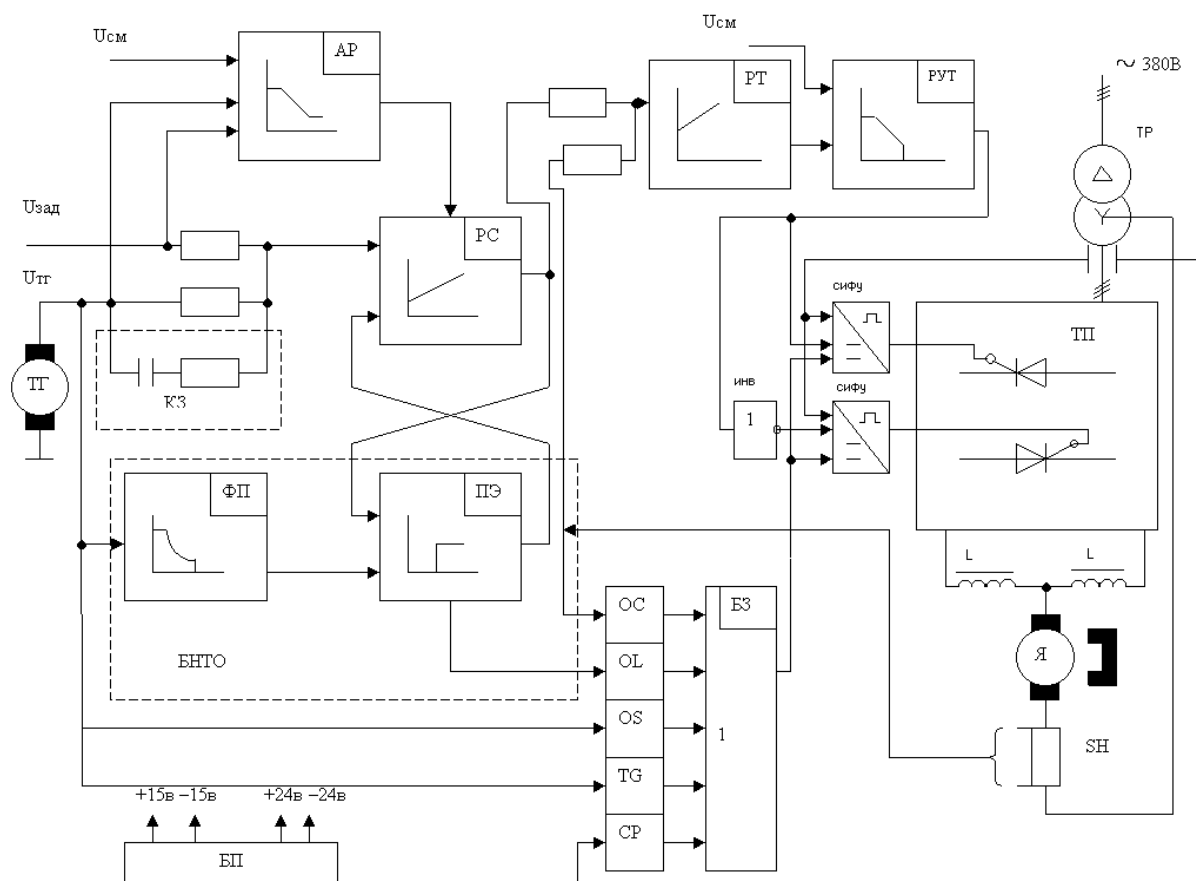


Рисунок 9 - Блок-схема привода «Кемрон»

Работа схемы осуществляется следующим образом. Разность задающего сигнала $U_{зад}$ и сигнала обратной связи по частоте вращения $U_{ТГ}$ подается на регулятор скорости РС. На выходе регулятора скорости сформированный сигнал сравнивается с сигналом обратной связи по току в цепи якоря двигателя и разность поступает на регулятор тока РТ. После регулятора тока сигнал поступает в систему импульсно-фазового управления, функция которой заключается в формировании и распределении импульсов управления силовых тиристоров. Пропорционально-интегральный регулятор скорости РС построен на операционных уси-

лителях с независимой регулировкой коэффициента усиления и постоянной времени (пропорциональной и интегральной составляющих). Изменение коэффициента усиления в зависимости от сигнала управления, скорости и тока обеспечивает адаптивный блок АР регулятора скорости. Меньшей скорости соответствует максимальный коэффициент усиления. Блок нелинейного токоограничения БНТО состоит из блока отсечки (ПЭ), обеспечивающего ограничение сигнала на выходе регулятора скорости, и системы зависящего от скорости токоограничения (ФП), снижающей ток установки с ростом скорости. На входе ПИ-регулятора тока РТ алгебраически суммируются сигналы с выхода датчика тока-шунта Sh , установленного в цепи якоря двигателя. Регулятор тока имеет независимую настройку коэффициента усиления и постоянной времени. В блоке РУТ осуществляется регулирование уравнивающего тока.

В установке использован высокомоментный двигатель со встроенным тахогенератором.

Параметры двигателя 23МВН

- 1 Номинальные: момент – 23Нм; частота вращения – 750об/мин ; мощность – 1.8кВт ; напряжение – 66В; ток – 34А.
- 2 Максимальный момент при пуске $M_p=180$ Нм.
- 3 Максимальная частота вращения в продольном режиме – 1500об/мин.
- 4 Момент инерции якоря эл.двигателя - $0.037 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.
- 5 Электромеханическая постоянная времени $T_{эм}=8.8$ мс.
- 6 Электромагнитная постоянная времени $T_m=7.4$ мс.
- 7 Сопротивление обмотки якоря при 15°C - 0.144Ом.
- 8 Постоянная - 0.778 В·с.
- 9 Коэффициент передачи – 35.
- 10 Тахогенератор: $U_{тг} = 20$ В при 1000 об/мин.

В качестве нагрузки применяется асинхронный двигатель с коротко замкнутым ротором, работающий в режиме динамического торможения.

На передней панели опытной установки расположены следующие ручки управления и приборы:

ОГ – автоматический выключатель 3-фазного напряжения,

PV 1 – вольтметр напряжения задания,
PV 2 – вольтметр выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя,
PA 1 – амперметр, измеряющий ток якорной цепи,
PA 2 – амперметр контроля тока динамического торможения АД,
PV 3 – прибор измерения числа оборотов двигателя,
PP – ручка потенциометра задания напряжения,
SA – тумблер включения и отключения нагрузки.

А также смонтированы гнезда для подключения осциллографа 10, контрольных точек блок-схемы СИФУ. Блок-схема СИФУ показана на рис.10.

Напряжение синхронизации U_x (U_y , U_z) подается на канал СИФУ и задерживается цепочкой П1 – С31 приблизительно на 63 град. (см. диаграмму работы СИФУ – рис. 11) и подается на ключи ИС11 и ИС12. Напряжения на выходах ключей взаимноинверсны, однако фронты этих напряжений сдвинуты за счет подачи разнополярного смещения, регулируемого потенциометром П7.

Формируемый на элементе «И» короткий отрицательный импульс запускает ждущий генератор пилообразного напряжения, выполненный на интегральной схеме ИС13 и транзисторе Т21. На элементах ИС14, ИС15 осуществляется сравнение величины пилообразного напряжения с управляющими напряжениями ИС27 и ИС28. Выходные напряжения ИС14, ИС15 дифференцируются и через схемы «И» управляют усилителями Т25, Т26 анодной группы тиристоров и Т30, Т31 катодной группы.

Контрольные точки блок-схемы СИФУ имеют следующую нумерацию:

- 1 - общая точка;
- 2 - напряжение синхронизации (вход потенциометра П1);
- 3 - вход ключа ИС11, ИС12 (К31);
- 4 - выход ключей ИС11;
- 5 - выход ключа ИС12;
- 6 - выход элемента «И» (транзистор Т21 схемы совпадения, К33);
- 7 - напряжение пилы ($V_{\text{пилы}}$ генератора пилообразного напряжения, К34);
- 8 - выход с интегральной схемы ИС14 (ИС15), К35 (36);
- 9 - управляющий импульс на электроде тиристора УЕ10 (УЕ1);

10 - диаграмма уравнивающих напряжений и токов.

Методические указания

1 Исследовать работу СИФУ. Для этого ручку потенциометра РР установить в крайнее левое положение. Включить автоматический выключатель ОГ. Плавно изменить напряжение задания. С помощью осциллографа исследовать диаграмму напряжений на контрольных точках СИФУ.

Установить потенциометр РР в крайнее левое положение. На осциллографе совместить управляющий импульс (т.9) со серединой пилы (т.7). Плавно изменить угол регулирования до максимальной частоты вращения электродвигателя, определить при этом величину изменения угла регулирования в градусах.

Установить минимальные обороты двигателя (до 20 об/мин). Осуществить реверсирование привода переключением тумблера. На осциллографе посмотреть изменение направления перемещения управляющего импульса (т.9).

Исследовать изменение диаграммы уравнивающих напряжений токов (т.10) путем вращения потенциометра РР влево-вправо.

2 Снять и построить выходную характеристику преобразователя. Для этого необходимо изменить напряжение задания через 1 В по вольтметру PV1 и регистрировать при этом величину напряжения на преобразователе вольтметром PV2. Результаты опыта занести в табл.6.

Таблица 6 - Таблица данных

PV1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PV2										

По характеристике «вход-выход» определить коэффициент усиления тиристорного преобразователя.

3 Снять и построить регулировочную характеристику преобразователя. Для этого значение угла регулирования изменять через каждые 10 градусов по осциллографу, регистрируя при этом величину напряжения на ТП по PV2. Результаты измерений занести в табл. 7.

Таблица 7 - Таблица данных

α , эл.град.	60	50	40	30	20	10
---------------------	----	----	----	----	----	----

Ud, В						
-------	--	--	--	--	--	--

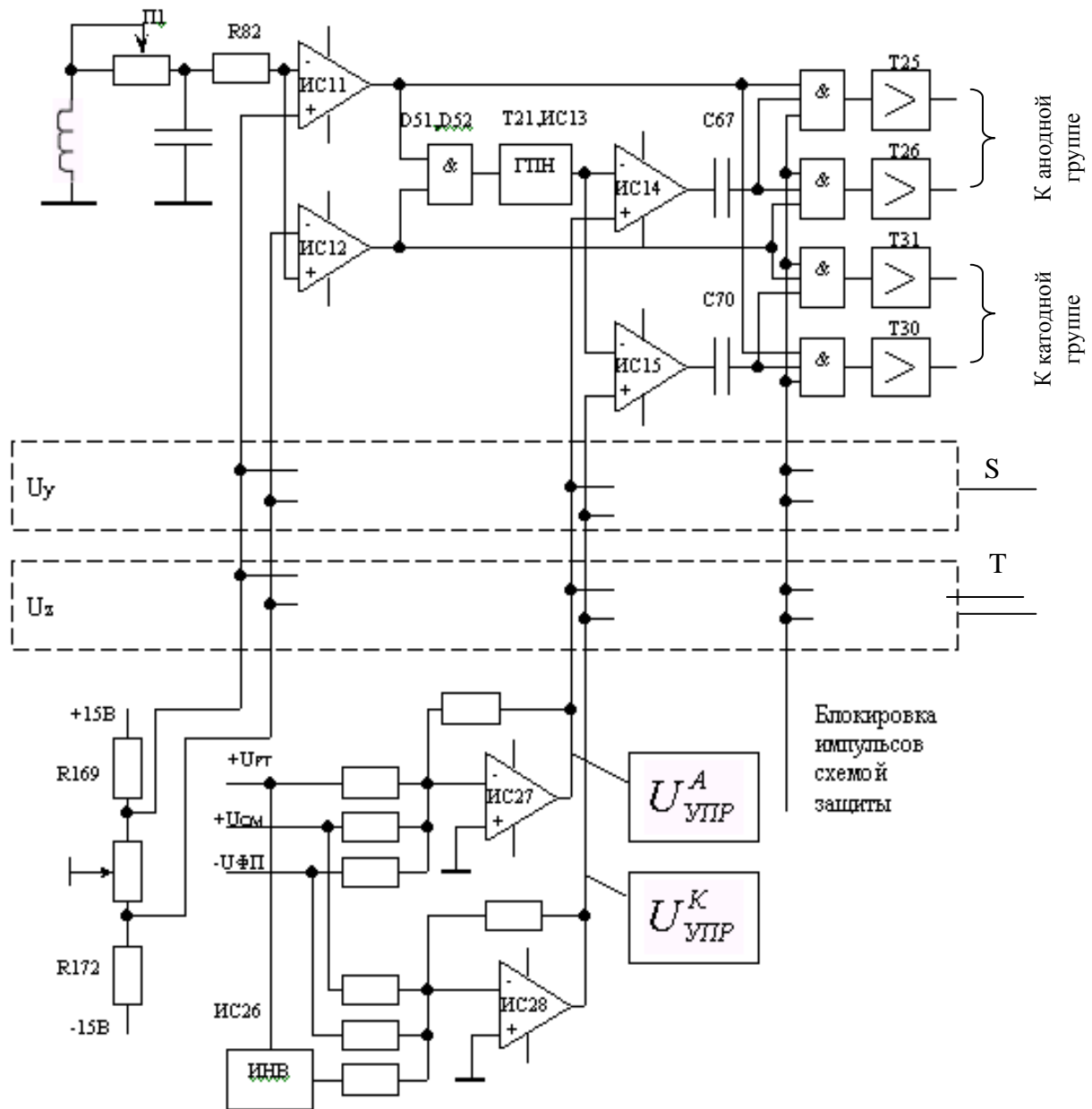


Рисунок 10 - Блок-схема СИФУ

4 Снять и построить электромеханическую характеристику $n=f(I)$ по двум точкам для углов α_1 и α_2 ТП. В качестве нагрузки использовать асинхронный двигатель, работающий в режиме динамического торможения. Нагрузка осуществляется переключением тумблера SA в верхнее положение и контролируется величиной тока динамического торможения амперметром PA2. Для получения результатов опыта необходимо установить значение угла α_1 , записать при этом величину

оборотов n по PV3 и значение тока I_d по PA1. Затем тумблером S_A отключить нагрузку и также записать их значения. Аналогично проделать для угла регулирования α_2 . Результаты измерений занести в таблицу 8. По характеристике определить диапазон регулирования.

Таблица 8 - Таблица данных

α_1	n , об/мин										
	I , А										
α_2	n , об/мин										
	I , А										

Содержание отчета

- 1 Блок-схема электропривода.
- 2 Блок-схема СИФУ и диаграмма работы.
- 3 Построенные выходная, регулировочная и электромеханическая характеристики.
- 4 Анализ результатов и краткие выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Из каких функциональных блоков состоит электропривод ?
- 2 Какие виды защиты содержит привод ?
- 3 Какую роль выполняет СИФУ ?
- 4 В чем сущность вертикального управления СИФУ ?
- 5 Как происходит преобразование сигнала в канале СИФУ ?
- 6 Чем объяснить проводящее состояние тиристора при отрицательном напряжении на аноде?
- 7 Какова природа уравнивающего тока ?
- 8 Как определялось значение угла регулирования ?
- 9 Начертите диаграмму напряжения на ТП при различных углах управления.
- 10 Какие процессы происходят в системе при резком уменьшении числа оборотов двигателя?

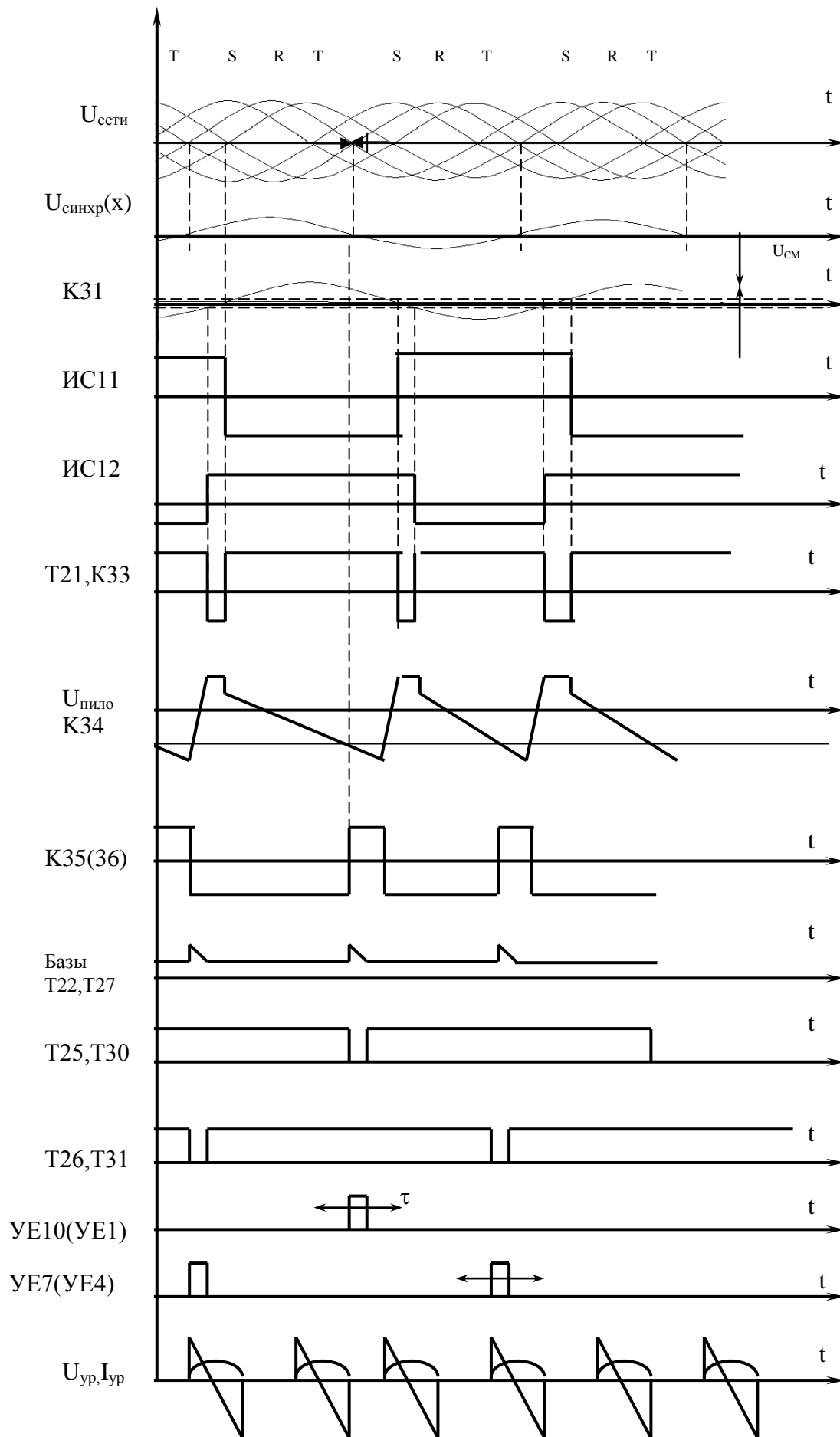


Рисунок 11 - Диаграмма работы СИФУ

2.5 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Цель работы – изучить принцип действия ШИП, формы сигналов и способы их формирования; снять осциллограммы в характерных точках и объяснить формы полученных сигналов.

План работы

- 1 Ознакомиться с описанием лабораторной работы, схемой и электрооборудованием установки. Записать технические данные оборудования и измерительных приборов.
- 2 Ознакомиться с теорией широтно-импульсной модуляции и способами получения сигналов требуемой формы в ШИП.
- 3 Изучить способ формирования сигналов в ШИП.
- 4 Построить статическую характеристику ШИП.
- 5 Исследовать влияние нагрузки на форму выходных сигналов.

Основные теоретические сведения

В основу импульсного управления двигателями постоянного тока положен следующий факт: при питании якорной цепи двигателя импульсным напряжением постоянной частоты, но разной скважности можно регулировать частоту вращения двигателя от нуля до номинала.

Рассмотрим схему, представленную на рисунке 12,а.

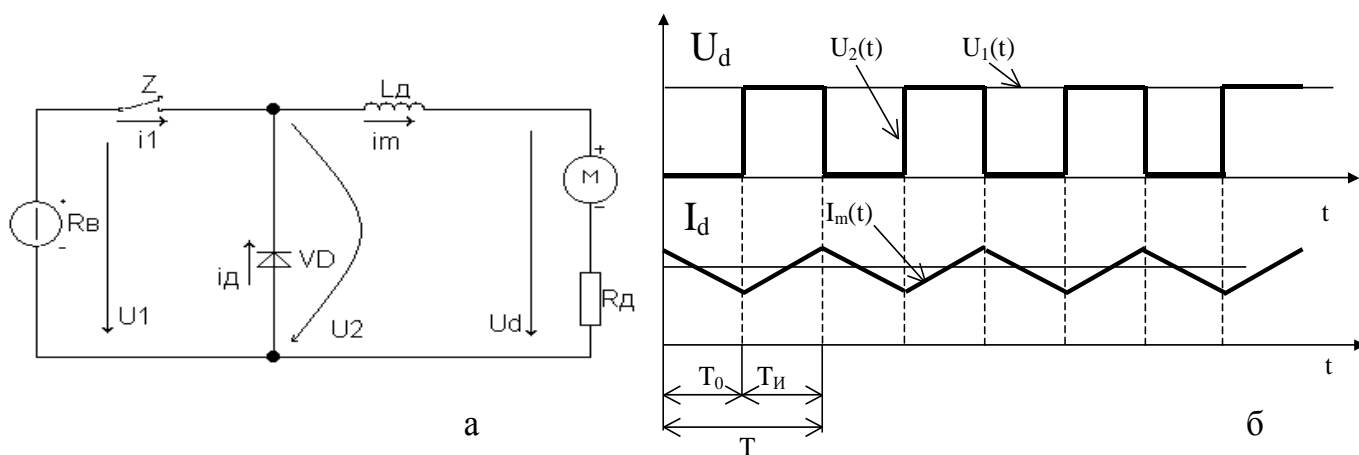


Рисунок 12 - Схема ШИП (а) и принцип импульсного управления (б)

Коммутатор Z периодически подключает источник постоянного напряжения U_1 с внутренним сопротивлением R_b к якору двигателя M . В якорной цепи находится индуктивность L_d , соответствующая суммарной индуктивности цепи, и активное сопротивление R_d , соответствующее суммарному активному сопротивлению цепи. Соотношение между длительностью включения $T_{и}$ и периодом T (рис. 12,б) задается коммутатором Z . Напряжение U_2 формирует ток якоря двигателя. Во время включения $T_{и}$ ток увеличивается по экспоненте с постоянной времени:

$$\tau_u = \frac{L_d}{(R_d + R_b)},$$

а во время отключения происходит спад тока по экспоненте с постоянной времени

$$\tau_o = \frac{L_d}{R_d}.$$

Решающее значение имеет индуктивность L_d . Она обеспечивает незначительные колебания тока i_m относительно среднего значения I_m при изменении напряжения от нуля до номинала. Момент двигателя имеет при этом незначительную пульсацию. Для среднего момента действительно выражение $M = k_m \Phi I_m$.

Ток i_m берется от источника только во время включения $T_{и}$, а во время паузы он течет через шунтирующий контур (диод VD). Между средними значениями токов источника и двигателя существует зависимость

$$I_1 = I_m \frac{T_{и}}{T},$$

где величина $T_{и}/T$ - скважность импульсов.

В течение роста (или спада) тока двигателя дроссель запасает (или отдает) энергию; благодаря этому напряжение на двигателе U_m оказывается практически постоянным, несмотря на сильную пульсацию напряжения U_2 . При этом справедливо уравнение

$$U_m = k_m \Phi_m \omega + I_m R_d.$$

Из-за достаточной стабильности момента и механической инерционности двигателя частота его вращения оказывается постоянной. Дроссель действует как

накопитель энергии, хотя он не может ни генерировать энергию, ни потреблять ее. Поэтому $U_2=U_m$, и на основании принципа работы коммутатора

$$U_2 = U_1 \frac{T_{II}}{T}.$$

Тогда

$$U_1 \frac{T_u}{T} = k_m \Phi_m \omega + I_m R_d.$$

Отсюда следует, что частоту вращения можно регулировать путем изменения скважности коммутатора (рис. 13).

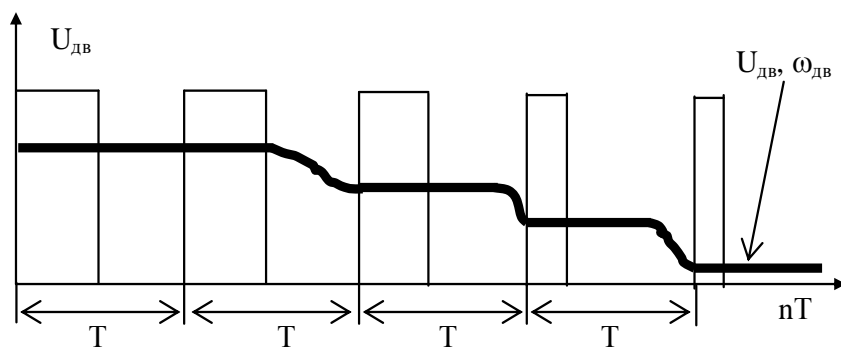
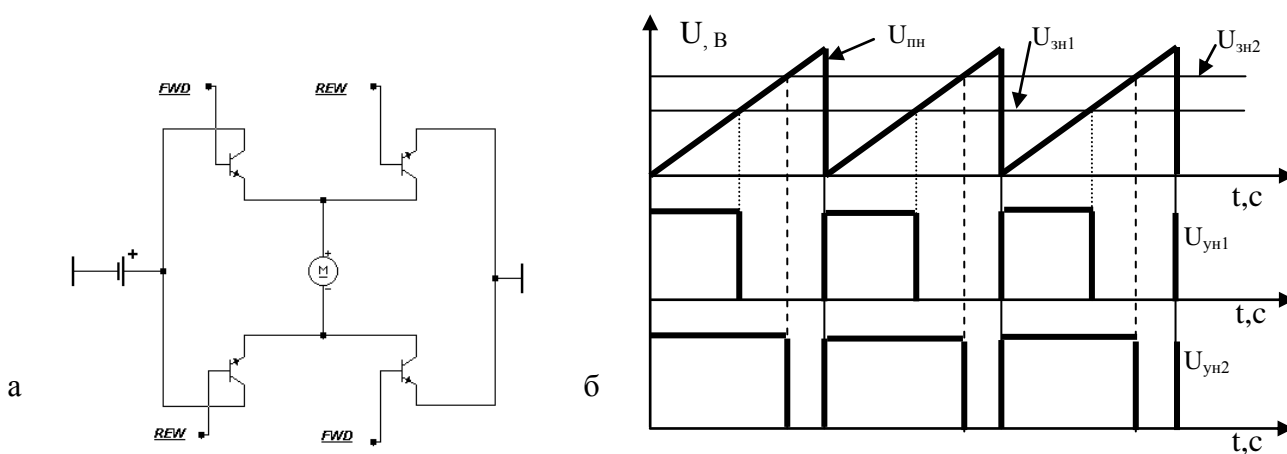


Рисунок 13 - Регулирование скорости изменением скважности

Структурная схема ШИП ЭШИМ-1 представлена на передней панели стенда. Принцип формирования импульсов требуемой скважности показан на рис. 14.



а - функциональная схема ШИП; б - диаграммы сигналов

Рисунок 14 – Формирование сигналов в ШИП

Методические указания

1 Ознакомиться с теорией широтно-импульсной модуляции и способами получения сигналов требуемой формы в ШИП.

2 Включить питание стенда (380/220В), включить осциллограф. Вывести ПЗС и потенциометр задания тока тормоза в крайнее левое положение. Установить ручной режим работы РЭП путем отжатия соответствующей кнопки на передней панели стенда.

3 Изучить способ формирования сигналов в ШИП. Изучить схему установки, представленную на передней панели стенда. Соединить общие выводы осциллографа с гнездом 4 стенда. Щуп луча А соединить с гнездом 1. Определить временные параметры импульсной последовательности при нулевом напряжении задания, зарисовать осциллограмму. Соединить щуп луча А с гнездом 2, а щуп луча Б - с гнездом 3, зарисовать осциллограммы сигналов, совместив их с предыдущей (импульсной) последовательностью. Изменяя величину задающего напряжения, снять осциллограммы сигналов при $U_3=0.5 \text{ max}$ и $U_3=\text{max}$, зарисовать и объяснить формы полученных сигналов.

4 Построить статическую характеристику ШИП.

Перевести ШИП в рабочий режим путем нажатия кнопки "ПУСК" на передней панели ЭШИМ-1. Подключить щуп осциллографа к гнезду 1. При выведенных в крайнее левое положение ПЗС и потенциометре задания тока тормоза снять осциллограмму и определить временные характеристики сигнала. Снять показания приборов "Напряжение задания РЭП" и "Выходное напряжение ШИП". Изменяя напряжение задания с помощью ПЗС, фиксировать изменения параметров импульсной последовательности и величины выходного напряжения ШИП. Результаты экспериментов занести в табл. 9.

Таблица 9 - Статическая характеристика ШИП

Опыт	$T, \text{мс}$	$T_{и}, \text{мс}$	γ	$U_3, \text{В}$	$U_{\text{вых}}, \text{В}$
1					
2					
...					

Пользуясь экспериментальными данными, построить характеристику вход-выход ШИП $U_{\text{вых}}=f(U_3)$, а также регулировочную характеристику, иллюстрирующую зависимость $U_{\text{вых}}=f(\gamma)$.

5 Исследовать влияние нагрузки на форму выходных сигналов.

Установить $U_3=0.5 U_{3 \text{ max}}$, снять осциллограмму импульсной последовательности. Определить скважность при холостом ходе. При неизменном U_3 изменять ток тормоза (увеличивать нагрузку), фиксировать изменение скважности и угловой скорости. Результаты занести в табл. 10.

Таблица 10 - Влияние нагрузки на форму выходных сигналов

Опыт	$T, \text{мс}$	$T_n, \text{мс}$	γ	$I_{\text{торм}}, \%$	$n, \text{об/мин}$
1					
2					
...					

Содержание отчета

- 1 Блок-схема электропривода и сигналы, поступающие на двигатель с ШИП.
- 2 Построенная статическую характеристику ШИП.
- 3 Заполненные таблицы и пояснения влияния нагрузки на форму выходных сигналов.
- 4 Анализ результатов и краткие выводы.

Контрольные вопросы

2.6 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

СТАТИКА САУ РЭП

- Цель работы:** 1. Изучить статические характеристики САУ РЭП.
2. Исследовать влияние вида обратных связей на статику привода.

Краткие теоретические сведения

Статический режим работы электропривода это такой режим, когда угловая скорость вращения электродвигателя не зависит от времени (установившийся режим).

В статике электропривод описывается алгебраическими уравнениями вида $\omega=f(I)$ и $\omega=f(M)$, представляющими собой соответственно электромеханическую и механическую характеристики, где ω - угловая скорость двигателя, с^{-1} ; I – ток якорной цепи двигателя (ток нагрузки), А; M – момент на валу двигателя (момент нагрузки), Нм.

С точки зрения исследования процессов происходящих в системе электропривода наибольший интерес представляют электромеханические характеристики.

Электромеханическая характеристика электродвигателя при питании от тиристорного преобразователя в разомкнутой системе описывается следующим алгебраическим уравнением:

$$\omega = \frac{Ed_0 \cos \alpha - IR}{k\Phi_H},$$

где Ed_0 – ЭДС тиристорного преобразователя при угле управления $\alpha=0^\circ$, В, I - ток якорной цепи двигателя (ток нагрузки), А, R – сопротивление якорной цепи, Ом, $k\Phi_H$ – магнитный поток, Вб.

На рис.15 представлены электромеханические характеристики разомкнутой системы при различных углах управления α .

Жесткость характеристики (наклон) можно определить:

графически - $\beta = \frac{\Delta\omega}{\Delta I}$,

аналитически: $\beta = \frac{(k\Phi_H)^2}{R}$.

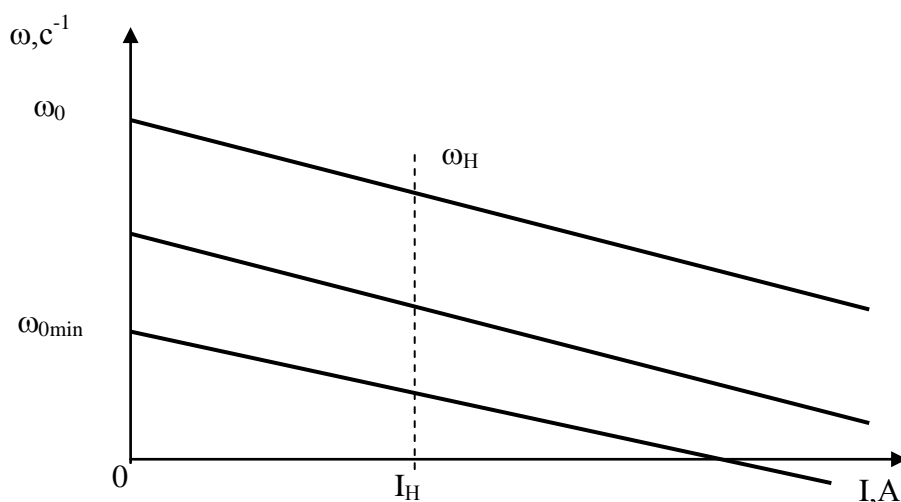


Рисунок 15 – Статические характеристики разомкнутой системы при различных значениях питающего напряжения

Недостатком разомкнутой системы является непостоянство скорости при различных значениях нагрузки, что недопустимо по условиям технологического процесса. Например, в станочном электроприводе необходимо поддерживать постоянную скорость резания в широком диапазоне нагрузок. Кроме того, необходимо ограничивать величину тока якорной цепи, что необходимо для стопорения привода при недопустимых величинах нагрузки.

На рис. 16, а представлена функциональная схема электропривода, обеспечивающего все вышеупомянутые требования.

На рис. 16 показаны следующие блоки:

РС – регулятор скорости;

РТ – регулятор тока;

П – преобразователь энергии сети;

Д₁ – электрическая часть двигателя;

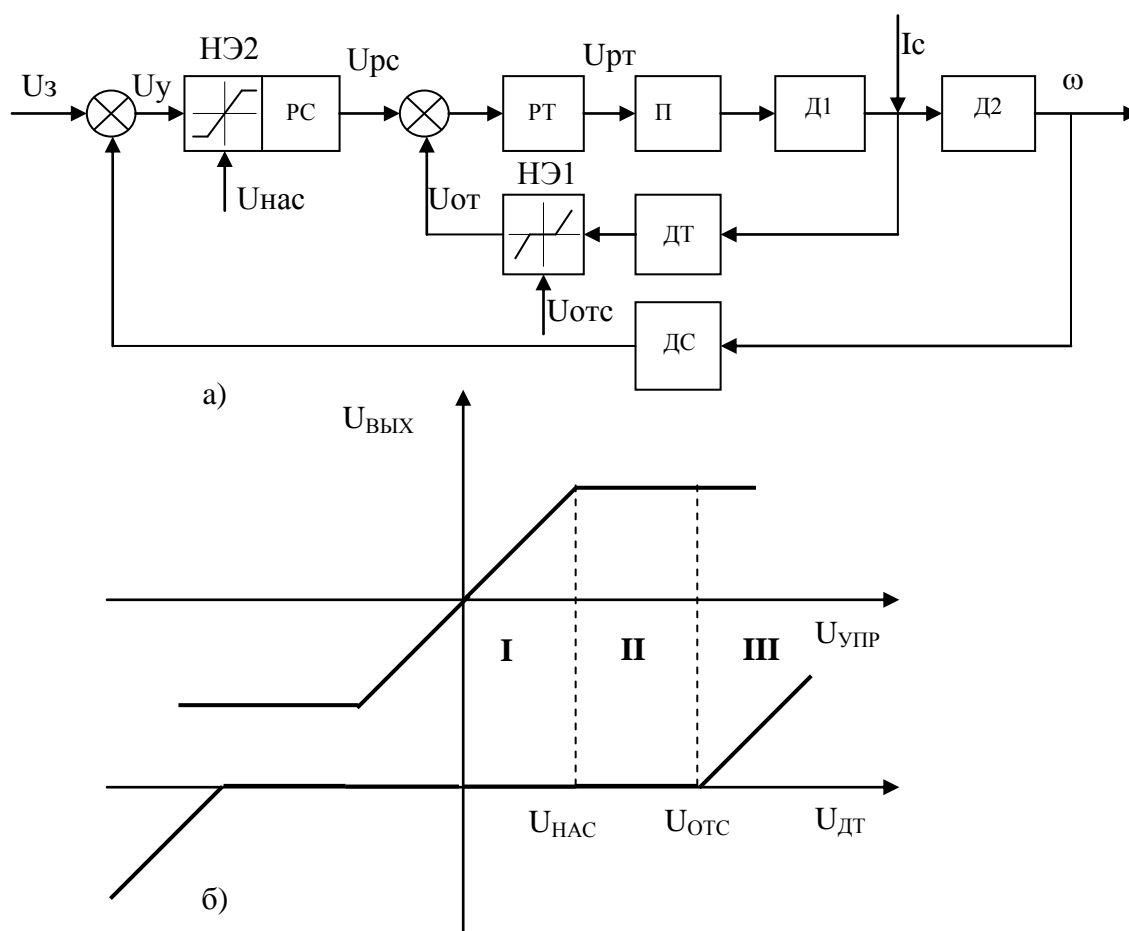
Д₂ – механическая часть двигателя;

ДТ – датчик тока;

ДС – датчик скорости;

НЭ1 – нелинейный элемент типа «зона нечувствительности»;

НЭ2 – нелинейный элемент типа «зона насыщения».



а) функциональная схема РЭП,

б) статические характеристики нелинейных элементов

Рисунок 16 – Замкнутая САУ ЭП

Электромеханическая характеристика данной системы состоит из трех линейных участков (рис.17).

На первом участке действует отрицательная обратная связь по скорости, формируя характеристику, близкую к абсолютно жесткой, что обеспечивает стабильность скорости на интервале нагрузок от $I=0$ до $I=I_{нас}$. Этому участку соответствует зона I на статических характеристиках нелинейных элементов (см. рисунок 2б). На этом участке $U_{упр} < U_{нас}$ и $U_{дт} < U_{отс}$.

На втором участке отключается обратная связь по скорости, а обратная связь по току еще не вступает в действие ($U_{упр} > U_{нас}$ и $U_{дт} < U_{отс}$ – зона II). При

размыкании системы значительно снижается жесткость и, как следствие, падает скорость.

При дальнейшем увеличении нагрузки в действие вступает обратная связь по току ($U_{УПР} > U_{НАС}$ и $U_{ДТ} > U_{ОТС}$ – зона III). Жесткость характеристики значительно падает и дальнейшее незначительное увеличение нагрузки повлечет за собой значительное падение скорости. При токе нагрузки равном току стопорения скорость падает до нуля. Таким образом реализуется ограничение тока якорной цепи.

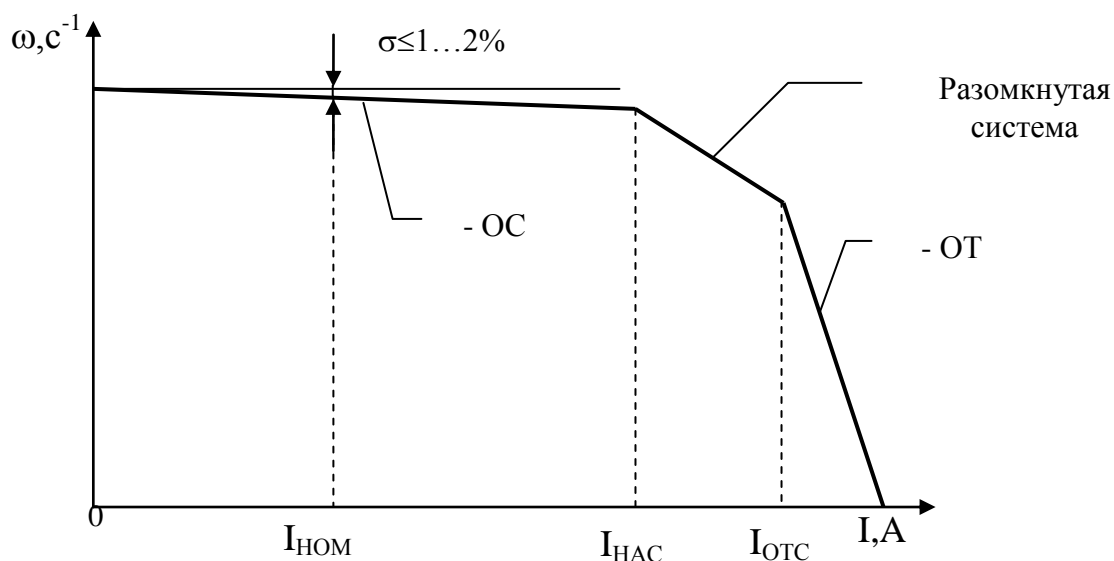


Рисунок 17 – Статическая электромеханическая характеристика замкнутой системы

Программа выполнения работы

1 Ознакомиться с теорией статического режима работы электропривода постоянного тока, видами электромеханических характеристик.

2 Подключить шлейф управления к персональному компьютеру. Проверить надежность соединения. Включить питание ПК и дождаться загрузки операционной системы. Включить питание стенда (380/220В).

3 Вывести ПЗС и потенциометр задания тока тормоза в крайнее левое положение.

4 Программы управления стендом написаны на языке «С», поэтому для работы необходимо загрузить среду разработки Borland TurboC++ (E:\TC\BIN\tc.exe) .

5 Загрузить программу управления стендом STATIC (E:\TC\PROGS\static.c) .
Запустить программу на выполнение. Будет произведена начальная настройка системы электропривода. Программа выдаст сообщение:

Начальная настройка прошла
Press <TAB>

После нажатия клавиши <TAB> программа выдаст сообщение:

Установите автоматический режим работы
Press <TAB>

после чего необходимо выполнить следующие действия:

- установить автоматический режим работы путем нажатия соответствующей кнопки на передней панели стенда;
- перевести ШИП в рабочий режим путем нажатия кнопки "ПУСК" на передней панели преобразователя ЭШИМ-1.

6 Нажатие клавиши <TAB> запускает автономный режим снятия электромеханических характеристик электропривода. В процессе работы система управления стендом выбирает скорость и задает различные значения нагрузки, а также анализирует результаты на достоверность. Снятая электромеханическая характеристика отображается на экране ПК. При необходимости возможен вывод результатов в файл или на принтер.

7 Получить твердую копию результатов исследований. Отключить оборудование.

8 Оформить отчет и сдать преподавателю.

3 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф. Проектирование САУЭП. – М.: Высш. шк., 1986. – 442 с.
2. Башарин А.В., Голубев Ф.Н., Кепперман В.Г. Примеры расчетов автоматизированного электропривода. – Л.: Энергия, 1972. – 575 с.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. - М.: Высшая школа, 1982. – 495с.
4. Зимин Е.Н., Яковлев В.И. Автоматическое управление ЭП. – М.: Высш. шк., 1979. – 317с.
5. Коваленко Д.К. и др. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Автоматизированный электропривод»: В 2 ч. – Краматорск: КИИ, 1978. – Ч.1. – 89 с.
6. Коваленко Д.К. и др. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Автоматизированный электропривод»: В 2 ч. - Краматорск: КИИ, 1979. – Ч.2. – 91 с.
8. Коцегуб П.Х. Синтез вентильных приводов постоянного тока. – Донецк: ДПИ, 1983 – 203 с.
9. Лебедев А.М., Орлова Р.Т., Пальцев А.В. Следящие электроприводы станков с ЧПУ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
10. Михайлов О.П. Динамика электромеханического привода металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1989. – 320 с.
11. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. - М.: Энергоатомиздат, 1986 - 414 с.
12. Чернов Е.А., Кузьмин В.П., Синичкин С.Г. Электропривода подачи станков с ЧПУ: Справочное пособие. – Горький: Волго-Вятское кн.изд.-во. 1986. –271с.
13. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. - М.: Энергоиздат, 1981. - 576 с.
14. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. М.: Энергия. 1979. –614с.
15. Шапарев Н.К. Автоматизация типовых технологических процессов металлообработки. – Киев-Одесса: Вища шк., 1984.- 250 с.

