

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волжская государственная академия водного транспорта»

Кафедра электротехники и электрооборудования
объектов водного транспорта

О.С. Хватов, Е.М. Бурда, В.Г. Сугаков

Основы судового электропривода

Учебно-методическое пособие
по лабораторному практикуму для студентов очного
и заочного обучения специальности 180404
«Эксплуатация судового электрооборудования
и средств автоматики»

Нижний Новгород
Издательство ФГОУ ВПО «ВГАВТ»
2011

УДК 621.313.333
ХЗ

Хватов, О.С.

Основы судового электропривода : учеб.-метод. пособие по лаборатор. практикуму / О.С. Хватов, Е.М. Бурда, В.Г. Сугаков. – Н. Новгород : Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2011. – 104 с.

Изложен теоретический материал по основам судового электропривода. Дана методика проведения лабораторного практикума. Предложены контрольные вопросы для проверки знаний.

Для студентов очного и заочного обучения специальности 180404 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики».

Рецензент – кафедра «Электрооборудование судов» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.

Работа рекомендована к изданию кафедрой электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта (протокол № 6 от 05.03.2010 г.).

© ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2011

Лабораторная работа 1

Определение момента инерции и махового момента электропривода методом свободного выбега

1.1. Цель работы.

1.1.1. Определить момент инерции и маховый момент электропривода.

1.1.2. Приобрести практические навыки в опытном определении момента инерции электропривода.

1.2. Краткие теоретические сведения.

В данной работе рассматривается один из методов экспериментального определения общего момента инерции и общего махового момента системы электропривода – метод свободного выбега. Сущность этого метода состоит в следующем. Исследуемый агрегат, включающий в себя электродвигатель и механически соединённые с ним элементы, разгоняется до некоторой установившейся частоты вращения ω_0 в режиме х.х.. После этого электродвигатель отключают от сети и наступает процесс свободного выбега. Торможение происходит за счёт внутренних сил трения. На преодоление этих сил затрачивается кинетическая энергия A , запасённая во вращающихся частях агрегата:

$$A = J_{\text{общ}} \omega_0^2 / 2, \quad (1)$$

где $J_{\text{общ}}$ – общий момент инерции агрегата;
 ω_0 – угловая частота вращения х.х. электродвигателя.

С другой стороны, эта энергия может быть определена как произведение мощности, затраченной на приведение во вращение агрегата в режиме х.х. $P_{\text{вр.0}}$ на время свободного выбега t_0 :

$$A = P_{\text{вр.0}} t_0. \quad (2)$$

Приравняв (1) и (2), получим выражение общего момента инерции:

$$J_{\text{общ}} = 2P_{\text{вр.0}} t_0 / \omega_0^2. \quad (3)$$

По полученному значению момента инерции определяют маховый момент:

$$GD^2 = 4gJ_{\text{общ}} = 8gP_{\text{вр.0}} t_0 / n_0^2. \quad (4)$$

По опыту холостого хода и паспортным данным двигателя определяют $P_{\text{вр.0}}$:

$$P_{\text{вр.0}} = U_0 I_0 - I_0^2 R_{\text{я}} - U_{\text{щ}} I_0,$$

где $R_{\text{я}}$ – сопротивление цепи якоря;
 I_0 – ток холостого хода;
 U_0 – напряжение холостого хода;
 $U_{\text{щ}} \approx 2\text{В}$ – падение напряжения на щётках.

По кривой выбега определяют t_0 . Для этого проводят касательную к кривой выбега в точке ω_0 . Пересечение касательной с осью времени t даст t_0 .

Паспортные данные двигателя

$P_{\text{ном}} = 0,55 \text{ кВт}$
 $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$
 $U_{\text{в.ном}} = 220 \text{ В}$
 $I_{\text{я.ном}} = 3,32 \text{ А}$
 $I_{\text{в.н}} = 400 \text{ мА}$

$R_{\text{я}} = 16,4 \text{ Ом}$
 $\eta = 67,5\%$
 $n_{\text{ном}} = 1500 \text{ об/мин}$
 $n_{\text{макс}} = 4300 \text{ об/мин}$
 $J_{\text{дв}} = 0,005 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

1.3. Задание на выполнение лабораторной работы.

1.3.1. Собрать схему рис. 1.1. Запустить М1 и снять данные для режима х.х.

1.3.2. Снять кривую $\omega = \omega(t)$ свободного выбега.

1.3.3. Рассчитать момент инерции и маховый момент агрегата.

1.3.4. Запустить М3 и снять данные для режима х.х.

1.3.5. Снять кривую $\omega = \omega(t)$ свободного выбега.

1.3.6. Рассчитать момент инерции и маховый момент агрегата.

1.3.7. Оценить моменты инерции электромашинных агрегатов, используя габаритные размеры маховиков и паспортные данные двигателей. Плотность железа 7800 кг/м^3 . Сравнить результаты. Паспортные данные двигателя М4 – в лаб. работе. 6.

1.4. Порядок работы с лабораторной установкой.

Внимание! Перед включением автомата питания стенда тумблеры SA100, SA101, SA200, SA300, SA301, SA302, SA700, SA1 должны находиться в нижнем положении (в сервоприводе SA1 – вверх).

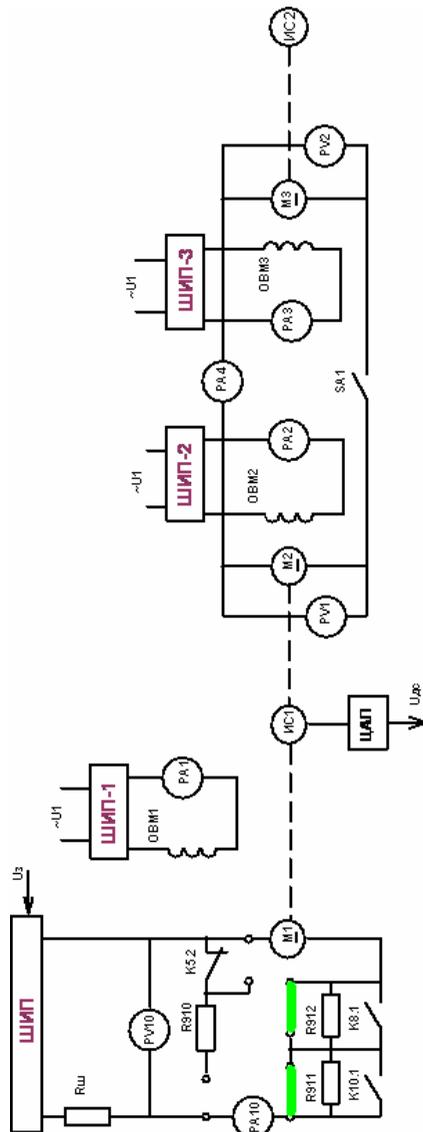


Рис. 1.1

1.4.1. Собрать схему рис. 1.1 для определения момента инерции электромашинного агрегата М1-М2.

1.4.2. Автоматическими выключателями подключить стенд к сети.

1.4.3. Включить SA300 и на приборе PA1 с помощью резистора R300 установить ток возбуждения двигателя М1 равным 400 мА.

1.4.4. Установить R201 примерно в среднее положение.

1.4.5. Включить SA100, SA700.

1.4.6. Кнопкой SB704 подключить якорь М1 к ШИП. Записать ошибку прибора PA1, если она есть.

1.4.7. Включить SA200 и, плавно вращая R201 против или по часовой стрелке, установить частоту вращения М1 равной 90 рад/с. Измерить ток холостого хода I_0 (показания прибора PA10) и напряжение U_0 (показания прибора PV10).

1.4.8. Одновременно нажать кнопку SB703 и кнопку «Пуск» секундомера. Далее, следя за частотой вращения М1 (прибор ИС1), по возможности равномерно нажать кнопку «Пуск» секундомера, ещё 9 раз занося значения частоты вращения и времени в память секундомера.

1.4.9. Нажать кнопку «Стоп» секундомера и с помощью кнопок прокрутки «↑» и «↓» на панели управления секундомером извлечь из памяти значения ω и t . Данные занести в таблицу.

1.4.10. Для определения момента инерции второго машинного агрегата (двигатели М3, М4) кнопкой «Выбор» установить секундомер в режим измерения времени и нажать кнопку «Сброс».

1.4.11. Резистором R201 установить нулевое напряжение на выходе ШИП (прибор PV10).

1.4.12. Включить SA301, SA302 и резисторами R301, R302 установить ток возбуждения машин М2 и М3 равным 400 мА (приборы PA2, PA3).

1.4.13. Включить SA1 и плавно поворачивая R201 по или против часовой стрелки разогнать М3 до частоты вращения 80 рад/с. Измерить U_0 и I_0 (приборы PV2, PA4).

1.4.14. Разомкнуть SA1 и одновременно нажать «Пуск» секундомера. Далее, следя за частотой вращения М3 (прибор ИС2), по возможности равномерно нажать кнопку «Пуск» секундомера, ещё 9 раз занося значения частоты вращения и времени в память секундомера.

1.4.15. Нажать кнопку «Стоп» секундомера и с помощью кнопок прокрутки «↑» и «↓» на панели управления секундомером извлечь из памяти значения ω и t . Данные занести в таблицу.

1.4.16. Выключить стенд (выключить SA200, выключить SA300-SA302, выключить SA700, выключить SA100, выключить автомат). Разобрать схему.

1.5. Контрольные вопросы.

1.5.1. На какие свойства электропривода влияет величина момента инерции и махового момента?

1.5.2. Что такое маховый момент и какова его зависимость от момента инерции?

1.5.3. На чём основан метод свободного выбега для определения момента инерции?

1.5.4. Что представляет собой кривая выбега и каков порядок снятия данных для её построения?

1.5.5. Как изменится время выбега агрегата, если на валу двигателя установить маховик?

Лабораторная работа 2

Исследование скоростных и механических характеристик электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения

2.1. Цель работы.

2.1.1. Приобрести практические навыки в выполнении опытов по снятию данных и построении механических и скоростных характеристик электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения для различных режимов работы.

2.1.2. Получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о скоростных и механических характеристиках ДПТ независимого возбуждения.

2.2. Краткие теоретические сведения.

Скоростная характеристика ДПТ представляет собой зависимость частоты вращения n от тока в обмотке якоря $I_{я}$ при неизменном токе возбуждения и номинальном подведённом напряжении.

Уравнение скоростной характеристики $n = f(I_{я})$ имеет вид

$$n = \frac{U - I_{я} R_{я}}{C_e \Phi}. \quad (5)$$

Механическая характеристика электродвигателя постоянного тока представляет собой зависимость частоты вращения от момента M при неизменном токе возбуждения и номинальном подведённом напряжении.

Уравнение механической характеристики $n = f(M)$ имеет вид

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{M R_{я}}{C_e C_m \Phi^2}. \quad (6)$$

Здесь $C_e = pN/(60a)$, $C_m = pN/(2\pi a)$ – постоянные коэффициенты; Φ – основной магнитный поток, Вб.

Таким образом, как это следует из (5) и (6), скоростная и механическая характеристики электродвигателя независимого возбуждения представляют собой прямые линии, наклон которых зависит от величины $R_{я}$ (рис. 2.1). Поэтому когда в цепи якоря нет добавочных сопротивлений, характеристики двигателя являются наиболее жёсткими. Такие характеристики называют естественными. Если же в цепь якоря ввести добавочное сопротивление, то наклон скоростной и механической характеристик увеличится. Такие характеристики называют искусственными или реостатными.

Для двигателей постоянного тока независимого возбуждения возможны следующие режимы работы: а) двигательный; б) режим генераторного торможения с отдачей энергии в сеть; в) режим торможения противовключением; г) режим динамического торможения.

Генераторное торможение наступает при частоте вращения якоря, превышающей частоту вращения идеального х.х. В этом

случае ЭДС якоря $E_{я}$ становится больше напряжения сети U и ток якоря изменяет направление по отношению к току в двигательном режиме:

$$I_{я} = (E_{я} - U) / R_{я} .$$

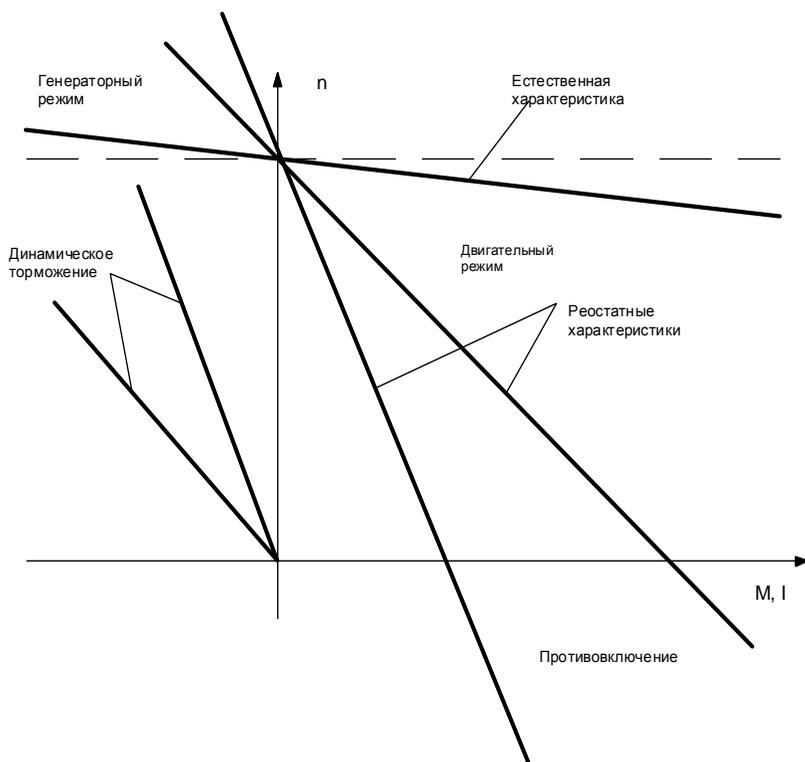


Рис. 2.1

В связи с изменением направления тока якоря меняет своё направление электромагнитный момент электродвигателя и становится тормозящим. Характеристики электродвигателя в этом режиме, являясь продолжением характеристик в двигательном режиме, располагаются во втором квадранте осей координат (см. рис. 2.1).

Торможение противовключением происходит в том случае, когда обмотки электродвигателя включены для одного направления вращения якоря, а под действием каких-либо внешних причин якорь вращается в противоположную сторону. В этом случае момент двигателя становится тормозящим.

Поскольку в режиме торможения противовключением вращение якоря происходит в сторону, противоположную по сравнению с вращением в двигательном режиме, то ЭДС якоря меняет своё направление и действует согласно с приложенным к цепи якоря напряжением:

$$I_{\text{я}} = (U_{\text{я}} + E_{\text{я}}) / R_{\text{я}}.$$

Таким образом, ток якоря в режиме торможения противовключением больше, чем в двигательном режиме, и его необходимо ограничивать. С этой целью в режиме противовключения в цепь якоря вводят добавочное сопротивление.

При использовании этого режима для останова двигателя в момент, когда его скорость станет равной нулю, цепь якоря необходимо отключить от сети, иначе произойдёт реверс.

Характеристики электродвигателя в режиме противовключения располагаются в четвёртом квадранте и являются продолжением характеристик в двигательном режиме (см. рис. 2.1).

Динамическое торможение электродвигателя наступает при отключении обмотки якоря от сети и замыкании её на некоторое сопротивление R_m . Обмотка возбуждения при этом остаётся подключенной к сети. Якорь продолжает вращаться за счёт сил инерции, двигатель переходит в генераторный режим, но энергия, вырабатываемая при этом, преобразуется в тепловую, выделяемую на R_m и $R_{\text{я}}$.

В режиме динамического торможения ЭДС якоря не изменяет своего направления по сравнению с двигательным режимом, но так как напряжение сети равно $U = 0$, то ток якоря, изменив своё направление, действует согласно с ЭДС. В этом режиме ток якоря

$$I_{\text{я}} = -E_{\text{я}} / R_{\Sigma},$$

где $R_{\Sigma} = R_{\text{я}} + R_m$.

Тормозной момент:

$$-M_m = C_m C_e \Phi^2 n / R_\Sigma.$$

Из последнего следует, что торможение якоря в этом режиме происходит до полной остановки.

Характеристики электродвигателя в режиме динамического торможения выходят из начала координат и располагаются во втором квадранте (см. рис. 2.1).

В данной системе машины М2 и М3 включены в режиме «генератор-двигатель», асинхронный двигатель М4 является гонным для машины М3, исследуемый двигатель М1 является гонным для машины М2. Возбуждение машин постоянного тока регулируется широтно-импульсными преобразователями ШИП-1, ШИП-2, ШИП-3, управляемыми с помощью переменных резисторов R300, R301, R302. Напряжение на якоре двигателя М1 регулируется широтно-импульсным преобразователем ШИП с помощью резистора R201. Питание асинхронного двигателя М4 осуществляется от инвертора, позволяющего изменять частоту (резистор R402) и амплитуду трёхфазного напряжения (резистор R401). Контроль частоты вращения машин М1, М2 осуществляется измерителем ИС1, машин М3, М4 – измерителем ИС2.

2.3. Задание на выполнение лабораторной работы.

2.3.1. Снять скоростные характеристики $\omega = f(I_a)$ ДПТ М1 при $I_g = \text{const} = 400 \text{ mA}$ для $U_a = 100 \text{ V}, 50 \text{ V}, 25 \text{ V}$.

2.3.2. Выполнить п. 2.3.1 при ослабленном магнитном потоке $I_g = 300 \text{ mA}, 200 \text{ mA}$.

2.3.3. Снять реостатные характеристики М1 при $U_a = 100 \text{ V}$.

2.3.4. Снять зависимость $\omega = f(I_a)$ в трёх квадрантах (генераторное торможение, двигательный режим, режим противовключения). $U_a = 50 \text{ V}, I_g = 200 \text{ mA}$.

2.3.5. Снять характеристику динамического торможения.

2.3.6. По результатам измерений предыдущих пунктов построить соответствующие механические характеристики $\omega = f(M)$.

2.4. Порядок работы с лабораторной установкой.

Внимание! Перед включением автомата питания стенда тумблеры SA100, SA101, SA200, SA300, SA301, SA302, SA700, SA1 должны находиться в нижнем положении (в сервоприводе SA1 – вверх).

2.4.1. Включить сеть, включить SA300-SA302. Установить ток возбуждения машин M1 – M3 400 мА. Записать погрешность прибора PA10.

2.4.2. Скоростные характеристики. Включить SA100, SA200, SA700. Нажать кнопку SB704 – подключить якорь M1 к ШИП (при этом R201 должен быть в среднем положении). Вращая R201 против часовой стрелки, установить напряжение на якоре M1 100В (прибор PV10). Измерить частоту вращения машины M1 (ИС1) и ток якоря (PA10).

2.4.3. Установить резистором R402 частоту инвертора 40 Гц. Нажать кнопку SB700 и, плавно увеличивая напряжение инвертора (прибор PV3) до 140 В, запустить асинхронный двигатель M4.

2.4.4. Изменяя ток возбуждения машины M3 выставить напряжение на её якоре (прибор PV2) равным напряжению на якоре M2 (прибор PV1).

2.4.5. Замкнуть SA1. Уменьшая ток возбуждения машины M3 (прибор PA3, резистор R302) или увеличивая ток возбуждения машины M2 (прибор PA2, резистор R301), снять 3–4 точки скоростной характеристики машины M1 (фиксировать ток якоря PA10, частоту вращения ИС1).

2.4.6. Одним из резисторов R301 или R302 установить ток на приборе PA4 равным нулю и разомкнуть SA1.

2.4.7. Реостатные характеристики. Ввести в цепь якоря резистор R911, убрав перемычку, и, повторив пункты 2.4.4–2.4.6, снять реостатную характеристику.

2.4.8. Скоростные характеристики при изменении напряжения на якоре. Характеристики при ослаблении потока. Ввести в цепь якоря сопротивление R912, убрав вторую перемычку и повторить пункт 2.4.7. После эксперимента опять зашунтировать резисторы R911, R912 перемычками.

2.4.9. Установить резистором R201 напряжение на приборе PV10 50В. Измерить частоту вращения машины M1 (ИС1) и ток якоря (PA10). Выполнить пункты 2.4.4–2.4.6 для этого напряжения.

2.4.10. Повторить п. 2.4.9 для $U_{я} = 25 В$.

2.4.11. Повторить п. 2.4.9. для тока возбуждения машины М1 300 мА (РА1, R300), $U_{я} = 100$ В.

2.4.12. Повторить п. 2.4.9 для тока возбуждения машины М1 300 мА (РА1, R300), $U_{я} = 50$ В.

2.4.13. Повторить п. 2.4.9 для тока возбуждения машины М1 200 мА (РА1, R300), $U_{я} = 100$ В.

2.4.14. Повторить п. 2.4.9 для тока возбуждения машины М1 200 мА (РА1, R300), $U_{я} = 50$ В. После отключения SA1 нажать кнопки SB702, SB703 – отключить машины М1 и М4 от источников питания.

2.4.15. Снятие характеристик двигателя М1 в трёх квадрантах (генераторное торможение, двигательный режим, режим противключения).

2.4.15.1. Двумя перемычками (рис. 2.2) подсоединить резистор R910 параллельно цепи якоря М1. Резисторами R300 – R302 установить токи возбуждения машин М1 – М3 равными 200 мА.

2.4.15.2. Кнопкой SB704 подключить цепь якоря М1 к ШИП и резистором R201 установить напряжение на якоре М1 (PV10) равным 50 В.

2.4.15.3. Установить частоту инвертора 20–25 Гц резистором R402. Кнопкой SB700 подключить М4 к инвертору и резистором R401 установить напряжение на инверторе (PV3) 100 В.

2.4.15.4. Изменяя ток возбуждения машины М3 резистором R302, добиться равенства показаний PV1 и PV2, включить SA1.

2.4.15.5. Увеличивая ток возбуждения машины М3 резистором R302 и, если этого недостаточно, уменьшая ток возбуждения машины М2 резистором R301, перевести машину М1 в генераторный режим (ток якоря (РА10) должен поменять знак). Установив максимально возможный ток якоря М1 с обратным знаком, зафиксировать значения частоты вращения (ИС1) и тока якоря (РА10). Уменьшая далее ток возбуждения машины М3 (R302), снять ещё 1–2 точки характеристики в генераторном режиме. Продолжая уменьшать ток возбуждения М3, а затем увеличивая ток возбуждения М2 (R301) снять 3–4 точки скоростной характеристики М1 в двигательном режиме. При полностью выведенном R302 (показание РА3 ≈ 0) кнопкой SB701 осуществить реверс машины М4. Далее опять, увеличивая ток возбуждения машины М3 резистором

R302, довести M1 до полной остановки. Если M1 не остановится, то плавно увеличивать частоту инвертора и пропорционально – напряжение (R402, R401). Следя за тем, чтобы показания рА10 не превысили $2I_n = 7 \text{ А}$, добиться обратного вращения машины M1. Снять 1–2 точки характеристики в четвёртом квадранте.

Кнопкой SB702 остановить M4, кнопкой SB703 остановить M1, разомкнуть SA1.

2.4.16. Характеристика динамического торможения. **Внимание!** ШИП выключен (SA100, SA200 – вниз).

2.4.16.1. Резистором R300 установить ток возбуждения M1 (РА1) 400 mA, резистором R302 установить ток возбуждения M3 (РА3) 0 А.

2.4.16.2. Установить частоту инвертора $f = 40 \text{ Гц}$ резистором R402 и запустить M4. Резистором R401 установить напряжение инвертора (PV3) 140 В.

2.4.16.3. Замкнуть SA1 и, плавно увеличивая ток возбуждения M3 (РА3, R302), снять зависимость $\omega = f(I_{\text{я}})$ при $U_{\text{я}} = 0$ (4–5 точек).

2.4.16.4. Уменьшить ток возбуждения M3 резистором R302 до нуля, разомкнуть SA1, нажать SB702 (отключить M4), выключить SA300–SA302. Автоматическим выключателем обесточить стенд.

2.5. Контрольные вопросы.

2.5.1. Почему естественные и искусственные характеристики электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения пересекаются в одной точке?

2.5.2. Какие причины влияют на жёсткость механических характеристик электродвигателя независимого возбуждения?

2.5.3. В каких квадрантах осей координат располагаются характеристики электродвигателя независимого возбуждения?

2.5.4. Укажите, в каких режимах работают электродвигатели лабораторной установки при работе машины M1 в генераторном режиме?

2.5.5. Почему в режиме х.х. ток якоря M1 равен нулю?

2.5.6. В каких режимах работы M1 машина M3 работает генератором, а в каких двигателем?

Лабораторная работа 3

Исследование регулировочных свойств электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения в системе «генератор-двигатель»

3.1. Цель работы.

3.1.1. Приобрести практические навыки в регулировке электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения в системе «генератор-двигатель».

3.1.2. Получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о работе системы «генератор-двигатель».

3.2. Краткие теоретические сведения.

Принципиальная схема включения ДПТ с независимым возбуждением по системе Г-Д приведена на рис. 3.1. Здесь генератор М3 с постоянной угловой скоростью приводится во вращение асинхронным двигателем М4. Питание цепей возбуждения генератора М3 и исполнительного двигателя М2 осуществляется от независимых источников постоянного тока ШИП-3.

Якорь двигателя М2 присоединяется непосредственно к якору генератора М3. Электродвижущая сила генератора определяется по формуле

$$E_2 = C_{e2} \Phi_2 n_2.$$

Следовательно, при постоянной частоте вращения генератора его ЭДС будет определяться магнитным потоком, который легко регулируется током возбуждения.

В соответствии со вторым законом Кирхгофа для цепей якоря машин М2 и М3 можно записать:

$$E_z - C_{e.\partial\theta} \Phi_{\partial\theta} n_{\partial\theta} = I_{\text{я}} (R_{\text{я.z}} + R_{\text{я.\partial\theta}}),$$

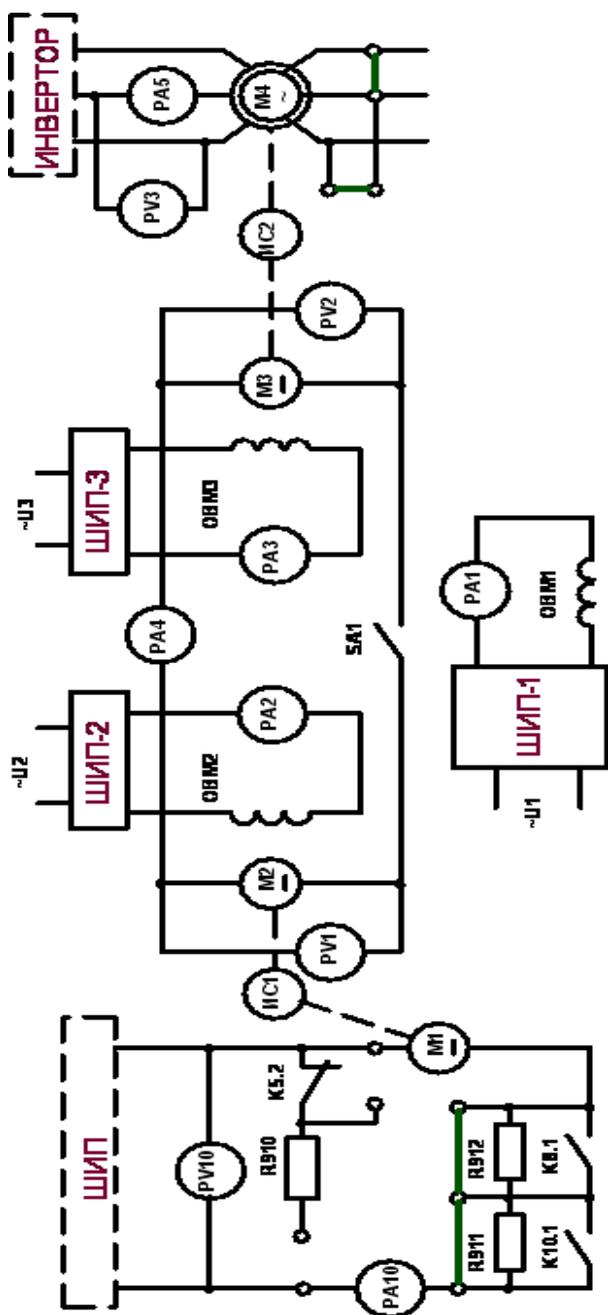


Рис. 3.1

или

$$E_z - E_{\partial\delta} = I_y (R_{y.z} + R_{y.\partial\delta}),$$

- где
- I_y – ток якоря генератора и двигателя;
 - R_z – сопротивление цепи якоря генератора;
 - $R_{\partial\delta}$ – сопротивление цепи якоря двигателя;
 - $\Phi_z, \Phi_{\partial\delta}$ – магнитный поток генератора и двигателя соответственно;
 - $R_{y.z}, R_{y.\partial\delta}$ – сопротивления якорных цепей генератора и двигателя.

Отсюда частота вращения двигателя

$$n_{\partial\delta} = \frac{E_z}{C_{e.\partial\delta} \Phi_{\partial\delta}} - \frac{I_y (R_z + R_{\partial\delta})}{C_{e.\partial\delta} \Phi_{\partial\delta}}.$$

Так как

$$M_{\partial\delta} = C_{m.\partial\delta} \Phi_{\partial\delta} I_y,$$

то

$$n_{\partial\delta} = \frac{E_z}{C_{e.\partial\delta} \Phi_{\partial\delta}} - \frac{M_{\partial\delta} (R_z + R_{\partial\delta})}{C_{e.\partial\delta} C_{m.\partial\delta} \Phi_{\partial\delta}^2}.$$

Механические характеристики двигателя располагаются в четырёх квадрантах рис. 3.2. Как видим, система Г-Д обеспечивает двухзонное регулирование частоты вращения – до основной скорости изменением ЭДС генератора при постоянном потоке двигателя, а выше основной – регулированием тока возбуждения двигателя при постоянной, равной номинальному значению ЭДС генератора.

Верхний предел частоты вращения при регулировании с постоянным потоком двигателя ограничивается номинальным значением ЭДС генератора и тем перепадом скорости, который обусловлен нагрузкой и сопротивлением якорной цепи.

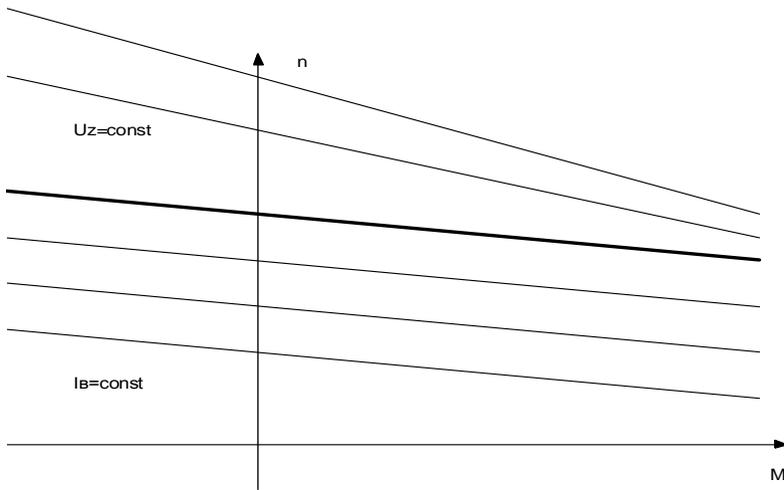


Рис. 3.2

Нижний предел регулирования определяется заданным относительным перепадом частоты вращения при заданном изменении нагрузки. Этот относительный перепад, называемый статизмом, определяется при минимальной частоте вращения для случая изменения момента нагрузки от нуля до $M_{ном}$ как

$$\delta = \frac{\Delta n_{ном}}{n_{0min}},$$

или

$$\delta = I_{я.ном}(R_z + R_{об})n_{0max} / E_{г.ном} n_{0min}.$$

Отсюда допустимый диапазон регулирования

$$D_{доп} = n_{0max} / n_{0min} = E_{г.ном} \delta / I_{я.ном} (R_z + R_{об}) = \delta / \Delta n_{ном},$$

где n_{0max} – максимальная частота вращения двигателя при номинальной ЭДС генератора;
 n_{0min} – минимальная частота вращения при минимальной ЭДС генератора;
 $\Delta n_{ном}$ – относительный перепад частоты вращения при $E_{г.ном}$.

3.3. Задание на выполнение лабораторной работы.

3.3.1. Для заданного преподавателем статизма, используя паспортные данные машин М2, М3, рассчитать диапазон регулирования частоты вращения машины М2 вниз от основной.

3.3.2. Снять регулировочные характеристики системы Г-Д вниз от основной частоты вращения ($I_{\epsilon, M2} = \text{const}$, $I_{\epsilon, M3} = \text{const}$) в расчётном диапазоне регулирования.

3.3.3. Снять регулировочные характеристики М2 вверх от основной частоты вращения; для диапазона регулирования – вверх $D = 1,5$, $E_{M3} = \text{const}$, $I_{\epsilon, M3} = \text{const}$.

3.4. Порядок работы с лабораторной установкой.

Внимание! Перед включением автомата питания стенда тумблеры SA100, SA101, SA200, SA300, SA301, SA302, SA700, SA1 должны находиться в нижнем положении (в сервоприводе SA1 – вверх).

3.4.1. Собрать схему в соответствии с рис. 3.3 (а, б). Включить автоматическими выключателями питание стенда, включить SA700 – питание реле. Включить питание обмоток возбуждения – тумблеры SA300-SA302 ШИП-1, ШИП-2, ШИП-3. Установить резисторами R301, R302 токи возбуждения двигателей М2, М3 равными 400 мА. Резистором R300 установить ток возбуждения М1 0 А. Включить тумблер SA1.

3.4.2. Резистором R401 выставить выходное линейное напряжение АИН 0 В. Резистором R402 выставить выходную частоту АИН 0 Гц. Произвести пуск М4 кнопкой SB700. Плавно разогнать АД, изменяя частоту резистором R402 и напряжение резистором R401 в соответствии с законом $U/f = 4,4 = \text{const}$. Частоту изменять до 50 Гц.

3.4.3. Снять регулировочные характеристики системы. До основной частоты вращения характеристики снимать при неизменном потоке машины М2, изменяя возбуждение генератора М3 резистором R302. Нагрузку регулировать резистором R300, задающим напряжение питания обмотки возбуждения машины М1. После основной частоты вращения характеристики снимать при неизменном возбуждении машины М3, уменьшая ток возбуждения двигателя М2 резистором R301. Нагрузку изменять аналогично.

3.4.4. Выполнить процедуру отключения стенда.

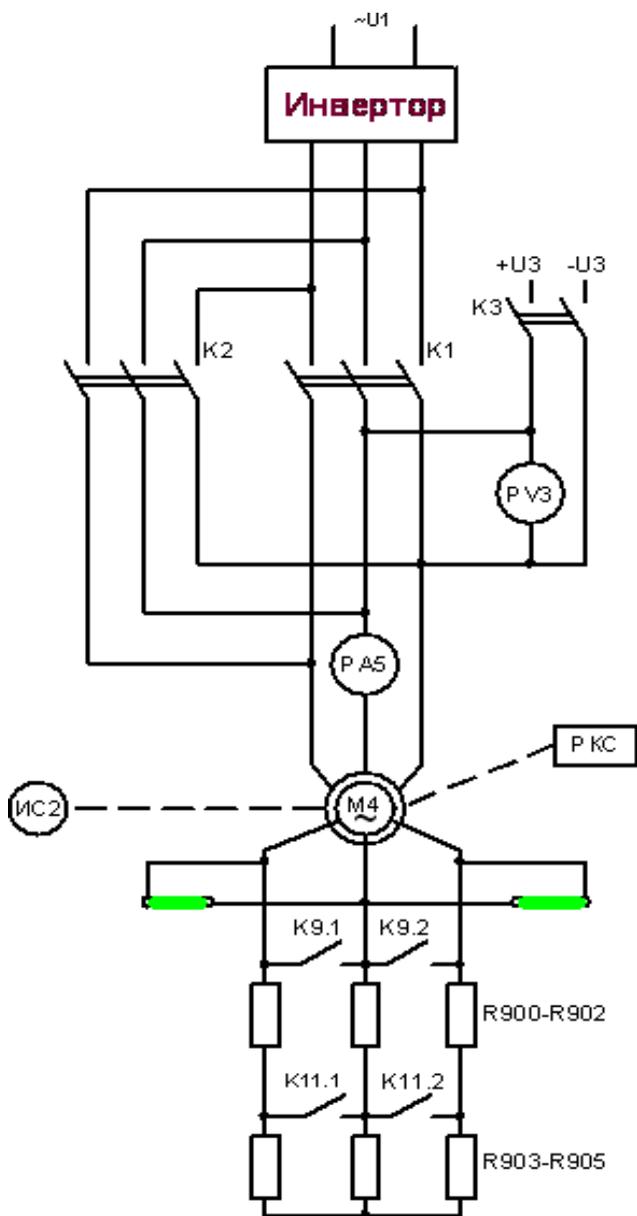


Рис. 3.3, а
(см. также с. 21)

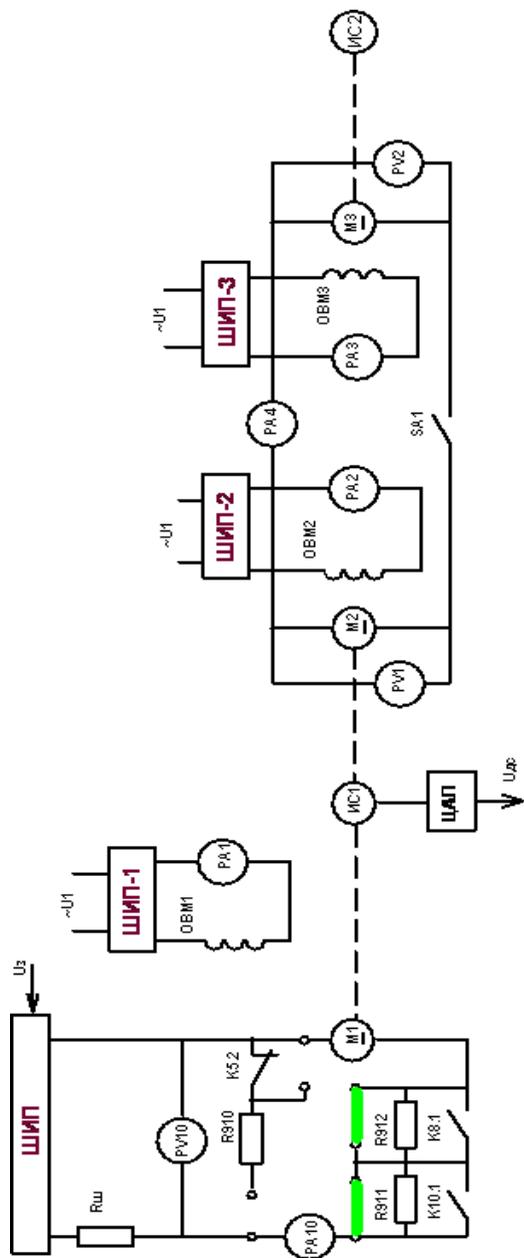


Рис. 3.3, б. Окончание

3.5. Контрольные вопросы.

3.5.1. Что собой представляет система Г-Д?

3.5.2. Какие способы регулирования частоты вращения при работе электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения в системе Г-Д?

3.5.3. Каковы достоинства и недостатки системы Г-Д?

3.5.4. Как будет изменяться частота вращения ИД при уменьшении тока возбуждения генератора?

3.5.5. Какова обычно бывает кратность регулирования частоты вращения ИД в системе Г-Д при изменении напряжения в цепи якоря и при изменении тока возбуждения ИД?

3.5.6. Почему механические характеристики ИД в системе Г-Д почти прямолинейны?

3.5.7. Как изменить направление вращения якоря ИД в системе Г-Д?

3.5.8. Изменится ли жёсткость механических характеристик ИД в системе Г-Д, если в цепь якорей ИД и Г ввести добавочное сопротивление?

Лабораторная работа 4

Исследование нагрузочных диаграмм электродвигателя

4.1. Цель работы.

4.1.1. Приобрести практические навыки в получении опытных данных и построении нагрузочных диаграмм электродвигателя при продолжительной переменной нагрузке и в применении этих диаграмм при выборе мощности электродвигателя.

4.2. Краткие теоретические сведения.

При выборе мощности электродвигателя для привода производственного механизма с продолжительной переменной нагрузкой используют метод эквивалентных величин – тока, момента и мощ-

ности. Этот метод основан на предположении, что потери при работе двигателя с продолжительной переменной нагрузкой равны потерям при работе этого электродвигателя с постоянной продолжительной эквивалентной нагрузкой.

Для расчёта эквивалентных величин используют нагрузочные диаграммы. Такие диаграммы представляют собой зависимости потребляемого тока I , полезного момента M и полезной мощности P от времени t рис. 4.1.

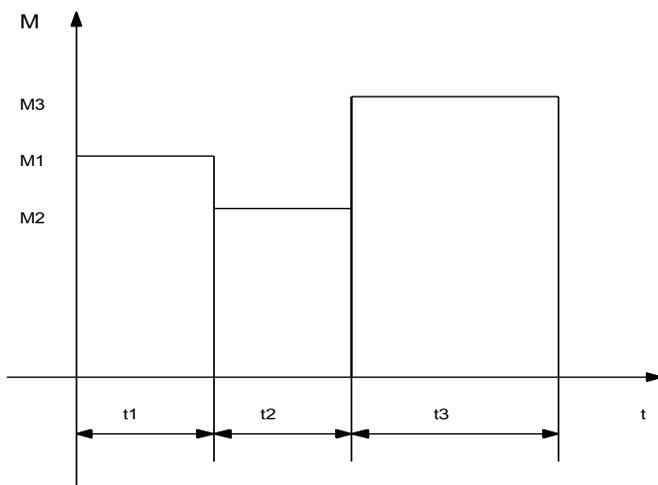


Рис. 4.1

Расчёт эквивалентных величин ведут по следующим выражениям:

а) эквивалентное значение тока

$$I = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} ;$$

б) эквивалентное значение момента

$$M = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} ;$$

в) эквивалентное значение мощности

$$P = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}},$$

- где I_1, I_2, I_n – значения токов, потребляемых электродвигателем из сети в соответствующие периоды переменной нагрузки t_1, t_2, t_n ;
- M_1, M_2, M_n – значения полезного момента на валу электродвигателя в соответствующие периоды переменной нагрузки;
- P_1, P_2, P_n – значения полезной мощности электродвигателя в соответствующие периоды переменной нагрузки.

При выборе мощности электродвигателя нужно эквивалентные значения величин сравнить с номинальными данными электродвигателя. Необходимо, чтобы эквивалентная величина была немного меньше или равна номинальной. При выборе асинхронного или синхронного трёхфазного электродвигателя по эквивалентному току, чтобы избежать ошибки, следует обратить внимание на схему соединения обмотки статора.

Выбранный электродвигатель проверяют по перегрузочной способности:

$$M_{\text{наиб}} \leq \lambda M_{\text{ном}},$$

- где $M_{\text{наиб}}$ – наибольшее значение нагрузочного момента на нагрузочной диаграмме, Н·м;
- $M_{\text{ном}}$ – номинальный момент выбранного электродвигателя, Н·м;
- λ – перегрузочная способность выбранного электродвигателя.

Для двух других режимов работы, кратковременного и повторно-кратковременного, процедура выбора электродвигателя такая же, как и в продолжительном режиме, но двигатели выбираются специального назначения и, кроме того, в повторно-кратковременном режиме эквивалентные момент, ток и мощность

приводятся к ближайшему стандартному значению продолжительности включения PB_{cm} :

$$M = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \frac{PB}{PB_{cm}}}$$

4.3. Задание на выполнение лабораторной работы.

4.3.1. Для заданных преподавателем токов нагрузки снимите кривые нагрева и охлаждения машины М2.

4.3.2. Определите соотношения времён работы и пауз, при которых машина М2 будет работать в кратковременном режиме, в повторно-кратковременном, в продолжительном.

4.3.3. Реализовать заданную преподавателем циклограмму работы. Снять температурную зависимость нагрева двигателя М2 от времени при работе по заданной циклограмме. Сделать вывод о режиме работы машины М2. Проверить соответствие тока, момента и мощности двигателя заданной нагрузке.

4.4. Порядок работы с лабораторной установкой.

Внимание! Перед включением автомата питания стенда тумблеры SA100, SA101, SA200, SA300, SA301, SA302, SA700, SA1 должны находиться в нижнем положении (в сервоприводе SA1 – вверх).

4.4.1. Включить автоматическими выключателями питание стенда, включить SA700 – питание реле. Включить питание обмоток возбуждения машин М1, М2 – тумблеры SA300, SA301 ШИП-1, ШИП-2. Установить резистором R300 ток возбуждения двигателя М1 400 мА. Резистором R301 установить ток возбуждения М2 0 А. Включить тумблер SA1.

4.4.3. Циклограмму работы задать токами возбуждения машины М2, например, 220 мА, 110 мА и 440 мА при временах работы 10–15 мин и временах паузы тоже 10–15 мин.

4.4.4. Включить SA100, SA200. Установить движок резистора R201 примерно в среднее положение. Кнопкой SB704 подключить якорь М1 к ШИП. Резистором R201 установить частоту вращения

M1 (ИС1) 80 рад/с. Резистором R301 выставить ток возбуждения машины M2 на уровне 220 мА. Измерить ток якоря машины M1. Используя секундомер, в течение 10–15 мин измерять через равные промежутки времени температуру машины M1. Установить ток возбуждения машины M2 равным нулю (R300, pA2) и разомкнуть SA1. Используя секундомер, в течение 10–15 мин измерять через равные промежутки времени температуру машины M1. Повторить опыт для тока возбуждения M2 равного 110 мА. Прodelать те же измерения для тока возбуждения машины M2 440 мА.

4.4.5. Осуществить процедуру выключения стенда.

4.5. Контрольные вопросы.

4.5.1. Что представляет собой нагрузочная диаграмма электродвигателя?

4.5.2. В чём состоит метод эквивалентных величин при выборе мощности электродвигателя?

4.5.3. В каком случае этот метод неприменим?

4.5.4. Каковы нежелательные последствия работы электродвигателя при его перегрузке и недогрузке?

Лабораторная работа 5

Исследование схемы управления электродвигателем постоянного тока

5.1. Цель работы.

5.1.1. Практически изучить схему автоматического управления электродвигателем постоянного тока независимого возбуждения и приобрести навыки в сборке и регулировке этой схемы.

5.2. Краткие теоретические сведения.

К пуску двигателя предъявляются два основных требования: обеспечить необходимый для трогания с места и разгона якоря вращающий момент и не допустить при пуске протекания через

якорь большого тока, опасного для двигателя. Практически возможны три способа пуска: прямой пуск, пуск при включении реостата в цепь якоря и пуск при пониженном напряжении в цепи якоря.

При прямом пуске цепь якоря включается сразу на полное напряжение. Так как в первый момент пуска якорь неподвижен ($n = 0$), то противоЭДС отсутствует ($E_{np} = C_e n \Phi$) и пусковой ток якоря можно определить из выражения:

$$I_{ян} = U_{я} / R_{я}. \quad (1)$$

Так как для двигателей большой мощности $R_{я} = 0,02 \dots 1,1$ Ом, то $I_{ян} = (50 \dots 100) I_n$, что недопустимо. Поэтому прямой пуск возможен только для двигателей малой мощности, у которых $I_{ян} \leq (4 \dots 6) I_n$ и разгон двигателя длится менее 1 с.

Пуск при включении пускового реостата R_n последовательно с якорем обеспечивает пусковой ток, равный

$$I_{ян} = \frac{U_{я}}{R_{я} + R_n}. \quad (2)$$

Сопротивление $R_n = U / I_{ян} - R_{я}$ выбирают таким, чтобы в начальный момент пуска, когда $E_{np} = 0$, $I_{ян} = (1,4 \dots 2,5) I_n$. По мере разгона якоря возрастает E_{np} – сопротивление реостата выводится.

Пуск с ограниченным пусковым током возможен при питании якоря двигателя от отдельного источника с регулируемым напряжением. Ограничение пускового тока и плавный разгон двигателя обеспечиваются постепенным повышением напряжения на якоре от нуля до требуемого значения. Этот метод находит применение в системах управления и регулирования мощных двигателей постоянного тока.

Автоматизация пускового процесса значительно облегчает управление электродвигателями, устраняет возможные ошибки при

пуске и ведет к повышению производительности механизмов, особенно при повторно-кратковременном режиме работы.

На рис. 5.1. изображена пусковая диаграмма двигателя с тремя ступенями пускового реостата, построенная из условий изменения тока в определенных заданных пределах от I_1 до I_2 . Пуск двигателя согласно этой диаграмме может быть произведен от руки или автоматически. Если пуск производится с помощью ручного реостата, то переключение сопротивлений производится с ориентировкой на показания амперметра и вольтметра в цепи якоря.

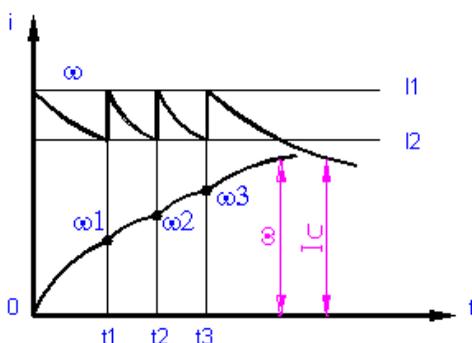


Рис. 5.1

Автоматическое управление позволяет более точно выдержать заданные условия пуска и освобождает человека от выполнения утомительных операций.

Из рассмотрения диаграмм на рис. 5.1. следует, что выключение ступеней сопротивления должно происходить при определенной угловой скорости двигателя ($\omega_t = \pi n/30$), определенной величине тока I_2 и через определенные промежутки времени (t_1 , t_2 , t_3). Очевидно, что управление пуском может быть осуществлено:

- а) в функции тока;
- б) в функции скорости;
- в) в функции времени.

Диаграммы, приведенные на рис. 5.1, иллюстрируют процесс пуска при ступенчатом управлении, осуществляемом при помощи

релейно-контакторных аппаратов в схемах так называемого разомкнутого цикла управления.

Сопrotивления ступеней пускового реостата рассчитываются в следующем порядке:

1. По паспортным данным ДПТ строится зависимость:

$$n = \frac{U_{я} - I_{я} R_{я}}{C_e \Phi} \quad (3)$$

Где величину $C_e \Phi$ можно определить из приведенного выражения в номинальном режиме и $R_{я} = U_{я} / I_{ян}$.

2. Задаются пределы изменения тока якоря при пуске: $I_1 = 1.4 - 2.5 I_{ян}$, $1.1 I_{ян} < I_2 < I_1$. Следует учитывать, что при уменьшении разницы I_1 и I_2 число ступеней реостата возрастает и при неизменном I_1 увеличивается темп разгона двигателя. При увеличении разницы I_1 и I_2 и неизменном I_1 число ступеней и темп разгона уменьшаются.

3. Графическим способом определяют необходимое число ступеней пускового реостата (рис. 5.2). Выполняя эту процедуру не стоит добавлять лишнюю ступень реостата если при переходе на естественную характеристику с последней ступени ток якоря ДПТ незначительно превышает I_1 .

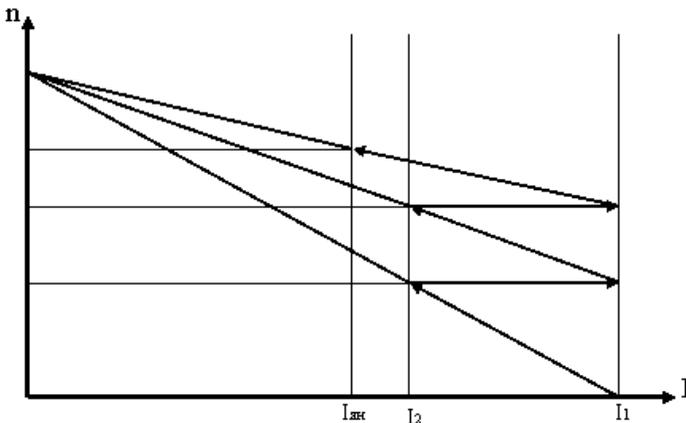


Рис. 5.2

4. Определяют суммарное сопротивление пускового реостата:

$$R_n = \frac{U_n}{I_1} - R_\gamma. \quad (4)$$

5. Определяют частоту вращения ДПТ при токе I_2 и полностью введенном сопротивлении пускового реостата:

$$n_2 = \frac{U - I_2(R_\gamma + R_n)}{C_e \Phi}. \quad (5)$$

6. Определяют сопротивление первой ступени пускового реостата. Для этого вычисляют сопротивление пускового реостата при выведенной первой ступени из условия $n = n_2$, $I_\gamma = I_1$:

$$R_{n1} = \frac{U - C_e \Phi n_2}{I_1} - R_\gamma, \quad (6)$$

тогда сопротивление первой ступени реостата

$$R_1 = R_n - R_{n1}. \quad (7)$$

Аналогично определяют сопротивления следующих ступеней.

При управлении ступенями реостата в функции времени требуется определить необходимые выдержки времени реле. Определим их из уравнений электромеханического равновесия системы, считая, что процессы в цепи якоря происходят за пренебрежимо малое время по сравнению с механическими:

$$U = C\omega + iR, \quad (8)$$

$$M = Ci = J \frac{d\omega}{dt} + M_c. \quad (9)$$

Здесь $C = 30 C_e \Phi / \pi$ – конструктивная постоянная; J – момент инерции системы; M_c – статический момент; R – полное сопротивление якорной цепи.

Выразив i из второго уравнения и заменив выражениями:

$M_c R / C^2 = \Delta \omega_c$ – перепад угловой скорости при нагрузке моментом M ,

$U / C = \omega_0$ – угловая скорость двигателя при идеальном холостом ходе,

$J R / C^2 = J \omega_0 / M_{к.з.} = T_m$ – электромеханическая постоянная времени, получим

$$\omega_0 = \omega + T_m \frac{d\omega}{dt} + \Delta \omega_c. \quad (10)$$

Решение этого уравнения, учитывая, что для $t = 0$ $\omega = \omega_{нач}$, имеет вид

$$\omega = \omega_c + (\omega_{нач} - \omega_c) e^{-t/T_m}. \quad (11)$$

Зависимость тока в цепи якоря от времени можно определить из условия механического равновесия:

$$i = \frac{J}{C} \frac{d\omega}{dt} + I_c, \quad (12)$$

где I_c – ток якоря при M_c .

Подставив в последнее уравнение выражение (11) для начальных условий $t = 0$, $I = I_{нач}$, получим

$$i = I_c + (I_{нач} + I_c) e^{-t/T_m}. \quad (13)$$

В процессе многоступенчатого пуска ток якоря двигателя колеблется в пределах от I_1 до I_2 . Поэтому

$$I_2 = I_c + (I_1 - I_c)e^{-t_x/T_{mx}}, \quad (14)$$

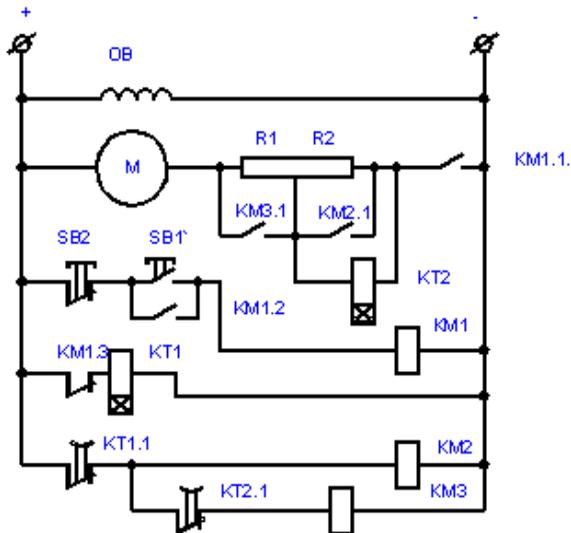
где t_x – время, в течение которого ток двигателя изменяется от I_1 до I_2 ;
 T_{mx} – электромеханическая постоянная времени для той же ступени (выражение (11)).

Решая последнее уравнение относительно времени разгона, находим

$$t_x = T_{mx} \ln \frac{I_1 - I_c}{I_2 - I_c}. \quad (15)$$

Для автоматизации пуска ДПТ в функции времени могут быть применены электромагнитное реле времени либо электронные реле времени.

Узел схемы управления пуском ДПТ в функции времени представлен на рис. 5.3.



При нажатии кнопки SB1 контактор KM1 своим контактом KM1.1 подключает якорь двигателя к сети, а контактом KM1.3 отключает питание от катушки реле KT1. Падение напряжения от пускового тока на сопротивлении R1 вызывает срабатывание реле KT2, которое размыкает свой контакт. С определенной выдержкой времени замыкается контакт KT1.1 реле KT1, и контактор KM2 контактом KM2.1 шунтирует ступень R1 вместе с реле KT2. Последнее опять с выдержкой времени замыкает свой контакт KT2.1, что приводит к шунтированию ступени R2.

Управление в функции времени получило широкое применение в современных электроприводах постоянного и переменного тока благодаря своим достоинствам: простоте схемы, надежности и независимости ее работы от колебаний нагрузки или напряжения.

После отключения ДПТ от источника электропитания якорь двигателя некоторое время продолжает вращаться по инерции, за счет запасенной кинетической энергии. Часто требуется быстро и точно остановить вращаемый двигателем механизм или изменить направление его вращения. Торможение электродвигателей может быть произведено как с помощью механических тормозов, так и электрически, что предпочтительнее.

Для быстрого торможения двигателя его переводят в режим, когда электромагнитный момент становится тормозящим для якоря, то есть когда момент и скорость направлены встречно. При этом механическая энергия вращения преобразуется в электрическую, рассеиваемую в виде теплоты в резисторах цепи якоря, или передается в сеть.

Различают три вида торможения ДПТ:

- а) динамическое;
- б) рекуперативное;
- в) противовключение.

Для динамического торможения вращающийся якорь двигателя отключают от сети и замыкают на реостат R_m . Цепь возбуждения остается включенной в сеть. Получается генератор независимого возбуждения (рис. 5.4). Под воздействием ЭДС ток якоря изменяет

направление, и генераторный электромагнитный момент тормозит вращение якоря до остановки. Вместе со снижением скорости уменьшаются ЭДС, ток и момент.

Выражение тормозящего момента получим, подставив в уравнение

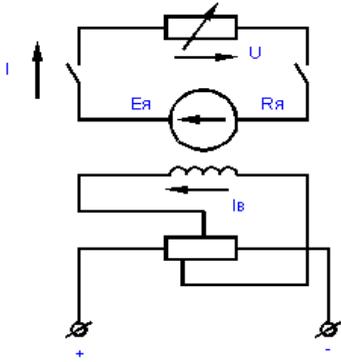


Рис. 5.4

$$M = C_m \Phi I_{\text{я}}$$

значение тока

$$I = E / (R_{\text{я}} + R_m)$$

и ЭДС

$$E_{\text{я}} = C_e \Phi n.$$

Таким образом,

$$M = Kn,$$

где $K = C_e C_m \Phi^2 / (R_{\text{я}} + R_m)$.

Процесс перехода ДПТ с естественной характеристики на характеристику динамического торможения показан на рис. 5.5. Наклон характеристики динамического торможения (линия ОД) определяется суммарным сопротивлением цепи якоря $R_{\text{я}} + R_m$.

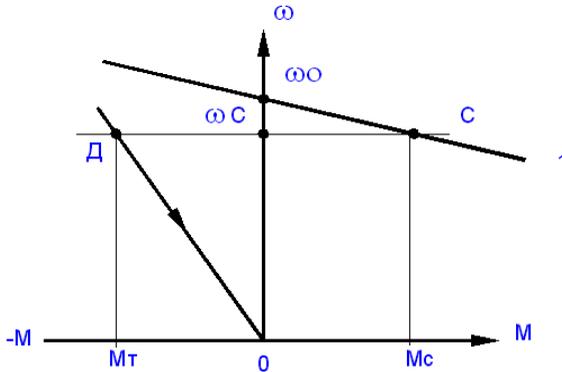


Рис. 5.5

Динамическое торможение отличается простотой, плавностью и надежностью. Внешнее сопротивление динамического торможения можно рассчитать по формуле

$$R_m = \frac{E}{I} - R_{я}.$$

Здесь при расчетах вместо E нужно подставить максимально возможную величину E_{\max} , получаемую в начальный момент торможения, вместо I – допустимый в начале торможения ток $I_{\text{доп}}$.

Время торможения может быть определено из решения уравнений, описывающих процесс динамического торможения:

$$C\omega + i(R_{я} + R_m) = 0;$$

$$Ci = J \frac{d\omega}{dt} + M_c.$$

Решение этого уравнения, учитывая, что в начальный момент времени $\omega_{\text{нач}} = \omega_c$ и $M_c(R_{я} + R_m)/C^2 = \Delta\omega_c$, имеет вид

$$\omega = -\Delta\omega_c + (\omega_{\text{нач}} + \Delta\omega_c)e^{-t/T_m}.$$

Из последнего выражения при торможении до полной остановки получим

$$t_{\text{пв}} = T_m \ln \frac{\omega_{\text{нач}} + \Delta\omega_c}{\Delta\omega_c}.$$

5.3. Задание на выполнение лабораторной работы.

5.3.1. По измеренным сопротивлениям пусковых реостатов R911, R912, паспортным данным двигателей и параметрам нагрузки (момент инерции M_c в лаб. раб. 1 задаётся преподавателем) для заданных I_1 , I_2 рассчитать требуемые выдержки реле времени для двухступенчатого пуска двигателя М1 в функции времени.

5.3.2. Собрать схему двухступенчатого пуска М1 в функции времени, осуществить пуск, зафиксировать броски тока и соответствующие им частоты вращения, сравнить с заданными.

5.3.3. По измеренному значению сопротивления динамического торможения $R_{910} + R_{911} + R_{912}$, паспортным данным двигателей и параметрам нагрузки (момент инерции M_c в лаб. раб. 1, задаётся преподавателем) рассчитать время динамического торможения.

5.3.4. Собрать схему динамического торможения и осуществить торможение в функции времени. Зафиксировать максимальный ток при динамическом торможении и время динамического торможения.

5.4. Порядок работы с лабораторной установкой.

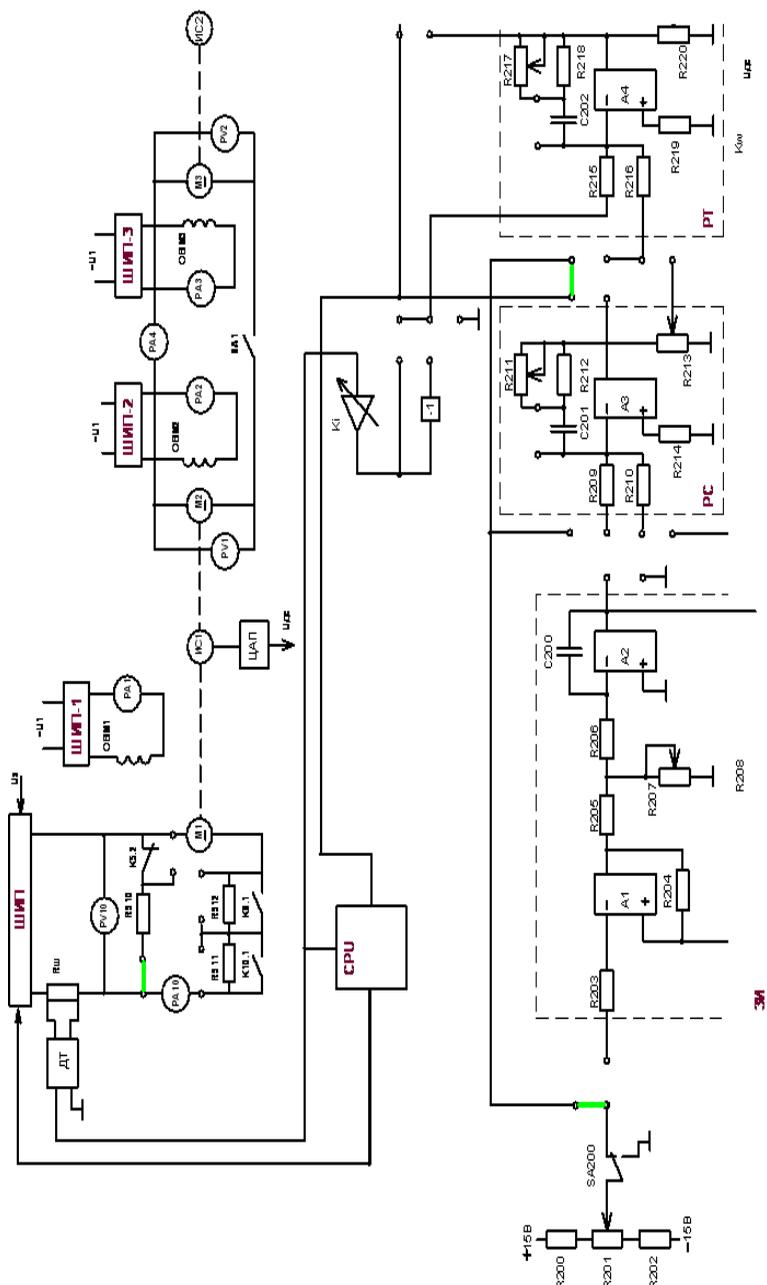
Внимание! Перед включением автомата питания стенда тумблеры SA100, SA101, SA200, SA300, SA301, SA302, SA700, SA1 должны находиться в нижнем положении (в сервоприводе SA1 – вверх).

5.4.1. Измерьте тестером сопротивления пусковых реостатов R911, R912 и сопротивление реостата R910.

5.4.2. Собрать схему в соответствии с рис. 5.6 (а, б). Включить питание стенда. Кнопкой «Выбор» реле времени установить вначале режим программирования реле K7, затем K12. Кнопками «↑» и «↓» установить рассчитанные в п. 5.3.1 времена срабатывания реле K7 и K12 (индикатор «СЕК»). Кнопкой «Выбор» выбрать режим секундомера. Включить питание обмотки возбуждения машины M1 – тумблер SA300 ШИП-1. Установить резистором R300 ток возбуждения двигателя M1 равным $I_{ном}$ (400 мА). Движок резистора R201 установить в среднее положение. Включить ШИП-2 – тумблер SA301 и резистором R301 установить ток возбуждения машины M2 равным 0. Включить SA1. Включить SA700. Кнопкой SB704 осуществить пробный пуск системы. Резистором R201 выставить напряжение ШИП по прибору PV10 равным 50 В. Плавно вращая движок резистора R301 установить ток возбуждения машины M2 (рА2), при котором ток якоря машины M1 будет соответствовать заданному моменту нагрузки. Остановить двигатель M1, нажав кнопку SB703. После остановки системы повторно осуществить пуск кнопкой SB704 и произвести необходимые измерения. Для получения значений частоты вращения M1 при ступенчатом пуске использовать методику накопления значений, данную в лабораторной работе 1. В процессе пуска зафиксировать броски тока в моменты до и после выключения ступеней пусковых реостатов.

Записать сохранённую в секундомере информацию и установить его в исходное положение.

Осуществить динамическое торможение ДПТ – кнопка SB703. Частоту вращения и соответствующие ей моменты времени фиксировать, как и при пуске. Произвести процедуру выключения стенда.



-1

Рис. 5.6, а
(см. также с. 38)

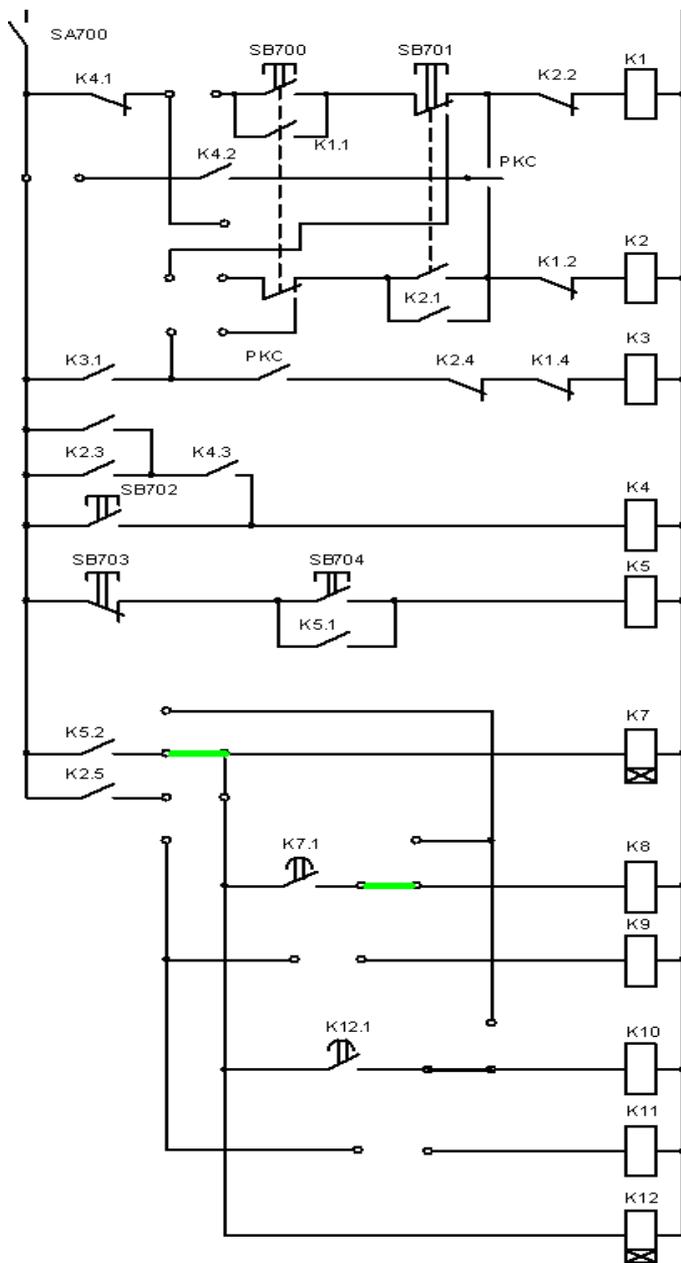


Рис. 5.6, б. Окончание

5.5. Контрольные вопросы.

5.5.1. В функции каких параметров возможен автоматический пуск электродвигателей постоянного тока?

5.5.2. Зависит ли время пуска от величины нагрузки в исследуемой схеме?

5.5.3. Какие существуют способы торможения двигателей постоянного тока?

5.5.4. Опишите порядок работы исследуемой схемы.

Лабораторная работа 6

Исследование реверсивной схемы управления трехфазным асинхронным электродвигателем с торможением противовключением

6.1. Цель работы.

6.1.1. Практически изучить реверсивную схему автоматического управления пуска и торможения противовключением трёхфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором и приобрести практические навыки в сборке этой схемы.

6.2. Краткие теоретические сведения.

Для пуска АД его обмотку статора подключают к трехфазной сети с помощью выключателя. Схема включения АД изображена на рис. 6.1, *а*. После включения выключателя происходит разгон АД. При этом момент M , развиваемый двигателем, и ток I в его обмотке статора изменяются в соответствии с графиками, изображенными на рис. 6.1, *б*. АД разгоняется до установившейся частоты вращения, при которой момент, развиваемый двигателем, равен моменту сил сопротивления на его валу.

Такой вид пуска называется прямым пуском. К его недостаткам относятся:

а) относительно малый пусковой момент: $M_n = (1,2 \dots 1,6) M_n$;

б) относительно большой пусковой ток: $I_n = (5 \dots 7) I_n$.

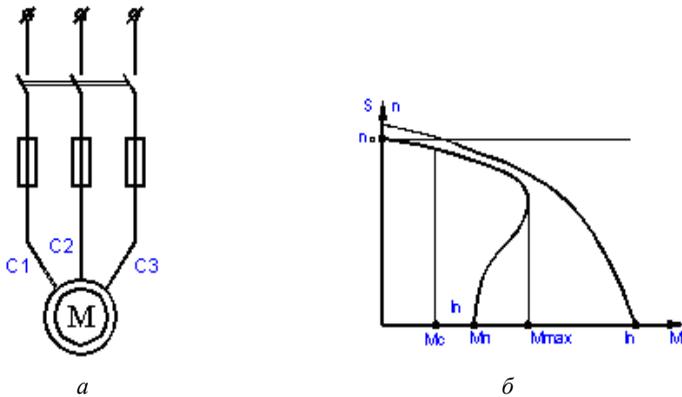


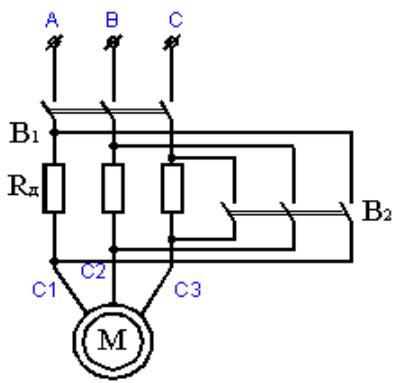
Рис. 6.1

Из-за первого недостатка иногда приходится выбирать двигатель большей мощности, чем это требуется по условиям работы при установившемся режиме, что экономически нецелесообразно.

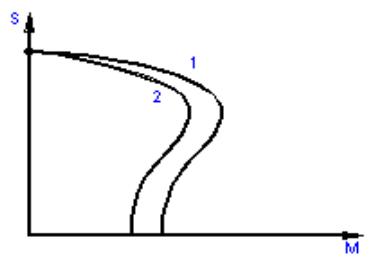
Большой ток в периоды пуска АД может вызвать значительное падение напряжения в сети малой мощности, что неблагоприятно скажется на работе осветительных приборов и т. п. В маломощных сетях, сечение проводов которых невелико, а протяженность значительная, для ограничения пускового тока применяют пуск с активными или индуктивными сопротивлениями, включенными в цепь обмотки статора АД с к. з. ротором (рис. 6.2, а), или пуск с переключением обмотки статора со звезды на треугольник (рис. 6.2, б).

Перед пуском выключатель В2 (см. рис. 6.2, а) устанавливают в выключенное положение, затем включают выключатель В₁. После окончания разбега ротора двигателя включают выключатель В₂, чем шунтируют добавочные пусковые резисторы. Соответствующим подбором сопротивления R_d можно ограничить пусковой ток до любого необходимого значения. Однако не следует забывать, что одновременно уменьшаются пусковой и критический моменты из-за снижения напряжения на обмотке статора АД, вызванного падением напряжения на сопротивлении R_d .

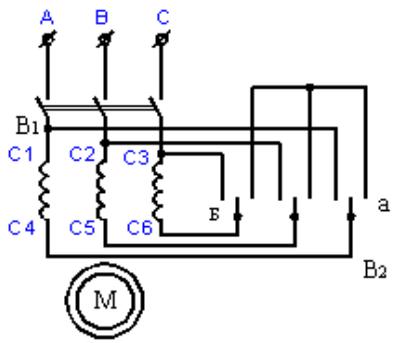
На рис. 6.2, б изображены механические характеристики двигателя при $R_d = 0$ (кривая 1) и $R_d \neq 0$ (кривая 2).



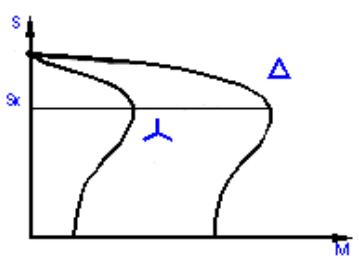
a



б



в



г

Рис. 6.2

Пуск двигателя с переключением со звезды на треугольник возможен, когда обмотка статора может быть соединена звездой и треугольником и напряжение сети соответствует соединению об-

мотки статора треугольником. Установив предварительно выключатель В₂ (см. рис. 6.2, в) в положение а, что соответствует соединению обмотки статора звездой, выключателем В₁ включают двигатель в сеть. После окончания пуска выключатель В₂ перекидывают в положение б, благодаря чему обмотка статора оказывается соединенной треугольником. Напряжение на фазе обмотки статора во время пуска будет меньше номинального в $\sqrt{3}$ раз. Вследствие этого ток фазы уменьшится в той же степени, а поскольку линейный ток больше фазного в $\sqrt{3}$ раз, пусковой линейный ток при таком способе пуска будет меньше по сравнению с прямым пуском в 3 раза. Одновременно в 3 раза уменьшаются пусковой и максимальный моменты, так как они пропорциональны квадрату фазного напряжения.

Значение критического скольжения не изменится, так как оно не зависит от напряжения. На рис. 6.2, г изображены механические характеристики двигателя, соответствующие схеме соединения треугольником и пусковой схеме звездой.

Ввиду значительного снижения пускового момента указанный способ пуска АД возможен только при малых моментах сил сопротивления на валу двигателя.

Для торможения рабочего механизма на валу АД, как правило, используются тормозные свойства самого двигателя в следующих тормозных режимах:

- а) генератором с отдачей энергии в сеть;
- б) противовключения;
- в) динамического торможения;
- г) конденсаторного торможения.

Во всех тормозных режимах АД развивает момент, действующий в сторону, противоположную направлению вращения ротора, поэтому он называется тормозным моментом. Под действием этого момента в одних случаях происходит быстрый останов, а в других – поддержание заданной скорости.

В АД с к. з. ротором торможение противовключением достигается изменением чередования фаз статора: вращающееся магнитное поле при этом изменяет направление вращения на обратное и на вращающийся по инерции ротор воздействует тормозной момент (кривая 2 на рис. 6.3). Скольжение при этом больше единицы,

ток двигателя несколько превышает пусковой. Ротор останавливается и если двигатель не отключить, начинается пуск в обратную сторону. Данное торможение применяют для быстрого реверсирования.

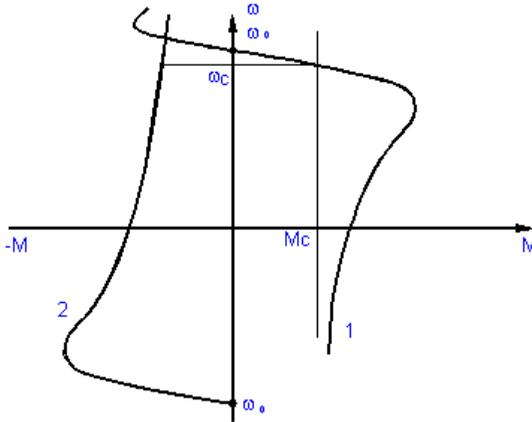


Рис. 6.3

Тормозной режим противовключения возникает также в том случае, когда под действием внешнего момента, приложенного к валу двигателя, ротор вращается в противоположную сторону относительно вращающегося магнитного поля статора.

При $M_c = 0$ с учётом того, что при противовключении $s = (\omega_0 + \omega) / \omega_0$ уравнение движения ротора АД примет вид

$$\frac{2M_{\kappa}}{s_{\kappa} / s + s / s_{\kappa}} = J\omega_0 \frac{ds}{dt}.$$

Здесь

$$s_{\kappa} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{\kappa}^2}} \quad - \text{ критическое скольжение;}$$

$$M_{\kappa} = \frac{\pm 3U_1^2}{2\omega_0(\pm R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_r^2})} \quad - \text{ критический момент;}$$

$$\begin{aligned}
R_2' & \text{ – приведенное сопротивление цепи ротора;} \\
X_{\kappa} = X_1 + X_2' & \text{ – реактивное сопротивление короткого замыкания;} \\
U_1 & \text{ – первичное фазное напряжение;} \\
\omega_0 = 2\pi f/p & \text{ – синхронная угловая скорость двигателя;} \\
p & \text{ – число пар полюсов;} \\
f & \text{ – частота питающего напряжения.}
\end{aligned}$$

Критическое скольжение можно также определить, используя паспортные данные двигателя

$$S_{\kappa} = S_{\text{ном}} (\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}),$$

где $S_{\text{ном}}$ – номинальное скольжение;
 $\lambda = M_{\kappa} / M_n$ – кратность максимального момента.

Тогда, учитывая, что торможение происходит в пределах скольжений от $S_{\text{нач}} = 2$ до $S_{\text{кон}} = 1$, получим время торможения при холостом ходе:

$$t_{m0} = T_m \left(0,345 S_{\kappa} + \frac{0,75}{S_{\kappa}} \right),$$

где $T_m = J\omega_0 / M_{\kappa}$ – электромеханическая постоянная времени.

Эффективное значение момента при торможении может быть определено из выражения:

$$M_{\text{эф.т}} = M_{\kappa} S_{\kappa} / (0,75 + 0,345 S_{\kappa}^2).$$

Тогда время торможения с учётом нагрузки M_c может быть определено так:

$$t_m = \frac{J\omega}{M_{\text{эф.т.}} + M_c}.$$

Паспортные данные АД ДМТФ 011-6

$P_n = 1,4$ кВт	$I_0 = A$
$n_n = 885$ об/мин	$R1 = 4,55$ Ом
$I_n = 5,3$ А	$R2' = 7,3$ Ом
$U1 = 220$ В – фазное	$X1 = 6,2$ Ом
$\eta = 0,615$	$X2' = 6,1$ Ом
$\cos \varphi = 0,65$	$J_{дв} = 0,021$ кг·м ²
$M_k = 39$ Н·м	$p = 3$
$M_n = 15,4$ Н·м	$f = 50$ Гц
$U_{2ф} = 116$ В – линейное	$I_{2н} = 9,1$ А

Параметры нагрузки: M_c – задаётся преподавателем; $J_{нагр}$ – лаб. раб. 1.

6.3. Задание на выполнение лабораторной работы.

6.3.1. Рассчитайте время торможения АД противовключением при заданных преподавателем U_1 , M_c и f . При задании напряжения и частоты желательнее, чтобы фазное напряжение было не более 100 В, а частота не более 50 Гц. При задании U_1 и f должно соблюдаться равенство $U1/f = 220/50 = 4,4$. По заданному моменту нагрузки и паспортным данным двигателя М3 рассчитать требуемый ток возбуждения МЗ.

6.3.2. Разработайте схему пуска и торможения противовключением, используя элементы на лицевой панели стенда.

6.3.3. Соберите схему и осуществите пуск и торможение. Зафиксируйте частоту вращения М4, бросок тока при пуске и при торможении. Измерьте время торможения и сравните с расчётным. Построить зависимости $\omega = f(t)$ для процессов разгона и торможения двигателя М4.

6.4. Порядок работы с лабораторной установкой.

Внимание! Перед включением автомата питания стенда тумблеры SA100, SA101, SA200, SA300, SA301, SA302, SA700, SA1 должны находиться в нижнем положении (в сервоприводе SA1 – вверх).

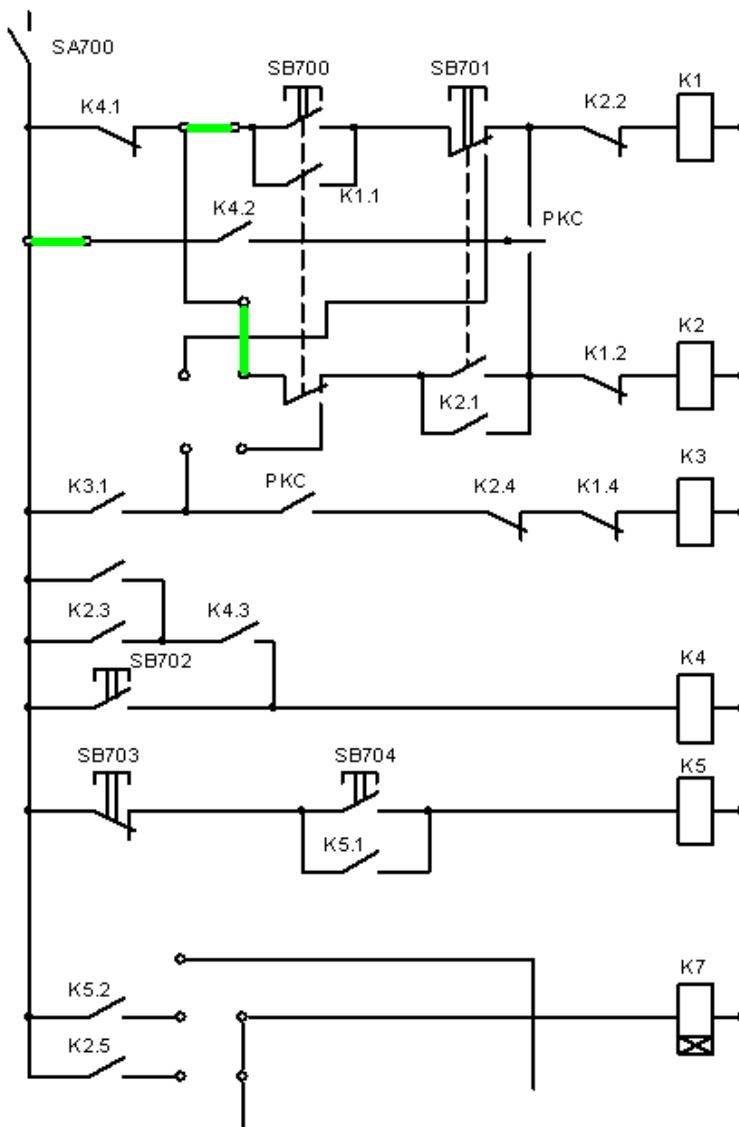
6.4.1. Собрать схему в соответствии с рис. 6.4 (а, б). Включить автоматом питание стенда. Включить ШИП-3 тумблером SA302 и резистором R302, по прибору pA3 установить требуемый ток возбуждения машины M3. Включить SA700. Резистором R402 установить заданную частоту АИИ. Кнопкой SB700 запустить M4 и резистором R401 по прибору pV3 установить заданное напряжение. Остановить кнопкой SB702 двигатель M4. Включить тумблер SA1. Кнопкой SB700 запустить M4. Одновременно нажать «Пуск» секундомера и одновременно зафиксировать бросок тока по прибору pA5. Кнопку «Пуск» по возможности равномерно в процессе разгона нажать 5–9 раз. Нажать кнопку «Стоп» секундомера и с помощью кнопок прокрутки «↑» и «↓» на панели управления секундомером извлечь из памяти значения ω и t . Данные занести в таблицу. Нажать кнопку «Сброс» секундомера. Нажать кнопку SB702 одновременно с кнопкой «Пуск» секундомера и одновременно зафиксировать бросок тока по прибору pA5. Кнопку «Пуск» по возможности равномерно в процессе торможения нажать 5–9 раз. Нажать кнопку «Стоп» секундомера и с помощью кнопок прокрутки «↑» и «↓» на панели управления секундомером извлечь из памяти значения ω и t . Данные занести в таблицу. Нажать кнопку «Сброс» секундомера. Осуществить процедуру отключения стенда.

6.4. Контрольные вопросы.

6.4.1. Объясните работу схемы при пуске, реверсе и торможении электродвигателя.

6.4.2. Каково устройство и назначение реле контроля скорости?

6.4.3. Какие приняты в схеме управления меры, предотвращающие одновременное срабатывание пускателей K1, K2?



б

Рис. 6.4, б. Окончание

Лабораторная работа 7

Исследование механических характеристик асинхронного электродвигателя с фазным ротором

7.1. Цель работы.

7.1.1. Приобрести практические навыки в выполнении опытов по снятию данных и построению механических характеристик трёхфазного асинхронного электродвигателя с фазным ротором при различных режимах его работы.

7.1.2. Получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о механических характеристиках этого электродвигателя.

7.2. Краткие теоретические сведения.

Асинхронные двигатели получили в промышленности весьма широкое применение благодаря ряду существенных преимуществ по сравнению с другими типами двигателей. Асинхронный двигатель прост и надёжен в эксплуатации, так как не имеет коллектора. Асинхронные двигатели дешевле и значительно легче двигателей постоянного тока.

Вращающий момент асинхронного двигателя можно определить по упрощённой формуле:

$$M = \frac{2M_{\kappa}}{S/S_{\kappa} + S_{\kappa}/S}.$$

Кроме двигательного режима асинхронный двигатель имеет ещё три тормозных режима: а) генераторный тормозной с отдачей энергии в сеть; б) торможение противоключением; в) динамическое торможение.

Генераторное торможение АД с отдачей энергии в сеть наступает при частоте вращения ротора, превышающей синхронную. В этом режиме электродвигатель отдаёт в сеть активную энергию, а из сети в электродвигатель поступает реактивная энергия, необ-

ходимая для создания электромагнитного поля. Торможение в этом режиме происходит лишь до синхронной частоты вращения.

Механическая характеристика для генераторного режима является продолжением характеристики двигательного режима во второй квадрант осей координат.

Торможение противовключением соответствует направлению вращения магнитного поля статора, противоположному вращению ротора. В этом режиме скольжение больше единицы, а частота вращения ротора по отношению к частоте вращения поля статора – отрицательна. Ток в роторе, а следовательно, и в статоре достигает большой величины. Для ограничения этого тока в цепь ротора вводят добавочное сопротивление.

Режим торможения противовключением наступает при изменении направления вращения магнитного поля статора, в то время как ротор электродвигателя и соединённые с ним механизмы продолжают вращение по инерции. Этот режим возможен также и в случае, когда поле статора не меняет направления вращения, а ротор под действием внешнего момента изменяет направление вращения. При этом механические характеристики электродвигателя являются продолжением характеристик двигательного режима и располагаются в четвёртом квадранте осей координат рис. 6.3.

Динамическое торможение асинхронного электродвигателя осуществляется следующим образом: обмотку статора отключают от сети переменного тока, а затем две фазы обмотки статора подключают к источнику постоянного тока. Постоянный ток, проходя по обмотке статора, образует магнитное поле, неподвижное относительно сердечника статора. Но так как ротор электродвигателя продолжает вращение по инерции, то это магнитное поле наводит в обмотке ротора переменный ток. Взаимодействие тока ротора с магнитным полем статора создаёт тормозной момент, величина которого определяется величинами МДС обмотки статора, активного сопротивления обмотки ротора и частоты вращения ротора. Торможение длится до полной остановки ротора. Для более эффективного торможения в цепь ротора вводят активное сопротивление.

Механические характеристики электродвигателя в режиме динамического торможения располагаются в начальной части второго квадранта осей координат.

В режиме динамического торможения механическая характеристика рассчитывается по выражению (14), но $M_{к.т}$ и $S_{к.т}$ рассчитываются специально для этого режима.

Критический момент $M_{к.т}$ в режиме динамического торможения определяют из выражения вида

$$M_{к.т} = \frac{3I_{э\kappa\theta}^2 x_{\mu}^2}{2\omega_0(x_{\mu} + x_2')},$$

Критическое скольжение $S_{к.т}$ в режиме динамического торможения:

$$S_{к.т} = \frac{r_2'}{x_{\mu} + x_2},$$

где x_{μ} – для тока намагничивания, равного току холостого хода, можно определить из приближённой зависимости:

$$x_{\mu} = \frac{1,25U_1}{I_0 i_{\mu}} (1 - e^{-1,59 * i_{\mu}}),$$

здесь i_{μ} – относительное значение тока намагничивания – в данном случае равно 1.

Эквивалентный ток $I_{э\kappa\theta}^2$ для схемы динамического торможения, используемой в схеме, равен 0,816 $I_{п}$. Постоянный ток выбирают равным (2–4) I_0 .

Паспортные данные – см. лаб. раб. 6.

7.3. Задание на выполнение лабораторной работы.

7.3.1. Используя паспортные данные АД рассчитать и построить естественные и искусственные характеристики электродвигателя во всех режимах работы.

Для построения реостатных характеристик измерить тестером сопротивления R900–R905.

Искусственные характеристики АД при регулировании напряжением рассчитать для $U_1 = 100 \text{ В}$, 150 В при $f = 50 \text{ Гц}$.

Искусственные характеристики АД при регулировании частотой питающего напряжения рассчитать для $f = 35 \text{ Гц}$, 25 Гц при $U_1 = 100 \text{ В}$.

Искусственные характеристики при регулировании частотой и напряжением ($U_1/f = \text{const} = 4,4$) рассчитать для частот 35 Гц и 25 Гц .

Характеристику в трёх квадрантах (генераторное торможение, двигательный режим, противовключение) рассчитать для $U_1 = 20 \text{ В}$, $f = 25 \text{ Гц}$.

Характеристику динамического торможения рассчитать для постоянного тока в цепи статора $I_n = 1 \text{ А} - 2 \text{ А}$ (задаётся преподавателем).

7.3.2. Снять перечисленные в п. 7.3.1 характеристики при указанных U_1 и f экспериментально.

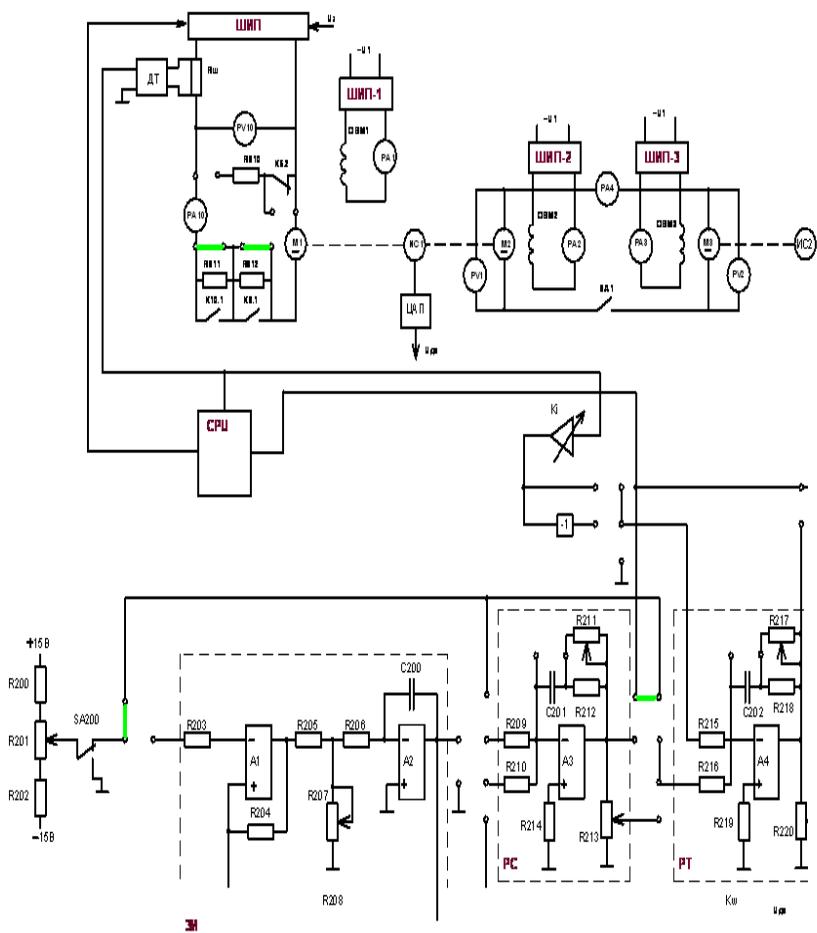
7.3.3. Сравнить результаты расчёта и эксперимента. Произвести сравнительный анализ способов регулирования частоты вращения АД.

7.4. Порядок работы с лабораторной установкой.

Внимание! Перед включением автомата питания стенда тумблеры SA100, SA101, SA200, SA300, SA301, SA302, SA700, SA1 должны находиться в нижнем положении (в сервоприводе SA1 – вверх).

7.4.1. Собрать схему рис. 7.1, 7.2.

7.4.2. Естественная характеристика. Включить автоматом питание стенда. Тумблером SA302 включить ШИП-3, питающий обмотку возбуждения ОВ машины М3 и резистором R302 установить ток возбуждения равным 0 (прибор рА3). Включить SA1. Включить SA700. Резистором R402 выставить частоту инвертора 50 Гц. Кнопкой SB701 запустить М4 и резистором R401 установить напряжение на рV3 220 В. Изменяя резистором R302 ток возбуждения машины М3 снять 5–6 точек механической характеристики машины М4 (приборы ИС2 и рА4). По току рА4 и паспортным данным машины М3 рассчитывать момент нагрузки на валу М4. Считать, что магнитный поток Φ машины М3 пропорционален току возбуждения. Вывести R302 в крайнее левое положение и кнопкой SB702 остановить М4. Выключить SA700.



-1

Рис 7.1

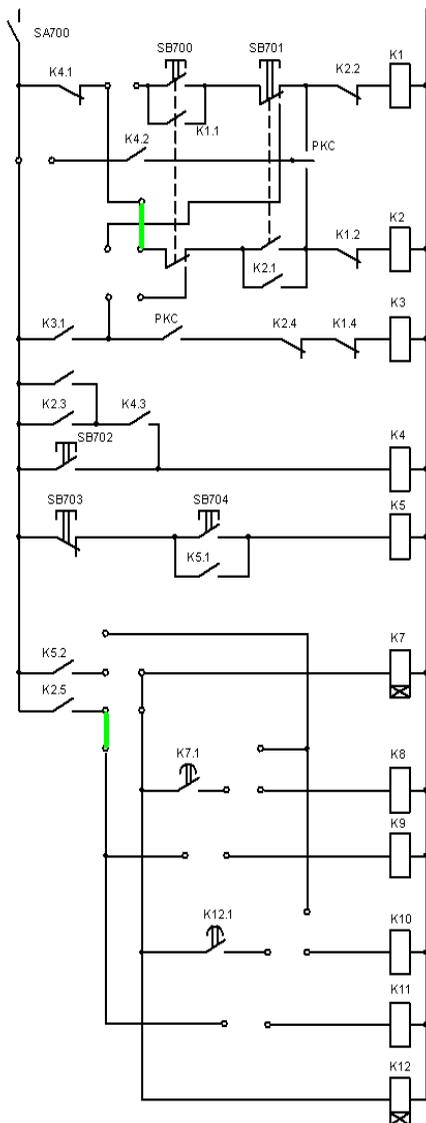
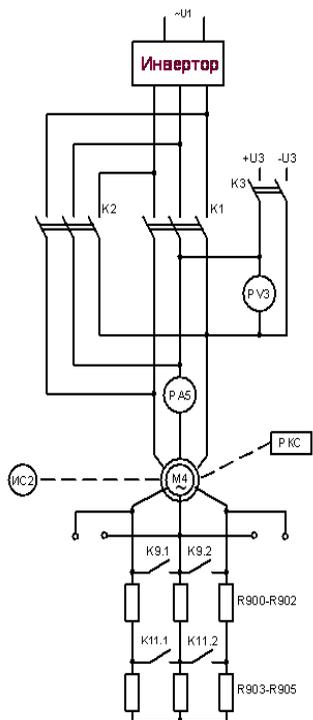


Рис. 7.2

7.4.3. Реостатная характеристика. Удалить переключку в цепи питания К9. Включить SA700. Кнопкой SB701 запустить М4. Изменяя резистором R302 ток возбуждения машины М4 снять 5–6 точек реостатной характеристики двигателя М4 (приборы ИС2 и рА4). Вывести R302 в крайнее левое положение и кнопкой SB702 остановить М4. Выключить SA700.

7.4.4. Удалить переключку в цепи питания К11. Повторить опыт п. 7.4.3. Вывести R302 в крайнее левое положение и кнопкой SB702 остановить М4. Выключить SA700.

7.4.5. Регулирование изменением напряжения. Установить переключки в цепи питания реле К9, К11. Включить SA700. Кнопкой SB701 запустить М4 и резистором R401 установить напряжение на рV3 150 В. Изменяя резистором R302 ток возбуждения машины М3 снять искусственную механическую характеристику двигателя М4 (приборы ИС2 и рА4). Вывести R302 в крайнее левое положение.

7.4.6. Регулирование изменением напряжения. Резистором R401 установить напряжение на рV3 100 В. Изменяя резистором R302 ток возбуждения машины М3 снять искусственную механическую характеристику двигателя М4 (приборы ИС2 и рА4). Вывести R302 в крайнее левое положение.

7.4.7. Регулирование изменением частоты. Резистором R402 выставить частоту инвертора 35 Гц. Изменяя резистором R302 ток возбуждения машины М3 снять искусственную механическую характеристику двигателя М4 (приборы ИС2 и рА4). Вывести R302 в крайнее левое положение.

7.4.8. Регулирование изменением частоты. Резистором R402 выставить частоту инвертора 25 Гц. Изменяя резистором R302 ток возбуждения машины М3 снять искусственную механическую характеристику двигателя М4 (приборы ИС2 и рА4). Вывести R302 в крайнее левое положение.

7.4.9. Регулирование изменением напряжения и частоты. Резистором R401 установить напряжение на рV3 154 В. Резистором R402 выставить частоту инвертора 35 Гц. Изменяя резистором R302 ток возбуждения машины М3 снять искусственную механическую характеристику двигателя М4 (приборы ИС2 и рА4). Вывести R302 в крайнее левое положение.

7.4.10. Регулирование изменением напряжения и частоты. Резистором R401 установить напряжение на рV3 110 В. Резистором

R402 выставить частоту инвертора 25 Гц. Изменяя резистором R302 ток возбуждения машины M3 снять искусственную механическую характеристику двигателя M4 (приборы ИС2 и рА4). Вывести R302 в крайнее левое положение. Кнопкой SB702 остановить M4. Разомкнуть SA1.

7.4.11. Характеристика в трёх квадрантах. Тумблерами SA300, SA301 включить ШИП-1, ШИП-2. Установить резисторами R300-R302 токи возбуждения машин M1, M2, M3 равными 400 мА (приборы рА1-рА3). Кнопкой SB701 запустить M4. Резистором R401 установить напряжение инвертора (прибор рV3) равным 20 В. Установить движок резистора R201 примерно в среднее положение. Включить тумблером SA100 ШИП. Включить SA200. Кнопкой SB704 запустить M1. Плавно вращая R201 против часовой стрелки установить выходное напряжение ШИП (прибор рV10) равным 50 В. Изменяя ток возбуждения машины M2 резистором R301 или ток возбуждения машины M3 резистором R302, добиться равенства напряжений на приборах рV1 и рV2. Замкнуть SA1. Увеличивая ток возбуждения машины M2 резистором R301 и, если этого недостаточно, уменьшая ток возбуждения машины M3 резистором R302, перевести машину M4 в генераторный режим (в этом режиме напряжение на приборе рV3 должно начать увеличиваться). Снять показания рА4 и ИС2 для одной или двух точек характеристики (при определении момента нагрузки учитывать знак тока на приборе рА4). Уменьшая ток возбуждения M2 до 0 и увеличивая ток возбуждения машины M3 до номинального, равного 400 мА, снять 5–6 точек (приборы ИС2 и рА4) механической характеристики машины M4 в двигательном режиме (включая и часть характеристики после критического момента). Далее, плавно вращая R201 по часовой стрелке, реверсировать машину M1 (показания рV10 после прохождения через 0 довести до 20 В). Затем, плавно увеличивая ток возбуждения машины M2 резистором R301 и следя за током машины M1 (не должен превышать 7А), перевести машину M4 в режим противовключения (4-й квадрант). Если при максимальном токе возбуждения машины M2 двигатель M4 не завращается в противоположную сторону, плавно вращая R201, увеличить частоту вращения M1. В этом режиме снять одну точку характеристики (приборы ИС2 и рА4). Далее уменьшить частоту вращения M1 (прибор ИС1) резистором R201 до нуля. Кнопкой SB702 остановить M4. Кнопкой SB703 остановить M1. Выключить SA700.

7.4.12. Характеристика динамического торможения. Включить SA700. Вывести в крайнее левое положение резистор R400. Установить резисторами R300-R302 токи возбуждения машин M1, M2, M3 равными 400 мА (приборы pA1-pA3). Кнопкой SB704 запустить M1. Плавно вращая R201 против часовой стрелки, зафиксировать переход инвертора в режим динамического торможения (загорится соответствующий светодиод в правом нижнем углу панели в рамке «Режим работы Инвертора»). Резистором R400 установить ток динамического торможения равным рассчитанному в п. 7.3.1 (прибор pA5). Далее, продолжая плавно вращать R201 против часовой стрелки, снять характеристику АД в режиме динамического торможения (приборы IC2 и pA4). Уменьшить частоту вращения M1 до нуля резистором R201. Кнопкой SB703 остановить M1. Осуществить процедуру выключения стенда.

7.5. Контрольные вопросы.

7.4.1. В каких диапазонах изменяется скольжение асинхронного электродвигателя в режимах генераторного торможения – двигательном, торможения противовключением и динамического торможения?

7.5.2. Как меняется форма характеристики $M = f(s)$ при увеличении активного сопротивления в цепи ротора?

7.5.3. Что такое перегрузочная способность асинхронного электродвигателя и какова её зависимость от напряжения в обмотке статора?

7.5.4. Различаются ли по значению максимальные моменты асинхронного электродвигателя в двигательном и генераторном режимах?

7.5.5. Может ли критическое скольжение асинхронного электродвигателя иметь значение, превышающее единицу?

7.5.6. Как влияет подводимое к асинхронному электродвигателю напряжение на форму характеристики $M = f(s)$.

7.5.7. Как изменится механическая характеристика АД в режиме динамического торможения при увеличении активного сопротивления в цепи ротора?

7.4.8. На что расходуется энергия, вырабатываемая в электродвигателе при его работе в режимах торможения?

Лабораторная работа 8

Исследование схемы управления трехфазным асинхронным электродвигателем с фазным ротором

8.1. Цель работы.

8.1.1. Практически изучить схему автоматического пуска и динамического торможения трёхфазного асинхронного двигателя с фазным ротором и приобрести навыки в сборке и регулировке этой схемы.

8.2. Краткие теоретические сведения.

Предлагаемая для исследования схема рис. 8.1 обеспечивает автоматическое неререверсивное управление пуском АД в функции времени и динамическое торможение. Силовая часть включает в себя электродвигатель и два пусковых сопротивления. Каждое из этих сопротивлений состоит из трёх элементов.

Переключение ступеней пускового сопротивления осуществляется с помощью реле времени. Для осуществления динамического торможения электродвигателя в силовой части схемы имеется электрическая цепь для подключения обмотки статора к источнику постоянного тока.

При разработке рассматриваемой схемы требуется рассчитать сопротивления ступеней пускового реостата, выдержки реле времени, величину постоянного напряжения и сопротивления в цепи ротора для обеспечения заданного времени торможения.

Для расчёта числа ступеней и сопротивлений пусковых реостатов задаются максимальным $M_1 = (0,8 - 0,9) M_{кр}$ и минимальным $M_2 = (1,1 - 1,2) M_{СТ}$ пусковыми моментами.

Тогда число ступеней пускового реостата m определяют из выражения:

$$m = \lg(1/S_n M_1) / \lg(M_1 / M_2).$$

Сопротивления пусковых реостатов определяют из следующих соображений.

Для момента M_1 из уравнения:

$$M = \frac{2M_{\kappa}}{S/S_{\kappa} + S_{\kappa}/S},$$

определяют скольжение S_{e1} при работе АД на естественной характеристике. Учитывая, что в момент пуска при полностью введенном пусковом реостате скольжение $S_{e1} = 1$, и считая, что

$$S_e/S_u = R_2/(R_2 + R_p),$$

определяют сопротивление пускового реостата:

$$R_p = R_2(S_{u1}/S_{e1} - 1).$$

Сопротивление фазы ротора в данных методических указаниях задано в лаб. раб. 6, но, как правило, оно неизвестно и его рассчитывают по паспортным данным двигателя:

$$R_2 = U_{2\phi} S_n / (\sqrt{3} I_{2n}).$$

Определив далее для искусственной характеристики с R_p из пропорции

$$S_{кр.е} / S_{кр.и} = R_2 / (R_2 + R_p)$$

критическое скольжение $S_{кр}$ и из выражения для этой искусственной характеристики

$$M = \frac{2M_{\kappa}}{S/S_{кр.и} + S_{кр.и}/S},$$

определяют скольжение S_{u2} при моменте M_1 .

Далее определяют сопротивление пускового реостата при выведенной первой ступени R_1 , считая, что в этом случае при моменте M_1 скольжение на следующей искусственной характеристике равно S_{u2} :

$$R_p - R_1 = R_2 (S_{u2} / S_{e1} - 1).$$

Для расчёта следующих ступеней процедура повторяется.

Время движения двигателя на каждой пусковой ступени определяют из уравнения движения:

$$\frac{2M_{\kappa}}{S / S_{\kappa} + S_{\kappa} / S} - M_c = J \frac{d\omega}{dt}.$$

Пренебрегая на первом этапе M_c , получим время движения двигателя при изменении скольжения от $S_{\text{нач}}$ до $S_{\text{кон}}$ (S_{u1} , S_{u2} и так далее по предыдущим расчётам):

$$t_{n0} = \frac{T_M}{2} \left[\left(\frac{1 - S_{\kappa}^2}{2S_{\kappa}} + S_{\kappa} \ln \frac{1}{S_{\kappa}} \right) - \left(\frac{1 - S_{\text{нач}}^2}{2S_{\kappa}} + S_{\kappa} \ln \frac{1}{S_{\text{нач}}} \right) \right],$$

где $T_M = J\omega_0 / M_{\kappa}$; S_{κ} – критическое скольжение на каждой ступени.

Зная t_{n0} , определяют эффективное значение момента $M_{\text{эф}}$ на каждом участке движения:

$$M_{\text{эф}} = \frac{J\omega_0}{M_{\kappa}}.$$

Используя $M_{\text{эф}}$, определяют время движения на каждом участке с учётом M_c :

$$t_n = J\omega_0 / (M_{\text{эф}} - M_c).$$

В режиме динамического торможения, если оно производится без нагрузки, уравнение движения ротора АД имеет вид

$$\frac{2M_{\kappa.m}}{S_{\kappa.m} / S + S / S_{\kappa.m}} = J\omega_0 \frac{ds}{dt}.$$

Здесь $S_{\kappa.m}$ – критическое скольжение в режиме динамического торможения; $M_{\kappa.p}$ – критический момент при динамическом торможении.

После преобразований последнего, принимая во внимание, что $S = \omega/\omega_0$ и $S_{НАЧ} = 1$, а $S_{КОН} = 0,05$, получим выражение для времени торможения на холостом ходу:

$$t_{m,\delta} = T_m (1,5S_{\kappa.m} + 0,25/S_{\kappa.m}),$$

где $T_m = J\omega_0/M_{\kappa.m}$ – электромеханическая постоянная времени при динамическом торможении.

Определив из выражения вида

$$M_{\text{эф.д.м}} = \frac{J\omega_0}{t_{\delta,m}} = \frac{M_{\kappa.m}S_{\kappa.m}}{0,25 + 1,5S_{\kappa.m}^2},$$

значение эффективного момента динамического торможения, окончательно время торможения с учётом нагрузки M_c можно рассчитать в соответствии с выражением

$$t_m = \frac{J\omega}{M_{\text{эф.д.м}} + M_c}.$$

Критический момент $M_{\kappa.т}$, критическое скольжение $S_{\kappa.т}$ в режиме динамического торможения определяют из лаб. раб. 7.

Следует отметить, что, вводя в цепь ротора добавочные сопротивления, можно регулировать $S_{\kappa.т}$. Процедура расчёта $S_{\kappa.т}$ в этом случае такая же как, и при ступенчатом пуске.

8.3. Задание на выполнение лабораторной работы.

8.3.1. Для заданных преподавателем момента статического M_c , интервалов изменения момента в процессе пуска М1, М2 и измеренных в лаб. раб. 7 сопротивлений пусковых реостатов R900 – R905 рассчитать требуемые выдержки времени реле К7, К12.

8.3.2. Для заданного постоянного тока I_n в режиме динамического торможения (лаб. раб. 7) при введенных ступенях пускового реостата рассчитать время торможения.

8.3.3. Проверьте результаты расчётов по п. 8.3.1 и п. 8.3.2 экспериментально. Сделайте выводы.

8.4. Порядок работы с лабораторной установкой.

Внимание! Перед включением автомата питания стенда тумблеры SA100, SA101, SA200, SA300, SA301, SA302, SA700, SA1 должны находиться в нижнем положении (в сервоприводе SA1 – вверх).

8.4.1. Собрать схему рис. 8.1.

8.4.2. Включите питание стенда. Включите SA700 – питание реле. Установите реле времени: кнопкой «Выбор» выберите реле K7 или K12. Кнопками «↑» и «↓» установите расчётные времена срабатывания реле (индикатор «СЕК»). Для проведения двухступенчатого пуска пускатель K11 должен срабатывать раньше K9 (см. схему рис. 8.1). Кнопкой «Выбор» выберите режим секундомера. Тумблером SA302 включить ШИП-3 питающий обмотку возбуждения ОВ машины М3 и резистором R302 установить ток возбуждения (прибор рА3), обеспечивающий заданный M_c . Резистором R402 выставьте частоту АИН = 50 Гц. Произведите пуск АД – кнопкой SB701 включите пускатель K2. Резистором R401 выставьте линейное напряжение АИН = 220 В. Кнопкой SB700 остановить М4 и в процессе остановки резистором R400 установить заданный ток динамического торможения (прибор рА5).

Реостатный пуск:

Включите SA1. Повторно кнопкой SB701 включите пускатель K2. Одновременно нажать «Пуск» секундомера и одновременно зафиксировать бросок тока по прибору рА5. Кнопку «Пуск» по возможности равномерно в процессе разгона нажать 5–9 раз. Нажать кнопку «Стоп» секундомера и с помощью кнопок прокрутки «↑» и «↓» на панели управления секундомером извлечь из памяти значения ω и t . Данные занести в таблицу. Нажать кнопку «Сброс» секундомера.

8.3.3. Осуществите динамическое торможение АД – нажать кнопку SB700 одновременно с кнопкой «Пуск» секундомера. Кнопку «Пуск» по возможности равномерно в процессе торможения нажать 5–9 раз. Нажать кнопку «Стоп» секундомера и с помощью кнопок прокрутки «↑» и «↓» на панели управления секундомером извлечь из памяти значения ω и t . Данные занести в таблицу. Нажать кнопку «Сброс» секундомера. Осуществить процедуру отключения стенда.

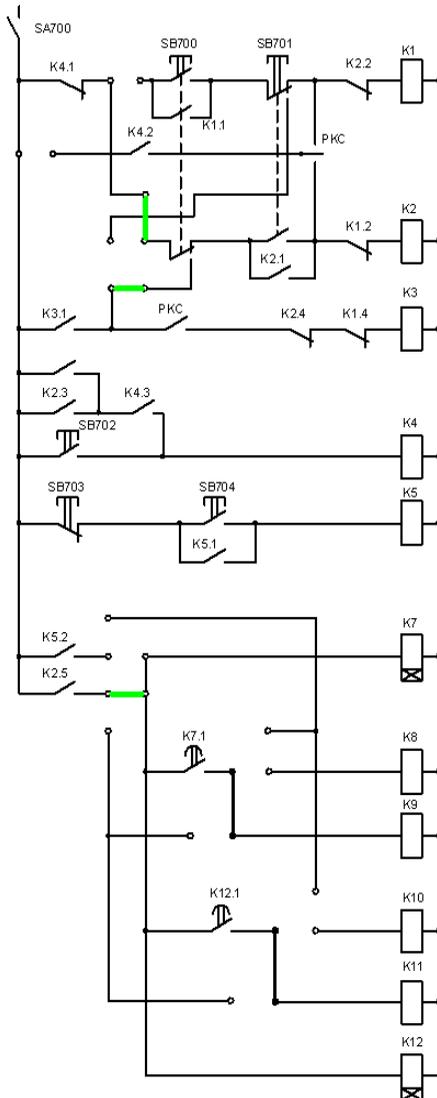
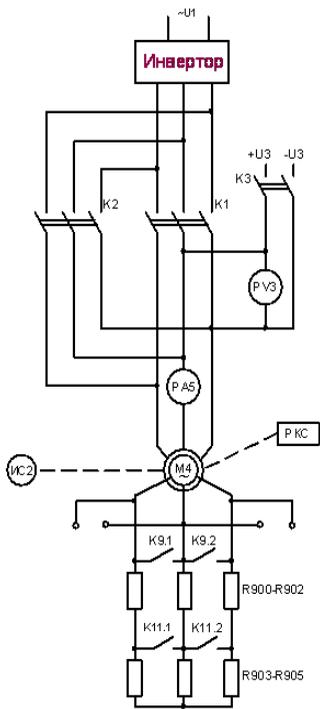


Рис. 8.1

8.5. Контрольные вопросы.

8.5.1. Изложите последовательность срабатывания пускателей и реле при нажатии на кнопку SB700.

8.5.2. Для чего нужен шунтирующий контакт к кнопке SB700?

8.5.3. Что такое динамическое торможение АД?

Лабораторная работа 9

Исследование широтно-импульсного преобразователя на IGBT-модулях

9.1. Цель работы.

9.1.1. Изучение устройства и принципа действия ШИП на IGBT-модулях.

9.1.2. Исследование характеристик ШИП на IGBT-модулях.

9.2. Краткие теоретические сведения.

Традиционно широтно-импульсные преобразователи применялись для электроприводов малой мощности с широким диапазоном регулирования. С развитием элементной базы, в частности появлением IGBT-модулей, диапазон мощностей, где целесообразно применять ШИП, значительно увеличился. По сравнению с управляемыми выпрямителями ШИП отличаются более высокими динамическими показателями при высоком диапазоне регулирования скорости – порядка 2000–6000, лучшее использование двигателя по току, меньшее влияние на питающую сеть.

Для системы с ШИП (рис. 9.1, а, б) среднее напряжение на нагрузке U_{cp} определяется следующим образом:

$$U_{cp} = \frac{t_u}{T} U_n = U_n g,$$

где U_n – напряжение питания; $g = t_u / T$ – период коммутации; t_u – длительность рабочей части T .

Широтно-импульсный преобразователь состоит из широтно-импульсного модулятора ШИМ, усилителей импульсов или драйверов УМ1-УМn и импульсного усилителя мощности ИУМ (рис. 9.2).

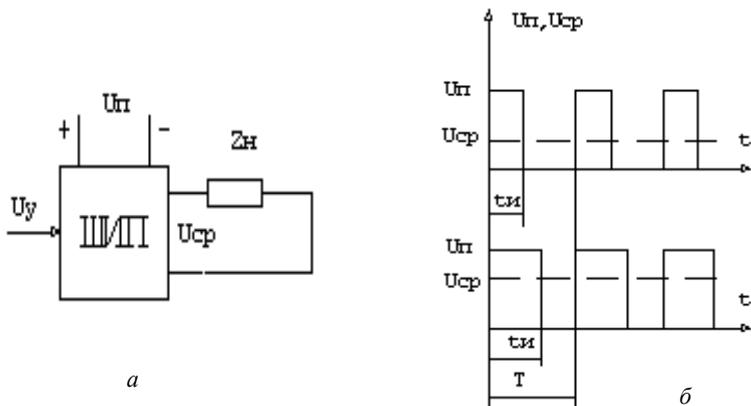


Рис. 9.1

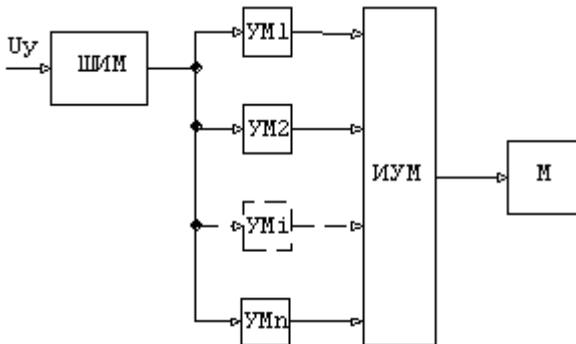


Рис. 9.2

ШИМ формирует необходимые по длительности импульсы в зависимости от уровня сигнала управления. Существуют различные варианты схемной реализации широтно-импульсных модуляторов. Однако все они используют два способа получения модулированных импульсов. Один из них основан на сложении двух прямоугольных импульсов с регулируемым сдвигом по фазе между

ними, второй – на сравнении опорного напряжения определённой несущей частоты и формы (треугольной, пилообразной) и напряжения управления. При современном уровне развития интегральной схемотехники дешёвой и наиболее универсальной представляется реализация ШИМ на основе микропроцессора.

В лабораторной установке в качестве ШИМ использован микроконтроллер фирмы Fujitsu MB90F562 серии F2MC-16F рис. 9.3. Одновременно в преобразователе он осуществляет обработку защит по току, температуре и напряжению.

Его основные особенности:

- Быстрое 16-битное ядро (время выполнения инструкции 62,5 нс).
- Малый уровень электромагнитных помех.
- Обработка команд с использованием 4-байтной очереди.
- Мощная система команд (340 инструкций).
- Аппаратное умножение 16×16 и деление $32/16$.
- 32-битный аккумулятор.
- Большое адресное пространство 16 Мбайт.
- Мультиплицированная шина адреса/данных (24/16).
- Большой объем на кристалле (64 Кбайт) Flash-памяти программ, программируемых в системе.
- ОЗУ данных 2 Кбайт на кристалле.
- 50 портов ввода-вывода.
- Два Full duplex UART0 на скорость до 2 Мбит и UART1 на скорость до 1 Мбит (синхронный режим при частоте 16М Гц).
- Встроенный быстрый АЦП (время преобразования 26,3 мкс для одного канала) 10 или 8 бит 8 каналов.
- Мощная таймерная подсистема, в том числе ШИМ.
- Сторожевой таймер.
- Два перезагружаемых 16-битных таймера.
- 16-разрядный таймер событий.
- 4-канальный 16-битный входной компаратор.
- 6-канальный 16-битный выходной компаратор.
- 6-канальный 8 или 3-канальный 16-битный ШИМ.
- 18-битный счетчик базового времени.
- PLL-синтезатор.
- Малопотребляющая технология с управлением тактовой частотой. Режимы остановки CPU, sleep-режим.

Усилители импульсов предназначены для управления силовыми ключами. Они формируют требуемую амплитуду импульсов, скорость нарастания и спада. В современной схемотехнике такие устройства называют драйверами и, как правило, это специализированные микросхемы для управления конкретным типом ключей. В рассматриваемом ШИП драйверы входят в состав силового модуля.

Силовая часть широтно-импульсного преобразователя выполнена на основе интеллектуальных модулей фирмы Mitsubishi Electric – PS11035 (1.5kW), PS11036 (2.2kW).

Модуль этого типа представляет собой конструктивно законченное изделие (рис. 9.4), которое требует для своего применения минимум дополнительных компонентов и состоит из собранных в одном корпусе силовых IGBT-ключей с защитными обратными диодами (количество ключей – от одного до семи, в зависимости от типа модуля), датчика тока, датчика напряжения, датчика температуры и входных и выходных драйверов управления.

Особенностью модулей является наличие встроенных защит по току, напряжению и температуре, что позволяет не размещать дополнительные элементы для реализации этих функций. Встроенные схемные решения также осуществляют мониторинг за питающим напряжением и при уменьшении его ниже определенного значения запрещают работу силовых ключей. Защита по току реализует двухстадийный алгоритм, который обеспечивает отключение силового ключа при превышении номинального тока с некоторой задержкой по времени, что в свою очередь обеспечивает плавное снижение подводимой мощности. Наряду с этим при превышении уровня тока, который система считает током короткого замыкания, силовой ключ отключается сразу, что позволяет сохранить работоспособность устройства. В обоих этих случаях схема формирует сигнал «неисправности» высокого уровня на выходной линии. Сигнал высокого уровня «неисправность» формируется также при выходе питающего напряжения за допустимые пределы и при перегреве модуля. Следует заметить, что при перегреве и превышении тока сигнал формируется импульсом длительностью порядка 1,5 мс. При изменении питающего напряжения сигнал пропорционально увеличивается от минимума до максимума, в зависимости от степени отклонения напряжения от оптимального значения. При использовании оптопары с пороговым включением отследить медленно повышающееся напряжение на выводе «авария» достаточно затруднительно.

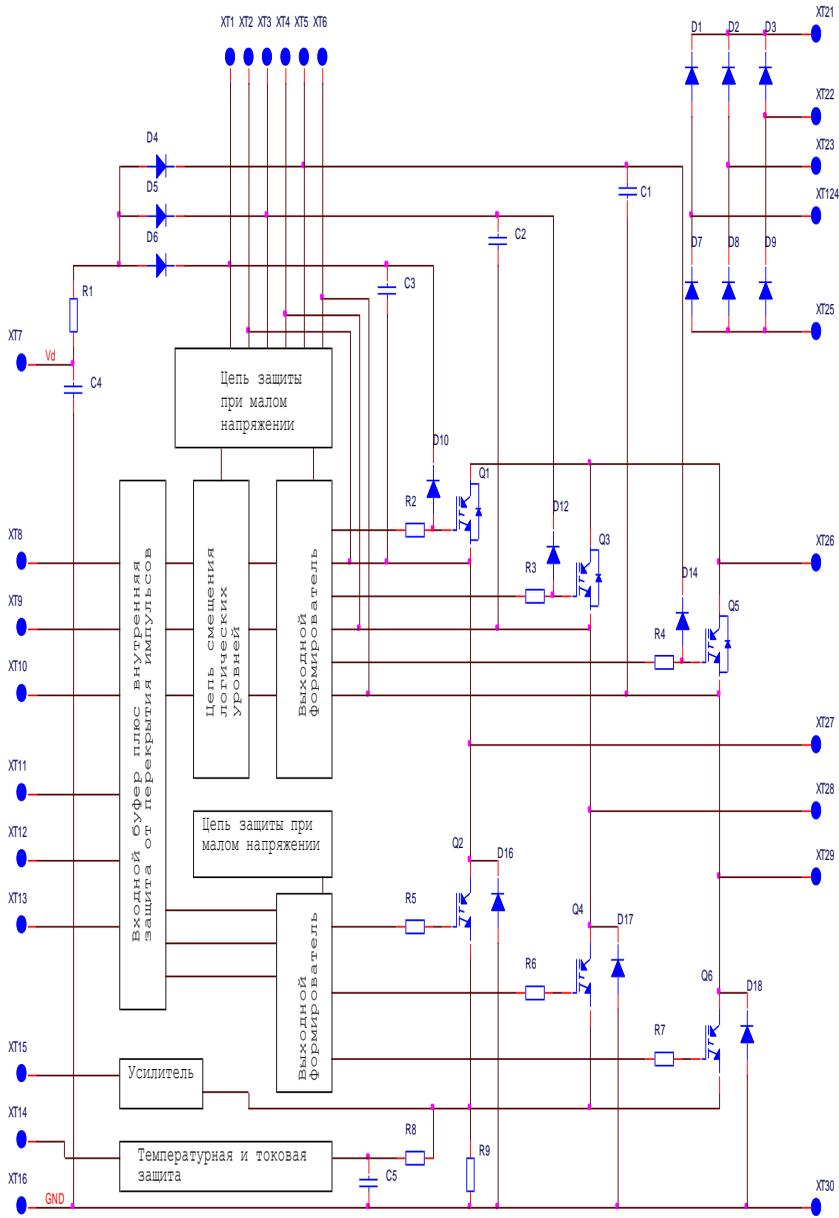


Рис. 9.4

При возникновении перегрева сигнал аварии возникает при превышении некоторой температуры, модуль отключается и начинает остывать. Сигнал аварии продолжает находиться в высоком состоянии. После остывания модуля до рабочей температуры модуль включается, и сигнал аварии снимается, при этом длительность сигнала составляет несколько секунд. Различия во временных характеристиках сигнала позволяют в какой-то мере идентифицировать причину аварии.

Конструктивно модули выполнены таким образом, что стоки всех IGBT-ключей охлаждаются одной металлической пластиной. Она же служит нижним основанием модуля и крепится к теплоотводу болтами. Подключение силовых высоковольтных шин осуществляется ножевыми разъемами на вертикальные стойки сечением 5 на 1 мм. Для подключения схемы управления с верхней стороны модуля смонтированы вертикальные контакты с регулярным шагом небольшого сечения и высотой 10–15 мм у разных модулей, что позволяет пропускать их в отверстия печатных плат и без помех запаивать с верхней открытой стороны. Такой метод монтажа экономит место в устройстве, не мешает теплоотводу и не вносит дополнительных проводных связей, что благотворно сказывается на уменьшении помех и наводок.

9.3. Задание на выполнение лабораторной работы.

9.3.1. Снять осциллограммы импульсов управления силовыми ключами с помощью двухлучевого осциллографа. Снять осциллограммы выходного напряжения ШИП. Сделать вывод о режиме работы мостовой схемы. Оценить мёртвое время между импульсами управления на различные ключи и объяснить его назначение. Определить частоту модуляции. По паспортным данным микропроцессора определить запаздывание системы управления. Сделать вывод об инерционности данного ШИП.

9.3.2. Снять регулировочную характеристику ШИП. Определить коэффициент передачи ШИП. Записать передаточную функцию ШИП.

9.3.3. Снять нагрузочную характеристику ШИП – оценить внутреннее сопротивление цепи питания.

9.4. Порядок работы с лабораторной установкой.

Внимание! Перед включением автомата питания стенда тумблеры SA100, SA101, SA200, SA300, SA301, SA302, SA700, SA1 должны находиться в нижнем положении (в сервоприводе SA1 – вверх).

9.4.1. Резистор R201 установить в среднее положение. Включить питание стенда. Включить SA700 – питание реле. Включить ШИП – тумблер SA100. Включить SA200. Нажать SB704. Установить резистором R201 напряжение на выходе инвертора равным 50 В. Подключить двухлучевой осциллограф к гнездам 31, 32. Подключить внешнюю синхронизацию от гнезда 34. Снять осциллограммы. Подключить осциллограф к гнездам 32, 33 – снять осциллограммы. Отключить внешнюю синхронизацию.

Подключив осциллограф параллельно нагрузке, снять осциллограмму выходного напряжения. Вывести резистор R201 в крайнее левое положение и, вращая по часовой стрелке до крайнего правого положения, снять регулировочную характеристику ШИП в двух квадрантах (8–10 точек). Выходное напряжение измерять по прибору pV10, а напряжение управления – тестером. Время работы при снятии регулировочной характеристики ограничить двумя минутами. Установить резистором R201 выходное напряжение ШИП 50 В. Нажать кнопку SB703.

9.4.2. Этот опыт начать через 5–10 мин после предыдущего. Кнопкой SB704 подключить ШИП к нагрузке. Записать показания приборов pA10, pV10. Нажать SB703. Установить перемычку, шунтирующую резистор R911. Кнопкой SB704 подключить ШИП к нагрузке. Записать показания приборов pA10, pV10. Нажать SB703. Установить перемычку, шунтирующую резистор R912. Кнопкой SB704 подключить ШИП к нагрузке. Записать показания приборов pA10, pV10. Нажать SB703. Осуществить процедуру выключения стенда.

9.5. Контрольные вопросы.

9.5.1. Какие существуют способы коммутации?

9.5.2. Способы получения модулированных импульсов.

9.5.3. Достоинства и недостатки использования тиристорov в силовой части ШИП.

9.5.4. Достоинства и недостатки использования транзисторов в силовой части ШИП.

9.5.5. При каком способе коммутации возможен режим прерывистых токов?

Лабораторная работа 10

Исследование одноконтурной системы стабилизации скорости

10.1. Цель работы.

11.1.1. Опытное определение регулировочных свойств электропривода, выполненного по замкнутой схеме, и приобретение практических навыков расчёта по заданным показателям качества и настройки реальной системы электропривода. Опытная проверка результатов расчета.

10.2. Краткие теоретические сведения.

Широкое распространение в электроприводах постоянного тока получила статическая система непрерывного действия стабилизации скорости двигателя постоянного тока при изменении нагрузки на его валу, обеспечивающая регулирование скорости и ее стабилизацию с высокой точностью в статических и динамических режимах. Функциональная схема такой системы приведена на рис. 10.1. Она включает в себя двигатель M , преобразователь U , промежуточный усилитель A , измерительный элемент AW (сумматор) и обратную связь.

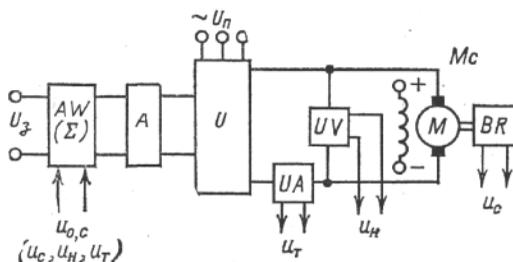


Рис. 10.1

В качестве преобразователей в таких системах электропривода используются генераторы постоянного тока, электромашинные и магнитные усилители и полупроводниковые (транзисторные и тиристорные) управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи.

В качестве промежуточных усилителей в электроприводах используются электромашинные, магнитные, транзисторные и интегральные усилители.

В системах электропривода применяются три основные жесткие обратные связи: по скорости, напряжению и току двигателя, а также их различные комбинации. Для стабилизации скорости двигателя применяются отрицательные связи по скорости и напряжению и положительная связь по току. Для стабилизации момента двигателя применяется отрицательная связь по току и положительные связи по скорости и напряжению.

Работа электропривода в установившихся и переходных режимах при инерционном преобразователе и постоянном магнитном потоке двигателя описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 U_z \pm U_{oc} &= u_y; \\
 U_y k_y &= U_{yn}; \\
 U_{yn} k_n &= e_n + T_n \frac{de_n}{dt}; \\
 e_n &= \frac{\omega}{k_D} + iR + L \frac{di}{dt}; \\
 M - M_c &= J \frac{d\omega}{dt} \quad \text{или} \quad i - I_c = \frac{J}{C'} \frac{d\omega}{dt}; \\
 C' &= C_M \Phi.
 \end{aligned}$$

Здесь U_z , U_{oc} , U_y , U_{kn} – напряжения: задающее, обратной связи, управления системы, управления преобразователем; e_n – ЭДС преобразователя; ω – угловая скорость двигателя; M , I , M_c , I_c – момент и ток двигателя, момент и ток статической нагрузки k_y , k_n – коэффициенты усиления промежуточного усилителя и преобразователя; $k_D = 1/C'$ – коэффициент передачи двигателя по скорости;

T_n – постоянная времени преобразователя, которая в общем виде может быть функцией его напряжения управления $T_n(u_y)$; R, L – суммарные сопротивление и индуктивность силовой якорной цепи преобразователь – двигатель, включающие сопротивления и индуктивности двигателя (R_d, L_d), преобразователя (R_n, L_n) и других элементов якорной цепи; J – момент инерции электропривода с учетом моментов инерции двигателя J_d и механизма $J_{\text{мех.пр}}$, приведенного к валу двигателя ($J = J_d + J_{\text{мех.пр}}$). Сигналы обратных связей в режиме стабилизации скорости, осуществляемые датчиками скорости BR, напряжения UV и тока UA, которые обычно принимаются безынерционными, соответственно равны:

при связи по скорости $U_C = k_C \omega$;

при связи по напряжению $U_H = k_H U_d$;

при связи по току $U_i = k_i i$,

где k_C, k_n, k_i – коэффициенты обратных связей по скорости, напряжению и току; U_d – напряжение на якоре двигателя; i – ток якоря двигателя; ω – скорость двигателя.

Передаточная функция системы стабилизации скорости определяется по свёрнутой структурной схеме рис. 10.2, в которой момент статической нагрузки перенесён на вход системы.

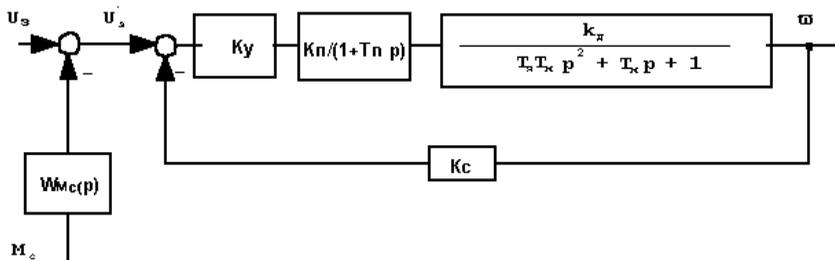


Рис. 10.2

В такой схеме общее воздействие на электропривод равно

$$U_s'(p) = U_s(p) - M_c(p)W_{MC}(p),$$

где U_s – управляющее воздействие;

M_c – возмущающее воздействие;

$W_{MC}(p)$ – передаточная функция звена, приводящего M_c ко входу системы, равная при действии обратной связи по скорости:

$$W_{MC}(p) = \frac{T_n p + 1}{k_y k_n} \frac{R}{c} (T_\alpha p + 1).$$

Окончательно передаточная функция системы имеет вид

$$W(p) = \frac{\omega(p)}{U_\alpha(p)},$$

откуда получаем:

$$\frac{k_y k_n k_\delta}{T_n T_\alpha T_m p^3 + (T_n + T_\alpha) T_m p^2 + (T_n + T_m) p + k_c k_y k_n k_\delta + 1}.$$

Можно получить уравнение электромеханической характеристики рассматриваемого электропривода. Очевидно, что при $M_c = \text{const}$ и при $p = 0$:

$$\omega = \frac{U_\alpha k_y k_n k_\delta - IR k_\delta}{1 + k_c k_\delta k_y k_n}.$$

Уровень стабилизации скорости в замкнутой системе (как погрешность $\Delta\omega$) определяется через погрешность в разомкнутой системе $\Delta\omega_p$:

$$\Delta\omega = \Delta\omega_p \frac{1}{1 + k_c k_\delta k_y k_n},$$

где $\Delta\omega_p = IR k_\delta$ – погрешность в разомкнутой системе.

Погрешность в замкнутой системе электропривода зависит от значений коэффициентов обратных связей и коэффициентов усиления преобразователя и усилителя и тем ниже, чем выше значения указанных коэффициентов.

Заданная погрешность системы электропривода определяет значения коэффициентов обратных связей и коэффициентов усиления преобразователя и усилителя. В системе с обратной отрицательной связью по скорости

$$k_c k_y k_n = \frac{1}{k_\delta} \left(\frac{\Delta \omega_p}{\Delta \omega_s} + 1 \right),$$

где $\Delta \omega_s$ – заданная погрешность в замкнутой системе.

В требованиях к электроприводам обычно задается статизм по отношению к скорости идеального холостого хода:

$$\delta = \Delta \omega_s / \omega_0, \text{ или } \delta\% = (\Delta \omega_s / \omega_0) 100.$$

При регулировании скорости двигателя вниз от основной в заданном диапазоне D статизм уменьшается в D раз. Поэтому выбор значения произведений коэффициентов при отрицательной связи по скорости производится по уравнению

$$k_y k_n k_c = \frac{1}{k_\delta} \left(\frac{\delta_p}{\delta_s} D - 1 \right),$$

Здесь $\delta_p = \Delta \omega_p / \omega_{0\max}$ – статизм разомкнутой системы по отношению к максимальной скорости идеального холостого хода; $\delta_s = \Delta \omega_s / \omega_{0\max}$ – заданный статизм; $D = \omega_{0\max} / \omega_{0\min}$ – заданный диапазон регулирования скорости.

Из приведенных уравнений обычно определяется требуемый коэффициент усиления промежуточного усилителя. Коэффициенты обратных связей определяются возможностями датчиков, например тахогенератора, и верхним уровнем задающего напряжения. Коэф-

фициент усиления преобразователя зависит от свойств преобразователя и при выбранном преобразователе бывает известным.

Введение обратных связей в систему управления изменяет структуру системы, оказывает влияние на её устойчивость и характер переходных процессов по сравнению с разомкнутой системой.

Устойчивость замкнутой системы можно оценить, используя критерий Гурвица, который для передаточной функции третьего порядка

$$\frac{k}{\alpha_3 p^3 + \alpha_2 p^2 + \alpha_1 p + (1 + k k_c)}$$

имеет вид

$$\alpha_1 \alpha_2 > \alpha_3 (1 + k k_c).$$

Таким образом, замкнутый по скорости рассматриваемый электропривод будет устойчив, если выполняется неравенство

$$(T_n + T_y)(T_n + T_m) > T_n T_y (1 + k_y k_n k_d k_c),$$

откуда следует, что при увеличении произведения $k_y k_d k_n k_c$ замкнутая система третьего порядка может стать неустойчивой.

Качество переходного процесса, как известно, оценивается перерегулированием:

$$\sigma = \frac{\omega_{\max} - \omega_y}{\omega_y} 100\%$$

и временем регулирования t_p . Здесь ω_y – частота вращения двигателя в установившемся процессе. Временем регулирования оценивают длительность переходного процесса. Однако в идеальной линейной системе переходный процесс бесконечен, поэтому временем регулирования t_p считают тот интервал времени, по истечении которого отклонения ω от установившегося значения не превышают Δ . Значение Δ выбирают обычно 5%. Оба последних показателя можно определить по графику переходного процесса.

10.3. Задание на выполнение лабораторной работы.

10.3.1. По паспортным данным определить передаточные функции элементов электропривода, задействованных в работе, а также: электродвигателя и преобразователя (лаб. раб. 9), диапазон изменения k_c (экспериментально) и диапазон изменения k_y .

10.3.2. Исследовать разомкнутую систему управления двигателем постоянного тока:

а) снять электромеханическую характеристику при $U_{\text{я}} = 105 \text{ В}$;

б) при изменении нагрузки от $M_{\text{х.х.}}$, до $M_{\text{н}}$ определить максимально возможный диапазон регулирования. Рассчитать напряжение якоря для обеспечения минимальной $\omega_{\text{о min}}$.

Снять электромеханическую характеристику на минимальной частоте вращения полученного D .

Теоретически и по полученным характеристикам рассчитать статизм на максимальной и минимальной частотах вращения. Сравнить;

в) снять график переходного процесса при ступенчатом управляющем воздействии (величина задаётся преподавателем). Определить σ и t_p . Выполняется при наличии связи с ПК.

10.3.3. Исследовать замкнутую систему. Предварительно для заданных статизма δ и диапазона регулирования D (или нескольких их значений) рассчитать k_y и проверить систему на устойчивость. Далее выполнить подпункты а) – в) пункта 10.3.2. Произвести сравнительный анализ разомкнутой и замкнутой систем. Если исследования производились для нескольких значений k_y , сравнить полученные результаты и сделать выводы.

10.4. Порядок работы с лабораторной установкой.

Внимание! Перед включением автомата питания стенда тумблеры SA100, SA101, SA200, SA300, SA301, SA302, SA700, SA1 должны находиться в нижнем положении (в сервоприводе SA1 – вверх).

10.4.1. Разомкнутая система. Собрать схему рис. 10.3.

Включить автомат питания. Включить тумблерами SA300, SA301 ШИП-1, ШИП-2. Резистором R300 установить ток возбуждения M1 равным 400 мА (pA1). Резистором R301 установить ток возбуждения M2 равным 0 (pA2). Замкнуть SA1. Включить тумблером SA100 ШИП. Движок резистора R201 установить в среднее положение. Включить SA200. Включить SA700. Запустить двигатель M1 кнопкой SB704. Установить, вращая резистор R201 против часовой стрелки, напряжение на якоре M1 (pV10) равным 105 В. Изменяя ток возбуждения машины M2 резистором R301 (pA2), снять электромеханическую характеристику M1 4–5 точек (pA2 – пересчитать момент, ИС1 – частота вращения). Тестером измерить напряжение на выходе датчика скорости (операционный усилитель с надписью Kw) и по показаниям тестера и ИС1 определить величину коэффициента обратной связи по скорости K_c (величина K_c не должна быть больше 0,048. Если больше – уменьшить резистором с надписью Kw). Резистором R201 уменьшить напряжение на якоре M1 (pV10) до расчётного минимального. Изменяя ток возбуждения машины M2 резистором R301 снять электромеханическую характеристику на минимальной частоте вращения. Резистором R301 уменьшить ток возбуждения M2 до нуля. Резистором R201 уменьшить частоту вращения M1 до нуля (ИС1). Кнопкой SB703 отключить M1 от ШИП.

10.4.2. Переходной процесс в разомкнутой системе. Опыт производится при управлении стенда с ПК. Запустить M1 кнопкой SB704. Движком резистора R201 (диалоговое окно на мониторе ПК) установить напряжение на ШИП (pV10 – диалоговое окно на мониторе) 40–50 В. Резистором R301 (диалоговое окно монитора) задать момент нагрузки $0,5 M_n$. Кнопкой SB703 на стенде остановить M1. После полной остановки двигателя M1 нажать кнопку SB704 – запустить M1. В диалоговом окне на мониторе ПК появится график переходного процесса. Резистором R301 (диалоговое окно) уменьшить ток возбуждения M2 до нуля. Резистором R201 (диалоговое окно) уменьшить частоту вращения M1 до нуля (ИС1). Кнопкой SB703 отключить M1 от ШИП.

10.4.3. Замкнутая система (рис. 10.4).

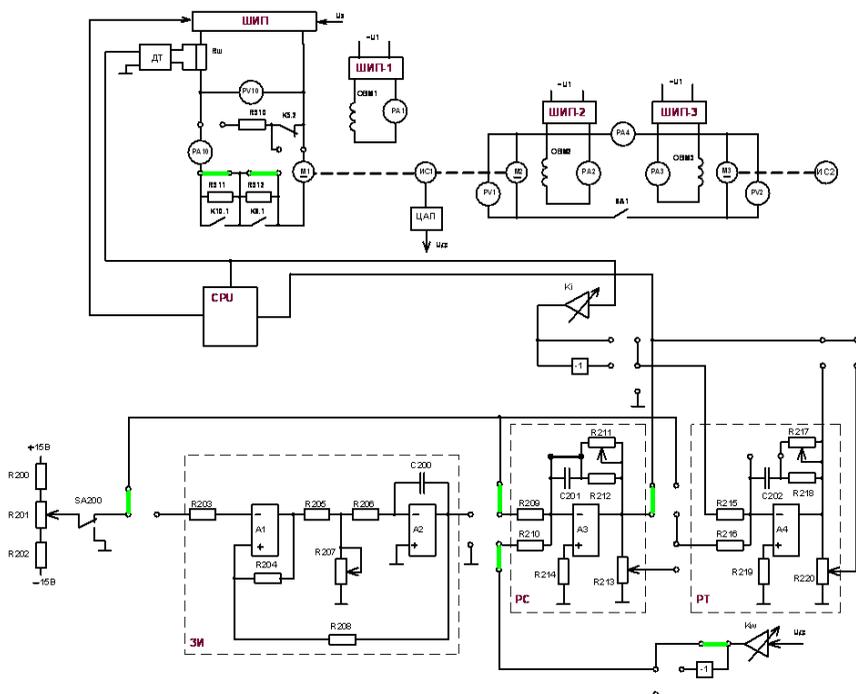


Рис. 10.4

Кнопкой SB704 запустить М1. Задав резистором R201 некоторую частоту вращения двигателя М1 (20–30 рад/с) тестером определить знак сигнала задания, а по ИС1 знак сигнала обратной связи по скорости. Для успешного замыкания системы знаки сигнала задания и сигнала обратной связи должны быть противоположны. Если знаки одинаковы, то сигнал обратной связи по скорости подать на резистор R210 через инвертор «-1». Уменьшить резистором R201 частоту вращения М1 до нуля. Кнопкой SB703 отключить М1 от ШИП. Замкнуть систему (рис. 10.4), установив перемычки в цепи обратной связи по скорости (ИС1, $K\omega$, «-1» – если надо, резистор R210).

Запустить двигатель М1 кнопкой SB704. Установить, вращая резистор R201 против часовой стрелки, напряжение на якоре М1 (pV10) равным 105 В. Изменяя ток возбуждения машины М2 резистором R301 (pA2), снять электромеханическую характеристику М1 4–5 точек (pA2 – пересчитать момент, ИС1 – частота вращения). Резистором R201 уменьшить напряжение на якоре М1 (pV10) до расчётного минимального. Изменяя ток возбуждения машины М2 резистором R301, снять электромеханическую характеристику на минимальной частоте вращения. Резистором R301 уменьшить ток возбуждения М2 до нуля. Резистором R201 уменьшить частоту вращения М1 до нуля (ИС1). Кнопкой SB703 отключить М1 от ШИП.

10.4.4. Переходной процесс в замкнутой системе. Опыт производится при управлении стенда с ПК. Запустить М1 кнопкой SB704. Движком резистора R201 (диалоговое окно на мониторе ПК) установить напряжение на ШИП (pV10 – диалоговое окно на мониторе) 40–50 В. Резистором R301 (диалоговое окно монитора) задать момент нагрузки $0,5 M_n$. Кнопкой SB703 на стенде остановить М1. После полной остановки двигателя М1 нажать кнопку SB704 – запустить М1. В диалоговом окне на мониторе ПК появится график переходного процесса. Резистором R301 (диалоговое окно) уменьшить ток возбуждения М2 до нуля. Резистором R201 (диалоговое окно) уменьшить частоту вращения М1 до нуля (ИС1). Кнопкой SB703 отключить М1 от ШИП. Осуществить процедуру выключения стенда.

10.5. Контрольные вопросы.

10.5.1. Объясните назначение всех элементов рассматриваемого электропривода.

10.5.2. Как влияет ограничение выходного сигнала, например, промежуточного усилителя, на эффект стабилизации скорости в замкнутой системе?

10.5.3. С какой целью в электроприводе применена отрицательная обратная связь по частоте вращения?

10.5.4. Как влияет величина коэффициента усиления промежуточного усилителя на устойчивость системы?

Лабораторная работа 11

Исследование одноконтурной системы стабилизации тока

11.1. Цель работы.

11.1.1. Исследование статических характеристик одноконтурной системы с обратной связью по току.

11.2. Краткие теоретические сведения.

С помощью отрицательной обратной связи по току в системах электропривода осуществляется стабилизация момента двигателя. Эта связь обеспечивает резкое снижение скорости при приблизительно постоянном моменте. Как правило, связь используется с отсечкой, исключающей действие связи при низких нагрузках. Это обусловлено необходимостью защиты двигателя или механизма от недопустимых перегрузок в статических и динамических режимах. Стабилизация момента в установившихся режимах необходима в приводах механизмов, работающих с резко переменной нагрузкой или на упор. В большинстве же электроприводов стабилизация момента используется для осуществления необходимых динамических режимов. Отсечка осуществляется введением в цепь связи опорного напряжения $u_{o.т}$ и вентиля V (рис. 11.1), обеспечивающих действие обратной связи только при превышении сигналом u_t значения опорного напряжения.

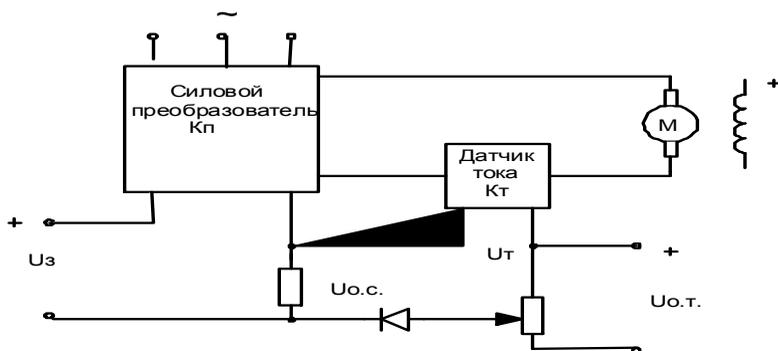


Рис. 11.1

Электромеханическая характеристика электропривода постоянного тока (см. рис. 11.1) с токовой отсечкой имеет вид

$$n = \frac{(u_3 + u_{om}1(\Delta I))k_{\Pi} - I(R_{я} + R_n)(1 + \frac{k_n k_m}{R_{я} + R_n}1(\Delta I))}{C_e \Phi}.$$

Здесь k_{Π} – коэффициент усиления преобразователя; k_m – коэффициент передачи цепи обратной связи по току; R_n – сопротивление преобразователя; u_3 – напряжение задания; $1(\Delta I) = 1(I - I_{отс})$ – единичная функция по току, равная нулю при $I < I_{отс}$ и единице при $I > I_{отс}$.

11.3. Порядок выполнения лабораторной работы.

11.3.1. Определить диапазон изменения k_T (экспериментально).

11.3.2. Для нескольких значений k_T , заданных преподавателем, при заданном U_3 снимите электромеханические характеристики электропривода.

11.3.3. Определите статизм характеристик и сделайте выводы.

11.4. Порядок работы с лабораторной установкой.

Внимание! Перед включением автомата питания стенда тумблеры SA100, SA101, SA200, SA300, SA301, SA302, SA700, SA1 должны находиться в нижнем положении (в сервоприводе SA1 – вверх).

11.4.1. Соберите схему рис. 11.2 (ОУ А4).

Включите автомат питания. Включите SA200. Вращая R201 против часовой стрелки, задайте некоторое значение входного напряжения на ОУ А4. Измерьте его (запишите знак – он необходим для последующего замыкания системы). Подключите тестер к выходу ОУ А4 и с помощью резистора R217 установите коэффициент усиления ОУ А4 равным –1 (входное напряжение равно выходному). Отключите SA200. Выключите автомат питания.

1.4.2. Соберите схему рис. 11.3.

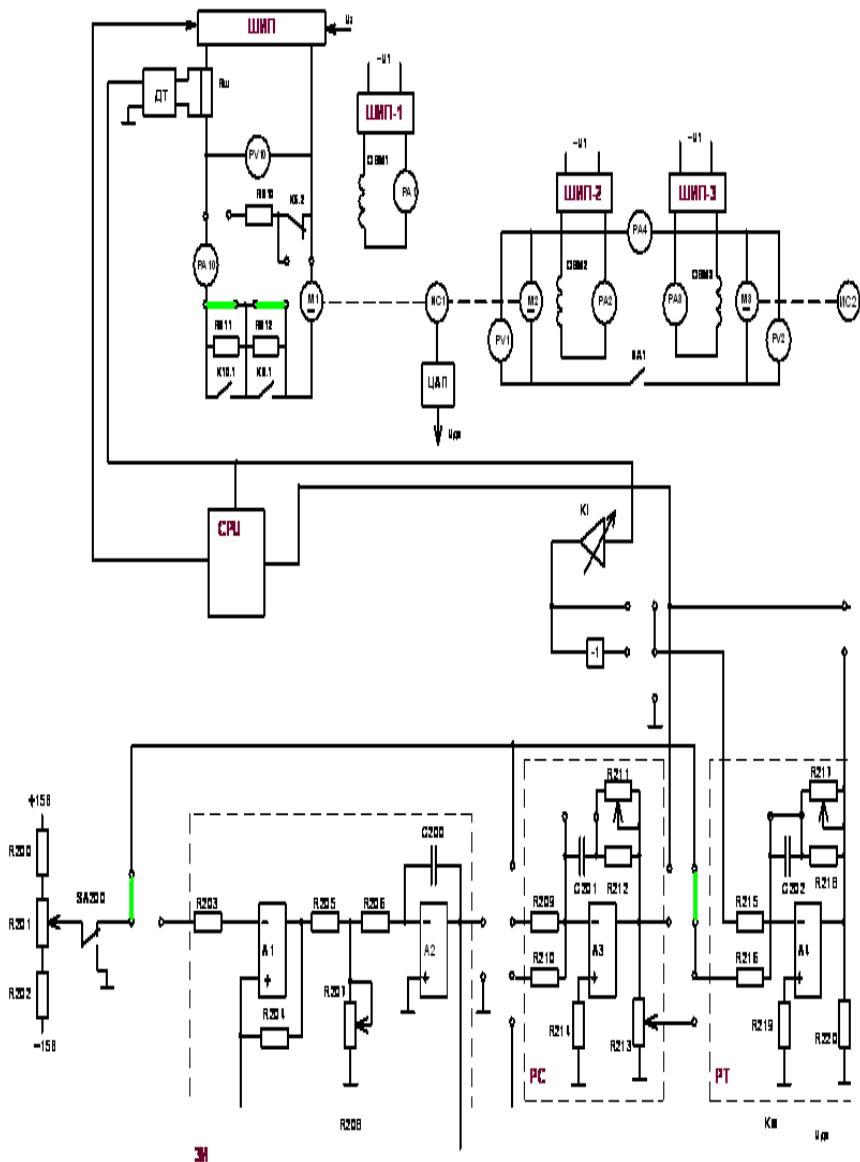


Рис. 11.2

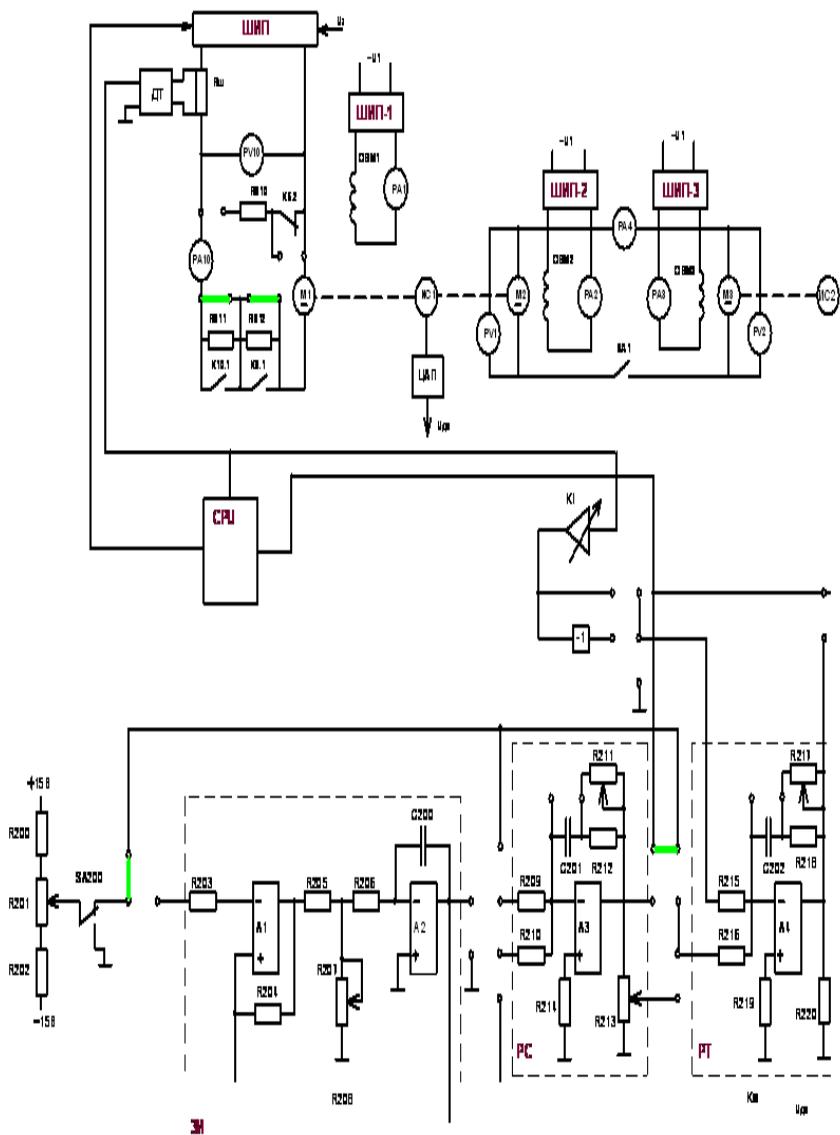


Рис. 11.3

Включите автомат питания. Включите SA100. Включите SA700. Включите ШИП-1 и ШИП-2 тумблерами SA300, SA301. Резистором R300 установите ток возбуждения машины M1 равным 400mA (pA1). Резистором R301 установите ток возбуждения машины M2 равным нулю (pA2). Включить SA1. Включить SA200. Движок R201 установить примерно в среднее положение. Кнопкой SB704 подключить якорь M1 к ШИП. Вращая движок резистора R201 против часовой стрелки установить напряжение ШИП (pV10) равным 40–50 В. Задавая резистором R301 ток возбуждения машины M2 (pA2, 2–3 точки), измерьте ток якоря M1 (pA10) и тестером соответствующее выходное напряжение ОУ с надписью Ki. Сравните одновременно знак выходного напряжения ОУ Ki со знаком напряжения задания и если знаки этих сигналов одинаковы то для замыкания системы и для дальнейших измерений используйте инверсный выход ОУ Ki. Определите Kт. Вращая резистор Ki, вычислите минимальное и максимальное значение Kт. Учтите, что при исследовании замкнутой системы, чтобы ОУ Ki не входил в насыщение в рабочем диапазоне токов якоря машины M1, коэффициент Kт не должен быть больше 1.

11.4.3. Рассчитайте для заданных значений Kт соответствующие выходные напряжения ОУ Ki при некотором фиксированном токе якоря $I_{я}$ машины M1 (например 3A). Установите с помощью резистора R301 ток возбуждения машины M2 таким, чтобы ток якоря M1 (pA10) был равным оговоренному выше (3A) и по тестеру подключенному к выходу ОУ Ki установите резистором Ki напряжение на выходе ОУ Ki равное рассчитанному для заданного Kт. Уменьшите резистором R201 частоту вращения M1 (ИС1) до нуля. Резистором R301 уменьшите ток возбуждения машины M2 (pA2) до нуля. Кнопкой SB703 отключите якорь M1 от ШИП. Осуществите процедуру выключения стенда (все тумблеры вниз). Регулировки Ki и R217 не трогать.

11.4.4. Соберите схему рис. 11.4 (знаки сигнала обратной связи и сигнала задания должны быть противоположны, см. выше). Включите автомат питания. Включите SA100.

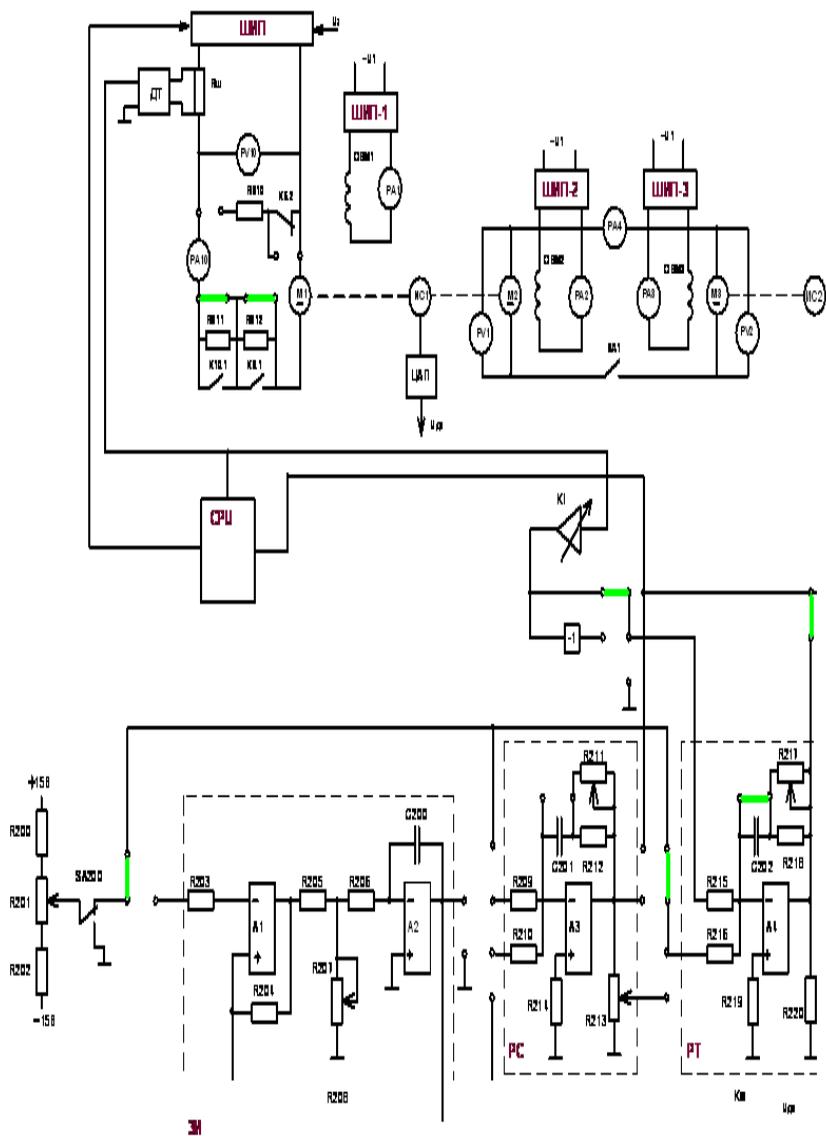


Рис. 11.4

Включите SA700. Включите ШИП-1 и ШИП-2 тумблерами SA300, SA301. Резистором R300 установите ток возбуждения машины M1 равным 400 mA (pA1). Резистором R301 установите ток возбуждения машины M2 равным нулю (pA2). Включить SA1. Включить SA200. Движок R201 установить примерно в среднее положение. Кнопкой SB704 подключить якорь M1 к ШИП. Вращая движок резистора R201 против часовой стрелки установить напряжение ШИП (pV10) равным 40–50 В. Задавая резистором R301 ток возбуждения машины M2, а следовательно, и ток нагрузки для M1, снимите электромеханическую характеристику замкнутой по току системы (приборы ИС1, pA4). При нескольких заданных значениях K_t после снятия характеристики для первого значения и изменяя ток возбуждения M2 резистором R301, установите ток якоря M1 равным $I_{я} = 3$ А и, подключив тестер к свободному выходу ОУ Ki (прямому либо инверсному), резистором Ki установите соответствующее заданному K_t выходное напряжение (п. 11.4.3). Далее повторите процедуру снятия электромеханической характеристики. После окончания опыта уменьшите резистором R201 частоту вращения M1 (ИС1) до нуля, резистором R301 уменьшите ток возбуждения машины M2 (pA2) до нуля, кнопкой SB703 отключите якорь M1 от ШИП, осуществите процедуру выключения стенда.

11.5. Контрольные вопросы.

11.5.1. Назначение отрицательной обратной связи по току?

11.5.2. Изобразите электромеханическую характеристику электропривода постоянного тока с отсечкой по току.

11.5.3. Перечислите принципы построения замкнутых систем регулируемого электропривода.

11.5.4. Достоинства и недостатки систем с одним общим суммирующим усилителем.

Лабораторная работа 12

Исследование системы подчинённого регулирования

12.1. Цель работы.

12.1.1. Приобретение навыков расчёта двухконтурной системы подчинённого регулирования.

12.1.2. Приобретение навыков настройки контуров тока и скорости.

12.1.3. Исследование статических и динамических свойств системы подчинённого регулирования с различными типами регуляторов.

12.2. Краткие теоретические сведения.

При создании систем регулирования в электроприводе широко применяется принцип последовательной коррекции, или так называемого подчинённого регулирования.

Структура электропривода с внешним контуром скорости и внутренним контуром тока якоря при неизменном потоке возбуждения изображена на рис. 12.1.

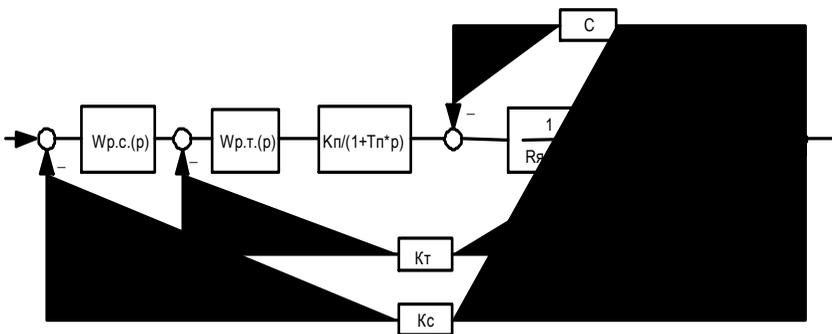


Рис. 12.1

Объект управления состоит из трёх последовательно соединённых звеньев:

силового преобразователя :

$$W_n(p) = K_n / (1 + pT_n),$$

якорной цепи двигателя:

$$W_\alpha(p) = \frac{1}{R_\alpha(1 + pT_\alpha)},$$

механической части привода:

$$W_m(p) = \frac{R_\alpha}{pT_m C'}.$$

Здесь T_n – эквивалентная постоянная времени, характеризующая силовым преобразователь с системой импульсно-фазового управления.

Внутренний контур образован регулятором тока, силовым преобразователем и якорной цепью и замыкается обратной связью по току с коэффициентом передачи k_T .

В случае неучёта влияния ЭДС передаточная функция разомкнутого контура тока запишется в виде

$$W_m(p) = W_{p,m}(p) \frac{K_n K_m}{R_\alpha(1 + pT_\alpha)(1 + pT_n)}.$$

Принимая величину T_n равной некомпенсируемой постоянной времени T_μ , приравнивая последнее выражение к оптимальной передаточной функции разомкнутого контура настроенного на технический оптимум (перерегулирование – 4.3%, достижение первого максимума через $4.7T_\mu$ после начала переходного процесса)

$$W_p(p) = \frac{1}{2pT_\mu(1 + pT_\mu)},$$

получим передаточную функцию регулятора тока:

$$W_{p.m} = \frac{R_{я}(1 + pT_{я})}{2pT_{\mu}k_n k_m}.$$

Таким образом, контур тока оптимизируется пропорционально-интегральным регулятором.

В соответствии с обозначениями на рис. 12.2 параметры ПИ-регулятора тока определяют из равенств вида

$$R1C = 2T_{\mu}k_n k_m / R_{я},$$

$$R_{o.c} C_{o.c} = T_{я}.$$

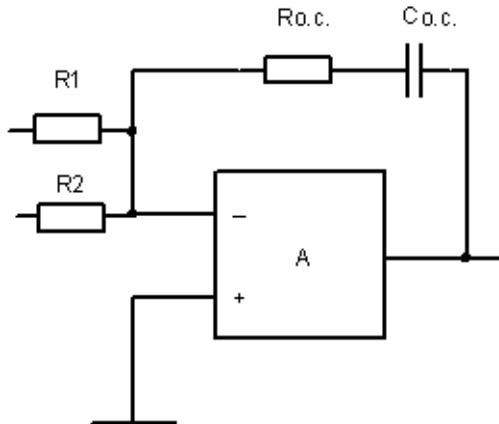


Рис. 12.2

Разомкнутый контур скорости на рис. 12.1 включает в себя регулятор скорости, оптимизированный внутренний контур тока, интегрирующее звено объекта управления, датчик скорости.

Передаточная функция разомкнутого контура записывается в виде

$$W_c(p) = W_{p.c} \frac{1}{k_m(1 + 2pT_{\mu})} \frac{R_{я}k_c}{pT_M C'} \quad (1)$$

Здесь внутренний контур тока аппроксимируется инерционным звеном с постоянной времени $2T_\mu$.

Принимая некомпенсируемую постоянную времени T'_μ равной $2T_\mu$ и оптимизируя контур согласно выражению (12.1), где T_μ заменяем на T'_μ , получаем равенство:

$$W_{p.c} \frac{k_c R_\gamma}{k_m (1 + pT'_\mu) pT_m C'} = \frac{1}{2pT'_\mu (1 + pT'_\mu)},$$

откуда

$$W_{p.c} = \frac{k_m T_m C'}{k_c 2T'_\mu R_\gamma},$$

то есть пропорциональный (П-регулятор) регулятор скорости.

Схема пропорционального регулятора скорости изображена на рис. 12.3.

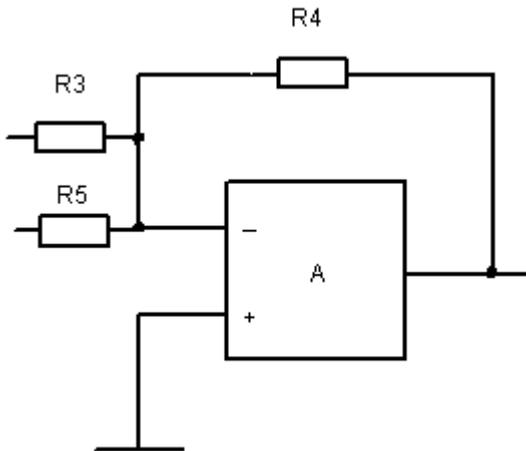


Рис. 12.3

Навесные элементы определяются из выражения

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{k_m T'_m C'}{k_c 2T'_\mu R_\gamma}. \quad (2)$$

Для двукратно интегрирующей системы регулирования скорости, настроенной на симметричный оптимум, выражение (2), учитывая, что $T'_\mu = 2T_\mu$ приравнивается к передаточной функции разомкнутого контура, настроенного на симметричный оптимум, можно записать следующим образом:

$$W'_p(p) = \frac{1 + 4pT'_\mu}{4pT'_\mu 2pT'_\mu (1 + pT'_\mu)},$$

откуда:

$$W_{p.c} = \frac{(1 + 4pT'_\mu)k_m T'_m C'}{8p(T'_\mu)^2 R_\gamma k_c},$$

то есть требуется ПИ-регулятор скорости.

Схема регулятора изображена на рис. 12.2. Параметры навесных элементов определяются из выражений

$$R_1 C_{o.c} = \frac{8(T'_\mu)^2 R_\gamma k_c}{k_m T'_m C'},$$

$$R_{o.c} C_{o.c} = 4T'_\mu.$$

Пропорциональная составляющая совпадает с пропорциональной составляющей регулятора скорости системы, настроенной на технический оптимум.

Передаточные функции внутреннего контура тока и контура тока, настроенного на технический оптимум, совпадают.

Полученные соотношения справедливы при неизменных параметрах объекта управления.

На практике большинство этих параметров изменяется со временем или в зависимости от режима работы привода: коэффициент

усиления вентильного преобразователя зависит от угла регулирования; сопротивление якорной цепи изменяется в зависимости от нагрева якоря; индуктивность изменяется в зависимости от насыщения магнитной цепи.

Номиналы элементов регулятора тока и регулятора скорости:

R211 = 47 к; R209 = 5 к1; R210 = 5 к1; R212 = 51 к; R213 = 6 к8;
R215 = 2 к; R216 = 2 к; R217 = 6 к8; R218 = 20 к; R220 = 6 к8;
C201 = 6,6 мF; C202 = 1 мF.

12.3. Порядок выполнения лабораторной работы.

12.3.1. Рассчитать параметры регулятора тока при настройке контура тока на технический оптимум. Диапазон изменения k_T – из лаб. раб. 11.

12.3.2. Установить расчётные значения элементов регулятора тока. Установить коэффициент передачи обратной связи по току и проверить экспериментально при отключенном возбуждении двигателя.

12.3.3. Замкнуть обратную связь по току и при отключенном возбуждении двигателя проверить настройку контура тока, подавая ступенчатое воздействие соответствующее номинальному току. Снять график переходного процесса.

12.3.4. Рассчитать параметры регулятора скорости при настройке системы на технический оптимум, предварительно задавшись коэффициентом обратной связи по скорости (лаб. раб. 10).

12.3.5. Рассчитать диапазон регулирования и статизм электро-механических характеристик.

12.3.6. Снять электро-механические характеристики в диапазоне регулирования ($u_3 \min, 0,5 u_3 \max$). Сверить статизм с расчётным.

12.3.7. Осуществить пуск системы стабилизации скорости при ступенчатом воздействии. Снять зависимости $\omega = f(t)$, $i = f(t)$ при $I_c = I_{xx}$. Сверить с расчётами.

12.3.8. Снять зависимости $\omega = f(t)$, $i = f(t)$ для $u_3 = \text{const}$ при ударном приложении нагрузки.

12.3.9. Повторить пункты 12.3.4–12.3.8 для системы, настроенной на симметричный оптимум.

12.4. Порядок работы с лабораторной установкой.

Внимание! Перед включением автомата питания стенда тумблеры SA100, SA101, SA200, SA300, SA301, SA302, SA700, SA1 должны находиться в нижнем положении (в сервоприводе SA1 – вверх).

12.4.1. Установка параметров регулятора тока. Соберите схему рис. 12.4.

Включить автомат питания. Включить SA200. Подключить ко входу А4 тестер. Задать резистором R201 некоторое напряжение $U_{вх}$ на входе А4, при котором

$$U_{вх} \frac{R217 \parallel R216}{R215} = U_p \leq U_{нас}$$

(где $U_{нас} = 10$ В – напряжение насыщения ОУ). Подключить тестер к выходу А4. Изменяя R217 установить на выходе А4 расчётное напряжение U_p . Резистором R201 установить напряжение задания равным нулю (по тестеру). Включить SA100, SA700. Кнопкой SB704 подключить якорь М1 к ШИП. Изменяя резистором R201 напряжение задания установить ток якоря М1 3А. Подключив к ОУ К1 тестер резистором К1 установить требуемый Кт. Кнопкой SB703 отключить якорь М1 от ШИП. Выключить SA700, SA100, SA200 и автомат питания. Настройки регулятора и обратной связи по току не трогать.

12.4.2. Испытания контура тока. При замыкании системы следить, чтобы знаки напряжения задания и напряжения обратной связи были противоположны.

Собрать схему рис. 12.5.

Опыт выполняется при управлении с ПК. Включить автомат питания. Включить SA100, SA700, SA200. Рассчитать U_z при котором установившийся ток якоря М1 будет равен $I_n = 3,3$ А и установить его резистором R201 в диалоговом окне на мониторе ПК. Нажать кнопку SB704 – в диалоговом окне монитора ПК отобразится график переходного процесса. Кнопкой SB703 отключить якорь М1 от ШИП. Выключить SA200, SA700, SA100, автомат питания.

12.4.3. Испытания двухконтурной системы стабилизации скорости. Технический оптимум РС. Собрать схему рис. 12.6.

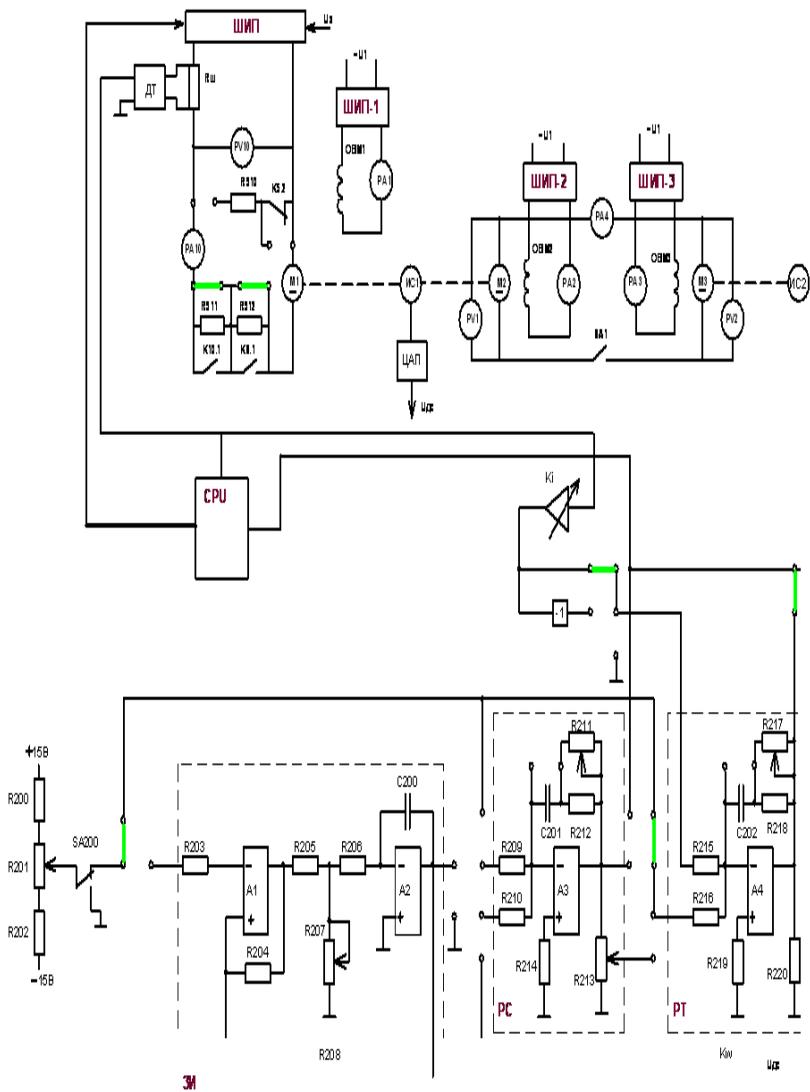


Рис. 12.5

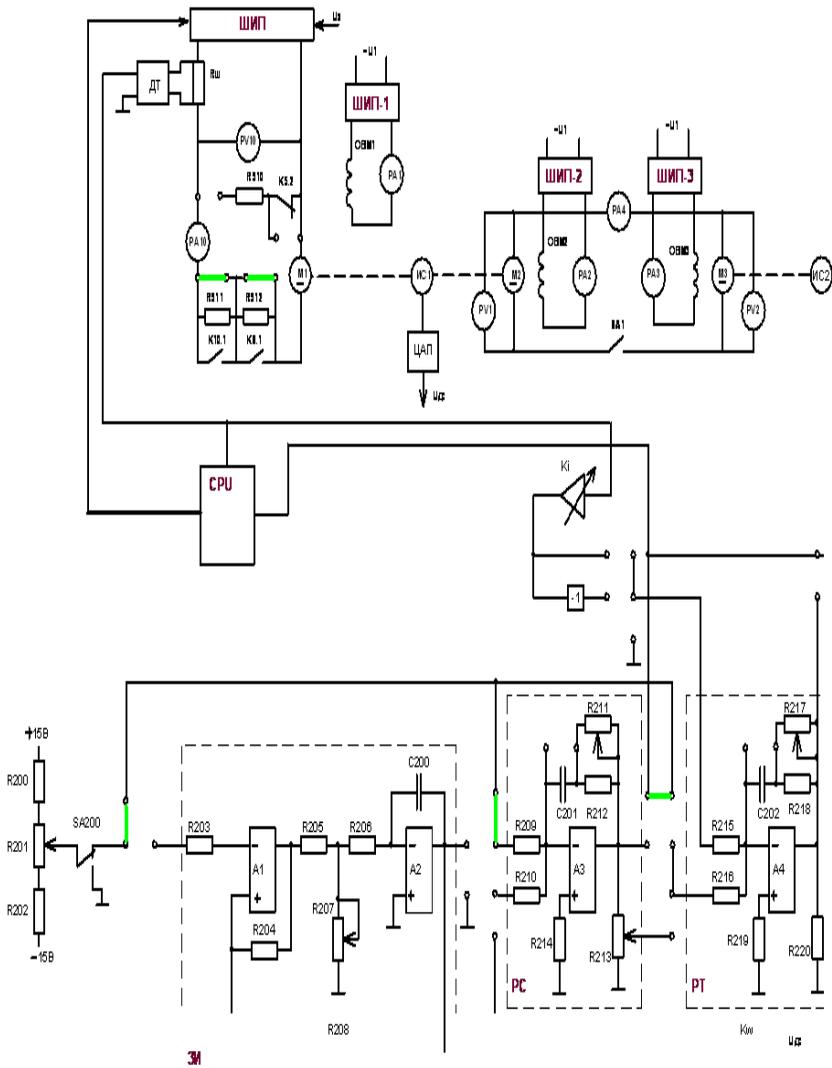


Рис. 12.6

Включить автомат питания, включить SA200. Подключить ко входу АЗ тестер. Задать некоторое напряжение U_{ex} на входе АЗ, при котором:

$$U_{\text{ex}} \frac{R211 \parallel R212}{R209} = U_p \leq U_{\text{нас}}$$

(где $U_{\text{нас}} = 10$ В – напряжение насыщения ОУ). Подключить тестер к выходу АЗ. Изменяя R211 установить на выходе АЗ расчётное напряжение U_p . Резистором R201 установить напряжение задания равным нулю (по тестеру). Включить SA300 и резистором R300 установить ток возбуждения М1 равным 400 мА. Включить SA100, SA700. Кнопкой SB704 подключить якорь М1 к ШИП. Резистором R201 задать частоту вращения М1 (ИС1) 20–30 рад/с. Резистором Кв установить расчётное значение Кс (смотри процедуру лаб. раб. 10). Учесть знак Кс (лаб. раб. 10). Резистором R201 уменьшить частоту вращения М1 (ИС1) до нуля. Кнопкой SB703 отключить якорь М1 от ШИП. Выключить SA700, SA100, SA300, SA200, автомат питания.

12.4.4. Собрать схему рис. 12.7.

Обратить внимание, что знак сигнала обратной связи по току надо поменять на противоположный по отношению к опыту п. 12.4.2. Включить автомат питания. Включить ШИП-1, ШИП-2 тумблерами SA300, SA301. Резистором R300 установить ток возбуждения машины М1 – 400 мА (pA1). Резистором R301 установить ток возбуждения машины М2 равным нулю (pA2). Включить SA100, SA200, SA700, SA1. Электромеханические характеристики. Кнопкой SB704 подключить якорь М1 к ШИП. Резистором R201 установить напряжение на якоре М1 (pV10) равным 105 В. Изменяя ток возбуждения машины М2 (pA2) резистором R301, снять электромеханическую характеристику системы 4–5 точек (ИС1, pA4). Уменьшить резистором R301 ток возбуждения М2 до нуля. Резистором R201 установить напряжение на якоре М1 (pV10), соответствующее минимальной частоте вращения диапазона регулирования. Изменяя ток возбуждения машины М2 (pA2), снять электромеханическую характеристику системы 4–5 точек (ИС1, pA4). Уменьшить резистором R301 ток возбуждения машины М2 до нуля (pA2). Переходной процесс. Выполняется при управлении с ПК.

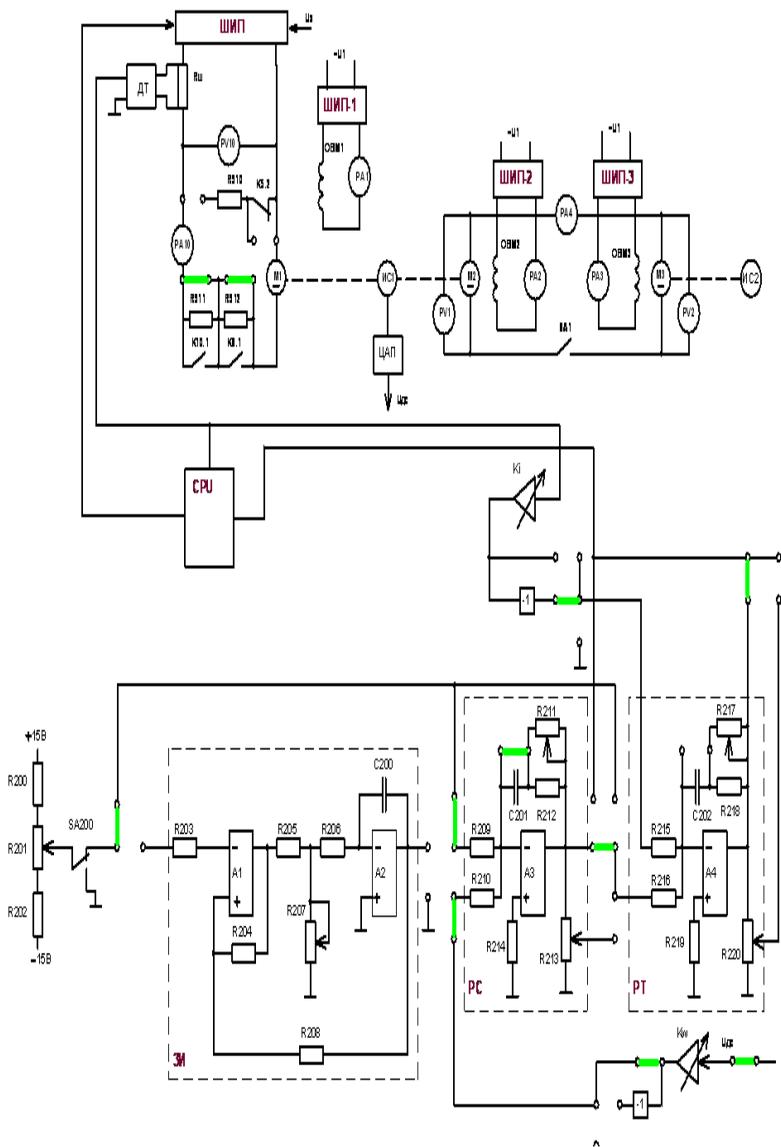


Рис. 12.7

Резистором R201 в диалоговом окне монитора ПК установить напряжение ШИП 40 В (pV10). Кнопкой SB703 отключить якорь M1 от ШИП и после полной остановки вала M1 кнопкой SB704 подключить якорь M1 к ШИП – в диалоговом окне монитора ПК отобразится график переходного процесса. Резистором R301 в диалоговом окне монитора ПК установить ток возбуждения машины M2 таким, чтобы ток якоря M1 (pA10) был равен 2 А. Разомкнуть SA1 и после установления скорости M1 опять замкнуть. В диалоговом окне монитора ПК отобразится график переходного процесса при набросе нагрузки.

12.4.5. Испытания двухконтурной системы стабилизации скорости. Симметричный оптимум РС. Собрать схему рис. 12.6 и, повторив процедуру п. 12.4.3, настроить регулятор скорости.

12.5. Контрольные вопросы.

12.5.1. От чего зависит характер переходного процесса в замкнутой системе регулирования?

12.5.2. Чему равен коэффициент затухания при настройке контура тока на технический оптимум?

12.5.3. Чему равно время переходного процесса и перерегулирование при настройке контура тока на технический оптимум?

12.5.4. Чему равна статическая ошибка в двухкратно интегрирующей системе?

12.5.5. Каким образом в рассматриваемой системе обеспечить отсечку по току?

12.5.6. Влияет ли ограничение напряжения регуляторов на характер переходных процессов? Когда и каким образом?

12.5.7. Достоинства и недостатки систем подчинённого регулирования.

Библиографический список

1. **Башарин, А.В.** Управление электроприводами / А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. – Астрахань : Энергоиздат, 1982. – 392 с.
2. **Ключев, В.И.** Теория электропривода : учебник / В.И. Ключев. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
3. **Москаленко, В.В.** Автоматизированный электропривод. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 410 с.
4. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.

Оглавление

Лабораторная работа 1	
Определение момента инерции и махового момента электропривода методом свободного выбега.....	3
Лабораторная работа 2	
Исследование скоростных и механических характеристик электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения.....	7
Лабораторная работа 3	
Исследование регулировочных свойств электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения в системе «генератор-двигатель».....	15
Лабораторная работа 4	
Исследование нагрузочных диаграмм электродвигателя	22
Лабораторная работа 5	
Исследование схемы управления электродвигателем постоянного тока.....	26
Лабораторная работа 6	
Исследование реверсивной схемы управления трехфазным асинхронным электродвигателем с торможением противовключением.....	39
Лабораторная работа 7	
Исследование механических характеристик асинхронного электродвигателя с фазным ротором.....	49
Лабораторная работа 8	
Исследование схемы управления трехфазным асинхронным электродвигателем с фазным ротором.....	58
Лабораторная работа 9	
Исследование широтно-импульсного преобразователя на IGBT-модулях.....	64
Лабораторная работа 10	
Исследование одноконтурной системы стабилизации скорости.....	72
Лабораторная работа 11	
Исследование одноконтурной системы стабилизации тока	83
Лабораторная работа 12	
Исследование системы подчиненного регулирования.....	90
<i>Библиографический список.....</i>	<i>103</i>

