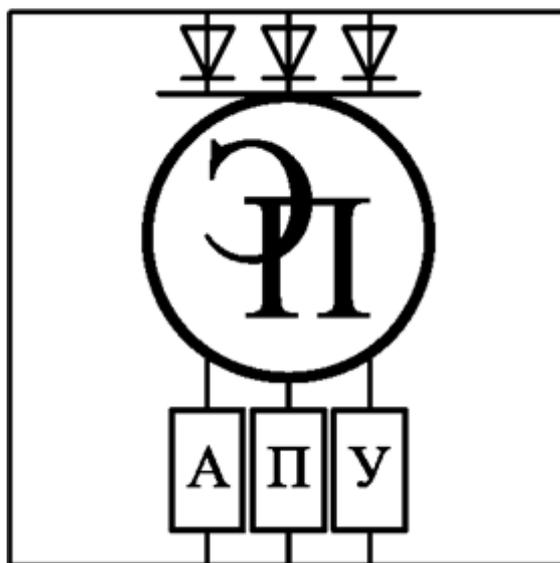


ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы»
дневной формы обучения*



Могилёв 2018

УДК 621.313.1
ББК 31.261
С 747

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и АПУ» «20» апреля 2018 г.,
протокол № 11

Составители: доц. В. Н. Усик;
Н. В. Спиридонов

Рецензент канд. техн. наук, доц. Б. Б. Скарыно

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для
студентов направления подготовки 23.03.02 «Наземные транспортно-технологиче-
ские комплексы» дневной формы обучения.

Учебно-методическое издание

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Ответственный за выпуск	Г. С. Ленеvский
Технический редактор	А. А. Подошеvко
Компьютерная верстка	Е. С. Лустенкова

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 46 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2018



Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Техника безопасности в лаборатории. Изучение электрооборудования стендов.....	5
1.1 Техника безопасности.....	5
1.2 Порядок выполнения работ.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Исследование системы «генератор – двигатель» (Г – Д).....	6
2.1 Подготовка к проведению экспериментальных исследований.....	6
2.2 Порядок проведения исследований.....	7
2.3 Обработка результатов исследований.....	9
3 Лабораторная работа № 3. Исследование системы «управляемый вентильный преобразователь – двигатель» (УВП – Д).....	10
3.1 Подготовка к проведению экспериментальных исследований.....	10
3.2 Порядок проведения исследований.....	11
3.3 Обработка результатов исследований.....	12
4 Лабораторная работа № 4. Исследование системы «электромашин- ный усилитель – двигатель» (ЭМУ – Д).....	13
4.1 Подготовка к проведению экспериментальных исследований.....	13
4.2 Порядок проведения исследований.....	14
4.3 Обработка результатов исследований.....	16
5 Лабораторная работа № 5. Исследование системы асинхронного электропривода.....	17
5.1 Подготовка к проведению экспериментальных исследований.....	18
5.2 Порядок проведения исследований.....	19
5.3 Обработка результатов исследований.....	23
6 Лабораторная работа № 6. Исследование микропроцессорной системы управления электроприводом.....	25
6.1 Подготовка к проведению экспериментальных исследований.....	25
6.2 Порядок проведения исследований.....	31
6.3 Обработка результатов исследований.....	31
Список литературы.....	32
Приложение А.....	33
Приложение Б.....	34



Введение

Дисциплина «Системы электрического управления» (СЭУ) позволит ознакомиться, приобрести практический опыт экспериментальных исследований и закрепить знания о классификации электроприводов, их состав и области применения, режимы работы и характеристики электропривода, методы расчёта мощности электропривода.

В методических рекомендациях рассмотрены вопросы применения, экспериментального исследования, управления электропривода в наземных транспортно-технологических комплексах.

В результате студент овладеет знаниями о характеристиках электронных приборов, классификацией полупроводниковых преобразователей электрической энергии и описанием основных электромагнитных процессов, методиками проведения расчётов по определению параметров и характеристик электронных устройств и электроприводов.

Отчет по лабораторной работе дисциплины «Системы электрического управления» содержит:

- титульный лист;
- цель работы;
- описание лабораторного стенда;
- основные правила техники безопасности;
- таблица с результатами экспериментов и расчетов;
- графики исследованных зависимостей;
- выводы по работе.



1 Лабораторная работа № 1. Техника безопасности в лаборатории. Изучение электрооборудования стендов

1.1 Техника безопасности

Запрещается:

- выполнение лабораторной работы без прохождения инструктажа по технике безопасности;
- выполнение лабораторной работы без разрешения преподавателя, проводящего лабораторную работу;
- подача напряжения питания на комплекс и стенд без разрешения преподавателя;
- коммутация органов управления комплекса, стенда при поданном напряжении питания без разрешения преподавателя;
- изменение настроек программного обеспечения, изменение настроек операционной системы и состава персонального компьютера.

Не допускается во время выполнения лабораторных работ:

- шуметь;
- громко разговаривать;
- заниматься посторонними делами
- быть одетыми в одежду с длинными рукавами, длинными полами.

1.2 Порядок выполнения работ

На первом (вводном) занятии студенты получают график выполнения лабораторных работ. Лабораторную работу следует выполнять группой в составе 3–4 человек. Студенты должны заблаговременно готовиться к занятию. Подготовка должна включать себя следующее.

- 1 Изучение правил техники безопасности при выполнении лабораторной работы.
- 2 Изучение теоретических материалов по направлению исследований лабораторной работы.
- 3 Ознакомление с электрооборудованием лабораторной работы.
- 4 Изучение назначения элементов и режимов работы схемы электрической принципиальной лабораторной работы.
- 5 Изучение методик проведения экспериментальных исследований.

Допуск к выполнению лабораторной работы выдает преподаватель после проведения собеседования по данной работе, в ходе которого студент показывает знания по конструкции комплекса и программе исследований по данной лабораторной работе.

Перед началом проведения исследований на данном комплексе необходимо выполнить следующее:

- проверить наличие ограждения вращающихся частей (агрегат электромашинный);



– проверить наличие посторонних предметов на конструктивных компонентах СЛЭУ, посторонние предметы убрать;

– проверить наличие и надежность заземления всех элементов СЛЭУ.

Готовность студентов к выполнению лабораторной работы проверяется преподавателем до начала работы. Студенты, явившиеся на занятия неподготовленными, а также не представившие своевременно отчет о выполнении предыдущей работы, к очередной лабораторной работе не допускаются. Студенты, нарушившие правила выполнения работ в лаборатории и правила ТБ, отстраняются от выполнения работы.

Полное содержание лабораторных работ и краткие теоретические сведения в рамках лабораторных работ представлены в электронном варианте и хранятся в лаборатории ПЭВМ а.207/к2 кафедры «Электропривод и АПУ».

2 Лабораторная работа № 2. Исследование системы «генератор – двигатель» (Г – Д)

Цель работы

1 Изучить методику расчета механических характеристик электропривода по системе «Г – Д».

2 Ознакомиться с опытным исследованием системы «Г – Д» (способами регулирования скорости, режимами работы машин, диапазоном регулирования скорости).

2.1 Подготовка к проведению экспериментальных исследований

Изучить правила техники безопасности при выполнении данной лабораторной работы.

Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

Ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. Записать паспортные данные испытуемого асинхронного электродвигателя М1, нагрузочного электродвигателя М2, генератора G1 и гонного двигателя М3.

Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 2.1).

Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

Рассчитать и построить естественную и ряд искусственных механических характеристик двигателя М2 в системе «Г – Д» при регулировании скорости изменением напряжения генератора G1, а также при регулировании потоком возбуждения двигателя. Определить общий диапазон регулирования скорости в исследуемой системе «Г – Д». Значения напряжения и потока принять такими же, как и при экспериментальном исследовании (таблица 2.1).



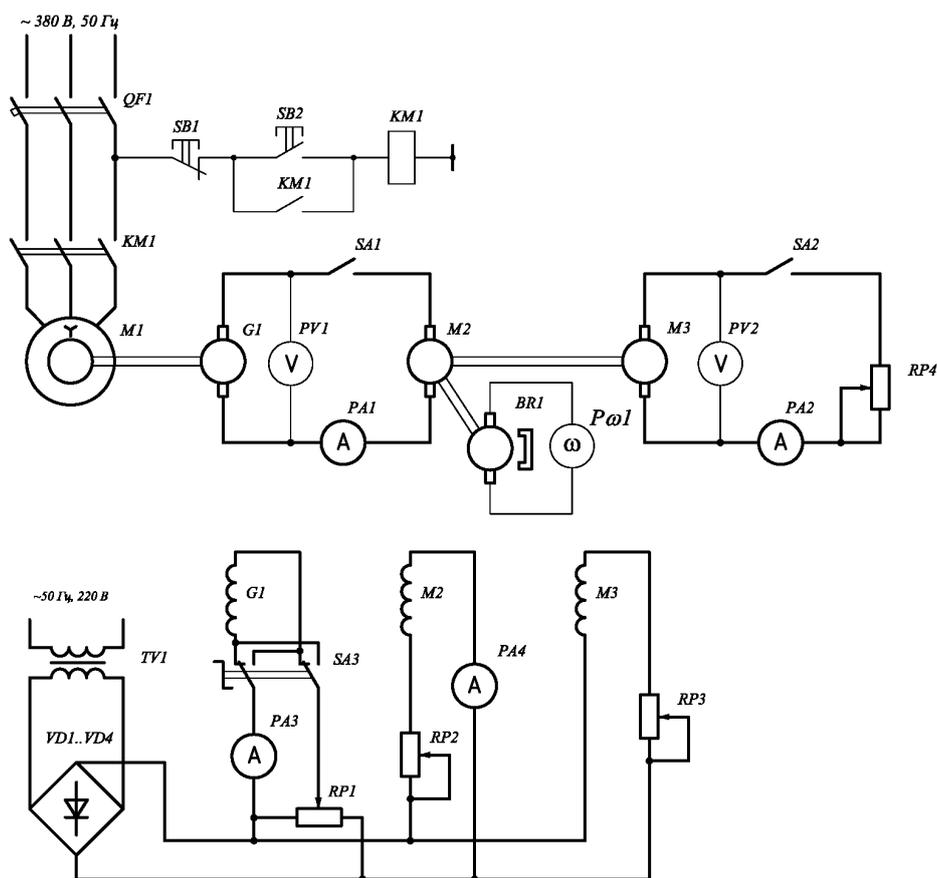


Рисунок 2.1 – Схема для исследования электропривода по системе «Г – Д»

Таблица 2.1 – Экспериментальные и расчетные данные

Способ регулирования скорости	Номер опыта	Данные опыта					Данные расчета		
		I_{62}	I_{60}	U_2	$I_{я}$	ω	$U_2 \cdot I_{я}$	$I_{я}^2 \cdot R_{я}$	M
		А	А	В	А	рад/с	Вт	Вт	Н · м
$U_1 = U_n$									
$U_2 = 0,8 \cdot U_n$									
$U_3 = 0,6 \cdot U_n$									
$U_4 = 0,4 \cdot U_n$									
$U_5 = 0,2 \cdot U_n$									
$\Phi_{01} = 0,8 \cdot \Phi_{0н}$									
$\Phi_{01} = 0,6 \cdot \Phi_{0н}$									

2.2 Порядок проведения исследований

Эксперимент 1. Снятие механических характеристик (МХ) двигателя М2 в системе «Г – Д» при изменении подводимого напряжения.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Подать на стенд напряжение питания.

2 Реостаты RP1 и RP3 выставить в положение, соответствующее минимальному, а реостат RP2 – номинальному току возбуждения машин. Нагрузочный

реостат RP4 отключается выключателем SA2.

3 Нажать кнопку управления SB2.

4 Замкнуть выключатель SA1 и плавным увеличением тока возбуждения генератора G1 разогнать двигатель M2 до номинальной скорости.

5 Характеристики снять при независимом и равном номинальному токе возбуждения двигателя M2 и напряжениях, при холостом ходе двигателя равных $U_1 = U_n$; $U_2 = 0,6 \cdot U_n$; $U_3 = 0,4 \cdot U_n$; $U_4 = 0,2 \cdot U_n$. Напряжения U_1, U_2, U_3, U_4 при нагрузке двигателя M2 не поддерживаются постоянными. Для каждой характеристики снять 4...5 точек. Данные опыта занести в таблицу 2.1.

6 По окончании эксперимента нажать кнопку SB1.

Эксперимент 2. Снятие механических характеристик двигателя M2 в системе «Г – Д» при изменении потока возбуждения.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Подать на стенд напряжение питания.

2 Реостаты RP1 и RP3 выставить в положение, соответствующее минимальному, а реостат RP2 – номинальному току возбуждения машин. Нагрузочный реостат RPн отключается выключателем SA2.

3 Нажать кнопку управления SB2.

4 Замкнуть выключатель SA1 и плавным увеличением тока возбуждения генератора G1 разогнать двигатель M2 до номинальной скорости.

5 При изменении потока возбуждения снимают характеристики для $\Phi_{01} = 0,8 \cdot \Phi_{0н}$; $\Phi_{01} = 0,6 \cdot \Phi_{0н}$. В этом опыте естественная характеристика при $U_1 = U_n$ и $I_{вд} = I_{вдн}$ является исходной. Для определения $\Phi_{0н}$ необходимо воспользоваться кривой намагничивания двигателя (рисунок 2.2) и уже по ней определять значения тока возбуждения при заданных значениях потоков.

Во время опыта заданные значения тока возбуждения $I_{вд}$ поддерживаются неизменными. Подводимое напряжение при холостом ходе устанавливается равным номинальному и при нагрузке двигателя M2 не поддерживается постоянным. Данные опыта занести в таблицу 2.1.

6 По окончании эксперимента нажать кнопку SB1.

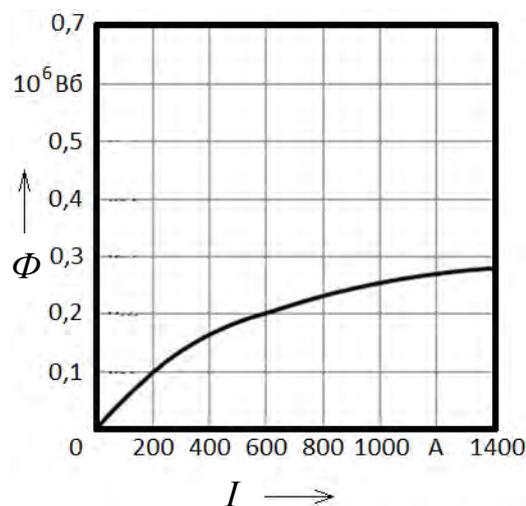


Рисунок 2.2 – Кривая намагничивания двигателя ПС-42

2.3 Обработка результатов исследований

По экспериментальным данным рассчитать и построить механические и электромеханические характеристики (ЭМХ) двигателя М2.

Расчет электромагнитного момента двигателя М2 производится по формуле

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{U_{я} \cdot I_{я} - I_{я}^2 \cdot R_{я75^{\circ}}}{\omega}, \quad (2.1)$$

где ω – скорость вращения вала двигателя, рад/с;

P – электромагнитная мощность, Вт;

$U_{я} \cdot I_{я}$ – мощность в цепи якоря, Вт;

$I_{я}^2 \cdot R_{я75^{\circ}}$ – мощность переменных электрических потерь в цепи обмотки якоря двигателя, Вт;

$R_{я75^{\circ}}$ – сопротивление якоря двигателя М2, приведенное к рабочей температуре 75 °С, Ом.

Сравнить расчетные и опытные механические характеристики и дать их краткий анализ.

На основании опытных характеристик $\omega = f(I_{я})$ и $\omega = f(M)$ построить зависимость момента и мощности в функции скорости для номинального тока двигателя $P, M = f(\omega)$.

Для этого на скоростных характеристиках $\omega = f(I_{я})$ через точку, соответствующую номинальному току двигателя $I_{ян}$, провести вертикальную прямую. По величинам скоростей, соответствующих точкам пересечения этой прямой с характеристиками $\omega = f(I_{я})$ на графике $\omega = f(M)$, определить моменты для каждой характеристики. По моменту M и скорости ω вычисляется мощность

$$P = M \cdot \omega. \quad (2.2)$$

На основании полученного графика $P, M = f(\omega)$ дать краткий анализ по регулированию скорости в системе «Г – Д».

Контрольные вопросы

- 1 Пояснить принцип действия системы «Г – Д».
- 2 Написать механическую характеристику системы «Г – Д» и объяснить её отличие от механической характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением при питании от сети бесконечной мощности.
- 3 Изобразить и проанализировать регулировочные характеристики системы «Г – Д».
- 4 Проанализировать способы торможения двигателя в системе «Г – Д».
- 5 Назвать и пояснить факторы, ограничивающие диапазон регулирования



скорости в системе «Г – Д».

6 Перечислить достоинства и недостатки системы «Г – Д» и назвать пример её практического применения.

3 Лабораторная работа № 3. Исследование системы «управляемый вентильный преобразователь – двигатель» (УВП – Д)

Цель работы

Исследовать регулировочные и энергетические характеристики электропривода по системе «УВП – Д».

3.1 Подготовка к проведению экспериментальных исследований

Изучить правила техники безопасности при выполнении данной лабораторной работы.

Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

Ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. Записать паспортные данные электродвигателей М1 – М2.

Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 3.1).

Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

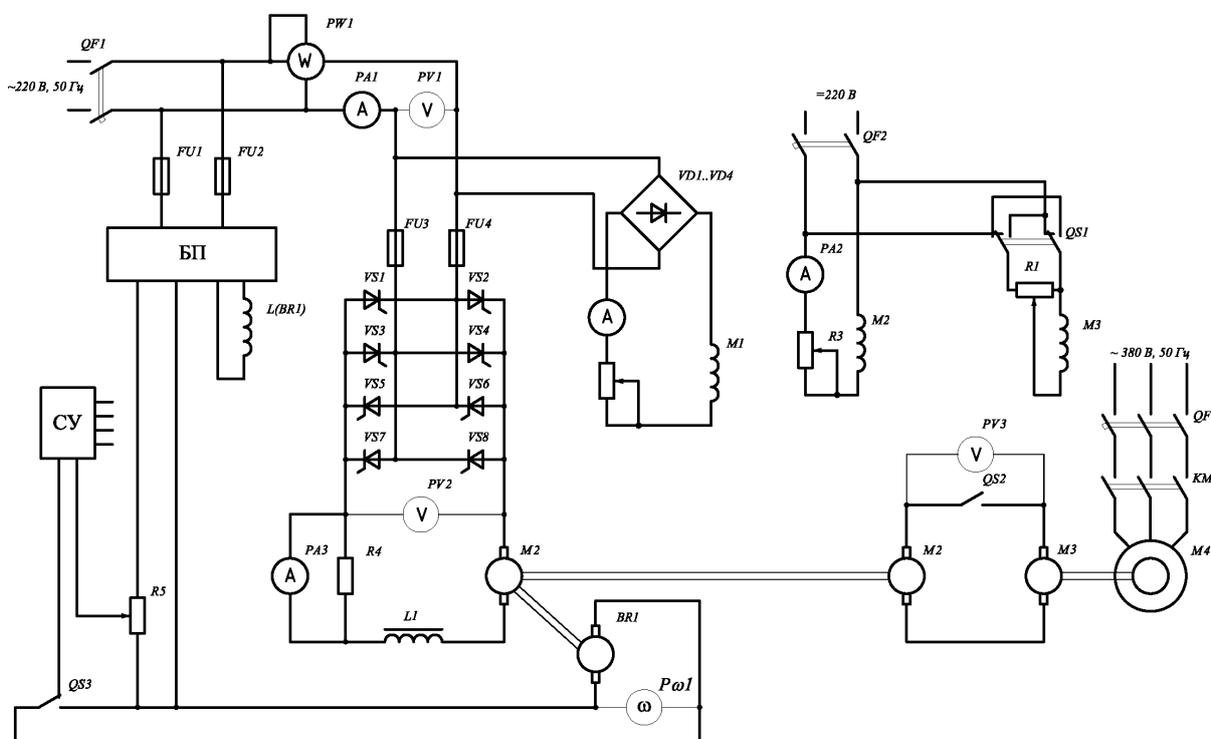


Рисунок 3.1 – Схема для исследования электропривода по системе «УВП – Д»

3.2 Порядок проведения исследований

Эксперимент 1. Снятие электрических характеристик электропривода без обратных связей.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Подготовить установку к проведению исследований.

2 Переключатель QS3 выставить в положение «включить».

3 Регулятор R5 перевести в крайнее нижнее положение.

4 Подключить лабораторную установку к сети вводным автоматическим выключателем QF3.

5 Включением QF1 подать напряжение на преобразователь ПТОР 115/10 В и регулятором R5 плавно разогнать двигатель М4 до необходимой скорости.

6 Асинхронный двигатель М1 включается нажатием кнопки «Пуск» магнитного пускателя КМ1 при предварительно включенном автоматическом выключателе QF3. Останов производится нажатием кнопки «Стоп».

7 Подача напряжения на обмотки возбуждения машин М3 и М2 производится включением автоматического выключателя QF2 при предварительном подключении лабораторной установки к сети постоянного тока вводным автоматическим выключателем постоянного тока. Регулировка тока возбуждения осуществляется при помощи R1 и R3.

8 Снять электрические характеристики электропривода без обратных связей (QS3 в положении 2) для $U_0 = U_n$; $U_0 = 0,8 \cdot U_n$; $U_0 = 0,4 \cdot U_n$; $U_0 = 0,2 \cdot U_n$ (U_0 – напряжение на двигателе М4 при выключенном выключателе QS2; U_n – номинальное напряжение двигателя М4). Для построения семейства электромеханических характеристик электропривода следует снять не менее 7...8 показаний приборов. Данные опытов занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Экспериментальные и расчетные данные

Схема включения	Данные опыта									Данные расчёта		
	U_0	Номер опыта	I_s	U_1	I_1	U	I	P	ω	ω_0	η_n	$\cos(\varphi_n)$
	В		А	В	А	В	А	Вт	рад/с	%	%	–
Без обратных связей												
С обратной связью по скорости												



Эксперимент 2. Снятие механических характеристик электропривода «УВП – Д» с отрицательной обратной связью по скорости (ООС).

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

- 1 Подготовить установку к проведению исследований.
- 2 Переключатель QS3 выставить в положение «Вкл».
- 3 Регулятор R5 перевести в крайнее нижнее положение.
- 4 Подключить лабораторную установку к сети вводным автоматическим выключателем QF3.

5 Включением QF1 подать напряжение на преобразователь ПТОР 115/10 В и регулятором R5 плавно разогнать двигатель М4 до необходимой скорости.

6 Асинхронный двигатель М1 включается нажатием кнопки «Пуск» магнитного пускателя КМ1 при предварительно включенном автоматическом выключателе QF3. Останов производится нажатием кнопки «Стоп».

7 Подача напряжения на обмотки возбуждения машин М3 и М2 производится включением автоматического выключателя QF2 при предварительном подключении лабораторной установки к сети постоянного тока вводным автоматическим выключателем постоянного тока. Регулировка тока возбуждения осуществляется при помощи R1 и R3.

8 Снять электромеханические характеристики электропривода с о.с. по скорости (QS3 в положении 1) для $U_0 = U_n$; $U_0 = 0,8 \cdot U_n$; $U_0 = 0,4 \cdot U_n$; $U_0 = 0,2 \cdot U_n$. Данные опытов занести в таблицу 3.1.

3.3 Обработка результатов исследований

По данным экспериментов 1 и 2 построить электромеханические характеристики $\omega = f(I_a)$ привода, показать границу зоны прерывистых токов и определить для каждой характеристики теоретическое отклонение скорости по формуле

$$\omega = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0} \cdot 100 \% . \quad (3.1)$$

Определить энергетические показатели преобразователя (КПД, $\cos \varphi$) для каждого из опытов подразд. 3.2. Проанализировать изменение КПД и $\cos \varphi$ преобразователя в зависимости от нагрузки на валу двигателя М4.

Коэффициент полезного действия (КПД) преобразователя

$$\eta_n = \frac{U_1 \cdot I_1}{P_1} \cdot 100 \% , \quad (3.2)$$

где U_1, I_1 – выпрямленное напряжение и ток на выходе преобразователя, измеряемые приборами PV2 и PA3;

P_1 – потребляемая активная мощность из сети переменного тока, измеряемая ваттметром PW1.



Коэффициент мощности преобразователя можно найти из выражения

$$\cos \varphi_n = \frac{P_1}{U \cdot I}, \quad (3.3)$$

где U , I – переменное напряжение и ток на входе преобразователя, измеряемые приборами PA1 и PV1.

Контрольные вопросы

- 1 Объяснить принцип регулирования скорости в системе ПТОР-Д.
- 2 Объяснить назначение основных блоков ПТОР 115/10 В.
- 3 Записать и пояснить уравнение электрической характеристики электропривода с управляемым выпрямителем.
- 4 Объяснить по схеме работу привода ПТОР-Д в режиме рекуперативного торможения.
- 5 Проанализировать регулировочные и энергетические показатели типа ЭТОР.
- 6 Пояснить режимы работы электрических машин в схеме лабораторной установки, если машина ИМ работает в режиме:
 - генератора;
 - двигателя.

4 Лабораторная работа № 4. Исследование системы «электромашинный усилитель – двигатель» (ЭМУ – Д)

Цель работы

- 1 Изучить действие связей в режиме стабилизации скорости.
- 2 Ознакомиться с методикой опытного исследования разомкнутой и замкнутой систем регулирования по системе «ЭМУ – Д».
- 3 Исследовать экскаваторные механические характеристики в системе «ЭМУ – Д».

4.1 Подготовка к проведению экспериментальных исследований

Изучить правила техники безопасности при выполнении данной лабораторной работы.

Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

Ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. Записать паспортные данные электродвигателей М1...М4.

Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 4.1).



Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

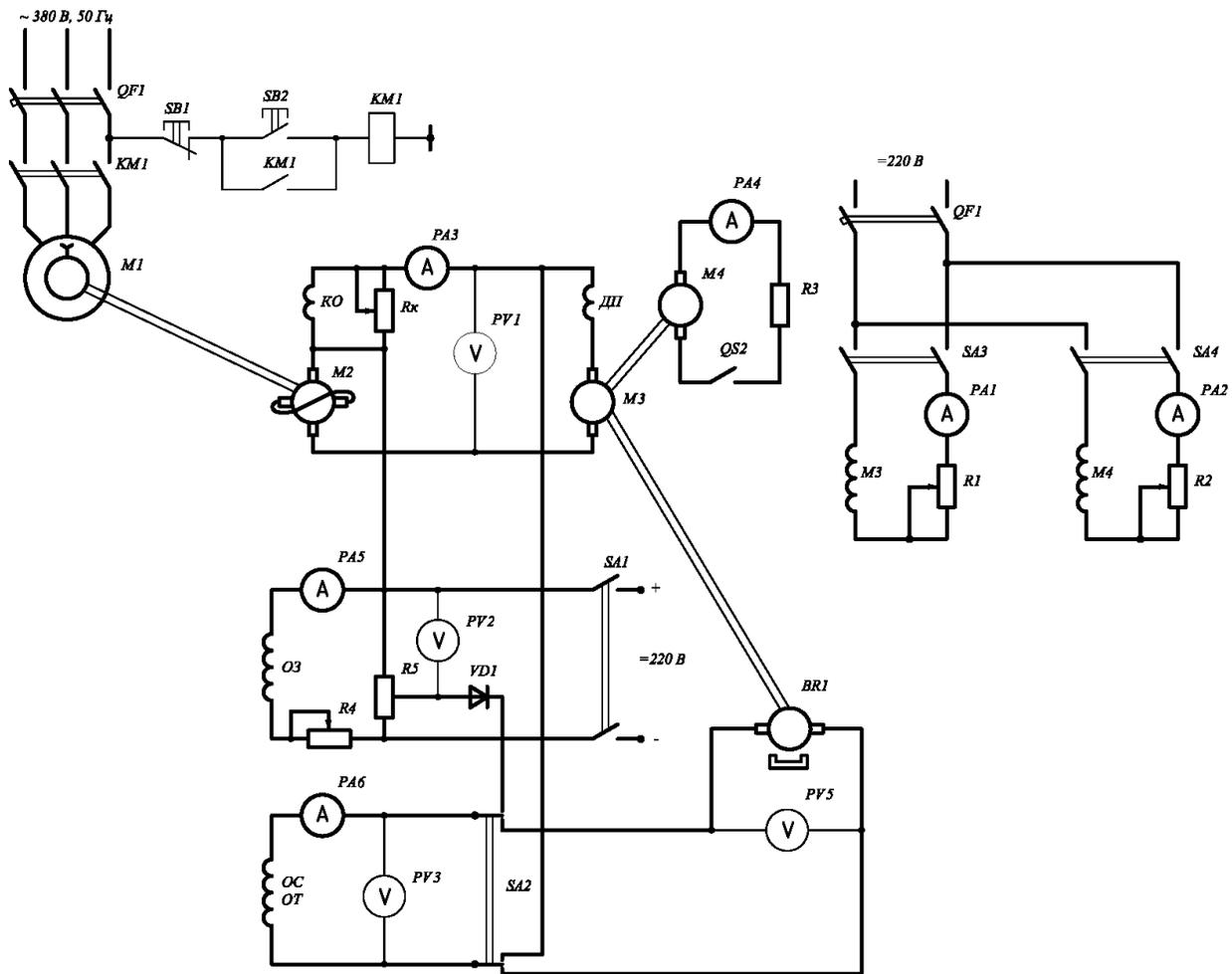


Рисунок 4.1 – Схема исследования электропривода по системе «ЭМУ – Д»

4.2 Порядок проведения исследований

Эксперимент 1. Снятие механических характеристик разомкнутой системы регулируемого привода.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Переключатель SA2 установить в нейтральное положение.

2 Выключателем SA3 подать напряжение на обмотку возбуждения электродвигателя M3.

3 Подать с помощью автоматических выключателей QF1 и QF2 на стенд напряжение питания.

4 С помощью реостата RP1 по амперметру PA1 установить номинальный ток возбуждения электродвигателя M3, который во всех опытах поддерживать неизменным.

5 Движок реостата RP2 выставить в нулевое положение, при котором $U_{ог}$ равняется нулю.

6 С помощью выключателя SA1 подать напряжение на обмотку задания электромашинного усилителя M2.

7 Нажать кнопку управления SB2.

8 Снятие механических характеристик произвести для $U_0 = U_n$; $U_0 = 0,8 \cdot U_n$; $U_0 = 0,6 \cdot U_n$; $U_0 = 0,4 \cdot U_n$; $U_0 = 0,2 \cdot U_n$, где U_0 – напряжение на якоре двигателя М3 при холостом ходе генератора М4 (QS1 разомкнут), устанавливаем реостатом RP4.

Нагрузка на двигателе М3 создаётся генератором М4 путём изменения тока возбуждения генератора реостатом RP2. Показания приборов для каждой характеристики занести в таблицу 4.1.

9 По окончании эксперимента нажать кнопку SB1.

Таблица 4.1 – Экспериментальные и расчетные данные

Система привода	Способ регулирования скорости	Опыт			Расчёт				
		ω	I_1	U	$I_1 \cdot U$	$I_1 \cdot R_{\Sigma}$	M_{Σ}	AM_e	M_e
		рад/с	А	В	Вт	Вт	Н·м	Н·м	Н·м
Разомкнутая	$U_0 = U_n$								
	$U_0 = 0,8 \cdot U_n$								
	$U_0 = 0,6 \cdot U_n$								
	$U_0 = 0,4 \cdot U_n$								
	$U_0 = 0,2 \cdot U_n$								
С отрицательной обратной связью по скорости	$U_0 = U_n$								
	$U_0 = 0,8 \cdot U_n$								
	$U_0 = 0,6 \cdot U_n$								
	$U_0 = 0,4 \cdot U_n$								
	$U_0 = 0,2 \cdot U_n$								
С отрицательной обратной связью по току с отсечкой	U_{cp1}								
	U_{cp2}								
	U_{cp3}								

Эксперимент 2. Снятие механических характеристик электропривода «ЭМУ – Д» с отрицательной обратной связью по скорости.

Повторить действия из эксперимента 1, установив переключатель SA2 в нижнее положение.

Эксперимент 3. Исследование экскаваторных характеристик в системе «ЭМУ – Д».

Повторить действия из эксперимента 1, установив переключатель SA2 в верхнее положение. Снятие механических характеристик произвести для напряжений сравнения U_{cp1} , U_{cp2} , U_{cp3} . Напряжение сравнения устанавливается по вольтметру PV2 при помощи потенциометра R5.

4.3 Обработка результатов исследований

По данным экспериментов 1 и 2 построить механические характеристики и определить диапазон регулирования для номинальной нагрузки в разомкнутой и замкнутой системах.

Момент на валу двигателя можно найти по формуле

$$M_e = M \pm \Delta M, \quad (4.1)$$

где M – электромагнитный момент,

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{U \cdot I - I^2 \cdot R_{я}}{\omega}; \quad (4.2)$$

ΔM – момент потерь вращения исследуемого двигателя, берётся из опытной кривой $\Delta M_{ep} = f(\omega)$ (рисунок 4.2).

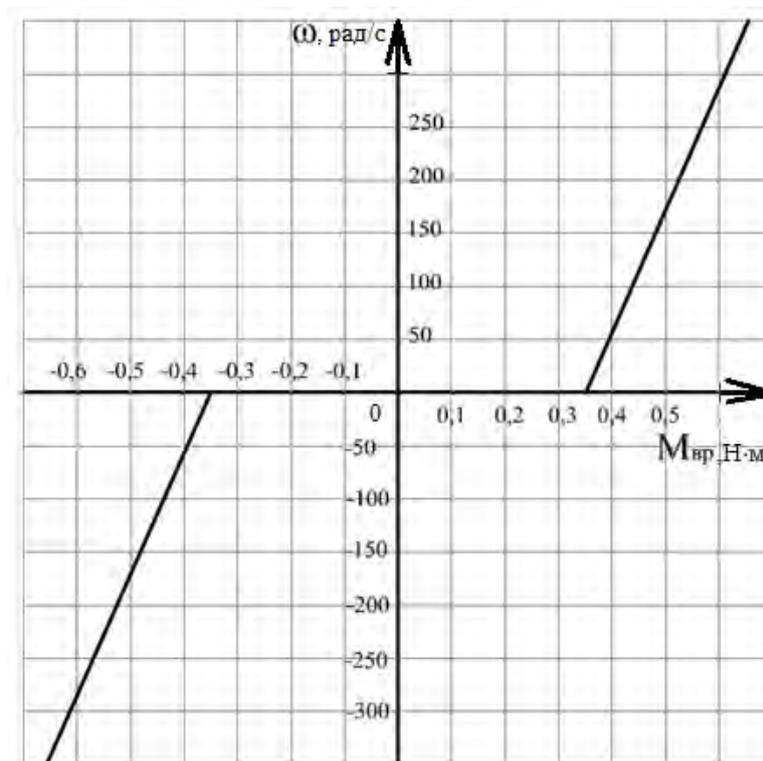


Рисунок 4.2 – Кривая потерь вращения $\Delta M_{ep} = f(\omega)$ двигателя ПС-42 при номинальном токе возбуждения

Полное внутреннее сопротивление двигателя МЗ можно приблизительно определить по паспортным данным, приняв потери в якоре, дополнительных полюсах и щётках равными примерно половине потерь двигателя МЗ

$$R_{\text{янд}} \cong 0,5 \cdot \frac{U_n}{I_n} \cdot (1 - \eta). \quad (4.3)$$

Диапазон регулирования скорости МЗ определяется как отношение максимальной скорости МЗ при номинальной нагрузке к минимальной скорости при тех же условиях.

При этом статизм для нижней характеристики из диапазона регулирования не должен превышать заданного значения

$$n = \frac{(\Delta\omega_n)_{\min}}{(\omega_0)_{\min}} \leq n_{\text{зад}}, \quad (4.4)$$

где $(\Delta\omega_n)_{\min} = (\omega_0)_{\min} - (\omega_n)_{\min}$ – отклонение скорости для нижней характеристики при номинальной нагрузке;

$(\omega_n)_{\min}$ – минимальное число оборотов вала двигателя при номинальной нагрузке.

По опытным данным таблицы 4.1 построить статические $\omega = f(I_n)$ и механические $\omega = f(M)$ характеристики и определить токи уставки и токи упора для различных напряжений сравнения.

Контрольные вопросы

1 Изобразить и пояснить внешние характеристики ЭМУ с поперечным полем. Назначение компенсационной обмотки ЭМУ.

2 Изобразить и пояснить экскаваторные механические характеристики электропривода «ЭМУ – Д».

3 Объяснить работу схемы (см. рисунок 4.1) в режиме стабилизации с отрицательной обратной связью по скорости.

4 Объяснить работу схемы в режиме форматирования экскаваторных характеристик.

5 Лабораторная работа № 5. Исследование системы асинхронного электропривода

Цель работы

1 Изучить статические естественные и искусственные МХ и ЭМХ асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АДКЗ), асинхронного двигателя с фазным ротором (АДФР).

2 Освоить методику расчёта естественных и искусственных МХ и ЭМХ, используя паспортные данные.



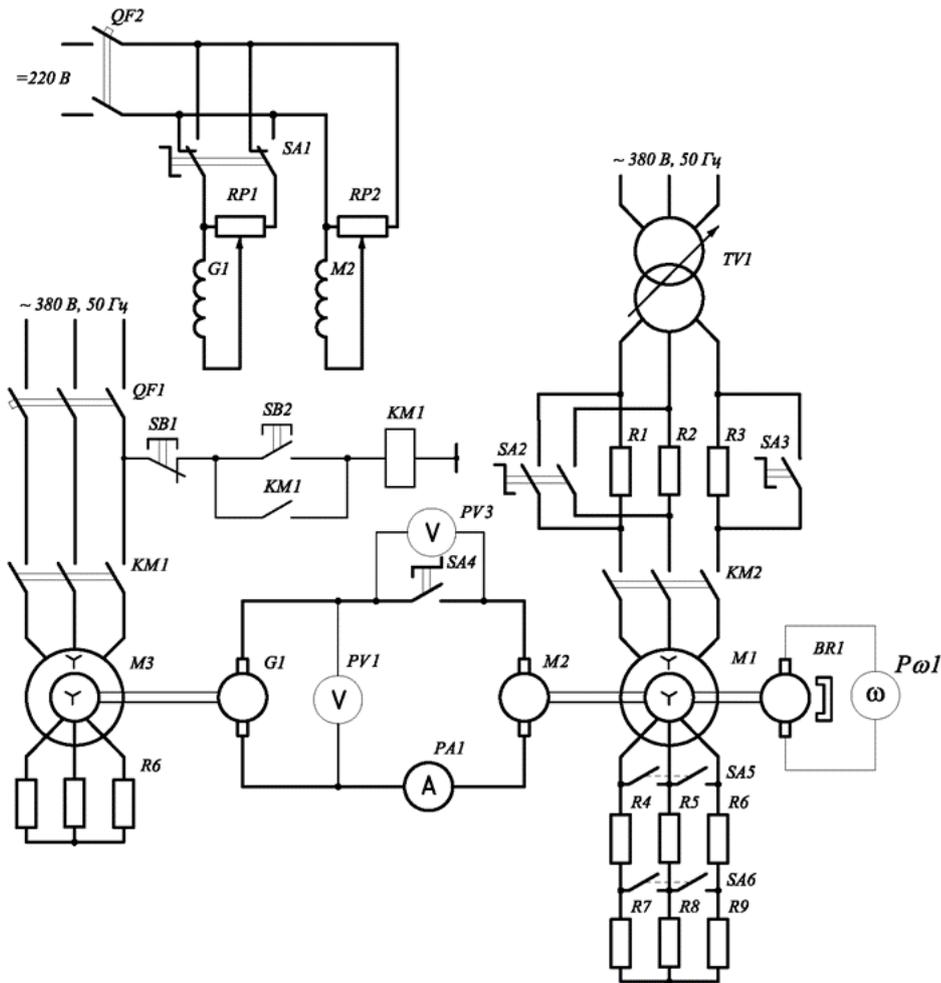


Рисунок 5.2 – Схема электрическая принципиальная лабораторной установки асинхронного двигателя с фазным ротором (АДФ)

5.2 Порядок проведения исследований

5.2.1 Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Эксперимент 1. Снятие естественной ЭМХ.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Подать на стенд напряжение питания с помощью автоматических выключателей QF1, QF2.

2 С помощью тумблеров SA1, SA2 замкнуть обмотки возбуждения электродвигателя M2 и генератора G1.

3 Переключатель SA3 поставить в положение «Y».

4 Установить с помощью реостата RP4 номинальный ток возбуждения машины M2, с помощью реостата RP5 минимальный ток в обмотках возбуждения генератора G1.

5 Включить приводной (гонный) двигатель M3 путём нажатия кнопки SB4. Постепенно увеличивая ток возбуждения генератора G1, разогнать исследуемый двигатель M1.

6 Включить исследуемый двигатель M1 путём нажатия кнопки SB4. Увеличивая ток в обмотке возбуждения генератора G1, разогнать его до скорости

1,5...1,8 · ω_0 . При этом исследуемый двигатель М1 работает в режиме генератора и приводится в движение машиной М2, работающей в двигательном режиме. После этого начать снятие естественной характеристики. Плавно уменьшая ток в обмотке возбуждения генератора G1 до нуля, снять ЭМХ исследуемого двигателя в генераторном, а затем в двигательных режимах.

Для дальнейшего увеличения нагрузки на валу исследуемого двигателя М1, а также для снятия МХ в режиме противовключения необходимо переключателем SA2 изменить полярность напряжения в обмотке возбуждения генератора G1, а затем, плавно увеличивая ток возбуждения машины М3, снять несколько точек характеристики.

Для построения МХ необходимо снять не менее 10...12 показаний приборов (например, задавая шаг изменения скорости М1 20 рад/с по прибору РW1).

При проведении опыта следует иметь в виду, что, снимая участок характеристики после M_{\max} , замеры по приборам надо производить быстро, чтобы избежать недопустимого перегрева обмоток статора токами, в несколько раз превышающими номинальное значение. Данные испытаний записать в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты исследований и расчетов АДКЗ

Наименование характеристики	Но-мер опыта	Данные опыта							Данные расчёта				
		U_1	I_1	P_1	I_{γ}	U_{γ}	ω	$R1$	$U_{\gamma} I_{\gamma}$	$I_{\gamma}^2 R_{\gamma}$	P	ΔM	M
		В	А	Вт	А	В	с ⁻¹	Ом	Вт	Вт	Вт	Н·м	Н·м
$U = 127 В$; $R_1 = 0$ ($2p = 6$; Q2 в положении «Y»)													
$U = 127 В$; $R_1 \neq 0$ симметрично ($2p = 6$; Q2 в положении «Y»)													
$U = 127 В$; $R_1 \neq 0$ несимметрично ($2p = 6$; Q2 в положении «Y»)													
$U = 127 В$; $R_1 = 0$ ($2p = 4$; Q2 в положении «Δ»)													

Эксперимент 2. Снятие искусственной ЭМХ при симметричном включении в фазы статора активных сопротивлений.

Повторить последовательность действий из эксперимента 1. При этом ввести в цепь статора симметрично нагрузку с помощью реостатов RP1...RP3.

Результаты исследований занести в таблицу 5.1.

Эксперимент 3. Снятие искусственной ЭМХ при несимметричном включении в фазы статора активных сопротивлений.

Повторить последовательность действий из эксперимента 1. При этом ввести в цепь статора несимметрично нагрузку с помощью реостатов RP1...RP3. Результаты исследований занести в таблицу 5.1.

Эксперимент 4. Снятие искусственной ЭМХ при изменении числа пар полюсов двигателя M1.

Повторить последовательность действий из эксперимента 1. При этом переключить соединение обмотки статора со звезды на треугольник с помощью переключателя SA3. Результаты исследований занести в таблицу 5.1.

5.2.2 Асинхронный двигатель с фазным ротором.

Эксперименты 1 и 2. Снятие искусственных ЭМХ $\omega = f(I_2')$ ($R1...R3 = 0$; $R4...R6 = 0$; $R7...R9 = 0$) для двух значений напряжения: $U_1 = 120\text{ В}$ и $U_1 = 80\text{ В}$.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Подать на стенд напряжение питания с помощью автоматических выключателей QF1, QF2.

2 С помощью тумблера SA1 замкнуть обмотку возбуждения электродвигателя M3.

3 С помощью тумблеров SA2...SA5 зашунтировать сопротивления в цепи статора и ротора исследуемого электродвигателя M1.

4 Установить с помощью реостата RP2 номинальный ток возбуждения машины M2, с помощью реостата RP1 минимальный ток в обмотке возбуждения электродвигателя M3.

5 Включить приводной (гонный) двигатель M4 путём нажатия кнопки SB4. Постепенно увеличивая ток возбуждения электродвигателя M3, разогнать исследуемый двигатель M1.

6. Включить исследуемый двигатель M1 путём нажатия кнопки SB2. Увеличивая ток в обмотке возбуждения электродвигателя M3, разогнать его до скорости $1,5...1,8 \cdot \omega_0$. При этом исследуемый двигатель M1 работает в режиме генератора и приводится в движение машиной M2, работающей в двигательном режиме. После этого начать снятие естественной характеристики. Плавно уменьшая ток в обмотке возбуждения электродвигателя M3 до нуля, снять ЭМХ исследуемого двигателя в генераторном, а затем в двигательных режимах.

Для дальнейшего увеличения нагрузки на валу исследуемого двигателя M1, а также для снятия МХ в режиме противовключения необходимо переключателем SA1 изменить полярность напряжения в обмотке возбуждения электродвигателя M3, а затем, плавно увеличивая ток возбуждения машины M3, снять несколько точек характеристики. Данные испытаний записать в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты исследований и расчетов АДФР

Наименование характеристики	Но- мер опыта	Данные опыта					Данные расчёта				
		U_1	I_1	I_2	U_2	ω	$U_2 I_2$	$I_2^2 R_2$	P	ΔM	M
		В	А	А	В	c^{-1}	Вт	Вт	Вт	Н · м	Н · м
$U_1 = 120\text{В}$ $R_3 = 0$ $R_4 = 0$ $R_5 = 0$											
$U_1 = 80\text{В}$ $R_3 = 0$ $R_4 = 0$ $R_5 = 0$											
$U_1 = 120\text{В}$ $R_3 \neq 0$ симметрично $R_4 = 0$ $R_5 = 0$											
$U_1 = 120\text{В}$ $R_3 \neq 0$ несимметрично $R_4 = 0$ $R_5 = 0$											
$U_1 = 120\text{В}$ $R_3 = 0$ $R_4 \neq 0$ $R_5 = 0$											
$U_1 = 120\text{В}$ $R_3 = 0$ $R_4 \neq 0$ $R_5 \neq 0$											

Эксперимент 3. Снятие искусственных ЭМХ $\omega = f(I_2')$ при симметричном включении в фазы статора активных сопротивлений ($R1...R3 \neq 0$, $U_1 = 127\text{В}$, $R4...R6 = 0$, $R7...R9 = 0$).

Повторить последовательность действий из эксперимента 1. При этом ввести в цепь статора добавочное сопротивление симметрично с помощью переключателей SA5. Результаты исследований занести в таблицу 5.2.



Эксперимент 4. Снятие искусственных ЭМХ $\omega = f(I_2')$ при несимметричном включении в фазы статора активных сопротивлений ($R1...R3 \neq 0$, $U_1 = 127\text{В}$, $R4...R6 = 0$, $R7...R9 = 0$).

Повторить последовательность действий из эксперимента 1. При этом ввести в цепь статора добавочное сопротивление несимметрично с помощью одного из переключателей SA2 и SA3. Результаты исследований занести в таблицу 5.2.

Эксперимент 5. Снятие искусственных ЭМХ $\omega = f(I_2')$ при симметричном включении в цепь ротора активных сопротивлений ($R1...R3 \neq 0$, $U_1 = 127\text{В}$, $R4...R6 = 0$, $R7...R9 = 0$).

Повторить последовательность действий из эксперимента 1. При этом ввести в цепь ротора добавочное сопротивление с помощью переключателя SA5. Результаты исследований занести в таблицу 5.2.

Эксперимент 6. Снятие искусственных ЭМХ $\omega = f(I_2')$ при симметричном включении в цепь ротора активных сопротивлений ($R1...R3 \neq 0$, $U_1 = 127\text{В}$, $R4...R6 = 0$, $R7...R9 = 0$).

Повторить последовательность действий из эксперимента 1. При этом ввести в цепь ротора добавочное сопротивление с помощью переключателя SA6. Данные испытаний записать в таблицу 5.2.

5.3 Обработка результатов исследований

Момент на валу исследуемого двигателя M1 можно найти по формуле

$$M = M_{\text{э}} \pm \Delta M, \quad (5.1)$$

где ΔM – момент потерь вращения. Зависимость $\Delta M = f(\omega)$ приведена на рисунке 5.3. Знак «+» соответствует двигательному режиму работы M1, знак «-» – генераторному и режиму противовключения;

$M_{\text{э}}$ – электромагнитный момент нагрузочной машины M2,

$$M_{\text{э}} = \frac{P}{\omega} = \frac{U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}}{\omega}, \quad (5.2)$$

где $U_{\text{я}}$ – напряжение на якоре двигателя M2 (прибор PV1), В;

$I_{\text{я}}$ – ток якоря M2 (прибор PA1), А;

$R_{\text{я}}$ – сопротивление якоря машины M2, Ом.



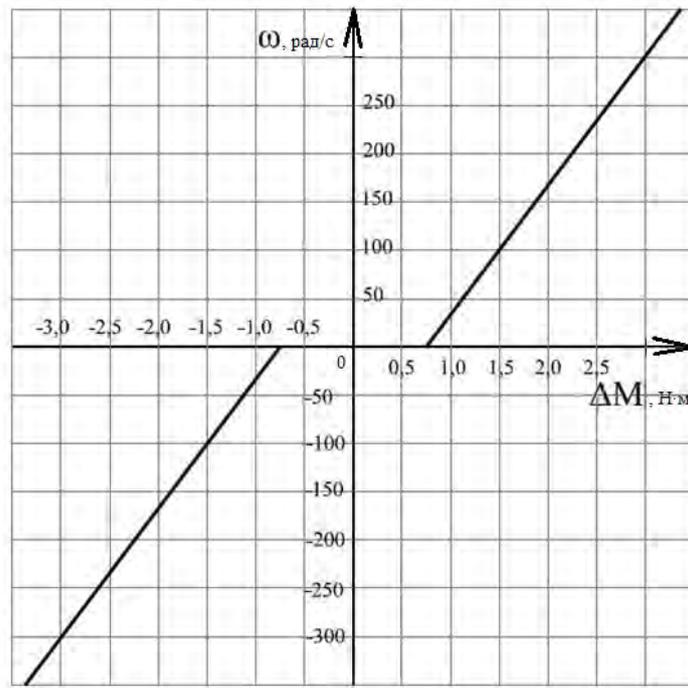


Рисунок 5.3 – Зависимость $\Delta M = f(\omega)$ для двигателя М1 при номинальном токе возбуждения

С достаточной точностью сопротивление обмотки якоря можно определить по паспортным данным М2:

$$R_{\text{я}} \cong \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{\text{я.ном}}}{I_{\text{я.ном}}} (1 - \eta_{\text{ном}}). \quad (5.3)$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 5.1.

По данным исследований построить ЭМХ и МХ и сравнить их с аналогичными расчётными. Все характеристики следует построить в одной системе координат $\omega = f(I)$ и $\omega = f(M)$. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Изобразить и проанализировать естественные МХ и ЭМХ АДКЗ в трех квадрантах.

2 Изобразить и проанализировать естественные МХ и ЭМХ АДФР в трех квадрантах.

3 Изобразить и проанализировать искусственные МХ и ЭМХ АД:

– при симметричном и несимметричном изменении напряжения на статоре;

– при симметричном и несимметричном введении активных сопротивлений в цепь статора и в цепь ротора;

– при симметричном и несимметричном введении индуктивных сопротивлений в цепь статора;

– при изменении числа пар полюсов.

4 Написать формулы Клосса, показать область их использования и пояснить величины, входящие в формулы.

5 Объяснить методику снятия МХ в работе и пояснить причину отличия опытных характеристик от рассчитанных по формулам Клосса.

6 Лабораторная работа № 6. Исследование микропроцессорной системы управления электроприводом

Цель работы

Получить навыки работы, изучить методы адресации процессора.

6.1 Подготовка к проведению экспериментальных исследований

Данные в микроЭВМ, реализованных на базе процессора К1801ВМ2 (рисунок 6.1), представляются байтом или словом, состоящим из двух байт. Доступное программисту адресное пространство включает в себя: регистр состояния программы RS (РСП); регистры общего назначения (РОН); оперативное (ОЗУ) или постоянное (ПЗУ) запоминающее устройство; регистры периферийных устройств.

RS	РОН	ОЗУ	ПЗУ	Регистры внешних устройств
	R0 R1 R2 R3 R4 R5 R6 R7	Векторы прерывания	Программы, данные	
Центральный процессор		000...377	400...157 777	160 000...177 777

Рисунок 6.1 – Адреса в К1801ВМ2

Центральный процессор содержит девять доступных программисту регистров. В регистре состояния программы хранятся признаки выполнения текущей команды (N, Z, V, C) и приоритета программных прерываний. Регистры общего назначения РОН служат для промежуточного хранения данных, указателей адресов и счетчиков циклов. Два РОН имеют специальное назначение: регистр R6 (SP – stack pointer) используется в качестве указателя стека УС, регистр R7 (PC – program counter) – как счетчик команд СК.

Максимальное адресное пространство памяти равно 64 Кбайт или 32-битных слов, что определено 16-разрядной шиной адресов-данных. Использование аппаратных средств (диспетчера памяти) позволяет расширить адресное пространство за счет страничной организации памяти. Первые 28 бит слов отведены для оперативного или постоянного запоминающего устройства. Начальные 256 адресов (000...377) являются системной областью памяти и предназначены для записи векторов прерывания. Последние 4 бита слов адресного пространства отведены под адреса внешних устройств.

Базовую систему команд микроЭВМ типа «Электроника 60» (таблица Б.1)

Три бита, отведенные под код адресации, позволяют реализовать 8 способов адресации. Краткое их описание дано в таблице А.1.

Многообразие методов адресации позволяет обеспечить эффективную работу с данными и адресами. Далее приведены примеры записи команд (коды) в сочетании с различными методами адресации.

Способ 1 (код 0) – Регистровый (Rn).

Пример кода:

400/010102 MOV R1, R2+;

Означает перегрузить содержимое регистра R1 в регистр R2 (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Изменение регистра

До операции	После операции
R1/5	R1/5
R2/1000	R2/5

Способ 2 (код 1) – Косвенный регистровый (@Rn или (Rn)).

Пример кода:

400/011102 MOV @R1+, R2;

Означает перегрузить содержимое ячейки памяти, адрес которой находится в регистре R1, в регистр R2 (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Изменение регистра

До операции	После операции
R1/1000	R1/1000
1000/3	1000/3
R2/2000	R2/3

Способ 3 (код 2) – Автоинкрементарный ((Rn)+).

Пример кода:

400/012112 MOV (R1)+, (R2);

Означает перегрузить содержимое ячейки памяти, адрес которой указан в R1, в ячейку памяти, адрес которой указан в R2.

После операции увеличить указатель R1 на 2 (таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Изменение регистра

До операции	После операции
R1/1000	R1/1002
1000/7	1000/7
R2/2000	R2/2002
2000/3000	2000/7

Способ 4 (код 3) – Косвенный автоинкрементный (@(Rn)+).

Пример кода:

400/013122 MOV @(R1)+, (R2)+;



Означает перегрузить содержимое ячейки памяти, адрес адреса которой находится в R1, в ячейку памяти, адрес которой находится в R2.

После операции содержимое R1 и R2 увеличивается на 2 (таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Изменение регистра

До операции	После операции
R1/1000	R1/1002
1000/2000	1000/2000
2000/12	2000/12
R2/3000	R2/3002
3000/4000	3000/12

Способ 5 (код 4) – Автодекрементный $-(Rn)$.

Пример кода:

400/014132 MOV $-(R1),@(R2)+$;

Означает содержимое ячейки памяти, адрес которой находится как содержимое R1, уменьшенное на 2, перегрузить в ячейку памяти, адрес адреса которой указан в R2.

После операции указатель R2 увеличивается на 2 (таблица 6.5).

Таблица 6.5 – Изменение регистра

До операции	После операции
R1/1000	R1/776
776/16	776/16
R2/2000	R2/2002
2000/3000	2000/3000
3000/5	3000/16

Способ 6 (код 5) – Косвенный автодекрементный $@@-(Rn)$.

Пример кода:

400/015132 MOV $@@-(R1), R2$;

Означает перегрузить содержимое ячейки памяти, адрес адреса которой равен содержимому R1, уменьшенному на 2, в регистр R2.

Указатель R1 уменьшается на 2 до выполнения операции (таблица 6.6).

Таблица 6.6 – Изменение регистра

До операции	После операции
R1/1000	R1/776
776/3000	776/3000
3000/10	3000/10
R2/4000	R2/10

Способ 7 (код 6) – Индексный $X(Rn)$.

Пример кода:

400/016132 MOV 1000(R1), $@(R2)+$;

Означает перегрузить содержимое ячейки памяти 402/ 1000, адрес которой равен сумме содержимого R1 и смещения 1000, в ячейку памяти, адрес адреса которой указан в R2.

После операции указатель R2 увеличивается на 2 (таблица 6.7).

Таблица 6.7 – Изменение регистра

До операции	После операции
402/1000	402/1000
R1/1000	R1/1000
2000/15	2000/15
R2/4000	R2/40002
4000/5000	4000/5000
5000/10	5000/15

Способ 8 (код 7) – Косвенный индексный (@X(Rn)).

Пример кода:

400/017132 MOV @100(R1), R2;

402/100;

Означает перегрузить содержимое ячейки памяти, адрес адреса которой равен сумме содержимого R1 и смещения 100, в регистр R2 (таблица 6.8).

Таблица 6.8 – Изменение регистра

До операции	После операции
402/100	402/100
R1/1000	R1/1000
1100/2000	1100/2000
2000/10	2000/12
R2/0	R2/10

Методы адресации через счетчик команд (R7) представлены ниже.

Метод 1 (код 2) – Непосредственный (#n).

Пример кода:

400/012731 MOV # 10R1;

402/000010;

Означает загрузить число 10 в регистр R1 из ячейки памяти (таблица 6.9).

Таблица 6.9 – Изменение регистра

До операции	После операции
402/10	402/10
R1/1000	R1/10

Метод 2 (код 3) – Абсолютный (@#A).

Пример кода:

400/013721 MOV @#1000, (R1)+;

402/100;



Означает перегрузить содержимое ячейки памяти с адресом 1000 в ячейку памяти, адрес которой указан в регистре R1.

После выполнения операции указатель R1 увеличивается на 2 (таблица 6.10).

Таблица 6.10 – Изменение регистра

До операции	После операции
402/1000	402/10
1000/7	1000/7
R1/2000	R1/2002
2000/0	2000/7

Метод 3 (код 6) – Относительный (X(R7) или A).

Пример кода:

400/016711 MOV 1000(R7), @R1;

402/1000;

404/0;

Означает перегрузить содержимое ячейки, адрес которой определен по отношению к следующей команде со смещением на 1000, в ячейку памяти, адрес которой находится в R1 (таблица 6.11).

Таблица 6.11 – Изменение регистра

До операции	После операции
402/1000	402/1000
1404/5	1404/5
R1/3000	R1/3000
3000/4000	3000/5

Метод 4 (код 7) – Косвенный относительный (@X(R7) или @A)

Пример кода:

400/017701 MOV @100(R7), R1;

402/100;

Означает перегрузить содержимое ячейки памяти, адрес адреса которой определен по отношению к следующей команде со смещением на 100, в регистр R1 (таблица 6.12).

Таблица 6.12 – Изменение регистра

До операции	После операции
402/1000	402/1000
1404/5000	1404/5000
5000/1	5000/1
R1/0	R1/1

6.2 Порядок проведения исследований

Ввод данных осуществляется в среде симулятора 1801. После запуска программы в меню «Режим» выбрать пункт @1801BM2@. Ввод программы в машинных кодах производится с помощью следующих функциональных клавиш:

«/» – открыть ячейку. По этой команде на экран дисплея выводится содержимое ячейки памяти, РОН, RS. *Пример* – 1000/000000 11524, где 1000 – восьмеричный адрес ячейки памяти, которая должна быть открыта; 011524 – новое содержимое ячейки с адресом 1000;

«Enter» – закрыть ячейку и открыть следующую;

«Backspace» – закрыть ячейку и выйти на исходный режим связи с пультом;

«G» – запуск. По данной команде осуществляет запуск программы с адреса, который был введен до команды G. *Пример* – *1000G.

6.3 Обработка результатов исследований

Для заданных команд и сочетаний методов адресации составить программы их выполнения в машинных кодах, осуществить их ввод и проверку.

Проанализировать изменения, внесённые в первоначальный текст программы.

Контрольные вопросы

1 Указать отличия в формате и выполнении безадресных, одноадресных и двухадресных команд.

2 Какие методы адресации через РОН эквивалентны абсолютному методу адресации через СК?

3 Какие особенности вычисления исполнительных адресов имеются при использовании относительного и косвенного относительного методов адресации через СК?

4 Есть ли эквивалент непосредственному методу адресации?

5 Какие методы адресации целесообразно использовать при работе с массивами информации?

Список литературы

- 1 **Москаленко, В. В.** Электрический привод: учебник / В. В. Москаленко. – Москва: ИНФРА-М, 2015. – 368 с.: ил.
- 2 **Онищенко, Г. Б.** Электрический привод: учебник / Г. Б. Онищенко. – 2-е изд., стер. – Москва: Академия, 2008. – 288 с.: ил.
- 3 **Фираго, Б. И.** Векторные системы управления электроприводами: учебное пособие / Б. И. Фираго, Д. С. Васильев. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 159 с.: ил.
- 4 **Фираго, Б. И.** Расчеты по электроприводу производственных машин и механизмов: учебное пособие / Б. И. Фираго. – Минск: Техноперспектива, 2012. – 639 с.: ил.
- 5 Микропроцессоры: учебник в 3 кн. Кн. 2: Средства сопряжения. Контролирующие и информационные системы / В. Д. Вернер [и др.]; под ред. Л. Н. Преснухина. – Москва: Высшая школа, 1988. – 383 с.
- 6 **Ключев, В. И.** Теория электропривода: учебник / В. И. Ключев. – Москва: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.: ил.
- 7 **Ковчин, С. А.** Теория электропривода: учебник / С. А. Ковчин, Ю. А. Сабинин. – Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 2000. – 496 с.: ил.
- 8 **Нестерев, П. И.** Микропроцессоры: учебник в 3 кн. Кн. 1: Архитектура и проектирование микроЭВМ. Организация вычислительных процессов / П. И. Нестерев [и др.]; под ред. Л. Н. Преснухина. – Москва: Высшая школа, 1988. – 495 с.
- 9 **Уокерли, Дж.** Архитектура и программирование микроЭВМ: в 2 кн. / Дж. Уокерли. – Москва: Мир, 1984. – Кн 2. – 341 с.
- 10 **Фираго, Б. И.** Теория электропривода: учебное пособие / Б. И. Фираго. – Минск: Техноперспектива, 2004. – 527 с.: ил.
- 11 **Чиликин, М. Г.** Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – Москва: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
- 12 **Чиликин, М. Г.** Теория автоматизированного электропривода: учебное пособие / М. Г. Чиликин, В. И. Ключев, А. С. Сандлер. – Москва: Энергия, 1979. – 616 с.: ил.



Приложение А (справочное)

Таблица А.1 – Способы адресации процессора КР1801ВМ2

Метод адресации			Описание
Обозначение	Код	Наименование	
Rn	0	Прямой	Операнд находится в регистре
'@Rn или (Rn)	1	Косвенный	В регистре Rn находится исполнительный адрес операнда
(Rn)+	2	Автоинкрементный	В регистре Rn находится исполнительный адрес адреса операнда. После выполнения команды содержимое Rn увеличивается на 2 для команд со словами или на 1 для байтовых операций
@(Rn)+	3	Косвенный автоинкрементный	В регистре Rn находится адрес операнда. После выполнения команды содержимое Rn увеличивается на 2
-(Rn)	4	Автодекрементный	До выполнения команды содержимое Rn уменьшается на 2 (на 1 для байтовых команд) и используется как адрес операнда
@-(Rn)	5	Косвенный автодекрементный	До выполнения команды содержимое Rn уменьшается на 2 и используется как адрес адреса операнда
X(Rn)	6	Индексный	Адрес операнда находится как сумма индекса X и содержимого регистра Rn. Индекс X размещается в следующем слове команды
@X(Rn)	7	Косвенный индексный	Адрес адреса операнда находится как сумма индекса X и содержимого регистра Rn. Индекс X размещается в следующем слове команды
<i>Методы адресации через счетчик команд (R7)</i>			
#n	2	Непосредственный	Операнд n помещается в следующем слове команды
@#A	3	Абсолютный	Адрес (A) операнда помещается в следующее слово команды
A или X(R7)	6	Относительный	Значение выражения A определяет адрес операнда, который определяется как сумма смещения X и содержимого счетчика команд (адреса следующей команды). Смещение X размещается в следующем слове команды
@A или @X(R7)	7	Косвенный относительный	Значение выражения A определяет адрес адреса операнда, который определяется как сумма смещения X и содержимого счетчика команд (адреса следующей команды). Смещение X размещается в следующем слове команды



Приложение Б (справочное)

Таблица Б.1 – Список команд процессора KP1801BM2

Команда		Признак	Результат операции	Описание
Мнемоника	Код	N Z V C		
1	2	3	4	5
<i>Одноадресные команды</i>				
CLR(B)	*050DD		$(d) \leftarrow 0$	Очистка
COM(B)	*051DD		$(d) \leftarrow \underline{(d)}$	Инвертирование
INC(B)	*052DD		$(d) \leftarrow (d) + 1$	Прибавление единицы
DEC(B)	*053DD		$(d) \leftarrow (d) - 1$	Вычитание единицы
NEG(B)	*054DD		$(d) \leftarrow \underline{(d)} + 1$	Дополнительный код
TST(B)	*057DD	++00	ССП $\leftarrow (d) \leftarrow (d)$	Проверка
ASR(B)	*062DD	++++	$(d) \leftarrow (d)/2$	Арифметический сдвиг вправо
ASL(B)	*063DD	++++	$(d_{n-1}) \leftarrow (d_n),$ $(d_{15}) \leftarrow C, C \leftarrow (d_0)$	Арифметический сдвиг влево
ROR(B)	*060DD	++++	$(d_n) \leftarrow (d_{n-1}),$ $(d_0) \leftarrow C, C \leftarrow (d_{15})$	Циклический сдвиг вправо
ROL(B)	*061DD	++++	$(d) \leftarrow \underline{(d)} + C$	Циклический сдвиг влево
ADC(B)	*055DD	++++	$(d) \leftarrow \underline{(d)} - C$	Прибавление переноса
SBC(B)	*056DD	++++	$(d) \leftarrow 0$, если $N = 0$	Вычитание переноса
SXT	0067DD	-+0-	$(d) \leftarrow 1$, если $N = 1$	Расширение знака
SWAB	0003DD	++00		Перестановка байтов
MFPS	1067DD	++0-	$(d) \leftarrow$ ССП	Чтение ССП
MTPS	1064SS	++++	ССП $\leftarrow (d)$	Запись ССП
<i>Двухадресные команды</i>				
MOV(B)	*1SSDD	++0-	$(d) \leftarrow (s)$	Пересылка
CMP(B)	*2SSDD	++++	ССП $\leftarrow (d) - (s)$	Сравнение
ADD	06SSDD	++++	$(d) \leftarrow (d) + (s)$	Сложение
SUB	16SSDD	++++	$(d) \leftarrow (d) - (s)$	Вычитание
BIT(B)	*3SSDD	++0-	ССП $\leftarrow (d) \wedge (s)$	Проверка разрядов
BIC(B)	*4SSDD	++0-	$(d) \leftarrow (d) \wedge (s)$	Очистка разрядов
BIS(B)	*5SSDD	++0-	$(d) \leftarrow (d) \vee (s)$	Логическое сложение
XOR	074RDD	++0-	$(d) \leftarrow (d) \vee (s)$	Исключающее ИЛИ
<i>Команды расширенной арифметики</i>				
MUL	070RSS	++0+	$R, R + 1 \leftarrow R * (s)$	Умножение
DIV	071RSS	++++	$R, R + 1 \leftarrow R, R + 1 / (s)$	Деление
ASH	072RSS	++++	$R \leftrightarrow R$ на NN, $NN = (s5 \dots s0)$	Арифметический сдвиг
ASCH	073RSS	++++	$R, R + 1 \leftarrow R, R$ на NN, $NN = (s5 \dots s0)$	Арифметический сдвиг двойного слова
FADD	07500R	++00	$(R) + 4, (R) + 6 \leftarrow (R) + 6, (R) + 4 + (R), (R) + 2$	Сложение с плавающей запятой
FSAB	07501R	++00	$(R) + 4, (R) + 6 \leftarrow (R) + 6, (R) + 4 + (R), (R) + 2$	Вычитание с плавающей запятой



Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4	5
FMUL	07502R	++00		Умножение с плавающей запятой
FDIV	07503R	++00		Деление с плавающей запятой
<i>Команды управления программой</i>				
BR	0004XXX		$PC \leftarrow PC + 2 * XXX$	Ветвление безусловное
BNE	0010XXX		Если $Z = 0$	Ветвление, если не равно нулю
BEQ	0014XXX		Если $Z = 1$	Ветвление, если равно нулю
BPL	1000XXX		Если $N = 0$	Ветвление, если плюс
BMI	1004XXX		Если $N = 1$	Ветвление, если минус
BVC	1020XXX		Если $V = 0$	Ветвление, если нет переполнения
BVS	1024XXX		Если $V = 1$	Ветвление, если переполнение
BCC	1030XXX		Если $C = 0$	Ветвление, если нет переноса
BCS	1034XXX		Если $C = 1$	Ветвление, если перенос
BGE	0020XXX		Если $N \setminus / V = 0$	Ветвление, если $>$ или $=$ нулю
BLT	0024XXX		Если $N \setminus / V = 1$	Ветвление, если $<$ нуля
BGT	0030XXX		Если $N \setminus / V = 0$	Ветвление, если $>$ нуля
BLE	0034XXX		Если $Z \vee (N \setminus / V) = 0$	Ветвление, если $<$ или $=$ нулю
BHI	1010XXX		Если $C = 0$ и $Z = 0$	Ветвление, если больше
BLOS	1014XXX		Если $C \vee Z = 1$	Ветвление, если $<$ или $=$
BHIS	1030XXX		Аналог BBC	Ветвление, если $>$ или $=$
BLO	077RNN		Аналог BSC	Ветвление, если меньше
SOB	0001DD		$R \leftarrow R - 1, PC \leftarrow PC - 2 * NN$, если $Z = 0$	Вычитание единицы и ветвление
JMP	0001DD		$PC \leftarrow (d)$	Безусловный переход
JSR	004RDD		$\uparrow(SP) \leftarrow R, R \leftarrow PC, PC \leftarrow (d)$	Обращение к подпрограмме
RTS	00020		$PC \leftarrow R, R \leftarrow (SP) \downarrow$	Возврат из подпрограммы
MARK	0064NN		$(SP) \leftarrow PC + 2 * NN, PC \leftarrow R5, R5 \leftarrow (SP) \uparrow$	Восстановление стека
<i>Команды прерывания программы</i>				
EMP	104000-104377	ССП \leftarrow (32)	$\uparrow SP \leftarrow$ ССП, $\uparrow SP \leftarrow PC, PC \leftarrow$ (30)	Командное прерывание для системных программ
TRAP	104400-104777	ССП \leftarrow (36)	$\uparrow SP \leftarrow$ ССП, $\uparrow SP \leftarrow PC, PC \leftarrow$ (34)	Командное прерывание
IOT	000004	ССП \leftarrow (22)	$\uparrow SP \leftarrow$ ССП, $\uparrow SP \leftarrow PC, PC \leftarrow$ (20)	Командное прерывание для ввода-вывода
BPT	000003	ССП \leftarrow (16)	$\uparrow SP \leftarrow$ ССП, $\uparrow SP \leftarrow PC, PC \leftarrow$ (14)	Командное прерывание для отладки
RTI	000002	ССП \leftarrow (SP) \downarrow	$PC \leftarrow (SP) \downarrow$	Возврат из прерывания
RTT	000001	ССП \leftarrow (SP) \downarrow	$PC \leftarrow (SP) \downarrow$	Возврат из прерывания
<i>Команды управления машиной</i>				
HALT	0000000			Остановка
WAIT	0000001			Ожидание прерывания



Окончание таблицы Б.1

1	2	3	4	5
<i>Команды изменения признаков</i>				
CLN	000250	0 - - -		Очистка N
CLZ	000244	- 0 - -		Очистка Z
CLV	000242	- - 0 -		Очистка V
CLC	000241	- - - 0		Очистка C
CCC	000257	0 0 0 0		Очистка N, Z, V, C
SEN	000270	1 - - -		Установка N
SEZ	000264	- 1 - -		Установка Z
SEV	000262	- - 1 -		Установка V
SEC	000261	- - - 1		Установка C
SCC	000277	1 1 1 1		Установка N, Z, V, C

