

## РАБОТА 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ - АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

#### Цель работы

Исследование регулировочных свойств, статических характеристик и энергетики установившихся режимов работы асинхронного двигателя, получающего питание от преобразователя частоты, определение основных показателей регулирования координат, коэффициентов структурной схемы системы.

#### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки (см. п. 4.1 и 4.2 и Приложение П1).
2. Выполнить предварительный расчет параметров системы, обеспечивающих работу в заданной точке. Рассчитать основные показатели регулирования скорости в системе ПЧ – АД.
3. Настроить систему электропривода для выполнения исследований – см. п.4.1.1 данной работы.
4. В настроенной системе электропривода **на холостом ходу** снять регулировочные и статические характеристики системы

$$n, M, U_1, I_1, P_1, U_C, I_C, P_C = f(U_{ВХ}).$$

Повторить п. 4.1.1 **при поддержании постоянства тока** статора  $I_{1Зад}$ .  
Рассчитать и построить зависимости КПД и коэффициента мощности двигателя  $\eta_d, k_{md} = f(M)$  и системы от момента на валу  $\eta_{пч-ад}, k_m = f(M)$ .

5. Определить при заданном токе статора  $I_{1Зад}$  значения **максимальной  $\omega_{макс}$  и минимальной  $\omega_{мин}$**  скоростей двигателя.
6. В настроенной системе электропривода при неизменном напряжения задания  $U_{ВХ} = const$  снять параметры электропривода и механические характеристики системы, обеспечивающие при заданном моменте работу электропривода **максимальную  $\omega_{макс}$  и минимальную  $\omega_{мин}$**  скорости:

$$n, I_1, U_1, P_1, U_C, I_C, P_C = f(M_C).$$

Рассчитать и построить зависимости КПД и коэффициента мощности двигателя  $\eta_d, k_{md} = f(M)$  и системы от момента на валу  $\eta_{пч-ад}, k_m = f(M)$ .

7. Настроить параметр преобразователя, отвечающий за **форсировку напряжения**, и снизить минимальную скорость до заданного преподавателем значения  $\omega_{минзад}$ .

Снять механическую характеристику минимальной скорости.

8. Настроить параметр преобразователя, отвечающий за **компенсацию скольжения**, и снизить минимальную скорость до заданного преподавателем значения  $\omega_{минзад}$ .

Снять механическую характеристику минимальной скорости.

9. Построить механические характеристики минимальной скорости по п. 6, 7, 8 и сравнить жесткости характеристик и энергетические показатели.

## ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

### 1 Предварительные расчеты

По данным двигателя М1 (см. Приложение П3 и Приложение П4):

– рассчитать частоту и напряжение статора, обеспечивающие работу двигателя в заданной точке (для своего варианта), и построить механическую и электромеханические характеристики, проходящие через заданную точку. Определить КПД и коэффициент мощности двигателя и системы ПЧ – АД в заданной точке;

– рассчитать диапазон регулирования скорости в разомкнутой системе ПЧ – АД.

### 2 Описание лабораторной установки

2.1 Схема установки приведена на рисунке 4.5.

2.1.1 При подготовке к лабораторной работе следует выяснить номер стенда и тип преобразователя частоты, на котором предстоит выполнять исследования.

Технические данные преобразователей частоты приведены в Приложении П3, инструкции по работе с преобразователями – в Приложениях:

П5 – OMRON Sysdrive 3G3FV-A4055 (стенд №10);

П6, П7 – UNIDRIVE SP 2401 (стенд №3);,

П8 – SINAMICS S120 (стенд №4).

Изучить принцип работы асинхронного транзисторного электропривода и конструкцию преобразователя частоты: Omron 3G3FV-A4055:

- составные части;
- схему силовой цепи;
- схему управления;
- пульт управления ЦПУ.

2.1.2 Преобразователь частоты UZ1 выполнен по традиционной схеме со звеном постоянного тока с неуправляемым выпрямителем. В цепи постоянного тока установлен конденсатор  $C_{\Phi}$  фильтра, индуктивности фильтра (дрессели  $L_{\Phi}$ ) включены в цепи переменного тока на входе выпрямителя.

Автономный инвертор реализован на базе транзисторной трехфазной мостовой схемы с мостом обратных диодов и обеспечивает пропорциональное регулирование частоты и амплитуды напряжения на статоре. Амплитуда напряжения на статоре двигателя обеспечивается ШИМ – преобразованием постоянного напряжения на конденсаторе  $C_{\Phi}$  фильтра. Блоки управления выпрямителем и инвертором на схеме не показаны.

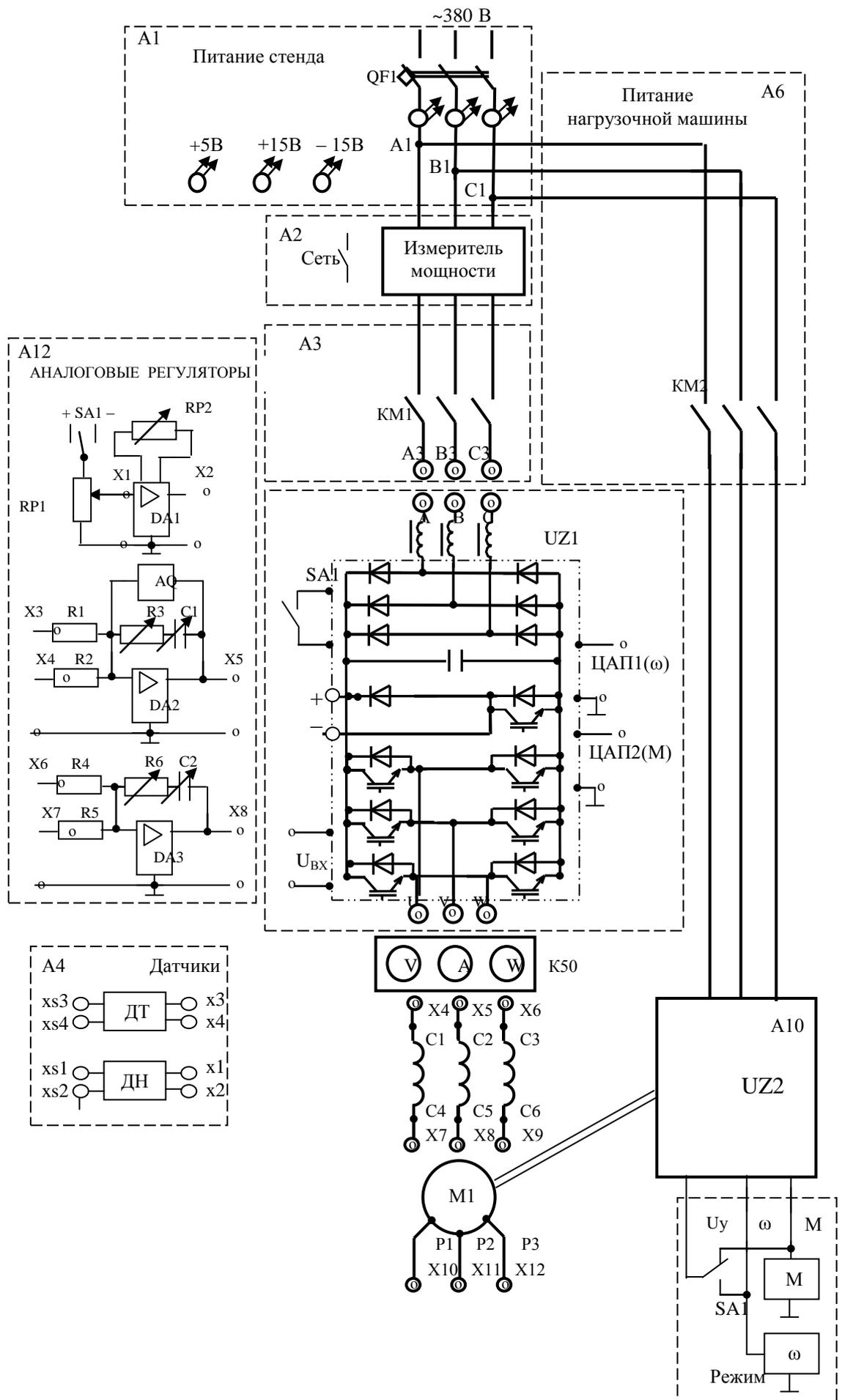


Рисунок 4.5 Схема лабораторной работы ПЧ – АД

Частота напряжения на выходных зажимах преобразователя частоты  $U$ ,  $V$ ,  $W$  зависит от напряжения управления преобразователем  $U_{ВХ}$ , которое формируется аналоговыми регуляторами модуля А12. Регулирование выполняется потенциометром  $RP1$ , выход которого подключается через датчик интенсивности  $DA1$  к входу операционного усилителя  $DA2$ , выходное напряжение которого и является напряжением управления  $U_{ВХ}$ .

Статорные обмотки соединяются в звезду и подключаются к выходным зажимам преобразователя частоты.

2.2 Регулирование амплитуды напряжения на статоре двигателя выполняется функциональным преобразователем в зависимости от частоты и программируется микропроцессорным устройством преобразователя перед включением в работу. При увеличении напряжения переключателем  $RP1$  повышается напряжение управления преобразователем  $U_{ВХ}$ , частота и амплитуда напряжения на статоре двигателя увеличиваются.

При торможении асинхронный двигатель работает в режиме рекуперативного торможения, получает реактивную энергию от конденсатора  $C$ , а избыточную активную энергию выделяет в элементах инвертора и на дополнительном резисторе устройства слива энергии. Таким образом, система ПЧ – АД работает в режиме инверторного торможения.

2.3 Микропроцессорное устройство преобразователя частоты обеспечивает выбор различных моделей частотного и векторного управления, позволяет по желанию пользователя формировать статические и динамические характеристики электропривода. При выполнении данной лабораторной работы будут исследованы различные законы  $U/f$  регулирования, компенсация скольжения, форсировка напряжения и т.п.

2.4 Нагрузка на валу двигателя  $M1$  обеспечивается нагрузочным устройством – см. п. 4.2.2.

Подключение схемы электропривода к источникам силового напряжения производится в следующей последовательности:

- включением автомата  $QF$  (на схеме не показан) стенд подключается к сети лаборатории;
- автоматом  $QF1$  модуля А1 подается питание на цепи стенда;
- нагрузочное устройство включается контактором  $KM2$  (кнопкой «Пуск» модуля А6);
- преобразователь частоты  $UZ1$  (модуль А7) подключается на сетевое напряжение контактором  $KM1$  (кнопкой «Пуск» модуля А3).

Отключение силовых цепей производится в обратной последовательности.

### **3 Настройка системы электропривода**

3.1 Собрать схему лабораторной установки (см. рисунок 4.5).

3.1.1 Подключить преобразователь  $UZ1$  к выходным клеммам контактора  $KM1$ . Выходные клеммы  $UZ1$  через комплект  $K50$  подключить к статору двигателя. Обмотку статора соединить в звезду, а обмотку ротора замкнуть накоротко.

3.1.2 Включением автомата QF на боковой стенке стенда подключается трансформатор TV (см. рисунок 4.5). На боковой стенке стенда включаются сигнальные лампы нахождения стенда под напряжением.

3.1.3 Автоматом QF1 на модуле A1 подается питание на силовые цепи стенда. Включаются сигнальные лампы на модуле A1. Подается напряжение на цепи собственных нужд: питание операционных усилителей, задающих потенциометров и цифровых измерительных приборов.

Тумблером «Сеть» на модуле A2 включить в работу «Измеритель мощности».

3.1.4 Настроить аналоговые регуляторы модуля A12 (см. п. 2.2.3.3).

В настроенной системе при плавном изменении потенциометра RP1 из крайнего левого до крайнего правого положения обеспечить плавное изменение напряжения на входе преобразователя от  $U_{ВХ} = 0$  до максимального значения  $U_{ВХ} = 10$  В.

3.2 Проверка работы преобразователя UZ1 и двигателя M1

3.2.1 Для проверки на холостом ходу:

– установить задающий потенциометр RP1 на модуле A14 нагрузочного устройства в нулевое (крайнее левое) положение и на модуле A6 кнопкой «Пуск» включить питание нагрузочного устройства (включается контактор KM2, горит красный светодиод);

– установить потенциометр RP1 модуля A12 «Аналоговые регуляторы» в крайнее левое положение. Напряжение управления преобразователя в этом случае  $U_{ВХ} = 0$ . Задатчик интенсивности установить в режим минимального ускорения (потенциометр RP2 – в крайнее правое положение);

– включить контактор KM1 питания преобразователя UZ1 кнопкой «Пуск» модуля A3. При включенном питании преобразователя UZ1 горит красный светодиод над кнопкой «Пуск», сигнализирующий о включенном состоянии контактора KM1.

3.2.2 Подготовить к работе преобразователь частоты.

Изучить Приложение П5...П8 для своего типа преобразователя частоты.

Не нажимая кнопку «RUN», изучить работу пульта управления ЦПУ, научиться регулировать частоту и редактировать параметры.

Проверить установленные параметры для исследования разомкнутой системы и при необходимости отредактировать их.

Установить по указанию преподавателя максимальное напряжение  $U_{max}$  на выходе преобразователя (рисунок 4.6).

3.2.3 Проверка работы на холостом ходу:

– включить кнопку SA1 «Разрешение» на модуле A7 тиристорного преобразователя;

– при изменении задающего напряжения потенциометром RP1 проверить функционирование преобразователя UZ1 и работу двигателя M1, наблюдая изменение частоты  $f_1$  на экране дисплея, выходного напряжения  $U_1$ , тока статора  $I_1$  с помощью комплекта K50 и изменение угловой скорости вала  $\omega$ . Проверить выполнение электроприводом регулировочной

характеристики  $U_1 / f_1$ ; (см. рисунок 4.6)

– установить потенциометром RP1 скорость двигателя  $\omega = (0,2 \dots 0,3) \cdot \omega_{OH}$ .

### 3.2.4 Проверка работы электропривода под нагрузкой.

Потенциометром RP1 нагрузочного устройства изменять нагрузку на валу двигателя, контролируя момент, ток статора, скорость двигателя;

Значения всех параметров в первом квадранте должны быть должны быть положительными. Если это условие не выполняется, снизить частоту,

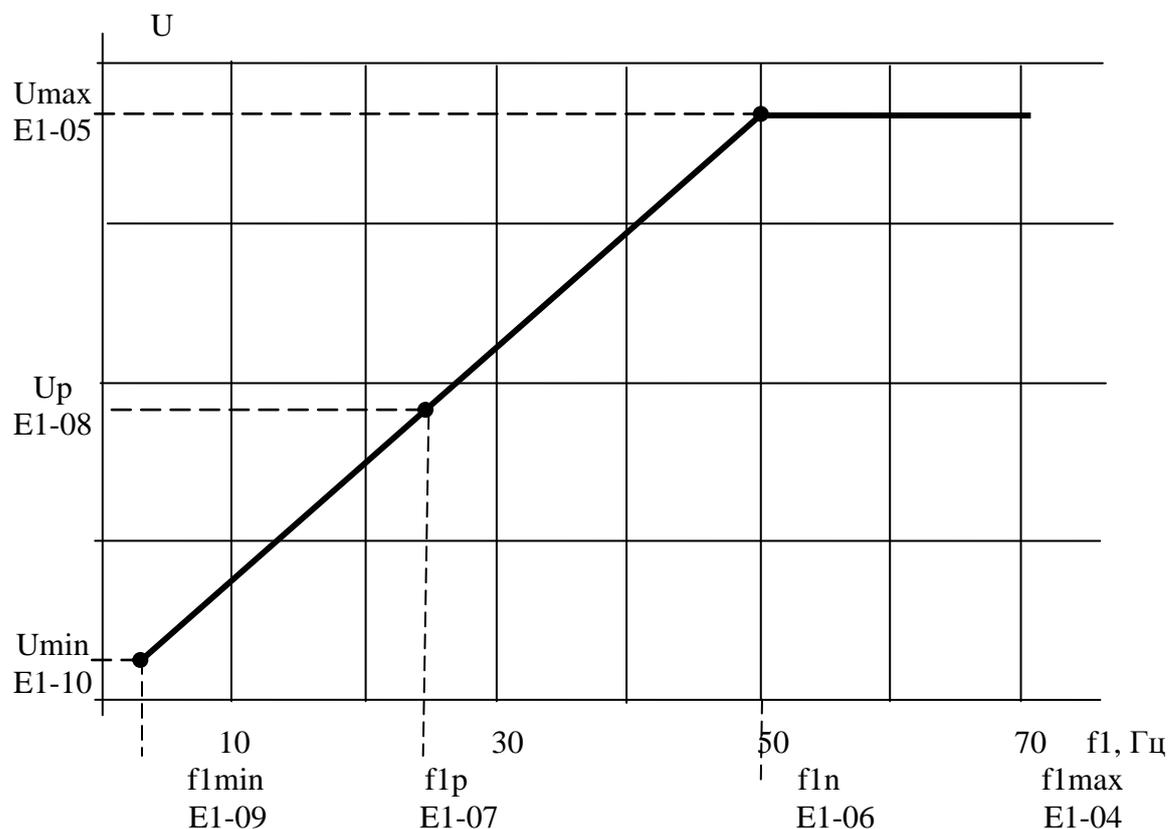


Рисунок 4.6 Регулировочная характеристика  $U_1 / f_1$  (OMRON)

остановить двигатель, отключить контактор КМ1 и произвести необходимые переключения в силовых цепях и цепях управления.

При номинальной частоте нагрузить двигатель моментом  $M_B = M_{ЗAD}$  и замерить ток статора  $I_{ЗAD}$ , соответствующий заданному моменту  $M_{ЗAD}$ .

## 4 Исследование разомкнутой системы

### 4.1 Регулировочные характеристики

4.1.1 В настроенной системе электропривода постепенно увеличивая частоту и напряжение на статоре, разогнать двигатель до максимальной скорости  $\omega_{МАКС}$  (при  $f_{1МАКС}$ ).

При изменении напряжения задания  $U_{ВХ}$  экспериментально снять изменение параметров электропривода (регулировочные и статические характеристики) на холостом ходу при уменьшении скорости от максимальной до полной остановки:

- скорости вращения двигателя  $n = f(U_{ВХ})$ ;
- момента на валу  $M_C = f(U_{ВХ})$ ;
- тока статора двигателя  $I_1 = f(U_{ВХ})$ ;

- напряжения на статоре двигателя  $U_1 = f(U_{ВХ})$ ;
- активной мощности статора  $P_1 = f(U_{ВХ})$ ;
- напряжения сети переменного тока  $U_C = f(U_{ВХ})$ ;
- тока из сети  $I_C = f(U_{ВХ})$ ;
- активной мощности из сети  $P_C = f(U_{ВХ})$ .

4.1.2 Разогнать двигатель до максимальной скорости  $\omega_{МАКС}$  (при  $f_{1МАКС}$ ), нагрузить его моментом, обеспечивающим протекание тока статора  $I_{1ЗАД}$ , соответствующего заданному моменту  $M_{ЗАД}$ .

Повторить п. 4.1.1 при поддержании постоянства тока статора  $I_{1ЗАД}$ .

4.1.3 По окончании эксперимента построить зависимости:

- напряжения на статоре двигателя  $U_1 = f(U_{ВХ})$ ;
  - скорости вращения двигателя  $n = f(U_{ВХ})$ ;
  - момента на валу  $M_C = f(\omega)$ ;
  - активной мощности из сети  $P_2 = f(\omega)$ ,
- а также рассчитать и построить зависимости от скорости:
- КПД системы  $\eta_{пч-ад} = f(\omega)$ ;
  - коэффициента мощности системы  $km = f(\omega)$ ;
  - КПД двигателя  $\eta_{ад} = f(\omega)$ ;
  - коэффициента мощности двигателя  $kmd = f(\omega)$ .

4.2 *Механические, электромеханические и энергетические характеристики*

4.2.1 Характеристики разомкнутой системы следует снимать для значений напряжения управления преобразователем  $U_{ВХ} = \text{const}$ , обеспечивающих работу двигателя в заданных точках:

- по результатам предварительных расчетов;
- **максимальной** скорости  $\omega_{МАКС}$  двигателя и заданном токе статора  $I_{1ЗАД}$  (из предыдущего опыта – см. п. 4.1.2);
- **минимальной** скорости  $\omega_{МИН}$  и заданном токе статора  $I_{1ЗАД}$ ;
- при номинальной частоте  $f_{1Н}$ .

4.2.2 Значение **минимальной скорости**  $\omega_{МИН}$  следует определить экспериментальным путем. Плавным изменением напряжения управления преобразователем  $U_{ВХ} = \text{const}$  и момента нагрузочной машины  $M_C$  остановить двигатель (в режиме моментного тормоза) при двойном значении заданного тока  $I_1 = 2 \cdot I_{1ЗАД}$ , а затем, не изменяя напряжение управления, снизить нагрузку до заданного тока  $I_1 = I_{1ЗАД}$ . Значение скорости в этом режиме соответствует минимальной.

4.2.3 В настроенной системе электропривода при неизменном напряжения задания  $U_{ВХ} = \text{const}$  при изменении момента статической нагрузки  $M_C$ , создаваемого нагрузочным устройством, экспериментально снять механические характеристики, проходящие через точки пункта 4.2.1. Характеристики снимаются в двигательном режиме и режиме рекуперативного торможения.

При снятии механических характеристик фиксировать параметры электропривода:

- скорость вращения двигателя  $n = f(M_C)$ ;

- ток статора двигателя  $I_1 = f(M_C)$ ;
- напряжение на статоре двигателя  $U_1 = f(M_C)$ ;
- активную мощность статора  $P_1 = f(M_C)$ .
- напряжение сети переменного тока  $U_C = f(M_C)$
- ток из сети  $I_C = f(M_C)$ ;
- активную мощность из сети  $P_C = f(M_C)$ .

4.2.4 По окончании экспериментов снизить до нуля момент на валу  $M_C = 0$  (установить потенциометр RP1 модуля A14 в исходное нулевое положение), остановить двигатель M1 (установить потенциометр RP1 модуля A12 в исходное нулевое положение).

4.2.5 По окончании опыта:

- построить характеристики (см. п. 4.2.3);
- оценить точность регулирования (рассчитать жесткости каждой из механических характеристик);
- по значениям максимальной и минимальной скоростей рассчитать диапазон регулирования скорости разомкнутой системы ПЧ – АД;
- рассчитать и построить зависимости КПД и коэффициента мощности системы от момента на валу.

## 5 Увеличение диапазона регулирования. Настройка и исследование систем

5.1 В разомкнутой системе ПЧ-АД в п. 4.2.5 получена минимальная скорость  $\omega_{\text{мин раз}}$  и диапазон регулирования скорости  $D$ .

Для увеличения диапазона регулирования в два – три раза (по указанию преподавателя) необходимо снижать  $\omega_{\text{мин}}$ :

- при форсировке напряжения;
- в режиме компенсации скольжения.

5.2 При **форсировке напряжения**  $U_1$ :

- настроить параметр преобразователя, отвечающий за форсировку напряжения, на допустимую величину форсировки (до 15 %);
- включить преобразователь в работу, установить скорость  $\omega_{\text{мин зад}}$ ;
- постепенно грузить двигатель до двойного заданного момента  $2 \cdot M_{\text{зад}}$ , не допуская опрокидывания двигателя и контролируя ток  $I_1$ .

Если двигатель остановится, не достигнув  $2 \cdot M_{\text{зад}}$ , снизить нагрузку, увеличить частоту и повторять опыт до получения остановки двигателя при  $M = 2 \cdot M_{\text{зад}}$ , т.е. до получения  $\omega_{\text{мин форс}}$ ;

- получив новое значение  $\omega_{\text{мин форс}}$ , снять начальный участок регулировочной характеристики при  $M = M_{\text{зад}}$ , фиксируя при этом ток статора  $I_1$ .

Снять механическую характеристику минимальной скорости.

Снять форсировку напряжения, обнулив соответствующий параметр преобразователя.

5.3 В режиме **компенсации скольжения** (положительной обратной связи по активной составляющей тока статора):

- настроить параметр преобразователя, отвечающий за компенсацию

скольжения, на допустимую величину (для начала – номинальное скольжение  $S_H$  при номинальном моменте  $M_H$ );

- включить преобразователь в работу, установить скорость  $\omega_{\text{мин зад}}$ ;
- постепенно грузить двигатель до двойного заданного момента  $2 \cdot M_{\text{зад}}$ , не допуская опрокидывания двигателя и контролируя ток  $I_1$ .

Если двигатель остановится, не достигнув  $2 \cdot M_{\text{зад}}$ , снизить нагрузку, увеличить коэффициент компенсации скольжения и повторять опыт до получения остановки двигателя при  $M = 2 \cdot M_{\text{зад}}$ , т.е. до получения  $\omega_{\text{мин комп}}$ ;

- получив новое значение  $\omega_{\text{мин комп}}$ , снять начальный участок регулировочной характеристики при  $M = M_{\text{зад}}$ , фиксируя при этом ток статора  $I_1$ .

Снять механическую характеристику минимальной скорости.

Снять режим компенсации скольжения, обнулив соответствующий параметр преобразователя.

### **Содержание отчета**

1. Привести принципиальную схему лабораторной установки, силовые цепи выделить жирными линиями.

2. Представить предварительные расчеты

3. Привести таблицы результатов экспериментов, расчетные формулы и результаты расчетов КПД, коэффициента мощности, жесткостей механических характеристик и диапазонов регулирования для рассматриваемых систем ПЧ-АД.

4. Представить механические характеристики рассмотренных систем на одном рисунке, указать значения максимальной и минимальных скоростей.

5. Привести графики зависимостей, указанных при описании экспериментов. Для анализа особенностей систем и их основных показателей необходимо одноименные зависимости систем размещать на одном рисунке, однако число кривых должно быть не более шести.

6. Построить упрощенную структурную схему асинхронного двигателя для статики, рассчитать коэффициенты структурной схемы.

7. Рассчитать и построить энергетические диаграммы системы, на которых в масштабе указать:

- активную мощность, потребляемую из сети;
- мощность потерь в преобразователе;
- мощность, поступающую на двигатель;
- мощность потерь в двигателе;
- мощность на валу.

Диаграммы строятся для двигательного режима и режима рекуперативного торможения. Для каждой диаграммы привести исходные параметры для расчета, значения КПД и коэффициента мощности.

8. В выводах по работе оценить основные показатели регулирования скорости, указать способы улучшения этих показателей.

Оценить влияние активного сопротивления статора на характер

изменения тока и потока двигателя при разных законах регулирования напряжения и влияние потока на величину момента двигателя.

Оценить влияние форсировки напряжения, компенсации скольжения и замыкания системы ООС по скорости на изменение тока статора.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Каковы предельные значения момента, токов статора и ротора, скорости двигателя лабораторной установки?

2. Покажите путь тока обмотки статора для двигательного режима и режима рекуперативного торможения.

3. Почему ограничивается предельная частота напряжения преобразователя частоты?

4. Почему при увеличении скорости двигателя необходимо сначала увеличивать частоту, а лишь затем - напряжение на статоре?

5. По каким приборам можно определить, что асинхронный двигатель находится в точке синхронной скорости?

6. Почему при не учете насыщения момент двигателя пропорционален квадрату напряжения на статоре?

7. Как по механическим характеристикам рассчитать коэффициенты упрощенной структурной схемы двигателя?

8. Почему при снижении частоты и постоянной амплитуде напряжения на статоре растет момент двигателя?

9. Как определить минимальную скорость двигателя в системе ПЧ-АД?

10. Как проявляется влияние активного сопротивления статора на вид механических характеристик при изменении частоты?

11. В каком режиме работы двигателя коэффициент полезного действия системы равен нулю? коэффициент мощности равен нулю?

12. Можно ли регулировать скорость двигателя, если преобразователь частоты установить в цепи ротора?

13. Как изменится вид механических характеристик при подключении ПОС по току статора?

14. Для чего в системе ПЧ-АД в качестве управляемого выпрямителя используется реверсивный преобразователь?

15. Как осуществить реверс двигателя в системе ПЧ-АД?