

5. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОТМОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И СЛЕЖЕНИЯ В СИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

5.1. Функциональная схема лабораторного стенда “Синхронный электропривод”

Синхронный двигатель $M1$ с явнополюсным ротором получает питание либо от трёх однофазных источников питания каждой фазы UZA , UZB , UZC (модуль $A9$), выполненных по схем автономного инвертора напряжения, либо от трёхфазного автономного инвертора напряжения $UZ1$ (модуль $A7$).

При питании $M1$ от трёх однофазных источников питания, каждая из статорных обмоток $XS1 - XS2$, $XS2 - XS3$, $XS4 - XS5$ подключается на выход соответствующего преобразователя, потенциально не соединяясь друг с другом.

Роторная обмотка возбуждения $LM1$ двигателя $M1$ подключается на выход полупроводникового преобразователя постоянного напряжения $UZ3$ (модуль $A13$). Вентильный преобразователь работает в режиме источника тока. Задание тока возбуждения регулируется потенциометром $RP1$ (модуль $A13$).

Управление однофазными источниками питания UZA , UZB , UZC (модуль $A9$) осуществляется от трёх демодуляторов UA , UB , UC (модуль $A8$), подключенных к выходам сельсина BC , ротор которого механически связан с валом двигателя $M1$. Цепь ротора BC питается от цепи ротора сельсина BE . Статор сельсина BE получает питание от модулятора U (модуль $A8$). Выбором начального углового положения ротора BE относительно его статора можно изменять угол между составляющими потокосцеплений обмоток ротора и статора синхронного двигателя $M1$. Напряжения на выходах демодуляторов образуют симметричную трёхфазную систему. Амплитуда этих напряжений пропорциональна величине напряжения на выходе модулятора U , а частота – угловой скорости вращения ротора BC (т.е. угловой скорости вращения вала двигателя $M1$).

Для реализации системы управления электроприводом в схеме предусмотрены:

- потенциометр $RP1$ (модуль $A12$) задания сигналов управления;
- задатчик интенсивности $DA1$ (модуль $A12$), обеспечивающий плавное изменение его выходных напряжений при скачкообразном изменении входного сигнала задатчика;
- регуляторы тока, скорости на базе операционных усилителей $DA2$, $DA3$, операторных резисторов $R4$, $R9$ и конденсаторов $C1$, $C2$;
- блок $AQ1$ ограничения выходного напряжения усилителя $A1$;
- блок датчиков: напряжения $ДН2$, тока $ДТ5$, $ДТ6$;
- преобразователь импульсов с энкодера BQ (модуль $A14$), установленного на валу двигателя, в напряжение ПЧН.

Включением автоматического выключателя $QF1$ модуля $A1$ обеспечивается подача напряжения питания на элементы системы управления электроприводом.

При положении выключателя Сеть “Т” (модуль *A2*) подаётся питание на измеритель мощности *DM2436A3*.

С помощью трёхпозиционного тумблера *SA1* (модуль *A12*) на потенциометр *RP1* (модуль *A13*) подаётся разнополярное напряжение постоянного тока. С выходов этого потенциометра подаются сигналы задания в систему управления электроприводом, позволяющие менять это напряжение плавно.

Темп изменения сигнала задания выходного напряжения задатчика интенсивности *DA1* (модуль *A12*), уровень ограничения выходного напряжения усилителя *DA2* (модуль *A12*), а также сопротивления резисторов и ёмкостей конденсаторов регуляторов устанавливаются дискретно поворотом ручек соответствующих переключателей.

Цифровой вольтметр на модуле *A12* позволяет фиксировать значения напряжений в схеме управления электроприводом. В модуле *A5* установлены два мультиметра, позволяющие измерять напряжения в системе управления, активные сопротивления элементов и др. функции.

Регистрация выходных сигналов элементов схемы управления электроприводом осуществляется осциллографом. Для его подключения на лицевой панели стенда предусмотрены специальные клеммы подключения.

После подачи питания на цепи управления преобразователя *UZ1* (модуль *A7*), которое подаётся одновременно с силовым, переключатель *SA1* (модуль *A7*) разрешает включение автономного инвертора напряжения. Аналоговый сигнал задания на скорость подаётся на вход *X1* (модуль *A7*). На практике указанные входы (разрешающий и аналоговый вход *X1*), а также аналоговый вход *X3*, аналоговый выход *X2* могут быть запрограммированы на выполнение других функций.

Для подключения питания к преобразователю частоты *UZ3* (модуль *A7*), или индивидуальным источникам тока *UZA*, *UZB*, *UZC* (модуль *A9*) необходимо соединить клеммы *A3*, *B3*, *C3* с клеммами *A3*, *B3*, *C3* модуля *A7* или *A9* соответственно. Включение (или отключение) индивидуальных источников питания на фазу *UZA*, *UZB*, *UZC* (модуль *A9*) или преобразователя частоты *UZ1* с трёхфазным автономным инвертором напряжения (модуль *A7*) выполняется нажатием кнопки ПУСК (или СТОП). Информация о подаче силового питания на разъёмы *A3*, *B3*, *C3* (модуль *A3*) осуществляется светодиодом *KM3* на модуле *A3*.

5.2. Нагрузочное устройство

Для создания регулируемой нагрузки на валу исследуемого двигателя применяется специальное нагрузочное устройство, рычаги управления которым находятся на модуле *A14*.

Нагрузка на валу исследуемого двигателя создаётся жёстко соединённой с ним нагрузочной электрической машиной *M2* постоянного тока независимого возбуждения. Якорь нагрузочной машины питается от двухкомплектного мостового полностью управляемого выпрямителя, выполненного по мостовой схеме. Обмотка возбуждения *LM2* машины подключена к полупроводниковому однофазному мостовому выпрямителю (в одном плече установлены диоды, в другом тиристоры). Функциональная схема силовых цепей нагрузочной машины (якоря, тиристорного

преобразователя, схемы питания тиристорным преобразователем) представлена на лицевой панели стенда (модули А6, А10).

Момент нагрузочной машины (ток якоря нагрузочной машины) задаётся потенциометром $RP1$, переключатель $SA1$ в положении "М" (модуль А14). Частота вращения нагрузочной машины задаётся тем же потенциометром $RP1$, переключатель $SA1$ в положении " ω ". Направление вращения или знак момента задаются переключателем $SA3$ (модуль А14).

Индикация частоты вращения вала и момента нагрузочной машины $M2$ осуществляется приборами "М", " ω " (модуль А14).

Включение и отключение силовой части электропривода нагрузочной машины осуществляется магнитным пускателем $KM2$ с помощью кнопок ПУСК/СТОП (модуль А6).

Режим работы исследуемой машины $M1$ определяется знаками направления вращения агрегата и момента, создаваемого нагрузочной машиной.

На рис. 1 сплошными линиями показаны идеальные механические характеристики исследуемой машины $M1$ (синхронного двигателя) в замкнутой системе регулирования. Характеристики 1-1 и 2-2 соответствуют различным знакам направления вращения исследуемого двигателя $M1$.

Штриховыми линиями на рис. 1 показано зеркальное отражение (относительно оси " ω ") механических характеристик нагрузочной машины, иллюстрирующих возможность получения различных режимов работы исследуемой машины. За положительное значение момента принят момент, создаваемый исследуемой машиной в двигательном режиме первого квадранта.

Двигательный режим в исследуемой машине реализуется при встречном включении исследуемой и нагрузочной машин, при котором машины, включенные в сеть по отдельности, будут вращаться в разные стороны. При этом в точках a, a', f, f' нагрузочная машина работает в режиме рекуперативного торможения, а в точках d, d' – в режиме двигателя.

Режим рекуперативного (d, d') торможения исследуемой машины реализуются при согласном включении исследуемой и нагрузочной машин, при котором машины, включенные в сеть по отдельности, будут вращаться в одном направлении. При этом необходимо обратить внимание на подключение тормозных резисторов к преобразователям, управляющим синхронным двигателем. В том случае, если резисторы не подключены, устойчивая работа электропривода до точек идеально-

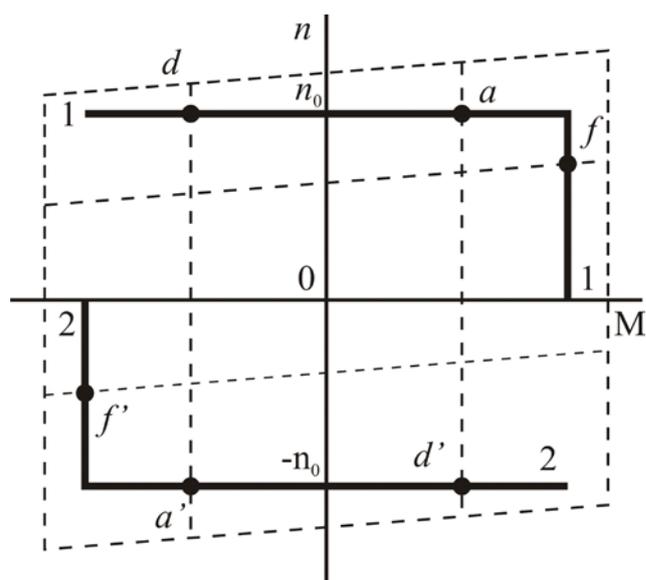


Рис. 1. Совмещение характеристики исследуемой машины и нагрузочного устройства

го холостого хода (d, d'), далее из-за перенапряжений в звене постоянного тока, преобразователи будут производить аварийное отключение инвертора. Вышеперечисленные режимы работы исследуемой машины являются устойчивыми. Для их реализации нагрузочная машина работает в режиме поддержания заданного в ней тока якоря.

При необходимости исследования статически неустойчивых режимов работы исследуемой машины, например для замкнутой системы подчинённого регулирования скорости двигателя в области его токоограничения (точки f, f'), нагрузочную машину из режима поддержания тока якоря следует перевести в режим поддержания скорости вращения, равной заданной скорости исследуемой машины.

В качестве примера рассмотрим последовательность включения нагрузочного устройства.

Перед включением электропривода нагрузочного устройства тумблер $SA3$ должен находиться в положении “0”, тумблер $SA2$ в нижнем положении (модуль $A14$). Движок потенциометра $RP1$ должен быть установлен в крайнее левое положение.

Включение электропривода нагрузочного устройства осуществляется нажатием кнопки ПУСК (модуль $A6$). При этом поступает напряжение питания на катушку контактора $KM2$, силовые контакты которого подают силовое напряжение питания на преобразователь постоянного тока якорной цепи и цепи возбуждения $UZ2$ (модуль $A10$). При готовности преобразователя постоянного тока $UZ2$ загорается светодиод “Ready” на модуле управления преобразователем $UZ2$ (модуль $A10$).

После включения электропривода нагрузочной машины, переключатель $SA2$ (модуль $A14$) переводится в верхнее положение, а переключателем $SA3$ выбирается знак момента сопротивления. Движок потенциометра $RP1$ (модуль $A14$) должен находиться в крайнем левом положении. Переключателем $SA1$ выбирается режим работы нагрузочной машины (режим поддержания скорости или момента). Основным режимом работы нагрузочной машины – режим поддержания момента. В этом режиме переключатель $SA1$ находится в положении “М”. Движением ручки потенциометра $RP1$ (модуль $A14$) в сторону увеличения напряжения задания момента запускается нагрузочная машина и фиксируется направление её вращения. Если направление вращения вала машины $M2$ оказалось выбранным противоположным направлению вращения исследуемой машины (при подключении лишь её одной), то возможны исследования двигательного режима, а также торможения противовключением. Если необходимо исследование режимов рекуперативного или динамического торможения исследуемой машины, то сначала следует вывести влево до конечного положения движка $RP1$ (модуль $A14$), а затем переключить положение тумблера $SA3$ (модуль $A14$).

Рассмотрим на примере идеальной механической характеристики исследуемой машины 1–1, 2–2 (рис. 1)

В любом из выбранных положений тумблера $SA3$ (модуль $A14$) задание нагрузки на валу необходимо начинать с режима холостого хода исследуемой ма-

шины. Увеличение нагрузки должно ограничиваться допустимыми токами момента исследуемой машины.

Особое внимание следует обратить на снижение нагрузки до нулевого значения (движок потенциометра *RP1*, модуль *A14* влево до упора) при отключении питания исследуемой машины (при её остановке).

Отключение нагрузочной машины осуществляется нажатием кнопки СТОП (модуль *A6*) и возможно лишь при отключенном питании и нулевой скорости исследуемой машины.

При изучении статически неустойчивых режимов работы исследуемой машины, нагрузочная машина переводится в режим поддержания скорости, для этого переключатель *SA1* (модуль *A14*) просто переводится в положение “ ω ”. Задание скорости осуществляется от того же движка потенциометра *RP1* (модуль *A14*). Если направление вращения вала машины *M2* оказалось выбранным противоположным направлению вращения исследуемой машины (при одном лишь её включении), то возможно исследование статически неустойчивого двигательного режима исследуемой машины. Если же направление вращения вала *M2* будет выбрано согласно направлению вращения исследуемой машины, то возможно исследование статически неустойчивого генераторного режима исследуемой машины.

5.3. Принцип работы

Следящий электропривод предназначен для воспроизведения положения или движения задающего устройства исполнительным органом. В рамках данного лабораторного стенда в качестве задающего сигнала используется положение потенциометра задания (аналоговый сигнал), а в качестве исполнительного органа – вал электромашинного агрегата.

Позиционный синхронный электропривод позволяет управлять положением вала электродвигателя с возможностью ограничения скорости вращения и тока статора. В отличие от следящего электропривода позиционный электропривод при своей работе контролирует исключительно положение, но не управляет траекторией движения привода при перемещении из одного положения в другое.

Точность регулирования положения зависит от возможностей преобразователя и датчика положения. В качестве датчика положения в данном лабораторном стенде используется инкрементальный энкодер с разрешением 1024 импульса на оборот.

Исследуемый в данной лабораторной работе электропривод выполнен по подчиненной схеме управления, в которой синхронный электропривод с контурами скорости и тока охватывается дополнительно обратной связью по положению.

Электропривод реализуется посредством аппаратных возможностей преобразователя частоты *Unidrive SP*. В данном преобразователе за регулятор положения отвечает меню параметров 13. Преобразователь реализует следующие режимы:

1. Управление положением.
2. Начальная ориентация вала при начале работы.

3. Ориентация вала при начале и окончании работы.
4. Слежение за подаваемым аналоговым сигналом.

5.4. Настройка и исследование системы электропривода

5.1. Собрать схему эксперимента согласно рисунку 2.

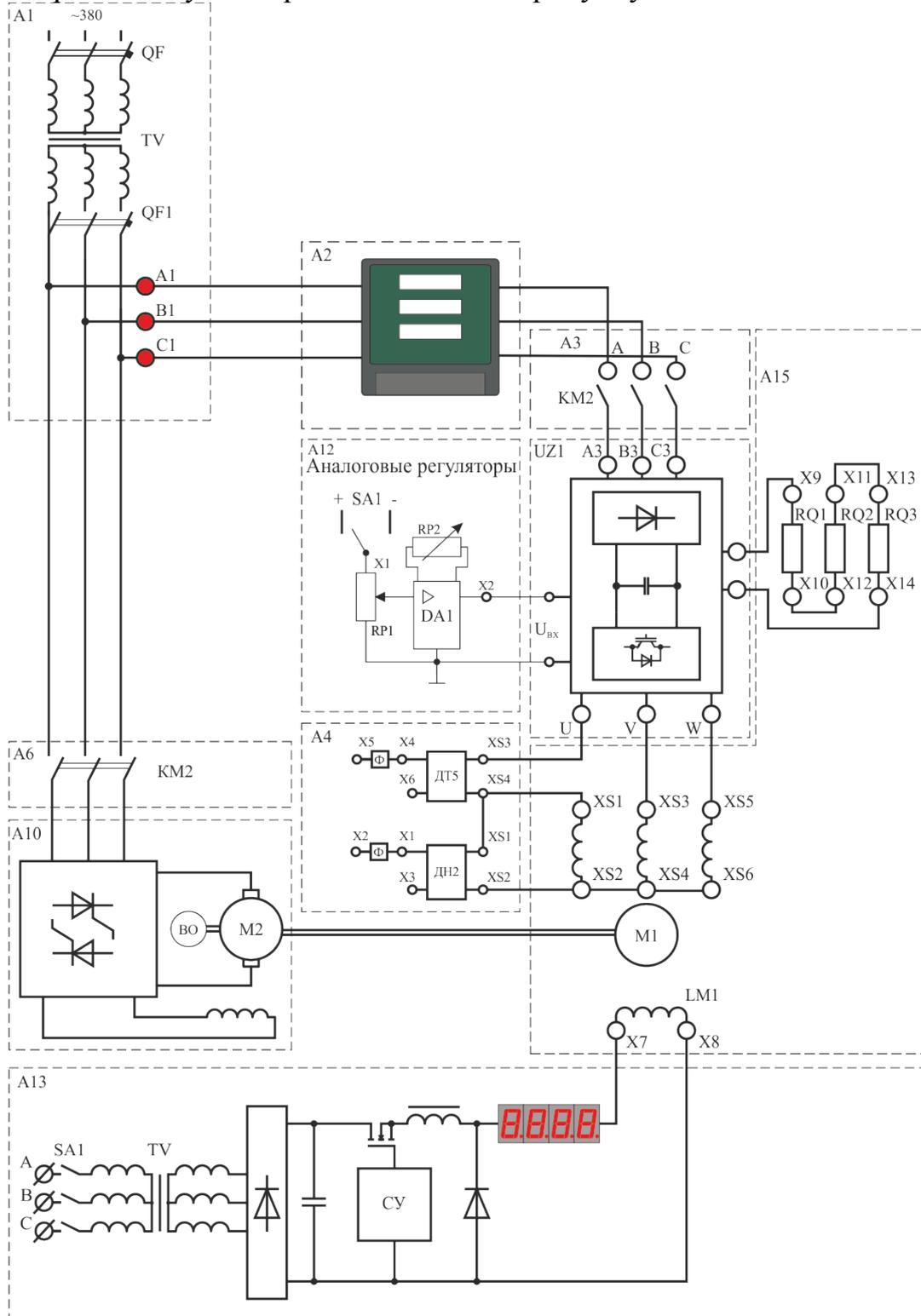


Рисунок 2 – Схема для исследования

5.2. Установить переключатель SA1 (модуль A7) в нижнее положение (“ВЫКЛЮЧЕНО”); подать напряжение питания на силовые цепи преобразователя частоты UZ1 нажатием кнопки “ПУСК” (модуль A3).

5.3. Подать напряжение на силовые цепи возбуждителя. Для этого переключатель “СЕТЬ” (модуль A13) перевести в положение “Т”; разрешить работу преобразователя UZ3 переключателем SA (модуль A13); установить ток возбуждения потенциометром RP1 (модуль A13), ограничив его допустимым по нагреву током обмотки возбуждения при неподвижном роторе 7 А.

5.4. Осуществить предварительную настройку преобразователя. Для этого подать питание на преобразователь затем, выбрать в нем параметр 5.12 (автонастройка), установить в нем значение 2 и перевести привод в режим работы тумблером «Разрешение» или зеленой кнопкой на кнопочной панели оператора. В том случае если преобразователь выдаст ошибку «Епс 2» при выключенном питании электропривода произвести перефазировку (поменять две фазы местами) и повторить опыт.

5.5. Подключить осциллограф ко второму аналоговому выходу преобразователя частоты, убедиться, что на нем отображается положение вала электродвигателя. Если положение не отображается произвести настройку параметров преобразователя:

- выбрать параметр 7.22 (источник аналогового сигнала №2);
- в данном параметре установить значение 3.29 (положение датчика скорости / положения);
- нажать красную кнопку на панели оператора.

5.6. Включить позиционный режим электропривода, для этого в параметре 13.10 выбрать значение 1, в параметре 13.05 выбрать значение 0 (*drv*), в параметре 13.04 выбрать значение 4 (*Local*). После данной настройки управление электроприводом осуществляется от параметров 13.20 и 13.21: в первом параметре задается число оборотов вала электродвигателя, во втором – положение внутри оборота вала (от 0 до 65535). Включить электропривод в работу, убедиться, что режим обрабатывается.

5.7. Настроить пропорциональный канал регулятора положения, для этого задавая в параметре 13.09 различные значения коэффициента П-канала, выбрать оптимальный режим отработки положения. Зафиксировать осциллограммы тока статора, скорости, положения, напряжения на статоре.

5.8. Настроить следящий режим электропривода, для этого при сохранении полученных ранее настроек пропорционального канала положения, выбрать параметр 7.10. В данном параметре установить значение 13.21. Нажать красную кнопку на панели оператора. Включить электропривод, убедиться, что положение потенциометра аналогового задания обрабатывается валом электромашинного агрегата. Для оценки качества сравнивать значения параметров 13.21 и 3.29 на холостом ходу, при отрицательном моменте нагрузки, при положительном моменте нагрузки.

5.9. Выбрать в параметре 13.10 значение 6 – режим начальной и конечной ориентации вала. В данном режиме скорость задается аналогично традиционной схе-

ме с внешним контуром скорости. Запустить электропривод в данном режиме – убедиться, что электропривод устанавливается в одно и то же положение. В параметре 13.13 изменить значение положения, повторить эксперимент. На нескольких скоростях зафиксировать осциллограммы тока статора, скорости, положения, напряжения на статоре.