

## 4. ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННОГО ЧАСТОТОКОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 4.1. 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  $DA2$ ,  $DA3$ , операционных 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*.

## 4.2. 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 " $\omega$ ". Направление вращения или знак момента задаются переключателем  $SA3$  (модуль А14).

Индикация частоты вращения вала и момента нагрузочной машины  $M2$  осуществляется приборами "М", " $\omega$ " (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 " $\omega$ ") 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-

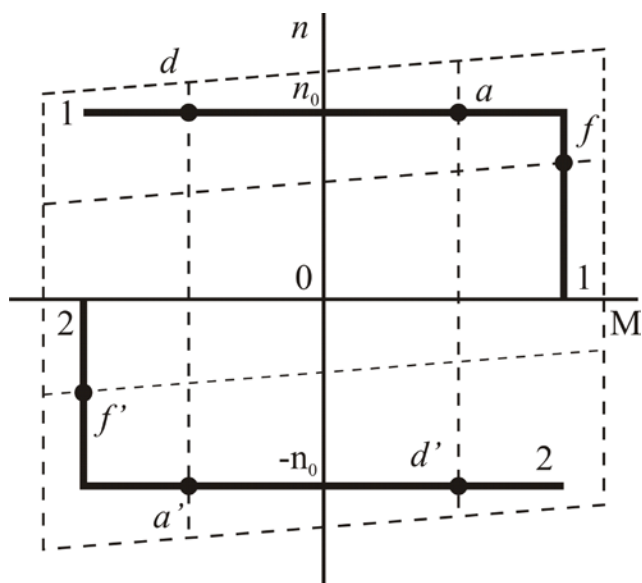


Рис. 1. Совмещение характеристики исследуемой машины и нагрузочного устройства

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 “ $\omega$ ”. 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.

### 4.3. Принцип работы

Электромагнитный момент в синхронном двигателе создается за счет взаимодействия магнитодвижущих сил (МДС), создаваемых обмоткой ротора  $F_r$  и обмотками статора  $F_c$ . Для регулирования момента необходимо уметь изменять величину этих МДС и пространственный угол между ними в зазоре электрической машины. В схеме частотнотокового регулирования этот угол постоянный и не регулируется.

Управлять вектором  $F_c$ , регулируя его амплитуду, а также угловое положение и скорость движения нужно, изменяя токи в фазных обмотках статора двигателя  $M1$  с помощью преобразователя частоты. Для этого каждую из обмоток, необходимо запитать от преобразователей  $UZA$ ,  $UZB$  и  $UZC$ , работающих в режиме источников тока.

Задания фазных токов идёт от узла формирования фазных токов (УФФТ): модулятор  $U$ , сельсин-задатчик  $BE$ , сельсин-приёмник  $BC$ , демодуляторы  $UA$ ,  $UB$ ,  $UC$ , (модуль  $A8$ ).

Для того чтобы ротор не выпадал из синхронизма, необходимо заставить не ротор синхронного двигателя следить за “убегающим” с частотой питающей статорные обмотки сети вектором МДС статора  $F_c$ , а вектор  $F_c$  ориентировать относительно  $F_r$ . Этого можно добиться, если механически связать вал сельсина  $BC$  с валом двигателя  $M1$ .

Чтобы схема работала вблизи скорости, равной нулю и привод мог работать на упор, в схему включаются модулятор  $U$  и демодуляторы  $UA$ ,  $UB$  и  $UC$ . В этом случае амплитуда задающих напряжений  $U_{A3}$ ,  $U_{B3}$ ,  $U_{C3}$ , подаваемых на вход ис-

точников тока ( $X1, X2, X3$ , модуль  $A9$ ), регулируется изменением амплитуды высокочастотного (4,5 кГц) напряжения, подаваемого на ротор сельсина  $BE$ , а частота – угловой скоростью вращения вала двигателя  $M1$ . Сельсин  $BE$  позволяет в схеме выставить начальный угол рассогласования между векторами потокосцеплений статора и ротора.

Также УФФТ можно реализовать с помощью импульсного датчика на валу двигателя. В данной установке применён инкрементальный датчик положения (каналы  $A, B$ ) с дополнительными каналами  $U, V, W$ , которые функционально соответствуют симметричной системе синусоидальных сигналов сельсина. Контур косвенного регулирования момента реализован программным путём в микроконтроллере преобразователя  $UZ1$ . Для того чтобы изменять угол между составляющими потокосцеплений обмоток ротора и статора в исследуемом двигателе  $M1$ , необходимо изменять “Фазовый угол энкодера” (параметр 3.25 преобразователя частоты *Unidrive SP*). Этот угол задаётся через аналоговый вход 2 (клеммы  $X3, X4$ , модуль  $A7$ ). Скорость вращения в работе задается посредством кнопочной панели оператора.

Синхронный электропривод выполнен с частотно-токовым управлением по схеме подчинённого регулирования. Требуемые значения установившейся скорости вращения исследуемого двигателя  $M1$ , а также разгон и торможение двигателя с заданным темпом обеспечиваются задатчиком интенсивности, программно реализованным в преобразователе частоты.

#### **4.4. Настройка и исследование системы электропривода с электромеханическим УФФТ**

4.4.1. Проверить функционирование элементов системы автоматики. Для этого при отключенном напряжении питания преобразователей статорных цепей и обмотки возбуждения:

- закортить переключателем  $SA4$  конденсатор  $C1$  (модуль  $A12$ );
- подать питание на стенд электропривода. Для этого сначала включается автоматический выключатель на боковой стенке стенда, затем автоматический выключатель  $QF1$  (модуль  $A1$ ), при этом подаётся питание на элементы системы управления;
- проверить функционирование слаботочных элементов системы электропривода. Для этого при помощи осциллографа пронаблюдать за изменением сигналов на выходных зажимах потенциометра  $RP1$ , задатчика интенсивности  $DA1$ , регулятора скорости  $DA2$  (модуль  $A12$ );
- проверить функционирование УФФТ (см. рис.2). Для этого перевести нагрузочное устройство в режим регулирования скорости тумблером на лицевой панели. Привести агрегат во вращение, дав разрешение нагрузочному устройству и установив потенциометром задания скорость на уровне 200 об/мин. С выхода задатчика интенсивности  $DA1$  подать напряжение на вход модулятора  $M$  (модуль  $A8$ ). Проверить, образуют ли напряжения на выходах демодуляторов  $UA, UB, UC$  (модуль  $A8$ ) симметричную трёхфазную систему напряжений. Подключить осциллограф к клеммам  $X4$  и  $X5$ . Пронаблюдать за изменением сигнала на осциллографе

при изменении поворота ротора сельсина *BC*. Установить положение сельсина *BC* по максимальному напряжению на осциллографе. Зарисовать осциллограммы напряжения на выходе модулятора (клемма *X3*), напряжения между вторичными обмотками роторов сельсина (клеммы *X4* и *X5*), напряжений на выходах демодуляторов (клеммы *X7*, *X9*, *X11*). Остановить привод. Перевести нагрузочное устройство в режим регулирования скорости.

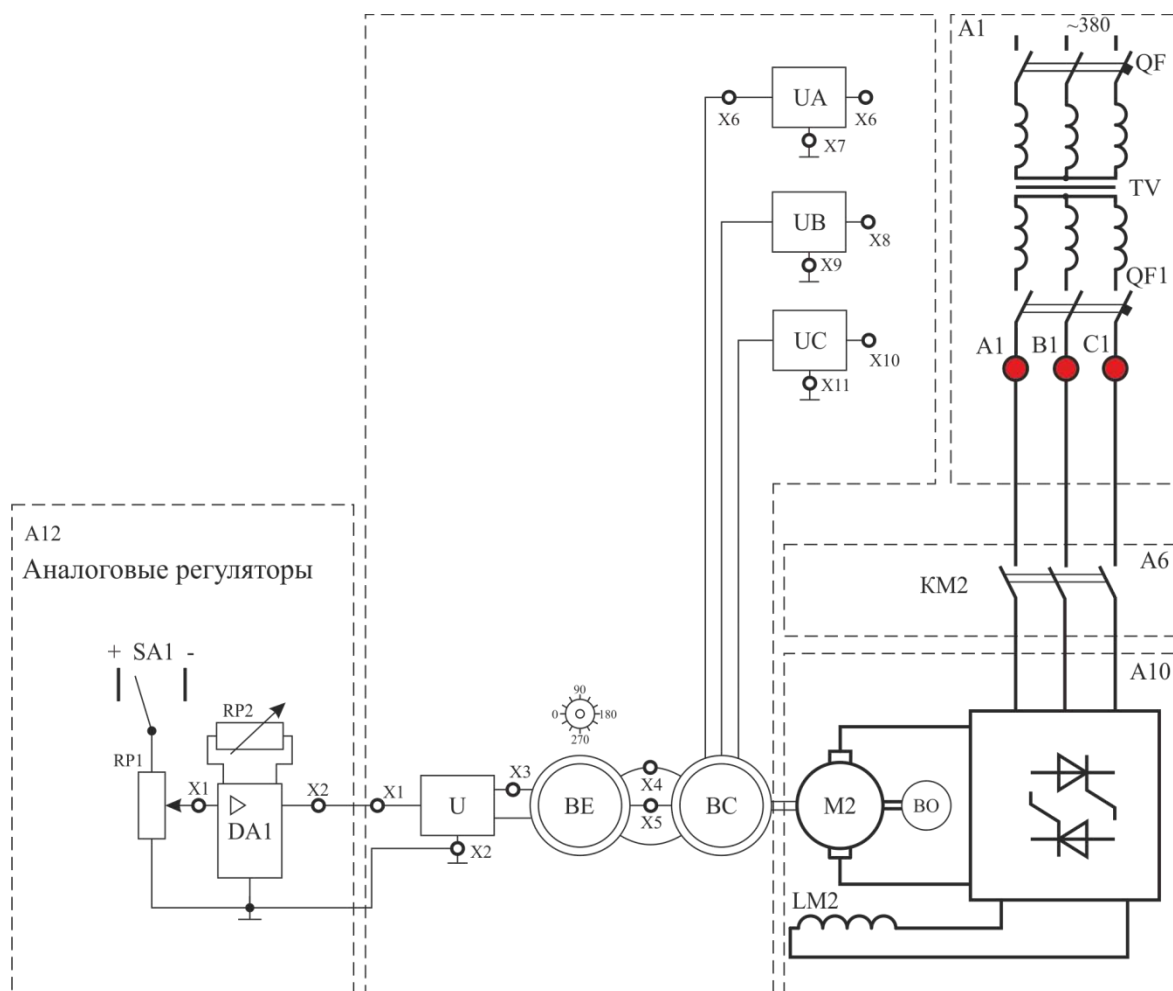


Рисунок 2 – Схема для настройки УФФТ

4.4.2. Подать питание на силовые цепи возбуждителя синхронной машины *UZ2*, включив переключатель *SA1*. Потенциометром *RP1* (модуль возбуждителя) установить задание на ток возбуждения двигателя, но не более 9 А.

4.4.3. Подключить сопротивления *RQ1*, *RQ2*, *RQ3* модуля *A15* к клеммам 24, 25 преобразователей *UZA*, *UZB*, *UZC* соответственно. Указанные сопротивления необходимы для рассеивания электрической энергии в тормозных режимах электропривода.

4.4.4. Подать напряжение на преобразователи *UZA*, *UZB*, *UZC* нажатием кнопки «ПУСК» на модуле питания. Определить знак подключения датчика скорости  $U_{дс}$  (модуль *A14*, клеммы “+”, “-”) ко входу регулятора скорости *DA2* (модуль *A12*). Для этого:

– собрать схему разомкнутого контура регулирования скорости (см. рис. 3) и выставить минимальный коэффициент усиления регулятора скорости  $DA2$  при замкнутном конденсаторе  $C1$ ;

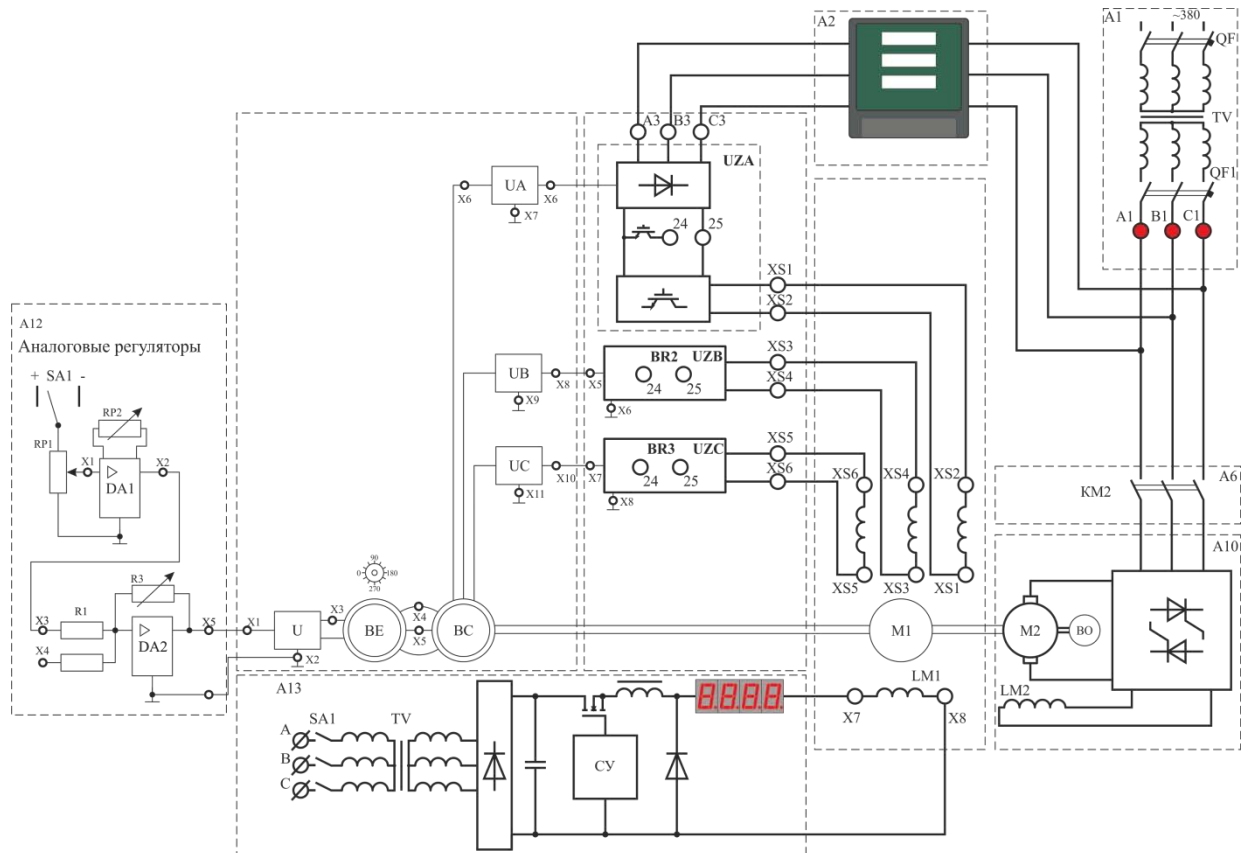


Рисунок 3 – Схема для исследования

– подать на вход регулятора скорости  $DA2$  с выхода датчика интенсивности  $DA1$  (модуль  $A12$ ) небольшой сигнал, достаточный для вращения двигателя со скоростью не выше  $(0,1 \dots 0,2)n_H$ . Из-за мягкой механической характеристики электропривода при работе только контура косвенного регулирования момента режим поддержания скорости вращения двигателя может быть очень нестабильным ( в частности двигатель может начать разгоняться);

– кратковременно подключить сигнал обратной связи по скорости, определить её знак. Он должен быть отрицательным. В обратном случае оперативно поменять полярность слаботочного сигнала;

– замкнуть контур регулирования скорости.

4.4.5. Выбрать оптимальные значения параметров регулятора скорости  $DA2$ . Сначала следует настроить П-канал (выбором величины сопротивления резистора  $R4$ ), а потом – И-канал (выбором величины ёмкости конденсатора  $C1$ ). Качество настройки следует оценивать по виду переходной функции замкнутого контура регулирования скорости.

4.4.6. Установить уровень ограничения сигнала в регуляторе скорости  $DA2$ , соответствующий моменту синхронного двигателя в режиме работы на упор  $10..12 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , блоком ограничения  $AQ$ .



4.4.7. В настроенной системе электропривода при фиксированном значении момента статической нагрузки  $M_C = \text{const}$  (величина задаётся преподавателем), изменяя только сигнал задания скорости  $U_{ВХ}$ , экспериментально снять следующие статические характеристики электропривода:

- скорости вращения двигателя  $n = f(U_{ВХ})$ ;
- тока статора двигателя  $I_C = f(U_{ВХ})$ ;
- напряжения на статоре двигателя  $U_C = f(U_{ВХ})$ ;
- напряжения на выходе регулятора  $U_{PC} = f(U_{ВХ})$ .

При тех же условиях опыта снять энергетические характеристики электропривода:

- активной мощности, потребляемой из сети  $P = f(n)$ ;
- полной мощности, потребляемой из сети  $S = f(n)$ ;
- реактивной мощности, потребляемой из сети  $P_B = f(n)$ .

По результатам предыдущего пункта рассчитать и построить энергетические характеристики электропривода:

- КПД электропривода от скорости;
- коэффициента мощности от скорости.

4.4.8. В настроенной системе электропривода при неизменном напряжении задания, соответствующем скорости холостого хода двигателя, задаваемой преподавателем, экспериментально снять в функции момента на валу двигателя следующие статические характеристики электропривода:

- скорости вращения синхронного двигателя  $n = f(M)$  (механическую характеристику электропривода);
- тока, потребляемого электроприводом из сети,  $I_C = f(M)$ ;
- тока фазы статора двигателя  $I_\Phi = f(M)$ ;
- напряжения (фазного) на статоре двигателя  $U_\Phi = f(M)$ ;
- напряжения на выходе регулятора скорости  $U_{PC} = f(M)$ .

Напряжение сети, токи и мощности, потребляемые из сети, регистрируются измерителем мощности (модуль А3). Для измерения напряжения, приложенного к двигателю, подключается один из датчиков модуля А4. Для измерения тока статора в цепь статора последовательно включается датчик тока ДТ5 (модуль А4), а выходы датчика (клеммы Х3, Х4) подключаются к осциллографу. Коэффициенты передачи датчиков даны в приложении.

При тех же условиях опыта снять энергетические характеристики электропривода:

- активной мощности, потребляемой из сети,  $P_C = f(M)$ ;
- полной мощности, потребляемой из сети,  $S_C = f(M)$ ;
- реактивной мощности, потребляемой из сети  $Q_C = f(M)$ .

По результатам предыдущего пункта рассчитать и построить в функции от момента на валу энергетические характеристики электропривода:

- КПД электропривода;
- коэффициента мощности электропривода.

4.4.9. Установить сигналом задания при  $M_C = 0$  постоянную скорость двигателя (величина её задаётся преподавателем). С помощью осциллографа снять ос-

циллограммы в установившемся режиме работы электропривода: напряжения на статорной обмотке  $U_{\Phi} = f(t)$ , тока статора  $I_{\Phi} = f(t)$ . Для этого подключить датчик тока ДТ5 в цепь обмотки фазы А (модуль А15) и датчик напряжения ДН2 – к клеммам XS1, XS2 (модуль А9). Дать сравнительный анализ осциллограмм, объяснив причины изменения амплитуд на кривых  $U_{\Phi}$  и  $I_{\Phi}$  при изменении момента статической нагрузки  $M_c$ .

Объяснить причину пульсаций в кривой  $U_{\Phi}$ . Измерить частоту этих пульсаций.

4.4.10. В настроенной системе электропривода снять осциллограммы разгона электропривода на холостом ходу до скорости, соответствующей сигналу задания в п. 4.4.4:

- напряжения на выходе задатчика интенсивности  $U_{зи} = f(t)$ ;
- тока статора двигателя  $I_{\Phi} = f(t)$  по огибающей;
- скорости вращения двигателя  $n = f(t)$ .

Обработать осциллограммы, указать показатели процесса:

$I_{max}$  – максимальное значение тока статора при разгоне,  $t_{ПП}$  – время переходного процесса разгона электропривода.

4.4.11. В настроенной системе электропривода снять осциллограммы переходных процессов, вызванных скачкообразным приложением момента статической нагрузки:

- тока статора двигателя  $I_{\Phi} = f(t)$  (по огибающей);
- скорости вращения двигателя  $n = f(t)$ .

Обработать осциллограммы, указать показатели процесса:  $\Delta n_d$  – динамическое падение скорости в переходном процессе,  $t_M$  – время достижения скоростью величины  $\Delta n_d$ ,  $t_{ПП}$  – время процесса,  $I_M$  – максимум тока статора во время процесса.

## 4.5. Настройка и исследование системы электропривода с микропроцессорным УФФТ

4.5.1. Собрать схему эксперимента согласно рисунку 4.

4.5.2. Установить переключатель SA1 (модуль А7) в нижнее положение (“ВЫКЛЮЧЕНО”); подать напряжение питания на силовые цепи преобразователя частоты UZ1 нажатием кнопки “ПУСК” (модуль А3).

4.5.3. Подать напряжение на силовые цепи возбудителя. Для этого переключатель “СЕТЬ” (модуль А13) перевести в положение “Г”; разрешить работу преобразователя UZ3 переключателем SA (модуль А13); установить ток возбуждения потенциометром RP1 (модуль А13), ограничив его допустимым по нагреву током обмотки возбуждения при неподвижном роторе 7 А.

4.5.4. Осуществить настройку угла нагрузки преобразователя. Для этого произвести пробный запуск: выбрать параметр преобразователя 3.25, с помощью кнопочной панели задать малый сигнал скорости (около 20 об/мин). Если привод начал работать неустойчиво (колебания ротора или уход в разнос), снять разрешение с преобразователя и изменить параметр 3.25 на 90 градусов посредством потенциометра. Повторить пробный запуск. При достижении устойчивой работы

привода необходимо настроить угол нагрузки. Для этого фиксировать ток статора по параметру 4.01 и угол нагрузки по параметру 3.25. Изменяя угол нагрузки в малом диапазоне добиться минимального значения тока статора (менее 1 А).

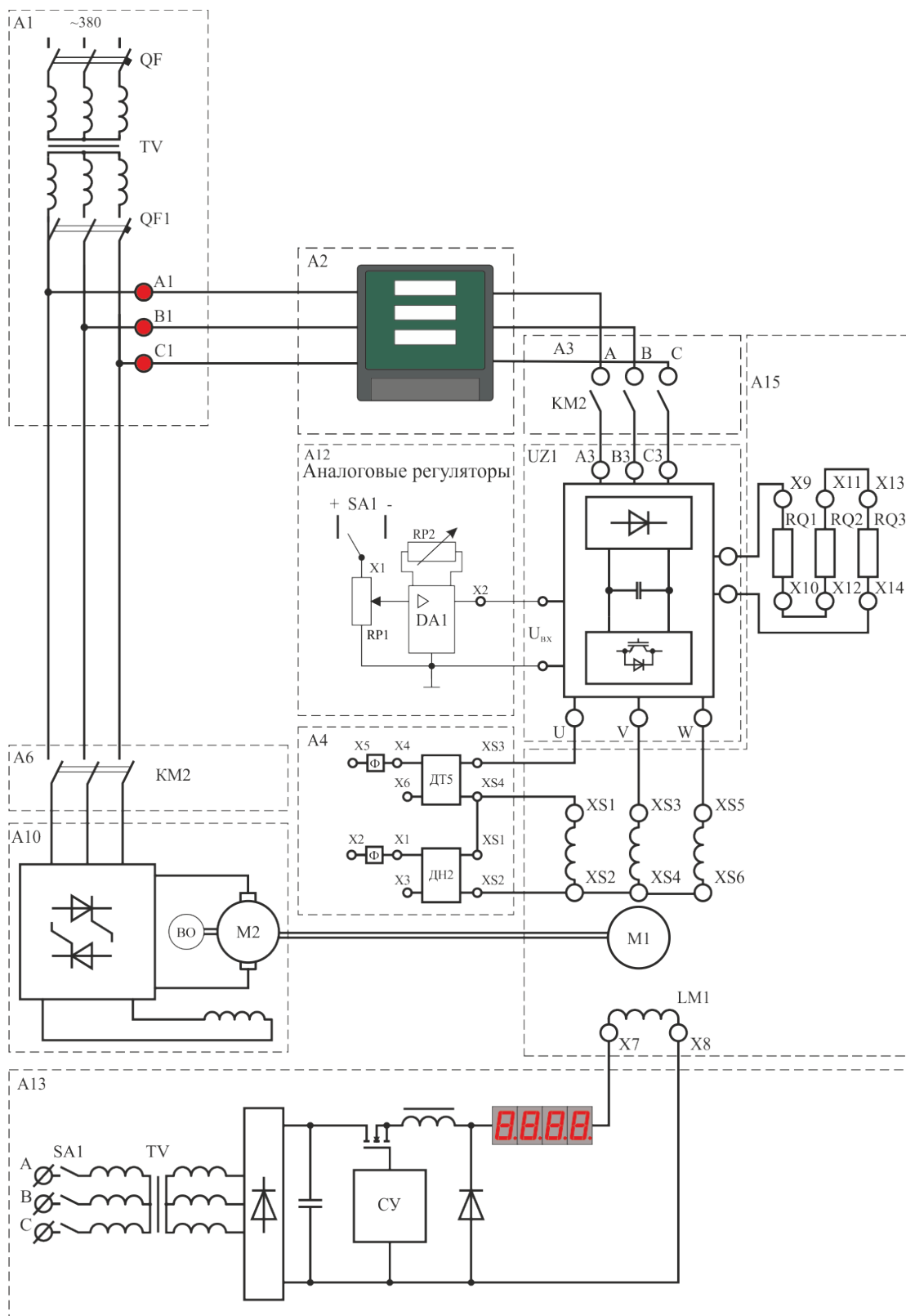


Рисунок 4 – Схема для исследования

4.5.5. Снять угловую характеристику электропривода  $I_C = f(\theta)$ . Для этого изменять потенциометром угол нагрузки в диапазоне  $-80 \dots 80$  градусов от оптимального угла, настроенного в предыдущем эксперименте.

4.5.6. Программа исследований соответствует, описанной последовательности в предыдущем эксперименте. Примечание: координаты электропривода можно регистрировать по значениям параметров преобразователя, которые получаются с соответствующих датчиков преобразователя частоты  $UZ1$ . Численные значения переменных электропривода хранятся в ячейках памяти (параметрах). В ячейке памяти (параметре) 4.01 – ток, А (действующее значение); 4.02 – ток, А (активная составляющая), в 5.01 – выходная частота, Гц; в 5.02 – выходное напряжение.

### Контрольные вопросы

1. Перечислить меры безопасности при включении лабораторного стенда. Назвать номинальные и предельные характеристики силового оборудования: преобразователей  $UZA$ ,  $UZB$ ,  $UZC$ , синхронного двигателя  $M1$ .

2. Нарисовать схему силовых цепей источников тока на примере преобразователя  $UZA$ . Показать путь тока в двигательном режиме. Назвать возможные законы управления вентильным преобразователем. Как экспериментально определить закон управления ключами вентильного преобразователя?

3. Поясните функциональное назначение сельсинов  $BE$  и  $BC$  в схеме. Какую роль при этом играют модулятор  $U$  и демодуляторы  $UA$ ,  $UB$ ,  $UC$ .

4. Объясните причины пульсаций на осциллограммах статорных напряжений  $U_\Phi$ ?

5. С какой целью статическая характеристика регулятора  $DA2$  (модуль  $A12$ ) выполнена с насыщением?

6. Назовите все возможные на стенде способы изменения коэффициента мощности электропривода.

7. В какие начальные положения следует поставить движки потенциометров перед включением схемы?

8. Как определить знак включения обратной связи по скорости вращения двигателя?

9. Что произойдёт в настроенной схеме электропривода, если сельсин  $BE$  (модуль  $A8$ ) повернуть на  $180$  градусов?