

## 1 ОБЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ

Лабораторные работы в лаборатории автоматизированного электропривода выполняются на универсальных лабораторных стендах, выполненных при непосредственном участии преподавателей и сотрудников кафедры электропривода фирмой ООО НПП «Учтех-Профи».

Универсальность стендов заключается в идентичности установленного электрооборудования при подключении стендов к лабораторной сети электроснабжения, для создания нагрузки на исследуемые двигатели, при использовании измерительных приборов и управляющих устройств (датчики тока и напряжения, аналоговые регуляторы и т.п.).

Изменяются на каждом стенде лишь испытываемые двигатели и преобразователи и непосредственные датчики и измерительные приборы для конкретной системы электропривода.

В данной главе будут рассмотрены элементы электропривода, используемые в каждом стенде.

Элементы универсальных стендов рассмотрим на базе стенда тиристорного электропривода постоянного тока.

Состав стенда:

- исследуемый двигатель постоянного тока  $M1$ ;
- двигатель постоянного тока нагрузочного устройства  $M2$ ;
- силовой трансформатор  $TV$ ;
- лицевая панель с мнемосхемами силовых преобразователей и устройств управления, имеет модульную структуру и состоит из четырнадцати модулей.

Расположение модулей на лицевой панели стенда приведено на рисунке 1.

Данные электрооборудования стенда приводятся в Приложении А.

1.1 Модуль А1 «Питание стенда» обеспечивает подключение стенда к системе электроснабжения лаборатории (рисунок 2). Автоматическим выключателем  $QF$ , расположенным на боковой стенке шкафа стенда, подается сетевое напряжение 380 В на первичные цепи трансформатора  $TV$  380/205 В. Автоматическим выключателем  $QF1$  к вторичной цепи трансформатора  $TV$  подключаются силовые цепи стенда  $A1$ ,  $B1$ ,  $C1$  и система собственных нужд стенда: питание операционных усилителей, задающих потенциометров и цифровых измерительных приборов. О наличии напряжения на вторичной стороне трансформатора сигнализируют светодиоды  $A1$ ,  $B1$ ,  $C1$ , о наличии напряжения собственных нужд – светодиоды + 5 В, + 15 В, – 15 В.

1.2 Модуль А2 «Измеритель мощности» подключен внутри стенда, включается в работу тумблером «Сеть» позволяет контролировать токи, напряжения и мощности в каждой фазе. Измеритель мощности содержит трехстрочный дисплей. В таблице 1 приведены измеряемые параметры.

Под трехстрочным дисплеем располагается откидная панель, за которой располагаются кнопки управления:

*DISPLAY* – переключение измеряемого параметра для всех трех строк дисплея;

*CHANNEL* – переключение фазы, в которой производится измерение показаний (только для значений «W», «WH», «Var», «VarH»);

*MAX* – переключение между максимальным, минимальным и действующим значением;

*RESET* – сброс показаний;

*HOLD* – фиксация показаний.

Таблица 1

Индикатор	Измеряемый параметр	Единица измерения
Верхняя строка	$V_1$ – фазное напряжение фазы А; $V_{12}$ – линейное напряжение между фазами А и В; $A_1$ – ток фазы А; $A$ – среднее значение тока трех фаз; $W$ – значение активной мощности; $Var$ – значение реактивной мощности.	В В А А Вт ВАР
Средняя строка	$V_2$ – фазное напряжение фазы В; $V_{23}$ – линейное напряжение между фазами В и С; $A_2$ – ток фазы В; $V$ – среднее значение фазного напряжения для трех фаз; $WH$ – потребляемая активная мощность; $VarH$ – потребляемая реактивная мощность.	В В А В Вт/ч ВАР/ч
Нижняя строка	$V_3$ – фазное напряжение фазы С; $V_{13}$ – линейное напряжение между фазами А и С; $A_3$ – ток фазы С; $PF$ – коэффициент мощности; $HZ$ – частота сети.	В В А Гц

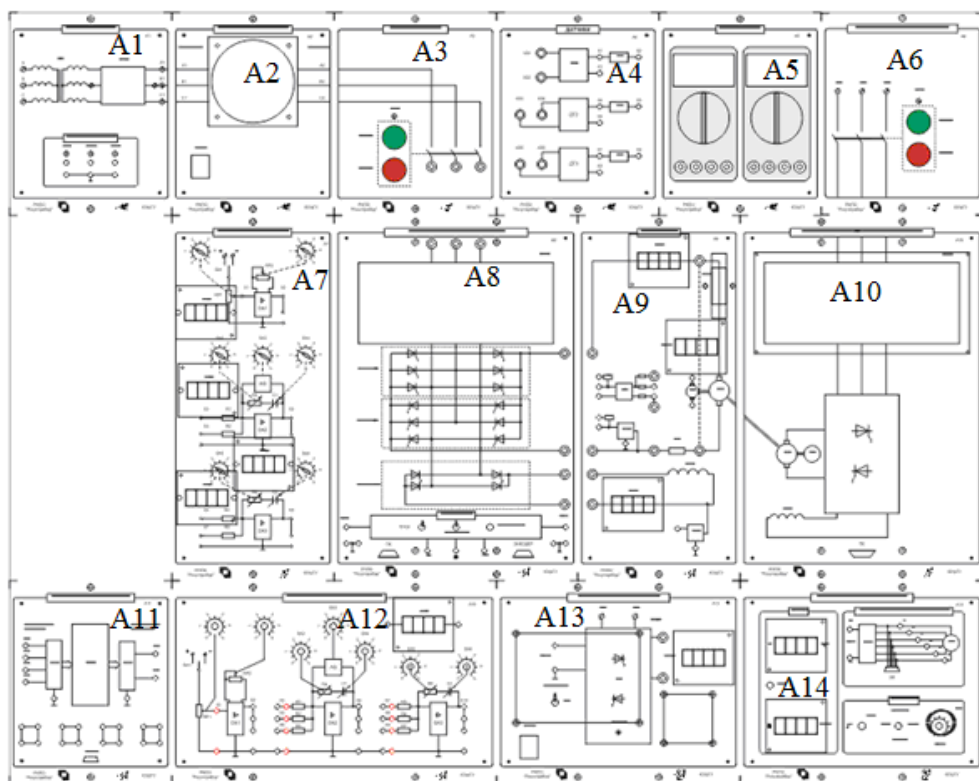


Рисунок 1 – Лицевая панель стенда постоянного тока

1.3 Модуль А3 «Модуль питания» Контактор КМ1 подключает питание на клеммы А3, В3, С3 цепей исследуемых двигателей и преобразователей. Управление контактором осуществляется кнопками ПУСК/СТОП. О включенном состоянии контактора сигнализируют красный светодиод КМ1.

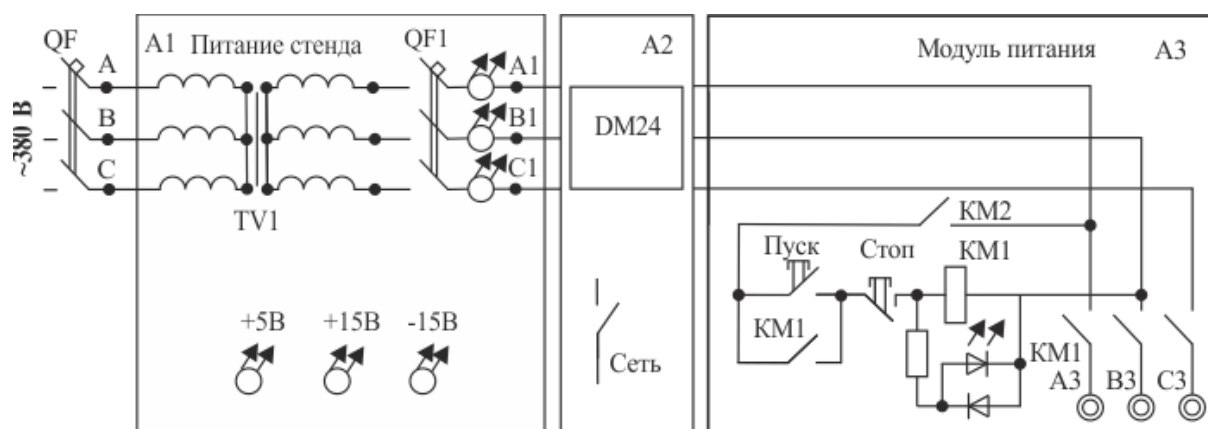


Рисунок 2 – Схема электроснабжения стенда

1.4 Модуль А4 «Датчики» (рисунок 3) предназначен для измерения напряжения и токов в силовых цепях исследуемого электропривода.

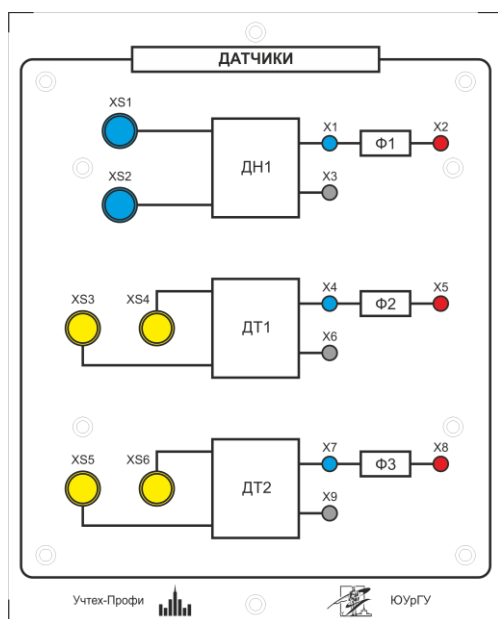


Рисунок 3 – Лицевая панель модуля датчики

Датчики имеют входные силовые клеммы XS1 – XS6 для измерения напряжения или тока. Выходные клеммы X1 – X9 датчиков потенциально развязаны с остальными сигналами модулей. На выходные клеммы X2, X5, X8 выведены сигналы датчиков через сглаживающие фильтры Ф1 – Ф3. Выходной сигнал датчиков подается в схему управления электроприводом. Напряжения на выходе можно наблюдать на экране осциллографа либо измерять цифровым прибором.

1.5 Модуль А5 «Модуль мультиметров» предназначен для измерения токов и напряжений в силовых и информационных цепях стенда. На лицевой панели модуля непосредственно установлены два мультиметра.

1.6 Нагрузочное устройство. Для создания регулируемой нагрузки на валу исследуемого двигателя применяется специальное нагрузочное устройство, управление которым осуществляется потенциометром *RP1* и тумблерами *SA1* и *SA3* модуля А14.

Нагрузка на валу исследуемого двигателя создаётся жёстко соединенной с ним нагрузочной электрической машиной М2 постоянного тока независимого возбуждения. Якорь нагрузочной машины питается от двухкомплектного мостового пол-

ностью управляемого выпрямителя, выполненного по мостовой схеме. Обмотка возбуждения машины подключена к 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 рисунке 4 (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 рисунке 5 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 рисунке 4 показано зеркальное отражение (относительно оси "ω") механических характеристик нагрузочной машины, иллюстрирующих возможность получения различных режимов работы исследуемой машины. За положительное

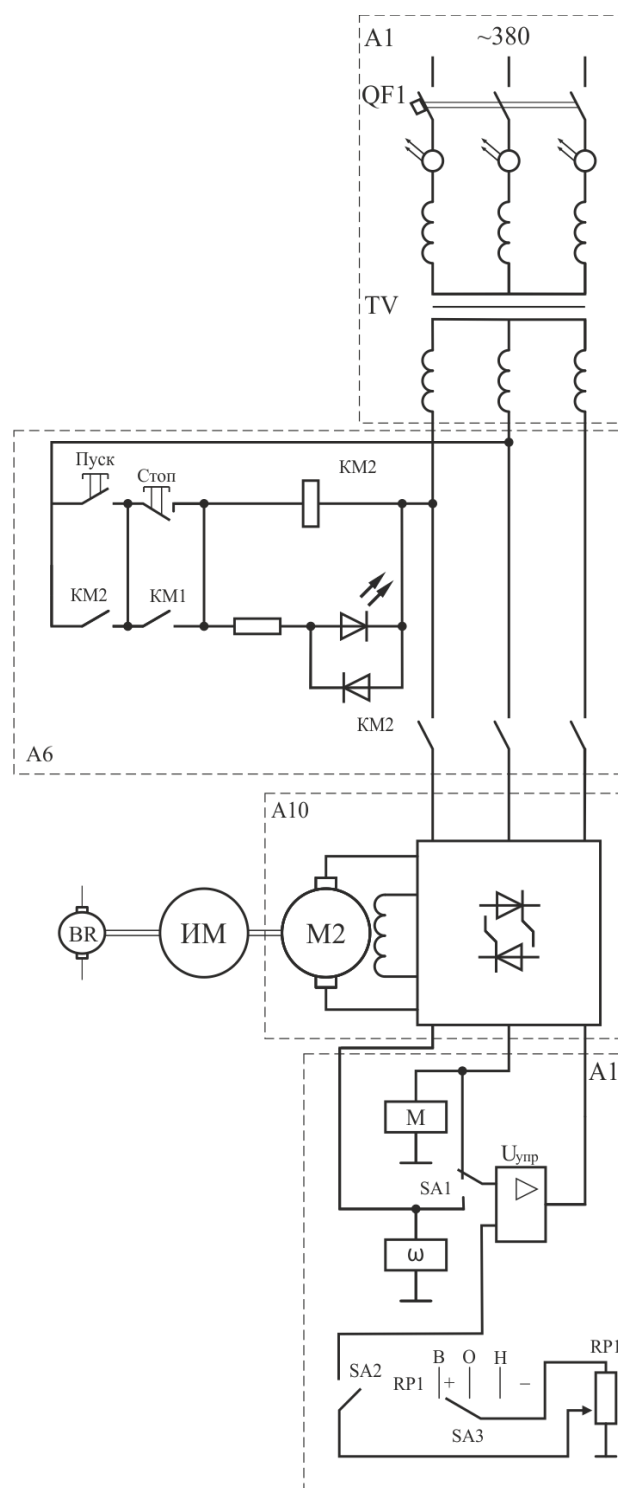


Рисунок 4 – Функциональная схема нагрузочного устройства

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.

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  $f, f'$ , см. рисунок 5), нагрузочную машину из режима поддержания тока якоря следует перевести в режим поддержания скорости вращения, равной заданной скорости исследуемой машины.

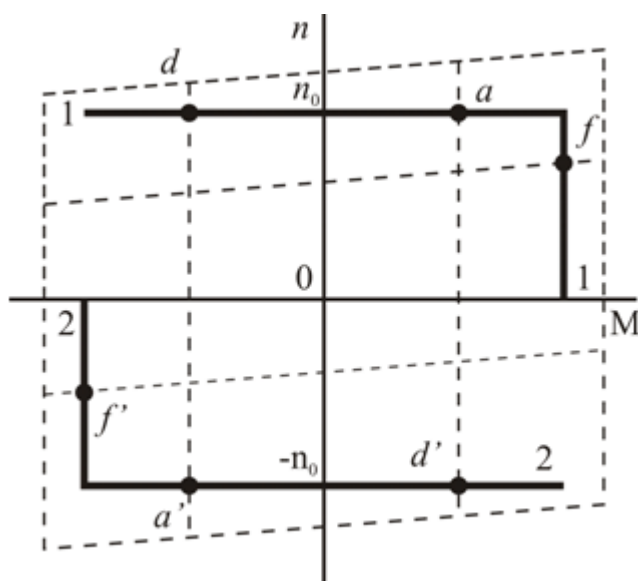


Рисунок 5 – Совмещение характеристики исследуемой машины и нагрузочного устройства

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 А14). Движок потенциометра RP1 должен быть установлен в крайнее левое положение.

Включение электропривода нагрузочного устройства осуществляется нажатием кнопки ПУСК (модуль А6). При этом поступает напряжение питания на ка-

тушку контактора КМ2, силовые контакты которого подают силовое напряжение питания на преобразователь постоянного тока якорной цепи и цепи возбуждения UZ2 (модуль А10). При готовности преобразователя постоянного тока UZ2 загорается светодиод “Ready” на модуле управления преобразователем UZ2 (модуль А10).

После включения электропривода нагрузочной машины, переключатель SA2 (модуль А14) переводится в верхнее положение, а переключателем SA3 выбирается знак момента сопротивления. Движок потенциометра RP1 (модуль А14) 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 А14) в сторону увеличения напряжения задания момента запускается нагрузочная машина и фиксируется направление её вращения. Если направление вращения вала машины М2 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 А14), а затем переключить положение тумблера SA3 (модуль А14).

Рассмотрим на примере идеальной механической характеристики исследуемой машины 1–1, 2–2 (рисунок 5).

В любом из выбранных положений тумблера SA3 (модуль А14) задание нагрузки на валу необходимо начинать с режима холостого хода исследуемой машины. Увеличение нагрузки должно ограничиваться допустимыми токами момента исследуемой машины.

Особое внимание следует обратить на снижение нагрузки до нулевого значения движком потенциометра RP1 (модуль А14) влево до упора при отключении питания исследуемой машины при её остановке.

Отключение нагрузочной машины осуществляется нажатием кнопки СТОП (модуль А6) 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 А14) просто переводится в положение “ $\omega$ ”. Задание скорости осуществляется от того же движка потенциометра RP1 (модуль А14). Если направление вращения вала машины М2 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 М2 будет выбрано согласно направлению вращения исследуемой машины, то возможно исследование статически неустойчивого генераторного режима исследуемой машины.

**Внимание!** При включении в работу НУ непременно следует снизить момент НУ до нуля, потенциометр *RP1* установить в нулевое (крайнее левое) положение.

**1.7 Модуль А7 «Регуляторы цепи якоря»** (рисунок 6), **Модуль А12 «Аналоговые регуляторы»** – модули отличаются друг от друга только разным числом входных цепей усилителей. Аналоговые регуляторы используются в замкнутых системах регулирования систем электропривода.

Примечание: На стендах 6 и 5 модуль регуляторов содержит дополнительный потенциометр задания, как и показано на рисунке 6, на остальных стендах потенциометр *RP1* отсутствует.

С помощью трехпозиционного тумблера *SA1* на потенциометр *RP1* подается двуполярное напряжение постоянного тока, а с выхода потенциометра клемме *X1* – **сигнал задания** в схему управления электроприводом или на вход задатчика интенсивности ЗИ.

Темп изменения выходного напряжения **задатчика интенсивности ЗИ** на базе усилителя *DA1* изменяется с помощью потенциометра *RP2*. Выходной сигнал ЗИ выведен на клеммы *X2*.

**Регулятор скорости** (напряжения) *PC* реализован на базе операционного усилителя *DA2*. На входные клеммы *X3*, *X4* подаются сигнал с ЗИ и сигнал обратной связи по скорости. Уровень ограничения выходного напряжения блока *AQ1* меняется с помощью переключателя *SA3*. Коэффициент пропорционального канала регулятора изменяется резистором *R3*, емкость в интегральном канале – конденсатором *C1*. Выходной сигнал регулятора выведен на клемму *X5*.

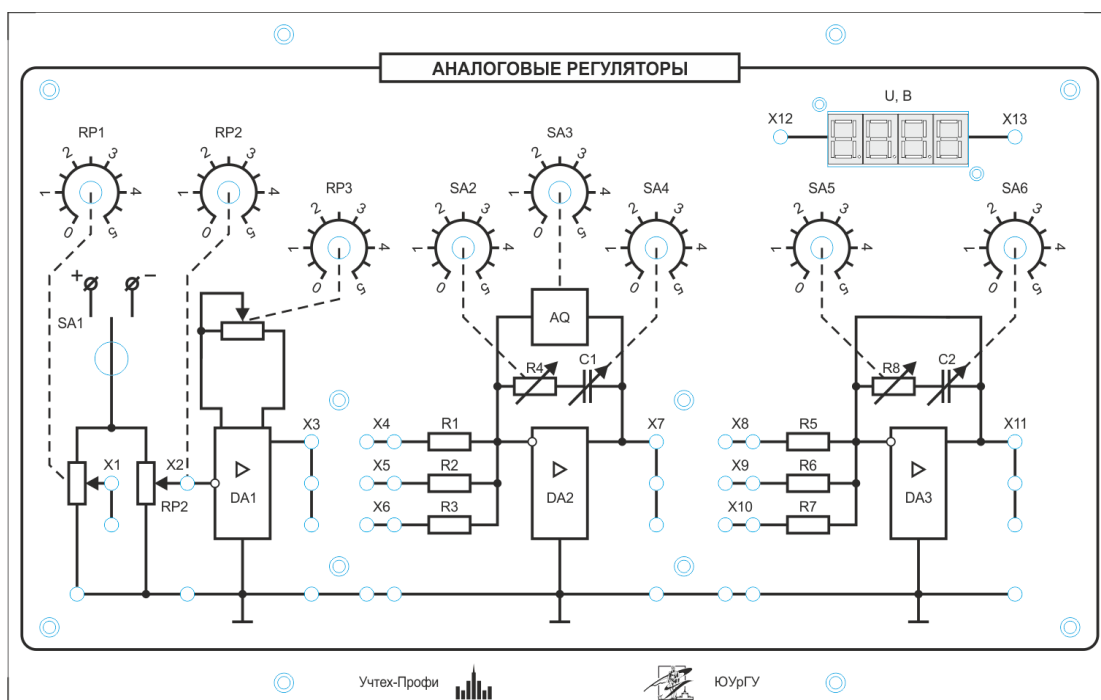


Рисунок 6 – Лицевая панель модуля регуляторов

**Регулятор тока РТ** якоря реализован на базе операционного усилителя *DA3*. На входные клеммы *X6*, *X7* подаются сигнал с *PC* и сигнал обратной связи по

току. Коэффициент пропорционального канала регулятора изменяется резистором  $R_6$ , емкость в интегральном канале – конденсатором  $C_2$ . Выходной сигнал регулятора тока выведен на клемму  $X_8$ .

Регистрация выходных сигналов элементов схемы управления электроприводом осуществляется цифровым вольтметром или с помощью осциллографа.

1.7.1.1 Проверка работы аналогового регулятора (модуль  $A_{12}$  «Аналоговые регуляторы»).

Подключить выход датчика интенсивности на базе усилителя  $DA_1$  к входу регулятора на базе  $DA_2$  (соединить клеммы  $X_2$  и  $X_3$ ), выход  $DA_2$  – к входу  $DA_3$  (соединить клеммы  $X_6$  и  $X_7$ ).

В исходном положении:

- потенциометр задающего напряжения  $RP_1$  перевести в крайнее левое положение;
- операционные усилители  $DA_2$ ,  $DA_3$  перевести в пропорциональный режим (закоротить конденсаторы  $C_1$ ) с минимальным коэффициентом усиления (резисторы обратных связей  $R_4$ ,  $R_8$  – в предпоследнее левое положение);
- датчик интенсивности  $DA_1$  – в режим минимального ускорения ( $RP_2$  – в крайнее правое положение);
- переключатель блока ограничения  $AQ$  – в режим максимального напряжения (в крайнее правое положение).

1.7.1.2 Переключателем  $SA_1$  подать напряжение на потенциометр задающего напряжения  $RP_1$ . При плавном перемещении потенциометра  $RP_1$  из крайнего левого положения повышается напряжение управления на входе  $X_1$  датчика интенсивности  $DA_1$ , растут напряжения на выходах  $DA_1$ ,  $DA_2$  и  $DA_3$ , напряжение управления увеличивается. Величина напряжений контролируется с помощью мультиметра 1 или осциллографа.

1.7.1.3 При максимальном положении задающего потенциометра  $RP_1$  с помощью сопротивлений обратной связи  $R_4$ ,  $R_8$  установить напряжение управления  $U_3 = 10$  В.

Возвратить задающий потенциометр  $RP_1$  в нулевое положение, установить с помощью мультиметра  $MU_1$  напряжение управления  $U_3 = 0$ .

1.7.1.4 По методике п. 1.7.1.1 проверить работу регулятора цепи якоря (модуль  $A_7$  «Регуляторы цепи якоря»). При максимальном положении задающего потенциометра  $RP_1$  с помощью сопротивлений обратной связи  $R_3$ ,  $R_6$  установить напряжение управления  $U_{з\text{я}} = 10$  В тиристорного преобразователя  $UZ_1$ .

Возвратить задающий потенциометр  $RP_1$  в нулевое положение, установить с помощью мультиметра 2 напряжение управления  $U_{з\text{я}} = 0$ .

1.7.2 Проверка работы тиристорного возбудителя  $UZB$  преобразователя «Mentor» (см. рисунок 4).



1.7.2.1 Регулирование тока возбуждения двигателя обеспечивается изменением напряжения управления  $U_{ЗВ}$  на входе преобразователя UZB, которое формируется на клемме X6 модуля A12 «Аналоговые регуляторы» с помощью потенциометра RP1.

**ВНИМАНИЕ!** При работе с возбудителем UZB силовые цепи преобразователей якоря UZ1 и возбуждения UZB включаются одновременно.

Для исключения работы UZ1 цепи якоря следует проверить:

- отключенное состояние выключателей SA1 «ПУСК» и SA2 «Разрешение» на модуле A8;
- крайнее левое положение потенциометра RP1 модуля A7.

1.7.2.2 Если используется реверсивный возбудитель UZ3 модуля A13 – см. п. 1.7.2.5.

1.7.2.3 Для проверки работы возбудителя UZB преобразователя «Mentor»:

- установить потенциометр RP1 модуля A12 «Регуляторы цепи возбуждения» в крайнее левое положение;
- установить потенциометр RP1 модуля A7 «Регуляторы цепи якоря» в крайнее левое положение;
- отключить выключатели «ПУСК» и «Разрешение» на модуле A8 тиристорного преобразователя UZ1;
- включить питание преобразователей UZ1 и UZB кнопкой «Пуск» модуля A3 «Модуль питания», при этом включается контактор KM1 (о включенном состоянии контактора KM1 сигнализирует красный светодиод, расположенный над кнопками «Пуск», «Стоп» модуля A3), подается напряжение на цепи управления, СИФУ и силовые цепи тиристорного возбудителя и тиристорного преобразователя, «Mentor» включен;
- при изменении задающего напряжения  $U_{ЗВ}$  на RP1 модуля 12 проверить функционирование тиристорного возбудителя UZB, наблюдая изменение тока возбуждения с помощью цифрового амперметра в цепи обмотки возбуждения;
- изменением задающего напряжения  $U_{ЗВ}$  на RP1 установить номинальный ток возбуждения двигателя (см. Приложение А).

1.7.2.4 Если используется тиристорный возбудитель UZB преобразователя «Mentor» – см. п. 1.7.2.3.

1.7.2.5 Проверить работу реверсивного возбудителя UZ3 модуля A13.

Контактор KM1 модуля A3 «Модуль питания» при этом должен быть отключен.

С этой целью:

- установить потенциометр RP1 модуля A12 «Регуляторы цепи возбуждения» в крайнее левое положение;
- включить питание преобразователя UZ3 кнопкой «Сеть» модуля A13;

– при изменении задающего напряжения  $U_{ЗВ}$  на RP1 модуля 12 проверить функционирование тиристорного возбудителя UZ3, наблюдая изменение напряжения и тока возбуждения;

– изменением задающего напряжения  $U_{ЗВ1}$  на RP1 установить номинальный ток возбуждения двигателя (см. Приложение А).

**Цифровой вольтметр** позволяет фиксировать значения напряжений в схеме управления электроприводом. В модуле А5 установлены два мультиметра, позволяющие измерять напряжения в системе управления, активные сопротивления элементов и др.

1.8 Модуль А11 «Аналоговый ввод-вывод» предназначен для ввода и вывода слаботочных  $\pm 10$  В аналоговых сигналов на плату аналогового ввода/вывода L-780М персонального компьютера с целью изучения переходных процессов в системах электропривода. Модуль позволяет осуществлять управление лабораторным стендом от персонального компьютера.

Модуль содержит четырехканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с входными клеммами А1 – А4, ЭВМ, двухканальный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) с выходными клеммами А5 – А6, разъем для подключения компьютера СОМ1. На модуле также имеются четыре потенциально независимых блока клемм.

1.9 Модули А8, А9, А13 предназначены для исследования систем электроприводов **только постоянного тока** и будут описаны в методических указаниях к лабораторным работам в главе 2.

1.10 Цифровые приборы стенда. Для измерения постоянного напряжения на выходах операционных усилителей, датчиков тока и напряжения, переключателей задающих напряжений рекомендуется использовать дополнительные цифровые приборы стенда: вольтметр U (модуль А12), два цифровых мультиметра (модуль А5). Вольтметр U позволяет измерять напряжение в диапазоне от  $-15$  В до  $+15$  В.

1.11 Цифровой осциллограф *Fluke 192В*. Для наблюдения за переходными процессами в системах электропривода и на выводах полупроводниковых устройств (вентильных преобразователей, полупроводниковых усилителей и т.п.) применяется осциллограф *Fluke 192 В*.

Осциллограф обеспечивает:

- измерение амплитудных и временных значений сигнала;
- одновременное изображение двух исследуемых сигналов на одной развёртке;
- изображение функциональных зависимостей между двумя сигналами в режиме X–Y.

Число каналов вертикального отклонения – два.

Основные технические характеристики прибора:

1 Максимальная амплитуда (размах) исследуемого сигнала – не более: 1000 В (категория II) на входах А и В с делителем 10:1.

2 Измерение напряжений в диапазоне 1 мВ до 1000 В.

3 Входное активное сопротивление – 1 МОм.

4 Напряжение питания осциллографа – 9 В, и осуществляется через блок питания  $\sim 220 \text{ В}/=9 \text{ В}$ .

Включение осциллографа осуществляется зелёной кнопкой, расположенной в левом нижнем углу.

Входы А и В являются гальванически развязанными.