



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
Белорусский национальный  
технический университет

---

**Кафедра «Робототехнические системы»**

**Г. Н. Здор  
Ю. Е. Лившиц**

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД  
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

**Учебно-методическое пособие  
к лабораторным работам  
по дисциплинам «Электрические машины  
и автоматизированный электропривод»  
и «Приводы РТС»**

**Минск  
БНТУ  
2015**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Робототехнические системы»

Г. Н. Здор  
Ю. Е. Лившиц

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД  
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Учебно-методическое пособие  
к лабораторным работам  
по дисциплинам «Электрические машины  
и автоматизированный электропривод» и «Приводы РТС»  
для студентов специальностей  
1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов  
и производств» и 1-53 01 06 «Промышленные роботы  
и робототехнические комплексы»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
высших учебных заведений по образованию в области автоматизации  
технологических процессов, производств и управления*

Минск  
БНТУ  
2015

УДК [621.313-181.48 (076.5)]

ББК 33.261я7

346

Рецензенты:

кафедра «Материаловедение и технология металлов» БГТУ;

*А. С. Кравченко*

**Здор, Г. Н.**

346 Энергосберегающий электропривод систем автоматизации : учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплинам «Электрические машины и автоматизированный электропривод» и «Приводы РТС» для студентов специальностей 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 1-53 01 06 «Промышленные роботы и робототехнические комплексы» / Г. Н. Здор, Ю. Е. Лившиц. – Минск : БНТУ, 2015. – 121 с.

ISBN 978-985-550-513-7.

Излагаются принципы работы регулируемых электроприводов на базе преобразователей частоты и сервоприводов.

Приводится описание стендов для изучения современных широко регулируемых, энергосберегающих электроприводов различного назначения с трехфазными асинхронными и синхронными двигателями.

Лабораторные работы позволяют на практике закрепить теоретические знания и освоить навыки настройки преобразователей частоты и сервоприводов реальных систем автоматизации для получения заданных параметров и характеристик регулирования.

УДК [621.313-181.48 (076.5)]

ББК 33.261я7

ISBN 978-985-550-513-7

© Здор Г. Н., Лившиц Ю. Е., 2015

© Белорусский национальный

технический университет, 2015

## *Лабораторная работа № 1*

### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА БАЗЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ИТАСНІ L100**

**Цель работы:** изучить принципы работы ПИД-регуляторов и настроить автоматическую систему с ПИД-регулятором.

#### **Краткие теоретические сведения**

Современный этап развития промышленных приводов характеризуется значительным расширением области применения регулируемых электроприводов переменного тока. Это касается большинства тех отраслей промышленности, в которых ранее использовались приводы постоянного тока с двигателями независимого возбуждения, обладающие наилучшими регулировочными свойствами (металлообрабатывающая промышленность, производство бумаги), а также отраслей, где технологические параметры средствами электропривода не регулировались (насосные станции, воздуходувки, тепловые пушки). Многие преобразователи частоты имеют встроенную функцию ПИД-регулирования. Сигнал обратной связи от датчиков поступает по току 4–20 мА или напряжению 0–10 В.

#### ***Принцип работы П-регулятора***

На рис. 1.1 показана система автоматического регулирования (САР) уровня воды в баке. Автоматические системы регулирования относятся к замкнутым системам регулирования. САР состоит из объекта регулирования – бака с водой, и регулятора – поплавкового регулятора прямого действия. В свою очередь, поплавок регулятор состоит из следующих деталей:

- чувствительного элемента – поплавка;
- задающего устройства – стяжного механизма;
- управляющего устройства – рычага;
- регулирующего органа – вентиля на подающем трубопроводе.

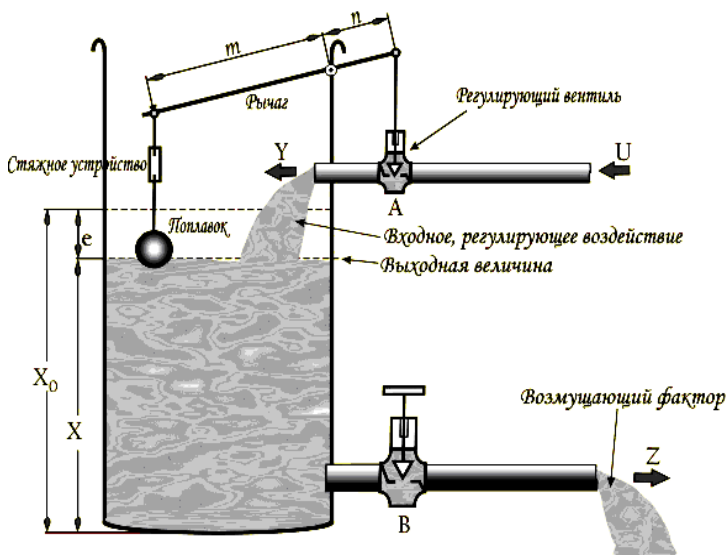


Рис. 1.1. Система автоматического регулирования уровня воды в баке

В регуляторе прямого действия все перемещения регулирующего органа осуществляются за счет энергии, получаемой непосредственно от объекта регулирования. Вентиль *A* настраивается с помощью стяжного устройства таким образом, чтобы вода не поступала в бак при достижении заданного значения уровня  $X_0$ . Таким образом, исходное состояние системы: вентили *A* и *B* закрыты, уровень воды  $X_0$ . Функциональная схема САР показана на рис. 1.2.

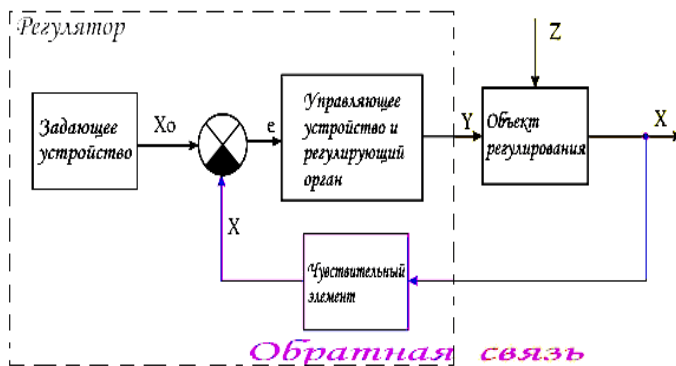


Рис. 1.2. Функциональная схема САР

В САР с поплавковым регулятором обратная связь (ОС) действует как в переходные моменты, так и в установившемся режиме. Такая ОС называется *жесткой обратной связью* или главной обратной связью.

Когда выходной клапан  $B$  открыт (см. рис. 1.1), поток воды из бака  $Z$  является возмущающим фактором для САР.

Вода из бака выливается, уровень воды в баке понижается, и поплавок регулятора, перемещаясь вниз посредством рычага, открывает клапан регулирующего вентиля  $A$ . В результате в бак вливается вода  $Y$  (входное регулирующее воздействие) до тех пор, пока поток  $Z$  превышает поток  $Y$ . Понижение уровня воды в баке продолжается с соответствующим перемещением в более низкое положение поплавка. Когда поток  $Y$  сравняется по величине с потоком  $Z$ , процесс регулирования завершится. В рассмотренном регуляторе для каждого положения поплавка в баке пропорционально отклонению уровня воды устанавливается определенная величина потока вливаемой воды. Регулятор такого типа называется *пропорциональным*.

В пропорциональном регуляторе работа регулятора сводится к перемещению регулирующего органа  $A$  пропорционально величине ошибки  $e$ , где ошибка – это отклонение регулируемой величины от заданного значения  $X_0$ .

Уменьшить величину ошибки возможно за счет увеличения коэффициента передачи (усиления) регулятора  $K_n$ . В нашем регуляторе  $K_n$  зависит от соотношения между плечами рычага  $m$  и  $n$ . Например, если уменьшить длину плеча рычага  $m$ , коэффициент передачи регулятора  $K_n$  увеличится и поток вливаемой воды будет той же величины, но при меньшем значении ошибки  $e$ .

С увеличением  $K_n$  уменьшается зона пропорциональности (ЗП) регулятора. Например, если регулирующий клапан полностью открыт, когда поплавок опустился вниз на максимально возможное расстояние для данного регулятора, – ЗП регулятора равно 100 %, а  $K_n = 1$ . Если отклонение поплавка на одну пятую от этого расстояния полностью откроет клапан регулирующего вентиля, ЗП регулятора равно 20 %, а  $K_n$  равно 5, т. е. можно построить регулятор, который при минимальных отклонениях поплавка способен генерировать значительные управляющие воздействия  $Y$ .

Для каждой САР имеется пороговое значение ЗП, начиная с которого инерционные свойства регулятора и объекта регулирования

оказывают существенное влияние на работу регулятора и проявляются в виде эффекта перерегулирования – САР теряет устойчивость. Можно сравнить поведение регулятора с автомобилем, который должен разогнаться до определенной скорости и затем затормозить, чтобы остановиться у обозначенной отметки. Если постепенно уменьшать расстояние, которое отводится для выполнения этого задания, можно выйти на пороговое расстояние, после которого автомобиль по инерции начнет переезжать отметку. Чтобы остановиться в нужном месте, автомобиль потребует сдать назад.

В случае с регулятором в результате возмущающего воздействия поплавков регулятора переместится вниз, по инерции опустится ниже отметки уровня для нового равновесного состояния САР и вызовет поток вливающейся воды  $Y$ , который больше потока выливающейся воды  $Z$ . Направление перемещения поплавка изменится. Он поднимется вверх и вновь пересечет отметку уровня для нового равновесного состояния САР, затем опустится вниз и т. д. Несмотря на это, если колебания носят затухающий характер, процесс регулирования с оптимальной зоной пропорциональности завершится быстрее и при меньшем значении ошибки, чем у регулятора с широкой зоной пропорциональности. На рис. 1.3  $t_1 < t_2$  и  $e_1 < e_2$ .

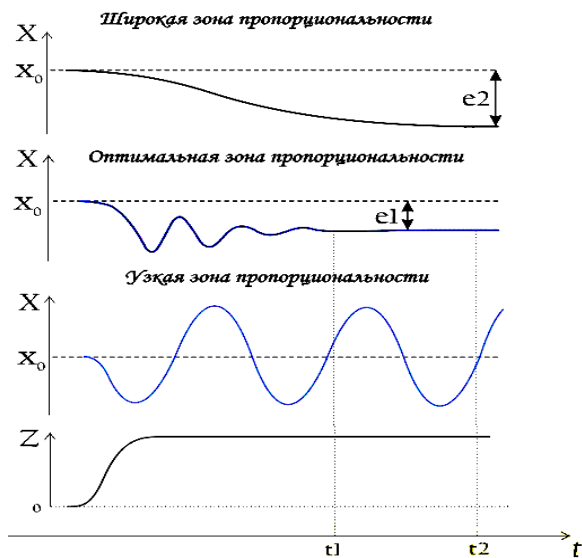


Рис. 1.3. Настройка П-регулятора

Надо иметь в виду, что для значений степени неравномерности имеется предел, начиная с которого пропорциональный регулятор срывается в режим автоколебаний (см. рис. 1.3), – узкая зона пропорциональности.

Главным недостатком пропорциональных регуляторов является **обязательное** отклонение регулируемой величины от заданного значения.

Еще одним существенным недостатком пропорциональных регуляторов является замедленная реакция регулятора на возмущающее воздействие в начале переходного процесса.

Например, если полностью открыть выходной вентиль, уровень воды в баке начнет понижаться с максимальной скоростью, но в начальный момент времени, когда отклонение уровня воды в баке незначительное, незначительным будет и регулирующее воздействие. В результате процесс регулирования затянется.

Если закрыть выходной вентиль (см. рис. 1.1), получим пример превращения пропорционального регулятора в интегральный регулятор (рис. 1.4).

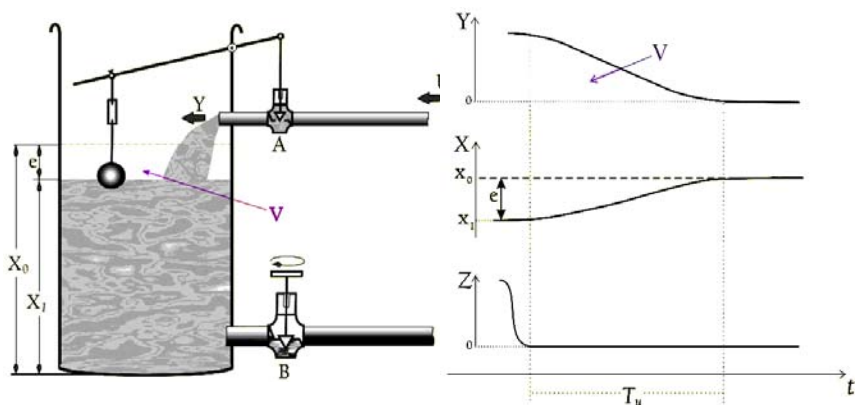


Рис. 1.4. Модель САР с интегральным регулятором

Особенность интегрального регулятора заключается в том, что он вырабатывает долгосрочное корректирующее воздействие, постепенно сводящее ошибку к нулю.

Теперь уровень воды в баке зависит не только от того, насколько открыт регулирующий вентиль  $A$ , но и как долго он открыт. Вентиль  $A$  закроется, когда уровень в баке вернется к заданному значе-



нию  $X_0$ . Уровень воды в баке, начиная с уровня  $X_1$  и выше, пропорционален аккумулярованному объему воды  $V$ , поступившему через регулирующий вентиль  $A$ .

По мере уменьшения ошибки  $e$  нарастает объем налившейся в бак воды, т. е. регулирующее воздействие как будто накапливается и в каждый момент времени равно сумме всех предыдущих регулирующих воздействий.

Для расчета величины регулирующего воздействия И-регулятора удобно применять интегральное исчисление, откуда и пошло название. В нашем случае интегрирующим звеном является бак с водой, но такое звено может содержать и сам регулятор САР. Интегральная составляющая затягивает переходные процессы, поэтому пропорциональное воздействие комбинируют с интегральным.

К сожалению, построить ПИ-регулятор прямого действия не представляется возможным. Обычно пропорционально-интегральный регулятор представляет собой регулятор непрямого действия, для работы которого используется источник дополнительной энергии. В таком регуляторе помимо жесткой обратной связи (ОС) имеется положительная гибкая обратная связь (ПОС). В отличие от жесткой обратной связи гибкая обратная связь действует только в переходные моменты.

Интегральное воздействие И-регулятора аналогично ручной подстройке параметра, поэтому часто эту составляющую регулирования называют восстанавливающей (Reset), возвращающей в исходное состояние. Интегральная составляющая устраняет ошибку регулирования, неизбежную при пропорциональном регулировании, путем увеличения или уменьшения управляющего воздействия пропорционального регулятора. При этом скорость устранения ошибки задается временем, в течение которого осуществляется коррекция. Это время называется временем интегрирования  $T_{и}$ .

### ***Пример ручного регулирования***

Упростим рис. 1.1 и вместо поплавкового регулятора установим ручной регулирующий вентиль  $A$ . Получим систему, в которой управление регулирующим вентилем осуществляется оператором. Предположим, что система находится в равновесии, т. е. поток  $Y1$  равен потоку  $Z1$ . Обозначим положение регулирующего вентиля  $a1$ , а фиксированное значение уровня  $X_0$  (рис. 1.5).

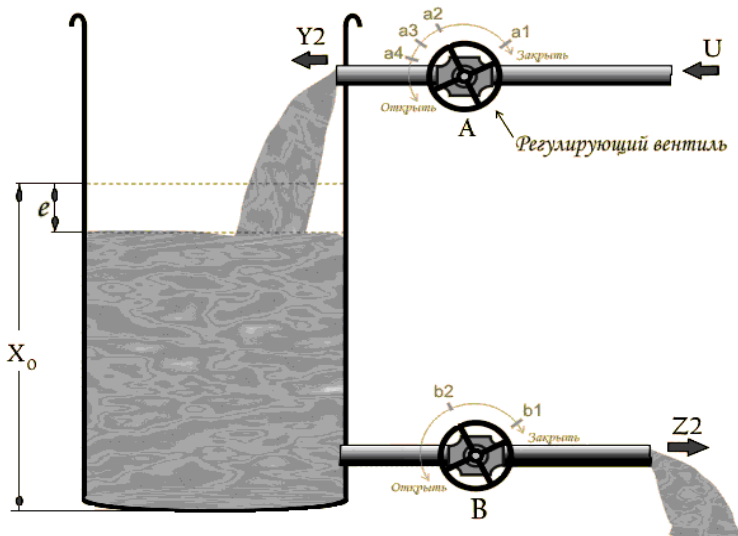


Рис. 1.5. Модель управляемой системы

**Этап первый.** Больше откроем вентиль  $B$ , повернем его в положение  $b2$ .

Поток  $Z2$  выливающейся воды из бака увеличится, и уровень в баке начнет понижаться (см. рис. 1.5).

Остановим понижение уровня. Начнем плавно открывать вентиль  $A$ , тем самым увеличивая поток  $Y1$ , и одновременно следим за понижением уровня.

В какой-то момент времени уровень зафиксируется в новом, более низком положении, что стало возможным благодаря достигнутому равенству входного и выходного потоков.

Обозначим новое значение потока воды в бак как  $Y2$  и положение регулирующего вентиля – как  $a2$ .

На этом этапе регулирование было выполнено по аналогии с действием пропорциональной составляющей автоматического регулятора с широкой зоной пропорциональности.

**Этап второй.** Этот этап регулирования будет осуществляться подобно действию интегральной составляющей автоматического регулятора. Возвратим уровень к значению  $X_0$ . Для этого больше откроем вентиль  $A$ , положение вентиля –  $a3$ , тем самым увеличим поток  $Y2$

воды в бак на дополнительную величину  $e$ . За счет дополнительного потока  $e$  вода в баке начнет прибывать, накапливаться и соответственно начнет повышаться уровень (см. рис. 1.5).

По мере повышения уровня воды постепенно прикрываем вентиль  $A$ , чтобы уменьшить величину дополнительного потока воды  $e$ .

Когда уровень воды в баке повысится до значения  $X_0$ , регулирующий вентиль  $A$  довернем в положение  $a_2$ , при котором поток  $Y_2$  равен потоку  $Z_2$  (см. рис. 1.5).

В результате несложных действий уровень воды в баке удалось вернуть к прежнему значению  $X_0$ . На графиках рис. 1.6 можно проследить, как проходил процесс регулирования.

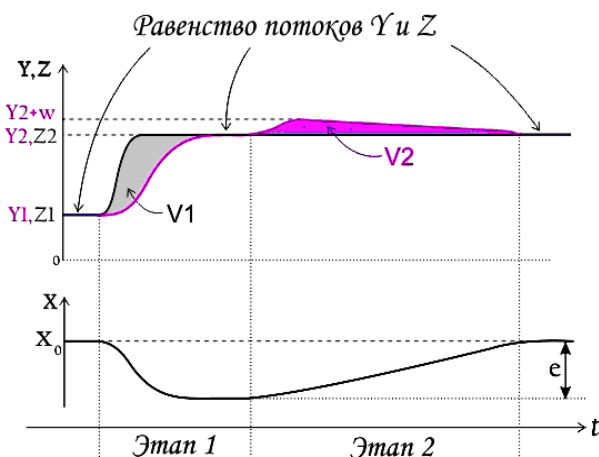


Рис. 1.6. Графики расхода воды в модели и изменения ее уровня:  
 $V_1$  – потеря объема воды в баке в результате регулирующего воздействия, аналогичного пропорциональному;  $V_2$  – объем воды, который добавлен (подлит), чтобы вернуть уровень воды к значению  $X_0$

### ***Принцип работы Д-регулятора***

Как отмечалось ранее, недостатком пропорциональных регуляторов является неспособность адекватно реагировать на возмущающее воздействие в начале переходного процесса, что приводит к снижению качества регулирования, а именно: возникают колебания регулируемой величины и процесс регулирования затягивается.

Для устранения этого недостатка разработаны регуляторы, выработывающие регулирующее воздействие по скорости изменения ошибки.

Если регулирующее воздействие регулятора пропорционально скорости изменения регулируемой величины, то такой регулятор называется **дифференциальным**.

Вернемся к примеру ручного регулирования (см. этап 2). Вспомним, что для того, чтобы остановить понижение уровня воды, медленно открывали вентиль *A* и осуществили регулирование по аналогии с действием пропорциональной составляющей автоматического регулятора с широкой зоной пропорциональности (ЗП).

Чтобы ускорить процесс регулирования, можно открывать вентиль *A* быстрее. В этом случае для уменьшения возникающих колебаний уровня воды потребуется неоднократно прикрывать и снова открывать вентиль *A*. Регулирование будет проходить по аналогии с действием пропорциональной составляющей в регуляторе с оптимальной ЗП (см. рис. 1.3).

Система находится в равновесии. Поток  $Y1$  равен потоку  $Z1$ ; уровень зафиксирован у отметки  $X_0$  (рис. 1.7).

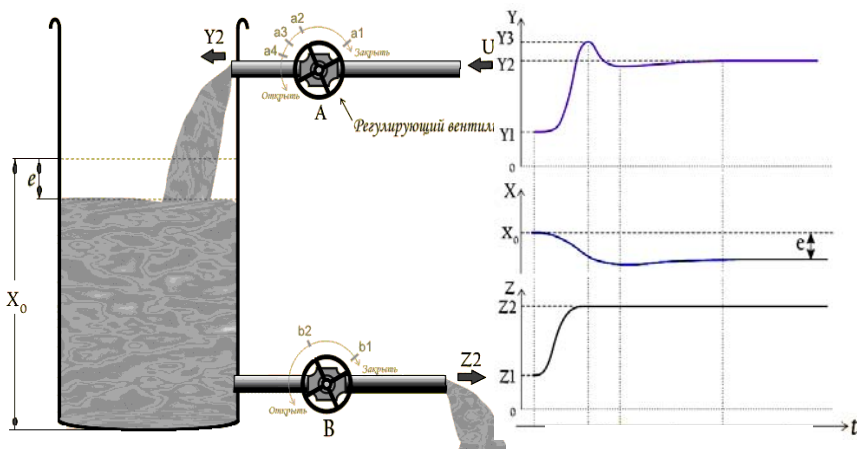


Рис. 1.7. Модель САР с Д-регулятором

Откроем больше вентиль  $B$ , повернув его в положение  $b2$ .

Поток выливающейся из бака воды увеличится до  $Z2$ , и уровень в баке начнет понижаться. Сделаем примерную оценку возмущающего воздействия (насколько увеличился поток выливающейся воды из бака) по скорости понижения уровня воды в водомерном стекле и, соответственно, откроем вентиль  $A$  так, чтобы поток вливающейся воды  $Y3$  был заведомо больше потока выливающейся воды  $Z2$ . Причем для этого вентиль  $A$  должен быть повернут в положение  $a4$ .

Так как мы имеем дело с большой инерционной системой (бак с водой) и все процессы протекают со значительной задержкой, начнем прикрывать вентиль  $A$ , не дожидаясь конечного результата изменения регулируемой величины, пытаюсь приблизить величину потока  $Y$  к величине потока  $Z2$ .

В результате будет осуществлено регулирующее воздействие, которое благодаря «ударному», мощному характеру практически остановило понижение уровня воды в баке на начальной стадии переходного процесса.

Сбалансируем оба потока, приоткрывая и прикрывая вентиль  $A$ , тем самым зафиксируем новое положение уровня.

В рассмотренном примере регулирование выполнено в такой же последовательности, как и в ПД-регуляторе, где:

а) процесс регулирования аналогичный, как при работе дифференциальной составляющей автоматического регулятора;

б) процесс регулирования аналогичный ПД-регулятору, когда на затухающую дифференциальную составляющую накладывается пропорциональная составляющая;

в) регулирование подобно действию пропорциональной составляющей;

г) новое устойчивое состояние уровня.

Дифференциальное воздействие не является точным, и его величина устанавливается заранее при настройке регулятора. Параметры настройки рассчитывают, используя данные, полученные в ходе исследования реакции САР на возмущающее воздействие.

В чистом виде дифференциальный регулятор не применяется, а совмещается с пропорциональным регулятором или пропорционально-интегральным, рис. 1.8.

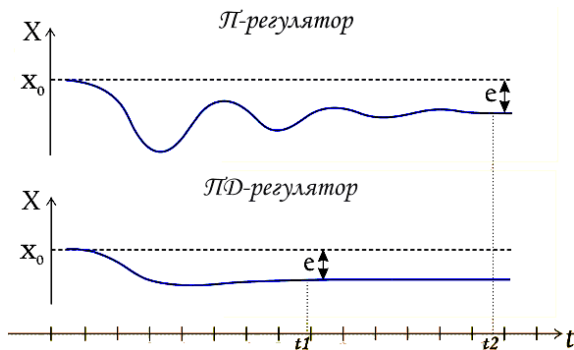


Рис. 1.8. Сравнение П и ПИД-регуляторов

*Пропорционально-интегральный-дифференциальный регулятор* – это регулятор непрямого действия, в котором наряду с жесткой обратной связью (ОС) имеется положительная гибкая обратная связь (ПОС) и отрицательная гибкая обратная связь (ООС).

В ПИД-регуляторах, благодаря дифференциальной составляющей, процесс регулирования происходит быстрее, чем в ПИ-регуляторах. Во многих случаях, когда процесс регулирования характеризуется высокой динамичностью, как, например, в САР регулирования потока или давления, дифференциальную составляющую исключают, чтобы избежать явления самовозбуждения.

## 1.2. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой модель автоматической системы управления обогревом помещения. Он состоит из нагревательного элемента (запитан от ЛАТРа), вентилятора, приводящегося во вращение асинхронным электродвигателем, управляемым от преобразователя частоты Hitachi L100 (схема приведена на рис. 1.9).

Система должна подавать воздух с определенной температурой, чтобы обеспечить требуемую температуру в помещении. При этом качество работы системы (точность установки и поддержания заданной температуры) определяется параметрами настройки встроенного в преобразователь частоты ПИД-регулятора. Сигнал задания может поступать в преобразователь с верхнего уровня управления или задаваться вручную.

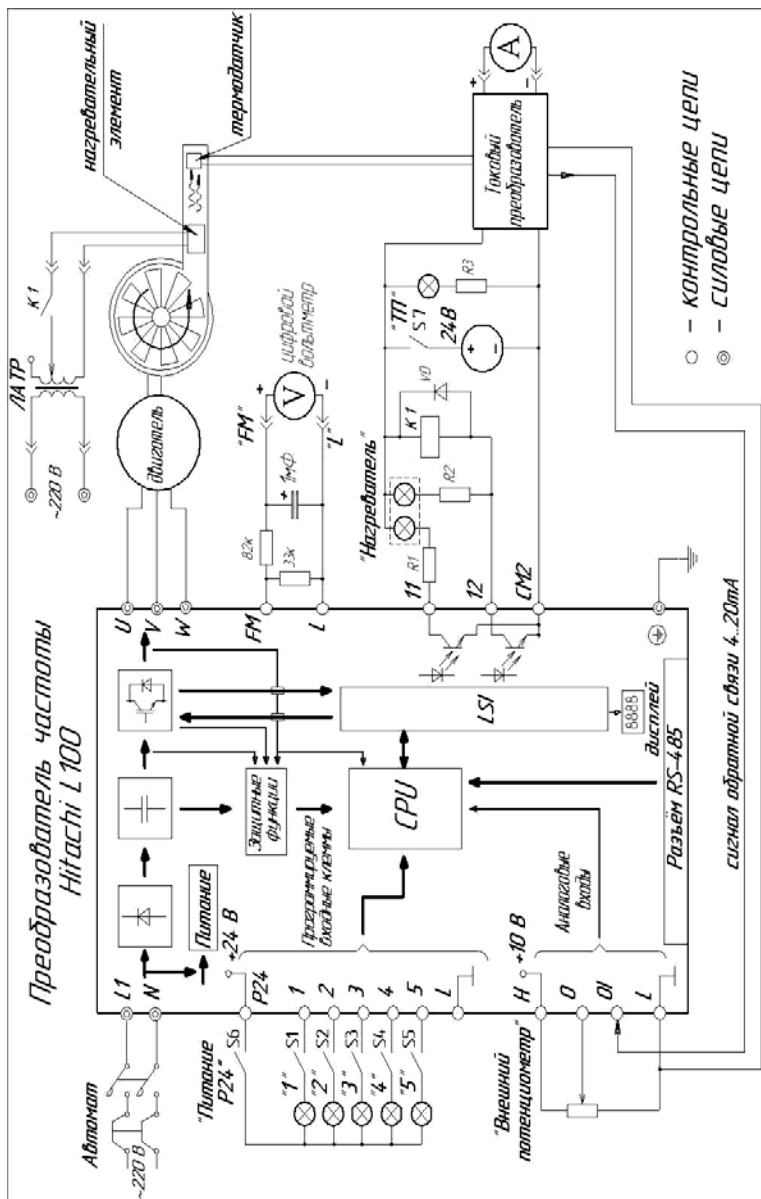


Рис. 1.9. Схема установки автоматизированной системы управления температурой воздушного потока на базе преобразователя частоты

Объект управления – нагреватель. Температура выходного потока воздуха может регулироваться путем изменения напряжения питания нагревательного элемента или путем изменения скорости потока, обдувающего нагреватель. Обратная связь осуществляется с помощью терморезистивных датчиков по температуре выходного потока. Скорость потока воздуха регулируется частотой вращения приводного двигателя вентилятора, которая определяется параметрами настройки преобразователя частоты исходя из сигнала обратной связи.

Следует отметить, что данный стенд представляет собой модель энергосберегающей технологии обогрева помещения. Он в отличие от систем, применяемых ранее, имеет возможность плавного управления **температурой и скоростью выходного** потока (благодаря управлению электродвигателем от преобразователя частоты). Применявшиеся ранее системы не имели систем управления электродвигателем. В них двигатель постоянно работал на максимальных оборотах, а поток регулировался заслонками, что являлось крайне неэкономичным решением. Следует отметить, что вентиляторы обычно имеют такие параметры, которые обеспечивают максимальный расход воздуха, требуемый системой. Однако условия функционирования часто требуют снижения расхода. Это может достигаться путем дросселирования при постоянной скорости вращения вала вентилятора, а также за счет изменения скорости вращения вала вентилятора при использовании частотно-регулируемого привода. Производительность можно менять в зависимости от сезонных, климатических и других условий.

Мощность, потребляемая электродвигателем, находится в кубической зависимости от скорости вращения вентилятора, т. е. уменьшение скорости вращения вентилятора в два раза приводит к уменьшению потребляемой мощности в восемь раз. Экономия электроэнергии при применении частотно-регулируемого привода может составить до 60 %.

В лабораторной работе предусмотрена регулировка температуры потока как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Установка состоит из преобразователя частоты Hitachi L100, асинхронного электродвигателя, вентилятора, нагревательного элемента, ЛАТРа, термодатчика (два последовательно соединенных терморезистора), токового преобразователя сигнала датчика обратной связи (схема приведена на рис. 1.10) и амперметра В7-35.



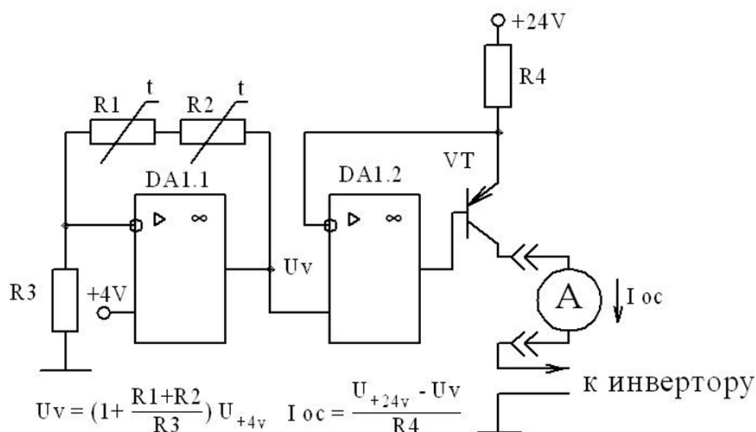


Рис. 1.10. Схема токового преобразователя сигнала обратной связи

Токовый преобразователь собран на двояном операционном усилителе LM358 (DA1.1, DA1.2). Изменение сопротивления термодатчика (терморезисторов R1 и R2) влечет за собой изменение коэффициента усиления усилительного каскада, состоящего из элементов DA1.1, R1–R3. На операционном усилителе DA1.2 и биполярном транзисторе VT собран источник тока для заземленной нагрузки. Благодаря обратной связи на входах операционного усилителя DA1.2 поддерживается одинаковое напряжение. В результате на резисторе R4 возникает падение напряжения, равное  $U(+24\text{В}) - U_v$ , которое в свою очередь задает значение эмиттерного тока (а следовательно и выходного тока обратной связи), равного

$$I_{oc} = (+24 \text{ В} - U_v) / R_4.$$

Пусть в некоторый момент времени напряжение на неинвертирующем входе ( $U_v$ ) усилителя DA1.2 превысило значение напряжения на инвертирующем входе. Из-за положительной разности потенциалов на входах увеличивается выходное напряжение операционного усилителя DA1.2, а следовательно и напряжение на базе транзистора VT. Из-за повышения потенциала базы транзистор VT немного закрывается, вследствие чего эмиттерный ток уменьшается. Снижение эмиттерного тока транзистора приводит к уменьше-

нию падения напряжения на постоянном сопротивлении R4. В результате потенциал инвертирующего входа усилителя DA1.2 повышается до тех пор, пока не достигнет значения  $U_v$ . Величины сопротивлений R3, R4 подобраны таким образом, чтобы при изменении температуры потока от 25 до 70 °С ток обратной связи находился в диапазоне 4–20 мА.

### **Порядок выполнения работы**

#### **Внимание!**

**1. Категорически запрещается включать нагревательный элемент при неработающем двигателе.**

**2. Во избежание перегорания нагревательных спиралей напряжение питания на ЛАТРе НЕ устанавливать выше 140 В, периодически проверять наличие воздушного потока.**

**3. При регулировании частоты вращения вручную не опускать ее ниже 29 Гц (по показаниям преобразователя частоты).**

**4. При превышении тока обратной связи 20 мА немедленно выключить нагревательный элемент и дать остыть установке в течение 5 минут.**

**5. При возникновении каких-либо неполадок НЕМЕДЛЕННО выключить приборы: нагревательный элемент (уменьшить напряжение ЛАТРа до 0), преобразователь частоты (нажать кнопку «STOP»), источник питания (выключить переключатель «ГП») – и обратиться к преподавателю.**

#### ***Последовательность выполнения работы***

1. Внимательно изучить теоретическую часть описания лабораторной работы, а также инструкцию по эксплуатации преобразователя частоты Hitachi L100.

2. Вначале подключить преобразователь частоты к сети и убедиться, что выставлены следующие параметры (см. рис. 1.9):

A01 – способы задания частоты: 00 (встроенный потенциометр);

A15 – условия запуска: 01(пуск с 0);

A71 – ПИД-регулятор: 00 (не активирован);

C21 – дискретный выход 11: 02 (выдача сигнала, если скорость двигателя больше или равна заданной);

C22 – дискретный выход 12: 02 (выдача сигнала, если скорость двигателя больше или равна заданной);

C31 – дискретный выход 11 З/Р: 00 (контакт 11 нормально-разомкнутый);

C32 – дискретный выход 12 З/Р: 00 (контакт 11 нормально-разомкнутый);

C42–29 Гц (заданная частота для срабатывания сигнала на клемме 11);

C43–29 Гц (заданная частота для срабатывания сигнала на клемме 12);

F02 – время разгона 3 с;

F03 – время торможения 3 с;

F04 – направление вращения: 00.

3. Подключить источник питания на 24 В к сети (должен загореться зеленый индикатор ИП). Включить переключатель S7 («ТП»), после чего должны загореться красные индикаторы «ТП» и «Нагреватель». Включить амперметр.

4. Подключить ЛАТР к сети. Выставить на ЛАТРе напряжение питания нагревателя 110–135 В. Переключатель на торцевой поверхности вентилятора должен быть в положении 4.

**Внимание! Во всех последующих опытах начальной точкой отсчета для изменения напряжения питания спирали будет значение напряжения, установленное в этом пункте.**

5. Запустить двигатель, для чего нажать клавишу «RUN» на лицевой панели преобразователя частоты. Потенциометром (рукоятка на лицевой панели преобразователя) установить частоту вращения 50 Гц. При достижении значения 29 Гц включится нагреватель: срабатывает реле К1, загорится зеленый индикатор «Нагреватель». Дождавшись окончания переходного процесса (приблизительно 9–12 с), занести показания тока обратной связи в отчет. Затем плавно снижать частоту вращения двигателя (ручкой регулирования частоты). Показания амперметра занести в табл. 1.1 (от 50 до 29 Гц с шагом между отсчетами в 3 Гц). **При регулировании частоты вращения вручную не опускать ее ниже 28 Гц (по показаниям преобразователя частоты).** По окончании измерений **отключить** нагреватель, снизив частоту до 25 Гц (сработает реле, загорится красный индикатор «Нагреватель»).

Таблица 1.1

## Данные эксперимента

$f$ , Гц	$I$ , мА

По полученным данным построить регулировочную характеристику системы  $I = f(f)$ .

6. Установить частоту вращения 40 Гц. Дождавшись окончания переходного процесса, показания тока обратной связи занести в отчет. Внести в систему возмущение по температуре, для чего увеличить напряжение питания нагревательного элемента на 10 В. Плавно вращая ручку задания частоты вращения электродвигателя, скомпенсировать возмущение, вернув значение тока обратной связи в исходное состояние.

**Внимание! Важно не просто достигнуть исходного значения тока, но и поддерживать его постоянным.**

Динамику изменения частоты и тока занести в табл. 1.2. Времени между отсчетами 3–4 с. По окончании измерений **отключить** нагреватель, снизив частоту до 25 Гц (загорится красный индикатор «Нагреватель»).

Таблица 1.2

## Данные измерения частоты и тока

Время, с	$I$ , мА	$T$ , °С	$f$ , Гц

*Опыт должны проводить не менее трех студентов. Первый студент осуществляет отсчет времени с помощью секундомера, его задача – фиксировать время, когда производится снятие показаний. Второй студент производит регулирование частоты и сообщает ее значения во время отсчета. Третий студент следит за изменениями тока обратной связи и заносит его значения и значения частоты в таблицу во время отсчета.*

По полученным результатам построить и проанализировать график переходного процесса. Определить время переходного процесса (считать, что процесс закончился при достижении током значений  $\pm 0,05$  мА от исходного значения в течение 5 с) и максимальное отклонение тока (температуры) от исходного значения.

7. Повторить п. 4, уменьшив напряжение на 10 В.

8. Перейти в режим автоматического управления температурой потока. Для этого **отключить** нагреватель и остановить преобразователь частоты, нажав кнопку «STOP» на лицевой панели. Затем войти в режим настройки преобразователя, установить в A71 значение «01» – ПИД-регулятор включен – и нажатием «STR» подтвердить изменение. В A76 установить значение «00» – сигнал обратной связи ток-овый 0–20 мА – и, нажав «STR», подтвердить изменение.

9. Данные об объекте регулирования занести в преобразователь частоты. Для этого, основываясь на данных, полученных в п. 5 (см. табл. 1.1), установить следующие параметры:

A11 = 50 Гц — установка начальной частоты;

A12 =  $F_{\min}$  (см. табл. 1.1) — установка конечной частоты;

A13 =  $I_{\min}/20$  мА, % — установка уровня сигнала обратной связи для начальной частоты;

A14 =  $I_{\max}/20$  мА, % — установка уровня сигнала обратной связи для конечной частоты;

A15 = 00 — пуск с начальной частоты (предотвратит перегрев спиралей).

10. Произвести настройку ПИД-регулятора, рис. 1.11.

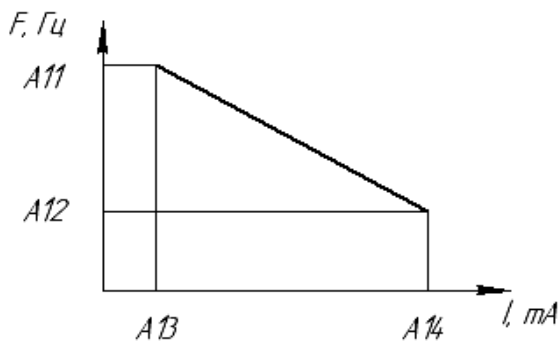


Рис. 1.11. Задание характеристики объекта регулирования

## *Общие рекомендации по настройке регулятора*

Сначала необходимо задать минимальное значение П-усиления и проверить результат. В зависимости от результата постепенно увеличить П-усиление. Повторять эту операцию до тех пор, пока не будет получен хороший результат. (Также можно установить максимальное П-усиление и проверить результат. Если в системе нет стабильности, уменьшить П-усиление и проверить результат. Повторить эту операцию).

Если работа нестабильная, уменьшить П-усиление.

Если устойчивое состояние отклонения приемлемо – настройка П-усиления завершена.

Затем следует начать настройку с установки минимального интегрального времени. Далее, если возникнут трудности при установке, уменьшить П-усиление.

Если отклонение не изменяется – уменьшить интегральное время. Если в это время регулирование становится нестабильным – уменьшить П-усиление.

Повторить эту операцию, чтобы установить подходящие параметры.

Необходимо обратить внимание, что в руководстве по эксплуатации функция А73 называется «Интегральное **Усиление**», но в действительности это «Интегральное **Время**». Следует быть внимательными при установке этого параметра.

## *Установка параметров*

В уставке А72 (П-звено) установить значение от 0,2 до 5, нажатием «STR» подтвердить изменение. В А73 (И-звено) и А74 (П-звено) установить «0» и также, нажав «STR», подтвердить изменение. Таким образом, преобразователь частоты будет работать как пропорциональный регулятор.

11. Включить преобразователь частоты, для чего нажать клавишу «RUN» на лицевой панели. Ручкой на лицевой панели установить максимальную **величину тока обратной связи (повернув ее вправо до упора)**. Если двигатель не запустился, то отключить преобразователь и внимательно проверить значения А11–А15 (см. пункт 7). Плавно вращая ручку на ПЧ, задать регулятору значение

тока (температуры), которое он должен поддерживать. Значения тока и частоты преобразователя занести в отчет.

**Внимание! Частота преобразователя не должна быть меньше 29 Гц, ток обратной связи не должен превышать 20 мА. При необходимости уменьшить напряжение питания или изменить значение установки обратной связи.**

12. Увеличить напряжение питания на 10 В. Записать, как будут меняться ток обратной связи и частота вращения. Значения параметров занести в табл. 1.3. Шаг отсчетов времени 2–3 с. По окончании снятия результатов, нажав кнопку «STOP» на лицевой панели, отключить нагреватель (загорится красный индикатор «Нагреватель») и преобразователь частоты.

Таблица 1.3

Время, с	$I$ , мА	$T$ , °С	$F$ , Гц

Построить и проанализировать график переходного процесса.

Определить время переходного процесса (считать, что процесс закончился при окончании колебаний значений тока  $+/-0,05$  мА в течение 5 с), максимальное отклонение тока (температуры) от исходного значения, ошибку регулирования.

13. Повторить пункты 8–9, установив значение параметра  $\Pi = 0,2$ , а  $I$  – произвольно.

14. Повторить пункты 8–9, установив другие значения параметров  $\Pi$  и  $I$ -звеньев ( $\Pi$  – звено от 0,2 до 5,  $I$  – звено от 0 до 10 с (предел 150 с)). Д-звено можно не использовать. Отслеживать время переходного процесса и максимальное отклонение тока, колебания изменения сигнала обратной связи. По этим показателям выбрать наилучший и наихудший вариант настройки системы. Для этих двух вариантов построить графики переходных процессов и изменения частоты.

15. По окончании лабораторной работы:

– отключить нагревательный элемент, снизив выходную частоту преобразователя до 0 и нажав кнопку «STOP» на передней панели (загорится красный индикатор «Нагреватель»). Выключить амперметр;

- выключить источник питания (переключатель «ТП»);
- уменьшить напряжение ЛАТРа до 0.

В установке А71 преобразователя установить «00» – ПИД-регулятор отключен.

Отключить приборы от сети.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Схема установки.
3. Результаты опыта (таблицы и графики).
4. Обязательный сравнительный анализ работы системы с различными параметрами.
5. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Объяснить принцип работы П-, И-, Д-регуляторов на основе данных, полученных в ходе лабораторной работы.
2. Объяснить работу датчика обратной связи и усилителя.
3. По результатам работы объяснить, каким образом нужно настроить ПИД-регулятор, чтобы достичь оптимальных режимов работы данной системы.
4. Сравнить качество поддержания заданного параметра в ручном и автоматическом режиме.
5. Составить алгоритм (последовательность) действий при настройке системы управления с ПИД-регулятором.
6. Привести пример автоматизированной системы управления технологическим процессом с использованием ПИД-регулятора преобразователя частоты.

### **Литература**

Техническая документация к преобразователю частоты Hitachi L100.



## *Лабораторная работа № 2*

# **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НАСОСНОЙ СТАНЦИИ**

### **Цель работы**

1. Изучить применение частотных преобразователей в системах водоподачи.
2. Изучить принцип управления насосом на базе асинхронного двигателя с помощью преобразователя частоты серии МПЧ-311 и программируемой панели управления ШУ 340.
3. Изучить микропроцессорную систему управления силовым приводом насосной станции. Произвести настройку системы управления и обеспечить управление системой в ручном и автоматическом режимах.

### **Теоретические сведения**

#### ***Управление насосным оборудованием. Виды и способы управления***

В современном производстве энергосиловой основой является электропривод. Очевидно, что энергоёмкость технологических процессов напрямую зависит от особенностей работы промышленного механизма, способов управления потоком электроэнергии, подводимой к электродвигателю (электромеханическому преобразователю), рабочих характеристик механизма и т. д. В связи с этим в современных технологических процессах и механизмах стараются прибегать к оптимальным способам управления, что позволяет снизить энергозатраты и добиться надёжной работы системы.

Основными типами регулируемого электропривода являются следующие системы: «полупроводниковый преобразователь–двигатель постоянного тока» (ПП–ДПТ) и «полупроводниковый преобразователь частоты–асинхронный двигатель» (ППЧ–АД). Однако частотно-регулируемые электроприводы переменного тока постепенно вытесняют приводы постоянного тока. Современные преобразователи частоты обеспечивают регулирование скорости асинхронных двига-

телей, по качеству не уступающих приводам постоянного тока. По сравнению с двигателями постоянного тока асинхронный короткозамкнутый двигатель имеет ряд преимуществ: высокая надежность, относительно низкая стоимость, простота изготовления и эксплуатации. В совокупности с частотным преобразователем этот привод способен не только выполнять промышленные задачи, но и решать проблемы энергосбережения.

Турбомеханизмы, к которым относятся и центробежные насосы для перекачки воды и других жидкостей, потребляют около 25 % вырабатываемой электроэнергии. Работа этих систем отличается неравномерным потреблением воды в течение дня, что приводит к необходимости регулирования напора и расхода. При проектировании системы приводной двигатель выбирается по мощности на максимальную производительность. Регулирование технологических параметров и производительности осуществляется следующими способами:

1) при нерегулируемом электроприводе через механическую часть (дросселирование, задвижки, клапаны и др.);

2) при регулируемом электроприводе через систему управления электроприводом, обеспечивающую требуемый вид пускотормозных процессов и регулируемых по скорости режимов.

Первый способ заключается во включении в сеть дросселирующих устройств, т. е. изменяющих характеристику сети, но не изменяющих характеристику нагнетателя. К таким устройствам относятся клапаны, вентили, задвижки, диафрагмы и т. п. Вторую группу образуют устройства, изменяющие частоту вращения рабочего колеса (характеристику нагнетателя). При этом характеристика сети не меняется. Одним из таких устройств является регулируемый асинхронный электродвигатель с частотным преобразователем.

Сравним производительность системы при двух этих способах регулирования. На рис. 2.1 показаны характеристики производительности центробежного насоса при дроссельном и частотном регулировании. Кривая 1 характеризует работу нерегулируемого электропривода на номинальной частоте вращения, кривая 3 характеризует работу магистрали при полностью открытой заслонке. Значения расхода и напора приведены в относительных единицах при использовании в качестве базовых величин номинального расхода  $Q_{\text{ном}}$  и номинального напора  $H_{\text{ном}}$ . При номинальном расходе и напоре насос работает

в точке  $A$ , а мощность, потребляемая насосом, пропорциональна площади прямоугольника  $OKAL$ . С уменьшением расхода при регулируемом электроприводе (на рис. 2.1 для примера показан расход воды, равный  $0,6 Q_{ном}$ ) за счет дроссельного регулирования происходит изменение сопротивления магистрали (кривая  $4$ ), насос работает в точке  $B$  кривой  $1$ , что приводит к возрастанию напора. Напор становится больше номинального, при этом мощность насоса, пропорциональная прямоугольнику  $ODBF$ , несущественно отличается от мощности при номинальном расходе.

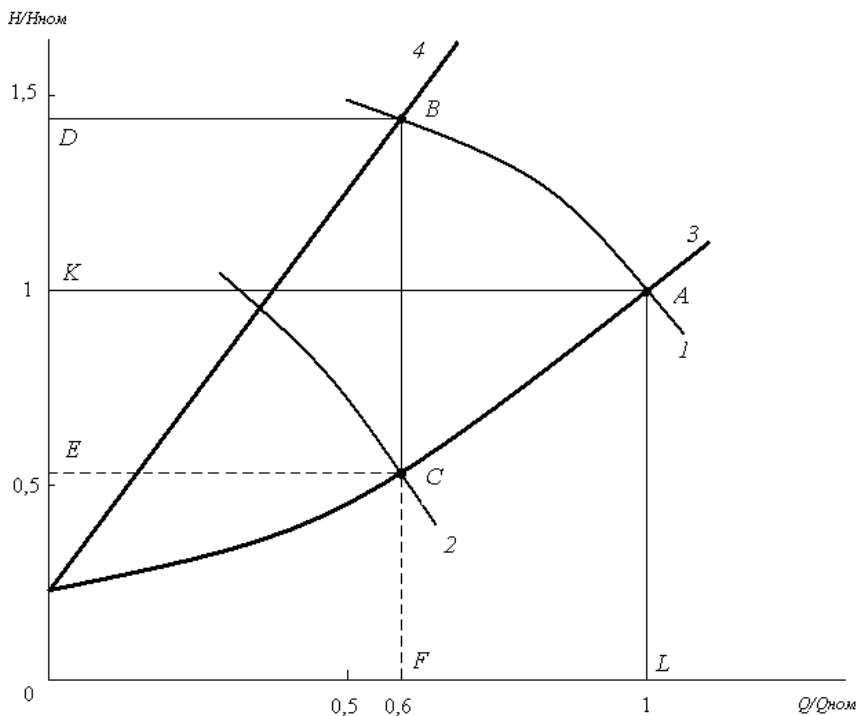


Рис. 2.1. Характеристики производительности центробежного насоса с дроссельным и частотным регулированием

Следовательно, энергопотребление при уменьшенном расходе практически не изменяется.

Центробежный насос имеет переменную характеристику вращающего момента. Осевое усилие насоса пропорционально кубу скорости вращения. Таким образом, уменьшение оборотов двигателя на 10 % теоретически приводит к снижению мощности, потребляемой преобразователем, на одну треть, т. е. экономится около 30 % электроэнергии. При снижении оборотов на 20–30 % эффект еще значительнее – до 50 %. Когда используется частотное регулирование за счет уменьшения скорости при снижении напора, насос работает в точке *C* на кривой 2 при неизменной характеристике магистрали (кривая 3). Мощность, потребляемая электроприводом, в этом случае пропорциональна площади прямоугольника *OECF*, что наглядно показывает возможности снижения энергопотребления при введении регулируемых электроприводов насосов.

Помимо энергосберегающего фактора следует обратить внимание на то, что при дроссельном регулировании расхода (подачи) воды в системе возрастает напор (давление). Это приводит к росту объемов утечек воды в местах стыков труб и магистралей, а также к увеличению нагрузки на систему в целом, что вызывает более быстрый износ труб и выход их из строя. При использовании же частотно-управляемого электропривода при снижении расхода падает и напор воды, что приводит к разгрузке системы, а следовательно, к уменьшению потерь, утечек, снижению износа труб.

Также в отличие от дросселирующих систем с нерегулируемым электроприводом частотно-управляемый асинхронный двигатель позволяет производить плавный запуск системы с плавным увеличением напора, что приведет к уменьшению ударных нагрузок на части магистрали и продлит время их эксплуатации.

### ***Системы водоснабжения на базе частотно-управляемого электропривода***

Характерными примерами систем подачи воды являются станции горячего или холодного водоснабжения, системы подачи воды из глубинных скважин или водохранилищ. Механизмы этих станций, выбранные исходя из максимального потребления, зачастую работают с меньшей производительностью. Это определяется изменением потребления в разные периоды времени. Часто для обеспе-

чения регулирования производительности устанавливаются два или несколько параллельных насосов разных мощностей. Поочередным включением насосов обеспечивается ступенчатое регулирование. Лучший результат регулирования с меньшими затратами достигается, если двигатель насоса с наибольшей мощностью комплектуется преобразователем частоты.

На рис. 2.2 приведен пример системы подачи воды из глубинной скважины, реализованной на гидронасосе с асинхронным двигателем, управляемым частотным преобразователем. В системе использован один насос, однако на практике, как правило, используются несколько нагнетателей. Совместная работа нагнетателей в большинстве случаев вызвана следующими причинами:

- один нагнетатель не может обеспечить требуемую подачу или давление, а замена его другим, более мощным, невозможна или нерентабельна;

- в процессе эксплуатации в соответствии с требованиями технологического процесса возникают режимы, связанные с продолжительным изменением расхода и сопротивления сети (изменение режима осуществляется отключением одного из нагнетателей);

- требуется обеспечить надежность работы всей системы в целом.

Включение нагнетателей в совместную работу может быть параллельным, последовательным и смешанным (комбинированным). Наиболее часто применяется параллельное включение. В частности, этот способ удобен, когда требуется увеличение подачи, а соответствующее увеличение частоты вращения рабочего колеса или размеров нагнетателя невозможно из-за чрезмерного усиления шума, конструктивных или архитектурно-планировочных причин.

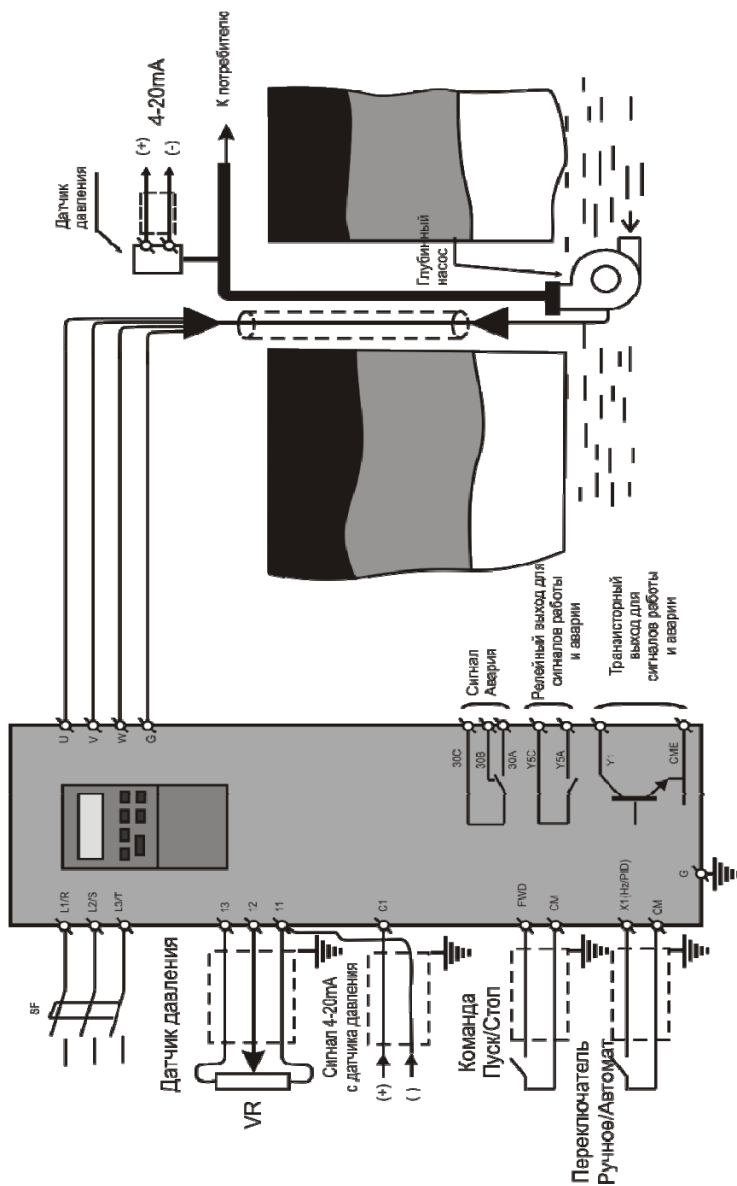


Рис. 2.2. Схема подачи воды из глубинной скважины, реализованной на гидронасосе с асинхронным двигателем

## Преобразователь с неуправляемым выпрямителем напряжения в звене постоянного тока

Наиболее распространенным типом преобразователя частоты с широтно-импульсным модулятором (ШИМ) является преобразователь с неуправляемым выпрямителем напряжения в звене постоянного тока. При этом напряжение на входе инвертора не меняется, а регулирование выходного напряжения осуществляется методом широтно-импульсной модуляции.

Принцип ШИМ проще всего пояснить на примере однофазного инвертора, получающего питание от источника постоянного напряжения со средней точкой, структура которого показана на рис. 2.3.

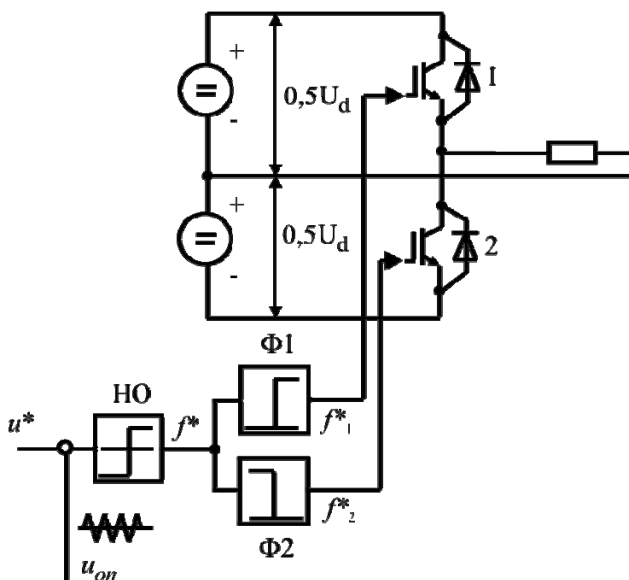


Рис. 2.3. Структура однофазного инвертора с широтно-импульсной модуляцией

Активно-индуктивная нагрузка  $Z_n$  включена между средней точкой источника питания и точкой соединения электронных ключей 1 и 2, каждый из которых включает в себя транзистор, работающий в ключевом режиме, и диод обратного тока. Система управления транзисторными ключами содержит в своем составе нуль-орган (НО) и фор-

мирователи Ф1 и Ф2. На входе нуля-органа сравниваются задающий сигнал  $u^*$  (здесь и далее индексом «звездочка» отмечены задающие сигналы) и пилообразное опорное напряжение  $u_{оп}$ .

На рис. 2.4, а показаны симметричное пилообразное опорное напряжение с максимальным значением  $U_{опт}$  и напряжение задания  $u^*$ , которое предполагается постоянным в течение периода  $T_{ШИМ}$  опорного напряжения.

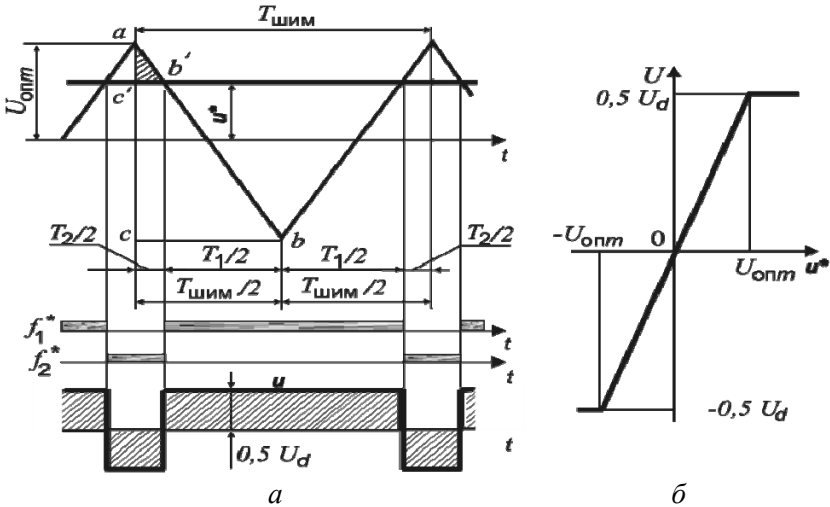


Рис. 2.4. Характеристики передаточного коэффициента инвертора: а – напряжения опорное и задания; б – регулировочная характеристика инвертора

В нижней части рисунка приведены состояния сигналов  $f_1^*$  и  $f_2^*$  и форма напряжения на выходе инвертора. Среднее значение напряжения на выходе определяется следующим образом:

$$U = 0,5U_d(1 - 2T_2 / T_{ШИМ}),$$

$$T_{ШИМ} = T_1 + T_2 = f_{ШИМ}^{-1},$$

где  $T_1, T_2$  – интервалы замкнутого состояния ключей 1 и 2 соответственно;

$T_{ШИМ}$  – период широтно-импульсной модуляции, с;

$f_{ШИМ}$  – частота ШИМ, Гц.



Из подобия треугольников  $abc$  и  $ab'c'$  для рабочей части характеристики инвертора, когда  $|u^*| < U_{\text{опт}}$ , может быть записано

$$\frac{T_2}{T_{\text{шим}}} = \frac{U_{\text{опт}} - u^*}{2U_{\text{опт}}}.$$

Отсюда с учетом приведенного выше выражения для  $U$  следует, что

$$U = \frac{0,5U_d}{U_{\text{опт}}} u^* = k_{\text{и}} u^*,$$

где  $k_{\text{и}}$  – передаточный коэффициент инвертора в линейной части характеристики, когда  $u^* < U_{\text{опт}}$ .

Из регулировочной характеристики инвертора  $U = f(u^*)$  (рис. 2.4, б) видно, что должно быть предусмотрено ее ограничение на уровне  $0,5U_d$ , так как для получения неискаженного напряжения на выходе задающий сигнал  $u^*$  не должен превышать максимального значения опорного напряжения  $U_{\text{опт}}$ . В системе управления инвертором должна существовать кратковременная задержка между размыканием одного ключа и замыканием другого для восстановления запирающих свойств транзистора, выходящего из работы.

Если управляющий сигнал представляет собой синусоиду с частотой  $\omega_{\text{озл}}$ , то напряжение на выходе инвертора, рассматриваемое за время  $t \geq 2\pi/\omega_{\text{озл}}$ , будет представлять собой гармоническую кривую, содержащую наряду с первой гармоникой, которая имеет частоту управляющего сигнала, ряд гармонических составляющих более высокого порядка (рис. 2.5). Таким образом, если амплитуда  $u^*$  не превышает значения  $U_{\text{опт}}$ , то первая гармоника напряжения на выходе инвертора в определенном масштабе повторяет управляющий сигнал. Изменение его частоты приводит к изменению частоты на выходе инвертора. Изменение амплитуды управляющего сигнала при неизменной частоте будет приводить к изменению соотношения длительностей положительных и отрицательных импульсов напряжения на выходе, т. е. изменению амплитуды его первой гармоники. Это иллюстрирует рис. 2.5. Для его упрощения и наглядности построения принято, что частота опорного напряжения всего в 12 раз превышает частоту управляющего сигнала.

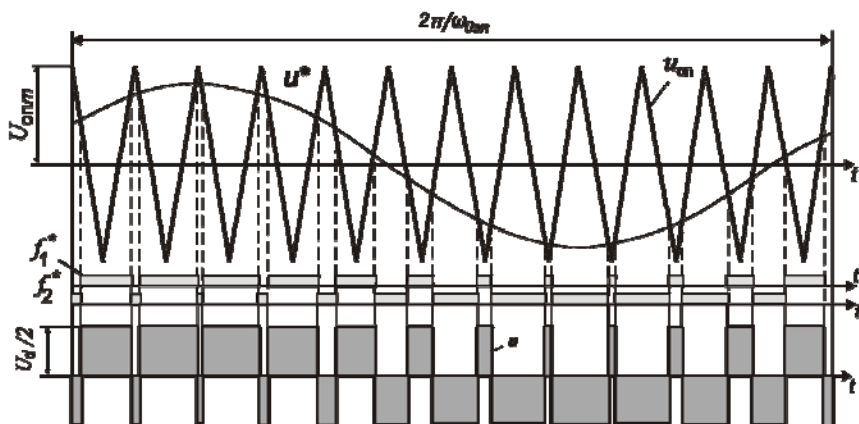


Рис. 2.5. Принцип широтно-импульсной модуляции на примере однофазного инвертора

На самом деле в современных инверторах частота опорного напряжения (частота ШИМ) составляет от единиц до десятков килогерц при номинальной частоте напряжения на выходе инвертора

$$f_n = \omega_{0\text{эл.н}} / (2\pi) = 50 \text{ Гц.}$$

При высокой частоте ШИМ и активно-индуктивной нагрузке, какой является обмотка статора, ток нагрузки оказывается практически синусоидальным.

Однако надо учитывать и ряд отрицательных эффектов, связанных с повышением частоты ШИМ, а именно, наличие электромагнитных помех, воздействующих на другие электротехнические и радиотехнические устройства, и возникновение перенапряжений в цепи нагрузки, что опасно для изоляции обмоток двигателя. Средства борьбы с этими явлениями состоят в использовании двигателей с повышенным качеством изоляции, в применении экранированных кабелей и специальных фильтров, в ограничении длины коммуникаций, а также в раздельной прокладке силовых кабелей и кабелей системы управления.

Схема трехфазного мостового инвертора (рис. 2.6, а) включает в себя три плеча с транзисторными ключами, каждое из которых выполнено аналогично плечу однофазного инвертора (см. рис. 2.3).

К средним точкам каждого из плеч подключено начало фазной обмотки статора двигателя, если обмотки статора соединены звездой, как это показано на рис. 2.6, *а*, или угол треугольника, если обмотки соединены треугольником. Схема включает в себя общий для всех трех фаз источник пилообразного опорного напряжения  $u_{\text{оп}}$ . Управляющие сигналы  $u_{1A}^*$ ,  $u_{1B}^*$ ,  $u_{1C}^*$  представляют собой трехфазную систему синусоидальных напряжений, сдвинутых между собой на  $120^\circ$ . Изменение частоты напряжения на выходе инвертора достигается изменением частоты управляющих сигналов, а изменение амплитуды – изменением их амплитуды.

На рис. 2.6, *б* показано, как формируется трехфазное напряжение на фазах нагрузки, соединенной в звезду. На рисунке заштрихованными областями отмечены состояния сигналов  $f_1^* - f_6^*$ , а следовательно и замкнутые состояния ключей 1–6. Их зависимость от знаков разностей  $u_{1A}^* - u_{\text{оп}}$ ;  $u_{1B}^* - u_{\text{оп}}$ ;  $u_{1C}^* - u_{\text{оп}}$  определена так же, как это сделано при рассмотрении однофазного инвертора. Фазные напряжения на выходе могут принимать пять разных значений:  $+(2/3)U_d$ ;  $+(1/3)U_d$ ; 0;  $-(1/3)U_d$ ;  $-(2/3)U_d$ . Линейное напряжение между фазами *A* и *B* определено как

$$u_{1AB} = u_{1A} - u_{1B}.$$

Можно отметить, что алгоритм работы рассматриваемой схемы, такой же, как и алгоритм работы однофазного инвертора, исключает возможность одновременного замыкания обоих ключей одного плеча моста. Кроме того, в графиках напряжения имеются участки, на которых замкнуты одновременно все четные или все нечетные ключи, в результате чего значения напряжений на этих участках равны нулю.

При равенстве амплитуды задающего сигнала  $u^*$  максимальному значению опорного напряжения  $U_{\text{опт}}$  амплитуда первой гармоники напряжения на выходе инвертора равна  $0,5U_d$ .

Для наглядности график напряжений построен при том же соотношении частоты ШИМ и частоты напряжения на выходе инвертора  $\omega_{\text{эвл}}$ , что и при рассмотрении однофазного инвертора (см. рис. 2.3). Сказанное ранее о влиянии высокой частоты ШИМ справедливо и для трехфазного инвертора.

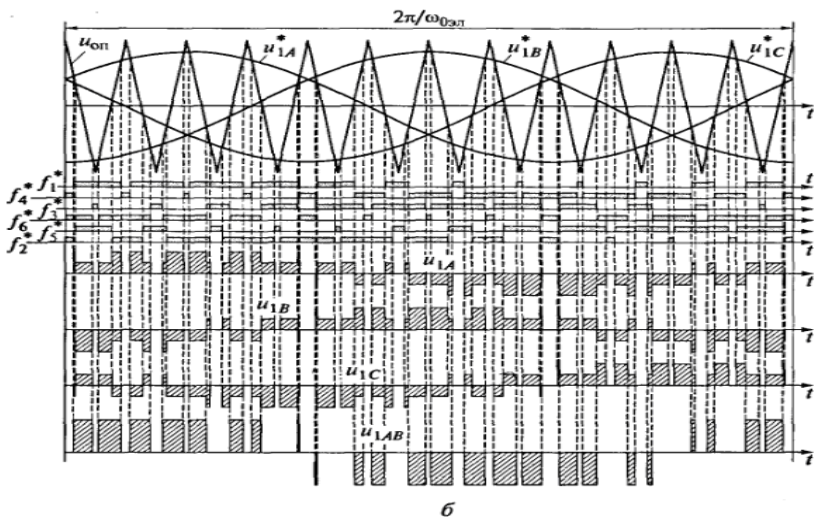
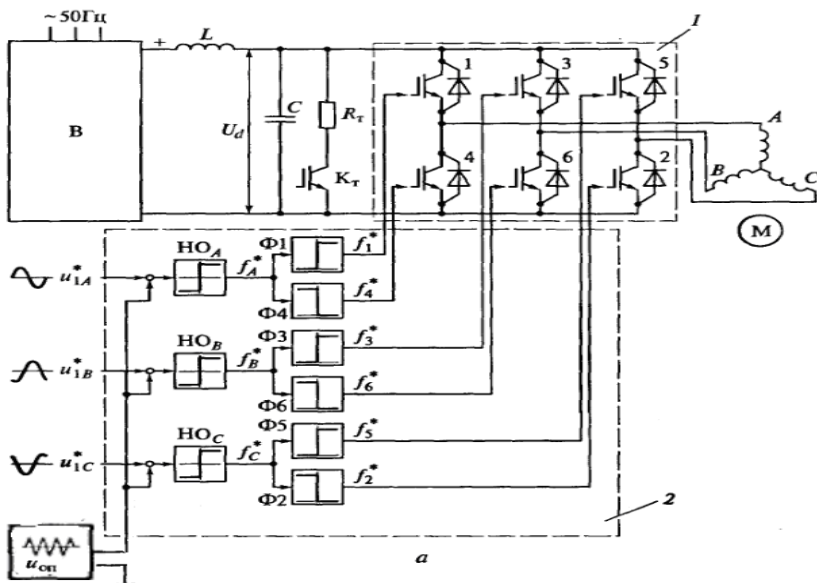


Рис. 2.6. Преобразователь частоты с трехфазным инвертором и широтно-импульсной модуляцией:  
*a* – структура преобразователя: *1* – автономный инвертор напряжения; *2* – система управления АИН; *б* – формирование напряжения на выходе

Описанная схема инвертора с явно выраженным пилообразным опорным напряжением может быть реализована как в аналоговой, так и в цифровой форме с применением микропроцессорной техники. Наряду с ней разработаны и применяются алгоритмы векторной широтно-импульсной модуляции, специально ориентированные на микропроцессорную реализацию.

### *Описание лабораторного стенда*

Лабораторный стенд представляет собой модель автоматической системы управления тремя гидронасосами. В его состав входят:

- 1) частотный преобразователь с ШИМ серии МПЧ-311 производства СП «Силект» ООО;
- 2) сенсорная панель управления НМ 1520М-006;
- 3) программируемый логический контроллер (ПЛК) MITSUBISHI MELSEC FX-2N;
- 4) плата сопряжения частотного преобразователя и контроллера на базе 485 интерфейса;
- 5) блоки питания контроллера и панели управления;
- 6) автоматический размыкатель;
- 7) потенциометр, имитирующий датчик давления;
- 8) блок индикаторных лампочек;
- 9) трехфазный асинхронный двигатель мощностью до 5,5 кВт (в лабораторном стенде использован двигатель мощностью 800 Вт).

Схема лабораторного стенда приведена на рис. 2.7.

Автоматическими выключателями QF1 и QF2 к сети переменного тока 220 В подключаются преобразователь частоты, блоки питания ПЛК и панели управления. Автоматический размыкатель, спаренный с автоматом QF2, подключенный к выходам 17 и 19, предназначен для разрешения работы частотного преобразователя. В промышленных установках он используется в качестве противопожарной или иной защиты. При возникновении аварийной ситуации происходит срабатывание автоматического размыкателя (контакты замыкаются), ПЧ получает сообщение о внешней ошибке и, в соответствии с программой ПЛК, прекращает работу и останавливает двигатель.

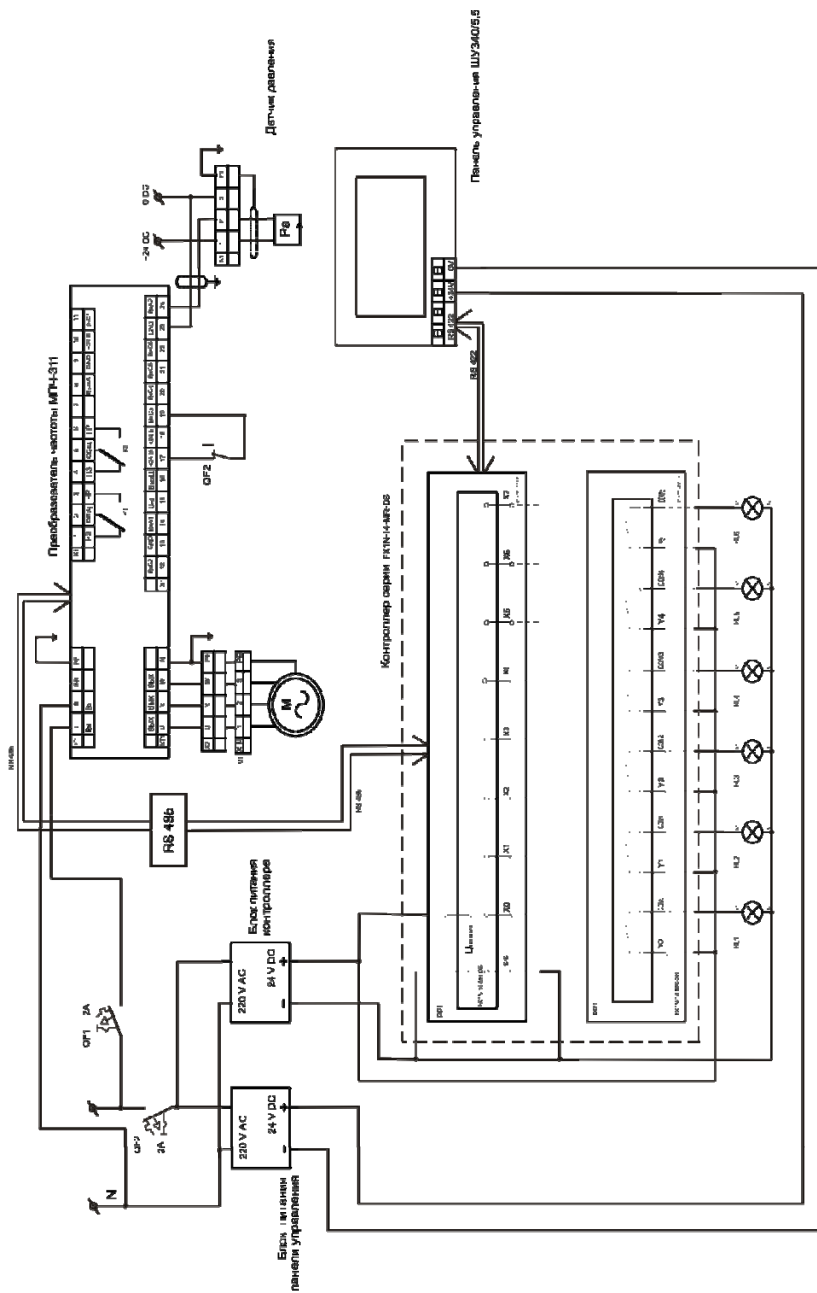


Рис. 2.7. Принципиальная схема стенда

Связь между панелью управления и ПЧ происходит с помощью платы сопряжения на базе RS-485; между панелью управления и контроллером – через RS-422. Управление индикаторными лампами, имитирующими включение резервных насосов, происходит с помощью ПЛК после получения соответствующего сигнала с панели управления системой. Режим работы лампочек, имитирующих включения и отключения резервных насосов, задается программой панели управления.

Задание входного параметра частоты вращения двигателя осуществляется через аналоговый вход VхА2 с помощью подключенного к нему потенциометра.

Ниже приведено описание составных частей системы управления.

### ***Частотный преобразователь МПЧ-311***

Преобразователи частоты типа МПЧ серии 311 предназначены для регулирования скорости вращения асинхронных трехфазных двигателей мощностью от 1,1 до 15 кВт и номинальным напряжением 380 В.

Область применения преобразователей: насосные станции водоподготовки и теплоснабжения в жилищно-коммунальном хозяйстве, энергетике, технологические насосные установки в химической промышленности, станции оборотного водоснабжения на предприятиях, подъемно-транспортное оборудование.

Преобразователи предназначены для работы в закрытых отапливаемых помещениях. Климатическое исполнение УХЛ 4 – по ГОСТ 15150, рабочая температура окружающей среды – от 1 до 40 °С, относительная влажность воздуха – до 80 % при температуре 25 °С. Степень защиты IP-20 – по ГОСТ 14254. По «Правилам устройства электроустановок» преобразователи не предназначены для эксплуатации во взрывопожароопасных зонах.

Преобразователи собраны по схеме инвертора напряжения, принцип работы которых описан ранее.

Такая схема предусматривает двойное преобразование электроэнергии, потребляемой из трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В частотой 50 Гц (для маломощных МПЧ, в частности для представленного МПЧ-311, допускается использование для питания однофазного переменного напряжения): сначала в напряжение постоянного тока, затем – в переменное напряжение с широтно-

импульсной модуляцией, обеспечивающее протекание в обмотках двигателя синусоидальных токов регулируемой частоты. На рис. 2.8 представлена структурная схема частотного преобразователя.

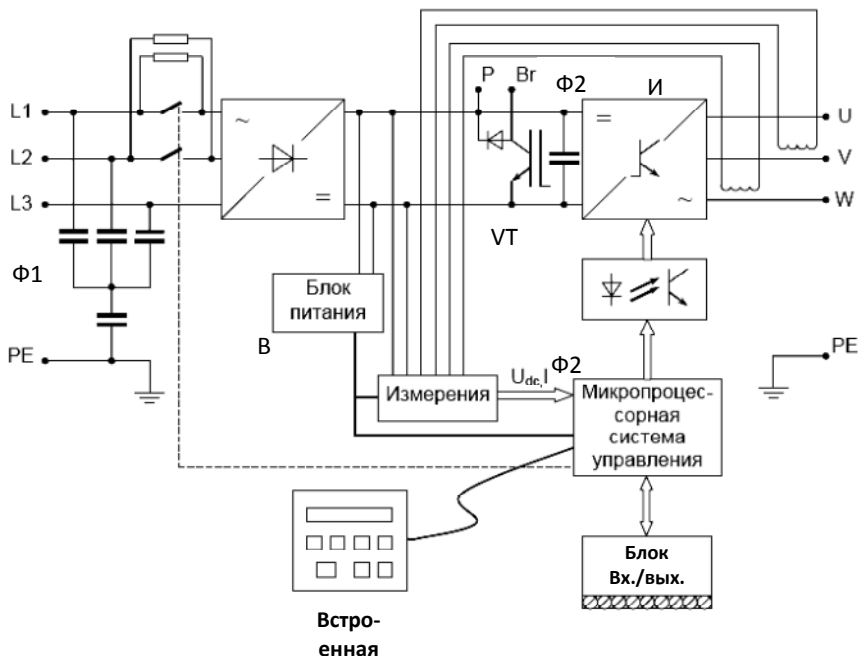


Рис. 2.8. Структурная схема преобразователя частоты МПЧ-311

Питающее напряжение через входной фильтр  $\Phi 1$  поступает на выпрямитель В. После выпрямителя включено устройство торможения двигателя VT, после которого через фильтр  $\Phi 2$  звена постоянного тока напряжение подается на автономный инвертор напряжения И и далее на двигатель. Параллельно с инвертором после выпрямителя включен блок питания микропроцессорной системы управления и измерительного блока.

Информация с датчиков на выходе преобразователя частоты поступает в микропроцессорную систему управления, которая формирует регулирующие сигналы и через оптоэлектрическую цепь передает их на инвертор, в котором происходит корректировка выходной величины (частоты вращения двигателя). Таким образом, система



содержит обратные связи по току и напряжению, позволяющие с большей точностью управлять частотой вращения двигателя.

Программирование микропроцессорной системы управления осуществляется с помощью встроенной панели управления. Управление микропроцессорной системой (МПС) осуществляется через блок входов/выходов.

Основные параметры частотного преобразователя МПЧ-311 приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Основные технические параметры преобразователя серии МПЧ-311

Питание	Линейное напряжение питания $U_{вх}$	380 В (от -15 до +10 %)
	Частота питающего напряжения	45–66 Гц
Выход	Выходное напряжение	0–380 В (от -15 до +10 %)
	Выходная частота	0,5–200 Гц
	Погрешность частоты	0,05 Гц
Система управления	Вид модуляции	Вектор напряжения
	Частота управления силовыми транзисторами	2,5 или 5 кГц
	Установка частоты	Аналог 11 бит, точность 1 %. Панель управления (разрешающая способность 0,1 Гц)
Управляющие входы / выходы	Аналоговые входы	Два входа: 0(2)–10 В или 0(4)–20 мА
	Цифровые входы	Шесть входов 15–24 В
	Аналоговый выход	8 бит $\pm 1$ %, 0(2) – 10 В, 0(4)–20 мА
	Программируемый цифровой выход (открытый коллектор)	100 мА, 24 В
	Релейные выходы	Переменное напряжение – до 250 В. Постоянное напряжение 24 В, 8 А
Защита	От тока, превышающего номинальный	Мгновенное значение $3,6 I_n$ . Действующее значение $2,55 I_n$
	От превышения напряжения в цепи постоянного тока	$1,47 U_{вх}$ ( $U_{вх} = 380$ В) ( $U_{dc} > 750$ В)
	От пониженного напряжения в цепи постоянного тока	$0,65 U_{вх}$
	Термическая защита преобразователя	$T > 75$ °С
	Контроль связи с панелью управления	
	Контроль уровня аналоговых входов	
	Термическая защита двигателя	Математическая модель
	От обрыва питающей фазы	

Более полную информацию технического описания можно получить в инструкции по эксплуатации.

### ***Панель управления НМ 1520М-006***

Панель управления НМ 1520М-006 в лабораторном стенде предназначена для управления тремя повышающими насосами, которые обеспечивают автоматическое поддержание заданного давления путем изменения скорости вращения асинхронных трехфазных двигателей мощностью до 5,5 кВт и номинальным напряжением 380 В (в лабораторном стенде используется двигатель мощностью 800 Вт). Система управления насосами может работать как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Графическая панель управления НМ 1520М-006 оснащена сенсорным экраном, предназначенным для задания рабочих параметров системы и, при необходимости, контроля процесса работы. Подобная конструкция облегчает работу с панелью управления, интуитивно понятный интерфейс не требует профессиональных знаний для работы с панелью. В свою очередь, это позволяет быстро и эффективно проводить настройку системы в целом.

Система защищена специальным кодом доступа, который предохраняет от случайных изменений в режимах работы, могущих привести к аварийной ситуации.

Технические характеристики панели управления НМ 1520М-006:

- питание: 24 В, постоянный ток;
- управляющие входы/выходы: интерфейсы RS-422 и RS-485;
- условия эксплуатации: температура окружающей среды от 1 до 40 °С, относительная влажность воздуха 80 % при температуре 25 °С.

Функции панели управления НМ 1520М-006:

- русифицированный интерфейс;
- пароль доступа к программированию для защиты от вмешательства посторонних лиц в работу устройства и подключенных к нему двигателей;
- два режима работы:

***ручной*** применяется при настройке оборудования,

***автоматический*** обеспечивает поддержание заданного давления;

- возможность запуска каждого насосного агрегата как от МПЧ, так и непосредственно от питающей сети;
- включение дополнительного насосного агрегата при недостаточной производительности основного;
- выключение системы при отсутствии воды на всосе и включении пожарных насосов;
- возможность поддержания различного давления на протяжении всего дня (зонный график);
- графическая регистрация изменений давления в системе;
- регистрация в памяти контроллера аварийных ситуаций с указанием даты и типа аварии.

### ***Программируемый логический контроллер MITSUBISHI MELSEC FX-2N***

Программируемый логический контроллер MITSUBISHI MELSEC FX-2N используется в макете системы управления насосной станцией для управления работой блоков индикаторных ламп, а также для формирования управляющего сигнала для частотного преобразователя.

Технические характеристики ПЛК MITSUBISHI MELSEC FX-2N приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

#### Основные технические характеристики ПЛК MITSUBISHI MELSEC FX-2N

Сигналы ввода/вывода	16–256 сигналов
Память	До 16000 программных шагов
Время выполнения инструкции	0,08 мкс
Позиционирование	Высокоскоростные счетчики – 60 кГц; импульсный выход – 20 кГц; 8 внешних высокоскоростных счетчика – 50 кГц; 8 модулей позиционирования
Обработка аналогового сигнала	До 32 сигналов ввода/вывода
Разрешение	8 или 12 бит
Сетевые возможности	Profibus DP, AS-интерфейс, MELSEC I/O LINK, одноранговая MELSEC FX (PPN)
Источник питания	~115/230 В, = 24 В, = 12 В
Размеры (Ш × в × д), мм	130–150 × 90 × 187

## *Режимы работы системы управления*

Макет автоматической системы управления имитирует работу насосной станции, предназначенной для поддержания постоянного давления в системе подачи воды. Система подачи воды состоит из трех повышающих гидронасосов, один из которых питается от преобразователя частоты и является регулируемым, а два других являются резервными и служат для увеличения напора во время критических ситуаций.

Регулирование напора происходит путем изменения частоты вращения основного насоса, которая задается преобразователем частоты на основе показателей датчика давления, установленного в системе водоснабжения. При изменении давления информация с датчика обрабатывается микропроцессорной системой и сравнивается с величиной опорного давления, после чего происходит замедление либо ускорение вращения двигателя. В случае если основной насос не справляется с требуемой подачей воды, т. е. поддержанием опорного давления, через заданное время задержки включается первый резервный насос. При увеличении давления до уровня выше опорного и при условии работы основного насоса на минимальных оборотах резервный насос отключается и давление в системе поддерживается с помощью насоса, подключенного к преобразователю частоты.

Если после включения первого резервного насоса давление в системе не достигает необходимого уровня, подключается второй резервный насос. Очевидно, что даже при увеличении давления в этом случае основного (регулируемого) насоса будет недостаточно для поддержания постоянного напора, поэтому при повышении значения давления в системе выше опорного отключится только второй резервный насос, а первый будет продолжать работу.

Ниже на рис. 2.9 приведена блок-схема алгоритма, реализующего работу системы.

Алгоритм работы представляет собой цикл, основанный на проверке состояний системы.

Давление на датчике в системе сравнивается с опорным значением. Если давление в система ниже заданного, в случае если частота вращения управляемого двигателя максимальна, включается первый резервный двигатель РД1, затем после вторичной проверки значения давления – второй двигатель РД2.

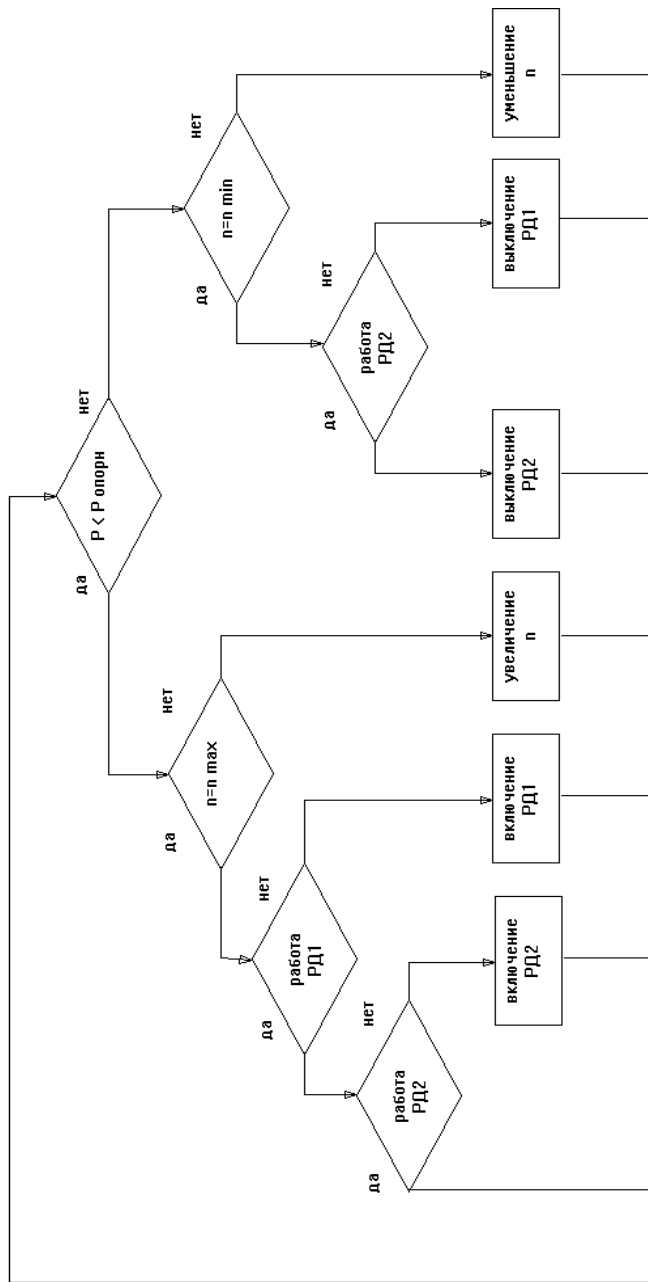


Рис. 2.9. Блок-схема алгоритма управления насосами

Если давление в системе превышает заданное значение, то частота вращения управляемого двигателя снижается, а после выключаются резервные двигатели.

### **Последовательность выполнения работы**

1. Изучить документацию на оборудование, используемое в стенде «Автоматическая система управления тремя насосами».

2. Изучить принципиальную схему стенда. Запустить систему в ручном и автоматическом режиме управления двигателем.

3. Настроить почасовой режим работы системы согласно своему варианту.

С помощью программы-симулятора изучить и изменить настройки преобразователя частоты МПЧ-311 для различных режимов работы и способов управления.

### **Методика выполнения работы**

#### ***Управление приводом с панели управления и без нее***

1. Подключить стенд к сети 220 В. Убедиться, что переключатель на контроллере (рис. 2.10) в верхнем положении, т. е. контроллер подключен к системе. Включить автоматы QF1 и QF2 в правой части стенда. На экране частотного преобразователя должен появиться индикатор «Rs» – дистанционное управление.

***ВНИМАНИЕ!!! Во избежание возникновения аварийных ситуаций и травм категорически запрещается изменять настройки преобразователя частоты!***

2. Перейти в раздел ручного управления двигателем. Для этого на панели управления системы коснуться кнопки «Меню». В пункте «Управление насосами» выбрать «Ручной режим». Запустить двигатель кнопками на панели управления и изменить частоту вращения.

3. Перейти к разделу меню «Уровень доступа». Нажать на кнопку «Ввести пароль». Ввести пароль «1111» и нажать «Ввод». На экране должна появиться надпись «2-й уровень».



Рис. 2.10. Переключатель работы контроллера

4. В разделе меню «Датчик давления» выбрать режим работы «Постоянный». В меню «Настройка режимов» отрегулировать опорное давление. Перейти к разделу «Автоматический режим». Назначить номера резервных двигателей и двигателя для работы с МПЧ, отрегулировать время запуска резервных двигателей (для работы с МПЧ может быть выбран только один двигатель). Запустить систему и проверить ее работу. С помощью потенциометра изменять величину текущего давления. Обратить внимание на условия включения и выключения первого и второго резервных двигателей.

5. Остановить систему. В разделе «Настройка режимов» меню «Датчик давления» выбрать пункт «Почасовой». Пользуясь графиком на рис. 2.11, разделить суточный цикл работы системы на шесть периодов так, чтобы с максимальной точностью задать точки изменения опорного давления во времени. Произвести настройку режима работы системы. Выбрать режим работы «Постоянный». Так как переключение между временными интервалами происходит в начале следующего часа, при необходимости **перед запуском системы** отрегулировать системное время так, чтобы до начала нового часа оставалось 3–5 мин. Запустить систему и проконтролировать работу режима управления.

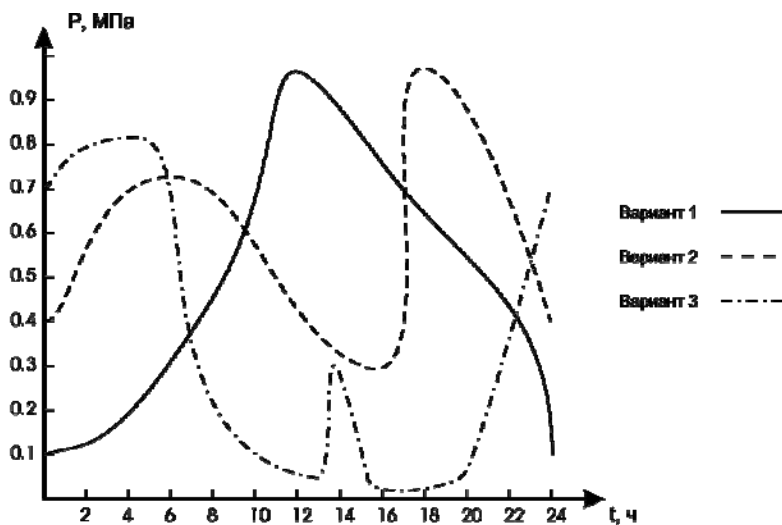


Рис. 2.11. Графики изменения уровня необходимого давления в системе водоснабжения за сутки

Получившиеся временные интервалы, а также значения опорного давления занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Параметры режима работы «Почасовой» системы управления

№ периода	Временной интервал	Опорное значение давления
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Остановить систему и вернуть верное значение системного времени.

6. Отключить автоматы QF1 и QF2. Перевести переключатель на контроллере в нижнее положение. Включить стенд. На экране частотного преобразователя должен появиться индикатор «Me» – местное управление.

7. Произвести запуск двигателя в прямом и реверсивном направлении кнопками «Старт вправо» и «Старт влево». С помощью потенциометра изменять частоту вращения. Кнопкой «\*» вывести на экран входные значения на аналоговом входе VxА2. Перевести потенциометр в крайнее правое положение. Сопоставить значения UBxА2 с делениями на потенциометре. Остановить двигатель. Отключить питание системы и переключатель на контроллере вернуть в верхнее положение.

### ***Работа с программой-симулятором Modbus***

1. Запустить программу-симулятор modbus.exe.

2. Ознакомиться с интерфейсом программы. При наведении курсора мыши на какой-либо элемент либо на выбранный параметр настроек на виртуальном экране панели управления частотного преобразователя появляется всплывающая подсказка этого элемента или пункта меню.



3. Занести в отчет описания пунктов меню, которые укажет преподаватель.

4. С помощью программы-симулятора Modbus согласно варианту промоделировать:

**1-й вариант:** работу МПЧ с управлением от ПИ-регулятора. Регулируемая величина и входной сигнал для регулятора задаются аналоговыми входами. Пояснить работу системы в данном режиме.

**2-й вариант:** работу МПЧ с управлением от цифровых входов.

1. Установить частоту вращения двигателя 55 Гц подачей управляющего сигнала на 4-й цифровой вход.

2. Остановить и запустить двигатель, пользуясь ТОЛЬКО цифровыми входами.

**3-й вариант:** работу режима «СОН». Управляя частотой вращения двигателя с помощью аналогового входа, включить и выключить «засыпание» МПЧ. Минимальный уровень входного сигнала должен быть равен 2 В (4 мА). Объяснить необходимость этих опций.

При выполнении задания использовать п. 5 «Параметры» справки [silekt.chm](#).

Код доступа для смены параметров «1».

### Контрольные вопросы

1. Чем выгодно использование частотно-регулируемого электропривода? Почему настолько распространено использование частотных преобразователей?

2. Какие особенности широтно-импульсной модуляции являются ключевыми для частотного управления двигателем?

3. Опишите структуру частотного преобразователя с неуправляемым выпрямителем напряжения в звене постоянного тока.

4. В чем преимущества и недостатки использования сенсорных панелей управления в системах, подобных представленному макету?

5. Поясните систему управления гидронасосами на базе асинхронного привода с преобразователем частоты.

6. Перечислите основные блоки системы управления, представленной в лабораторном стенде. Поясните его работу с использованием схемы (см. рис. 2.7).

7. Основные параметры преобразователя частоты МПЧ-311.

8. Поясните основные функции панели управления.

9. Поясните методику настройки почасового режима управления насосами.

10. Каким образом можно осуществить запуск двигателя в прямом и реверсивном направлении и изменить частоту вращения?

11. Какие функции можно реализовать в программе-симуляторе Modbus.exe по управлению преобразователя частоты?

### *Лабораторная работа № 3*

## **НАСТРОЙКА И ЗАПУСК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ (ПЧ) СЕРИИ FR-A700**

### **Цель работы**

1. Ознакомиться со скалярным и векторным управлением асинхронным двигателем на базе преобразователя частоты.

2. Изучить конструкцию лабораторного стенда на базе ПЧ серии FR-A700.

3. Произвести настройку базовых параметров ПЧ для скалярного и векторного управления.

4. Провести сравнительный анализ различных режимов работы преобразователя частоты.

### **Теоретические сведения**

#### *Принцип скалярного управления*

*Частотно-регулируемый привод* (частотно-управляемый привод (ЧУП), Variable Frequency Drive, VFD) — система управления частотой вращения ротора асинхронного (синхронного) электродвигателя, состоящая из собственно электродвигателя и частотного преобразователя.

Частотный преобразователь (преобразователь частоты) — это устройство, состоящее из выпрямителя (моста постоянного тока), преобразующего переменный ток промышленной частоты в постоянный, и инвертора (преобразователя) (иногда с ШИМ), преобразующего постоянный ток в переменный требуемых частоты и ампли-

туды. Выходные тиристоры (GTO) или IGBT обеспечивают необходимый ток для питания электродвигателя. Для улучшения формы выходного напряжения между преобразователем и двигателем иногда ставят дроссель, а для уменьшения электромагнитных помех — фильтр. При скалярном управлении формируются гармонические токи фаз двигателя.

### ***Принцип векторного управления***

Векторное управление является методом управления синхронными и асинхронными двигателями, не только формирующим гармонические токи (напряжения) фаз (скалярное управление), но и обеспечивающим управление магнитным потоком ротора. Первые реализации принципа векторного управления и алгоритмы повышенной точности нуждаются в применении датчиков положения (скорости) ротора.

В общем случае под векторным управлением понимается взаимодействие управляющего устройства с так называемым пространственным вектором, который вращается с частотой поля двигателя.

### ***Математический аппарат векторного управления***

Для асинхронных и синхронных двигателей (АД и СД) принцип векторного управления можно сформулировать следующим образом.

Необходимо определить направление и угловое положение вектора потокосцепления ротора двигателя. Ортогональные оси  $x$ ,  $y$  направляют так, что ось  $x$  совпадает с направлением вектора потокосцепления ротора. Вектор напряжения статора двигателя регулируют в осях  $x$ ,  $y$ . Составляющая напряжения по оси  $x$  регулирует величину тока статора по оси  $x$ .

Изменяя ток статора по оси  $x$ , следует добиваться требуемого значения амплитуды вектора потокосцепления ротора. Ток статора по оси  $y$ , контролируемый напряжением по этой оси, определит момент, развиваемый двигателем. В таком режиме работы СД и АД подобны двигателю постоянного тока. Так, по оси  $x$  формируется поле машины (обмотка возбуждения для двигателя постоянного тока), а ток по оси  $y$  задает момент (якорная обмотка двигателя постоянного тока).

Векторное управление может быть реализовано не только при определении направления и углового положения вектора потоко-сцепления ротора (система «Transvektor»). Практический интерес представляют аналогичные устройства с управлением по вектору главного потоко-сцепления двигателя, которые в нашей стране стали именоваться векторными системами. Указанные устройства управления имеют свои особенности. Применение вектора потоко-сцепления ротора теоретически обеспечивает большую перегрузочную способность АД. При использовании устройства управления по вектору главного потоко-сцепления и стабилизации модуля главного потоко-сцепления двигателя во всех режимах работы исключается чрезмерное насыщение магнитной системы, упрощается структура управления АД. Для составляющих вектора главного потоко-сцепления (по осям  $\alpha$ ,  $\beta$  статора) возможно прямое измерение, например, с помощью датчиков Холла, устанавливаемых в воздушном зазоре двигателя.

Питание АД и СД в режиме векторного управления осуществляется от инвертора, который в любой момент времени может обеспечить требуемые амплитуду и угловое положение вектора напряжения (или тока) статора. Изменение амплитуды и положения вектора потоко-сцепления ротора производится с помощью наблюдателя (математический аппарат, позволяющий восстанавливать неизмеряемые параметры системы).

Для векторного управления асинхронным двигателем следует сначала привести его к упрощенной двухполюсной машине, которая имеет две обмотки на статоре и роторе. В соответствии с этим имеются системы координат, связанные со статором, ротором и полем.

### ***Варианты режимов работы векторного управления***

Векторное управление подразумевает наличие в звене управления математической модели (ММ) регулируемого электродвигателя. В зависимости от условий эксплуатации электропривода возможно управление электродвигателем как в режимах с обычной точностью, так и в режимах с повышенной точностью отработки задания на скорость или момент.

## ***Точность математической модели электродвигателя***

В связи с вышесказанным представляется возможным произвести классификационное разделение режимов управления по точности математической модели (ММ) электродвигателя, используемой в звене управления:

- использование ММ без дополнительных уточняющих измерений устройством управления параметров электродвигателя (используются лишь типовые данные двигателя, введенные пользователем);
- использование ММ с дополнительными уточняющими измерениями устройством управления параметров электродвигателя (т. е. активных и реактивных сопротивлений статора/ротора, напряжения и тока двигателя).

### **Конструкция лабораторного стенда**

Лабораторный стенд представляет собой установку для изучения автоматизированного привода асинхронного двигателя на базе преобразователя частоты FR-A700.

Лабораторный стенд состоит из следующих основных элементов (рис. 3.1):

- 1 – трехфазный асинхронный двигатель;
- 2 – преобразователь частоты FR-A700 со встроенным пультом управления;
- 3 – энкодер, датчик ОС по положению (подробное описание которого дано в лабораторных работах по изучению сервоприводов);
- 4, 5 – дискретные и аналоговые выходы соответственно;
- 6, 7 – дискретные и аналоговые входы соответственно;
- 8 – аварийный стоп;
- 9 – концевой выключатель защитного кожуха.

Энкодер установлен на вал двигателя и необходим для режима векторного управления.

Для имитации срабатывания входов частотного преобразователя в стенде предусмотрены переключатели SA1–SA12, которые подсоединены непосредственно ко входам преобразователя частоты. Включение переключателя эквивалентно подаче на соответствующий вход напряжения (вход).

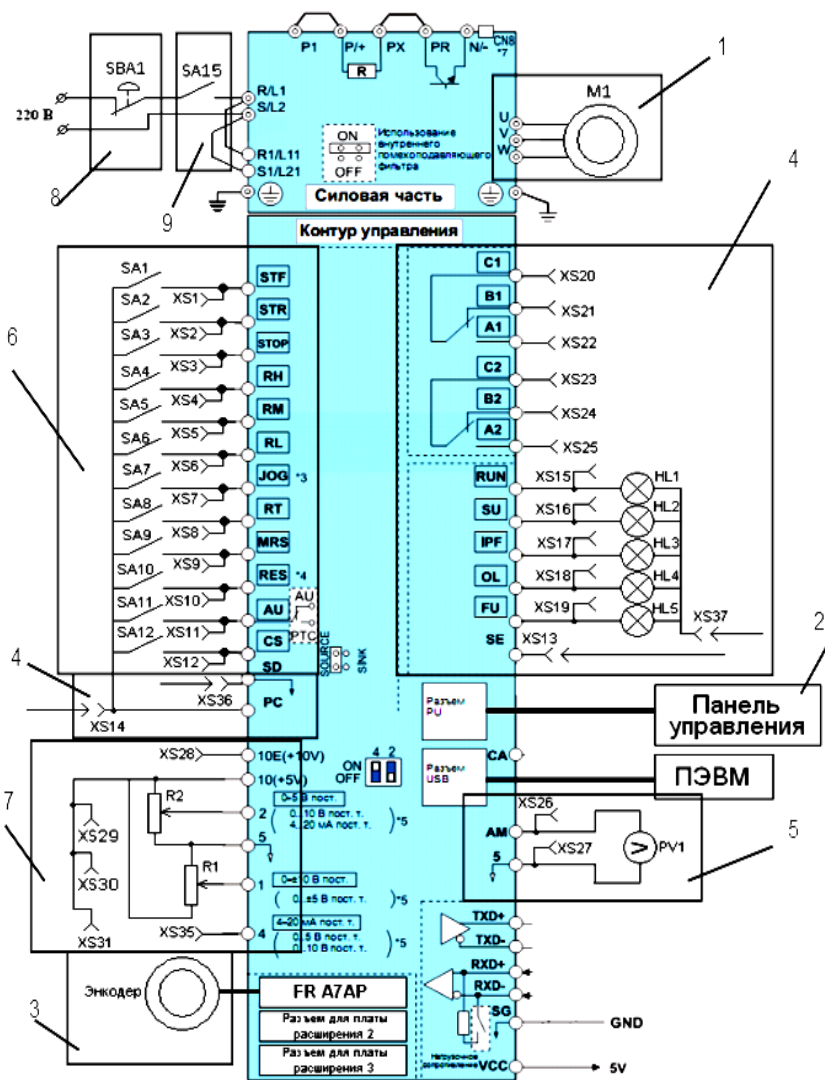


Рис. 3.1. Принципиальная схема подключения ПЧ в лабораторном стенде

Задание частоты вращения с аналоговых входов осуществляется подключением потенциометров R1 и R2, которые подают на входы ток или напряжение (в зависимости от положения переключателя SA11–вход AU).

Для контроля состояния привода к дискретным выходам (табл. 3.1) подключены лампы индикации HL1–HL5.

Таблица 3.1

Входные и выходные сигналы ПЧ

Клемма	Обозначение	Описание		Данные	Страница руководства по эксплуатации
1	2	3		4	5
STF	Пусковой сигнал для правого вращения	Если на клемме STF имеется сигнал, электродвигатель вращается вправо	Если одновременно имеются сигналы STF и STR, выполняется команда остановки	Входное сопротивление 4,7 кОм. Коммутируемое напряжение: от 21 до 27 В пост. тока. Контакты при коротком замыкании: 4–6 мА пост. тока	6-286
STR	Пусковой сигнал для левого вращения	Если на клемме STF имеется сигнал, электродвигатель вращается влево			6-286
STOP	Самопитание пускового сигнала	Если на клемме STOP имеется сигнал, пусковые сигналы становятся на самопитание, т. е. для запуска в ту или другую сторону нужно подать импульс на соответствующий вход. Для того чтобы остановить двигатель, необходимо снять сигнал с клеммы STOP			6-286
RH, RM, RL	Предустановка скорости	Клеммы задания скорости ПЧ. Каждой клемме соответствует своя заданная в параметре частота			6-286
JOG	Толчковое включение	Толчковое включение выбирается сигналом на клемме JOG (заводская настройка). При этом направление вращения определяется пусковыми сигналами STF и STR			6-286
	Импульсный вход	Клемму JOG можно использовать в качестве импульсного входа. Для этого требуется изменить значение параметра 291. (Максимальная входная частота 100 кГц)		Входное сопротивление 2 кОм. Контакты при коротком замыкании: 8–13 мА пост. тока	6-286

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5
RT	Второй набор параметров	Подав сигнал на клемму RT, можно выбрать второй набор параметров	Входное сопротивление 4,7 кОм. Коммутируемое напряжение: от 21 до 27 В пост. тока. Контакты при коротком замыкании: 4–6 мА пост. тока	6-286
MRS	Блокировка регулятора	В результате включения сигнала MRS ( $t \geq 20$ мс) активируется блокировка регулятора и выход преобразователя отключается без учета времени замедления		6-286
RES	Вход RESET	Сброс преобразователя после срабатывания защитной функции осуществляется с помощью сигнала на клемме RES ( $t > 0,1$ с). При заводской настройке сброс преобразователя возможен в любое время. С помощью параметра 75 можно установить, должен ли быть сброс возможным только после ее срабатывания защитной функции. Процесс сброса после отключения сигнала RESET длиться около 1 с		6-286
AU	Деблокировка клеммы 4	В результате включения сигнала AU деблокируется клемма 4. (Можно подавать сигнал заданного значения в виде 0/4–20 мА.) Одновременно блокируется клемма 2 (потенциальный вход)		6-369
AU	Вход для элемента с ПТК	Клемма AU служит в качестве входа для датчика температуры с положительным температурным коэффициентом для тепловой защиты двигателя. Чтобы деблокировать вход для элемента с ПТК, переключатель AU/PTC должен быть установлен на PTC и клемме AU должно быть присвоена функция PTC		6-217



Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5
CS	Автоматический перезапуск после исчезновения сетевого напряжения	Если на клемме CS имеется сигнал, то после исчезновения сетевого напряжения преобразователь автоматически перезапускается. Если требуется использовать эту функцию, необходимо настроить параметры автоматического перезапуска. На заводе-изготовителе эта функция не активирована		6-286
SD	Общая точка опорного потенциала	Если выбрана отрицательная логика, определенная функция управления активируется путем соединения соответствующей клеммы с клеммой SD. Клемма SD является опторазвязанной. Эта клемма изолирована от точки опорного потенциала аналогового контура (клемма 5). Общая точка опорного потенциала (0 В) для выхода 24 В пост. тока / 0,1 А (клемма «PC»)		
PC	Выход 24 В пост. тока и общая точка опорного потенциала для управляющих входов при положительной логике	Выход 24 В пост. тока / 0,1 А. При отрицательной логике, если для управления преобразователем используются транзисторы с открытым коллектором (например, выходы программируемого контроллера), положительный полюс внешнего источника напряжения должен быть соединен с клеммой PC. При положительной логике клемма PC служит в качестве общей точки опорного потенциала для управляющих входов. Это означает, что если выбрана положительная логика (стандартная настройка приборов с обозначением ЕС), соответствующая функция управления активируется путем соединения этой клеммы с клеммой PC	Диапазон напряжения питания 19,2–28,8 пост. тока. Макс. вых. ток 100 мА	3-25

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5
10E (выходное напряжение 10 В пост. тока)	Потенциальный выход подключения потенциометра	При заводской настройке потенциометр следует подключить к клемме 10. При подключении к клемме 10E необходимо изменить значение параметра 73 (см. раздел 6.20.3 инструкции). Рекомендуемый потенциометр: 1 кОм, 26 Вт, линейный многооборотный потенциометр	10 В пост. тока $\pm 0,4$ В, макс. 10 мА	6-369
10 (выходное напряжение 5 В пост. тока)			5,2 В пост. тока $\pm 0,2$ В, макс. 10 мА	6-369
2	Вход для сигнала заданного значения частоты (в виде напряжения)	На клемму подается сигнал заданного значения 0–5 В (0–10 или 0/4–20 мА). Диапазон напряжения предварительно установлен на 0–5 В (параметр 73). Для выбора токового входа выключатель «Токовый/потенциальный вход» установить в положение «ON» («вкл.») (0/4–20 мА)	Потенциальный вход: входное сопротивление $10 \pm 1$ кОм, макс. входное напряжение 20 В пост. тока. Токовый вход: входное сопротивление $245 \pm 5$ кОм макс., входной ток 30 мА	6-369
4	Вход для сигнала заданного значения частоты (в виде тока)	На клемму подается сигнал заданного значения 0/4–20 мА пост. тока (0–5 В или 0–10 В). Этот вход деблокирован только при наличии сигнала AU (в этом случае клемма 2 заблокирована). Переключение диапазонов 0–20 мА (заводская настройка), 0–5 В пост. тока и 0–10 В пост. тока осуществляется с помощью параметра 267. Для выбора потенциального входа установить переключатель «Токовый/потенциальный вход» в положение «OFF» («выключено») (0–5 или 0–10 В). Для присвоения функции этой клемме используется параметр 858 (1)		6-369

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5
1	Дополнительный вход для сигнала задания частоты $0 \pm 5$ (10) В пост. тока	На эту клемму можно подать дополнительный потенциальный сигнал заданного значения $0 \dots \pm 5$ (10) В пост. тока. Диапазон напряжения предварительно установлен на $0 \dots \pm 10$ В пост. тока (параметр 73)	Входное сопротивление $10 \pm 1$ кОм, макс. входное напряжение $\pm 20$ В пост. тока	6-369
5	Точка опорного потенциала для сигнала задания частоты и аналоговых входов	Клемма 5 представляет собой точку опорного потенциала (0 В) для всех аналоговых заданных значений, а также для аналоговых выходных сигналов СА (ток) и АМ (напряжение). Эта клемма изолирована от опорного потенциала цифрового контура (SD). Эту клемму не следует заземлять. Если местные предписания требуют заземлять точку опорного потенциала, то следует учитывать, что в результате этого в управляющую электронику проникают возможные помехи потенциала земли, и поэтому может возрасти чувствительность преобразователя к помехам	–	6-369
A1, B1, C1	Релейный выход 1 (выход аварийной сигнализации)	Аварийная сигнализация выводится через релейные контакты. При срабатывании защитной функции реле притягивает контакты	Мощность контакта 230 В/0,3 А перем. тока (коэффициент мощности 0,4) или 30 В/0,3 А пост. тока	6-298
A2, B2, C2	Релейный выход 2			6-298
RUN	Выход сигнала работы двигателя (выход типа «открытый коллектор»)	Этот выход находится в состоянии сквозной проводимости, если выходная частота больше или равна стартовой частоте преобразователя. Если частота не выдается или действует торможение постоянным током, этот выход заперт	Допустимая нагрузка 24 В пост. тока, 0,1 А (максимальное падение напряжения при включенном сигнале составляет 3,4 В)	6-298

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5
SU	Сигнальный выход для сравнения заданного и фактического значения частоты (выход типа «открытый коллектор»)	Выход SU служит для контроля заданного и фактического значения частоты. Этот выход переводится в состояние сквозной проводимости, как только фактическое значение частоты (выходная частота преобразователя) достигает заданного значения частоты (значения, заданного сигналом задания частоты) в пределах предварительно выбранного поля допуска (пар. 41). Во время разгона и торможения этот выход заперт	Выход кода сигнализации (4 бита), см. раздел 6.17.2 инструкции	6-298
OL	Выход сигнализации о перегрузке (выход типа «открытый коллектор»)	Выход OL активируется, если начинает действовать ограничение регулятора на основе ограничения тока (пар. 22) или ограничение частоты вращения при регулировании крутящего момента		6-298
IPF	Сигнальный выход кратковременного исчезновения сетевого напряжения (выход типа «открытый коллектор»)	При кратковременном прерывании сетевого питания длительностью $15 \text{ мс} \leq t_{\text{IPF}} \leq 100 \text{ мс}$ или при пониженном напряжении этот выход переводится в состояние сквозной проводимости	Выход кода сигнализации (4 бита), см. раздел 6.17.2 инструкции	6-298
FU	Сигнальный выход для контроля выходной частоты (выход типа «открытый коллектор»)	Этот выход переводится в состояние сквозной проводимости, как только выходная частота превышает частоту, заданную в пар. 42 (или 43). В противном случае выход FU заперт		6-298

Окончание табл. 3.1

1	2	3		4	5
SE	Опорный потенциал для сигнальных выходов (напряжение питания выходов с открытым коллектором)	Опорный потенциал для сигналов RUN, SU, OL, IPF и FU (приложенное к этой выходной схеме напряжение). Эта клемма изолирована от опорного потенциала управляющего контура SD		–	–
CA	Аналоговый токовый выход				
AM	Аналоговый потенциальный выход	Можно выбирать одну из 18 функций индикации, например, внешнюю индикацию частоты (пар. 54, 158). Выходы CA и AM можно использовать одновременно. Например, к клемме CA можно подключить измеритель постоянного тока, а к клемме AM – измеритель постоянного напряжения. Во время сброса вывод не происходит	Вывод при заводской настройке: выходная частота	Сопротивление нагрузки 200–450 кОм. Выходной ток 0–20 мА	6-330

Для защиты от контакта с вращающимися частями привода в стенде предусмотрен защитный кожух из оргстекла, которые в закрытом положении замыкает концевой выключатель SA15. Если же защитный кожух отодвинут или снят, концевой выключатель размыкается и питание на лабораторный стенд не подается, двигатель останавливается. Для экстренного выключения имеется стоповая кнопка SBA1.

Также для всех управляющих элементов в стенде предусмотрены гнезда (XS1–XS37) для управления преобразователем извне. Например, дискретные входы можно подключить к выходам программируемого логического контроллера и т. д.

Для реализации векторного управления электродвигателем используется энкодер, который подключается к дополнительной плате FR-A7AP (рис. 3.2). Эта плата в стандартный комплект поставки не входит (в лабораторном стенде эта плата расширения уже подключена). Для нее в преобразователе частоты предусмотрен специальный разъем (всего в ПЧ имеются три дополнительных слота для подключения различных плат расширения, см. рис. 3.1).

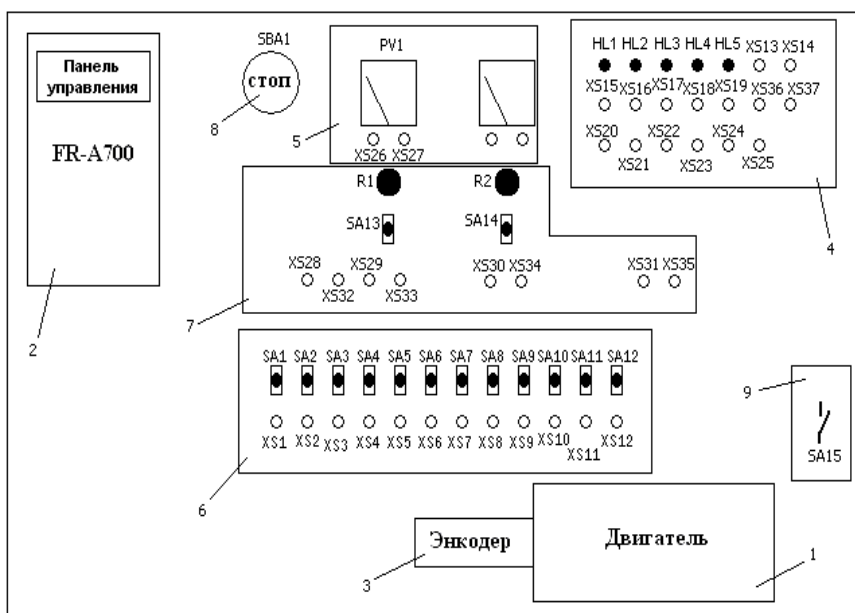


Рис. 3.2. Передняя панель лабораторного стенда

Схема подключения энкодера к данной плате показана на рис. 3.3.

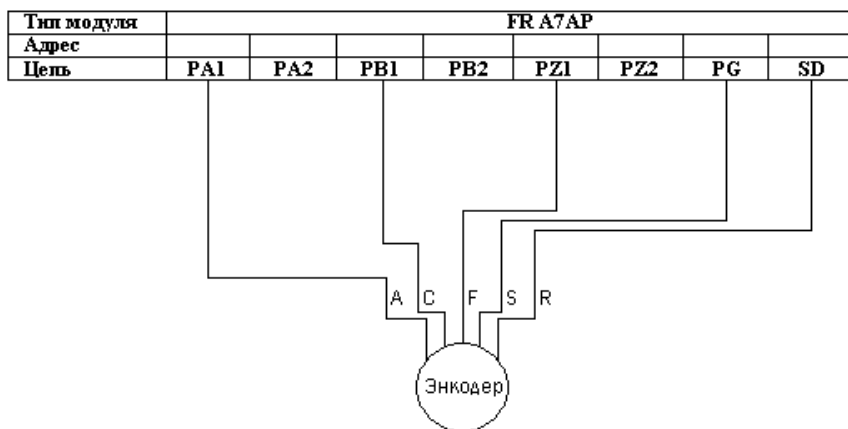


Рис. 3.3. Принципиальная схема подключения энкодера к плате расширения FR

Описание клемм платы подключения к энкодеру отображено в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Назначение клемм опциональной карты для подключения энкодера

Клемма	Значение
PA1	Входная клемма для сигнала фазы «А»
PA2	Входная клемма для инвертированного сигнала фазы «А»
PB1	Входная клемма для сигнала фазы «В»
PB2	Входная клемма для инвертированного сигнала фазы «В»
PZ1	Входная клемма для сигнала фазы «Z»
PZ2	Входная клемма для инвертированного сигнала фазы «Z»
PG	Внешнее электропитание 24 В
SD	Внешнее электропитание 0

**Настройка преобразователя частоты**

Для работы привода параметры преобразователя частоты необходимо согласовать с подключенным электродвигателем. Нужные

для этого настройки называются «Параметрами» и сохраняются при выключении напряжения питания. При отправке преобразователя на заводе-изготовителе все параметры устанавливаются на заводские значения настройки.

Параметры можно разделить на базовые и расширенные. Базовые параметры вводятся обязательно, так как без них корректная работа преобразователя будет невозможна. Расширенные параметры требуются настраивать только для решения специальных или сложных прикладных задач.

Перечень базовых параметров преобразователя частоты FR-A 700 приведен в табл. 3.3.

### **ВНИМАНИЕ!**

**Ошибочные настройки этих параметров могут привести к повреждению электродвигателя и даже (в экстремальных условиях) к его разрушению!!!!**

Таблица 3.3

Перечень базовых параметров

Параметр	Значение	Диапазон регулирования	Заводская настройка
1	2	3	4
0	Повышение крутящего момента (ручное)	0–30 %	1 %
1	Максимальная выходная частота	0–120 Гц	60 Гц
2	Минимальная выходная частота	0–120 Гц	0 Гц
3	Характеристика $U/f$ (базовая частота)	0–400 Гц	50 Гц
4	1-я предварительная установка частоты вращения/скорости (клемма RH)	0–400 Гц	60 Гц
5	2-я предварительная установка частоты вращения/скорости (клемма RM)	0–400 Гц	30 Гц



1	2	3	4
6	3-я предварительная установка частоты вращения/скорости (клемма RL)	0–400 Гц	10 Гц
7	Время ускорения	0–360 с	5 с
8	Время торможения	0–360 с	5 с
9	Настройка тока для электронной защиты двигателя	0–500 А	Номинальный ток (1,84 А)
19	Максимальное выходное напряжение	0–1000 В 8888 <sup>1</sup> 9999 <sup>2</sup>	8888
20	Опорная частота для времени торможения и ускорения	1–400 Гц	50 Гц
79	Выбор режима управления (аналог кнопки PU/EXT панели управления)	0–4/6/7	0

Обзор всех параметров представлен в оригинальной инструкции по эксплуатации, которая находится у преподавателя.

Настраивать параметры к используемому электродвигателю можно с помощью пульта управления. В лабораторном стенде используется сменный пульт управления, вид которого представлен на рис. 3.4, а описание функциональных кнопок – в табл. 3.4.

---

<sup>1</sup> При значении «8888» максимальное выходное напряжение составляет 95 % от входного напряжения.

<sup>2</sup> При значении «9999» максимальное выходное напряжение соответствует входному напряжению.

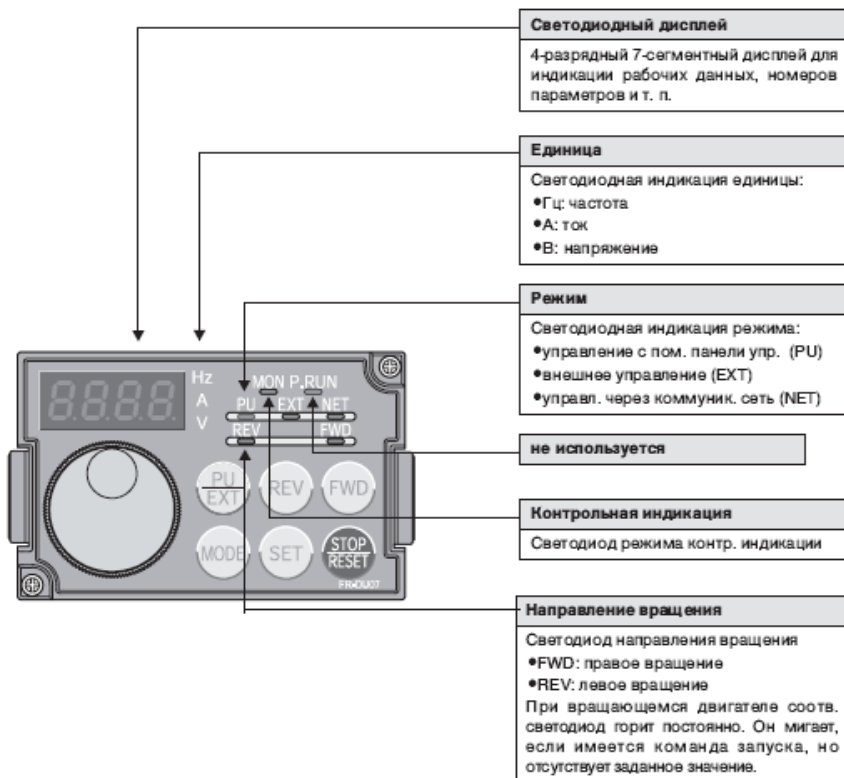




Рис. 3.4. Сменный пульт управления

Таблица 3.4

### Функции кнопок панели управления

Кнопка	Значение	Описание
1	2	3
	Ручка цифрового набора	Изменение настроек частоты и параметров. Для вызова текущего заданного значения частоты нажать ручку цифрового набора
	Направление вращения	Команда запуска вращения по часовой стрелке

1	2	3
	Направление вращения	Команда запуска вращения против часовой стрелки
	Останов двигателя/квитирование неисправности	Возможен сброс защитных функций (квитирование неисправности преобразователя)
	Запись настроек	<p>При нажатии этой клавиши во время работы преобразователя индикация на дисплее изменяется следующим образом:</p>  <pre> graph LR     A[Выходная частота] --&gt; B[Выходной ток]     B --&gt; C[Выходное напряжение]     C --&gt; A </pre> <p>Индикацию для контроля энергии можно выбрать с помощью пар. 52</p>
	Режим	Переключение режима настройки
	Режим управления	<p>С помощью этой функции можно выбрать один из двух режимов управления: внешнее управление или управление с помощью панели управления. Для перехода во внешний режим (при котором заданное значение подается через внешний потенциометр и используется внешний пусковой сигнал) нажимать эту клавишу, пока не загорится светодиод «Ext».</p> <p>PU: управление с помощью панели управления EXT: внешний режим</p>

### Пример 3.1

#### **Использование панели управления для различных задач. Изменение максимальной выходной частоты (параметр 1) со 120 на 50 Гц**

#### Управление

#### Индикация на преобразователе

После включения питания появляется исходная индикация.



Выберите режим „PU“, нажав клавишу PU/EXT.



Нажмите клавишу MODE, чтобы вызвать меню для настройки параметров.



Установите параметр номер 1, вращая ручку.



Нажмите клавишу SET, чтобы вызвать текущее значение параметра. Появляется заводская настройка „120.0“.



Вращайте ручку, пока дисплей не будет показывать „50.0“.



Нажмите клавишу SET для сохранения значения.



## Регулировка частоты и запуск

### Управление

### Индикация на преобразователе

После включения питания появляется исходная индикация.



Выберите режим „PU“, нажав клавишу PU/EXT.



Отрегулируйте требуемую частоту, вращая ручку. Значение мигает прилб. 5 секунд.



Нажмите клавишу SET в то время, пока индикация частоты мигает. (Если вы не успели нажать клавишу SET в течение 5 секунд, индикация снова возвращается на „0.00“. В этом случае отрегулируйте выходную частоту заново, как это описано выше.



Через 3 секунды индикация меняется на „0.00“ (контрольная индикация). Запустите двигатель, нажав клавишу FWD или REV.



Для останова двигателя нажмите клавишу STOP/RESET.



### Пример 3.2

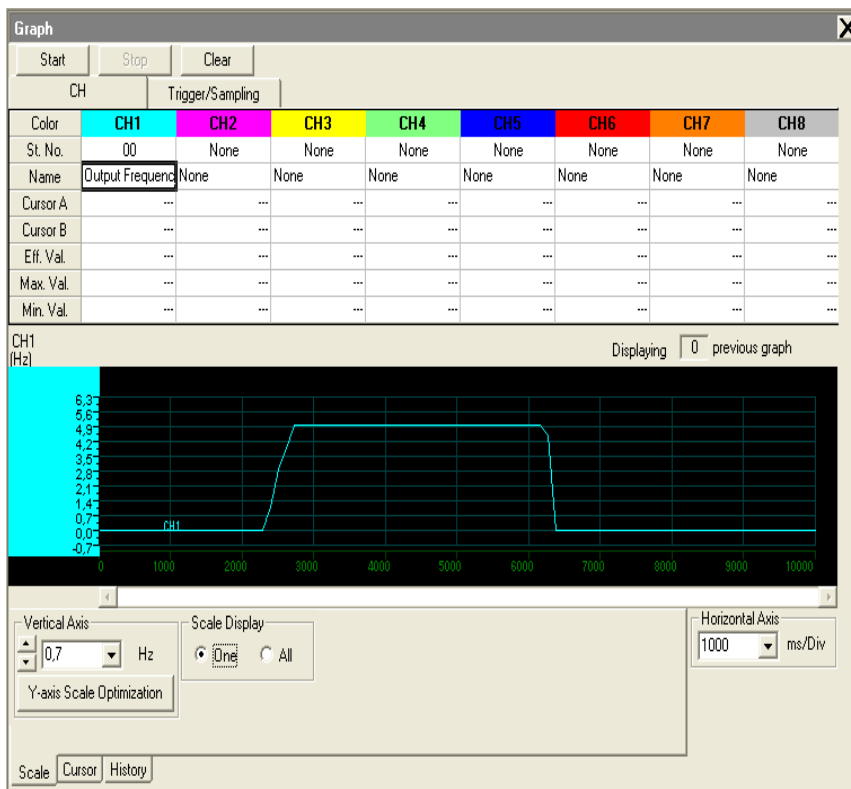
## Изменение параметров ПЧ в режиме управления от ПЭВМ с помощью программы FR Configurator SW3

Parameter List													
All clear		Parameter Clear		Batch Read		Batch Write		Verification		Read		Write	
All Parameter List								ALL List		Edit Individual List		Search	
No.	Name	Setting Range	Unit	Initial Value	Current Value	Setting	Comment						
0	Torque boost	0 to 30%	0.1%	6	6								
>1	Maximum frequency	0 to 120Hz	0.01Hz	120	60								
2	Minimum frequency	0 to 120Hz	0.01Hz	0	0								
>3	Base frequency	0 to 400Hz	0.01Hz	60	50								
4	Multi-speed setting (high speed)	0 to 400Hz	0.01Hz	60	60								
5	Multi-speed setting (middle speed)	0 to 400Hz	0.01Hz	30	30								
6	Multi-speed setting (low speed)	0 to 400Hz	0.01Hz	10	10								
7	Acceleration time	0 to 3600/360s	0.1s	5	5								
8	Deceleration time	0 to 3600/360s	0.1s	5	5								
>9	Electronic thermal O/L relay	0 to 500/0 to 3600A	0.01A	2.55	1.86								
>10	DC injection brake operation frequency	0 to 120Hz,9999	0.01Hz	3	0.5								
11	DC injection brake operation time	0 to 10s,8888	0.1s	0.5	0.5								
12	DC injection brake operation voltage	0 to 30%	0.1%	4	4								
13	Starting frequency	0 to 60Hz	0.01Hz	0.5	0.5								
14	Load pattern selection	0 to 5	1	0	0								
15	Jog frequency	0 to 400Hz	0.01Hz	5	5								
16	Jog acceleration/deceleration time	0 to 3600/360s	0.1s	0.5	0.5								
17	MRS input selection	0,2,4	1	0	0								
>18	High speed maximum frequency	120 to 400Hz	0.01Hz	120	60								
19	Base frequency voltage	0 to 1000V,8888,9999	0.1V	9999	9999								
>20	Acceleration/deceleration reference frequency	1 to 400Hz	0.01Hz	60	50								
21	Acceleration/deceleration time increments	0,1	1	0	0								
>22	Stall prevention operation level (torque limit level)	0 to 400%	0.1%	150	200								
23	Stall prevention operation level compensation factor at double speed	0 to 200%,9999	0.1%	9999	9999								

В столбце Setting напротив нужного параметра ввести нужное значение. Нажать Write – подождать пока произойдет настройка параметра.

### Пример 3.3

#### Построение графиков с помощью программы FR Configurator SW3



В строке St.No. и столбце CH1 выбрать 00. В строке Name выбрать Output\_Frequency. Нажать Start. После истечения выбранного интервала времени нажать Stop. В строке Scale Display выбрать One. Нажать кнопку Y-axis Scale Optimization. Снять график изменения выходной частоты во времени.

## Настройка частоты вращения двигателя в режиме внешнего управления

С помощью преобразователя частоты возможна настройка скорости вращения двигателя. Для этого необходимо изменить (настроить) значения некоторых параметров. Преобразователь имеет 15 предустановок частоты (скорости), которые при необходимости пользователь может задать с помощью параметров 4, 5, 6, 24–27, а также с помощью параметра 232–239.

Установки выходной частоты вызываются тумблерами RH, RM, RL и REX, расположенными на лицевой панели стенда.

При включении сигнала RH работа ведется на частоте, настроенной в параметре 4, при включении сигнала RM – на частоте, настроенной в параметре 5, а при включении сигнала RL – на частоте, настроенной в параметре 6.

Выбор 4–15-й установки частоты вращения (скорости) осуществляется путем комбинирования сигналов тумблерами RH, RM, RL и REX. Значения частоты для этих установок вводят в параметрах 24–27 и 232–239. Комбинации клемм и параметры, соответствующие им, представлены на рис. 3.5 и 3.6.

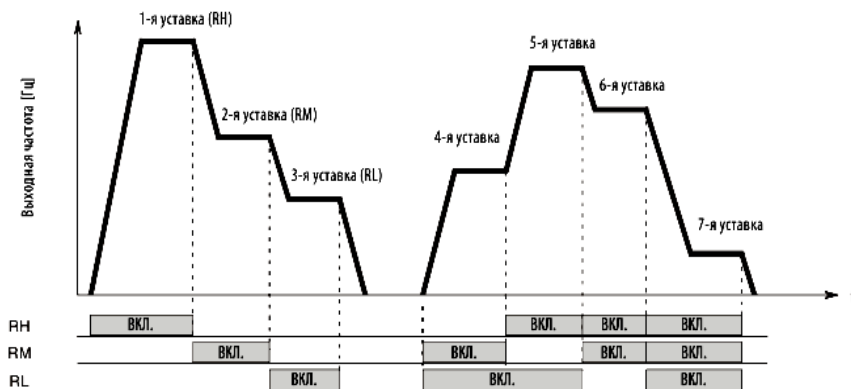


Рис. 3.5. Вызов предустановок частоты вращения (1–7) в зависимости от разводки сигнальных клемм



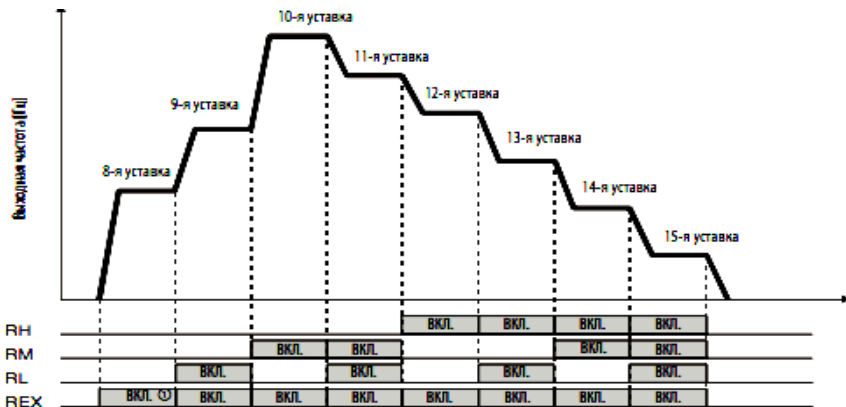


Рис. 3.6. Вызов предустановок частоты вращения (8–15) в зависимости от разводки сигнальных клемм

Перечень параметров для предустановки скоростей представлен в табл. 3.5.

Таблица 3.5

### Перечень параметров для предустановки скорости

№ пар.	Значение	Заводская настройка	Диапазон	Описание
1	2	3	4	5
4	Предустановка частоты вращения (скорости) RH	50 Гц	0–400 Гц	Частота при включенном сигнале RH
5	Предустановка частоты вращения (скорости) RM	30 Гц	0–400 Гц	Частота при включенном сигнале RM
6	Предустановка частоты вращения (скорости) RL	10 Гц	0–400 Гц	Частота при включенном сигнале RL
24	4-я предустановка скорости	9999	0–400 Гц/9999	Выбор 4–15 предустановки частоты вращения происходит путем комбинирования коммутационных сигналов RH, RM, RL и REX. 9999: выбор не сделан
25	5-я предустановка скорости	9999	0–400 Гц/9999	
26	6-я предустановка скорости	9999	0–400 Гц/9999	
27	7-я предустановка скорости	9999	0–400 Гц/9999	
232	8-я предустановка скорости	9999	0–400 Гц/9999	
233	9-я предустановка скорости	9999	0–400 Гц/9999	

1	2	3	4	5
234	10-я предустановка скорости	9999	0–400 Гц/9999	Выбор 4–15 предустановки частоты вращения происходит путем комбинирования коммутационных сигналов RH, RM, RL и REX. 9999: выбор не сделан
235	11-я предустановка скорости	9999	0–400 Гц/9999	
236	12-я предустановка скорости	9999	0–400 Гц/9999	
237	13-я предустановка скорости	9999	0–400 Гц/9999	
238	14-я предустановка скорости	9999	0–400 Гц/9999	
239	15-я предустановка скорости	9999	0–400 Гц/9999	

### Построение нагрузочной характеристики двигателя

Прежде чем определиться с режимом работы двигателя, необходимо установить различие между двумя наиболее широко используемыми нагрузочными характеристиками: квадратичной и линейной. Соответствующую настройку можно произвести, изменяя параметр 14. Возможные значения параметра 14 для различных вариантов настройки представлены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

#### Настройка нагрузочной характеристики

№ пар.	Значение	Заводская настройка	Диапазон	Описание
1	2	3	4	5
14	Выбор нагрузочной характеристики	0	0	Постоянный момент нагрузки
			1	Квадратичный момент нагрузки
			2	Применение в подъемной технике с постоянным моментом нагрузки (повышение крутящего момента при левом вращении 0)
14	Выбор нагрузочной характеристики	0	3	Применение в подъемной технике с постоянным моментом нагрузки (повышение крутящего момента при правом вращении 0)

1	2	3	4	5
14	Выбор нагрузочной характеристики	0	4	Сигнал RT включен: для постоянного момента нагрузки. Сигнал RT выключен: для применения в подъемной технике с постоянным моментом нагрузки, повышение крутящего момента при левом вращении 0
			5	Сигнал RT включен: для постоянного момента нагрузки. Сигнал RT выключен: для применения в подъемной технике с постоянным моментом нагрузки, повышение крутящего момента при правом вращении 0

Линейной нагрузочной характеристике соответствует постоянный момент нагрузки. В этом случае выходное напряжение повышается до его максимального значения линейно относительно выходной частоты. Такая настройка пригодна для машин с постоянным моментом нагрузки при переменной частоте вращения (например, транспортеров или ленточных конвейеров, приводов валков).

В случае квадратичного момента нагрузки выходное напряжение повышается до его максимального значения пропорционально квадрату выходной частоты. Такая настройка используется для машин, у которых момент нагрузки изменяется пропорционально квадрату частоты вращения (например, у вентиляторов и насосов).

В преобразователе частоты FR-A700 имеется возможность настройки параметров для приводов различных подъемных механизмов.

### Последовательность выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения.
2. Изучить электрическую схему и конструкцию лабораторного стенда.
3. Научиться пользоваться пультом управления для настройки параметров, руководствуясь примером 3.1.
4. Запустить преобразователь частоты и настроить базовые параметры (см. табл. 3.3).
5. Найти частоту (нижний предел регулирования) при скалярном и векторном управлении.
6. Сделать анализ полученных результатов.

## Методика выполнения работы

Управлять преобразователем частоты и соответственно подключенным электродвигателем можно несколькими способами:

- используя непосредственное подключение сменных панелей к выходу стенда;
- используя подключение сменных панелей к стенду через LAN кабель (поставляемый в комплекте с ПЧ);
- подключив ПЧ к ПЭВМ, ПЛК и т. д., используя соответствующее программное обеспечение.

В лабораторной работе используется пульт управления.

### *Последовательность действий по настройке ПЧ со скалярным управлением*

1. Включить преобразователь в сеть. На экране частотного преобразователя высветятся красные символы и цифры. Если этого не произошло, проверить положение защитного кожуха, концевого выключателя (защитный кожух должен плотно прижимать концевой выключатель) и кнопки STOP (должна быть видна зеленая полоса на основании кнопки). Установить значение параметров 551 (2 – управление с пульта), параметр 79 (0 – включение кнопки PU/EXT). Ввести базовые параметры из табл. 3.3.

2. Задать значение номинального тока в параметре 9 ( $I_n = 1,84$  А), что соответствует номинальному току двигателя, подключенного к ПЧ.

3. Задать скалярный режим управления, для этого в параметры 80 и 81 необходимо задать 9999.

4. Включить двигатель на частоте 1 Гц (для установки скорости вращения двигателя пользоваться примером 3.1).

5. Увеличить частоту вращения двигателя до 10 Гц (см. пример 3.1). При фиксированной нагрузке уменьшать частоту с произвольным шагом. Необходимо найти частоту (нижний предел регулирования), при которой произойдет полная остановка вала двигателя (*не давать двигателю находиться в остановленном состоянии более 5 с*).

6. Остановить двигатель, нажав кнопку STOP/RESET на пульте управления.

## ***Последовательность действий по настройке ПЧ с бессенсорным векторным управлением***

Для векторного управления (даже бессенсорного) нужно обязательно выставить в параметрах мощность двигателя, количество полюсов и тип двигателя (в большинстве случаев мы имеем дело с обычным самовентилирующимся двигателем). Для векторного управления нужно выставить также параметры энкодера (направление вращения и количество импульсов на оборот) и провести автонастройку двигателя.

1. Установить количество полюсов двигателя в параметре 81 ( $p = 2$ ), см. с. 6-22.

2. Установить номинальную мощность двигателя в параметр 80 ( $P_n = 0,4$  кВт), см с. 6-22 инструкции по эксплуатации ПЧ «manual\_FRA700».

3. Установить направление вращения энкодера в параметре 359 ( $= 0$ ), см с. 6-45 инструкции по эксплуатации ПЧ «manual\_FRA700».

4. Установить разрешающую способность энкодера в параметр 369 ( $= 4096$  им/об), см. с. 6-47 инструкции по эксплуатации ПЧ «manual\_FRA700».

5. Выбрать режим бессенсорного векторного управления в параметре 800 ( $= 10$ ), см. с. 6-22 инструкции по эксплуатации ПЧ «manual\_FRA700».

6. Выбрать режим автонастройки в параметре 96 ( $p = 1$ ), см. с. 6-27 инструкции по эксплуатации ПЧ «manual\_FRA700».

7. Запустить двигатель в прямом направлении (кнопкой FWD на панели управления). Во время работы преобразователь частоты измеряет необходимые параметры электродвигателя для математической модели. Примерно через минуту нажать кнопку STOP/RESET на панели управления.

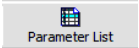
8. Запустить двигатель на частоте 10 Гц (см. пример 3.1). При фиксированной нагрузке уменьшать частоту с произвольным шагом. Найти частоту вращения (нижний предел регулирования), при которой произойдет полная остановка вала двигателя (***не давать двигателю находиться в остановленном состоянии более 5 с***).

9. Остановить двигатель, нажав кнопку STOP/RESET на панели управления.

### ***Последовательность действий по настройке ПЧ с векторным управлением (с датчиком)***

1. Выбрать режим векторного управления в параметре 800 (значение 0), см с. 6–22 инструкции по эксплуатации ПЧ «manual\_FRA700».
2. Запустить двигатель на частоте 10 Гц (см. пример 3.1). При фиксированной нагрузке уменьшать частоту с произвольным шагом. Найти частоту вращения (нижний предел регулирования), при которой произойдёт полная остановка вала двигателя (**не давать двигателю находиться в остановленном состоянии более 5 с**).
3. Остановить двигатель, нажав кнопку STOP/RESET на панели управления.

### ***Последовательность действий по настройке и работе ПЧ в режиме управления от ПЭВМ***

1. Аккуратно открыть крышку USB-порта управления на лицевой панели.
2. Соединить ПЭВМ с USB портом ПЧ.
3. Отключить и включить питание преобразователя частоты.
4. Установить параметр 551 (3).
5. Выключить и включить ПЧ, используя шнур питания.
6. Открыть файл A700.me3 с рабочего стола компьютера.
7. В появившейся программе нажать кнопку ONLINE.
8. Выбрать во вкладке View–Navigation–Test Operation. Появится виртуальный пульт управления.
9. С помощью кнопки PU/EXT на виртуальном пульте управления установить режим PU.
10. Открыть панель Parameter List  и убедиться, что базовые параметры установлены (см. табл. 3.3).
11. Запустить двигатель, удерживая мышкой кнопку FWD.
12. Настроить ПЧ для скалярного, бессенсорного и сенсорного векторного управления.
13. Для каждого метода управления снять графики зависимости выходной частоты от времени.
14. Нажатием кнопки STOP остановить двигатель.
15. Для отключения ПЭВМ от ПЧ нажать кнопку OFFLINE.

16. Закрыть программу.
17. Отключить USB-кабель от преобразователя.
18. Выключить питание преобразователя частоты.

### ***Выбор вида нагрузочной характеристики с помощью ПЧ в режиме управления от ПЭВМ***

1. Выполнить пункты 1–10 из предыдущего задания.
2. Последовательно установить значения «0», «1», «2» и «3» параметра 14 в Parameter List (см. пример 3.3).
3. Для каждого из значений снять графики изменения выходного напряжения в зависимости от времени, пользуясь примером 3.3 (вместо Output Frequency установить Output Voltage в строке Name).
4. Нажатием кнопки STOP остановить двигатель.
5. Для отключения ПЭВМ от ПЧ нажать кнопку OFFLINE.
6. Закрыть программу.
7. Отключить USB-кабель от преобразователя.
8. Выключить питание преобразователя частоты.

### ***Установка частоты вращения двигателя при работе с ПЧ в режиме внешнего управления***

1. С помощью шнура внешнего питания включить преобразователь в сеть 220 В.
2. Выполнить сброс параметров. Для этого, вращая ручку цифрового набора пульта управления, найти ALLC и установить в нем значение «1». Для сохранения значения параметра нажать кнопку SET на пульте управления. Подождать звукового сигнала.
3. С помощью кнопки PU\EXT на пульте управления переключить режим управления на внешний. На панели при этом должен загореться светодиод EXT.
4. Изучить табл. 3.4.
5. С помощью пульта управления, пользуясь табл. 3.4 и рис. 3.5 и 3.6, установить значения скоростей для двигателя (**не более 60 Гц**).
6. Установить значение параметра 551 «1» (режим внешнего управления).
7. Выключить и включить ПЧ, используя шнур питания.
8. Переключателем STF запустить двигатель.

9. Используя переключатели RH, RM, RL, установить скорость вращения двигателя.

10. Остановить двигатель, выключив переключатели STF, RH, RM, RL.

11. Выключить питание преобразователя частоты.

### **Дополнительное задание к лабораторной работе по изучению ПЧ**

1. По документации к преобразователю частоты изучить, какие функции можно назначить на дискретные входы 1–5.

2. Убедиться, что в уставках C11–15 установлено 00, контакты 1–5 нормально-разомкнутые.

3. Назначить клемме 1 задание направления вращения (C01–00 — вперед, 01 – назад).

4. Клеммам 2–4 назначить задание ступенчатой скорости (C02–C05 — установить соответственно 02-05).

5. В уставках A20–A35 установить задания частоты для каждой ступени.

6. Проверить, как осуществляется переключение скоростей с дискретных входов. После этого данные занести в таблицу (код скорости, значение скорости).

7. Установить параметр A01–00 (задание частоты с внешнего потенциометра) и регулировать частоту с внешнего помощью потенциометра.

8. После окончания работы A01 вернуть в исходное состояние.

### **Задание повышенной сложности к защите лабораторной работы**

Предложить свой вариант применения ПЧ в АСУТП, где необходимо применение управления по дискретным входам (как дискретное управление скоростью, так и другие уставки на дискретные входы). По согласованию с преподавателем после проверки всех параметров настроить ПЧ для работы по предложенной схеме и провести испытание алгоритма работы системы.



## Содержание отчета

1. Таблица базовых параметров ПЧ.
2. Последовательность настройки ПЧ для скалярного и векторного способа управления.
3. Значения нижнего предела регулирования частоты вращения двигателя для каждого из способов управления.
4. Графики зависимости выходной частоты от времени (в режиме управления от ПЭВМ).
5. Выводы о преимуществах и недостатках скалярного, векторного бессенсорного и векторного сенсорного способов управления ПЧ.

## Вопросы для самопроверки

1. Что такое преобразователь частоты?
2. Какие способы управления ПЧ используются?
3. Назовите области применения каждого из способов управления.
4. Что такое энкодер? Для чего он используется в данном лабораторном стенде?
5. Какие существуют способы настройки и управления преобразователем частоты?
6. Перечислите основные элементы лабораторного стенда.

## Лабораторная работа № 4

### ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРВОПРИВОДОВ

#### Цель работы

1. Изучить назначение, состав и принцип действия сервоприводов.
2. Получить практические навыки по настройке и работе с сервоприводами MR-J3-10 A и MR-J3-10 B.

#### Теоретические сведения

**Сервопривод** – это система привода, которая в широком диапазоне регулирования скорости обеспечивает динамичные, высокоточные процессы и хорошую их повторяемость.

Сервоприводы предназначены для управления скоростью, крутящим моментом и положением подвижных деталей механизмов. Сервоприводами оснащаются прецизионные системы поддержания скорости и позиционирования промышленных роботов и высокоточных станков, а также координатно-сверлильные станки, различные технологические транспортные системы, вспомогательные механизмы и в приводы подачи современных станков с ЧПУ.

На рис. 4.1 приведена классическая структурная схема сервопривода, состоящего из сервоусилителя и серводвигателя с датчиком обратной связи (энкодером).

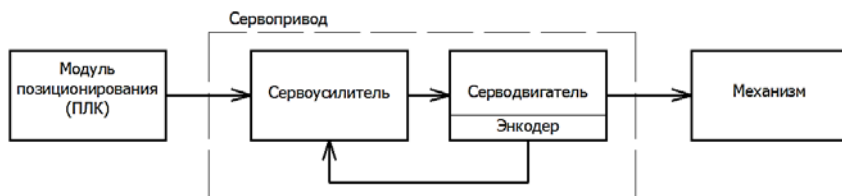


Рис. 4.1. Структурная схема сервопривода

Рассмотрим составляющие сервопривода, в котором сложнейшим звеном является сервоусилитель, более подробно.

**Сервоусилитель** – это электронное устройство, предназначенное для управления серводвигателем. На рис. 4.2 приведена структурная схема системы управления сервоусилителем.

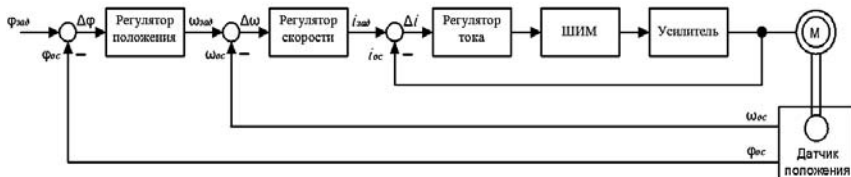


Рис. 4.2. Структурная схема системы управления сервоусилителем

Как видно из рис. 4.2, в системе управления используется трех-контурная структура, содержащая внутренний контур регулирования тока, промежуточный контур регулирования скорости и внешний контур регулирования положения.

Обратная связь по току позволяет контролировать нагрузку на сервосистему и ее изменение, ограничивает ток в обмотках, что позволяет сократить расход электроэнергии и нагрев электродвигателя.

Обратная связь по скорости позволяет с высокой точностью поддерживать скорость вращения вала электродвигателя при изменяемой нагрузке во всем диапазоне рабочих скоростей.

Обратная связь по положению позволяет сервоусилителю вычислять требуемые ускорение и скорость перемещения, исходя из заданной позиции и текущего положения, а также нагрузки, прилагаемой к валу электродвигателя.

Функциональная схема сервоусилителя приведена на рис. 4.3.

*Сервоусилитель* состоит из двух частей: силовой и управляющей. Силовая часть сервоусилителя преобразует переменное входное напряжение в постоянное, после чего сглаживает его в промежуточном звене постоянного тока. При работе привода в тормозном режиме тормозной транзистор, работающий в режиме ключа, ограничивает повышение напряжения промежуточного звена постоянного тока, преобразуя тормозную энергию в тепло с помощью тормозного резистора (на рис. 4.3 не показан). При больших тормозных мощностях или частых процессах торможения резистор размещается снаружи, чтобы улучшить отвод большого количества тепла.

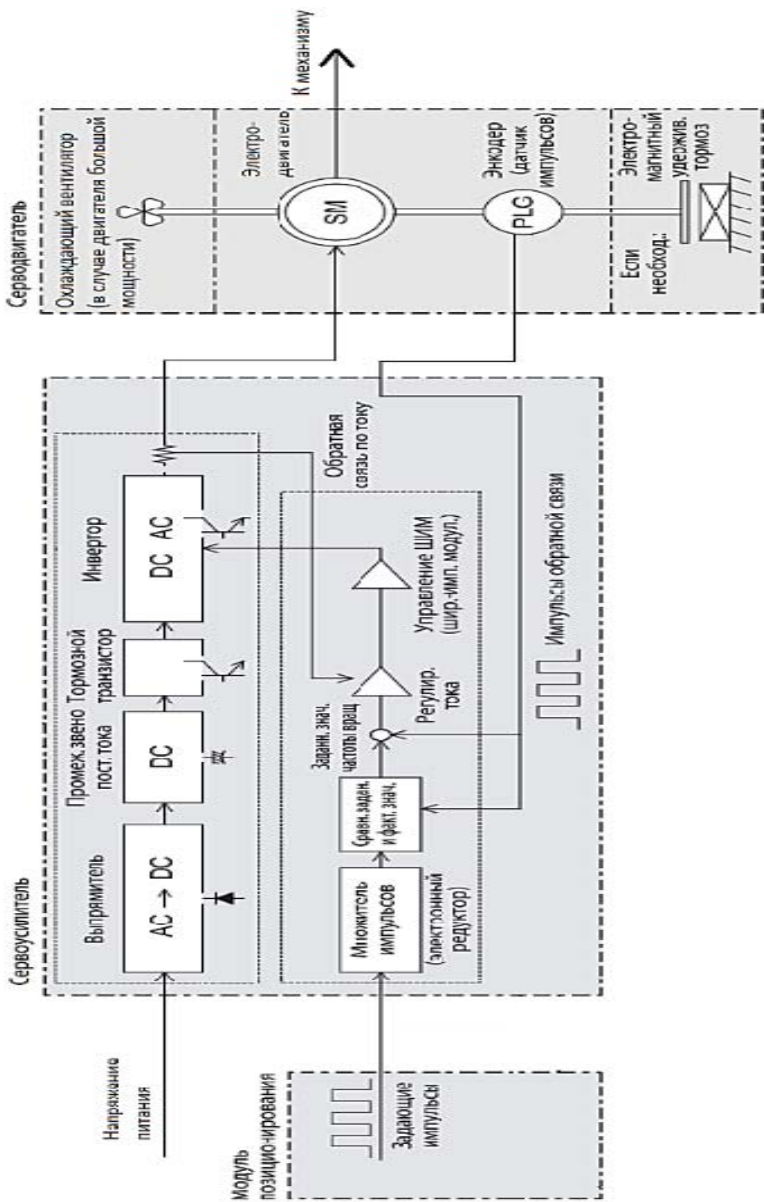


Рис. 4.3. Функциональная схема сервоусилителя

Инвертор преобразует постоянное напряжение в переменное с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Модуляция регулируется управляющей частью сервоусилителя, в которой компаратор считывает задающие импульсы модуля позиционирования и вычисляет разность по отношению к импульсам фактического значения энкодера (импульсам обратной связи). Ток серводвигателя изменяется до тех пор, пока разность между задающими импульсами и импульсами обратной связи не будет равной нулю.

Напряжение, преобразованное инвертором, приводит во вращение серводвигатель.

*Серводвигатель* – это электродвигатель, предназначенный для работы в широком диапазоне скоростей, обеспечивающий улучшенную плавность хода, высокий момент и пониженную вибрацию. Как правило, в состав серводвигателя входит датчик обратной связи (энкодер).

На рис. 4.4 приведена классификация электродвигателей, которые могут использоваться при построении сервосистем.

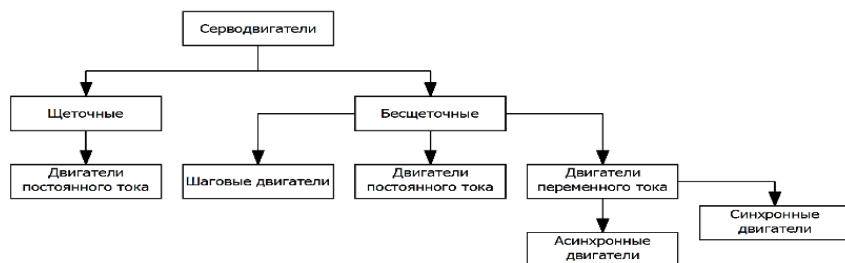


Рис. 4.4. Классификация двигателей, используемых в сервоприводах

Используемые в лабораторном стенде серводвигатели работают по принципу синхронной машины с возбуждением от постоянных магнитов. Основными преимуществами этих двигателей являются низкий момент инерции ротора относительно развиваемого крутящего момента, хорошее сочетание с импульсными системами программного управления, а также высокий КПД, надежность, небольшие габариты и масса.

В качестве датчиков обратной связи, как правило, используются энкодеры, позволяющие определить положение и частоту вращения вала электродвигателя.

В лабораторном стенде используется абсолютный энкодер, конструкция которого представлена на рис. 4.5.



Рис. 4.5. Конструкция абсолютного энкодера

Абсолютный энкодер формирует сигнал при вращении вала или нахождении его в состоянии покоя. Внутренняя сторона диска энкодера имеет несколько concentric дорожек. Каждой дорожкой формируется разрядный двоичный код для конкретной позиции вала. Обычно используют один из двух видов комбинаций сигналов: код Грея или бинарный код.

Решающим фактором использования этого типа энкодера стала его возможность продолжения работы с последней позиции после отключения питания.

Для того чтобы управлять сервоусилителями, их необходимо подключить к выходам микропроцессорного устройства, которое, в зависимости от поставленной задачи, будет генерировать определенную последовательность импульсов. В качестве таких микропроцессорных устройств зачастую используются программируемые логические контроллеры (ПЛК). Если требуется обеспечить высокую точность позиционирования либо стоит задача многоосного позиционирования с линейной и круговой интерполяцией, то возникает необходимость применять специальные модули позиционирования.

## Краткое описание лабораторного стенда

### *Основные части стенда*

На рис. 4.6 показана лицевая панель лабораторного стенда, на которой расположены:

- сервоусилитель 1 (MR-J3-10 A) и сервоусилитель 2 (MR-J3-10 B);
- цифровые входы сервоусилителя MR-J3-10 A;
- потенциометры Speed и Torque, подключенные к аналоговым входам сервоусилителя MR-J3-10 A и предназначенные для задания частоты вращения и момента;
- система управления сервоприводами, представленная контроллером FX3U-32M с двумя модулями расширения: модулем позиционирования по двум осям FX3U-20SSC-H и высокоскоростным выходным адаптером FX3U-2HSY-ADP;
- цифровые входы (X10–X17) и выходы (Y0–Y17) ПЛК;
- серводвигатели марки HF-KP13, обеспечивающие линейное и угловое перемещения рабочего органа;
- бесконтактные датчики (выключатели), позволяющие отслеживать положение каретки;
- ключи +24 В для подачи управляющих сигналов на цифровые входы сервоусилителей или ПЛК.

Программируемый логический контроллер FX3U-32M имеет по 16 цифровых входов и выходов: входы X10–X17 вынесены на переднюю панель стенда, X0–X6 подключены к выходам сервоусилителей, вход X7 не используется. Выходы Y0–Y17 также вынесены на переднюю панель стенда.

Подачу сигнала +24 В на вход контроллера можно произвести с помощью ключей, расположенных на передней панели стенда, либо непосредственно от сервоусилителей или от цифровых выходов самого контроллера.

Модуль FX3U-20SSC-H позволяет реализовать в контроллере FX3U-32 M высокопроизводительное управление позиционированием исполнительного органа. Он предназначен для использования в сервоусилителе MR-J3-10 B с 10 Мбит/с с оптоволоконной сетью SSCNETIII. Модуль присоединяется к правой расширительной шине.





Модуль FX3U-2HSY-ADP подключается к левой расширительной шине ПЛК и расширяет существующие возможности высокоскоростного импульсного выхода транзисторных главных блоков.

Подробнее о ПЛК и подключаемых к нему модулях см. в руководствах пользователя, расположенных в папке «Руководства пользователя» на рабочем столе управляющего компьютера.

### ***Описание, характеристики и подключение сервоусилителя MR-J3-10 A***

Сервоусилитель MR-J3-10 A используется в системах регулирования скорости, положения и вращающего момента, т. е. является универсальным. Он может управляться последовательностью импульсов, формируемых контроллером через модуль FX3U-2HSY-ADP, а также через аналоговые (регулирование скорости и момента) и цифровые входы (задание направление вращения, скорости, смена режима вращения и т. д.).

Общие характеристики сервоусилителей MR-J3-10 A и MR-J3-10 B приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Общие характеристики MR-J3-10A и MR-J3-10B

Источник питания	Напряжение/частота	~230 В, 50–60 Гц
	Допустимые отклонения напряжения	~207–253 В.
	Допустимое отклонение частоты	+ 5 % max
Система управления	Синусоидальное ШИМ управление / система управления током	
Защитные функции	Отключение по токовой перегрузке, отключение по перегрузке, защита серводвигателя от перегрева, защита от ошибки датчика положения, защита от ошибки регенерации, защита от понижения напряжения, защита от ввода неправильного значения параметра	

На рис. 4.7 приведена блок-схема, на которой показаны основные элементы и узлы сервоусилителя MR-J3-10 A, а также подключаемые устройства.

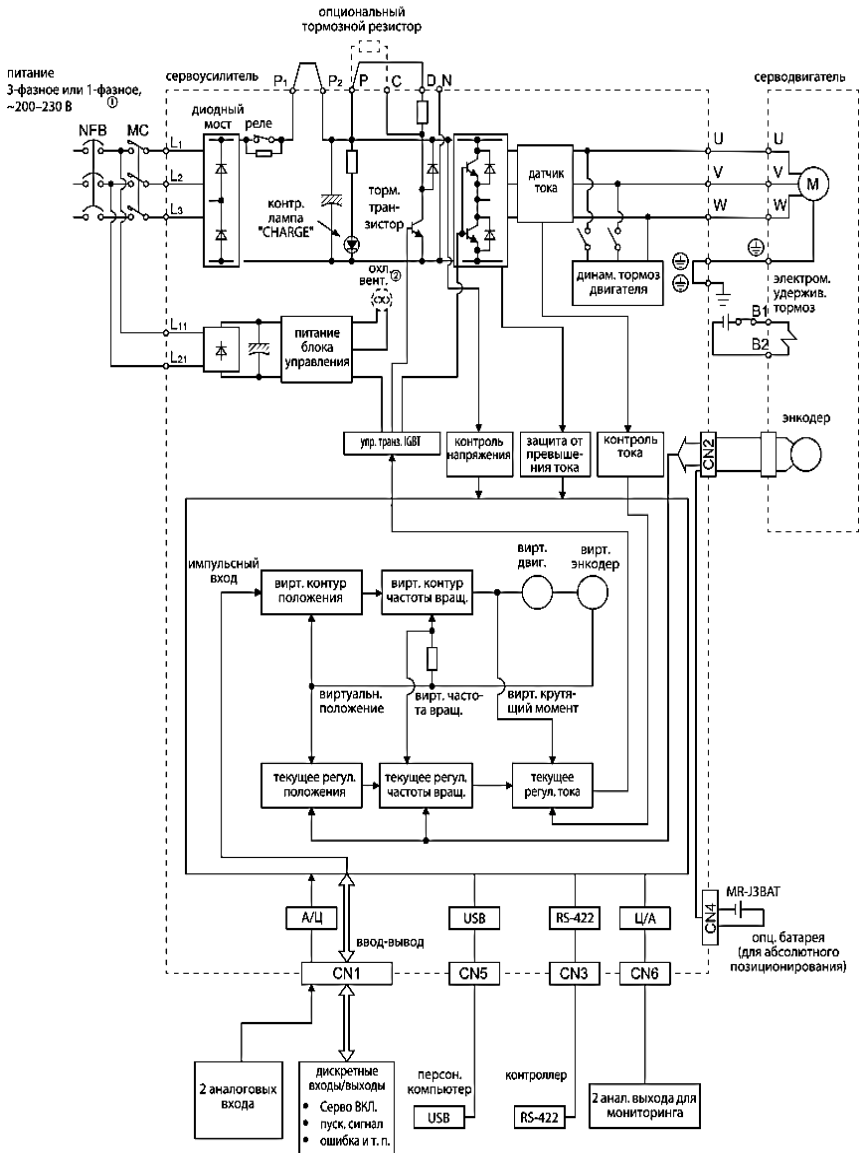


Рис. 4.7. Блок-схема сервоусилителя MR-J3-10 A

Основные характеристики управления сервоусилителя MR-J3-10 A приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Характеристики управления MR-J3-10 A

Режим управления положением	Максимальная частота входных импульсов	1 млн имп./с (в случае дифференциальных входов); 200 тыс. имп./с (в случае входов с открытым коллектором)
	Разрешающая способность энкодера	262 144 имп./об
	Допустимая ошибка абсолютного энкодера	$\pm 3$ импульса
Режим управления скоростью	Диапазон задания скорости	0–5000 об/мин
	Аналоговый ввод частоты вращения	0... $\pm 10$ В постоянного тока
Режим управления моментом	Напряжение задания момента	0... $\pm 10$ В постоянного тока (входной импеданс 10–12 кОм)
	Ограничение частоты вращения	Задание с помощью параметров или через аналоговый вход

На рис. 4.8 показана схема подключения сервоусилителя MR-J3-10 A, из которой видно, что некоторые входы-выходы в зависимости от режима управления имеют различные назначения.

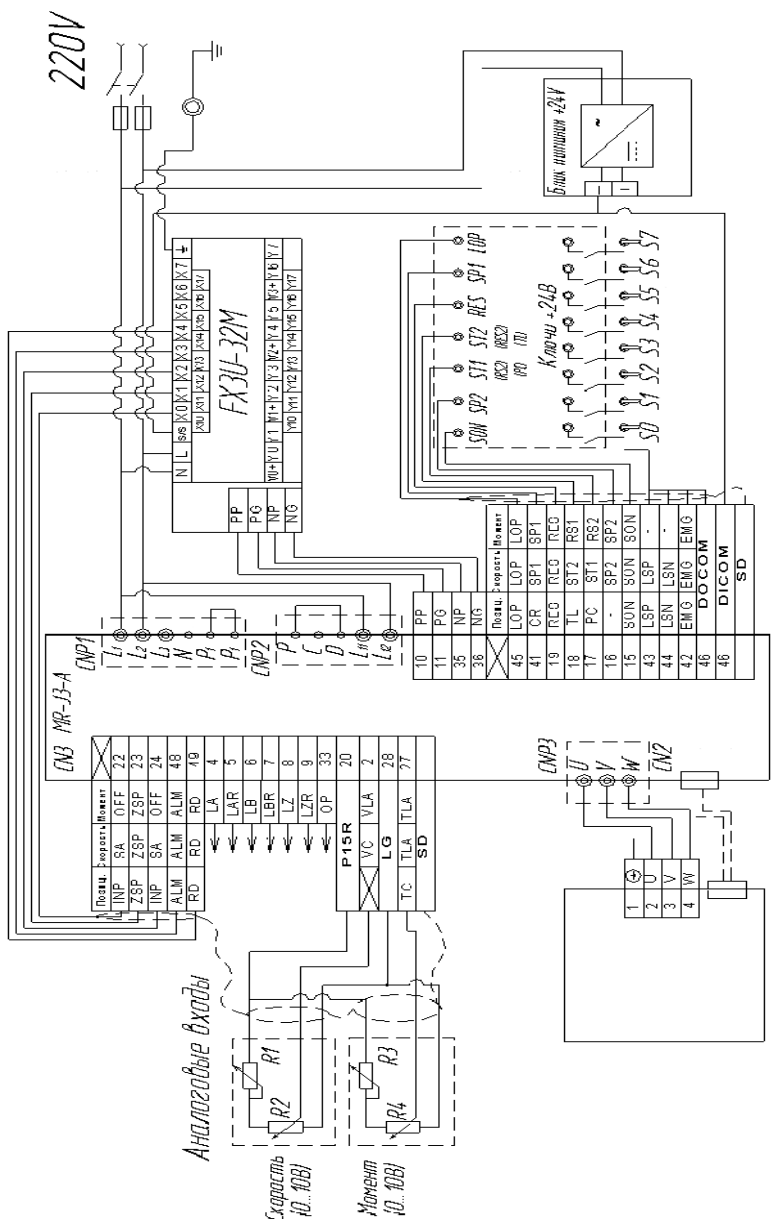


Рис. 4.8. Схема подключения сервоусилителя MR-13-10 А

В табл. 4.3 приведены назначения основных входов-выходов сервоусилителя.

Таблица 4.3

Назначение входов-выходов MR-J3-10 A

Сигнал	Сокращенное обозначение	Полное обозначение	Описание	
1	2	3	4	
Сигнальные входы	SON	Сервоусилитель ВКЛ	В результате включения сигнала SON (Servo ON) активируется силовой контур сервоусилителя, что означает готовность сервоусилителя к работе	
	SP1	Выбор фиксированной частоты вращения 1	При наличии сигнала двигатель вращается с частотой вращения 1	
	SP2	Выбор фиксированной частоты вращения 2	При наличии сигнала двигатель вращается с частотой вращения 2	
	ST1	Пуск в прямом направлении	При наличии сигнала происходит пуск двигателя в прямом направлении	Если одновременно включены сигналы ST1 и ST2, пуск двигателя не происходит
	ST2	Пуск в обратном направлении	При наличии сигнала происходит пуск двигателя в обратном направлении	
	RES	Сброс	Используется для сброса аварийной сигнализации (ошибки)	
	EMG	Внешнее аварийное выключение	При отключении входа серводвигатель выключается и активируется динамическое торможение	
	LOP	Переключение режимов управления	С помощью внешнего входного сигнала сервоусилитель можно переключать между двумя режимами управления	
	LSP	Концевой выключатель вращения по часовой стрелке	Для запуска серводвигателя в обоих направлениях вращения данные входы должны быть включены. Если один из входов выключился в результате достижения концевого выключателя, вращение возможно лишь в противоположном направлении (по отношению к сработавшему концевому выключателю)	
	LSN	Концевой выключатель вращения против часовой стрелки		

Продолжение табл. 4.3

1	2	3	4
Сигнальные входы	PC	П-регулирование	При наличии сигнала активируется П-регулятор с установленными параметрами
	TL	Ограничение крутящего момента	При прямом или обратном пуске двигатель вращается с ограничением крутящего момента
	EMG	Внешнее аварийное выключение	При отключении входа серводвигатель выключается и активируется динамическое торможение
	LOP	Переключение режимов управления	С помощью внешнего входного сигнала сервоусилитель можно переключать между двумя режимами управления
	LSP	Концевой выключатель вращения по часовой стрелке	Для запуска серводвигателя в обоих направлениях вращения данные входы должны быть включены. Если один из входов выключился в результате достижения концевого выключателя, вращение возможно лишь в противоположном направлении (по отношению к сработавшему концевому выключателю)
	LSN	Концевой выключатель вращения против часовой стрелки	
	PC	П-регулирование	При наличии сигнала активируется П-регулятор с установленными параметрами
	TL	Ограничение крутящего момента	При прямом или обратном пуске двигатель вращается с ограничением крутящего момента
Сигнальные выходы	ALM	Аварийная сигнализация	Отключается при выключении электропитания или срабатывании защитного контура, отключающего силовой контур
	RD	Готовность	Наличие сигнала говорит о готовности сервоусилителя к работе
	INP	В позиции	Сигнал включается, если ошибка рассогласования находится в пределах заданного диапазона, а также при включении сигнала SON
	SA	Достигнута частота вращения	Сигнал включается при достижении заданной частоты вращения
	TLC	Достигнут предел крутящего момента	Если сигнал включен, то на вал действует момент сопротивления, больший заданного максимального значения
	ZSP	Нулевая частота вращения	Сигнал включается, если серводвигатель достиг нулевой частоты вращения

1	2	3	4
Аналоговые входы	VC	Аналоговое задание частоты вращения	
	TC	Аналоговое задание крутящего момента	
	VLA	Аналоговое ограничение частоты вращения	
	TLA	Аналоговое ограничение крутящего момента	
	LG	Опорный потенциал для аналоговых входных и выходных сигналов	
Высокоскоростные входы	PP PG NP NG	Входы, принимающие последовательность импульсов, которые управляют сервоусилителем	
	DICOM	Отрицательный общий опорный потенциал (масса) входных клемм	
	DOCOM	Положительный общий опорный потенциал (+24 В) входных клемм	
	SD	Экранирование, корпус	

**Описание, характеристики и подключение  
сервоусилителя MR-J3-10 В**

Сервоусилитель MR-J3-10 В специально разработан для управления сложными перемещениями по нескольким осям в многоуровневых комплексах автоматизации. Он управляется непосредственно от контроллера, через модуль FX3U-20SSC-H. Сервоусилитель можно разместить на расстоянии до 50 м от контроллера, используя специальные оптоволоконные кабели. Модуль может управлять двумя осями на частоте до 50 МГц и обладает возможностями линейной и круговой интерполяции.

На рис. 4.9 приведена блок-схема, на которой показаны основные элементы и узлы сервоусилителя MR-J3-10 В, а также подключенные устройства.

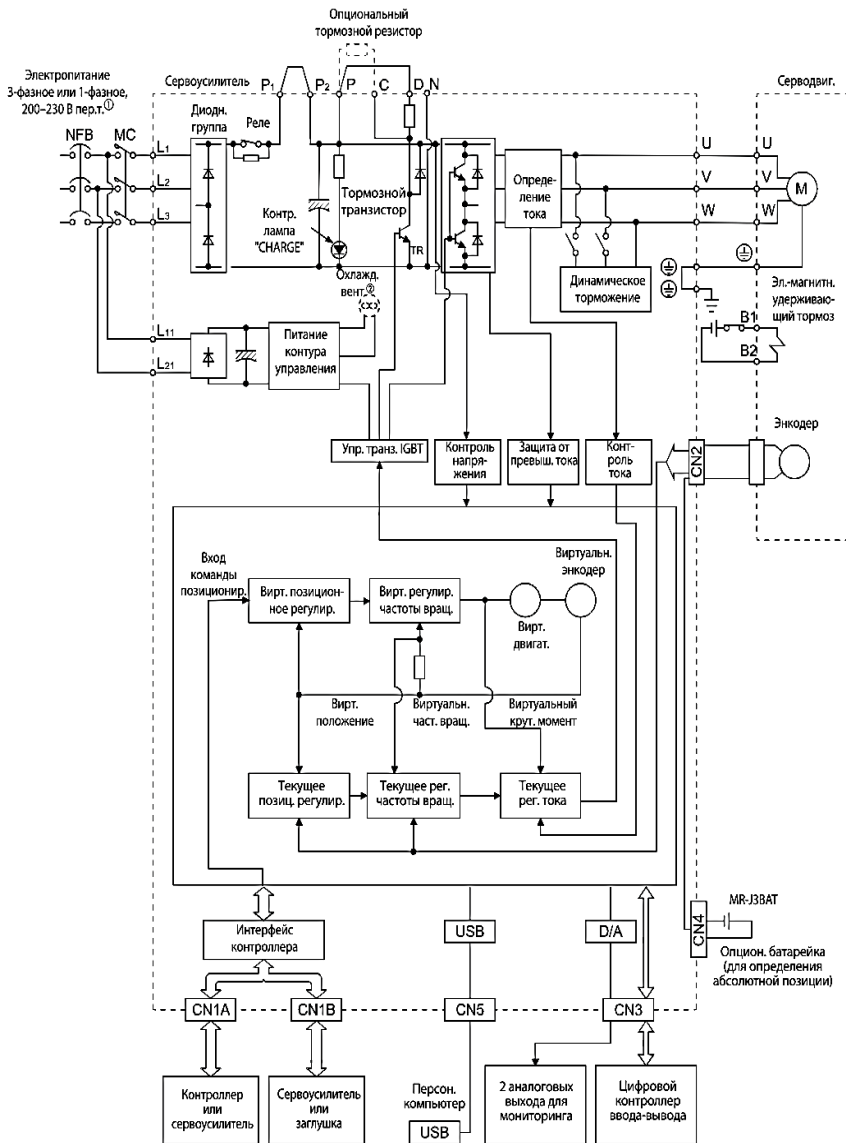


Рис. 4.9. Блок-схема сервоусилителя MR-J3-10 В

На рис. 4.10 представлена схема подключения сервоусилителя MR-J3-10 В.



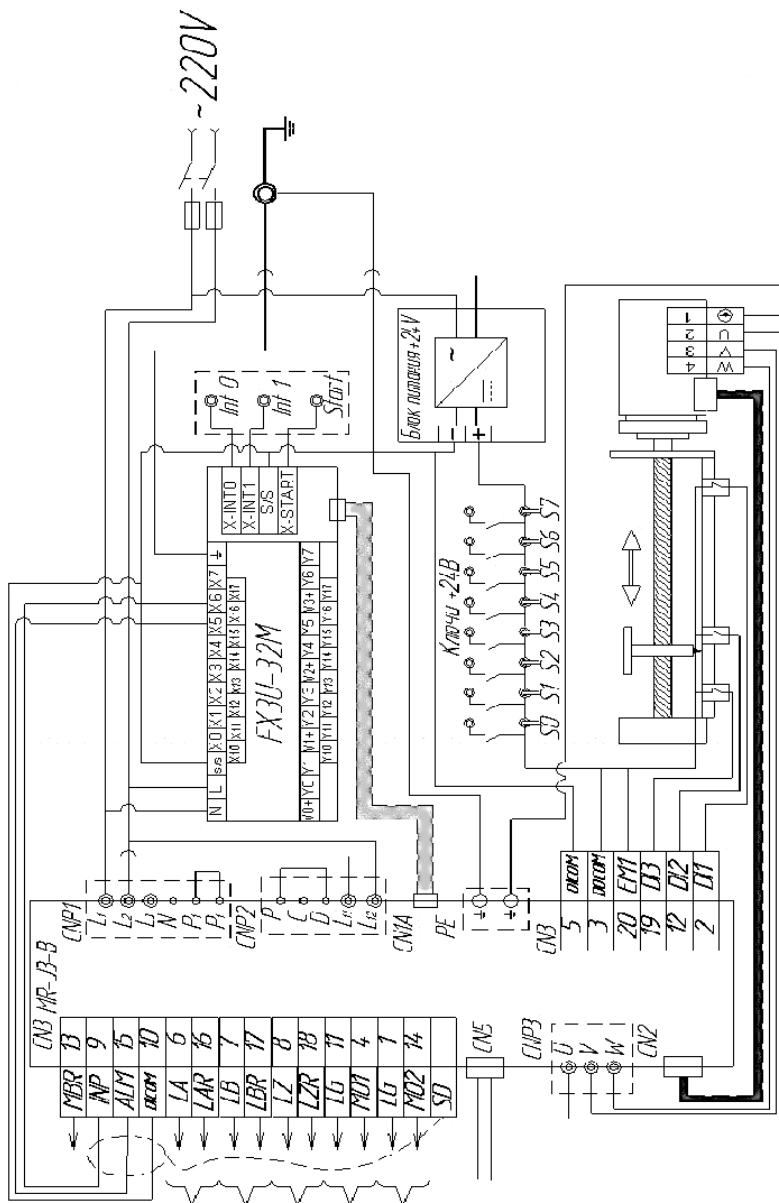


Рис. 4.10. Схема подключения сервоусилителя MR-J3-10 В

Назначение входов-выходов сервоусилителя MR-J3-10 В, используемых в лабораторной работе, приведено в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Назначение входов-выходов MR-J3-10 В

Сигнал	Сокращенное обозначение	Полное обозначение	Описание
Сигнальные входы	D11	За сигналами закреплены следующие выключатели: D11: правый концевой выключатель (FLS) D12: бесконтактный выключатель (DOG) D13: левый концевой выключатель (RLS)	
	D12		
	D13		
	EMG	Внешнее аварийное выключение	При отключенном сигнале активируется динамическое торможение и серводвигатель останавливается
Сигнальные выходы	ALM	Аварийная сигнализация	Сигнал отключается при выключении электропитания или срабатывании защитного контура
	CN1	Интерфейсный порт для связи с модулем позиционирования	

### Фильтры сервоусилителей MR-J3

Повышение быстродействия сервоусилителя может привести к резонансным явлениям в области собственной частоты механической системы. Вследствие этого возникают вибрации, зачастую сопровождающиеся соответствующим звуком или повышенным уровнем шума. Функции фильтров служат для подавления возникающих резонансных явлений.

На рис. 4.11 приведена блок-схема работы фильтров сервоусилителей MR-J3.

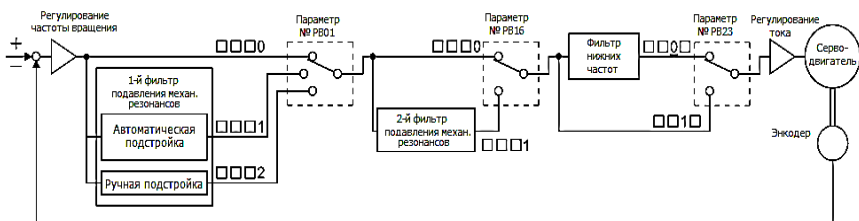


Рис. 4.11. Блок-схема работы фильтров сервоусилителей MR-J3

### *Фильтры для подавления механических резонансов*

Как видно из рис. 4.11, сервоусилитель имеет два фильтра для подавления механических резонансов, которые можно настроить независимо друг от друга. Если параметр PB01 установлен в значение 0 – функция фильтров деактивирована. Для автоматической подстройки фильтра необходимо параметр PB01 установить в 1, а для ручной – в 2.

На рис. 4.12 приведены частотные характеристики фильтров для подавления механических резонансов, отображающие принцип их действия.

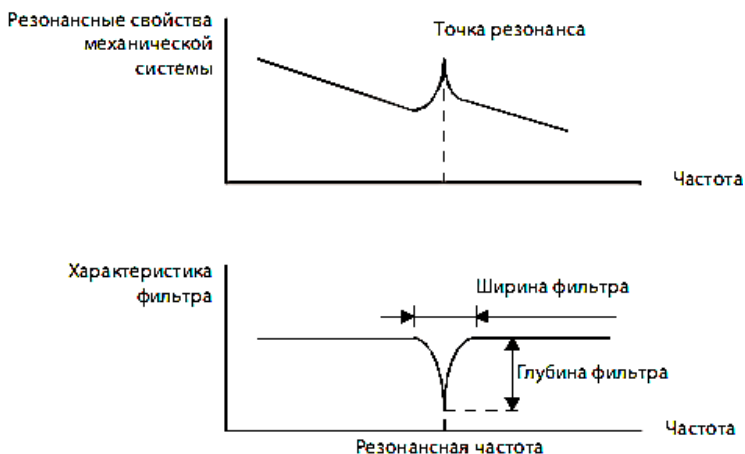


Рис. 4.12. Частотные характеристики фильтров для подавления механических резонансов

## *Автоматическое подавление вибраций (адаптивный фильтр II)*

Если активировано автоматическое подавление вибрации, то сервоусилитель непрерывно определяет резонансы машины и в соответствии с полученными данными согласовывает характеристику фильтра (частоту, амплитуду). Вибрации механической системы подавляются без необходимости знания резонансных частот системы. Благодаря непрерывному анализу данных характеристика фильтра постоянно подстраивается и оптимальное фильтрующее действие обеспечивается даже в том случае, если резонансная частота изменяется, что и показано на рис. 4.13.

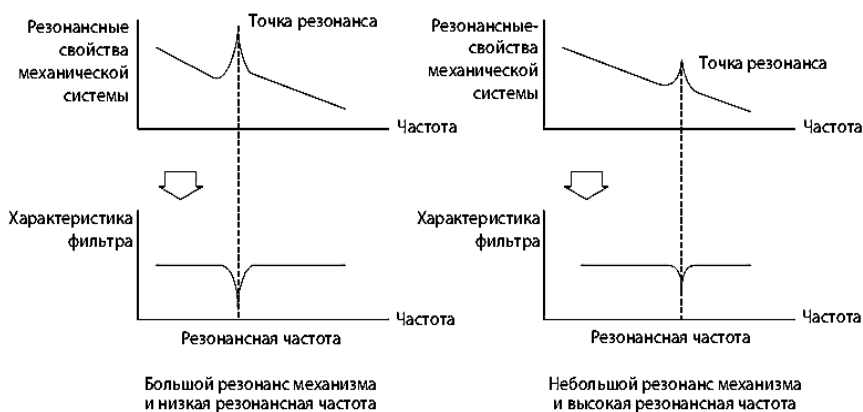


Рис. 4.13. Частотные характеристики адаптивного фильтра

На рис. 4.14 приведен алгоритм автоматического подавления вибраций.

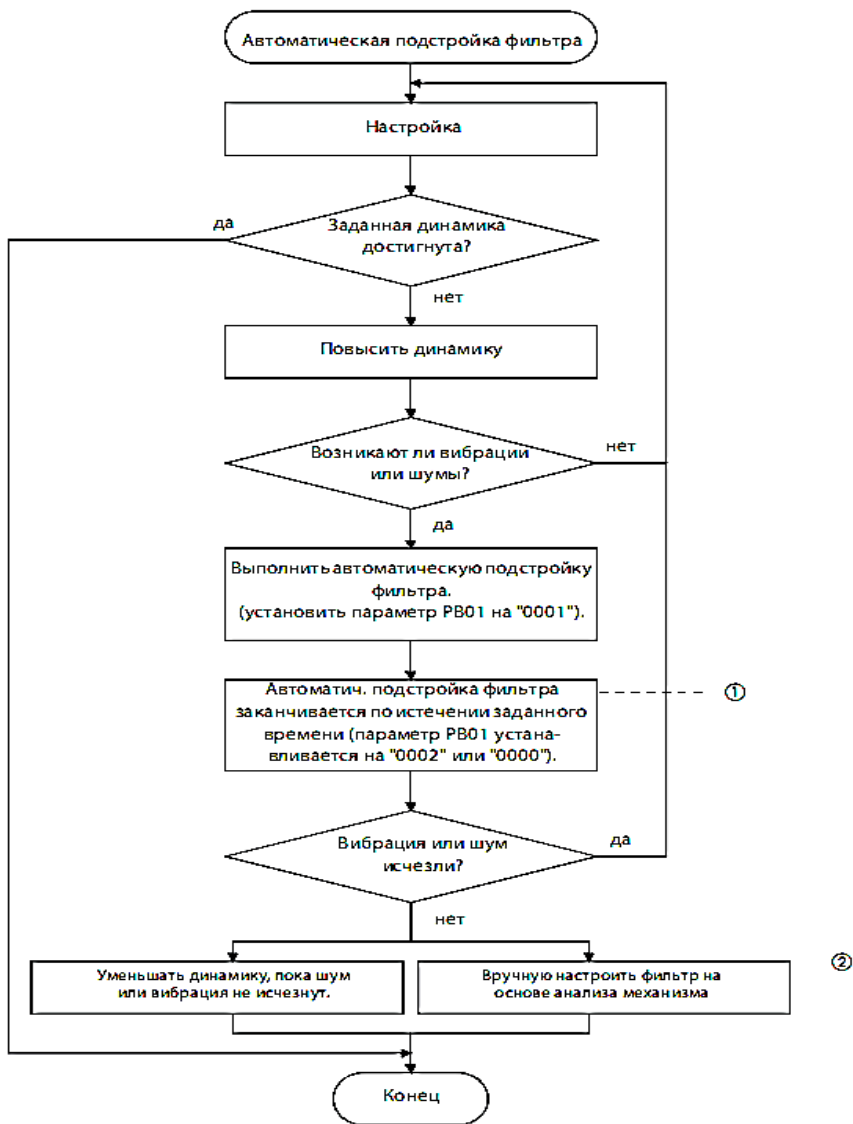


Рис. 4.14. Алгоритм автоматического подавления вибраций

*Рекомендации и замечания при использовании фильтров  
для подавления механических резонансов*

1. Автоматическое подавление вибрации можно использовать в диапазоне частот от 100 Гц до 225 кГц. При резонансах вне этого диапазона функция может не дать нужного результата.

2. В системах со сложными резонансными свойствами и при очень высоких амплитудах резонанса автоматическое подавление вибрации не действует.

3. Если автоматическая подстройка фильтра неэффективна и сильная вибрация или колебания сохраняются, нужно постепенно снижать динамику привода и заново, до достижения эффекта, выполнять автоподстройку фильтра.

4. Система автоматической подстройки фильтра определяет оптимальную характеристику фильтра при текущих коэффициентах усиления привода. Если после повышения динамики привода снова появляется вибрация, то автоматическое подавление вибраций необходимо выполнить заново.

5. Во время автоматической подстройки фильтра на протяжении максимум 10 с секунд определяется резонансная частота машины, и на ее основе рассчитываются параметры требуемого фильтра. После этого автоматический режим переключается на ручной.

6. Когда автоматическое подавление вибрации не эффективно, возможна *ручная настройка*.

7. Критерии, при которых необходимо использовать ручную настройку:

- динамика возросла до граничного значения механизма;
- механизм слишком сложен для использования функции оптимального фильтра.

При *ручной настройке* фильтров для подавления механических резонансов следует сначала настроить частоту, демпфирование и ширину полосы (для первого фильтра используются параметры PB13 и PB14, для второго – параметры PB15 и PB16). Более подробное значение и описание параметров см. в руководстве пользователя на сервоусилитель MR-J3, расположенного папке «Руководства пользователя» на рабочем столе управляющего компьютера.

С помощью функции диагностики механизма в программе MR-Configurator можно измерить параметры вибрации. Для этого сле-

дует вручную настроить частоту вибрации (параметр PB19) и резонансную частоту (параметр PB20) фильтра для подавления вибрации. Пик вибрации можно определить с помощью программы MR-Configurator (рис. 4.15) или внешнего измерительного прибора (анализатор спектра).

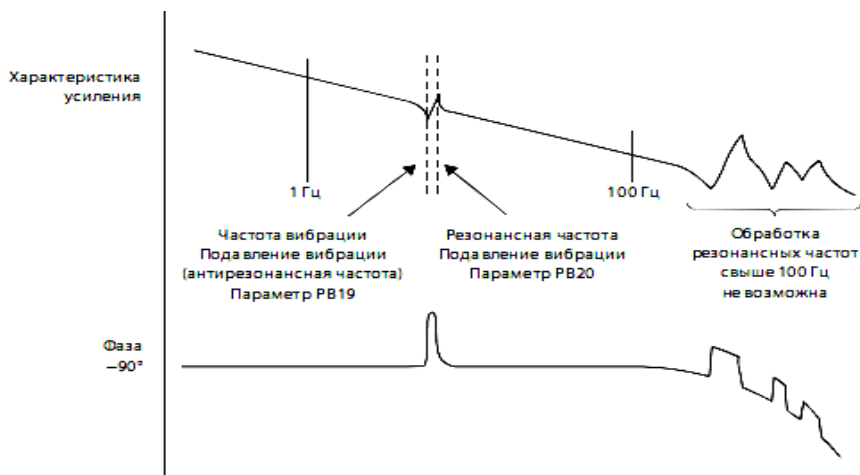


Рис. 4.15. Определение вибрации

Если резонансную и антирезонансную частоту не удалось определить путем диагностики механизма или с помощью анализатора спектра, не следует настраивать частоту вибрации и резонансную частоту подавления вибрации, так как это может привести к выходу из строя сервопривода.

Действие всех фильтров оказывает задержки в работе сервосистем, поэтому при неправильной настройке резонансной частоты или слишком большой амплитуде вибрации могут возрасти.

### *Дополнительный режим подавления вибраций*

Дополнительный режим подавления вибраций (параметр PB02) используется для более глубокого снижения вибраций механизма, в частности, для снижения вибрации обрабатываемой детали и/или станины станка (рис. 4.16). Этот режим не может использоваться

в контуре скорости. Действие функции основано на влиянии на алгоритма позиционирования.

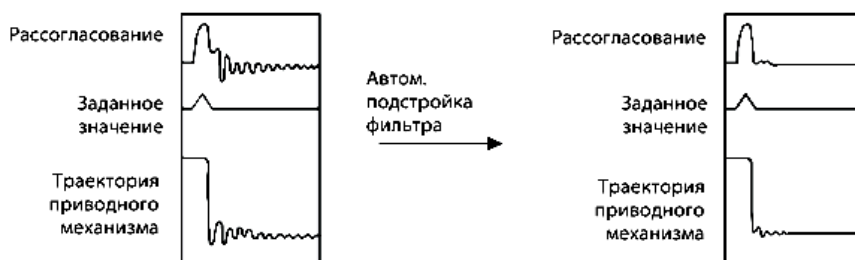


Рис. 4.16. Дополнительный режим подавления вибраций

Более подробно назначение и описание параметров см. в руководстве пользователя на сервоусилитель MR-J3, расположенного в папке «Руководства пользователя» на рабочем столе управляющего компьютера.

### *Фильтр нижних частот*

При использовании в приводе шариковинтовых передач (и аналогичных) повышение быстродействия может привести к резонансам в области высоких частот. Поэтому заданное значение тока управления параметрами привода проходит через фильтр нижних частот. На заводе-изготовителе этот фильтр активирован.

Если параметр PB23 установлен на «XXIX», можно выбрать ручную настройку параметра PB18, как показано на рис. 4.17.

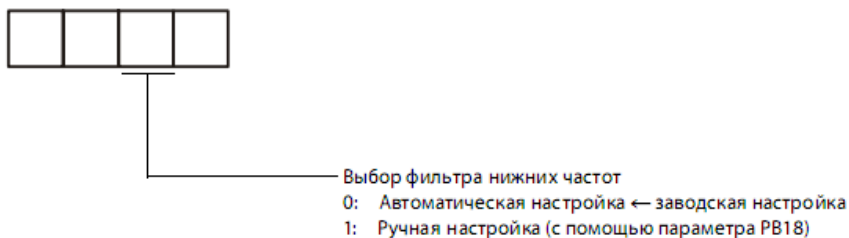


Рис. 4.17. Настройка фильтра нижних частот



Свойства фильтра нижних частот устанавливаются во втором ряду параметра PB23.

В жесткой системе, имеющей малую склонность к резонансу, фильтр нижних частот можно отключить, чтобы повысить динамику и тем самым уменьшить время позиционирования.

Более подробно назначение и описание параметров см. в руководстве пользователя на сервоусилитель MR-J3, расположенного в папке «Руководства пользователя» на рабочем столе управляющего компьютера.

## **Методы настройки используемого оборудования**

### ***Настройка параметров сервоусилителя MR-J3-10 A***

В сервоусилителях MR-J3 параметры функционально разбиты на четыре группы (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Функциональные группы параметров сервоусилителей MR-J3

Группа параметров	Описание
Базовые параметры (№ PA□□)	Основные параметры для настройки и эксплуатации сервоусилителя
Калибровочные параметры (№ PB□□)	Используются для более тонкой настройки параметров сервоусилителя
Дополнительные параметры (№ PC□□)	Позволяют производить конфигурирование множественных электронных редукторов, аналоговых выходов для мониторинга или аналоговых управляющих входов
Параметры ввода-вывода (№ PD□□)	Позволяют настраивать входные и выходные сигналы сервоусилителя

Настройку параметров рассмотрим на примере сервоусилителя MR-J3-10 A. Настройка параметров может осуществляться двумя способами:

1. С помощью пульта управления (рис. 4.18), расположенного на передней части сервоусилителя за защитной крышкой.

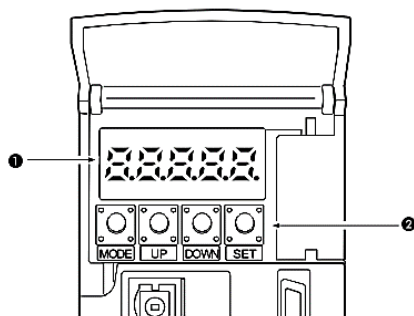


Рис. 4.18. Пульт управления сервоусилителя MR-J3-10 A:

1 – пятиразрядный семисегментный светодиодный дисплей, предназначенный для индикации состояния сервопривода, кодов аварийной сигнализации и параметров;  
2 – клавиатура, предназначенная для настройки индикации (состояния, диагностики, аварийной сигнализации) и параметров

Клавиатура пульта управления состоит из четырех кнопок:

- MODE – выбор функций;
- UP/DOWN – переключение индикации или значений отображаемой функции вперед/назад;
- SET – сохранение данных.

2. Используя программное обеспечение MR-CONFIGURATOR.

На рис. 4.19 показан пример настройки параметров сервоусилителя в режиме управления скоростью.



Нажмите клавишу "MODE" четыре раза.

Появится группа базовых параметров. Нажмите клавишу "UP" или "DOWN", чтобы выбрать 8-й параметр группы – PA08.



Нажмите клавишу "SET" два раза.

Появляется настроенное значение параметра. Индикация мигает.



Нажмите клавишу "UP" два раза.

Во время мигания индикации значение параметра можно изменить с помощью клавиш "UP" или "DOWN".  
(□□□2: управление скоростью)

Для завершения настройки нажмите клавишу "SET"

Рис. 4.19. Пример настройки режима управления скоростью

## Настройка параметров сервоусилителя MR-J3-10 В и модуля позиционирования FX3U-20SSC-H

Для настройки модуля позиционирования FX3U-20SSC-H необходимо специальное программное обеспечение FX Configurator FP (ярлык программы расположен на рабочем столе управляющего компьютера). Скриншот рабочего окна FX Configurator FP показан на рис. 4.20.

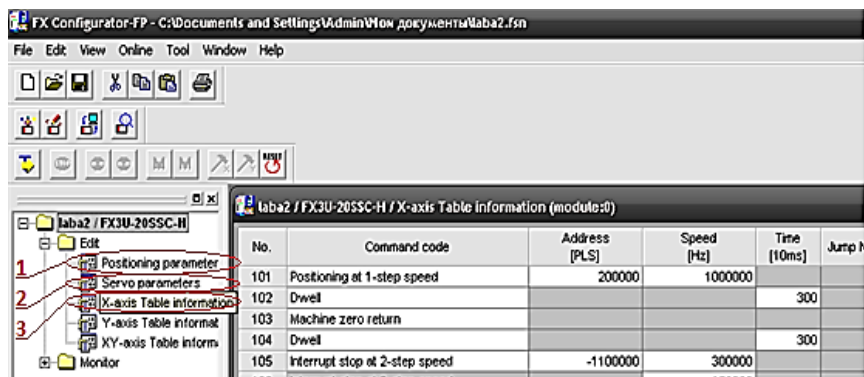


Рис. 4.20. Рабочее окно FX Configurator FP

Настройка параметров сервоусилителя производится во вкладке 2 – Servo parameters. Настройка параметров позиционирования производится во вкладке 1 – Positioning parameters. Во вкладке 3 – X-axis Table Information находится таблица, в которую последовательно записываются команды, выполнения которых будет осуществляться после обращения ПЛК к сервоусилителю.

Рассмотрим команды, используемые в этой таблице.

1. *Positioning at 1-step speed* (позиционирование с одной скоростью). Принцип выполнения: каретка движется в точку, указанную в поле Address, с заданной в поле Speed скоростью. Рис. 4.21 наглядно поясняет принцип выполнения.

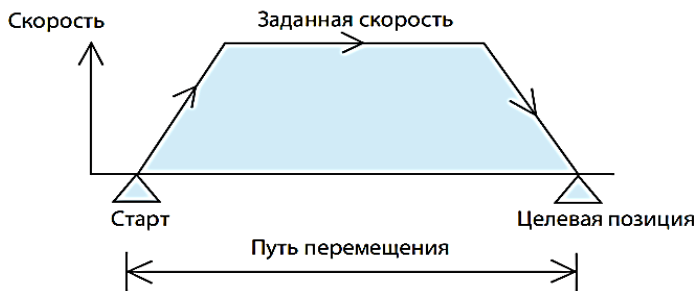


Рис. 4.21. Позиционирование с одной скоростью

2. *Positioning at 2-step speed (позиционирование с двумя ступенями переключения скоростей)*. Принцип выполнения такой же, как и в Positioning at 1-step speed, только можно установить два различных адреса и две различные скорости. Движения будут выполнены последовательно, как одна операция. Рис. 4.22 наглядно демонстрирует принцип выполнения.

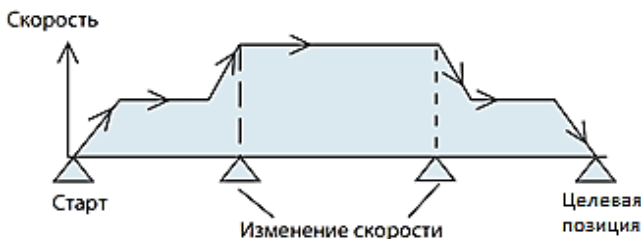


Рис. 4.22. Позиционирование с двумя ступенями переключения скоростей

3. *Interrupt stop at 1-step speed (внешнее прерывание с одной скоростью)*. Принцип выполнения: в таблице задаются адрес точки и скорость движения, причем указанный адрес является не фактическим местом, где остановится каретка, а расстоянием, которое пройдет каретка после вызова прерывания (необходимо проинициировать вход INT0). Поэтому если вызвать внешнее прерывание слишком поздно или не вызвать его вообще, то каретка переместится до одного из конечных выключателей и на модуле загорится красная лампочка, означающая ошибку движения по оси X. Рис. 4.23 поясняет принцип выполнения.

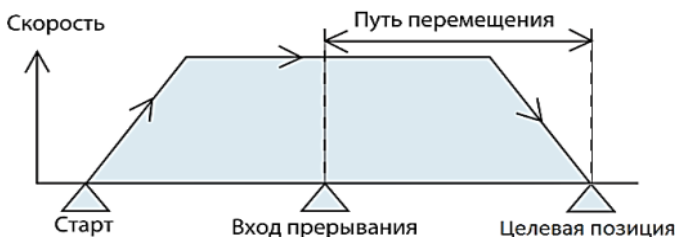


Рис. 4.23. Внешнее прерывание с одной скоростью

4. *Dwell (остановиться)*. При выполнении данной операции вызывается таймер, в котором необходимо указать время задержки. Задержка указывается в поле TIME в миллисекундах (мс).

5. *Jump (перейти)*. Данная функция необходима для перехода процесса выполнения на другую строчку, указанную в поле Jump No. Например, можно зациклить выполнение рабочей программы, поставив в 141-ю строку функцию jump, и указать переход на строку 101. Однако при этом выполнение операции нельзя будет остановить без отключения питания.

### ***Установка нулевой точки***

Во многих системах позиционирования имеется нулевая точка, называемая также исходной позицией, в которую деталь возвращается после различных операций перемещения.

Существуют три основных типа ручной установки нуля (нулевой точки) – DOG (Data Origin), Data-Set и Stopper.

### ***DOG (data origin)***

Принцип работы DOG-режима установки нуля показан на рис. 4.24.

Пуск установки нуля, как изложено ниже, осуществляется по возрастающему фронту (OFF→ON) командой механической установки нуля.

1. По возрастающему фронту (OFF→ON) по команде установки в нуль рабочий орган движется в направлении нулевой позиции с высокой скоростью.

2. На DOG-входе модуль 20SSC-H замедляет работу рабочего органа до минимальной скорости.
3. 20SSC-H считает количество сигналов от датчиков положения.
4. После отсчета заданного количества 20SSC-H останавливает рабочий орган.
5. После достижения нулевой точки рабочий орган не будет двигаться по команде установки в нуль.

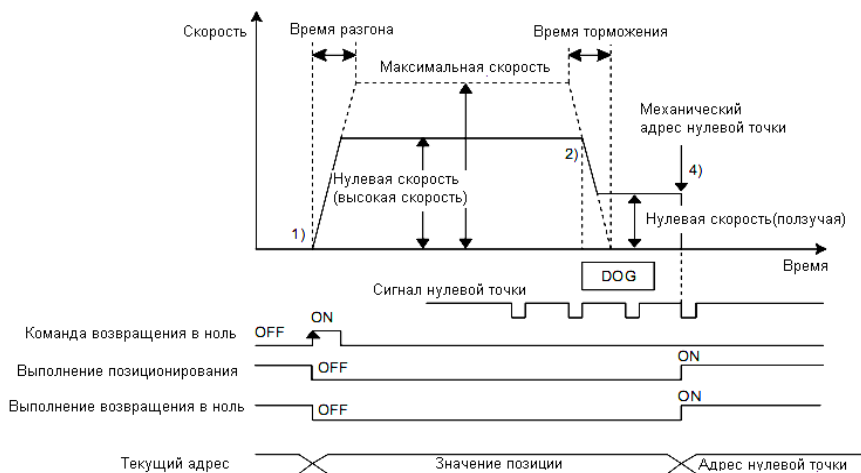


Рис. 4.24. Принцип работы DOG-режима установки нуля

### *Data-set*

Тип ручной установки нуля *Data-set* используется как процедура установки позиции с JOG-операцией, т. е. рабочий орган не перемещается по команде установки нуля, а система записывает в память эту позицию как нулевую.

#### *Последовательность процесса установки нуля*

1. Рабочий орган движется в заданном направлении.
2. Запускается команда ручной установки нуля.
3. Записывается адрес нынешней позиции как нулевой точки.

## Stopper

Модуль движется до тех пор, пока не упрется в какой-либо объект на его пути либо не дойдет до конца своего пути. Эта точка определяется и записывается в память как нулевая. Stopper – тип ручной установки нуля – включает в себя следующие два режима.

1. *Stopper-mun 1* (рис. 4.25). В этом методе возвращения нуля используются DOG сигнал и упор. Перемещение с высокой скоростью возможно при использовании DOG-сигнала, так как этот тип возвращения нуля сокращает время возврата.

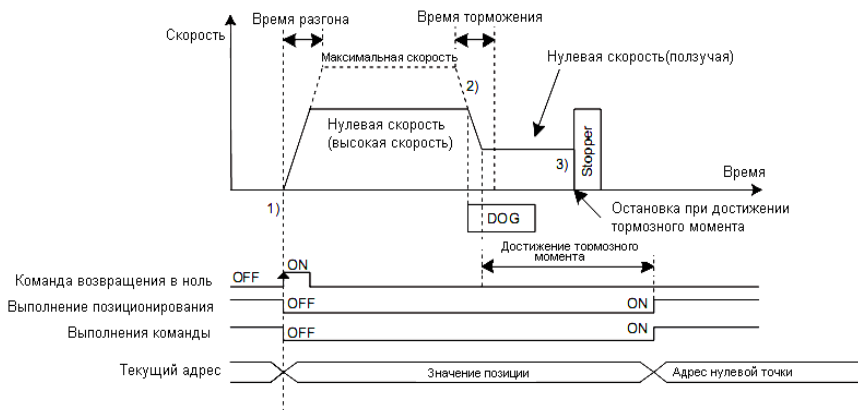


Рис. 4.25. Принцип работы Stopper1-режима возвращения нуля

а. По возрастающему фронту (OFF→ON) по команде возвращения в ноль, рабочий орган движется в направлении нулевой точки с высокой скоростью.

б. При подходе к нулевой точке скорость движения замедляется.

в. Рабочий орган касается упора и останавливается, когда момент серводвигателя достигает предельного значения.

2. После остановки 20SSC-H записывает новый адрес нулевой точки.

2. *Stopper-mun 2* (рис. 4.26). В этом методе используется возвращение нуля только с помощью упора.

а. По возрастающему фронту (OFF→ON) по команде возвращения в ноль, рабочий орган движется в направлении нулевой точки с высокой скоростью.

б. Рабочий орган касается упора и останавливается, когда момент серводвигателя достигает предельного значения.

в. После остановки 20SSC-H записывает новый адрес нулевой точки.



Рис. 4.26. Принцип работы Stopper 2 – режима возвращения нуля

## Последовательность выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть лабораторной работы.
2. Ознакомиться с лабораторным стендом и изучить назначение его основных элементов.
3. Ознакомиться с методами настройки используемого оборудования.
4. Выполнить лабораторную работу по методике, изложенной ниже.
5. Проанализировать полученные экспериментальные данные.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Подготовить отчет.

## Методика выполнения работы

### *Исследование фильтров сервоусилителя MR-J3-10 В*

Фильтры, используемые в сервоусилителях MR-J3, позволяют повысить динамические и качественные характеристики сервосистемы.

Для механической системы лабораторного стенда предлагается произвести настройку фильтров сервоусилителя MR-J3-10 В с целью



устранения вибрации. Для этого необходимо выполнить операции в следующей последовательности.

1. Открыть защитный экран на сервоусилителе MR-J3-10 В и перевести левый переключатель в верхнее положение, активировав тем самым тестовый режим работы. Используя винты, прикрутить груз к каретке.

2. Включить стенд путем нажатия переключателя в правом верхнем углу.

3. С помощью USB-miniUSB кабеля подключить сервоусилитель MR-J3-10 В и управляющий компьютер. Коннектор MiniUSB подключается в разъем на лицевой панели сервоусилителя, а коннектор USB – непосредственно в компьютер.

4. Запустить на компьютере программу MR-Configurator. Ярлык программы располагается на рабочем столе управляющего компьютера.

5. Зайти во вкладку Setup->System settings и выбрать Model Selection->MR-J3-B, там же установить значение Online. Для сохранения изменений и выхода из меню настроек нажать ОК.

6. Зайти во вкладку Advanced-function->Machine analyzer.

6.1. Нажать на кнопку Start, три раза – на кнопку ОК и подождать, пока обработаются данные.

6.2. После построения характеристик на графике желтым цветом будет отмечена частота вибрации, а красным цветом – резонансная частота нашей системы. Записать эти значения в отчет.

7. Путем нажатия переключателя в правом верхнем углу выключить стенд.


8. Левый переключатель сервоусилителя MR-J3-10 В установить в изначальное (нижнее) положение (нормальный режим работы).

9. Любой ключ (S0–S7) соединить проводом со входом ПЛК X16 на лицевой панели лабораторного стенда.

10. Путем нажатия переключателя в правом верхнем углу включить стенд.

11. Переключатель на контроллере перевести в положение RUN (состояние выполнения управляющей программы).

12. Проследить за тем, чтобы в MR-Configurator, вверху панели программы, стояла индикация ONLINE (если OFFLINE – нажать на нее, и она переключится в режим ONLINE).

13. Войти в меню построения графиков, щелкнув на верхней панели программы MR Configurator значок . Щелкнуть по кнопке WAVE. Появится окно выбора построения графиков. Установить все, как на рис. 4.27, затем нажать ОК.

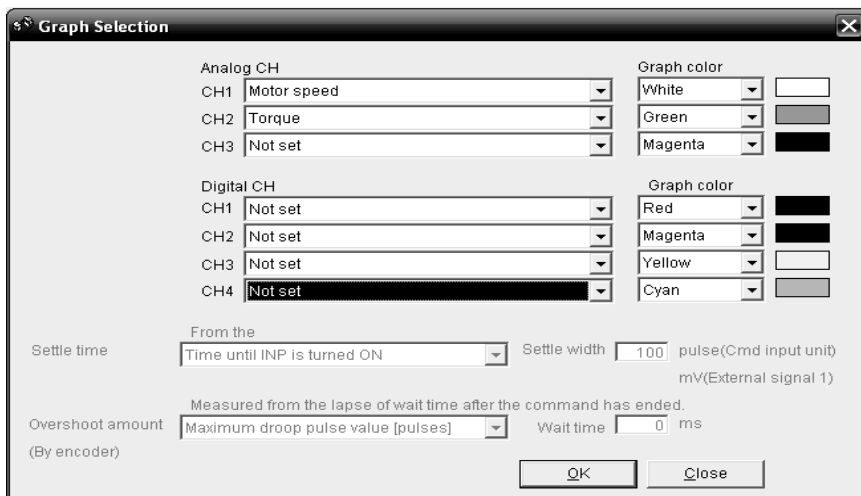


Рис. 4.27. Установки выбора графика:  
**Motorspeed** – скорость вращения вала двигателя, об/мин;  
**Torque** – момент на валу двигателя, процент от номинального

14. Зайти в меню Trigger и выбрать значения скорости, при которой будет начата запись данных с сервоусилителя. Установить все параметры, как на рис. 4.28. Нажать ОК.

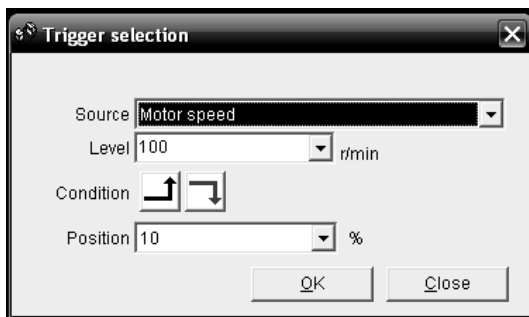


Рис. 4.28. Настройка триггера

15. Запустить процесс построения графиков функций, щелкнув по кнопке PLAY.

16. Проинициировать вход контроллера X16, замкнув соответствующий ключ (см. п. 1.9).

17. Подождать 5 с, после чего выключить вход X16.

18. После построения графиков оптимизировать их, щелкнув по кнопке V-scale Optimization. Скопировать графики в отчет. Далее необходимо включить фильтры для подавления вибраций.

**Внимание!!! Все параметры менять при неподвижном двигателе!!!**

19. Зайти во вкладку Parameters->Parameter list-> Basic setting (list). Нажать Read. Установить значение PA08 – 0002. Для записи нажать Write. Все значения параметров можно посмотреть в мануале MR-J3-B.

20. Во вкладке Gain/Filter установить значение PB02 – 2 (ручная настройка дополнительного режима подавления вибраций). Теперь в значения параметров PB19 и PB20 ввести значения частоты вибрации и резонансной частоты механизма соответственно (см. пункт 6.2). Для записи нажать Write.

21. Развернуть вкладку graph, повторить пункты 15–18. Оценить визуальные отличия от первого опыта. Сохранить график в отчете и сравнить его с предыдущим графиком.

22. После окончания работы проверить и установить, если установлены иначе, параметры: PA08 – 0001, PA09 – 0012, PA14 – 0000.

23. Последовательно закрыть все программы на рабочем столе компьютера, перевести переключатель на контроллере в положение STOP. Проверить положение переключателя сервоусилителя MR-J3-10 B (переключатель должен быть в нижнем положении). Отжать винты и убрать груз.

### ***Работа сервоусилителя MR-J3-10 A в режиме управления скоростью***

Для обеспечения работы сервопривода с заданной скоростью при различных способах управления необходимо должным образом настроить сервоусилитель. Для этого следует выполнить операции в следующей последовательности.

1. Настроить параметры сервоусилителя с помощью пульта управления, расположенного за защитной крышкой сервоусилителя (см. рис. 4.19), для чего:

1.1. Выбрать режим управления скоростью (параметр PA01 в 2).

1.2. Установить время ускорения и торможения (параметр PC01 в 6000 и PC02 в 3000).

1.3. Установить фиксированную частоту вращения 1 (параметр PC05 в 2000).

1.4. Установить фиксированную частоту вращения 2 (параметр PC06 в 50).

2. Для вступления параметров в силу выключить стенд и через 5 с включить опять.

3. При помощи провода соединить ключи (S0–S5) с цифровыми входами сервоусилителя: SON, SP2, ST1, ST2, SP1, RES (назначение входов-выходов сервоусилителя см. в табл. 4.3).

4. Убедиться в работе сервопривода, используя комбинации состояний входов сервоусилителя, указанные в табл. 4.6. Для задания скорости с помощью аналогового входа использовать потенциометр «Speed».

Таблица 4.6

Комбинации состояний входов сервоусилителя


SON	SP2	ST1	ST2	SP1	Действие
1	0	1	0	1	Вращение против часовой стрелки с заданной скоростью вращения 1
1	1	1	0	0	Вращение против часовой стрелки с заданной скоростью вращения 2
1	0	0	1	1	Вращение по часовой стрелке с заданной скоростью вращения 1
1	1	0	1	0	Вращение по часовой стрелке с заданной скоростью вращения 2
1	0	1	0	0	Вращение против часовой стрелки со скоростью, заданной с помощью аналогового входа
1	0	0	1	0	Вращение по часовой стрелке со скоростью, заданной с помощью аналогового входа

5. С помощью программы MR-Configurator построить графики зависимости фактической и заданной скоростей вращения от времени, для чего:

5.1. С помощью USB-miniUSB кабеля подключить сервоусилитель MR-J3-10 A и управляющий компьютер. Коннектор MiniUSB подключается в разъем на лицевой панели сервоусилителя, а коннектор USB – непосредственно в компьютер.

5.2. На компьютере запустить программу MR-Configurator. Ярлык программы располагается на рабочем столе управляющего компьютера.

5.3. Открыть вкладку Setup->System settings и выбрать Model Selection->MR-J3-A, там же установить значение Online. Для сохранения изменений и выхода из меню настроек нажать кнопку ОК.

5.4. Войти в меню построения графиков, щелкнуть на верхней панели программы MR-Configurator по значку . Щелкнуть по кнопке WAVE. Появится окно выбора построения графиков. Установить все, как на рис. 4.29, после чего нажать кнопку ОК.

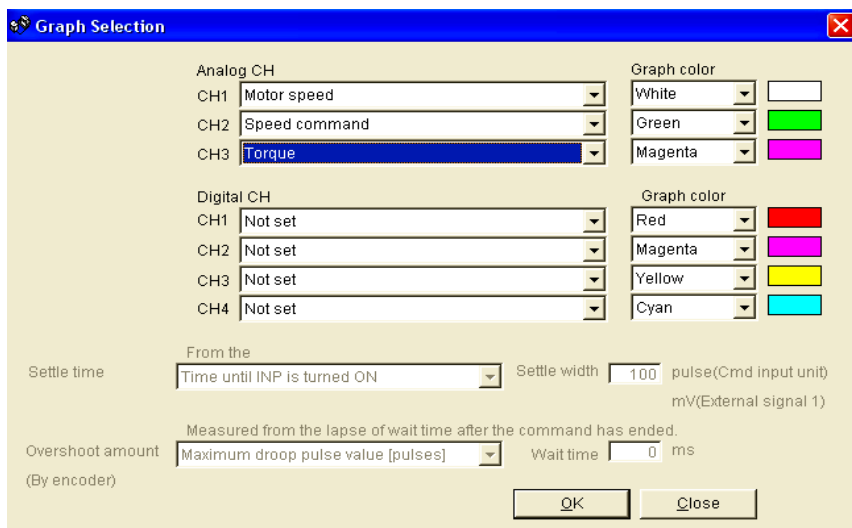


Рис. 4.29. Установки выбора графика:

**Motorspeed** – скорость вращения вала двигателя, об/мин;

**Speed command** – заданная скорость вращения, об/мин;

**Torque** – момент на валу двигателя, процент от номинального

5.5. Зайти в меню «Trigger» и произвести выбор значения скорости, при котором будет начата запись данных с сервоусилителя (скорость и момент), и установить все параметры, как на рис. 4.28. Нажать кнопку ОК.

5.6. Запустить процесс построения графиков функций, щелкнув по кнопке PLAY.

5.7. После построения графиков оптимизировать их, щелкнув по кнопке V-scale Optimization. Скопировать графики в отчет, используя Screen copy.

6. С помощью программы MR-Configurator построить графики переходных процессов при пуске и торможении.

7. Изменить время ускорения и время торможения (параметр PC01 в 10 и PC02 в 5).

8. Повторить пункты 4–6.

### ***Работа сервоусилителя MR-J3-10 A в режиме управления положением от ПЛК***

Частота и направление вращения вала серводвигателя задаются с помощью серии импульсов определенной частоты (до 1 млн импульсов в секунду), поступающих с контроллера или модуля позиционирования на вход сервоусилителя. Программирование контроллера осуществляется с помощью специального программного обеспечения «GX DEVELOPER», что не входит в задачи данной лабораторной работы. В контроллере уже имеются несложные управляющие программы позиционирования. Предлагается настроить параметры сервоусилителя MR-J3-10 A для управления в контуре позиционирования. Для этого необходимо выполнить операции в следующей последовательности.

1. Выбрать режим управления положением (параметр PA01 в 0).

2. Для вступления параметров в силу выключить стенд и через 5 с включить обратно.

3. Перевести переключатель на контроллере в положение RUN (состояние выполнения управляющей программы).

4. Проиницировать вход SON сервоусилителя.

5. Для запуска программ позиционирования (табл. 4.7) поочередно проиницировать входы ПЛК.

Назначение цифровых входов ПЛК

Входы	Выполняемая программа
X10	Инкрементное позиционирование с заданной скоростью (один оборот против часовой стрелки)
X11	Вращение с заданной скоростью против часовой стрелки
X12	Абсолютное позиционирование с заданной скоростью

6. С помощью программы MR-Configurator построить графики переходного процесса.

7. Перевернуть переключатель на контроллере в положение STOP остановить выполнение программы.

***Работа сервоусилителя MR-J3-10 А  
в режиме попеременного управления скоростью/моментом***

Во многих задачах с использованием сервоприводов управление осуществляется по моменту, что требует соответствующих знаний по настройке сервоусилителя. При этом большинство сервоусилителей поддерживают переменный режим управления, который позволяет с помощью внешнего входного сигнала переключать сервоусилитель между двумя выбранными режимами управления, например режимом управления скоростью и моментом. В сервоусилителе MR-J3-10 А переключение между контурами управления осуществляется с помощью внешнего входного сигнала LOP (см. табл. 4.3). В данном разделе выполнения лабораторной работы приводится последовательность операций для настройки сервоусилителя в переменном режиме управления скоростью/моментом.

1. Выбрать переменный режим управления скоростью/моментом (параметр PA01 в 3).

2. Для вступления параметров в силу выключить стенд и через 5 с включить опять.

3. При помощи специальных кабелей соединить ключи (S0–S5) с цифровыми входами сервоусилителя: SON, SP2, ST1, ST2, SP1, LOP (назначение входов-выходов сервоусилителя см. в табл. 4.3).

4. Используя аналоговые входы: потенциометр Torque – для аналогового задания момента – и потенциометр Speed – для аналогового задания скорости вращения, настроить систему на определенный момент рабочей нагрузки, создаваемой на двигателе с помощью подвешенного груза.

5. С помощью программы MR-Configurator снять механическую характеристику сервопривода.

6. Изменить все использованные значения параметров на исходные. Ручки потенциометров должны быть в крайнем правом положении, переключатель на контроллере – в положении STOP. Последовательно закрыть все программы на рабочем столе компьютера, выключить стенд.

### **Контрольные вопросы**

1. Отличия сервоприводов от шаговых приводов.
2. Область применения сервоприводов.
3. Анализ структурной схемы сервопривода: основные блоки, их назначение и функции.
4. Основные параметры сервоусилителей.
5. Отличия сервоусилителей от преобразователей частоты.
6. Отличительные особенности сервоусилителей MR-J3-10 A и MR-J3-10 B.
7. Назначение входов-выходов сервоусилителей.
8. Способы настройки сервоусилителей. Какой способ, на ваш взгляд, является более удобным? Ответ обосновать.
9. Интерфейсы для связи с сервоусилителями.
10. Подключение периферийных устройств к сервоусилителям.
11. Типы фильтров сервоусилителей, их назначение и настройка.
12. Какой тип фильтра исследовался при выполнении лабораторной работы и каковы основные параметры его настройки?
13. Режимы управления сервоусилителями, используемые в лабораторной работе: схемы подключения, настройка, отличительные особенности.
14. Для чего используются автодиагностика и тестовый режим? В чем отличия между этими режимами?
15. Двигатели, используемые в сервоприводах.
16. Назначение и роль энкодера в сервоприводе.



17. Организация обратных связей в сервоприводе.
18. Назначение ПЛК и дополнительных модулей в сервоприводе.
19. Чем определяется точность позиционирования?
20. Как происходит торможение в сервоприводе?

### **Литература**

1. Сервоусилители и серводвигатели серии MELSERVO J3-A :  
Руководство по эксплуатации. MITSUBISHI ELECTRIC EUROPE  
B.V., 2009.
2. Сервоусилители и серводвигатели серии MELSERVO J3-B :  
Руководство по эксплуатации. MITSUBISHI ELECTRIC EUROPE  
B.V., 2007.

## Содержание

Лабораторная работа № 1. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА БАЗЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ИТАСНІ L100 .....	3
Лабораторная работа № 2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НАСОСНОЙ СТАНЦИИ .....	24
Лабораторная работа № 3. НАСТРОЙКА И ЗАПУСК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ (ПЧ) СЕРИИ FR-A700 .....	49
Лабораторная работа № 4. ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРВОПРИВОДОВ .....	81

Учебное издание

**ЗДОР** Геннадий Николаевич  
**ЛИВШИЦ** Юрий Евгеньевич

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД  
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Учебно-методическое пособие  
к лабораторным работам  
по дисциплинам «Электрические машины  
и автоматизированный электропривод» и «Приводы РТС»  
для студентов специальностей  
1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов  
и производств» и 1-53 01 06 «Промышленные роботы  
и робототехнические комплексы»

Редактор *Т. Н. Микулик*  
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 26.06.2015. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 7,09. Уч.-изд. л. 5,54. Тираж 100. Заказ 488.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.