

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

*Амурский государственный университет*

А.Н. Рыбалёв

**СЕРВОПРИВОДЫ В АВТОМАТИЗАЦИИ.  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

*Учебное пособие*

Благовещенск

Издательство АмГУ

2022

ББК 32.965.3

*Рекомендовано  
учебно-методическим советом университета*

*Рецензенты:*

Воякин С.Н., декан Электроэнергетического факультета Дальневосточного государственного аграрного университета, канд. техн. наук, доцент;

Мясоедов Ю.В., декан энергетического факультета АмГУ, канд. техн. наук, профессор

Рыбалев А.Н. Сервоприводы в автоматизации. Лабораторный практикум : учеб. пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2022. – 90 с.

Пособие к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Средства автоматизации и управления», «Автоматизация технологических процессов и производств» предназначено для студентов 3 и 4 курсов направления подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» и соответствует рабочим программам дисциплин.

© Амурский государственный университет, 2022

© Рыбалев А.Н., 2022

## **СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 УЧЕБНО–ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС «ЛИНЕЙНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ» .....	7
1.1 Лабораторный комплекс .....	7
1.2 Линейный двигатель .....	8
1.3 Сервопреобразователь.....	11
2 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ НА КОМПЛЕКСЕ «ЛИНЕЙНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ».....	15
2.1 Подключение и первоначальная настройка .....	15
2.2 Настройка рабочих циклов и входов/выходов преобразователя .....	32
3 ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД «СЕРВОПРИВОД И СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ».....	37
3.1 Общий вид .....	37
3.2 Серводвигатели .....	43
3.3 Сервопреобразователи.....	43
4 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ НА СТЕНДЕ «СЕРВОПРИВОД И СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ» .....	56
4.1 Изучение элементов управления сервопреобразователем. Настройка и исследование режима регулирования скорости .....	56
4.2 Позиционный режим работы сервопривода. Поиск начального положения .....	67
4.3 Позиционный режим работы сервопривода. Настройка начального положения качающегося основания.....	76
4.4 Следящий режим работы сервопривода качающегося основания .	82
4.5 Следящий режим работы сервопривода подвижной рамки. Система стабилизации.....	88
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	93

## ВВЕДЕНИЕ

В общем случае сервоприводом называют регулируемый привод любого типа (электрический, гидравлический, пневматический), способный автоматически поддерживать требуемое состояние механизма и управлять его движением в реальном времени. Система управления двигателем, применяемая в сервоприводах, всегда построена по принципу отрицательной обратной связи. Таким образом, в состав сервопривода обязательно входит один или более измерительных преобразователей. Согласно классификации систем, используемой в теории автоматического управления, сервопривод – это следящая система, воспроизводящая заданное положение/движение механизма, необходимое для решения задач систем управления более высокого уровня.

С другой стороны термин «сервопривод» в большинстве случаев (и в данной работе) используется для обозначения *электрического привода с обратной связью по положению*. Основной его задачей является быстрое и точное позиционирование, т.е. *регулирование положения*, тогда как задачи регулирования других величин (скорости, вращающего момента или усилия) являются вспомогательными (подчиненными).

В настоящее время во многих сферах для решения задач позиционирования широко применяется электропривод на основе шагового двигателя, сам принцип управления которым не требует применения обратной связи по положению, благодаря чему система управления значительно упрощается. Однако у сервопривода есть определенные преимущества перед шаговым приводом, основными из которых являются:

- возможность применения практически в любом диапазоне мощностей;
- более высокое быстродействие, особенно при отработке больших перемещений;
- более высокая точность позиционирования, принципиально достижимая в системах с обратной связью;
- более надежный контроль положения механизма и исправности самого привода.

С другой стороны сервоприводы, как правило, существенно дороже шаговых приводов.

В современных сервоприводах переменного тока применяются как асинхронные, так и синхронные электродвигатели, совершающие как вращательное, так и линейное движение. Лабораторные работы, предлагаемые в пособии, предусматривают изучение, настройку и апробацию синхронных сервоприводов с линейным и вращательным движением на двух лабораторных стендах: «Линейный двигатель» и «Сервопривод и системы стабилизации».

В обоих случаях задействованы двигатели с постоянными магнитами. В линейном двигателе магниты расположены на статоре, формируя «дорожку» из чередующихся полюсов, а трехфазная обмотка установлена на подвижной части (каретке), движущейся над магнитами. Серводвигатели второго стенда –

«традиционного» исполнения с постоянными магнитами на роторе и обмоткой переменного тока на статоре. Все серводвигатели оснащены инкрементными датчиками относительного положения. Датчик положения линейного двигателя  $\sin\text{-}\cos$  типа обеспечивает точность позиционирования  $\pm 1\text{ мк}$ . Датчики положения серводвигателей вращательного типа выдают прямоугольные импульсы с разрешением 1280 000 им/об.

Управление серводвигателем в сервоприводе осуществляет *сервопреобразователь* – полупроводниковый программно-управляемый электронный прибор, по сути, являющийся преобразователем частоты с расширенными функциями. Его силовая часть практически не отличается от силовой части обычного ПЧ и содержит выпрямитель и инвертор, силовые ключи которого управляются по принципу широтно-импульсной модуляции.

Основная задача управления ключами состоит в формировании вращающегося (или неподвижного) магнитного поля, создаваемого обмотками двигателя. Взаимодействие этого поля с полем постоянных магнитов в синхронном серводвигателе с постоянными магнитами приводит его в движение (или удерживает на месте). При этом «рассогласование» в положении полей (на самом деле они совместно образуют одно единое поле) не должно быть слишком большим, иначе двигатель выпадет из синхронизма. В любом случае поля должны двигаться с одной скоростью, оставаясь лишь сдвинутыми друг относительно друга на некоторый угол, который называется *углом нагрузки*. Чем больше этот угол, тем больше развиваемый машиной вращательный или тормозной момент. Однако если этот угол превысит критическое значение, машина выходит из-под контроля. Поэтому главной задачей сервопреобразователя является синхронизация управления силовыми ключами с положением ротора, измеряемым датчиком положения.

Система регулирования положения в сервоприводах обычно строится как классическая многоконтурная система автоматического регулирования. Внутренний контур отвечает за регулирование/ограничение тока или развиваемого момента (усилия). Ток измеряется самим сервопреобразователем, а момент/усилие – рассчитывается. Внешним по отношению к токовому контуру является контур регулирования скорости. Сигнал обратной связи по скорости рассчитывается путем обработки сигнала по положению. Регулятор скорости получает задание от регулятора положения. Все регуляторы реализуют так или иначе модифицированный ПИД-закон регулирования, дополненный разнообразными алгоритмами обработки сигналов, в частности, цифровой фильтрации.

Кроме регулирования положения сервопреобразователи выполняют множество разнообразных функций: защищают двигатель от перегрузок, формируют траектории движения, обеспечивают взаимодействие друг с другом в многоосных системах и т.д. Контроль и управление сервопреобразователями осуществляются как через их аналоговые и дискретные входы/выходы, так и посредством цифровых интерфейсов.

В пособии приводятся теоретические сведения и задания к лабораторным работам. Источником основного объема материала, задействованного при подготовке пособия, послужило методическое обеспечение лабораторных стендов «Линейный двигатель» и «Сервопривод и системы стабилизации» научно-производственного предприятия «Учтех-Профи», г. Челябинск [1,2]. Вместе с тем в пособии представлены также необходимые для проведения работ сведения из других источников: технических описаний и руководств пользователя задействованного оборудования, учебных материалов, поясняющих принципы построения и алгоритмы управления сервоприводами и др.

При разработке пособия учтен опыт эксплуатации лабораторных стендов. Предлагаемые в [1,2] процедуры и задания существенно скорректированы и дополнены.

# 1 УЧЕБНО–ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС «ЛИНЕЙНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ»

## 1.1 Лабораторный комплекс

Комплекс [1] предназначен для лабораторных исследований электрических приводов на базе линейного двигателя переменного тока, систем управления такими приводами, использующих измерительные преобразователи положения и датчики конечных положений. Внешний вид комплекса представлен на рис. 1.

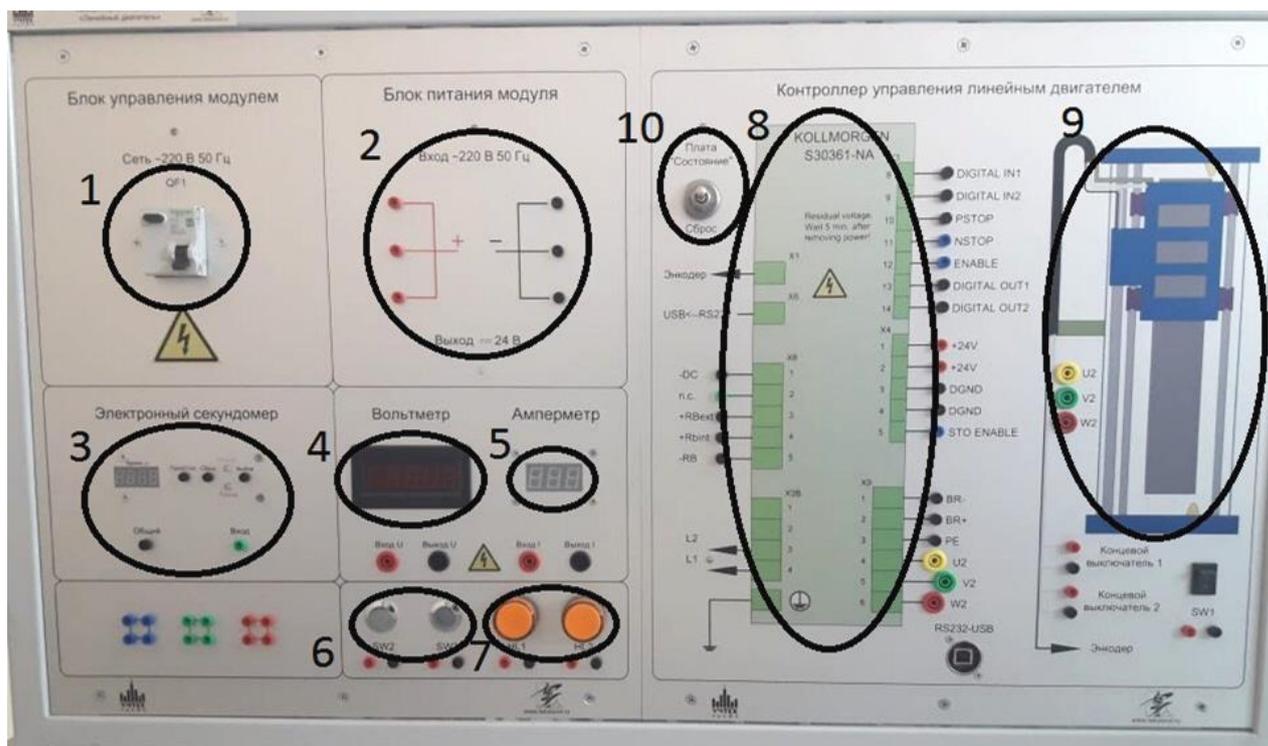


Рис. 1. Внешний вид щита управления

Щит управления разделен на модули-блоки, выделенные на рисунке.

Блок управления модулем 1 содержит дифференциальный автоматический выключатель (устройство, совмещающее функции автоматического выключателя и устройства защитного отключения), при включении которого подается питание на все элементы стенда.

Блок питания модуля 2 содержит источник питания постоянного тока напряжением 24 В, которое необходимо для питания внутренних и внешних цепей контроллера управления приводом.

Блок Электронный секундомер 3 предназначен для замеров промежутков времени. Блок может работать в двух режимах: автоматическом и ручном, выбор между которыми осуществляется соответствующей кнопкой. В ручном режиме запуск и остановка отсчета производятся с помощью кнопки «Пуск/Стоп», а сброс секундомера – с помощью кнопки «Сброс». В автоматическом режиме к клемме «Общий» подключается минус источника питания 24 В постоянного тока, а к клемме «Вход» – плюс. Запуск отсчета начинается по

заднему фронту (при отключении источника питания), а остановка отчета – по переднему фронту (при подключении).

*Вольтметр 4* предназначен для измерения межфазного напряжения линейного двигателя. Его следует подключать параллельно двум фазам двигателя.

*Амперметр 5* предназначен для измерения тока фазы двигателя. Он включается в цепь питания фазы последовательно, «в разрыв». Поскольку питание двигателя осуществляется током высокой частоты, показания амперметра могут быть существенно отличаться от реальных при движении на низких скоростях. Более достоверные значения можно получить в программе «DriveGUI».

*Кнопки SW2 и SW3 с нормально-разомкнутыми контактами (6) и лампы HL1 и HL2 (7)* предназначены для построения схем управления и индикации.

*Контроллер управления линейным двигателем* (сервопреобразователь) 8 служит для питания и управления двигателем, см. п. 1.3.

*Линейный двигатель 9* представлен схематичным изображением двигателя. Описание двигателя и его характеристики приведены в п. 1.2. Помимо изображения «блок» содержит гнезда для подключения фаз двигателя к преобразователю, гнезда-выводы концевых выключателей привода и ручного переключателя SW1.

*Переключатель «Плата состояния» 10* предназначен для управления соответствующей платой, задача которой – организация задержки подачи напряжения питания силовых цепей преобразователя (220 В переменного тока) после подачи напряжения питания цепей управления (24 В постоянного тока). Задержка необходима для обеспечения безопасной работы преобразователя. С помощью переключателя организуется «сброс» преобразователя с перезагрузкой его параметров.

## **1.2 Линейный двигатель**

Линейный двигатель конструктивно представляет собой «линейный стол» на базе синхронного линейного двигателя (рис. 2). Двигатель предназначен для создания координатных систем с высокими динамическими характеристиками. Линейная ось состоит из металлического профиля со встроенными линейными направляющими, линейного двигателя и измерительной системы. Линейный двигатель состоит из якоря с электромагнитными модулями и магнитной дороги, которая смонтирована на основании стола. Якорь является элементом привода и контактной площадкой для монтажа нагрузки пользователя или соединения в более сложную координатную систему [3].

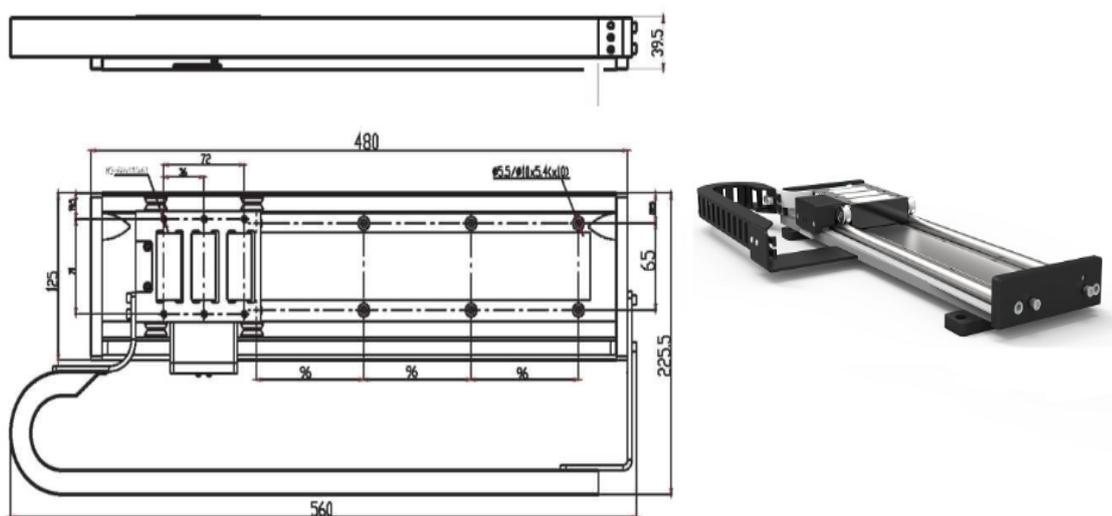


Рис. 2. LSMM-T24-110-50-HS

Привод – прямой безредукторный, допускает максимальное ускорение до 5g. Допускается горизонтальное или вертикальное расположение стола. Максимальное перемещение – до 2,5 м в зависимости от модификации двигателя. Имеется встроенный датчик обратной связи с выходным сигналом 1Vpp (разность между максимальным и минимальным пиковыми напряжениями равна 1 В). Модульная конструкция позволяет легко собирать приводы в порталные системы. Основные характеристики стола приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные характеристики LSMM-T24-110-50-HS

Наименование	Буквенное обозначение	Единица измерения	LSMM-T-24-110x50-HS
Длина пары полюсов 2P		мм	24
Пиковое усилие	Fp	Н	323
Длительное усилие	Fa	Н	113
Пиковый ток при Fp	Ip	Аэфф.	6,0
Длительный ток при 120 С с воздушным охлаждением при Fa и V=0	Ia	Аэфф.	2,0
Максимальная скорость при усилии Fp и Us	Vp	м/с	2,6
Максимальная скорость при усилии Fa и напряжении Us	Va	м/с	4,6
Константа усилия (обмотки 20°C)	K0	N/ifW	18
Константа против-ЭДС. (фаза-фаза)	Ku		45,5
Реактивное зубцовое усилие	Fd	Н	1,6
Сопротивление (фаза-фаза)	R	Ом	6,3
Индуктивность (фаза-фаза)	L	мГн	40,7

Наименование	Буквенное обозначение	Единица измерения	LSMM-T-24-110x50-HS
Рекомендуемое напряжение питания	Us	В	220
Точность перемещения с магнитной измерительной системой		мкм/м	50*
Повторяемость перемещения		мкм	5*
Разрешение		мкм	1*
Масса подвижной каретки	my	кг	1,8
Максимальная масса нагрузки на каретку		кг	20

Двигатель, установленный на стенде, оснащен инкрементным sin-cos энкодером (измерителем положения/скорости) с распознаванием т.н. референсной метки (отметки «нуль») [4]. Принцип действия энкодера показан на рис. 3.

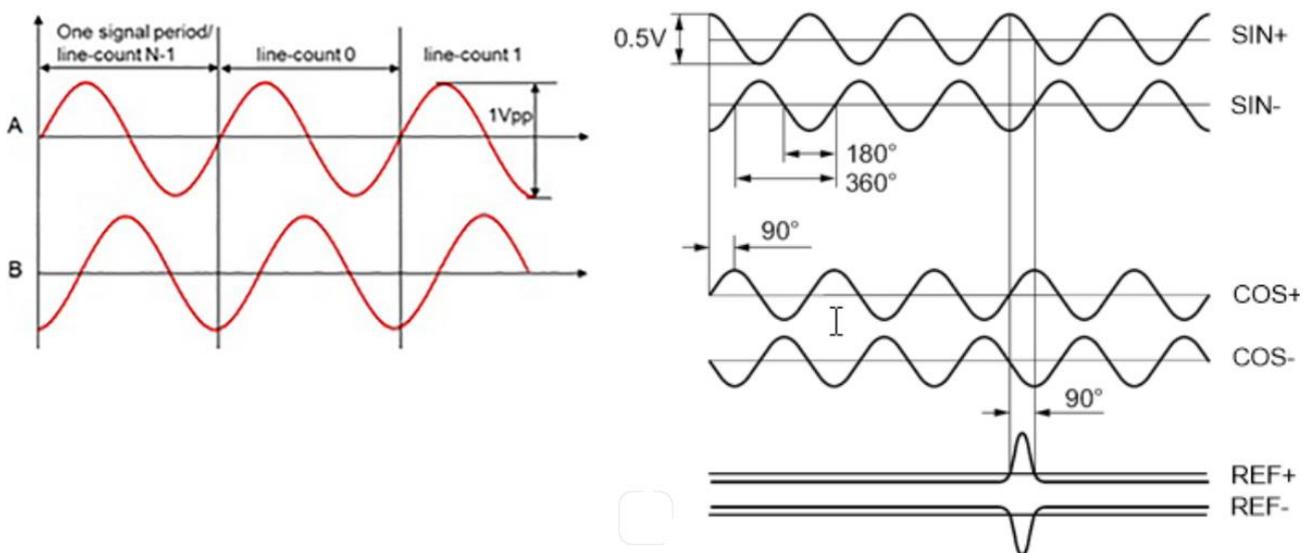


Рис. 3. Принцип работы энкодера

Sin-cos энкодер измеряет линейное положение и направление движения привода и передает информацию в виде аналоговых синусоидальных волн с размахом 1 В, обычно называемых «А» и «В», сдвинутых по фазе на 90° (находящихся «в квадратуре»).

Энкодеры могут использовать кодирование X4 для четырехкратного увеличения разрешения. Для sin-cos энкодеров это делается путем подсчета количества переходов сигналов через нуль. Поскольку аналоговые синусоидальные волны синусоидального энкодера являются непрерывными, они могут быть разбиты или интерполированы на очень точные отсчеты для обеспечения чрезвычайно высокого разрешения положения.

Чтобы уменьшить влияние шума, энкодер использует дифференциальный способ передачи сигнала, при котором два дополнительных сигнала передаются

по каждому каналу. Поскольку на приемной стороне вычисляется разность между сигналами, помехи, одновременно наводимые на двух линиях, устраняются.

Выход энкодера, установленного на стендовом двигателе, включает опорный сигнал, называемый «R» (Reference) или «Z» (Zero). Опорный сигнал имеет немного меньшую амплитуду, чем сигналы A и B, и формируется при нахождении каретки линейного двигателя над так называемой референсной меткой.

Энкодер обеспечивает высокое разрешение обратной связи, что важно для контуров управления положением и скоростью. В контуре управления скоростью высокое разрешение улучшает качество регулирования и позволяет использовать более высокие коэффициенты регулятора, что, в свою очередь, обеспечивает лучшую жесткость системы и лучшую устойчивость к помехам. В контуре положения более высокое разрешение обратной связи обеспечивает лучшую повторяемость и снижает уровень шума.

### *1.3 Сервопреобразователь*

В состав комплекса входит контроллер управления линейным двигателем, роль которого исполняет цифровой сервопреобразователь SERVOSTAR S30361-NA, который обеспечивает изменение и регулирование положения и скорости в заданных диапазонах, поддержание развиваемого момента/усилия при постоянной скорости, обмен данными и управление по цифровым интерфейсам [5].

Сервопреобразователь, входящий в состав стенда, питается от однофазной сети переменного тока номинального напряжения 230 В+10%. Он имеет:

- два аналоговых входа уставок;
- интерфейс RS232 для связи с персональным компьютером (стенд оснащен преобразователем RS232/USB, поэтому подключение осуществляется через USB);
- интерфейс управления по протоколу STEP/DIR;
- интерфейс CANopen для установки в системы шины CAN и для настройки параметров нескольких приводов через интерфейс;
- систему надёжного останова STO (Safe Torque Off, безопасная для персонала блокировка запуска);
- встроенный регулятор положения.

Сервопреобразователь способен обрабатывать сигналы множества распространенных типов датчиков обратной связи по положению/скорости, он работает с синхронными серводвигателями, линейными двигателями, асинхронными двигателями, высокочастотными шпинделями, двигателями постоянного тока.

Силовая схема сервопреобразователя содержит:

- мостовой выпрямитель, встроенный сетевой фильтр и схему плавного пуска;

– выходной каскад: модуль на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT) с гальванически развязанным измерением тока.

Сервопреобразователь в стандартном исполнении содержит внутренний тормозной резистор. При необходимости может быть подключен и внешний тормозной резистор. Имеется встроенный фильтр подавления помех для подачи питания от сети и вспомогательного питания 24 В.

Встроенная система безопасности обеспечивает надежную изоляцию цепей силовых и электронных компонентов благодаря соответствующим путям утечки и развязке потенциалов, плавное включение, выявление повышенного напряжения, защиту от короткого замыкания, контроль обрыва фаз, контроль температуры сервопреобразователя и двигателя.

Для питания цепей управления сервопреобразователя требуется вспомогательное напряжение 24 В постоянного тока с развязкой потенциалов и внутренней защитой.

Программное обеспечение сервопреобразователя реализует функции:

- цифрового регулятора тока (векторное управление с использованием широтно-импульсной модуляции, дискретность 62,5 мкс);
- настраиваемого цифрового регулятора частоты вращения (дискретность 62,5 мкс);
- встроенного регулятора положения с возможностью настройки под любую задачу (дискретность 250 мкс);
- управления шаговым двигателем по протоколу STEP/DIR.

Система управления сервопреобразователя имеет:

- 2 настраиваемых аналоговых входа;
- 4 настраиваемых дискретных входов;
- 2 настраиваемых дискретных выхода.

Внешний вид сервопреобразователя представлен на рис. 4, схема соединений (для варианта с трехфазным питанием) – на рис. 5.



Рис. 4. Сервопреобразователь SERVOSTARS30361-NA

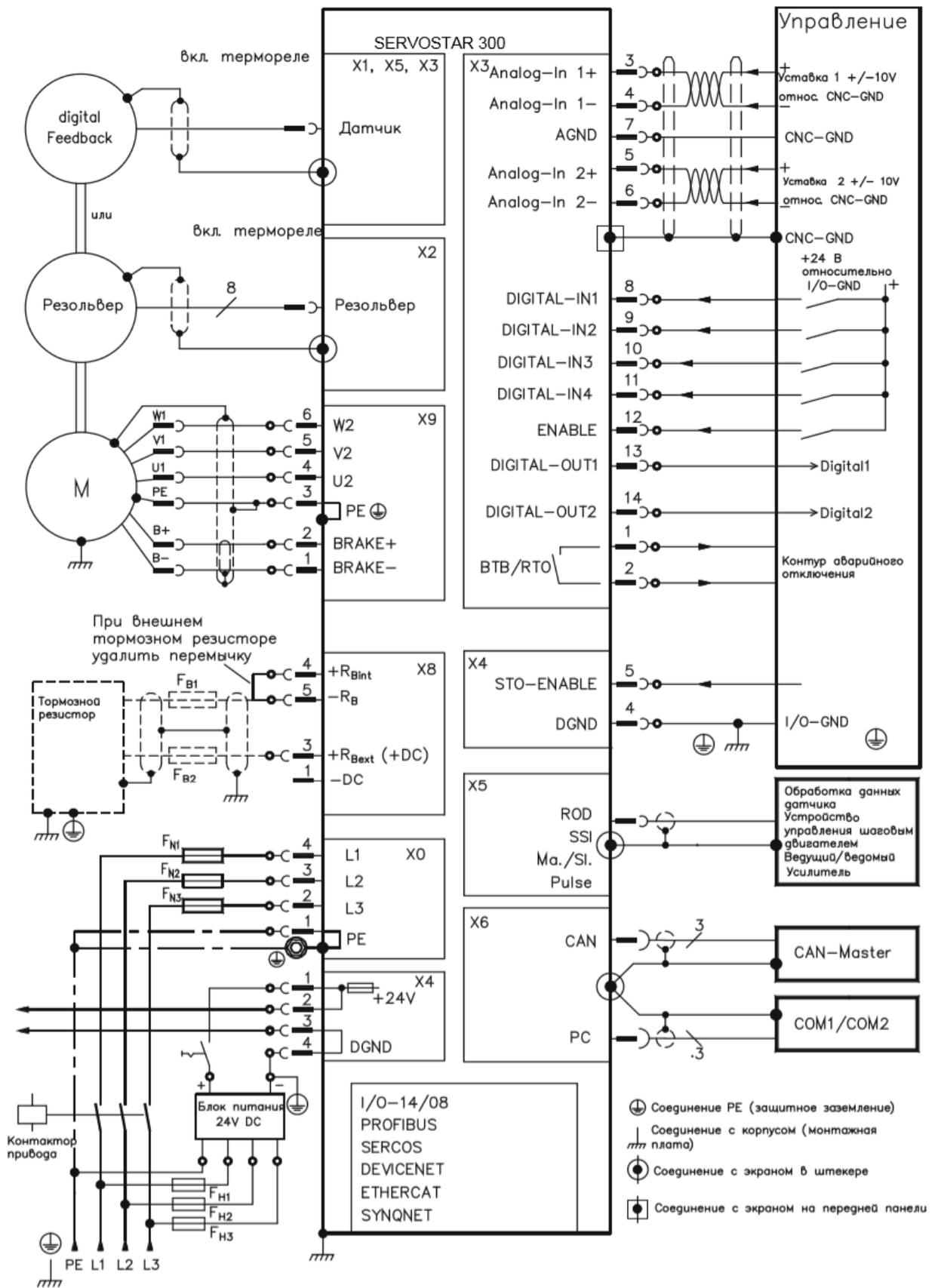


Рис. 5. Схема соединений SERVOSTAR S30361-NA

На рис. 6. приведена типовая схема подключения sin-cos энкодера к преобразователю [5]. На схеме также показана возможная организация системы тепловой защиты двигателя с применением температурного датчика, установленного непосредственно в двигателе. В двигателе, установленном на стенде, температурного датчика нет, а тепловая защита осуществляется преобразователем на основании вычисления температуры по значению тока.

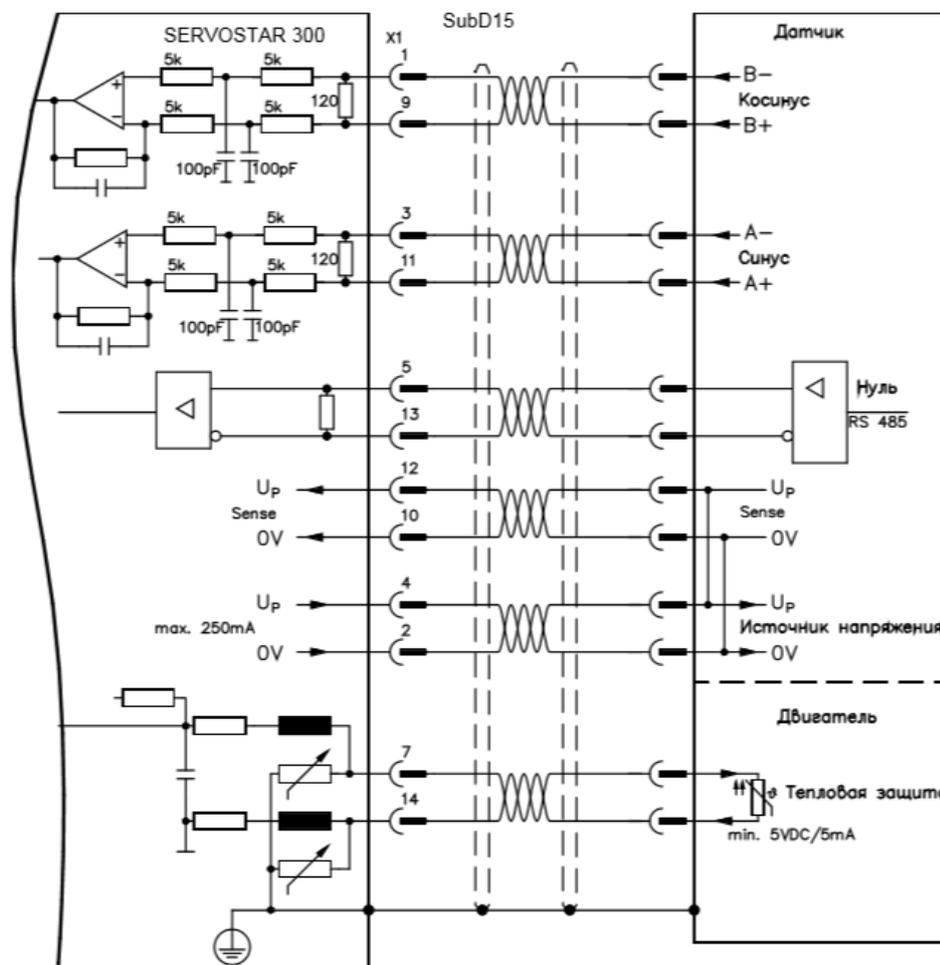


Рис. 6. Схема подсоединения энкодера

Преобразователь SERVOSTAR S30361-NA настраивается и оперативно управляется путем установки многочисленных параметров, которые вводятся в преобразователь через различные интерфейсы:

- RS232 (для связи с персональным компьютером, настройка и управление);
- CANopen (настройка и управление);
- STEP/DIR (управление шаговыми двигателями);
- аналоговые входы.

## 2 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ НА КОМПЛЕКСЕ «ЛИНЕЙНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ»

### 2.1 Подключение и первоначальная настройка

#### Цель работы

провести подключение и начальную настройку сервопреобразователя для управления линейным двигателем.

#### Сборка схемы соединений

С помощью лабораторных проводов произвести следующие соединения на стенде:

– толстыми проводами подсоединить двигатель к силовому трехфазному выходу преобразователя, соблюдая цветовую маркировку проводов. Однофазное напряжение питания подается на преобразователь без каких-либо внешних соединений (L1, L2);

– с помощью тонких проводов подать напряжение 24 В от внешнего источника питания («Блок питания модуля») на преобразователь («разъем X4, 24 В, DGND»), соблюдая цветовую маркировку проводов;

– подать 24 В (плюс) на вход STO Enable (X4). Этот вход отвечает за реализацию функции STO (*Safe Torque Off* – безопасное отключение крутящего момента). При исчезновении напряжения на входе двигатель отключается от преобразователя. На производстве к этому входу могут быть подключены разнообразные датчики, срабатывание которых должно приводить к такому отключению, например, датчик наличия препятствия;

– подать 24 В (плюс) на вход Enable (X3). Этот вход отвечает за «аппаратное разрешение» на запуск преобразователя. Помимо «аппаратного разрешения» имеется также и «программное», Software-Enable, формируемое путем установки соответствующего параметра по цифровым интерфейсам. Запуск двигателя возможен только при одновременном наличии двух «разрешений». Однако имеется возможность зафиксировать «программное разрешение» и управлять преобразователем только с помощью «аппаратного». При проведении лабораторных работ используется «обратная» возможность: «аппаратное разрешение» фиксируется путем постоянной подачи на вход Enable 24 В, а запуск двигателя производится исключительно из программы;

– подключить к клеммам 10, 11 разъема X3 (дискретные входы 3, 4 преобразователя, на стенде обозначенные как PSTOP и NSTOP) концевые выключатели линейного двигателя, выводные гнезда которых расположены под его изображением на правой части стенда. Управление входами осуществляется напряжением 24 В (плюс), поэтому соответствующий потенциал должен быть подан на них через контакты концевых выключателей. Принадлежность гнезд выключателям можно установить с помощью лабораторного тестера, имея при этом в виду, что выключатели оснащены нормально закрытыми контактами, размыкающимися в крайних положениях, при этом положительным направле-

нием движения считается направление к обучающемуся, а отрицательным – от него.

### *Подключение*

Для связи с компьютером преобразователь имеет физический интерфейс RS 232 (последовательный порт ПК). Однако фактически компьютер подключается к преобразователю через интерфейс USB. Конвертор RS 232/USB входит в состав стенда. Для первоначальной настройки преобразователя необходимо выполнить следующие действия:

- подать питание на преобразователь, включив автоматический выключатель «Блока управления модулем». При этом переключатель «Плата «Состояние» блока «Контроллер управления линейным двигателем» должен быть в состоянии «Включено». Через 1–2 с должны загореться зеленым светом светодиодный индикатор над переключателем и красным – на линиях L1, L2. Это говорит о том, что преобразователь готов к работе;

- подсоединить преобразователь к компьютеру кабелем USB;

- запустить программу DRIVEGUI.exe. При запуске программа предлагает автоматически подключиться к преобразователю с теми настройками, которые были внесены в нее ранее. Если подключение удалось, появляется окно программы, в нижней части которой зеленым цветом горит индикатор «Online». В противном случае нужно выбрать модель преобразователя и напряжение питания – S303(230V)). Программа запускается и переходит в режим «Offline». В пунктах меню «Communication» необходимо настроить и установить соединение. Для этого требуется

- в пункте «Select Device...» выбрать RS-232;

- в пункте «RS-232 Setting» задать параметры виртуального последовательного интерфейса компьютера. По умолчанию используются следующие настройки: виртуальный порт COM3, скорость обмена 38400 бод, таймаут 10000 с;

- подключиться к контроллеру SERVOSTAR, используя пункт меню «Connect» или «одноименную» пиктограмму на панели инструментов программы. Если подключение не удалось – обратиться к преподавателю.

### *Настройка*

1. Запустите «Мастер настройки» («Setup Wizard») в навигационном окне слева. Выберите «Полную настройку» («Complete Setup») и запустите «Мастер» рис. 7.

2. В появившемся окне основных настроек задайте тип тормозного резистора («Regen Resistor») – Internal (внутренний), величину питающего напряжения («Mains Voltage») – 230 В и реакцию контроллера на пропадание фазы («Response to Loss of Input Phase») – «Single Phase (Current limit), no Message».

Также здесь можно присвоить контроллеру название и просмотреть его характеристики, задать частоты ШИМ, контуров регулирования тока и положение

ния, установить программное разрешение при загрузке (**при проведении лабораторных работ запрещается!**), активировать многодвигательный режим, задать другие параметры конфигурации рис. 8.

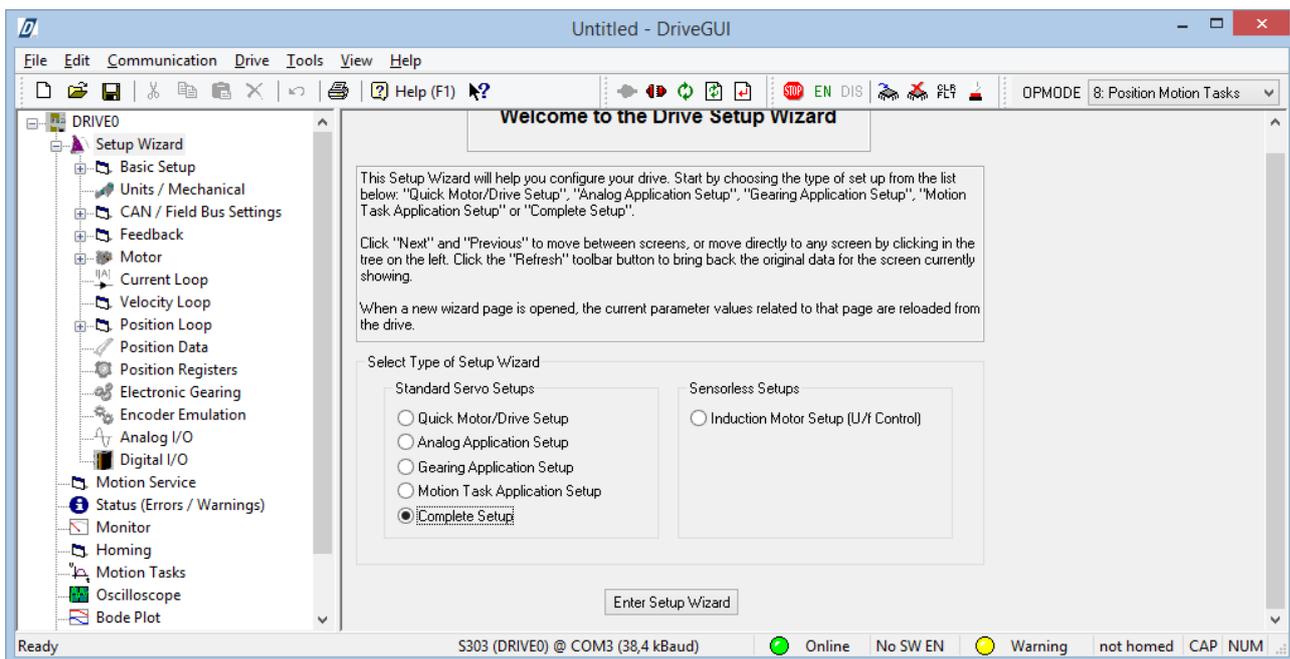


Рис. 7. Запуск Setup Wizard

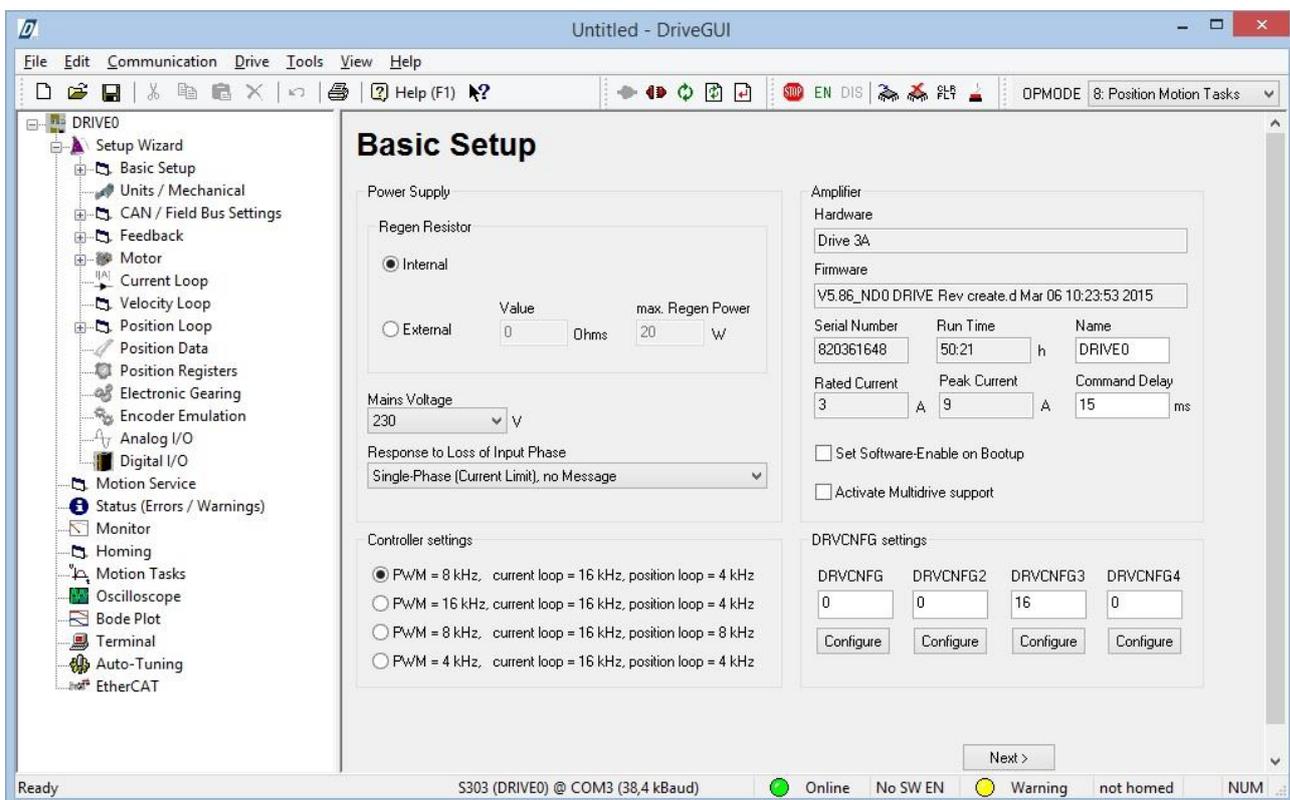


Рис. 8. Базовые настройки

Для перехода к следующим настройкам нажмите Next или щелкните по названию окна в навигационном окне.

Возможно появление предупреждения о том, что привод будет работать в режиме однофазного питания, что приведет к ограничению тока и ухудшению его характеристик. Это сообщение следует проигнорировать, нажав на кнопку «Ok».

3. В появившемся окне «Units/Mechanical» предлагается задать единицы измерения положения, скорости и ускорения двигателя. Значения по умолчанию (положение измеряется в мкм, скорость – в мм/с, ускорение – в мм/с<sup>2</sup>) вполне подходят для выполнения лабораторных работ. Важным параметром линейного двигателя является «Resolution» («Разрешение») – соответствие линейного перемещения на один (или более) «оборот(ов)» магнитного поля. Для линейного двигателя, установленного на стенде, один «оборот» соответствует длине пары полюсов 24 мм = 24000 мкм, рис. 9.

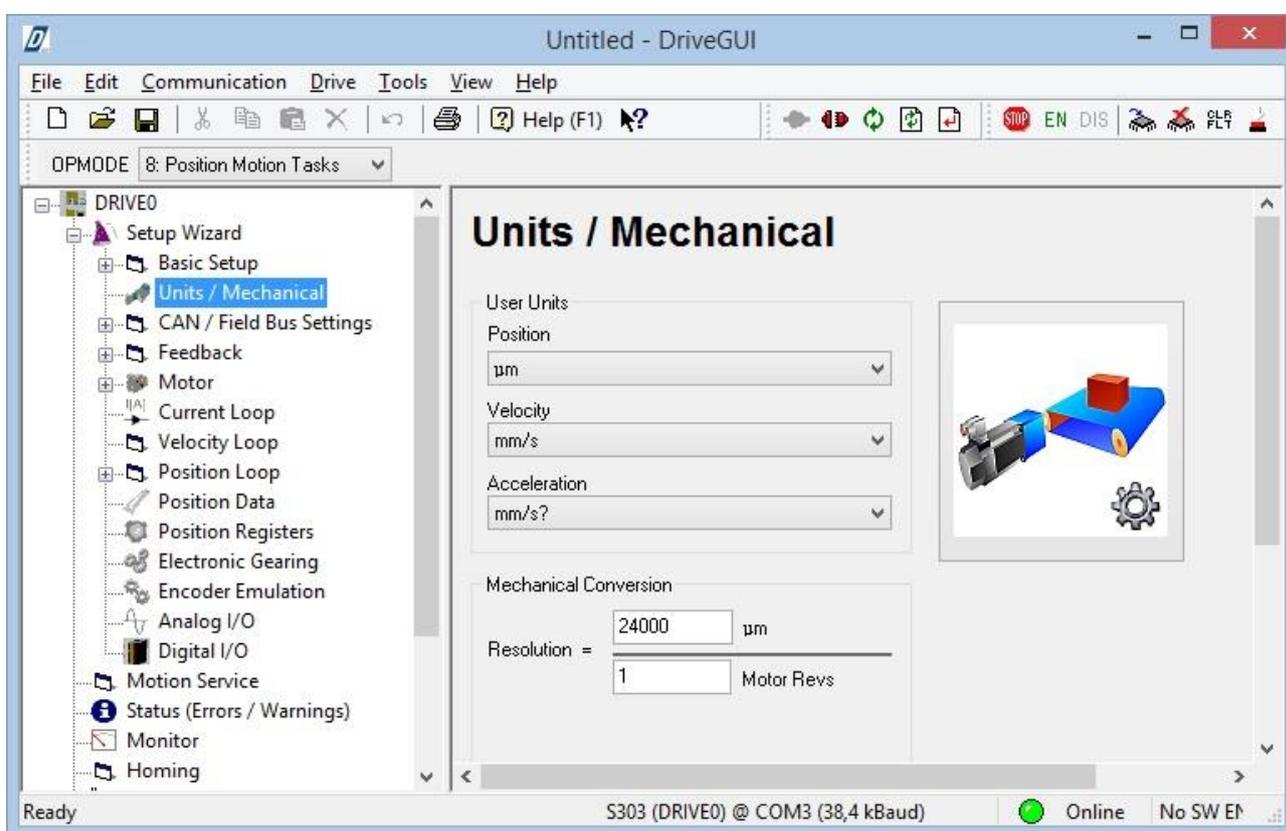


Рис. 9. Пункт меню Units/Mechanical

Окно CAN/Field Bus Setting предназначено для настройки параметров обмена сообщениями с преобразователем по сети CAN. Пропустите его, поскольку это не предусмотрено при выполнении работ на стенде.

4. В окне «Feedback», рис. 10. настраиваются параметры датчика обратной связи. Необходимо выбрать тип датчика 7 Sine Enc 5v W&S - connector X1 – sin-cos энкодер с напряжением питания 5 В и функцией Wake&Shake. Функция Wake&Shake («Проснись и Встряхнись») предназначена для синхронизации процесса коммутации силовых фаз двигателя с сигналом обратной связи.

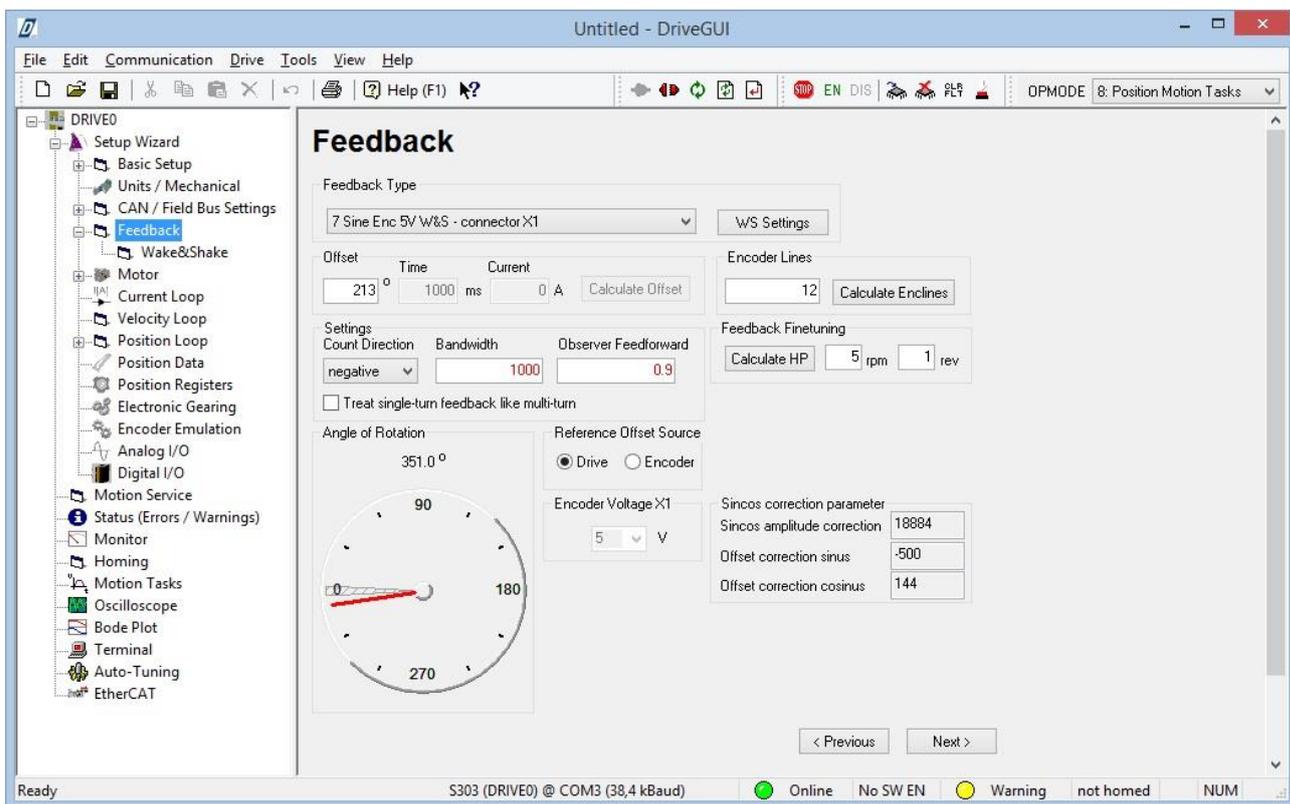


Рис. 10. Пункт меню Feedback

При выполнении данной функции двигатель совершает небольшое движение для оценки угла коммутации. Функция запускается при первой после включения питания подаче преобразователю разрешения на пуск двигателя (после чего обычно включается режим Homing – перевод двигателя в начальное положение). Функция Wake&Shake требует настройки, которая производится в окне, открывающемся при нажатии соответствующей кнопки, рис. 11.

В нашем случае используется «импульсный» вариант функции Wake&Shake. Требуется задать только значение тока в данном режиме (0,5 А). Остальные параметры (временные) нужно оставить по умолчанию нулевыми. Это не означает фактического равенства этих параметров нулю. Согласно принятому соглашению это означает, что данные параметры будут вычислены автоматически исходя из настроек других параметров (в частности, контура регулирования скорости).

Основным параметром, который устанавливается функцией Wake&Shake, является Offset – фазовый сдвиг между сигналом датчика обратной связи и сигналом коммутации. **Не изменяйте его вручную.**

Важным пунктом настройки обратной связи является Encoder Lines – количество периодов датчика ОС на один «оборот» двигателя, рис. 10. Поскольку известны длина пары полюсов двигателя 24000 мкм и период датчика 2000 мкм, этот параметр равен 12 (его можно также рассчитать с помощью встроенного калькулятора).

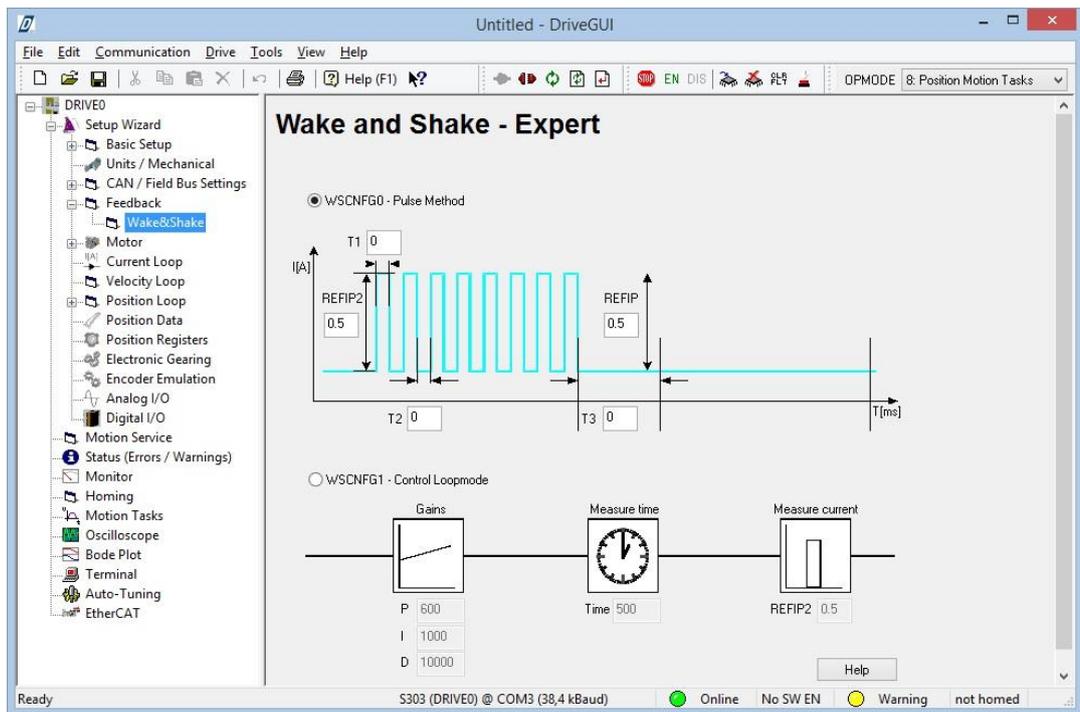


Рис. 11. Настройка Wake & Shake

Следует проверить также направление счета: для линейного двигателя один оборот вращения стрелки должен соответствовать расстоянию, равному длине пары полюсов, а положительным считается вращение по часовой стрелке. Т.е. при передвижении каретки линейного двигателя (вручную) в положительном направлении (выбирается произвольно; в данном случае считаем положительным движение *на себя*) на расстояние, равное длине пары полюсов, стрелка должна сделать один оборот по часовой стрелке. При вращении стрелки в обратном направлении необходимо поменять направление счета Count Direction (positive/negative). Если стрелка сделала не один оборот, необходимо проверить правильность введенного значения Encoder Lines.

Параметр Bandwidth устанавливает (в Гц) полосу пропускания фильтра канала измерения скорости. Чем больше его значение, тем более быстрым является канал, однако при этом ухудшается подавление помех. С другой стороны при малых значениях полосы пропускания увеличивается дополнительный фазовый сдвиг, вносимый фильтром, что ухудшает качество регулирования скорости. Рекомендуется в качестве ориентировочного принять значение, показанное на рис. 10.

Параметр Observer Feedforward служит для настройки т.н. «наблюдателя скорости». Это математический алгоритм, служащий, в частности, для улучшения устойчивости контура регулирования скорости [6]. Значение параметра можно изменять от 0 до 1. Рекомендуется в качестве ориентировочного принять значение, показанное на рис. 10.

Блок Feedback Fineturning («точная настройка обратной связи») предназначен для коррекции выходного сигнала датчика обратной связи по результа-

там дополнительного эксперимента (отличного от W&S). В качестве исходных данных для проведения эксперимента задаются скорость («обороты» в минуту) и количество «оборотов». По результатам устанавливаются параметры из группы Sincos correction parameters.

5. На вкладке Motor (рис. 12) устанавливаются параметры двигателя.

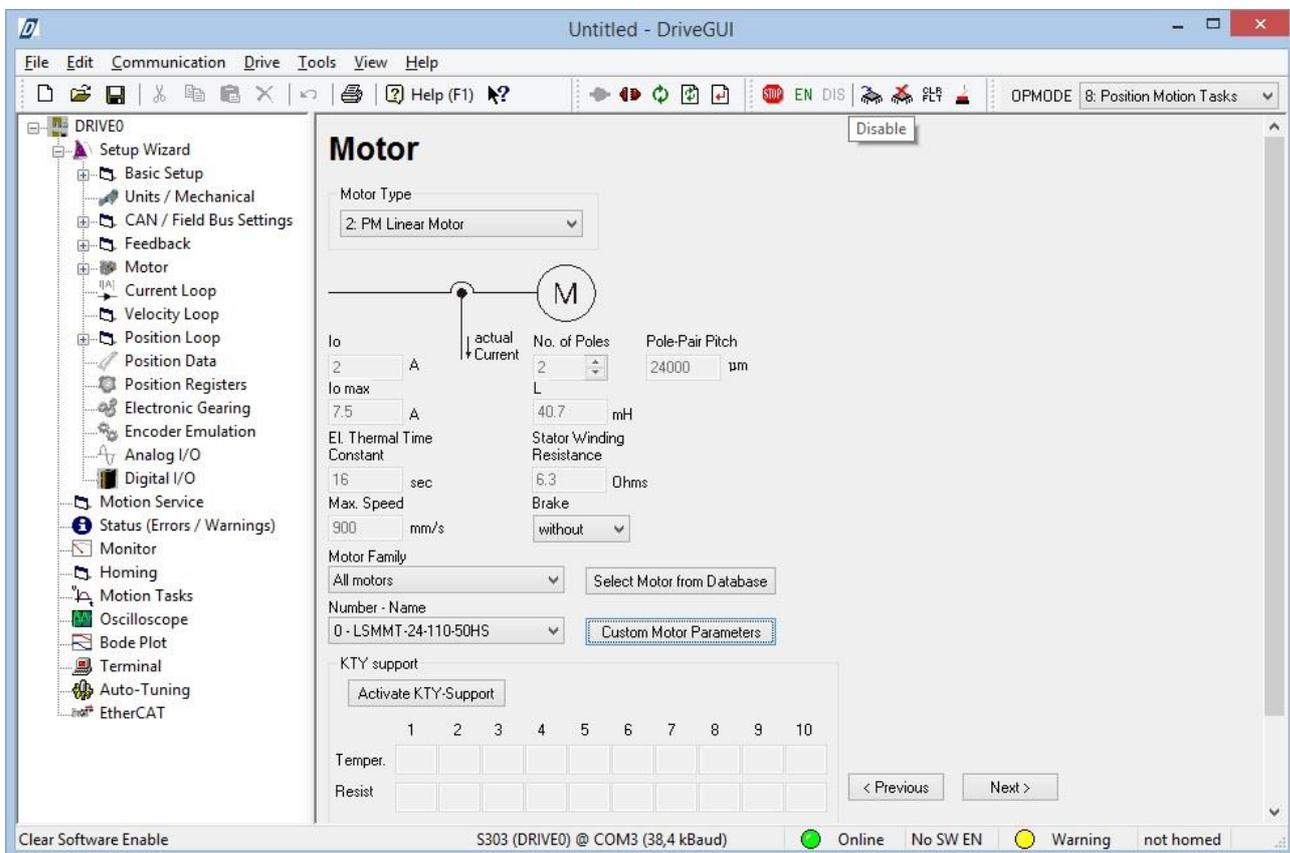


Рис. 12. Настройка параметров двигателя

Выбирается тип двигателя (в нашем случае PM Linear motor – линейный двигатель с постоянными магнитами), устанавливаются его параметры:

- номинальный и пиковый токи;
- число полюсов и межполюсное расстояние;
- параметры обмотки (индуктивность и сопротивление фазы);
- постоянная времени нагрева обмотки;
- максимальная скорость и способ торможения.

Можно также выбрать двигатель из базы данных или ввести его параметры в отдельном окне, которое открывается при нажатии на кнопку Custom Motor Parameters, рис. 13. Поскольку в имеющейся базе данных информации о двигателе, установленном на стенде, нет, воспользуйтесь второй возможностью.

После нажатия на кнопку Done программа предлагает пересчитать настройки контуров регулирования тока, скорости и положения. Следует согласиться.

The image shows a software window titled "Set Up Motor" with a standard Windows-style title bar (question mark, close button). The window contains a list of motor parameters, each with a text input field and a unit label. The parameters are: Motor Type (dropdown: 2: PM Linear Motor), Linear Motor Type (dropdown: Ironcore), Motor Name (text: LSM2T-24-110-50HS), Cont. current (text: 2, unit: Amps), Peak current (text: 7.5, unit: Amps), Maximum Speed (text: 900, unit: mm/s), Motor Poles (text: 2, unitless), Pole-Pair Pitch (text: 24000, unit: μm), Motor force constant (text: 55.8, unit: N/Amp), L, line-to-line (text: 40.7, unit: mH), Stator Winding Resistance (text: 6.3, unit: Ohms), Motor inertia (text: 1.07, unit: kg), Brake (dropdown: without), Disable delay (brake) (text: 100, unit: ms), Enable delay (brake) (text: 20, unit: ms), Thermistor Switch-off Threshold (text: 322, unit: Ohms), Feedback Type (dropdown: 7 Sine Enc 5V W&S - connector X1), and Max. allowed line voltage (text: 230, unit: V). At the bottom are three buttons: Cancel, Done, and Help.

Рис. 13. Set Up Motor

«Раздел» КТУ support дает возможность настройки датчика температуры (КТУ81 – популярная серия кремниевых терморезисторов, применяемых для контроля температуры обмотки двигателя). Активировав поддержку КТУ, можно задать статическую характеристику датчика по 10 точкам, сопоставив в каждой из них значения температуры и сопротивления датчика.

6. Настройте контуры регулирования тока, скорости и позиционирования.

Система управления двигателем, реализуемая преобразователем, построена по принципу подчиненного регулирования (многоконтурная система). Внешний контур – это контур регулирования положения (Position Loop) с обратной связью по положению, в которой задействован sin-cos энкодер. Регулятор положения дает задание регулятору скорости, управляющему контуром скорости (Velocity Loop). Сигнал обратной связи по скорости формируется путем обработки сигналов того же энкодера. Выходной сигнал регулятора скорости служит заданием для регулятора тока, входящим в состав токового контура (Current Loop), для которого сигнал обратной связи (фактическое значение тока) формирует сам преобразователь.

Все регуляторы в цифровом виде реализуют ПИ-алгоритмы управления, дополненные в каждом конкретном случае различными алгоритмами ограничения и фильтрации сигналов.

Настройки собственно ПИ-регуляторов контуров рассчитываются преобразователем автоматически после ввода параметров двигателя. Однако некоторые дополнительные параметры необходимо ввести вручную.

В настройках токового контура (рис. 14) требуется ввести

- ограничения на задание регулятору тока (максимальные значения тока при движении в положительном и отрицательном направлениях);
- максимальное значение тока в режиме Homing;
- значение I<sup>2</sup>t-фактора (оценка нагрева двигателя), при котором будет формироваться предупреждающее сообщение.

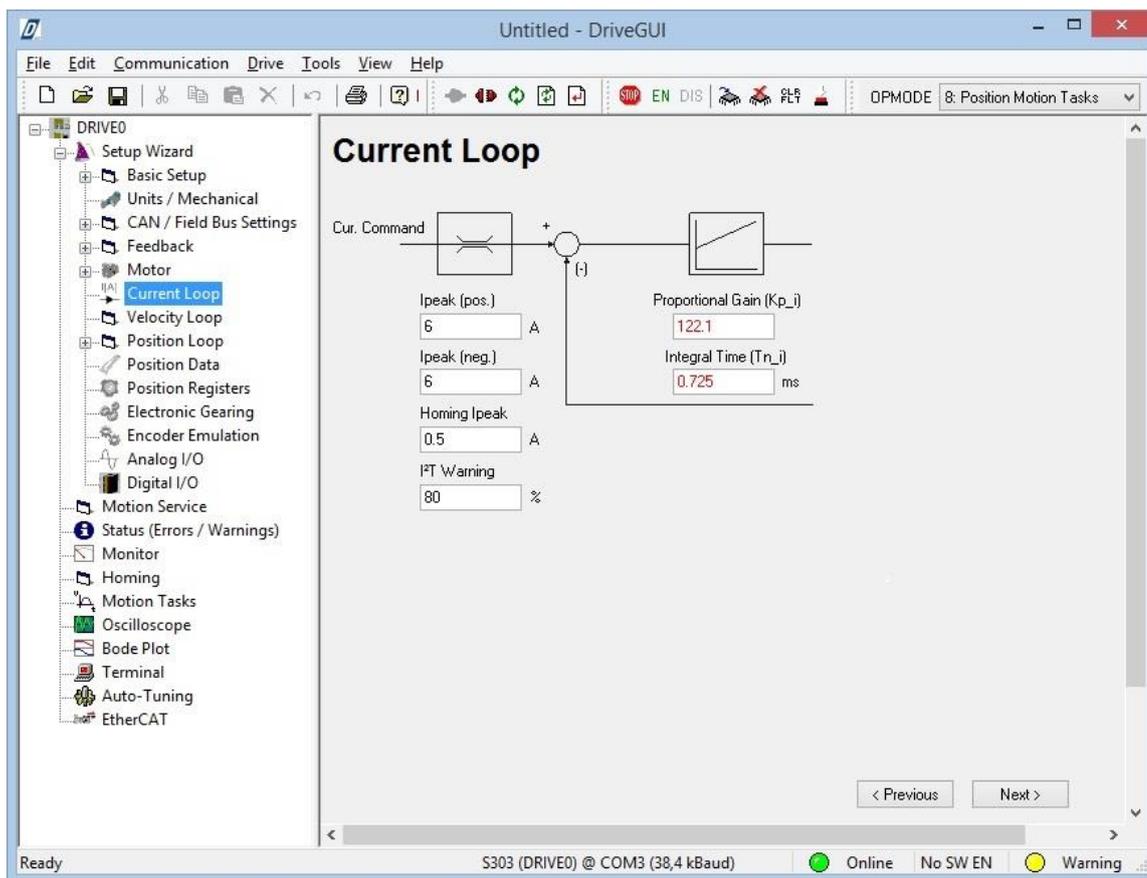


Рис. 14. Настройка токового контура

В настройках контура регулирования скорости (рис. 15) задаются:

- ограничения на задание регулятору скорости (максимальные значения скорости при движении в положительном и отрицательном направлениях);
- зона нечувствительности (порог срабатывания) (Speed Threshold);
- значение скорости, при котором фиксируется ошибка работы контура (Overspeed);
- ограничения на ускорения при разгоне и торможении;
- порядок действий при сбое и нормальном отключении (мгновенное отключение/плавное снижение скорости), а также ускорения в случае плавного снижения скорости;

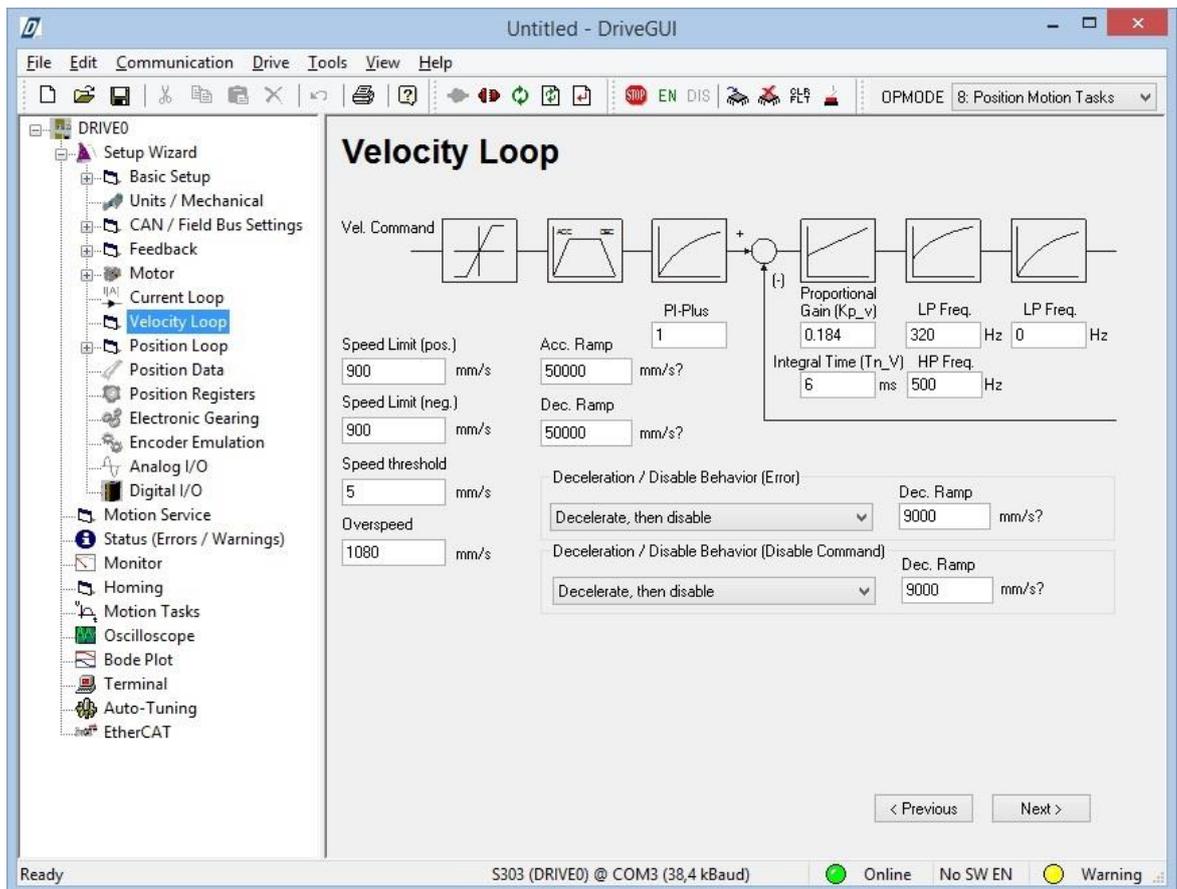


Рис. 15. Настройка контура скорости

Отдельного рассмотрения требует параметр PI-Plus. Он задает отношение между коэффициентами передачи «прямой связи» (feedforward) и обратной связи (feedback) PDFF-регулятора (Pseudo Derivative Feedback and Feedforward) [7]. PDFF-регулятор представляет собой модернизацию стандартного ПИ-регулятора и имеет структуру, показанную на рис. 16.

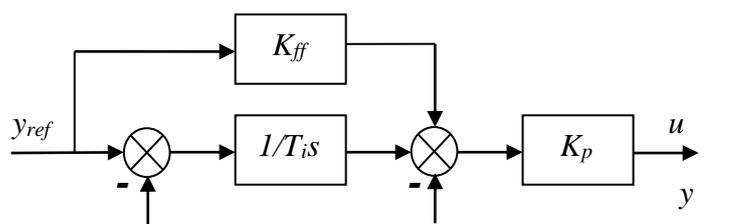


Рис. 16. Структура PDFF-регулятора

При  $K_{ff} = 1$  PDFF-регулятор превращается в стандартный ПИ-регулятор с передаточной функцией

$$W(s) = K_p \left( \frac{1}{T_i s} + 1 \right).$$

При  $K_{ff} < 1$  структуру, показанную на рис. 16 можно привести к виду, рис. 17:

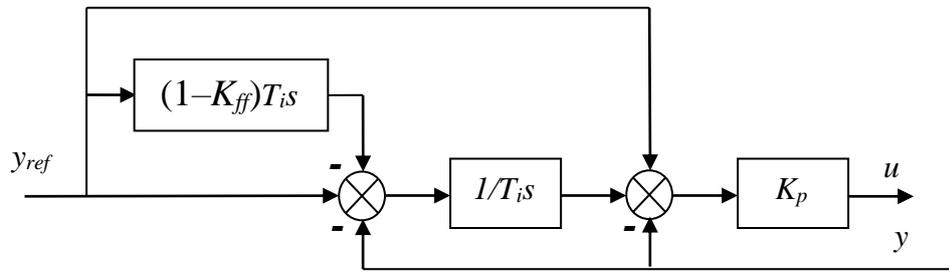


Рис. 17. Структура PDFF-регулятора после преобразования

На входе стандартного ПИ-регулятора действует дополнительное дифференциальное звено, снижающее входное воздействие во время изменения задания. Это позволяет улучшить качество переходных процессов обработки задания, в то время как обработка возмущений по-прежнему производится стандартным ПИ-регулятором.

Выходной сигнал регулятора последовательно проходит через два цифровых фильтра, параметры которых – частоты сопряжения их ЛАЧХ (в Гц). Первый фильтр при стандартных настройках представляет собой интегриродифференцирующее звено с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{\frac{s}{2\pi \cdot f_{hp}} + 1}{\frac{s}{2\pi \cdot f_{lp}} + 1},$$

где  $f_{lp}$  и  $f_{hp}$  – частоты, заданные параметрами LP Freq и HP Freq соответственно. В таком виде фильтр выполняет роль компенсатора запаздывания (lag compensator). Передаточная функция фильтра может быть изменена (с повышением порядка) путем ввода дополнительных параметров, что, однако, не предусмотрено в окне, показанном на рис. 15.

Второй фильтр представляет собой «обычный» низкочастотный фильтр первого порядка с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{1}{\frac{s}{2\pi \cdot f_{lp}} + 1}.$$

Он предназначен для «обрезки» высоких частот с целью исключения резонансных явлений и подавления шума. В нашем случае фильтр не используется (параметр LP Freq = 0).

Окно настройки контура положения показано на рис. 18. Регулятор положения – стандартный ПИ-регулятор. Параметр Ff Factor задает «мощность» сигнала прямой связи по скорости. Прямая связь по скорости позволяет повысить производительность, поскольку сигнал задания по положению направляется напрямую к регулятору скорости, чтобы сигнал управления мог генерироваться быстрее. После дифференцирования сигнал фильтруется фильтром ниж-

них частот первого порядка и умножается на настроенное усиление. Наиболее благоприятная настройка (обычно около 1,0) зависит от внешних по отношению к приводу факторов, таких как трение, динамическое сопротивление и жесткость механической характеристики. Если коэффициент слишком мал, привод работает медленно, если он завышен, имеют место колебательные процессы.

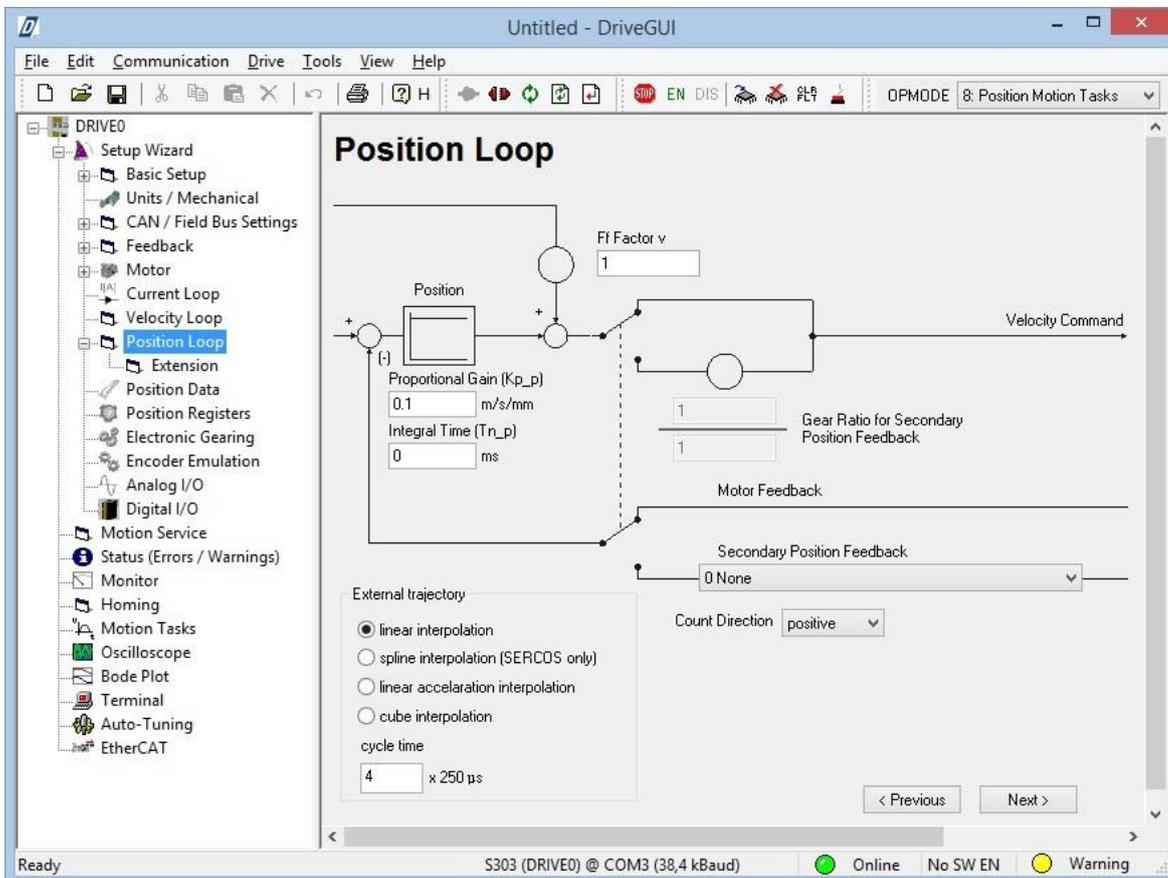


Рис. 18. Настройка контура позиционирования

Помимо настроек регулятора положения окно предоставляет возможность задания «внешнего» датчика положения (т.е. установленного не на двигателе, а на механизме) с выбором его типа и коррекцией управляющего сигнала в соответствии с передаточным числом механизма.

Кроме того, можно настроить способ интерполяции программно задаваемой траектории (см. ниже) и установить время цикла для пересчета задания по положению при выполнении программы.

В нашем случае вносить какие-либо изменения в настройки контура положения не требуется.

В окне Position Data (рис. 19) задаются дополнительные настройки контура регулирования положения, в частности тип осей (линейные, с абсолютными измерениями, или «модульные», когда энкодер имеет ограничение на максимальный угол поворота и сбрасывает свои показания в ноль при достижении предела, в этом случае преобразователь корректирует должным образом пока-

зания датчика положения). Здесь же задаются максимальная ошибка слежения (при достижении которой преобразователь переходит в состояние «Ошибка»), допустимая зона (окно) позиционирования, при нахождении в которой формируется соответствующий сигнал, максимальные ускорение и скорости в режиме выполнения заданий, а также программные ограничения на движение в положительном и отрицательном направлениях. В нашем случае тип осей – Linear, параметры Modulo Start Pos и Modulo End Pos не имеют значения, программных ограничений нет. Остальные параметры следует установить согласно рис. 19.

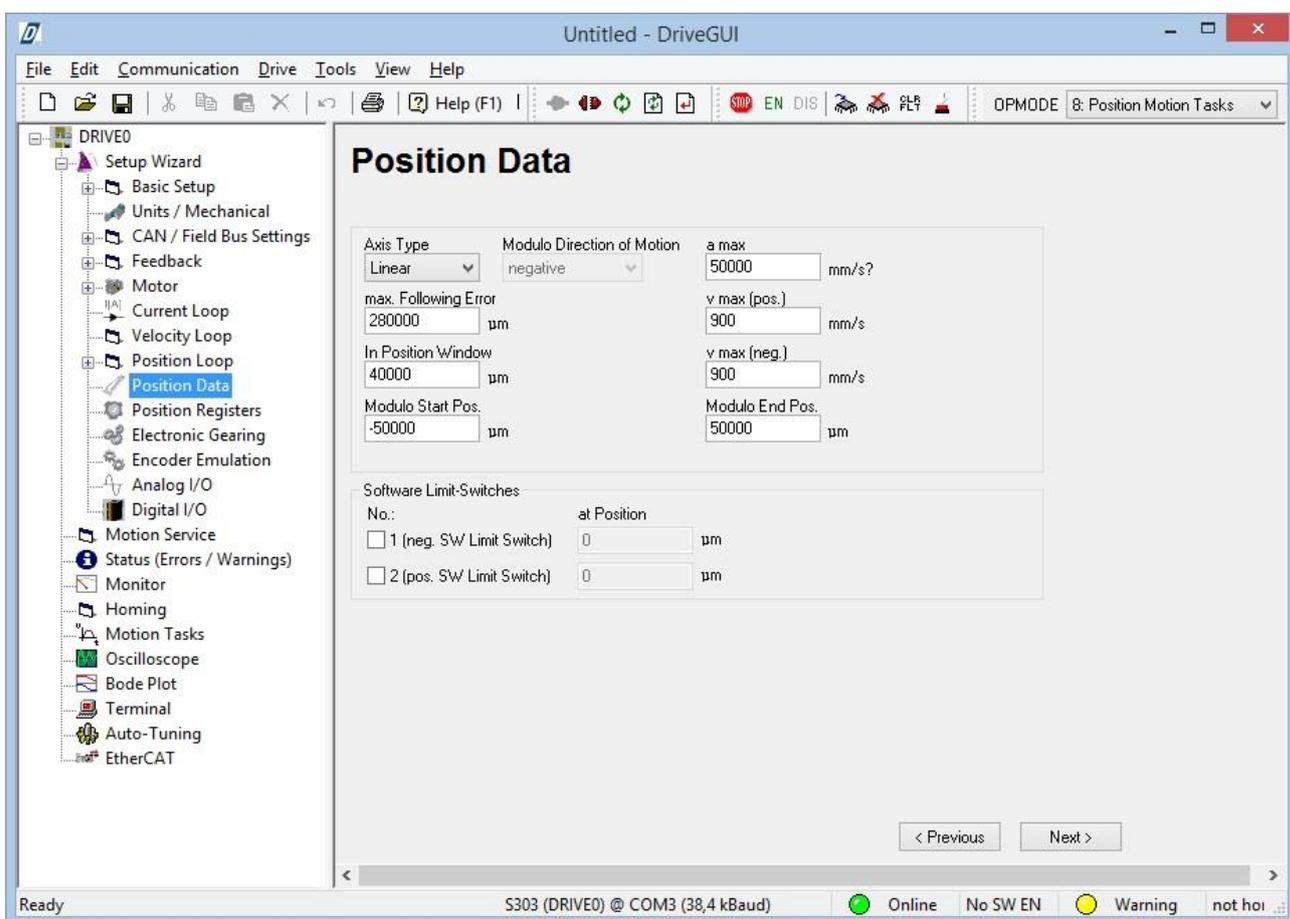


Рис. 19. Position Data

В окне Position Registers можно установить до 16 контролируемых позиций привода, достижение которых (в прямом и обратном направлениях движения) может быть зафиксировано. В нашем случае настройка не требуется.

В окне Electronic Gearing задаются параметры работы преобразователя как ведомого в режиме воспроизведения внешнего сигнала задания, полученного от различных датчиков. Основным параметром настройки здесь является передаточное число редуктора. Настройка не требуется.

В окне Encoder Emulation настраивается режим работы преобразователя как эмулятора энкодера. В этом режиме преобразователь выдает на один из выбранных при настройке выходов импульсы, информируя принимающую сторо-

ну о движении и положении привода (т.е. выступает в качестве энкодера). Настройка не требуется.

В окне Analog I/O устанавливается назначение двух аналоговых входов преобразователя, каждый из которых может быть настроен на выполнение различных функций (например, задание по положению или скорости и т.д.). Здесь же задаются параметры масштабирования входных сигналов. Настройка не требуется.

В окне Digital I/O настраиваются дискретные входы/выходы преобразователя, рис. 20. На данном этапе установите назначение третьего и четвертого входов, выбрав для них функции PSTOP и NSTOP (концевые выключатели в положительном и отрицательном направлениях соответственно).

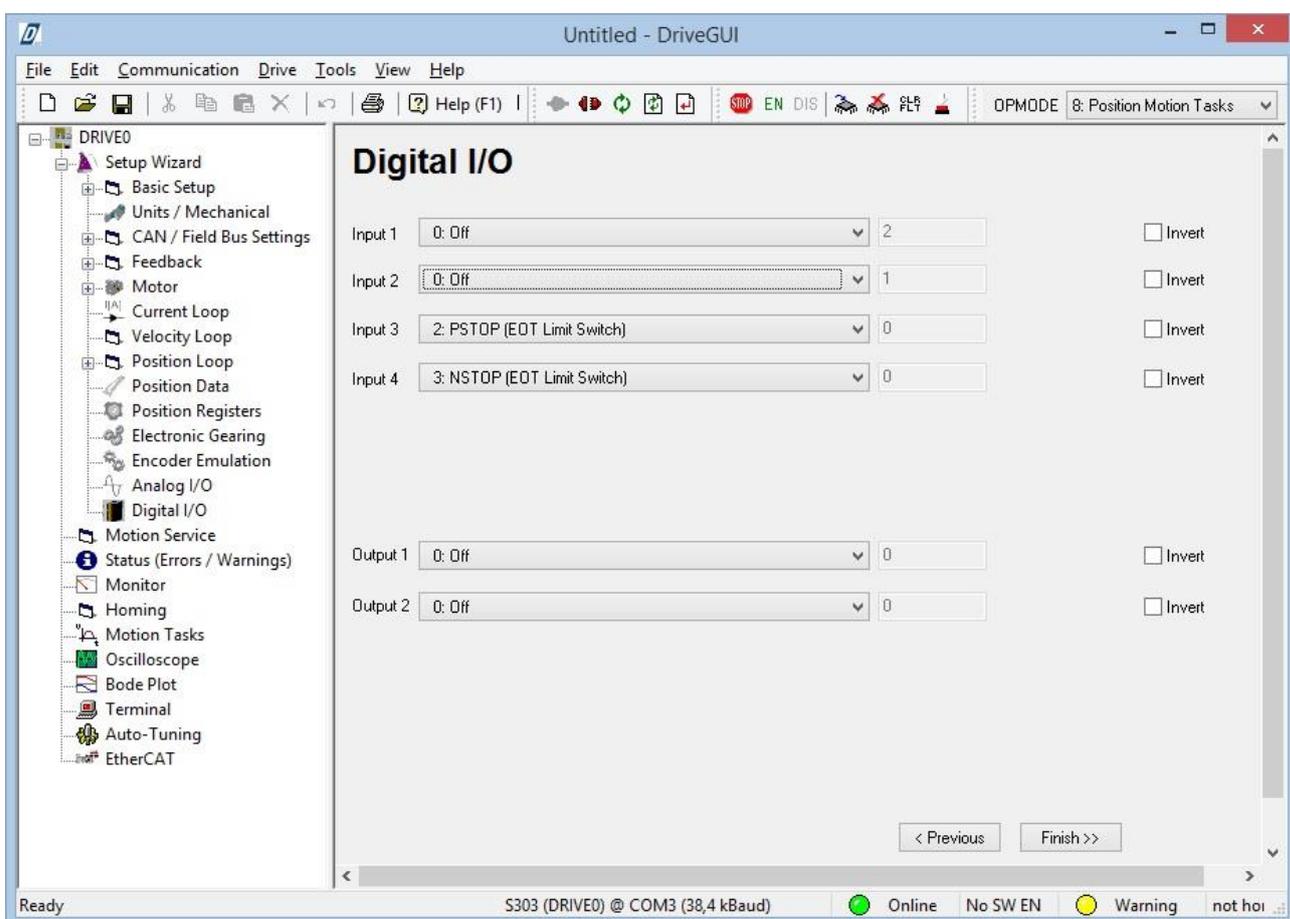


Рис. 20. Настройка дискретных входов-выходов

Следует проверить работу входов, открыв окно Monitor. При переводе каретки в крайние положения вручную соответствующие «сигнальные лампы», индицирующие состояния входов, должны гаснуть. При этом положительным направлением считается движение каретки *на себя*. Если имеет место обратная ситуация, можно поменять местами провода, соединяющие концевые выключатели с входами преобразователя, или настройки в окне, показанном на рис. 20. Неправильная настройка входов приводит к возникновению ошибок, препятствующих работе привода.

Отметим также, что функции PSTOP и NSTOP реагируют на низкий уровень входного сигнала (размыкание нормально замкнутых контактов концевых выключателей).

Первоначальный процесс настройки параметров закончен.

### Апробация

Для апробации системы следует выбрать способ установки исходной позиции привода в окне Homing, рис. 21.

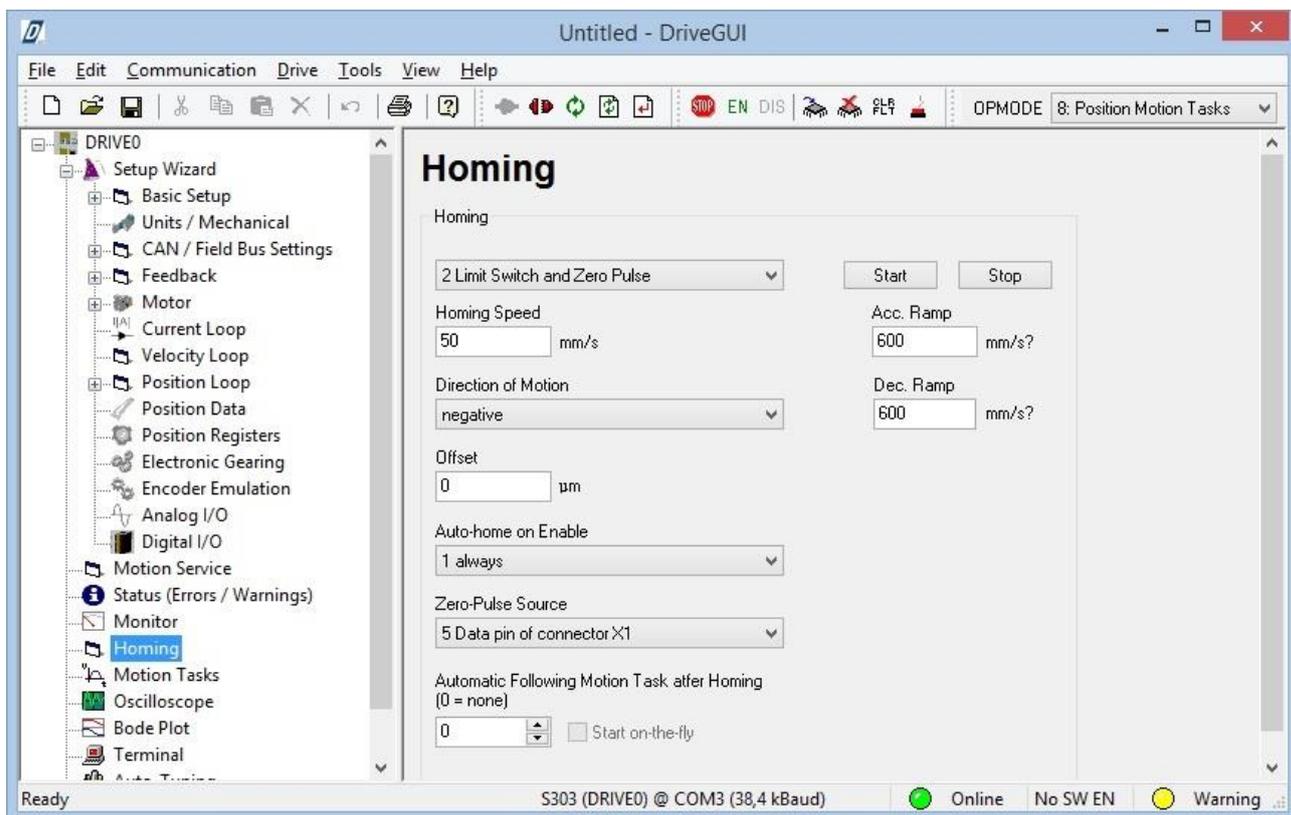


Рис. 21. Настройка установки начальной позиции

Способ установки определяется системой измерения, которой оснащен привод. В нашем случае это Limit Switch and Zero Pulse – движение до концевого выключателя (с заданной скоростью и в заданном направлении) и обратно до референсной метки. В окне также задаются:

- смещение исходной позиции относительно точки отсчета (Offset);
- условие выхода в исходную позицию (Auto-home on Enable), в нашем случае – always, всегда при включении;
- источник «нулевого» сигнала (Zero Pulse Source);
- «пункт задания», к которому следует приступить, после перехода в нулевую точку (Automatic Follow Motion Task After Homing, см. следующую работу);
- ускорения при увеличении и уменьшении скорости (Acc. Ramp и Dec. Ramp соответственно).

С помощью кнопок Start и Stop режим Homing может быть запущен и остановлен. Однако на данный момент запускать режим не следует, поскольку все ранее введенные настройки не были записаны в преобразователь.

У преобразователя имеются три разновидности параметров:

- параметры, изменение которых приводят к немедленному изменению поведения преобразователя («оперативные параметры») в режиме Enable;
- параметры, требующие записи в память преобразователя (пиктограмма Save to EEPROM);
- параметры, требующие записи в память и перезагрузки преобразователя (пиктограмма Reset).

При намерении пользователя ввести в силу параметры последних двух групп программа запрашивает разрешения на соответствующие действия. В большинстве случаев разрешение следует давать.

Убедившись, что установлен режим регулирования положения (OPMODE= 8:Position Motion Tasks), сохраните установленные параметры в памяти преобразователя (Save to EEPROM) и произведите его перезагрузку (Reset). На некоторое время связь с преобразователем пропадет, позже она восстановится.

Дайте программное разрешение на работу преобразователя (пиктограмма EN). Если все параметры были установлены правильно, должно произойти следующее: сначала будет выполнена процедура Wake&Shake (поиск полюса), потом привод перейдет в режим Homing. Каретка отправится в «отрицательном» направлении до концевого выключателя, потом последует в «положительном» направлении и остановится на референсной метке.

При возникновении ошибок информацию о них можно посмотреть в окне Status (Error/Warning). Здесь же можно посмотреть подсказку для решения проблемы по коду ошибки/предупреждения, нажав кнопку Troubleshooting.

**Если при работе привода наблюдаются ненормальные эффекты, например, сильный шум, вибрация и т.д., немедленно снимите программное разрешение (пиктограмма DIS – disable, в случае отсутствия связи – снимите аппаратное разрешение или выключите питание стенда с помощью автоматического выключателя) и приступайте к поиску источников проблемы. В большинстве случаев это – неправильная настройка ограничений по току.**

После успешной инициализации опробуйте «ручное» управление приводом в окне Motion Service, рис. 22. Окно позволяет управлять скоростью или положением привода (в зависимости от режима управления) с помощью кнопок «больше»/ «меньше». В режиме Position Motion Tasks управление производится с помощью нижней пары кнопок. Движение привода осуществляется со скоростью, задаваемой в поле Jog Speed. Протестируйте возможность управления приводом на разных скоростях и его остановки в конечных положениях. В полях Position и Velocity наблюдайте текущие значения положения (в мкм) и скорости (в мм/с).

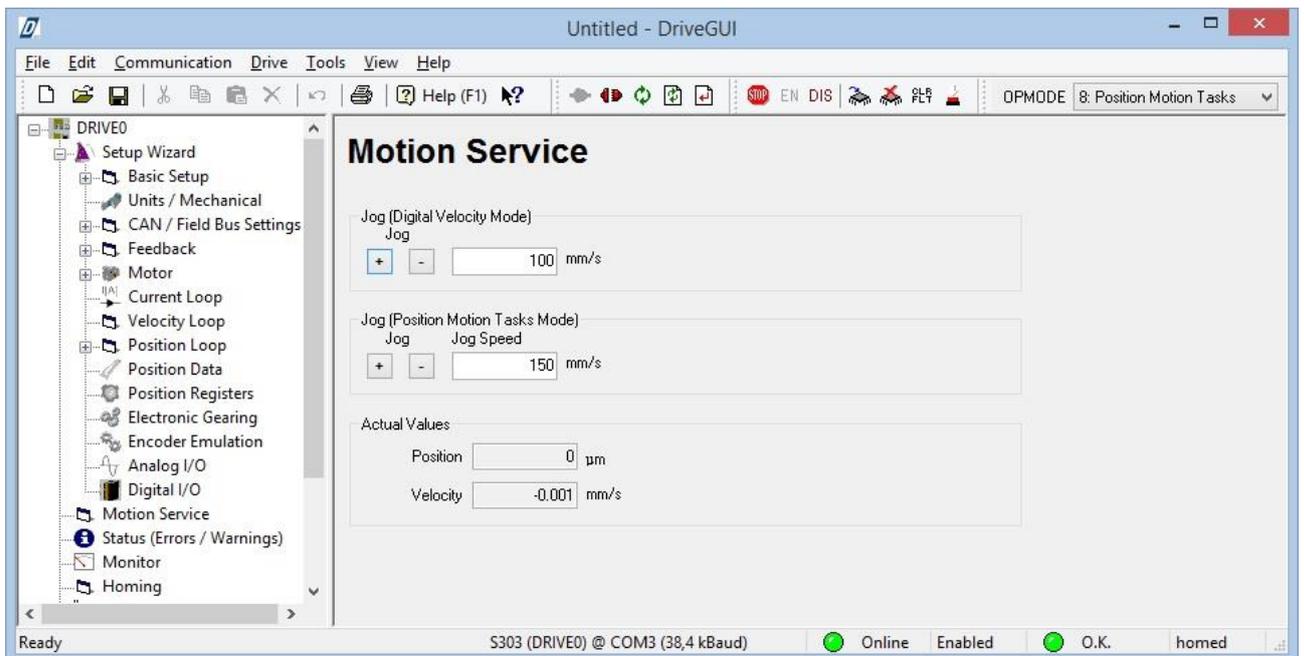


Рис. 22. Motion Service

Сохраните параметры настройки в файле стандартной процедурой: File-Save as..., или нажав на кнопку «Сохранить». При следующих включениях контроллера Вы сможете загрузить сохраненные параметры также стандартным способом.

#### *Порядок представления результатов*

Результаты проведенной работы по первоначальной настройке сервопреобразователя демонстрируются преподавателю непосредственно на занятии или, в случае отложенной проверки, предоставляются ему в виде файла настройки параметров сервопреобразователя.

## 2.2 Настройка рабочих циклов и входов/выходов преобразователя

*Цель работы:*

научиться создавать рабочие циклы движения двигателя.

*Порядок выполнения работы*

Преобразователь способен самостоятельно (без внешнего управления) выполнять несколько программ движения, состоящих из т.н. Motion Tasks (заданий на передвижение). Каждое задание устанавливается набором параметров, главным из которых является конечное положение, заданное в абсолютных или относительных (дистанция) единицах, рис. 23. Вызвать нужную программу на исполнение можно как по цифровому интерфейсу, так и активировав сигнал на дискретном входе (это зависит от настроек преобразователя).

Редактировать настройки заданий можно как в окне, показанном на рис. 23, так и во вспомогательном окне, рис. 24, которое открывается при двойном щелчке левой кнопкой мыши по соответствующей кнопке левого ряда таблицы. В последнем случае настройке подлежат параметры каждого отдельного шага программы.

В левом верхнем углу отображается номер редактируемого шага – Number. Ниже, в окне Trajectory/Profile, выбирается форма сигнала управления, в частности, trapezoidal означает трапециевидный – линейное ускорение до заданной скорости, затем линейное замедление до нулевой скорости.

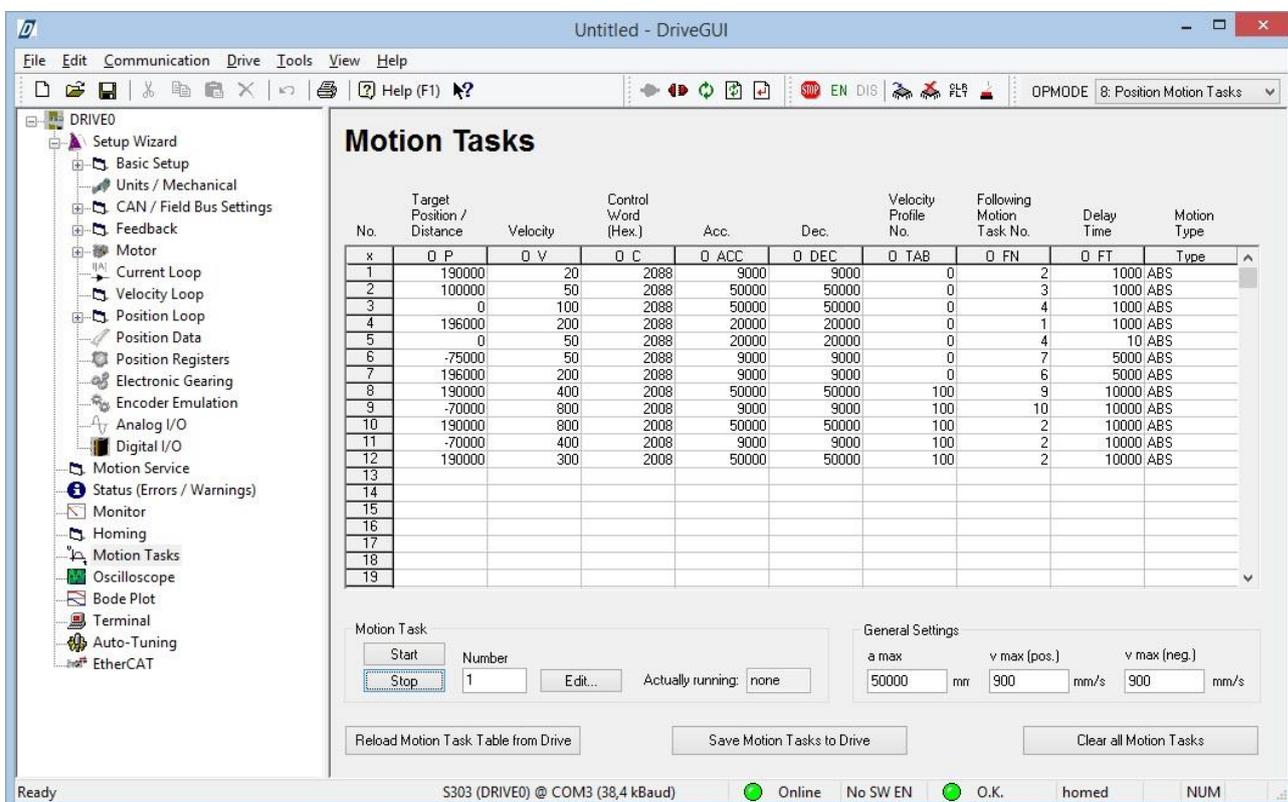


Рис. 23. Окно MotionTasks

Помимо этого задаются:

– скорость движения  $v\_cmd$ , а также значения ускорения при разгоне/торможении Acceleration/Deceleration;

– «тип движения» Motion Type: ABS – абсолютная система отсчета; REL INP OS – относительная система отсчета (отчет от текущего значения). Имеются и другие варианты;

– Target Position – определяет конечную позицию рабочего цикла (в выбранной системе отсчета). При абсолютной адресации конечное положение будет зависеть от смещения исходной позиции относительно точки отсчета Offset, задаваемой в разделе Homing;

– Next Motion Task – выбор этой функции означает, что после выполнения данного рабочего цикла привод автоматически перейдет на выполнение задания с номером, указанным в Next Number, при условиях, заданных в Start Condition;

– Start Condition – условие выполнения следующего рабочего цикла (immediately – немедленно, Start by I/O Edge – по сигналу дискретного входа I/O (начало движения произойдет по фронту импульса на дискретном входе, определенном в настройках входов/выходов), Delay Time – с задержкой по времени, I/O or Time – при выполнении одного из предыдущих условий).

После завершения редактирования рабочих циклов необходимо сохранить их в памяти контроллера, нажав на кнопку Save Motion Tasks to Drive.

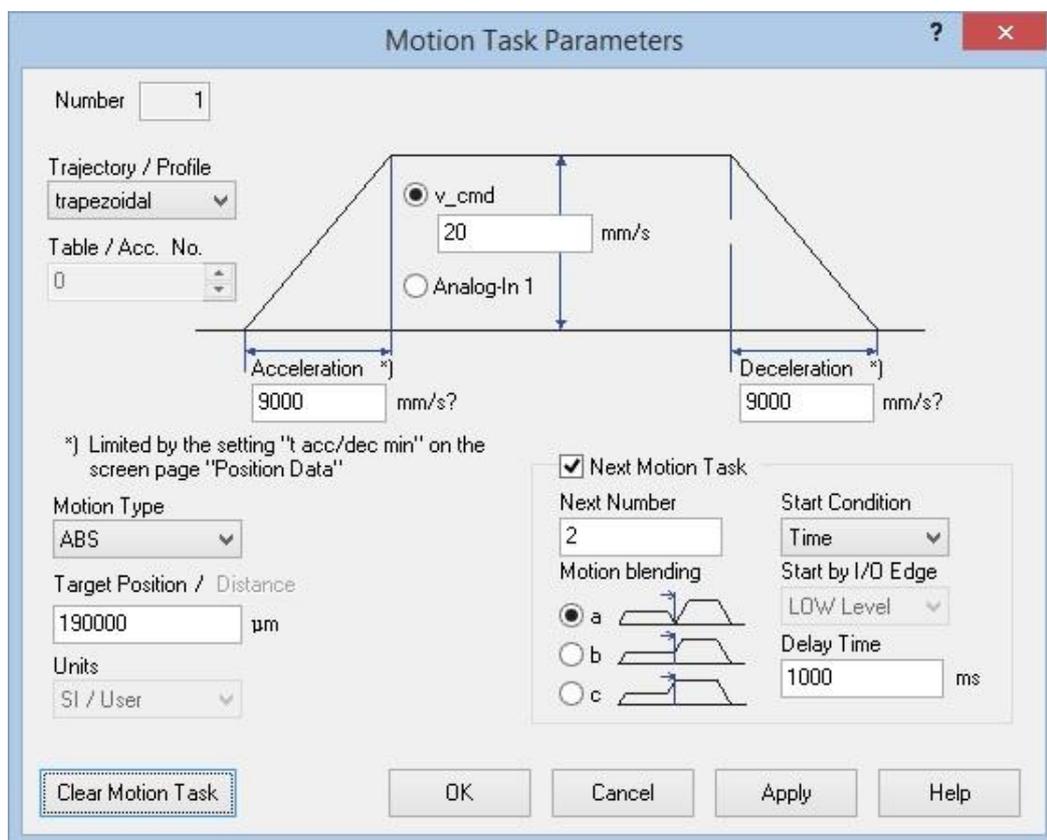


Рис. 24. Подпункт меню Motion Tasks Parameters

*Задание 1:* необходимо задать следующее движение привода. Рабочие задания должны идти друг за другом с задержкой по времени 1000мс. Форма сигнала управления – трапецевидная. Система измерения во всех рабочих циклах – абсолютная. Программа перемещений:

- 1) в позицию 190000 мкм на скорости 200 мм/с;
- 2) в позицию 100000 мкм на скорости 50 мм/с;
- 3) в позицию 0 мкм на скорости 100 мм/с;
- 4) в позицию 196000 мкм на скорости 200 мм/с.

Опробуйте программное движение, запустив выполнение заданий непосредственно из окна Motion Tasks.

Подключите кнопки SW2 и SW3 к первому и второму дискретным входам, а также программно определите эти входы таким образом, чтобы кнопка SW2 отвечала за запуск рабочего цикла, а кнопка SW3 – за остановку (с переводом привода в нулевое положение со скоростью 20 мм/с). Привязка функций к входам производится в окне Digital I/O, рис. 20. Используемая функция – 23: Start Motion Task No. x (Edge triggered). Номер задания заносится справа.

Опробуйте запуск и остановку программы движения кнопками, не забывая, что изменение настроек в данном случае требует не только записи их в преобразователь, но и его перезагрузки.

Подключите к дискретным выходам преобразователя сигнальные лампы HL1 и HL2. Общий провод ламп -24 В. Программно настройте и опробуйте (по очереди) срабатывание выходов для индикации следующих состояний/событий:

– текущая позиция привода больше заданной (6: Present Motor Position > x). В качестве заданной позиции можно использовать любую в пределах допустимых значений, например нулевую);

- сигнал разрешения на работу преобразователя (21: Drive Enabled);
- процедура инициализации выполнена (24: Drive Homed);
- направление движения (43: Motion Direction);
- статус сигнала STO (70: STO Status).

Некоторые сигналы требуют инверсии (выясните опытным путем).

*Задание 2:* введите в преобразователь следующую программу движения, табл. 2.

Таблица 2 – Программа движения

Абсолютная позиция, мкм	Скорость, мм/с
26160	65
70160	110
26160	110
65360	98
21360	110

Абсолютная позиция, мкм	Скорость, мм/с
56280	87
30120	65
56280	65
30120	65
74120	110
30120	110
76736	117
18000	147
174984	131
122656	131
152024	73
122656	73
169272	117
122656	117
166656	110
127456	98
162376	87
136216	65
180216	110
136216	110
175416	98
131416	110
26656	87

Для всех шагов программы установите ускорение при увеличении и уменьшении скорости  $9000 \text{ мм/с}^2$ . Для всех шагов, кроме последнего, задайте немедленный (immediate) переход на следующий шаг.

Запишите программу в преобразователь, нажав кнопку «Save Motion Tasks To Drive». Выполните процедуру Homing (автоматически она запускается после снятия и повторной подачи сигнала Enable, вручную – в соответствующем окне). Запустите программу на выполнение, выбрав номер ее первого шага и нажав на кнопку Start в окне Motion Tasks.

### *Порядок представления результатов*

Результаты проведенной работы по настройке рабочих циклов сервопреобразователя демонстрируются преподавателю непосредственно на занятии или, в случае отложенной проверки, предоставляются ему в виде файлов настройки параметров сервопреобразователя.

### 3 ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД «СЕРВОПРИВОД И СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ»

#### 3.1 Общий вид

Стенд [2] предназначен исследования систем управления синхронными электроприводами на основе двигателей с постоянными магнитами и сервопреобразователей фирмы Delta Electronics. Общий вид стенда показан на рис. 25.

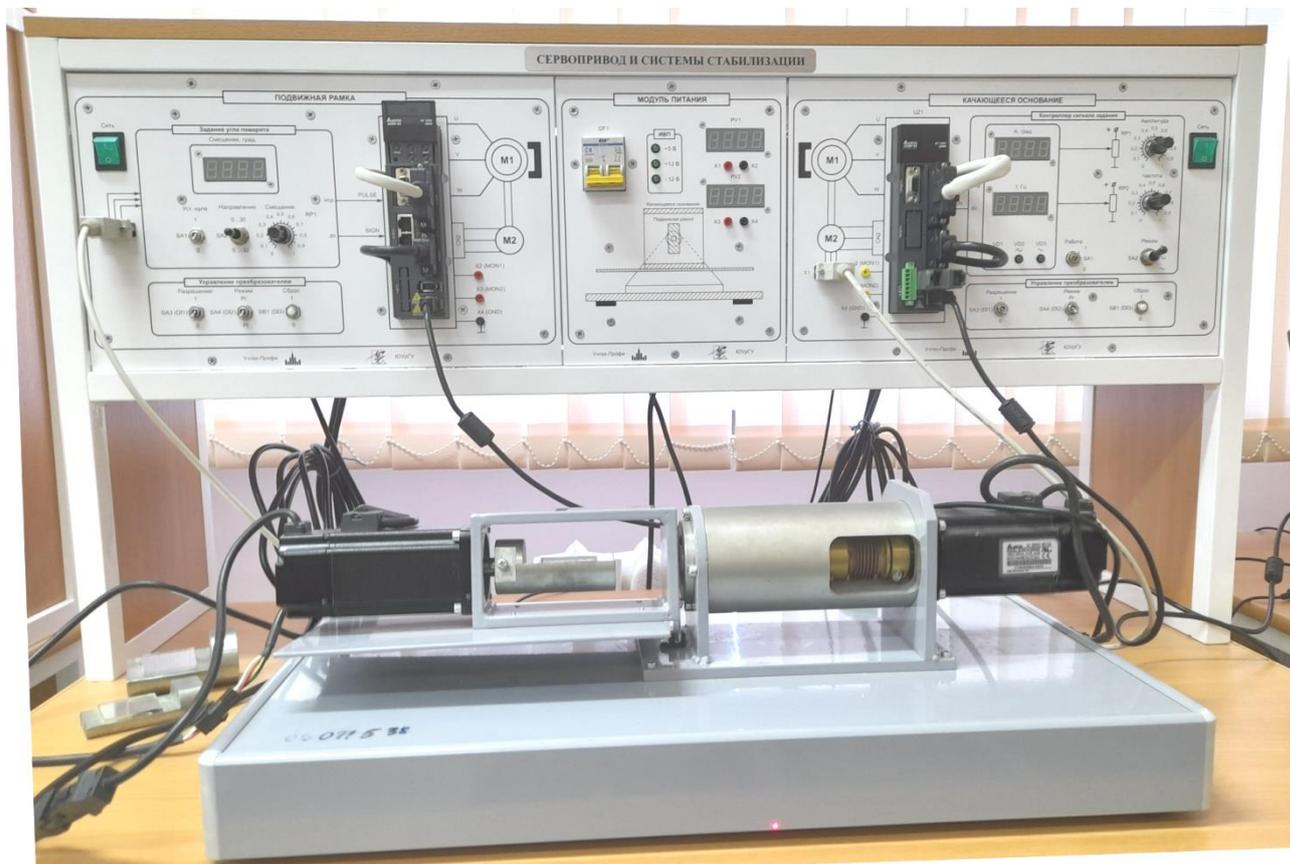


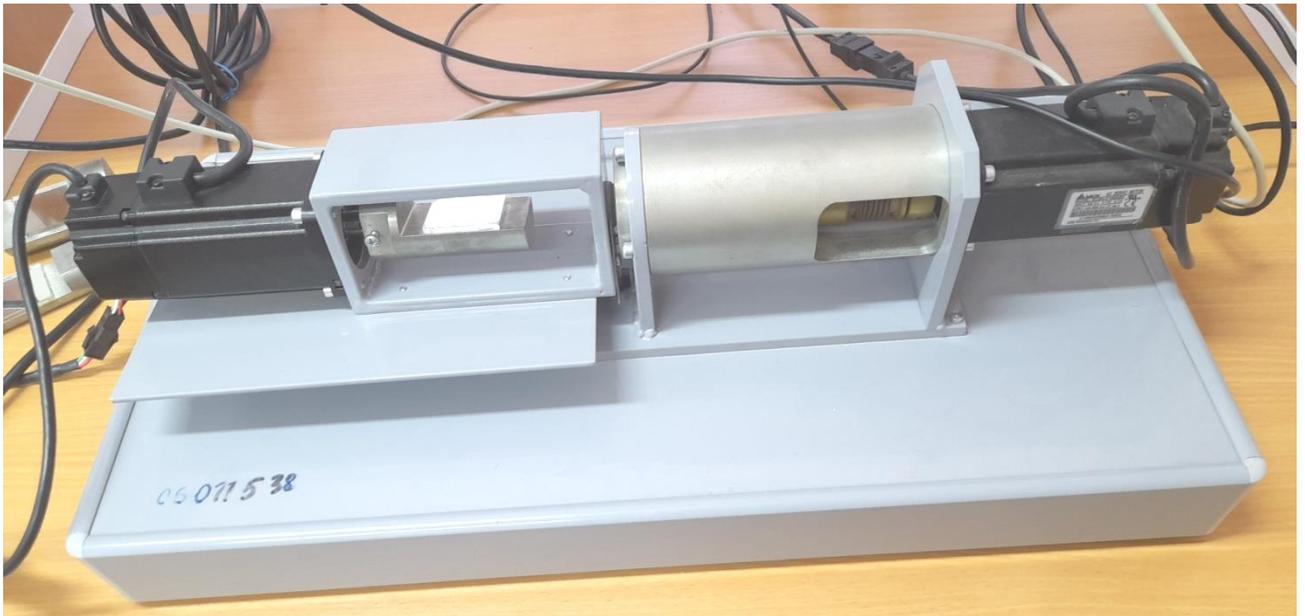
Рис. 25. Стенд «Сервоприводы и системы стабилизации»

Лабораторный стенд оборудован электромеханическим блоком, с помощью которого моделируется система «Качающееся основание – подвижная рамка». Блок позволяет настроить систему стабилизации положения подвижной рамки с помощью противофазной компенсации возмущающего воздействия – качания основания. Внешний вид электромеханического блока показан на рис. 26.

*Электромеханический блок* состоит из следующих основных элементов:

- массивное основание, на котором смонтировано все остальное оборудование;

- подшипниковый узел, на котором установлено качающееся основание и приводной электродвигатель со встроенным импульсным датчиком положения вала. Электродвигатель соединяется с качающимся основанием посредством муфты;



*Рис. 26. Электромеханический блок*

- качающееся основание, представляющую собой жесткую рамку с горизонтальным листом в нижней части. На одной линии с осью вращения качающегося основания на нем закреплен электродвигатель подвижной рамки;
- подвижная рамка представляет собой металлический элемент с прикрепленным к нему зеркалом. Приводится в движение отдельным двигателем;
- на основании электромеханического блока установлен оптический щелевой датчик, предназначенный для начального позиционирования качающегося основания.

Качающееся основание рассчитано на периодические колебания с амплитудой не более 15 градусов (на этом угловом расстоянии сделаны прорезы в кодовой маске датчика начального положения). Рабочий диапазон амплитуды колебаний составляет  $\pm 10$  градусов. Электродвигатель, приводящий в движение качающееся основание, должен быть запитан от сервопреобразователя моноблока «Качающееся основание», а электродвигатель, приводящий в движение подвижную рамку, должен быть запитан от сервопреобразователя моноблока «Подвижная рамка». На подвижной рамке закреплено зеркало, предназначенное для визуального контроля ошибки позиционирования.

Система визуального контроля ошибки заключается в следующем:

- на некотором расстоянии от стенда в вертикальном положении устанавливается экран с нанесенной на него разметкой (рис. 27);
- дополнительно на отдельном штативе закрепляется лазерный целеуказатель (рис. 27), луч которого направляется в центр зеркала таким образом, чтобы отраженный луч падал на экран;
- при движении рамки в пространстве отраженный луч будет совершать перемещение по экрану, при этом с помощью разметки можно количественно оценить абсолютную погрешность стабилизации;



Рис. 27. Элементы системы контроля ошибки слежения

*Модуль питания* предназначен для питания стенда, преобразования сетевого напряжения в напряжение вторичного питания, защиты стенда от коротких замыканий и распределения силового и вторичного напряжения по элементам стенда. Внешний вид модуля представлен на рис. 28.

На лицевой панели модуля расположены:

- двухполюсный автоматический выключатель QF1 220В-6А, осуществляющий коммутацию силовых цепей стенда и обеспечивающий его защиту от коротких замыканий;

- два цифровых измерителя напряжения постоянного тока PV1, PV2 с клеммами для подключения сигналов X1, X2 и X3, X4 соответственно. Измерители предназначены для измерения сигналов постоянного тока напряжением  $\pm 10\text{В}$ .



Рис. 28. Модуль питания

Модуль «Подвижная рамка» предназначен для управления электродвигателем, приводящим в движение подвижную рамку электромеханического блока. Внешний вид модуля представлен на рис. 29.

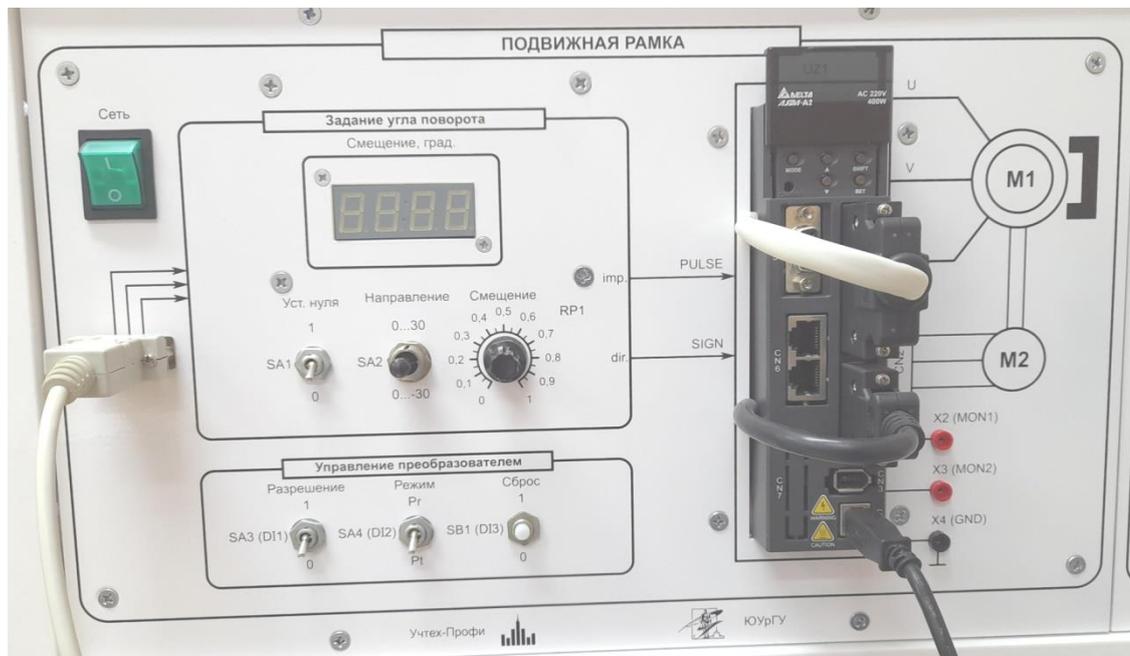


Рис. 29. Модуль «Подвижная рамка»

Модуль содержит сервопреобразователь переменного тока Delta ASD-A20421, предназначенный для управления электродвигателем привода подвижной рамки. На лицевую панель моноблока вынесены следующие элементы:

- лицевая панель сервопреобразователя Delta ASD-A2-0421, к которой подключены соответствующие специальные кабели импульсного датчика положения и периферийных устройств;

- выключатель «Сеть», предназначенный для подачи силового напряжения 220В на сервопреобразователь. Во включенном состоянии и при наличии напряжения кнопка переключателя светится;

- блок управления сервопреобразователем, содержащий следующие элементы:

- переключатель SA3 «Разрешение», подключенный к дискретному входу DI1 преобразователя. При соответствующей инициализации дискретного входа выполняет функцию включения силового инвертора;

- переключатель SA4 «Pr/Pt», подключенный к дискретному входу DI2 преобразователя. При соответствующей инициализации дискретного входа выполняет функцию переключения режимов работы преобразователя (Pr – позиционный режим, Pt – следящий режим);

- кнопку без фиксации SB1 «Сброс», подключенную к дискретному входу DI3 сервопреобразователя. При соответствующей инициализации дискретного входа выполняет функцию импульсной команды поиска начального положения;

- мнемосхема источника сигнала задания сервопреобразователя. Содержит следующие элементы:

- переключатель SA1 «Уст. Нуля», при включении которого система управления не реагирует на входные воздействия и активирует режим ручной установки начального положения;

- переключатель SA2 «Направление», предназначенный для выбора направления сдвига рамки относительно начального положения;

- потенциометр RP1 «Смещение», предназначенный для ручного задания смещения по часовой или против часовой стрелки в диапазоне 0... 30 градусов с дискретностью 1 градус;

- цифровой индикатор угла смещения рамки относительно начального положения;

- разъем X1, на который заводятся импульсы сигнала задания на перемещение подвижной рамки (в нашем случае это канал уровня TTL, разрешение 100 000 имп/оборот, импульсы А и В, смещенные относительно друг друга на 90 градусов).

- клеммы аналоговых выходов сервопреобразователя X2 (выход MON1) и X3 (выход MON2).

*Модуль «Качающееся основание»* предназначен для управления электродвигателем, приводящим в движение качающееся основание электромеханического блока. Внешний вид модуля представлен на рис. 30.

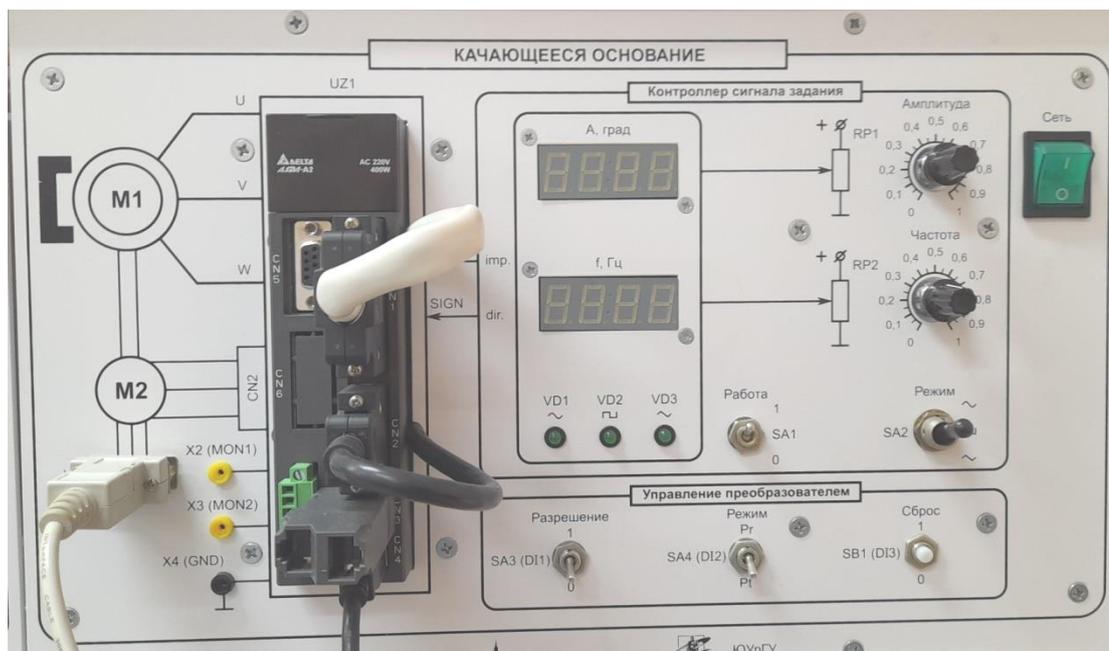


Рис. 30. Модуль «Качающееся основание»

Модуль содержит сервопреобразователь переменного тока Delta ASD-A2-0421.

На лицевую панель моноблока вынесены следующие элементы:

- лицевая панель сервопреобразователя Delta ASD-A2-0421, к которой подключены соответствующие специальные кабели импульсного датчика положения и периферийных устройств;

- выключатель «Сеть», предназначенный для подачи силового напряжения 220В на сервопреобразователь. Во включенном состоянии и при наличии напряжения кнопка переключателя светится;

- блок управления сервопреобразователем, содержащий следующие элементы:

- переключатель SA3 «Разрешение», подключенный к дискретному входу DI1 преобразователя. При соответствующей инициализации дискретного входа выполняет функцию включения силового инвертора;

- переключатель SA4 «Pr/Pt», подключенный к дискретному входу DI2 преобразователя. При соответствующей инициализации дискретного входа выполняет функцию переключения режимов работы преобразователя (Pr – режим позиционирования, Pt – следящий режим);

- кнопку без фиксации SB1 «Сброс», подключенную к дискретному входу DI3 сервопреобразователя. При соответствующей инициализации дискретного входа выполняет функцию импульсной команды поиска начального положения;

- мнемосхема источника сигнала задания сервопреобразователя – контроллер сигнала задания. Содержит следующие элементы:

- потенциометры RP1 и RP2 задания амплитуды и частоты колебаний качающегося основания;

- цифровые индикаторы текущей амплитуды и частоты сигнала задания;
- переключатель SA1 «Работа», с помощью которого осуществляется включение контроллера сигнала задания;
- переключатель SA2 «Режим», с помощью которого осуществляется выбор формы колебаний качающегося основания: прямоугольная, синусоидальная, треугольная;
- светодиоды индикации выбранной формы колебаний качающегося основания VD1 «синус», VD2 «прямоугольник», VD3 «треугольник»;
- клеммы аналоговых выходов сервопреобразователя X2 (выход MON1) и X3 (выход MON2);
- разъем X1 выходного сигнала импульсного датчика положения электродвигателя, прошедшего через электронный редуктор импульсов сервопреобразователя (электронный энкодер).

### **3.2 Серводвигатели**

Технические характеристики электродвигателя ЕСМА-С1-0604ES [8]:

- тип – синхронный с постоянными магнитами на роторе;
- номинальная мощность – 400 Вт;
- номинальное напряжение – 110 В;
- номинальный ток – 1,6 А;
- номинальная скорость – 3000 об/мин;
- датчик положения – инкрементный, 1 280 000 имп/оборот.

### **3.3 Сервопреобразователи**

Технические характеристики сервопреобразователя ASD-A2-04210 [9]:

- номинальная мощность – 400 Вт;
- номинальное напряжение электропитания – 220В, 50Гц однофазное;
- количество аналоговых входов – 2;
- количество аналоговых выходов – 2;
- количество дискретных входов – 8;
- количество дискретных выходов – 5;
- входы для подключения внешнего задающего энкодера;
- коммуникационные интерфейсы – RS-232, RS-485, CAN;
- поддерживаемые протоколы – MODBUS ASCII, MODBUS RTU, CANopen;
- интерфейс соединения с персональным компьютером – USB;
- поддерживаемые режимы работы – регулирование скорости, регулирование момента, следящий режим, режим позиционирования, смешанные режимы.

На рис. 31 показана структурная схема сервопреобразователя.

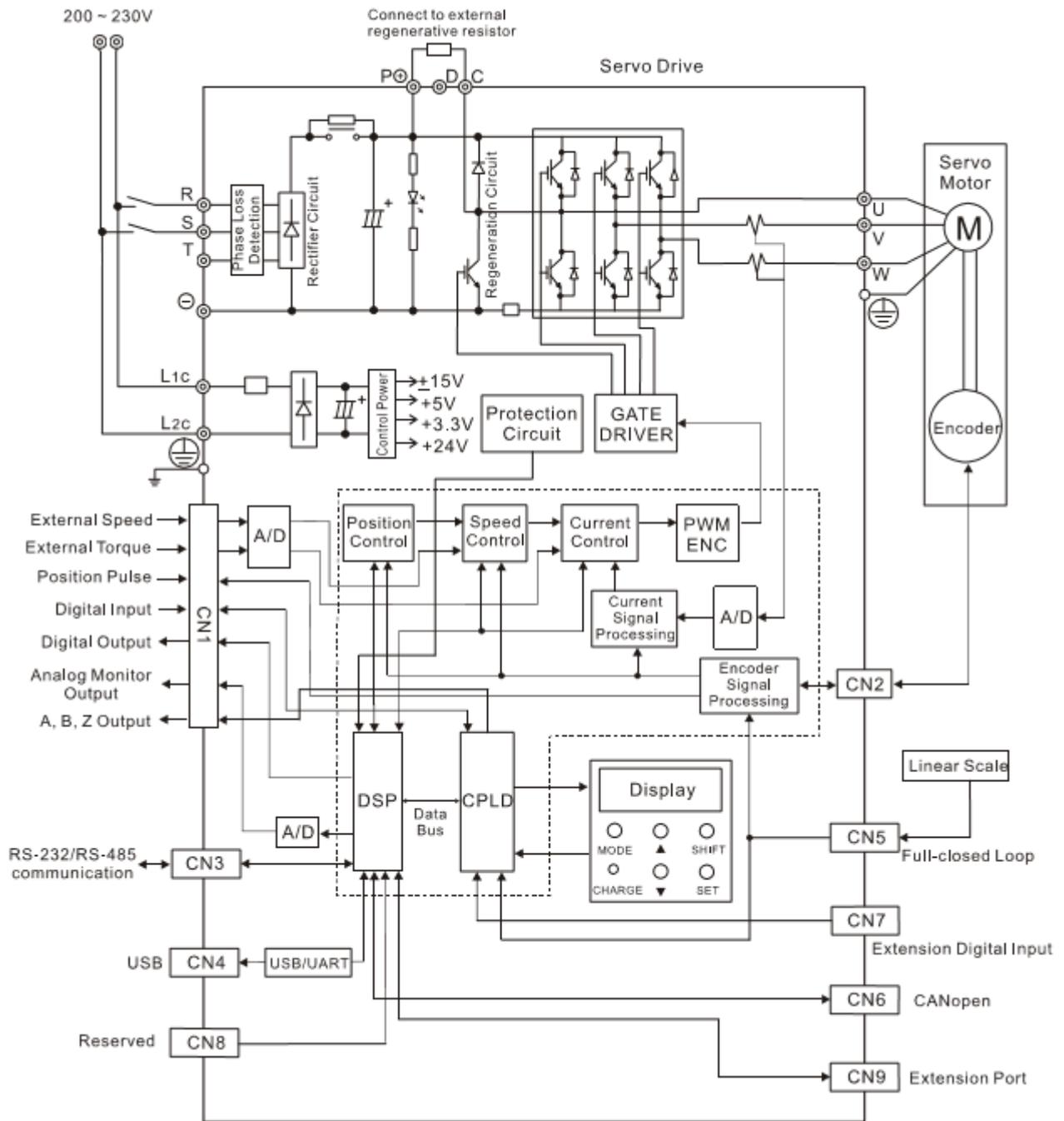


Рис. 31. Схема соединений сервопреобразователя

Силовая часть сервопреобразователя построена по классической схеме и включает выпрямитель, звено постоянного тока и инвертор, состоящий из шести управляемых ключей (транзисторов, снабженных обратными диодами). Звено постоянного тока включает цепь торможения (Regeneration Circuit) с внутренним тормозным резистором и возможностью подключения внешнего тормозного резистора (external regenerative resistor). На этих резисторах рассеивается энергия, генерируемая двигателем в режиме торможения (внешний резистор позволяет это делать более эффективно за счет увеличенных габаритов и улучшенного охлаждения).

Управление силовыми ключами инвертора и ключом цепи торможения осуществляет модуль GATE DRIVER (драйвер управления затворами транзисторов), который, в свою очередь, получает сигналы от модуля широтно-импульсной модуляции PWM (Pulse Width Modulation).

Модуль PWM является исполнительным элементом трехконтурной системы регулирования положения привода.

Внутренний контур – это контур регулирования тока с регулятором Current Control и обратной связью по току, включающей вычислитель тока Current Signal Processing, обрабатывающего сигнал АЦП A/D, непосредственно измеряющего тока двух фаз двигателя.

Внешний, по отношению контуру тока, контур скорости с регулятором Speed Control, получает сигнал обратной связи от энкодера, встроенного в двигатель, через разъем CN2, который обрабатывается модулем Encoder Signal Processing.

Задание регулятору скорости дает регулятор положения Position Control (контур регулирования положения). Обратная связь по положению также формируется с помощью энкодера.

Важно отметить, что в различных режимах работы сервопреобразователя задействуются разные контуры регулирования. Так в режиме позиционирования задействованы все три контура, а режиме регулирования скорости – только контуры регулирования скорости и тока.

Общее управление системой осуществляется процессором DSP (digital signal processor) при помощи программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС, CPLD – Complex Programmable Logic Device), которая отвечает, в частности, за обслуживание встроенного пульта управления (Display).

Основную часть информации система управления сервопреобразователем получает и выдает через разъем CN1:

- аналоговые сигналы задания по скорости и моменту (External Speed и External Torque, диапазон  $-10\dots+10\text{В}$ ). Тип задания определяется режимом работы;

- импульсные входы задания положения для подключения внешнего задающего энкодера (Position Pulse, «обычные» – до 200кГц или 500кГц в зависимости от типа и «высокоскоростные» – до 4МГц);

- дискретные входы (Digital Input, 8 входов с напряжением питания 24 В с использованием внутреннего или внешнего источника питания, могут быть настроены на подачу различных команд преобразователю);

- дискретные выходы (Digital Output, 5 выходов типа «открытый коллектор», напряжение 24 В, могут быть настроены на оповещение о наступлении различных событий);

- аналоговые выходы (Analog Monitor Output, 2 выхода, диапазон от  $-8$  В до 8 В, могут быть настроены для вывода различных параметров работы привода);

– выход энкодера (A, B, Z – Output, для передачи сигнала о текущем положении привода внешним устройствам).

Разъем CN2 предназначен исключительно для подключения энкодера двигателя и служит основным источником обратной связи по его положению.

Разъем CN3 предназначен для организации связи по интерфейсам RS 232 и RS 485 с внешними устройствами, например, ПЛК по протоколу Modbus.

Разъем CN4 используется в стенде для подключения преобразователя к персональному компьютеру. Для установки соединения требуется, чтобы на компьютере был установлен виртуальный последовательный порт (например, COM3), привязанный к USB-порту, и специальное программное обеспечение Delta ASDA Soft, предназначенное для работы с преобразователем. Поскольку виртуальный порт имеется в единственном экземпляре, в каждый момент времени имеется возможность организовать связь только с одним из преобразователей.

Через разъем CN5 к сервопреобразователю подключается измеритель положения рабочего органа механизма (а не самого двигателя), и тем самым организуется «настоящая» обратная связь по положению, «полностью замкнутый контур» (Full closed loop) регулирования положения. В стенде данная возможность не используется.

Разъем CN6 предназначен для подключения внешних устройств по протоколу CANopen. Интерфейс может быть задействован как для чтения, так и для записи параметров преобразователя.

Разъем CN7 (Extension Digital Input) позволяет увеличить количество дискретных входов преобразователя до 14 (появляются дополнительно 6 входов), что может потребоваться в некоторых применениях.

Разъемы для подключения силовых цепей размещены на верхней и нижней крышках корпуса преобразователя и на стенде не доступны.

Разъемы CN1 – CN7 выведены на лицевую панель и показаны на рис. 33.

Помимо разъемов на лицевой панели располагается цифровая панель, которая включает в себя цифровой 7-сегментный индикатор и функциональные кнопки. На рис. 32 показано расположение и назначение индикатора и клавиш панели.

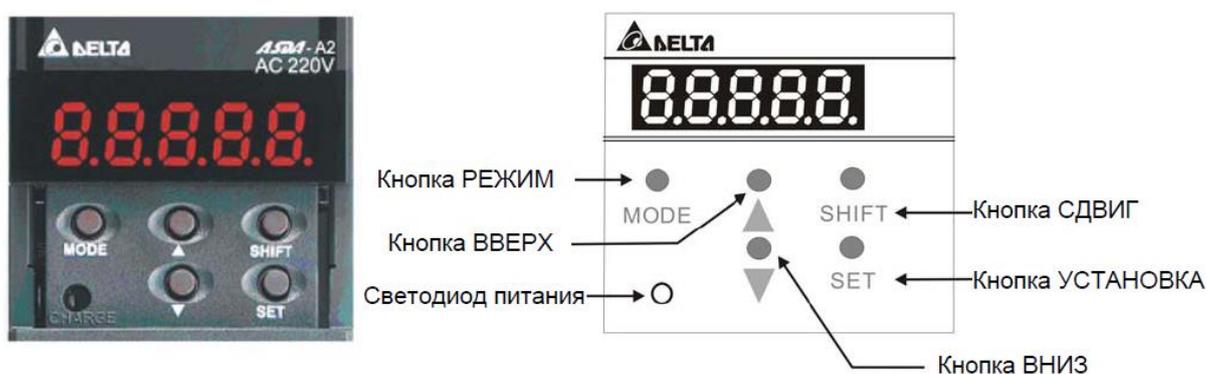


Рис. 32. Назначение элементов цифровой панели



Рис. 33. Назначение элементов лицевой панели

Назначение элементов лицевой панели показано в табл. 3.

Таблица 3. Назначение элементов цифровой панели

Элемент	Назначение
ЖК-индикатор	5-разрядный 7-сегментный LED-индикатор предназначен для вывода номеров параметров, значений параметров, индикации режима и состояния привода.
Светодиод питания	Индикация наличия силового питания привода.
Кнопка «MODE»	Переключение режимов состояния и программирования.
Кнопка «SHIFT»	Переключение номера групп параметров. Переключение разряда при установке значения выбранного параметра. Разряд, выбранный для изменения, будет мигать.
Кнопки «UP» и «DOWN»	Кнопками «Вверх» и «Вниз» устанавливается номер параметра в группе параметров, а также его значение.
Кнопка «SET»	Клавиша сохранения значения параметров, перехода из группы на номер параметра. В режиме мониторинга нажатие кнопки «SET» переключает десятичный и шестнадцатиричный режимы индикации. В режиме параметров нажатие кнопки «SET» вводит в режим настройки параметров. В режиме диагностики нажатие кнопки «SET» позволяет выполнить функцию в последнем шаге. (Изменения параметра вступает в действие только после нажатия кнопки «SET».)

Последовательность действий при работе с цифровой панелью показана на рис. 34:

1. При подаче питания на сервопривод, индикатор в течение одной секунды показывает код индицируемого состояния, затем автоматически переходит в режим индикации состояния.

2. Переход из режима индикации состояния в режим просмотра и настройки параметров и обратно осуществляется клавишей «MODE».

3. Независимо от режима индикации при возникновении сбоя система мгновенно переходит в режим индикации ошибок, выйти из которого можно с помощью кнопки «MODE». В других режимах, если не нажимать никакие кнопки в течение 20 секунд, система автоматически вернется в режим индикации ошибок.

4. Нажатием кнопок «UP» или «DOWN» в режиме индикации состояния можно переключать тип индикации состояния привода. После нажатия на кнопку код индикации высвечивается на индикаторе в течение одной секунды.

5. Переход из режима индикации состояния в режим просмотра и настройки параметров осуществляется клавишей «MODE», дальнейшее нажатие кнопки «SHIFT» переключает номер группы параметров, нажатием кнопок «UP» или «DOWN» производится выбор номера параметра в выбранной группе параметров.

6. В режиме программирования параметров просмотр значения происходит после нажатия на кнопку «SET». Значение можно изменять нажатием клавиш «UP» или «DOWN». Для выхода из режима просмотра значения параметра необходимо нажать «MODE».

7. В режиме изменения значения параметра можно воспользоваться клавишей «SHIFT» для перемещения разряда изменяемого значения (текущий разряд мигает).

8. Для запоминания измененного значения параметра необходимо нажать кнопку «SET».

9. Если значение параметров введено правильно, на индикаторе в течение одной секунды высветится «SAVED», после чего произойдет возврат в режим индикации параметров.

В табл. 4 показаны сообщения при сохранении параметров после нажатия на кнопку «SET».

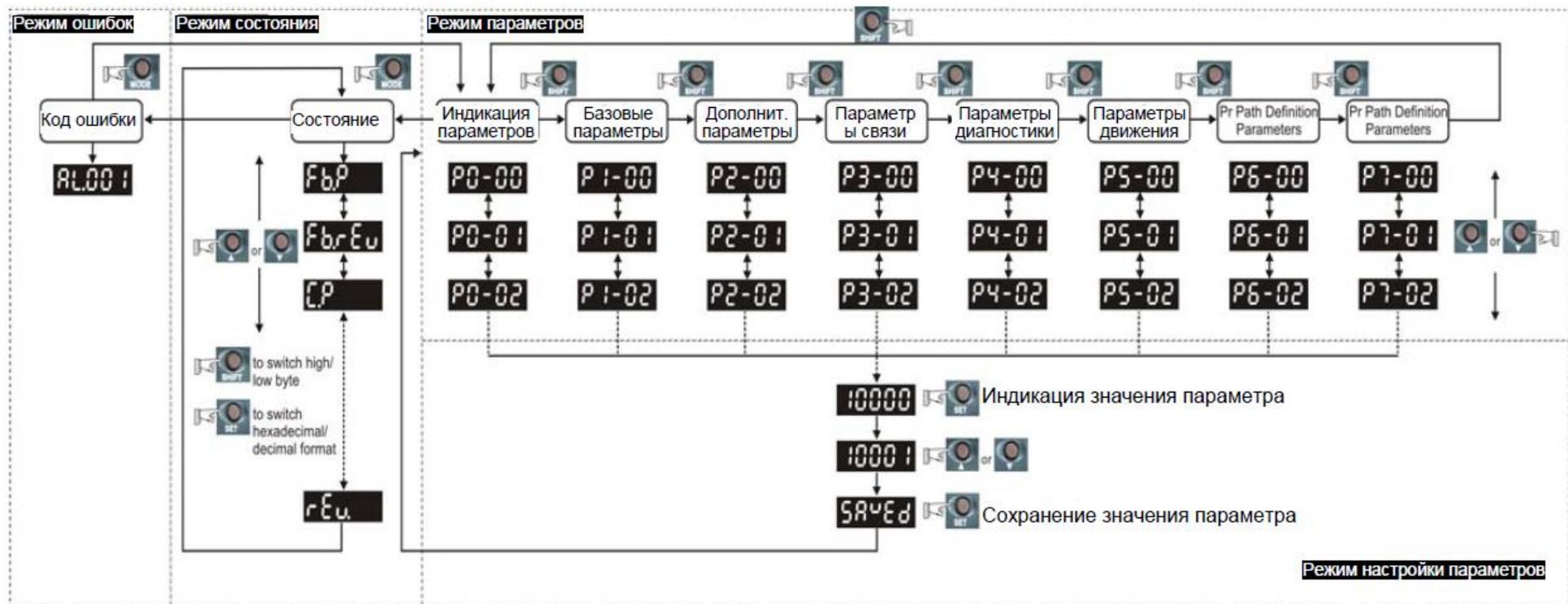


Рис. 34. Последовательность действий при работе с цифровой панелью

Таблица 4. Сообщения при сохранении параметров

Сообщение на индикаторе	Описание
	Сохраненное значение введено правильно. [Saved)
	Значение только для чтения и не может быть изменено. (Read-Only)
	Неправильный пароль или пароль не был введен. (Locked)
	Неверное значение параметра. (Out of Range)
	Невозможность изменения параметра при работающем приводе. (Servo On)
	Новое значение параметра будет действовать после перезапуска привода. (Power On)

Таблицы 5-7 показывают форматы индикации десятичных точек, ошибок и чисел.

Таблица 5. Индикация десятичных точек

Сообщение на индикаторе	Описание
	<p>Индикация старшего/младшего байтов. Когда отображаются данные в десятичном 32-битном формате, эти два разряда используются для индикации старшего и младшего байтов.</p> <p>Индикация отрицательных значений. Когда отображаются данные в десятичном формате, два левых разряда используются для индикации отрицательного знака числа в 16-ти или 32-битном формате. Если данные отображаются в шестнадцатеричном формате, знак «-» не индицируется.</p>

Таблица 6. Индикация ошибок

Сообщение на индикаторе	Описание
	<p>При возникновении ошибки в работе привода на индикаторе высвечивается соответствующее сообщение - "ALnnn". "AL" – означает предупреждение и "nnn" - номер ошибки.</p> <p>Посмотреть список ошибок можно в P0-01 в разделе 8 или в разделе 11.</p>

Таблица 7. Индикация положительных и отрицательных чисел

Сообщение на индикаторе	Описание
	<p>В режиме изменения значения параметров клавишами «UP» и «DOWN» можно увеличивать или уменьшать значение. Клавиша «SHIFT» используется для сдвига изменяемого разряда – выбранный для изменения разряд будет мигать.</p>
	<p>Для обозначения отрицательных значений числа, состоящего более чем из четырех цифр, используются десятичные точки. Для этого после ввода числового значения необходимо нажать несколько раз клавишу «SHIFT»</p>

При подаче питания на привод, индикатор в течение одной секунды высвечивает тип индицируемого состояния (табл. 8), а затем переключается на индикацию значения этого состояния. Тип индицируемого состояния может быть изменен нажатием клавиш «UP» или «DOWN». Тип индицируемого состояния при включении определяется в параметре P0-02. Например, при P0-02 = 4 после подачи питания на индикаторе на одну секунду высветится «C-PLS», а затем индикация переключится на количество поступающих входных импульсов.

Таблица 8. Индикация состояния привода (основные варианты)

P0-02	Сообщение на индикаторе	Описание	Единицы
0	<b>FbPuu</b>	Количество импульсов энкодера двигателя (после электр. редуктора)	[польз. ед.]
1	<b>C-Puu</b>	Количество входных (заданных) импульсов (после электр. редуктора)	[польз. ед.]
2	<b>ErPuu</b>	Количество импульсов ошибки (разница входных импульсов и импульсов энкодера)	[польз. ед.]
3	<b>FbPLS</b>	Количество импульсов энкодера двигателя (1280000 имп/об)	[импульсы]
4	<b>C-PLS</b>	Количество входных (заданных) импульсов (до электр. редуктора)	[импульсы]
5	<b>ErPLS</b>	Количество импульсов ошибки позиционирования	[импульсы]
6	<b>CP-Fr</b>	Частота входных (задающих) импульсов	[кГц]
7	<b>SPEED</b>	Скорость вращения двигателя	[об/мин]
8	<b>CSPd1</b>	Входная команда скорости	[Вольт]
9	<b>CSPd2</b>	Входная команда скорости	[об/мин]
10	<b>C-t91</b>	Входная команда момента	[Вольт]
11	<b>C-t92</b>	Входная команда момента	[%]

В табл. 9 приведены примеры индицируемых значений.

Таблица 9. Примеры индицируемых значений

Сообщение на индикаторе	Описание	
<b>0 1234</b> (Dec.)	16-bit данные	Десятичный дисплей. Действительное значение 1234 отображается как 01234.
<b>1234</b> (Hex.)		Шестнадцатеричный дисплей. Действительное значение 0x1234 отображается как 1234.
<b>1234.5</b> (Dec. High Byte) <b>67890</b> (Dec. Low Byte)	32-bit данные	Десятичный дисплей. Действительное значение 1234567890 отображается как 1234.5 в старшем байте и 67890 в младшем байте.
<b>h 1234</b> (Hex. High Byte) <b>L5678</b> (Hex. Low Byte)		Шестнадцатеричный дисплей. Действительное значение 0x12345678 отображается как h1234 в старшем байте и L5678 в младшем байте.
<b>1.2.34.5</b>	Отрицательное индицируемое значение «-12345». Действительно значение -12345 отображается как 1.2.345.	

Коды последних пяти ошибок хранятся в параметрах P4-00...P4-04, рис. 35.

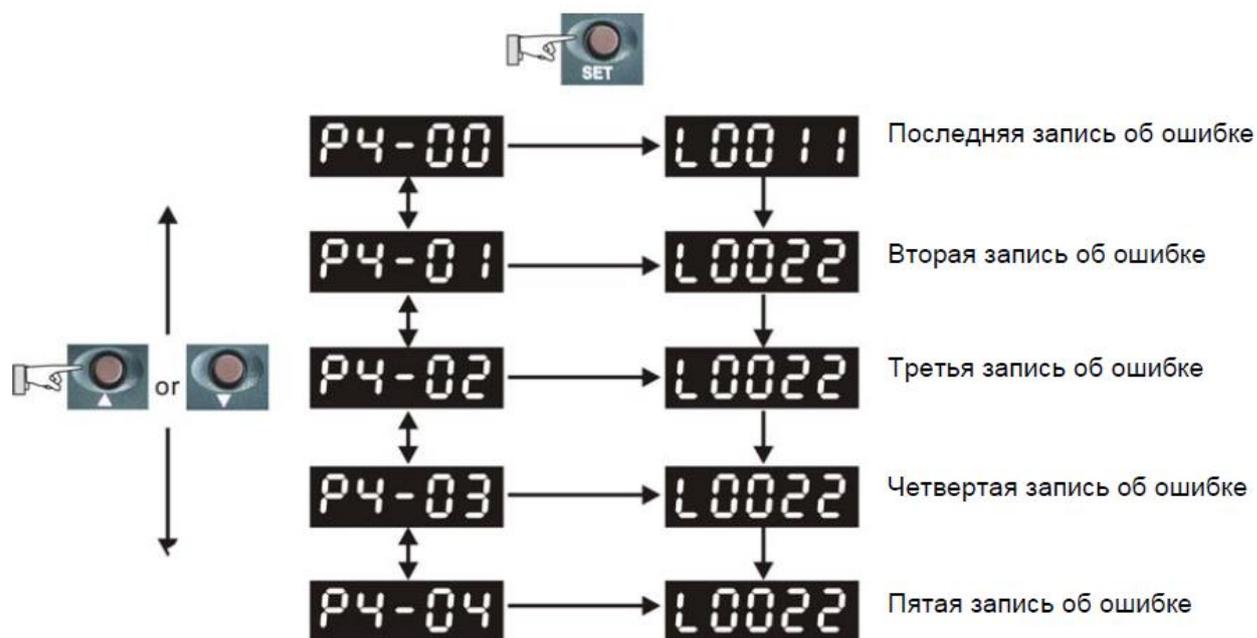


Рис. 35. Последовательность действий при работе с цифровой панелью

Используя параметр P4-05 можно с панели привода осуществить пуск привода (JOG-функция), рис. 36:

– нажать кнопку «SET» для индикации скорости в режиме JOG (заводская настройка 20 об/мин);

– нажатием кнопок «UP» или «DOWN» увеличить или уменьшить значение скорости JOG. Кнопку «SHIFT» можно использовать для перемещения изменяемого разряда. В примере, показанном на рис. 36, устанавливается скорость 100 об/мин;

- нажать кнопку «SET» после задания скорости. На дисплее появится сообщение "JOG";
- нажатием клавиш «UP» или «DOWN» запустить двигатель в прямом (CCW) или обратном (CW) вращении. Вращение осуществляется при нажатой клавише;
- для изменения скорости JOG необходимо нажать «MODE».

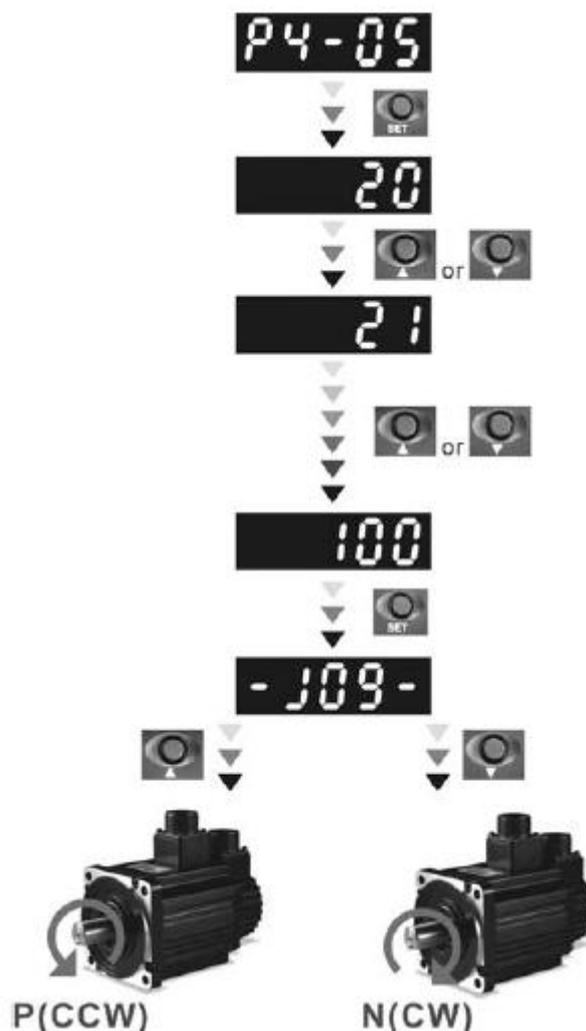


Рис. 36. Последовательность действий в режиме JOG

Для принудительного управления состоянием дискретных выходов в целях диагностики можно воспользоваться параметрами P2-08 и P4-06. Сначала установите P2-08 = 406 для разрешения функции принудительного управления выходами, и затем, используя P4-06, активируйте выходы, как показано на рис. 37. Когда P4-06 = 2, выход D02 - включен. Когда P4-06 = 5, выходы D01 и D03 - включены. Значение параметра P4-06 не сохраняется в памяти при выключении питания привода. Если P2-08 = 400, привод выйдет из режима принудительного управления выходами и вернется в нормальный режим работы.

Функция и статус дискретных выходов определяются параметрами P2-18 ... P2-22. Функции принудительного управления выходами возможна только в состоянии «Servo On» (т.е. когда разрешена работа привода).

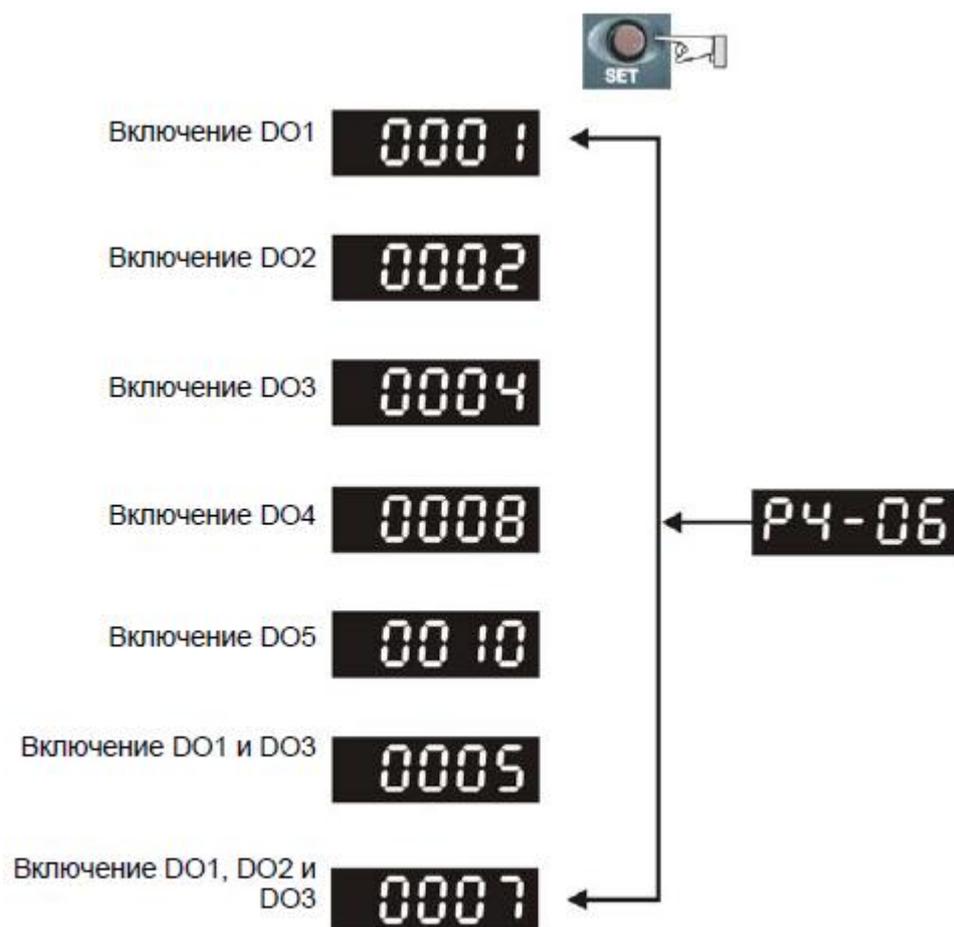


Рис. 37. Управление дискретными выходами

Используя параметр P4-07, как показано на рис. 38, можно контролировать состояние дискретных входов сервопреобразователя. Состояние (ON/OFF) входов DI1 ... DI16, передается соответствующим числом в hex-формате, при переводе которого в двоичный формат «1» обозначает включенное состояние (ON).

Например, значение "3FE1" параметра P4-07, в двоичном виде соответствует "11 1111 1110 0001", которое означает, что входы DI1, DI6 ... DI14 включены (ON).

Используя параметр P4-09, как показано на рис. 39, можно контролировать состояние дискретных выходов привода. Состояние (ON/OFF) входов D01 ... D05, передается соответствующим числом в hex-формате, при переводе которого в двоичный формат «1» обозначает включенное состояние (ON).

Например, значение "1F" параметра P4-09 в двоичном виде соответствует "1 1111" которое означает, что выходы D01 ~ D05 включены (ON).



Рис. 38. Контроль состояния дискретных входов

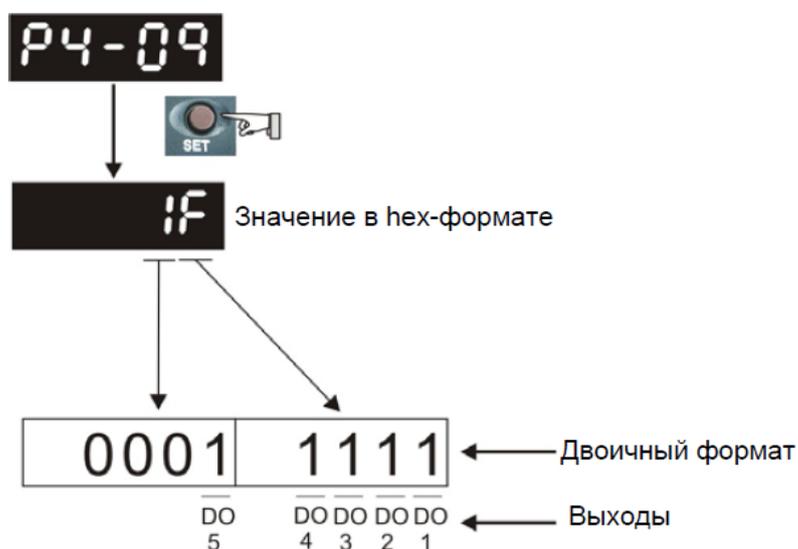


Рис. 39. Контроль состояния дискретных выходов

## 4 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ НА СТЕНДЕ «СЕРВОПРИВОД И СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ»

### 4.1 Изучение элементов управления сервопреобразователем. Настройка и исследование режима регулирования скорости

#### *Цель работы:*

получение навыков настройки сервопреобразователя ASD-A2 с помощью программного обеспечения ASDA-Soft, инициализации и настройки режима регулирования скорости, снятия статических и динамических характеристики системы.

#### *Программа работы*

Сервопривод ASD-A2 в комплекте с электродвигателем ЕСМА-С10604ES представляет собой систему, работающую в режимах регулирования скорости, крутящего момента, а также в серворежимах (позиционном или следящем). В данной работе с помощью программного обеспечения ASDA-Soft производится настройка сервопреобразователя в режиме регулирования скорости вращения двигателя в замкнутой системе. Лабораторный стенд содержит два одинаковых сервопреобразователя, один из которых управляет электродвигателем качающегося основания, а другой – электродвигателем подвижной рамки. Поскольку механическая часть электропривода качающегося основания не может совершать полного оборота вокруг своей оси, данная работа будет выполняться на сервоприводе подвижной рамки.

Перед проведением работы при выключенном автоматическом выключателе QF1 модуля питания стенда необходимо привести элементы управления стенда в исходное состояние:

- выключить переключатели «Сеть» модулей «Качающееся основание» и «Подвижная рамка»;

- переключатель SA3 «Разрешение» модуля «Подвижная рамка» установить в нижнее положение «0», соответствующее выключенному состоянию;

- переключатель SA1 «Уст. нуля» установить в нижнее положение «0», соответствующее выключенному состоянию;

- установить переключатель SA2 модуля «Подвижная рамка» в среднее положение, а рукоятку потенциометра RP1 модуля – в крайнее положение против часовой стрелки;

- убрать с вала электродвигателя управления подвижной рамкой маховик с зеркалом, если он установлен.

Настройку сервопреобразователя удобно осуществлять с помощью персонального компьютера, используя программное обеспечение ASDA-Soft. Для запуска программы необходимо:

- соединить USB-кабелем сервопреобразователь модуля «Подвижная рамка» с персональным компьютером;
- подать напряжение питания на стенд включением автоматического выключателя QF1, расположенного на модуле питания;
- подать напряжение питания на сервопреобразователь включением клавишного выключателя «Сеть», расположенного на лицевой панели модуля «Подвижная рамка». После подачи напряжения на экране сервопреобразователя должна отобразиться служебная информация;
- на рабочем столе персонального компьютера или в меню «Пуск» найти программу ASDA-Soft и запустить ее. На экране появится окно, показанное на рис. 40.

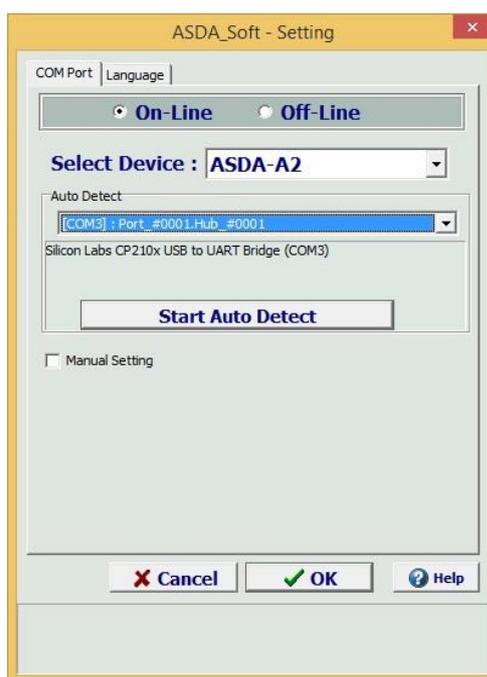


Рис. 40. Подключение к сервопреобразователю

– в этом окне необходимо выбрать подключенное устройство (Select Device) и нажать кнопку «Start Auto Detect» - программа начнет поиск устройства и при успешном подключении выдаст соответствующее сообщение. Необходимо подтвердить произведенные действия нажатием кнопки «OK» и войти в основную программу.

Основное меню программы ASDA-Soft показано на рис. 41. В строке быстрого доступа представлены следующие элементы:

– кнопка-индикатор подключения преобразователя. При наличии подключения кнопка горит зеленым светом, при отсутствии – красным. Нажатие на кнопку изменяет состояние подключения на противоположное;

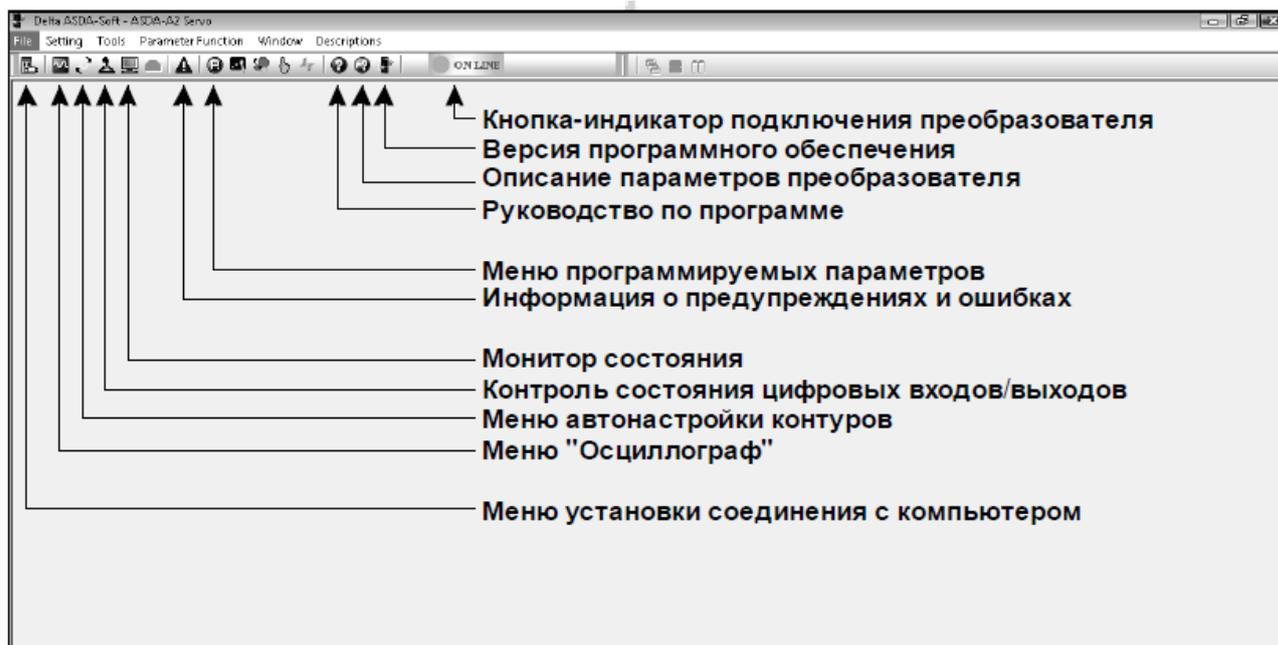


Рис. 41. Панель инструментов программы ASDA-Soft

- версия программного обеспечения. При нажатии на кнопку на экран выдается версия используемого программного обеспечения ASDA-Soft;
- описание параметров преобразователя. При нажатии на кнопку появляется меню быстрого доступа к описанию параметров меню преобразователя;
- руководство по программе. При нажатии на кнопку вызывается краткое руководство по установке и эксплуатации программы ASDA-Soft;
- меню программируемых параметров. При нажатии на кнопку вызывается окно, содержащее вкладки, соответствующие 7 группам меню преобразователя ASD-A2 (рис. 42). Здесь можно редактировать параметры, считывать и записывать их в преобразователь, сохранять конфигурацию параметров;
- информация о предупреждениях и ошибках. Здесь отображаются последние сообщения о неисправностях, сбоях, ошибках;
- монитор состояния. При нажатии на эту кнопку вызывается окно, в котором в режиме реального времени отображаются параметры электродвигателя (ток, напряжение, скорость и др.);
- контроль состояния дискретных входов/выходов. При нажатии на эту кнопку вызывается окно, в котором отображается текущее состояние дискретных входов и выходов, а также имеется возможность принудительного включения входов/выходов преобразователя (эмуляция);
- меню автонастройки контуров. При нажатии на эту кнопку происходит вызов «помощника», помогающего производить автонастройку замкнутой системы электропривода. При проведении лабораторных работ этот «помощник» не используется;
- меню «Осциллограф». При нажатии на эту кнопку вызывается 4-канальный осциллограф, который может отображать определенные параметры

электропривода (рис. 43). В этом меню существует возможность настройки четырех каналов осциллографа для отображения заданных величин.

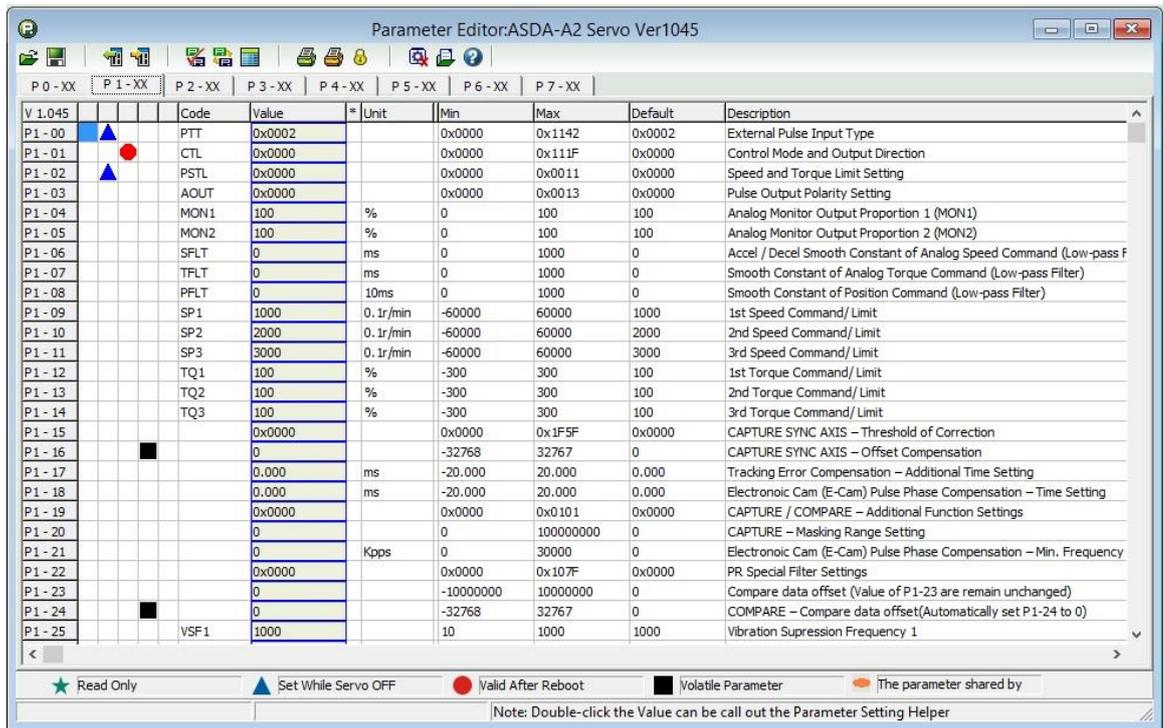


Рис. 42. Окно установки параметров

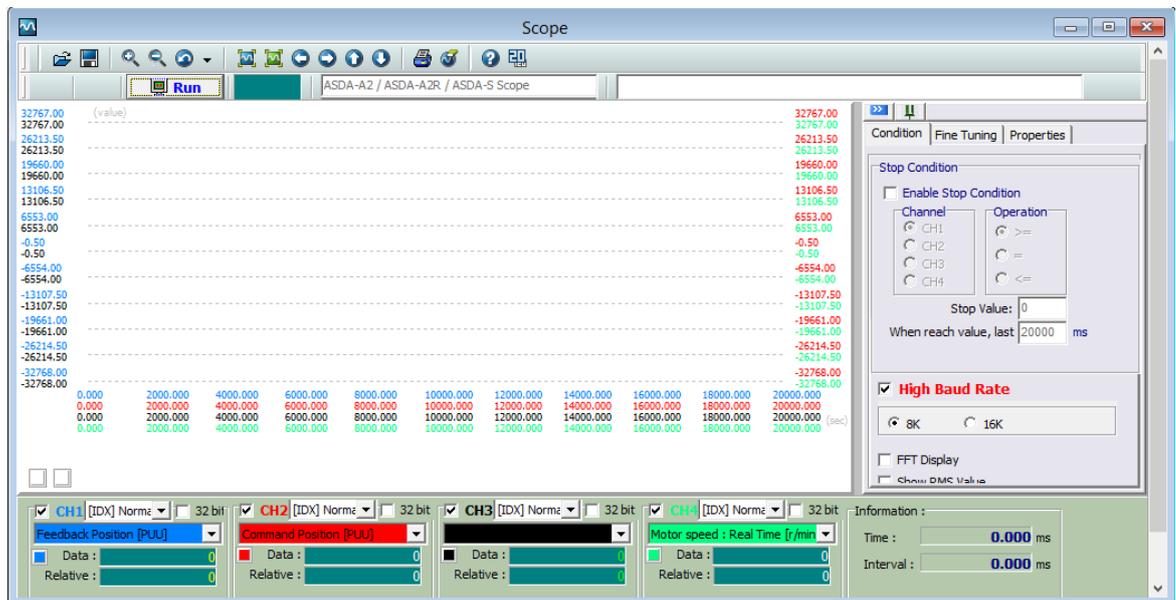


Рис. 43. Окно «Осциллограф»

Установка необходимых параметров меню сервопреобразователя осуществляется из окна, показанного на рис. 42:

- выбирается необходимая группа параметров (P0-XX ... P7-XX);
- в выбранной группе параметров нужно найти необходимый параметр и выделить его указателем мыши в столбце «Parameter Value»;

– установить необходимое значение параметра. При нажатии на кнопку «Enter» клавиатуры компьютера произойдет запись параметра в память сервопреобразователя;

– установить значение параметра можно также дважды щелкнув по значению параметра в столбце «Parameter Value». В этом случае вызывается окно, в котором показывается значение параметра и даются пояснения к его установке. Подтвердить установку параметра нажатием кнопки «ОК», при этом параметр не записывается в память преобразователя, а остается в памяти программы;

– после установки всех параметров их необходимо записать в сервопреобразователь. Для этого необходимо нажать кнопку «Write to Device» с соответствующим ярлыком.

Сразу же после подключения компьютера к преобразователю рекомендуется считать все параметры настройки в программу из преобразователя, чтобы программа отображала актуальные данные. Если же настройки считываются из заранее сохраненного файла, рекомендуется сразу записать эти настройки в преобразователь, чтобы последний функционировал в соответствии с ними.

#### *Сброс настроек сервопреобразователя на заводские*

Перед началом работы с сервопреобразователем необходимо сбросить настройки сервопреобразователя на заводские:

– открыть окно программируемых параметров преобразователя и найти параметр PCTL P2-08;

– войти в параметр и установить в нем значение PCTL P2-08=10. Подтвердить установку параметра – настройки преобразователя будут сброшены на исходные заводские, а на экране сервопреобразователя в это время будет высвечиваться надпись «RST».

После сброса настроек на заводские возможно будет разорвано соединение сервопреобразователя с компьютером, – в этом случае соединение необходимо будет восстановить.

#### *Установка режима регулирования скорости*

Для установки режима регулирования скорости необходимо задать следующие параметры сервопреобразователя:

– STL P1-01 = 0x0002. Значение параметра устанавливает режим регулирования скорости. После установки значения программа предлагает перезагрузить преобразователь, для чего необходимо отключить его питание и вновь включить через 5... 10 секунд. Необходимо иметь в виду, что при выключении питания связь преобразователя с компьютером будет потеряна. Если на данном этапе совершить перезагрузку, на экране преобразователя будет выведено сообщение об ошибке AL013, которое означает, что на одном из дискретных входов присутствует сигнал аварийной остановки, активированный по умолчанию.

Возможны два варианта действий: 1) проигнорировать сообщение и продолжить настройку, в этом случае ошибка будет сброшена, так как назначение дискретных входов в дальнейшем будет переопределено; 2) не производить перезагрузки до выполнения всех дальнейших настроек;

– DI1 P2-10 = 0x0101. Назначение дискретному входу DI1 команды «Пуск». На аппаратном уровне к первому дискретному входу подключен переключатель SA3 «Разрешение». Для реальных входов в зависимости от настроек активному сигналу на входе соответствует либо замкнутое состояние контакта (Normally open – contact a), либо разомкнутое (Normally closed – contact b). Мы будем использовать только первый тип настройки;

– DI2 P2-11 ... DI8 P2-17 = 0x0000 (дискретные входы DI2...DI8 сервопреобразователя отключены);

– TACC P1-34 = 1000 (время разгона серводвигателя в миллисекундах). В дальнейшем для настройки контура регулирования скорости здесь будет установлено минимальное время разгона двигателя;

– TDEC P1-35 = 1000 (время торможения серводвигателя в миллисекундах). В дальнейшем для настройки контура регулирования скорости здесь будет установлено минимальное время торможения двигателя;

– VCM P1-40 = 2000 (максимальная частота вращения серводвигателя при задании частоты с аналогового входа);

– MSPD P1-55 = 2000 (максимальная частота вращения серводвигателя);

– STS P0-02 = 07 (индикация скорости при включении привода);

– MON P0-03 = 0x0010 (индикация скорости на первом аналоговом выходе (AO1) привода и момента – на втором (AO2));

– LSTP P1-32 = 0x0010 (торможение на выбеге и мгновенный останов в случае аварии).

После установки параметров необходимо отключить и вновь включить питание сервопреобразователя через 5... 10 секунд. После включения питания на индикаторе привода индицируется «0» (скорость равна нулю).

### *Использование имитатора входных сигналов и апробация работы привода*

Поскольку модуль «Подвижная рамка» не позволяет осуществлять управление скоростью вращения двигателя при помощи аналогового задания, скорость необходимо задавать в меню программируемых параметров преобразователя.

В сервопреобразователе ASD-A2 задание скорости возможно с помощью параметров SP1 P1-09 ... SP3 P1-11. В каждом из этих параметров устанавливается необходимая скорость вращения двигателя, а выбор варианта осуществляется с помощью дискретных входов сервопреобразователя.

Для установки задания скорости с помощью дискретных входов необходимо установить следующие параметры:

– PSTL P1-02 = 0x0001. В этом случае аналоговый вход задания скорости будет отключен, а заданная скорость будет выбираться из параметров P1- 09 ... P1-11;

– установить в параметрах SP1 P1-09 ... SP3 P1-11 три значения скорости в диапазоне 0 ... 2000 об/мин, например, 10, 100, 200 об/мин. Необходимо учитывать, что в программе значение скорости задается целым числом, в десять раз превышающим реальную скорость (т.е. единица измерения скорости 0,1 об/мин);

– поскольку выбор источника задания скорости выполняется логическими командами, необходимо назначить дискретные входы сервопреобразователя на выполнение этих функций. Предоставим дискретным входам DI7 и DI8 возможность задавать скорость двигателя: при активации DI7 будет выбрана первая скорость, при активации DI8 – вторая, при одновременной активации DI7 и DI8 – третья. Для этого зададим следующие значения параметров: DI7 P2-16 = 0x0014, DI8 P2-17 = 0x0015.

Программное обеспечение AS DA-Soft позволяет симулировать дискретные входы/выходы преобразователя даже в отсутствии физических соединений. Окно управления дискретными входами преобразователя вызывается путем нажатия на соответствующую пиктограмму из панели инструментов или из главного меню программы ASDA-Soft: Tools → Digital IO/JOG Control. Оно показано на рис. 44.

Окно разделено на две области: область дискретных входов и область дискретных выходов. В области дискретных входов обозначен каждый универсальный дискретный вход сервопреобразователя, а также его текущая функция. Так, на рис. 44 входу DI1 назначена функция «Servo On», то есть он управляет сигналом разрешения на работу преобразователя.

Напротив каждого входа производится индикация его состояния – вкл/выкл (On/Off). В столбце «Enable» напротив каждого входа расположено место для установки «галочки» (метки), разрешающей управление входом с компьютера, а также кнопка «On/Off», включающая и выключающая соответствующий вход. При этом «тип контакта» (NO/NC) не имеет значения.

В меню управления дискретными входами/выходами опробуйте работу сервопривода:

– разрешить компьютерное управление дискретными входами сервопреобразователя – в меню управления дискретными входами/выходами установить «галочки» напротив входов DI1, DI7, DI8. На запрос системы об отключении соответствующих входов ответить утвердительно;

– подать разрешение на работу сервопреобразователя (DI1). При этом в окне управления дискретными входами/выходами соответствующий вход будет подсвечен;

– опробовать задание скорости изменением состояния дискретных входов DI7, DI8;

– выключить разрешение на работу сервопреобразователя (вход DI1).

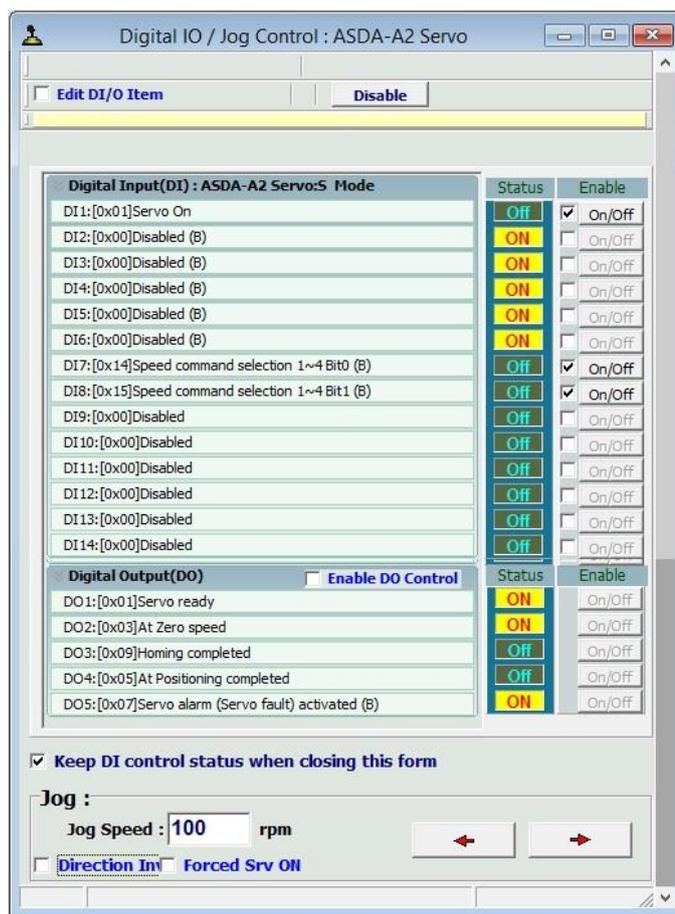


Рис. 44. Окно «Дискретные входы/выходы»

### Настройка замкнутого контура регулирования скорости

Поскольку сервопреобразователь предназначен для работы в замкнутой системе электропривода, после инициализации режима регулирования скорости необходимо произвести настройку параметров регулятора скорости.

Общая схема процесса регулирования скорости показана на рис. 45.



Рис. 45. Схема процесса регулирования скорости

Команда задания скорости может поступать как с аналогового входа (в виде сигнала задания), так и с дискретных входов (путем выбора ранее пред-

установленного варианта фиксированной скорости). Блок-схема обработки команды показана на рис. 46.

При переходе на фиксированные скорости задействуется S-образная характеристика разгона/торможения, вид которой задается параметром TSL P1-36. Аналоговый сигнал задания масштабируется и фильтруется (параметры VCM P1-40 и MSPD P1-55). Далее сигнал задания проходит через низкочастотный фильтр с постоянной времени, устанавливаемой параметром SFLT P1-06.

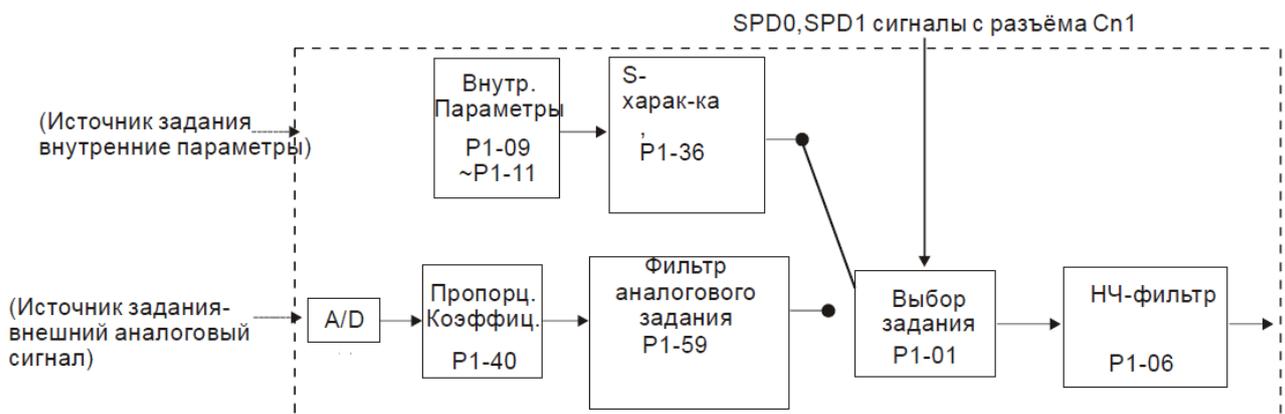


Рис. 46. Блок-схема обработки команды задания скорости

Собственно регулятор скорости (рис. 47) представляет собой стандартный ПИ-регулятор с дополнительным воздействием по скорости изменения задания (параметр KVF P2-07). При P2-07 = 0 формируется «чистый» ПИ-закон регулирования.

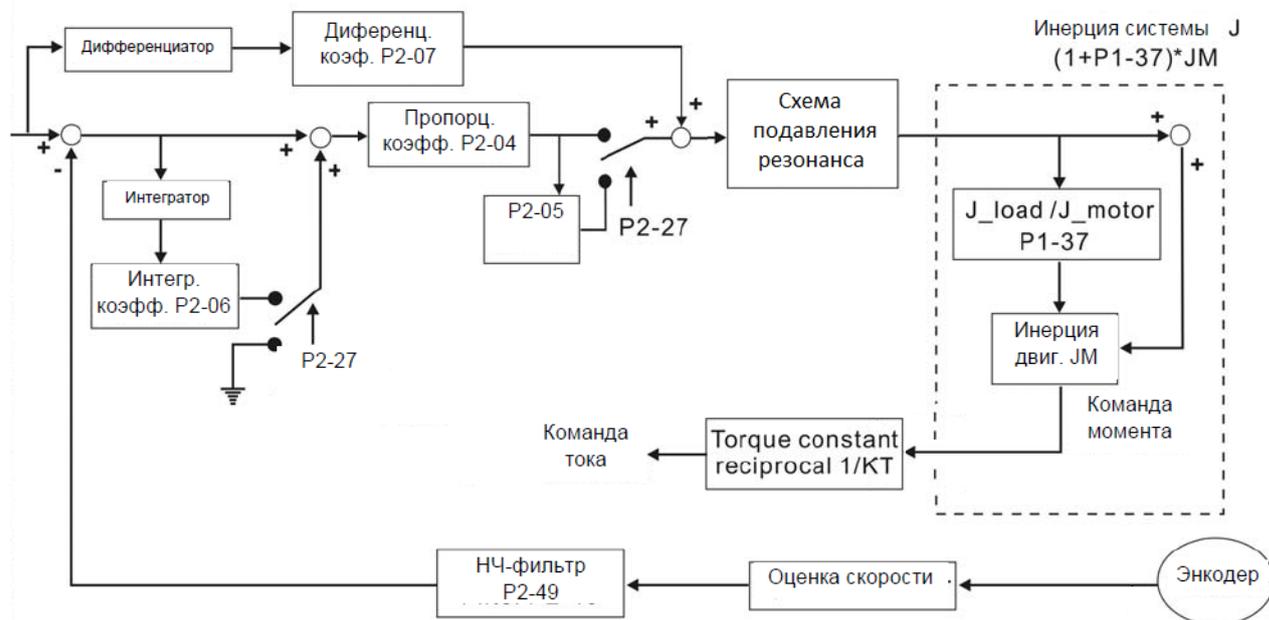


Рис. 47. Блок-схема процесса регулирования скорости

Имеется возможность отключения интегральной составляющей и перехода на пропорциональное регулирование, а также «переключения» коэффициента передачи регулятора (на значение, устанавливаемое с помощью параметра

SPR P2-05, Speed Loop Gain Switching Rate, %). Вид и условия переключений задаются параметром GCC P2-27 и уточняются параметром GPE P2-29, где задается числовое значение, достижение которого некоторой величиной (скоростью, углом поворота и др.) приводит к переключению. Так, например, при GCC P2-27 = 0x0008 (Gain multiple switching, Servo motor speed is lower than setting of P2-29), GPE P2-29 = 100, SPR P2-05 = 200 снижение скорости ниже 100 об/мин приведет GPE к увеличению коэффициента передачи регулятора в два раза.

Схема подавления резонанса включает низкочастотный фильтр с настраиваемой постоянной времени (NLP P2-25) и три режекторных фильтра, для которых задаются резонансные частоты (в Гц) и уровни подавления сигнала на этих частотах (в дБ). Два последних режекторных фильтра могут быть настроены автоматически [9]. В данной работе фильтры выходного сигнала не используются.

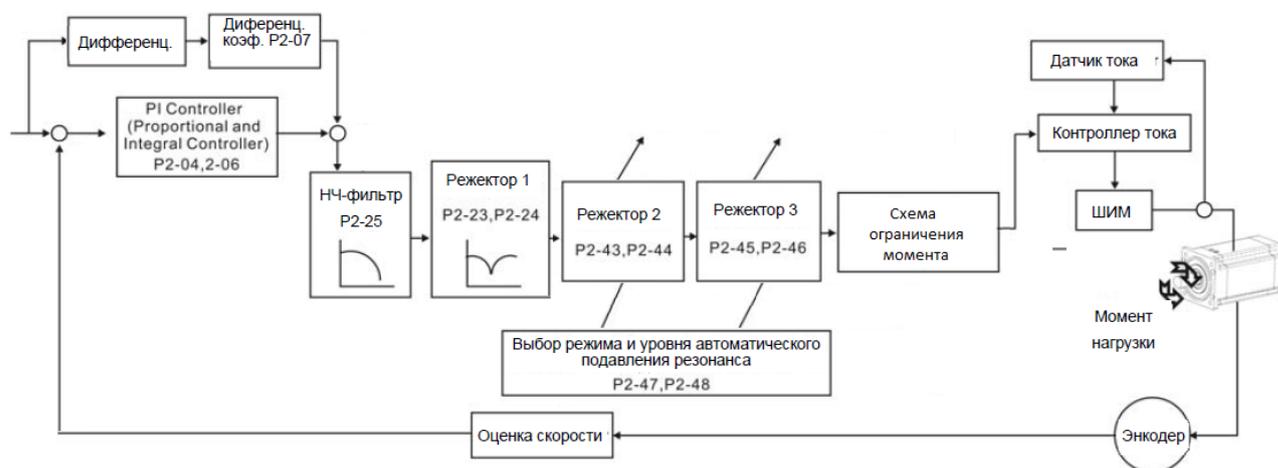


Рис. 48. Блок-схема процесса подавления резонанса

Настройка контура скорости производится на основании переходного процесса при скачкообразном приложении сигнала задания. При этом для работы системы в линейной зоне скорость вращения электродвигателя не должна быть высокой, а ее максимальное значение должно составлять не более 10% номинальной скорости.

В данной работе настройка сводится к установке следующих параметров:

- KVP P2-04 = 0. ..8191 рад/с (по умолчанию 500) – пропорциональный коэффициент усиления регулятора скорости;
- KVI P2-06 = 0... 1023 рад/с (по умолчанию 100) - интегральный коэффициент усиления регулятора скорости;
- KVF P2-07 = 0... 100% (по умолчанию 0) – коэффициент прямой подачи контура регулирования скорости. Этот параметр используется для усиления прямого задания скорости и в данной работе не используется;
- SJIT P2-49 = 0x0000...0x001F (по умолчанию 0x000B) – фильтр подавления вибраций контура скорости. Параметр устанавливает частоту отсечки контура скорости.

Порядок настройки контура скорости следующий:

- установить в настройках сервопреобразователя минимальный темп разгона и торможения: TASS P1-34 = 1 мс, TDEC P1-35 = 1 мс;
- установить коэффициент интегрального усиления контура скорости равным нулю: KVI P2-06 = 0;
- установить ненулевой коэффициент пропорционального усиления контура скорости (например, KVP P2-04=50);
- запустить «осциллограф» и установить для отображения на первом канале осциллографа сигнал задания на скорость (Speed Command: Rotation Speed [r/min]), а на втором – сигнал текущей скорости электродвигателя (Motor Speed: Real Time [r/min]). Запустить «осциллограф»;
- задать скорость вращения двигателя, равной 200 об/мин (параметры SP1 P1-09.... SP3 P1-11). Следует помнить, что в данных параметрах скорость задается в 0,1 об/мин, то есть скорости 200 об/мин соответствует значение 2000;
- войти в меню управления дискретными входами/выходами, задать дискретными входами DI7, DI8 необходимую скорость;
- вернуться в «осциллограф» и произвести пуск-остановку электродвигателя подачей сигнала разрешения на работу преобразователя (переключатель SA3). Произвести анализ переходного процесса;
- изменением коэффициента пропорционального усиления контура скорости (KVP P2-04) и повторным пуском/остановкой добиться необходимого качества переходного процесса. Критерием качества процесса может служить максимум быстродействия при минимуме колебательности;
- после настройки коэффициента пропорционального усиления следует настроить коэффициент интегрального усиления контура скорости (KVI P2-06). Настройка проводится по тем же критериям. После настройки параметра KVI P2-06 возможна также корректировка коэффициента KVP P2-04. Исходный и полученный переходные процессы необходимо привести в отчете по лабораторной работе.

#### *Порядок представления результатов*

Результаты проведенной работы демонстрируются преподавателю непосредственно на занятии или, в случае отложенной проверки, предоставляются ему в виде

- файлов настройки параметров сервопреобразователя;
- файлов, содержащих обработанные графики переходных процессов, полученных в результате настройки регуляторов (исходные и конечные варианты).

## ***4.2 Позиционный режим работы сервопривода. Поиск начального положения***

### *Цель работы*

освоить настройку сервопреобразователя ASD-A2 в режиме регулирования положения и методы установки вала двигателя в исходное положение.

### *Программа работы*

1. Сбросить настройки сервопреобразователя подвижной рамки на заводские.
2. Запустить программу ASDA-Soft и установить соединение с сервопреобразователем ASD-A2 подвижной рамки.
3. Запрограммировать сервопреобразователь подвижной рамки на режим регулирования положения, опробовать работу электропривода.
4. Произвести настройку контура регулирования положения.
5. Запрограммировать и испытать режим поиска начального положения вала двигателя сервопривода подвижной рамки.
6. Запрограммировать и испытать режим воспроизведения траектории движения сервопривода подвижной рамки.

### *Пояснения к работе*

Сервопривод ASD-A2 в комплекте с электродвигателем ЕСМА-С10604ES представляет собой универсальную систему, работающую в режимах регулирования скорости, крутящего момента, а также в серворежиме (позиционный и следящий режимы управления). Одним из режимов, в которых используются сервоприводы, является позиционный режим, при котором вал электродвигателя перемещается в заданное положение с заданными параметрами движения. В частности, такой режим может быть использован при установке вала двигателя, например, на заданный угол относительно Z-импульса энкодера. В лабораторном стенде режим поиска начального положения (позиционный) используется как в сервоприводе качающегося основания, так и в сервоприводе подвижной рамки. В целях безопасности проведения лабораторной работы необходимо научиться настраивать данный режим сначала на сервоприводе подвижной рамки, а затем, – в лабораторной работе №3 – перейти на сервопривод качающегося основания.

Перед началом работы при выключенном автоматическом выключателе QF1 модуля питания необходимо привести все элементы стенда в исходное положение:

- выключить переключатели «Сеть» модулей «Качающееся основание» и «Подвижная рамка»;
- переключатель SA3 «Разрешение» модуля «Подвижная рамка» и SA3 модуля «Качающееся основание» установить в нижнее положение «0», соответствующее выключенному состоянию;

- переключатель SA1 «Уст. нуля» установить в нижнее положение «0», соответствующее выключенному состоянию;
- установить переключатель SA2 модуля «Подвижная рамка» в среднее положение, а рукоятку потенциометра RP1 модуля – в крайнее положение против часовой стрелки;
- установить переключатель SA1 «Работа» модуля «Качающееся основание» в положение «0», соответствующее выключенному состоянию;
- установить рукоятки потенциометров RP1 и RP2 модуля «Качающееся основание» в крайнее положение против часовой стрелки, соответствующее минимуму снимаемого напряжения;
- установить на вал электродвигателя подвижной рамки маховик с зеркалом по указанию преподавателя.

#### *Настройка сервопривода подвижной рамки*

После установки начального положения всех элементов стенда необходимо подать напряжение на стенд и создать соединение сервопреобразователя модуля «Подвижная рамка» с персональным компьютером, предварительно сбросив параметры меню преобразователя на установленные по умолчанию:

- включить автоматический выключатель QF1 модуля питания;
- подать напряжение на сервопреобразователь установкой клавишного переключателя «Сеть» модуля «Подвижная рамка» во включенное положение,
- после этого на экране преобразователя появится служебная информация;
- зайти в меню программируемых параметров преобразователя нажатием кнопки «Mode» – на экране индицируется группа меню P0 и параметр P0-00;
- последовательным нажатием на кнопку «Shift» добиться индикации группы меню P2 и параметра P2-00;
- нажатием на клавиши курсора «Вверх», «Вниз» вывести на индикацию параметр P2-08, войти в него нажатием кнопки «Set», и установить в нем значение P2-08=10. Подтвердить установку параметра нажатием на кнопку «Set» – настройки преобразователя будут сброшены на исходные заводские. После сброса настроек на заводские целесообразно выполнить соединение сервопреобразователя с персональным компьютером для облегчения процесса программирования. Процесс соединения преобразователя и компьютера подробно описан в работе №1.

#### *Установка смешанного режима управления Pr/Pt*

В сервопреобразователе ASD-A2 реализованы следящий (Pt) и позиционный (Pr) режимы управления. Также есть так называемые двойные режимы, когда дискретный вход управляет переключением режима работы сервосистемы. В данной работе предлагается использовать смешанный режим Pr/Pt, переключаемый с помощью тумблера SA4 модуля «Подвижная рамка». Для инициализации данного режима работы с помощью программного обеспечения ASDA-Soft необходимо установить следующие параметры меню преобразователя:

- CTL P1-01 = 0x000D (устанавливает смешанный режим управления положением Pr/Pt), после установки значения необходимо отключить и через 5...10 секунд вновь включить питание сервопреобразователя;
- PSTL P1-02 = 0x0000 (программное ограничение момента и скорости отключено);
- DI1 P2-10 = 0x0101 (подключение тумблера SA3 «Разрешение» к дискретному входу DI1, инициализация команды «ПУСК»);
- DI3...DI8 P2-11...P2-17 = 0 (дискретные входы DI3...DI8 отключены);
- MON P0-03 = 0x0010 (индикация скорости на первом выходе привода и момента – на втором);
- MSPD P1-55 = 2000 (включается ограничение максимальной скорости электродвигателя);
- TSL P1-36 = 0 (дезактивируется S-характеристика разгона/торможения электропривода);
- KPP P2-00 = 35 (задается коэффициент пропорционального усиления контура положения);
- KPI P2-53 = 0 (задается интегральный коэффициент контура положения);
- PFG P2-02 = 0 (задается дифференциальный коэффициент контура положения);
- KVP P2-04 = 500 (задается пропорциональный коэффициент контура скорости);
- KVI P2-06 = 100 (задается интегральный коэффициент контура скорости);
- KVF P2-07 = 0 (задается дифференциальный коэффициент контура скорости);
- AUT2 P2-32 = 0 (выключается непрерывный режим автонастройки коэффициентов усиления ПИД-регулятора скорости).

#### *Настройка режима выхода в начальное положение*

После установки основных настроек двойного режима управления необходимо настроить позиционный режим управления для выхода вала двигателя в исходное положение.

1. Необходимо переключить преобразователь в позиционный режим управления. Один из дискретных входов может быть назначен как переключатель режимов Pr/Pt:

- установить дискретный вход DI2 в качестве переключателя режимов Pr/Pt: DI2 P2-11 = 0x012B;
- переключатель SA4 модуля «Подвижная рамка» установить в положение Pr, соответствующее позиционному режиму управления.

2. Логика выхода сервопривода в исходное положение определяется параметром HMOV P5-04 меню программируемых параметров.

Для определения исходного положения могут быть использованы Z-импульс встроенного энкодера электродвигателя и/или сигналы внешних датчиков, подключенных к дискретным входам сервопреобразователя:

– датчика ограничения обратного движения (концевого выключателя) NL (CWL);

– датчика ограничения прямого движения PL (концевого выключателя) (CCWL);

– датчика начального положения (путевого выключателя) ORGP.

В зависимости от значения параметра HMOV P5-04 поступление каждого из этих сигналов может указывать на достижение начального положения (при этом также задается направление вращения серводвигателя при поиске: прямое/обратное). Возможны и «комбинированные» режимы, в которых сервопривод сначала на большой скорости движется в прямом или обратном направлениях до соответствующего датчика ограничения движения, а потом на малой скорости возвращается назад до срабатывания датчика начального положения или появления Z-импульса энкодера.

Поскольку привод подвижной рамки не оснащен никакими внешними датчиками, в данной работе будет реализован поиск исходного положения исключительно по Z-импульсу. Направление движения в данном случае никакого значения не имеет, так как вал серводвигателя совершает вращательное движение. Выберем прямое направление, тогда параметр HMOV P5-04 = 0x0004. Скорость выхода на Z-импульс задается параметром HSPD2 P5-06 (пониженная скорость).

В момент поступления Z-импульса значение счетчика импульсов (текущее положение вала) обнуляется, и включается торможение двигателя. Выбег при торможении зависит от начальной скорости движения. Поэтому целесообразно иметь как можно меньшую скорость, однако при этом время выхода в начальное положение может оказаться неприемлемо большим. Уменьшить величину выбега можно, задав отрицательное смещение в параметре ODAT P6-01 равным количеству «лишних» импульсов. Но это решение не дает стабильного выхода на ноль, поэтому далее будет рассмотрено другое.

3. Для того, чтобы вызвать команду перемещения привода в начальное положение, необходимо инициализировать один из дискретных входов сервопреобразователя как источник внешнего сигнала на перемещение в исходное положение. В данном случае инициализируем вход DI3 (кнопка SB1 модуля «Подвижная рамка») на функцию SHOM: P2-12 = 0x0127.

#### *Апробация выхода двигателя в начальное положение*

После установки заданных параметров необходимо проверить правильность выхода привода в начальное положение. Для этого:

– задать скорость движения при поиске начального положения, равной 1 об/мин;

- запустить режим выхода в начальное положение, активировав дискретный вход DI3 нажатием на кнопку SB1;
- после окончания процесса определить выбег и внести коррекцию, задав соответствующее значение параметра ODAT P6-01;
- запустив несколько раз процедуру поиска начального положения, оценить точность установки нуля;
- задать скорость движения при поиске начального положения, равной 10 об/мин и повторить приведенную выше последовательность действий.

### *Настройка и апробация позиционного режима управления*

В сервопреобразователе ASD-A2 перемещение считается по импульсам, поступающим с энкодера электродвигателя, разрешение которого равняется 1280000 имп/об. Однако сервопреобразователь использует не сигнал с энкодера, а сигнал с выхода электронного редуктора, который рассчитывается по следующей формуле:

$$N = N_{\text{энк}} \times GR2 / GR1.$$

По умолчанию GR1 P1-44 = 128, GR2 P1-45 = 10, то есть разрешение сигналов с выхода электронного редуктора равняется 100 000 имп/об. Следовательно, если будет необходимо повернуть вал двигателя на 0,5 оборота, двигателю нужно будет переместиться на 50 000 импульсов.

В режиме Pr сервопривод может быть установлен в одно из 64 положений, одним из которых является начальное. Переход в начальное положение производится, как было сказано выше, активацией входа, настроенного на функцию SHOM. Переход в другие положения осуществляется активацией входов, настроенных на функции «Position command selection 1~64 Bitx», где x – номер бита от 0 до 5. Для выбора положения может быть задействовано до 6 входов, при этом имеют место 64 комбинации сигналов, 63 из которых соответствуют различным положениям серводвигателя (комбинация из шести «нулей» рассматривается как отсутствие команд).

На страницах параметров P6, P7 производится настройка как начального положения (ODEF P6-00, ODAT P6-01), так и всех других шестидесяти трех, каждое из которых задается парой параметров PDEFx, PDATx, где x = 1...63 – номер положения.

Окно настройки параметра ODEF P6-00 показано на рис. 49.

Параметр состоит из нескольких разрядов:

- PATH: траектория. Выбирается одно из 63 положений, в которое сервопривод должен будет перейти после выхода в начальное положение;
- ACC: ускорение. Задается как время разгона серводвигателя от нулевой скорости до максимальной, равной 3000 об/мин. (Фактически серводвигатель разгоняется до одной из скоростей, заданных параметрами HSPD1 P5-05, HSPD2 P5-06 в зависимости от режима.) Выбирается одно из 16 предустановленных значений (параметры AC0 P5-20 ... A15 P5-35);



Рис. 49. Настройка параметра ODEF P6-00

– DEC1: время торможения на первом участке выхода в начальное положение. Выбирается один из 16 предустановленных значений (параметры AC0 P5-20 ... A15 P5-35);

– DEC2: время торможения на втором участке выхода в начальное положение. Выбирается один из 16 предустановленных значений (параметры AC0 P5-20 ... A15 P5-35);

– DLY: задержка. Выбирается время задержки между установкой нулевого положения и началом перехода в новое заданное положение (параметры DLY0 P5-40 ... DLY15 P5-55).

– BOOT: выполнять или не выполнять процедуру перевода сервопривода в начальное положение при первом пуске (после загрузки);

– Homing definition value: смещение для устранения погрешности выбега после отключения привода. Значение попадает в параметр ODAT P6-01.

Как было отмечено выше, привод подвижной рамки не имеет внешних датчиков положения, поэтому в нашем случае движение в заданное положение будет состоять из одного («второго») этапа на пониженной скорости с коррекцией выбега.

Окно настройки положений, отличных от начального, показано на рис. 50.

Параметр состоит из нескольких разрядов:

– TYPE settings: тип положения. Определяет общее назначение положения. В работе будут использованы следующие варианты:

[0]: N/A – не активно;

[2]: Single position control. Motor stops when positioning is completed;

[3]: Auto position control. Motor goes to next dedicated path when position is completed;

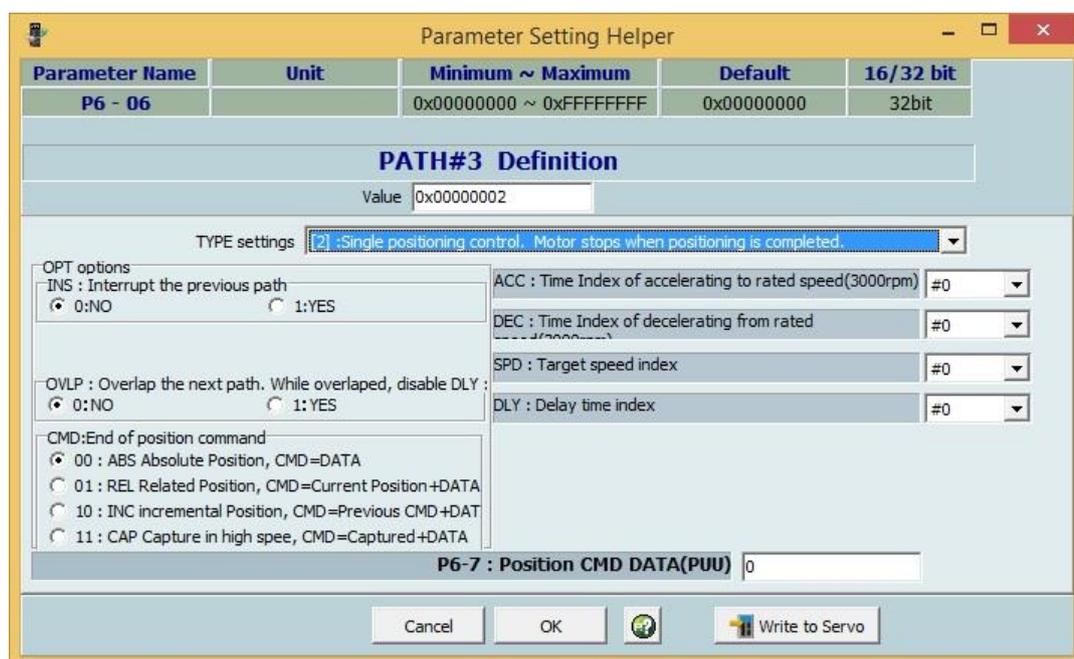


Рис. 50. Настройка параметра PDEF

[7]: Jump to dedicated path.

Информацию по остальным вариантам можно получить в [9].

– INS: Interrupt the previous path. Возможность прерывания перехода в предыдущее положение, например по внешнему сигналу. В нашем случае не используется (0:NO);

– OVL: Overlap the next path. Возможность «перекрытия» следующего положения. Обработка следующего положения начинается в момент начала торможения при обработке текущего, если временная задержка отключена. Если задержка включена, ее отчет начинается с момента начала выполнения задания, а переход к следующему положению, начинается по окончании временной задержки;

– CMD: End of position command:

00: ABS Absolute Position, CMD = DATA – перемещение по «абсолютному адресу»;

01: REL Related Position, CMD = Current Position + DATA – перемещение относительно текущего положения вала;

10: INC Incremental Position, CMD = Previous CMD + DATA – перемещение относительно предыдущего задания;

11: CAP. В данной работе не используется.

– ACC, DEC, DLY – ускорение, замедление и временная задержка, устанавливаются аналогично таковым для параметра ODEF P6-00;

– SPD: Target speed index. Выбирается одно из 16 предустановленных значений (параметры POV0 P5-60 ... POV15P5-75).

Для настройки и апробации позиционного режима требуется:

1) настроить параметр ODEF P6-00 таким образом, чтобы перевод сервопривода в начальное положение производился с максимальными ускорениями

при пуске и торможении и мгновенно (без выдержки времени) сопровождался переходом в положение 1. Смещение ODAT P6-01 установить равным нулю;

2) настроить параметр PDEF1 P6-02 на перевод сервопривода в нулевое положение и остановку;

3) опробовать перевод сервопривода в нулевое положение;

4) настроить параметр PDEF2 P6-04 так, чтобы вал серводвигателя повернулся на 90° относительно начального положения в прямом направлении и остановился;

5) настроить дискретный вход №4 (параметр DI4 P2-13) на выбор первого фиксированного положения;

6) настроить дискретный вход №5 (параметр DI5 P2-14) на выбор второго фиксированного положения;

7) настроить дискретный вход №6 (параметр DI6 P2-15) на подачу команды [0x8] Command triggered. Это команда запускает процесс позиционирования;

8) программно управляя выходами 4-6 из окна Digital IO/Jog Control, убедиться в том, что система функционирует согласно введенным настройкам;

9) перенастроить PDEF1 P6-02 и PDEF2 P6-04 на «автоматическое позиционирование» с переходами к следующей позиции и выдержкой времени 0,5 сек;

10) настроить параметр PDEF3 P6-06 на функцию [7] Jump to dedicated path и задайте «адрес» прыжка – позицию №1. Тем самым движение между двумя позициями будет закольцовано;

11) отключите программное управление выходами. Подав сигнал разрешения и нажав на кнопку «Сброс», наблюдайте циклическое движение вала серводвигателя.

#### *Настройка контуров системы позиционирования*

1) в программном обеспечении «ASDA-Soft» запустить осциллограф (Главное меню → Tools → Scope);

2) в осциллографе необходимо выбрать для осциллографирования сигнал задания на положение (Command Position [PUU]), сигнал обратной связи по положению (Feedback Position [PUU]). Запустить осциллограф;

3) подать сигнал разрешения на работу сервопреобразователя модуля «Подвижная рамка» (переключатель SA3 «Разрешение»);

4) подать сигнал выхода в начальное положение кратковременным нажатием на кнопку SB1 «Сброс» модуля «Подвижная рамка» – электродвигатель должен совершить соответствующее движение по выходу в начальное положение, после чего начнет циклическое движение, заданное выше;

5) на экране наблюдать переходные процессы при циклическом движении вала серводвигателя. Анализируя процессы, изучить влияние параметров настройки регуляторов скорости и положения на качество позиционирования. При этом следует изменять следующие параметры: KVP P2-04 (пропорциональный коэффициент контура скорости), KVI P2-06 (интегральный коэффици-

ент контура скорости), KVF P2-07 (коэффициент прямой подачи контура регулирования скорости), KPP P2-00 (коэффициент пропорционального усиления регулятора положения), PFG P2-02 (коэффициент дифференциального усиления регулятора положения), PFF P2-03 (постоянная сглаживания дифференциального канала контура положения), KPI P2-53 (интегральный коэффициент контура положения).

#### *Управление секундной стрелкой (дополнительное задание)*

Требуется установить параметры сервопреобразователя таким образом, чтобы подвижная рамка эмулировала движение секундной стрелки часов, совершая один оборот ровно за одну минуту. Для этого необходимо:

– настроить параметры электронного редуктора GR1 P1-44, GR2 P1-45 так чтобы он выдавал 60000 на оборот;

– создать «программу перемещения» из двух положений.

– в первом совершается *относительное* перемещение на 1000 импульсов с достаточно большой скоростью и максимальными ускорениями при разгоне и торможении. Включить *перекрытие шагов*, для того чтобы отчет времени начинался в начале отработки положения, что обеспечит четкую привязку движения ко времени. Задать выдержку времени равной 1 с. После выполнения шага должен быть автоматически выполнен переход на следующий шаг;

– второе положение должно быть настроено на *немедленный* возврат к предыдущему;

– настроить дискретный(ые) вход(ы) на вызов первого положения «программы».

Апробировать работу системы, следя за временем по секундомеру или таймеру смартфона. Значение текущего положения рамки наблюдать по дисплею преобразователя (параметр индикации FB.PUU). За одну минуту рамка должна совершить один оборот, а текущее положение измениться на 60 000.

#### *Порядок представления результатов*

Результаты проведенной работы демонстрируются преподавателю непосредственно на занятии или, в случае отложенной проверки, предоставляются ему в виде

– файлов настройки параметров сервопреобразователя;

– файлов, содержащих обработанные графики переходных процессов, полученных в результате настройки регуляторов (исходные и конечные варианты).

### ***4.3 Позиционный режим работы сервопривода. Настройка начального положения качающегося основания***

#### *Цель работы*

Освоить настройку сервопреобразователя ASDA-A2 качающегося основания в позиционном режиме. Закрепить навыки, полученные в лабораторной работе №2.

#### *Программа работы*

1. Сбросить настройки сервопреобразователя качающегося основания на заводские.
2. Запустить программу ASDA-Soft и установить соединение с сервопреобразователем ASD-A2 качающегося основания.
3. Запрограммировать сервопреобразователя качающегося основания на режим регулирования положения, опробовать работу электропривода.
4. Настроить контур регулирования положения.
5. Запрограммировать режим выхода в исходное положение и испытать заданный режим, сняв опытные характеристики.

#### *Пояснения к работе*

В предыдущей лабораторной работе ставилась задача начального позиционирования электропривода подвижной рамки, при этом осуществлялся поиск Z-импульса энкодера электродвигателя, от которого преобразователь отсчитывал заданный угол поворота вала двигателя. В электроприводе качающегося основания также необходимо производить начальное позиционирование основания (в строго горизонтальное положение). Проблема заключается в том, что качающееся основание не может совершить оборот вокруг своей оси – амплитуда его колебаний ограничена в диапазоне  $\pm 20$  градусов относительно вертикальной оси. Вероятность того, что в этот диапазон попадет Z-импульс энкодера, мала, поэтому позиционирование по Z-импульсу в данном случае неосуществимо. Поэтому будет применяться другой способ.

На неподвижном основании установлен оптический датчик. На качающемся основании имеется маска с двумя прорезями, расположенными под углом  $15^\circ$  от вертикальной оси. Сигнал от датчика подается на четвертый дискретный вход сервопреобразователя.

При подаче команды на выход в нулевое положение двигатель совершает медленное вращение по часовой стрелке (первая скорость) до того момента, когда прорезь маски попадет в зазор оптического датчика, что приведет к его срабатыванию. Сигнал датчика воспринимается сервопреобразователем как сигнал выхода в нулевое положение. Однако до остановки сервопривод будет еще некоторое время двигаться в прежнем направлении. Процедура выхода на ноль предусматривает обратное движение серводвигателя на еще более низкой скорости (вторая скорость) и возврат его к нулевому положению (или к другому

положению, заданному смещением). Однако в отличие от Z-импульса сигнал оптического датчика имеет значительную длительность, что исключает точную остановку привода в нулевом положении. Поэтому для точной установки серводвигателя в нулевое положение требуется перейти в новое положение, отличное от «домашнего», где задание нуля будет «абсолютным».

*В дальнейшем потребуется установить качающееся основание в строго горизонтальное положение. Это положение будет именоваться «начальным» (не путать с «нулевым»).*

Другой особенностью привода качающегося основания является достаточно большой момент инерции нагрузки на валу сервопривода. Вследствие этого регулятор скорости в переходных режимах позиционирования должен формировать мощный управляющий сигнал, чтобы удержать привод на траектории. С другой стороны, сама скорость движения должна быть небольшой, что обеспечивается малым коэффициентом передачи регулятора положения.

Перед началом работы при выключенном автоматическом выключателе QF1 модуля питания необходимо привести все элементы стенда в исходное положение:

- выключить переключатели «Сеть» модулей «Качающееся основание» и «Подвижная рамка»;

- переключатель SA3 «Разрешение» модуля «Подвижная рамка» и SA3 модуля «Качающееся основание» установить в нижнее положение «0», соответствующее выключенному состоянию;

- переключатель SA1 «Уст. нуля» установить в нижнее положение «0», соответствующее выключенному состоянию;

- установить переключатель SA2 модуля «Подвижная рамка» в среднее положение, а рукоятку потенциометра RP1 модуля – в крайнее положение против часовой стрелки;

- установить переключатель SA1 «Работа» модуля «Качающееся основание» в положение «0», соответствующее выключенному состоянию;

- установить рукоятки потенциометров RP1 и RP2 модуля «Качающееся основание» в крайнее положение против часовой стрелки, соответствующее минимуму снимаемого напряжения;

- установить на вал электродвигателя подвижной рамки маховик с зеркалом по указанию преподавателя.

#### *Настройка сервопривода качающегося основания*

После установки начального положения всех элементов стенда необходимо подать напряжение на стенд и создать соединение сервопреобразователя модуля «Качающееся основание» с персональным компьютером, предварительно сбросив параметры меню преобразователя на установленные по умолчанию:

- включить автоматический выключатель QF1 модуля питания;

- подать напряжение на сервопреобразователь установкой клавишного переключателя «Сеть» модуля «Качающееся основание» во включенное положение – после этого на экране преобразователя появится служебная информация;
- зайти в меню программируемых параметров преобразователя нажатием кнопки «Mode» – на экране индицируется группа меню P0 и параметр P0-00;
- последовательным нажатием на кнопку «Shift» добиться индикации группы меню P2 и параметра P2-00;
- нажатием на клавиши курсора «Вверх», «Вниз» вывести на индикацию параметр P2-08, войти в него нажатием кнопки «Set», и установить в нем значение P2-08 = 10. Подтвердить установку параметра нажатием на кнопку «Set» – настройки преобразователя будут сброшены на исходные заводские. После сброса настроек на заводские преобразователь следует перезагрузить, отключив его от питания на 5...10 с;
- установить соединение сервопреобразователя с компьютером, запустить программу ASDA-Soft. В окне Parameter Editor считать значения всех параметров из преобразователя в программу.

#### *Установка смешанного режима управления Pr/Pt*

Как и в предыдущей работе будет использоваться смешанный режим Pr/Pt, переключаемый с помощью тумблера SA4 модуля «Качающееся основание». Для инициализации данного режима работы с помощью программного обеспечения ASDA-Soft необходимо установить следующие параметры меню преобразователя:

- CTL P1-01 = 0x000D (устанавливает смешанный режим управления положением Pr/Pt), после установки значения необходимо отключить и вновь включить питание сервопреобразователя через 5...10 с;
- PSTL P1-02 = 0x0000 (программное ограничение момента и скорости отключено);
- DI1 P2-10 = 0x0101 (подключение тумблера SA3 «Разрешение» к дискретному входу DI1, инициализация команды «ПУСК»);
- DI2 P2-11 = 0x012B (установить дискретный вход DI2 в качестве переключателя режимов Pr/Pt). Переключатель SA4 модуля «Качающееся основание» установить в положение Pr, соответствующее позиционному режиму управления);
- DI3 P2-12 = 0x0127 (инициализация дискретного входа DI3 (кнопка SB1 модуля «Качающееся основание») на функцию SHOM движения в начальное положение);
- DI4 P2-13... DI8 P2-17 = 0 (дискретные входы DI4...DI8 отключены);
- MON P0-03 = 0x0010 (индикация скорости на первом выходе привода и момента – на втором);
- MSPD P1-55 = 2000 (включается ограничение максимальной скорости электродвигателя);

- TSL P1-36 = 0 (S-характеристика разгона/торможения электропривода отключена);
- KPP P2-00 = 5 (коэффициент пропорционального усиления контура положения);
- KPI P2-53 = 1 (коэффициент интегральной составляющей регулятора положения);
- PFG P2-02 = 5 (дифференциальный коэффициент контура положения);
- KVP P2-04 = 3500 (пропорциональный коэффициент контура скорости);
- KVI P2-06 = 200 (интегральный коэффициент контура скорости);
- AUT2 P2-32 = 0 (выключается непрерывный режим автонастройки коэффициентов усиления ПИД-регулятора скорости).

#### *Установка параметров выхода в нулевое положение*

Для настройки выхода в нулевое положение следует установить следующие значения параметров:

- HMOV P5-04 = 0x0022 (активируется режим поиска нулевого положения: движение вперед до датчика исходного положения ORGP, Z-импульс игнорируется);
- HSPD1 P5-05 = 1 (устанавливается первая скорость поиска нулевого положения – скорость движения вперед);
- HSPD2 P5-06 = 0.1 (устанавливается вторая скорость поиска нулевого положения – скорость движения назад);
- DI4 P2-13 = 0x0124 (вход DI4 определяется как вход датчика нулевого положения ORGP);
- AC0 P5-20 = 1 (минимальное время ускорения/замедления для процесса выхода в нулевое положение);
- DLY0 P5-40 = 0 (временная задержка);
- POV0 P5-60 = 10 (скорость процесса выхода в положение 1);
- ODEF P6-00 = 0x00000000 (поиск нуля задается с заданными параметрами скорости, ускорений и временной задержки);
- ODAT P6-01 = 0 (нулевое смещение при поиске нуля);
- PDEF P6-02 = 0x00000002 (положение 1: движение с заданными параметрами скорости, ускорений и временной задержки и остановка двигателя по завершению);
- PDAT P6-3 = 0 (значение положения 1, в дальнейшем подлежит корректировке).

#### *Апробация выхода двигателя в нулевое положение*

После установки заданных параметров необходимо проверить правильность выхода двигателя в нулевое положение и определить начальное, соответствующее строго горизонтальному положению качающегося основания. Для этого:

- в программе ASDA-Soft запустить осциллограф, выбрать для показа сигналы задания на положение (Command Position [PUU]) и обратной связи по положению (Feedback Position [PUU]);
- установить переключатель SA4 в положение Pr;
- подать сигнал разрешения на работу сервопреобразователя (переключатель SA3 «Разрешение»);
- подать сигнал выхода в нулевое положение кратковременным нажатием на кнопку SB1 «Сброс» модуля «Качающееся основание» – электродвигатель должен совершить соответствующее движение по выходу в нулевое положение. По завершении процедуры выхода в нулевое положение двигатель должен остановиться. Во время выхода двигателя в «нуль» необходимо фиксировать переходный процесс на осциллографе;
- для «корректировки нуля» обеспечить переход положение 1, установив ODEF P6-00 = 0x00000001. Запустив процесс выхода в нулевое положение вновь, убедиться в точном позиционировании привода.

#### *Установка начального положения*

Начальным положением будем считать строго горизонтальное положение качающегося основания. Для установки сервопривода в это положение необходимо:

- определить количество импульсов на перемещение в начальное положение. Для этого, сняв сигнал «Разрешение», зафиксировать количество импульсов в крайних положениях основания (по и против часовой стрелки до упора) и вычислить среднее значение (оно должно быть отрицательным!);
- ввести вычисленное значение в параметр PDAT1 P6-3, записать его в сервопреобразователь и опробовать выход сервопривода в начальное положение. Фиксировать переходный процесс на осциллографе;
- путем изменения параметров регуляторов скорости и положения KVP P2-04, KVI P2-06, KPP P2-00, KPI P2-53 попытаться улучшить качество переходных процессов. Настройку начинать с регулятора скорости, потом перейти к регулятору положения. При этом рекомендуется каждый раз вносить небольшое изменение (сначала в сторону повышения) в значение каждого из параметров и оценивать полученный эффект по осциллографу.

#### *Реализация циклического режима работы сервопривода качающегося основания*

Настроить параметры сервопреобразователя таким образом, чтобы качающееся основание совершало циклическое движение относительно начального положения (качание) с амплитудой  $\approx 5^\circ$  и частотой  $\approx 1$  Гц. Для этого:

- рассчитать абсолютные положения сервопривода в «крайних» точках, учитывая положение «центра» (начальное положение) и то, что количество импульсов на один оборот (после электронного редуктора) равно 100000;

- рассчитать скорость движения сервопривода (об/мин) исходя из того, что полное колебание должно совершаться за 1 с;
- настроить соответствующие параметры циклического движения, установив параметры трех (новых!) положений: двух крайних и «переходной», не нарушая ранее введенных настроек, обеспечивающих выход сервопривода в начальное положение. Временные задержки в крайних положениях и при переходе должны быть равны нулю;
- настроить дискретные входы DI5 и DI6 на выбор положения (Position command selection) и запуск команды (Command triggered) соответственно;
- с помощью переключателя SA3 дать разрешение на работу преобразователя. Нажатием на кнопку SB1 перевести привод в начальное положение;
- в программе ASDA-Soft открыть окно Digital IO/Jog Control и, активируя входы DI5 и DI6, запустить циклический режим работы сервопривода. Остановить движение можно, нажав на кнопку SB1, что приведет привод в начальное положение. Повторный запуск возможен путем деактивации/активации входа DI6 (команда работает «по фронту»);
- варьируя в небольших пределах настройки регуляторов скорости и положения, попытаться улучшить качество процессов;
- изменяя частоту качания основания (скорость сервопривода), наблюдать изменение точности воспроизведения заданной траектории (снижение амплитуды колебаний и увеличение фазового сдвига с ростом частоты).

#### *Порядок представления результатов*

Результаты проведенной работы демонстрируются преподавателю непосредственно на занятии или, в случае отложенной проверки, предоставляются ему в виде

- файлов настройки параметров сервопреобразователя;
- файлов, содержащих обработанные графики переходных процессов, полученных в результате настройки регуляторов (исходные и конечные варианты).

#### 4.4 Следящий режим работы сервопривода качающегося основания

##### Цель работы

Освоить настройку сервопреобразователя ASD-A2 качающегося основания в следящем режиме. Настроить контуры регулирования скорости и положения. Экспериментально определить частотные характеристики сервопривода в следящем режиме

##### Программа работы

1. Настройка сервопреобразователя на следящий режим работы, апробация режима.
2. Настройка регуляторов скорости и положения.
3. Экспериментальное определение частотных характеристик системы регулирования положения в следящем режиме.

##### Пояснения к работе

Источником задания положения в следящем режиме (Pt) является последовательность импульсов, подаваемых на внешние входы сервопреобразователя. Имеется три типа сигналов входных импульсов, тип импульсного сигнала выбирается в параметре РТТ Р1-00. Окно настройки параметров, показанное на рис. 51, наглядно демонстрирует возможные варианты:

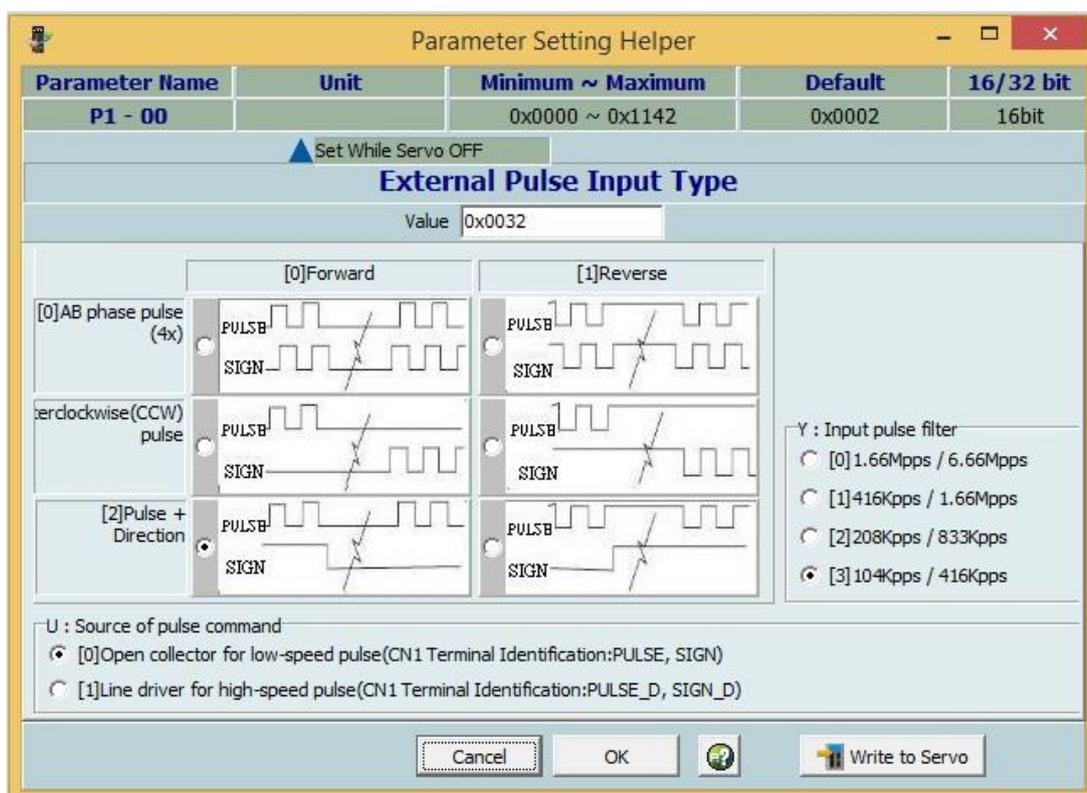


Рис. 51. Настройка параметра РТТ

– AB phase pulse (4x) – «квадратурные» импульсы, считается каждый фронт (положительный и отрицательный) импульсов по двум линиям, направление определяется разностью фаз импульсов;

– CW + CCW (ClockWise + Counter-ClockWise, по часовой стрелке + против часовой стрелки) – направление определяется линией, по которой поступают импульсы;

– Pulse + Direction – по одной линии поступают импульсы, направление определяется уровнем сигнала на другой.

Для каждого типа импульсов можно установить как положительную, так и отрицательную (инверсную) «логику» их подсчета.

Помимо типа импульсов необходимо выбрать источник их поступления (контакты разъема CN1):

– Open collector for low-speed pulse (низкочастотные импульсы, формируемые устройствами с выходным цепями типа «открытый коллектор»);

– Line driver for high-speed pulse (высокочастотные импульсы, формируемые устройствами с выходным цепями типа «линейный драйвер»).

В левой части окна настройки выбирается частота среза входного импульсного фильтра, предназначенного для подавления помех в линии.

Источником задания для сервопреобразователя модуля «Качающееся основание» в режиме Pt является импульсный сигнал типа Pulse + Direction, формируемый *контроллером сигнала задания*. Импульсы вызывают периодические колебания качающегося основания синусоидальной, прямоугольной или пилообразной формы в зависимости от положения переключателя SA2. Амплитуда и частота импульсов задаются с помощью потенциометров PR1 и PR2.

Перед началом работы при выключенном автоматическом выключателе QF1 модуля питания необходимо привести все элементы управления стенда в исходное состояние. После этого подать напряжение на сервопреобразователь модуля «Качающееся основание» и при необходимости восстановить настройки сервопреобразователя, полученные в ходе проведения лабораторной работы №3.

*Настройка и апробация следящего режима модуля «Качающееся основание»*

Поскольку изначально при выполнении предыдущей лабораторной работы сервопреобразователь был настроен на двойной режим работы Pr/Pt, для переключения из позиционного в следящий режим достаточно установить переключатель SA4 модуля в положение «Pt».

Для настройки следящего режима достаточно инициализировать источник сигнала управления, в качестве которого выступает контроллер сигнала задания:

– PTT P1-00 = 0x0032.

Установка этого параметра задает тип источника сигнала управления. Входные импульсы: первый канал – Pulse (в нашем случае с разрешением 100 000 им/об), второй канал – Sign, определяющий полярность сигнала задания. Также здесь задается частота фильтра входов, все частоты выше которой сервопреобразователь будет игнорировать, и источник импульсов – Open collector for low speed pulse.

В дальнейшем электронный энкодер сервопреобразователь модуля «Качающее основание» будет служить источником импульсного сигнала задания для сервопреобразователя модуля «Подвижная рамка». Для настройки энкодера достаточно указать выходное число импульсов на один оборот двигателя:

– GR3 P1-46 = 25000.

Введенное значение требует пояснения. Как неоднократно отмечалось ранее, разрешающая способность системы измерения положения составляет 100 000 импульсов на оборот двигателя (с учетом электронной редукации, реальный энкодер сервопривода выдает 1 280 000 импульсов). Именно с таким разрешением сервопреобразователь модуля «Подвижная рамка» должен получать сигнал, чтобы воспроизвести угол поворота качающегося основания. Однако следует иметь в виду, что квадратурный счетчик на четырехкратной скорости считает не импульсы, а их фронты по двум каналам, поэтому разрешающая способность 100 000 им/об действительно достигается, если на один оборот по каждому каналу приходит 25000 импульсов.

После ввода настроек следует:

– подать сигнал «Разрешение» на сервопреобразователь модуля «Качающееся основание», перевести его в режим управления Pt и нажатием на кнопку «Сброс» вывести серводвигатель в начальное положение, соответствующее строго горизонтальному положению качающегося основания;

– перевести сервопреобразователь в следящий режим управления Pt;

– с помощью переключателя SA2 выбрать синусоидальную форму выходного сигнала. Потенциометрами RP1 и RP2 установить небольшую амплитуду (4–5°) и небольшую частоту (0,5 – 1 Гц) колебаний;

– включить контроллер задания в работу. Наблюдать колебания качающегося основания. Изменяя частоту и амплитуду задающего сигнала, проверить работоспособность системы во всем диапазоне изменения частоты и амплитуды. **При возникновении биений качающегося основания о неподвижное основание или других эффектов, свидетельствующих о ненормальной работе, немедленно снять сигнал разрешения, выключив переключатель SA3 и приступить к анализу проблемы и внесению корректировок в настройки;**

– опробовать работу системы при других формах задающего сигнала;

– перевести переключатель «Работа» контроллера сигнала задания в положение «0», дождаться полной остановки привода и снять сигнал разрешения сервопреобразователя.

### *Настройка регуляторов скорости и положения*

Настройку контуров следящей системы управления необходимо выполнять при прямоугольном сигнале задания, поступающем с выхода контроллера сигнала задания модуля «Качающееся основание». При настройке необходимо по осциллографу оценивать качество переходных процессов скорости и положения замкнутой системы и таких показателей, как быстродействие, статическая ошибка, колебательность, перерегулирование.

Настройка начинается с регулятора скорости. Анализируя поведение сигнала по скорости и сравнивая его с сигналом задания, подобрать параметры регулятора скорости: KVP P2-04, KVI P2-06, KVF P2-07.

Далее настраивается регулятор положения. Устанавливаются параметры KPP P2-00, KPI P2-5, PFG P2-02.

Результатом процедуры настройки контуров должна быть устойчивая работа электропривода качающегося основания, его четкое позиционирование (отсутствие статической ошибки позиционирования), отсутствие колебательности при отработке положения.

Необходимо снять серию переходных процессов при различных формах и частотах сигнала задания. Привести обработанные графики переходных процессов в отчете по работе. После завершения опытов выключить переключатель «Работа» (SA1) модуля «Качающееся основание», убрать сигнал разрешения на работу сервопреобразователей, сохранить настройки сервопривода модуля «Качающееся основание» на персональном компьютере, выключить автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.

### *Снятие частотных характеристик сервопривода модуля «Качающееся основание».*

При выполнении задания удобно совместить нулевое положение серводвигателя с начальным (см. лаб. работу №3), что позволит получить наиболее наглядные осциллограммы колебаний в программе ASDA-Soft. Настроить преобразователь на нуль при строго горизонтальном положении качающегося основания, можно путем изменения режима Homing Mode. Для этого требуется ввести следующие значения:

– HMOV P5-04 = 0x0008 (Define current position as home sensor – определить текущее положение как нулевое).

– ODEF P6-00 = 0x10000000 (остановка в текущей позиции).

После ввода параметра необходимо вручную перевести качающееся основание в горизонтальное положение, перевести преобразователь в режим Pr, включить сигнал разрешения и нажать кнопку «Сброс». Привод останется на месте, а показания о текущем положении обнулятся.

Для снятия частотных характеристик в программе ASDA-Soft необходимо запустить осциллограф и настроить его на отображение сигналов Command Position [PUU] и Feedback Position [PUU]. Перед экспериментом требуется убедиться в том, что значения двух сигналов равны нулю (их можно также наблю-

дать на дисплее самого сервопреобразователя: отображаемые параметры C-PUU и Fb.PUU).

При выключенном контроллере сигнала задания значение C-PUU = 0 является нормальным. Однако если выполнить переход в режим P<sub>r</sub> до выхода на нуль в режиме P<sub>t</sub>, по возвращению в режим P<sub>t</sub> значение C-PUU может оказаться отличным от нуля. При проведении следующего эксперимента это приведет к искажениям взаимного положения кривых на осциллографе. Чтобы избежать искажений переход в режим P<sub>r</sub> нужно осуществлять только при нулевом задании в режиме P<sub>t</sub>. Поэтому после переключения SA1 в положение «0», контроллеру нужно дать некоторое время для формирования импульсов, обеспечивающих перевод привода в нулевое положение, и только потом изменять режим работы сервопреобразователя. Принудительно обнулить «накопленное» ранее задание можно перезагрузкой преобразователя.

Сигнал обратной связи при отсутствии разрешения на работу сервопреобразователя определяется текущим положением качающегося основания. Чтобы установить сигнал обратной связи в нуль необходимо:

- привести вручную качающееся основание в горизонтальное положение;
- дать разрешение на работу преобразователю и в режиме P<sub>r</sub> нажать на кнопку «Сброс»;
- вернуть преобразователь в режим P<sub>t</sub>, не снимая разрешения.

Частотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) предлагается построить по результатам экспериментов в диапазоне частот от 0,05 до 2 Гц при амплитуде входного синусоидального сигнала, равной 10°. Для этого:

- установить начальное значение частоты;
- запустить осциллограф. Убедиться, что начальные значения сигналов совпадают и равны нулю;
- перевести контроллер сигнала задания в режим «Работа», дождаться установления колебаний;
- снять сигнал «Работа», остановить осциллограф. Отмасштабировать изображение, оставив на экране одно-два колебания;
- определить частоту и амплитуды входных и выходных колебаний, а также разность их фаз. Амплитуды определять по пиковым значениям, частоту – по интервалу времени между пиками (или нулями) одной и той же кривой, разность фаз – по интервалу времени между пиками (или нулями) разных кривых. При этом удобно пользоваться относительными значениями Relative по каналам и Interval – по времени, предварительно задав начальную точку щелчком левой кнопки мыши;
- перевести значения амплитуд и разность фаз в град, а частоты – в Гц и в рад/сек;
- повторить описанные выше шаги для других значений частот (4 – 5 точек);
- снять разрешение на работу преобразователя и построить графики АЧХ и ФЧХ.

### *Порядок представления результатов*

Результаты проведенной работы демонстрируются преподавателю непосредственно на занятии или, в случае отложенной проверки, предоставляются ему в виде

- файлов настройки параметров сервопреобразователя;
- файлов, содержащих обработанные графики переходных процессов, полученных в результате настройки регуляторов (исходные и конечные варианты);
- файлов, содержащих графики частотных характеристик системы слежения.

## **4.5 Следящий режим работы сервопривода подвижной рамки. Система стабилизации**

### *Цель работы*

Настройка следящей системы стабилизации подвижной рамки. Настройка и апробация системы стабилизации

### *Программа работы*

1. Настройка и апробация следящего режима модуля «Подвижная рамка».
2. Настройка регуляторов скорости и положения.
3. Исследование системы стабилизации.

### *Пояснения к работе*

Источником задания для сервопреобразователя модуля «Подвижная рамка» в режиме Pt является импульсный сигнал типа AB phase pulse, снимаемый с разъема X1 или формируемый электронной схемой задания угла поворота в зависимости от положения переключателя SA1 «Уст. нуля».

Когда переключатель SA1 находится в положении «1», электронная схема позволяет корректировать угол поворота серводвигателя с помощью потенциометра RP1 по и против часовой стрелки в зависимости от положения переключателя SA2. Соответствующая повороту последовательность импульсов подается на сервопреобразователь. Перевод переключателя SA2 в среднее положение приводит к формированию «обратной» последовательности импульсов и возврату вала серводвигателя в исходное положение. Коррекцию можно оставить в силе, если, не переводя переключатель SA2 в среднее положение, выключить SA1.

Основным сигналом задания является сигнал, поступающий через разъем X1. Посредством специального кабеля этот разъем должен быть соединен с одноименным разъемом модуля «Качающееся основание», на который выводятся выходные импульсы электронного энкодера сервопреобразователя модуля. На лицевой панели модуля этот разъем ошибочно соединен с мнемоническим изображением энкодера серводвигателя. В реальности сигнал берется из разъема CN1 преобразователя и отличается от сигнала энкодера двигателя. По сути, сигнал электронного энкодера, выдаваемый на разъем X1, представляет собой сигнал энкодера двигателя, прошедший «обратную редукцию» и масштабирование. Масштабирование заключается в задании числа выходных импульсов на один оборот двигателя (параметр GR3 P1-46 Encoder Output Pulse Number).

Таким образом, сигналом задания для сервопривода модуля «Подвижная рамка» может быть сигнал по положению модуля «Качающееся основание». При соответствующих настройках движение подвижной рамки может быть синхронизировано с движением качающегося основания так, например, чтобы стабилизировать положение рамки в пространстве при качании основания.

### *Настройка и апробация следящего режима модуля «Подвижная рамка»*

Перед настройкой следует:

- отключить сервопреобразователи от питания;
- соединить специальным кабелем разъемы X1 моделей;
- соединить сервопреобразователь модуля «Подвижная рамка» с компьютером USB-кабелем;
- подать питание на сервопреобразователи;
- на компьютере запустить программу ASDA-Soft и произвести подключение;
- восстановить параметры настройки сервопреобразователя, введенные в ходе выполнения лабораторной работы №2.

Для настройки следящего режима достаточно инициализировать источник сигнала управления, в качестве которого выступает электронный энкодер сервопреобразователя модуля «Качающееся основание»:

–РТТ P1-00 = 0x0010.

Установка этого параметра задает источник сигнала управления в следящем режиме. Здесь задается тип входных импульсов: первый канал – линия А, второй канал – В, квадратурный режим (4х), прямой счет. Определяется частота среза фильтра входов и источник импульсов – Open collector for low speed pulse.

Поскольку статор сервопривода модуля подвижной рамки жестко соединен с ротором сервопривода качающегося основания, поворот основания на некоторый угол должен вызывать соответствующий поворот рамки. А так как выходные валы сервоприводов направлены встречно, суммарный поворот рамки относительно неподвижной поверхности должен оставаться неизменным. Другими словами, положение рамки в пространстве должно стабилизироваться.

Для того, чтобы процесс стабилизации был максимально наглядным, следует настроить режим Homing Mode для сервопреобразователя модуля подвижной рамки так же, как это было сделано для преобразователя модуля «Качающееся основание»:

– HMOV P5-04 = 0x0008 (Define current position as home sensor – определить текущее положение как нулевое);

– ODEF P6-00 = 0x10000000 (остановка в текущей позиции).

После этого следует установить «начальные условия» для обоих модулей:

- перевести вручную качающееся основание и подвижную рамку в горизонтальное положение (для рамки – зеркалом вверх);
- перевести оба преобразователя в режим Pr (переключателями SA4);
- подать разрешение на работу преобразователей (переключателями SA3);
- определить текущие положения приводов как нулевые нажатием на кнопки SB1 «Сброс». Показания Fb.PUU на дисплеях должны обнулиться.

Для проверки работоспособности системы выполнить следующее:

- перевести сервопреобразователи в режим Pt;
- с помощью потенциометров RP1, RP2 и переключателя SA2 задать параметры колебаний качающегося основания (синусоидальные колебания небольшой частоты и амплитуды);
- включить контроллер сигнала задания в работу переключателем SA1;
- наблюдая за положением рамки (оно должно быть почти неизменным) плавно увеличивать амплитуду и частоту колебаний до максимума;
- снять сигнал разрешения с преобразователя качающегося основания.

### *Настройка регуляторов скорости и положения*

Настройку контуров следящей системы управления необходимо выполнять при прямоугольном сигнале задания, поступающем с выхода электронного энкодера сервопреобразователя модуля «Качающееся основание». При настройке необходимо по осциллографу оценивать качество переходных процессов скорости и положения замкнутой системы и таких показателей, как быстродействие, статическая ошибка, колебательность, перерегулирование.

Настройка начинается с регулятора скорости. Анализируя поведение сигнала по скорости и сравнивая его с сигналом задания, подобрать параметры регулятора скорости: KVP P2-04, KVI P2-06, KVF P2-07.

Далее настраивается регулятор положения. Устанавливаются параметры KPP P2-00, KPI P2-5, PFG P2-02.

Результатом процедуры настройки контуров должна быть устойчивая работа электропривода модуля «Подвижная рамка», его четкое позиционирование (отсутствие статической ошибки позиционирования), отсутствие колебательности при отработке положения.

Необходимо снять серию переходных процессов при различных формах и частотах сигнала задания. Привести обработанные графики переходных процессов в отчете по работе. После завершения опытов выключить переключатель «Работа» (SA1) модуля «Качающееся основание», убрать сигнал разрешения на работу сервопреобразователей, сохранить настройки сервопривода модуля «Подвижная рамка» на персональном компьютере.

### *Исследование системы стабилизации*

После настройки системы следует оценить величину ошибки стабилизации, достигнутую в процессе настройки. Для этого необходимо воспользоваться лазерным целеуказателем и экраном с разметкой, поставляемыми в комплекте со стендом. Суть метода состоит в том, что лазерный луч направляется в центр зеркала, расположенного на подвижной рамке, а его отражение падает на экран, находящийся на известном расстоянии  $L$  от зеркала.

В процессе работы системы стабилизации возникает динамическая ошибка слежения, что должно быть видно по отклонению лазерного луча от начальной точки. Отклонение луча  $D$  можно оценить количественно, воспользовавшись шкалой экрана. Если отношение  $L/D$  достаточно велико, величина абсо-

лютной ошибки слежения может быть найдена как отношение длины дуги сектора окружности (приблизительно равной  $D$ ) к ее радиусу, равному  $L$ :

$$\Delta \approx \frac{D}{L} [\text{рад}] = \frac{180 \cdot D}{\pi \cdot L} [\text{град}].$$

При отработке колебательного движения амплитудное значение отклонения, очевидно, равно половине полного отклонения.

Для проведения экспериментов шкалу необходимо разместить как можно дальше от зеркала, тогда отклонение метки на шкале будут максимальными. Рекомендуется лазерный целеуказатель установить под шкалой, а зеркало – вертикально. В этом случае настройка направления луча производится достаточно просто.

Порядок выполнения работы:

– замерить расстояние от зеркала до экрана с разметкой и занести его в табл. 10;

– подать сигнал разрешения на сервопривод качающегося основания и привести его в начальное положение, после чего установить переключатель SA4 модуля в следящий режим (Pt);

– подать сигнал разрешения на сервопривод подвижной рамки и привести его в начальное положение, после чего установить переключатель SA4 модуля в следящий режим (Pt);

– при необходимости коррекции положения луча необходимо включить тумблер SA1 «Уст. нуля», выбрать направление поворота рамки и, задавая смещение потенциометром RP1, скорректировать положение рамки;

– выключить переключатель SA1 «Уст. нуля»;

– переключателем SA2 модуля «Качающееся основание» выбрать синусоидальный сигнал задания и дождаться включения соответствующего светодиода VD2 на лицевой панели модуля;

– установить амплитуду колебаний на уровне 2,5 градуса (потенциометр RP1) и минимальную частоту колебаний (потенциометр RP2);

– подать сигнал «Работа» (переключатель SA1) на контроллер сигнала задания – качающееся основание должно начать периодические колебания;

– плавно увеличивая частоту колебаний системы, регистрировать абсолютную ошибку позиционирования в табл. 10;

– после исследования системы стабилизации следует остановить качающееся основание и убрать сигналы разрешения на работу сервоприводов.

Повторить опыт для другого значения амплитуды колебаний (по заданию преподавателя). По результатам опыта построить графическую зависимость ошибки от частоты колебаний качающегося основания.

Таблица 10 – Результаты экспериментов

Расстояние до экрана $L$ , м						
Амплитуда колебаний $A$ , °						
Частота колебаний $f$ , Гц						
Линейная ошибка $D$ , мм						
Угловая ошибка, °						
Отн. угловая ошибка, %						

После проведения работы сохранить настройки сервоприводов в отдельных файлах на персональном компьютере.

*Порядок представления результатов*

Результаты проведенной работы демонстрируются преподавателю непосредственно на занятии или, в случае отложенной проверки, предоставляются ему в виде

- файлов настройки параметров сервопреобразователя;
- файлов, содержащих обработанные графики переходных процессов, полученных в результате настройки регуляторов (исходные и конечные варианты);
- файла, содержащий график зависимости ошибки системы стабилизации от частоты колебаний.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Учебно-исследовательский комплекс «Линейный двигатель». Марка: ЛД. Инструкция по эксплуатации и методические рекомендации для проведения исследовательских работ. – Челябинск: Научно-производственное предприятие «Учтех-Профи», 2016.
2. Сервопривод и системы стабилизации. ССт-СК. Методические указания к проведению лабораторных работ. – Челябинск: Научно-производственное предприятие «Учтех-Профи», 2016.
3. Линейный стол LSMM-T-24-110-50-C-HS-100/ RUSH Servomotors. Системы прямого привода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://direct-drive.ru/katalog/linejnyie-osi-na-baze-sinxronnyix-dvigatalej/kopiya-kopiya-linejnyij-stol-lsmm-t-24-110-50-c-hs-100.html>. – 06.05.2022.
4. What is a sine encoder (aka sin-cosine encoder)?/ MOTION CONTROL TIPS. A Design World Resource [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.motioncontroltips.com/what-is-a-sine-encoder-aka-sine-cosine-encoder/>. – 06.05.2022.
5. SERVOSTAR 300 Цифровой сервоусилитель S300 Руководство по эксплуатации. Выпуск 12/2015 Перевод оригинального руководства по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://servostar.ru/uploads/offers/20c90ef6af/\\_pdf/Kollmorgen%20S300.%20Руководство%20по%20эксплуатации.%20RUS.pdf](https://servostar.ru/uploads/offers/20c90ef6af/_pdf/Kollmorgen%20S300.%20Руководство%20по%20эксплуатации.%20RUS.pdf).
6. Luenberg Observer/ ScienceDirect [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/luenberger-observer>. – 06.05.2022.
7. Pseudo Derivative Feedback and Feedforward (PDFF) Controller [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://servotronics.com/html/Help\\_CDHD\\_EN/HTML/home.htm#!Documents/pseudoderivativefeedbackandfeedforwardpdfcontroller.htm](http://servotronics.com/html/Help_CDHD_EN/HTML/home.htm#!Documents/pseudoderivativefeedbackandfeedforwardpdfcontroller.htm). – 06.05.2022.
8. Сервоприводы DELTA. Серводвигатели ЕСМА /ИНТЕХНИКС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.intechnics.ru/servomotor\\_esma.html](http://www.intechnics.ru/servomotor_esma.html) – 06.05.2022.
9. Сервопривод ASDA-A2. Руководство пользователя. Revision June, 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.deltaelectronics.info/content/files/ASDA-A2\\_M\\_RU.pdf](https://www.deltaelectronics.info/content/files/ASDA-A2_M_RU.pdf).