

Dr. Bob Davidov

Самонастраиваемая высокоскоростная система прецизионного перемещения на базе контроллера EPOS

Цель работы: Познакомиться с представителем семейства самонастраиваемых контроллеров управления перемещением.

Задача работы: Построить самонастраиваемую систему прецизионного перемещения.

Приборы и принадлежности: LabView с Real-Time модулем, контроллер, бесколлекторный шаговый двигатель, два датчика углового перемещения, редуктор.

ВВЕДЕНИЕ

В этом примере показана система управления перемещением на базе бесколлекторного шагового двигателя и контроллера EPOS2 50/5 с оптимальным алгоритмом регулятора самонастраиваемым на параметры внешней (по отношению к контроллеру) среды включающей двигатель, датчики, нагрузку, люфт и др. При построении такой системы не надо разрабатывать алгоритмы управления, необходимо лишь собрать систему, выбрать режим работы, сформировать заданные воздействия и перед эксплуатацией запустить программу оптимизации регулятора, входящую в комплект поставки контроллера.

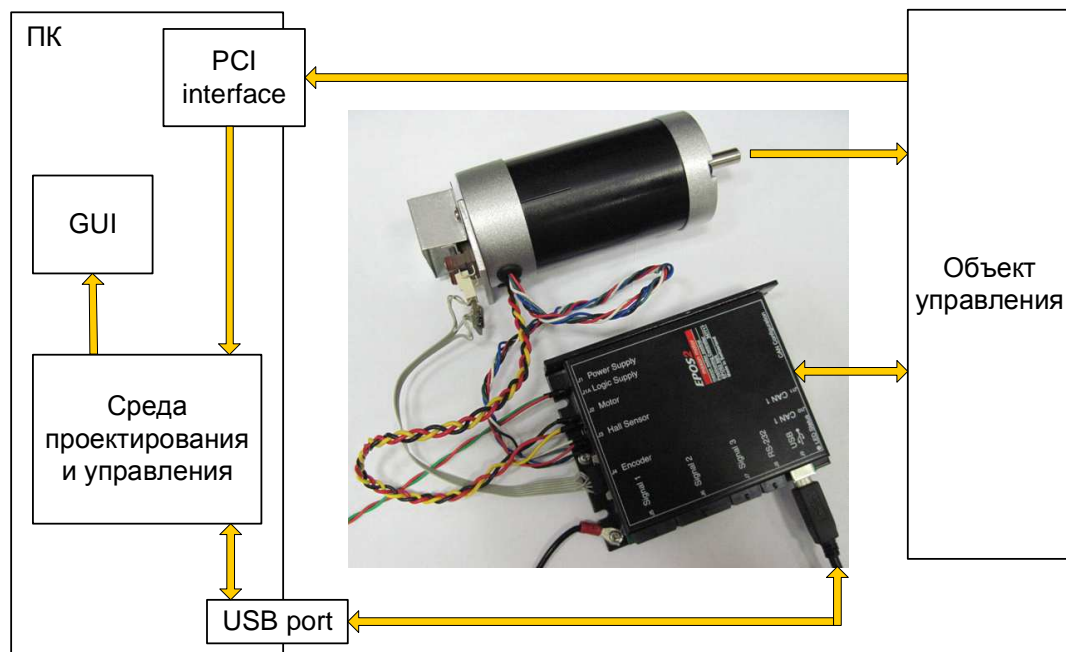


Рис 1. Пример структуры привода на базе контроллера EPOS. Графический интерфейс пользователя (GUI) и “Среда проектирования и управления” могут быть построены в LabView.

Через PCI интерфейс, например, NI PCI 6014 поступает дополнительная информация об объекте.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Контроллер EPOS2 50/5

Контроллер EPOS2 50/5 имеет следующие основные характеристики:

- Питание контроллера и двигателя: от 11В до 50В постоянного тока (разъем J1)
- Тип двигателя: Бесколлекторные (бесщеточные) шаговые двигатели (J2)
- Постоянный ток двигателя: до 10А
- Кратковременный ток двигателя: до 10А
- Разъем для подключения трехфазного датчика Холла двигателя (J3).
- Напряжения питания датчика Холла: +5В / 30 мА.
- Разъем для подключения инкрементального дифференциального реверсивного датчика с начальным отсчетом (J4)
- Напряжения питания инкрементального датчика: +5В / 100 мА.
- Максимальная частота инкрементального датчика: 5МГц.
- Разъем дифференциальных цифровых входов и выходов для подключения, например, датчика главного контура (J5)
- Разъем для подключения датчиков начала отсчета, концевых переключателей, пороговых датчиков (J6)
- Разъем для выхода ЦАП и двухканального АЦП (J7)
- Интерфейсы: RS-232 (J8), USB (J9), CAN (J10, J11)

Контроллер обеспечивает движение в следующих режимах

- Поиск начального положения по заданному критерию.
- Следящая система по абсолютному или относительному положению.
- Следящая система по скорости.
- Следящая система по положению с интерполяцией, используется для выхода в заданную точку в заданное время.
- Движение в заданное положение.
- Движение с заданной скоростью, выходит на заданную скорость с максимальным ускорением.
- Управление движением по току двигателя.
- Движение в позицию определенную внешним датчиком. Позволяет обеспечить синхронизацию двух двигателей.
- Движение по шагам позицию заданную цифровым сигналом. Этот режим может использоваться для управления EPOS контроллером программируемым логическим контроллером через CAN интерфейс.

Бесколлекторные (бесщеточные) шаговые двигатели.

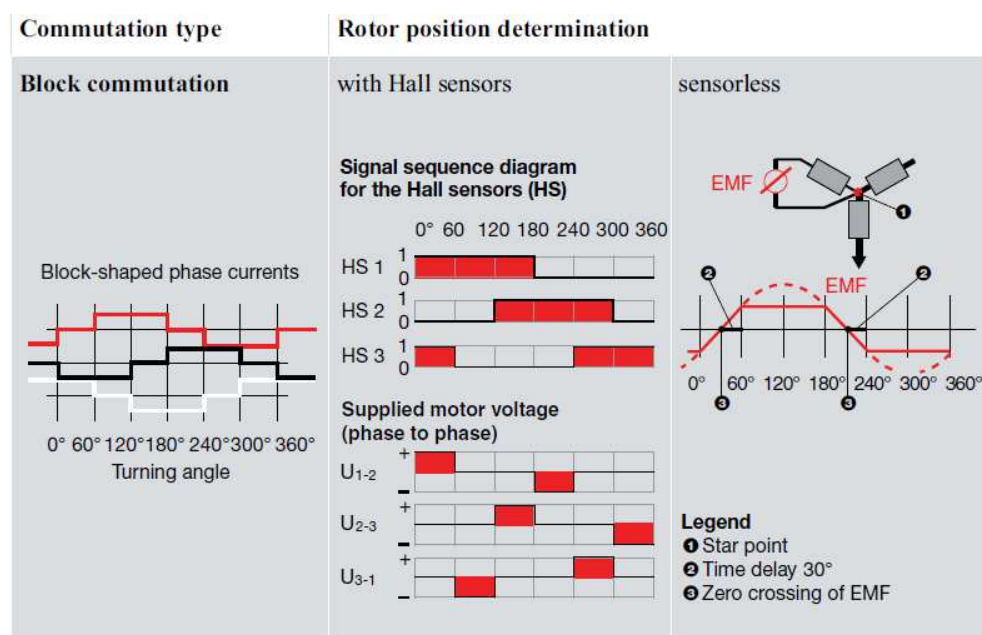


Рис 2. Порядок электронной коммутации обмоток двигателя (U_{1-2} , U_{2-3} , U_{3-1}) и соответствующие показания датчиков Холла (Hall Sensors) двигателей. Контроллер настроен на подключение двигателей **maxon**. Остальные двигатели, например, 42BLS/BL (в каталоге RS: 5366052) должны работать в соответствии с представленным порядком. Выходы трехфазного датчика Холла двигателя 42BLS/BL: 0/4.5В.

В этой работе использован двигатель 57BLS116 (Brushless motor) имеющий следующие характеристики.

- Количество полюсов: 4
- Количество фаз: 3
- Напряжение питания: 36В
- Номинальная скорость вращения: 4000 об/мин
- Номинальный момент: 0.42 Нм
- Максимальный момент: 1.3 Нм
- Постоянная момента: 0.082 Нм/А
- Тепловое сопротивление: 0.38 Ом
- Взаимная индуктивность: 1 мГн
- Максимальный ток: 15.9 А
- Инерция ротора: Кг м² 10-6
- Длина: 116 мм
- Вес: 1.25 Кг

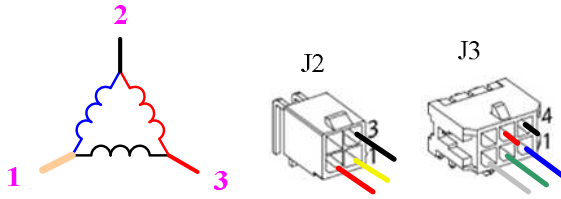


Рис 3. Схема подключения обмоток двигателя 57BLS116 к разъему J3 и датчика Холла двигателя к разъёму J3 контроллера EPOS2 50/5.

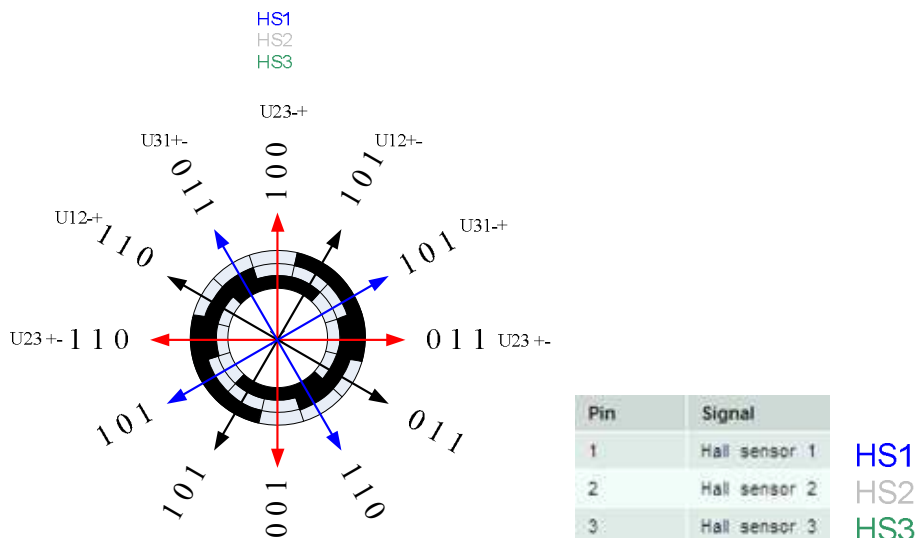
Датчики перемещения.

К контроллеру EPOS2 50/5 можно подключить следующие датчики положения.

- Датчик с выходом последовательной передачи данных (SSI Encoder)
- Два импульсных датчика (incremental encoder)
- Синусно-косинусные датчики

В рассматриваемую систему включены два импульсных (инкрементальных) датчика углового перемещения. Один закреплен на валу двигателя и используется в контуре скорости, а другой, закрепленный на выходном валу редуктора, используется в контуре положения для измерения целевой координаты системы перемещения.

Импульсные датчики углового перемещения до 2048 отсчетов на оборот, например, можно построить на базе кодовых дисков Dxxx и считывателей HEDS компании Avago Technologies.



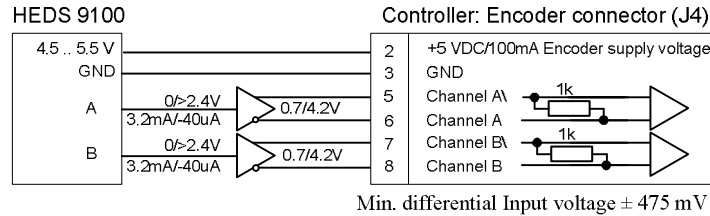


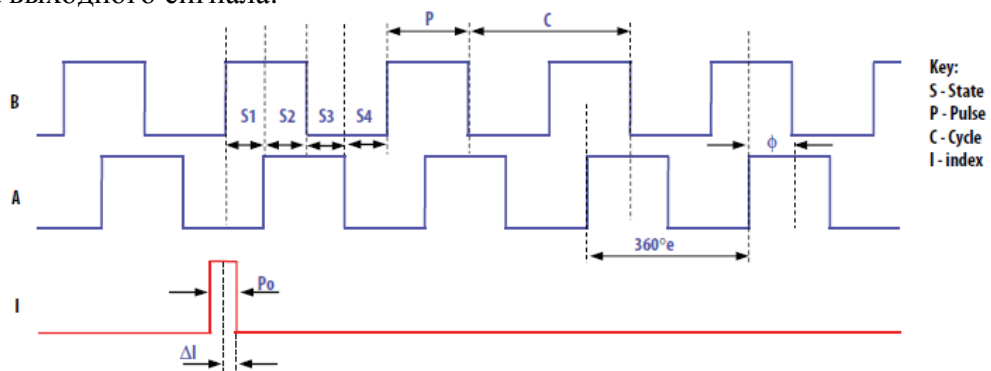
Рис 4. Диаграммы и схемы подключения датчиков Холла двигателя к разъему J3 контроллера, обмоток двигателя к разъему J2 и считывателя углового оптического датчика к разъему J4 контроллера.

В этой работе используются инкрементальные магнитные датчики углового перемещения имеющие следующие характеристики.

АЕАТ-601В (датчик локального контура с элементом, закрепленным на валу двигателя).



- Напряжение питания: 5В (7В)/ 20 мА
- Разрешение: 256 импульс / оборот
Примечание. Контроллер EPOS2 увеличивает разрешение до 1024 импульсов на оборот.
- Выходное напряжение: +0.4 В / $U_{пит} - 0.5В$
- Выходной ток: 4 мА
- Форма выходного сигнала:



- Максимальная скорость вращения: 7000 об/мин
- Диаметр вала двигателя (посадка под датчик): 6 мм
- Диапазон рабочих температур: - 40С .. +125С
- Габаритные размеры датчика: Ø 23 мм x 19 мм

RM22 IC 00 10B 10 F 1 C 00 (инкрементальный угловой датчик основного контура вращающийся синхронно с выходным валом редуктора).



- Напряжение питания: 5В
- Разрешение: 256 импульс / оборот
Примечание. Контроллер EPOS2 увеличивает разрешение до 1024 импульсов на оборот.

Структура и схемы системы перемещения.

Собранная система перемещения включает шаговый двигатель с трехфазным датчиком Холла, к двигателю присоединен редуктор к которому подключена нагрузка. На валу двигателя находится вспомогательный (auxiliary) угловой датчик замыкающий локальный контур. На выходном валу редуктора закреплен главный (main) инкрементальный датчик углового перемещения замыкающий основной контур управления. Пример подключения элементов привода (без главного датчика) показан на Рис 5. Электрическая схема подключения датчиков и двигателя к контроллеру двухконтурного привода показана на Рис 7.

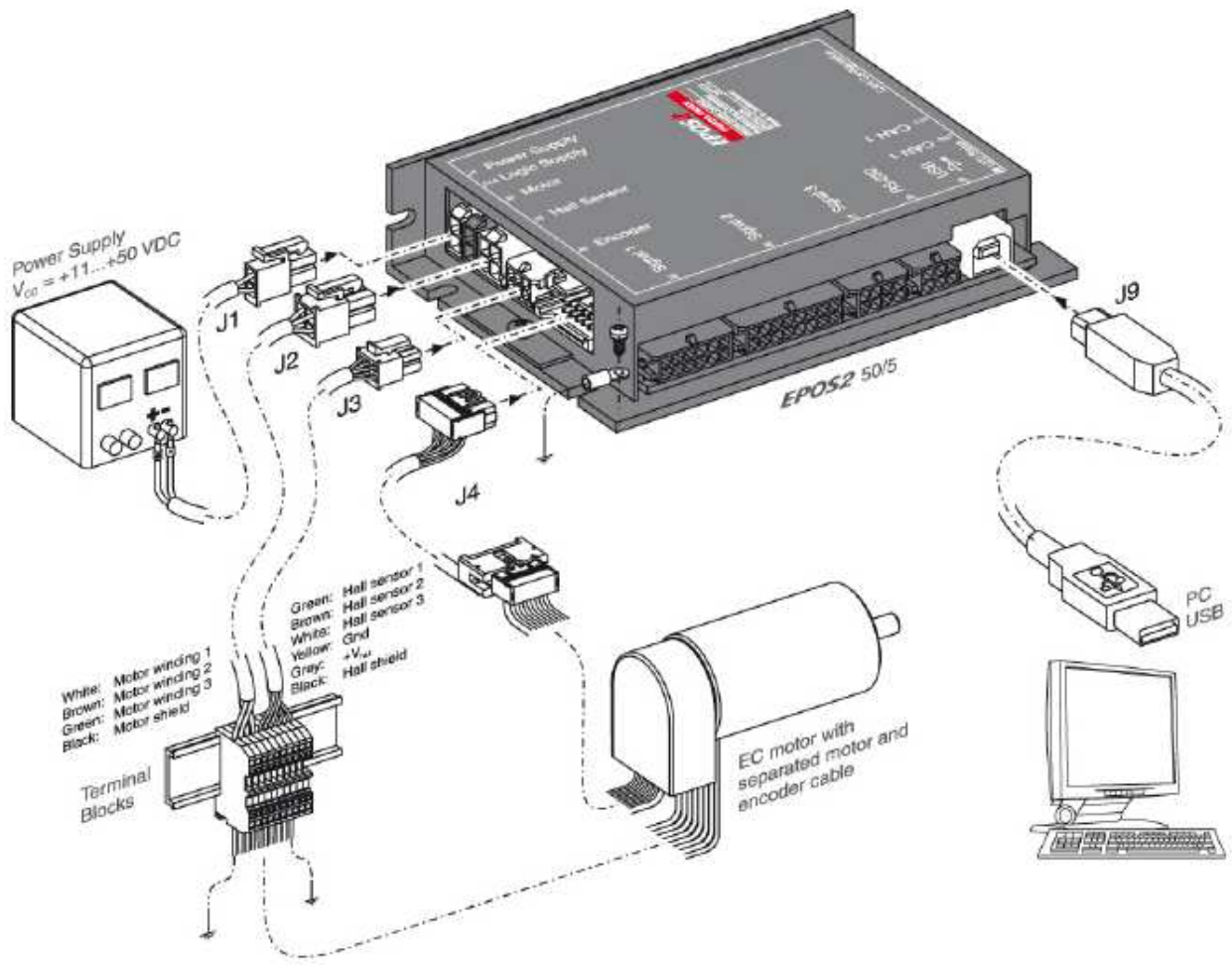


Рис 5. Пример соединений одноконтурного привода на базе Махон двигателя и контроллера EPOS2 50/5. Контроллер подключается к компьютеру через USB интерфейс.

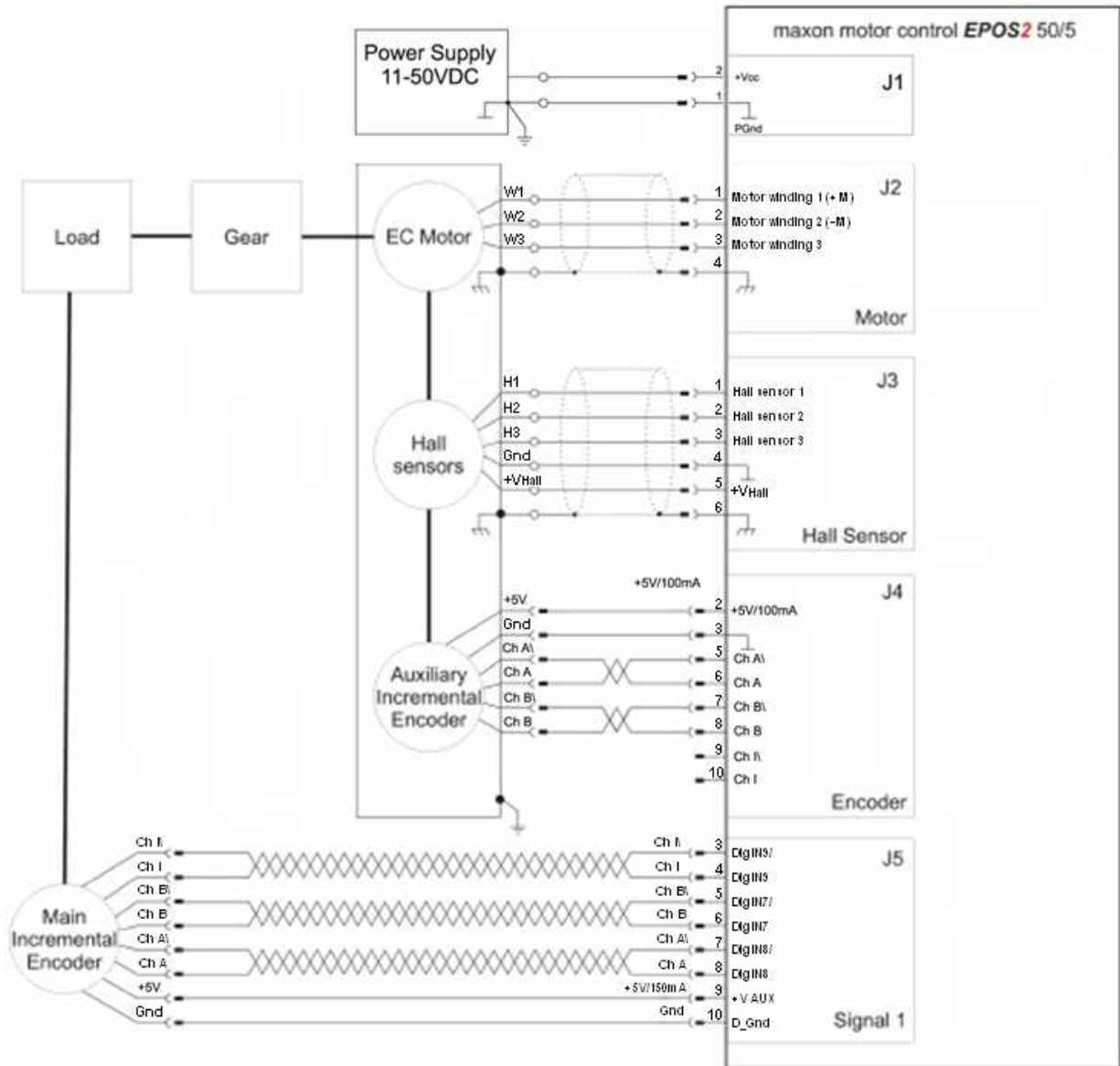


Рис 6. Электрическая схема подключения датчиков и двигателя к контроллеру EPOS2 50/5 двухконтурной системы перемещения.

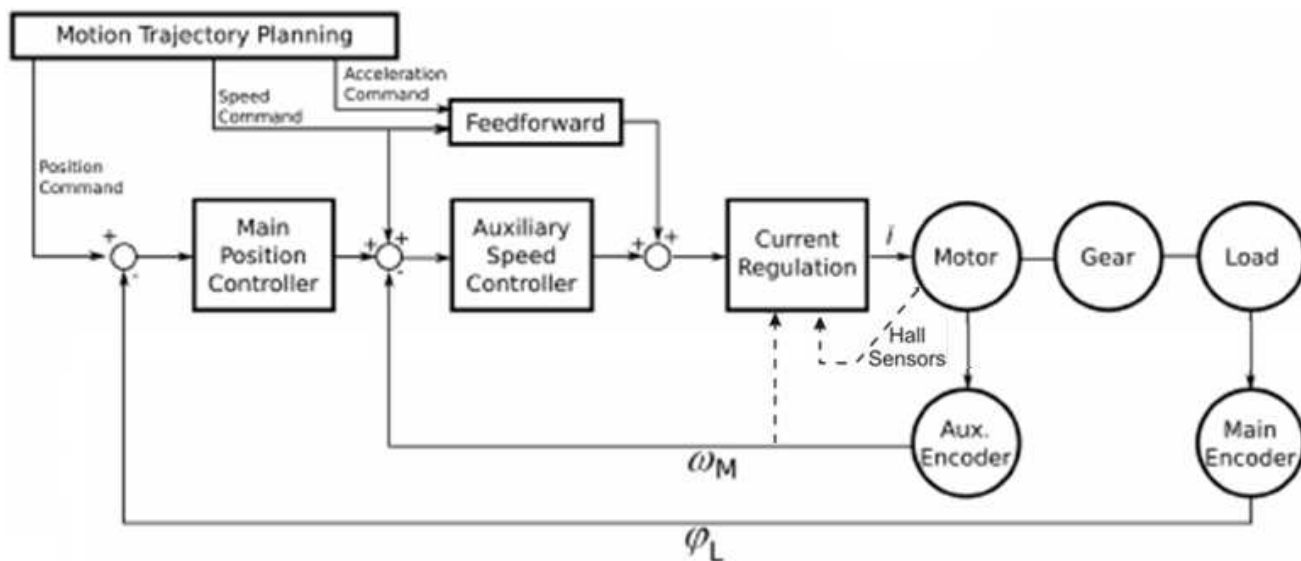


Рис 7. Двухконтурная следящая система по положению с внутренним контуром по скорости.

Программа EPOS Studio.

Программа EPOS Studio позволяет подключиться к контроллеру, ввести в контроллер основные характеристики привода, запустить контроллер на автоматическую оптимизацию параметров регулятора и проверить работу привода под управлением контроллера в одном из его режимов: поиск начального положения, управление по току скорости или положению в переходном или следящем режимах.

Пример результата самонастройки регулятора показан на Рис 8. При необходимости параметры регулятора можно подстроить в ручную (см. Рис 9).

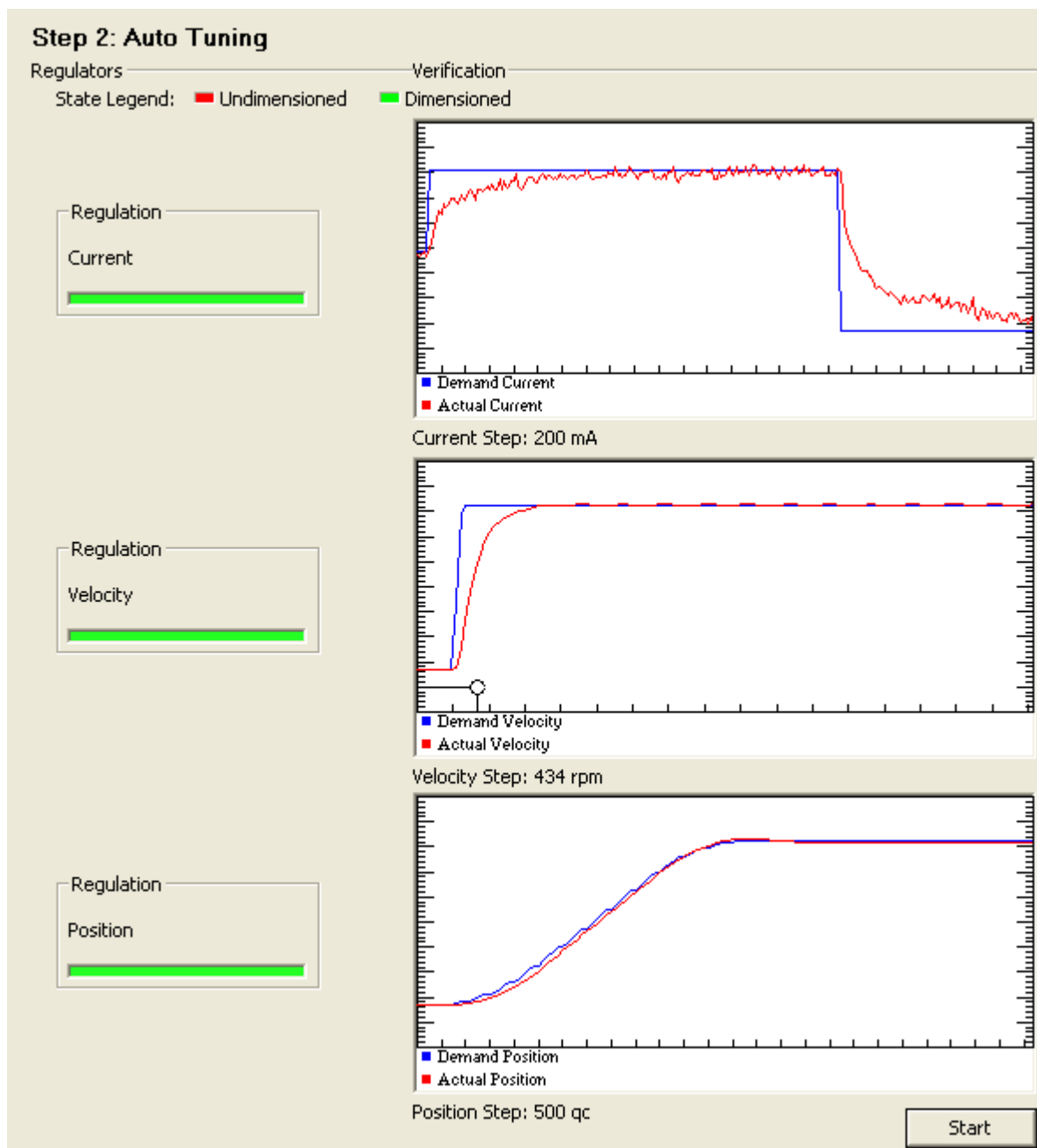


Рис 8. Пример результата самонастройки привода. Синий график – заданная координата. Красный – действительное значение.

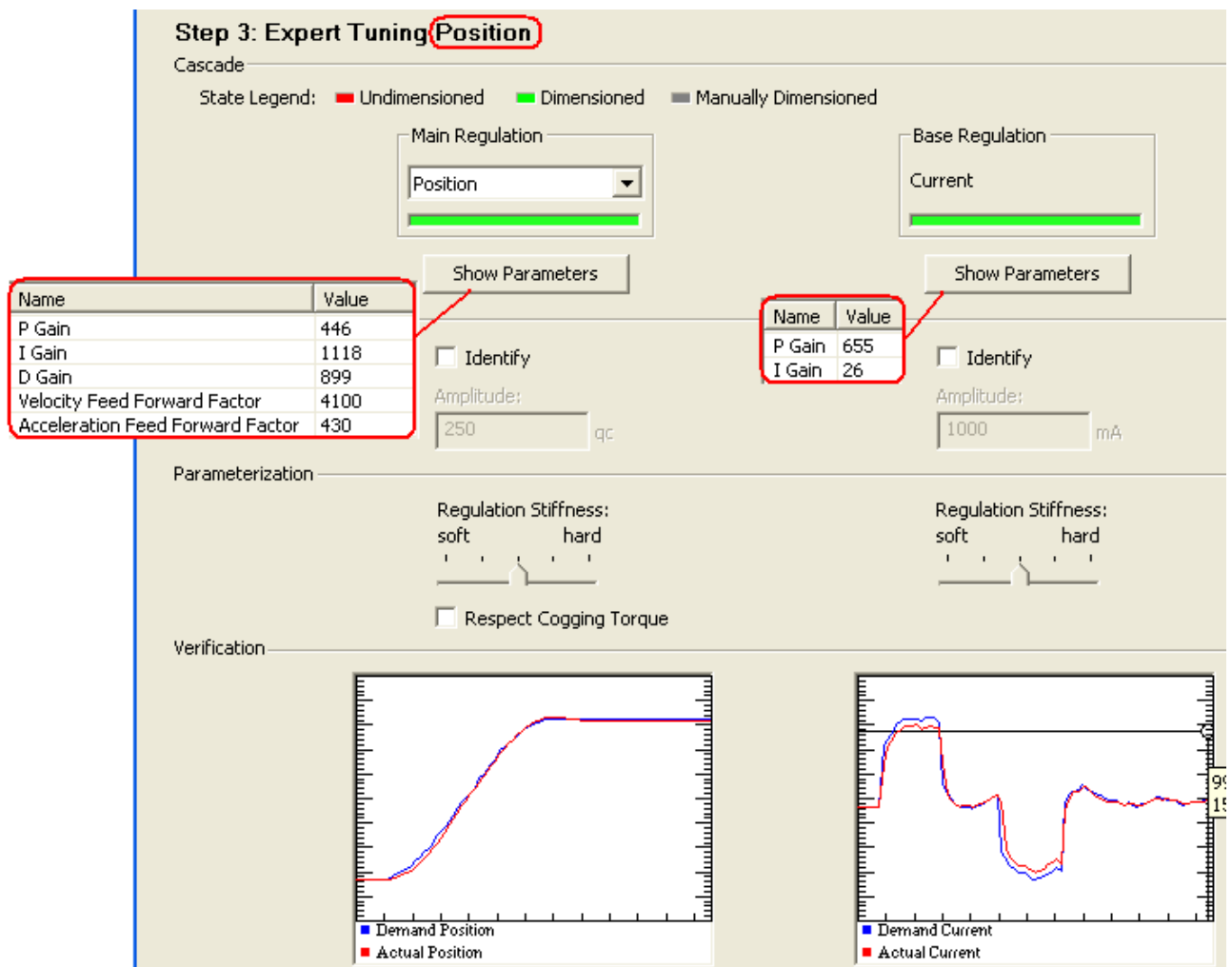


Рис 9. Пример состояния интерфейса ручной подстройки параметров регулятора (P Gain, I Gain, ...) и отображения их значений.

Работа системы перемещения в режиме интерполяции.

В контроллере EPOS2 контур локального управления положением привода работает на частоте 1 КГц. Для поддержания такой частоты в режиме реального времени контроллеру каждую секунду требуются 1000 значений заданных воздействий. Эти значения контроллер вычисляет используя более медленные входные воздействия поступающие от внешнего устройства через интерфейс.

Примечание. Фактически входные воздействия могут поступать на контроллер с периодом от 1 до 255 мс.

Блок схема вычисления промежуточных заданных воздействий системы перемещения в режиме интерполяции показана на Рис 10.

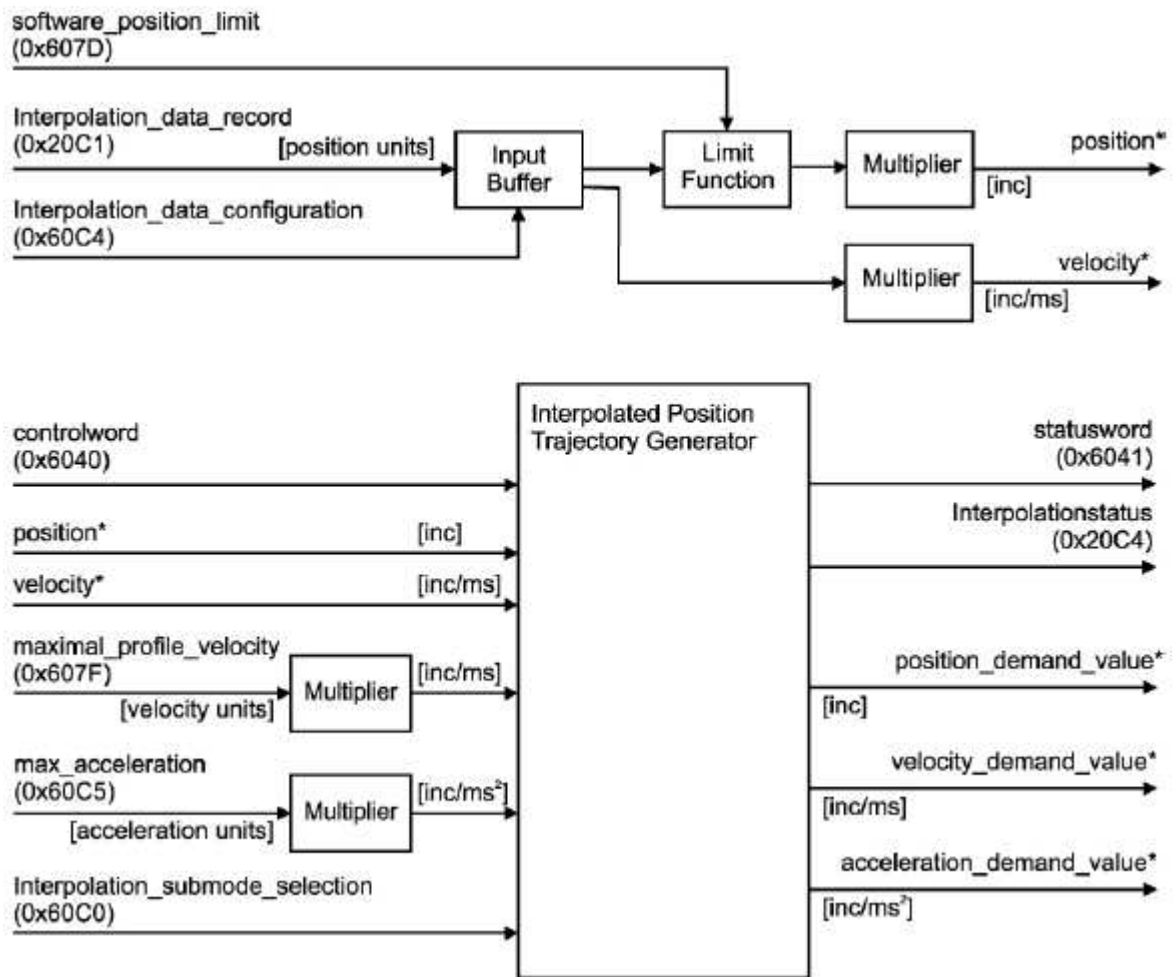


Рис 10. Блок схема вычисления заданных воздействий в режиме интерполяции: заданные значения положения, скорости и времени (`interpolation_data_record`) поступают в буфер FIFO емкостью 64 записи. Планировщик траектории рассчитывает промежуточные значения положения, скорости и ускорения (`position_demand_value`, `velocity_demand_value`, `acceleration_demand_value`) используя интерполяцию третьего порядка, заданные значения (`position*`, `velocity*`) поступающие из буфера и ограничения на скорость и ускорение (`maximal_profile_velocity`, `max_acceleration`).

Входные заданные параметры должны иметь следующие форматы:

- Приращение времени (Time) в мс [`ms`] unsigned8
- Скорость (Velocity) в об./мин [`rpm`] signed24
- Положение (Position) в ед.датчика [`qc`] signed32

Например, программа LabView, каждые 100 мс посылает контроллеру через USB канал требуемую скорость и положение привода, а контроллер, используя эти параметры, вычисляет интерполяцией их промежуточные значения, которые и поступают в виде заданных воздействий каждую миллисекунду на регулятор привода.

Регистрация параметров движения.

Контроллер может записывать следующие параметры движения в буфер и передавать их, например, через USB на компьютер пользователя для отображения, накопления или обработки.

- Ускорение
- Скорость поиска начала отчета
- Заданное положение в котором система останавливается после поиска датчика начала отчета
- Значение координаты присваиваемое конечному положению режима поиска.
- Тип триггера используемого для инициализации начального положения

Максимальный размер буфера контроллера для записи одной переменной составляет 512 x 8 или 512 x 16 слов или 256 x 32 слов; для двух переменных – 170 x 16 + 170 x 32 слов; для четырех переменных – 64 x 32 x 4 слов.

Функции библиотек используемых для построения VI интерфейса привода на базе контроллера EPOS2 в режиме интерполяции.

Таблица 1. Функции библиотеки LabView.

Функция	Описание
InitializeDlg.vi	Инициализация регистров интерфейсов USB, RS-232 или CAN с которыми может взаимодействовать контроллер EPOS
EnableAxis.vi	Очистка всех ошибок и установка контроллера в доступное состояние
DisableAxis.vi	Установка контроллера в отключенное состояние
Close.vi	Закрытие всех открытых портов. Это освобождает порты для других применений.

Таблица 2. Функции библиотеки **maxon EPOS / EPOSLibrary.lib**

N раздела [1]	Функция	Описание
6.7	РЕЖИМ HOMING	
6.7.1	VCS_ActivateHomingMode.vi	Активация режима Homing - поиска начального положения
6.7.2	VCS_SetHomingParameter.vi	Установка параметров режима Homing (скорость движения при поиске начального положения, ускорение, ток, смещение координаты начального положения)
6.7.4	VCS_FindHome.vi	Включение поиска начального положения
5.4.2.5	VCS_GetObject_UINT16.vi	Считывание состояния режима Homing, 10-й бит объекта 0x6041-00 информирует достиг ли привод начальное положение.
6.7.5	VCS_StopHoming.vi	Остановка режима Homing
6.8	РЕЖИМ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ЗАДАННОГО ПОЛОЖЕНИЯ (IPM)	

6.8.1	VCS_ActivateInterpolatedPositionMode.vi	Активация режима интерполяции положения (IPM).
6.8.4	VCS_ClearIpmBuffer.vi	Очистка FIFO буфер для записи заданных координат (положение, скорость и приращение времени)
6.4.2	VCS_GetPositionIs.vi	Считывание действительного положения привода
6.8.6	VCS_AddPvtValueToIpmBuffer.vi	Добавление новых заданных значений положения, скорости и времени (PVT) в буфер FIFO контроллера. Примечание: Для нормальной работы интерполяции в буфере FIFO одновременно должно быть не менее трех записей
6.8.7	VCS_StartIpmTrajectory.vi	Запуск режима интерполяции положения (IPM trajectory)
7.2.1	StartRecorder.vi	Запуск записи выбранных параметров в память контроллера
7.3.2	ReadChannelDataVectors.vi	Считывание выбранных данных
6.8.8	VCS_StopIpmTrajectory.vi	Остановка режима интерполяции положения (IPM trajectory).
6.14.4	VCS_GetAnalogInput.vi	Считывает значение выбранного канала АЦП контроллера

ПРИМЕРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОВЕРЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВАРИАНТЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Задание 1. Построение самонастраиваемого привода на базе контроллера EPOS.

1. Подсоедините к контроллеру источник питания, двигатель с датчиком Холла и два угловых датчика (датчики закреплены на валу двигателя и выходе редуктора).
2. Включите источник питания контроллера.
3. Подключите контроллер EPOS2 50/5 к USB порту компьютера.
4. Настройте драйвер контроллера (поставляется с контроллером)
5. Запустите программу **EPOS Studio** входящую в комплект поставки контроллера.

Примечание. EPOS Studio для EPOS2 50/5 контроллера можно загрузить из Интернет:

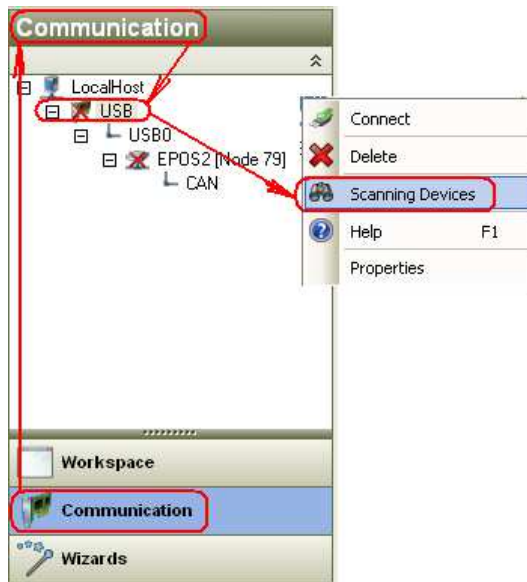
http://www.maxonmotor.com/medias/sys_master/8806424805406/EPOS2_Setup.zip

6. Установите USB связь с контроллером, нажмите клавишу  “Connect All”.

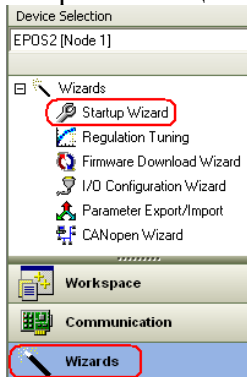
Примечание. USB драйвер для EPOS2 50/5 контроллера можно загрузить из Интернет:

http://www.maxonmotor.com/medias/sys_master/8806978158622/EPOS_USB_Driver_Installation_En.zip

Подключение USB драйвера к EPOS Studio можно выполнить и командой Scanning Devices как показано на рисунке ниже.



7. Откройте секцию установки параметров привода Wizard и запустите Startup Wizard



8. Введите следующие параметры собранного привода для двухконтурного управления.

Step 2: Communication setting:	1000000 bps, USB0
Step 3: Auxiliary Regulation:	Velocity
Step 4: Motor Type:	maxon EC motor
Step 5: EC motor communication Type:	Sinus (Incremental Encoder 1 + Hallsensor)
Step 6: Auxiliary Sensor Type;	Incremental Encoder 1 w/o index (2ch)
Step 7: Main Sensor Type:	Incremental Encoder 2 with index (3ch)
Step 8: Gear Data:	4000 rpm, 100/1
Step 9: Motor data	4000rpm, 5000mA, 40s, 2 Pole Pairs
Step 10: Incremental Encoder 1 w/o index (2ch)	256 pulse/turn, 1024qc/turn (Inverted encoder)
Step 11: Incremental Encoder 2 with index (3ch)	256 pulse/turn, 1024qc/turn (Inverted encoder)
Step 12: Max Following Error	2000 qc

9. Сохраните введенные параметры: Finish of Startup Wizard > Save (yes).

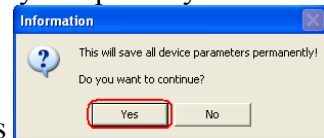


10. В разделе **Regulation tuning** запустите самонастройку параметров на оптимальный режим работы привода: **Auto Tuning**.

Примечание. Самонастройка длится несколько минут. При этом двигатель меняет направление, скорость, характер движения. Успешное выполнение этапов самонастройки сопровождается включением зеленых индикаторов на поле отображения результатов самонастройки (см. Рис 8).

11. Сохраните в памяти контроллера параметры регулятора полученные на предыдущем этапе

самонастройки: **Finish and Save (yes) parameters**



12. Контроллер готов к работе.
13. Закройте программу EPOS Studio.
14. Скопируйте библиотеку **maxon EPOS** в раздел LabView: **..\Program Files\National Instruments\LabVIEW 2012\instr.lib**.

Примечание. Библиотеку LabView модулей для EPOS2 50/5 контроллера можно загрузить из Интернет:

http://www.maxonmotor.com/medias/sys_master/8806418743326/EPOS_LabVIEW_Instrument_Driver_En.zip. Библиотека **maxon EPOS** находится в папке **EPOS_LabVIEW_Instrument_Driver/Instrument Driver** zip файла.

15. На компьютере с LabView создайте рабочую папку.
16. Запустите LabView
17. Откройте новый виртуальный интерфейс VI
18. Присвойте ему имя и сохраните его в рабочей папке.
19. Постройте следующую блок диаграмму интерфейса. Библиотечные блоки примера описаны в Таблица 1 и Таблица 2.

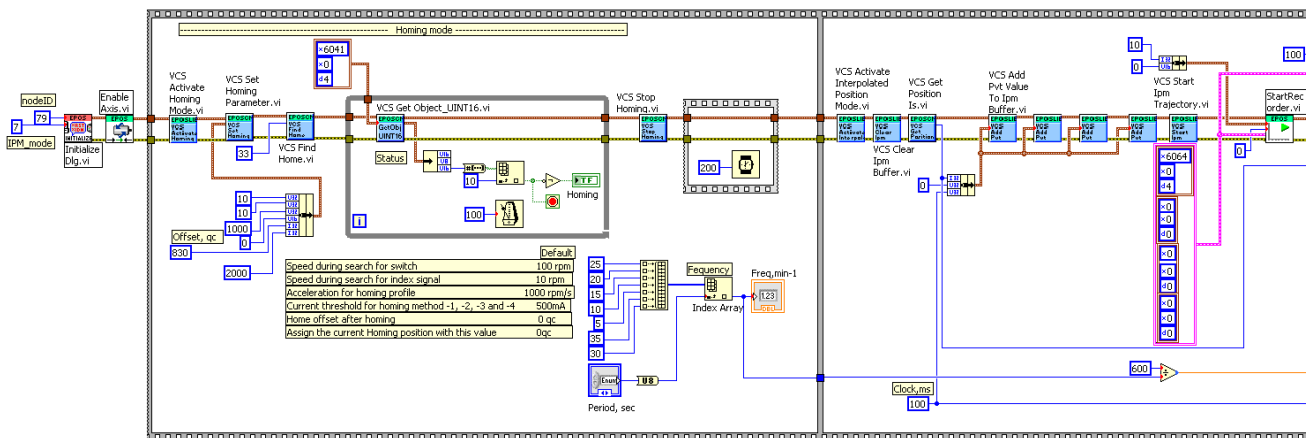
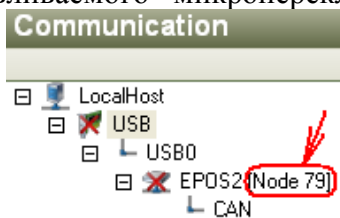


Рис 11. Начало примера блок диаграммы интерфейса привода (первый и второй кадры). Вторая слева константа диаграммы **nodeID** (в нашем примере: **79**) должна совпадать с адресом контроллера EPOS устанавливаемого микропереключателями контроллера и с адресом



обнаруженным EPOS Studio:

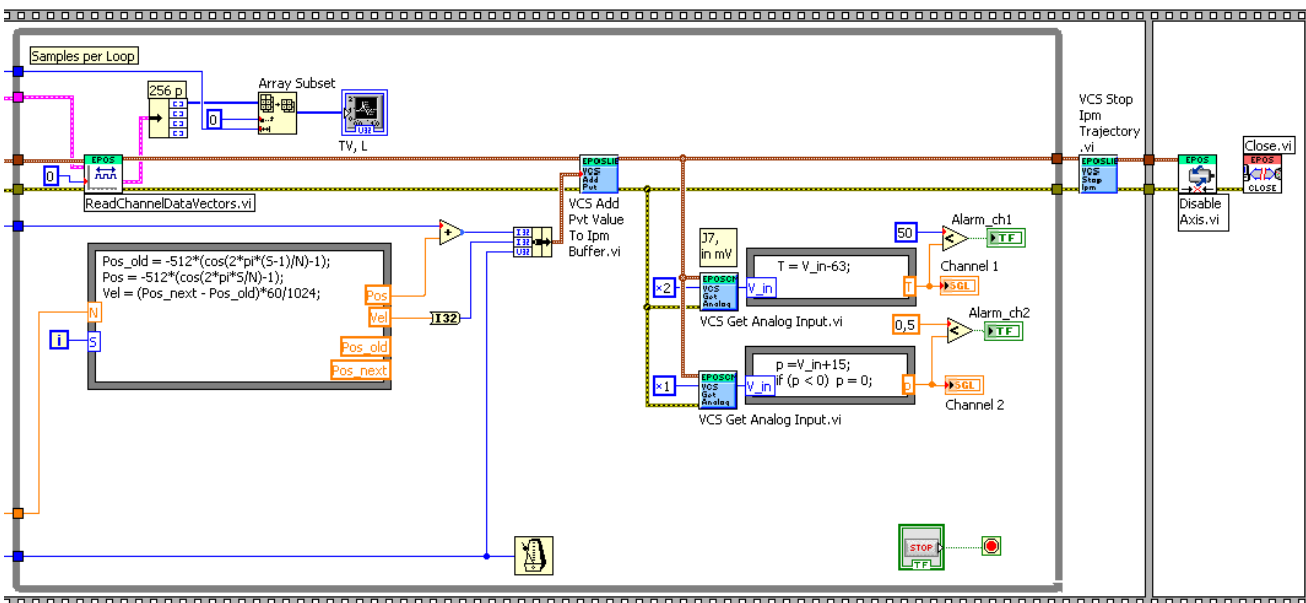


Рис 12. Окончание примера блок диаграммы интерфейса привода (второй и третий кадры). Во второй кадр вложен бесконечный цикл While блоки которого выполняются каждые 100 мс. В каждом цикле вычисляются заданные значения положения и скорости привода, принимается и отображается вектор положений привода за 100 мс, считываются и отображаются значения двухканального АЦП. Циклы могут быть остановлены нажатием кнопки стоп **STOP** лицевой панели.

20. Постройте лицевую панель интерфейса (см. рис. ниже).

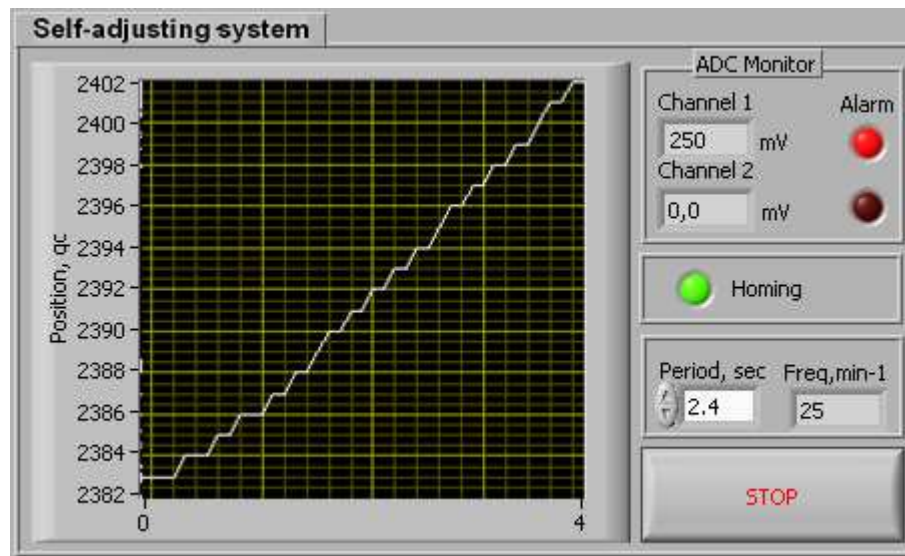


Рис 13. Пример лицевой панели интерфейса привода.

21. Запустите разрабатываемый интерфейс, проверьте его работу. Интерфейс должен запускать режим **Homing** (блоки первого кадра схемы Рис 11), затем режим вычисления заданных координат привода (положения и скорости) в реальном времени с периодом 100 мс и отображать действительную траекторию движения двигателя за последние 100 мс а также значения на входах двухканального АЦП контроллера. Контроллер должен обеспечивать синусоидальные движения в соответствии с заданными координатами.

Задание периода движения **Period, sec** и отображение его частоты **Freq, min-1** должно выполняться через интерфейс. Нахождение привода в режиме **Homing** должно сопровождаться свечением зеленой лампочки интерфейса. Значения двух каналов АЦП должны отображаться на интерфейсе (**Channel 1** **Channel 2** **mV**). Превышение пороговых напряжений АЦП должно сопровождаться включением соответствующих красных лампочек интерфейса.

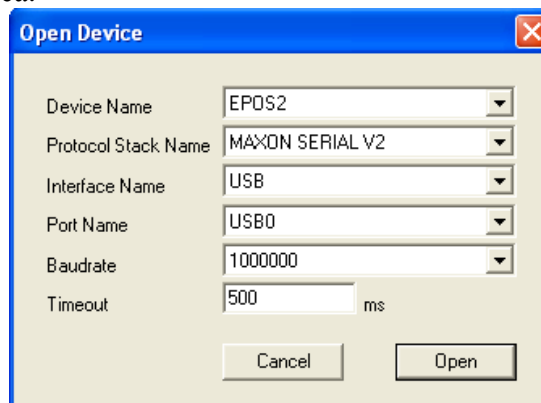


Рис 14. Окно, открываемое при запуске модели.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими средствами осуществляется самонастройка параметров регулятора контроллера EPOS2 50/5?
2. Какие режимы движения поддерживает контроллер EPOS2?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. EPOS Positioning Controller. Documentation. EPOS Command Library. February 2011 Edition.
2. Jan Braun. maxon academy. Formulae Handbook
3. Maxon Motion Control
http://www.maxonmotorusa.com/maxon/view/content/service_academy_motion_control
4. Dr. Bob Davidov. Компьютерные технологии управления в технических системах
<http://portalnp.ru/author/bobdavidov>.