

CHANt (chantengri@mail.ru), [san\(pupena_san@ukr.net\)](mailto:san(pupena_san@ukr.net))

Рецензия:

forum.abok.ru,
plcforum.uz.ua,
forum.abok.ru,
asutpforum.ru,
iprogram.pp.ru

**Использование интерфейсов промышленных сетей для
управления частотными преобразователями.**

Издание 3-е, Переработанное и дополненное

ЧАСТЬ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ

Сокращения, условные обозначения.

Частотный преобразователь, ПЧ, частотник.

Интерфейс промышленной сети, сетевой интерфейс,

ПО, программное обеспечение

1. Использование интерфейсов промышленных сетей частотных преобразователей.

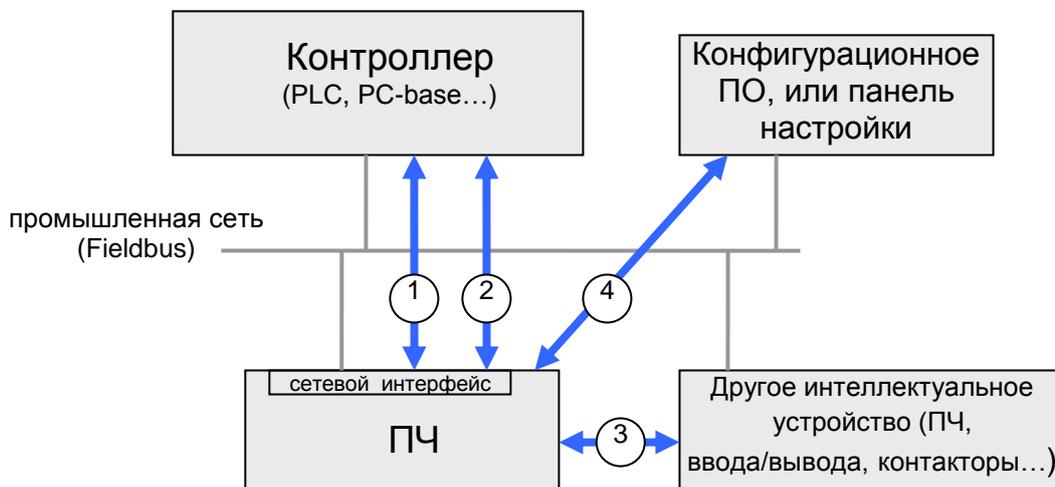


Рис.1. Использование интерфейсов промышленных сетей частотных преобразователей

Какие возможности дает интерфейс промышленной сети в частотном преобразователе?

1. Сетевой интерфейс в частотных преобразователях может использоваться для управления и контроля с контроллера (поз.1. рис.1), посредством обмена данными ввода/вывода (I/O Data).

Для контроллера (PLC, PAC, PC-base...), частотный преобразователь является внешним полевым устройством, которым надо управлять (запускать/останавливать двигатель, выдавать задание частоты...) и который надо контролировать (определять состояние привода, считывать текущие значения частоты, тока, напряжения...). В основном, при внешнем управлении частотным преобразователем с контроллера, именно эта задача стоит перед разработчиками. Классическими до недавних пор способами такого управления было использование унифицированных аналоговых (4-20 мА, 0-10В, 0-5В), дискретных (0/24В) а также импульсных (частотных) сигналов. Однако такой подход значительно ограничивает количество возможных сигналов при обмене, и при их увеличении удорожает систему. Так, например, только для контроля останова/работы двигателя, частоты, тока необходимо задействовать один дискретный и два аналоговых выхода частотного преобразователя и соответственно входов контроллера. Если еще нужен контроль напряжения, необходимо задействовать (если таковой имеется) еще один аналоговый выход частотного преобразователя и вход контроллера. Другим недостатком использования аналоговых сигналов – есть плохая помехозащищенность, и в итоге – искажение сигнала. Использование цифровой последовательной промышленной связи, то есть промышленных сетей, дает возможность уйти от этих проблем.

Следует отметить, что появление такой возможности дало еще одну функциональность. Теперь, входы/выходы частотного преобразователя могут быть использованы как удаленные входы/выходы контроллера, что может значительно уменьшить стоимость конечной системы.

2. Кроме обмена данными ввода/вывода, сетевой интерфейс дает возможность обмениваться параметрическими данными (Device Parameters) с управляющим устройством (поз.2. рис.1).

Поскольку частотный преобразователь является частью системы управления, в центре которой стоит контроллер, можно считать, что он является его "удаленным модулем". Кроме

обмена данными ввода/вывода этот удаленный модуль нужно мониторить, конфигурировать и диагностировать. Например, можно считать слово предупреждения или аварии.

3. Сетевой интерфейс может использоваться для непосредственного обмена с другими полевыми устройствам (peer to peer device, поз.3.рис.1).

Интеллект частотных преобразователей настолько увеличился, что они могут успешно справляться со сложными задачами даже без наличия управляющего контроллера. Одной с таких задач может быть синхронизация частотных преобразователей между собой или обмен с устройствами удаленного ввода/вывода.

4. Сетевой интерфейс может использоваться для конфигурирования внешними утилитами или панелями настройки (местный интерфейс, поз.4.рис.1).

Учитывая растущую функциональность и соответственно сложность частотников, их конфигурация требует все больше и больше усилий. Во многих случаях для нормальной работы частотных преобразователей, достаточно поменять с десятков параметров, в основном параметры двигателя, считанных с шильдиком (хотя это компетенция больше электриков, чем автоматчиков ☺). Операции конфигурирования, как правило, проводятся с использованием локальной текстовой панели. Однако, наличие большого количества PDS и дополнительных параметров, приводит к большим затратам человеко-часов на подобное конфигурирование. Кроме того, такая сложность приводит к нередким ошибкам в этом процессе и к неисправностям. Для таких систем, разработчики предлагают специализированное ПО (инженерные утилиты), которые через сетевой интерфейс конфигурируют частотник.

Какая цель и содержание данного пособия?

Наличие большого количества всевозможных протоколов сетей и походов в области управления приводами привело к большому количеству несовместимых решений.

Задача этого методического пособия – дать элементарные понятия о организации управления частотными преобразователями с контроллера посредством сетевых интерфейсов (поз.1. рис.1)

Структура пособия:

ЧАСТЬ 1. Теоретическая. Включает общие для всех преобразователей частоты теоретический материал.

ЧАСТЬ 2. Прикладная. Включает примеры на конкретных платформах. Каждый раздел, это независимый пример. Разделы обозначаются латинскими буквами.

К чему сводится задача управления частотными преобразователями по промышленной сети?

Решение задачи управления частотным преобразователем по промышленной сети можно разделить на две части:

1. Обеспечение обмена данными ввода/вывода между контроллером и ПЧ.
2. Обеспечение логики управления ПЧ.

Первая часть задачи управления частотным преобразователем сводится только к тому, чтобы необходимые данные были доставлены с контроллера на ПЧ и наоборот. Решение этой задачи обеспечивает только доставку данных, но не их интерпретацию. Дополнительно нужно знать карту распределения памяти конкретного ПЧ касательно конкретной промышленной сети, и настроить доступ к ней. **Эта часть задачи полностью зависит от выбранного ПЧ, используемого протокола сети, и рассматривается во второй части пособия.**

При обеспечении доставки данных, условно можно считать, что контроллер и ПЧ находятся в одном адресном пространстве. То есть контролер просто оперирует какими то переменными, отвечающими за функционирование частотника. Однако, ПЧ является сложным многофункциональным устройством, он может находиться в разных состояниях, которые нужно контролировать и которыми нужно управлять. Для примера, частотный преобразователь одновременно может находиться в состояниях:

- как полевое устройство может находиться в состоянии аварии, сигнализируя о ошибке функционирования;

- как узел сети - в состоянии периодического обмена данными или в режиме конфигурирования сети (например, в PROFIBUS – Preparation, в CANOpen - Preoperational);
- как средство управления двигателем – в состоянии выбега на указанную частоту.

Для перевода ПЧ из состояния в состояние необходимо каким-то образом им управлять. Управление сводится к изменению переменных ПЧ (обмен которым благо уже обеспечен первой частью задачи) по определенному правилу. Таким образом, **вторая часть задачи сводится к обеспечению логики управления частотным преобразователем.**

В самом простом случае, для запуска ПЧ достаточно просто изменить один или несколько бит. В более сложных случаях необходимо построить целую последовательность действий, то есть управлять автоматом состояний.

Что такое автомат и диаграмма состояний функций частотного преобразователя?

В каждом конкретном состоянии частотный преобразователь ведет себя по разному. Так, например, в нормальном операционном (рабочем) режиме, можно управлять скоростью вращения двигателя, а в состоянии аварии – команды управления не работают. **Автомат состояний – это логика поведения функций ПЧ на основании состояний, переход между которыми осуществляется по командам из контроллера или по внутренним событиям. Автомат состояний описывается диаграммой состояний, как правило в графическом виде.**

В большинстве случаев логика управления функциями ПЧ зависит только от конкретного ПЧ, или от поддерживаемого им профиля, и мало зависит от типа используемого сетевого интерфейса.

Что такое функциональный профиль управления частотным преобразователем, зачем он нужен?

Профиль устройства – это набор правил, определяющий поведение конкретного устройства, отвечающего этому профилю. Если, допустим, в сети CANOpen, устройство поддерживает профиль модуля аналогового ввода, то в переменных по конкретным адресам можно будет найти значение аналоговых входов, значение смещения и т.д. Таким образом, для разработчика прикладного ПО создание системы будет мало зависеть от производителя модуля с выбранным профилем. А подключение и замена будет производиться по методике Plug&Play.

Аналогично, можно сказать и о профиле управления ПЧ. **Профиль управления определяет модель (логику) управления функциями частотного преобразователя, а также интерпретацию команд слова управления.**

Какие профили ПЧ существуют в настоящее время?

В настоящее время существует много профилей управления ПЧ. Большинство из них – фирменные, например профиль FC в Danfoss или I/O Profile в Altivar. Но ряд с них – стандартизированы и используются в ПЧ многих производителей. Именно этим профилям посвящены следующие разделы теоретической части.

К наиболее популярным относятся такие профили:

1. CiA 402 (CAN in Automation);
2. CIP Motion (ODVA);
3. PROFIDrive (PROFIBUS International);
4. SERCOS (SERCOS International).
5. DRIVECOM (INTERBUS).

Все эти профили кроме DRIVECOM описаны в 7-й части стандарта IEC 61800 "Adjustable speed electrical power drive systems".

Как связаны профили ПЧ с используемой промышленной сетью?

Исторически, много профилей ПЧ появились как профили устройств. В этом плане, они интерфейсно-зависимы. Однако, в настоящее время, использование конкретного протокола сети не определяет обязательное наличие конкретного профиля.

С точки зрения функционального профиля ПЧ, размещение и способ доступа к данным не имеет значения. По этому, наличие скажем CANOpen в частотном преобразователе, не говорит о том, что он управляется по CiA 402, и наоборот, частотный преобразователь с поддержкой CiA 402 может управляться по сети Modbus, Profibus, WorldFIP и т.д. То же самое заблуждение касается того, что частотный преобразователь с PROFIBUS всегда управляется по правилам профиля PROFIDRIVE (например FC в Danfoss, DRIVECOM в Lenze).

2. Общие принципы управления ПЧ по промышленной сети.

Каким образом управляется и контролируется ПЧ со стороны контроллера?

Преобразователь частоты может функционировать в разных режимах управления моментом, скоростью, перемещением как с обратной связью от датчиков, так и с разомкнутым управлением, как с переключением задания, так и с числовым заданием (рис.2). В любом случае, все функции ПЧ можно условно отнести или к группе общих функций управления (включение режима функционирования, квитирование аварий, переключение источника управления) или к базовым прикладным функциям (управление скоростью, моментом, перемещением).

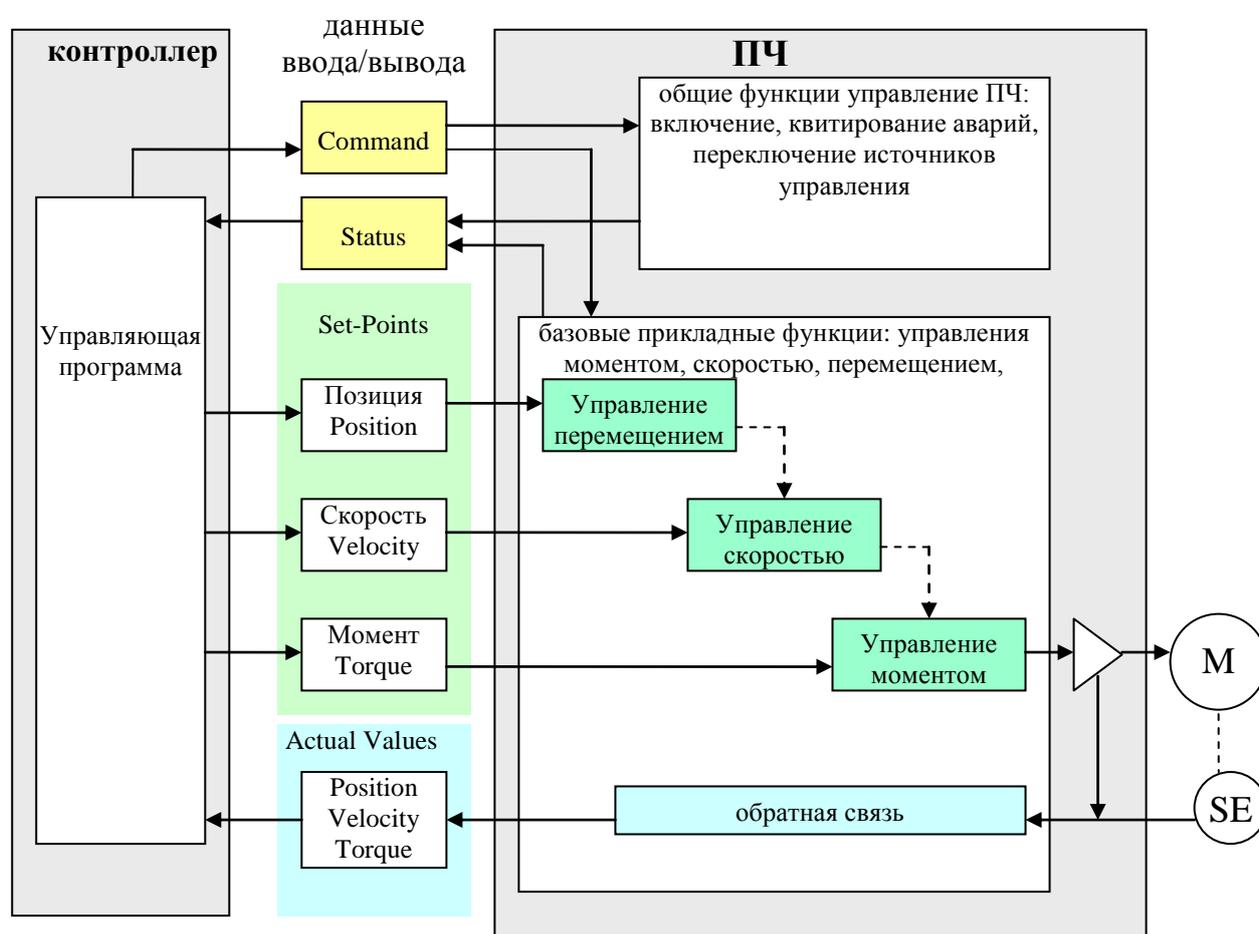


Рис.2. Принципы управления и контроля ПЧ

Далее будем пользоваться названиями, определенными IEC 61800-7.

Для отдачи команд частотному преобразователю по сети используются *переменные управления*, также называемые *COMMAND*. Это одно или больше 16-битных слов, каждый бит которых определяет какое действие нужно произвести.

Для контроля за состоянием ПЧ используются переменные состояния, также называемые *STATUS*. Это одно или больше 16-битных слов, каждый бит которых определяет в каком состоянии находится та или иная функция.

Для задания текущих значений скорости, частоты, позиции управляющий контроллер *передает уставки (SetPoints)*, а для контроля за ними – получает *текущие значения*

(*ActualValues*). Кроме уставок и текущих значений, управляющий контроллер и ПЧ могут обмениваться другой информацией, например значениями сигналов с датчиков и исполнительных механизмов, подключенных к приводу, или уставки ПИД-регулятора. Кроме этого, дополнительные данные могут использоваться для считывания или записи параметров ПЧ.

Какие команды чаще всего используются для управления ПЧ, и какими состояниями определяется его функционирование?

Состояние ошибки и ее квитирование. В состоянии ошибки (*Faulted State*), ПЧ не может функционировать. Для контроля за ошибками, в слове состояния как правило выделяется бит ошибки. Для перехода его в нормальное состояние (*No Faulted*) необходима команда сброса ошибки (*Reset Fault*) с управляющего контроллера или локально, по месту (например с лицевой панели). Кроме бита ошибки в слове состояния некоторых ПЧ есть также бит предупреждения *Warning*.

Состояние работы базовых прикладных функций. При нормальной работе ПЧ, функционируют его базовые прикладные функции: управление скоростью, моментом или перемещением. Независимо от того, откуда он управляется (локально с панели, локальными входами/выходами или по сети), с точки зрения функционирования он находится в операционном режиме (*operating*). В режиме *not operating* базовые функции управления не функционируют, а двигатель останавливается.

В зависимости от источника управления, в профиле могут быть определены следующие состояния: *local control* - ПЧ принимает команды и заданные значения через локальный интерфейс (например лицевую панель или локальные входы/выходы ПЧ); *remote control* - ПЧ принимает команды и заданные значения через сетевой интерфейс.

Значение режимов работы базовых функций контролируются через соответствующие биты переменной статуса *Operating* и *Remote Control*.

При подаче питания на ПЧ, он стартует в режиме *not operating* и *local control*. Команда *Operate* переключает автомат состояний режимов *operating* и *not operating*. Бит-команды *Local/Remote* переводят привод в соответствующий режим управления.

3. Профиль PROFIDRIVE

Что такое PROFIDRIVE?

PROFIdrive (Profile Drive Technology) - стандарт профиля для ПЧ (а также других приводных устройств), предложенный организацией PROFIBUS & PROFINET International для использования его совместно с сетями PROFIBUS и PROFINET. Мы будем рассматривать PROFIdrive только в контексте PROFIBUS DP.

Для настройки работы привода используются ациклические сервисы PROFIBUS. В режиме функционирования используются циклические сервисы, с помощью которых идет обмен данными процесса (слова контроля и статуса, уставки, текущие значения). Такой обмен производится через так называемый *канал процессных данных*. Опционально возможна поддержка параметризации привода через циклический сервис обмена IO Data, через так называемый *канал параметризации*.

Как в PROFIDRIVE реализовано управление и контроль привода?

Управление в PROFIDRIVE производится с помощью управляющих слов Control Words (*STW*), а контролируются через слова статуса Status Words (*ZSW*). Количество ZSW и STW может быть больше одного.

Данные ввода/вывода (данные процесса) включают один или несколько сигналов уставок и текущих значений для управления и контроля приводом. Возможные комбинации сигналов составлены в заранее определенных стандартных телеграммах.

Какие команды PROFIDRIVE используются для управления ПЧ, и какими состояниями определяется его функционирование?

Состояние ошибки и ее квитирование. ПЧ может находиться в режиме "без ошибок" *No Fault* ($ZSW1.3 = 0$, то есть бит 3-ий в слове ZSW1 равен 0) или в "наличие ошибки" *Fault Present* ($ZSW1.3 = 1$). Дополнительно определены состояния для предупредительной сигнализации: *Warning Present* ($ZSW1.7 = 1$) и *No Warning* ($ZSW1.7 = 0$). Квитирование аварии проводится командой *Fault Acknowledge* ($STW1.7 = 1$). Механизм квитирования аварий отличается в зависимости от платформы (например, по положительному или отрицательному фронту команды квитирования). Кроме того, поведение привода в каждом состоянии определяется в самом устройстве, например при конфигурировании.

Состояние работы базовых прикладных функций. Управление режимом функционирования базовых прикладных функций в PROFIDRIVE описывается общей диаграммой состояния, показанной на рис.3. Каждое состояние нумеруется S1-S5. Состояние *Operation* (S4) отвечает за операционный режим работы привода. Оно сигнализируется вторым битом первого слова статуса (*Operation Enabled* - $ZSW1.2 = 1$). Состояние Not Operating в PROFIDrive делится на несколько подрежимов: *Switching On Inhibited*, *Ready for Switching On*, *Switched On* а также *Switching OFF*.

Управляющий контроллер может управлять автоматом состояний только в случае если:

- Выставлен режим удаленного управления *Control Requested* ($ZSW1.9 = 1$);
- Контроллер отправляет команду *Control By PLC* ($STW1.10 = 1$), сообщая, что он готов к управлению и его значение данных верны;
- Контроллер отправляет команду *ON* ($STW1.0 = 1$), включая ПЧ;
- ПЧ сигнализирует о готовности к операционному режиму сигналом *Ready To Operate* ($ZSW1.1 = 1$).

На рис.3 в прямоугольниках показаны состояния общего автомата и биты статуса, которым они сигнализируются. Стрелками показаны события и команды, которые приводят к переводу автомата из одного состояния в другое. Событие *Standstill detected* сигнализирует об обнаружении остановки двигателя. Возможно аварийное перевода привода в состояние S1 (на диаграмме обозначено индексом b).

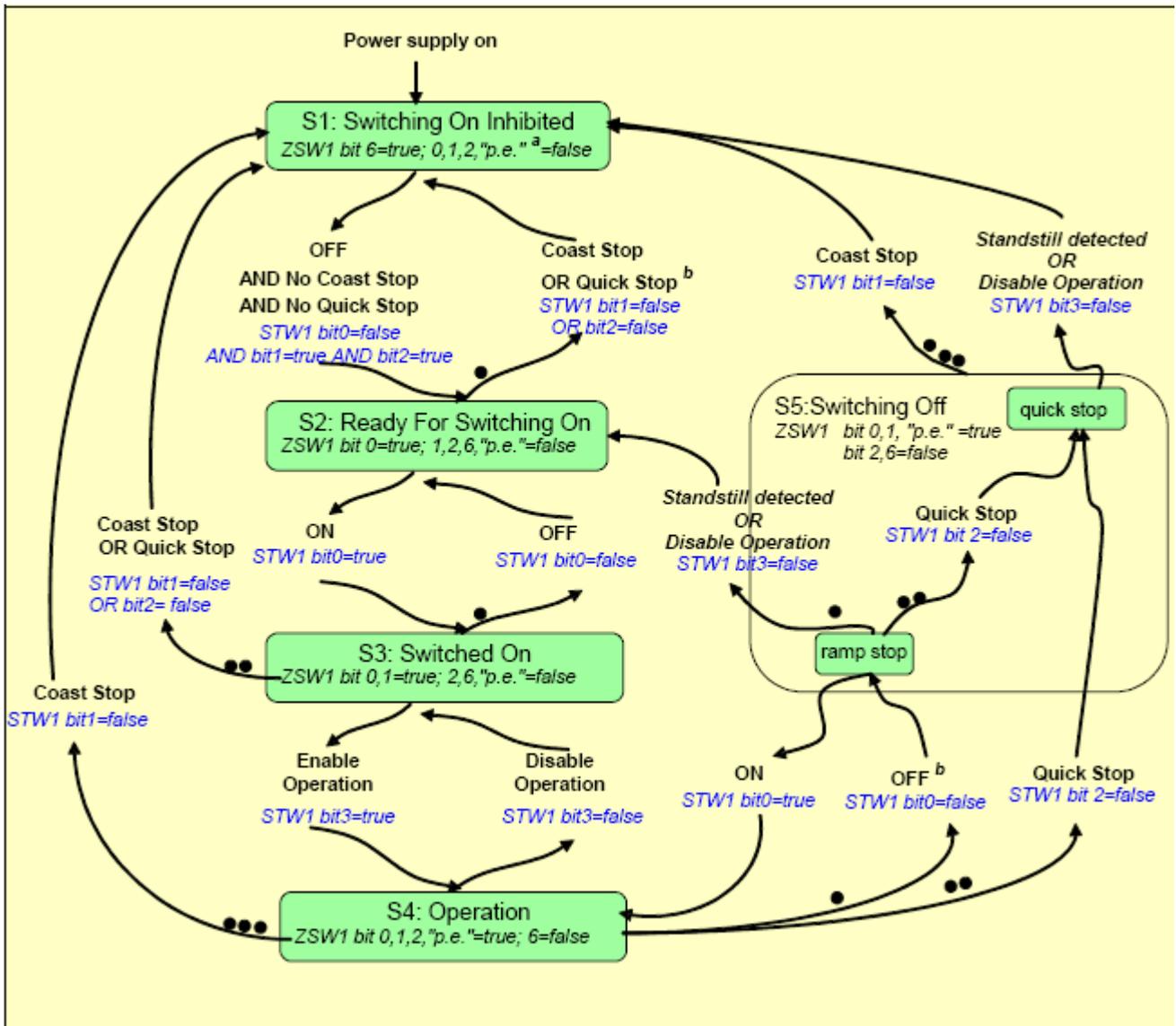


Рис.3. Общая диаграмма состояний PROFIDrive.

Операционная работа приводов PROFIDRIVE в режиме управления скоростью В PROFIdrive прикладные режимы работы приводов выделяются в шесть прикладных классов (Application Class, AC). Все режимы управления моментом и разомкнутое управление скоростью относятся к AC1 "Standard Drive". На рис.4 показана функциональная диаграмма операционного режима привода StandardDrive

..

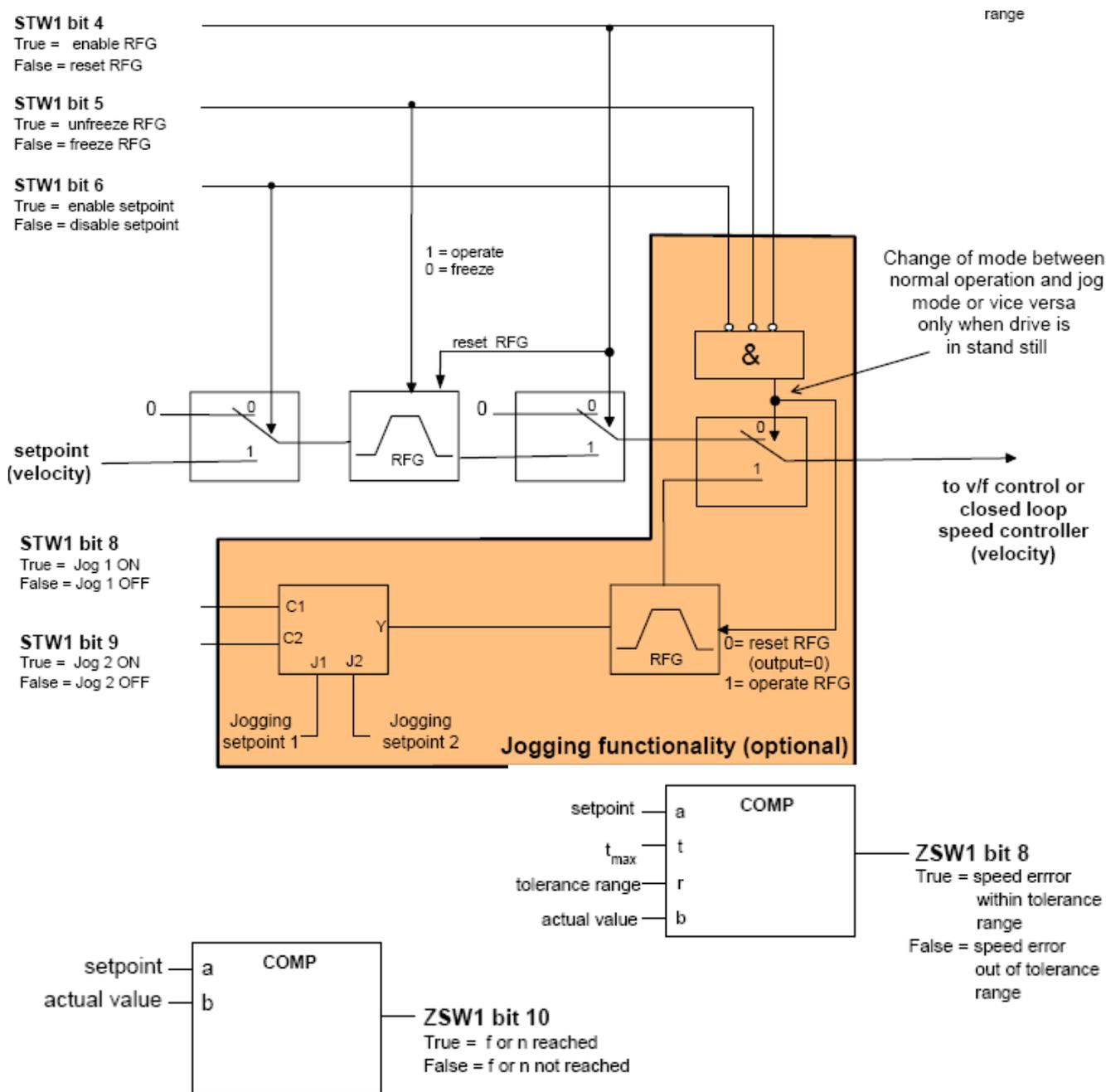


Рис.4. Общий автомат состояний PROFIDrive для привода StandardDrive

В таблице 1 сведены все команды PROFIDrive в которых биты 4,5,6,8,9 только для режима управления StandardDrive.

Таблица 1

Команды PROFIDrive (слово управления №1)

Название Command IEC 61800-7	Название PROFIDrive	Бит STW1	Назначение команды
	1 - ON 0 - OFF (OFF1)	0	Команда на включение/выключение основного питания. При подаче команды OFF1, двигатель будет плавно останавливаться по заданной рампе (траектории), до полной остановки, после чего питание на двигатель отключится.
	1 - No Coast Stop (No OFF2) 0 - Coast Stop (OFF2)	1	Команда OFF2 немедленно снимает напряжение с двигателя основным выключателем питания. Двигатель останавливается за счет инерции (самовыбег).
	1 - No Quick Stop (No OFF3) 0 - Quick Stop (OFF3)	2	Команда на быстрый останов двигателя.
OPERATE	1 - Enable Operation 0 - Disable Operation	3	Команда на включение/отключение операционного режима. В операционном

			режиме все уставки функционируют .
	1 – Enable Ramp Generator 0 – Reset Ramp Generator	4	Активация наращивания уставки
	1 – Unfreeze Ramp Generator 0 – Freeze Ramp Generator	5	Фиксация заданной уставки
	1 – Enable Setpoint 0 – Disable Setpoint	6	Активация уставки
RESET FAULT	1 – Fault Acknowledge 0 – No Significance	7	Квитирование ошибки. Реакция привода зависит от типа ошибки
	1 – JOG1 ON 0 – JOG1 OFF	8	Активация фиксированной частоты 1
	1 – JOG2 ON 0 – JOG2 OFF	9	Активация фиксированной частоты 2
REMOTE LOCAL	1 – Control By PLC 0 – No Control By PLC	10	Команда на управление приводом с управляющего контролера

В таблице 2 сведены биты статуса PROFIdrive, где биты 4,5,6,8,10 только для режима управления StandardDrive.

Таблица 2

Сведенные биты статуса PROFIdrive (слово состояния №1)

Название STATUS IEC 61800-7	Название PROFIdrive	Бит ZSW1	Предназначение
	1 – Ready To Switch On 0 – Not Ready To Switch On	0	Питание подключено, электроника инициализирована
	1 – Ready To Operate 0 – Not Ready To Operate	1	Повторяет 0-й бит слова управления STW1.0
Operating	1 - Operation Enabled 0 – Operation Disabled	2	Привод в операционном/не операционном режиме
Faulted	1 – Fault Present 0 – No Fault	3	В буфере есть неподтвержденные ошибки. Подтверждение всех ошибок и их исчезновение снимает бит
	1 – Coast Stop Not Activated (No OFF 2) 0 – Coast Stop Activated (OFF 2)	4	Активирован останов способом снятия питания с двигателя
	1 – Quick Stop Not Activated (No OFF 3) 0 – Quick Stop Activated (OFF 3)	5	Активирован быстрый останов
	1 – Switching On Inhibited 0 – Switching On Not Inhibit	6	Привод включен в режиме запрета функционирования
Warning	1 - Warning Present 0 - No Warning	7	В буфере имеются предупреждения
	1 – Speed Error Within Tolerance Range 0 – Speed Error Out Of Tolerance Range	8	если =1 – рассогласование по скорости (здание-текущее) в границах нормы
Remote control	1 – Control Requested 0 – No Control Requested	9	если =1 - привод готов к управлению от контролера
	1 – f Or n Reached Or Exceeded 0 – f Or n Not Reached	10	если =1 - частота/скорость достигнула уставки

4. Профиль CiA402

Что такое CiA402?

Профиль **CiA402** первоначально разработан организацией CAN in Automation как профиль устройства DS-402. Он используется как базовый прикладной профиль управления ПЧ в сетях CANOpen, ETHERNET Powerlink и ETHERCat. Ниже рассмотрим функционирование CiA402 только применительно к сети CANOpen. Следует отметить, что использование частотных преобразователей в сети CANOpen не обязательно предполагает использование профиля CiA402 (DS-402).

Как в PROFIDRIVE реализовано управление и контроль привода?

Управление в CiA402 осуществляется с помощью слова **Controlword** (для CANOpen индекс в Словаре 6040₁₆), а контролируются через слово статуса **Statusword** (для CANOpen индекс в Словаре 6041₁₆).

Данные ввода/вывода включают один или несколько сигналов уставок и текущих значений для управления и контроля над приводом. При использовании профиля вместе с CANOpen, эти данные и параметры прикладных профилей хранятся в конкретных Объектах Словаря начиная с индексов 6000₁₆. Так, например, для режима управления скоростью без обратной связи определены следующие объекты словаря:

- слово управления - **Controlword** (ID 6040₁₆);
- слово состояния - **Statusword** (ID 6041₁₆);
- заданная скорость - **Target velocity** (ID 6042₁₆);
- текущая скорость - **velocity actual value** (ID 6044₁₆).

Какие команды CiA 402 используются для управления ПЧ, и какими состояниями определяется его функционирование?

Состояние ошибки и ее квитирование. ПЧ может находиться в режиме **Fault** (3-й бит Statusword = 1) или **No Fault** (3-й бит Statusword = 0). Сброс аварии проводится командой **Fault Reset** (7-й бит Controlword = 1). Поведение привода в каждом состоянии определяется в самом устройстве, например при конфигурировании. После сброса аварии, ПЧ переводится в состояние **Ready To Switch On**.

Состояние работы базовых прикладных функций. Диаграмма состояний для профиля CiA402 приведен на рис.5, номера переходов соответствуют событиям из таблицы 5. Состояние not operating в профиле CiA402 состоит из нескольких подсостояний. Таким образом автомат включает такие состояния:

- **Not ready to Switch On** – стадия инициализации ПЧ, коммуникации недоступны;
- **Switch On Disabled** – окончание стадии инициализации, силовая часть привода неактивная, подача питания на нее не осуществляется и запрещена, доступна параметризация привода через коммуникации;
- **Ready to Switch ON** – ожидание подачи питания на силовую часть привода, доступна параметризация через коммуникации.
- **Switched On** – подано питание на силовую секцию привода, двигатель не запитан, доступна параметризация через коммуникации;
- **Operation Enabled** – нормальный операционный режим, ошибок не обнаружено, на двигатель подано питание, доступна параметризация через коммуникации за исключением конфигурационных данных силовой части.
- **Fault Reaction Active** – определена ошибка привода, проводится ее обработка; функции управления двигателем недоступны.
- **Fault** – состояние ошибки, привод заблокирован, на двигатель не питание не подается;
- **Quick Stop Active** – состояние быстрого останова двигателя.

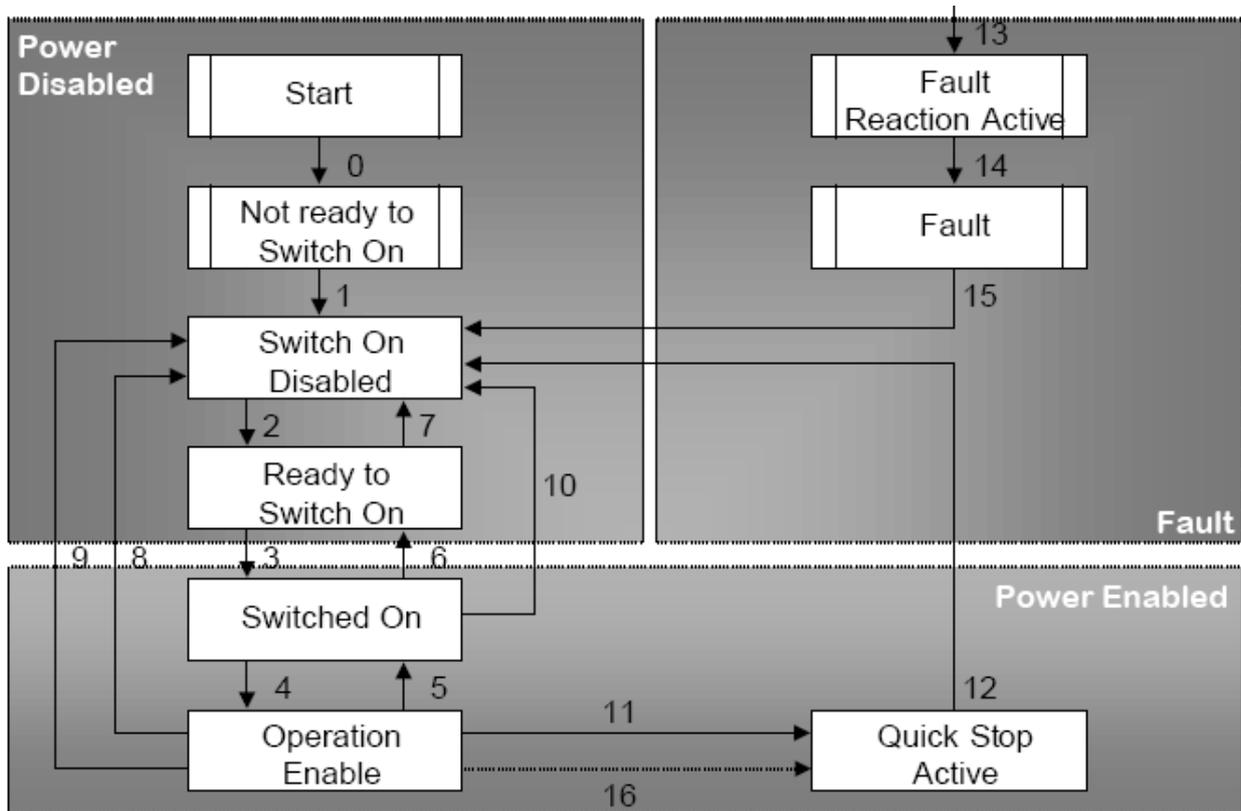


Рис.5. Диаграмма состояний для профиля CiA-402

Состояние ПЧ определяется словом Statusword, а переходы между состояниями могут осуществляться по внутренним событиям, или по команде в Controlword. В таблице 3 наведены значения битов слова статуса в различных состояниях.

Таблица 3

Значения битов слова состояния

Состояние	Биты Statusword (6041 ₁₆)							
	Switch On Disabled	Quick Stop Active	Voltage Enabled	Fault	Operation Enabled	Switched On	Ready to Switch ON	Значение по маске 006F*
	6	5	4	3	2	1	0	
Not Ready To Switch ON	0	x	x	0	0	0	0	-
Switch On Disabled	1	x	x	0	0	0	0	0040
Ready to Switch ON	0	1	x	0	0	0	1	0021
Switched On	0	1	1	0	0	1	1	0023
Operation Enabled	0	1	1	0	1	1	1	0027
Quick Stop Active	0	0	1	0	1	1	1	0007
Fault Reaction Active	0	x	x	1	1	1	1	-
Fault	0	0	x	1	0	0	0	0008
	0	1	x	1	0	0	0	0028

x – неопределенное состояние

* - значение в 16-ричном формате, введенное по маске 006F

В таблице 4 приведены команды для перехода между состояниями и биты слова Controlword, им соответствующие.

Таблица 4

Команды для перехода между состояниями

	Биты слова Controlword (6040 ₁₆)					
	Fault	Enable	Quick	Enable	Switch On	знач в 16-

Команда	Reset	Operation	Stop	Voltage		ричном формате
	7	3	2	1	0	
Shutdown	x	x	1	1	0	0006
Switch On	x	x	1	1	1	0007
Enable Operation	x	1	1	1	1	000F
Disable Operation	x	0	1	1	1	0007
Disable Voltage	x	x	x	0	x	0000
Quick Stop	x	x	0	1	x	0002
Fault Reset	0->1*	x	x	x	x	0080

* - по положительному фронту сигнала

В таблице 5 приведены события и команды, по которым осуществляется переход между состояниями. Номер перехода показан на рис.5.

Таблица 5

События и команды, по которым происходит переход между состояниями

№ перехода	С состояния	В состояние	Событие	Реакция на событие
0	Start	Not Ready To Switch ON	Запуск привода	привод проходит самодиагностику и стартовую инициализацию
1	Not Ready To Switch ON	Switch On Disabled	положительный результат инициализации	Активация коммуникации и отображение данных процесса
2	Switch On Disabled	Ready to Switch ON	команда Shutdown	переход в следующее состояние
3	Ready to Switch ON	Switched On	команда Switch On	включается силовая секция привода
4	Switched On	Operation Enabled	команда Enable Operation	переход в операционный режим: доступны функции управления двигателем
5	Operation Enabled	Switched On	команда Disable Operation	операционный режим отключается
6	Switched On	Ready to Switch ON	команда Shutdown	силовая секция привода отключается
7	Ready to Switch ON	Switch On Disabled	команда Quick Stop	переход в следующее состояние
8	Operation Enabled	Ready to Switch ON	команда Shutdown	мгновенное отключение силовой секции и напряжения с двигателя
9	Operation Enabled	Switch On Disabled	команда Disable Voltage	мгновенное отключение силовой секции и напряжения с двигателя
10	Switched On	Switch On Disabled	команда Disable Voltage або Quick Stop	мгновенное отключение силовой секции и напряжения с двигателя
11	Operation Enabled	Quick Stop Active	команда Quick Stop	осуществляется быстрый останов двигателя
12	Quick Stop Active	Switch On Disabled	выполнен быстрый останов или команда Disable Voltage	силовая секция привода отключается
13	Все состояния	Fault Reaction Active	ошибка привода	осуществление действия соответственно настройкам
14	Fault Reaction Active	Fault	обработка ошибки завершена	функции управления двигателем недоступны, силовая секция может тоже отключиться
15	Fault	Switch On Disabled	команда Fault Reset	квтирование ошибки, при отсутствии ошибок бит команды Fault Reset обнуляется автоматически
16	Quick Stop Active	Operation Enabled	команда Enable Operation	активируются все функции управления двигателем

Операционная работа приводов CiA-402 в режиме управления скоростью. В CiA-402 режим управления скоростью без обратной связи называется Profile Velocity mode. Для этого режима в операционном состоянии запуск двигателя происходит посредством команды *No Halt* (8-й бит Controlword = 0), остановка - *Halt* (8-й бит Controlword = 1). Заданная скорость вращения задается объектом *Target velocity* (для CANOpen - 6042₁₆), а контролируется объектом - *Velocity actual value* (для CANOpen - 6044₁₆). Контроль работы двигателя в операционном режиме проводится также дополнительными битами статуса, которые являются опциональными:

- **Target Reached** (бит 10) - при Halt=1, - 0 означает, что двигатель останавливается, 1 – что двигатель остановился; при Halt=0, - 0 означает, что скорость не достигла уставки, 1 – что скорость достигла уставки;
- **Speed** (бит 12) - если 0 - скорость не равна нулю, 1 - скорость равна нулю.

Общий список битов слова управления для режима управления скоростью приведен в таблице 6.

Таблица 6

Биты слова управления для режима управления скоростью

название Command IEC 61800-7	название CiA-402	бит Controlword	пояснение
	Switch ON	0	=1, включение силовой секции привода
	Enable Voltage	1	=0, немедленное отключение силовой секции и напряжения с двигателя
	Quick Stop	2	=0, быстрый останов двигателя
OPERATE	Enable Operation	3	=1, перевод в операционный режим
		4	резерв
		5	резерв
		6	резерв
RESET FAULT	Fault Reset	7	сброс ошибок
	Halt	8	=1 останов двигателя (способ останова определяется в настройках, например по рампе или самовыбег)
		11-15	предназначение зависит от производителя

Общий список битов слова состояния для режима управления скоростью приведен в таблице 7.

Таблица 7

Биты слова состояния для режима управления скоростью

название STATUS IEC 61800-7	название CiA-402	бит Statusword	пояснение
	Ready to Switch ON	0	=1, готов к подачи питания на силовую часть привода
	Switched On	1	=1, силовач часть привода подключена к питанию
Operating	Operation Enabled	2	=1, привод находится в операционном режиме
Faulted	Fault	3	=1, есть активная ошибка
	Voltage Enabled	4	=1, активность обработки команды Disable Voltage
	Quick Stop Active	5	=0, процесс быстрого останова двигателя
	Switch On Disabled	6	=1, привод не готов к подачи питания на силовую часть
Warning	Warning	7	=1, есть предупредительные сообщения
		8	зависит от прозводителя
Remote control	Remote	9	=1, доступно управление с сети CANOpen, =0 – управление с сети недоступно
	Target Reached	10	зависит от состояния HALT: двигатель останавливается/остановился или скорость равна/неравна уставке