

УДК 001.895 +316.422 + 621.316.7

DOI: 10.34670/AR.2022.20.24.005

Переход к киберфизическим системам управления Индустрии 4.0 в энергетике и электротехнике промышленных объектов

Платонов Вадим Рейнгольдович

Генеральный директор ООО «ТИТР»,
консультант по электрощитовому оборудованию,
Ассоциация Строителей и Подрядчиков в США,
111024, Российская Федерация, Москва, ул. 2-я Кабельная, 2, стр. 1;
e-mail: Platonov@mail.ru

Аннотация

С каждым годом количество окружающих нас электрических машин растет. Они используются как дома в составе многочисленных кухонных помощников, стиральных машин, пылесосов, дрелей, вентиляторов, так и за пределами жилища – это электромобили, электропоезда, насосы, автоматизированные ворота, различного рода механизированные и энергетические системы. Все это оказывает содействие увеличению потребности рынка в электродвигателях самых разных типов, которые нуждаются в очень тонком электронном управлении их электропитанием. В статье рассмотрены повсеместное и широкое применение как в быту, так и в промышленных задачах электродвигателей разного обширного конструктивного спектра и назначения, тесно связанного с необходимостью их умного (smart) управления. Показано, что наиболее адекватными в этом смысле являются электрические шкафы силового управления ММС и шкафы прямого цифрового управления DDC, выпускаемые разными предприятиями. На основе собственного оригинального опыта установлено, что наилучшим образом такая задача управления решается одновременным сочетанием в едином комплексе ММС и DDC технологий в виде единого изделия, выпускаемого одним предприятием. Показано при этом, что такие производство и технология являются наиболее передовыми, в том числе, с точки зрения теории инновационного развития в отношении концепций Индустрии 4.0 и киберфизических систем.

Для цитирования в научных исследованиях

Платонов В.Р. Переход к киберфизическим системам управления Индустрии 4.0 в энергетике и электротехнике промышленных объектов // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. Том 12. № 4А. С. 406-411. DOI: 10.34670/AR.2022.20.24.005

Ключевые слова

Электродвигатель, шкаф ММС и DDC, киберфизическая система, Индустрия 4.0, энергетика.

Введение

С каждым годом количество окружающих нас электрических машин растет. Они используются как дома в составе многочисленных кухонных помощников, стиральных машин, пылесосов, дрелей, вентиляторов, так и за пределами жилища – это электромобили, электропоезда, насосы, автоматизированные ворота, различного рода механизированные и энергетические системы.

Все это оказывает содействие увеличению потребности рынка в электродвигателях самых разных типов, которые нуждаются в очень тонком электронном управлении их электропитанием. При этом разработчики пытаются решать самые разные технические задачи, но все они направлены на снижение потребления электроэнергии за счет оптимизации процессов включения, разгона и торможения электродвигателя, плавного изменения его скорости работы за счет изменения не только величины напряжения и тока в цепях питания, но и частоты питающего переменного тока и так далее. Все это требует разработки соответствующих сложных управляющих электронных схем и устройств к числу которых относятся самые разные электрические шкафы управления со сложным электротехническим силовым и электронным управляющим оборудованием внутри.

Основная часть

Шкафы для управления электродвигателями (англ. MCC, Motor Control Centers) являются очень востребованными изделиями. Они применяются в промышленности на многих предприятиях в качестве средства управления конвейером, системой вентиляции, смесителях, на различных производственных станках и для управления дополнительным оборудованием крупных систем. Такие MCC шкафы управляют всеми асинхронными моторами, увеличивая их надежность и продлевая срок службы. Мировой опыт убедительно демонстрирует, что управляемый электропривод наиболее эффективная, экологически чистая технология, существенно влияющая на экономию энергетических ресурсов.

Применение MCC шкафов позволяет: а) по сигналам от различных датчиков регулировать работу электродвигателей (ЭД) и за счет этого эффективно экономить электроэнергию; б) полностью защищать ЭД и исполнительные механизмы (ИМ); в) за счет выравнивания моторесурса и периодической смены функций ЭД экономить их ресурс и ИМ; г) существенно снижать динамические перегрузки ИМ при старте и останове ЭД (устройствами плавного пуска).

Вопросы управления ЭД технологических установок и передачи данных являются особенно актуальными для строительных предприятий, где работа осуществляется часто непрерывно в режиме 24/7. Поэтому рядом с технологиями MCC шкафов управления идут не менее высокие технологии прямого цифрового управления (англ. DDC, Direct Digital Control), осуществляющие прямое цифровое управление двигателями. Системы DDC еще десять лет назад уже широко использовались в мире, в России этот вопрос тоже достаточно хорошо проработан, хотя недостаток собственных производительных микропроцессоров сказывался на широком применении. Сейчас в связи с повсеместным распространением средств микропроцессорной техники актуальным становится создание и широкое применение DDC систем управления электроприводами.

Техническая сложность заключается в том, что все провода в MMC и DDC шкафах управления должны быть промаркированы в соответствии с входными и выходными сигналами,

каждый блок контроллера может обеспечивать, например 16 сигналов или 20 сигналов, причем таких блоков может быть 10 или 20, или больше, что приводит к огромному количеству проводниковых линий внутри шкафа. Поэтому все многочисленные проводниковые линии внутри каждого шкафа должны быть сведены в шины с окончанием на унифицированных электрических разъемах на стенке каждого шкафа. Поскольку производители как шкафов ММС, так и шкафов DDC обычно различные небольшие предприятия, то их деятельность, чтобы быть эффективной, должна быть организована и скоординирована. Иногда это представляет определенные трудности, к которым добавляются важнейшие требования безопасности международных стандартов, таких как UL508 «Промышленные контрольно-измерительные приборы», UL508С «Силовые преобразовательные устройства», UL61800-5-1 «Регулируемые электрические приводные системы. Часть 5-1: Требования техники безопасности, UL508А для промышленных панелей управления для необходимости удовлетворения международным требованиям.

При этом на промышленных объектах, где осуществляется управление необходимо предусмотреть эффективное соединение шкафа ММС и шкафа DDC. Проблема состоит в том, что их соединение требует значительного объема кабельных связей для осуществления передачи управляющих, измерительных и информационных сигналов. На объекте это вызывает заметные трудности, так как нужно выбрать соответствующий месту и длине кабель, правильно обжать его провода наконечниками, правильно промаркировать и правильно подключить сигнальные провода к коммутирующим разъемам, нужно проложить кабельный лоток между шкафами, выполнить определенную строительную работу – все это требует строительных и монтажных работ, это дополнительные финансовые и временные затраты.

Для некоторых разработчиков и производителей в этой сфере инновационное техническое решение, существенно облегчающее сложившееся положение, пришло к ним потому, что они производили как шкафы ММС, так и шкафы DDC [Control panel, www]. Идея объединить в одном шкафу технологии ММС и DDC пришла сама собой с опытом работы в этой сфере. При такой конфигурации в шкафу получается два блока или панели (ММС и DDC), разделенные между собой перегородкой, если есть такое требование, одна панель – силовая, вторая панель – интеллектуальная, для сбора и трансляции сигналов. Или, в другом варианте, это отдельные шкафы, разделенные визуально. Учитывая, что эти шкафы могут быть большими то, в соответствии с нормами и правилами, лучше разделять силовую часть и автоматизацию на отдельные шкафы, а для соединения готовых шкафов использовать электрические разъемы. Возможны часто варианты, когда шкафы автоматики могут быть многопанельные (6, 8 или 10 панелей). Гарантированно шкаф проверяется перед выпуском, все его части составляются в цеху, отдел технического контроля проверяет правильность работы схемы и соединений, и продукция выпускается как готовое изделие шкафа МСС-DDC. Для лучшей транспортировки, погрузо-разгрузочных работ, все шкафы делятся попанельно, панели пакуются и отправляются на объекты, где они собираются в заданные конфигурации. И достаточно быстро, когда панели уже установлены, в течение нескольких минут они соединяются кабелем посредством унифицированных разъемов. Далее можно вызывать наладчика, который будет налаживать этот шкаф автоматики, причем в целом процент ошибки и брака при таком подходе стремится к нулю.

Оказывается, несомненный технологический успех описанного выше подхода, как показывает изучение литературы, вполне описывается теорией инновационного развития, что,

конечно, выходит за рамки интересов предприятий и их руководителей, работающих в этой сфере [там же], но помогает понять векторы развития. Индустрия 4.0 сегодня является ведущим трендом четвертой промышленной революции [Туккель, 2017]. Ее характерной чертой являются полностью автоматизированные производства. Для обеспечения полной производственной автоматизации необходимо развитие и внедрение соответствующих высокопроизводительных систем – киберфизических [Коробенков, 2016; Кобяков, 2017]. Концепция Индустрии 4.0 основывается на четырех аспектах: виртуализации, интероперабельности (совместимости), децентрализации и работе в режиме реального времени. Эти же аспекты соответствуют и киберфизическим системам (КФС). В таких системах оборудование, датчики и информационные системы соединены друг с другом и могут функционировать почти независимо от человека [Коробенков, 2016; Кобяков, 2017].

Доктор Хелен Джилл является программным директором программы встроенных и гибридных систем отдела компьютерных и сетевых систем (CNS) Управления компьютерных и информационных наук и инженерии Национального научного фонда (CISE) США. В DARPA она также руководила исследованиями в области моделирования и формальных методов разработки и эволюции программного обеспечения [Gill, www]. Именно она в 2006 году ввела термин «киберфизические системы» для обозначения комплексов, состоящих из природных (или промышленных) объектов, искусственных подсистем и контроллеров. Именно с такими системами связана важнейшая проблема модернизации производства и экономики [там же].

Главной идеей киберфизических систем (англ. CPS или КФС) является связь компьютерных вычислительных и физических процессов, включение объектов управления с их параметрами посредством датчиков в саму целостную систему, они перестают быть чем-то внешним, и становятся ее частью. Функционирование КФС и особенность их разработки именно этим и определяется. Имея широкую сферу применения КФС наиболее востребованы в области производства, строительства, транспорта и энергосбережения [Ястреб, 2015].

Киберфизическая система – комплекс из различных управляемых промышленных или физических объектов, контроллеров управления, соединенных в единое целое и включающих: встроенные системы реального времени, распределенные вычислительные системы, АСУ техпроцессами и объектами, проводные или беспроводные сенсорные сети [Вяткин, Дроздов, Голуб, 2019]. Отсюда следует, что к этому определению и понятию хорошо подходит рассмотренная в настоящей работе управляющая система промышленных объектов, строительных площадок на базе шкафа MMC-DDC. По-существу, существующее в настоящем времени использование в практике интеллектуальных шкафов MMC-DDC знаменует реальный переход к киберфизическим системам управления Индустрии 4.0. Соответственно, те предприятия, которые пошли этим путем, несомненно являются наиболее успешными в своей отрасли и находятся в современном тренде развития Индустрии 4.0.

Более подробно с концепциями киберфизической инженерии и киберфизических систем можно познакомиться в замечательной работе [там же], в которой подробно рассмотрены все наиболее важные аспекты этого вопроса: история происхождения киберфизических систем, их различные трактовки [Технический комитет..., www], ключевые критерии для использования инструментария КФС, принцип киберфизической инженерии и киберфизическая производственная система и многие другие интересные и важные вопросы будущего развития таких систем управления [Вяткин, Дроздов, Голуб, 2019].

Заключение

Аналитика и литературные обзоры, нацеленные на выявление высоты и содержания современного научного, технического и технологического прогресса, а также составления прогноза прогресса на перспективу показывают, что за последние двадцать лет двадцать первого века в действительность вошли такие концепции инновационного развития как 4-я промышленная революция, национальная технологическая инициатива (НТИ), цифровая экономика, VI и VII технологические уклады, наука 2.0, университет 3.0; 4.0; 20.35, инновации 4.0, умные фабрики, киберфизические системы, что со всей очевидностью и определенностью говорит о том, что наш мир вошел в новейшую экономическую и производственную реальность [Туккель, 2017]. Лидерство, экономические и промышленные преимущества как отдельных предприятий, так и вообще целых стран в мировой среде глобальной конкуренции будут обеспечивать макротехнологические компетенции и связанные с ними новые технологии. При этом со всей убедительностью становится ясно, что длительность инновационных циклов существенно сокращается, внедрение новшеств в производстве происходит гораздо быстрее, чем еще двадцать-тридцать лет назад, и те страны и предприятия, которые способны действовать быстро в своем технологическом развитии, смогут двигаться вперед или, по крайней мере, оставаться на месте, по сравнению с теми, кто не способен к быстрой смене технологий и будет безнадежно отставать [Chesbrough, 2003].

Библиография

1. Алексеев К.Б. Микроконтроллерное управление электроприводом. М., 2008. 298 с.
2. Вяткин В.В., Дроздов Д.Н., Голуб Ю.А. Концепция киберфизической инженерии как способ применения теории киберфизических систем // Системный анализ в проектировании и управлении. 2019. № 1. С. 98-112.
3. Chesbrough H. Open Innovation. The New Imperative for Creating and Profiting from Technology. Harvard Business School Press, 2003. 272 p.
4. Control panel. URL: <https://www.titrenerg.com/>
5. Gill H. Cyber-Physical Systems Virtual Organization. URL: <https://cps-vo.org/node/3966>
6. Кобяков Д.С. Цифровые системы управления электроприводами // Актуальные проблемы электроэнергетики. Нижний Новгород, 2017. 212 с.
7. Коробенков А. Цифровая система управления производством – важный шаг к Индустрии 4.0 // Вектор высоких технологий. 2016. № 6 (27). С. 32-35.
8. Технический комитет 194 «Кибер-физические системы». URL: <http://tc194.ru/>
9. Туккель И.Л. Завтра, технологическое завтра, наступило вчера // Инновации. 2017. № 11. С. 3-5.
10. Ястреб Н.А. Индустрия 4.0: киберфизические системы, разумное окружение, интернет вещей // Человек в технической среде. 2015. Вып. 2. С. 136-141.

Transition to cyber-physical control systems of Industry 4.0 in energy and electrical engineering of industrial facilities

Vadim R. Platonov

CEO, LLC "TITR",

Consultant on Electrical Switchboard Equipment,

Associated Builders and Contractors,

111024, buil. 1., 2, 2nd Kabel'naya str., Moscow, Russian Federation;

e-mail: Platonov@mail.ru

Vadim R. Platonov

Abstract

Every year the number of electric cars around us is growing. They are used both at home as part of numerous kitchen assistants, washing machines, vacuum cleaners, drills, fans, and outside the home; these are electric cars, electric trains, pumps, automated gates, various kinds of mechanized and energy systems. All this contributes to an increase in the market demand for electric motors of various types, which require very fine electronic control of their power supply. The article discusses the widespread and widespread use both in everyday life and in industrial tasks of electric motors of various extensive design ranges and purposes, closely related to the need for their smart control. It is shown that the most adequate in this sense are MMC electrical power control cabinets and DDC direct digital control cabinets manufactured by different enterprises. Based on our own original experience, it has been established that this control problem is best solved by simultaneously combining MMC and DDC technologies in a single complex in the form of a single product manufactured by one enterprise. It is shown that such production and technology are the most advanced, including from the point of view of the theory of innovative development in relation to the concepts of Industry 4.0 and cyber-physical systems.

For citation

Platonov V.R. (2022) Perekhod k kiberfizicheskim sistemam upravleniya Industrii 4.0 v energetike i elektrotekhnike promyshlennykh ob"ektov [Transition to cyber-physical control systems of Industry 4.0 in energy and electrical engineering of industrial facilities]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 12 (4A), pp. 406-411. DOI: 10.34670/AR.2022.20.24.005

Keywords

Electric motor, MMC and DDC panel, cyber-physical system, Industry 4.0, energy and electrical engineering.

References

1. Alekseev K.B. (2008) *Mikrokontrollernoe upravlenie elektroprivodom* [Microcontroller control of the electric drive]. Moscow.
2. Chesbrough H. (2003) *Open Innovation. The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Harvard Business School Press.
3. *Control panel*. Available at: <https://www.titrenerg.com/> [Accessed 04/04/2022]
4. Gill H. *Cyber-Physical Systems Virtual Organization*. Available at: <https://cps-vo.org/node/3966> [Accessed 04/04/2022]
5. Kobayakov D.S. (2017) Tsifrovye sistemy upravleniya elektroprivodami [Digital control systems for electric drives]. In: *Aktual'nye problemy elektroenergetiki* [Actual problems of the electric power industry]. Nizhniy Novgorod.
6. Korobnikov A. (2016) Tsifrovaya sistema upravleniya proizvodstvom – vazhnyi shag k Industrii 4.0 [Digital production management system is an important step towards Industry 4.0]. *Vektor vysokikh tekhnologii* [Vector of hi-tech], 6 (27), pp. 32-35.
7. *Tekhnicheskii komitet 194 «Kiber-fizicheskie sistemy»* [Technical Committee 194 Cyber-Physical Systems]. Available at: <http://tc194.ru/> [Accessed 04/04/2022]
8. Tukkel' I.L. (2017) Zavtra, tekhnologicheskoe zavtra, nastupilo vchera [Tomorrow, technological tomorrow, came yesterday]. *Innovatsii* [Innovations], 11, pp. 3-5.
9. Vyatkin V.V., Drozdov D.N., Golub Yu.A. (2019) Kontseptsiya kiberfizicheskoi inzhenerii kak sposob primeneniya teorii kiberfizicheskikh sistem [The concept of cyberphysical engineering as a way to apply the theory of cyberphysical systems]. *Sistemnyi analiz v proektirovanii i upravlenii* [System analysis in design and management], 1, pp. 98-112.
10. Yastreb N.A. (2015) Industriya 4.0: kiberfizicheskie sistemy, razumnoe okruzhenie, internet veshchei [Industry 4.0: Cyber-Physical Systems, Intelligent Environment, Internet of Things]. *Chelovek v tekhnicheskoi srede* [Man in the technical environment], 2, pp. 136-141.