

Научная статья

УДК 62-83:621.313.3

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-3-13-21

Кубарев Василий Анатольевич*, Модзелевский Дмитрий Евгеньевич,
Кучик Марина Михайловна, Сарсембин Адиль Ойсынович, Галлямова Ольга Радиковна

Сибирский государственный индустриальный университет

*E-mail: kubarev.sibsiu@list.ru

СТРУКТУРА И АЛГОРИТМЫ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ И КОНТРОЛЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ПЛИС



Информация о статье

Поступила:

13 мая 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

15 июля 2024 г.

Принята к печати:

15 августа 2024 г.

Опубликована:

12 сентября 2024 г.

Ключевые слова:

устройство защит, система управления, ПЛИС, электропривод, асинхронный двигатель

Аннотация.

В статье представлена структура и алгоритм устройства защиты и контроля асинхронного двигателя при реализации его на основе ПЛИС.

Актуальность работы. В настоящее время в общепромышленных механизмах общего назначения осуществлен переход на асинхронные двигатели, и практически не осталось двигателей постоянного тока за исключением отдельных применений, требующих повышенной точности регулирования. Постоянно ведутся исследования по расширению области применения асинхронных двигателей, повышению энергоэффективности, а также удешевлению их производства, что приводит к еще большему расширению областей применения. Однако на производстве и в настоящее время защиты асинхронных двигателей, эксплуатируемых без устройств плавного пуска или преобразователей частоты с интегрированными цифровыми защитами, представлены тепловыми и максимального тока реле или комплексными устройствами защит на дискретных полупроводниковых элементах, не позволяющих передавать информацию о состоянии двигателя в системы верхнего уровня или дистанционно менять настройки параметров защит.

Цель работы: разработка технической структуры и архитектуры программного обеспечения устройства защиты и контроля параметров асинхронного двигателя.

Методы исследования: теория электропривода, теория автоматического управления, теория автоматов, теория алгоритмов.

Результаты. Предложена структура и пример реализации алгоритма устройства защиты и контроля параметров асинхронного двигателя на основе ПЛИС.

Для цитирования: Кубарев В.А., Модзелевский Д.Е., Кучик М.М., Сарсембин А.О., Галлямова О.Р. Структура и алгоритмы устройства защиты и контроля асинхронного двигателя на основе ПЛИС // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 3 (173). С. 13-21. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-3-13-21, EDN: JMJUZH

Введение

Область работы современного общепромышленного электропривода переменного тока за последние годы сильно расширилась, потеснив двигатели постоянного тока, а в отдельных областях и полностью их вытеснив [1]. Постоянно ведутся работы по повышению энергоэффективности и удешевлению производства асинхронных двигателей [2]. Условия эксплуатации асинхронных двигателей достаточно часто являются тяжелыми из-за различных внешних воздействий, таких как переменные нагрузки, в том числе и знакопеременные, на рабо-

чий орган, удары в соединениях при редукторном приводе, недостаточная вентиляция, вызывающая перегрев двигателя, запыленность помещений и т. д.

За последние годы устройства защит асинхронных двигателей тока прошли путь от устройств, реализующих алгоритмы защит релейных систем, до систем на современных программируемых микроконтроллерах, некоторые из которых позволяют менять настройки защит во время работы приводов. Проводятся постоянные исследования по повышению эффективности защит [3] и по разработке циф-

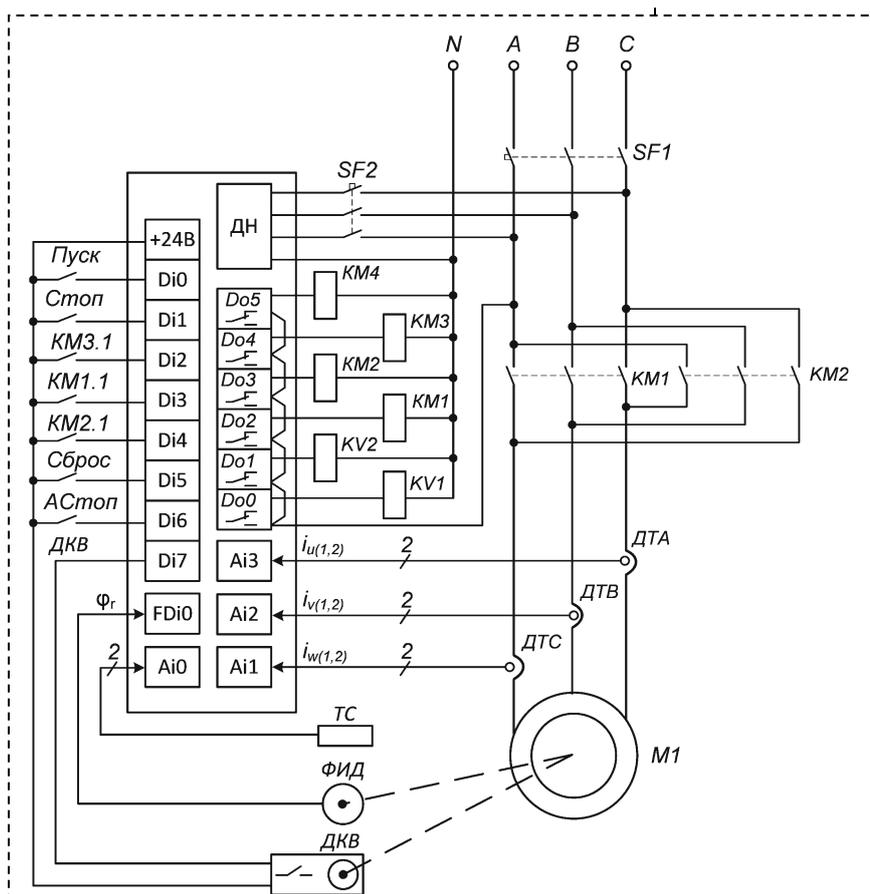


Рис. 1. Структурная схема устройства защиты и контроля асинхронного двигателя

Fig. 1. Block diagram of an induction motor protection and control device

дискретных полупроводниковых элементах, не позволяющих передавать информацию о состоянии двигателя в системы верхнего уровня или дистанционно менять настройки параметров защит.

Отсутствие возможности интеграции в систему АСУ ТП и передачи текущих параметров и состояния двигателя в систему верхнего уровня не позволяет при проектировании современной системы управления электроприводами закладывать возможность работы в промышленном IoT, являющемся частью Индустрии 4.0, и ограничивает возможности цифровой трансформации производства с полноценным развитием системы в систему Индустрия 4.0 в дальнейшем [11, 12]. Также существует небольшое количество устройств защит, поддерживающих режимы двухступенчатого пуска (схему звезда/треугольник или схему с пусковыми резисторами) или возможность работы в реверсивных схемах управления двигателем.

Предлагаемое устройство позволяет обеспечить контроль запуска и работы двигателя в режимах реверсивной работы, а также нереверсивной работы с запуском с переключением звезд-

да/треугольник с управлением тормозом и контролем вращения как по дискретному сигналу датчика контроля вращения, так и с возможностью подключения инкрементного шифратора и измерения скорости вращения.

Схема подключения предлагаемого устройства

Таблица 1. Назначение входов и выходов
Table 1. Assignment of inputs and outputs

Входы /Выходы	Реверсивный режим	Нереверсивный запуск Y/Δ
Di0	Вперед	Пуск
Di1	Стоп	Стоп
Di2	Назад	KM3.1
Di3	KM1.1	KM1.1
Di4	KM2.1	KM2.1
Di5	Сброс	Сброс
Di6	Аварийный стоп	Аварийный стоп
Di7	Контроль вращения	Контроль вращения
Do0	Готов	Готов
Do1	Авария	Авария
Do2	Тормоз	Тормоз
Do3	KM1.1	KM1.1
Do4	KM2.1	KM2.1
Do5	—	KM3.1

ровых устройств защит как в виде отдельных устройств [4, 5, 6], так и на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) [7, 8, 9], в том числе и с применением нечеткой логики [10].

В настоящее время на рынке существуют различные устройства защиты двигателей как российского, так и иностранного производства, такие как УБЗ, УЗД1, УЗД-8Р, УЗОТЭ-2У и др.

Анализ имеющихся устройств, а также требований Правил устройства электроустановок (ПУЭ) и Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) показывает, что в функции устройств защиты должны входить следующие защиты:

- максимальная токовая защита мгновенного действия (МТЗ), так называемая токовая отсечка;
- защита от перегрузки по току (тепловая защита);
- защита от неполнофазного режима работы;
- защита минимального напряжения (нулевая защита);
- защита от перенапряжения.

Однако на производстве в настоящее время защиты асинхронных двигателей, эксплуатируемых без устройств плавного пуска или преобразователей частоты с интегрированными цифровыми защитами, представлены тепловыми и максимального тока реле или комплексными устройствами защит на

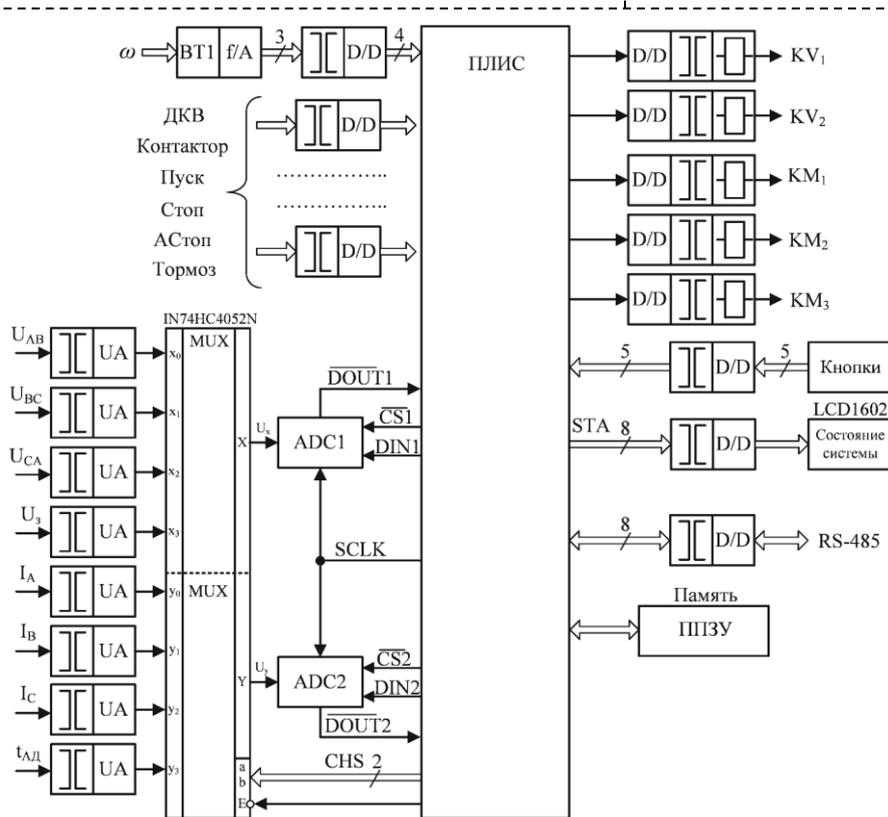


Рис. 2. Блок-схема устройства
Fig. 2. General structure of the local aggregates control algorithm

– модули гальванической развязки дискретных сигналов на основе диодных оптопар на восемь каналов;
– выходные модули на основе реле;
– память для хранения конфигурации;
– источники питания. Источник = 24В питания катушек выходных реле и «сухих контактов» входных дискретных сигналов.

Применяемые модули гальванической развязки на основе оптопар позволяют гальванически отвязать друг от друга сигналы с разных точек ввода, а также обеспечивают защиту устройства от скачков напряжения на входе до 1000 В.

Каналы ввода аналоговых сигналов включают в себя блоки гальванической развязки и нормализации аналогового сигнала, аналоговый мультиплексор и два АЦП.

защиты и контроля асинхронных двигателей (УЗИКАД) и потока информации и управления в нем представлены на Рис. 1, а назначение дискретных входов и выходов в зависимости от режима работы представлено в Таблице 1.

Программно-аппаратный комплекс включает в себя следующие основные элементы:

- ПЛИС семейства Intel (Altera) Cyclone IV, на

Модули гальванической развязки и нормализации аналоговых сигналов напряжения выполнены по схеме на основе линейных усилителей TL072i и диодных дифференциальных оптопар HCN200, применение которых позволяет обеспечить высокую линейность сигнала при достаточно невысокой стоимости за канал.

Каналы измерения тока выполнены на специа-

Таблица 2. Характеристики ПЛИС Cyclone IV
Table 2. Characteristics of Cyclone IV FPGA

Тип	Напряжение питания ядра	Логических элементов	Пользовательских выводов	Выводов общего назначения	Бит памяти	9-ти битных умножителей	Блоков ФАПЧ (PLL)	Глобальных тактовых линий
EP4CE10E22C6	1,2V	10320	92	92	423936	46	2	10

которой реализована логика работы устройства;

- восемь модулей гальванической развязки и нормализации аналоговых сигналов;
- два 12-разрядных АЦП MCP3201 (ADC1, ADC2) с интерфейсом SPI с частотой до 100 тысяч выборок в секунду, с защитой от электростатического разряда до 1000 В;
- двунаправленный аналоговый мультиплексор IN74HC4052 (MUX);

лизованном изолированном усилителе с гальванической оптической развязкой HCPL788J-500E. Данный усилитель обладает встроенной возможностью обнаружения перегрузок и коротких замыканий.

После нормализаторов сигналы поступают на двунаправленный аналоговый мультиплексор IN74HC4052, особенностью которого является синхронное управление параллельными каналами ввода X и Y.

Выходные сигналы включают:

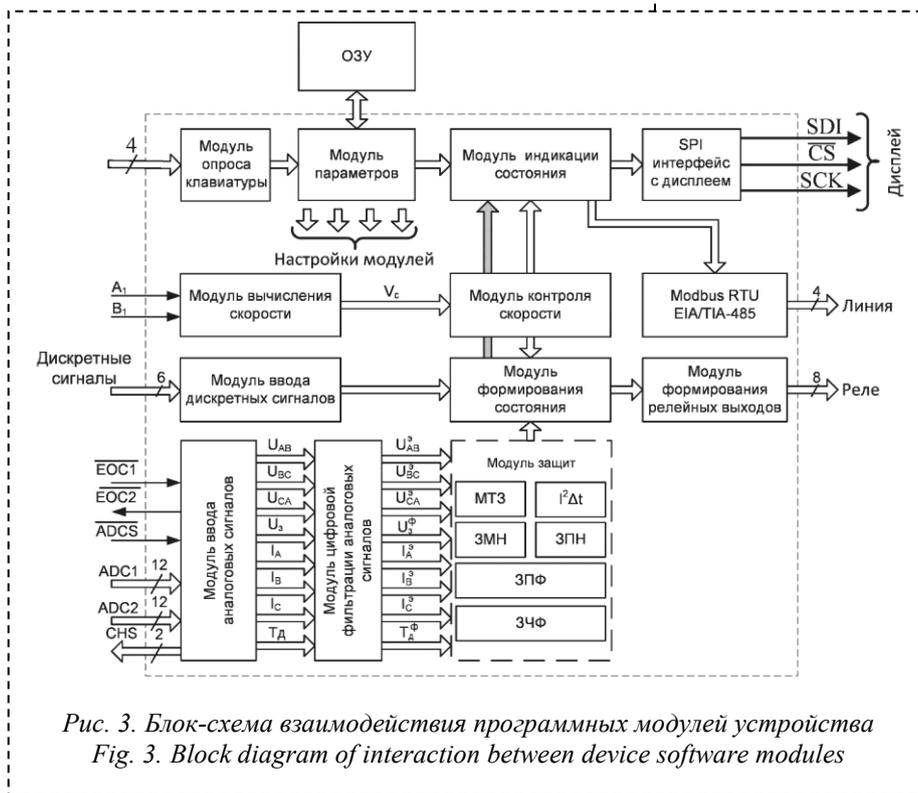


Рис. 3. Блок-схема взаимодействия программных модулей устройства
 Fig. 3. Block diagram of interaction between device software modules

устройства и его реализацию. Основные модули устройства и их взаимосвязи показаны на Рис. 3.

В системе выделены следующие основные программные модули, причем согласно модульному принципу разработки некоторые модули применены повторно с минимальными изменениями [15]:

1. Модуль ввода дискретных сигналов – производит цифровую фильтрацию считываемых дискретных сигналов, устраняя дребезг и ложные срабатывания из-за помех.

2. Модуль ввода аналоговых сигналов – управляет АЦП и производит первоначальную цифровую фильтрацию считываемых аналоговых сигналов фильтром аномальных выбросов.

3. Модуль цифровой фильтрации аналоговых сигналов – производит цифровую фильтрацию и расчет действующих значений аналоговых сигналов токов и напряжений для передачи их в модуль защиты.

4. Модуль вычисления скорости при работе с инкрементным шифратором (датчиком скорости) – преобразовывает входные значения с инкрементных шифраторов в цифровые нормализованные величины положения и скорости.

5. Модуль формирования релейных выходов – на основе сигналов состояния внутренних модулей формирует слово управления внешними реле с учетом ограничений, наложенных режимами работы и аварийными состояниями.

6. Модуль защиты – реализует защиты электродвигателя [15, 16]: максимальную токовую защиту мгновенного действия (МТЗ), защиту от перегрузки

- дискретные сигналы управления, поступающие через модули гальванической развязки на диодных оптопарах на выходные реле, используемые для коммутации реле и контакторов;
- информационные сигналы для управления жидкокристаллическим дисплеем;
- сигналы интерфейса RS-485.

При разработке устройства применялся уже рекомендовавший себя принцип модульного построения [13, 14], при котором каждая выделенная функция заключена в отдельный модуль, имеющий свои входные и выходные параметры и действующий независимо от других модулей, опираясь только на значения входных параметров. При этом часть модулей была взята из ранее разработанных устройств с внесением минимальных изменений, что позволило ускорить разработку концепции

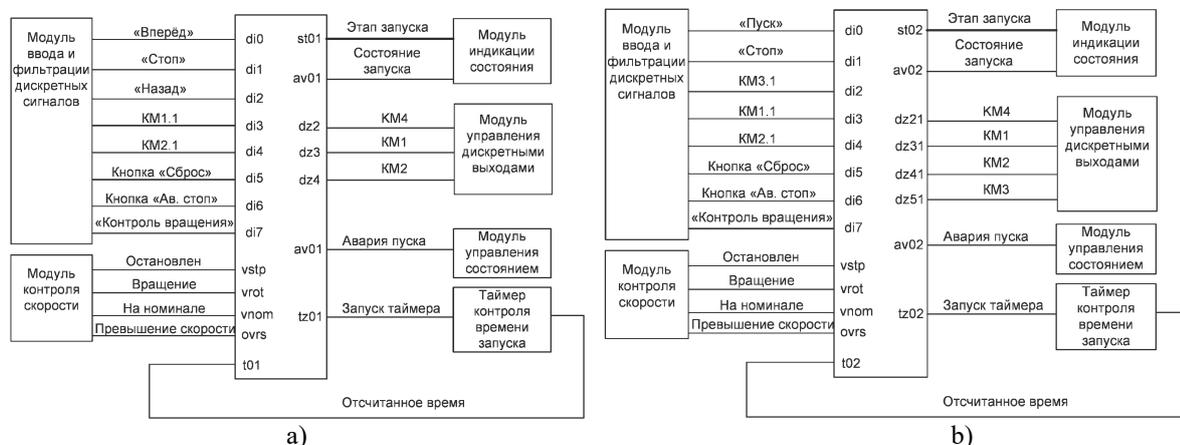


Рис. 4. Сигналы конечных автоматов для управления двигателем в различных режимах
 a) реверсивный режим работы b) режим звезда/треугольник
 Fig. 4. Signals of finite state machines for motor control in various modes
 a) reverse operating mode b) star/delta mode

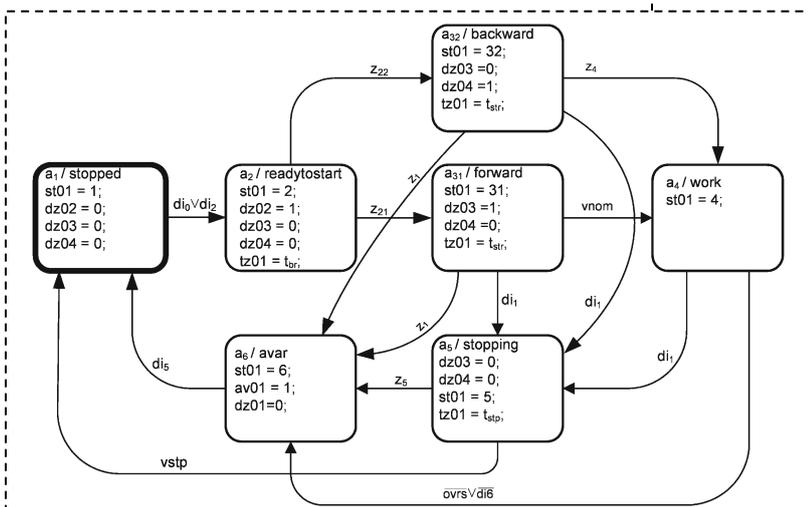


Рис. 5. Конечный автомат для управления двигателем в реверсивном режиме работы

Fig. 5. State machine for motor control in reverse operating mode

двигателя, защиту от неполнофазного режима, защиту минимального напряжения, защиту от превышения рабочего напряжения по одной из фаз (перекос фазы), защиту от перегрева обмоток двигателя, контроль изоляции, защиту по скорости.

7. Модуль формирования состояния – на основании сочетания внешних входных параметров и внутренних переменных формирует состояние устройства, разрешает или запрещает его работу.

8. Модуль опроса клавиатуры – формирует сигналы для работы с матричной клавиатурой и обработку полученных сигналов с преобразованием их в соответствующие коды нажатий.

9. Модуль индикации состояния – на основании данных с модулей формирует управляющее слово, передаваемое на модуль-формирователь SPI-интерфейс, к которому подключена панель 16x2.

10. Модуль контроля скорости – на основании значений сигналов скорости с модуля вычисления скорости формирует сигналы о состоянии системы по скорости: остановлена, вращение, номинальная скорость, превышение скорости.

11. Модуль Modbus RTU – формирует пакеты по стандарту Modbus для чтения состояния устройства.

12. Модуль параметров – управляет внешней памятью, записью и чтением параметров устройства.

Реализация алгоритма управления с применением методов автоматного программирования

Программное обеспечение устройства реализовано с использованием автоматного подхода, позволяющего точно выделять отдельные этапы работы устройства и структурировать программное обеспечение так, чтобы оно соответствовало функционированию устройства.

Ниже приведена реализация автоматного подхода на примере работы модулей формирования состо-

яния устройства и модуля управления разгоном/остановом двигателя.

Для управления разгоном и остановом электродвигателя разработаны два автомата, один из которых применяется при работе в реверсивном режиме, второй при работе в режиме с переключением звезда/треугольник. Часть состояний у автоматов схожа и перенесена согласно модульному принципу. Входные и выходные переменные и взаимосвязи с другими модулями автоматов приведены на Рис. 6.

Модуль управления двигателем

1. Остановлен (a_0/b_0) – начальное состояние после выбора режима «Реверсивный» (a_0) или звезда/треугольник (b_0) работы устройства.

2. Готов к запуску (a_1/b_1) – нажата кнопка «Пуск» или кнопка «Вперед» или «Назад», формируется сигнал на снятие тормоза и через выдержку времени переход на этап запуска «Вперед» или «Назад».

Состояния a_3 и b_3 отличаются в зависимости от выбранного режима работы устройства: реверсивный режим или режим запуска с переключением звезда/треугольник.

Автомат управления двигателем в реверсивном режиме

3. Состояние a_{31} , a_{32} – в этих состояниях включается контактор «Вперед» или «Назад» и контролируется время запуска двигателя до достижения номинальной скорости, что определяется получением сигнала di_7 или $V_{ном}$ в зависимости от режима работы (контроль вращения по дискретному датчику скорости или по инкрементному энкодеру, что определяется переменной msp). При недостижении установленной скорости за заданное время или при пропадании сигнала di_6 о нажатии кнопки «Аварийный стоп» происходит формирование промежуточной логической переменной z_1 по значению

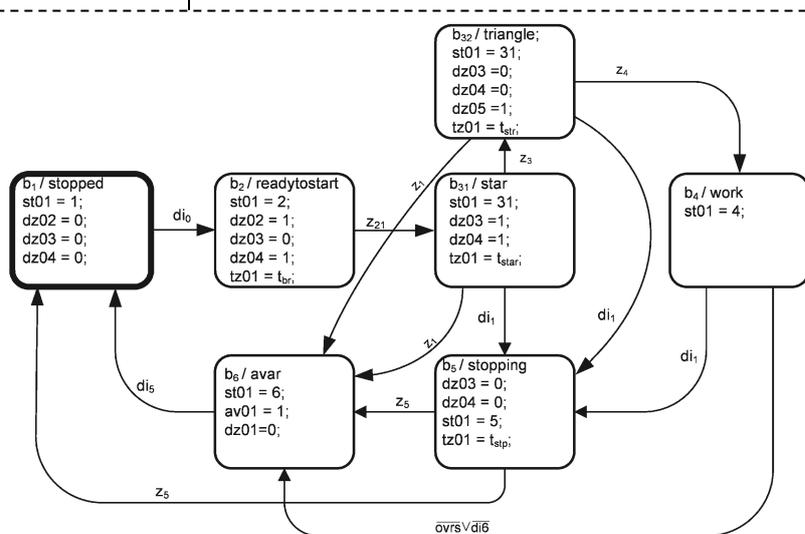


Рис. 6. Конечный автомат для управления двигателем в режиме работы звезда/треугольник

Fig. 6. State machine for motor control in star/delta operating mode

«лог. 1» которой переход в состояние a_6 «Авария». При получении сигнала $di1$ о нажатии кнопки «Стоп» происходит переход в состояние a_5 «Останавливается».

Промежуточные переменные z_1, z_{21}, z_{22} формируются на основании следующих выражений:

$$\begin{aligned}z_1 &= ((t_{01} > t_{str}) \wedge \overline{msp}) \vee \overline{di6}; \\z_{21} &= (t_{01} > t_{br}) \wedge di0; \\z_{22} &= (t_{01} > t_{br}) \wedge di2.\end{aligned}$$

Автомат управления в режиме звезда/треугольник

4. Состояние b_{31} «Звезда» – в этом состоянии включается главный контактор КМ1 «Пуск» и контактор включения «звезды» КМ3. Далее контролируется время разгона двигателя до скорости переключения Vsv или получения сигнала $di7$ «контроль вращения».

Переменная переключения z_3 формируется по выражению:

$$z_3 = (vrot \wedge msp) \vee di7.$$

5. Состояние b_{32} «Треугольник» – производится отключение контактора КМ2 «Звезда» и включение с выдержкой времени 0,5с контактора КМ3 «Треугольник». Производится ожидание достижения номинальной скорости, что определяется получением сигнала $di7$ или $V_{ном}$ аналогично описанному ранее для состояний a_{31} и a_{32} .

Переменная переключения z_4 формируется согласно выражению:

$$z_4 = ((t_{01} > t_{star}) \wedge \overline{msp}) \vee (vrot \wedge msp).$$

6. Работа (a_4/b_4) – в данном состоянии производится контроль работы двигателя. Отслеживание просадки/превышения скорости, контроль аварийного сигнала z_{av} из модуля защит.

7. Останавливается a_5 – модуль отслеживает останов двигателя до скорости наложения рабочего тормоза; если устройство работает в режиме без тормоза, то осуществляется переход в режим (a_1/b_1) «Остановлен».

$$z_5 = ((t_{01} > t_{stp}) \wedge \overline{msp}) \vee (vstp \wedge msp).$$

8. Авария a_6/b_6 – переход в данное состояние осуществляется из других состояний по комбинациям аварийных сигналов. Выход осуществляется по приходу сигнала $di5$, нажатии кнопки «Сброс».

Состояния $a1$ и $a2$ содержат вложенные автоматы-таймеры, управляющие отсчетом временных интервалов.

Диаграммы состояний автоматов, соответствующие приведенному описанию, приведены на Рис. 5 и Рис. 6.

Заключение

В статье предложена реализация структуры и алгоритмов работы устройства защиты асинхронного двигателя на основе ПЛИС с применением при его разработке принципа модульности и программирования с явным выделением состояний, что позволяет при необходимости добавлять или удалять модули, изменяя структуру и количество функций устройства, масштабируя его возможности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Армашова-Тельник Г. С., Бобович Т. А. Анализ преимущественных эффектов применения асинхронных электродвигателей в промышленном секторе // Вестник ВГУИТ. 2022. №2(92). С. 329–333.
2. Мугалимов Р. Г., Закирова Р. А., Мугалимова А. Р. Энергоэффективные асинхронные двигатели, технико-экономические преимущества и оптимизация себестоимости их создания // Электротехнические системы и комплексы. 2016. №2 (31). С. 30–34.
3. Юдаев И. В., Волобуев С. В., Феклистов А. С. Повышение эффективности тепловых устройств защиты асинхронных двигателей // Вестник аграрной науки Дона. 2018. № 44. С. 94–98.]
4. Брейдо И. В., Семькина И. Ю., Нурмаганбетова Г. С. Способ косвенной защиты от перегрева для электроприводов горно-шахтных установок // Известия ТПУ. 2018. № 2. С. 65–73.
5. Khan Md & Rakib Md. Abdullah Al & Nazmi Sumaiya. Design and Performance Evaluation of Numerical Relay for Three-Phase Induction Motor Protection // International Journal of Smart Grid. 2023. Vol. 7. № 2. Pp. 46–52.
6. Pratyush Wasnik, Asawari Kamble, Ritvik Remje, Adinath Uparkar, Priyanka Sharma. Protection of Induction Motor Using PLC // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology. 2022. Vol. 10. Iss. IV.
7. Nordin Saad, Rosdiazli Ibrahim. Development of intelligent condition monitoring system for AC induction motors using PLC // IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC). 2018. Vol. № 5. Pp. 1466–1472.
8. Malla Nigam & Kc Ajay. Fault Identification and Protection of Induction Motor Using PLC and SCADA // Journal of Artificial Intelligence Machine Learning and Neural Network. 2023. Vol. 4. № 01 (2024). Pp. 27–38. 10.55529/jaimlnn.41.27.38.
9. Dhiraj Bukale, Pawan Balugade, Vrushabh Kamerkar, Mukeshkumar Mishra. Induction Motor Protection Using PLC. NCRENB-2021. 2021. Vol. 1, Iss. 4.
10. Колоденкова А. Е., Верещагина С. С., Фаворская Е. А., Осипова Е. А. Подход к оценке технического состояния электрооборудования с использованием взвешенных нечетких правил // Онтология проектирования. 2024. №1 (51). С. 134–144.
11. Ramil Nezhmetdinov [at al.] An approach to the development of logical control systems for technological equipment in the concept of Industry 4.0. MATEC Web of Conferences. 2020. 329. 03044. DOI: 10.1051/mateconf/202032903044.
12. Абдулов Р. Р., Ковалев И. А., Нежметдинов Р. А., Червонова Н. Ю. Синтез систем удаленной диагностики и мониторинга работы станков с ЧПУ с применением Web-компонентов // Автоматизация в промышленности. 2021. №5. С. 13–18. DOI: 10.25728/avtprom.2021.05.03.
13. Кубарев В. А., Богдановская Т. В., Игнатенко О. А., Галлямова О. Р., Кучик М. М., Гуров А. М. Система управления автономным инвер-

тором напряжения на основе ПЛИС // Горное оборудование и электромеханика. 2020. №6 (152). С. 52–58. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-6-52-58.

14. Островляничик В. Ю. Автоматический электропривод постоянного тока горно-металлургического производства: Учебное пособие [Текст]. Новокузнецк : Изд-во СибГИУ, 2004. 383 с.

15. Островляничик В. Ю., Кубарев В. А., Корнеев В. А., Галлямова О. Р. Реализация на основе ПЛИС системы технологической автоматики и защит подъемной установки с электроприводом переменного тока // Вестник Кузбасского государственного

технического университета. 2017. № 5 (123). С. 127–137.

16. Великанов В. С., Дремин А. В., Лукашук О. А., Чернухин С. А., Лукашук М. Д. Цифровая трансформация горнодобывающих предприятий и теротехнология наземных транспортных средств // Горное оборудование и электромеханика. 2024. №1(171). С. 50–56. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-1-50-56.

© 2024 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Кубарев Василий Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники, электропривода и промышленной электроники, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (654007, Россия, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42), e-mail: kubarev.sibsiu@list.ru

Модзелевский Дмитрий Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электротехники, электропривода и промышленной электроники, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (654007, Россия, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42), e-mail: dima010@mail.ru

Кучик Марина Михайловна, ведущий инженер, аспирант кафедры электротехники, электропривода и промышленной электроники, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (654007, Россия, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42), e-mail: officium_meum@list.ru

Сарсембин Адиль Ойсынович, аспирант кафедры электротехники, электропривода и промышленной электроники, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (654007, Россия, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42), e-mail: adilsarsembin@mail.ru

Галлямова Ольга Радиковна, соискатель кафедры электротехники, электропривода и промышленной электроники, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (654007, Россия, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42), e-mail: _gao_@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Кубарев Василий Анатольевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, разработка концепции устройства, написание текста.

Модзелевский Дмитрий Евгеньевич – выбор аппаратного и программного обеспечения, разработка алгоритма.

Кучик Марина Михайловна – сбор и анализ данных, обзор литературы, написание текста.

Сарсембин Адиль Ойсынович – разработка алгоритма, обзор литературы.

Галлямова Ольга Радиковна – сбор и анализ данных, обзор литературы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-3-13-21

Vasiliy A. Kubarev*, **Dmitriy E. Modzelevskiy**, **Marina M. Kuchik**, **Adil O. Sarsembin**, **Olga R. Gallyamova**

Siberian State Industrial University

*E-mail: kubarev.sibsiu@list.ru

STRUCTURE AND ALGORITHMS OF A PROTECTION AND CONTROL DEVICE FOR AN INDUCTION MOTOR BASED ON FPGA



Article info

Received:

13 May 2024

Accepted for publication:

15 July 2024

Accepted:

15 August 2024

Published:

12 September 2024

Keywords: protection device, control system, FPGA, electric drive, induction motor

Abstract.

The article is devoted to the structure and algorithm of a device for protecting and monitoring an induction motor when implemented on the basis of an FPGA.

The urgency of the discussed issue. Currently, in general industrial mechanisms for general purposes, a transition has been made to induction motors, and there are practically no DC motors left, with the exception of certain applications that require increased control accuracy. Research is constantly being conducted to expand the scope of application of asynchronous motors, increase energy efficiency, and also reduce the cost of their production, which leads to an even greater expansion of application areas. However, in production and at present, the protection of induction motors operated without soft starters or frequency converters with integrated digital protections are represented by thermal and overcurrent relays or complex protection devices on discrete semiconductor elements that do not allow transmitting information about the state of the motor to the upper-level systems or remotely change the settings of protection parameters.

The main aim of the study. Development of the technical structure and software architecture of a device for protecting and monitoring the parameters of an induction motor.

The methods used in the study. Theory of electric drive, theory of automatic control, theory of automata, theory of algorithms was used.

The results. A structure and example of implementation of an algorithm for a device for protecting and monitoring the parameters of an induction motor based on FPGA is proposed.

For citation: Kubarev V.A., Modzelevskiy D.E., Kuchik M.M., Sarsembin A.O., Gallyamova O.R. Structure and algorithms of a protection and control device for an induction motor based on FPGA. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2024; 3(173):13-21 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2024-3-13-21, EDN: JMJUZH

REFERENCES

1. Armashova-Telnik G.S., Bobovich T.A. Analysis of the preferential effects of the use of asynchronous electric motors in the industrial sector. *Proceedings of VSVET*. 2022; 2(92):329–333. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-2-329-333.
2. Mugalimov R.G., Zakirova R.A., Mugalimova A.R. Energy Efficient Asynchronous Motors, Their Technical and Economic Advantages and Cost Optimization of Their Development. *Electrotechnical systems and complexes*. 2016; 2(31):30–34.
3. Yudaev I.V., Volobuev S.V., Feklistov A.S. Improving the efficiency of thermal protection devices for asynchronous motors. *Bulletin of Agrarian Science of the Don*. 2018; 44:94–98.
4. Breido I.V., Semykina I.Yu., Nurmaganbetova G.S. A method of indirect protection against overheating for electric drives of mining installations. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2018; 2:65–73.
5. Khan Md, Rakib Md, Abdullah Al, Nazmi Sumaiya. Design and Performance Evaluation of Numerical Relay for Three-Phase Induction Motor Protection. *International Journal of Smart Grid*. 2023; 7(2):46–52.
6. Pratyush Wasnik, Asawari Kamble, Ritvik Remje, Adinath Uparkar, Priyanka Sharma. Protection of Induction Motor Using PLC. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*. 2022; 10(IV).
7. Nordin Saad, Rosdiazli Ibrahim. Development of intelligent condition monitoring system for AC induction motors using PLC. *IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC)*. 2018; 5:1466–1472.
8. Malla Nigam, Kc Ajay. Fault Identification and Protection of Induction Motor Using PLC and SCADA. *Journal of Artificial Intelligence Machine Learning and Neural Network*. 2023; 4(01(2024)):27–38. DOI: 10.55529/jaiml.41.27.38.
9. Dhiraj Bukale, Pawan Balugade, Vrushabh Karkerkar, Mukeshkumar Mishra. *Induction Motor Protection Using PLC. NCRENB-2021*. 2021; 1(4).
10. Kolodenkova A.E. [et al.] An approach to assessing the technical condition of electrical equipment using weighted fuzzy rules. *Ontology of Designing*. 2024; 1(51):134–144.
11. Ramil Nezhmetdinov [et al.] An approach to the development of logical control systems for technological equipment in the concept of Industry 4.0. *MATEC Web of Conferences*. 2020; 329:03044. DOI: 10.1051/mateconf/202032903044.
12. Abdulov R.R., Kovalev I.A., Nezhmetdinov R.A., Chervonnova N.Yu. Synthesis of systems for remote diagnostics and monitoring of CNC machine tools using Web components. *Automation in industry*. 2021; 5:13–18. DOI: 10.25728/avtprom.2021.05.03.
13. Kubarev V.A. [et al.] Control system of an autonomous voltage inverter based on FPGA. *Mining equipment and electromechanics*. 2020; 6(152):52–58. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-6-52-58.

14. Ostrovlyanchik V.Yu. Automatic DC electric drive for mining and metallurgical production. Novokuznetsk: Publishing house of SibGIU; 2004. 383 p.

15. Ostrovlyanchik V.Yu. [et al.] Implementation on the basis of FPGA of a system of technological au-

tomation and protection of a lifting device with an alternating current electric drive. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2017; 5(123):127–137.

© 2024 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Vasily A. Kubarev, C. Sc. (Engineering), Associate Professor, Head of department, Siberian State Industrial University (654007, Russia, Novokuznetsk, 42 Kirova Street), e-mail: kubarev.sibsiu@list.ru

Dmitry E. Modzelevsky, C. Sc. (Engineering), Associate Professor, Siberian State Industrial University (654007, Russia, Novokuznetsk, 42 Kirova Street), e-mail: dima010@mail.ru

Marina M. Kuchik, Lead Engineer, Siberian State Industrial University (654007, Russia, Novokuznetsk, 42 Kirova Street), e-mail: officium_meum@list.ru

Adil O. Sarsembin, Postgraduate, Siberian State Industrial University (654007, Russia, Novokuznetsk, 42 Kirova Street), e-mail: adilsarsembin@mail.ru

Olga R. Gallyamova, Applicant, Siberian State Industrial University (654007, Russia, Novokuznetsk, 42 Kirova Street), e-mail: _gao_@mail.ru

Contribution of the authors:

Vasily A. Kubarev – research problem statement, scientific management, device concept development, writing the text.

Dmitry E. Modzelevsky – selection of hardware and software, algorithm development.

Marina M. Kuchik – data collection and analysis, reviewing the relevant literature, writing the text.

Adil O. Sarsembin – algorithm development, reviewing the relevant literature.

Olga R. Gallyamova – data collection and analysis, reviewing the relevant literature, writing the text.

Authors have read and approved the final manuscript.

