

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Электронного обучения

Направление обучения 140604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема работы

**АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДКАЧИВАЮЩЕГО  
НАСОСА ЖИЛОГО ДОМА**

УДК 62-83-523:621.65:69.059.1

Студент

| Группа | ФИО                          | Подпись | Дата |
|--------|------------------------------|---------|------|
| 3-7101 | Низамов Курбанали Эрали угли |         |      |

Руководитель:

| Должность             | ФИО                            | Ученая степень,<br>звание     | Подпись | Дата |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Воронина Наталья<br>Алексеевна | Кандидат<br>технических наук. |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность                        | ФИО                            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент<br>кафедры менеджмента | Грахова Елена<br>Александровна |                           |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность                                                         | ФИО                           | Ученая степень,<br>звание               | Подпись | Дата |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|---------|------|
| Доцент<br>Кафедра экологии<br>и безопасности<br>жизнедеятельности | Сечин Андрей<br>Александрович | Кандидат<br>технических наук,<br>доцент |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой                                      | ФИО                          | Ученая степень,<br>звание               | Подпись | Дата |
|----------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|---------|------|
| кафедра<br>электропривода и<br>электрооборудования | Дементьев Юрий<br>Николаевич | Кандидат<br>технических наук,<br>доцент |         |      |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Электронного обучения

Направление обучения 140604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Дементьев Ю.Н.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение дипломной работы**

В форме:

|                  |
|------------------|
| Дипломной работы |
|------------------|

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО                          |
|--------|------------------------------|
| 3-7101 | Низамов Курбанали Эрали угли |

Тема работы:

|                                                                    |                   |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДКАЧИВАЮЩЕГО НАСОСА ЖИЛОГО ДОМА</b> |                   |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                        | 28.03.16г №2399/с |

|                                          |  |
|------------------------------------------|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: |  |
|------------------------------------------|--|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

| Исходные данные к работе:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i> | АО «Алмалыкский ГМК<br>Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) ».;<br><br>Асинхронный электропривод<br>подкачивающего насоса жилого дома<br><br>- Режим работы – продолжительный;<br>- Вид сырья – вода;<br>- Обеспечение регулирования скорости |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
| (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе). |                              | - Изучить технологический процесс;<br>- Выбор приводного устройства; преобразователя частоты,<br>- Разработка и исследование электропривода со скалярным управлением;<br>- Разработка и исследование электропривода с векторным управлением;<br>- Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность, заключение, список использованных источников. |                |             |
| <b>Перечень графического материала:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                              | -Имитационная модель электропривода насоса с векторным управлением;<br>- Имитационная модель электропривода насоса со скалярным управлением.                                                                                                                                                                                                                                                 |                |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
| <b>Раздел</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                              | <b>Консультант</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                              | Воронина Наталья Алексеевна                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                |             |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                              | Грахова Елена Александровна                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                |             |
| Социальная ответственность                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                              | Сечин Андрей Александрович                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |             |
| <b>Названия разделов:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
| Технологическая часть                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
| Выбор приводного устройства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
| Разработка и исследование электропривода со скалярным управлением                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
| Разработка и исследование системы электропривода с векторным управлением                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
| Социальная ответственность                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
| <b>Задание выдал руководитель:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
| <b>Должность</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>ФИО</b>                   | <b>Ученая степень, звание</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Старший преподаватель                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Воронина Наталья Алексеевна  | Кандидат технических наук                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                |             |
| <b>Задание принял к исполнению студент:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |
| <b>Группа</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>ФИО</b>                   | <b>Подпись</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Дата</b>    |             |
| 3-7101                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Низамов Курбанали Эрали угли |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |             |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

|               |                              |
|---------------|------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                   |
| 3-7101        | Низамов Курбанали Эрали угли |

|                            |                                      |                                  |                                                                                |
|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Институт</b>            | Институт электронного обучения (ИЭО) | <b>Кафедра</b>                   |                                                                                |
| <b>Уровень образования</b> | Специалитет                          | <b>Направление/специальность</b> | Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов |

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

|                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | - АО «Алматынский ГКМ Теплоэлектроцентр (ТЭЦ) ».;<br>- Приблизительная сумма затрат на выполнение проекта составляет 940 тыс. рублей,<br>- В реализации проекта задействованы 2 человек: руководитель проекта, инженер-разработчик;                                                                                                                                    |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>                                                                                 | - Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»<br>- Минимальный размер оплаты труда (на 2016 год) составляет 6204 руб. |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>                        | - Отчисления во внебюджетные фонды - 30% от ФОТ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | - Потенциальные потребители результатов исследования,<br>- Анализ технических решений,<br>- Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)                                                                                                                                                                                                   |
| 2. <i>Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>                                                                                          | - Планирование научно-исследовательских работ:<br>• Определение трудоемкости выполнения работ<br>• Разработка графика проведения научного исследования,<br>- Обоснования необходимых инвестиций для разработки и внедрения исследовательской работы<br>- Расчет сметы затрат на проектирование,<br>- Расчет расходов при эксплуатации электропривода, |
| 3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>                      | - Определение экономической эффективности исследования<br>- Срок окупаемости проекта,<br>- Ставка доходности (коэффициент рентабельности) проекта.                                                                                                                                                                                                    |

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

- 1.График Ганта,
- 2.Смета затрат

|                                                             |  |
|-------------------------------------------------------------|--|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> |  |
|-------------------------------------------------------------|--|

**Задание выдал консультант:**

|                               |                             |                               |                |             |
|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b>              | <b>ФИО</b>                  | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Ассистент кафедры менеджмента | Грахова Елена Александровна |                               |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                              |                |             |
|---------------|------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                   | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 3-7101        | Низамов Курбанали Эрали угли |                |             |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**Высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



|                                        |                                                                                |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Институт                               | Электронного образования                                                       |
| Направление подготовки (специальность) | Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов |
| Уровень образования                    | Специалист                                                                     |
| Кафедра                                | Электропривода и электрооборудования                                           |
| Период выполнения                      | (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)                           |

Студенту:

|        |                              |
|--------|------------------------------|
| Группа | ФИО                          |
| 3-7101 | Низамов Курбанали Эрали угли |

Тема работы:

|                                                                       |  |
|-----------------------------------------------------------------------|--|
| Асинхронный электропривод насоса жилого дома                          |  |
| Утверждена приказом проректора-директора (директора)<br>(дата, номер) |  |

Форма представления работы:

|                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>Дипломный проект (работа)</b>                                         |
| (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация) |

### ЗАДАНИЕ

|                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b> | <p>1. Описание рабочего места (электромонтер по ремонту электрооборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации,)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul> <p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p> |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке | <p>1. Анализ выявленных <b>вредных</b> факторов проектируемой производ – енной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико – химическая природа фактора, его связь с раз – рабатываемой темой;</li> <li>-- действие фактора на организм человека ;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размер – ностью (с ссылкой на соответствующий нормативно – технический документ);</li> <li>-- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul> <p>2. Анализ выявленных <b>опасных</b> факторов проектируемой производ – енной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты)</li> <li>-- электробезопасность ( в т.ч. статическое электричес – тво, молниезащита - источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактичес – кие мероприятия, первичные средства пожаротушения);</li> </ul> <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul> <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС на объекте;</li> </ul> |
| Перечень расчётного и графического материала                            | Защитного зануления установки.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                                                      |  |
|------------------------------------------------------|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику |  |
|------------------------------------------------------|--|

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------|------------------------|---------|------|
| доцент    | Сечин А. А. | К.Т.Н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО          | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|------|
| 3-7101 | Низамов К.Э. |         |      |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение Высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Электронного обучения  
Направление обучения 140604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов  
Уровень образования Специалитет  
Период выполнения весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

|                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------|
| Дипломная работа                                                         |
| (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация) |

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения дипломной работы**

|                                          |  |
|------------------------------------------|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: |  |
|------------------------------------------|--|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)                    | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 02.04.2016г   | Технологический процесс                                                  |                                    |
| 06.04.2016г   | Выбор оборудования электропривода транспортирующего устройства           |                                    |
| 19.04.2016г   | Расчет статических характеристик электропривода                          |                                    |
| 26.04.2016г   | Разработка и исследование системы электропривода с векторным управлением |                                    |
| 16.04.2016г   | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение          |                                    |
| 22.03.2016г   | Социальная ответственность                                               |                                    |
| 20.05.2016г   | Оформление пояснительной записки                                         |                                    |

Составил преподаватель:

| Должность             | ФИО                         | Ученая степень, звание     | Подпись | Дата |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Воронина Наталья Алексеевна | Кандидат технических наук, |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

| Зав. кафедрой                                | ФИО                       | Ученая степень, звание            | Подпись | Дата |
|----------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------|------|
| кафедра электропривода и электрооборудования | Дементьев Юрий Николаевич | Кандидат технических наук, доцент |         |      |

## Техническое задание

Разработать регулируемый электропривод насоса 90K20, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная.
2. Электропривод нереверсивный, диапазон регулирования в рабочей зоне  $D = 1:3$ , при плавном регулировании скорости в указанном диапазоне.
3. Погрешность поддержания заданной скорости вращения на нижней рабочей скорости не более 5 % .
4. Управление электроприводом – ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с возможностью интеграции в систему управления более высокого уровня.
5. Электродвигатель обязан быть предназначен для работы в критериях завышенной температуры, иметь обладать прикрытие выполнение со степенью защиты не менее IP54.
6. Преобразователь обязан быть специализирован для работы в прикрытых стационарных помещениях при температуре находящегося вокруг воздуха от  $5^{\circ}$  до  $45^{\circ}\text{C}$  и условной влажности не наиболее 80% .
7. Система управления электроприводом обязана гарантировать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и сервиса
8. Сеть трёхфазная,  $380 \pm 10\% \text{ В}$ ,  $50 \pm 1 \text{ Гц}$ .



## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа – с., 37 рисунков, 36 таблиц, 31 источник литературы.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование асинхронного электропривода насоса подкачивающего жилого дома.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ MATLAB, Mathcad 14, MS Excel в текстовом редакторе MS Word.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В последнее время наблюдается устойчивая тенденция к переходу от нерегулируемого асинхронного электропривода (АЭП) к регулируемому электроприводу. Преимущества, обеспечиваемые регулируемым электроприводом: улучшение качественных характеристик технологических процессов и выпускаемой продукции, возможность автоматизации производства, обеспечение энергосбережения и ресурсосбережения.

Теплоснабжение жилых кварталов муниципальных и промышленных объектов в России и странах СНГ производится, как правило, централизованными магистральными закрытыми системами. Циркуляция и перекачка воды в системах тепло и водоснабжения осуществляется с помощью сетевых насосных станций, основными элементами которых являются центробежные насосы.

Большая экономность топливно-энергетических ресурсов добывается при централизации теплоснабжения жилых, промышленных и социальных зданий в городах и иных заселенных местах.

Основными путями развития централизованного теплоснабжения является отказ от мелких котельных, в пользу строительства крупных ТЭЦ с целью производства горячей воды и пара, необходимой с целью отопительных и научно-технических потребностей больших жилых районов города. С этим процессом формирования связано построение протяженных и обширно разветвленных термических сетей с по численности большими тепловыми пунктами разнородных потребителей жилых и промышленных объектов.

Теплоснабжение объектов народного хозяйства и населения является одной из главных подсистем энергетики государства. Предназначение системы теплоснабжения находится в обеспечении потребителей важным числом теплоты в виде пара и горячей воды необходимых характеристик.

В режимах централизованного теплоснабжения (СЦТ) осуществляются соответствующие научно-технические движения: изготовление и выдача теплоты, транспортировка и применение теплоносителя.

Изготовление и выдача теплоты осуществляются в теплопредварительных аппаратах источников теплоты - ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЬ и городской житель либо промышленных котельных. В источниках теплоты применяют органическое либо ядерное топливо. Источник теплоты должен обеспечивать экономически выгодные режимы отпуска теплоты в тепловую сеть, иметь высокую надежность, а также обеспечивать бесперебойную работу агрегатов.

К тепловым сетям причитают теплопроводы и сооружения в их - сетевые станции (подкачивающие, смесительные, дроссельные). Транспортировка теплоносителя производится согласно тепловым сетям, объединяющим источник теплоты с потребителями. СЦТ городов считаются, равно как принцип, водяными режимами, в каком месте в свойстве теплоносителя используется вода.

Водяные режимы теплоснабжения смогут находиться открытыми и закрытыми. В раскрытых режимах теплоноситель разбирается у потребителей с целью потребностей теплого водоснабжения; в закрытых системах, вода, циркулирующая в термической сети применяется только лишь как основной теплоноситель, с сети ради употребления она никак не отнимется.

С целью теплоснабжения населенных пунктов источников теплоты по предоставленной категории потребителей, как требование, применяются двухтрубные тепловые сети.

Предназначение тепловых сетей - верная транспортировка теплоносителя с наименьшими утратами теплоты и воды.

Присутствие выдачи теплоты потребителям осуществляется сохранение согласно установленному закону характеристик подогреваемой среды. Применение теплоносителя исполняется в теплоприемниках покупателей: в режимах отопления, проветривания, теплого водоснабжения. В взаимосвязи с вырастающей ценой электричества проблема этого плана является важной.

# 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Анализ технологического процесса

Присутствие отображений научно-технической конструкции применяется отдельные определения, представляющие особыми для данного вида установок:

Насос гидромеханическая механизм, преобразующая механическую энергию приводного движка в энергию потока воды,предназначаящаяся для передвижения и формирования давление воды всех видов, механической смеси воды с твёрдыми и коллоидными веществами или сжиженных газов..

Насосная установка (НУ) - это система оборудования обеспечивающий необходимый порядок работы насосов одного либо нескольких насосных агрегатов.

Насосный агрегат насоса механизма совокупность электропривода и передаточного

Насосная станция (НС) - сооружение, состоящая из одной или нескольких насосных установок, а также содержащая в себе вспомогательные системы и оборудование.

Насосные установки делятся на:

- Канализационные
- Водопроводные
- Теплофикационные
- Мелиоративные

Теплофикационные насосные станции специализированы с целью подачи покупателям теплой вода требуемых параметров..

Насосные установки каждый год потребляют приблизительно 20% электроэнергии, вырабатываемой энергосистемами

В сегодняшнее время значительная часть насосных установок работают неэкономично. Утраты электроэнергии составляют 10-25%, употребляемой электроэнергии.

Для снижения потерь электроэнергии в насосных станциях целесообразно применение экономических методов регулирования, основанных на изменении частоты вращения рабочих колес насоса.

В сегодняшний день насосных установках перемена частоты вращения насосов осуществляется с поддержкой автоматизированного электропривода (АЭП).

Поступление горячей воды в систему хозяйственно-бытового употребления и характер распределения её дневных затрат, неравномерны и зависят от степени благоустройства зданий и от количества населения заселенного места.

Основным источником тепловой энергии в городе Алмалыке является АО «Алмалыкский ГМК Теплоэлектроцентр (ТЭЦ)» проложено четыре магистрали диаметром 300 -700 мм, по которым горячая вода подается на подкачивающие насосные станции. В насосных станциях установлены насосы, повышающие давление теплоносителя до рабочего (7,5-8 кгс/см<sup>2</sup>). Давление теплоносителя в магистралях варьируется от 5 - 6 кгс/см<sup>2</sup> во время пиковых нагрузок и до 9 кгс/см<sup>2</sup> в ночное период. Подкачивающая насосная станция № 9 (ПНС-9) предназначена для теплоснабжения жилого дома. Для этого на ПНС-9 установлены насосы (Таблица 1.1).

Таблица 1.1– Наименование насосов ПНС 9

| № с/н | Марка насоса | Произ в м | Напор М.в.ст | Мощн эл.двиг .,кВт | Число об.в мин | Марка Эл.двиг. | Диам раб.колеса |
|-------|--------------|-----------|--------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|
| 1     | K90/20       | 90        | 20           | 7,5                | 1455           | АИР132S4       | 149             |
| 2     | K90/20       | 90        | 20           | 7,5                | 1455           | АИР132S4       | 149             |

Для производства оперативных переключений по включению или отключению насосов и коллекторов ПНС-9, на подающем трубопроводе установлена следующее вспомогательное оборудование:

- 1) № 1 – секционная стальная задвижка Ду 150;
- 2) № 5 – отключающая стальная задвижка Ду 200 по ВСП;
- 3) № 7 – отключающая чугунная задвижка Ду 80 по ВСП (отопление);
- 4) № 9 - отключающая чугунная задвижка Ду 80 по ВСП (ГВС);

5) № 3А – отключающая стальная задвижка Ду 80, установлена на всасывающем коллекторе насоса № 2;

6) № 1А – отключающая стальная задвижка Ду 80, установлена на всасывающем коллекторе насоса № 1;

7) № 1Б –регулирующая стальная задвижка Ду 80, установлена на напорном коллекторе насоса № 1;

8) № 3Б –регулирующая стальная задвижка Ду 80, установлена на напорном коллекторе насоса № 2.

Вспомогательная запорная арматура:

1) № 13 – отключающий чугунный вентиль Ду 40, для обеспечения циркуляции в тепловой сети при отключении ПНС-9;

2) № 11 – отключающая стальная задвижка Ду 100, для обеспечения циркуляции в коллекторах ПНС-9 при отключении нагрузки у потребителей;

3) № 12 – отключающая стальная задвижка Ду 80, для летнего ГВС с обратного трубопровода;

4) № 1 – обратный клапан стальной Ду 100, для обеспечения циркуляции воды при остановке насоса № 1;

5) № 2 – обратный клапан стальной Ду 100, для обеспечения циркуляции воды при остановке насоса № 2;

6) № 4 – обратный клапан стальной Ду 200, для предотвращения сверх нормативного избыточного давления воды в системах теплоснабжения при аварийной остановке насосов № 1, № 2.

## **1.2 Описание и основные технические характеристики насоса К90/20**

Насосы типа "К"- центробежные, консольные, одноступенчатые с односторонним подводом жидкой среды к рабочему колесу, сделаны для перекачивания незагрязненной жидкой среды водяной, производственно-технического назначения (кроме морской) с рН 6...9, температурной средой от 273 до 358К (от 0 до + 85оС) и от 273 до 378К (от 0 до 105оС), и иных жидкостей, подобных с жидкой среды жизненный путь дающей по плотности, вязкости и химической

энергичности, содержащих твердые подключения размером до 0,2 мм, объемная концентрация которых не превышает 0,1%. Уплотнение вала насоса - одинарное, двойное сальниковое или одинарное торцовое. Наибольшее допускаемое избыточное давление на входе в насос, для насосов с мягким сальником, 0,35МПа (3,5 кгс/см<sup>2</sup>), с торцовым уплотнением 0,6 МПа (6,0 кгс/см<sup>2</sup>).



Рисунок 1.1 – Насос K90/20

Таблица 1.2 – Параметры насоса

| Тип насоса | Подача, м <sup>3</sup> /час | Напор, м | КПД насоса, % | Мощность насоса, кВт |
|------------|-----------------------------|----------|---------------|----------------------|
| K90/20     | 90                          | 20       | 78            | 5,5                  |

### 1.3 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода

В современных зарубежных и российских режимах управление систем деятельность насосных устройств выполняется средством автоматизированного контролируемого электропривода. При таких режимах контролируемым параметром является давление воды. Инновационное формирование техники дает возможность помогать давлению с большой точностью. Но высочайшая пунктуальность тянет за собой постоянное модифицирование частоты вращения электродвигателя насосного аппарата из-за данного этого содействует происхождению знакопеременных нагрузок на единичные составляющие насосного аппарата (гибкие муфты, объединяющие насос с движком и др ),водящих к

досрочному их износу. Потому в ряде ситуаций приходится ставить завышенную область нечувствительности режима регулировки, что убавляет пунктуальность стабилизации давления.

В качестве контролируемого электропривода насосной системы теплого водоснабжения учитывается применение одного из видов электропривода, в том числе: индукторных муфт скольжения (ИМС) с питанием возбуждения от тиристорных установок; частотных преобразователей; электроприводов согласно по схеме АВК на базе преобразователей ТДП-2 и станций управления ШДУ; электроприводов на базе вентильных электродвигателей с преобразователями ПЧВН, ПЧВС.

Регулирование давления воды осуществляется из-за расчет того, что при убавлении водоразбора, давление в сети повышается, а частота вращения электродвигателя насоса в итоге воздействия системы регулирования снижается. При повышении водопотребления, наоборот, давление воды в сети выпадает, а частота вращения возрастает. Главная задача системы стабилизации давления воды в системе трубопроводов заключается в поддержании давления на установленной отметке. В режимах регулирования давления в сети, необходимо предполагать включение добавочных неконтролируемых насосов при значительных приростах притока либо водопотребления и выключение их при убавлении. Контролируемым приводом должны оснащаться более большие насосные установки с наиболее пологой характеристикой. В случае применения однотипных насосов во избежание образования усопших зон рабочие колеса неконтролируемых насосов должны иметь диаметры, наименьшие контролируемых. При равенстве диаметров и работе контролируемого насоса в режиме наибольших подач с высокой частотой вращения он должен быть укомплектован движком высокой мощности в согласовании с рекомендациями.

Насосы считаются приспособлениями с порядком продолжительной перегрузки с небольшим количеством подключений и огромным числом времен работы в году. Перегрузка на валу приводного двигателя спокойная, в отсутствии перегрузок. Нужный диапазон частоты регулирования никак не превышает, равно



как норма, 2: Перегрузка на валу механизма носит полностью вентиляционный вид, т.е. статический момент сопротивления на валу механизма пропорционален квадрату скорости. Привод должен естественно действовать в условиях высокой сырости и сравнительно высочайших температур, а кроме того обладать предельно возможные показатели надежности. В данных обстоятельствах предпочтительным считается использование асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, получающего напряжение от преобразователя частоты.

АД КР различается простотой, надежностью, отсутствием контактных соединений, своей низкой стоимостью, а преобразователь частоты позволяет добиться достаточно точного и плавного регулирования скорости двигателя. На основе этих данных, можно сформулировать следующие требования к электроприводу, которые он обязан гарантировать:

- диапазон регулировки скорости 3: 1;
- перегрузочную способность не меньше 1,5;
- плавный пуск насосного агрегата и разгона до установленной скорости;
- затормаживание выбегом;
- климатическое исполнение УХЛ4;
- уровень защиты IP44

## **2. ВЫБОР ПРИВОДНОГО УСТРОЙСТВА**

### **2.1 Выбор приводного электродвигателя**

Автоматизирование производственных устройств дает возможность наиболее быстро и четко воспроизводить технологический процесс. При полной автоматизации процесса не требуется непрерывного участия человека, ему остается роль наблюдающего и корректировщика. В данный период целесообразно автоматизировать производственные установки при поддержке микропроцессорных систем, которые дают возможность сменить жесткую логику на программное управление, увеличить надежность и эластичность системы управления.

Определим главные условия к автоматизированной системе управления:

- плавный запуск насосного агрегата и разгон до установленной скорости;
- определение давления в зависимости от текущего расхода;
- стабилизация требуемого давления воды в системе в результате из-за регулировки скорости вращения электродвигателя;
- отключение и включение дополнительного насоса в зависимости от требуемого расхода;
- ввод в действие дополнительного насоса в случае аварии рабочего;
- автоматический разгон насосного агрегата после пропадания питания;
- защита от тепловых нагрузок приводных двигателей насосных агрегатов;
- периодическая смена главного насосного агрегата, регулирующего подачу воды в систему;
- система управления обязана обеспечивать контроль минимального, максимального и аварийного расхода.

В качестве электропривода для проектируемой установки получаем трехфазный асинхронный электропривод, построенный по системе ПЧ-АД КЗР.

Автоматизировать устройство предлагается внедрением программируемого контроллера. В функции контроллера в таком случае станут входить: выработка задания для электропривода в зависимости от напора в сети; осуществление переключения главного и запасного насосов при выходе из строя главного;

диагностика состояния элементов установки; присоединение вспомогательного насоса при перегрузке главного; выдача аварийных сигналов в операторскую службу.

В основании технической информации насоса, кроме того, в соответствии с выбранной системы электропривода, предварительно находим трехфазный асинхронный АИР132S4.

Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором тип АИР132S4 назначены для привода механизмов, требующих регулирования частоты вращения, а также для привода механизмов с тяжелыми условиями запуска. Двигатели подготовлены для работы от сети переменного тока частотой 50 Гц напряжением 380 В.

Вид климатического исполнения – УЗ.

Номинальный режим работы - продолжительный S1.

Конструктивное исполнение двигателей - IM1001.

Способ охлаждения двигателей - IC01A61.

Степень защиты двигателей – IP44, коробки выводов - IP55.

Номинальная мощность приводного двигателя должна быть одинакова либо несколько большее мощности на валу насоса абсолютно всех его возможных технологических режимах работы.

Таблица 2.1 – Технические характеристики электродвигателя АИР132S4

| Типо-<br>размер | $n_0$ ,<br>об/мин | $U_{1н}$ ,<br>В | $P_{дв.н}$ ,<br>кВт | При номинальной<br>нагрузке |                  |              | $s_k$ ,<br>% | $J_{дв}$ ,<br>кг·м <sup>2</sup> |
|-----------------|-------------------|-----------------|---------------------|-----------------------------|------------------|--------------|--------------|---------------------------------|
|                 |                   |                 |                     | $s_H$ , %                   | $\cos \varphi_H$ | $\eta_H$ , % |              |                                 |
| АИР132S<br>4    | 1500              | 380             | 7,5                 | 0,03                        | 0,84             | 0,875        | 0,168        | 0,022                           |

Продолжение таблицы 2.1

|                                |                              |                             |                                         |                   |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-------------------|
| $m_{п} = \frac{M_{пуск}}{M_H}$ | $m_k = \frac{M_{макс}}{M_H}$ | $m_m = \frac{M_{мин}}{M_H}$ | $k_{i\text{дв}} = \frac{I_{пуск}}{I_H}$ | Степень<br>защиты |
| 2                              | 2,5                          | 1                           | 7                                       | IP44              |

## 2.2 Расчет параметров электродвигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 1500}{30} = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_{ном}}{\omega_0} = \frac{157,08 - 154,566}{157,08} = 1,6\%.$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$\omega_{двн} = \left(1 - \frac{s_n}{100}\right) \cdot \omega_0 = \left(1 - \frac{3}{100}\right) \cdot 157,08 = 152,367 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{двн} = \frac{P_n \cdot 1000}{\omega_{дв.}} = \frac{7500}{152,367} = 49,223 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определим кратность максимального и пускового момента двигателя

$$m_{\max} = \frac{M_{\max}}{M_{двн}} = \frac{123,0575}{49,223} = 2,5;$$

$$m_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{двн}} = \frac{98,446}{49,223} = 2.$$

и кратность пускового тока

$$k_{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{1н}} = \frac{109,529}{15,647} = 7$$

## 2.3 Определение параметров схемы замещения электродвигателя

Параметры схемы замещения определим по методике, изложенной в [12].

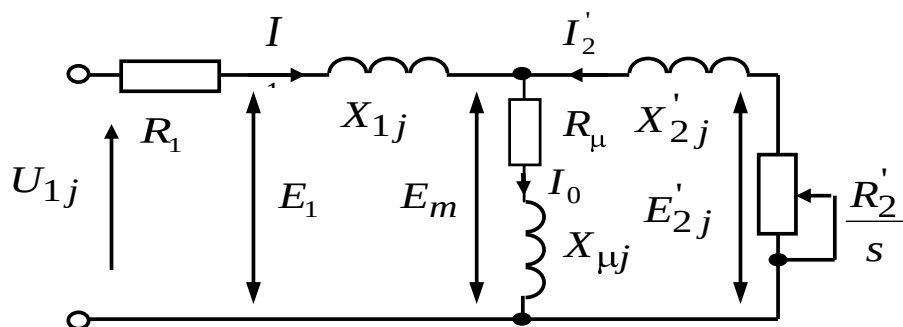


Рисунок 2.1 – Схема замещения

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left( p^* \cdot I_{1n} \cdot \frac{1-s_n}{1-p^* \cdot s_n} \right)^2}{1 - \left( p^* \cdot \frac{1-s_n}{1-p^* \cdot s_n} \right)^2}} = \sqrt{\frac{12,408^2 - \left( 0,75 \cdot 15,647 \cdot \frac{1-0,03}{1-0,75 \cdot 0,03} \right)^2}{1 - \left( 0,75 \cdot \frac{1-0,03}{1-0,75 \cdot 0,03} \right)^2}} = 6,413 \text{ A}$$

где

$$I_{1n} = \frac{P_n \cdot 1000}{3 \cdot U_{1n} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{7500}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,875} = 15,647 \text{ A} - \text{номинальный ток статора};$$

$$I_{11} = \frac{p_z \cdot P_n}{3 \cdot U_{1n} \cdot \cos \varphi_z \cdot \eta_z} = \frac{7500 \cdot 0,75}{3 \cdot 220 \cdot 0,785 \cdot 0,875} = 12,408 \text{ A} - \text{ток фазы статора при}$$

частичной нагрузке;

$p^*$  – коэффициент загрузки двигателя, принимаем  $p^* = 0,75$ ;

$z_{p^*}$  – КПД при частичной нагрузке, принимаем  $\eta_{p^*} = \eta_n$ .

Коэффициент мощности при частичной нагрузке, принимаем согласно:

$$\cos \varphi_z = 0,79 + \Delta \cos \varphi_z = 0,785.$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot (1-s_n)}{2 \cdot m_k \cdot P_{\text{двн}} \cdot c_1^2 \cdot \left( \beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1-0,03)}{2 \cdot 2,5 \cdot 7500 \cdot 1,029^2 \cdot \left( 1,55 + \frac{1}{0,168} \right)} = 0,473 \text{ Ом}.$$

$$\text{где } c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1n}} = 1 + \frac{6,413}{2 \cdot 7 \cdot 15,647} = 1,029 - \text{коэффициент характеризующий}$$

$$\frac{X_\mu + X_{1\sigma}}{X_\mu};$$

Критическое скольжение:

$$s_{\kappa} = s_{\text{н}} \cdot \frac{m_{\kappa} + \sqrt{m_{\kappa}^2 - (1 - 2 \cdot s_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1)} =$$

$$3 \cdot \frac{2,5 + \sqrt{2,5^2 - (1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1,55 \cdot (2,5 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1,55 \cdot (2,5 - 1)} = 0,163.$$

где  $\beta$  – коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6–2,5, принимаем  $\beta = 1,55$ .

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = c_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,029 \cdot 0,473 \cdot 1,55 = 0,754 \text{ Ом}.$$

Определим параметр  $\gamma$ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $X_{\kappa}$ :

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_{\kappa}^2}\right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,196^2}\right) - 1,55^2} = 5,747,$$

тогда

$$X_{\kappa} = \gamma \cdot c_1 \cdot R_2' = 5,747 \cdot 1,029 \cdot 0,473 = 2,795 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\kappa} = 0,42 \cdot 2,795 = 1,174 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{1,174}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,003737 \text{ Гн}.$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано:

$$X_{2\sigma}' = \frac{0,58 \cdot X_{\kappa}}{c_1} = \frac{0,58 \cdot 2,795}{1,029} = 1,575 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{1,575}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,005014 \text{ Гн}.$$

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания  $E_1$ , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1H} \cdot R_1)^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - I_{1H} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,83 - 15,647 \cdot 0,754)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,83^2} - 15,647 \cdot 1,174)^2} = 200,151 \text{ В}. \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{200,151}{6,413} = 31,21 \text{ Ом}.$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2\pi \cdot f_{1H}} = \frac{31,21}{2\pi \cdot 50} = 0,09934 \text{ Гн}.$$

### ***Проверка адекватности расчетных параметров двигателя***

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.н}}^* &= \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[ X_{KH}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}, = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,473}{157,08 \cdot 3 \cdot \left[ 2,795^2 + \left( 0,754 + \frac{0,473}{3} \right)^2 + \left( \frac{0,754 \cdot 0,473}{3 \cdot 2,795} \right)^2 \right]} = 51,927 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ M_{\text{эм.н}}^{**} &= \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L'_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2}, \text{ Н} \cdot \text{м} \\ &= \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0,09934}{(0,09934 + 0,00514)} \cdot 0,901 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{15,647^2 - 6,413^2} = 51,937 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

где

$$\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 6,413 \cdot 0,09934 = 0,901, \text{ Вб}.$$

**Должны выполняться условия:**

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1.1 \cdot M_{\text{дв.н}} = 49,223 < 51,927 \leq 54,115;$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} \approx M_{\text{эм.н}}^* \cdot 51,937 \approx 51,927$$

По результатам расчета эти условия выполняются [12].

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры схемы замещения электродвигателя

| $R_1$ ,<br>Ом | $X_{1y}$ ,<br>Ом | $L_{1y}$ ,<br>Гн | $R_2'$ ,<br>Ом | $X_{2y}'$ ,<br>Ом | $L_{2y}'$ , Гн | $X_m$ ,<br>Ом | $X_k$ ,<br>Ом | $L_m$ ,<br>Гн |
|---------------|------------------|------------------|----------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| 0,754         | 1,174            | 0,0037           | 0,473          | 1,575             | 0,0050         | 31,21         | 2,795         | 0,09934       |

## 2.4 Расчёт естественных характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика  $M(s)$  асинхронного двигателя для частоты  $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$  рассчитывается по выражению:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot \left[ U_{1\phi н}^2 \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 \right]^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot s \cdot \left[ \left( X_{кн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2 \right]};$$

$$\omega(s, f) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot (1 - s).$$

где  $M$  – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

$$M_{\text{эм}}(s_n) = M_{\text{эм}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[ X_{кн}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_n} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_n \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$



$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,473}{157,08 \cdot 3 \cdot \left[ 2,795^2 + \left( 0,754 + \frac{0,473}{3} \right)^2 + \left( \frac{0,754 \cdot 0,473}{3 \cdot 31,21} \right)^2 \right]} = 95,01 \text{ H} \cdot \text{м};$$

критического скольжения

$$s_K = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left( \frac{R_1}{X_\mu} \right)^2}{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 0,473 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left( \frac{0,754}{31,21} \right)^2}{0,754^2 + 2,795^2}} = 0,163$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{\text{эм.к}} s_H = M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left\{ R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{R_1}{X_\mu} \right)^2 \right] \right\}} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157,08 \cdot \left( 0,473 + \sqrt{0,473^2 + 2,795^2} \cdot \left( 1 + \frac{0,754^2}{31,21} \right) \right)} = 126,634 \text{ H} \cdot \text{м},$$

соответствующие расчетной естественной механической характеристике двигателя.

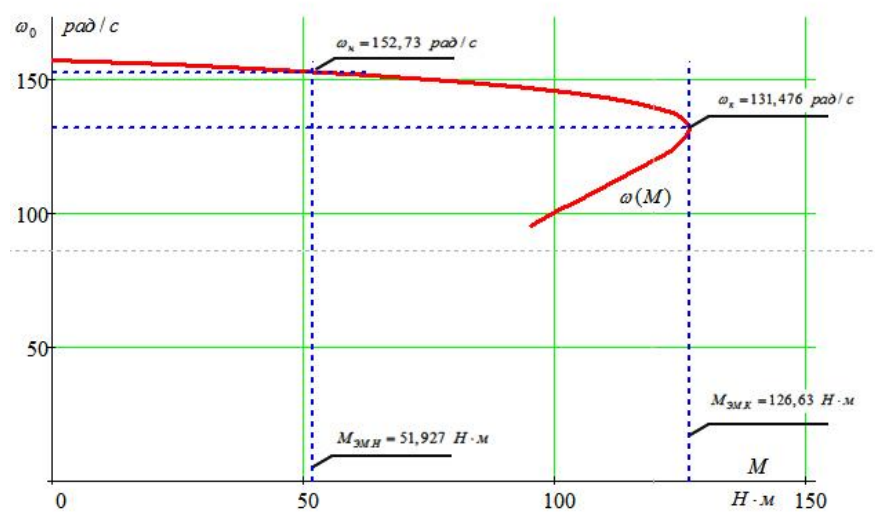


Рисунок 2.2 – Естественная механическая характеристика электродвигателя типа АИР132S4

Момент от силы трения на валу электродвигателя

$$\Delta M_c = M_{\text{эм}} - M_{\text{дв.н}} = 51,927 - 49,223 = 2,704 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По полученным результатам определяем кратность пускового момента

$$m_n = \frac{M_{\text{эм н}}}{M_{\text{эм н}}} = \frac{123,0575}{51,927} = 2,3;$$

кратность максимального (критического) момента:

$$m_k = \frac{M_{\text{эм к}}}{M_{\text{эм н}}} = \frac{126,73}{51,927} = 2,4;$$

критическое скольжение:

$$s_k = \frac{\eta_0 - \eta_k}{\eta_0} = \frac{157,08 - 131,476}{157,08} = 0,163.$$

Естественные электро механические характеристики двигателя  $I_1(s, f_1)$  и  $I_2'(s, f_1)$  рассчитываются по выражениям:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin \alpha_2(s, f_1)};$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_k \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_m \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}};$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1y} + X_m)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

$$\sin \alpha_2(s, f_1) = \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \cdot X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_k \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

$$\eta(s, f) = \eta_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1 - s).$$

По результатам расчета на рисунке 2.3 построены естественные электромеханические характеристики  $\omega(I_1)$ ,  $\omega(I_2')$  при  $f_1 = f_{1н} = 50$  Гц.

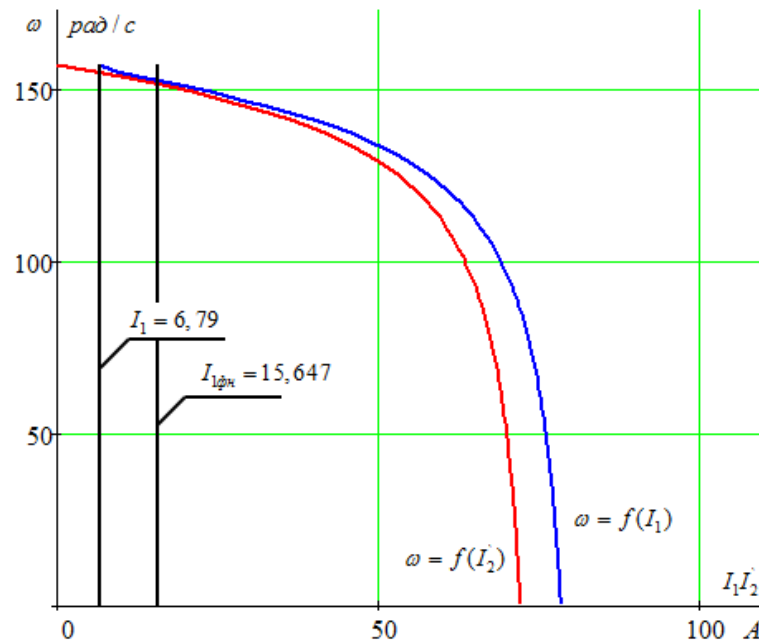


Рисунок 2.3 – Естественная электромеханическая характеристика электродвигателя типа АИР132S4

По результатам расчета электромеханической характеристики  $\omega(I_1)$  найдены значения тока холостого хода (намагничивания)  $I_0 = 6,792$  А, номинального тока.

По полученным результатам определяем кратность пускового тока:

$$k_i = \frac{I_n}{I_0} = \frac{109,529}{15,647} = 7.$$

Параметры расчетных механической и электромеханической характеристики двигателя оказались близки к справочным параметрам двигателя.

## 2.5 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется следующим формулированием:

$$M_{с} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[ X_{\kappa\kappa}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu\mu} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot f_{1*}^2 \cdot 0,473}{\omega_{0j} \cdot 3 \cdot \left[ 2,795^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( 0,754 + \frac{0,473}{3} \right)^2 + \left( \frac{0,754 \cdot 0,473}{3 \cdot 31,21 \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]},$$

где  $U_{1j}$  – фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

$\omega_{0j}$  – синхронная частота вращения двигателя;

$f_{1*} = f_{1j} / f_{1H}$  – относительное значение частоты питающего напряжения.

Механические характеристики двигателя при частотном управлении приведены на рисунке 2.4

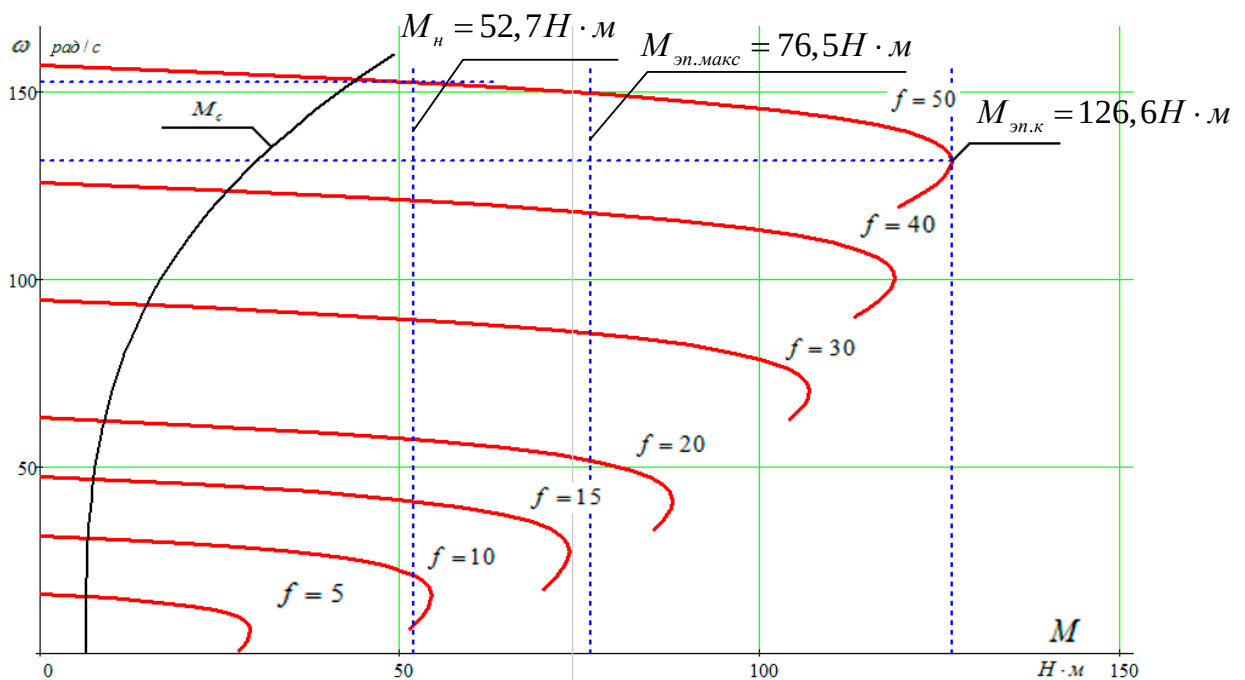


Рисунок 2.4 – Механические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель

Выражение для расчета электромеханических характеристик, определяющих зависимость приведенного тока ротора от скольжения  $s$  при законе управления  $U/f = \text{const}$ ,

$$I_2' s = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\kappa\kappa}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu\mu} \cdot f_{1*}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220 \cdot f_{1*}}{\pm \sqrt{(0,754 + \frac{0,473}{3})^2 + 2,795^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{0,754 \cdot 0,473}{3 \cdot 31,21 \cdot f_{1*}}\right)^2}}.$$

Расчетное выражение для электромеханических характеристик  $I_1 = f(s)$ , отражающих зависимость тока статора  $I_1$  от скольжения:

$$I_1 s = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 s + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' s \cdot \sin \phi_2 s} =$$

$$= \sqrt{6,79^2 + I_2'^2 s + 2 \cdot 6,79 \cdot I_2' \cdot \sin \phi_2 s},$$

где

$$\sin \phi_2 = \frac{x_{\kappa\kappa} \cdot f_{1*}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + x_{\kappa\kappa}^2 \cdot f_{1*}^2}} = \frac{2,795 \cdot f_{1*}}{\sqrt{(0,754 + \frac{0,474}{s})^2 + 2,795^2 \cdot f_{1*}^2}};$$

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + \left(\frac{R_2'}{s} + x_{\mu\mu}\right)^2 \cdot f_{1*}^2}}.$$

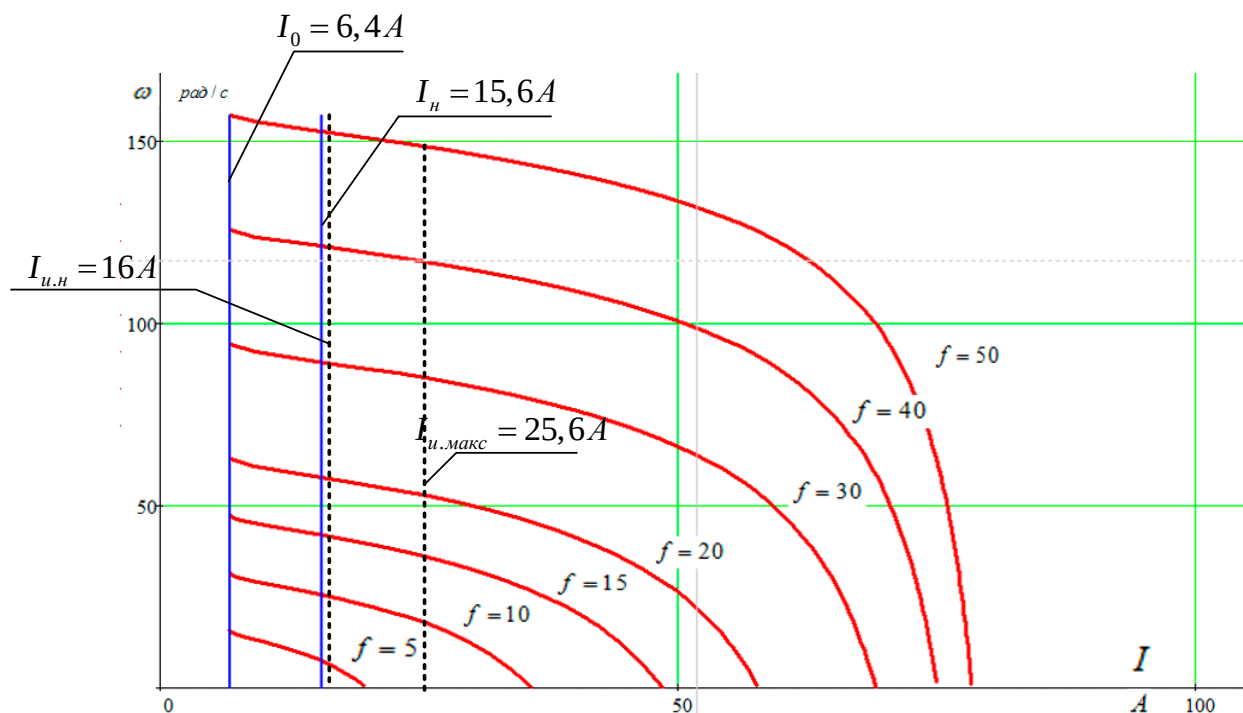


Рисунок 2.5– Электромеханические характеристики  $I_2'$

разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель

## 2.6 Определение возможных вариантов и обоснование выбора вида преобразователя электрической энергии

Преимущества употребления частотных преобразователей. Плавная регулировка интенсивности скоростной вращения электрического двигателя возможность дает как правило отказаться от употребления редукторов, дросселей и прочих регулирующих аппаратуры. Это на много упрощает механизированную систему, с с повышением увеличением увеличивает её надежную прочность и уменьшает рабочие затраты.

При использовании частотного преобразователя запуск двигателя совершается плавно, без пусковых токов и ударов, что сокращает нагрузку на двигатель и механику, повышает срок их жизни. Применение частотных преобразователей с обратной отношением обеспечивает четкое поддержание скорости вращения при переменной нагрузке, что в практически всех задачах разрешает на много улучшить качество технологического процесса.

Для питающей сети преобразователь считается чисто активной нагрузкой и потребляет ровно столько энергии, сколько требуется для выполнения механической работы (с учетом Коэффициент полезного действия преобразователя и двигателя)

## 2.7 Выбор преобразователя частоты

Преобразователь частоты выбирается из условий:

$$P_{\text{дв}} \leq P_{\text{ПЧ}} ; I_{\text{дв}} \leq I_{\text{ПЧ}} .$$

Для двигателя мощностью  $P_{\text{дв}} = 7,5 \text{ кВт}$  и номинальным током  $I_{\text{ном}} = 15,647 \text{ А}$  подбираем преобразователь частоты серии : VLT5011 фирмы Danfoss, имеющий следующие характеристики:

Таблица 2.3 – Паспортные данные преобразователя частоты

| Условное обозначение преобразователя частоты | Полная мощность, кВА | Расчетная мощность двигателя, кВт | Максимальный ток в установившемся режиме, А |                 | Номинальный ток инверторной ячейки, А | Количество инверторных ячеек | Максимальный ток в переходном режиме 60 с., А |
|----------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|
|                                              |                      |                                   | Перегрузка 110%                             | Перегрузка 160% |                                       |                              |                                               |
| VLT5011                                      | 12,2                 | 7,5                               | 46                                          | 32              | 16                                    | 15                           | 50,6                                          |

Общие технические данные преобразователя частоты VLT5011:

- коэффициент мощности 0,8;
- КПД не менее 0,95;
- выходная частота 1÷100 Гц;
- частота ШИМ 0,7÷20 кГц.

Способ управления – векторный.



Рисунок 2.6 – Внешний вид преобразователя частоты Danfoss VLT 5011



### 3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

#### 3.1 Разработка имитационных модели электропривода со скалярным управлением

На рисунок 3.1 приведена многофункциональная схема реализации асинхронного частотно-регулируемого электропривода со скалярным управлением в отсутствии измерителя скорости. Главными многофункциональными элементами контролируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением считаются:

- преобразователь частоты;
- блок управления преобразователем, включающий в себя формирователь 3-фазной системы управляющих напряжений  $u_{1a}$ ,  $u_{1b}$  и  $u_{1c}$ , формирователь 6-канального ШИМ-сигнала и блок драйверов;
- формирователь  $\frac{U}{f}$  - характеристики;
- датчики в общем случае линейного тока двигателя;
- блок расчета фактического значения действующего фазного тока двигателя;
- элемент сравнения допустимого максимального и фактического значения действующего фазного тока двигателя и регулятор ограничения тока;
- блок компенсации скольжения;
- блок коррекции управления напряжением инвертора в функции фактического значения напряжения звена постоянного тока  $U_d$  преобразователя.

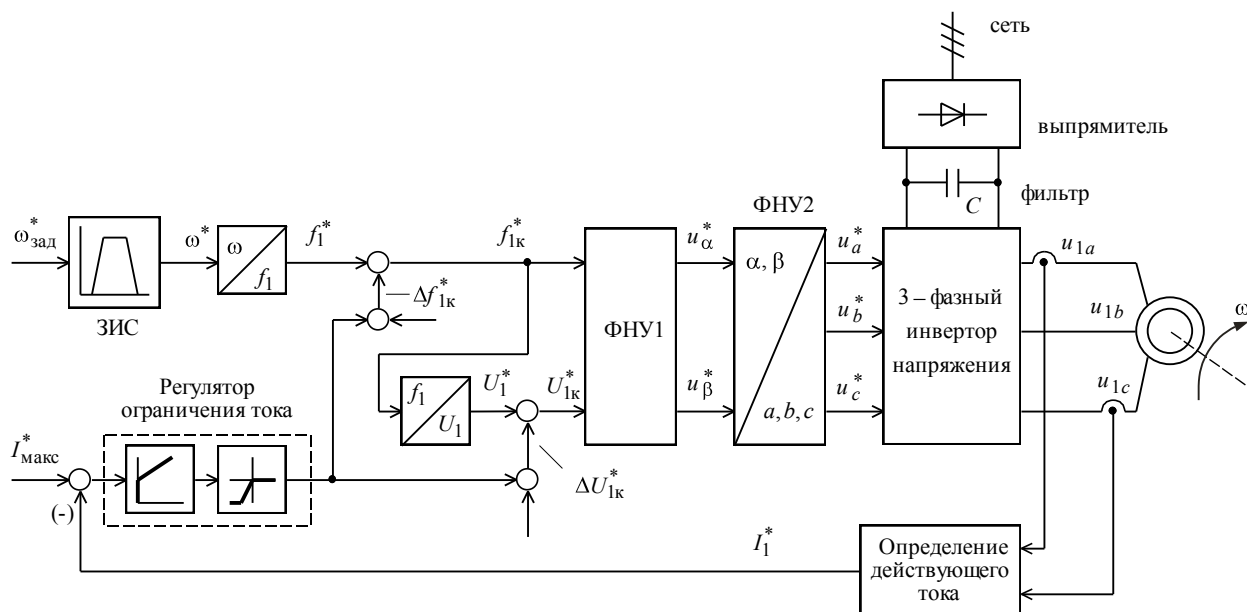


Рисунок 3.1 – Базовая функциональная схема асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением и моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ

В функциональной схеме асинхронного электропривода со скалярным управлением используются следующие варианты реализации моделей[14]:

- Имитационная форма частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса при скалярном управлении приведена в приложение 1 .

- Имитационная форма электрической части силового канала насоса системы преобразователь частоты синхронного электродвигателя рисунок 3.2

- Имитационная форма механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой рисунок 3.3;

- Имитационная форма электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат рисунок 3.4;

- имитационная форма блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера рисунок 3.5;

- имитационная форма задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой представлена на рисунке 3.6;

- модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты асинхронного электродвигателя рисунок 3.7;

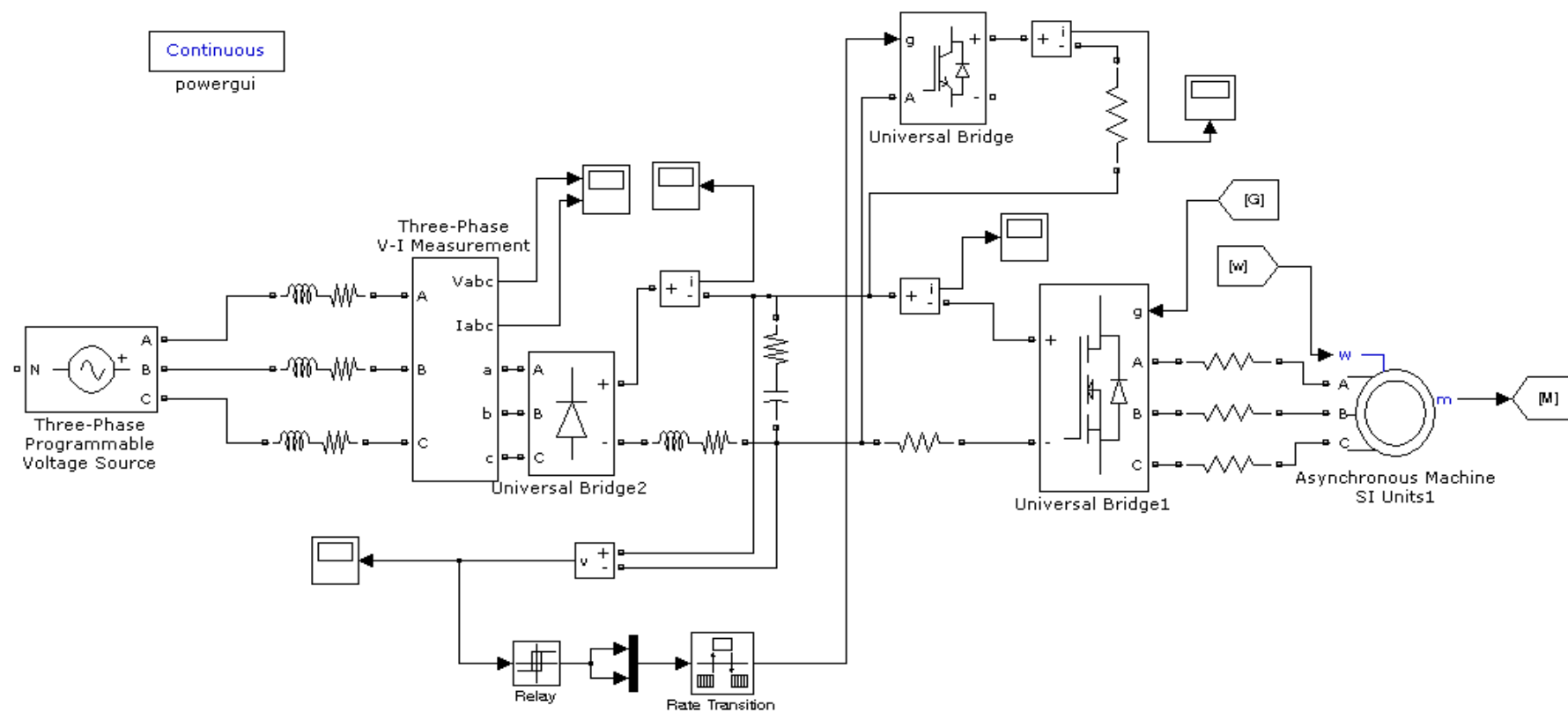


Рисунок 3.2 – Имитационная модель электрической части силового канала насоса системы преобразователь частоты асинхронного электродвигателя

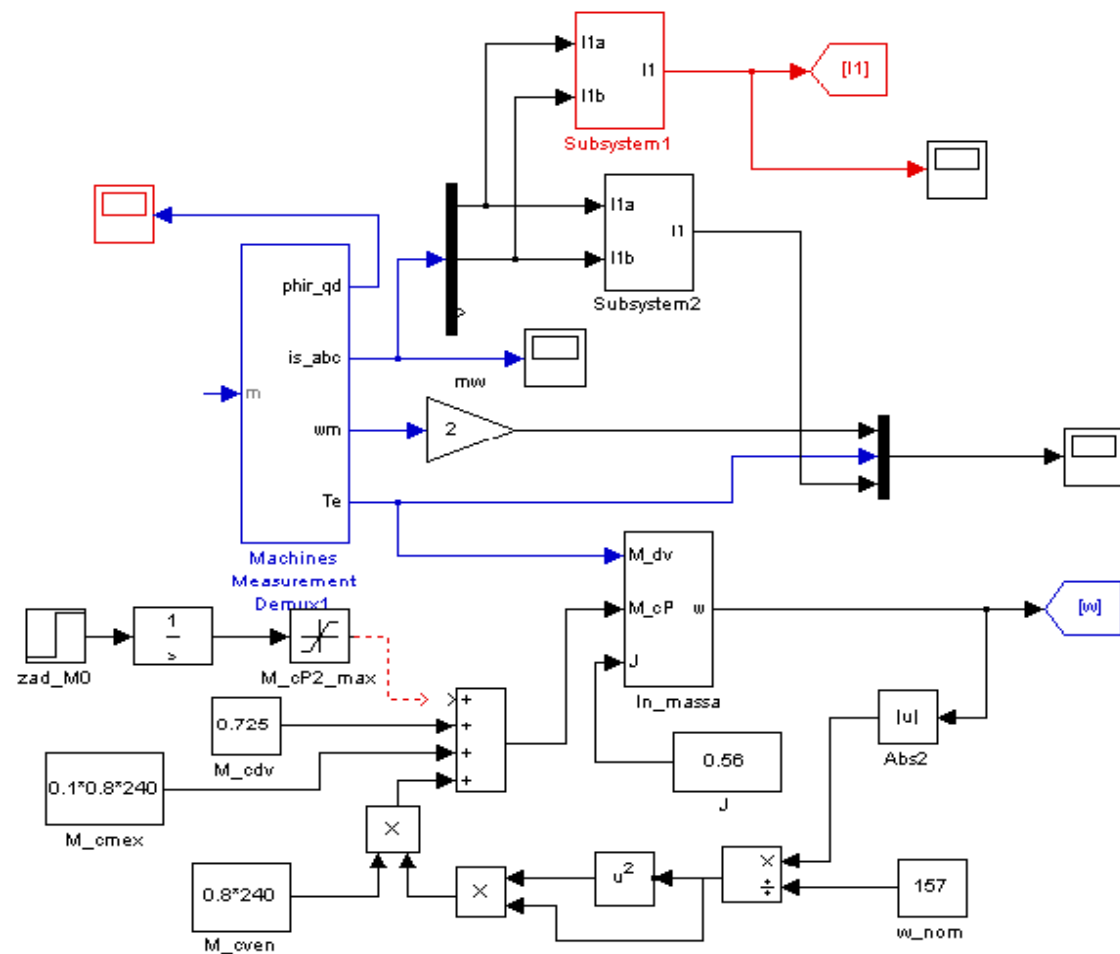


Рисунок 3.3 – Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой

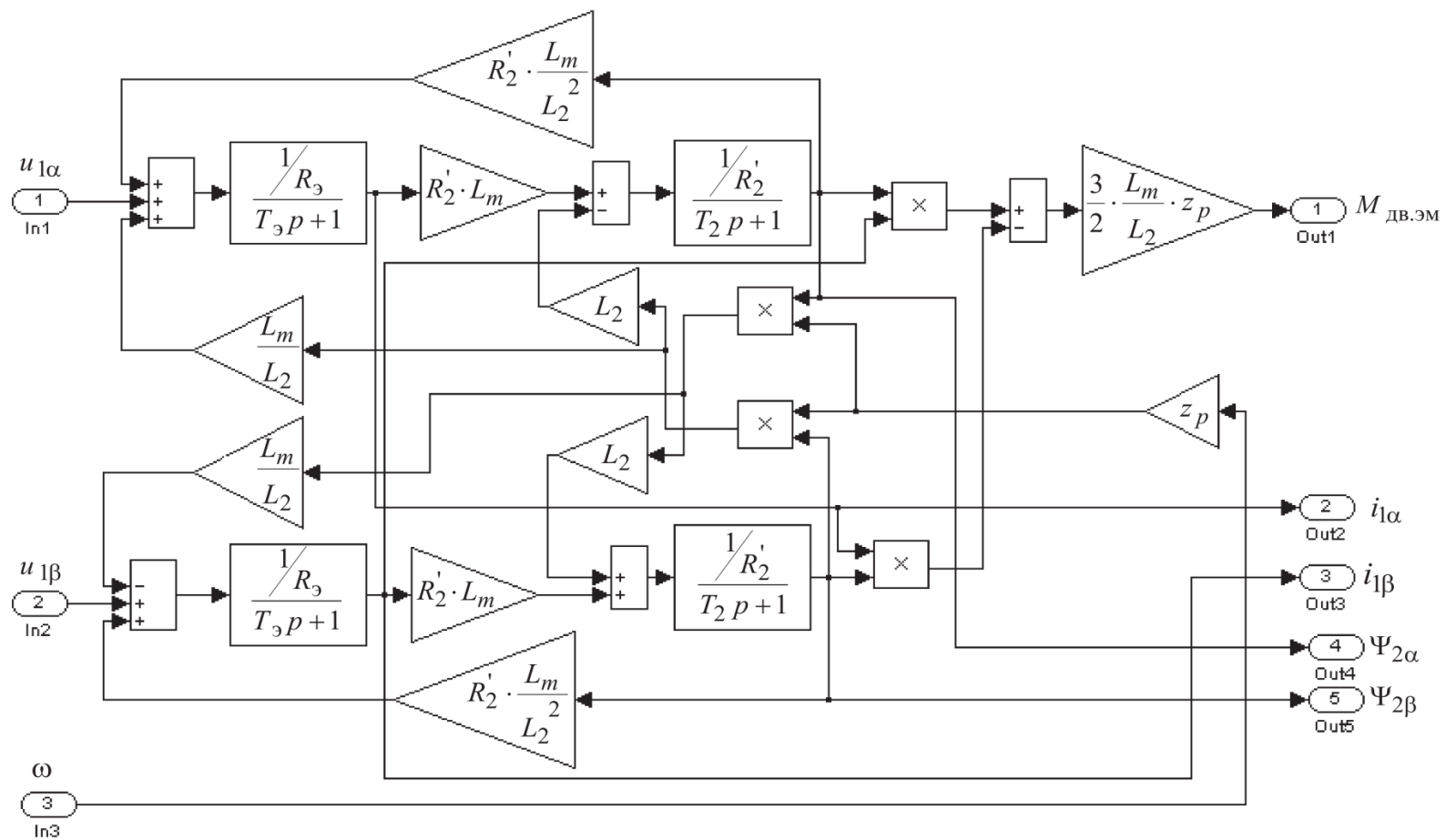


Рисунок 3.4 – Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат

### Одномассовая механическая система с реактивной нагрузкой

Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера, используемая при моделировании систем электропривода, представлена на рисунок 3.5

На схеме рисунка 3.5 приняты следующие дополнительные обозначения:

$M_{эм}$  – электромагнитный момент двигателя, Н·м;

$M_{ср}$  – приведенный к валу двигателя статический момент реактивного характера, Н·м;

$J_э$  – приведенный к валу двигателя эквивалентный момент инерции движущихся масс, кг·м<sup>2</sup>;

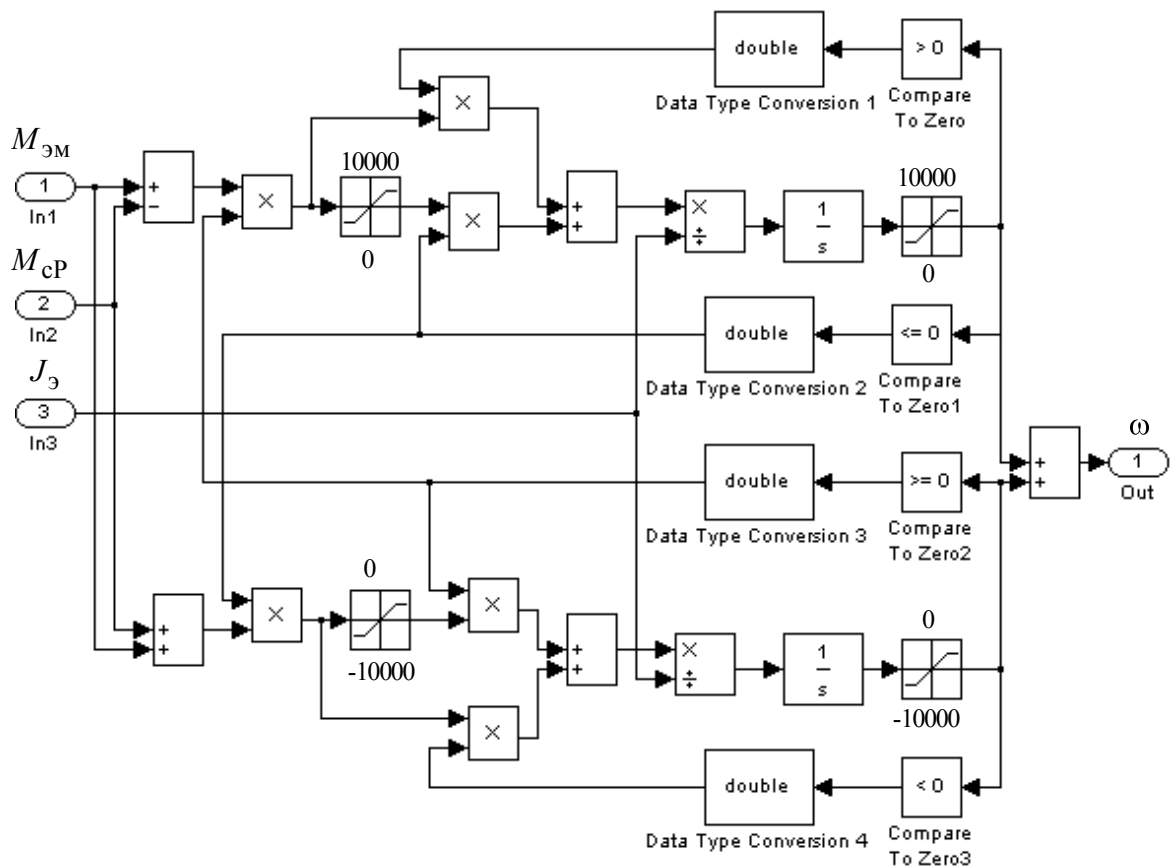


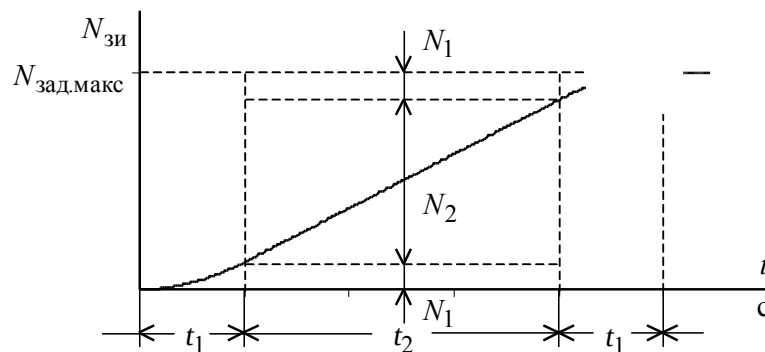
Рисунок 3.5 – Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

## Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой

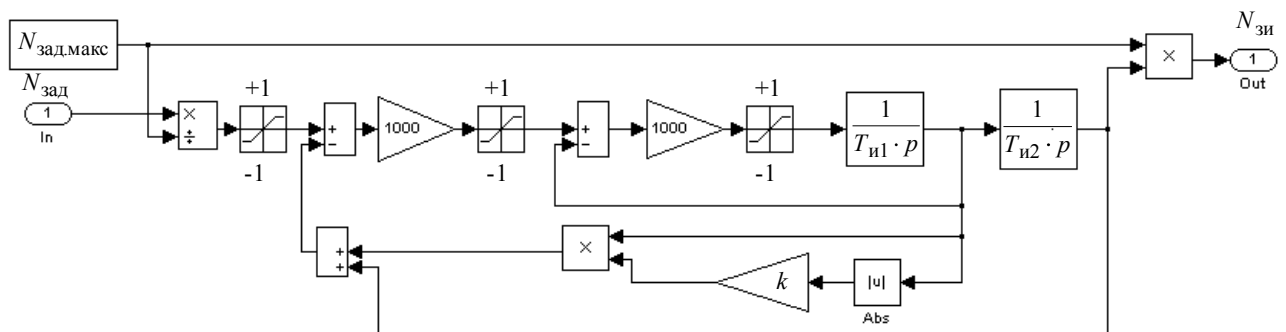
Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой представлена на рисунке 3.5. Параметры настройки имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной характеристикой определяются по выражениям:

$$T_{и1} = t_1, \text{с}; \quad T_{и2} = t_1 + t_2, \text{с};$$

$$k = 0.5 \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2}.$$



а



б

Рисунок. 3.6 – Задатчик скорости с S – образной характеристикой:  
а – временная характеристика; б – имитационная модель

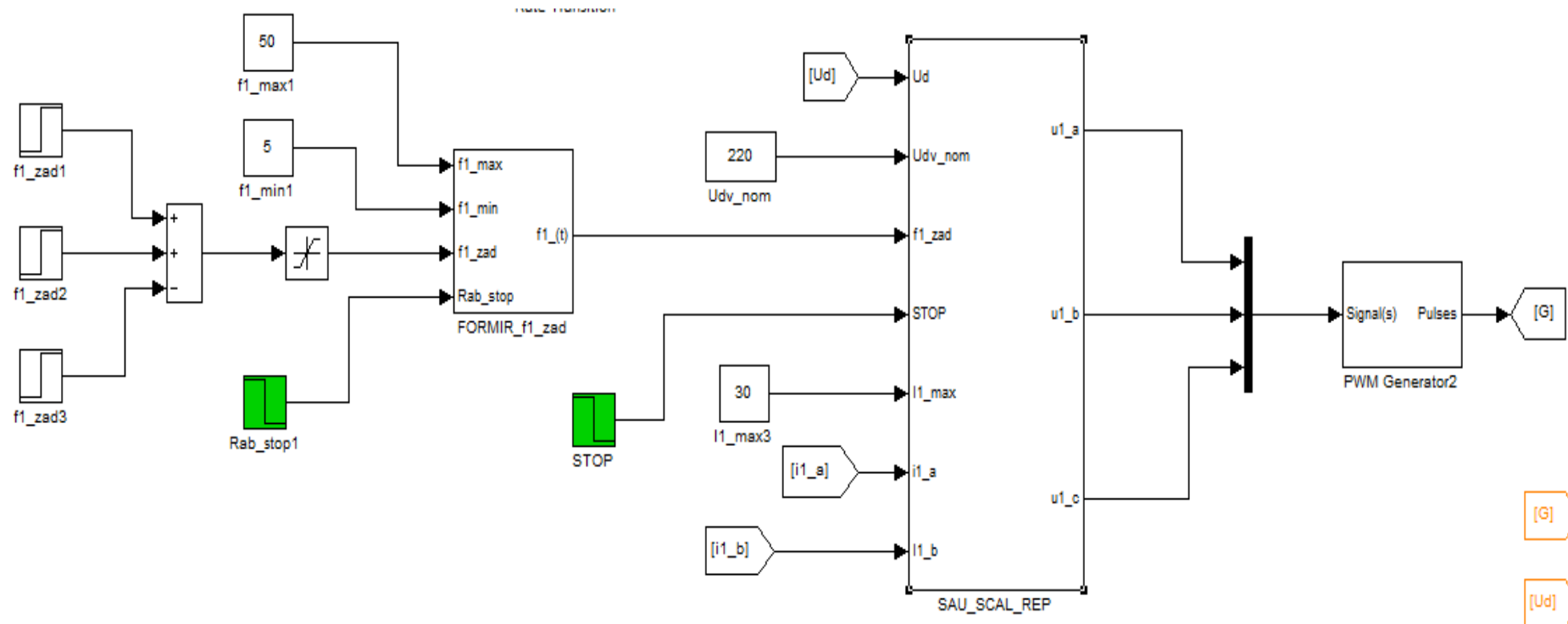


Рисунок 3.7 –Имитационная модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты – асинхронного электродвигателя



### **3.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярном управлением**

Насосная установка предназначена для непрерывного поддержания давления в системе отопления, поэтому электропривод должен работать в продолжительном режиме и быть нереверсивным. Требование регулирования производительности насоса, согласования скоростей и равномерного распределения нагрузок в многодвигательном электроприводе, обуславливают необходимость регулирования скорости электропривода, диапазон которого, как правило, не превышает значения 2:1.

Наиболее жесткие и противоречивые требования к электроприводу предъявляются в режиме пуска и останова насосной установки. С одной стороны, необходим плавный пуск и ограничение колебаний скорости. С другой стороны, требуется минимальное время разгона электропривода.

В связи с этим требуется ограничение рывка (второй производной скорости), обеспечивающее мягкое сцепление вала приводного двигателя с валом насоса через соединительную муфту. Кроме того, необходимо ограничение максимального ускорения (второй производной скорости) электропривода в легких переходных процессах при пуске с небольшой нагрузкой и ограничение максимального момента электропривода в тяжелых переходных процессах при полной загрузке.

#### **Программа исследования:**

Работа электропривода насоса исследуется в двух режимах:

- плавный пуск насоса до максимальной скорости – снижение скорости на 50% – выход на максимальную скорость – торможение и останов насоса.
- плавный пуск – разгон до максимальной скорости – стопорение насоса - останов.

*Модели частотно-регулируемого асинхронного электропривода  
насоса при скалярном управлении.*

В данной работе рассматривается модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярным управлением с коррекцией вольт-частотной характеристики;

Библиотека моделей частотно-регулируемого асинхронного  
электропривода конвейера при скалярном управлении.

REP\_AD\_NasosEEM\_Scal.mdl – модель асинхронного электропривода насоса с частотным скалярным управлением на базе модели электрической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель из пакета Simulink системы MATLAB, с датчиками токов  $i_{1a}$ ,  $i_{1b}$ , коррекцией вольт-частотной характеристики

$$\frac{U_1}{f_1} = const$$

Схемы набора имитационной модели частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса при скалярном управлении приведены в приложении 1, рисунок 1.

### **3.3 Параметры элементов силового канала электропривода насоса**

#### ***Справочные технические параметры асинхронного двигателя***

Справочные технические параметры электродвигателя насоса приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические параметры электродвигателя

| Типо-<br>размер | $n_0$ ,<br>об/мин | $U_{1н}$ ,<br>В | $P_{дв.н}$ ,<br>кВт | При номинальной<br>нагрузке |                  |              | $s_k$ ,<br>% | $J_{дв}$ ,<br>кг·м <sup>2</sup> |
|-----------------|-------------------|-----------------|---------------------|-----------------------------|------------------|--------------|--------------|---------------------------------|
|                 |                   |                 |                     | $s_H$ , %                   | $\cos \varphi_H$ | $\eta_H$ , % |              |                                 |
| АИР132S4        | 1500              | 380             | 7,5                 | 0,03                        | 0,84             | 0,875        | 0,168        | 0,022                           |

Продолжение таблицы 3.1

|                                                  |                                                       |                                                      |                                                         |                |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------|
| $m_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{н}}}$ | $m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$ | $m_{\text{м}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{н}}}$ | $k_{i\text{дв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}}$ | Степень защиты |
| 2                                                | 2,5                                                   | 1                                                    | 7                                                       | IP54           |

**Параметры двигателя, принятые при расчете**

$$\eta_{0.85} = 0,875, \cos\phi_{0.84} = 0,785; \beta = 1,55.$$

**Расчетные параметры асинхронного электродвигателя**

$$R_1 = 0,754 \text{ Ом}, \quad L_{1\sigma} = 0,003737 \text{ Гн},$$

$$R_2' = 0,473 \text{ Ом}, \quad L_{2\sigma}' = 0,005014 \text{ Гн},$$

$$L_m = 0,09934 \text{ Гн},$$

$$z_p = 3.$$

$$\omega_{\text{н}} = 152,367 \text{ рад/с}, \quad I_{\text{н}} = 15,647 \text{ А}, \quad M_{\text{н}} = 49,223 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

**Параметры преобразователя частоты серии Danfoss**

$$I_{\text{и.н}} = 16 \text{ А или } I_{\text{и.длит.доп}} = \dots \text{ А при } f_{\text{шим}} \leq 5000 \text{ Гц}.$$

$$I_{\text{и.макс}} = 25,6 \text{ (60 с)}, \dots \text{ (2 с) А}.$$

$f_{\text{шим}} = 5000 \text{ Гц}$  (выбрано на основании зависимости  $I_{\text{и.длит.доп}}(f_{\text{шим}})$  [3, рис. 5.13 ] ).

**Параметры элементов силового канала электропривода**

Выбираем параметры сетевого трансформатора или реактора в соответствии с таблицей 3.2 для расчетного значения номинального тока обмотки фазы

$$I_{\text{рфн}} = I_{1\text{фн}} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{фн}}}{U_{\text{с}}} = 14,2 \text{ А}.$$

Таблица 3.2 – Расчетные параметры сетевого трансформатора

|              |      |      |     |     |      |       |     |       |      |
|--------------|------|------|-----|-----|------|-------|-----|-------|------|
| $I_{рфн}, A$ | 12.3 | 20.5 | 41  | 82  | 165  | 265   | 410 | 660   | 820  |
| $L_p, мГн$   | 3    | 2    | 1   | 0.5 | 0.25 | 0.156 | 0.1 | 0.064 | 0.05 |
| $R_p, мОм$   | 450  | 265  | 100 | 37  | 13   | 7.2   | 3.8 | 2.1   | 1.4  |
| $I_{дн}, A$  | 15   | 25   | 50  | 100 | 200  | 320   | 500 | 800   | 1000 |

Принимаем  $R_p = 0,2 \text{ Ом}$ ,  $L_p = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ .

Принимаем  $C = 100 \cdot 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$  из условия

$C \approx (100 \div 300) \cdot P_H$ , мкФ, где  $P_H$  – номинальная мощность двигателя, кВт.

***Параметры механической системы электропривода насоса***

$$\Delta M_{сдв} = 2,704 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$J_{\vartheta} = 2 \cdot J_{мех} = 0,044 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Диаграммы отработки нормального цикла насоса со скалярным управлением приведены на рисунках 3.8 – 3.11.

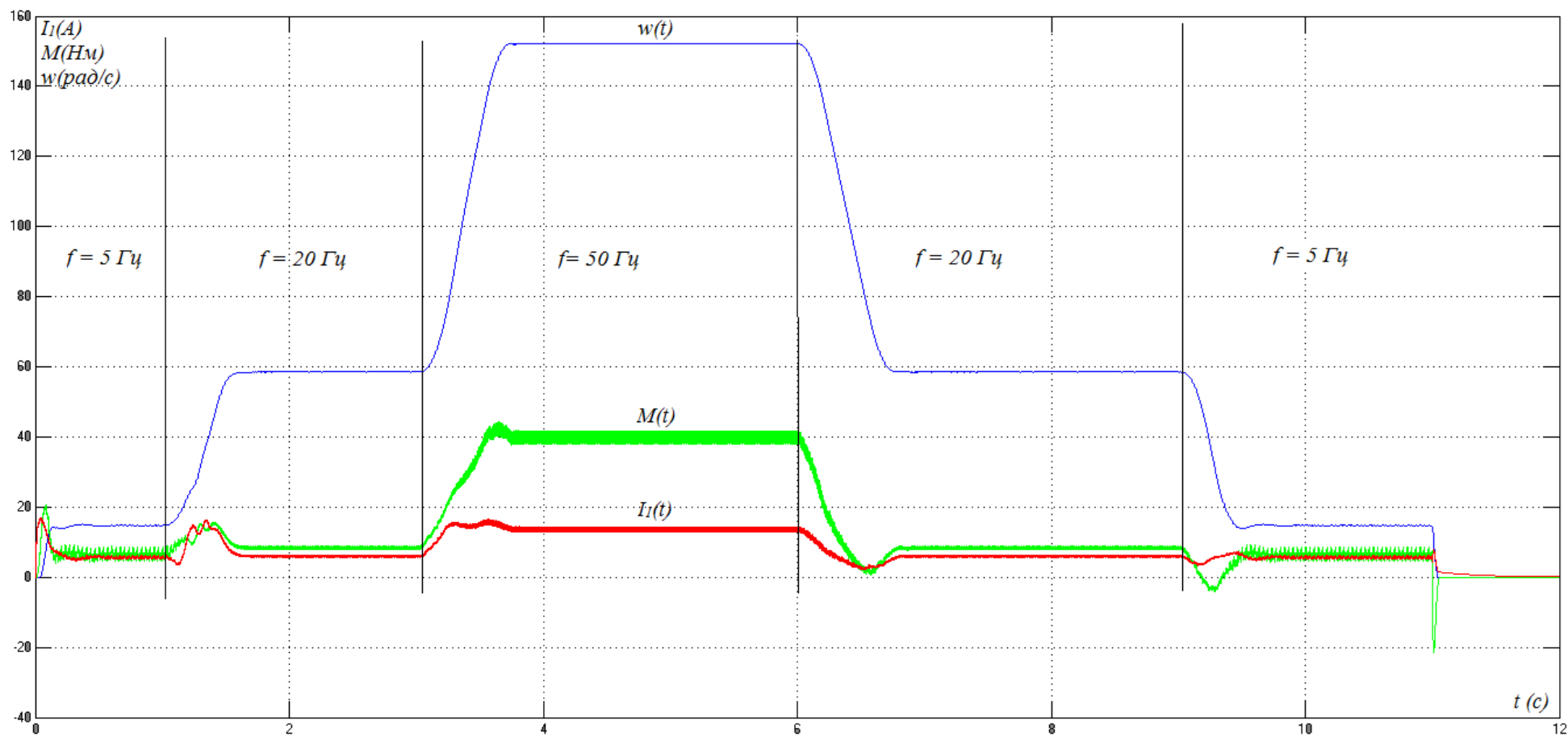


Рисунок 3.8 – Диаграммы  $I_1(t)$ ,  $M(t)$ ,  $w(t)$  при отработке электроприводом насоса заданного цикла работы

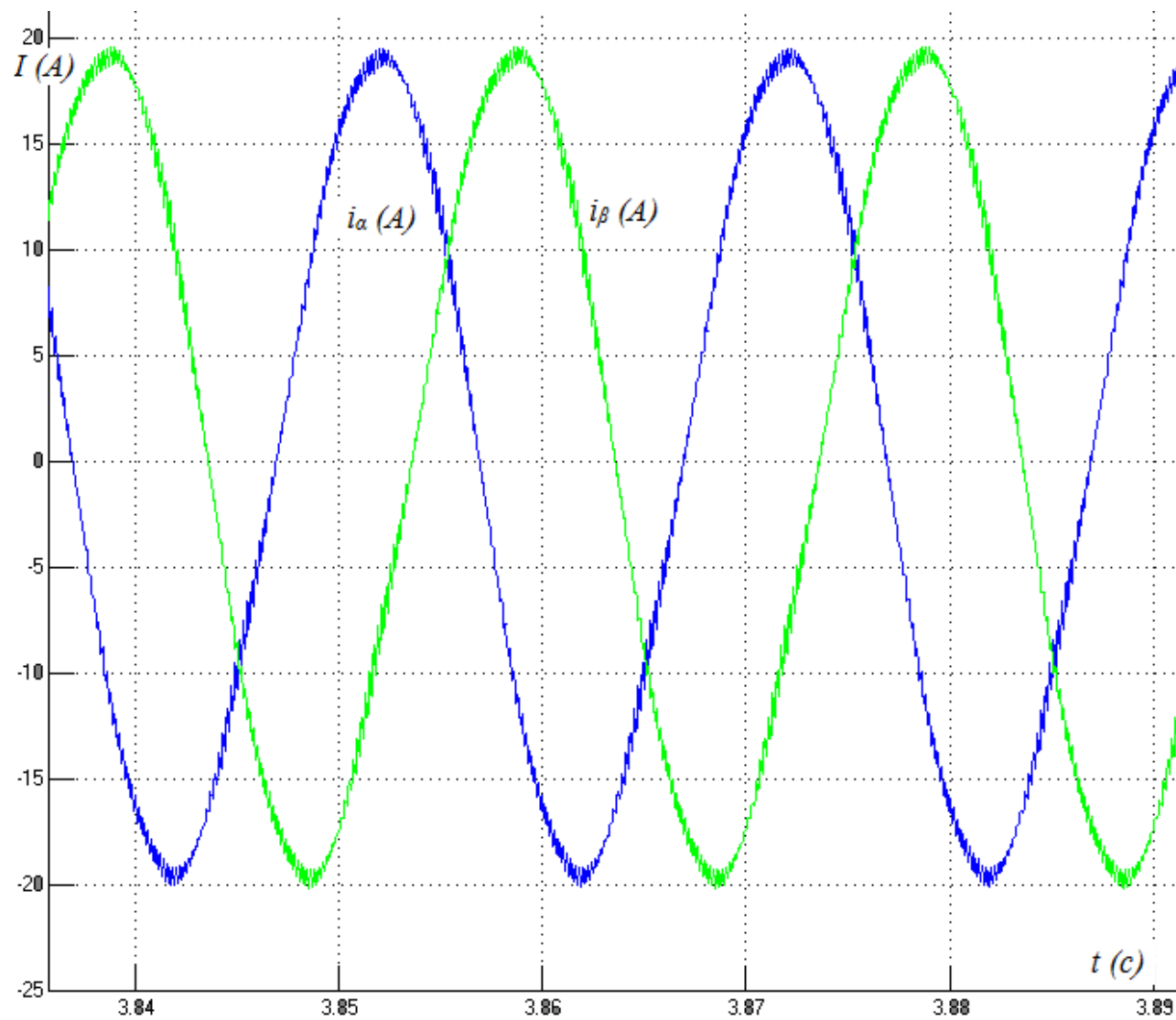


Рисунок 3.9 – Диаграммы токов статора  $i_\alpha$  и  $i_\beta$  двухфазного двигателя (диаграммы токов на интервале времени от 3,8 до 4)

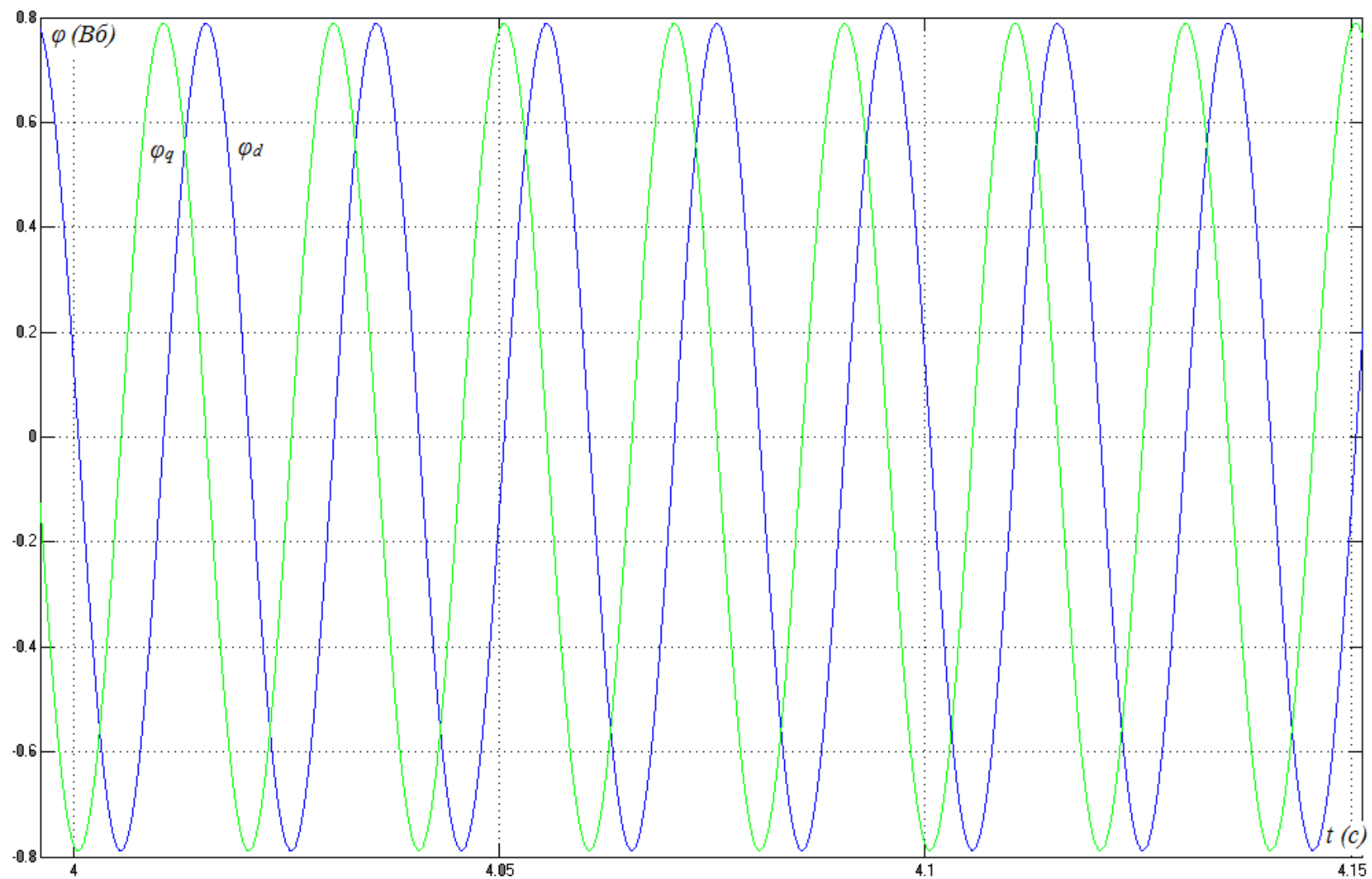


Рисунок 3.10 – Диаграммы потоков ротора  $\varphi_q$  и  $\varphi_d$  двухфазного двигателя (диаграммы токов на интервале времени от 4 до 4,15)

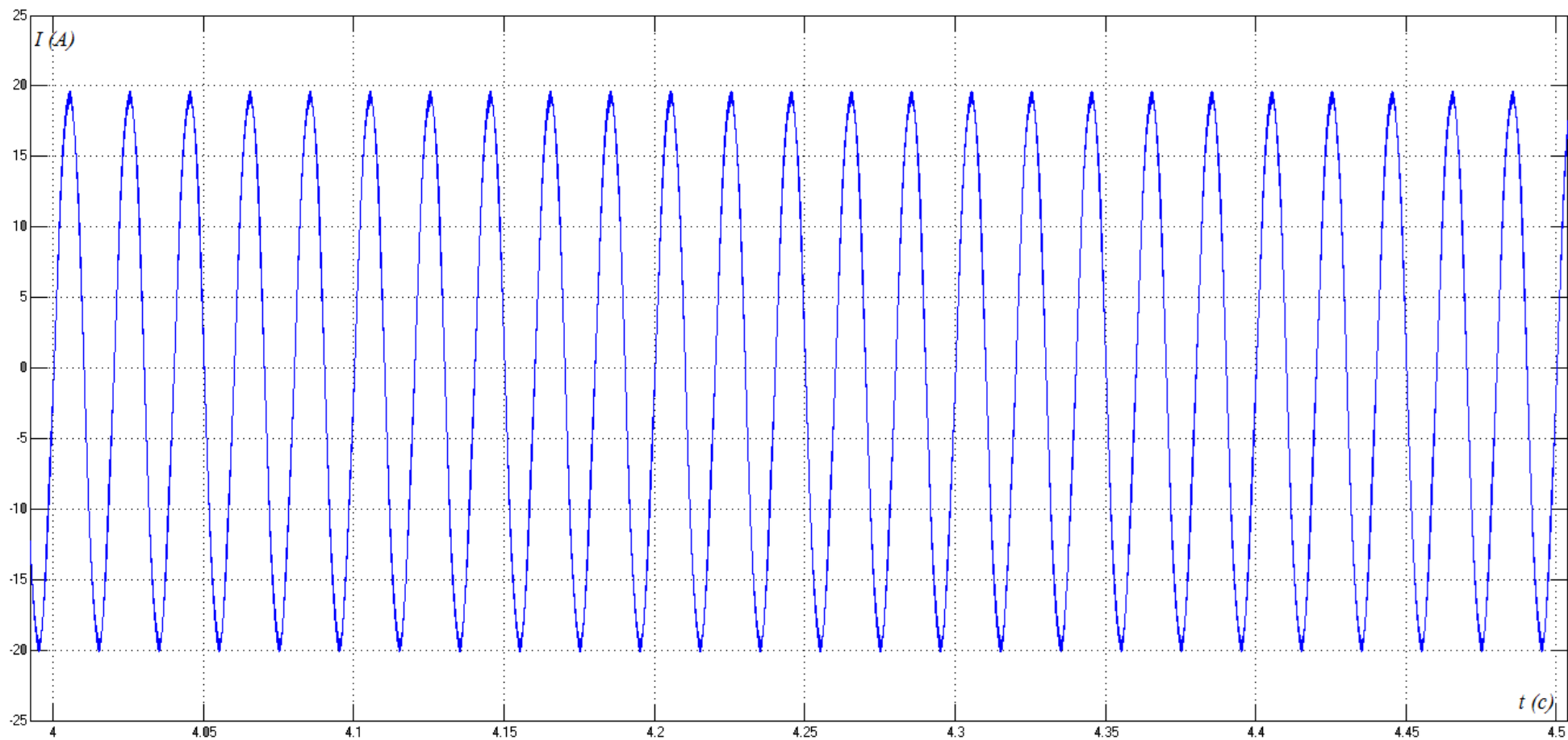


Рисунок 3.11 – Диаграмма фазного тока статора (диаграмма тока на интервале времени от 4 до 4,5)



### **Результаты исследования:**

Если электроприводу подать задание на отработку определенного цикла технологического процесса, то это значит, что в пуско - тормозных режимах электропривода будет ограничивать значения динамического момента и тока двигателя, а при S-образной выходной характеристики задатчика – дополнительно и скорость их наименьшая. Однако, фактическое значение момента на валу двигателя и тока двигателя будут зависеть еще и от величины статического момента и характера нагрузки, а также от конкретного вида пуска- тормозного режима.

В рассмотренном электроприводе механизмов, для которых кратковременные большие перегрузки и стопорении двигателя являются рабочими режимами необходимо не только ограничивать величину тока и момента, но и поддерживать допустимое значения момента на валу двигателя в течении всего времени перегрузки. Большие кратковременные перегрузки вызывают провал скорости двигателя и затем восстановление её после исчезновения перегрузки. Процессы торможения и разгона двигателя в этом случаи уже не управляется от задатчика скорости и могут сопровождаться большими бросками тока и момента двигателя, если их величину не ограничивать.

### **Вывод к разделу 3**

Скалярное управление одно из простейших вариантов реализации частотного – регулируемого асинхронного электропривода, имеющие не высокие качественные показатели: небольшой диапазон регулирования скорости, большие погрешности скорости и малое быстродействие, что обусловлено необходимостью применения датчика интенсивности скорости.

Приведенные простейшие электроприводы со скалярным управлением во многих случаях полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к электроприводу производственного механизма. Они широко применяются для решения задач регулирования скорости механизмов во вновь проектируемом технологическом оборудовании механизмов, а также в качестве замены нерегулируемого электропривода переменного тока и регулируемого электропривода постоянного тока с обратными связями по напряжению и ЭДС двигателя. Сильные пульсации в момент пуска и момент торможения предотвратить практически не возможно даже благодаря скалярному управлению.

## 4. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

### 4.1 Разработка имитационной модели регулируемого электропривода с векторным управлением

Система векторного частотного управления асинхронным двигателем базируется на представлении физических переменных двигателя пространственными векторами, у которых могут изменяться как модули, так и положения в пространстве. Основой для реализации систем управления частотного – регулируемых асинхронных электроприводов с векторным управлением является структурная схема двухфазного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат, направленной по результирующему вектору потокосцепления ротора  $\Psi_2^*$ .

Модели регулируемого асинхронного электропривода с частотным векторным управлением реализуются на основе базовой функциональной схемы:

- с моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ (рисунок 4.1)
- схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя без датчика потока и скорости (рисунок 4.2).

Общим для модели является 4-х контурная система автоматического управления (САУ) регулируемого асинхронного электропривода (РЭП). Управляющими сигналами на входе РЭП постоянное значение потокосцепления ротора  $\Psi_2^*$  и заданное значение скорости вращения двигателя  $\omega^*$ . В частном случае возможно отсутствие контура и регулятора потокосцепления ротора. В этом случае задается значение тока  $I_d$ , которое затем удерживается постоянным в процессе работы привода. Развитие моделей осуществляется путем исключения датчиков потока и скорости вращения двигателя и реализации позиционных и следящих систем электропривода.

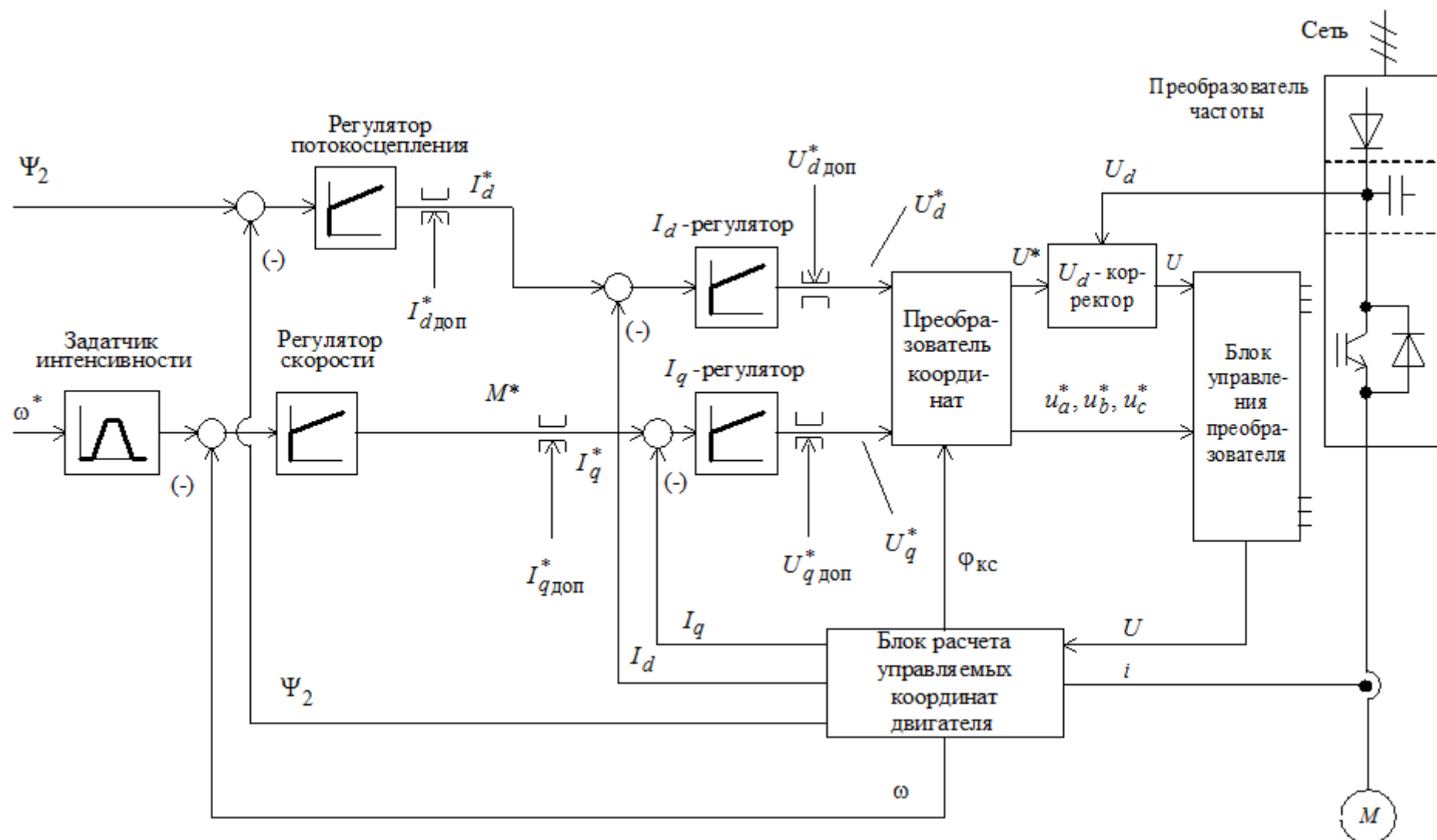


Рисунок 4.1 – Функциональная схема асинхронного электропривода с частотным векторным управлением и моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ без датчиков потока и скорости

В моделях асинхронного электропривода с частотным векторным управлением используются следующие модели асинхронного электродвигателя:

– двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора  $\alpha, \beta$  (рисунке 4.8)

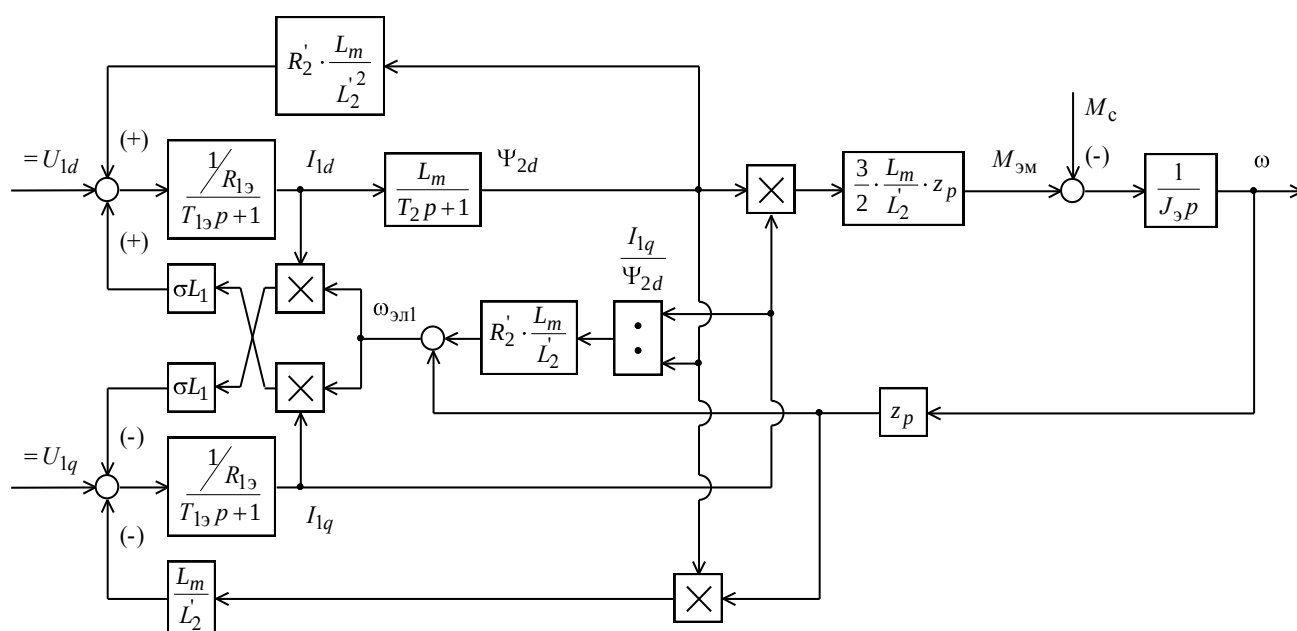


Рисунок. 4.2 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат  $d, q$ , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

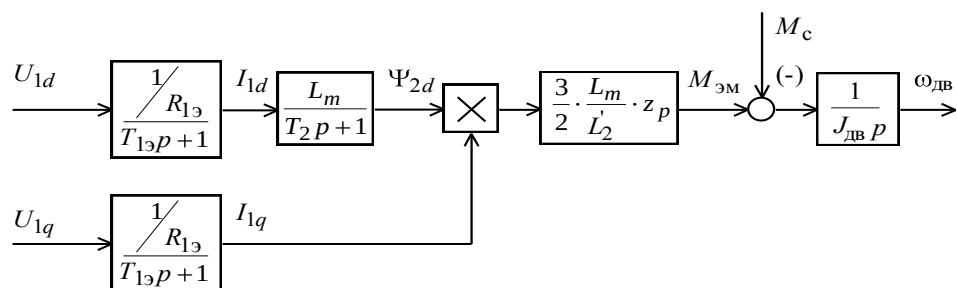


Рисунок 4.3 – Структурная схема двухфазного асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, с компенсированными внутренними обратными связям

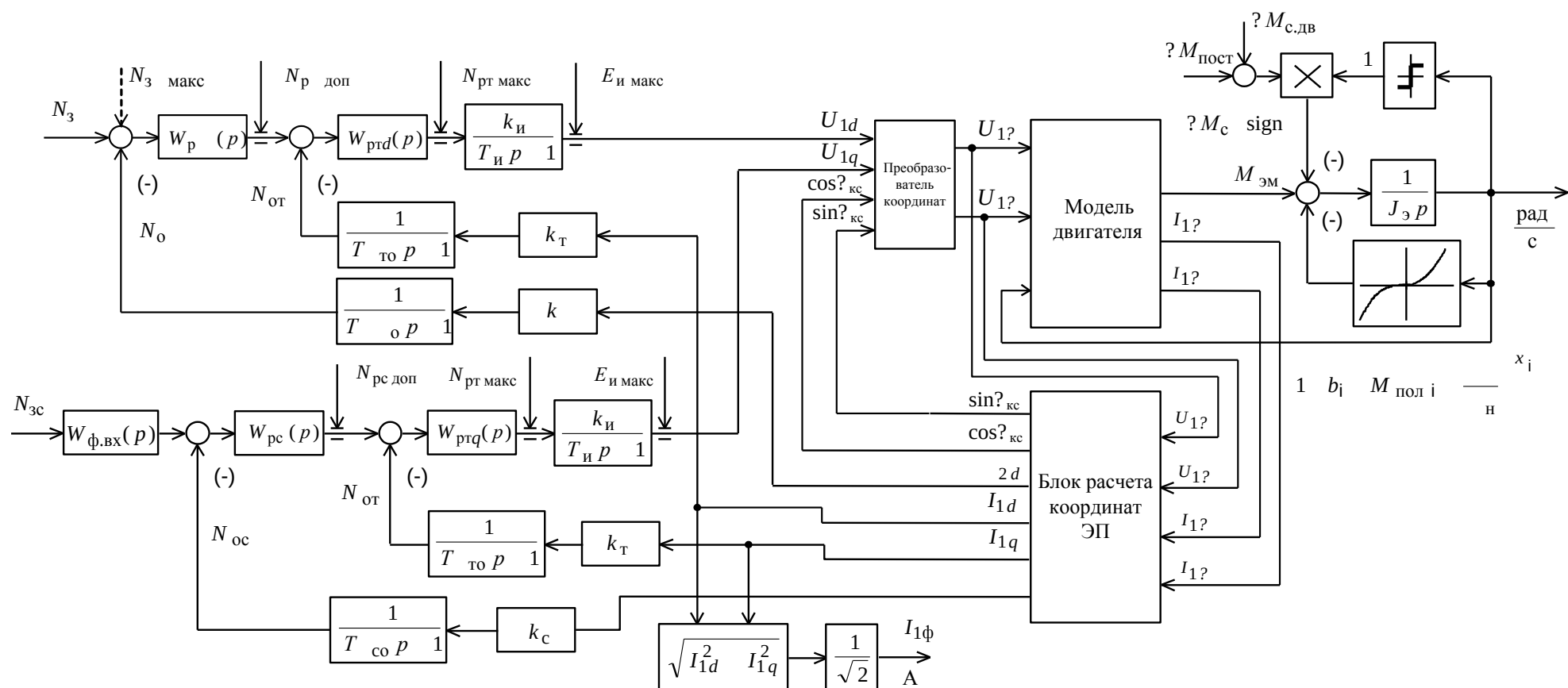


Рисунок 4.4 – Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя без датчика потока и скорости

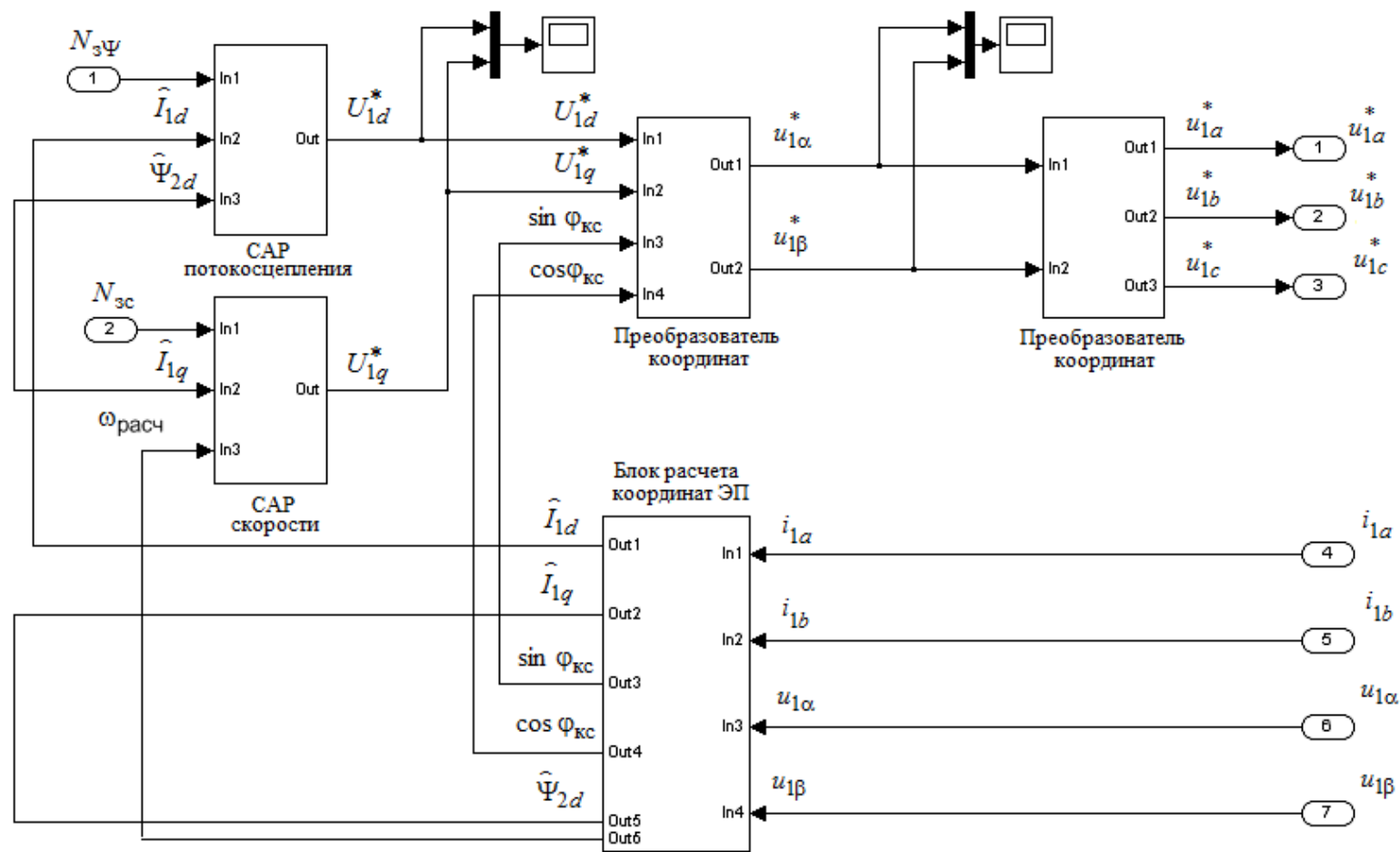


Рисунок 4.5 – Имитационная модель блока расчета управлений и преобразования координат системы векторного управления регулируемого асинхронного электропривода



## Структурные схемы блоков преобразования координат двигателя

Поскольку управления трехфазным асинхронным двигателем формируется в двухфазной системе координат, в моделях электропривода используются блоки прямого и обратного преобразования координат двигателя. Схемы моделей блоков преобразователей координат приведены на рисунок 4.6 и 4.7. Для преобразования не указанных на приведенных схемах координат двигателя блоки идентичные.

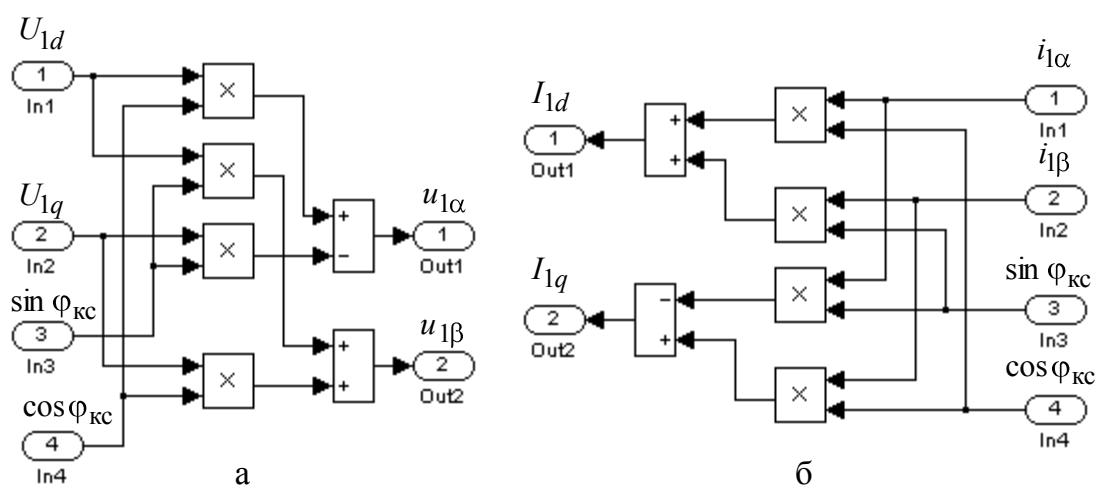


Рисунок 4.6 – Имитационные модели преобразователей координат:  
а – из вращающейся системы координат d, q в неподвижную систему  $\alpha, \beta$ ;  
б – из неподвижной системы координат  $\alpha, \beta$  во вращающуюся систему d, q

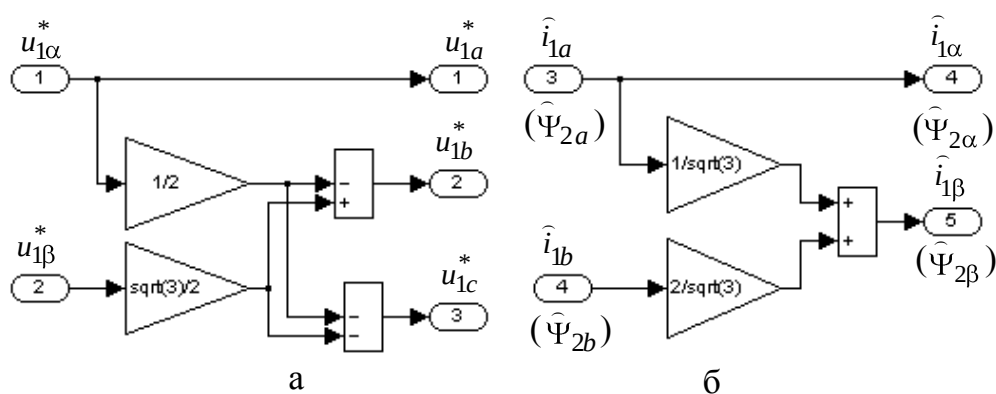


Рисунок 4.7 – Имитационные модели преобразователей координат:  
а – из неподвижной двухфазной координатной системы  $\alpha, \beta$  в неподвижную трехфазную систему координат a, b, c; б – из неподвижной трехфазной системы координат a, b, c в неподвижную двухфазную координатную систему  $\alpha, \beta$

## Структурные схемы ПИ-регуляторов

Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с неуправляемым значением уровня ограничения интегральной составляющей выходного сигнала в режиме насыщения приведена на рисунке 4.8.

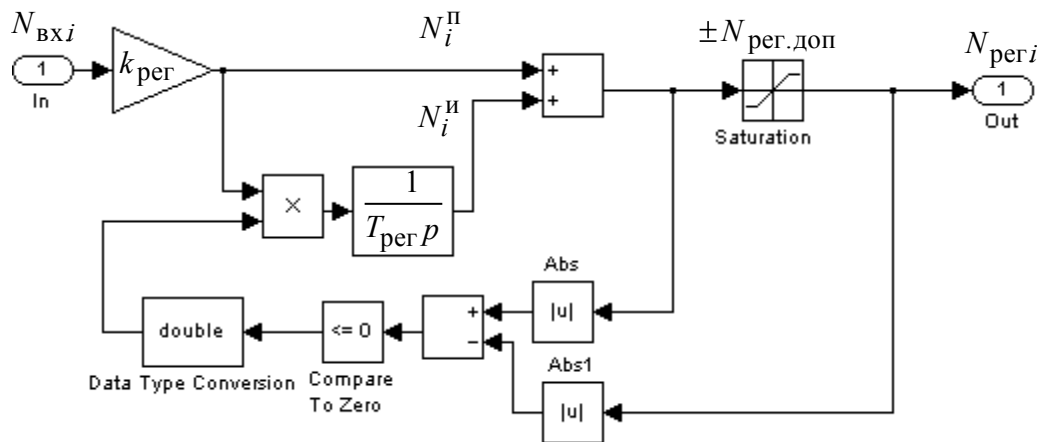


Рисунок 4.8. – Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с отключением интегральной составляющей сигнала при насыщении

Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с управляемым значением уровня ограничения интегральной составляющей выходного сигнала в режиме насыщения приведена на рисунке. 4.9.

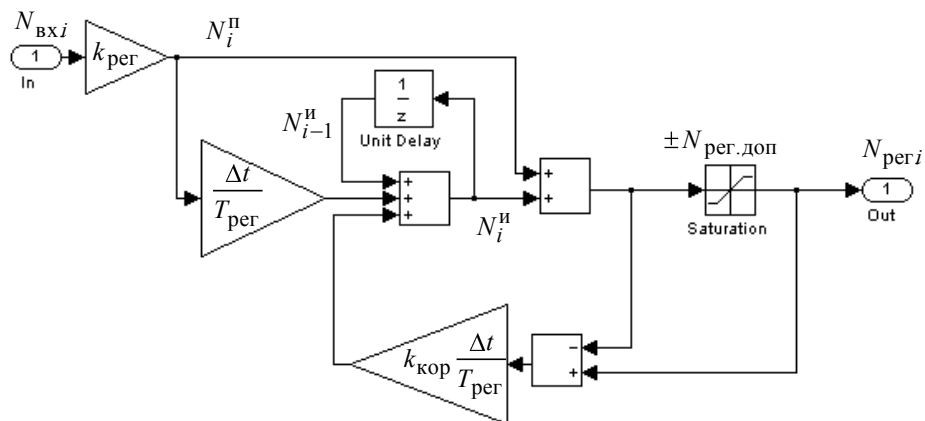


Рисунок. 4.9. – Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с регулируемым значением интегральной составляющей сигнала в режиме насыщения

Для ограничения выходного сигнала регулятора скорости в зависимости от фактического значения сигнала регулятора потокосцепления используется модель ПИ-регулятора скорости, приведенная на рисунке 5.

Для ограничения выходного сигнала регулятора тока  $I_q$  в зависимости от фактического значения сигнала регулятора тока  $I_d$  используется модель ПИ-регулятора тока, приведенная на рисунке. 4.10. Для компенсации влияние ЭДС вращения, наводимой в статоре потокосцеплением ротора, в регуляторе тока  $I_q$  предусмотрена положительная обратная связь по скорости двигателя с коэффициентом  $k_{\text{пос}}$ .



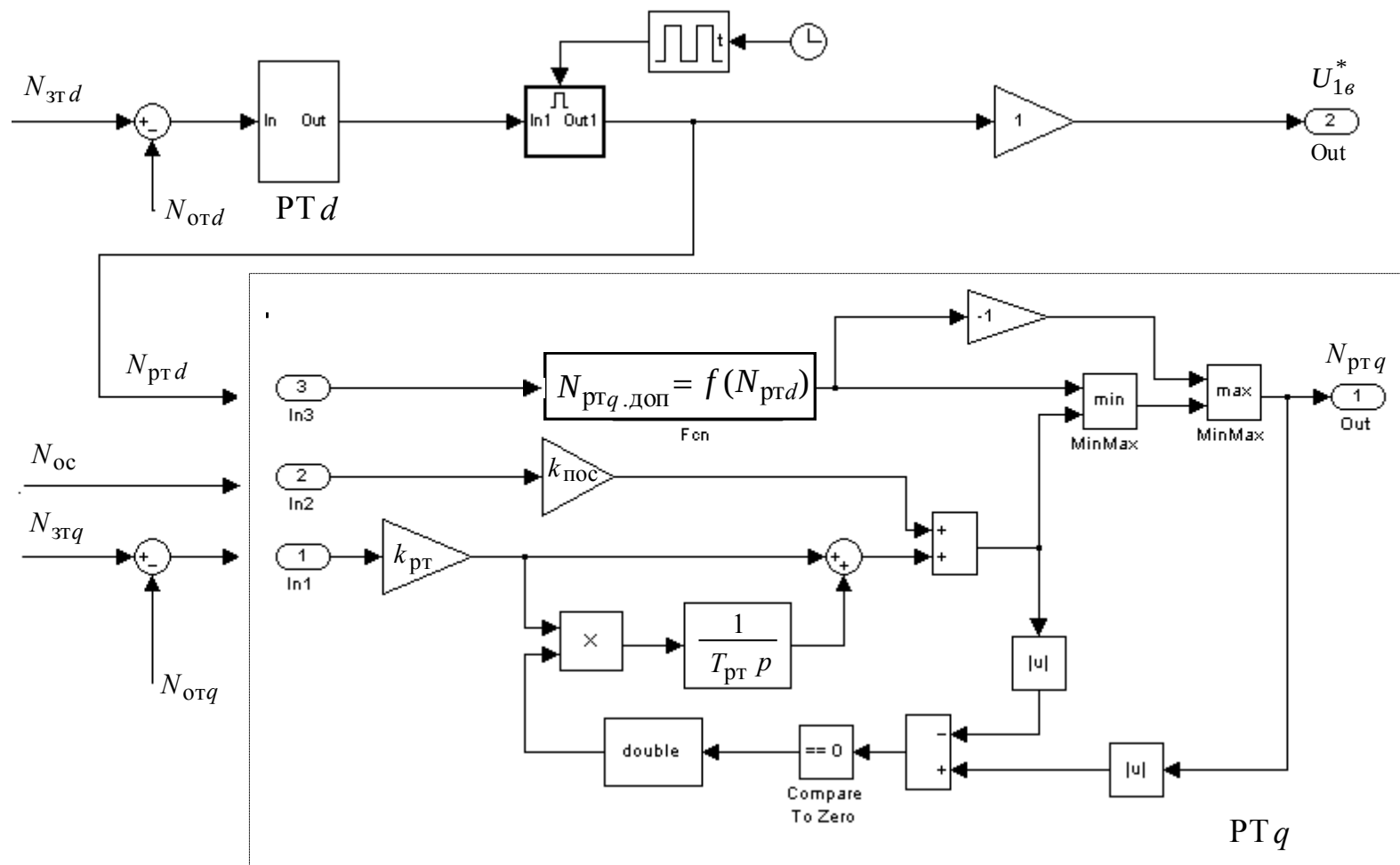


Рисунок. 4.11. – Имитационная модель ПИ-регулятора тока  $I_q$  с положительной обратной связью по скорости двигателя и управляемым значением ограничения выходного сигнала

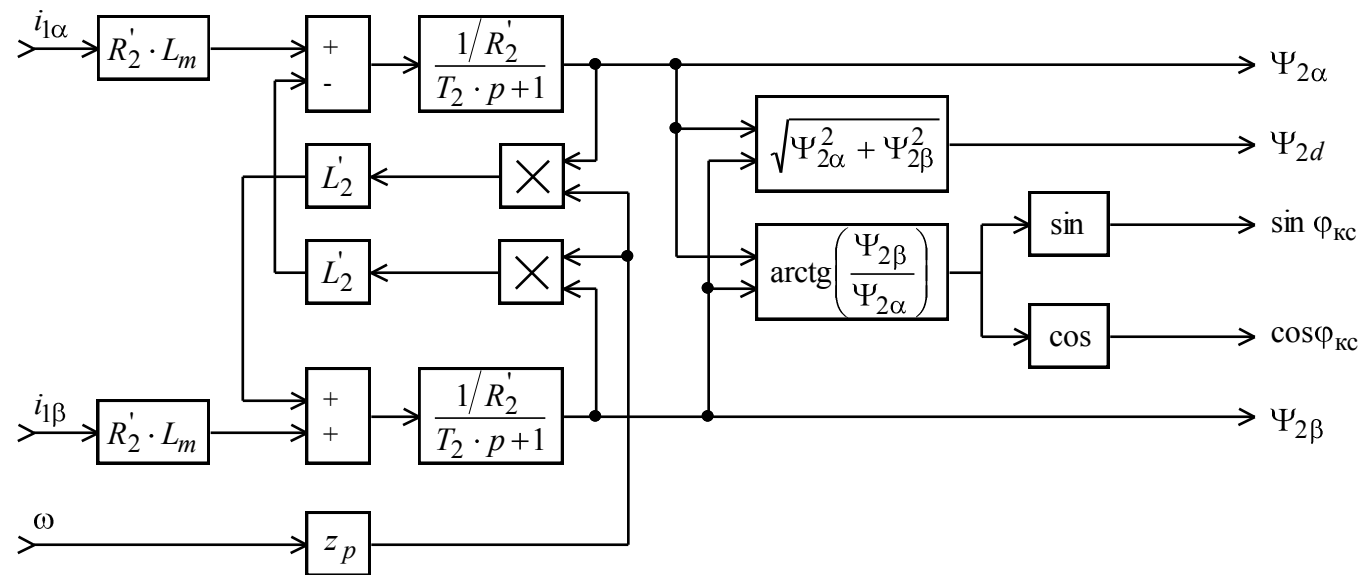


Рисунок. 4.12. – Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений измеренных токов  $i_{1\alpha}$ ,  $i_{1\beta}$  и скорости  $\omega$  двигателя

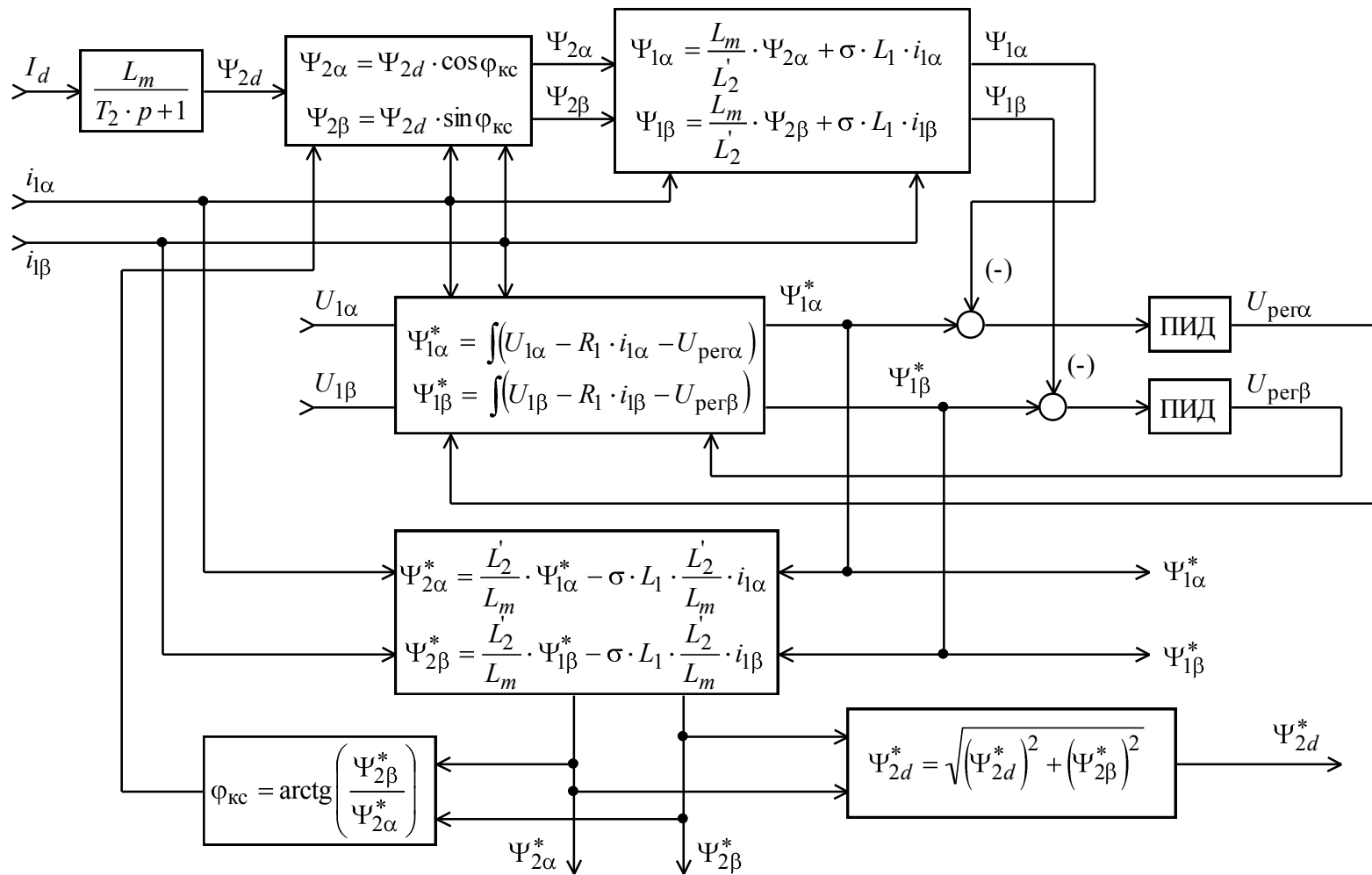


Рисунок. 4.13. – Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений токов  $i_{1\alpha}$ ,  $i_{1\beta}$ ,  $I_d$  и напряжений  $U_{1\alpha}$ ,  $U_{1\beta}$

В электроприводе без датчиков скорости и потока, скорость вращения двигателя может быть рассчитана в соответствии со схемой, приведенной на рис. 4.14.

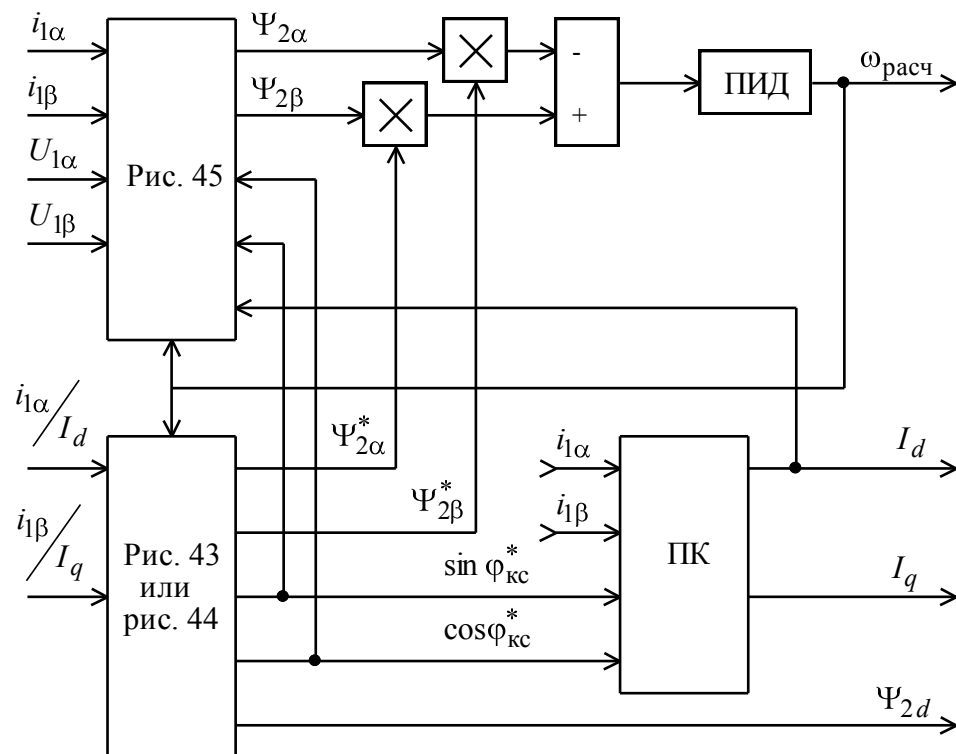


Рисунок 4.14. – Схема расчета скорости двигателя в бездатчиковом электроприводе

## 4.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода вращающихся насоса с векторным управлением

### Программа исследования:

Работа электропривода насоса исследуется в режиме:

Плавный пуск – разгон до максимальной скорости – снижение скорости до 50 % – разгон до максимальной скорости – торможение и останов.

Рассматривается модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса с векторным управлением:



– без датчика скорости.

### **Библиотека моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса с векторным управлением**

*REP\_AD\_NasosEEM\_vect.mdl – модели асинхронного электропривода насоса с частотным векторным управлением на базе модели электрической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель из пакета Simulink системы MATLAB, с датчиками токов  $i_{1a}$ ,  $i_{1b}$ , без датчиков потока и скорости вращения двигателя.*

Схема имитационной модели частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса с векторным управлением приведены в приложении 2.

## **4.3 Расчет параметров моделей асинхронного электропривода насоса с частотным векторным управлением**

### **Расчет параметров элементов силового канала**

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,0373 + 0,09934 = 0,10308 \text{ Гн};$$

– ротора

$$L'_2 = L'_{2y} + L_m = 0,005014 + 0,09934 = 0,104354 \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния магнитного потока:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L'_2} = 1 - \frac{0,09934^2}{0,104354 \cdot 0,104354} = 0,083 .$$

Эквивалентное сопротивление цепи статора:

$$R_{1\sigma} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2'^2} = 0,754 + 0,473 \cdot \frac{0,09934^2}{0,104354^2} = 1,183 \text{ Ом}.$$

Электромагнитные постоянные времени статора и ротора:

$$T_{1\phi} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\phi}} = \frac{0,083 \cdot 0,10308}{1,183} = 0,007195 \text{ с.}$$

$$T_2 = \frac{L'_2}{R'_2} = \frac{0,104354}{0,473} = 0,22062 \text{ с.}$$

Период ШИМ:

$$T_{\text{шим}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} = \frac{1}{5 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Напряжение звена постоянного тока преобразователя:

$$U_{d0} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1\phi n}}{\gamma_{\text{макс}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 220}{0,95} = 567,25 \text{ В,}$$

где  $\gamma_{\text{макс}} = 0,95$  – максимальное значение коэффициента относительной продолжительности включения ключей инвертора.

Линейное напряжение источника питания преобразователя:

$$U_c = \frac{U_{d0}}{1,35} = \frac{567,25}{1,35} = 420,185 \text{ В.}$$

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя:

$$k_u = \frac{U_{d0}}{\sqrt{3}} = \frac{567,25}{\sqrt{3}} = 327,502 \text{ .}$$

Значение номинального потокосцепления двигателя

$$\Psi_{2n} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 6,792 \cdot 0,09934 = 0,954 \text{ Вб.}$$

Значение номинального тока  $I_{1d}$ :

$$I_{1dn} = \sqrt{2} \cdot I_0 = \sqrt{2} \cdot 6,792 = 9,605 \text{ А,}$$

Эквивалентный момент нагрузки, приведенный к валу двигателя:

$$M_{\text{эл.макс}} = 1,5M_{\text{дв.н}} + \Delta M_{\text{с дв}} = 1,5 \cdot 49,223 + 2,663 = 76,497 \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ .}$$

Значение максимального тока  $I_{1q}$ :

$$I_{1q.\text{макс}} = \frac{M_{\text{эл.макс}}}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2n}} = \frac{76,497}{\frac{3}{2} \cdot \frac{0,09934}{0,104354} \cdot 2 \cdot 0,954} = 28,074 \text{ А.}$$

Модуль вектора тока статора:

$$\text{mod } \vec{I}_{1\text{макс}} = \sqrt{I_{1q\text{макс}}^2 + I_{1dн}^2} = \sqrt{28,074^2 + 9,605^2} = 29,671 \text{ A}.$$

Максимальный ток электропривода:

$$I_{\text{эл.макс}} = \frac{\text{mod } \vec{I}_{1\text{макс}}}{\sqrt{2}} = \frac{29,671}{\sqrt{2}} = 20,74 \text{ A}.$$

Условие  $I_{\text{эл.макс}} \leq I_{\text{и.макс}}$  выполняется:

$$20,981 < 25,6 \text{ A}$$

### **Параметры настройки контура тока с ПИ-регулятором и аналоговым датчиком**

Принимаем разрядность АЦП датчика тока преобразователя:

$$n_{\text{ацп. дт}} = 12.$$

Принимаем максимальное значение измеряемого тока (амплитудное значение переменного тока):

$$I_{\text{изм.макс}} = \sigma_m \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{эл.макс}} = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 20,74 = 35,59 \text{ A},$$

где  $u_T \geq 1.2$  – коэффициент, учитывающий возможное увеличение тока за счет перерегулирования.

Коэффициент передачи датчика тока:

$$k_{\text{дт}} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп. дт}}}}{I_{\text{изм.макс}}} = \frac{0,5 \cdot 2^{12}}{35,59} = 57,519 \text{ I/A}.$$

Принимаем  $N_{\text{от.макс}} = 1$ .

Коэффициент обратной связи по току:

$$k_T = \frac{1}{I_{\text{изм.макс}}} = \frac{1}{35,59} = 0,02808 \text{ I/A}.$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура тока:

$$k_{\text{ос.т}} = \frac{1}{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп. дт}}}} = \frac{1}{0,5 \cdot 2^{12}} = \frac{1}{2048} = 4,883 \cdot 10^{-4}.$$

Максимальное значение задания на входе контура тока, соответствующее максимальному действующему значению тока электропривода  $I_{\text{эл.макс}}$  :

$$N_{\text{эт.макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot I_{\text{эт.макс}}}{I_{\text{изм.макс}}} = k_m \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{эт.макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 20,74}{35,59} = 0,833 .$$

$$\text{Принимаем } T_{\text{ос.т}} = T_{\text{пк.т}} = T_{\text{зу.и}} = T_{\text{шум}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с},$$

где  $T_{\text{ос.т}}$  – интервал квантования сигналов в цепи обратной связи контура тока;  $T_{\text{пк.т}}$  – интервал квантования управления в прямом канале контура тока;  $T_{\text{зу.и}}$  – интервал времени задержки подачи управления от регулятора тока к ключам инвертора.

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения тока  $T_{\text{ф.от}} = 0$ .

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$$n_T = 2 .$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура тока

$$T_{\text{мтэ}} = \frac{T_{\text{ос.т}}}{n_T} + T_{\text{зу.и}} + T_{\text{ф.от}} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{2} + 2 \cdot 10^{-4} + 0 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ с}.$$

Принимаем коэффициент типовой настройки контура тока на модульный оптимум (МО):

$$a_T = 2 .$$

Постоянная времени регулятора тока:

$$T_{\text{рт}} = T_{\text{лэ}} = 0,007195 \text{ с}.$$

Коэффициент усиления регулятора тока:

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{\text{лэ}} \cdot R_{\text{лэ}}}{k_{\text{и}} \cdot k_T \cdot a_T \cdot T_{\text{мтэ}}} = \frac{0,007195 \cdot 1,183}{327,502 \cdot 0,02808 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = 1,542 ,$$

где

$$T_r = a_r \cdot T_{\text{мтэ}} = 2 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора тока  $I_{1d}$ :

$$N_{pmd \text{ доп}} = 1$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора тока  $I_{1q}$ :

$$N_{pmq \text{ доп}} = \sqrt{1^2 - N_{pmd}^2} = \sqrt{1^2 - 1^2} = 0.$$

### Параметры контура потокосцепления с ПИ-регулятором

#### без датчика потока

Принимаем:

$$\Psi_{2\text{изм.макс}} = y_\Psi \cdot \Psi_{2н} = 1 \cdot 0,954 \text{ где } y_\Psi \geq 1,2$$

Принимаем:

$$N_{o\Psi \cdot \text{макс}} = 1.$$

Коэффициент обратной связи по потоку:

$$k_\Psi = k_{oc.\Psi} = \frac{1}{\Psi_{2\text{изм.макс}}} = \frac{1}{0,9541434} = 0,0004883 \text{ 1/Вб.}$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура потокосцепления:

$$N_{3\Psi \text{ макс}} = \frac{\Psi_{2н}}{\Psi_{2\text{изм.макс}}} = k_\Psi \cdot \Psi_{2н} = 0,0004883 \cdot 0,9541434 = 0,000466$$

Принимаем

$$T_{\text{расч.}\Psi} = T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = 0,0002 \text{ с.}$$

Интервалы квантования сигналов в цепи обратной связи контура потока принимаем:  $T_{oc.\Psi} = T_{ПК.\Psi} = 10 \cdot T_{\text{ШИМ}} = \frac{10}{f_{\text{ШИМ}}} = 0,002 \text{ с.}$

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения потока:  $T_{\phi.o\Psi} = 0 \text{ с.}$

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:  $n_\Psi = 1 \text{ с.}$

$$T_{\mu\Psi} = T_T + \frac{T_{oc.\Psi}}{n_\Psi} + T_{\phi.o\Psi} = 0,0006 + \frac{0,002}{1} = 0,0026 \text{ с.}$$

Принимаем:

$$a_\Psi = 2 \text{ с.}$$

Постоянная времени регулятора:

$$T_{p\Psi} = T_2 = 0,22026 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора:

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_m}{L_m \cdot k_\Psi \cdot a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi}} = \frac{0,22062 \cdot 0,02808}{0,09934 \cdot 0,0004883 \cdot 2 \cdot 0,0026} = 11,995 = 24559,9.$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потока:

$$N_{p\Psi \text{ доп}} = N_{\text{эт. макс}} = 0,833.$$

### **Параметры контура скорости с ПИ-регулятором без датчика скорости**

Максимальное значение измеряемой скорости:

$$\omega_{\text{изм. макс}} = y_c \cdot \omega_{\text{эп. макс}} = 1,2 \cdot 152,367 = 182,84 \text{ рад / с,}$$

где  $y_c \geq 1,2$  – коэффициент, учитывающий возможное увеличение скорости за счет перерегулирования.

Принимаем  $N_{oc. макс} = 1$ .

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$k_c = k_{oc} = \frac{1}{\omega_{\text{изм. макс}}} = \frac{1}{182,84} = 0,0054693 \text{ с/рад.}$$

Значение максимального задания на входе контура скорости:

$$N_{\text{зс. макс}} = \frac{\omega_{\text{эп. макс}}}{\omega_{\text{изм. макс}}} = k_c \cdot \omega_{\text{эп. макс}} = 0,0054693 \cdot 152,367 = 0,833.$$

Принимаем

$$T_{\text{расч.с}} = T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = 0,0002 \text{ с.}$$

Интервалы квантования сигналов в цепи обратной связи контура скорости:

$$T_{oc.c} = T_{нк.с} = 10 \cdot T_{шшм} = 10 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения скорости:

$$T_{ф.о\psi} = 0 \text{ с.}$$

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$$n_c = 2 \text{ с.}$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости:

$$T_{\mu c\psi} = T_m + \frac{T_{oc.c}}{n_c} + T_{ф.оc} = 6 \cdot 10^{-4} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2} + 0 = 0,0026 \text{ с.}$$

Принимаем коэффициенты типовой настройки контура скорости на симметричный оптимум (СО) :

$$b_c = a_c = 2.$$

Постоянная времени регулятора:

$$T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c\psi} = 2 \cdot 2 \cdot 0,0026 = 0,0104 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора:

$$k_{pc} = \frac{J_{\psi} \cdot k_m}{\Psi_{2н} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p \cdot k_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c\psi}} = \frac{0,044 \cdot 0,02808}{0,954 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,09934}{0,104354} \cdot 2 \cdot 0,00656 \cdot 2 \cdot 0,0026} = 15,946$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потока:

$$N_{pc.доп} = \sqrt{N_{зт. макс}^2 - N_{p,\psi}^2} = 0.$$

$$T_{ф.вх} = T_{pc} \div \left( T_{pc} + \frac{T_{ксо}}{n_c} + T_{ф.оc} \right)$$

Принимаем:

$$T_{ф.вх} = 104 \text{ с}$$

Результаты исследования отработки нормального цикла работы насоса при векторном управлении приведены на рисунке 4.14

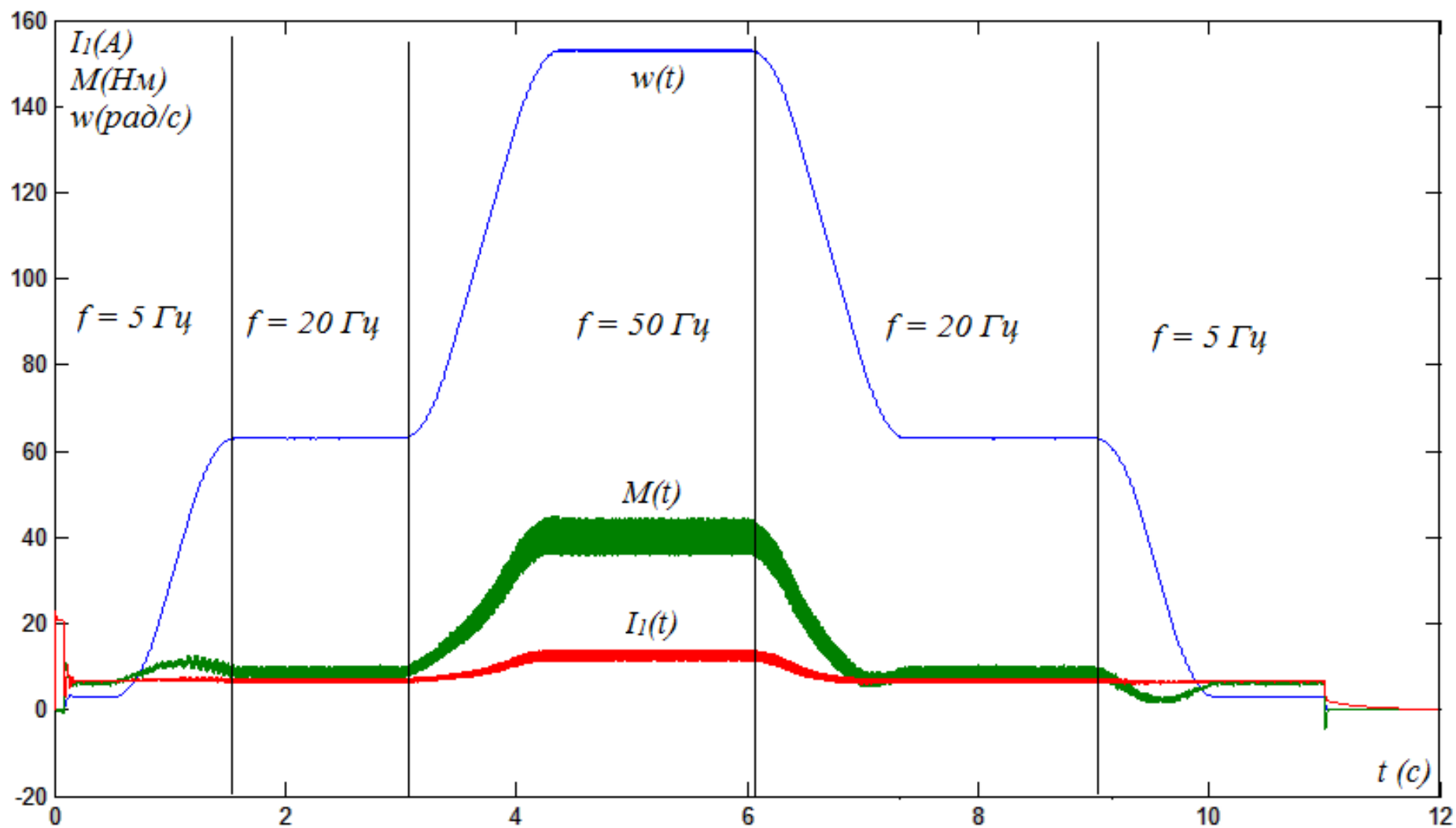


Рисунок 4.15 – Диаграммы  $I_1(t)$ ,  $M(t)$ ,  $w(t)$  при отработке электроприводом насоса заданного цикла работы



## **Вывод к разделу 4**

Прогрессивные системы векторного управления освоили длительный путь развития и в настоящее время являются более известными среди конструкций электропривода переменного тока. Они дают просто и качественно руководить подобными непростыми объектами как асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Применение методов векторного управления зависит от области применения электропривода. Исходя из предъявляемых требований к электроприводу, диапазон измерения значения скорости не превышает 1:100, а требования, предъявляемые к точности, колеблются в пределах  $\pm 1,5\%$ , то используется бездатчиковая система управления

Плюсы векториального способа управления асинхронным движком:

- Высокий уровень точности при регулировании скорости вращения вала, несмотря даже на возможное отсутствие датчика скорости;
- Осуществление вращения двигателя на малых частотах происходит без рывков, плавно;
- Быстрое реагирование на возможное изменение нагрузки – резкие скачки нагрузки практически не отражаются на скорости электропривода;
- Высокий уровень КПД двигателя, за счет сниженных потерь из-за намагничивания и нагрева.

## **7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был исследован частотный электропривод. В данном разделе необходимо определить величину всех затрат на выполнение опытно-конструкторских и пуско-наладочных работ, а также затраты на приобретение оборудования.

### **7.1 Технико-экономическое обоснование**

Важнейшим технологическое оборудование фактором успешного функционирования любого на рынке требует от товаропроизводителя совершенствовать и внедрять новое промышленного предприятия, в рамках жесткой конкуренции с отечественными и иностранными продукции с новыми качествами - все это в условиях свободной конкуренции на производителями, является постоянное совершенствование средств, внедрение новых идей и соответственно появление новых видов технологии и продукции. Новые технологии и модернизация это необходимый устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологий фактор для успешного продвижения продукции. Современный реконструкции рынок течественного требует от о производителя коренной и модернизации

Все это позволяет говорить о спросе на рынке проведения пуско-наладочных работ (ПНР).

Данный раздел выпускной квалификационной работы посвящен анализу проведения пуско-наладочных работ для автоматизированного электропривода.

Целью экономической части является определение времени по всем видам ПНР, расчет сметы затрат на приобретение материалов, на покупные и готовые изделия, расчет заработной платы членов бригады, выполняющих ПНР.

От качества проведения пуско-наладочных работ зависит бесперебойность работы, безопасность и экономичность обслуживания электрооборудования.

Пуско-наладочные работы при монтаже электроприводов и их установке являются завершающей стадией процесса строительно-монтажных работ.

## **7.2 Пусконаладочные работы**

Пуско-наладочные работы являются производства линии, обеспечивающие ввод в эксплуатацию объект. Ниже рассмотрены основные этапы проведения ПНР на линии. Работы выполняются высококвалифицированными специалистами действующими завершающим соответствии устройства звеном а также получение заданных проектом электромеханических параметров работы оборудования. и рабочими по заранее разработанным и согласованным программам. Электротехнические ПНР, согласно 13, должны обеспечивать проверку и испытание электрооборудования в с правилами электроустановок, технической документацией предприятия-изготовителя оборудования и другими нормативными документами

Результат которые прикладываются к акту сдачи объекта в эксплуатацию., испытания и других работ, входящих в комплекс наладки электроустановок, оформляются в виде протоколов проверок, снятие характеристик аппаратуры установленной формы

Проведению ПНР в короткие сроки и с высоким качеством в значительной степени способствуют подготовительные мероприятия:

- ознакомление заблаговременное с проектом, выявление электроустановки неточностей, пробелов и проекта других дефектов;
- ПНР, объёма выявление и подсчёт определение количества необходимого наладочного персонала;
- подготовка комплектов наладочной аппаратуры и инструмента;
- проведения ПНР и составление рабочего графика согласование его с монтажной организацией и заказчиком;
- внешний и установка количества электромонтажных работ осмотр электрооборудования;

- технических определения электрооборудования характеристик;
- с рабочей оставление программы испытаний и наладки электрооборудования с учётом особенностей настраиваемого объекта.

Для того чтобы качественно и в короткие сроки, необходимо хорошее знание данного оборудования, проектные расчёты электрических схем и параметров.

Поэтому наладочный персонал комплектуется из сроки произвести наладку электрооборудования и электрических опытных и квалифицированных специалистов.

### **7.3 Планирование ПНР**

Цены на проведение ПНР определены, исходя из сложности серийно выпускаемых, освоенных промышленностью электрических устройств, в соответствии с требованиями 3 части СНиП "Организация, производство и приём работ" и технических условий на изготовление и поставку электротехнических устройств.

При составлении смет или расчёте на выполнение работ, когда договором предусматривается промежуточная оплата, следует руководствоваться структурой ПНР, приведённой в таблице 13.

| № | Состав работы                                                                           | Стоимость ПНР (%) от общей сметной стоимости |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1 | Подготовительные работы                                                                 | 10                                           |
| 2 | Наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний технологического оборудования | 40                                           |
| 3 | Наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования       | 30                                           |
| 4 | Комплексное опробование                                                                 | 15                                           |
| 5 | Оформление отчётной и приемно-сдаточной документации                                    | 5                                            |

Ценами учтены затраты на:

1. проекта и ознакомление с технической документацией; получение Подготовительные работы - организаторскую и инженерную подготовку работ; изучение электротехнической части от заказчика согласованных установок устройств защиты и автоматики; подготовку парка приборов, а программ наладки и комплекта также протоколов.
2. Внешний осмотр настройку отдельных электрооборудования на и элементов и функциональных соответствие проекту; проверку групп; сборку испытательных схем; проверку параметров и снятие характеристик отдельных устройств; измерение сопротивления изоляции; проверку; регулировку соединения обмоток релейной аппаратуры.
3. Наладку электрооборудования под напряжением, включая силовые цепи; характеристик, сопоставление их с расчётными данными проекта; испытание и наладку оборудования вхолостую и под нагрузкой совместно с технологическим оборудованием.
4. Обеспечение взаимных электроустановки и механизмов в составе снятие и получение необходимых связей устройств в составе агрегата; согласование

механизмов составе агрегата; обеспечение на входных и выходных параметров и отдельных в характеристик агрегатах электрических и электромеханических параметров и режимов, предусмотренных проектом.

Составление в одном экземпляре протоколов ПНР и испытаний; внесение в протокол схем, которые были изменены в процессе работы.

#### **7.4 Состав бригады для проведения ПНР**

Число членов бригады и распределение объёмов ПНР между членами бригады зависит от профессиональной подготовки наладчиков и их практического опыта, а также диктуется рядом требований к ПНР:

1. Работы характеризуются узкой специализацией, сложностью.
2. По правилам и нормам эксплуатации и настройки электрооборудования напряжением до 1000 В запрещаются работы на оборудовании, находящемся под напряжением, менее чем двум членам бригады.

Распределение объёма работ между членами выполняет бригадир, как опытный специалист, знающий каждого члена бригады. Продолжительность выполнения любой операции на каждом этапе зависит от технической сложности. Состав бригады, выполняющей ПНР приведён в таблице 14.

Таблица 14 – Состав бригады, выполняющей ПНР

|   | Состав бригады              | Категория |
|---|-----------------------------|-----------|
| 1 | Инженер-наладчик (бригадир) | I         |
| 2 | Инженер-наладчик            | II        |
| 3 | Инженер-наладчик            | III       |

С бригадой наладчиков, производящих ПНР, заключено трудовое соглашение, в котором оговорён срок поведения работ и сумма, на которые заключается соглашение. Срок проведения ПНР составляет 22 рабочих дня продолжительностью 8 часов.

Распределение объема и времени выполнения ПНР по этапам отражено в таблице 15.

Таблица 15

| № | Члены бригады                  | Время выполнения работ по этапам, раб. дни |   |   |   |   |
|---|--------------------------------|--------------------------------------------|---|---|---|---|
|   |                                | 1                                          | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Инженер-наладчик<br>(бригадир) | 3                                          | 7 | 6 | 4 | 2 |
| 2 | Инженер-наладчик               | 3                                          | 7 | 6 | 4 | 2 |
| 3 | Инженер-наладчик               | 3                                          | 7 | 6 | 4 | 2 |

По таблице 15, согласно [12], строим календарный график, на апрель месяц 2013 года, проведения ПНР (таблица 16).

### Наименование работ

#### 1. Подготовительный этап:

- 1.1 ознакомление с проектом, выявление неточностей;
- 1.2 составление рабочего графика проведения ПНР;
- 1.3 подготовка аппаратуры и инструмента;
- 1.4 внешний осмотр электрооборудования и проверка готовности;
- 1.5 определение соответствия техническим характеристикам;
- 1.6 составление рабочей программы испытаний и наладки с учетом особенностей объекта.

#### 2. Проверочные работы:

- 2.1 проверка количества электромонтажных работ и их соответствие к рабочим чертежам проекта;
- 2.2 проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в необходимых случаях характеристик;
- 2.3 проверка правильности выполнения схем;
- 2.4 проверка работы электрических систем, блокировок и автоматики.

### 3. Наладочные работы:

3.1 фазировка трансформатора опорных напряжений;

3.2 наладка и настройка СИФУ;

3.3 проверка работы и функционирования блоков сигнализации и защиты;

3.4 проверка датчиков тока и напряжения;

3.5 проверка диапазона изменения напряжения преобразователя;

3.6 настройка устройства задания скорости;

3.7 итоговая проверка защиты;

3.8 настройка и снятие необходимых характеристик элементов автоматического управления в соответствии с требованиями технологического процесса;

3.9 испытание оборудования в холостую.

### 4. Комплексное опробование:

4.1 обеспечение взаимных связей устройств в составе электрической установки;

4.2 согласование входных и выходных параметров на входе и выходе характеристик отдельных механизмов;

4.3 проверка режимов работы ЭП при управлении с пульта управления.

### 5. Оформление документации:

5.1 составление протоколов ПНР;

5.2 внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений, внесенных во время ПНР.



## 7.5 Договор на проведение ПНР

Между ООО "НКМЗ" и пусконаладочной бригадой составляется договор на проведение ПНР с выплатой после завершения ПНР договорной цены, согласно ценнику на 1 апреля 2013 года в общем размере 46301 рублей. В договоре оговорено, что инженер-наладчик бригадир (I категория) получает 40% (18520руб.), инженер-наладчик (II категория) 32% (14816руб.), инженер-наладчик (III категория) 28% (12965руб.) от фонда оплаты труда.

Расценки на наладку электрооборудования при проведении пуско-наладочных работ приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Расценки на наладку электрооборудования при ПНР

| Наименование работ                                              | Количество | Стоимость, руб. |       |
|-----------------------------------------------------------------|------------|-----------------|-------|
|                                                                 |            | Един.           | Сумма |
| Наладка частотного преобразователя VLT 5042 Danffos             | 1          | 2900            | 2900  |
| Наладка асинхронного электродвигателя RA160M4Y3                 | 1          | 900             | 900   |
| Наладка трансформатора трёхфазного напряжением до 1кВ           | 1          | 450             | 450   |
| Наладка контура системы автоматического регулирования скорости  | 1          | 140             | 140   |
| Наладка контура системы автоматического регулирования положения | 1          | 140             | 140   |
| Итого                                                           |            |                 | 4530  |

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$C_{30} = \sum_{i=1}^m t_{hi} \cdot C_{\text{час}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{р}}$$

где  $t_{hi}$  – количество часов, отработанных  $i$ -м работником;

$C_{\text{час}}$  – часовая ставка  $i$ -го работника, руб/час;

$k_{\text{п}}$  – коэффициент, учитывающий премии и доплаты ( $k_{\text{п}} = 1,33$ );

$k_{\text{р}}$  – коэффициент, учитывающий районный коэффициент. В данном случае  $k_{\text{р}}$  принимается равным 1,3

Дополнительная заработная плата производится на оплату отпусков за не проработанное время и составляет 10% от основной заработной платы

$$З_{дон} = 0,1 \cdot З = 0,1 \cdot 24760 = 2476 \text{ руб.}$$

Отчисления ЕСН

$$С_{отч} = З + З_{дон} \cdot 0,3 = 24760 + 2476 \cdot 0,3 = 8170,8 \text{ руб.}$$

Отчисления в фонд обязательного страхования от несчастных случаев на производстве

$$С_{ФСС} = 0,02 \cdot С_{отч} = 0,02 \cdot 8170,8 = 163,4 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составляют 60% от основной заработной платы

$$Н = З \cdot 0,6 = 24760 \cdot 0,65 = 16094 \text{ руб.}$$

Прочие затраты составят 2% от основной заработной платы

$$П = З \cdot 0,02 = 24760 \cdot 0,02 = 495,2 \text{ руб.}$$

Дополнительные затраты по заработной плате приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Дополнительные затраты по заработной плате

| № | Наименование статей                                                                 | Плановые (руб.) | Примечание      |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | Стоимость работ                                                                     | 24760           |                 |
| 2 | Районный коэффициент                                                                | 7428            | 30% от п. 1     |
| 3 | Коэффициент, действующий при проведении ПНР в зоне работы действующего оборудования | 2476            | 10% от п. 1     |
| 4 | Коэффициент, учитывающий работы на установке, находящейся под напряжением           | 7428            | 30% от п. 1     |
| 5 | Основная заработная плата, включая доплаты                                          | 42092           | п.1+п.2+п.3+п.4 |
| 6 | Дополнительна заработная плата                                                      | 4209            | 10%отп.5        |
| 7 | Итого                                                                               | 46301           | п.5+п.6         |

В таблице 19 приведены затраты на закупку электрооборудования.

Таблица 19 – Затраты на закупку оборудования.

| №<br>п/п | Наименование<br>комплектующих                                                                          | Шифр<br>ценника | Единица<br>измерения | Количество | Цена<br>(руб.) |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------|------------|----------------|
| 1        | Частотный<br>преобразователь VLT 5042<br>Danffos                                                       | 1-877           | Шт.                  | 1          | 33000          |
| 2        | Асинхронный<br>электродвигатель<br>RA160M4УЗ                                                           | 1-810           | Шт.                  | 1          | 5000           |
| 3        | Выключатель трех<br>полосный с<br>электромагнитным,<br>тепловым или<br>комбинированным<br>расцепителем | 1-202           | Шт.                  | 1          | 250            |
| 4        | Тепловая защита с двумя<br>реле                                                                        | 1-306           | Шт.                  | 1          | 150            |
| 5        | Трансформатор<br>трёхфазный напряжением<br>до 1кВ                                                      | 1-131           | Шт.                  | 1          | 1000           |
| Итого    |                                                                                                        |                 |                      |            | 39400          |

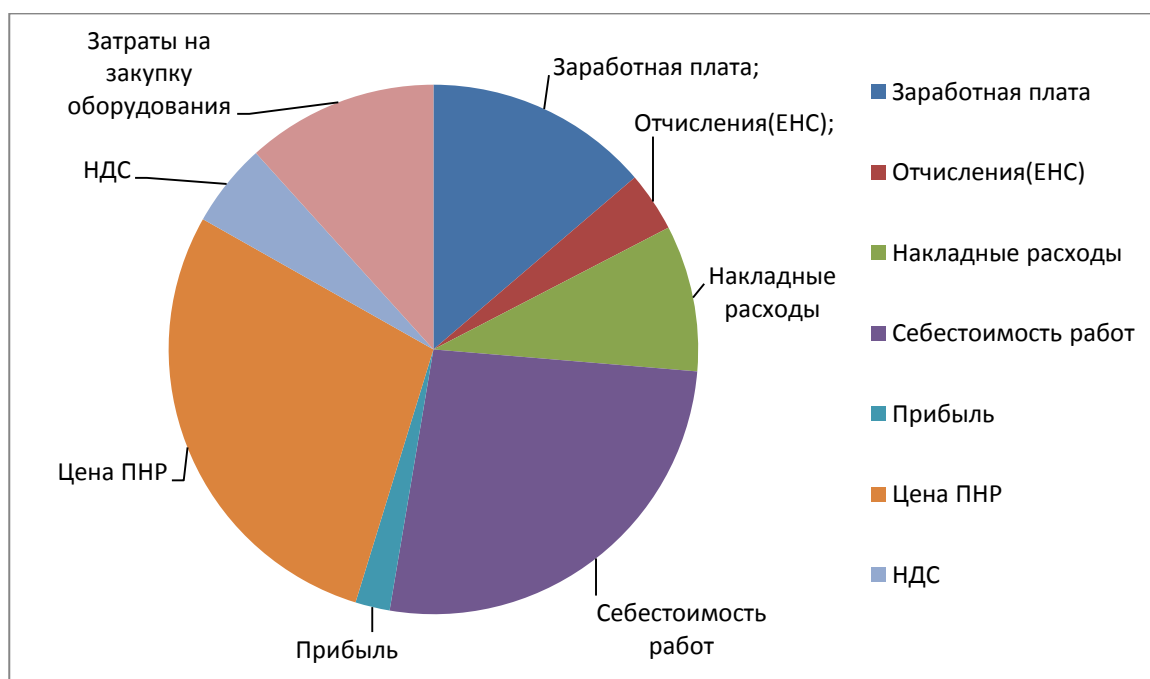
Затраты предприятия на проведение пуско-наладочных работ приведены в таблице 20

Таблица 20 – Общая стоимость затрат на проведение ПНР

| № | Наименование статей | Плановые (руб.) | Примечание |
|---|---------------------|-----------------|------------|
| 1 | Заработная плата    | 46301           |            |

|   |                                 |        |              |
|---|---------------------------------|--------|--------------|
| 2 | Отчисления в внебюджетные фонды | 8170,8 | 30% от п.1   |
| 3 | Накладные расходы               | 30095  | 65% от п.1   |
| 4 | Себестоимость работ             | 88666  | п.1+ п.2+п.3 |
| 5 | Прибыль                         | 7093   | 8% от п.4    |
| 6 | Цена ПНР                        | 95759  | п.4+п.5      |
| 7 | НДС                             | 17236  | 18% от п.6   |
| 8 | Итого                           | 112995 | п.6 + п.7    |

Круговая гистограмма затрат на проектирование:



Отчисления во внебюджетные фонды складываются из: 30 % – Единый социальный налог (ЕСН), 0,02 % – Отчисление в фонд страхования от несчастных случаев и обеспечение сотрудников связанных с ПНР.

## Расчёт годовых затрат на эксплуатацию электропривода

Для анализа экономической эффективности необходимо определить годовые расходы по эксплуатации новой системы. Систему обслуживают два человека: один инженер по электроприводу и один электрик. Обслуживание системы сводится к проведению планово предупредительных ремонтов и технического обслуживания, в количестве часов приведенных в таблице 13.

Таблица 13 – Норма часов на проведение планово предупредительных ремонтов и технического обслуживания электропривода горизонтально-фрезерного станка, согласно ТООР

| Обслуживающий персонал    | Количество часов в год. |
|---------------------------|-------------------------|
| Инженер по электроприводу | 24                      |
| Электрик IV разряда       | 28                      |

Текущие годовые расходы на эксплуатацию системы управления вычисляются по формуле:

$$C_{\text{эр}} = C_{\text{осн.зп}} + C_{\text{доп.зп}} + C_{\text{сс}} + C_{\text{м}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{эл}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{нр}},$$

где  $C_{\text{осн.зп}}$  – основная заработная плата работников;

$C_{\text{доп.зп}}$  – дополнительная заработная плата;

$C_{\text{сс}}$  – отчисления на социальное страхование;

$C_{\text{м}}$  – стоимость материалов, расходуемых в течение года при обслуживании системы;

$C_{\text{ам}}$  – годовые затраты на амортизацию (10% от стоимости);

$C_{\text{эл}}$  – годовые расходы на потреблённую электроэнергию;

$C_{\text{пр}}$  – прочие расходы на ремонт, 0,25% от стоимости оборудования;

$C_{\text{нр}}$  – накладные расходы (10-15% от заработной платы).

Таблица 14 – Расчёт основной заработной платы.

| Обслуживающий персонал | Тариф. | t[i], час. | $C_{\text{осн.зп}}$ , руб. |
|------------------------|--------|------------|----------------------------|
| Инженер                | 242,64 | 24         | 5825                       |
| Электрик               | 140    | 28         | 3920                       |
| Итого                  |        |            | 9744                       |

Дополнительная заработная плата составит:

$$C_{\text{доп.зп}} = C_{\text{осн.зп}} \cdot K_d = 9744 \cdot 0,15 = 1462 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальное страхование составят:

$$C_{\text{сс}} = (C_{\text{осн.зп}} + C_{\text{доп.зп}}) \cdot K_{\text{сс}} = (9744 + 1462) \cdot 0,3 = 3362 \text{ руб.}$$

Годовые затраты на амортизацию:

$$C_{\text{ам}} = C_{\text{об}} \cdot 10\% = 120975 \cdot 0,1 = 12098 \text{ руб.}$$

Годовые расходы на потреблённую электроэнергию:

$$C_{\text{эл}} = S \cdot P_{\text{ср}} \cdot T_d = 2,5 \cdot 35 \cdot 360 = 31500 \text{ руб.},$$

где  $P_{\text{ср}} = 35 \text{ кВт}$  средняя потребляемая мощность за сутки;

$S = 2,5 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$  – стоимость 1 кВт·ч;

$T_d = 360 \text{ дней}$  – действительное рабочее время.

Прочие расходы на ремонт оборудования:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{об}} \cdot 0,15\% = 120975 \cdot 0,15 = 18147 \text{ руб.}$$

Накладные расходы:

$$C_{\text{нр}} = (C_{\text{осн.зп}} + C_{\text{доп.зп}}) \cdot 15\% = (9744 + 1462) \cdot 0,15 = 1681 \text{ руб.}$$

### **Расчёт годовых затрат на эксплуатацию дозатора до реконструкции**

До реконструкции систему обслуживали также один инженер и один электрик. Экономический эффект будет заключаться в разнице между затратами на техническое обслуживание и ремонт старой и новой системы регулирования. В соответствии с нормами технического обслуживания и ремонта, для обслуживания электропривода до модернизации требовалось количество часов приведенных в таблице 15.

Таблица 15 - Норма часов на проведение планово предупредительных ремонтов и технического обслуживания электропривода, согласно ТООР

| Обслуживающий персонал    | Количество часов в год. |
|---------------------------|-------------------------|
| Инженер по электроприводу | 44                      |
| Электрик IV разряда       | 53                      |

Годовые текущие расходы на эксплуатацию до реконструкции определяются аналогично расходам на эксплуатацию нового оборудования [29].

Таблица 16 – Расчёт основной заработной платы.

| Обслуживающий персонал | Тариф. | t[i], час. | C <sub>осн.зп</sub> , руб. |
|------------------------|--------|------------|----------------------------|
| Инженер                | 242,64 | 44         | 10677                      |
| Электрик               | 140    | 53         | 7420                       |
| Итого                  |        |            | 18097                      |

Дополнительная заработная плата составит:

$$C_{\text{доп.зп}} = C_{\text{осн.зп}} \cdot \kappa_{\text{д}} = 18097 \cdot 0,15 = 2715 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальное страхование составят:

$$C_{\text{сс}} = (C_{\text{осн.зп}} + C_{\text{доп.зп}}) \cdot \kappa_{\text{сс}} = (18097 + 2715) \cdot 0,3 = 6244 \text{ руб.}$$

Годовые затраты на амортизацию для старой системы не учитываются, так как срок эксплуатации системы истек.

Годовые расходы на потреблённую электроэнергию:

$$C_{\text{эл}} = S \cdot P_{\text{ср}} \cdot T_{\text{д}} = 2,5 \cdot 45 \cdot 360 = 40500 \text{ руб.},$$

где  $P_{\text{ср}} = 45 \text{ кВт}$  средняя потребляемая мощность за сутки;

$S = 2,5 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$  – стоимость 1 кВт·ч;

$T_{\text{д}} = 360 \text{ дней}$  – действительное рабочее время.

Прочие расходы на ремонт до реконструкции с истекшим сроком эксплуатации рассчитываем по формуле:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{старого оборудования по текущим ценам}} \cdot 25\% = 83600 \cdot 0,25 = 20900 \text{ руб.}$$

Накладные расходы:

$$C_{\text{нр}} = (C_{\text{осн.зп}} + C_{\text{доп.зп}}) \cdot 15\% = (18097 + 2715) \cdot 0,15 = 3122 \text{ руб.}$$

Таблица 17 – Сводная таблица затрат на эксплуатацию старого электропривода электропривода и затрат на эксплуатацию новой системы

| Наименование статей затрат | Сумма (руб.)<br>старая система | Сумма (руб.)<br>новая система | Δ    |
|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|
| Основная заработная плата  | 48097                          | 9744                          | 8356 |

|                                      |       |       |        |
|--------------------------------------|-------|-------|--------|
| Дополнительная заработная плата      | 2715  | 1462  | 1253   |
| Отчисления на социальное страхование | 6244  | 3362  | 2882   |
| Амортизационные отчисления           | -     | 12098 | -12098 |
| Расходы на электроэнергию            | 40500 | 31500 | 9000   |
| Прочие расходы                       | 20900 | 18142 | 2758   |
| Накладные расходы                    | 3122  | 1681  | 1441   |
| Итого                                | 91578 | 77994 | 13592  |

Таким образом затраты на эксплуатацию старого электропривода составят 91578 рублей за год, а на эксплуатацию новой системы составят 77994 рублей за год. Практически все статьи затрат на эксплуатацию нового оборудования меньше, чем старого, однако добавляются амортизационные отчисления, показанные в таблице 17 с отрицательным знаком.

### Расчёт экономического эффекта

Экономический эффект будем определять как прибыль полученную за весь срок эксплуатации новой системы автоматического регулирования, по следующей формуле [26]:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= C_1 - C_2 + \Delta C_a \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r) \cdot r} - J \\ \mathcal{E} &= 91578 - 77994 + 12098 \cdot \frac{(1+0,12)^{10} - 1}{(1+0,12) \cdot 0,12} - 275883 = 13592 \text{ руб} \end{aligned}$$

где  $C_1$ ,  $C_2$  - затраты на эксплуатацию соответственно старого и нового электропривода;

$\Delta C_a$  – амортизационные отчисления, 10%;

$r$  – банковская ставка по депозиту, 12%;

$n$  – средний срок службы новой системы, 10 лет;

$J$  – капитальные вложения в новую систему.



В результате получаем положительный экономический эффект от возникшей экономии электроэнергии и сокращения расходов на эксплуатацию и обслуживание ленточного электропривода

Если дополнительно учесть то, что увеличится качество выпускаемой продукции, то есть уменьшится количество непригодного брака (возрастет рентабельность производства) и возрастет надежность оборудования, то можно прогнозировать значительную экономическую выгоду от внедрения, данного проекта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью, данной выпускной квалификационной работы является разработка электропривода насоса жилого дома.

Предложено поменять существующий морально старый и выработавший ресурс нерегулируемый электропривод на частотно–регулируемый асинхронный электропривод. Согласно итогам расчетов требуемой мощности двигателя выбран электродвигатель серии АИР132S4, а также преобразователь частоты Danfoss VLT 5011.

Итоги аналитических расчетов и имитационного моделирования доказывают точность подбора силовых детали – электродвигателя и преобразователя – и реализации автоматического режима частотнорегулируемого электропривода насосной блока. Система конвертор частоты – асинхронный двигатель дает обеспечение нужные свойства насоса, а система автоматического регулировки с векторным управлением гарантирует поддержание научно-технических параметров в системах запуска и влияния восстаний с общепринятыми параметрами

В финансовом части выпускной квалификационной работе пересмотрены вопросы планирования, финансирования и выполнения пуско-наладочных работ электропривода дутьевого вентилятора. Составлена смета на выполнение ПНР и построен график выполнения пуско-наладочных работ и занятости исполнителей, а кроме того подтверждена финансовая целесообразность от внедрения спроектированного электропривода. В разделе социальная безопасность проекта освещены задачи: производственной и экологической безопасности; техники безопасности; исследование опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; рассмотрены мероприятия по части охране окружающей среды и защите при ЧС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учебное пособие для вузов / И. И. Алиев. — М.: Высшая школа, 2000. — 255 с.
2. Алиев И. И. Электротехнический справочник. — М.: ИП РадиоСофт, 2000. — 384 с.
3. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. — М.: "Академия", 2004.
5. Дьяконов В. П. *MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5* : Основы применения : Полное руководство пользователя. — М. : СОЛОН-Пресс, 2002. — 768 с.
6. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 560 с.
7. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электропроводах. — Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. — 172 с.
8. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский. — М.: Издательский центр "Академия", 2006. — 272 с.
9. Электродвигатели асинхронные. Справочник / В.Л. Лихачев. — М.: СОЛОН-Р, 2002. — 304 с.
10. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. — М.: Издательский центр "Академия", 2005. — 304 с.
11. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. Оптимизация контура регулирования: учебное пособие. — Изд. 2-е, перераб. и дополн. — Томск: Изд-во ТПУ, 2007. — 156 с.
12. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Теория оптимизации непрерывных

многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.

13. Кояин Н.В Удут Л.С., Мальцева О.П.,. Исследование и проектирование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 448 с.

14. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие.– Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 476с.

15. Черных И.В. Моделирование электрических устройств в *MATLAB*, *SimPowerSystems* и *Simulink* – СПб. ; М. : Питер : ДМК Пресс, 2008. — 288 с

16. Л.А.Одинцова. Планирование на предприятии: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Л.А.Одинцова. 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр "Академия", 2006. – 272 с.

17. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

18. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

19. ГОСТ 17494-87 - Машины электрические вращающиеся.

20. ПУЭ, МПОТ, ПТЭ. — 6-е и 7-е изд.. — Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2009. — 687 с.: ил.. — ISBN 978-5-379-01195-6.

21. ГОСТ 12.1.000-02 ССБТ – Электробезопасность. Допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

22. ГОСТ 12.1.003-83(СТ СЭВ 1930-79) – Шум. Общие требования безопасности.

23. ГОСТ 12.4.051-87 – Средства индивидуальной защиты органа слуха.

24. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.

25. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.

27. ГОСТ 12.1.012-90 – Вибрационная безопасность.

26. ГОСТ 12.4.012-83 – Вибрация. Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования..

27. НПБ 105-03 Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

28. СНиП 2.01.51 – 90 Инженерно – технические мероприятия гражданской обороны.

29. Методика расчета зануления. – «Электробезопасность». Комплект лабораторных работ: учебное пособие по практическому изучению средств защиты от электропоражения в сетях до 1 кВ для студентов всех специальностей: учебное пособие. А.Г. Дашковский, Ю.В. Бородин, А.А. Сечин, М.В. Гуляев, А.Г. Кагиров – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 97.

30. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

31. ГОСТ 12.4.221-2002 Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты.

# Имитационная модель электропривода насоса со скалярным управлением



## Приложение 2

### Имитационная модель электропривода насоса с векторным управлением

