

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт открытого и дистанционного образования
Кафедра «Техника, технологии и строительство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ К.М. Виноградов
_____ 26.06 _____ 2021г.

Модернизация электропривода механизма вылета стрелы крана «Кондор»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2021.374.00.000ПЗ ВКР

Руководитель работы,
Ст. преподаватель
_____ Т.Н. Усиевич
_____ 26.06 _____ 2021г.

Автор работы
студент группы ДО – 514
_____ С.Б. Бухмастов
_____ 26.06 _____ 2021г.

Нормоконтролер,
преподаватель
_____ О.С. Микерина
_____ 26.06 _____ 2021г.

Челябинск,
2021

АННОТАЦИЯ

Бухмастов, КТХ Электроучасток ООО «Энергосервис» - Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ИОДО; 2021, 67с., 24ил., библиографический список – 32 наименования, 6 листов чертежей Ф.А3.

После анализа порталного крана «Кондор» осуществлена модернизация электропривода механизма вылета стрелы крана. Вместо асинхронного электродвигателя с фазным ротором, скорость которого регулируется изменением сопротивления цепи ротора, применен частотно-регулируемый электропривод

Описаны назначение, состав, устройство, работа крана и механизма вылета стрелы, а также электропривод механизма вылета стрелы. Выполнено обоснование необходимости модернизации электропривода механизма вылета стрелы

Произведён выбор АД с КЗ ротором по каталогу

Проведены расчёты и полученные результаты занесены в таблицу

Рассмотрены виды преобразователей, анализы схем решений достоинства и недостатки той или иной схемы, сделан выбор преобразователя частоты.

Описана структурная схема преобразователя частоты.

Описана схема подключения АПЧ.

Проведен статический и динамический расчеты в результате которого были определены параметры объекта регулирования. Для анализа динамики были рассчитаны передаточные функции звеньев структурной схемы, по которым были построены на ПК переходные процессы с использованием пакета MatLab.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Бухмастов С.Б.			Модернизация электропривода механизма вылета стрелы крана «Кондор»	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Усиевич Т. А					4	67
Реценз.						ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» ИОДО		
Н. Контр.		Микерина О.С.				Кафедра «ТТС» гр.ДО-514		
Утверд.		Виноградов К.М.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Конструкция, принцип действия, назначение стрелочного крана.....	9
1.1 Назначение и область применения кранов.....	9
1.2 Конструкция стрелочного крана «Кондор».....	12
1.3 Механизм вылета стрелы.....	15
2 Требования предъявляемые к электрооборудованию стрелочного крана..	18
3 Требования, предъявляемые к электроприводе механизма вылета стрелы крана.....	18
4 Двигатели, используемые в электроприводе механизма вылета стрелы крана.....	19
5 Описание систем автоматизации.....	21
5.1 Примеры систем электропривода.....	21
5.2 Система Управляемый преобразователь – двигатель.....	22
5.3 Система Г – Д.....	25
5.4 Система ПЧ-АД.....	25
6 Целесообразность модернизации электропривода механизма вылета стрелы крана.....	28
7 Технические данные для расчета мощности двигателя.....	31
8 Расчет электропривода механизма вылета стрелы крана.....	32
8.1 Расчет статического момента, мощности и скорости вращения двигателя механизма вылета стрелы крана.....	32
8.2 Выбор двигателя по каталогу.....	36
9 Расчет параметров Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	36
10 Расчет и построение естественной механической характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	38
11 Расчет искусственных механических характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	41
12 Выбор преобразователя частоты для электропривода механизма вылета стрелы крана.....	45
12.1 Анализ видов преобразователей частоты, схемы решений, достоинства и недостатки.....	45
12.2 Выбор преобразователя частоты.....	49
12.3 Описание структурной схемы преобразователя частоты.....	57
12.4 Описание электрической принципиальной схемы подключения АПЧ.....	59
13 Расчет переходных процессов по управляющему и возмущающему воздействию.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	65
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	66

Введение

Грузоподъемные краны занимают лидирующее место в таких видах деятельности, как строительные и машиностроительные, горнодобывающие, погрузочно-разгрузочные работы и другие. Высокие темпы строительства и монтажных работ достигаются с помощью подъемных кранов. Целью применения таких машин является практически все строительные площадки и пункты грузопереработки (например, склады).

Грузоподъемный кран – это циклическая машина, потому что рабочий процесс состоит из чередующихся циклов, включающие периоды рабочие и вспомогательные. Они обеспечивают обслуживание большой площадки рабочей зоны, равной двойному вылету (башенные, пневматические, гусеничные краны) и ходу грузовой тележки (козловых и мостовых кранов) умноженным на длину подкрановых путей. Для увеличения мобильности кранов применяются современные способы их монтажа, демонтажа, транспортирования, подготовки к эксплуатации.

На развитие исполнений кранов, составляющих основную часть машин эксплуатационных баз (башенные, пневмоколесные и гусеничные краны), оказывают влияние происходящие изменения в строительном производстве: индустриальность работ при реконструкции промышленных и гражданских зданий, расширение масштабов замены домов устаревших серий на новые. Неотъемлемой частью организационно-технологических решений на строительных площадках являются проекты производства работ и технологические карты, в которых приведены последовательность выполнения технологических комплексов и операций грузоподъемными кранами, места установки и безопасные рабочие зоны машин.

Электропривод кранов с момента своего появления занимает лидирующее положение в краностроении. Первый электрический порталный кран был построен в 1890 году компанией «Кампна-гель». В первом десятилетии XX века появляются такие компании, как «Демаг», «Кампнагель», «Бэбкок-Уилкоккс» и другие осваивали изготовление перегрузочные краны в портах с электроприводом осваивали производство портовых перегрузочных кранов с электроприводом. Однако слабая энерговооруженность портов и припортовых регионов не позволяла широко использовать такого рода технику. В это время приоритет отдавался электроприводу одиночного двигателя с громоздкой и неудобной механической трансмиссией.

С развитием электромашиностроения и ростом энерговооруженности портов совершенствуются и конструкции кранов за счет создания многодвигательных систем с индивидуальными приводами для каждого механизма. Поколение кранов 30—40-х годов имеет уже независимые электроприводы на всех рабочих механизмах (подъем, поворот, изменение вылета стрелы, передвижение), что дает возможность совмещать рабочие операции в цикле крана, обеспечивая при этом удобство управления и существенное повышение производительности.

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Управление двигателями ведется при помощи простейших аппаратов непосредственного управления — силовых контроллеров.

Практика морских портов требовала существенного повышения производительности на перегрузочных работах. Растут рабочие скорости, обязательными становятся такие передовые методы работы, как сокращение времени цикла крана за счет максимального совмещения движений. Системы управления на силовых контроллерах не обеспечивают выполнение этих требований. Большие габаритные размеры, трудность в управлении не дают возможности заблокировать на одну рукоятку два контроллера, реализовать даже простейшие элементы автоматизации электроприводов и т. п.

В конце 40-х и начале 50-х годов появляются системы управления, построенные на аппаратуре косвенного управления — магнитные контроллеры. Поколение кранов этих лет («Каяр», «Аппле-важ», «Кировец», «Черетти — Танфани», «Абус» и др.) уже имеют на всех приводах индивидуальные электроприводы с управлением на магнитных контроллерах с элементами автоматизации. Разгон и торможение двигателей автоматические, предусмотрены защиты и блокировки, обеспечивающие безопасную и безаварийную работу. Утяжеляется режим работы двигателей, увеличивается количество переключений в единицу времени. Это привело к разработке специального кранового электрооборудования, позволяющего эксплуатировать перегрузочную технику с максимальной эффективностью. Разрабатываются новые сложные системы крановых электроприводов.

В 70-х годах появляются принципиально новые перегрузочные машины: перегружатели и козловые краны для крупнотоннажных контейнеров, машины внутрипортовой механизации и т. п. Наряду с этим продолжается совершенствование традиционных типов перегрузочной техники. Реализуются технические требования к электроприводам, позволяющие обеспечить высокую точность при выполнении рабочих операций, максимальную производительность за счет автоматизации процессов и сокращения вспомогательных операций, сохранность груза, высокую надежность, безопасность и т. д. Внедряются системы бесконтактного и непрерывного управления на базе силовых полупроводниковых приборов.

Дальнейшие усовершенствования электроприводов кранов расширяют область регулирования и повышают уровень автоматизации, надежности, удобства управления, эксплуатации и ремонта, внедрения диагностического оборудования и т. д.

В связи с этим необходимо использовать более современный электропривод с плавным регулированием скорости для механизмов крана.

В данном дипломном проекте рассматривается модернизация электропривода вылета стрелы, заключающаяся в замене асинхронного электропривода с ступенчатым регулированием скорости и плавно регулируемого электропривода с частотным регулированием.

В последнее время наблюдается более устойчивая тенденция к использованию

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

частотно-регулируемых электроприводов в крановой промышленности. Эта ситуация объясняется следующим образом. Использование регулируемых приводов на крановом хозяйстве может значительно повысить показатели работы крана с точки зрения ускорения. А плавные переходные процессы, обеспечиваемые частотно-регулируемым приводом приводят к значительному снижению динамических нагрузок в элементах кинематической цепи привода, что позволяет повысить надежность и долговечность работы механического оборудования крана, отпадает необходимость замены редуктора, канатоведущего барабана, тормозных колодок, электродвигателя и других элементов при модернизации кранов.

Основной причиной широкого применения регулируемого привода в крановом хозяйстве является снижение энергопотребления при работе крана на 40-60%, которое достигается за счет значительного снижения вращающихся маховых масс лебедки главного подъема.

Преобразователи частоты позволяют использовать асинхронные двигатели с короткозамкнутыми роторами общего назначения вместо специальных асинхронных двигателей с фазными роторами. Крутящий момент на маховике ротора такого двигателя в разы меньше, чем у аналогичного кранового асинхронного двигателя с фазным ротором, а его стоимость снижена в 3-4 раза по сравнению со специальной серией крановых двигателей.

Таким образом, экономические выгоды от внедрения частотно-регулируемого электропривода заключаются в экономии энергии и снижении эксплуатационных расходов.

В дипломной работе необходимо произвести модернизацию электропривода механизма вылета стрелы порталного крана «Кондор». Заключающуюся в замене асинхронного электродвигателя со ступенчатым регулирование скорости на плавнорегулируемый электродвигатель с частотным управлением.

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ

1 Конструкция, принцип работы, назначение стрелочного крана

1.1 Назначение и область применения крана

Кран стрелового типа – кран с подъемным устройством, подвешенным к блоку на конце стрелы. Они выпускаются в мобильном и стационарном исполнении.

Стреловые краны включают в себя:

- Самоходный стреловой кран-стреловой кран со стрелой, прикрепленной к раме платформы или ходового устройства.

- Башенный кран–поворотный кран стрелового типа со стрелой, закрепленной на верху вертикально расположенной башни.

- Деррик-кран — мачтово-стрелочный кран с орой, стрелой, стоек-укосин, поворотной платформы; механизм подъёма груза, подразделяются на вантовые (стрела закреплена в мачте, установленная с помощью канатных растяжек, и может поворачиваться на 240°, реже на 360° и изменять угол наклона к горизонту на 30-75°) и жестконогие (стрела закрепляется в мачте, установленной с помощью жёстких распорных стоек-укосин, и может поворачиваться и изменять угол наклона к горизонту в тех же пределах, что и вантовый деррик-кран.

- Портальный кран–полноповоротный стреловой кран, поворотная часть расположена на портале перемещающемся непосредственно по рельсам проложенными под ним.

- Полупортальный кран – поворотная часть крана установлена на полупортале – металлической несущей конструкции П-образной формы, состоящей из соединенных между собой стоек и верхней рамы. В отличие от портального крана, с расположением стоек движущимися по рельсам на одном уровне у полупортального крана стойки находятся на разных уровнях – один рельс может находиться на стене здания. Если стойки расположены на прибрежных откосах, то они установлены на треугольных подставках.

- Судовой кран – поворотный стационарный стреловой кран, установленный на борту и предназначенный для погрузки и разгрузки судна.

- Монтажная стрела – кран стрелового типа, представляющий собой неповоротный неподвижный кран, установленный непосредственно на производственной площадке.

Стреловые краны можно разделить на несколько групп, наиболее распространенной из которых является группа самоходных (мобильных) кранов, в зависимости от условий эксплуатации, с различным ходовым оборудованием.

Для самостоятельного передвижения по земле они оснащены специальными ходовым оборудованием. Стреловое устройство этих кранов является взаимозаменяемым. Это позволяет быстро изменять ходовую часть и использовать их для различных задач.

Стреловые краны относятся к группе универсальных кранов, предназначенных для доставки строительных конструкций и материалов на строящиеся объекты и механизации погрузочно-разгрузочных работ на складах. В процессе монтажных

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

работ он используется для поддержки конструкции при ее закреплении на месте установки.

Он также широко используется при строительстве мостов, погрузочно - разгрузочных и монтажных работах различных конструкций.

Для энергетического строительства: в зависимости от мощности электростанции кран может выполнять функции основного монтажного механизма (для объектов малой мощности) или вспомогательного (для объектов средней мощности и большой мощности) во время монтажа основного энергетического оборудования. При монтаже вспомогательного оборудования (химическая очистка воды, стеллаж для труб и т.д.) самоходный кран является основным механизмом сборки.

Главное преимущество заключается в том, что вы можете быстро переезжать с одного объекта на другой и начинать работать, как только прибудете на новое место. Благодаря этому кран можно успешно использовать в разных местах с небольшим объемом работ.

Основным недостатком является то, что перемещение под нагрузкой допускается со значительными ограничениями.

Стреловые краны классифицируются по грузоподъемности (размерной группе), конструкции ходовой части оборудования, типу стрелового оборудования и типу привода.

В соответствии с ходовым оборудованием кран подразделяется на автомобильный кран (на шасси грузовой техники массового производства), и специальных многоосевых кранов на шасси для автомобилей, пневмоколёсные и гусеничные краны.

Самоходные стреловые краны классифицируются по грузоподъемности, конструкции ходовой части, типу привода, типу рабочего (стрелового) оборудования и конструкции подвески стрелового оборудования.

В зависимости от типа привода исполнительного механизма различают однодвигательные и многодвигательные приводные краны. В однодвигательном кране все рабочие механизмы приводятся в действие 1 двигателем (дизельным двигателем или электродвигателем). Движение передается через механическую трансмиссию (кран с механическим приводом). В кранах с многодвигательным приводом исполнительный механизмы приводятся в действие двигателями, работающими независимо. В таких кранах силовая установка состоит из дизельного двигателя, гидронасосной станции и отдельного гидромотора (кран с гидравлическим приводом) или дизельного двигателя, генератора и отдельного электродвигателя.

По конструкции подвески стрелового оборудования различают краны с гибкими соединениями и жесткими соединениями. Для крана с гибким соединением удерживается стреловое устройство и угол наклона стрелы изменяется с помощью троса (кран с гибкой подвеской стрелового устройства), а для крана с жестким соединением - гидроцилиндрическое (стреловое устройство крана с жесткой подвеской).

										13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							10

В связи с конструкцией ходовой части (шасси) стреловые краны подразделяются на следующие типы:

- Стреловой кран на шасси автомобиля.
- Гусеничный Кран.
- Железнодорожный стреловой кран на платформе, движущийся по рельсам.
- Кран на шасси автомобиля.
- Плавающий – самоходный или не самоходный кран устанавливаемый на пантоне.
- Пневмоколёсный – кран стрелового типа на пневмоколесном шасси, управляемом из кабины, установлен на поворотной части крана.
- Рельсовый кран – кран стрелового типа устанавливаемый на специальных рельсовых кран типа "СКР".

Тракторно – стреловой кран на шасси трактора.

Привод стрелового крана

В самоходных стреловых кранах

Механический привод. При использовании групповых механических приводов все механизмы крана получают движение от дизельных двигателей или других двигателей внутреннего сгорания.

Электропривод. При использовании электрического многодвигательного привода каждый механизм имеет отдельный электродвигатель.

Гидравлический привод. При использовании гидропривода каждый механизм оснащен своим гидродвигателем.

Смешанный привод.

В зависимости от типа приводного механизма самоходный стреловой кран можно разделить на 2 группы.

Привод с одним двигателем: Все рабочие механизмы приводятся в действие 1 или более двигателями, приводимыми в действие на 1 вал. Привод с одним двигателем может быть механическим или комбинированным.

Многодвигательный привод. Каждый механизм приводится в движение отдельным двигателем.

Тип оборудования стрелы.

Используются стреловые краны

Стреловое устройство – крановое устройство, состоящее из рабочей (наклонной) стрелы, ее опорных элементов и крюковой подвески. Стреловое крановое оборудование представляет собой наклонную стрелу, которая крепится к поворотной раме крана.

Башенное стреловое оборудование (сокращенно БСО, в данном случае конструкция крана БСИ) – сменное оборудование самоходного стрелового крана с механическим приводом, состоящее из вертикальной или наклонной башни (мачты), стрелы с гуськом (или без него) и необходимых устройств. Мачта оборудования крепится к поворотной раме крана и конструктивно представляет собой пространственную ферму, на вершине которой на шарнирных соединениях прикреплен стрела с возможностью изменять угол наклона. Кран, на котором

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

установлен этот тип оборудования, обеспечивает максимальное свободное пространство, которое называется полезным подстреловым пространством.

Крановое оборудование одноковшового экскаватора – решетчатая стрела, установленная на одноковшовом экскаваторе. В этом случае экскаватор используется в качестве стрелового крана. Грузоподъемность кранового оборудования для экскаваторов с ковшом емкостью 0,4 м³. 0,65 м³; 1 м³ и 1,65 м³: 6,3 т; 10 тонн; 16 тонн и 25 тонн.

По конструкции он делится на 2 основных типа.

Решетчатая стрела. Они подвешены на гибкой подвеске с помощью канатной системы от стрелы цепной лебедки. Стрела, изменяемая по длине при помощи специальной вставки, которая установлена в центре стрелы.

По конструкции решетчатая стрела делится на 4 подвида.

Прямая решетчатая стрела. Они используются в кранах, предназначенных для выполнения различных задач. В этом случае при небольшом вылете стрелы при максимальной грузоподъемности крана возникнет ситуация, когда пространства под стрелой будет недостаточно для подъема крупногабаритных грузов.

Не прямые стрелы. Стрела подвешена на цепной лебедке стрелы в зоне изгиба стрелы. Он используется для увеличения пространства под стрелой. В таких случаях размеры поднимаемого груза могут быть очень большими, но стрела будет иметь большой изгибающий момент, и при вращении крана будет создаваться большой крутящий момент.

Расширяемые(наращиваемые) стрелы. Стрела крана большой грузоподъемности состоит из нескольких вставных секций

Шарнирно – сочленённые стрелы Представляют собой шарнирный четырехугольник состоящий из стрелы, хобота и оттяжки. Обеспечивают перемещение по горизонтали конец хобота и груза. Благодаря свойствам четырёхугольника позволяют перемещать высокогабаритные грузы. В портах применяются 2 вида стрел:

- с жесткой оттяжкой выполненной в виде решетчатой или коробчатой балки;
- с гибкой канатной оттяжкой.

1.2 Конструкция стрелочного крана «Кондор».

Кран «Кондор» спроектирован и изготовлен на заводе «VEB Kranbau Eberswalde» в Германской Демократической Республике .

Кран предназначен для перегрузки контейнеров международного стандарта, штучных и навалочных грузов. Преимущественное применение крана для перегрузки контейнеров и штучных грузов определяет его конструктивные особенности.

Технические данные крана:

Тип крана порталный электрический

										13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							12

Тип стреловой системы шарнирно-сочлененная стрела с прямым хоботом и жесткой оттяжкой.

Грузоподъемность крана, при работе с крюковой подвеской на вылетах стрелы 8—32 м 32 т и от 8—25 м 40 т.

Наибольшая высота подъема от головки рельса кранового пути до центра зева крюка крюковой подвески 28,5 м.

Наибольшая глубина опускания от головки рельса кранового пути до центра зева крюка крюковой подвески 13,0 м.

Скорость подъема груза 40 м/мин., спуска груза 47 м/мин., изменение вылета стрелы 40 м/мин., передвижения крана 20 м/мин.

Частота вращения поворотной части крана 1,0 об/мин., траверсы грузоподъемного электромагнита 1,0 об/мин., наибольший угол разворота траверсы грузоподъемного электромагнита 120 град.

Общая высота крана со стрелой на минимальном вылете 51,5 м.

Число ходовых колес общее 32 в том числе приводных 16

Масса крана при работе с крюковой подвеской 371 т.

Энергопитание, род тока переменный трехфазный, частота 50 Гц, напряжение ввода на кран 380 В, электродвигателей основных механизмов 380 В, цепей управления 220 В, сетей освещения и отопления 220 В.

Двух путный четырех опорный портал опирается на 16 двухколесных ходовых тележек, 8 из которых имеют привод.

Поворотная часть крана крепится на поворотной колонне, которая опирается на портал с помощью подпятника и опорных катков. На поворотной колонне установлены: машинное помещение с механизмом подъема, кабина управления, механизм поворота, механизм изменения вылета и шарнирно-сочлененная стреловая система.

Стреловая система состоит из стрелы, хобота, жесткой оттяжки и коромысла, к которому крепится противовес.

Электропривод механизма вылета стрелы и лебедок механизма подъема груза состоит из двух электродвигателей, один из которых работает в приводном режиме, другой — в режиме динамического торможения.

Механизм поворота имеет 2 приводных электродвигателя, подключенных параллельно. При нажатии кнопки и педали или только педали осуществляется динамическое торможение одним или двумя электродвигателями.

В режиме динамического торможения электродвигатели питаются постоянным током от выпрямителей.

В приводе механизма передвижения установлены 8 электродвигателей.

Каждый из 16 тормозов механизмов имеет электрогидравлический толкатель.

										13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							13

Пуск электродвигателей основных механизмов осуществляется автоматически в функции времени с помощью контакторно-релейной аппаратуры и пускорегулировочных резисторов. Частота вращения электродвигателей определяется положением рукоятки командоконтроллера.

У электродвигателей механизмов вылета стрелы, поворота крана и подъема груза пускорегулировочные резисторы включены в цепь ротора, у электродвигателей механизма передвижения — в их общую статорную цепь.

На кране применена индивидуальная компенсация реактивной мощности; параллельно приводным электродвигателям основных механизмов подключены конденсаторные установки.

Электропитание крана осуществляется от электрической колонки с помощью четырехжильного шлангового кабеля сечением $3 \times 185 + 1 \times 95$ мм². Кабельный барабан имеет грузовой привод.

Подключением вспомогательного кабеля сечением 4×25 мм² обеспечивается возможность перегона крана на расстояние до 100 м в обе стороны от электрической колонки.

Установленная суммарная мощность приводных электродвигателей (при ПВ 40%) всех механизмов составляет 377 кВт.

Средний ток, потребляемый электродвигателями механизмов при различных совмещениях рабочих движений крана, не превышает 740 А.

Пиковый ток, потребляемый электродвигателями в момент их пуска при различных совмещениях рабочих движений крана, не превышает 1100 А.

Среднее значение 0,80—0,85 коэффициента мощности ($\cos \phi$) для крана в целом достигается только при работе с грузом не менее 16 т и колебании напряжения питания в пределах 351,5—380 В.

В комплект поставляемых с краном грузозахватных органов входят: крюковая подвеска, поворотная подвеска с грузоподъемным электромагнитом, 2 спредера для перегрузки контейнеров типа 1С (20-футовых) и 1А (40-футовых).

Кроме грузозахватных органов, в комплект крана входят: инструмент, сменно-запасные части, вспомогательные устройства для перевода крана на перпендикулярные пути, техническая документация.

Основные металлические конструкции крана — портал, колонна, шарнирно-сочлененная стреловая система — выполняются сварными из листовой стали. Составные части металлических конструкций соединяются между собой болтами.

Портал состоит из балок коробчатой конструкции и двутавров. Нижняя часть портала включает в себя четыре опоры, попарно соединенные между собой вдоль подкрановых путей балками, и крестовину, на центральной части которой

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

крепится подпятник колонны. Для обеспечения достаточной жесткости конструкции портала балки, стягивающие его опоры, дополнительно соединяются с последними раскосами.

Верхняя часть портала представляет собой ферму, которая крепится болтами к нижней части портала. На верхней части портала с помощью четырех самоустанавливающихся сферических пальцев устанавливается опорный круг, на котором крепятся рельс опорно-поворотного устройства и зубчатый венец. Такая установка опорного круга обеспечивает возможность его перемещения относительно портала, необходимую при монтаже крана.

После завершения монтажных работ положение опорного круга относительно портала фиксируется с помощью четырех болтов. Действующие на колонну горизонтальные нагрузки воспринимаются через рельс опорно-поворотного устройства опорным кругом и передаются им на портал.

Колонна коробчатой конструкции состоит из нижней и верхней частей, соединенных между собой с помощью болтов. Для обеспечения необходимой жесткости колонны внутри нее продольно привариваются швеллеры и устанавливаются диафрагмы. В нижней части колонны имеются проушины для крепления стрелы и машинного помещения. В верхней части колонны есть проушины для крепления: оттяжки стрелы; коромысла противовеса; тяги, поддерживающей машинное помещение; вал-шестерни механизма изменения вылета и редуктора этого механизма. В верхней части колонны имеется овальное отверстие для прохождения через него зубчатой рейки механизма изменения вылета. Перемещение зубчатой рейки при работе крана на вылетах, близких к максимальному, ограничивается упорами, приваренными к колонне с внутренней стороны овального отверстия.

Шарнирно-сочлененная стреловая система состоит из стрелы с хоботом, жесткой оттяжки и коромысла подвижного противовеса. Все перечисленные элементы металлоконструкции представляют собой балки коробчатого типа, необходимая жесткость которых обеспечивается диафрагмами, швеллерами и уголками, приваренными с внутренней стороны.

На стреле имеются проушины, с помощью которых она шарнирно соединяется с хоботом, коромыслом подвижного противовеса, зубчатой редкой и колонной. Жесткая оттяжка шарнирно соединяется со стрелой и с колонной. Все шарнирные соединения стреловой системы выполнены на подшипниках качения.

Машинное помещение представляет собой сварную конструкцию из листовой стали, которая крепится с помощью пальцев к нижней части колонны и с помощью тяги к верхней части колонны. В машинном помещении размещаются механизм подъема и неподвижный противовес.

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Кабина крановщика сваривается из листовой стали и крепится болтами к кронштейнам колонны.

1.3 Механизм вылета стрелы

Механизм изменения вылета стрелы реечного типа размещается на колонне крана выше кабины крановщика.

Общий вид механизма изменения вылета стрелы приведен на рис.1.1. Электропривод механизма состоит из приводного 6 и тормозного 2 электродвигателей мощностью по 22 кВт при ПВ 40%. С помощью тормозного электродвигателя обеспечивается возможность перемещения стреловой системы с малой скоростью и электрическое торможение механизма. Оба электродвигателя соединяются с быстроходным валом редуктора с помощью втулочно-пальцевых муфт 5, полумуфты которых со стороны редуктора выполнены в виде тормозных шкивов. Остановка привода осуществляется двумя двухколодочными нормально замкнутыми тормозами с электрогидравлическим толкателем 4 после установки рукоятки командоконтроллера в нулевое положение. Наложение тормозных колодок на тормозной шкив происходит при срабатывании реле контроля частоты вращения после понижения частоты вращения вала электродвигателя до 230—270 об/мин, что обеспечивается электрическим торможением. Предварительное электрическое торможение позволяет снизить динамические нагрузки на элементы механизма изменения вылета и металлоконструкции крана, а также уменьшить износ тормозных шкивов и обкладок тормозных колодок. Цилиндрический вертикальный трехступенчатый редуктор 7 имеет передаточное число $i=90$. Полый тихоходный вал редуктора соединяется с помощью шлицев с входящей в него вал - шестерней 19, отсутствие относительного осевого смещения которой обеспечивается болтом 21.

Вал – шестерня опирается на сферические подшипники, установленные в приваренных к колонне кронштейнах 10.

Зацепление вал - шестерни 19 с зубчатой рейкой 11 обеспечивается устройством, состоящем из двух прижимных роликов 12, оси которых крепятся в щеках 13. Щеки опираются на вал-шестерню 19 через подшипники качения. Зубчатая рейка опирается на два кольца 14, установленные свободно на вал - шестерне 19. Регулирование зацепления вал - шестерни с зубчатой рейкой осуществляется регулировочным винтом 8 путем поворота эксцентриковой оси одного из прижимных роликов 12. Зубчатая рейка шарнирно крепится к стреле и при изменении вылета последней проходит через овальное отверстие в колонне.

										13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							16

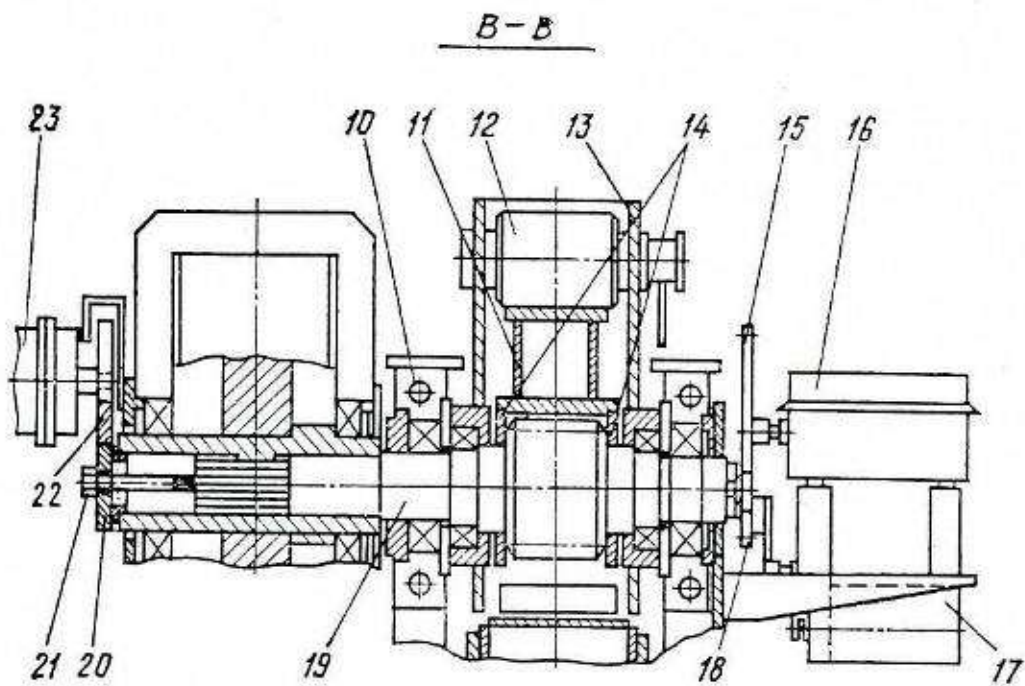
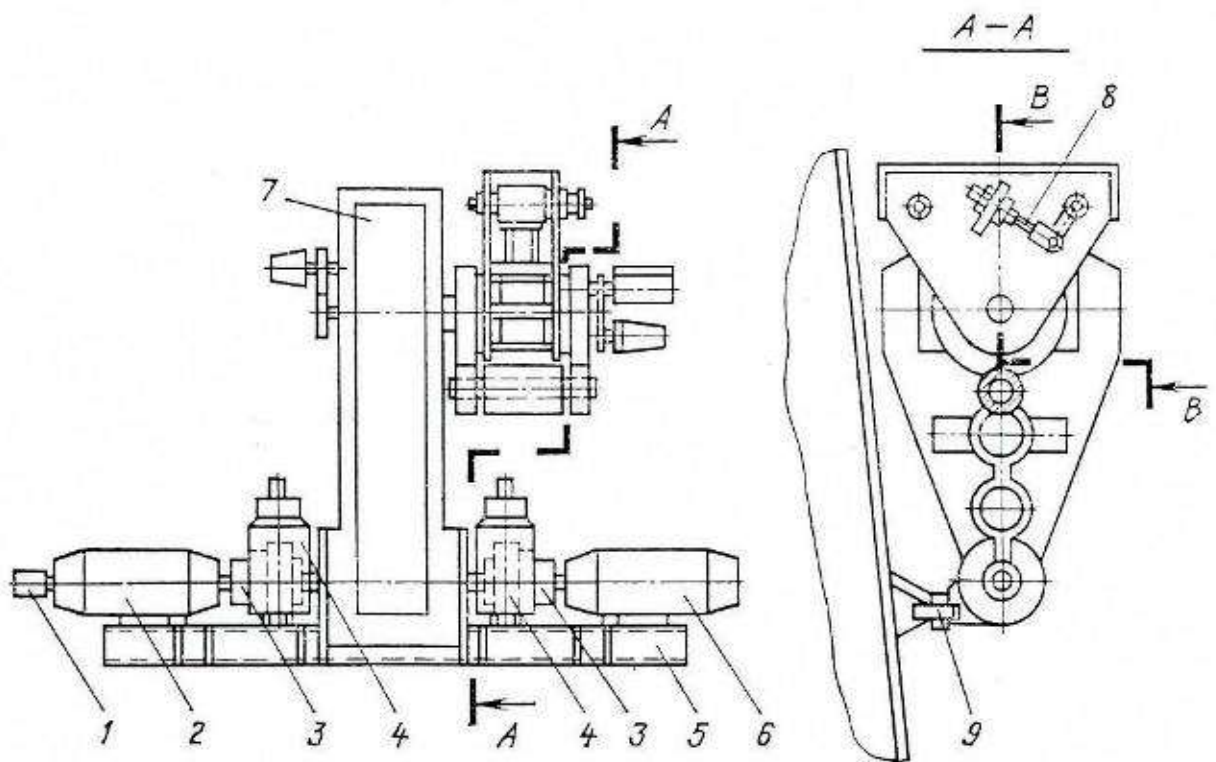


Рисунок 1.1. Механизм вылета стрелы

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Привод механизма вылета монтируется на раме 5, которая соединяется болтами с корпусом редуктора и подвешивается вместе с последним на вал - шестерне 19. Корпус редуктора лебедки дополнительно крепится к колонне крана двумя серьгами 9, между которыми вставлен клин, выбирающий зазоры в шарнирах.

На конце вал - шестерни 19 устанавливается зубчатое колесо 18, которое входит в зацепление с зубчатым колесом 15 кулачкового конечного выключателя 16. Кулачковым конечным выключателем осуществляется уменьшение скорости движения стреловой системы (предварительное торможение) путем включения тормозного электродвигателя, а также отключение электропривода лебедки механизма изменения вылета. Отключение электродвигателя лебедки производится на вылетах стрелы 9 и 31,5 м, а при работе крана в режиме повышенной грузоподъемности — на вылетах 9 и 24,6 м соответственно при уменьшении или увеличении вылета стрелы. Предварительное торможение лебедки производится на вылетах стрелы 11 и 30 м, а при работе крана в режиме повышенной грузоподъемности — на вылетах 11 и 23 м соответственно при уменьшении или увеличении вылета стрелы. Кроме кулачкового конечного выключателя, на лебедке механизма изменения вылета имеется рычажный конечный выключатель 17, который используется в качестве аварийного и отключает электропривод лебедки при увеличении вылета стрелы до 32,6 м.

На конце вал - шестерни 19, противоположном конечным выключателям, устанавливается шестерня 20; которая входит в зацепление с зубчатым колесом 22 сельсина-датчика указателя вылета стрелы 23. В качестве указателя вылета стрелы в кабине крановщика установлен электрический стрелочный прибор (сельсин-приемник), который получает сигнал от сельсина-датчика.

2 Требования предъявляемые к электрооборудованию стрелочного крана

Основное крановое электрооборудование: электродвигатели, силовые, магнитные и командные контролеры, пускорегулировочные резисторы, тормозные электромагниты, конечные выключатели и другие – в значительной степени стандартизировано.

Рабочее напряжение сети питающее кран не должно превышать 500 В. В соответствии с этим на кранах применяется электрооборудование на 220 или 440 В постоянного тока и 220 или 380 В переменного тока. На напряжение 440В используется только в силовых цепях кранов большой грузоподъемности.

Для защиты питающих проводов и электродвигателей от токов К.З. и значительных перегрузок (свыше 225%) на кранах предусматривается максимальная токовая защита с помощью реле максимального тока или автоматических выключателей.

Плавкие предохранители используют только для защиты цепей управления. Тепловая защита на кранах обычно не применяется, так как в условиях продолжительного включения она может приводить к ложным отключениям. Для

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

предотвращения самозапуска двигателей, т.е. самопроизвольного пуска их при восстановления напряжения сети после перерыва в электроснабжении, в электрических схемах кранов используют совместно с «нулевой» защитой блокировку нулевой позиции контроллеров.

Обязательным является наличие конечных выключателей для автоматической остановки механизмов при подходе их к крайним положениям. Для безопасности обслуживания электрооборудования люк для выхода из кабины на мост снабжается конечным выключателем, снимающим напряжение со вспомогательных троллеев при открывании люка.

Все токоведущие части в кабине крана полностью заграждаются. Механизмы крана оснащаются тормозами замкнутого типа с электромагнитами, которые автоматически растормаживают механизм при включении и автоматически растормаживают при отключении двигателя. Металлоконструкции кранов и все металлические части электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением из-за порчи изоляции, должны быть заземлены. Соединение с контуром заземления цеха осуществляется через подкрановые пути.

3 Требования, предъявляемые к электроприводу механизма вылета стрелы

Требования предъявляемые к электроприводу вылета стрелы:

- Двигатель должен быть защищен от перегрузки и коротких замыканий в силовой цепи и цепи управления. При прекращении питания приводного двигателя должна автоматически отключиться цепь управления, а после восстановления должен быть исключен самозапуск;
- Привод главного подъёма должен быть обеспечен нормально - замкнутым контактом, а при включении двигателя тормоз должен автоматически открываться. Замыкание токоведущих частей электрического устройства привода тормоза на корпус не должно вызвать самопроизвольное включение этого привода. У электродвигателя переменного тока при питании от управляемого преобразователя, снятие механического тормоза должно происходить при величине тока двигателя, который обеспечивает необходимый момент для удержания кабины;
- Привод должен быть реверсивным;
- Класс нагревостойкости изоляционных материалов выбранного типа привода должен быть F или H;
- Работа привода в повторно- кратковременном режиме с ПВ = 40 %;
- Ускорение подъема крюка с грузом не должно превышать $a_{\max} = 0,3 \text{ м/с}^2$;
- Скорость подъёма не должна превышать $V_{\max} = 1,4 \text{ м/с}$;
- Диапазон регулирования привода подъёма D (4:1);

4 Двигатели, используемые в электроприводе механизма вылета стрелы

Находят применения крановые электродвигатели трехфазного переменного тока (асинхронные) и постоянного тока (последовательного или параллельного возбуждения). Они работают, как правило, в повторно-кратковременном режиме при широком регулировании частоты вращения, причем работа их сопровождается значительными перегрузками, частыми пусками, реверсами, торможениями. Кроме того, электродвигатели крановых механизмов работают в условиях повышенной тряски и вибраций. В ряде случаев применения они, помимо всего этого, подвергаются воздействию высокой температуры (до 60-70 °С), паров и газов.

В связи с этим по своим технико-экономическим показателям и характеристикам крановые электродвигатели отличаются от двигателей общепромышленного исполнения.

Основные особенности крановых двигателей:

- Исполнение, обычно, закрытое;
- Изоляционные материалы имеют класс нагревостойкости F и H;
- Момент инерции ротора по возможности минимальный, а номинальная частота вращения относительно небольшая - для уменьшения потерь энергии в переходных процессах;
- Магнитный поток относительно велик - для обеспечения большой перегрузочной способности по моменту;
- Значение кратковременной перегрузке по моменту для крановых электродвигателей постоянного тока в часовом режиме составляет 2,15 -5,0, а для двигателей переменного тока - 2,3 - 3,5;
- Отношение максимально допустимой рабочей частоты вращения к номинальной составляет для постоянного тока 3,5 - 4,9, для электродвигателей переменного тока 2,5;

Для крановых электродвигателей переменного тока за номинальный режим принят режим с ПВ = 40%, а для электродвигателей постоянного тока наряду с этим режимом - режим 60 минут (часовой). Наиболее широко для привода крановых механизмов применяются трехфазные асинхронные электродвигатели с фазным ротором, обеспечивающие регулирование скорости и плавный пуск при относительно большом значении нагрузки на валу. Эти электродвигатели устанавливаются на крановых механизмах при среднем, тяжелом и весьма тяжелом режимах работы. Они допускают регулирование пускового момента в заданных пределах и регулирование скорости в диапазоне (1:3) - (1:4).

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором применяются

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

реже (для привода механизмов передвижения малоответственных тихоходных кранов) из-за несколько повышенного пускового момента и значительных пусковых токов, хотя масса их примерно на 8 % меньше, чем у асинхронных двигателей с фазным ротором, а стоимость в 1,3 раза меньше, чем у этих двигателей при одинаковой мощности. Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором иногда применяют при режимах Л и С (для механизмов подъёма). Применение их на механизмах кранов, работающих в более тяжелых режимах, ограничено малой допустимой частотой включения и сложностью схем регулирования скорости.

Преимуществами асинхронных электродвигателей по сравнению с электродвигателями постоянного тока являются их относительно меньшая стоимость, простота обслуживания и ремонта. Масса кранового асинхронного электродвигателя с наружной самовентиляцией в 2,2 - 3 раза меньше массы кранового электродвигателя постоянного тока при одинаковых номинальных моментах, а масса меди соответственно примерно в 5 раз меньше. Если эксплуатационные затраты принять за единицу для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, то для электродвигателей с фазным ротором эти затраты составят 5 единиц, а для электродвигателей постоянного тока 10 единиц. Поэтому в крановых электроприводах наиболее широкое применение получили асинхронные электродвигатели (около 90 % от общего числа электродвигателей).

Электродвигатели постоянного тока целесообразно применять в тех случаях, когда требуется широкое и плавное регулирование скорости, для приводов с большим числом включений в час, при необходимости регулирования скорости вверх от номинальной, для работы в системе Г-Д.

В последнее время достижения в создании относительно малогабаритных и экономичных силовых полупроводниковых преобразователей еще более расширили область применения электродвигателей переменного тока. Полупроводниковые преобразователи на полностью управляемых силовых ключах, а именно: IGCT- тиристорах и силовых IGBT-транзисторах дают возможность применять асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором в крановом хозяйстве повсеместно.

5 Описание систем автоматизации

5.1 Примеры систем электропривода

Для достижения автоматического управления предусмотрены управляемый преобразователь и регулятор, позволяющий автоматически регулировать

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

координаты электропривода под воздействием обратной связи (в данном случае крутящего момента и скорости). Наиболее широко используются электромашинные и вентильные управляемые преобразователями постоянного напряжения и частоты переменного тока и соответствующими системами ЭП:

- Система генератор – двигатель (Г – Д);
- Система тиристорный преобразователь – двигатель (ТП – Д). Кроме того, скорость и крутящий момент можно изменять, регулируя реостат. Выбор правильного метода управления из возможных методов управления является важной задачей, которую необходимо решить при проектировании электропривода.

Все вышеперечисленные системы имеют ряд преимуществ и недостатков, но, проанализировав их с учетом технических требований и специфики механизма, мы сможете выбрать правильную систему регулирования.

В настоящее время система Г – Д продолжает успешно применяться. Его главным преимуществом является потребления тока из сети без искажений и относительно низкое потребление реактивной мощности. Когда в блоке преобразователя используется синхронный двигатель, работа ЭП с $\cos \varphi$ может быть гарантирована для компенсации реактивной мощности, потребляемой другими устройствами, путем регулировки тока возбуждения.

К сожалению, система Г – Д имеет некоторые существенные недостатки, в размере 3 – кратного электромеханического преобразования энергии. Поэтому низкие массогабаритные и энергетические показатели, и благоприятные регулировочные возможности достигаются ценой существенных затрат меди, высококачественной стали и большие затраты на рабочую силу. В дополнение к этому, он характеризуется низким КПД системы.

КПД системы ПЧ – АД ниже, чем у системы ТП – Д, и быстродействие и экономичность ниже.

Учитывая метод реостатного регулирования, невозможно не заметить низкую точность и диапазон регулирования, низкую плавность, массогабаритные показатели (наличие резисторов, распределительных устройств) и уменьшения КПД по мере расширения диапазона регулирования. Но он привлекателен своей простотой и низкой стоимостью реализации.

5.2 Система Управляемый преобразователь – двигатель

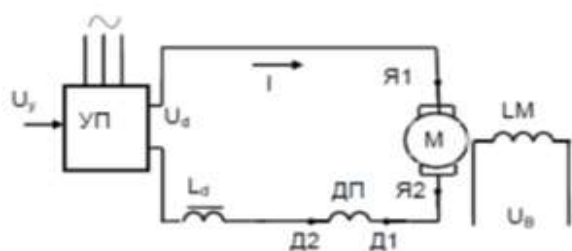


Рисунок 5.1 - Система «Управляемый преобразователь – двигатель»

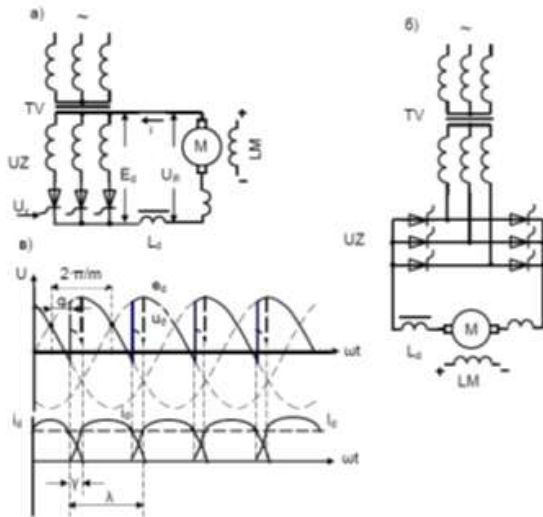


Рисунок 5.2 - Системы ТП-Д со схемами преобразователей: а – трехфазная нулевая схема; б – трехфазная мостовая схема; в - диаграмма напряжений и токов трехфазной нулевой схемы

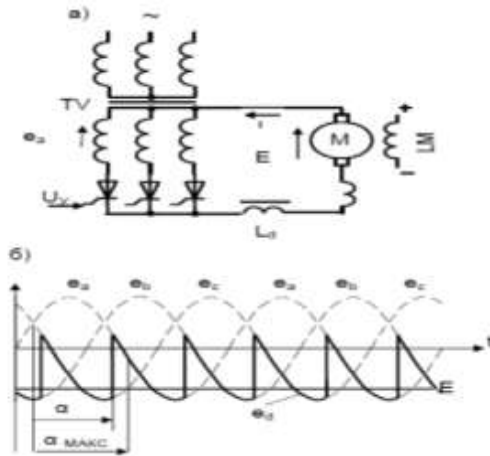


Рисунок 5.3 - Инверторный режим в системе ТП-Д: а – трёхфазная нулевая схема; б – диаграмма напряжений

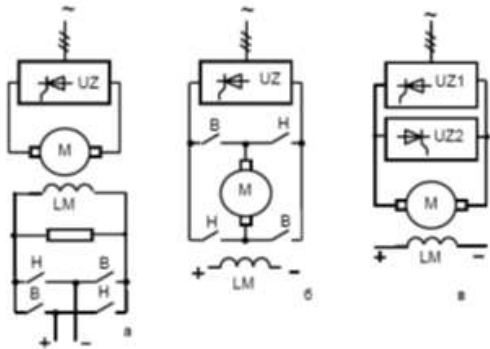


Рисунок 5.4 - Схемы реверса двигателя в системе ТП-Д: а) переключением обмотки возбуждения двигателя; б) переключением якоря двигателя; в) использованием двух комплектов преобразователей

Изучая характеристики двигателя постоянного тока, увидим, что наиболее экономичным способом регулировки угловой скорости является не сопротивление цепи якоря или обмотки возбуждения двигателя, а изменение напряжения, подаваемого на якорь.

Для регулирования напряжения требуется специальный силовой преобразователь. Поэтому в этом разделе мы рассмотрим характеристики не одного двигателя, а комплекса, состоящего из силового преобразователя и двигателя, который можно считать системой электропривода. Распределение электроэнергии в промышленности осуществляется переменным током. Для питания двигателя постоянного тока установлен преобразователь переменного тока в постоянный. В качестве устройств силовой преобразователь – двигатель применяются:

- Электромеханическая система Генератор-Двигатель (Г – Д);
- Вентильный выпрямитель – двигатель (УВ – Д), наиболее распространенная такая система называется ТП – Д тиристорный (транзисторным) преобразователь двигатель;
- Шарнирно – импульсный преобразователь - двигатель (ШИП – Д);
- Магнитный усилитель (индуктивно – вентильный преобразователь) – Двигатель (МУ – Д);
- Индуктивно – емкостной преобразователь – двигатель (ИЕП – Д);

В установленной технике управляемый выпрямитель (рисунок 5.1) На практике он реализован только на электронных полупроводниковых приборах: тиристорах, полностью управляемых тиристорах (GTO) и мощных транзисторах (IGBT). Управляемые выпрямители преобразуют переменное напряжение ($f_s = 50$ Гц) промышленной сети в выпрямленное напряжение, основная частота пульсаций которого редко превышает $6 f_s \dots 12 f_s$. Электромашинные преобразователи применяются значительно реже, в основном приводятся в эксплуатацию ранее установленные системы.

Преимущества вентильного преобразователя:

- Статический аппарат (Электромашинный - вращающийся);
- Низкая стоимость строительных деталей (для двигателя требуется фундамент);
- Низкая металлоемкость цветных и черных металлов;
- Простота ремонта и эксплуатации (блочная конструкция);
- Высокий КПД (небольшое падение напряжения на вентильях);
- Незначительная инертность;
- Малая мощность управления.

Минусы вентильного преобразователя :

- Низкая перегрузочная способность, низкая тепловая инерция;
- Низкая мощность преобразования в 1 элементе.
- Искажение синусоидального напряжения питания;
- Вызывает помехи в сети мешающие работе устройства.

5.3 Система Г – Д

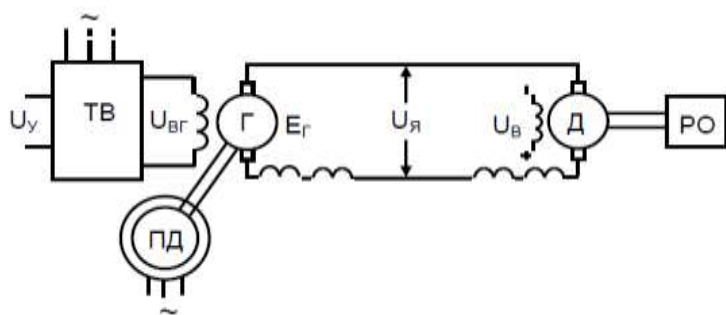


Рисунок 5.5 – Система Г – Д

Система генератор – двигатель (Г – Д) регулируется изменением напряжения на клеммах якоря. Эта система была распространена до появления силовой электроники (тиристоров, ртутных вентили, тиристоров), но все еще используется во многих механизмах сегодня.

Система, в которой двигатель получает питание от другого электромашинного генератора, называется системой Г – Д. Преобразование электроэнергии переменного тока в электроэнергию постоянного тока осуществляется преобразовательным агрегатом – приводной двигатель ПД и генератор постоянного тока Г. Приводной двигатель вращается с постоянной скоростью $\omega_G \approx \text{const}$

Якорь двигателя М соединен с якорем генератора Г (рис. 5. 5).

Регулировка напряжения якоря двигателя М осуществляется изменения ЭДС генератора путём тока возбуждения генератора. Обмотка возбуждения генератора получает питание от возбудителя. В последнее время тиристорные возбудители ТВ чаще всего используется в качестве возбудителей.

Путем изменения напряжения управления U_y регулируется напряжение обмотки возбуждения $U_{ВГ}$ генератора и изменяется ток возбуждения $I_{ВГ}$, поток генератора ФГ. Изменяются ЭДС генератора E_G , напряжение на якоре $U_я$ и скорость вращения двигателя.

5.4 Система ПЧ-АД

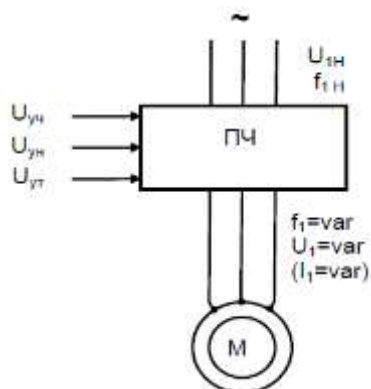


Рисунок 5.6 – Система ПЧ-АД

С панели управления включается звуковая сигнализация. Через 30-40 секунд оператор нажимает кнопку "Пуск", чтобы отправить управляющий сигнал на катушку контактора, и катушка контактора втягивает сердечник для подачи питания на электродвигателя.

При нарушении нормального режима работы питание на электродвигатель может быть выключено.

Система состоит из преобразователей частоты подключённых к асинхронному двигателю с короткозамкнутым ротором. Блока управления ПЧ. Пульта управления выполняет сбор, обработку информации и выдачу команд управления на блок управления.

Информация с датчика скорости поступает в блок управления блока управления, где она обрабатывается (в сравнении с настройками пульта установленными), и управляющий (аналоговый) сигнал выводится на ПЧ. Блок управления также обеспечивает плавный пуск двигателя.

Указанный алгоритм пуска обеспечивается системой управления блока управления, а его управляющий выходной сигнал задает параметры ШИМ-модулятора преобразователя частоты.

Управление электродвигателем включает в себя автоматизацию всех работ: пуск электродвигателя, торможение, реверс, изменение скорости вращения.

При автоматическом пуске плавное включение пусковых сопротивлений, и ток можно регулировать в пределах требуемого предельного диапазона, уменьшается количество ошибок, возникающих в процессе пуска, и повышая общую производительность системы. То же самое относится к реверсу и торможению.

Регулирование частоты может устранить постоянную скорость вращения ротора двигателя, не зависящего от нагрузки, что является одним из серьезных недостатков двигателя с короткозамкнутым ротором. С помощью частотного регулирования скорость электродвигателя можно регулировать в зависимости от характера нагрузки. Это позволяет избежать сложных переходных процессов в сети и обеспечить работу оборудования в наиболее экономичном режиме.

Двигатель с регулируемой частотой вращения эффективно используется на промышленных предприятиях, в энергетике, коммунальном хозяйстве и других областях. Это связано с тем, что частотный контроль позволяет автоматизировать производственный процесс, экономично расходовать электроэнергию и другие производственные ресурсы, улучшить качество продукции и повысить надежность всей системы.

Регулировка частоты также может повысить безаварийную работу и долговечность технической системы. Это может быть гарантировано снижением пускового тока, устранением перегрузки компонентов системы и постепенным увеличением времени безотказной работы оборудования. Для регулирования частоты используется преобразователи частоты со встроенными ПИД-регуляторами (пропорционально – интегрально – дифференциальные регуляторы) для точной регулировки заданных технических параметров.

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Преобразователи частоты в отличие от других устройств регулирования скорости двигателя, таких как гидравлические муфты, системы генератор-двигатель и механические вариаторы, позволяют избежать различных недостатков в работе системы. Говорится об узком диапазоне регулировки оборудования, сложности эксплуатации, низком качестве работ и неэкономичности всей системы.

Плавное регулирование скорости вращения двигателя позволяет в большинстве случаев отказаться от использования редукторов, вариаторов, дросселей и других регулировочных устройств. Это значительно упрощает управляемую механическую (технологическую) систему и повышает надежность и снижает эксплуатационные расходы.

Частотно управляемый пуск двигателя обеспечивает плавное ускорение без увеличения пускового тока и механических ударов при разгоне. Это снижает нагрузку на двигатель и связанные с ним механизмы, что увеличивает срок службы. В то же время мощность приводного двигателя нагрузочного механизма может быть уменьшена в зависимости от условий пуска.

С помощью встроенного микропроцессорного ПИД – регулятора можно реализовать систему регулировки скорости управляемого двигателя и связанных с ним технических процессов.

Обратная связь системы и использование преобразователей частоты обеспечивают качественное поддержание скорости вращения вала двигателя или регулируемых технических параметров под воздействием изменяющихся нагрузок и других возмущений.

Преобразователь частоты с асинхронным двигателем может быть использован для замены привода постоянного тока.

Преобразователь частоты оснащен программируемым микропроцессорным контроллером, который может быть использован для создания многофункциональных систем управления электроприводами, в том числе с резервирование механических агрегатов.

Использование частотно-регулируемого электропривода позволяет экономить электроэнергию за счет устранения неоправданных затрат, сопоставимых с альтернативными методами регулирования технического потока через дроссель, с использованием муфт и других механических регуляторов.

При использовании регулируемого электропривода крана средняя экономия энергии составляет 50-75% от мощности, потребляемой краном при регулировании дроссельной заслонки. Это определяет популяризацию приводов для управления крановыми установками. В то же время компания предлагает различные типы ПЧ для асинхронных двигателей кранов.

Основные возможности ПЧ

- Преобразователь частоты позволяет регулировать частоту трехфазного напряжения питания управляемого двигателя в диапазоне 0-400 Гц.
- Плавное ускорение и торможение двигателя по мере необходимости, в соответствии с линейными законами времени. Время разгона и (или) торможения

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

устанавливается от 0,01 секунды до 50 минут;

- Реверс двигателя, при необходимости плавное торможение и плавный разгон устанавливается до заданной скорости в противоположном направлении;
- При разгоне обеспечивает увеличение пусковых и динамических моментов до 150%;
- Преобразователь обеспечивает настраиваемую электронную самозащиту и защиту двигателя для предотвращения перегрузки по току, перегрева, утечки на землю и повреждения линий питания двигателей;
- С помощью преобразователя частоты вы можете использовать отображение цифровых индикаторов для мониторинга и формирования соответствующего выходного сигнала определенных ключевых параметров системы-частоты напряжения, тока, скорости двигателя и состояние преобразователя;
- В зависимости от типа нагрузки двигателя преобразователь может формировать требуемые выходные характеристики напряжения и частоты;
- Векторное управление реализовано в современных преобразователях. Это позволяет использовать полный момент двигателя в области нулевой частоты, поддерживать скорость при переменных нагрузках без датчика обратной связи и точно контролировать момент на валу двигателя.

6 Целесообразность модернизации электропривода механизма вылета стрелы крана

В настоящее время механизм вылета стрелы крана оснащен электроприводом на базе асинхронного двигателя с фазным ротором, а скорость регулируется изменением сопротивления цепи ротора.

Привод имеет:

- Мягкие характеристики, поэтому при увеличении крутящего момента нагрузки скорость значительно изменится;
- Небольшой диапазон регулирования скорости;
- Большие потери в цепи ротора следовательно низкий КПД;
- Наличие компонентов щеточного контакта делает двигатели с фазными роторами менее надежными.

В дополнение к этим недостаткам, двигатель применяемый в механизме изменения вылета стрелы имеет серьезный недостаток – ступенчатое регулирование скорости, значительно усложняющее работу механизма.

Ввиду этих недостатков существующего привода возникла проблема о необходимости модернизации электропривода вылета стрелы – заменить существующий электропривод на более надежный плавнорегулируемый электропривод.

В настоящее время в связи с созданием простых и надёжных преобразователей частоты, чаще применяются частотно – регулируемые электроприводы с применением асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

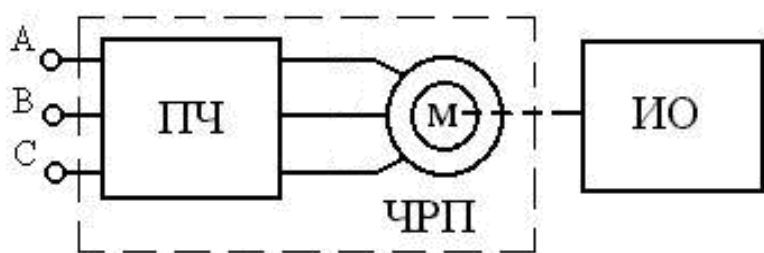
					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Во-первых, более выгодны в эксплуатации электроприводы на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутыми роторами. Отсутствию щеточно – контактного узла позволяет снизить объёмы, периодичность и стоимость технического обслуживания АД с КЗ ротором. Бесконтактная конструкция асинхронного двигателя с закороченным ротором может свободно и эффективно использоваться в сложных условиях работы (металлургия, транспортное средство) или невозможных (химическая агрессивная промышленность, погружные установки, взрывоопасные среды).

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором имеет низкую стоимость, простую конструкцию и технологию изготовления, малый момент инерции ротора и может длительное время работать при высокой температуре и угловой скорости вращения.

Учитывая вышеизложенную ситуацию, в качестве электропривода вылета стрелы рекомендуется использовать частотно-регулируемый электропривод с асинхронным короткозамкнутым ротором. Который отвечает требованиям по всем параметрам.

Способ регулирования скорости вращения двигателя выбираем частотный. Обеспечивающий плавное регулирование скорости в требуемом диапазоне, а полученные характеристики обладают высокой жесткостью. Есть еще одно важное свойство: регулирование скорости АД не сопровождается увеличением скольжения поэтому потери мощности при регулировке скорости очень малы.



ПЧ - преобразователь частоты

ИО - исполнительный орган

ЧРП - частотно регулируемый электропривод

Рисунок 6.1.Обобщенная схема частотно регулируемого электропривода

Чтобы лучше использовать АД и получить высокие энергетические показатели его работы (коэффициент мощности, КПД, перегрузочная способность), напряжение, подаваемое на двигатель, должно изменяться одновременно с частотой. В этом случае закон изменения напряжения зависит от характера крутящего момента нагрузки. Для центробежных кранов характерен "вентиляторный" закон регулирования.

$$\frac{U_1}{f_1^2} = Const$$

Общей системой частотно-регулируемых асинхронных приводов является система со статическим преобразователем частоты и автономным инвертором. Наибольшее применение для промышленных приводов имеют статические преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока (ПЗПТ). Структурная схема такого привода показана на рисунке 6.2.

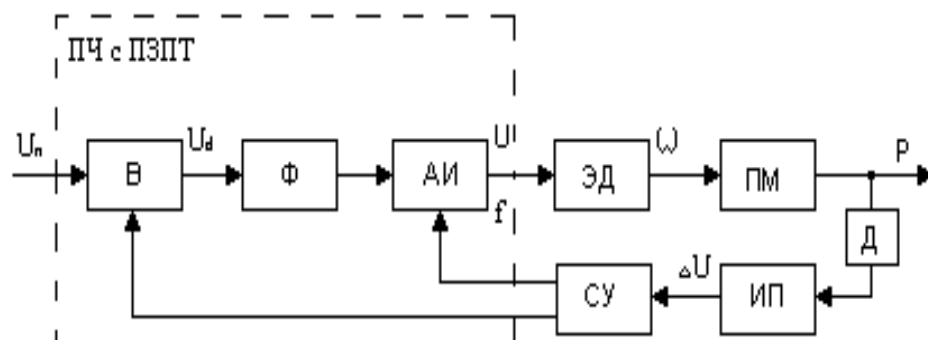


Рисунок 6.2. Структурная схема частотно-регулируемого привода

Преобразователь состоит из трех силовых элементов – выпрямителя (управляемого или неуправляемого), фильтра (Ф) и автономного инвертора (АИ). На вход выпрямителя (В) подается нерегулируемое напряжение переменного тока промышленной частоты (ИП); на выходе выпрямителя постоянное пульсирующее напряжение с постоянными значениями U_d и I_d

(в случае неуправляемого выпрямителя) или изменяющимися (в случае управляемого). С выхода выпрямителя постоянное напряжение через сглаживающий фильтр (Ф) подается на вход инвертора (чаще АИН), который преобразует постоянное напряжение в переменное регулируемой амплитуды и частоты ($U_2 = v a c$, $f_2 = v \sqrt{r}$). В качестве сглаживающего фильтра в данной схеме обычно используется катушка индуктивности с сердечником. Кроме силовых элементов, преобразователь содержит систему управления (рисунок 6.3), состоящую из блока управления выпрямителем (БУВ) и блока управления инвертором (БУИ). Выходная частота регулируется в широких пределах и определяется частотой коммутации тиристоров инвертора, которая задается блоком управления инвертором. В такой схеме производится раздельное регулирование амплитуды и частоты выходного напряжения, что позволяет осуществить при помощи блока задания скорости (БЗС) требуемое соотношение между действующим значением напряжения и частотой на зажимах асинхронного двигателя.

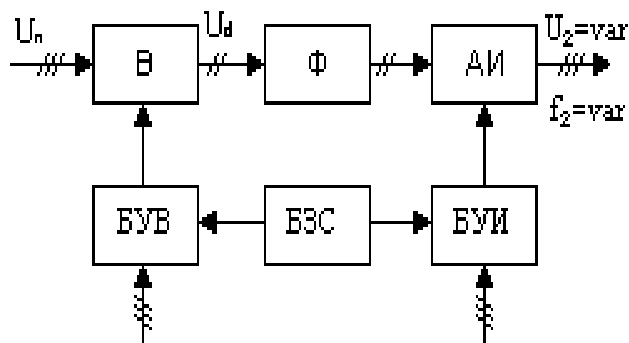


Рисунок 6.3. Система управления выпрямителем и инвертором

Промежуточное звено постоянного тока позволяет регулировать частоту как вверх, так и вниз от частоты питающей сети; он отличается высоким КПД (около 0,96), значительным быстродействием, малыми габаритами, сравнительно высокой надежностью и бесшумен в работе.

7 Технические данные для расчета мощности двигателя

Тип крана порталный электрический

Тип стреловой системы шарнирно-сочлененная стрела с прямым хоботом и жесткой оттяжкой.

Грузоподъемность крана, при работе с крюковой подвеской на вылетах стрелы 8—32 м 32 т и от 8—25 м 40 т.

Наибольшая высота подъема от головки рельса кранового пути до центра зева крюка крюковой подвески 28,5 м.

Наибольшая глубина опускания от головки рельса кранового пути до центра зева крюка крюковой подвески 13,0 м.

Скорость подъема груза 40 м/мин., спуска груза 47 м/мин., изменение вылета стрелы 40 м/мин., передвижения крана 20 м/мин.

Частота вращения поворотной части крана 1,0 об/мин., траверсы грузоподъемного электромагнита 1,0 об/мин., наибольший угол разворота траверсы грузоподъемного электромагнита 120 град.

Общая высота крана со стрелой на минимальном вылете 51,5 м.

Число ходовых колес общее 32 в том числе приводных 16

Масса крана при работе с крюковой подвеской 371 т.

Энергопитание, род тока переменный трехфазный, частота 50 Гц, напряжение ввода на кран 380 В, электродвигателей основных механизмов 380 В, цепей управления 220 В, сетей освещения и отопления 220 В.

8 Расчет электропривода механизма вылета стрелы крана

8.1 Расчет статического момента, мощности и скорости вращения двигателя вылета стрелы крана

Номинальная мощность двигателя $P_{2\text{НОМ}} = 22$ кВт;

Найдем номинальный ток статора $I_{1\text{ФН}}$ и момент двигателя $M_{\text{Н}}$

$$I_{1\text{ФН}} = \frac{P_{2\text{НОМ}} \cdot 10^3}{3 \cdot U_{1\text{ФН}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{22 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 41,152 \text{ А}$$

где $P_{2\text{НОМ}}$ – номинальная мощность двигателя;

$U_{1\text{ФН}}$ – номинальное фазное напряжение на зажимах двигателя.

$$M_{\text{Н}} = 9550 \cdot \frac{P_{2\text{НОМ}}}{n_c \cdot (1 - s_{\text{НОМ}})} = 9550 \cdot \frac{22}{1000 \cdot (1 - 0,023)} = 215,046 \text{ Нм}$$

где n_c – синхронная скорость двигателя;

$s_{\text{НОМ}}$ – номинальное скольжение.

Синхронная угловая скорость двигателя:

$$\Omega_{\text{ОН}} = \frac{n_c \cdot \pi}{30} = \frac{1000 \cdot 3,14}{30} = 104,667 \text{ рад/с.}$$

В формулы для расчета параметров объекта регулирования входят обмоточные данные двигателя, которые взяты из справочника. При этом надо иметь в виду, что в справочнике сопротивления обмоток двигателя приведены в относительных единицах. Поэтому необходимо произвести перерасчет сопротивлений в абсолютные единицы по формулам:

$$R_1 = R'_1 \cdot \frac{U_{1\text{ФН}}}{I_{1\text{ФН}}} = 0,05 \cdot \frac{220}{41,152} = 0,267 \text{ Ом,}$$

$$R'_2 = R''_2 \cdot \frac{U_{1\text{ФН}}}{I_{1\text{ФН}}} = 0,24 \cdot \frac{220}{41,152} = 0,128 \text{ Ом,}$$

$$x_1 = x'_1 \cdot \frac{U_{1\text{ФН}}}{I_{1\text{ФН}}} = 0,11 \cdot \frac{220}{41,152} = 0,588 \text{ Ом,}$$

$$h'_2 = x''_2 \cdot \frac{U_{1\text{ФН}}}{I_{1\text{ФН}}} = 0,14 \cdot \frac{220}{41,152} = 0,748 \text{ Ом,}$$

Расчет параметров объекта регулирования производится в соответствии с литературой.

Индуктивность обмотки статора и приведенная к статору индуктивность обмотки ротора:

$$L_1 = \frac{x_1}{2\pi f_1} = \frac{0,558}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,00187 \text{ Гн}$$

$$L'_2 = \frac{x'_2}{2\pi f_1} = \frac{0,748}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,00238 \text{ Гн}$$

Электромагнитная постоянная времени двигателя:

$$T_\varepsilon = \frac{L_1 + L_2}{R_1 + R_2} = \frac{0,00187 + 0,00238}{0,267 + 0,128} = 0,11 \text{ с}$$

Индуктивность фазы двигателя:

$$L_H = \frac{x_1 + x'_2}{2\pi f_1} = \frac{0,588 + 0,748}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0043 \text{ Гн}$$

Активное сопротивление фазы двигателя при номинальном скольжении $s_{\text{НОМ}}$:

$$R_H = R_1 + \frac{R'_2}{s_{\text{НОМ}}} = 0,267 + \frac{0,128}{0,023} = 5,846 \text{ Ом}$$

Постоянная времени нагрузки:

$$T_H = \frac{L_H}{R_H} = \frac{0,00425}{5,823} = 0,0007 \text{ с}$$

Расчетный коэффициент:

$$a = e^{\frac{-1}{(6f_1 T_H)}} = 2,718^{\frac{-1}{6 \cdot 50 \cdot 0,00073}} = 0,0103$$

Напряжение на входе инвертора (на выходе выпрямителя):

$$U_d = \frac{3U_{1\phi H}}{\sqrt{2}} = \frac{3 \cdot 220}{\sqrt{2}} = 466,69 \text{ В}$$

Входной ток инвертора (выходной ток выпрямителя):

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$I_{dH} = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot I_{1\phi H} \cdot \sqrt{1 - 3f_1 T_y \cdot \frac{1 - a^2}{1 - a + a^2}} =$$

$$= \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot 41,152 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot 50 \cdot 0,0007 \cdot \frac{1 - 0,0103^2}{1 - 0,0103 + 0,0103^2}} = 82,343 \text{ А}$$

Допустимое увеличение напряжения на входе инвертора:

$$\Delta U_c = 0,1 \cdot U_d = 0,1 \cdot 466,69 = 46,669 \text{ В}$$

При емкостном фильтре максимальная емкость конденсатора определяется по формуле:

$$C_\phi = \frac{U_d T_H}{3R_H \Delta U_c} \cdot (2 \cdot \ln(2) - 1) = \frac{466,69 \cdot 0,0007}{3 \cdot 5,846 \cdot 46,669} \cdot (2 \cdot \ln(2) - 1) = 0,000161 \text{ Ф}$$

Относительная частота напряжения статора:

$$v = \frac{f_1}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1$$

Абсолютное скольжение двигателя в рабочей точке:

$$s_2 = s_{\text{ном}} \cdot v = 0,023 \cdot 1 = 0,023$$

Коэффициент согласования относительного значения фазного напряжения статора двигателя $U_{1\phi \text{н. отн}} = \gamma \frac{U_{1\phi}}{U_{1\phi \text{н}}}$ с входным напряжением инвертора U_d

$$k_{cr1} = \frac{U_{1\phi \text{н. отн}}}{U_d}$$

При соединении обмотки статора двигателя в звезду $U_{1\phi} = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot U_d$,

тогда

$$k_{cr1} = \frac{\sqrt{2}}{3U_{1\phi \text{н}}} = \frac{\sqrt{2}}{3 \cdot 220} = 0,0021$$

Коэффициент согласования входного тока инвертора с фазным током статора двигателя:

$$k_{cr2} = \frac{I_{\square \text{н}}}{I_{1\phi \text{н}}} = \frac{82,343}{41,152} = 1,835$$

										Лист
										34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ					

Фиктивное сопротивление:

$$R_i = \frac{M_H}{k_{сг1}k_{сг2}M_{пнф}} \cdot \frac{v}{s_2} \cdot \frac{1}{I_{1фн}}$$

где M_H - номинальный момент двигателя

$$M_{кн} = m_k M_H = 2.4 \cdot 215,046 = 516,11 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Фиктивный пусковой момент двигателя при номинальных значениях напряжения и частоты статора:

$$M_{пнф} = \frac{2 \cdot M_{кн}}{s_k} = \frac{516,111 \cdot 2}{0,135} = 7646,09 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$R_i = \frac{M_H}{k_{сг1}k_{сг2}M_{пнф}} \cdot \frac{v}{s_2} \cdot \frac{1}{I_{1фн}} = \frac{215,046}{0,0021 \cdot 1,835 \cdot 7646,09} \cdot \frac{1}{0,023} \cdot \frac{1}{41,152} = 6.93 \text{ Ом}$$

Постоянная времени сглаживающего фильтра:

$$T_{\phi 2} = C_{\phi} \cdot R_i = 0,000161 \cdot 6.93 = 0,00112 \text{ с}$$

Расчет механических характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты питающего напряжения производится по формуле:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1\phi^2} \cdot \frac{R'_2}{s}}{\frac{2\pi \cdot f_1}{p} \cdot \left[\left(R_1 \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (x_1 + x'_2)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 \right]}$$

где $U_{1\phi^2}$ - фазное напряжение статора двигателя;

$\frac{2\pi \cdot f_1}{p}$ - синхронная угловая скорость двигателя при частоте напряжения статора f_1 ;

$p = 3$ - число пар полюсов двигателя;

s - скольжение двигателя.

$R_1 = 0$, поскольку мы принимаем закон $U/f = \text{const}$ с IR-компенсацией для получения постоянной перегрузочной способности во всем диапазоне регулирования.

8.2 Выбор двигателя по каталогу

Данные двигателя 4А200М6УЗ:

- номинальная мощность $P_{2\text{ном}} = 22$ кВт;
- синхронная частота вращения $n_C = 1000$ об/мин ;
- коэффициент полезного действия $\eta = 90\%$;
- коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,9$;
- пусковой момент в относительных единицах $m_{\text{п}} = 1,3$;
- критический момент в относительных единицах $m_{\text{к}} = 2,4$;
- номинальное скольжение $s_{\text{ном}} = 2,35$;
- критическое скольжение $s_{\text{к}} = 13,5\%$;
- момент инерции двигателя $J_{\text{д}} = 0,4$ кг · м².

9 Расчет параметров Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

На основе Т-образной схемы замещения и схемы динамической обобщенной электрической машины производится математическое описание асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и разработка его динамической модели.

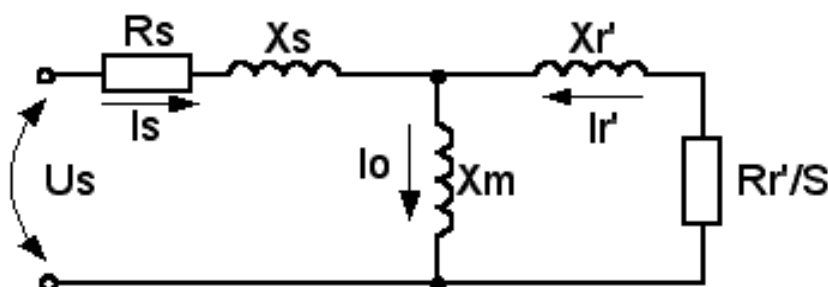


Рисунок 9.1- Схема замещения АД

Параметры схемы замещения:

$$X_1 = X'_1 \frac{U_{1\text{фн}}}{I_{1\text{фн}}}$$

$$X'_2 = X''_2 \frac{U_{1\text{фн}}}{I_{1\text{фн}}}$$

$$R_1 = R'_1 \frac{U_{1\text{фн}}}{I_{1\text{фн}}}$$

$$R'_2 = R''_2 \frac{U_{1\text{фн}}}{I_{1\text{фн}}}$$

где X_{μ} - главное индуктивное сопротивление;

R'_1, X'_1 - активное и индуктивное сопротивления обмотки статора,
 R'_2, X'_2 - активное и индуктивное сопротивления обмотки ротора, приведенные к обмотке статора;

X_1, X''_2, R_1, R''_2 - сопротивление статора и ротора, Ом;

$U_{1\text{фн}}, I_{1\text{фн}}$ - номинальные значения фазного напряжения, В и тока, А.

При математическом описании АД, как объекта управления, принимаются следующие допущения:

- намагничивающие силы обмоток двигателя распределяются строго синусоидально вдоль окружности воздушного зазора;
- потери в “стали” статора и ротора отсутствуют;
- обмотки статора и ротора строго симметричны со сдвигом оси на 120°
- насыщение магнитной цепи отсутствует.

$$X_1 = X'_1 \frac{U_{1\hat{\delta}i}}{I_{1\hat{\delta}i}} = 0,122 \cdot \frac{220}{202} = 0,133 \hat{\text{H}}$$

$$X'_2 = X''_2 \frac{U_{1\hat{\delta}i}}{I_{1\hat{\delta}i}} = 0,16 \cdot \frac{220}{202} = 0,1743 \hat{\text{H}}$$

$$R_1 = R'_1 \frac{U_{1\hat{\delta}i}}{I_{1\hat{\delta}i}} = 0,023 \cdot \frac{220}{202} = 0,025 \hat{\text{H}}$$

$$R'_2 = R''_2 \frac{U_{1\hat{\delta}i}}{I_{1\hat{\delta}i}} = 0,019 \cdot \frac{220}{202} = 0,0207 \hat{\text{H}}$$

$$X_{12} = X_\mu \frac{U_{1\hat{\delta}i}}{I_{1\hat{\delta}i}} = 4,9 \cdot \frac{220}{202} = 5,34 \hat{\text{H}}$$

где $I_{1\hat{\delta}i} = \frac{D_i}{3U_{1\hat{\delta}i} \cos \varphi \eta_1} = \frac{110000}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,951} = 202 \text{ A}$ - номинальный ток статора.

Взаимная индуктивность статора и ротора:

$$L_{12} = \frac{X_{12}}{2 \cdot \pi \cdot f_i} = \frac{5,34}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,017 \text{ Гн}$$

Индуктивность статора:

$$L_1 = \frac{X_1 + X_{12}}{2 \cdot \pi \cdot f_i} = \frac{0,133 + 5,34}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0174 \text{ Гн}$$

Индуктивность ротора:

$$L_2 = \frac{X'_2 + X_{12}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{рп}}} = \frac{0,1743 + 5,34}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0176 \text{ Гн}$$

$$\sigma = \frac{L_1 L_2 - L_{12}^2}{L_2} = \frac{0,0174 \cdot 0,0176 - 0,017^2}{0,017} = 0,00101$$

$$\alpha = \frac{R'_2}{L_2} = \frac{0,0207}{0,0176} = 1,176 \frac{\hat{i}}{\text{Åi}}$$

Коэффициент передачи: $i_n = 1$

10 Расчет и построение естественной механической характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Расчет механических характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты питающего напряжения производится по формуле:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot \frac{R'_2}{s}}{\frac{2\pi f_1}{p} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (x_1 + x'_2)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 \right]}$$

где $U_{1\phi}$ - фазное напряжение статора двигателя;

$\frac{2\pi f_1}{p}$ - синхронная угловая скорость двигателя при частоте напряжения статора f_1 ;

$p = 3$ - число пар полюсов двигателя;

s - скольжение двигателя.

$R_1 = 0$, поскольку мы принимаем закон $U/f = \text{const}$ с iR -компенсацией для получения постоянной перегрузочной способности во всем диапазоне регулирования.

Для расчета естественной механической характеристики находим:

номинальную частоту вращения, об/мин,

$$n_H = n_1 \cdot (1 - S_H)$$

где n_1 – синхронная частота вращения, об/мин,

S_H – номинальное скольжение по каталогу,

$$n_H = 1000 \cdot (1 - 0,023) = 977 \text{ об/мин}$$

номинальный момент, Н·м,

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H}$$

где P_H – номинальная мощность,

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$M_H = 9550 \cdot \frac{30000}{977} = 296,891 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

критическое скольжение, соответствующее максимальному моменту,

$$S_K = S_H \cdot (K_M + \sqrt{K_M^2 - 1}),$$

где S_H – номинальное скольжение,

K_M – кратность номинального момента.

$$S_K = 0,023 \cdot (2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1}) = 0,168$$

максимальный момент, Н·м,

$$M_{\max} = K_M \cdot M_H$$

$$M_{\max} = 2,5 \cdot 296,891 = 742,228 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Задавшись величиной S от 0 до 1,2, можно рассчитать зависимость $M=f(s)$, которую затем легко перевести в координаты $n=f(M)$ по формуле:

$$n_H = n_1 \cdot (1 - S)$$

Расчет механической характеристики производим по упрощенной формуле Клосса, Н·м,

$$M = \frac{2K_M M_H}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}}$$

где K_M – коэффициент перегрузочной способности,

S – текущее значение скольжения,

S_K – критическое скольжение,

M_H – номинальный момент на валу двигателя, Н·м.

При отсутствии резисторов в цепи ротора имеем естественные характеристики.

Результаты расчета приведены в таблице 10.1, характеристики показаны на рисунках.

										Лист
										39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Таблица 10.1 – Механические характеристики выбранного АД

Исследуемые параметры машины S	0	S _H =0,035	0,1	S _K =0.168	0,2	S _{p,K} =0,376	0,4	0,8	0,1	0,12
Частота вращения ротора n, об/мин	1000	965	900	832	800	624	600	200	0	0
Моменты M, Н·м:										
естественная характеристика	0	233,81	653,00	641.58	730,9	514,914	529,3	298,1	242,1	203,5
реостатная характеристика	0	121,35	368,93	485.94	615,7	645,247	740,78	571,2	488,8	423,3

Введение добавочного сопротивления в цепь ротора приводит к увеличению критического скольжения, величина максимального момента при этом не изменяется. Иными словами, механическая характеристика смещается вниз, а $M=f(s)$ – вправо. Тем самым при постоянном моменте сопротивления M_c частота вращения несколько снижается.

При реостатной характеристике частота вращения ротора, при заданном $\Delta n=4,5\%$, об/мин,

$$n_{p.H} = n_H \left(1 - \frac{\Delta n}{100} \right)$$

$$n_{p.H} = 965 \cdot \left(1 - \frac{4.5}{100} \right) = 921,575 \text{ об/мин}$$

скольжение, соответствующее данной частоте вращения,

$$S_{p.H} = \frac{n_1 - n_{p.H}}{n_1}$$

$$S_{p.H} = \frac{1000 - 921,575}{1000} = 0,078$$

Сопротивление ротора выбранного двигателя, Ом,

$$r_p = \frac{U_p}{\sqrt{3} I_p} S_H$$

$$r_p = \frac{140}{\sqrt{3} \cdot 150} \cdot 0,035 = 0,019 \text{ Ом}$$

тогда необходимое добавочное сопротивление, Ом,

$$R_{доб} = r_p \cdot \left(\frac{S_{p.н.}}{S_H} - 1 \right)$$

$$R_{доб} = 0,019 \cdot \left(\frac{0,078}{0,035} - 1 \right) = 0,023 \text{ Ом.}$$

Критическое скольжение на реостатной характеристике,

$$S_{p.к.} = S_k \cdot \frac{S_{p.н.}}{S_H} = S_k \cdot \left(\frac{R_{доб}}{r_p} + 1 \right)$$

$$S_{p.к.} = 0,168 \cdot \left(\frac{0,023}{0,019} + 1 \right) = 0,371$$

Механические характеристики приведены на рис.10.1.

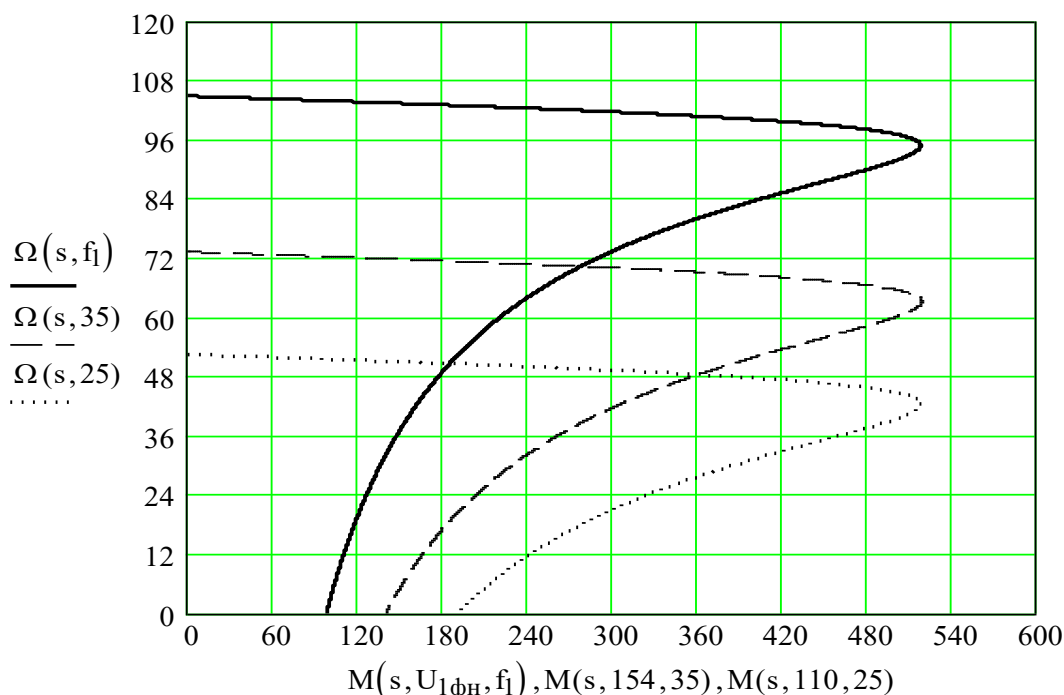


Рисунок 10.1. Механические характеристики асинхронного двигателя при частотах

11 Расчет искусственных механических характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Для построения искусственных механических характеристик так же воспользуемся формулой Клосса, но записанной в следующем виде:

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{ки}} (1 + a_n \cdot S_{\text{ки}})}{\frac{S}{S_{\text{ки}}} + \frac{S_{\text{ки}}}{S} + 2 \cdot a_n \cdot S_{\text{ки}}}$$

$a_{\text{п}} = \frac{a}{1 + \frac{R_1 \cdot f_{\text{н}}^2}{X_{\text{мн}}^2 \cdot f^2}}$ – значение коэффициента на искусственной характеристике при частоте f .

$$S_{\text{ки}} = \pm S_{\text{ке}} \sqrt{\frac{1 + \frac{R_1 \cdot f_{\text{н}}}{X_{\text{мн}}^2 \cdot f^2}}{1 + \frac{R_1 \cdot f_{\text{н}}}{X_{\text{ки}}^2 \cdot f^2}}}$$
 – значение критического скольжения на искусственной

характеристике при частоте f ;

Где $S_{\text{ке}}$ – то же, на естественной;

$M_{\text{ки}}$ – максимальный момент двигателя при частоте f и соответствующем ей напряжении.

$f_{\text{н}} - f$ номинальная частота и частота, при которой рассчитывается механическая характеристика;

$X_{\text{мн}}, X_{\text{кн}} = X_{1\text{н}} + X_{2\text{н}}$ – индуктивное сопротивление двигателя при номинальной частоте;

$\omega_{0f} = \frac{2\pi f}{p}$ – скорость поля на искусственной характеристике при частоте f .

Определяем константу $\frac{U_1}{f_1} = \frac{220}{50} = 4,4$

Напряжение $U_i = f4,4$

Для сохранения постоянства перегрузочной способности привода на всех характеристиках максимальный момент двигателя должен быть постоянным (т.к $M_c = const$ - статический момент)

ω_{oi} повторяет столбец с $f_{1\text{т.к}} \frac{U_1}{f_1} = const$

S_i – независимая переменная, задается произвольно;

$$\omega_i = \omega_{oi} \cdot (1 - S_i)$$

$$M = \frac{M}{M_{\text{ном}}}$$

Подставив значения получим:

$$a_{\text{п}} = \frac{1,145}{1 + \frac{0,245^2 \cdot 50^2}{13,23^2 \cdot f^2}}$$

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$S_{ки} = 0,16 \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{0,245 \cdot 50}{13,23^2 \cdot f^2}}{1 + \frac{0,245 \cdot 50}{1,79^2 \cdot f^2}}}$$

Результаты расчетов сводим в таблицу:

Выражение момента АД для искусственной характеристики имеет вид:

$$M(\omega) = \frac{2 \cdot M_{ки} (1 + a_n \cdot S_{ки})}{\frac{S}{S_{ки}} + \frac{S_{ки}}{S} + 2 \cdot a_n \cdot S_{ки}}$$

Таблица 11.1 - Искусственные механические характеристики АД с КЗ ротором

Ц-Та	f ₁	U _i , В	ω _{oi} , с ⁻¹	S _{ки}	a _n	M _к , Н*М	ω _{oi}	S _i	ω _i , с ⁻¹	M, Н*М	M,
50 Гц	1,0	220	78,5	0,01598	1,145 343	406,6	1,0	0	78,5	0	0
								0.01	70,65	366,3459	1,802
								0.012	62,8	390,751	1,922
								0.014	54,95	403,1313	1,983
40 Гц	0,8	176	62,8	0,01598	1,145 536	406,6	0,8	0	62,8	0	0
								0.01	56,52	366,346	1,802
								0.012	50,24	390,7511	1,922
								0.014	43,96	403,1313	1,983
30 Гц	0,6	132	47,1	0,01596	1,145 953	406,6	0,6	0	47,1	0	0
								0.01	42,39	366,5426	1,803
								0.012	37,68	390,8847	1,923
								0.014	32,97	403,1962	1,983
20 Гц	0,4	88	31,4	0,01592	1,147 143	406,6	0,4	0	31,4	0	0
								0.01	28,26	366,9356	1,804
								0.012	25,12	391,1509	1,924
								0.014	21,98	403,3244	1,983
10 Гц	0,2	44	15,7	0,01571	1,153 573	406,6	0,2	0	15,7	0	0
								0.01	14,13	368,9918	1,815
								0.012	12,56	392,5257	1,931
								0.014	10,99	403,9625	1,987

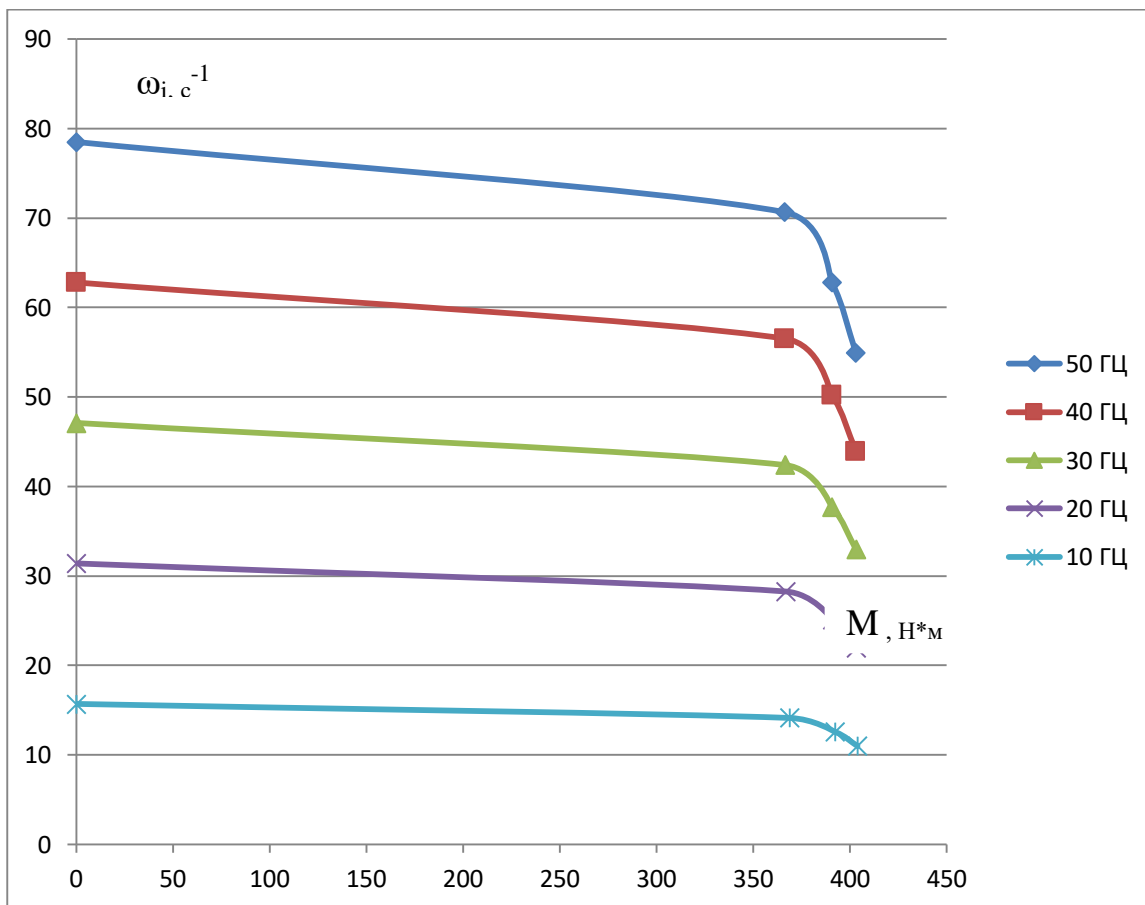
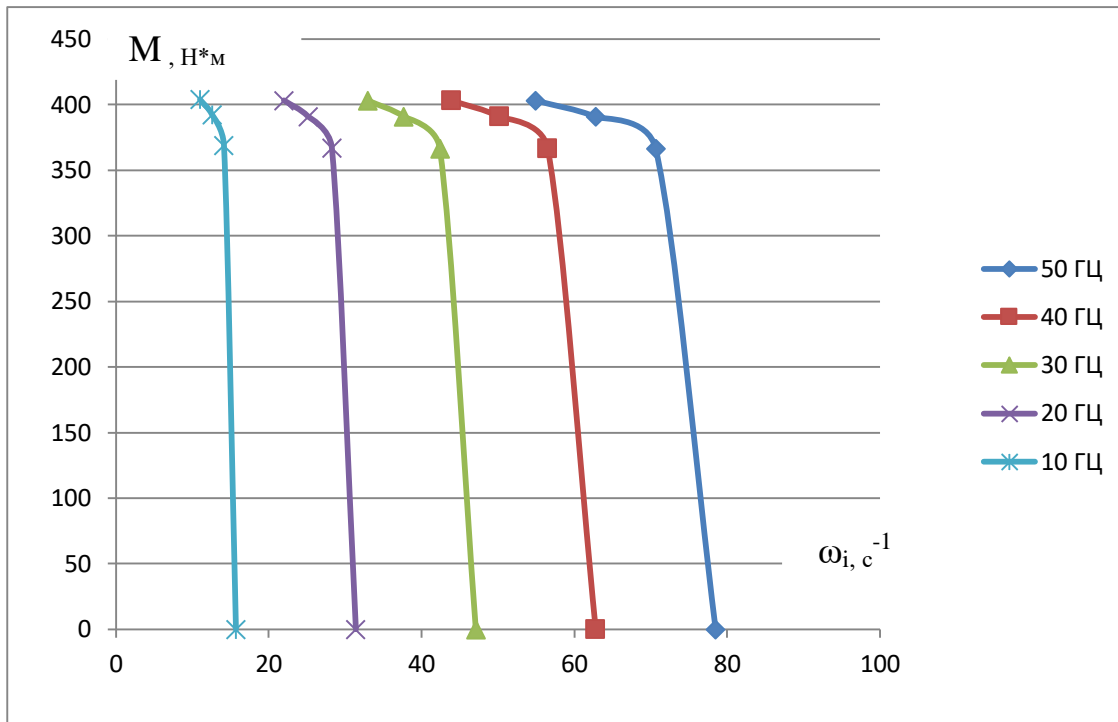


Рисунок 11.1 - Искусственных механических характеристики асинхронного двигателя

12. Разработка модернизированной схемы управления электропривода механизма вылета стрелы крана

12.1 Виды преобразователей частоты, анализ схемных решений, достоинства и недостатки

В зависимости от уровня питающего напряжения существует три варианта преобразователей 380-415, 500-525 и 600-690В. Существует два варианта системы охлаждения: общий охлаждающий контур и отдельный охлаждающий контур.

В последнем случае силовой элемент охлаждается отдельным вентилятором в отдельный воздушный поток, заключенный в специальный воздуховод, предотвращающий перегрев управляющей части преобразователя. При большой мощности силовая часть охлаждается жидкостным контуром.

По способу управления двигателем, преобразователи частоты можно разделить на две группы: векторное управление и скалярное управление, и каждая модель имеет свои сильные и слабые стороны.

Скалярный тип управления. При скалярном (частотном) управлении формируется гармонический ток в фазе двигателям означает что управление чаще всего поддерживается постоянным отношение максимального момента двигателя к моменту сопротивления на валу. То есть при изменении частоты амплитуда напряжения изменяется таким образом, что отношение максимального момента двигателя к текущему моменту нагрузки остается неизменным. Это соотношение называется перегрузочной способностью двигателя. При постоянстве перегрузочной способности номинальные коэффициент мощности и к.п.д. двигателя на всем диапазоне регулирования частоты вращения практически не изменяются.

Важным преимуществом скалярного метода является возможность одновременного управления группой электродвигателей.

Скалярная способ управления позволяет легко регулировать даже при использовании заводских настроек.

Векторный тип управления. Векторное управление предназначено для управления синхронными и асинхронными двигателями, которые не только генерируют гармонические токи (напряжения), но также обеспечивают управление магнитным потоком ротора (моментом на валу двигателя).

Векторное управление используется, когда нагрузка может изменяться с одной и той же частотой во время работы, т.е. когда нет четкой зависимости между моментом нагрузки и скоростью вращения, а также в случаях, когда необходимо получить расширенный диапазон регулирования частоты при номинальных моментах, например, 0...50 Гц для момента 100% или даже кратковременно 150-200% от $M_{ном}$, это позволяет существенно увеличить диапазон управления, точность регулирования, повысить быстродействие электропривода. Этот метод обеспечивает прямое управление крутящим моментом двигателя. Крутящий момент определяется током статора, и создается возбуждающее магнитное поле.

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

При прямом управлении крутящим моментом необходимо помимо амплитуды изменять фазу тока статора, то есть вектор тока. Отсюда и термин «векторное управление». Векторный метод управления преобразователем частоты позволяет гораздо лучше управлять двигателем, чем скалярный тип управления. Однако настройка такого преобразователя требует глубоких знаний в области устройства электроприводов и электрического оборудования.

Метод векторного управления с обратной связью по скорости - используется для прецизионного регулирования (необходимо использовать инкрементальный энкодер) скорости, когда нагрузка может изменяться с той же частотой во время работы, то есть между моментом нагрузки и скоростью вращения нет четкой зависимости между моментом нагрузки и скоростью вращения, а также в случаях, когда необходим максимальный диапазон регулирования частоты при моментах близких к номинальному.

Векторный метод работает нормально, если паспортное значение двигателя введено правильно и его тесты пройдены успешно. Векторный метод реализуется путем сложных вычислений в реальном времени, выполняемых процессором преобразователя на основе информации о выходном токе, частоте и напряжении.

Также процессор использует введенную пользователем информацию о паспортных характеристиках двигателя. Время реакции преобразователя на изменение выходного тока (момента нагрузки) составляет 50...200мсек. Векторный метод позволяет минимизировать реактивный ток двигателя при уменьшении нагрузки путем адекватного снижения напряжения на двигателе. Если нагрузка на валу двигателя увеличивается, то преобразователь адекватно увеличивает напряжение на двигателе. Кроме того, для непосредственного управления моментом при малых, близких к нулевым скоростям вращения работа частотно регулируемого электропривода без обратной связи по скорости невозможна. Векторное управление с датчиком обратной связи скорости обеспечивает диапазон регулирования до 1:1000 и выше, точность регулирования по скорости – сотые доли процента, точность по моменту – единицы процентов.

Виды преобразователей частоты:

1. Диодный преобразователь частоты

В большинстве приемниках сверхвысоких частот в качестве преобразовательного элемента преобразователей частоты используют кристаллические диоды, обладающие малым временем пролета электронов (малой инерционностью и сравнительно малыми шумами. Недостаток диодных преобразователей - отсутствие усилительных свойств. Такие преобразователи частоты применяют в профессиональных радиоприемных устройствах.

Фильтр настроен на частоту $f_{\text{опр}}$. Частичное подключение диода к входному и выходному контурам снижает шунтирующее действие на них сопротивления

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

диода. В реальных конструкциях диодных преобразователей СВЧ входной контур выполняют в виде отрезков полосковых или коаксиальных линий, а также в виде объемных резонаторов. В некоторых преобразователях предусматривают источник напряжения смещения E , оптимизирующий рабочий участок ВАХ диода.

2. Транзисторный преобразователь частоты

В транзисторных преобразователях частоты в качестве преобразовательного элемента используют биполярный или полевой транзистор. Под действием напряжения гетеродина U_g периодически с частотой гетеродина f_g меняется во времени крутизна S транзистора, за счет чего происходит преобразование частоты. По аналогии с усилителем, в транзисторных преобразователях напряжение сигнала может подаваться в цепь базы, либо цепь эмиттера, показана упрощенная схема по переменному току преобразователя с ОЭ, в которой напряжение сигнала U_c подано в цепь базы транзистора, а напряжение гетеродина U_g - в цепь эмиттера; для сигнала транзистор включен по схеме с ОЭ, а для гетеродина - по схеме с ОБ. В обоих преобразователях суммарное напряжение сигнала и гетеродина действует между эмиттером и базой.

В преобразователе с ОЭ (рис. а) $I_{вх}$ с частотой f_c определяется током базы, а в преобразователе с ОБ (рис.б) - током эмиттера; поскольку ток базы меньше тока эмиттера, преобразователь с ОЭ потребляет от источника сигнала меньший ток по сравнению с преобразователем с ОБ.

3. Балансный преобразователь частоты

Балансный преобразователь частоты - это соединение двух небалансных преобразователей. В зависимости от подачи напряжений U_c и U_g на преобразовательный элемент, возможны два варианта построения балансных преобразователей частот. При первом варианте напряжения сигнала на преобразовательный элемент равны по значению, но противоположны по фазе (противофазные сигналы); напряжения гетеродина на обоих преобразователях элементах равны по значению и действуют в одной фазе (синфазные напряжения). При втором варианте напряжения сигнала на преобразовательный элемент синфазные, а напряжения гетеродина противофазные. Общим для обоих вариантов построения балансных преобразователей частоты является то, что из двух подводимых к преобразовательному элементу напряжений U_g и U_c , одно действует на оба преобразовательных элемента синфазно, а другое - противофазно. Напряжение на входе балансного преобразователя частоты, как

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

правило, определяется разностью выходных токов преобразовательного элемента.

Особенно важны для балансных преобразователей два свойства:

- Компенсация всех помех от любых источников на выходе каскада при их синфазном воздействии на ПЭ. При отсутствии противофазных сигналов на входе балансного преобразователя и действии на ПЭ только синфазных напряжений гетеродина напряжения на входном и выходном контурах преобразователя частоты равны нулю; при этом на выходе преобразователя нет напряжения шумов гетеродина, а во входную цепь приемника не просачивается напряжение с частотой гетеродина. При подаче напряжения U_c это свойство преобразователя частоты не нарушается;
- компенсация четных гармоник токов преобразовательного элемента в нагрузке, что приводит к уменьшению в балансном преобразователе частоты числа побочных каналов.

4. Кольцевой преобразователь частоты

Кольцевой преобразователь служит для повышения развязки между цепями сигнала и гетеродина, а также для обеспечения практически полного исключения прохождения сигнала и гетеродина в цепи промежуточной частоты для этого используют двойные балансные преобразователи, получившие название кольцевые.

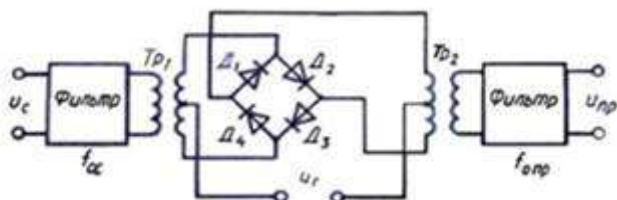


Рисунок 12.1 Схема диодного кольцевого преобразователя

На рисунке приведена схема диодного кольцевого преобразователя, в котором диоды образуют кольцо с односторонней проводимостью. Напряжение сигнала через согласующую катушку связи со средней точкой подводится к кольцу из диодов Д1-Д4 (первая диагональ моста), во вторую диагональ моста включена катушка связи с фильтром на частоте f_0 . Напряжение U_g подключено между средними точками катушек связи.

На входе кольцевого преобразователя при высокой симметрии плеч обеспечивается подавление побочных эффектов преобразования. Снизить уровень нелинейных эффектов при преобразовании удастся использованием

диодов Шотки . Подобные преобразователи имеют низкий уровень шумов и большой линейный участок амплитудной характеристики, однако обладают значительными потерями при преобразовании.

12.2 Выбор преобразователя частоты

Преобразователи частоты серии АПЧ на IGBT-транзисторах предназначены для регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором без датчиков скорости на валу мощностью от 2,2 - 250 кВт.

Применение преобразователя частоты позволяет значительно увеличить ресурс электротехнического и механического оборудования, снизить потребление электроэнергии за счет оптимизации работы производственно - технологического оборудования, вентиляторов, насосов, компрессоров, экструдеров, транспортных и грузоподъёмных механизмов.

Преобразователи АПЧ представляют собой преобразователи частоты типа "неуправляемый выпрямитель, звено постоянного тока транзисторный инвертор напряжения" с микропроцессорной системой управления. На выходе преобразователя формируется напряжение регулируемой амплитуды и частоты, подаваемое на обмотки фаз статора двигателя, соединенные, как правило, в звезду. Изменение амплитуды и частоты выходного напряжения выполняется системой управления по определенному закону, обеспечивающему регулирование и поддержание на заданном уровне частоты вращения двигателя.

Преобразователь обеспечивает работу в ручном и автоматическом режиме. В ручном режиме стабилизируется частота вращения асинхронного двигателя. В автоматическом режиме регулирование частоты вращения выполняется с целью стабилизации технологического параметра с использованием встроенного ПИД-регулятора и сигнала обратной связи от датчика технологического параметра.

Общие сведения:

- Управление любыми типами асинхронных двигателей с к. з. ротором.
- Прямое цифровое управление работой преобразователя частоты и двигателя.
- Встроенный пульт управления, задания параметров настройки и отображения информации о состоянии преобразователя и двигателя, их параметрах и режимах работы.
- Плавный пуск/реверс/останов с регулируемой интенсивностью.
- Автоматическое определение параметров подключенного двигателя и автонастройка регулятора управления двигателем.
- Автоматический перезапуск после отключения питания.

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

- Встроенный технологический регулятор с входами для датчиков с аналоговыми сигналами 0...10 В, 4...20 мА.

- Расширенный диапазон изменения частоты выходного напряжения.

- Широкая номенклатура аналоговых и дискретных входных и выходных сигналов.

- Изолированный двунаправленный последовательный канал в стандарте RS-485 для приема управляющей и передачи статусной информации преобразователя.

- Многофункциональная защита преобразователя и двигателя.

Конструктивно преобразователи выполнены в виде навесных блоков одностороннего обслуживания.

Основное исполнение преобразователей частоты по климатическим условиям – УХЛ, по категории размещения – 4, по степени защиты – IP20 согласно ГОСТ 15150-69, ГОСТ 14254-80, при этом температура воздуха в шкафах комплектных устройств, в которые встраивается преобразователь частоты, не должна превышать 45° С.

Технические данные преобразователя:

- Напряжение питания U_{iN} 3~380 В+10-15%

- Частота F 48-63 Гц

- Ряд выходных мощностей P_n 5,5; 7,5; 11,15,22,30,55, 75, 90, 110кВт

- Выходное напряжение U_{out} 3~ 0 ' U_{iN}

- Выходная частота F_{ou} 0,1- 50 (100) Гц; 0,1 - 400Гц

- Номинальный выходной ток I_n 10А, 16А, 25А, 32А, 40А, 63А, 100А, 150А, 180А, 220А

- Перегрузочная способность преобразователя по току I/I_n 130% в течение 1 мин

- Диапазон регулирования скорости с ограничением по нагреву двигателя D 20:1

- Точность стабилизации скорости при нагрузке на номинальной скорости двигателя $\Delta\omega_n$ не хуже 3%, на 0,1 от номинальной скорости двигателя $\Delta\omega_n$ не хуже 30%

Неравномерность вращения на холостом ходу при номинальной скорости двигателя не более 5%, при 0,02 от номинальной скорости двигателя не более 25%

Устройство и принцип работы преобразователя

Преобразователь выполнен на базе трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором без датчика скорости на валу и преобразователя частоты с неуправляемым выпрямителем и инвертором напряжения на IGBT. На выходе преобразователя формируется напряжение регулируемой амплитуды и

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

частоты, подаваемое на обмотки фаз статора двигателя, соединенные, как правило, в звезду. Изменение амплитуды и частоты выходного напряжения преобразователя выполняется системой управления по определенному закону, обеспечивающему регулирование и поддержание на заданном уровне частоты вращения двигателя.

Ниже показана форма выходного напряжения преобразователя частоты, а также временные диаграммы фазного тока и скорости двигателя при реверсе преобразователя (рис. 13.2.).

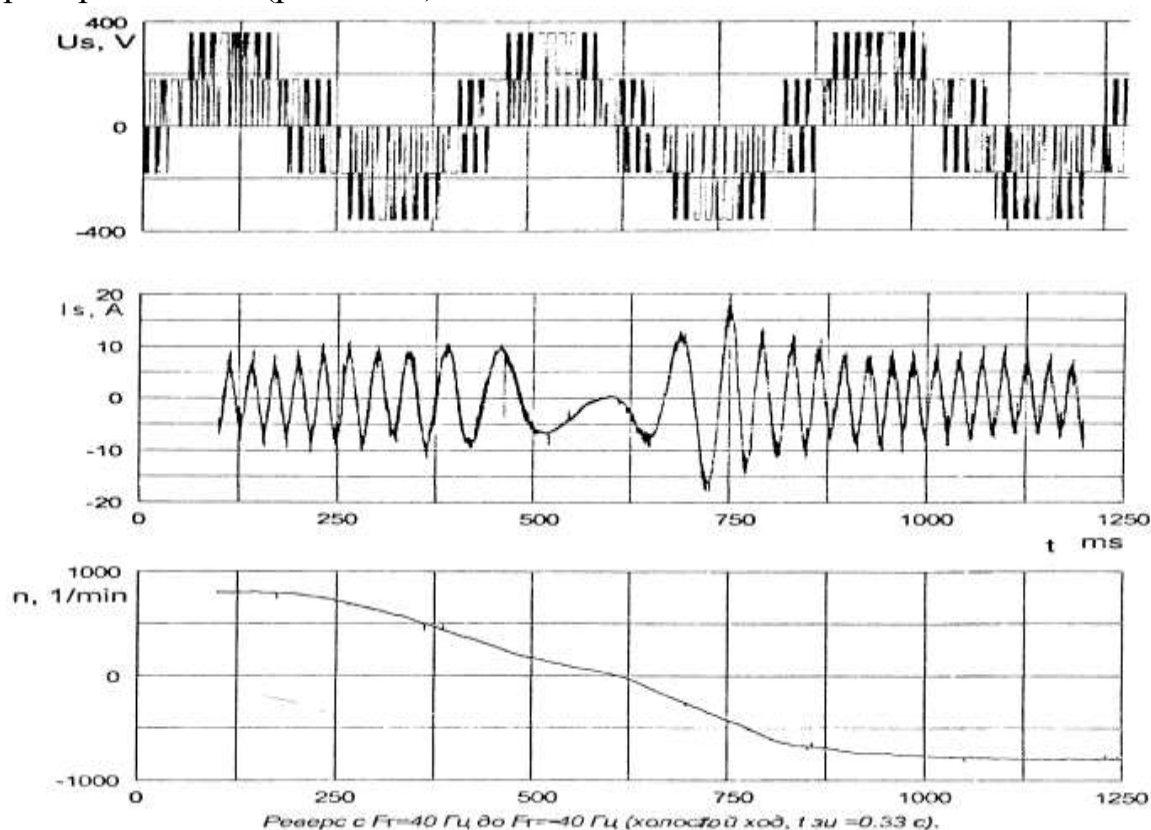


Рисунок 12.2. Диаграмма фазного тока и скорости двигателя при реверсе преобразователя

Силовая часть преобразователя включает следующие основные элементы:

- модуль трехфазного мостового выпрямителя с варисторным ограничителем перенапряжений, подключаемый к сети контактором;
- ёмкостный фильтр звена постоянного напряжения;
- узел сброса энергии торможения, состоящий из балластного резистора и ключевого элемента на IGBT-транзисторе с быстродействующим обратным диодом;
- трехфазный мостовой инвертор напряжения, выполненный на базе шестиключевого IGBT-модуля;

- драйвер силовых ключей, обеспечивающий управление затворами IGBT-транзисторов, формирование сигналов защит и гальваническую развязку силовых и управляющих цепей;
- вентилятор, обеспечивающий интенсивный отвод тепла от силового радиатора;
- бесконтактный узел предзаряда емкости фильтра, обеспечивающий плавное нарастание напряжения по команде системы управления;
- узел управления включением силового питания, коммутирующий контактор по команде системы управления;

Система датчиков включает:

- датчик напряжения, состоящий из резистивного делителя и изолирующего усилителя, установленный в звене постоянного напряжения;
- датчики тока Т1, Т2, установленные в выходных фазах V и W инвертора;
- датчик температуры силового радиатора, установленный в непосредственной близости от IGBT-модуля;
- дополнительный вход для обслуживания встроенного в двигатель датчика температуры (РТС или NTC-резистора);

Преобразователь частоты

Тип	Мощность ном. кВт.	Мощность полная кВт.	Размеры, мм			Масса, кг
			Ш	В	Г	
АПЧ-ТТПТ-50-380-50-УХЛ4	22	29,4	283	445	265	24,0

Условные обозначения:

- АПЧ – Преобразователь частоты;
- Т – Род тока питающей сети трёхфазный;
- Т – Род тока на выходе трёхфазный;
- П – Способ охлаждения принудительный, Е – естественно воздушный;
- Т – Вид полупроводниковых приборов силовой схемы транзисторы (тиристоры и семисторы не указываются);
- 50 – Номинальный выход тока А;
- 380 – Номинальное входное напряжение В;
- 50 – Номинальная выходная частота Гц;
- УХЛ4 – Климатическое исполнение по ГОСТ 15150.

Производитель

ООО «ЭЛПРИ»

428000 г. Чебоксары, пр-т. И. Яковлева, 5.

										Лист
										52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ					

Блок питания цепей управления вырабатывает напряжения +5 В питания цифровой части системы управления, ± 15 В питания аналоговой части системы управления, изолированное напряжение +24 В питания внешних цепей, изолированное напряжение, +24 В для субмодуля питания драйвера, изолированное напряжения, ± 15 В питания первичной стороны датчика напряжения;

Субмодуль питания драйвера формирует 7 изолированных каналов + 15/минус 5 В питания выходных каскадов управления затворами IGBT;

Система управления состоит из интерфейсной части, аналого-цифрового преобразователя, микропроцессорного ядра, встроенного пульта управления.

Интерфейсная часть обеспечивает взаимодействие преобразователя с внешними устройствами автоматики.

Аналого-цифровой преобразователь под управлением микроконтроллера формирует коды, соответствующие аналоговым сигналам задания и сигналам системы датчиков.

Система управления, обеспечивает обработку входных сигналов и сигналов обратной связи, вычисление переменных внутренних и внешних контуров регулирования, формирует сигналы управления силовыми ключами инвертора, выполняет защитные, диагностические и сервисные функции.

Параметры структуры системы управления доступны для просмотра и редактирования с помощью встроенного пульта управления.

Интерфейс

Интерфейсная часть системы управления включает развитый набор стандартных средств взаимодействия преобразователя с устройствами автоматики.

Входные аналоговые сигналы:

Изолированный аналоговый вход (Volt IN) в стандарте от 0 до ± 10 В или 0 до ± 5 В.

Выбор диапазона изменения управляющего сигнала выполняется в соответствующем меню встроенного пульта управления.

Изменению полярности задающего сигнала соответствует изменение направления вращения двигателя. Входное сопротивление 20 кОм.

Для ручного задатчика скорости от потенциометра рекомендуется использовать встроенный источник опорного напряжения 10 В (10V REF)

Изолированный аналоговый вход (+Cur IN I -Cur IN) в стандарте от 4 до 20 мА.

Имеет прямой и инверсный входы и может использоваться для ввода задания по скорости или сигнала обратной связи от датчика технологического параметра.

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Аналоговые входы могут действовать совместно в режиме суммирования или разности сигналов с помощью установки переключек J7, J8 на плате управления и использования входного сигнала напряжения нужной полярности одновременно с прямым или инверсным токовым сигналом.

Входные логические сигналы:

Изолированные логические входы (стандартные):

- «Разрешение 1» (ENBL1);
- «Разрешение 2» (ENBL2);
- «Сброс защит» (Er RST);
- «Направление вращения» (Direct);

Изолированные входы (программируемые):

- «1-й бит программируемого уровня скорости» (LOG1);
- «2-й бит программируемого уровня скорости» (LOG2);
- «3-й бит программируемого уровня скорости» (LOG3);
- «Разгон с программируемой интенсивностью в прямом направлении» (LOG4);
- «Разгон с программируемой интенсивностью в обратном направлении» (LOG5);
- «Запуск работы по циклограмме» (LOG6);

Входные логические сигналы управления преобразователем ENBL1, ENBL2, Direct, Er RST должны быть сформированы в виде замыкания (логическая единица) или размыкания (логический ноль) контактов внешним устройством (например, ручным пультом управления). При этом первые три сигнала являются непрерывными и должны сохранять свое состояние в процессе работы, а сигнал Er RST - импульсный и формируется кратковременным замыканием контакта.

Сброс сигнала «Разрешение 1» (ENBL1 = 0) вызывает мгновенное запираание силовых транзисторов инвертора, при этом двигатель тормозится свободным выбегом.

Сброс сигнала «Разрешение 2» (ENBL2 = 0) вызывает частотное торможение двигателя с программируемой пользователем интенсивностью.

Установка сигнала «Разрешение 1» (ENBL1 = 1) разрешает подачу напряжения на двигатель. Если при этом (ENBL2 = 0), система управления формирует неподвижный вектор напряжения, и двигатель находится под током, определяемый статическим законом регулирования. При установке сигнала «Разрешение 2» (ENBL2 = 1) двигатель разгоняется до заданного уровня скорости с программируемой пользователем интенсивностью.

Сигнал «сброс защит» Er RST служит для сброса триггера защит и разблокирования преобразователя.

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Изменение направления вращения двигателя может производиться в любой момент как сменой полярности входного аналогового сигнала задания скорости, так и логическим сигналом «направление вращения» Direct (Direct = 0 - прямое вращение, Direct = 1 - обратное).

Установка различных комбинаций состояния сигналов LQG1-LQG3 позволяет задавать до семи различных фиксированных уровней скорости, программируемых пользователем.

Установка / сброс сигнала LOG4 активизирует / блокирует ускорение преобразователя с программируемой пользователем интенсивностью в прямом направлении вращения.

Установка / сброс сигнала LOG5 активизирует / блокирует ускорение преобразователя с программируемой пользователем интенсивностью в обратном направлении вращения.

Установка сигнала LOG6 активизирует работу преобразователя по циклическому алгоритму, программируемому пользователем шагами (кадрами) в соответствующих пунктах меню встроенного пульта управления.

Логические сигналы формируются уровнем 24 В от встроенного или внешнего источника питания.

Дополнительный выход 24В (24VDC). Встроенный изолированный стабилизированный источник постоянного напряжения 24В может использоваться для формирования входных логических сигналов и для питания внешних устройств (датчиков технологических параметров).

Нагрузочная способность встроенного источника питания 24 VDC 80 мА (2 Вт).

Выходные аналоговые сигналы:

- ток фазы V (I_v);
- ток фазы W (I_w);
- напряжение в звене (U_{DC});
- входной аналоговый управляющий сигнал (Analog IN);

Все выходные аналоговые сигналы измеряются относительно аналоговой земли системы управления и не имеют гальванической развязки.

Изолированный частотный сигнал (FM_Out) о переменной электропривода, запрограммированной пользователем для монитора. Может использоваться для подключения цифрового или стрелочного измерительного прибора.

Нагрузочная способность выхода 24 В, 8 мА.

Выходные логические сигналы:

- Изолированный логический сигнал «Готовность 1» (READY1);
- Изолированный логический сигнал «Готовность 2» (READY2);
- Изолированный логический сигнал «Частота равна 0» (F=0);

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

- Изолированный логический сигнал «Частота равна заданной» ($F=Ref$).

Логические сигналы могут быть использованы для контроля состояния преобразователя устройствами автоматики. Сигналы формируются системой управления в виде «сухих контактов», активный уровень сигнала соответствует замкнутому состоянию контакта. Нагрузочная способность выходов ± 250 В, 100 мА.

Логический сигнал «Готовность 1» (READY1) формируется при отсутствии активного состояния защит первой группы.

Логический сигнал «Готовность 2» (READY2) формируется при отсутствии активного состояния защит второй группы.

Логический сигнал «Частота равна 0» ($F=0$) формируется, когда частота основной гармоники выходного напряжения преобразователя равна нулю.

Логический сигнал (Частота равна заданной $F=Ref$) формируется, когда программируемый задатчик интенсивности выдает постоянное задание и частота основной гармоники выходного напряжения преобразователя соответствует этому заданию.

Последовательный порт RS-485

Двунаправленный изолированный последовательный канал в стандарте RS-485 может быть использован для организации управления от контроллера, программируемого персонального компьютера или системы автоматизации более высокого уровня, а также для двустороннего обмена диагностической информацией с объектом управления при согласовании соответствующего протокола.

Порт сконфигурирован для работы в полудуплексном режиме. Максимальное напряжение изоляции - 1600В. Максимальная скорость передачи / приема данных 2,5 Мбод.

Система защит

Реализует две группы защит: быстродействующие, срабатывание которых мгновенно блокирует привод, сбрасывает выходной логический сигнал «Готовность 1» (READY1) и отключает силовое питание преобразователя, и медленнодействующие, мгновенно сбрасывающие выходной логический сигнал «Готовность 2» (READY2) и блокирующие привод с выдержкой времени.

К первой группе защит относятся:

- максимально-токовая защита преобразователя;
- защита от пропадания питания цепей управления;
- защита от сбоев программного обеспечения;
- защита от превышения напряжения;
- защита от понижения напряжения;

						13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			56

- защита от аварии узла сброса энергии.

Максимально-токовая защита преобразователя выполняется путем контроля возникновения режима короткого замыкания в инверторе, замыкания выходных фаз между собой и на корпус с мгновенным запирающим силовых ключей и отключением от сети. Защита от замыканий во входных цепях и внутренних замыканий выпрямителя на корпус выполняется внешним автоматическим выключателем или плавкими вставками.

Защиты от повышения и понижения напряжения выполняются по сигналу датчика в звене постоянного напряжения. Порог срабатывания защиты от повышения напряжения составляет +20% от номинального значения линейного напряжения сети. Порог срабатывания защиты от понижения напряжения и обрыва фазы составляет минус 15% от номинального значения линейного напряжения сети.

Ко второй группе защит относятся:

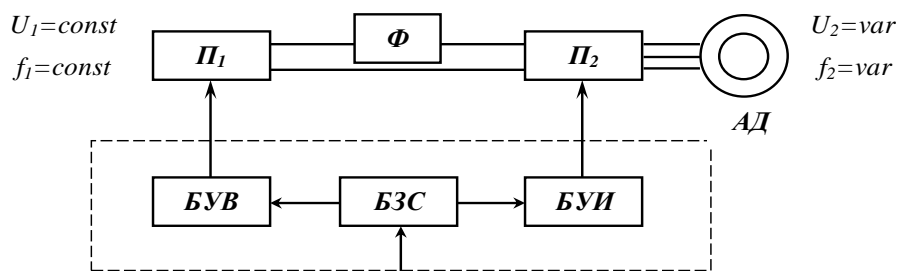
- время - токовая защита двигателя;
- температурная защита преобразователя;
- температурная защита двигателя (при наличии встроенного датчика температуры);
- защита от аварии технологического механизма.

Защиты второй группы выполняются программными средствами по сигналам системы датчиков. Пороги срабатывания защит могут быть перепрограммированы пользователем.

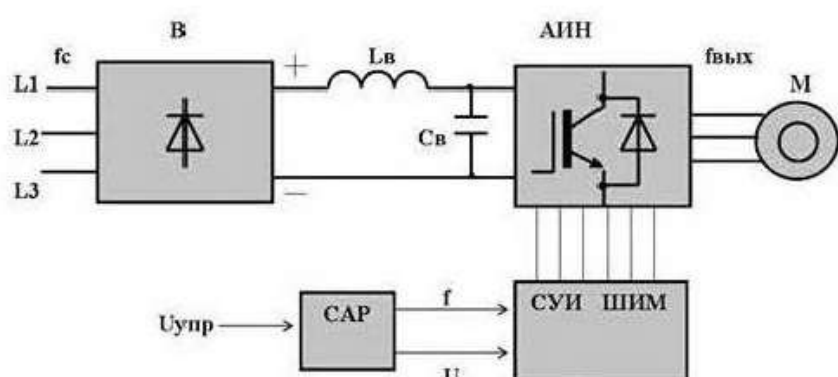
Диагностика срабатывания защит выполняется отображением соответствующих флагов в строке состояния встроенного пульта управления.

12.3 Описание структурной схемы преобразователя частоты

Преобразователь с промежуточным звеном постоянного тока позволяет регулировать частоту вверх и вниз от частоты электрической сети. Он характеризуется высоким КПД (около 0,96), значительным быстродействием, небольшими размерами, относительно высокой надежностью и бесшумной работой.



а)



б)

Рисунок 12.3. Структурные схемы а) статического преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока. б) Автономный инвертор напряжения с неуправляемым выпрямителем

Для преобразователей большой мощности (20 кВт и более) с относительно широким диапазоном регулировки выпрямленного напряжения (до 20: 1) обычно используется трехфазный полностью управляемый выпрямитель на основе мостовой схемы.

Если инвертор питается от сети постоянного тока или неуправляемого выпрямителя, используется ШИР напряжения.

Системы с ШИР могут обеспечить большой диапазон регулирования выходного напряжения и позволяют уменьшить габариты фильтрующих устройств. Питание инвертора от неуправляемого выпрямителя через ШИР позволяет получить высокий коэффициент мощности на входе преобразователя частоты во всем диапазоне регулирования. Недостатками преобразователя частоты с ШИР на входе инвертора являются необходимость установки силового тиристора, рассчитанного на всю мощность, потребляемую инвертором, снижение КПД преобразователя из-за дополнительного преобразования энергии (потери мощности в ШИР), усложнение схемы преобразователя и снижение его надежности, поэтому ШИР на входе инвертора используется в основном только при наличии сети постоянного тока.

В случае применения в преобразователях частоты автономных инверторов напряжения с фазной или индивидуальной коммутацией тиристорных или транзисторных инверторов можно совместить в самом инверторе функции инвертирования и регулирования напряжения методом ШИМ. Такие тиристорные инверторы и их системы управления существенно сложнее рассмотренных инверторов с межфазной коммутацией, а КПД их ниже из-за повышенных потерь, связанных с высокой частотой коммутации тиристорных.

Несмотря на этот недостаток инверторы с индивидуальной и фазовой коммутацией тиристоров (и транзисторные) используются в весьма перспективных преобразователях частоты с инверторами с ШИМ, применяемых в приводах с глубоким регулированием скорости. Отличительной особенностью этих инверторов является не только возможность регулирования в них как напряжения, так и частоты от нуля до номинального значения, но и получение формы выходного тока, близкой к синусоидальной. Это позволяет в таких системах обеспечить весьма широкий диапазон регулирования угловой скорости асинхронного двигателя и уменьшить потери из-за более высоких гармоник напряжения. При использовании инвертора с ШИМ источник регулируемого выпрямленного напряжения не требуется. Это упрощает схему питания и позволяет получить коэффициент мощности преобразователя, близкий к 1.

12.4 Описание электрической принципиальной схемы подключения АПЧ

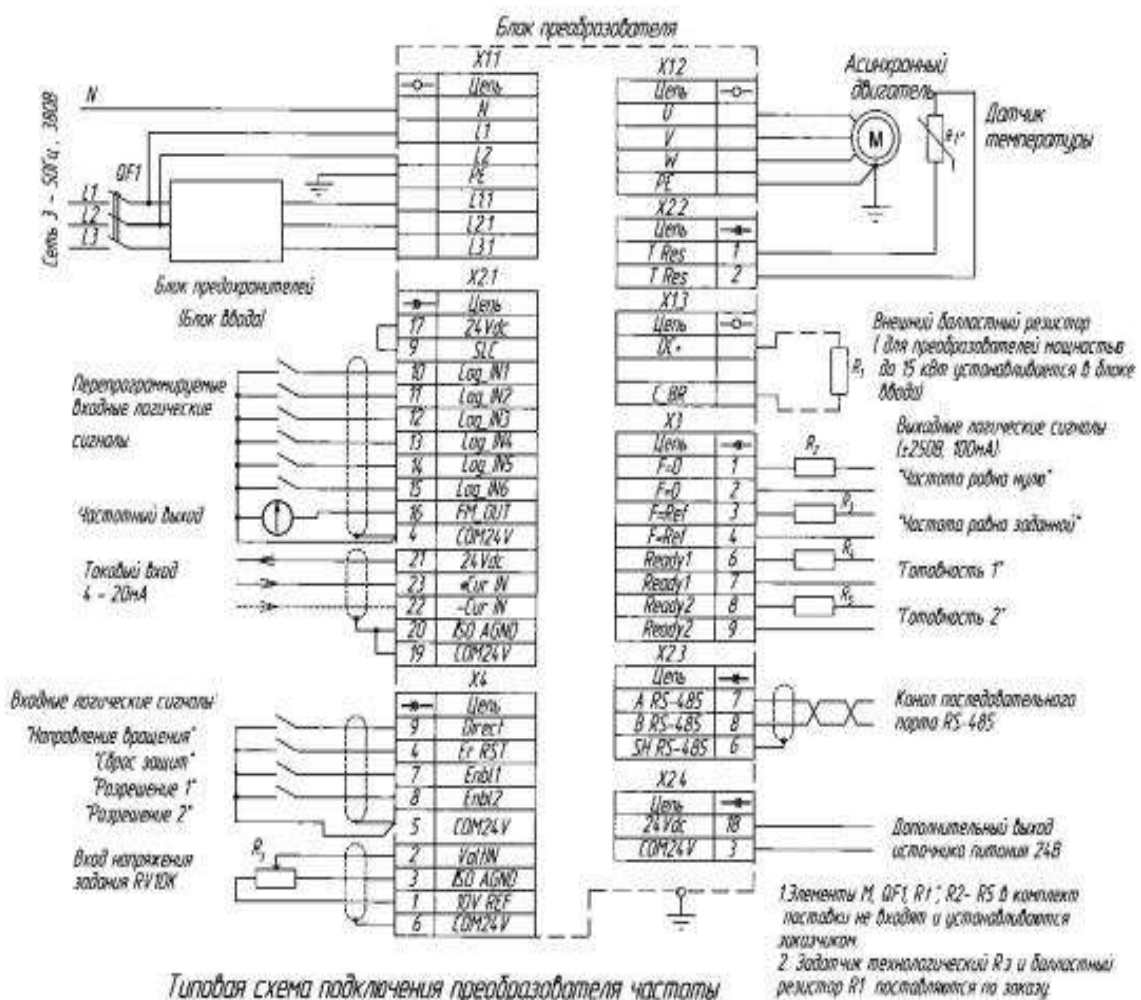


Рисунок 12.4 Типовая схема подключения ПЧ

13 Расчет переходных процессов по управляющему и возмущающему воздействию.

Для расчета переходных процессов необходимо определить передаточные функции звеньев системы в числовом виде:

$$W_{pH}(p) = \frac{1}{T_{иу} \cdot p \cdot k_{иу} \cdot k_H} = \frac{1}{0,005s}$$

$$W_H(p) = \frac{k_{иу}}{1 + T_{иу} \cdot p} = \frac{1}{1 + 0,001s}$$

$$W_{yM}(p) = \left(\frac{y}{v}\right)^2 \cdot 2s_2 \cdot 2 \cdot M_{пнф} = 352,452$$

$$k_H = 10$$

$$W_{v\omega}(p) = \frac{2\pi \cdot f_1 \cdot h_H}{p_{п}} = 104$$

$$W_{эд}(p) = \frac{2 \frac{M_{ki}}{(s_{ki} \cdot \Omega_{0i})}}{1 + T_э \cdot p} = \frac{86,5}{0,011s + 1}$$

$$W_{мд}(p) = \frac{1}{J_{\Sigma} \cdot p} = \frac{1}{0,6 \cdot s}$$

$$W_{ixx}(p) = \frac{U_{1H}}{(x_1 + x_{\mu}) \cdot v} = 9,775$$

$$W_{IdH}(p) = \frac{R_i \cdot k_{cr1}}{1 + T_{\phi 2} p} = \frac{0,025}{0,0065s + 1}$$

$$k_{cr2} = 1,835$$

$$W_{I2}(p) = \frac{\Omega_{0H} \cdot \sqrt{(x_1 + x'_2)^2 + \left(r_1 + \frac{r'_2}{S_H}\right)^2}}{3 \cdot U_{1H} \cdot \frac{r'_2}{S_H}} = 0,171$$

По полученным передаточным функциям звеньев системы, составлена схема моделирования, которая приведена на рисунке 13.1.

Расчет переходных процессов выполним в системе MatLab.

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

Для ограничения пускового тока в пределах допустимого для преобразователя ($1,3I_H$) используется задатчик интенсивности.

Графики переходных процессов, полученных в результате моделирования представлены на чертеже и рис. 13.2 – 13.7

Анализ переходных процессов показывает, что при пуске двигателя без задатчика интенсивности пусковой ток превышает допустимый ток преобразователя в 6 раз, что недопустимо. Для ограничения пускового тока на уровне допустимого значения ($1,3I_H$) для преобразователя используем задатчик интенсивности с постоянной времени $T_{зи} = 0,25$

При ограничении пускового тока разгон двигателя проходит плавно, без перерегулирования. Поэтому переходные процессы затянуты по времени. Время переходного процесса без нагрузки составляет 0,36с, а под нагрузкой 0,4с. Однако для наших условий это допустимо.

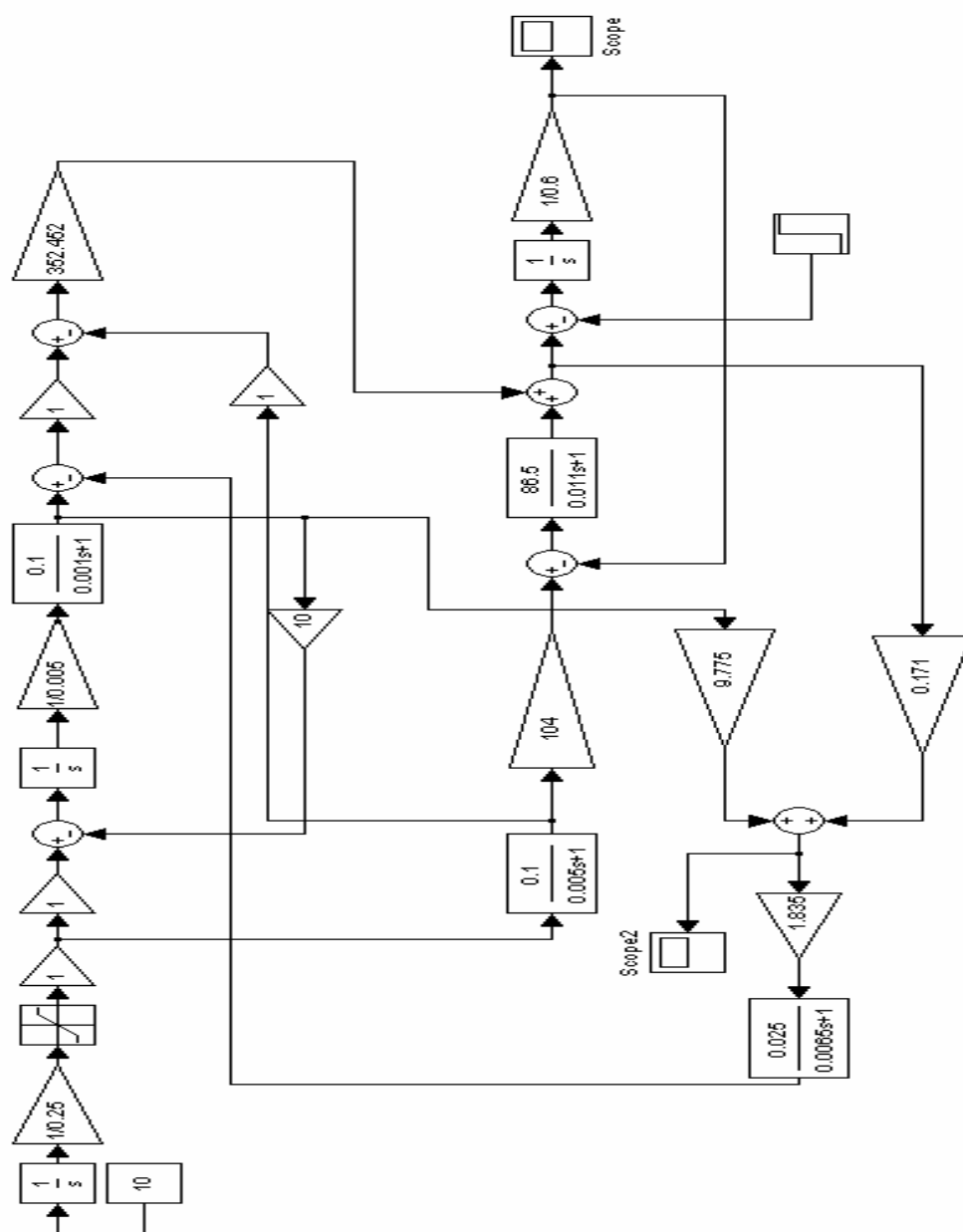


Рисунок 13.1 Схема моделирования электропривода.

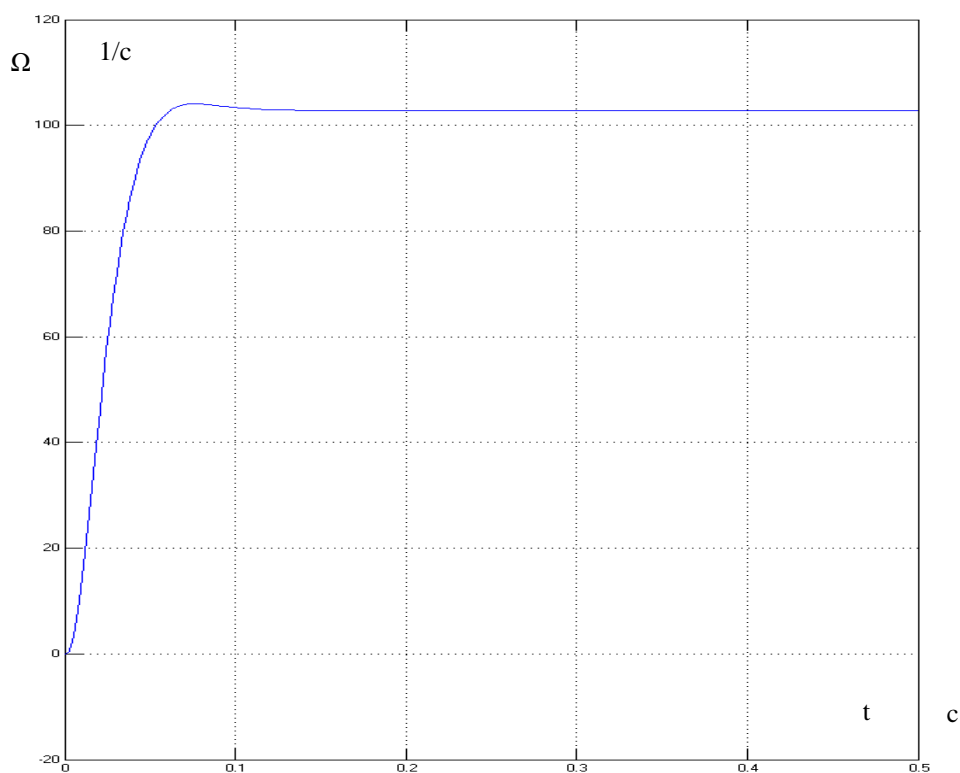


Рисунок 13.2. График переходного процесса скорости при пуске на холостом ходу без ЗИ

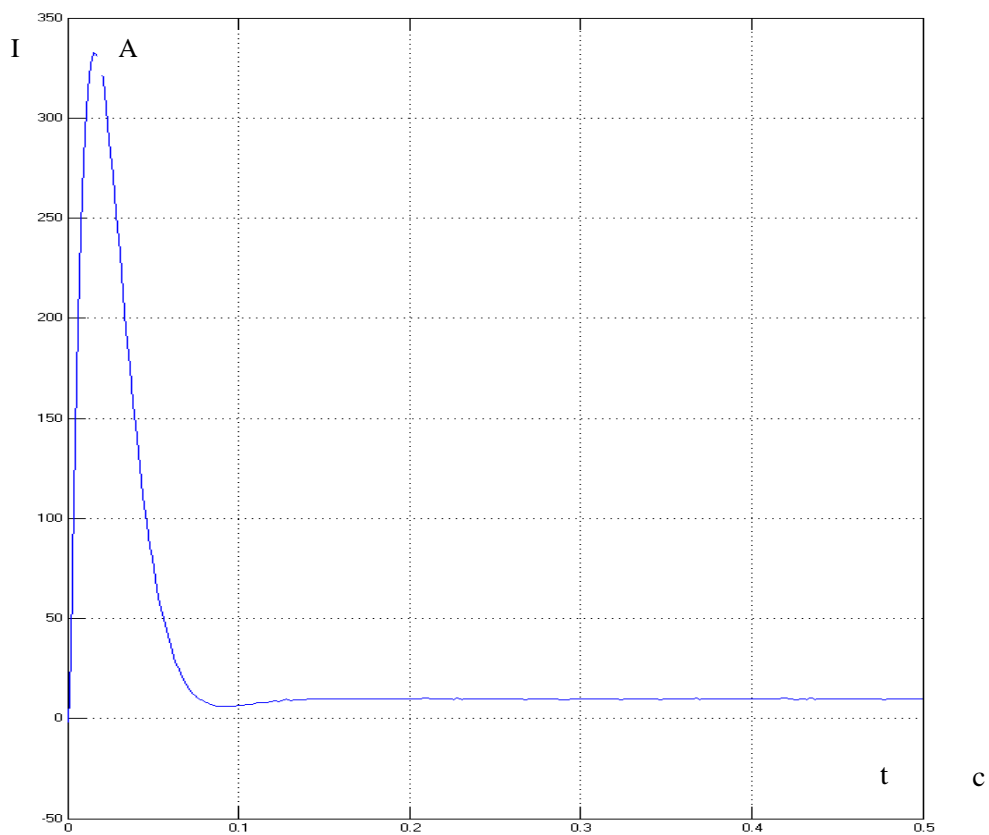


Рисунок. 13.3. График переходного процесса тока при пуске на холостом ходу без ЗИ

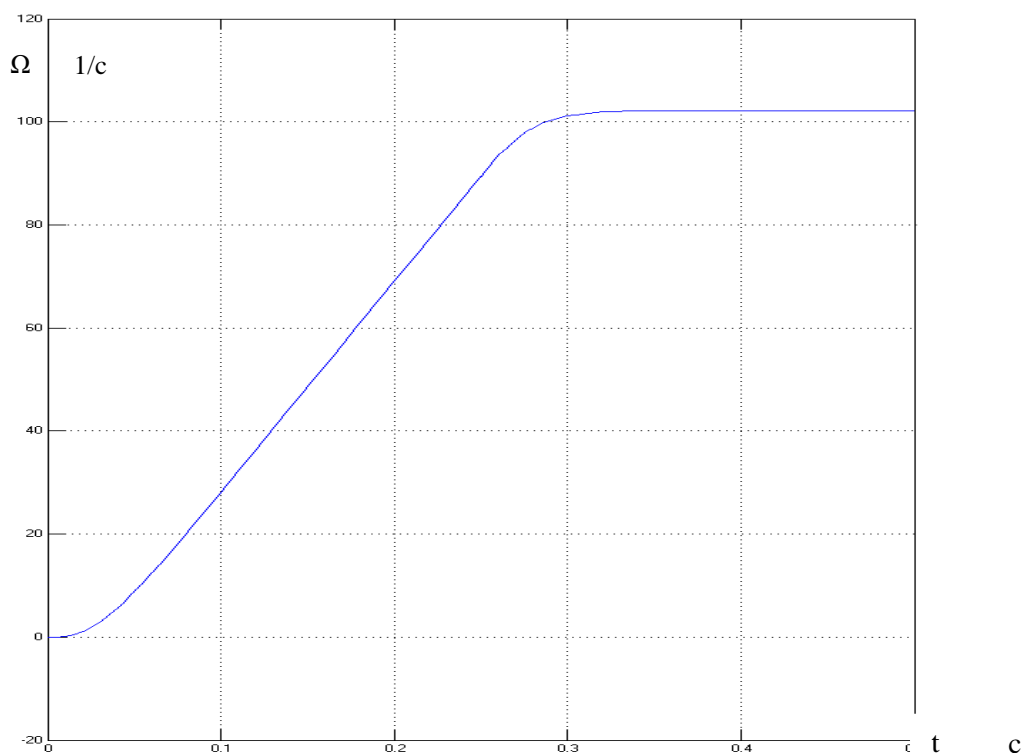


Рисунок 13.4. График переходного процесса скорости при пуске на холостом ходу с ЗИ, $T_{ЗИ} = 0,25с$

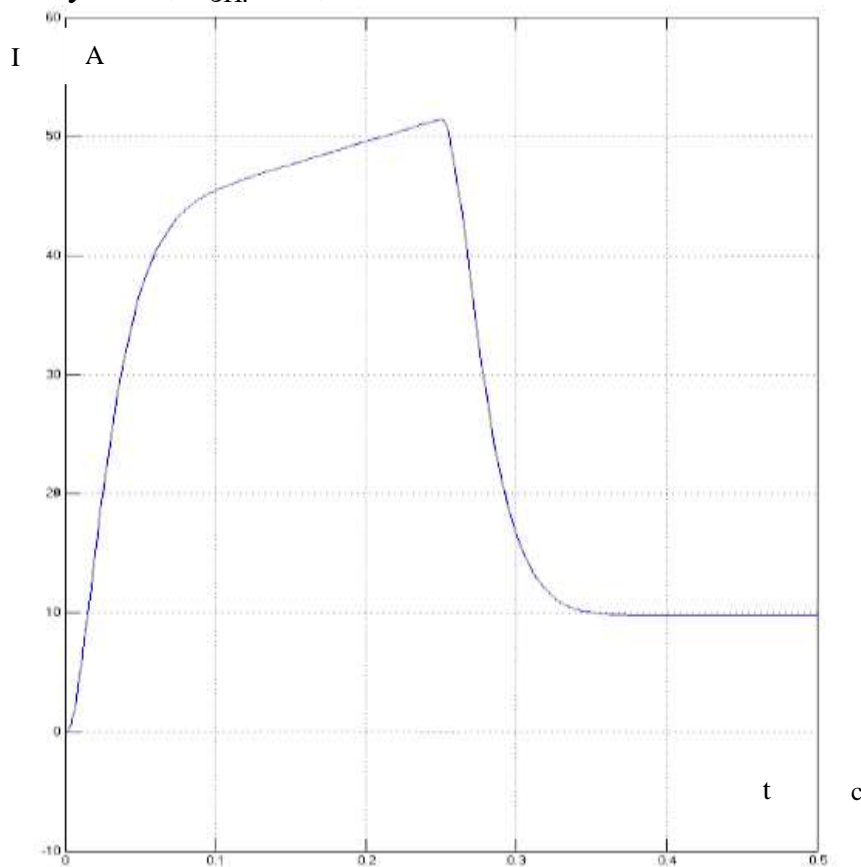


Рисунок 13.5. График переходного процесса тока при пуске на холостом ходу с ЗИ, $T_{ЗИ} = 0,25с$

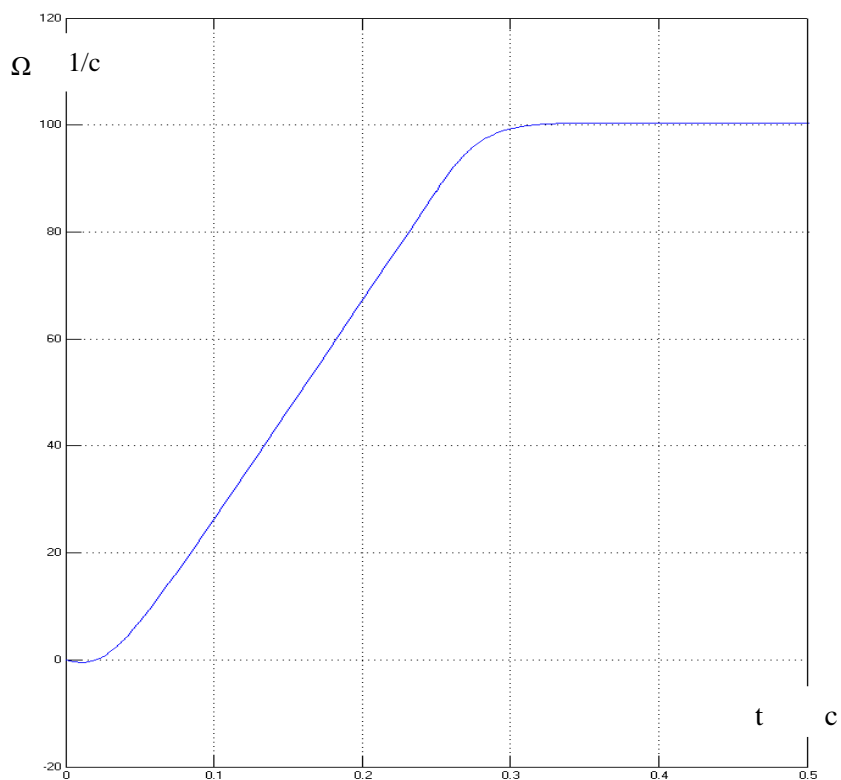


Рисунок 13.6. График переходного процесса скорости при пуске под нагрузкой с ЗИ, $T_{ЗИ} = 0,25c$

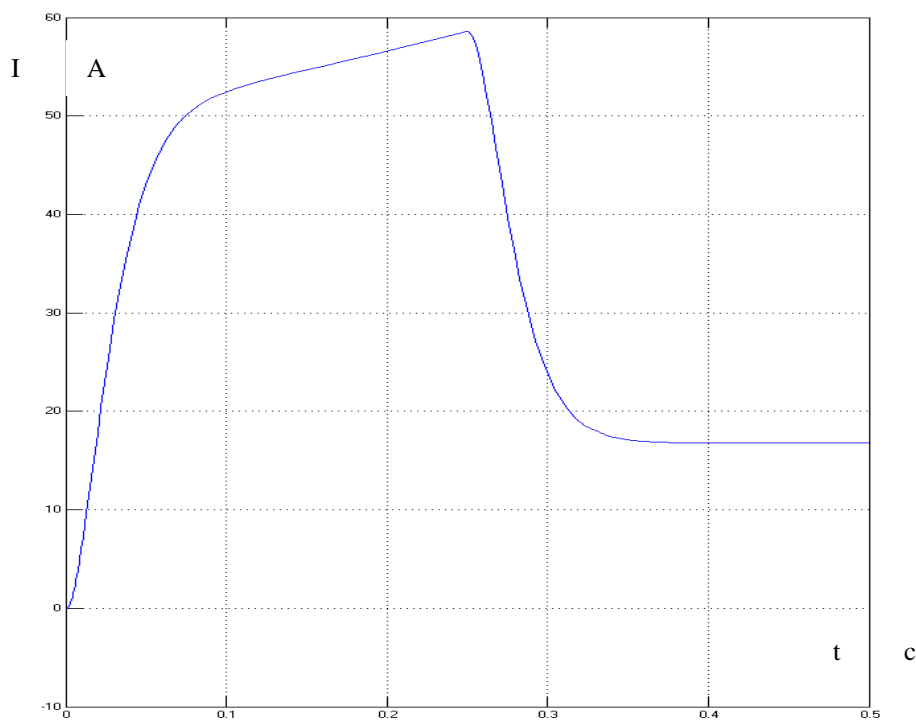


Рисунок 13.7. График переходного процесса тока при пуске под нагрузкой с ЗИ, $T_{ЗИ} = 0,25c$

Заключение

Частотно-регулируемый электропривод, в общих чертах состоит из трехфазного электродвигателя переменного тока и инвертера, который обеспечивает, как минимум, плавный пуск электродвигателя, его остановку, изменение скорости и направления вращения. Возможность подобного регулирования улучшает динамику работы электродвигателя и, тем самым, повышает надежность и долговечность работы технологического оборудования. Более того, инвертер позволяет внедрить автоматизацию практически любого технологического процесса. При этом создается система с обратной связью, где инвертер автоматически изменяет скорость вращения электродвигателя для поддержания на заданном уровне различные параметры системы, например, давление, расход, температура, уровень жидкости и т.п.

За счет оптимального управления электродвигателем в зависимости от нагрузки, потребление электроэнергии агрегатах снижается на 40-50%, а пусковые токи, составляющие 600-700% от номинального тока являющийся трагедией пускового устройства, полностью исчезают. Таким образом, применение регулируемых электроприводов на основе частотных преобразователей позволяет сэкономить не только электрическую энергию, но и увеличивается срок службы электродвигателей и всего технологического оборудования в целом.

В дипломной работе рассмотрена модернизация электропривода механизма вылета стрелы крана «Кондор». Был выбран асинхронный двигатель и преобразователь частоты.

В соответствии с необходимостью в дипломном проекте была рассмотрена конструкция портального крана «Кондор», описан электропривод механизма вылета стрелы. Выбран асинхронный электродвигатель для электропривода вылета стрелы типа 4A200M6Y3; $P_{ном} = 22$ кВт; $n_n = 1000$ об/мин; $U_n = 380$ В.

Согласно предъявляемым требованиям к электроприводу механизма изменения вылета стрелы крана, путем поиска в интернете был выбран преобразователь частоты серии АПЧ, описаны его назначение, технические характеристики, устройство и принцип работы.

Был проведен статический расчет привода, в результате которого были определены параметры объекта управления

Для анализа динамики были рассчитаны передаточные функции звеньев структурной схемы, по которым были построены на ПК переходные процессы с использованием пакета MatLab.

При пуске двигателя без задатчика интенсивности пусковой ток превышает допустимый ток преобразователя в 6 раз, что невозможно. Для ограничения пускового тока на уровне допустимого значения ($1,3I_n$) применен задатчик интенсивности с постоянной времени $T_{зи}=0,25$ с. При ограничении пускового тока разгон двигателя проходит плавно, без перерегулирования. Поэтому переходные процессы затянуты по времени. Время переходного процесса без нагрузки составляет 0,36с, а под нагрузкой 0,4с.

					13.03.02.2021.374.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Справочник по кранам Александров М.П. Л Машиностроение,1988г
- 2 Кацман М.М. Справочник по электрическим машинам. Учебное пособие для ССУЗов – М: «Академия» 2005. – 480 с.
- 3 Автоматизированный электропривод переменного тока. Эпштейн И. И.— М: Энергоиздат, 1982. – 192 с.
- 4 Кацман М.М. Электрические машины Учебное пособие М: «Академия», 2003. – 496 с.
- 5 Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов:
- 6 Оптимальное частотное управления асинхронным электроприводом: Учебник/ Под ред. Р.Т.Шрейнер, Ю.А. Дмитренко. Кишинев «Штеница», 1982. – 225 с.
- 7 Ключев В.П., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: учебник для вузов. - М.: Энергия, 1980. – 360 с.
- 8 Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков; Под ред. И. Я. Браславского. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
- 9 Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов: учебник для вузов. - М.: Энергия, 1976. – 448 с.
- 10 Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов П.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов/ Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов П.Н. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.
- 11 Справочник по расчётам механизмов подъёмно-транспортных машин / А.В.Кузьмин Ф.Л.Марон Высшая школа 1983.
- 12 Соколова Е.М. Электрическое и электромеханическое оборудование: Общепромышленные механизмы и бытовая техника: Учеб. пособие для студ. Учреждений сред. Проф. Образования. - М: Мастерство, 2001. – 224 с.
- 13 Асинхронные двигатели серии 4 А : Справочник – СПб: Бурса, 2002. – 504 с.
- 14 Онищенко Г.Б. Электрический привод. - М.: РАСХН, 2003. – 320 с.
- 15 Алиев Н.И., Казанский С.Б. Кабельные изделия. Справочник М.: ИП Радио СОФТ,2002. – 224 с.
- 16 Алиев Н.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. Учебное пособие для ВУЗов – М.: Высшая школа 2000. – 225 с.
- 17 Алиев Н.И. Электрический справочник М: Радио СОФТ ,2001. – 384 с.
- 18 Алиев Н.И. Электрические аппараты. Справочник – М: Издательское предприятие Радио СОФТ – 2004. – 256 с.
- 19 Белов М.П. и др. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и комплексов. М: «Академия»,2004. – 576 с.
- 20 Кацман М.М. Справочник по электрическим машинам. Учебное пособие для ССУЗов – М: «Академия» 2005. – 480 с.

- 21Ковчин С.А., Сабин Ю.А. Теория электропривода Учебник для УЗов. СПб Энерго атом издат. С-Петербургское изд. 2000. – 496 с.
- 22Москаленко В.В. Электрический привод. Учебное пособие для ССУЗов – М: Мастерство. Высшая школа 2000. – 368 с.
- 23ПУЭ-Н-т центр по безопасности и промышленности, 2005. – 584 с.
- 24Соколова Е.М. Электрическое и электромеханическое оборудование. Учебное пособие для ССУЗов – М: Мастерство, 2001. – 224 с.
- 25Собуть С.В. Пожарная безопасность предприятия Справочное издание : Пожарная книга, 2004. – 496 с.
- 26Охрана труда в машиностроении: Учебник/ Под ред. Е.Я.Юдина и С.В.Белова. М.: Машиностроение, 1983. – 432 с.
- 27Силовые полупроводниковые преобразователи в металлургии: Справочник/С.Р.Резинский, Б.И.Мошкович, И.Х.Евзеров, М.М.Внеделанд. М.: Металлургия, 1976. – 184 с.;ил.
- 28Справочник по электрическим машинам. Том2/ И.П.Копылов, Б.К.Клоков-М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.
- 29Теория электропривода: Учеб.пособие / Б.И.Фираго, Л.Б. Павльчик. Минск: ЗАО «Техноперспектива», 2004. – 527 с.
- 30Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно – регулируемых асинхронных электроприводах. Поздеев А.Д Чебоксары, 1998. – 172 с.
- 31<https://studopedia.ru>.
- 32<https://studbooks.net>.