

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ имени  
Г. ДАУКЕЕВА  
Кафедра Электрических машин и электропривода

«Допущен к защите»  
Заведующий кафедрой  
к.т.н., профессор Оржанова Ж.К.  
(Ф.И.О., ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.  
(подпись)

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: Следящий электропривод антенны радиолокационной станции

Специальность 5В071800 - Электроэнергетика

Выполнил (а): Джиенбаев Алмас Айдосұлы ЭЭ(ЭАТ)-16-7  
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Алдибеков Исабай Танирбергенович, д.т.н., профессор  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по технической части: \_\_\_\_\_  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

по экономической части:

Түзелбаев Бакберген Ибадиллаевич, доктор PhD  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Мананбаева Светлана Евгеньевна, старший преподаватель  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

Рецензент:

Исаханов Муратбек Жанабатырович, профессор КазНАУ, к.т.н.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ  
имени Г. ДАУКЕЕВА

Институт: Электроэнергетики и электротехники

Специальность: 5В071800 - Электроэнергетика

Кафедра: Электрических машин и электропривода

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Студент: Джиенбаев Алмас Айдосұлы  
(фамилия, имя, отчество)

Тема работы: Следящий электропривод антенны радиолокационной станции

Утверждена приказом ректора № 147 от «11» ноября 2019 г.

Срок сдачи законченной работы «28» мая 2020 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта:

*Момент сопротивления объекта управления,  $M_c = 31$  Нм; максимальная угловая скорость -  $5$  рад/с; момент инерции нагрузки  $J_n = 5$  Нм·с<sup>2</sup>; максимальное угловое ускорение -  $0,4$  рад/с<sup>2</sup>; КПД редуктора  $\eta_p = 0,94$ .*

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломной работе или краткое содержание:

1) Общие сведения о электроприводах антенны радиолокационной станции

2) Расчет требуемой мощности и выбор исполнительного двигателя

3) Расчет параметров двигателя и построение механических и электромеханических характеристик.

4) Выбор схемы тиристорного преобразователя и расчет параметров его основных элементов

5) Математическое описание электромеханической части следящего электропривода

6) Построение динамических характеристик электропривода

7) Безопасность жизнедеятельности

8) Экономическая часть

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 1) Структурная и функциональная схема следящего электропривода.
- 2) Принципиальная схема следящего электропривода.
- 3) Исполнительный двигатель.
- 4) Схема электропривода с нулевым реверсивным тиристорным преобразователем.
- 5) Искусственные и естественные механические и электромеханические характеристики.
- 6) Имитационная модель электропривода в пакете Matlab и графики переходных процессов
- 7) Эскиз молниеотвода с зоной защиты

Рекомендуемая основная литература:

- 1) В. А. Ганэ, В.Л. Степанов. Расчет следящих систем: Справ. пособие.- Минск: Выш. шк., 2007.
- 2) Выбор двигателя и редуктора следящих систем. Беляев Н. И., Нагорский В. Д., М., «Машиностроение», 2009.- 216 с.
- 3) Следящие приводы. В 3 т. под ред. Б.К. Чемоданова.- Т. 1: Электрические следящие приводы. - М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2007.
- 4) Следящие приводы. В 3 т. под ред. Б.К. Чемоданова.- Т. 2: Электрические следящие приводы. - М., Изд-во МГТУ им. Баумана, 2006.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Основной	Алдибеков И.Т.		
Безопасность жизнедеятельности	Мананбаева С.Е.		
Экономический	Тузелбаев Б.И.		

**ГРАФИК**  
выполнения дипломной работы

№	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примеч.
1	Сбор данных и разбор литературных источников по электроприводу антенны	18.11.2019	
2	Расчет требуемой мощности и выбор исполнительного двигателя	09.12.2019	
3	Расчет естественных и искусственных механических и электромеханических характеристик электродвигателя	06.01.2020	
4	Расчет тиристорного преобразователя	27.01.2020	
5	Построение функциональной и структурной схемы электропривода	14.02.2020	
6	Составление виртуальной модели электропривода в программе Matlab и исследование динамических характеристик	11.03.2020	
7	Раздел безопасности жизнедеятельности	30.03.2020	
8	Экономический расчет определения эффективности электропривода	15.04.2020	
9	Оформление дипломной работы	08.05.2020	

Дата выдачи задания « 19 » ноябрь 2019 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Оржанова Ж.К к.т.н., профессор  
(подпись) (Фамилия и инициалы, ученая степень)

Руководитель \_\_\_\_\_ Алдибеков И.Т., д.т.н., профессор  
(подпись) (Фамилия и инициалы, ученая степень)

Задание принял к исполнению студент \_\_\_\_\_ Джиенбаев А.А.  
(подпись) (Фамилия и инициалы, ученая степень)

## Аннотация

Был произведен обзор материалов по назначению типов и режимов работы радиолокационной станции и электроприводов антенны. Обоснован выбор силовой части электропривода антенны, в качестве привода антенны выбран двигатель постоянного тока, рассчитаны его параметры и построены механические и электромеханические характеристики и определены энергетические показатели. Произведен расчет параметров основных элементов тиристорного преобразователя.

Построены функциональные и структурные схемы электропривода и определены передаточные функции динамических звеньев, построены естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики.

В пакете прикладных программ Matlab составлена имитационная модель электропривода и изучены переходные характеристики.

В разделе безопасность жизнедеятельности произведен расчет молниезащитного устройства радиолокационной станции и Определены конструктивные параметры молниеотвода.

В экономической части дипломной работы были произведены расчеты по определению стоимости проектируемого двигателя постоянного тока.

## Аңдатпа

Радиолокациялық станция мен антеннаның электр жетектері жұмысының түрлері мен режимдерін тағайындау бойынша материалдарға шолу жасалды. Электр жетегінің күштік бөлігін таңдау негізделген, антенна жетегі ретінде тұрақты ток қозғалтқышы таңдалған, оның параметрлері есептелген және механикалық және электромеханикалық сипаттамалар құрылған және энергетикалық көрсеткіштер анықталған. Тиристорлық түрлендіргіштің негізгі элементтерінің параметрлерін есептеу жүргізілді.

Электржетектің функционалдық және структуралық схемалары құрастырылды және динамикалық буындардың беріліс функциялары анықталды, табиғи және жасанды механикалық және электромеханикалық сипаттамалар құрылды.

Matlab бағдарламасында электр жетегінің имитациялық моделі құрастырылды және өтпелі сипаттамалар зерттелді.

Өміртіршілік қауіпсіздігі бөлімінде радиолокациялық станцияның найзағайдан қорғау құрылғысының есебі жүргізілді және жайтартқыштың конструктивтік параметрлері анықталды.

Дипломдық жұмыстың экономикалық бөлімінде жобаланған тұрақты ток қозғалтқышының бағасын анықтау бойынша есептеулер жүргізілді.

## **Abstract**

An electronic review of materials for the purpose of types and modes of operation of the radar station and antenna drives was performed. The choice of the power part of the antenna electric drive is justified, a DC motor is selected as the antenna drive, its parameters are calculated, mechanical and Electromechanical characteristics are constructed, and energy indicators are determined. The parameters of the main elements of the thyristor Converter are calculated. Functional and structural schemes of the electric drive are constructed and transfer functions of dynamic links are defined, natural and artificial mechanical and Electromechanical characteristics are constructed. A simulation model of an electric drive has been compiled in the Matlab application package and transient characteristics have been studied.

In the section life safety, the lightning protection device of the radar station is calculated and the design parameters of the lightning rod are Determined.

In the economic part of the thesis, calculations were made to determine the stability of the designed DC motor.

## Содержание

Введение.....	8
1. Описание технологического объекта.....	9
1.1 Радиолокационная станция «Витим».....	9
1.2 Назначение, устройство и принцип действия РЛС, описание антенной установки. ....	10
1.3 Классификация и анализ следящих систем, функциональная и структурная схема следящего ЭП .....	133
1.4 Электроприводы систем вращения антенны.....	189
2 Выбор основных элементов электропривода.....	26
2.1 Выбор принципиальной и функциональной схемы электропривода.....	26
2.2 Расчет требуемой мощности и выбор исполнительного двигателя .....	27
2.3 Электромеханическая и механическая статическая характеристика. ....	344
2.4 Расчет тиристорного преобразователя.....	401
2.5 Выбор контроль измерительных приборов редуктора.....	48
3 Математическое описание электромеханической части следящего электропривода.....	490
3.1 Уравнения движения следящего электропривода .....	490
3.2 Структурные схемы следящего электродвигателя .....	512
3.3 Структурная схема следящего электропривода антенны .....	534
4. Исследование динамики характеристик электропривода антенны .....	58
4.1 Составление структурной схемы электропривода в программе Matlab.....	58
4.2 Исследование скорректированной системы.....	59
5 Безопасность жизнедеятельности.....	612
6 Экономическая часть .....	69
Заключение .....	77
Список литературы .....	777



## Введение

В данной дипломной работе рассматривается электропривод антенны радиолокационной станции где в качестве электродвигателя используется двигатель постоянного тока

Главные участки станция — передающее также приемочные приборы, находящиеся во 1 месте либо во точках, далёких товарищ с товарища в определенное (как правило существенное) дистанция (2-ух- также многопозиционные станция); во станция, используемых с целью бездейственной радиолокации, радиопередатчик не имеется. Радиоантенна способен являться единой с целью передатчика также приёмника (около соединенной станция) либо имеют все шансы использоваться отдельные антенны (около многопозиционных станция). Главные свойства станция: достоверность замеров, позволяющая умение, ограничивающие значимости строя характеристик (наибольшая также наименьшая расстояние воздействия, раздел также период осмотра также др.), помехоустойчивость. Ко главным данным причисляют кроме того подвижность станция, ее изобилие, размеры, мощность электропитания, период работы, число обслуживающего персонала также многочисленные др. рабочие характеристики.

Одной с ключевых концепций нынешних радиолокационных станций считается привод вращения антенно-мачтового приборы. Некто принимает участие во установлении подобного значимого технологического параметра станция, равно как угол миссии. С высококачественной деятельность ЭП АМУ находится в зависимости результативность деятельность целой станция. Во взаимосвязи со данным привод антенно-мачтового приборы обязан гарантировать:

1) службу присутствие крупных динамических перегрузках, стимулированных огромный размером инерциальных тьмы, но таким образом ведь воздействием зефира;

2) оборот с разными быстротами с целью разной быстроты зефира, распознавание во секторе, монтаж в угол, направление в задача со значительной правильностью также быстроедействием также ее поддержание;

3) большие энерго-характеристики, станция считается независимым предметом с основой энергии узкой силы;

4) большие массогабаритные характеристики во взаимосвязи со потребностью формирования компактных также подвижных станция.

5) высокую безопасность во по причине деятельность станция во тяжких погодных обстоятельствах, во этом количестве во составе сухопутных также мореходных комплексов вооружения.

## 1. Описание технологического объекта

### 1.1 Радиолокационная станция «Витим»

Радиолокационная станция «Витим» является информационным средством контроля воздушно-космической обстановки, обеспечивающим обнаружение, сопровождение и классификацию баллистических, космических и аэродинамических объектов, проходящих через заданную зону наблюдения в непрерывном режиме.



Рисунок 1.1 - Радиолокационная станция «Витим»

РЛС «Витим» предназначена для решения следующих задач:  
определение координат и параметров движения БР, ГЧ, ИСЗ и АДЦ, проходящих через зону наблюдения  
классификация сопровождаемых целей по признакам «БР», «ИСЗ», «АДЦ»;  
обнаружение, сопровождение, определение характеристик излучения, параметров траектории и районов падения источников активных помех, излучающих в рабочем радиолокационном диапазоне РЛС «Витим»;  
формирование типовых сообщений и выдачу потребителю информации об обнаруженных и сопровождаемых целях и источниках помех.

Основной режим работы РЛС – непрерывный круглосуточный контроль зоны наблюдения (с учётом времени для проведения профилактических работ).

РЛС построена по модульному принципу, что позволило отказаться от стационарных сооружений, а также позволяет максимально учесть требования Заказчика.

Высокая степень заводской готовности аппаратуры РЛС, а также автоматизация контроля параметров устройств обеспечивает минимальный объём монтажно-настроечных работ по вводу РЛС.

Таблица 1.1- Основные тактико-технические характеристики

1	Диапазон Волн	Дециметровый
2	Обзор пространства	Программный
3	Размер антенны (L*H)	16,8*16,8
4	Средняя излучаемая мощность	100 кВт
5	Потребляемая мощность от сети первичного электропитания	до 3 МВт
Зона наблюдения		
6	По дальности	50-4000 км
7	По азимуту	90 град
8	По углу места	2.0- 50 град
Точности СКО измерения		
9	По дальности	32 м
10	По радиальной скорости	0,08- 0,096 м/с
11	По углу места	4,5 угл.мин
12	По азимуту	4,5 угл.мин

## 1.2 Назначение, устройство и принцип действия РЛС, описание антенной установки

Радиолокационная станция (РЛС), радиолокатор, радар, устройство для наблюдения за различными объектами (целями) методами радиолокации. Основные узлы РЛС — передающее и приёмное устройства, расположенные в одном пункте (т. н. совмещенная РЛС) или в пунктах, удалённых друг от друга на некоторое (обычно значительное) расстояние (двух- и многопозиционные РЛС); в РЛС, применяемых для пассивной радиолокации, передатчик отсутствует. Антенна может быть общей для передатчика и приёмника (у совмещенной РЛС) или могут применяться отдельные антенны (у многопозиционных РЛС). Важная составная часть приёмного устройства РЛС

(после собственно приёмника) — световой индикатор на электроннолучевой трубке (ЭЛТ), а в современных (середины 70-х гг.) РЛС наряду с индикатором — ЦВМ, автоматизирующая многие операции по обработке принятых сигналов. Основные характеристики РЛС: точность измерений, разрешающая способность, предельные значения ряда параметров (максимальная и минимальная дальность действия, сектор и время обзора и др.), помехоустойчивость. К основным характеристикам относят также мобильность РЛС, её массу, габариты, мощность электропитания, срок службы, количество обслуживающего персонала и многие др. эксплуатационные параметры.

Состав и структура РЛС зависят от используемого метода радиолокации наблюдения. РЛС для активной радиолокации содержит радиопередающее и радиоприёмное устройства, включая передающую и приёмную антенны, формирующие радиолучи с определёнными диаграммами направленности, позволяющими одновременно сканировать заданные сектора пространства обзора. Управление сканированием в РЛС первоначально осуществлялось механически, совр. РЛС используют, как правило, электронные методы сканирования. Принятые сигналы обрабатываются вычислит. устройством и поступают на индикаторное устройство, отображающее направление на цель, характер наблюдаемого объекта, расстояние до него, высоту, скорость и предполагаемую траекторию движения.

Базовый состав РЛС.

Любая радиолокационная система строится на базе двух основных блоков: антенны и дисплея.

Приемопередатчик может либо встраиваться в корпус редуктора антенного блока, либо размещаться в собственном корпусе. Первый вариант, как правило, встречается чаще.

Магнетрон генерирует радиоимпульсы в X- либо в S-диапазоне частот. X-диапазон ( $9410 \pm 30$  МГц) характеризуется короткими волнами, небольшой и легкой антенной, большим затуханием импульсов, чем в S-диапазоне. S-диапазон ( $3050 \pm 20$  мГц) характеризуется длинными волнами, большой антенной и проникновением импульсов сквозь осадки.

1. Выходная мощность магнетрона варьируется в зависимости от размера РЛС: в крупных она может быть до 60 кВт, а небольших — от 1 кВт.

2. Модулятор представляет собой устройство, контролирующее правильную работу магнетрона. Модулятор обеспечивает одинаковую частоту передачи импульсов магнетроном и соблюдение необходимого временного интервала между импульсами.

3. Переключатель приема/передачи (циркулятор) обеспечивает РЛС возможность передавать радиоимпульсы и принимать отраженные эхосигналы

с использованием одной антенны. Циркулятор состоит из постоянного магнита и ферритового сердечника

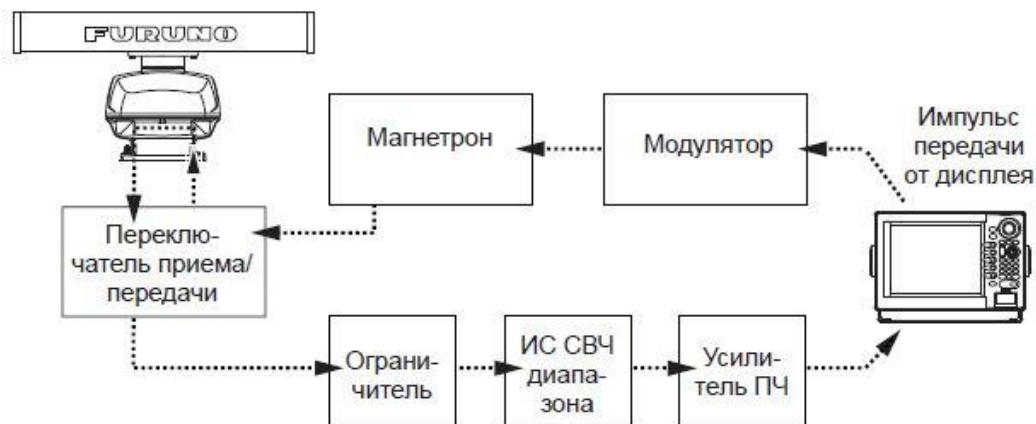


Рисунок 1.2 – Свойство магнетрона

4. Антенна передает радиоимпульсы и принимает отраженные эхосигналы.

Большинство антенн вращается с постоянной частотой 24 оборотов в минуту. Однако многие современные радиолокационные антенны могут вращаться с различной частотой в зависимости от используемой шкалы дальности. Это предусмотрено для того чтобы, оптимизировать радиолокационное обнаружение. Так, радиолокационная станция FURUNO FR-8062 поддерживает три скорости вращения антенны.

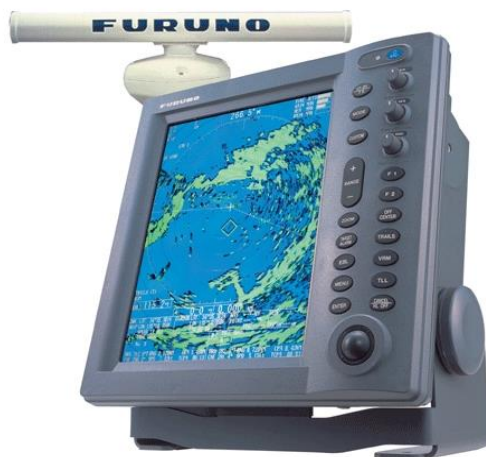


Рисунок 1.3 – Приемник

5. Ограничитель защищает контуры приемника от повреждения в случае, если РЛС своего судна принимает импульсы от РЛС другого судна. В этом случае ограничитель ослабляет их, чтобы защитить ИС СВЧ диапазона.

6. Интегральная схема сверхвысокочастотного диапазона (ИС СВЧ диапазона) состоит из гетеродина и схемы смесителя. Встраивание этих компонентов в ИС улучшает качество, надежность, чувствительность и коэффициент шумов.

7. Усилитель ПЧ усиливает сигнал промежуточной частоты, выводимый от ИС СВЧ диапазона.

Блок дисплея

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) преобразует принимаемые аналоговые сигналы ПЧ в цифровые, что необходимо для обработки и отображения этих сигналов блоком дисплея.

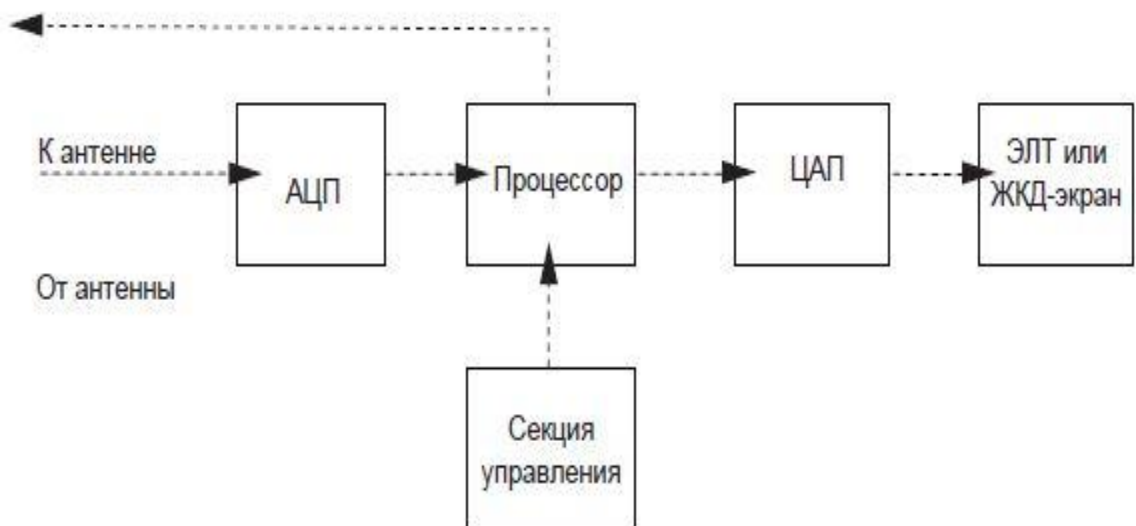


Рисунок 1.4 - Аналого-цифровой преобразователь

Процессор включает в себя вычислительные, запоминающие устройства и интегральные схемы. Широкое применение цифровых технологий позволяет процессору производить высокоскоростную обработку данных.

Блок управления оснащен различными кнопками и другими органами управления, необходимыми для настройки радиолокационного изображения. При любом изменении настройки с помощью органа управления соответствующий отклик практически сразу появляется на дисплее.

### 1.3 Классификация и анализ следящих систем, функциональная и структурная схема следящего ЭП

Широкий спектр внедрения, обилие многофункционального построения и математического описания следящих систем в существенной мере осложняют их систематизацию. Сложности определения общего аспекта систематизации следящих систем неизбежно приводят к “многомерной” классификационной структуре. Следящие системы можно систематизировать по способу формирования управляющего действия, нраву сигнала рассогласования, способу математического описания СС и нраву подконтрольных изменений, которые проходят в следящих системах.

С позиций проектирования приведенные признаки классификации не являются достаточными, т. к. не учитывают особенностей следящих систем в зависимости от их назначения и условий работы, вида исполнительных устройств и принципа их действия.

С учетом сказанного все многообразие СС можно классифицировать по основным признакам, связанным с принципами построения и действия, спецификой работы и т. д.

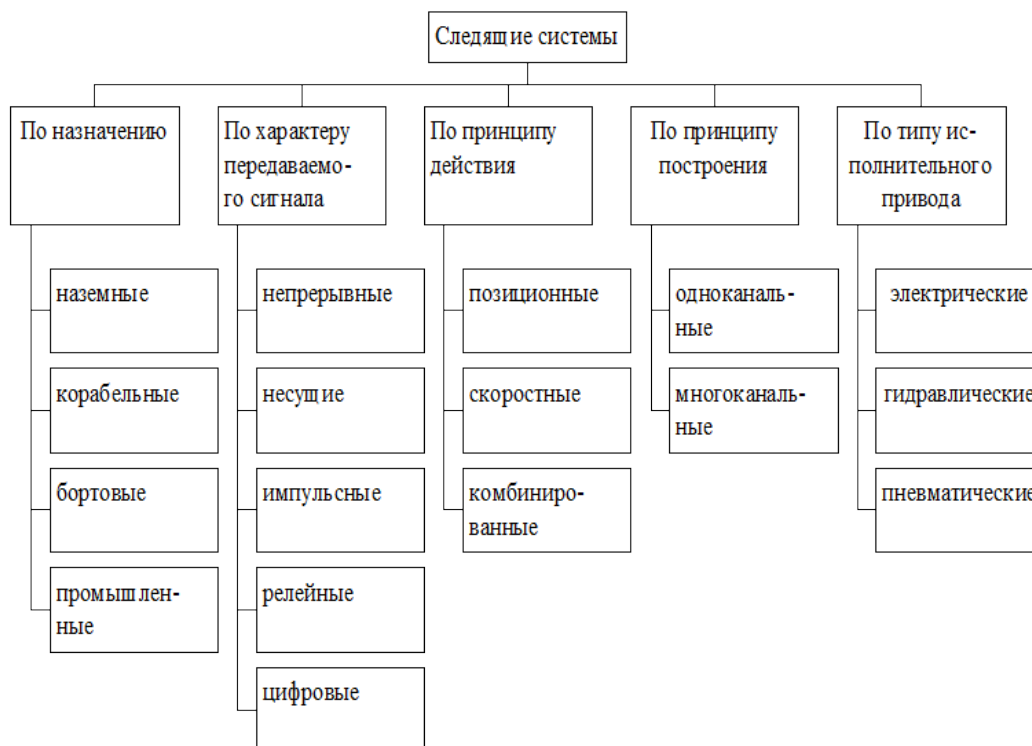


Рисунок 1.5 – Следящие системы

Динамические качества СС также законы перемены распоряжающихся также возмущающих влияний в значительном находятся в зависимости с направления предмета управления во полном также функций, исполняемых СС, но кроме того с обстоятельств деятельность.

Согласно обстоятельствам деятельность СС разделяются в навозные, судовые, ребордные также индустриальные. Навозные концепции, во собственную очередность, возможно разбить в неподвижные также мобильные. Во относительно подходящих обстоятельствах пребывают навозные неподвижные концепции, какие, равно как принцип, обладают неподвижное пропитание, никак не обладают твердых ограничений согласно куче также габаритным масштабам. Во более тяжелых погодных обстоятельствах функционируют только компоненты концепций, располагаемых в раскрытом атмосфере. Ко данной команде возможно причислить, к примеру, наблюдающие концепции, обеспечивающие наблюдение из-за мобильными предметами: наблюдающие концепции антенн радиолокационных станций механического поддержания, координаторов также полиадельфит.п.

Условия ко динамике подобных концепций формируются законодательством перемещения миссии также критериями извлечения зрительной фильтрации неожиданной элементом сигнала. Зачастую требуется принимать во внимание также существенные возмущения во варианте “ветрового момента”. Ко навозным мобильным концепциям предъявляют наиболее твердые условия согласно автоматическим влияниям, куче также габаритным масштабам. Список Источников кормления мобильных концепций имеют все шансы обладать узкую мощь также свойства, меняющиеся во просторном спектре. Свойственным образцом концепций данной категории считаются наблюдающие концепции мобильных оружейных конструкций. Динамические качества данных СС устанавливают во главном отталкиваясь с законов перемещения миссии также предоставления обстоятельств оптимальной фильтрации неожиданной элементом входного сигнала. С Целью их свойственно присутствие крупных также стремительно изменяющихся в периода (результативных) факторов перегрузки.

С Целью осциллирующих концепций свойственна наиболее враждебная наружная сфера также усиленный степень автоматических нагрузок (массовых также результативных). Отмеченные концепции связывает деятельность присутствие качке также присутствии существенного степени препятствий в входном сигнале. Помимо этого, единым считается условие высочайшего быстродействия присутствие крайне твердых лимитированиях габаритных объемов также энергопотребления исправных приборов. Ко данной команде принадлежат разнообразные инструментальные СС, но кроме того концепции наведения также стабилизации антенны станция, пушечных башня, выравненных постов также полиадельфит.буква.

Образцы отслеживающих концепций также их многофункциональные схемы. Присутствие конструировании СС возможно отметить соответствующее ее главные доли: устройство развития сигнала погрешности,



что содержит во себе замерные компоненты также редуцирующая передача, повысительные также переводящие приборы: исправные компоненты со усилителями силы; машинные передачи также дополнительные компоненты либо приборы.

Замерные приборы возможно разбить в измерители основной противоположной взаимосвязи также измерители районных возвратных взаимосвязей, создающих исправляющие сигналы. Во отслеживающих концепциях определенных видов измерители основной противоположной взаимосвязи имеют все шансы быть в отсутствии. Повысительные приборы во связи с водоизмерительных также исправных компонентов имеют все шансы являться электрическими, магнитными, гидромеханическими либо пневматическими. Ко повысительным приборам причисляют также конструкции суммирования, в каковых исполняется суммирование сигнала погрешности также сигналов районных возвратных взаимосвязей. Во свойстве конструкций суммирования зачастую применяются операторные усилители.

Стереусилитель силы со исправным компонентом формируют энергосиловой аппарат отслеживающей концепции. Тут около усилителем силы подразумевается прибор, питающее добросовестный компонент, к примеру, электрогенератор, машинный стереусилитель силы (птица), электромагнитный стерео усилитель, теристорный конвертер с целью электро отслеживающих концепций; pompa стабильной либо неустойчивой производительности с целью гидромеханических концепций. Около машинной передачей понимаются приборы, обеспечивающие подачу перемещения с исправного компонента ко перегрузке. Дополнительные компоненты также приборы осуществляют соответствующее функции: подсоединение ключевых компонентов концепции ко блокам кормления, введение трудового порядка, охрана концепции с перегрузок, лимитированы перемещения во последних утверждениях выходящего река концепции, остановка во нерабочем порядке, сигнализацию функционирования концепции также ее компонентов также полиадельфит. п. Во структура нынешних автоматизированных также механических концепций также ансамблей, равно как принцип, вступает единая комплекс отслеживающих концепций, разных согласно собственному предназначению также производящих общую multifunctionalную схему.

Во приборостроении используются наиболее различные электрические, электромеханические также прочие разновидности сервомеханизмов, назначенные с целью замера разных характеристик, переустройства сигналов, их наблюдения также полиадельфит.п.

С Целью дображивающей передачи углов поворота обширно применяют наблюдающие концепции со сельсинами, вертящимися трансформаторами (ВТ) либо кольцевыми потенциометрами. В знак. 1.5 повергнута самая простая

модель наблюдающего привода, сделанная в сельсинах во трансформаторном порядке.

Мех ротор сельсина-измерителя СД твердо сопряжен со входным звеном также обладает монофазную обмотку. Во обмотке ротора 2 предприятие родится термоэдс, соразмерная синусу угла рассогласования  $q=q_D-q_P$ . Образующиеся напряжённость несогласование DU сервируется посредством стерео усилитель в правящую обмотку мотора, что посредством редукционная передача 7 крутит мех ротор 2 вплоть до скоординированного утверждения. С Целью стабилизации деятельность концепции во схему введен генератор 4, что твердо сопряжен со сплошным потоком мотора 3 также формирует в потенциометре П напряжённость соразмерное быстроты вращения выходящего река. Данное напряжённость согласно фазе обратно усилию рассогласования DU. Этим наиболее исполняется негативная противоположная взаимосвязь согласно быстроты перемещения сервомеханизма. Во данной схеме существуют нелинейности с-из-за присутствия полос насыщения свойства усилителя, люфтов во передаче, несогласие во кинематических двойках, нелинейных данных асинхронных моторов также полиадельфит. буква. Состав усилителя переменного тока, содержащего во себе каскады заблаговременного увеличения, демодулятор, спец фильтр, поочередное также синхронное исправляющее прибор, под модулятор, усилитель силы также выходящий стерео усилитель, популярна с направления ЭСАУ.

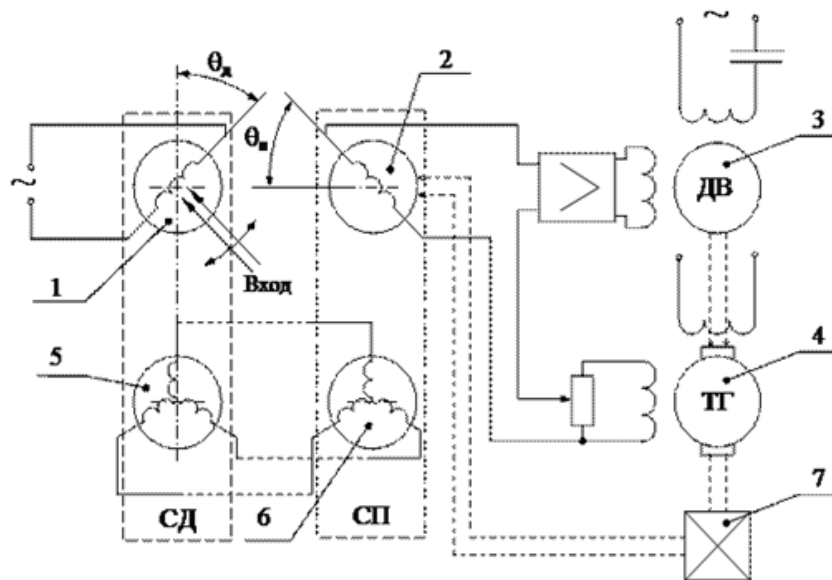


Рисунок 1.6 – Простейшая схема следящего привода, выполненная на сельсинах в трансформаторном режиме.

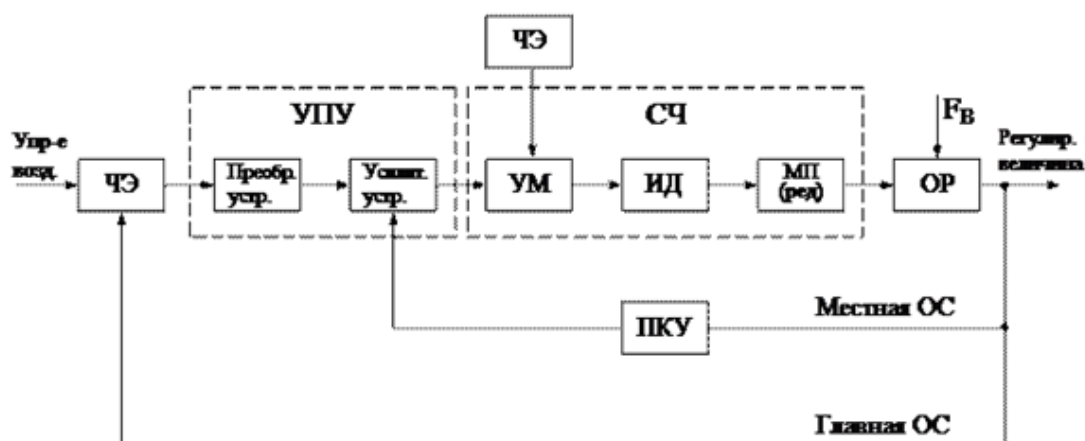


Рисунок 1.7- единая функциональная схема

#### 1.4 Электроприводы систем вращения антенны

Около неконтролируемым станем подразумевать привод, который работает со стабильной быстротой верчения. Равно Как указывалось во гл.1, ко неконтролируемым приводам станем кроме того причислять электроприводы со многоскоростными асинхронными моторами также со асинхронными фазными моторами со релейно-контакторным управлением.

Более популярными видами неконтролируемых электроприводов считаются электроприводы со короткозамкнутыми асинхронными моторами, со асинхронными моторами со фазным ротором, но кроме того электроприводы в основе одновременных моторов.

С Целью неконтролируемых электроприводов свойственно прямое введение электродвигателя во питающую линия в отсутствии переходных преобразователей гальванической энергии (преобразователей частоты также регуляторов усилия). Руководство неконтролируемым приводом исполняется больше в целом со поддержкой общительной техники управления также охраны.

Во заключительное период с целью коммутации цепочек обмоток асинхронных моторов применяются кроме того неконтактные устройства) - тиристорные пускатели. В злак.1.7 презентованы схемы введения также реверсирования асинхронного мотора со применением общительной также неконтактной техники. С Целью неконтролируемых асинхронных электроприводов как правило применяются соответствующее функции управления: введение также выключение мотора, возврат тенденции верчения, в некоторых случаях гальваническое замедление мотора. Стандартные схемы управления неконтролируемым электроприводом пересмотрены во сегментах 2 также 4.

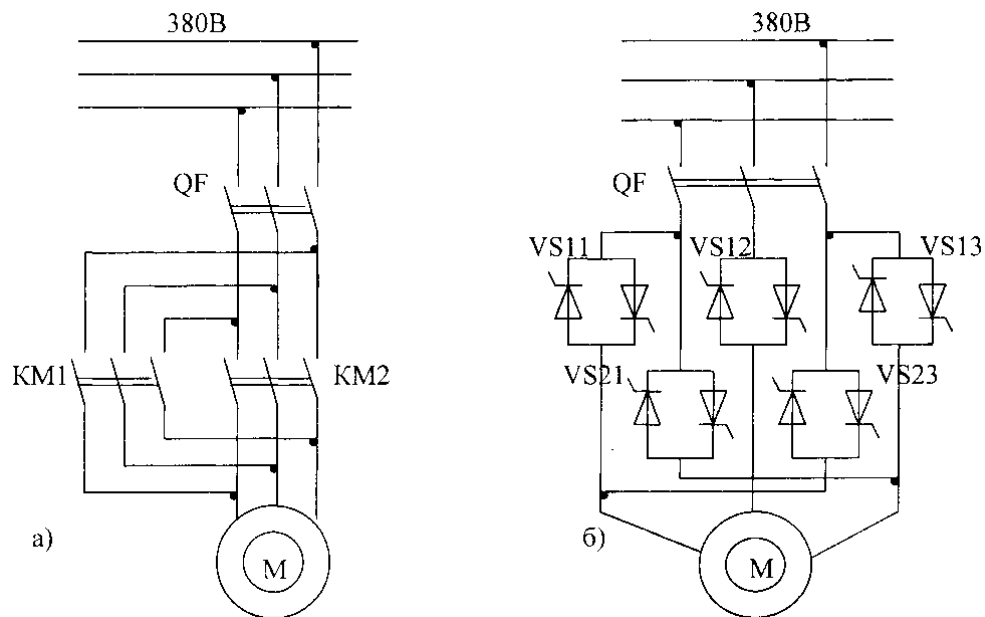


Рисунок 1.8 - Схемы включения асинхронного короткозамкнутого двигателя с использованием контактного (а) и бесконтактного (б) пускателей

Для нерегулируемых приводов с синхронными движками не считая обозначенных функций управления нужно еще регулировка тока возбуждения. Ведущей чертой нерегулируемого электропривода считаются номинальные данные приводного электродвигателя, т.е. те данные, которые относятся к главному расчетному режиму работы мотора. Номинальная мощность ориентируется как мощность на валу мотора, на которую он рассчитан по условиям нагревания в долгом режиме работы или же в что режиме, для которого данный движок специализирован. К номинальным сведениям относятся еще частота и усилие питания, скорость вращения, ток в обмотках, КПД и  $\cos\phi$ , надлежащие номинальному режиму работы.

При выборе номинальных характеристик нерегулируемого электропривода появляется задача выбора величины передаточного коэффициента редуктора (или иной передачи), соединяющего вал электродвигателя с трудящимся органом машины. Асинхронные электродвигатели выпускаются с высочайшими скоростям вращения (синхронная скорость 3000, 1500, 1000, 750, 600об/мин), в то время как скорость рабочего органа, как правило, потребуется важно ниже. Для понижения скорости и соответственного увеличения этапа на валу рабочего органа нужно внедрение понижающей передачи (редуктора).

Регулируемые электроприводы переменного тока

Главным обликом регулируемого электропривода в реальное время считается электропривод неизменного тока. Совместно с тем в последние десятилетия расширяется использование регулируемых электроприводов переменного тока, которые имеют ряд конкретных преимуществ.

До этого всего, электроприводы на основе электродвигателей переменного тока оказываются больше прибыльными в эксплуатации. Недоступность коллектора и требующего неизменного интереса щеточно-контактного узла дают возможность быстро понизить размеры и периодичность, а значит, и цена технического сервиса электроприводов переменного тока. Бесконтактное выполнение электродвигателей переменного тока разрешает непринужденно и действенно использовать их в случаях, когда внедрение электродвигателей неизменного тока очень стеснено по причине томных критерий работы (металлургия, транспортные средства) или же в том числе и нельзя (химически brutальные изготовления, погружные установки, взрывоопасные среды). Дальше, электродвигатели переменного тока имеют наименьшую цену, чем электродвигатели неизменного тока. Коллектор электро машин неизменного тока имеет большое количество медных пластинок, разбитых прослойками слюды, и настоятельно просит кропотливого приготовления. Электронные машины переменного тока имеют больше несложную систему и технологию приготовления. К примеру, асинхронные короткозамкнутые электродвигатели нередко производятся с дюралевой литой обмоткой на роторе, которая не изолируется от пластинок сердечника ротора. Подобный движок содержит малый момент инерции ротора, может долго работать при повышенных температурах и угловых скоростях вращения.

К количеству наиглавнейших задач доктрине и практики передового электропривода верно относится задача расширения областей использования асинхронного электропривода, владеющего вблизи позитивных свойств. С выходом в свет тиристоров появились свежие способности для последующего становления управляемых и регулируемых электроприводов переменного тока, к коим предъявляются все больше высочайшие запросы по обеспечиванию быстродействия, надежности, точности и прочности отработки управляющих воздействий.

Для плавной и основательной регулировки угловой скорости всевозможных производственных устройств в реальное время обширно используются различные электроприводы с движками неизменного тока. Впрочем, в одном ряду с внедрением электроприводов неизменного тока в последние годы с развитием полупроводниковой техники все большее забота уделяется использованию всевозможных систем регулируемых электроприводов переменного тока с асинхронными движками с короткозамкнутым ротором или же движками с фазным ротором. Для установок относительно большой мощности без редукторных тихоходных

электроприводов экономически оправданным как оказалось еще регулируемый синхронный движок.

Электропривод вращения антенны с неизменной скоростью.

Момент на валу электродвигателя содержит огромную переменную компонент. Номинальная мощность электродвигателя выбирается исходя из эквивалентного (среднеквадратичного) этапа на валу электродвигателя. Кратчайшая размер эквивалентного этапа на валу электродвигателя станет при малой величине его переменной элемента. В данном случае среднеквадратичный момент равен среднему моменту, а среднеквадратичная мощность на валу электродвигателя станет равна величине его средней мощности.

Потому что выбор электродвигателя исполняется по величине его среднеквадратичного этапа на валу то, припас по номинальной мощности электродвигателя оформляет 25-30%. Этим образом, приходится использовать больше проезжей частью электродвигатель, имеющий гигантские массу и габариты. Идет по стопам еще обозначить, собственно, что вентильный электродвигатель содержит наибольший КПД и коэффициент мощности при номинальной нагрузке на валу. Значит, электродвигатель эксплуатируется не в подходящем режиме.

В случае если выбор электродвигателя исполняется по величине его среднеквадратичного этапа на валу, то потребуются генератор с большей величиной номинального тока. Значит, генератор обязан владеть конкретный припас по мощности. Он еще станет владеть огромную цена, массу и габариты.

Присутствие большущий переменной элемента мощности на валу электродвигателя обуславливает огромную переменную компонент мощности потребляемой им от СГ.

Переменная элемент потребляемой электродвигателем мощности вызывает перегрузки СГ ограниченной мощности и обуславливает его неуравновешенную работу. Понижается электрическая сопоставимость РЭП. Усугубляется тактическая черта РЛС – надежность (функциональная). Целенаправленно улучшить работу электропривода вращения антенны с передающим устройством (ПУ) по совместному воздействию на систему электроснабжения. ПУ потребляет среднюю мощность, соизмеримую со средней мощностью электропривода вращения антенны. ПУ содержит некоторое количество вероятных режимов работы, при коих меняется частота зондирующих импульсов и их продолжительность. При данном средняя потребляемая ПУ мощность меняется в 1,5-2 раза.

При наличии переменной мощности на валу электродвигателя создатель внес предложение менять режим работы передающего прибора. В итоге суммарная мощность, потребляемая от дизель-генератора РЭП и ПУ

сберегается неизменной. Это предложенное создателем свежее техническое заключение, защищено приоритетными документами.

Последующим развитием структурной схемы РЭП переменного тока для вращения антенны считается вступление в нее датчика извива полотна антенны. В данном случае управление приводом делается больше идеальным. Предусматривается 1 из индивидуальностей антенны как объекта управления – ограниченная строгость полотна антенны и несущей системы.

В итоге всю механическую доля вращения антенны возможно рассматривать как большое количество глобальную упруго-вязкую систему. В данном случае внедрение лишь только 3-х фиксированных скоростей вращения антенны и переход на 1 из их по сигналу от датчиков тока, устанавливающих перемена нагрузки электродвигателя РЭП в зависимости от силы ветра, считается важным, но не наилучшим заключением.

Верным аспектом разрешенных статических и динамических режимов электропривода идет по стопам считать механическую крепкость системы полотна антенны. Упруго-вязкие связи оказывают большущее воздействие на свойства РЭП в нестационарных режимах работы.

Обычно СВА гарантирует долговременную скорость вращения антенны, что, в собственную очередь, при ветровой нагрузке, воздействующей на картину антенны, вызывает возникновение переменной элемента этапа на валу электродвигателя и потребляемой им мощности, собственно, что ведет к наращиванию эквивалентного (среднеквадратичного) этапа на валу электродвигателя его расчетной мощности, массы, габаритов и цены. Не считая такого, неравномерный нрав употребления электронной энергии вызывает шатания работы всей РЛС.

Создатель внес предложение свежую систему управления электродвигателем вращения антенны РЛС. При изменении мощности на валу электродвигателя РЭП вращения антенны случается перемена скорости вращения антенны. В итоге среднеквадратичная мощность на валу электродвигателя остается равной средней мощности. Предложенное создателем свежее техническое заключение, защищено приоритетными документами. напряжения питания СВА, снижая электрическую сопоставимость (ЭМС) РЭП и надежность.

Этим образом, работа РЭП АФАР с сравнительно маленькой переменной скорости вращения антенны (10% за раз оборот), предполагаемым техническим регламентом эксплуатации РЛС, разрешает в 2,25 раза понизить вибрации, потребляемой им мощности, и на 26% убавить требуемое значение номинальной мощности электродвигателя РЭП. Сокращение вибраций потребляемой мощности увеличивает электрическую сопоставимость РЭП за счет понижения шатаний напряжения в сети электропитания, собственно что наращивает надежность (функциональную) и, не считая такого, понижает

расчетную мощность его силовой полупроводниковой части. Сокращение номинальной мощности электродвигателя РЭП разрешает понизить его цена, массу и габариты и, при что же величине нагрузки, увеличить его КПД

Электропривод неизменной мощности с переменной скоростью вращения антенны

Одной из ведущих элементах радиолокационных станций (РЛС), применяющихся для обнаружения и измерения координат всех целей в предоставленной области места, а еще для управления противовоздушной (противоракетной) защитой, считается система вращения антенны (СВА). По уровню потребляемой мощности (до 40% от совместной мощности) СВА считается весомым составляющей РЛС, в следствие этого при разработке РЛС большее значение имеют вопросы выбора её здоровой структуры, режимов работы и методик управления. В состав прогрессивной СВА входят РЭП, редуктор Р и антенна; в состав РЭП – синхронный электродвигатель с неизменными магнитами (СДПМ), выпрямитель В, фильтр Ф, инвертор И, датчик положения ротора ДПР, система управления, построенная в одновременно вращающейся системе координат с подчинённым регулировкой характеристик, состоящая из широтно-импульсного модулятора ШИМ, блоков пропорционально-интегральных (ПИ) регуляторов в контурах токов  $I_d$ ,  $I_q$  и блоков переустройства координат. Обычно СВА гарантирует долговременную скорость вращения антенны, и при ветровой нагрузке, воздействующей на картина антенны, бывает замечена переменная элемент этапа на валу электродвигателя и потребляемой им мощности, собственно что ведёт к наращиванию эквивалентного (среднеквадратичного) этапа на валу электродвигателя, его расчётной мощности, массы, габаритов и цены. Не считая такого, неравномерный нрав употребления электронной энергии вызывает шатания напряжения питания СВА, снижая электрическую сопоставимость (ЭМС) РЭП и надёжность работы всей РЛС. Совершенствования обозначенных характеристик возможно добиться при переменной скорости вращения вала СДПМ и антенного полотна. Определим связь меж переменной элемента мощности, электродвигателем РЭП при ветровой нагрузке, и скоростью вращения его вала, полагая, собственно что переменная элемент этапа сопротивления на валу меняется по синусоидальному закону, сообразному 1 гармонике разложения в ряд Фурье реальной зависимости этапа сопротивления от времени, и не находится в зависимости от скорости ветра и скорости вращения антенны (это выделяет вероятность, обрисовать работу РЭП с поддержкой легких аналитических выражений).

Обоснование выбора на подобии исполнительного мотора для электропривода антенн РЛС



В разрабатываемой системе привода антенны радиолокационной станции к исполнительному движку с 2-ух усилителей подводится систематическое усилие: усилие управления  $U_u$  на обмотку управления; обмотка возбуждения всякий раз подключена к источнику неизменного напряжения  $U_v$ . Не считая такого якорь ИД и антенна обязаны непрерывно вертеться с неизменной скоростью. На базе предъявляемых притязаний нужно выполнить выбор исполнительного мотора.

Своеобразные обстоятельства работы ИД определяют предъявляемые к ним запросы: недоступность самохода (при прекращении управляющего сигнала ротор мотора обязан остановиться); наименьшая криволинейность машиностроительных и регулировочных данных, собственно что обеспечит стойкую работу мотора в широком спектре частот вращения; надежность экономичность методик управления; быстродействие, то есть малое время разгона ротора до установившейся частоты вращения; малое усилие трогания – малое смещение управляющего сигнала, вызывающее вращение ротора мотора.

Исполнительный синхронный движок в предоставленном случае нам подходит по тому основанию, собственно что эти движки используются при притязании всепостоянства частоты вращения автономно от нагрузки на валу исполнительного органа (в нашем случае якорь мотора с антенной обязаны вертеться с неизменной скоростью), но статор обмотки возбуждения синхронного мотора исполняется от наружных источников, почасте всего тиристорных возбуждателей, коих в нашей схеме нет. Не считая такого, особые ИСД нам еще не подходят. Синхронный движок с неизменными магнитами содержит как правило цилиндрический ротор из магнито-твердых сплавов, которые считаются довольно дорогими.

Реактивный синхронный движок нам не подходит по основанию невысоких энергетических и не очень благоприятных весовых характеристик. Реактивный движок содержит невысокий  $\cos \phi$  и в следствие этого еще невысокий КПД. Реактивно-гистерезисный синхронный движок используется для привода электрочасов, для протягивания ленты в самопишущих устройствах и т.д.

Асинхронные исполнительные движки нам еще не подходят, вследствие того, что, они считаются бесколлекторными машинами переменного тока, а в нашей схеме к исполнительному движку подходит от электромашинного усилителя систематическое усилие, значит и неизменный ток. АИД с полым ротором содержит гигантские авторитет и размеры; сравнительно невысокий КПД, например как движки потребляют достаточно большущий ток и трудятся при большущих скольжениях, собственно что приводит к большущим потерям в статоре и роторе; большущий суммарный промежуток  $S$ , обуславливающий большущий немагнитный ток и сравнительно невысокий коэффициент мощности.

Шаговые исполнительные движки нам не подходят несомненно, например как они применяются в качестве исполнительных движков, модифицирующих электронные сигналы (импульсы напряжения) в угловые или же линейные дискретные (скачкообразные) движения (шаги) .

Движок неизменного тока с автономным возбуждением считается главным типом мотора неизменного тока, использующегося в качестве исполнительного вещества. Управление движком выполняется как правило по цепи якоря, к которой подводится энергия от усилителя. Обмотка возбуждения питается от источника с постоянным напряжением. Со стороны выхода движок всякий раз связан с приводимым в перемещение объектом (в нашем случае антенна).

В нашем принципе работы схемы реализации привода антенны радиолокационной станции впоследствии усиления в электромашинном усилителе и магнитном усилителе усилие  $U_y$  сервируется на обмотку управления исполнительного мотора, обмотка возбуждения которого подключена к неизменному источнику напряжения  $U_b$  , как и в движке с автономным возбуждением.

Движок поочередного возбуждения нам не подходит, например как эти движки используются как тяговые на электротранспорте и в крановых установках. А движки перемешанного возбуждения используются там, где потребуется важный пусковой момент и вероятны временные перегрузки и гигантские ускорения: для компрессоров, прокатных станов, строгальных станков и др.

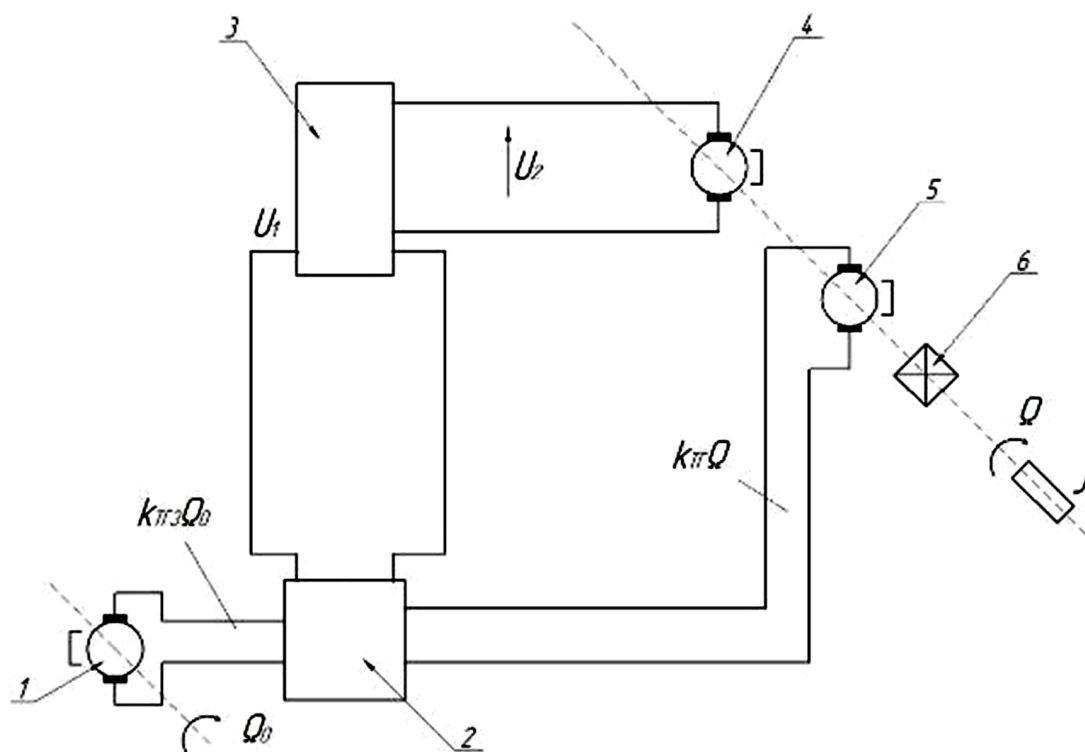
Этим образом, на базе сравнительного анализа и с учетом определенных критерий использования нашей САР избрали в качестве исполнительного мотора движок неизменного тока с автономным возбуждением (с якорным управлением).

## 2 Выбор основных элементов электропривода

### 2.1 Выбор принципиальной и функциональной схемы электропривода

Принципиальная схема следящего электропривода приведена на рисунке 2.1.

Следящий электропривод, анализ которого необходимо провести в техническом задании в дипломной работе, представляет собой замкнутую электромеханическую систему автоматического регулирования, принципиальная схема которой изображена на рисунке 2.1. Задающим воздействием является угловая скорость задающего вала  $\Omega_0$ . Выходной величиной является угловая скорость вращения выходного вала  $\Omega$ . В следящем электроприводе ведена обратная связь по угловой скорости, осуществляемая тахогенератором.



1 - задающий тахогенератор; 2 - усилитель напряжения; 3 - усилитель мощности; 4 - двигатель постоянного тока; 5 - тахогенератор; 6 - редуктор

Рисунок 2.1 - Принципиальная схема следящего электропривода

Функциональная схема, соответствующая данной принципиальной, приведена на рис. 2.2.

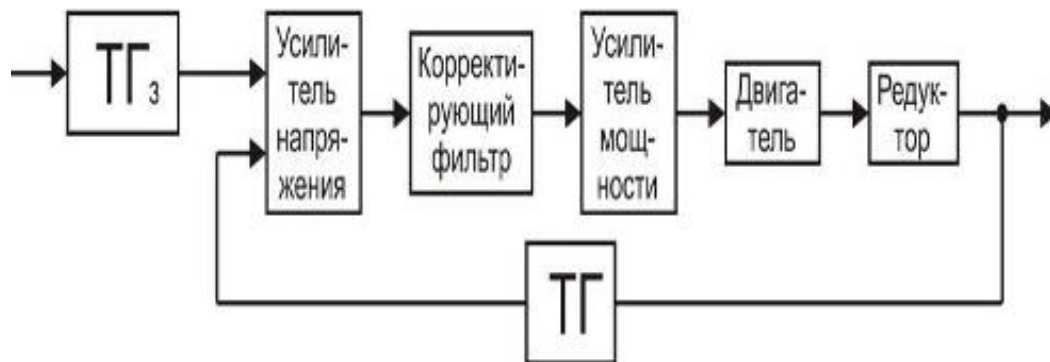


Рисунок 2.2 - Функциональная схема следящего электропривода

В большинстве случаев для следящей системы наибольшее значение имеют динамические качества, поэтому в основу методики положен выбор двигателя по перегрузочному моменту с последующей проверкой нагрева двигателя.

Методика выбора исполнительного двигателя и передаточного числа редуктора производится в соответствии с заданными значениями:

- момента нагрузки;
- максимальной угловой скорости;

При относительно невысокой мощности ЭСП, применяют двигатели постоянного тока серии ДПР с возбуждением от постоянных магнитов, имеющие достаточно высокий момент, динамические характеристики, малую потребляемую мощность, а также двигатели постоянного тока серии МИ.

## 2.2 Расчет требуемой мощности и выбор исполнительного двигателя

Выбор двигателя начинается с расчета требуемой мощности, которая должна быть достаточной для обеспечения заданной скорости и ускорения объекта управления при заданной нагрузке.

Требуемая мощность рассчитывается следующим образом:

$$P_{тр} = 2 \cdot \omega_{\max} \left( \frac{M_c}{\eta} + J_n \varepsilon_{\max} \right). \quad (2.1)$$

где  $P_{тр}$  - необходимая мощность двигателя, Вт;

$\omega_{\max} = 5$  рад/с - максимальная угловая скорость;

$M_c = 31$  Нм - момент сопротивления объекта управления, Нм;

$J_H = 5 \text{ Нм} \cdot \text{с}^2$  - момент инерции нагрузки;  
 $\varepsilon_{\text{макс}} = 0,4 \text{ рад/с}^2$  - максимальное угловое ускорение;  
 $\eta_p = 0,94$  - КПД редуктора (можно взять равным  $\eta_p = 0,94$ ).

$$P_{\text{ТР}} = 2 \cdot 5 \cdot \left( \frac{31}{0,94} + 5 \cdot 0,4 \right) = 349,7 [\text{Вт}],$$

Требуемой мощности удовлетворяют двигатели серии характеристика которого приведены в таблице 2.1

Выберем в качестве исполнительного двигателя типа 2ПН90М4ХЛ4.



Рисунок 2.3 - Двигатель типа 2ПН90М4ХЛ4.

Таблица 2.1 - Паспортные данные 2ПН90М4ХЛ4.

Тип двигателя;	2ПН90М4ХЛ4
Номинальная мощность (Вт); $P_H$	370
Номинальная скорость вращения (об/мин); $n_H$	1500
Номинальное напряжение (В); $U_H$	220
Номинальный ток (А); $I_H$	2,44
Момент инерции якоря (кг.м <sup>2</sup> ); $J_d$	0,004
Номинальный вращающий момент (Н·м); $M_H$	2,85
Сопротивление цепи обмотки якоря (Ом); $r_a$	14,42
Электромеханическая постоянная времени(мкс); $T_{дв}$	0,042
КПД двигателя(%); $\eta$	61,5
Индуктивность цепи якоря, $L_a$	190 мГн
Сопротивление обмотки возбуждения при 15 °С, $R_a$	162 Ом
Сопротивление добавочных полюсов при 15 °С, $R_{доб.п}$	6,66 Ом
Сопротивление якоря при 15 °С, $R_a$	10,61 Ом

Для выбора двигателя определяем следующие величины:  
Номинальная угловая скорость двигателя  $\omega_n$  [рад/с]:

$$\omega_n = n_n \pi / 30 = 1500 \cdot 3,14 / 30 = 157 \text{ рад/с.} \quad (2.2)$$

2. Передаточное число редуктора определяется по формуле

$$i_p = \frac{\omega_d}{\omega_{\text{наг}}} \quad (2.3)$$

где  $i_p$  - передаточное число редуктора,  $i_p = \frac{157}{5} = 31,4$

У соосных мини мотор- редукторов на 400 Ватт передаточное число  $i_p$  равно 30 или 40. Принимаем  $i_p=30$ .

3. Определяем требуемый момент на валу двигателя

$$M_{mp} = (J_d + J_p + \frac{J_n}{i_p^2 \eta_p}) i_p \varepsilon_{\max} + \frac{M_c}{i_p \eta_p}; \quad (2.4)$$

$$M_{mp} = (0.004 + 0.005 + \frac{5}{30^2 \cdot 0.94}) 30 \cdot 0.4 + \frac{31}{30 \cdot 0.94} = 1,28 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

4. Выбранный двигатель нужно проверить, удовлетворяет ли он по моменту и скорости в соответствии со следующими условиями:

$$\frac{M_n}{M_{тр}} > 2,0.$$

В нашем случае  $M_n/M_{тр} = 2,35/1,28 = 2,5$ .

$$\omega_p \cdot i_p / \omega_n \leq 1,2 - 1,5.$$

В нашем случае  $\omega_p \cdot i_p / \omega_n = 5 \cdot 30 / 157 = 0,96 \leq 1,2 - 1,5$ .

В результате проверок двигателя по моменту и скорости видно, что он не перегружен. Следовательно, двигатель 2ПН90М4ХЛ4 ( $M_H=2,35$  Нм,  $P_H=0,37$  кВт) выбран правильно.

Допустимые кратковременные перегрузки по току при номинальном потоке возбуждения для двигателей 2ПН, 2ПФ, 2ПО, 2ПБ —  $2I_{ном}$  в течение 60 с, для типов 2ПН, 2ПФ, 2ПО —  $3I_{ном}$  в течение 10 с; для типа 2ПБ —  $4I_{ном}$  в течение 10 с.

Частота вращения регулируется изменением напряжения на якоре (в сторону уменьшения) и ослаблением потока возбуждения (в сторону повышения).

Питание двигателей постоянного тока серии 2П может осуществляться от источника постоянного тока и от тиристорного преобразователя. При питании от тиристорного преобразователя допустимый ток якоря уменьшается в зависимости от схемы выпрямления и электромагнитной постоянной времени якорной цепи.

Проведем расчет его основных характеристик.

Принимая во внимание заданные условия: напряжение, подводимое от ЭМУ к обмотке управления двигателя,  $U=220$ В; частота вращения якоря  $=1500$  об/мин;

Расчет параметров

Сопротивление якорной цепи:

$$R_{я} \cong 0,5R_H(1-\eta_H) \cong 0,5 \cdot 90,16 \cdot (1-0,68) = 14,42 \text{ Ом}$$

$$R_H = U_H / I_H = 220 / 2,44 = 90,16 \text{ Ом};$$

$$\eta_H = P_H \cdot 10^3 / U_H I_H = 0,37 \cdot 10^3 / 220 \cdot 2,44 = 0,68$$

Коэффициент ЭДС двигателя:

$$K = \frac{U_H - I_H R_{я}}{\omega_H} = \frac{220 - 2,44 \cdot 14,42}{157,5} = 1,17 \text{ В} \cdot \text{с}$$

$$\omega_H = 0,105 \cdot n_H = 0,105 \cdot 1500 = 157,5 \text{ 1/с}$$

Скорость идеального холостого хода:

$$\omega_0 = \frac{U_H}{K} = \frac{220}{1,17} = 188 \text{ 1/с}$$

Или

$$\omega_0 = \omega_0 / (1 - \rho_{\text{Я}}) = 188 / (1 - 0,15) = 221,17 \text{ 1/с}$$

$$\rho_{\text{Я}} = R_{\text{Я}} / R_{\text{H}} = 14,42 / 90,16 = 0,15$$

Номинальный электромагнитный момент

$$M_{\text{H}} = K \cdot I_{\text{H}} = 1,17 \cdot 2,44 \cong 2,85 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

5. По координатам двух точек: 1)  $\omega_0=188 \text{ 1/с}$ ;  $I=0$ ;  $M=0$ ;  
 2)  $\omega_{\text{H}}=157,5 \text{ 1/с}$ ;  $I_{\text{H}}=2,44 \text{ А}$ ;  $M_{\text{H}}=2,85 \text{ Н}\cdot\text{м}$  строим естественные характеристики  $\omega(I)$  и  $\omega(M)$ .

6. Номинальный момент на валу двигателя:

$$M_{\text{HB}} = P_{\text{H}} \cdot 10^3 / \omega_{\text{H}} = 0,37 \cdot 10^3 / 157,5 = 2,35 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

7. Момент холостого хода двигателя: (при  $M_{\text{C}}=0$ )

$$M_{\text{ХХ}} = M_{\text{H}} - M_{\text{HB}} = 2,85 - 2,35 = 0,5 \text{ Н}\cdot\text{м}, (6,8\%)$$

8. Ток холостого хода двигателя:

$$I_{\text{ХХ}} = M_{\text{ХХ}} / K = 0,5 / 1,17 = 0,42 \text{ А}, (6,8\%)$$

Конструктивный Коэффициент двигателя:

$$k = C_{\text{E}} = C_{\text{M}} = \frac{P_{\text{H}} \cdot N}{2\pi \cdot a} = \frac{2 \cdot 492}{6,28 \cdot 1} = 156,7$$

Номинальная мощность, потребляемая из сети:

$$P_{1\text{H}} = P_{\text{H}} / \eta_{\text{H}} = 0,37 / 0,68 = 0,54 \text{ кВт}$$

11. Модуль жесткости естественной характеристики:

$$\beta = \frac{K^2}{R_{\text{Я}}} = \frac{1,17^2}{14,42} \cong 0,09 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$$



или

$$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = \frac{M_H}{\Delta \omega_H} = \frac{2,85}{188 - 157,5} = 0,09 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$$

12. Индуктивность цепи якоря:

$$L_{\text{я}} = 0,55 \frac{30U_H}{\pi \cdot I_H \cdot n_H \cdot \rho_{\text{л}}} = \frac{0,55 \cdot 30 \cdot 220}{3,14 \cdot 2,44 \cdot 1500 \cdot 2} = 0,157 \text{ Гн}$$

13. Электромагнитная постоянная времени цепи якоря:

$$T_{\text{я}} = L_{\text{я}} / R_{\text{я}} = 0,157 / 14,42 = 0,01 \text{ с}$$

14. Электромеханическая постоянная времени двигателя:

$$T_M = J_D \frac{R_{\text{я}}}{K^2} = 0,004 \frac{14,42}{1,17^2} = 0,042 \text{ с} \quad (J_M = 0)$$

или

$$T_M = \frac{J_D}{\beta} = \frac{0,004}{0,09} = 0,04 \text{ с}$$

15. Индуктивность обмотки возбуждения двигателя:

$$L_B = m \cdot W_{OB} \cdot K_S \frac{\Delta \Phi}{\Delta i_B} = 2P_{\text{л}} W_{OB} \cdot K_S \frac{\Phi_H}{I_{BH}} \cdot \frac{\Delta \varphi}{\Delta i_B^*} = 4 \cdot 1480 \cdot 1,2 \frac{0,017}{2,2} \cdot 0,64 = 35,13 \text{ Гн},$$

где  $\Delta \varphi / \Delta i_B^* = 0,64$  – отношение получено по универсальной кривой намагничивания двигателя серии Д

Сопротивление ОВД в нагретом состоянии:

$$R_{OB} = R_{OB(20^\circ)} (162) \cdot [1 + 0,004(115 - 20)] = 1,38 \cdot 70 = 223,56 \text{ Ом}$$

Электромагнитная постоянная времени цепи ОВД:

$$T_B = L_{OB} / R_{OB} = 35,13 / 223,56 = \text{с}$$

Полные номинальные потери мощности:

$$\Delta P_H = \frac{P_H}{\eta_H} (1 - \eta_H) = \frac{370}{0,68} (1 - 0,68) = 174,1 \text{ Вт}$$

Номинальные переменные потери мощности:

$$V_H = I_H^2 R_{\Sigma} = 2,44^2 \cdot 14,42 = 85,8 \text{ Вт}$$

Коэффициент постоянных потерь

$$\alpha = \frac{K_H}{V_H} \approx 1 \quad (\alpha = 0,5 \div 2)$$

Номинальные постоянные потери мощности:

$$K_H = \Delta P_H - V_H = 174,1 - 85,8 = 88,3 \text{ Вт}$$

Номинальные потери мощности на возбуждение:

$$\Delta P_{BH} = U_{HB} \cdot I_{BH} = 220 \cdot 0,98 = 215,6 \text{ Вт}, \quad (3,7\%) \quad I = U_{HB} / R = 220 / 223,56 = 0,98$$

Мощность холостого хода, потребляемая из сети:

$$P_{1.XX} = U_H \cdot I_{XX} = 220 \cdot 0,42 = 92,4 \text{ Вт}, \quad (17\%)$$

Потери энергии за 1 час работы привода с нагрузкой  $M_C = 0,8 \cdot M_H$  ( $X = 0,8$ )

$$\Delta W_y = \Delta P \cdot t = (K_H + V_H \cdot X^2) \cdot 3600 = (88,3 + 85,8 \cdot 0,8^2) \cdot 3600 = 515563,2 \text{ Вт}\cdot\text{с} = 0,14 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Общий расход энергии за 1 час работы привода с нагрузкой  $M_C = 0,8 \cdot M_H$  ( $X = 0,8$ ):

$$\Delta W_y = [M_C \cdot \omega_c + (K_H + V_H \cdot X^2)] \cdot t = [2,28 \cdot 163,9 + (88,3 + 85,8 \cdot 0,8^2)] \cdot 3600 = 1860854,4 \text{ Вт}\cdot\text{с} = 0,51 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Скорость вращения вала двигателя при  $M_C = 0,8 \cdot M_H = 0,8 \cdot 2,85 = 2,28 \text{ Н}\cdot\text{м}$ :

$$\omega_c = \omega_0 - \frac{R_{\Sigma}}{K^2} \cdot M_c = 188 - \frac{14,42}{1,17^2} \cdot 2,28 = 163,9 \text{ 1/с}$$

### 2.3 Электромеханическая и механическая статическая характеристика

Переводим номинальную скорость вращения двигателя из  $n$  в  $\omega$  (из внесистемной единицы "об/мин" в единицу системы СИ "рад/с" или, что то же, "1/с")

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ 1/с}$$

Определяем номинальный коэффициент ЭДС

$$c_n = \frac{U_n - I_n R_{\Sigma}}{\omega_n} = \frac{220 - 2,44 \cdot 14,42}{157} = 1,17 \text{ Вб}$$

Номинальный электромагнитный момент

$$M_n = I_n \cdot c_n = 2,44 \cdot 1,17 = 2,85$$

Расчет и построение естественных характеристик Скорости идеального холостого хода и номинальная скорость одинаковы и для электромеханической и для механической характеристик

$$\omega_0 = \frac{U_n}{c_n} = \frac{220}{1,17} = 188$$

Статическое падение скорости под действием номинальной нагрузки

$$\Delta \omega_{c_n} = \frac{I_n R_{\Sigma}}{c_n} = \frac{2,44 \cdot 14,42}{1,17} = 30,07$$

На естественной механической характеристике получим тот же результат

$$\Delta\omega_{сн} = \frac{M_n R_{я}}{c_n^2} = \frac{2,85 \cdot 14,42}{1,17^2} = 30,02$$

Естественную электромеханическую характеристику строим по двум точкам. 1  $\omega = \omega_0 = 188$  1/с;  $I = 0$ ; 2.  $\omega = \omega_n = 157$  1/с;  $I_c = I_n = 2,44$  А

Естественную механическую характеристику строим по двум точкам 1.  $\omega = \omega_0 = 188$  1/с;  $M = 0$ ; 2.  $\omega = \omega_n = 157$  1/с;  $M_c = M_n = 2,85$  Нм, рис. 1,б.

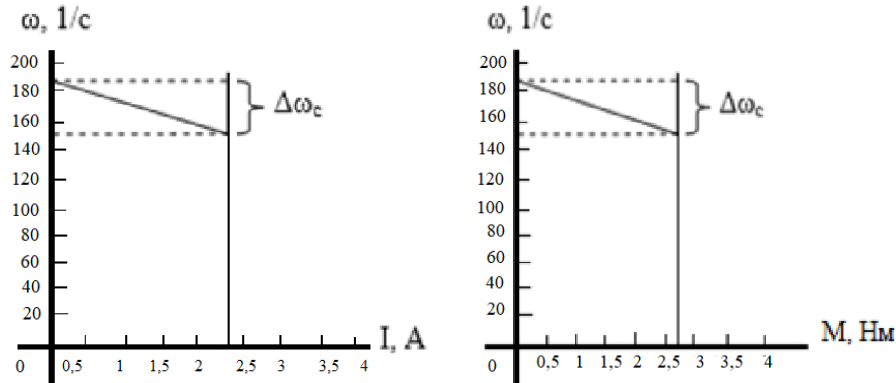


Рисунок 2.5 - Естественные электромеханическая (а) и механическая (б) характеристики

Рассчитать и построить искусственную характеристику

Рассчитать и построить искусственную механическую характеристику при  $R_{д1}=7$ ,  $R_{д2}=14$  Ом  $R_{д3}=28$ . Подставляем заданное напряжение в формулу механической характеристики при номинальном моменте.

$$\omega_c = \frac{U_n}{c_n} - \frac{M_n \cdot (R_{я} + R_{д1})}{c_n^2} = \frac{220}{1,17} - \frac{2,85 \cdot (14,42 + 7)}{1,17^2} = 143,43$$

$$\Delta\omega_c = \frac{2,85 \cdot (14,42 + 7)}{1,17^2} = 44,59$$

$$\omega_c = 188 - 44,59 = 143,41$$

Искусственную характеристику строим по двум точкам: 1.  $\omega_0 = 188$  1/с;  $M = 0$  2.  $\omega_c = 143,41$  1/с;  $M = M_n = 2,85$  Нм,

$$\omega_c = \frac{U_H}{c_H} - \frac{M_H \cdot (R_{Я} + R_{Д1})}{c_H^2} = \frac{220}{1,17} - \frac{2,85 \cdot (14,42 + 14)}{1,17^2} = 128,86$$

$$\Delta\omega_c = \frac{2,85 \cdot (14,42 + 14)}{1,17^2} = 59,16$$

$$\omega_c = 188 - 59,16 = 128,84$$

Искусственную характеристику строим по двум точкам: 1.  $\omega_0=188$  1/с;  $M=0$  2.  $\omega_c=128,84$  1/с;  $M=M_H=2,85$  Нм, рис. 2

$$\omega_c = \frac{U_H}{c_H} - \frac{M_H \cdot (R_{Я} + R_{Д1})}{c_H^2} = \frac{220}{1,17} - \frac{2,85 \cdot (14,42 + 28)}{1,17^2} = 99,71$$

$$\Delta\omega_c = \frac{2,85 \cdot (14,42 + 28)}{1,17^2} = 88,3$$

$$\omega_c = 188 - 99,71 = 88,3$$

Искусственную характеристику строим по двум точкам: 1.  $\omega_0=188$  1/с;  $M=0$  2.  $\omega_c=99,71$  1/с;  $M=M_H=2,85$  Нм, рис. 2

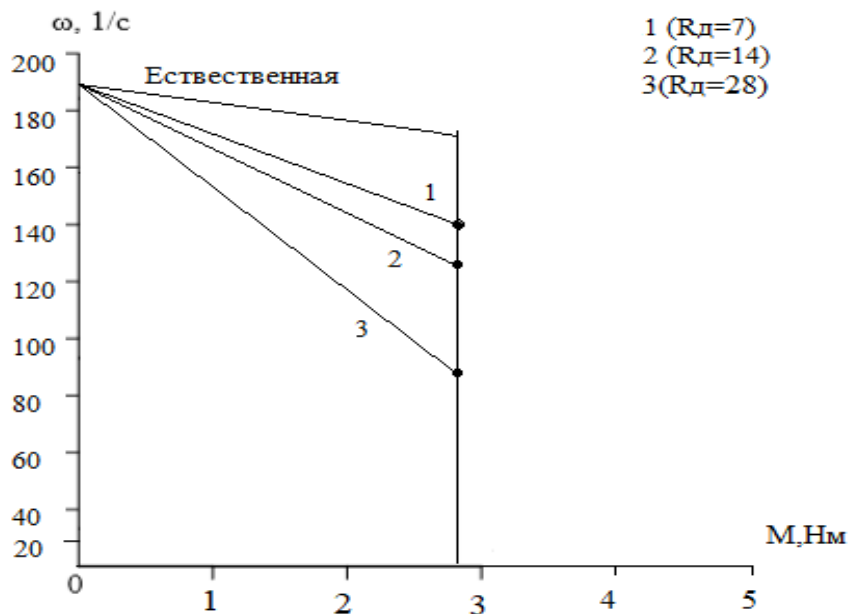


Рисунок 2.6 - Искусственная характеристика при добавочном сопротивлении.

Рассчитать и построить искусственную механическую характеристику при  $U=50$  В, при  $U=100$ , при  $U=220$ .

Подставляем заданное напряжение в формулу механической характеристики при  $U=50$  В.

$$\omega_0 = \frac{50}{c_n} - \frac{M_n R_{я}}{c_n^2} = \frac{50}{1,17} - \frac{2,85 \cdot 14,42}{1,17^2} = 12,71$$

Здесь первая составляющая скорости является скоростью идеального холостого хода на искусственной характеристике

$$\omega_0 = \frac{50}{c_n} = \frac{50}{1,17} = 42,73 \text{ 1/с}$$

а вторая - статическое падение скорости (здесь, поскольку наклон характеристики сохраняется таким же как на естественной, оно равно  $\Delta\omega_c$ )

$$\Delta\omega_c = \frac{M_n R_{я}}{c_n^2} = \frac{2,85 \cdot 14,42}{1,17^2} = 30,02$$

Скорость на искусственной характеристике при номинальном моменте

$$\omega_c = 42,73 - 30,02 = 12,71 \text{ 1/с}$$

Искусственную характеристику строим по двум точкам: 1.  $\omega_0=42,73$  1/с;  $M=0$  2.  $\omega_c=12,71$  1/с;  $M=M_n=2,85$  Нм,

Подставляем заданное напряжение в формулу механической характеристики при  $U=100$  В.

$$\omega_0 = \frac{100}{c_n} - \frac{M_n R_{я}}{c_n^2} = \frac{100}{1,17} - \frac{2,85 \cdot 14,42}{1,17^2} = 55,44$$

$$\omega_0 = \frac{100}{c_n} = \frac{100}{1,17} = 85,47 \text{ 1/с}$$

$$\omega_c = 85,47 - 30,02 = 55,45 \text{ 1/с}$$

Искусственную характеристику строим по двум точкам: 1.  $\omega_0=85,47$  1/с;  $M=0$  2.  $\omega_c=55,45$  1/с;  $M=M_n=2,85$  Нм,

Подставляем заданное напряжение в формулу механической характеристики при  $U=220$  В.

$$\omega_0 = \frac{220}{c_n} - \frac{M_n R_n}{c_n^2} = \frac{220}{1,17} - \frac{2,85 \cdot 14,42}{1,17^2} = 158,01$$

$$\omega_0 = \frac{220}{c_n} = \frac{220}{1,17} = 188$$

$$\omega_c = 188 - 30,02 = 157,98$$

Искусственную характеристику строим по двум точкам: 1.  $\omega_0=188$  1/с;  $M=0$  2.  $\omega_c=157,98$  1/с;  $M=M_n=2,85$  Нм,

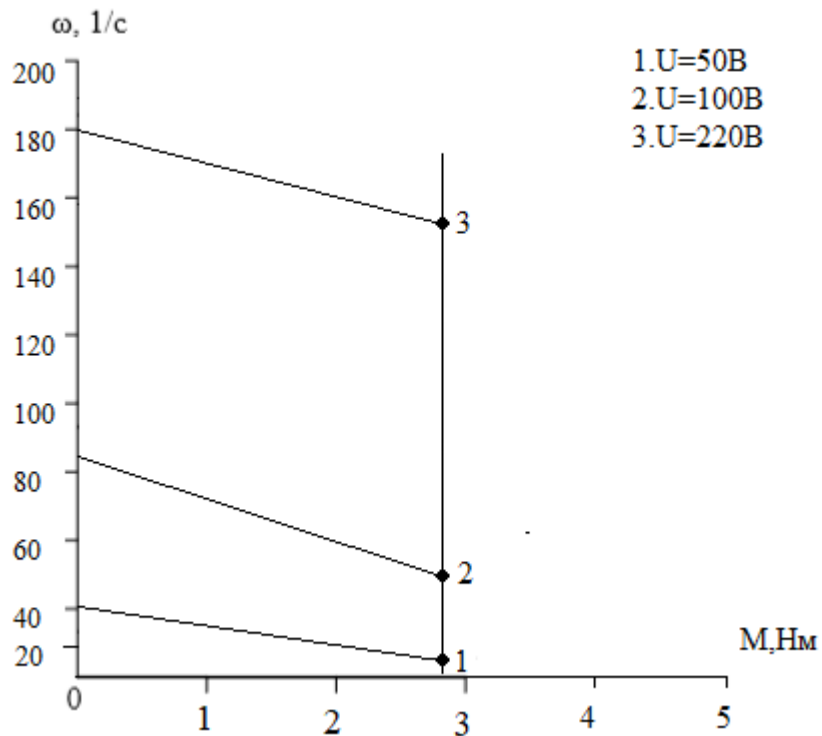


Рисунок 2.7 - Искусственная характеристика при разном напряжении.

Рассчитать и построить искусственную механическую характеристику при  $c=0,8$  Вб,  $c=1$  Вб,  $c=0,5$  Вб. Подставляем заданное напряжение в формулу механической характеристики при номинальном моменте.

$$\omega_c = \frac{220}{0,8} - \frac{M_n R_n}{0,8^2} = \frac{220}{0,8} - \frac{2,85 \cdot 14,42}{0,8^2} = 210,7$$

Здесь изменяются в сторону увеличения и скорость идеального холостого хода, и статическое падение скорости

$$\omega_0 = \frac{220}{0,8} = 275$$

$$\Delta\omega_c = \frac{2,85 \cdot 14,42}{0,8^2} = 64,21$$

$$\omega_c = 275 - 64,21 = 210,7$$

Искусственную характеристику строим по двум точкам: 1.  $\omega_0=275$  1/с;  $M=0$  2.  $\omega_c=210,7$  1/с;  $M=M_H=2,85$  Нм, рис. 4

Подставляем заданное напряжение в формулу механической характеристики при номинальном моменте. При  $c=1,17$  Вб

$$\omega_c = \frac{220}{1,17} - \frac{M_H R_{\Sigma}}{1,17^2} = \frac{220}{1,17} - \frac{2,85 \cdot 14,42}{1,17^2} = 158,01$$

$$\omega_0 = \frac{220}{1,17} = 188$$

$$\Delta\omega_c = \frac{2,85 \cdot 14,42}{1,17^2} = 30,02$$

$$\omega_c = 188 - 30,02 = 157,98$$

Искусственную характеристику строим по двум точкам: 1.  $\omega_0=188$  1/с;  $M=0$  2.  $\omega_c=157,98$  1/с;  $M=M_H=2,85$  Нм

Подставляем заданное напряжение в формулу механической характеристики при номинальном моменте. При  $c=0,5$  Вб

$$\omega_c = \frac{220}{0,5} - \frac{M_H R_{\Sigma}}{0,5^2} = \frac{220}{0,5} - \frac{2,85 \cdot 14,42}{0,5^2} = 275,6$$

$$\omega_0 = \frac{220}{0,5} = 440$$

$$\Delta\omega_c = \frac{2,85 \cdot 14,42}{0,5^2} = 164,38$$

$$\omega_c = 440 - 164,38 = 275,62$$

Искусственную характеристику строим по двум точкам: 1.  $\omega_0=440$  1/с;  $M=0$  2.  $\omega_c=275,62$  1/с;  $M=M_H=2,85$  Нм,



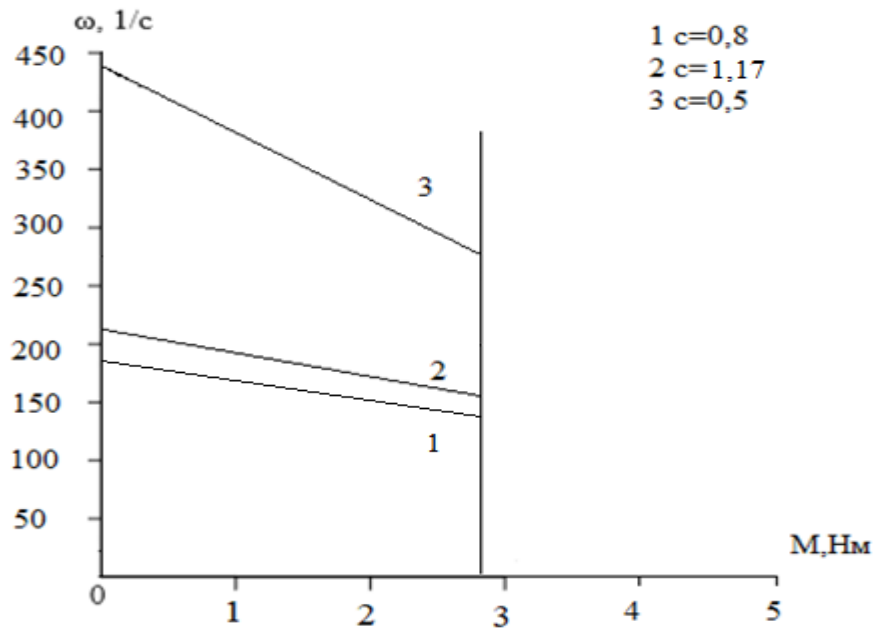


Рисунок 2.8 - Искусственная характеристика при изменении момента

## 2.4 Расчет тиристорного преобразователя

В автоматизированных электроприводах с широким диапазоном регулирования скорости система ТП-Д постоянного тока является в настоящее время преобладающей. На рисунке 4.4 приведены схемы электропривода с тиристорными преобразователями, собранными по трехфазной нулевой схеме выпрямления.

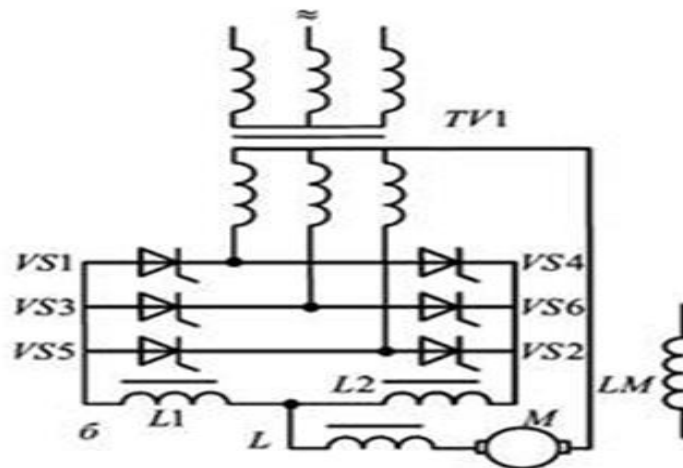


Рисунок 2.4 - Схема электропривода с нулевым реверсивным тиристорным преобразователем

Применяемые в преобразователях тиристоры – полу управляемые полупроводниковые приборы. Они включаются по цепи управляемого электрода положительным импульсом управления, а выключаются тогда, когда анодный ток тиристора падает ниже тока удержания.

Управляющие импульсы подаются на тиристоры поочередно в моменты времени, зависящие от напряжения управления тиристорным преобразователем. Изменяя напряжение управления, можно менять угол  $\alpha$  открытия тиристоров и, следовательно, регулировать действующее выпрямленное напряжение на нагрузке.

Тиристорный преобразователь работает в выпрямительном режиме при угле управления  $0 < \alpha < 90$  эл.град. В пределах угла перекрытия  $\gamma$  два тиристора нулевой схемы выпрямления будут открыты одновременно и подключены к одной нагрузке – якорю двигателя. Мгновенное значение выпрямленного напряжения при этом снижается на полу разность мгновенных значений фазных напряжений. Как следует из рис. 4.5, тиристоры открыты и при отрицательных фазных напряжениях вторичной обмотки трансформатора  $TVI$ . Это возможно только в том случае, когда в цепи выпрямленного тока большая индуктивность и ток в цепи обмотки якоря поддерживается за счет ЭДС самоиндукции. При малой индуктивности якорной цепи двигателя тиристоры при отрицательных напряжениях на вторичной обмотке трансформатора  $TU1$  закрываются, а ток в якорной цепи прерывается. Для уменьшения зоны прерывистого тока в якорную цепь электродвигателя включают дополнительную индуктивность  $L$ .

При активной нагрузке на валу двигателя тиристорный преобразователь может перейти в инверторный режим работы. Перевод преобразователя из выпрямительного режима работы в инверторный происходит при увеличении угла управления, а свыше  $90$  эл.град. В инверторном режиме работы преобразователя с трехфазной нулевой схемой выпрямления электрическая машина постоянного тока становится генератором, а тиристоры открываются при отрицательных значениях напряжения вторичной обмотки трансформатора  $TVI$ . При работе тиристорного преобразователя как в выпрямительном, так и в инверторном режимах ток через тиристоры протекает только в одном направлении.

Для того чтобы выполнить тиристорный электропривод реверсивным, работающим в четырех квадрантах, необходимо использовать две группы тиристоров, включив их встречно-параллельно. Группы тиристоров работают в совместном согласованном режиме, причем тиристоры  $VS1$ ,  $VS3$ ,  $VS5$  образуют одну группу, работающую в выпрямительном режиме, а тиристоры  $VS2$ ,  $VS4$ ,  $VS6$  – другую группу, работающую в противоположном режиме, инверторном.

Для другого направления вращения режимы работ групп тиристорov меняются. Мгновенные значения ЭДС выпрямительной и инверторной групп не равны между собой. Для уменьшения уравнивающих токов, протекающих между группами тиристорov, в электропривод введены реакторы  $L1$  и  $L2$ .

Системы "тиристорный преобразователь-двигатель" позволили:

- расширить диапазон регулирования скорости в замкнутых системах до  $D=1:10000$ ;
- обеспечить плавное регулирование скорости  $\phi_{na} \rightarrow 1$ ;
- получить необходимую жесткость механических характеристик  $k_B \rightarrow \infty$
- обеспечить высокий КПД – " 0,95.

Одним из основных недостатков электроприводов с тиристорными преобразователями является низкий коэффициент мощности. Мощные тиристорные преобразователи вносят искажения в форму напряжения питающей сети.

Расчет и выбор основных элементов силовой схемы тиристорного преобразователя с нулевой точкой

Расчет мощности и выбор силового трансформатора и вентиля преобразователя

В таблицах 2.2 и 2.3 приведены данные для расчета.

Таблица 2.2 - Исходные данные

P, кВт	n, об/мин	D	$\Delta\omega$ , %	U <sub>н</sub> , В	I <sub>н</sub> , А	$\eta$
0,37	1500	4	6	220	2,44	0,615

Таблица 2.3 - Исходные данные

K <sub>н</sub>	K <sub>u</sub> макс	K <sub>T2</sub>	K <sub>T1</sub>	K <sub>M</sub>	K <sub>u</sub>	K <sub>a</sub>	K <sub>R</sub>	K <sub>i</sub>
0,854	2,09	0,577	0,817	1,345	1,05	1,2	1,05	1,05

Приняты следующие обозначения:

K<sub>н</sub>- коэффициент схемы;

K<sub>T2</sub>– коэффициент, представляющий собой отношение действующего значения соответствующего фазного тока к выпрямленному току;

K<sub>u</sub> – коэффициент запаса по напряжению, учитывающий допусаемое по ПУЭ снижение напряжения сети;

K<sub>a</sub> - коэффициент запаса, учитывающий неполное открытие вентиля при максимальном управляющем сигнале;

$K_R$  - коэффициент, учитывающий падение напряжения при нагрузке в вентильях и обмотках трансформатора, а также наличие угла коммутации;

$K_i$  - коэффициент, учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной;

$K_{T2}$  - коэффициент, представляющий собой отношение действующего значения соответствующего фазного тока к выпрямленному току;

$K_{T1}$ ,  $K_M$  - коэффициенты, используемые при расчете трансформатора.

Подводимое к схеме выпрямления напряжение

$$U_{2\Phi} = K_H \cdot K_u \cdot K_a \cdot K_R \cdot U_{дн} = 0,854 \cdot 1,05 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot 220 = 248,5 \text{ В};$$

Расчет действующее значение тока во вторичной обмотке определяется исходя из величины номинального тока двигателя  $I_{дн}$  по формуле

$$I_2 = K_i \cdot K_{T2} \cdot I_{дн} = 1,05 \cdot 0,577 \cdot 2,44 = 1,47 \text{ А};$$

Расчет типовой мощности трансформатора производится с учетом нагрева первичной и вторичной обмоток трансформатора при помощи коэффициента  $K_M$ .

Таким образом, типовая мощность трансформатора для преобразователя, питающего якорь двигателя, может быть рассчитана по формуле

$$S_T = K_u \cdot K_a \cdot K_R \cdot K_i \cdot K_M \cdot U_d I_d = 1,05 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,345 \cdot 220 \cdot 2,44 = 1,002 \text{ кВА};$$

Трансформатор выбирается по типовой мощности и необходимому вторичному напряжению и проверяется по нагреву первичным током

$$I_1 = K_i \cdot K_{T1} \cdot I_d = 1,05 \cdot 0,817 \cdot 2,44 = 2,09 \text{ А};$$

Выбираем трансформатор напряжения ТСЗИ-1,0-22 .

Трехфазный сухой разделительный защищенный инструментальный ТСЗИ мощностью  $S= 1,0$  кВА предназначен для обеспечения необходимым напряжением питания устройств и цепей управления и т.д.

$$U_{1\Phi H} = 220 \text{ В}, U_{2\Phi H} = 248,5 \text{ В}, u_K = 5\%, \Delta P_{K3} = 88 \text{ Вт}.$$

$$K_T = \frac{U_{1\Phi H}}{U_{2\Phi H}} = \frac{220}{248,5} = 0,88$$

$$I_{1\Phi H} = \frac{S_T}{3 \cdot U_H} = \frac{1,002 \cdot 10^3}{3 \cdot 220} = 1,51 \text{ А};$$

$$R_T = \frac{u_K \cdot U_{1\Phi H}}{100 \cdot I_{1\Phi H} \cdot K_T^2} = \frac{5 \cdot 220}{100 \cdot 1,51 \cdot 0,88^2} = 9,4 \text{ Ом};$$

$$X_T = \frac{\Delta P_{K3}}{m \cdot I_{1\Phi H}^2 \cdot K_T^2} = \frac{75}{3 \cdot 1,51^2 \cdot 0,88^2} = 14,15 \text{ Ом};$$

Выбор тиристоров производится по среднему значению тока через вентиль с учетом увеличения тока двигателя в переходных режимах до  $(2-2,2)I_H$  условий охлаждения и максимального значения обратного напряжения. Среднее значение тока через тиристор

$$I_{cp} = k_3 \cdot I_H / k_{ox} \cdot m_T \text{ А}, = 2 \cdot 2,44 / 0,35 \cdot 3 = 4,64 \text{ А},$$

где  $k_3 = (2-2,5)$  – коэффициент запаса по току;

$k_{ox}$  – коэффициент учитывающий интенсивность охлаждения вентиля, при естественном воздушном охлаждении  $k_{ox} = 0,35$ ;

Максимальная величина обратного напряжения

$$U_{обрм} = k_{зн} \cdot k_{иобр} \cdot U_{do}, \text{ В}, = 1,6 \cdot 2,25 \cdot 291,06 = 1047,8 \text{ В},$$

где  $k_{зн} = (1,5-1,8)$  – коэффициент запаса по напряжению, учитывающий возможное повышение сети напряжения и периодические выбросы напряжения при коммутациях вентиля;

$k_{иобр}$  – коэффициент обратного напряжения;

$$k_{иобр} = 2,25.$$

$U_{do}$  – напряжение преобразователя при  $\alpha = 0$  предварительно подсчитывается по формуле

$$U_{do} = k_c \cdot k_a \cdot k_r \cdot U_d = 1,05 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot 220 = 291,06 \text{ В}.$$

Выбираем тиристоры T122-20-11

$$I_{ном} = 20 > I_{дф} = 4,64 \text{ А}, U_{ном} = 1100 \text{ В} > U_{обрм} = 1047,8 \text{ В}.$$

Расчет индуктивности сглаживающих и уравнивающих реакторов (дросселей)

В схемах ТП применяются два вида силовых индуктивных элементов – уравнивательные (УД) и сглаживающие (СД) реакторы (дроссели).

УД используются для ограничения амплитуды переменной составляющей уравнительного тока в реверсивных преобразователях.

Сглаживающие реакторы выполняют две функции: ограничивают пульсации тока в якорной цепи и обеспечивают работу в зоне непрерывных токов.

$$(L_{я}=190 \text{ мГн})$$

Индуктивность трансформатора определяется, как

$$L_T = \frac{X_T}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{14,15}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 52,86 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

Необходимая индуктивность цепи

$$L_{яц} = L_{др} \cdot L_{я} \cdot L_T = \frac{e_e^* \cdot E_{2ср}}{I_e^* \cdot \omega_{0п} \cdot I_{ном}} = \frac{0,52 \cdot 220}{0,02 \cdot 942,478 \cdot 2,44} = 2,487 \text{ Гн};$$

$$L_{др} = L_{яц} - L_{я} - L_T = 2,487 - 0,19 - 52,89 \cdot 10^{-3} = 2,24 \text{ Гн};$$

где  $\omega_{0п} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot m = 942,478 \text{ рад/с}$  - угловая частота пульсаций;

$e_e^* = 0,52$  - относительная величина ЭДС пульсаций для нулевой схемы.

Далее выполним расчет индуктивности уравнительных дросселей (УД). Требуемая величина индуктивности УД находится в зависимости от ограничения амплитуды переменной составляющей уравнительного тока до величины (3-5 %) от  $I_H$  двигателя, т.е.

$$L_{уд,расч} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot U'_п}{m \cdot \omega_c \cdot (0,03 \div 0,05) I_H},$$

где  $U'_п$  - удвоенное активное значение первой гармоники выпрямленного напряжения, определяемое по соответствующим кривым. При  $\alpha = 90^\circ$ ,  $U'_п = 250 \text{ В}$ ;

$m$ - число фаз выпрямителя,  $m = 3$ ;

$\omega_c$ - угловая частота сети,  $\omega_c = 314 \text{ рад/с}$ .

$$L_{уд,расч} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot 250}{3 \cdot 314 \cdot 0,04 \cdot 2,44} = 3,84 \text{ Гн}.$$

Уравнительные дроссели выбираем частично насыщающимися, т.е.  $L_{уд}=0,7 L_{уд,расч}$ . Выбираем дроссель серии LQW15AN22NG00D.  $L_{уд}=2,66Гн$ .

Индуктивность дросселя, включаемого последовательно с якорем двигателя, определяется из условия обеспечения непрерывности тока двигателя во всем диапазоне нагрузки от  $I_{дмин}$  до  $I_{дмакс}$  и изменение угла управления от  $\alpha = \alpha_{мин}$  до  $\alpha = 90^0$

$$L_{днеобх} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot U_{п}'}{m \cdot \omega_c \cdot I_{дмин}}$$

где  $U_{п}$  - действующее значение первой гармоники напряжения. Для трехфазной схемы выпрямления  $U_{п}=120 В$ ;

$I_{дмин}$  – минимальный ток преобразователя, принимается равным (3-5)% от номинального значения.

$$L_{днеобх} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot 120}{3 \cdot 314 \cdot 0,04 \cdot 2,44} = 1,84Гн.$$

Определение параметров привода и построение электромеханических характеристик

Значение коммутационного сопротивления

$$R_k = \frac{X_T \cdot m}{2 \cdot \pi} = \frac{14,15 \cdot 3}{2 \cdot 3,14} = 6,75 Ом,$$

где  $m$  – число фаз.

Эквивалентное внутреннее сопротивление преобразователя

$$R_{пр} = R_T + n \cdot R_{дТ} + R_k = 9,4 + 6,75 = 16,15 Ом;$$

Для мостовых схем  $R_T$  вдвое больше (сопротивление двух фазных обмоток).

Сопротивление  $R_{дТ}$  принимаем равным нулю, т.к. оно пренебрежимо малы.

Электромагнитная постоянная времени

$$T_{я} = \frac{L_{др} + L_{я} + L_{Т}}{R_{э}} = \frac{2,24 + 0,19 + 52,89 \cdot 10^{-3}}{30,55} = 0,081,$$

$$\text{где } R_{э} = R_{я} + R_{мп} = 14,4 + 16,15 = 30,55 \text{ Ом};$$

Далее производится расчет статических электромеханических характеристик привода в разомкнутой системе. ЭДС преобразователя при номинальной скорости и номинальной нагрузке

$$E_H = k\Phi_H \cdot \omega_H + \Delta U + I_H \cdot R_{э} = 1,17 \cdot 157,08 + 2,44 \cdot 30,55 = 258,32 \text{ В}$$

Определяем параметр  $k\Phi_H$

$$k\Phi_H = \frac{U_H - I_H \cdot R_{я}}{\omega_H} = \frac{220 - 2,44 \cdot 14,42}{157,08} = 1,17 \text{ В} \cdot \text{с};$$

где  $\Delta U = \Delta U_B + \Delta U_{щ} \approx 0$  – падение напряжения в переходах тиристорov и щеточных контактах двигателя.

Статическая характеристика строится при изменении тока по формуле

$$\omega_1(I) = \frac{E_H - \Delta U - I \cdot R_{э}}{k\Phi_H} = \frac{258,32 - 2,44 \cdot 30,55}{1,17} = 157,07$$

ЭДС преобразователя при минимальной скорости и номинальной нагрузке

$$E_{n,\min} = \frac{k\Phi_H \cdot \omega_H}{D} + \Delta U + I_H \cdot R_{э} = \frac{1,17 \cdot 157,08}{4} + 2,44 \cdot 30,55 = 120,48 \text{ В};$$

$$\omega_1(I) = \frac{E_H - \Delta U - I \cdot R_{э}}{k\Phi_H} = \frac{258,32 - 2,44 \cdot 30,55}{1,17} = 157,07$$

$$\omega_2(I) = \frac{E_{n,\min} - \Delta U - I \cdot R_{э}}{k\Phi_H} = \frac{120,48 - 2,44 \cdot 30,55}{1,17} = 39,26$$

Верхняя и нижняя статические характеристики строятся по формулам, и приводятся на одном графике, где:

$$\omega_{01} = \frac{E_H - \Delta U}{k\Phi_H} = 258,32 / 1,17 = 220,7$$



$$\omega_{01\min} = \frac{E_{n.\min} - \Delta U}{k\Phi_H} = 120,48 / 1,17 = 102,97.$$

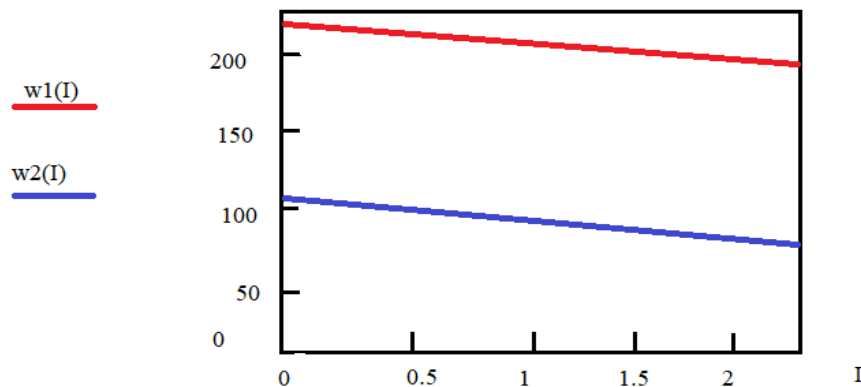


Рисунок 2.4- статическая характеристика.

## 2.5 Выбор контроль измерительных приборов редуктора

В результате проверок двигателя по моменту и скорости видно, что он не перегружен. Следовательно, двигатель 2ПН90М4ХЛ4 ( $M_H=2,35$  Нм,  $P_H=0,37$  кВт) выбран правильно.

Выбор информационно-измерительных элементов. Чувствительные элементы, применяемые в следящих системах, чрезвычайно многообразны. К наиболее распространённым можно отнести сельсины, синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы, потенциометры.

Ошибка системы в статических режимах, как и в любых других режимах, зависит от управляющих и возмущающих воздействий, от параметров систем и их отклонений, а также от погрешностей элементов системы.

Для коррекции динамики могут применяться датчики скорости и ускорения вала объекта регулирования или вала двигателя, а также датчик момента, развиваемого электродвигателем.

Выберем в качестве датчика обратной связи датчик скорости (тахогенератор), кинематически связанный с валом электродвигателя. Тахогенератор является практически без инерционным датчиком угловой скорости. Для разрабатываемого следящего привода используем тахогенератор типа ТП50-100-1 имеющий следующие параметры:  $n_{\max} = 1500$  об/мин,  $R = 10$  кОм,  $J_p = 36 \cdot 10^{-6}$  кгм<sup>2</sup>,  $M_{тр} = 270 \cdot 10^{-4}$  Н·м, крутизна характеристики датчика  $S = 100$  мВ/об/мин,  $\tau_3 = 25$  мс.

На основании анализа всех исполнительных двигателей был выбран исполнительный двигатель постоянного тока с независимым возбуждением.

### 3 Математическое описание электромеханической части следящего электропривода

#### 3.1 Уравнения движения следящего электропривода

Будем считать, что все звенья системы являются линейными. Для составления уравнений системы функциональную схему следящего электропривода разобьем на динамические звенья и найдем их передаточные функции.

Составим уравнение следящего электропривода, приведенного по рисунку

Составим уравнение следящего электропривода, приведенного по рисунку 2.1.

Уравнения двигателя.

Для электродвигателя постоянного тока уравнение электрической цепи, составленной по второму закону Кирхгофа:

$$\sum_{j=1}^n e_j = \sum_{k=1}^m u_k \quad (3.1)$$

имеет вид

$$L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + R_{\text{я}} + e_{\text{д}} = u_{\text{Г}} \quad (3.2)$$

Уравнение механической цепи, составленной на основе второго закона Ньютона для моментов инерции:

$$J \frac{dR}{dt} + M_{\text{с}} = M_{\text{д}} \quad (3.3)$$

где момент сопротивления,  $M_{\text{д}} = k_{\text{м}} i_{\text{я}}$ , э.д.с. двигателя  $e_{\text{д}} = k_{\text{е}} R$ .

Подставим значение для  $e_{\text{д}}$  в уравнения (3.2). Получим систему уравнений:

$$L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + R_{\text{я}} i_{\text{я}} + k_{\text{е}} R = u_{\text{Г}} \quad (3.4)$$

Перейдем в изображения по Лапласу:

$$\begin{cases} L_{\text{я}} p i_{\text{я}}(p) + R_{\text{я}} i_{\text{я}}(p) + k_e R(p) = u_{\Gamma}(p) \\ J p R(p) + M_c = k_M i_{\text{я}}(p) \end{cases}$$

Преобразуем систему с учетом того, что  $M_c = 0$ :

$$\begin{cases} i_{\text{я}}(p)[L_{\text{я}} \cdot p + R_{\text{я}}] + k_e R(p) = u_{\Gamma}(p) \\ J \cdot p R(p) = k_M i_{\text{я}}(p) \end{cases}$$

В первом уравнении системы перенесем  $k_e \Omega(p)$  в правую часть:

$$\begin{cases} i_{\text{я}}(p)[L_{\text{я}} \cdot p + R_{\text{я}}] = u_{\Gamma}(p) - k_e R(p) \\ J \cdot p R(p) = k_M i_{\text{я}}(p) \end{cases} \quad (3.6)$$

Выразим  $i_{\text{я}}(p)$  :

$$i_{\text{я}}(p) = \frac{u_{\Gamma}(p) - k_e R(p)}{L_{\text{я}} \cdot p + R_{\text{я}}} \quad (3.7)$$

Уравнение регулирования угловой скорости:

$$u_{m20} = k_{m20} R_0 \quad (3.8)$$

$$u_{m2} = k_{m2} R \quad (3.9)$$

Пусть  $k_{m2} = k_{m20}$ , тогда, уравнение обратной связи по угловой скорости будет иметь вид:

$$\Delta u_{\Gamma\Gamma} = u_{\Gamma\Gamma 0} - u_{\Gamma\Gamma} = k_{\Gamma\Gamma} (R_0 - R) \quad (3.10)$$

Уравнение усилителя мощности:

$$u_{\Gamma} = k_{ym} u_1 \quad (3.11)$$

где  $u_1 = k_{yn} \Delta u_{\Gamma\Gamma}$  или  $u_1 = k_{ym} k_{T2} (R_0 - R)$  .

Тогда

$$u_2 = k_{\text{УМ}} u_1 = k_{\text{УН}} k_{\text{УМ}} k_{\text{ТГ}} (R_0 - R) \quad (3.12)$$

Перейдем в изображения по Лапласу, получим:

$$u_2 = k_{\text{УН}} k_{\text{УМ}} k_{\text{ТГ}} (R_0(p) - R(p)) \quad (3.13)$$

### 3.2 Структурные схемы следящего электродвигателя

Структурной схемы электродвигателя используем две передаточные функции: электрическую и механическую.

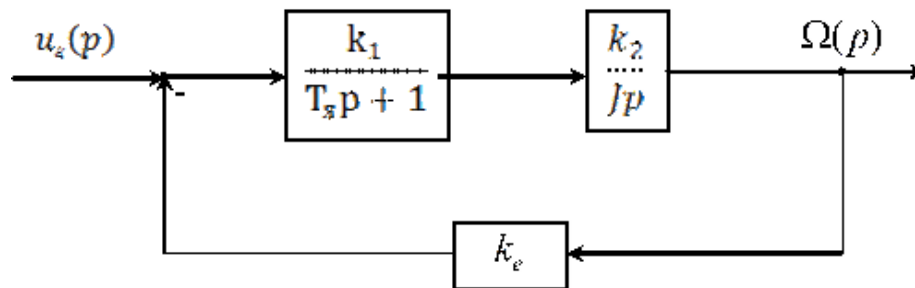


Рисунок 3.1 - Структурная схема электродвигателя с выделением электрической и механической части

В схеме на рисунке 4.1  $W_1(p)$  - передаточная функция электрической части двигателя,  $W_2(p)$  - передаточная функция механической части двигателя в изображениях по Лапласу при нулевых начальных условиях.

Из системы уравнений (4.6) видно, что

$$W_1(p) = \frac{1}{L_{\text{я}} p + R_{\text{я}}} \quad (3.14)$$

$$W_2(p) = \frac{K_{\text{М}}}{Jp} \quad (3.15)$$

Приведем передаточные функции (4.14) и (4.15) к стандартному виду. Для этого разделим и числитель и знаменатель дроби, тогда получим:

$$W_1(p) = \frac{\frac{1}{R_{\text{я}}}}{\frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} p + 1} \quad (3.16)$$

Введем следующие обозначения

$$\frac{1}{R_{\text{я}}} = k_1 \quad (3.17)$$

$$W_1(p) = \frac{1}{14,42} = 0,069$$

$$\frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} = T_{\text{я}} \quad (3.18)$$

$$T_{\text{я}} = \frac{0,19}{14,42} = 0,013$$

где  $T_{\text{я}}$  - постоянная времени электрической части двигателя.  
Тогда передаточная функция (3.16) принимает типовой вид:

$$W_1(p) = \frac{k_1}{T_{\text{я}} p + 1} \quad (3.19)$$

$$W_1(p) = \frac{0,069}{0,013 + 1} = 0,068$$

Рассмотрим передаточную функцию  $W_2(p)$  (3.15), которая уже имеет типовой вид

$$W_2(p) = \frac{k_2}{j^p} \quad (3.20)$$

Введем следующие обозначения:

$$K_M = k_2 \quad (3.21)$$

С учетом проведенных преобразований структурная схема двигателя примет следующий вид

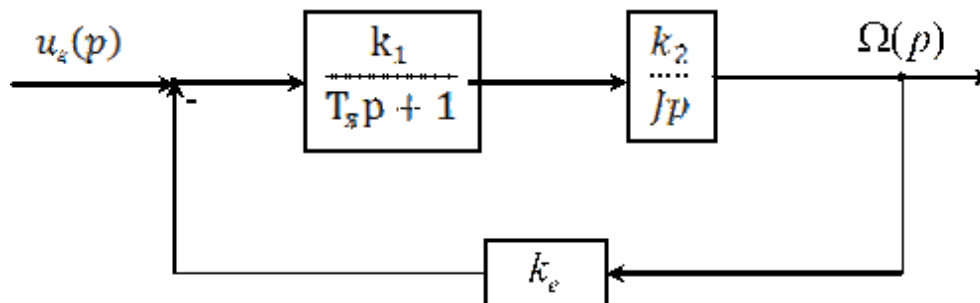


Рисунок 3.2 - Структурная схема электродвигателя

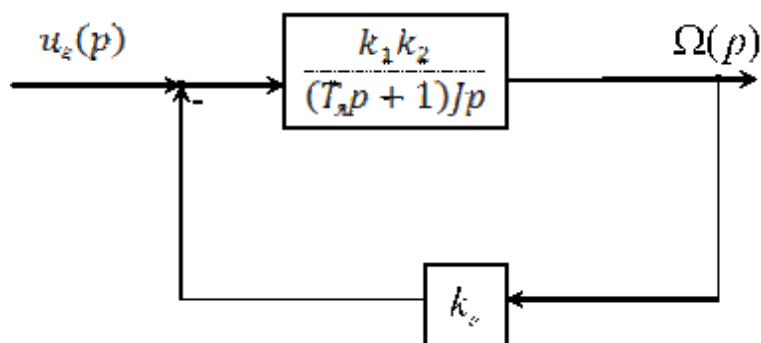


Рисунок 3.3 - Преобразованная структурная схема электродвигателя

### 3.3 Структурная схема следящего электропривода антенны

Функциональная схема следящего электропривода приведена на рисунке 3.5.

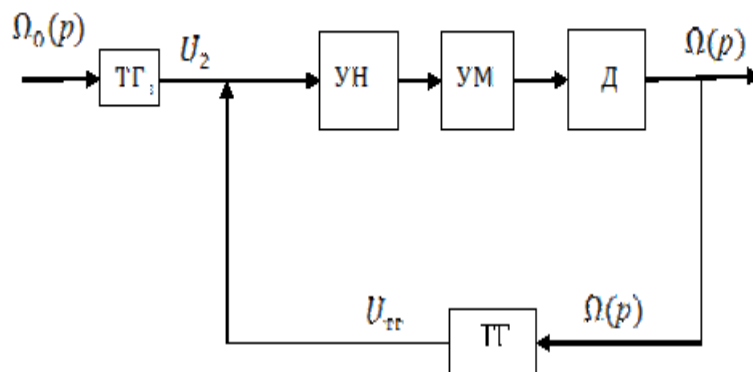


Рисунок 3.5 - Функциональная схема следящего электропривода

На функциональной схеме введены следующие обозначения:

ТГ - тахогенератор; Д - двигатель; УН, УМ - усилитель напряжения и мощности.

С учетом передаточных функций отдельных элементов по функциональной схеме составим структурную схему следящего электропривода (рисунок 3.6).

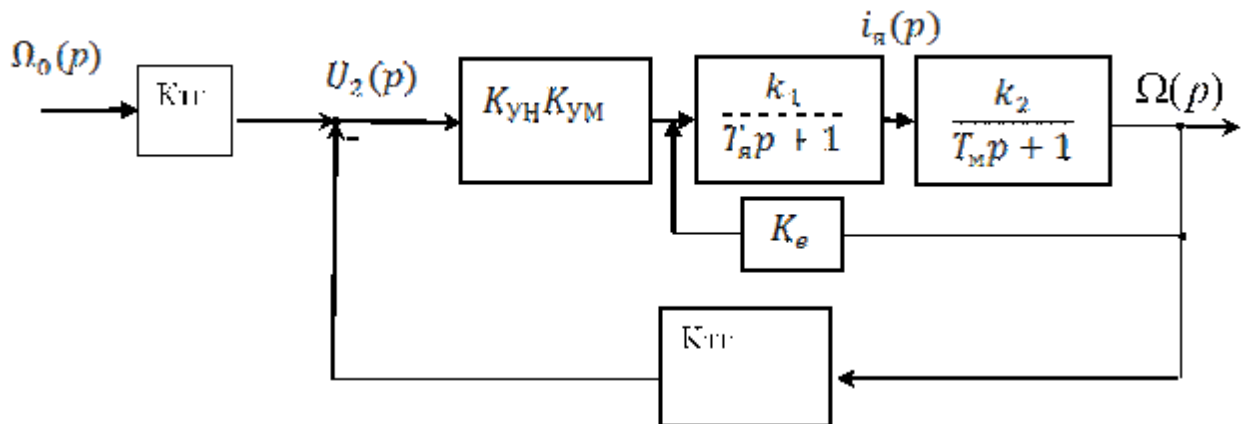


Рисунок 3.6 - Структурная схема следящего электропривода

С учетом ранее проведенных преобразований структурной схемы электродвигателя получим следующую упрощенную структурную схему следящего электропривода.

*Определение передаточных функций системы.*

Определение передаточной функции двигателя

Данные двигателя 2ПН90М4ХЛ4:

активное сопротивление якоря двигателя  $R_{я}=14,42$  Ом;

индуктивное сопротивление якоря двигателя  $L_{я}=0,19$  Гн;

ток якоря  $I_{я}=2,44$  А;

электромеханическая постоянная времени  $T_{дв}=0,042$  с.

Передаточная функция двигателя имеет вид

$$\Phi_{ос}(p) = \frac{k_{\partial}}{(T_{я}p + 1)(T_{м}p + 1)} \quad (3.27)$$

где  $T_{м} = \frac{J}{k}$  - механическая постоянная времени двигателя, зависящая от приведенного момента инерции нагрузки  $J$ .  $T_{я}$  - электромагнитная постоянная

времени,  $k_d$  - коэффициент передачи двигателя. Таким образом, нахождение передаточной функции сводится к нахождению  $T_\gamma$ ,  $T_m$  и  $k_d$ .

Найдем сначала электромагнитную передаточную функцию двигателя:

$$W_1 = \frac{1}{T_\gamma p + 1}$$

Электромагнитная постоянная времени определяется по формуле

$$T_\gamma = \frac{L_\gamma}{R_\gamma}$$

$$T_\gamma = \frac{0,19}{14,42} = 0,013$$

Тогда электромагнитная передаточная функция будет иметь вид:

$$W_1 = \frac{1}{0,013p + 1}$$

2. Найдем коэффициент передачи электродвигателя. Для этого определим коэффициент противо - ЭДС:

$$c_e = \frac{U_{\gamma.н} - I_{\gamma.н} \cdot R_\gamma}{\pi \frac{n}{30}} \quad (3.28)$$

$$c_e = \frac{U_{\gamma.н} - I_{\gamma.н} \cdot R_\gamma}{\pi \frac{n}{30}} = \frac{27 - 2,44 \cdot 14,42}{\pi \frac{1500}{30}} = 0,024 \text{ В} \cdot \text{с}$$

Тогда коэффициент передачи электродвигателя:

$$k_\partial = \frac{1}{c_e} \quad (3.29)$$

$$k_d = \frac{1}{0,024} = 41,75 \text{ 1/В} \cdot \text{с}$$

Найдем механическую постоянную времени  $T_m$  по формулам (3.27).



$$T_M = \frac{J}{k} = \frac{J_H R_{Я}}{i_p^2 c_B c_M} = 0,575 \text{ с.}$$

Таким образом, механическая передаточная функция двигателя имеет следующий вид

$$W_2 = \frac{41,75}{0,575p + 1}$$

Передаточная функция редуктора является коэффициентом обратно пропорциональным передаточному числу редуктора:

$$k_p = \frac{1}{i_p} = \frac{1}{31,4} = 0.031$$

Передаточная функция усилителей напряжения и мощности будет коэффициентом усиления  $k_{ус} = k_{ункум}$ . Данный коэффициент будет установлен в ходе моделирования.

## 4. Исследование динамики характеристик электропривода антенны

### 4.1 Составление структурной схемы электропривода в программе Matlab

Задача сводится к подбору коэффициента  $K$ , чтобы система была устойчива и время переходного процесса было минимально.

Определить коэффициент можно с помощью пакета прикладных программ Matlab 6.5\ Simulink.

Для этого в разделе Simulink строится структурная схема (рисунок 4.1), коэффициент усиления устанавливается  $K = 1$  и строится переходный процесс.

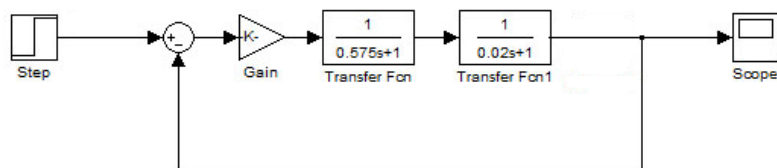


Рисунок 4.1 - Структурная схема системы, построенная с помощью пакета прикладных программ Matlab

Принимаем общий коэффициент усиления равным 14.29. Получим переходный процесс, показанный на рисунке 4.2.

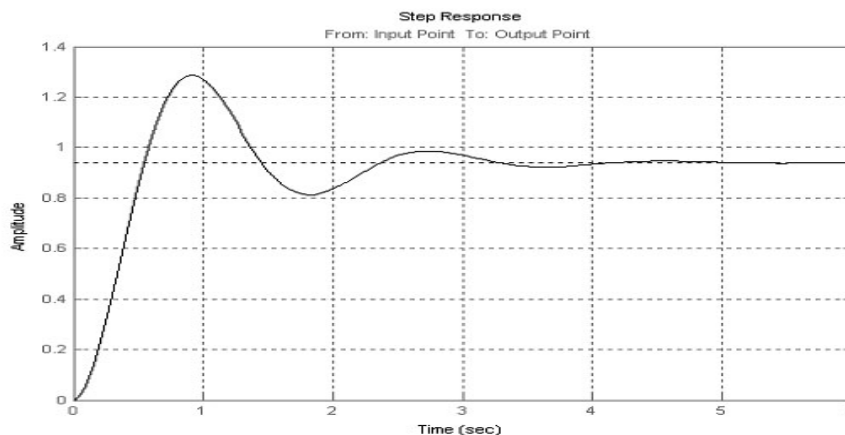


Рисунок 4.2. График переходного процесса не скорректированной системы

По графику переходного процесса видно, что он является колебательным и система переходит в установившееся состояние. При этом при воздействии 1 рад/с установившееся ошибка имеет маленькую величину, равную 0,07рад/с.

Время переходного процесса определяется временем, за которое процесс входит в 5% диапазон установившегося значения. По рисунку 4.2 видно, что время переходного процесса равно 4с, что не удовлетворяет техническому заданию.

Проведем исследование на устойчивость, построив ЛАФЧХ разомкнутой системы.

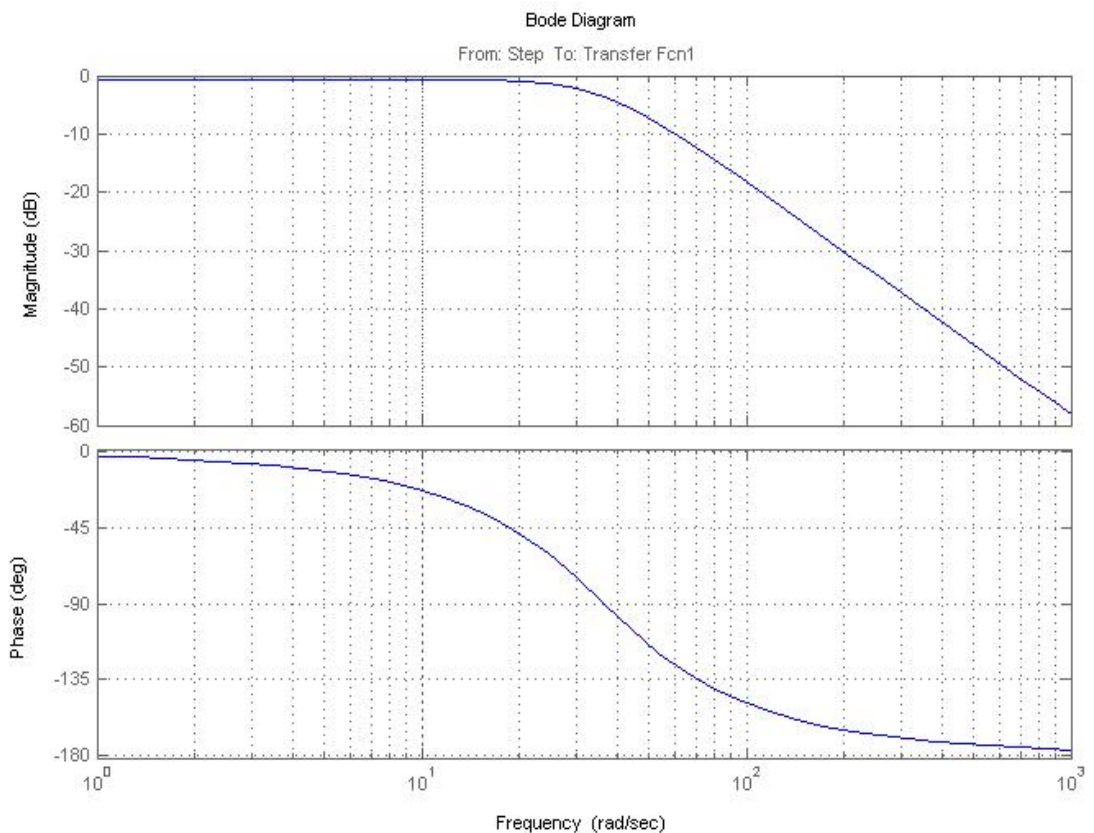


Рисунок 4.3 - ЛАФЧХ разомкнутого электропривода

Проанализировав рисунок 4.3, можно сделать вывод, что данная система всегда устойчива, т. к. фаза не пересекает - 180 град. Для повышения быстродействия и уменьшения статической ошибки необходимо ввести корректирующее звено. Для этого воспользуемся пакетом прикладных программ MATLAB 6.5.

## 4.2 Исследование скорректированной системы

Для улучшения работы системы введем корректирующее звено первого порядка и заново определим коэффициенты системы.

Сделаем это используя пакет прикладных программ Matlab-SISO Design Tool.

Выбираем тип корректирующего звена  $-W_{кор} k_K \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1}$ .

С учетом выбранного корректирующего звена и коэффициентов усиления построим структурную схему, изображенную на рисунке для дальнейшего исследования.



Рисунок 4.4 - Структурная схема системы с корректирующим звеном

Получаем график переходного процесса этой системы с помощью Matlab 6.5\Toolboxes\Control System\LTI Viewer.

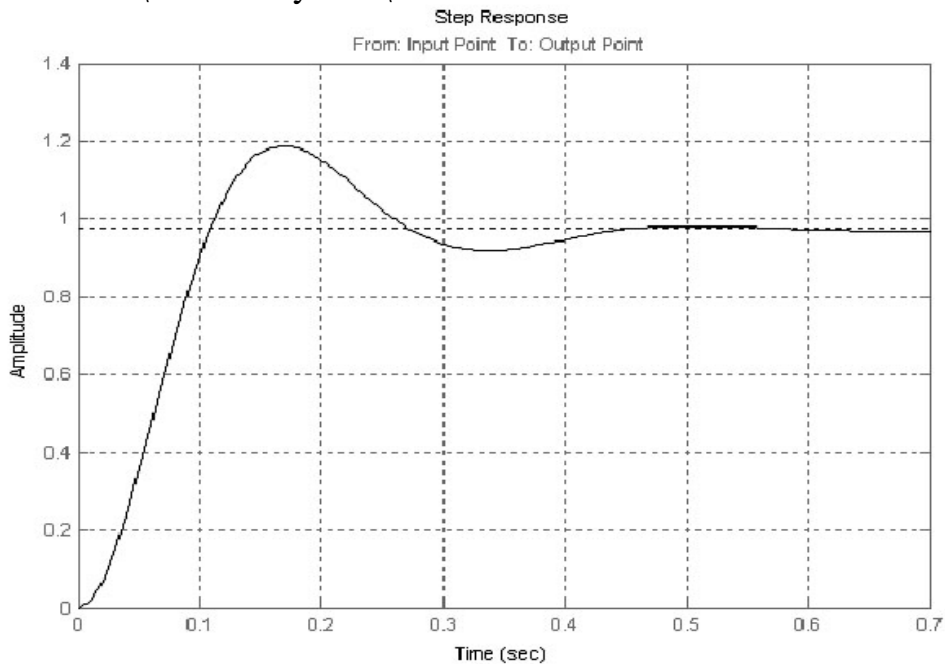


Рисунок 4.5 Переходный процесс скорректированной системы

По виду переходного процесса видно, что колебания являются затухающими и система переходит в установившейся режим (при единичном ступенчатом воздействии система стремится к единице).

Время переходного процесса определяется временем, за которое процесс входит в 5% диапазон установившегося значения. По рисунку 4.5 видно, что установившимся значением является значение 0,4 с, что удовлетворяет техническому заданию.

Для нормального устойчивого функционирования любая система автоматического регулирования должна быть достаточно удалена от границы устойчивости и иметь достаточный запас по устойчивости.

Определим запас устойчивости по ЛАФЧХ разомкнутого электропривода.

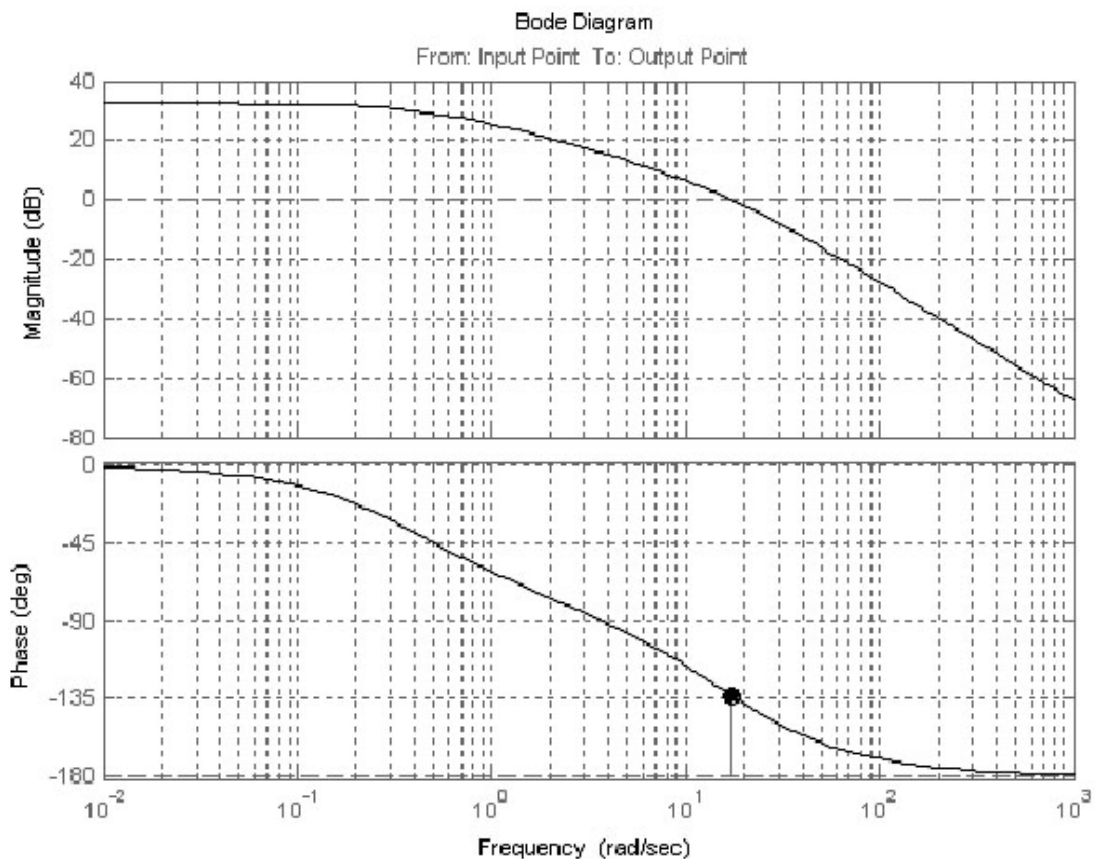


Рисунок 4.7 ЛАФЧХ следящего электропривода (разомкнутая) с полученным корректирующим звеном.

Запас по фазе составляет 44 град., что удовлетворяет требованиям к САУ. Запас по амплитуде не определяется, т.к. фазовая характеристика не пересекает -180 град.

## 5 Безопасность жизнедеятельности

### 5.1 Анализ условий труда

Тема дипломной работы следящий электропривод антенны радиолокационной станции. Радиолокационная станция- система для обнаружения воздушных, морских и наземных объектов, а также для определения их дальности, скорости и геометрических параметров. Использует метод радиолокации, основанный на излучении радиоволн и регистрации их отражений от объектов.

Главной задачей электропривода антенны является исполнение любого заданного алгоритма вращения и позиционирования антенны в условиях резко меняющейся нагрузки. Этой нагрузкой является ветер (переменный воздушный поток), скорость которого может достигать 30 м/с и более. При этом система электропривода должна обеспечивать заданную скорость, позиционную точность и оставаться долговечной, эффективной и безопасной.

Молниезащитой называется комплекс защитных устройств, предназначенных для безопасности людей, сохранности зданий и сооружений, оборудования и материалов от возможных взрывов, загораний, разрушений, возникающих при воздействии молнии.

Для приема электрического разряда молнии (тока молнии) служат устройства-молниеотводы, состоящие из несущей части (например опоры), молниеприемника (металлический стержень, трос или сетка токоотвода) и заземлителя. Каждый молниеотвод в зависимости от его конструкции и высоты имеет определенную зону защиты, внутри которой объекты не подвержены прямым ударам молнии. Согласно рД 34.21.122-87 все здания и сооружения должны иметь защиту по одной из пяти категорий. Категория молниезащиты зависит от пожаро-взрывоопасных свойств помещений и зданий, которая определяется в соответствии с НПБ 105-95, а также от тяжести опасных последствий ударов молнии (экологический ущерб, людские потери, материальные потери и др.)

Допустимые расстояния  $S$  от заземлителя до других сооружений

Наименьшее допустимое расстояние  $S_B$  по воздуху от защищаемого объекта до опоры (токоотвода) стержневого или тросового молниеотвода (рисунок 5.1, 5.2) определяется в зависимости от высоты здания, конструкции заземлителя и эквивалентного удельного сопротивления грунта. Для зданий и сооружений высотой не более 30 м наименьшие допустимые расстояния определяют по таблице 1. Для зданий и сооружений большей высоты определенное по таблице 1 расстояние  $S_B$  следует увеличивать на 1 м на каждые 10 м высоты объекта сверх 30 м.

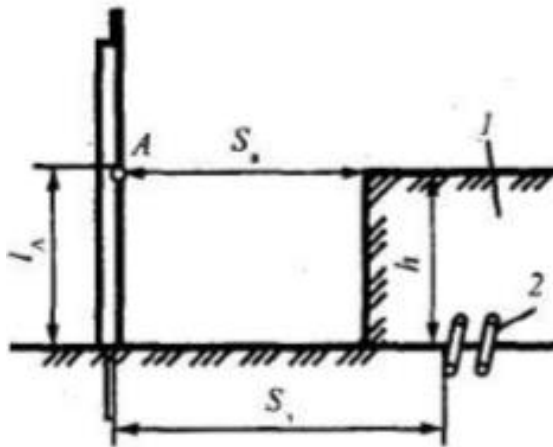


Рисунок 5.1 - Расчетная схема для определения безопасных расстояний от отдельно стоящего стержневого молниеотвода до сооружения  
1 – защищаемый объект; 2 – металлические коммуникации

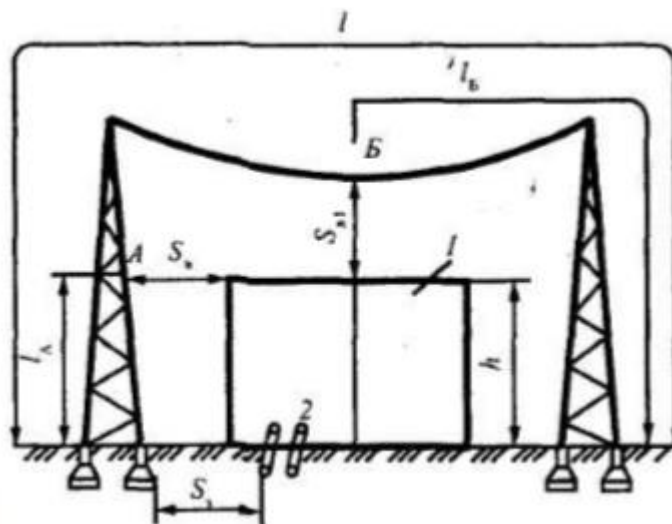


Рисунок 5.2 - Расчетная схема для определения безопасных расстояний от отдельно стоящего тросового молниеотвода до сооружения  
1 – защищаемый объект; 2 – металлические коммуникации

Наименьшее допустимое расстояние  $S_{в1}$  от защищаемого объекта до троса в середине пролета определяют в зависимости от конструкции заземлителя, эквивалентного удельного сопротивления грунта  $\rho$  и суммарной длины  $l$  молниеприемников и токоотводов. По длине  $l < 200$  м наименьшее допустимое расстояние  $S_{в1}$  определяют по таблице 6.2.

Таблица 6.1 – наименьшие допустимые расстояния  $S_{в1}$

$S_{в}$ , м	$\rho$ , Ом·м	Вариант конструкции заземлителя
3	$\rho \leq 100$	1. Заземлитель любой конструкции; 2. Одна железобетонная свая либо подножка, или углубленная стойка железобетонной опоры, длины которых указаны не менее 5 м
4	$100 < \rho \leq 1000$	3. Четыре железобетонные сваи или подножки, расположенные в углах прямоугольника на расстоянии 3 – 8 м один от другого, или железобетонный фундамент произвольной формы с площадью поверхности контакта с землей не менее 70 м <sup>2</sup> , или искусственный заземлитель, не менее 5 м

При суммарной длине молниеприемников и токоотводов, равной 200 – 300 м наименьшее допустимое расстояние  $S_{в1}$  должно быть увеличено на 2 м по сравнению с определяемыми по таблицу 2. Наименьшие допустимые расстояния  $S_3$  в земле должны составлять  $S_3 = S_{в} + 2$  (м) при  $S_{в}$ , определяемым по таблице 6.1

Таблица 6.2 – наименьшие допустимые расстояния  $S_{в1}$

$S_{в1}$ , м	$\rho$ , Ом·м	Вариант конструкции заземлителя
3,5	$\rho \leq 100$	Заземлитель любой конструкции
$3,5 + 3 \cdot 10^{-3}(\rho - 100)$	$100 < \rho \leq 100$	Заземлитель по варианту 2 (таблица 1)
4	То же	Заземлитель по варианту 3 (таблица 1)

#### Нормирование сопротивления заземления

Для заземлителей молниезащиты нормируется импульсное сопротивление  $R_{и}$  растеканию тока молнии: его максимально допустимое значение равно 10 Ом для зданий и сооружений категорий а и Б и 20 Ом для зданий и сооружений категории В1-В4. При увеличении импульсного сопротивления до 40 Ом в грунтах с удельным сопротивлением более 500 Ом·м. Импульсное сопротивление заземлителя  $R_{и}$  связано с сопротивлением заземлителя при растекании токов промышленной частоты через импульсный коэффициент:

$$R_{и} = \alpha \cdot R_3 \quad (5.1)$$

где  $\alpha$  – импульсный коэффициент заземлителя;



$R_3$  – сопротивление заземлителя.

#### Расчет молниезащиты

Определить категорию молниезащиты в зависимости от пожаровзрывоопасных свойств защищаемого объекта, характера местности.

Определить конструкцию молниеотводов в зависимости от параметров защищаемого объекта.

Определить высоту молниеприемника для создания необходимой зоны (площади) защиты.

Определить наименьшее допустимое расстояние  $S_{з доп}$ ,  $S_{в доп}$ ,  $S_{в1 доп}$  от конструкций и частей молниеотвода от других коммуникаций и наземных сооружений.

Проверяем выполнение следующих неравенств:

$$S_{з доп} > S_{з р}, \quad (5.2)$$

$$S_{в доп} > S_{в р} \quad (5.3)$$

$$S_{в1 доп} > S_{в р}, \quad (5.4)$$

где  $S_{з р}$ ,  $S_{в р}$ ,  $S_{в1 р}$  – рассчитанные (или полученные) расстояния от элементов и конструкций молниеотводов от подземных коммуникаций и наземных сооружений.

Если неравенства (2 – 4) не выполняются, необходимо выбирать другую конструкцию молниеотвода.

Определить норму сопротивления молниезащиты, в зависимости от категории ( $R_n$ ).

Определить сопротивление молниезащиты  $R_3$  в зависимости от выбранной конструкции заземлителя и удельного сопротивления грунта.

Вычислить импульсное сопротивление молниезащиты  $R_n$  по формуле (1). Проверить выполнение неравенства

$$R_n < R_n \quad (5.5)$$

если (5) выполняется, то расчет произведен верно.

Если неравенство (5) не выполняется, то необходимо выбрать другую конструкцию заземлителя.

Расчет сопровождается схемой молниезащиты, конструкцией молниеотводов и другими пояснениями.

## 5.2 Расчетная часть

Описание радиолокационной станции:

Длина  $l = 80$  м

Ширина  $b = 40$  м

Высота  $h_{зд} = 8$  м

Грунт имеет сопротивление  $\rho \leq 100$  Ом·м (суглинок).

Категория молниезащиты 1, зона защиты А.

Определяем конструкцию молниеотвода в зависимости от параметров защищаемого объекта.

Анализ типов молниеотводов показывает, что в нашем случае подходит тросовый молниеотвод.

Определяем высоту молниеприемника для создания необходимой зоны защиты. Ориентировочно, в первом приближении высоту молниеприемника можно определить по формуле:

$$h_{оп} = h = (r_x + 1,8h_x)/1,7.$$

Зададимся  $h_x = 6$ ;  $r_x = b/2 = 40/2,0 = 20$  м, тогда  $B$  – ширина здания равна 20 м.

$$h_{оп} = (20 + 1,8 \cdot 6)/1,7 = 18 \text{ м.}$$

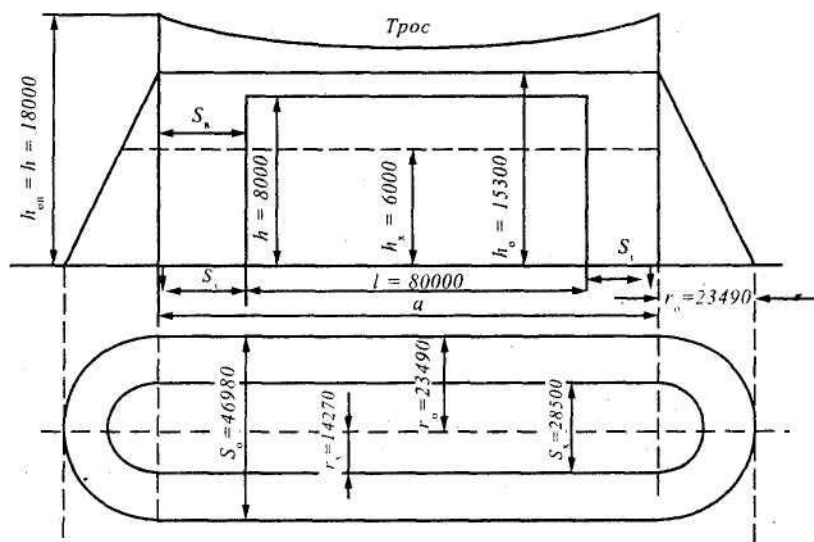


Рисунок 2 - Эскиз молниеотвода с зоной защиты

Так как высота молниеотвода  $h \leq 150$  м.

Высота зоны защиты  $h_0 = 0,85 \cdot h = 15,30$  м.

радиус торцевых областей зоны защиты  $r_0$  на уровне земли

$$r_0 = (1,35 - 0,0025h) \cdot h \quad (5.6)$$

$$r_0 = (1,35 - 0,045) \cdot 18 = 1,305 \cdot 18 = 23,49 \text{ м}$$

Ширина зоны защиты на участке между опорами  $S_0 = 2r_0 = 46,98$  м. радиус торцевых областей зоны защиты  $r_x$  на высоте  $h_x$  над землей

$$r_x = (1,35 - 0,0025h) \cdot (h - h_x/0,85) \quad (5.7)$$

$$r_x = (1,35 - 0,045) \cdot (18 - 6/0,85) = 1,305 \cdot (18 - 7,06) = 1,305 \cdot 10,94 = 14,27 \text{ м.}$$

Ширина зоны защиты на участке между опорами  $S_x$  на высоте  $h_x$  над землей

$$S_x = 2r_x = 28,55 \text{ м.}$$

Определяем наименьшее допустимое расстояние от заземлителя до других подземных коммуникаций:

$$S_{з \text{ доп}} = S_{в \text{ доп}} + 2;$$

$$S_{в \text{ доп}} = 3 \text{ м};$$

$$S_{в1 \text{ доп}} = 3,5 \text{ м.}$$

$S_{з \text{ доп}} = 5$  м. При монтаже молниеотводов необходимо, чтобы реальные расстояния  $S_p > S_{\text{доп}}$ .

Проверяем выполнение неравенства (4). Для этого необходимо рассчитать реальное расстояние между тросовым молниеприемником и крышей здания с учетом провеса троса.

Расстояние  $h$ , м от стального троса сечением  $35 - 50 \text{ мм}^2$  до поверхности земли в точке его наибольшего провеса:

$$h = h_{\text{оп}} - 2 \text{ (при } a < 120 \text{ м);}$$

$$h = 18000 - 2000 = 16000 \text{ мм}$$

Тогда расстояние между тросом молниеприемника и крышей:

$$S_{B1 p} = h - h_{зд}, \quad (5.8)$$

где  $h_{зд} = 8000$  мм;

$$S_{B1 p} = 16000 - 8000 = 8000 \text{ мм (8 м)}.$$

Таким образом,  $S_{B1 p} > S_{B1 \text{ доп}}$ , неравенство (4) выполняется.

Определяем норму сопротивления молниезащиты в зависимости от категории  $R_n = 10$  Ом.

Определяем сопротивление молниезащиты  $R_z$  в зависимости от выбранной конструкции и сопротивления грунта.

Выбран заземлитель в виде комбинированного двухстержневого со следующими параметрами  $C = 6$  м и  $L = 3$  м с глубиной заложения  $t_0 = 0,8$  м,  $R_z = 9,1$  Ом.

Вычисляем импульсное сопротивление  $R_{и}$  по формуле (1).  $\alpha = 0,8$ ,

тогда  $R_{и} = 0,8 \cdot 9,1 = 7,28$  Ом.

Проверяем выполнение неравенства  $R_{и} < R_n$ ;  $7,28 < 10$  Ом.

Выбираем конструкцию молниеотводов. В нашем случае подходит металлическая решетчатая опора высотой  $h_{оп} = 20$  м.

В качестве молниеприемника принимаем трос стальной многопроволочный оцинкованный сечением  $35 \text{ мм}^2$  и диаметром порядка  $7$  мм. В качестве токоотводов используем сталь круглого сечения диаметром не менее  $6$  мм.

В ходе проделанной работы был произведен расчет молниезащиты радиолокационной станции, определили конструкцию молниеотвода в зависимости от параметров защищаемого объекта. Анализ расчетов показал что в нашел случае подходит тросовый молниеотвод. Определил высоту молниеприемника для создания необходимой зоны защиты, который равен  $18$  м. Определил норму сопротивления молниезащиты. Выбрал конструкцию молниеотводов, выбрал металлическую решетчатую опору высотой  $h = 20$  м. В ходе расчетов выбран заземлитель в виде комбинированного двухстержневого с параметрами  $C = 6$  м и  $L = 3$  м. В качестве молниеприемника был принят трос стальной многопроволочный оцинкованный сечением  $35 \text{ мм}^2$  и диаметром порядка  $7$  мм. В качестве токоотводов использовал сталь круглого сечения.

## **6 Экономическая часть**

### **6.1 Экономические определения и теоретический обзор**

В этой дипломной работе я определю стоимость и цену проектируемого двигателя постоянного тока.

Необходимо выполнить экономические расчеты для спроектированного двигателя постоянного тока, то есть мы рассчитаем стоимость строительства и эксплуатации этого двигателя постоянного тока.

Стоимость зависит главным образом от правильной конструкции двигателя постоянного тока, то есть следующие факторы влияют на его правильное использование:

- КПД;
- мощность двигателя;
- и другие показатели.

Ниже я сделал экономические расчеты для расчета стоимости двигателя постоянного тока, разработанного в моей диссертации.

Стоимость проектируемого двигателя зависит главным образом от его активных и конструкционных материалов, а стоимость других материалов в некоторой степени зависит от расхода активных и конструкционных материалов.

### **6.2 Технико-экономическое обоснование разработанного двигателя постоянного тока**

Основными материалами двигателя постоянного тока, которые я разработал, являются сталь и медь. По текущим данным, 1 кг стали стоит 1800 тенге, а 1 кг меди - 1100 тенге.

Поэтому стоимость проектируемого двигателя постоянного тока определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{ДВ}} = C_{\text{М}} + C_{\text{З.П.}} + C_{\text{Ц.Н.Р.}} + C_{\text{З.Н.Р.}}, \text{ тенге} \quad (6.1)$$

где,  $C_{\text{М}}$  - величина расхода материала при проектировании двигателя постоянного тока;

$C_{\text{З.П.}}$  - сумма зарплаты команды, которая работала над дизайном двигателя постоянного тока;

$C_{\text{Ц.Н.Р.}}$  - сумма дополнительных расходов цеха;

$C_{\text{З.Н.Р.}}$  - сумма дополнительных затрат на весь завод.

Общая стоимость материалов:

$$C_M = C_M^1 + C_M^{11} + C_M^{111}, \text{ тенге} \quad (6.2)$$

где,  $C_M^1$  - используется для изготовления основных частей;

$C_M^{11}$  - дополнительные затраты на материалы;

$C_M^{111}$  - расходы на мельчайшие детали двигателя.

Стоимость материалов, которых изготовлены основные детали, определяются следующим образом:

$$C_M^1 = C_{СТ} + C_{П} + C_{В} + C_{К} + C_{Л}, \text{ тенге} \quad (6.3)$$

где,  $C_{СТ}$  - затраты на изготовление станины;

$C_{П}$  - затраты на полюсы;

$C_{В}$  - затраты на вал;

$C_{К}$  - затраты на изготовление коллектора;

$C_{Я}$  - затраты на якорь.

Затраты на дополнительные материалы:

$$C_M^{11} \approx 0,2 \cdot C_M^1, \text{ тенге} \quad (6.4)$$

Затраты на мельчайшие детали двигателя:

$$C_M^{111} \approx 0,1 \cdot C_M^1, \text{ тенге} \quad (6.5)$$

Чтобы рассчитать количество расходуемого материала, сначала необходимо определить вес деталей спроектированного двигателя постоянного тока. Поэтому ниже мы определяем вес двигателя постоянного тока в зависимости от расчетных значений.

Вес рамы:

$$m_{СТ} = V_{СТ} \cdot \rho, \text{ кг} \quad (6.6)$$

где,  $\rho$  - Удельный расход готового материала, в нашем случае рама изготовлена из стали, поэтому ее удельный расход составляет 7900 кг / м<sup>3</sup>.

А объем станины определенным значениям следующим образом:

$$V_{СТ} = V_H - V_B, \text{ м}^3 \quad (6.7)$$

где,  $V_H$  - объем, который определяется внешним диаметром статора;

$V_B$  - объем, который определяется внутренним диаметром статора.  
Объем, который определяется внешним диаметром статора:

$$V_H = \pi \cdot R_H^2 \cdot H, \text{ м}^3 \quad (6.8)$$

где,  $R_H$  - внешний диаметр статора, равный  $96 \cdot 10^{-3}$  м;  
 $H$  - длина статора, равный  $528 \cdot 10^{-3}$  м.

Следовательно:

$$V_H = 3,14 \cdot (96 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 528 \cdot 10^{-3} = 15,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Объем, который определяется внутренним диаметром статора:

$$V_H = \pi \cdot R_B^2 \cdot H, \text{ м}^3 \quad (6.9)$$

$$V_H = 3,14 \cdot (90 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 528 \cdot 10^{-3} = 13,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Получается:

$$V_{CT} = 15,3 - 13,4 = 1,9 \text{ м}^3.$$

$$m_{CT} = 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 7900 = 15 \text{ кг}$$

Умножая значение полученного веса на цену стали, определяем стоимость станины:

$$C_{CT} = m_{CT} \cdot Ц, \text{ тенге} \quad (6.10)$$

где,  $Ц$  - цена за 1 кг стали (1800 тенге).

$$C_{CT} = 15 \cdot 1800 = 27000 \text{ тенге.}$$

Масса полюса:

$$m_{\Pi} = V_{\Pi} \cdot \rho, \text{ кг} \quad (6.11)$$

Находим объем полюса:

$$V_{\Pi}^1 = A \cdot B \cdot H, \text{ м}^3, \quad (6.12)$$

где,  $A$  - ширина полюса, равная  $33,9 \cdot 10^{-3}$  м;

В - высота полюса, равная  $38,1 \cdot 10^{-3}$  м;

Н - длина полюса, равная  $528 \cdot 10^{-3}$  м.

Значит:

$$V_{\Pi}^1 = 33,9 \cdot 10^{-3} \cdot 38,1 \cdot 10^{-3} \cdot 528 \cdot 10^{-3} = 0,68 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

У меня двигатель двухполюсный, следовательно полученное значение умножаем на два.

$$V_{\Pi} = 2 \cdot V_{\Pi}^1, \text{ м}^3 \quad (6.13)$$

$$V_{\Pi} = 2 \cdot 0,68 \cdot 10^{-3} = 1,36 \text{ м}^3.$$

$$m_{\Pi} = 1,36 \cdot 10^{-3} \cdot 7900 = 10,8 \text{ кг.}$$

Если мы умножим количество веса, полученное на цену стали, мы определим стоимость изготовления полюса:

$$C_{\Pi} = m_{\Pi} \cdot \text{Ц, тенге} \quad (6.14)$$

$$C_{\Pi} = 10,8 \cdot 1800 = 19440 \text{ тенге}$$

Рассчитываем массу вала:

$$m_{\Pi} = V_{\text{В}} \cdot \rho, \text{ кг} \quad (6.15)$$

Объем вала:

$$V_{\text{В}} = \pi \cdot R_{\text{В}}^2 \cdot H, \text{ м}^3, \quad (6.16)$$

$$V_{\text{В}} = 3,14 \cdot (15,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 536 \cdot 10^{-3} = 0,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

$$m = 0,38 \cdot 10^{-3} \cdot 7900 = 3,2 \text{ кг.}$$

Умножая значение веса на цену стали, мы определяем потери на валу:

$$C_{\text{В}} = m_{\text{В}} \cdot \text{Ц, тенге} \quad (6.17)$$

$$C_{\text{В}} = 3,2 \cdot 1800 = 5760 \text{ тенге.}$$

Вес коллектора определяется примерно следующим образом:



$$m_K = V_K \cdot \rho, \text{ кг} \quad (6.18)$$

Высчитываем объем коллектора:

$$V_K = V_H - V_B, \text{ м}^3 \quad (6.19)$$

Объем определяется наружным диаметром коллектора:

$$V_H = \pi \cdot R_H^2 \cdot H, \text{ м}^3, \quad (6.20)$$

$$V_H = 3,14 \cdot (36,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 41 \cdot 10^{-3} = 0,18 \text{ м}^3.$$

Объем определяется внутренним диаметром коллектора:

$$V_B = \pi \cdot R_B^2 \cdot H, \text{ м}^3, \quad (6.21)$$

$$V_B = 3,14 \cdot (15,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 41 \cdot 10^{-3} = 0,04 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Следовательно получается:

$$V_K = 0,18 - 0,04 = 0,14 \text{ м}^3,$$

$$m_K = 0,14 \cdot 7900 = 1,1 \text{ кг}.$$

Умножая сумму веса, полученную на цену стали, мы определяем стоимость коллектора:

$$C_K = m_K \cdot Ц, \text{ тенге} \quad (6.22)$$

$$C_K = 1,1 \cdot 1800 = 1980 \text{ тенге}.$$

Найдем массу якоря:

$$m_Y = V_Y \cdot \rho, \text{ кг} \quad (6.23)$$

Где объем якоря:

$$V_Y = V_H - V_B, \text{ м}^3 \quad (6.24)$$

Объем определяется наружным диаметром якоря:

$$V_H = \pi \cdot R_H^2 \cdot H, \text{ м}^3, \quad (6.25)$$

$$V_H = 3,14 \cdot (51 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 488 \cdot 10^{-3} = 3,85 \text{ м}^3.$$

Объем определяется внутренним диаметром якоря:

$$V_B = \pi \cdot R_B^2 \cdot H, \text{ м}^3, \quad (6.26)$$

$$V_B = 3,14 \cdot (36 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 488 \cdot 10^{-3} = 1,88 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Получается:

$$V_{\text{я}} = 3,85 \cdot 10^{-3} - 1,88 \cdot 10^{-3} = 1,97 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

$$m_{\text{я}} = 1,97 \cdot 10^{-3} \cdot 7900 = 13,2 \text{ кг.}$$

Масса зубцов якоря  $m = 4,8$  кг. Масса ярма  $m = 8,4$  кг.

Если мы умножим сумму веса, полученную на цену стали, мы определим стоимость якоря:

$$C_{\text{я}} = m_{\text{я}} \cdot \text{Ц, тенге} \quad (6.27)$$

$$C_{\text{я}} = (13,2 + 4,8 + 8,4) \cdot 1800 = 47520 \text{ тенге.}$$

Масса меди в обмотках якоря составляет  $m = 0,78$  кг, масса меди в параллельных обмотках -  $m = 2,4$  кг, масса меди в обмотках дополнительных полюсов -  $m = 5,8$  кг.

Затем определим стоимость использования меди:

$$C_{\text{мд}} = m_{\text{мд}} \cdot \text{Ц, тенге} \quad (6.28)$$

где, Ц - цена за 1кг меди (1100 тенге).

Получается:

$$C_{\text{мд}} = (0,78 + 2,4 + 5,8) \cdot 1100 = 9878 \text{ тенге.}$$

Используя полученные значения, мы определяем стоимость материалов:

$$C_{\text{М}}^1 = 27000 + 19440 + 5760 + 1980 + 47520 + 9878 = 111578 \text{ тенге.}$$

Дополнительные затраты на материалы:

$$C_M^{11} \approx 0,2 \cdot 111578 = 22316 \text{ тенге.}$$

Расходы на мельчайшие детали двигателя:

$$C_M^{111} \approx 0,1 \cdot 111578 = 11158 \text{ тенге.}$$

Следовательно, общие затраты на материалы:

$$C_M = 22316 + 11158 + 111578 = 145472 \text{ тенге}$$

Теперь заработная плата команды, которая разработала проектируемый двигатель постоянного тока, составляет:

$$C_{з.п.} \approx 0,1 \cdot C_M, \text{ тенге} \quad (6.29)$$

$$C_{з.п.} \approx 0,1 \cdot 145472 = 14547 \text{ тенге.}$$

Сумма расходов на социальные нужды:

$$C_{с.н.} = 0,095 \cdot (C_{з.п.} - 0,1 \cdot C_{з.п.}), \text{ тенге} \quad (6.30)$$

$$C_{с.н.} = 0,095 \cdot (14547 - 0,1 \cdot 14547) = 1244 \text{ тенге.}$$

Дополнительные расходы в цеху:

$$C_{ц.н.р.} \approx 2,5 \cdot C_{з.п.}, \text{ тенге} \quad (6.31)$$

$$C_{ц.н.р.} \approx 2,5 \cdot 14547 = 36368 \text{ тенге.}$$

Общие расходы по заводу:

$$C_{з.н.р.} \approx 0,5 \cdot C_{з.п.}, \text{ тенге} \quad (6.32)$$

$$C_{з.н.р.} \approx 0,5 \cdot 14547 = 7274 \text{ тенге.}$$

Получается,

$$C_{дв} = 145472 + 14547 + 1244 + 36368 + 7274 = 204905 \text{ тенге.}$$

Результатом является стоимость сборки спроектированного двигателя

постоянного тока, и теперь я рассчитываю прибыль от продажи этого двигателя, то есть 25% от стоимости спроектированного двигателя составляет:

$$\Pi = c_{\text{дв}} \cdot 0,25, \text{ тенге} \quad (6.33)$$

$$\Pi = 204905 \cdot 0,25 = 51226 \text{ тенге}$$

Теперь найдем, общую стоимость проектируемого двигателя:

$$Ц_{\text{дв}} = C_{\text{дв}} + \Pi, \text{ тенге} \quad (6.34)$$

$$Ц_{\text{дв}} = 204905 + 51226 = 256131 \text{ тенге}$$

## Заключение

В данной дипломной работе был произведен электротонный обзор материалов по назначению типов и режимов работы радиолокационной станции и электроприводов антенны. Обоснован выбор силовой части электропривода антенны, в качестве привода антенны выбран двигатель постоянного тока, рассчитаны его параметры и построены механические и электромеханические характеристики и определены энергетические показатели. Произведен расчет параметров основных элементов тиристорного преобразователя.

Построены функциональные и структурные схемы электропривода и определены передаточные функции динамических звеньев, построены естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики.

В пакете прикладных программ Matlab составлена имитационная модель электропривода и изучены переходные характеристики.

В результате проведенного исследования установлено, что следящий электропривод устойчив, запас устойчивости по фазе составляет 44 град., время переходного процесса 0,4 с, установившаяся ошибка отработки угловой скорости 1 рад/с составляет 0,05 рад. Это соответствует заданию на проектирование.

## Список литературы

- 1 Ганэ В. А. , Степанов В.Л. Расчет следящих систем: Справ. пособие.- Минск: Высш. шк., 2009. – 266 с7
- 2 Беляев Н. И. Нагорский В. Д. М. Выбор двигателя и редуктора следящих систем. – М.: «Машиностроение», 2005.- 216 с.
- 3 Васильев Д. В., Митрофанов Б. А. Проектирование и расчет следящих систем. -М.: «Машиностроение», 2006. – 305 с.
- 4 Следящие приводы. В 3 т. под ред. Б.К. Чемоданова.- Т. 1, 2: Электрические следящие приводы. - М., Изд-во МГТУ им. Баумана, 2008.
- 5 Л. С. Гольдфарб, А. В. Балтрушевич. Теория автоматического управления. Под ред. проф. А. В. Нетушила. 2008. - 424с.
- 6 Москаленко, В.В. Электрический привод. — 2-е изд. — М.: Академия, 2007.
- 7 Тищенко О. Ф. Элементы приборных устройств. — М.: Высшая школа, 2003. - 263 с.
- 8 В. А. Ганэ, В.Л. Степанов. Расчет следящих систем: Справ. пособие.- Минск, Высш. шк., 2007.
- 9 Выбор двигателя и редуктора следящих систем. Беляев Н, И., Нагорский В. Д., -М., «Машиностроение», 2009.-. 216 с.
- 10 Следящие приводы. В 3 т. под ред. Б.К. Чемоданова.- Т. 2: Электрические следящие приводы. - М., Изд-во МГТУ им. Баумана, 2003.
- 11 Русак, О. Н. Безопасность жизнедеятельности : учеб. пособие для студентов всех специальностей / О. Н. русак, К. р . малаян, Н. Г. Занько ; под ред. О. Н. русака. – СПб.: Лань, 2001. – 448 с.
- 12 Черкасов, В. И. Защита пожаро- и взрывоопасных зданий и сооружений от молнии и статического электричества / В. И. Черкасов. – М. : Стройиздат, 1983. – 405 с.
- 13 Инженерные расчеты систем безопасности труда и промышленной экологии / под общ. ред. проф. а. Ф. Борисова. – Нижний Новгород : Вента-2, 2000. – 256 с.