

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

Саттаров Мұратәлі Русланұлы

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Разработка дистанционной следящей системы с синусно-
косинусными вращающимися трансформаторами»

5В070200 - Автоматизация и управление

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой АиУ
д-р. техн. наук, профессор
Б.А. Сулейменов
« » 2019 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

На тему: «Разработка дистанционной следящей системы с синусно-
косинусными вращающимися трансформаторами»

По специальности 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил
Саттаров М.Р.

Научный руководитель
канд. техн. наук,
ассоциативный профессор
О. И. Ширяева

« 15 » 01 2019 г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

5B070200 - Автоматизация и управление

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АиУ
д-р. техн. наук, профессор
Б.А. Сулейменов

« » 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Саттаров М.Р.

Тема «Разработка дистанционной следящей системы с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами».

Утвержден Ученым советом института № 442 от " 14 " 1 2019 г.

Срок сдачи законченного проекта: " 17 " 05 2019 г.

Исходные данные дипломному проекту: данные преддипломной практики.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов или краткое содержание дипломной работы: а) описание функционирования САУ следящей системы; б) исследование и синтез САУ следящей системы; в) вопросы безопасности и охраны труда; г) экономическая эффективность разработки САУ следящей системы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): технологическая схема автоматизации следящей; структурная схема; электрическая схема внешних соединений; математические модели.

Рекомендуемая основная литература: техническая литература по теории автоматического управления следящих систем, техническая литература по синусно-косинусным вращающимся трансформаторам

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

| Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов | Сроки представления научному руководителю и консультантам | Примечание |
|--|---|------------|
| Технологический раздел | 1 марта 2019 г. | |
| Специальный раздел | 20 марта 2019 г. | |
| Безопасность и охрана труда | 30 апреля 2019 г. | |
| Экономическая часть | 30 апреля 2019 г. | |

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

| Наименования разделов | Научный руководитель, консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание) | Дата подписания | Подпись |
|-----------------------------|--|-----------------|---|
| Технологический раздел | к.т.н., О.И. Ширяева | 28.04.2019 |  |
| Специальный раздел | к.т.н., О.И. Ширяева | 28.04.2019 |  |
| Экономическая часть | к.т.н., О.И. Ширяева | 23.04.2019 |  |
| Безопасность и охрана труда | к.т.н., О.И. Ширяева | 23.04.2019 |  |
| Нормоконтролер | к.т.н., Н.С.Сарсенбаев | 05.05.2019 |  |

Научный руководитель  Ширяева О.И.
(подпись)

Задание принял к исполнению бакалавр, обучающийся  Саттаров М.Р.
(подпись)

Дата " 15 " 01 2019 г.

Raport podobieństwa



| | |
|---|---|
| Uczelnia: | Satbayev University |
| Tytuł: | Разработка дистанционной следящей системы с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами |
| Autor: | Саттаров М. |
| Promotor: | Ольга Ширяева |
| Data Raportu Podobieństwa: | 2019-05-08 12:27:54 |
| Współczynnik podobieństwa 1: ? | 7,9% |
| Współczynnik podobieństwa 2: ? | 0,9% |
| Długość frazy dla Współczynnika Podobieństwa 2: ? | 25 |
| Liczba słów: | 3 825 |
| Liczba znaków: | 30 743 |
| Adresy stron pominiętych przy sprawdzaniu: | |
| Liczba wykonanych sprawdzeń pracy dyplomowej: ? | 37 |



Uwaga, w niektórych wyrazach w tym dokumencie pojawiają się litery z różnych alfabetów. Wystąpienia tych liter zostały wyróżnione. Może to świadczyć o próbie ukrycia niedopuszczalnych zapożyczeń. System zamienił te litery na ich odpowiedniki w alfabecie łańskim a fragmenty, w których występują, zostały poprawnie sprawdzone. Prosimy o dokonanie szczególnie wnikliwej analizy tych fragmentów raportu.

Liczba wyróżnionych wyrazów 9



Najdłuższe fragmenty zidentyfikowane jako podobne

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился (-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой появления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Саттаров М.Р.

Название: «Разработка дистанционной следящей системы с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами»

Координатор: Сәрсенбаев Н.С.

Коэффициент подобия 1: 7,9

Коэффициент подобия 2: 0,9

Тревога: 25

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой/начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе не обладают признаками плагиата, но из чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

..... заимствования добросовестные

.....

.....

.....

.....

..... 6.05.19

Дата

Подпись заведующего кафедрой / начальника

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения в отношении работы:

Автор: Саттаров М.Р.

Название: «Разработка дистанционной следящей системы с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами»

Координатор: Сәрсенбаев Н.С.

Коэффициент подобия 1: 7,9

Коэффициент подобия 2: 0,9

Тревога: 25

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе не обладают признаками плагиата, но из чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

..... заимствования являются добросовестными и не обладают признаками
плагиата. И. защите. рукописи.....
.....
.....

..... 6.05.19.....

Дата

Подпись Научного руководителя

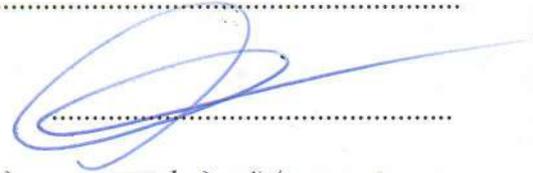
структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

к защите допущен
.....
.....
.....
.....

6.05.19.
.....

Дата



*Подпись заведующего кафедрой / начальника
структурного подразделения*

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломный проект

Саттаров Мұратәлі

(Ф.И.О. обучающегося)

5B070200-Автоматизация и управление

(шифр и наименование специальности)

Тема: Разработка дистанционной следящей системы с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами

Тема дипломной работы является актуальной и посвящена разработке дистанционной следящей системы с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами и внедрению данной системы в производственные сферы деятельности.

Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованной литературы.

Работа начинается с описания технологического процесса и описания устройства и сферы применения вращающихся трансформаторов.

Вторая глава включает в себя анализ математической модели следящей системы. Показаны результаты моделирования системы, рассчитаны устойчивость, запас устойчивости и оценки качества.

Для реализации имитационного моделирования выбран программно-технический комплекс Matlab с применением приложения Simulink.

В разделе посвященном безопасности жизнедеятельности описаны основные опасные факторы эксплуатации роботов, а также предложены способы защиты от них.

В экономическом разделе рассчитана себестоимость следящей системы, а также рассчитана рентабельность предложенной системы.

Дипломная работа Саттарова М.Р. является самостоятельной, целостной и выполнена в соответствии с требованиями ГАК, заслуживает высокой оценки и может быть допущена к защите.

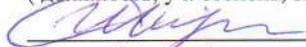
В процессе работы автор проекта показал себя дисциплинированным и исполнительным.

Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки “отлично”, а Саттаров М.Р. присвоения академической степени “бакалавра” по специальности 5B070200 - “Автоматизация и управления”.

Научный руководитель

Ассоциированный профессор, канд.техн. наук

(должность, уч. степень, звание)



Ширяева И.О.

(подпись)

« 5 » 05 2019 г.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жобада синустық-косинустық айналмалы трансформаторлары бар дистанциялық бақылау жүйесін әзірлеу міндеті қарастырылады. Дипломдық жоба төрт бөлімнен тұрады: технологиялық бөлім, есептеу бөлімі, экономика бөлімі, еңбек қауіпсіздігі және еңбекті қорғау бөлімі.

Бірінші тарауда технологиялық процестің сипаттамасы, трансформаторларды өңдеудің негізгі әдістеріне шолу келтірілген.

Екінші тарауда жүйе үшін есептелген математикалық модельге талдау жүргізіледі. Тұрақтылық, тұрақтылық қоры, сапаны бағалау анықталды. Matlab ортасында қашықтан бақылау жүйесін автоматты басқару жүйесін модельдеу нәтижелері алынды.

Еңбек қауіпсіздігі және еңбекті қорғау бөлімінде бақылаушы жүйені әзірлеумен байланысты негізгі қауіптер атап өтілді, қызметкерлер үшін де, жабдықтар үшін де қауіпсіздікті қамтамасыз ету тәсілдері сипатталды.

Экономикалық бөлімде синусно-косинусты айналмалы трансформаторлары бар дистанционды бақылау жүйесін әзірлеудің экономикалық негіздемесі, сондай-ақ жұмыс прототипін құрастырудың өзіндік құны, оны бағдарламалау, жөндеу және қызмет көрсету шығындары келтіріледі.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте рассматривается задача разработки дистанционной следящей системы с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами. Дипломный проект состоит из четырех глав: технологическая часть, расчетная часть, раздел по экономике, раздел по безопасности и охране труда.

В первой главе приводится описание технологического процесса, обзор основных методов обработки трансформаторов.

Во второй главе идет анализ рассчитанной математической модели для системы. Определены устойчивость, запасы устойчивости, оценки качества. В среде Matlab были получены результаты моделирования системы автоматического управления дистанционной следящей системы.

В разделе о безопасности и охране труда были перечислены основные опасности, связанные с разработкой следящей системы, были описаны способы обеспечения безопасности как для сотрудников, так и для оборудования.

В экономической части приводится экономическое обоснование разработки дистанционной следящей системы с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами, а также расчет себестоимости сборки рабочего прототипа, его программирования, затраты на ремонт и обслуживание.

ANNOTATION

In this diploma project, the problem of developing a remote tracking system with sine-cosine rotating transformers is considered. The diploma project consists of four chapters: the technological part, the calculation part, the section on Economics, the section on safety and labor protection.

The first Chapter describes the process, an overview of the main methods of processing transformers.

The second Chapter is an analysis of the calculated mathematical model for the system. Determined resistance, stability, quality evaluation. The results of simulation of the automatic control system of the remote tracking system were obtained in Matlab.

In the section on safety and health were listed the main dangers associated with the development of a tracking system, described ways to ensure safety for both employees and equipment.

In the economic part, the economic justification for the development of a remote tracking system with sine-cosine rotating transformers is given, as well as the calculation of the cost of assembling the working prototype, its programming, repair and maintenance costs.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 10 |
| 1 Технологическая часть | 12 |
| 1.1 Описание дистанционной следящей системы с СКВТ | 12 |
| 1.2 Обзор существующих методов обработки СКВТ | 13 |
| 1.2.1 Классический метод обработки СКВТ | 13 |
| 1.2.2 АЦПВТ на основе фазовращателя. | 16 |
| 1.2.3 АЦПВТ на основе осциллятора | 18 |
| 1.2.4 Измерение угла с помощью АЦП | 19 |
| 1.2.5 АЦПВТ последовательного приближения | 21 |
| 2 Расчетная часть | 23 |
| 2.1 Разработка схем и моделирование процессов следящей системы | 23 |
| 2.2 Построение частотных характеристик разомкнутой дистанционной следящей системы | 28 |
| 2.3 Анализ устойчивости дистанционной следящей системы | 33 |
| 2.4 Оценка качества переходного процесса замкнутой дистанционной следящей системы | 38 |
| 3 Безопасность жизнедеятельности | 43 |
| 3.1 Организационные мероприятия | 43 |
| 3.2 Воздух рабочей зоны | 43 |
| 3.3 Производственное освещение | 46 |
| 3.4 Виброзащита | 48 |
| 3.5 Шум как неблагоприятный акустический фактор производства | 49 |
| 3.6 Технические мероприятия по защите работающих от неблагоприятного влияния электромагнитных полей | 52 |
| 3.7 Защита от прикосновения к объектам под напряжением | 54 |
| 4 Экономическая часть | 59 |
| 4.1 Обоснованность эффективности разработки дистанционной следящей системы | 59 |
| 4.2 Расчет себестоимости робота-манипулятора с дистанционной следящей системой с СКВТ на примере рабочего прототипа | 59 |
| 4.3 Затраты на заработную плату разработчиков | 60 |
| 4.4 Затраты на разработку программного обеспечения | 61 |
| 4.5 Затраты на электроэнергию | 61 |
| 4.6 Экономический эффект от использования робота-манипулятора на примере погрузочных работ. | 62 |
| Содержание | 64 |
| Список использованной литературы | 65 |

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день технологические оборудования в промышленности невозможно представить без элементов автоматизации. Автоматизация является неотъемлемой частью любой сферы производства.

Бурный прогресс в области развития автоматизированных технических систем вывели развитие новой области науки - робототехники.

Робототехника является одним из важнейших направлений научно-технического прогресса, в котором проблемы механики соприкасаются с проблемами управления и искусственного интеллекта. Робот - это электромеханическое, пневматическое, гидравлическое устройство или их комбинация, предназначен для замены человека в промышленности, опасных средах и др. Системы управления робототехнических устройств строятся на том же техническом базисе, что и все другие автоматические устройства.

Современные работы – это «руки», манипуляторы, закрепленные на платформе и предназначенные для выполнения однообразной работы. К роботам также относятся устройства, работающие в тяжелых и опасных для человека средах и управляемые дистанционно, например работы, которые выполняют работы на больших глубинах, в космосе, устройства для доставки снарядов и другие.

Современный уровень развития робототехники позволяет оснастить роботов широким спектром дополнительного оборудования таким, как камеры, системы навигации, датчик движения, света, звука и т.д. Все это позволяет значительно расширить возможности роботов и тем самым расширить область их применения.

Расширение возможности роботов можно произвести путем оснащения роботов различными дополнительными оборудованиями, такими как системы навигации, камеры, датчики движения, положения, температуры, звука, и т.д.

Целью данной дипломной работы является разработка дистанционной следящей системы с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами.

В первой главе будет описана технологическая часть: конструкция СКВТ, обзор существующих методов обработки СКВТ, их плюсы и минусы.

Во второй главе будет произведена разработка схем и моделирование процессов дистанционной следящей системы с СКВТ, анализ устойчивости дистанционной следящей системы, оценка качества переходного процесса замкнутой дистанционной следящей системы.

Третья глава включает в себя безопасность и охрану труда, в которой будут описаны все опасные факторы, которые имеют место быть разработке и создании дистанционной следящей системы с СКВТ. Также будет

рассмотрена организация рабочего места разработчиков, куда входит освещенность, уровень шума и т.д.

Четвертая часть включает в себя экономическую составляющую разработки дистанционной следящей системы с СКВТ. Туда входят затраты на разработку дистанционной следящей системы с СКВТ, будет рассчитана его рентабельность.

В заключении приводятся основные полученные результаты, подводится итог проделанной работы.

1 Технологическая часть

1.1 Описание дистанционной следящей системы с СКВТ

Следящая система - это система автоматического регулирования, которая воспроизводит на выходе входное задающее воздействие с определённой точностью, изменяющееся по заранее неизвестному закону [1].

В СКВТ следящий привод приводится в действие за счет разницы положений, которая возникает между исполнительным и управляющим органами, причем сам процесс его работы направлен к устранению указанной разницы. СКВТ задаёт угол, с которым сравнивается значение с рабочего механизма и сигнал разницы в виде напряжения передаётся на усилитель напряжения. Усилитель напряжения усиливает входное значение напряжения до уровня, необходимого для срабатывания исполнительного механизма и затем передает данный сигнал на корректирующее устройство. Угол поворота, являющийся выходным сигналом с рабочего механизма, преобразуется в электрический сигнал тахогенератором. Сигнал с тахогенератора сравнивается с сигналом с корректирующего устройства и разница подаётся на усилитель мощности. С усилителя мощности сигнал подаётся на исполнительный двигатель, который превращает электрический сигнал в механическое вращение. Таким образом, поворот управляющей оси на некоторый угол вызывает движение элементов следящей системы, затем включается электродвигатель, который, выполняя заданный поворот, возвращает следящую систему в равновесие и вследствие этого вновь приходит в положение покоя [2].

На рисунке 1.1 показана конструкция СКВТ.

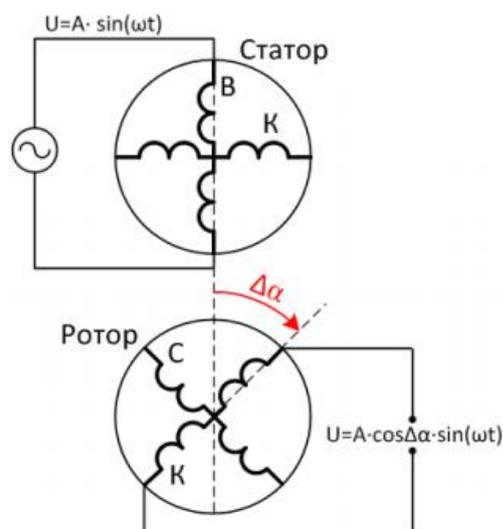


Рисунок 1.1 - Конструкция СКВТ

Конструкция СКВТ состоит из вращающегося ротора и неподвижного статора, закреплённого на некоторой поверхности. В статоре и роторе расположены две одинаковые, перпендикулярные обмотки. Обмотка возбуждения, обмотки статора, и квадратурная обмотка являются генераторами магнитного поля внутри СКВТ. Обмотки ротора, синусная и косинусная обмотки считаются измерительными обмотками. На данных измерительных обмотках напряжение будет пропорционально косинусу и синусу угла поворота вала ротора. Обмотки статора генерируют поле, которое пронизывает обмотки ротора. В следствии чего напряжение, индуцированное в синусной и косинусной обмотке, находится проекцией вектора магнитной индукции поля статора на эти обмотки. Отсюда вытекает тригонометрическая зависимость между углом поворота вала и выходным напряжением.

Если на обмотку возбуждения подано синусоидальное напряжение вида:

$$U_{OB} = A \cdot \sin(\omega t).$$

То напряжение на синусной и косинусной обмотках ротора будет иметь вид:

$$\begin{aligned} U_{sin} &= k_1 A \cdot \sin \Delta a \cdot \sin(\omega t + a_1) \\ U_{cos} &= k_2 A \cdot \cos \Delta a \cdot \cos(\omega t + a_2). \end{aligned}$$

В идеальном трансформаторе коэффициенты трансформации k_1 и k_2 равны, а также равны фазовые сдвиги выходных сигналов α_1 и α_2 . В настоящих СКВТ эти коэффициенты не идентичны из-за различия параметров обмоток и неточности их ориентации. Для достижения высокой точности обработки СКВТ эти погрешности нужно учитывать.

1.2 Обзор существующих методов обработки СКВТ

1.2.1 Классический метод обработки СКВТ

Классический метод обработки СКВТ состоит в коллективном применении сразу двух СКВТ, СКВТ приемника и СКВТ датчика, обмотки которых соединены. Изображение упрощенной схемы подключения классическим методом обработки СКВТ показано на рисунке 1.2.

Как видно из рисунка 1.2, СКВТ датчик выполняет роль задатчика и находится в пульте оператора. СКВТ приёмник находится внутри самой управляемой системы. θ_1 и θ_2 являются угловыми положениями валов

СКВТ. Данная система является следящей, и изменение углового положения вала СКВТ датчика вызывает ровно такое же изменение углового положения объекта управления, и связанного с ним углового положения вала СКВТ приёмника. Принцип работы системы направлен на сведение к нулю напряжение на выходе СКВТ приёмника.

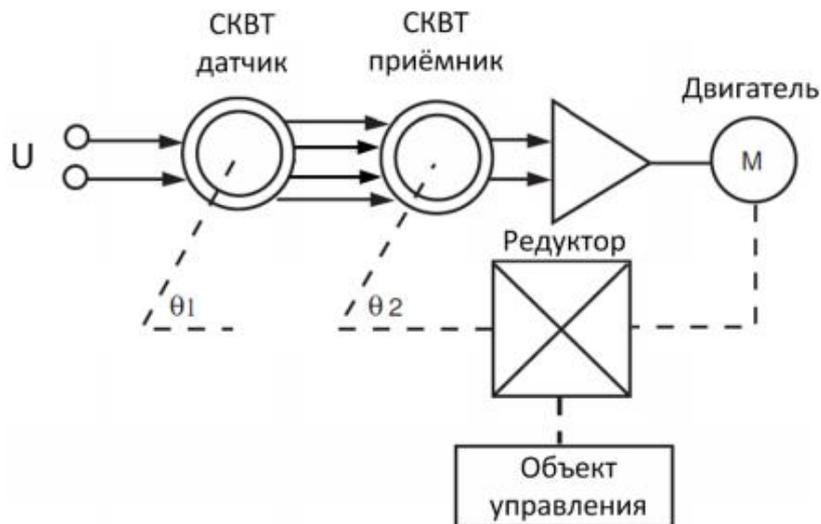


Рисунок 1.2 - Классический метод подключения СКВТ

Допустим, что начальная ошибка системы равна нулю. На рисунке 1.3 показана схема соединения обмоток СКВТ. При заданной схеме соединения данных обмоток, это условие выполняется при $\theta_1 = \theta_2 + 90^\circ$. В этом случае амплитуда сигнала на выходе СКВТ датчика будет равна нулю. Следовательно объект управления находится в статическом положении. При повороте вала СКВТ датчика на определенный угол $\Delta\alpha$, вектор магнитного поля повернется относительно синусной и косинусной обмотки СКВТ датчика, в следствии чего на данных обмотках формируется напряжение пропорциональное синусу и косинусу угла поворота. То же самое напряжение образуется на синусной и косинусной обмотке СКВТ приемника, а отклонение поля в СКВТ приёмнике произойдет на угол $\Delta\alpha$. В итоге в обмотке возбуждения СКВТ приемника индуцируется напряжение с амплитудой пропорциональной косинусу угла $\Delta\alpha$, которая является для следящей системы сигналом ошибки. Знак ошибки находится по фазовому сдвигу сигнала ошибки относительно напряжения возбуждения U . Сигнал данной ошибки выпрямляется, а затем подаётся на усилитель, инициируя поворот привода на угол $\Delta\alpha$, после чего ошибка приходит к нулю.

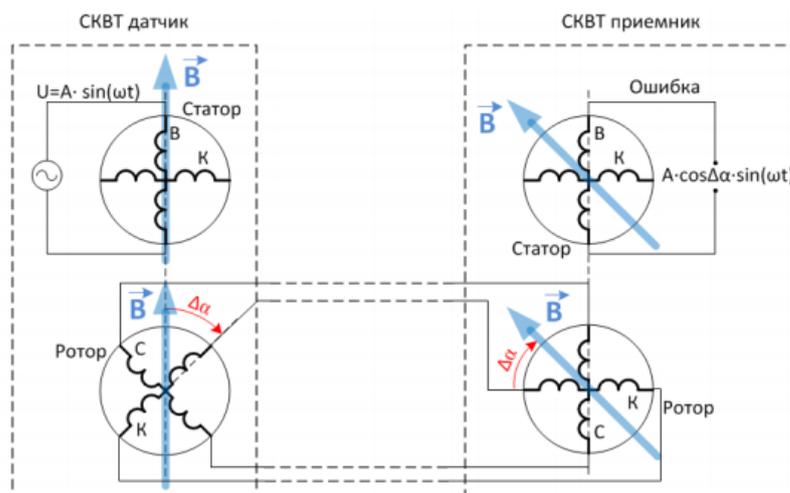


Рисунок 1.3 - Схема соединения СКВТ

Невзирая в простоту подключения схемы, достичь высокой точности данным способом очень трудно. Так как СКВТ датчик и СКВТ приёмник находятся на некотором удалении друг от друга, например, СКВТ датчик в кабине пилота вертолётa, а СКВТ приёмник в приводе орудия, то для их соединения нужно будет протянуть многожильный кабель. Кабель, владея свойствами антенны, формирует шумы в нужном сигнале, что делает невозможным точное определение угла поворота. Также, нередко бывает так, что в системе содержатся источники низкочастотного излучения, например двигатели и генераторы, которые наводят ЭДС в проводах кабеля. Диапазон испускания этих приборов перекрывает частоту сигнала СКВТ, вследствие чего, даже использование цифровой и аналоговой фильтрации не увеличивает точность такой системы.

В современных системах применяется иной подход при работе с СКВТ. В систему определяют лишь один СКВТ, который подключается к специальному преобразователю сигналов ЦАПВТ. Схема обработки СКВТ с ЦАПВТ представлена на рисунке 1.4.

Существует два типа подобных преобразователей: ЦАПВТ и АЦПВТ. ЦАПВТ используют с целью преобразования цифрового кода угла в надлежащие этому углу напряжение, а АЦПВТ функционирует обратным образом. Эти преобразователи издаются как в виде интегральных микросхем, так и в виде специализированных установочных устройств. Так как данный преобразователь может находится в непосредственной близости от обрабатываемого СКВТ, то можно сократить длину кабеля подключения, убавить зашумлённость полезного сигнала. Также в такие преобразователи часто встраивают схемы фильтрации для увеличения точности системы.

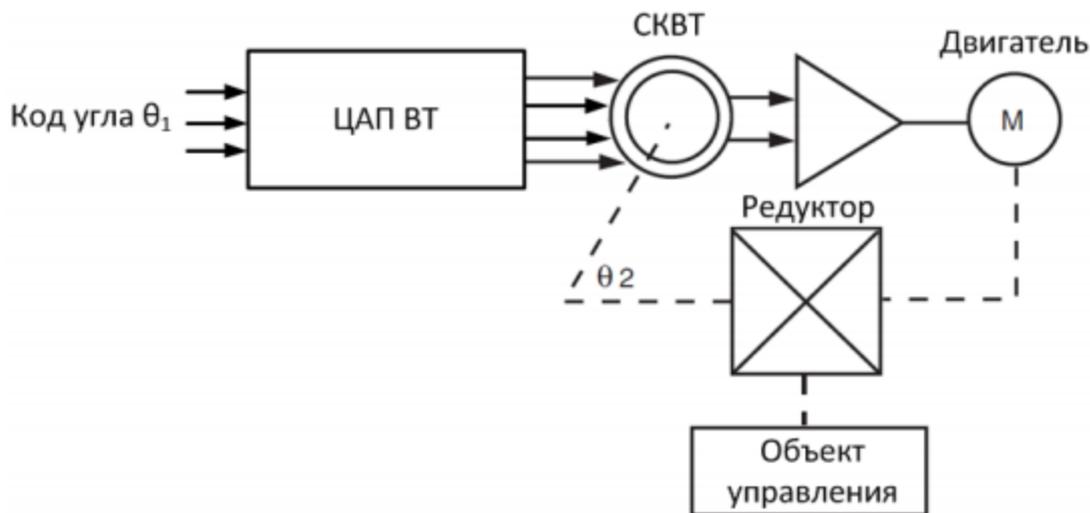


Рисунок 1.4 - Схема обработки СКВТ с использованием ЦАПВТ.

1.2.2 АЦПВТ на основе фазовращателя

С возникновением цифровой электроники начался процесс перехода от чувствительных аналоговых систем с помехами к цифровым системам, обладающими надёжностью и точностью. Схема простейшего преобразователя АЦПВТ на основе фазовращателя представлена на рисунке 1.5.

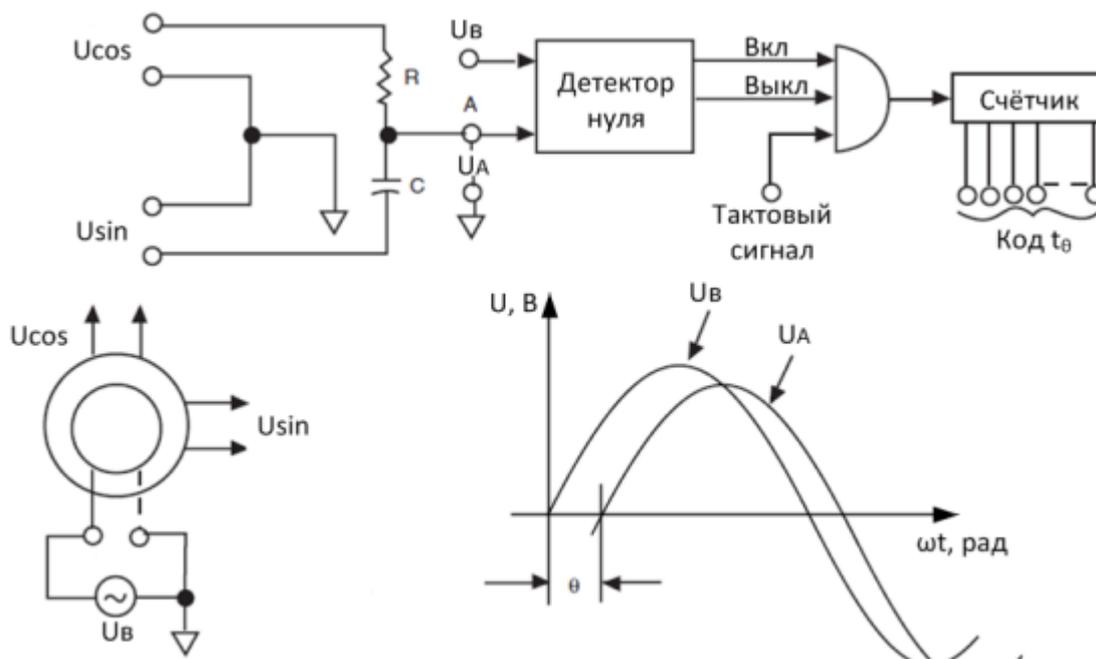


Рисунок 1.5 - Схема АЦПВТ на основе фазовращателя

В этой схеме СКВТ функционирует в режиме фазовращателя. На обмотку возбуждения подается гармонический сигнал U_B , квадратурная обмотка соединена накоротко для уменьшения поперечной составляющей магнитного поля. При данном подключении, сдвиг по фазе между напряжением возбуждения и напряжением в точке А линейно зависит от угла поворота вала СКТВ, если учесть, что постоянная времени $t=R \cdot C$ равна периоду сигнала возбуждения.

Напряжения на обмотках будут иметь вид:

$$U_B = A \cdot \sin(\omega t)$$

$$U_{cos} = \frac{A}{k_1} \cdot \cos(a) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$U_{sin} = \frac{A}{k_2} \cdot \sin(a) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2).$$

Если $\omega \cdot R \cdot C = 1$ и трансформатор идеальный, т.е. $k=k_1=k_2$ и $\varphi_1=\varphi_2 \approx 0$, то:

$$U_a = \frac{A}{2 \cdot k} \cdot \sin\left(\omega t + a - \frac{\pi}{4}\right), \text{ где } a - \text{ угол вала СКВТ}$$

При пересечении напряжение на обмотке возбуждения нулевого значения, на счётчик поступает тактовый сигнал. Счётчик начинает считать тактовые импульсы вплоть до того момента, пока напряжение в точке А не превысит нулевое значение. В результате на выходе счётчика будет отображаться число равное времени запаздывания сигнала напряжения U_A относительно сигнала напряжения U_B . Зная это время t_θ и частоту ω можно легко определить сдвиг по фазе θ , и угол вала СКВТ α

$$\theta = t_\theta \cdot \omega \quad \Rightarrow \quad \alpha = \theta + \frac{\pi}{4}.$$

Достоинствами данного метода являются:

- простота использования схемы, что позволяет без особых проблем работать с ней;

- наличие цифрового выхода.

Недостатки данного метода:

- низкая частота обновления данных, определяемая частотой сигнала возбуждения СКВТ;

- данная схема работоспособна только на определённой несущей частоте, что конечно же негативно сказывается на общем плане.

1.2.3 АЦПВТ на основе осциллятора

Ещё один способ нахождения углового положения вала СКВТ основан на использовании гармонического осциллятора. На рисунке 1.6 представлена схема АЦПВТ на основе осциллятора.

В этой схеме осциллятор состоит из двух инвертирующих интеграторов, которые включены последовательно и одного инвертора. Все это охвачено положительной обратной связью. Если сопротивление R_1 равно сопротивлению R_2 , $R_1=R_2=R$, а конденсатор C_1 равен конденсатору C_2 , $C_1=C_2=C$, то в данном осцилляторе период собственных колебаний находится постоянной времени $t=RC$. При замыкании ключей S_1 и S_2 в системе, конденсатор C_1 заряжается до напряжения U_{cos} , а конденсатор C_2 до U_{sin} . В следствии чего, выявляются начальные условия для интеграторов, или точка старта осциллятора. Осциллятор запускается в момент размыкания ключей.

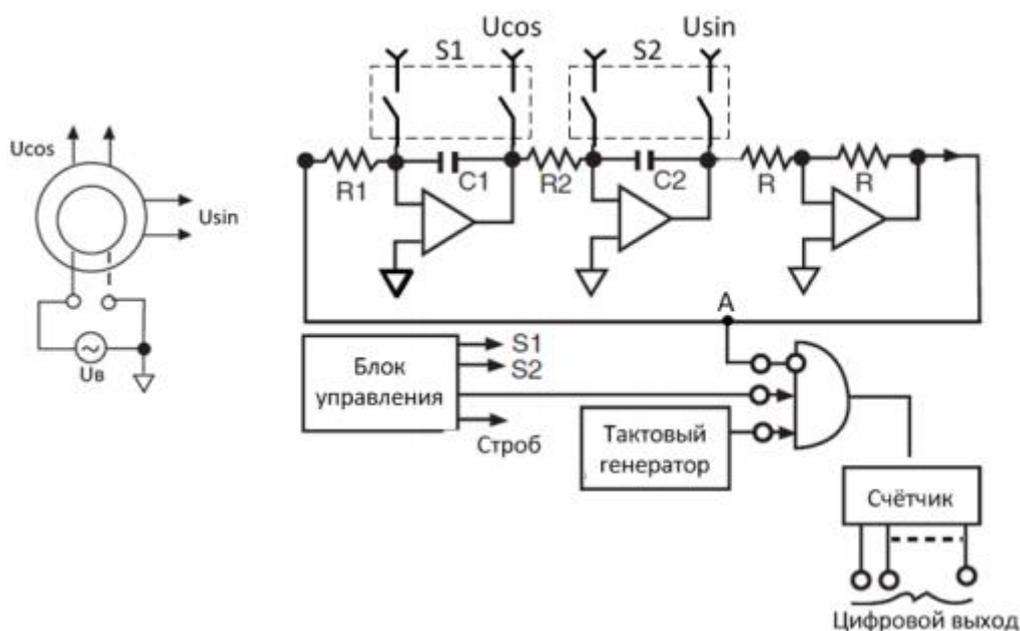


Рисунок 1.6 - Схема АЦПВТ на основе осциллятора

Осциллограмма напряжения в точке А показана на рисунке 1.7. Если в момент размыкания ключей напряжения конденсаторов равны:

$$U_{C1} = A \cdot \cos(\theta)$$

$$U_{C2} = A \cdot \sin(\theta),$$

то тогда значение напряжения в точка А будет равным:

$$U_A = A \cdot \sin\left(\frac{1}{RC} \cdot t - \theta\right).$$

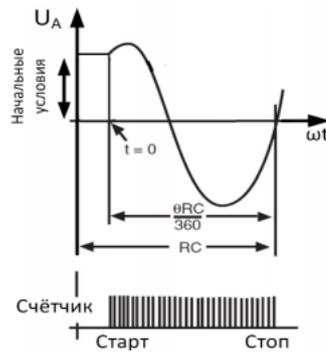


Рисунок 1.7 - Осциллограмма напряжения в точке А

Наравне с размыканием ключей S1 и S2 на вход счётчика приступают поступать импульсы от тактового генератора. Импульсы поступают до того момента, пока напряжение на выходе осциллятора U_A не сдвинется с нулевого значения в положительном направлении. Сразу как это произойдет, тактовый генератор отключится от счётчика. В результате на выходе счётчика будет число, которое пропорционально углу θ , где угол θ является угловым положением вала СКВТ.

Достоинствами данного метода являются:

- простота производства;
- высокая частота обновления данных, по сравнению с предыдущим методом.

недостатками данного метода являются:

- Точность измерений напрямую зависит от точности значений R,C элементов цепи.

1.2.4 Измерение угла с помощью АЦП

Данный способ обработки СКВТ заключается в использовании АЦП преобразователей и вычислительного блока. Обобщённая схема измерения угла с помощью АЦП представлена на рисунке 1.8

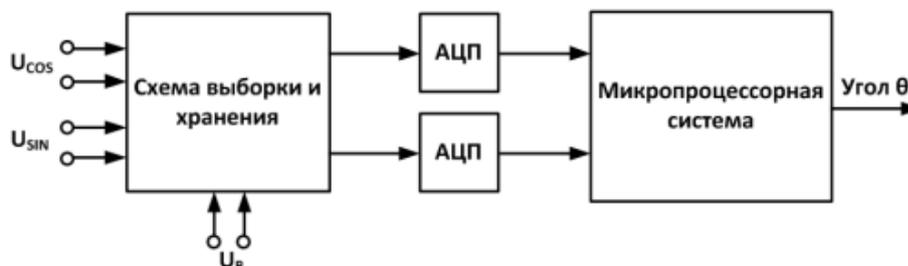


Рисунок 1.8 - Измерение угла с помощью АЦП

Принцип работы схемы выглядит следующим образом. На вход схемы выборки и хранения данных отпращивается напряжение косинусной и синусной обмоток, U_{sin} и U_{cos} , а также напряжение возбуждения U_B . Где θ является углом вала СКВТ.

$$U_B = A \cdot \sin(\omega t)$$

$$U_{cos} = \frac{A}{k_1} \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1) \approx \frac{A}{k} \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\omega t)$$

$$U_{sin} = \frac{A}{k_2} \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2) \approx \frac{A}{k} \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\omega t).$$

Когда напряжение синусной и косинусной обмотки достигает своего пика, схема выборки и хранения регистрирует данное значение. В итоге, значение напряжения на её выходе будет равно:

$$U_X = \frac{A}{k} \cdot \cos(\theta)$$

$$U_Y = \frac{A}{k} \cdot \sin(\theta).$$

Для вычисления значения угла вала СКВТ θ необходимо полученное напряжение оцифровать, и затем в цифровом виде передать на компьютер, где и произойдут соответствующие вычисления.

Достоинствами данного метода являются:

- простота схемы и ее реализация на одном микроконтроллере, в котором присутствует АЦП.

Недостатки данного метода:

- в сравнении с другими методами обработки СКВТ, у данного метода низкая частота обновления данных;
- наличие высокими динамическими ошибками.

1.2.5 АЦПВТ последовательного приближения

Последующее развитие способов обработки СКВТ способствовало к возникновению более надёжных и точных преобразователей. АЦПВТ последовательного приближения является наиболее распространенным видом последовательных АЦП. Схема АЦПВТ последовательного приближения показана на рисунке 1.9.



Рисунок 1.9 - АЦПВТ последовательного приближения

Принцип работы данной схемы похож на тот, что был до этой схемы и выглядит следующим образом. На вход схемы выборки и хранения поступает напряжение обмоток, U_{sin} и U_{cos} , а также напряжение возбуждения U_B , где θ является углом вала СКВТ.

$$U_B = A \cdot \sin(\omega t)$$

$$U_{cos} = \frac{A}{k_1} \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\omega t + \varphi_1) \approx \frac{A}{k} \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\omega t)$$

$$U_{sin} = \frac{A}{k_2} \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\omega t + \varphi_2) \approx \frac{A}{k} \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\omega t).$$

Когда напряжение синусной и косинусной обмотки достигает своего пика, схема выборки и хранения регистрирует данное значение. В итоге, напряжение на её выходе будет равным:

$$U_X = \frac{A}{k} \cdot \cos(\theta)$$

$$U_Y = \frac{A}{k} \cdot \sin(\theta).$$

В схеме присутствует специальный регистр угла ϕ . После обновления выходных напряжений схемой выборки и хранения, биты данного регистра сбрасываются в «0», кроме старшего бита, который выставляется в «1». Следовательно, в регистр угла ϕ записывается значение, соответствующее 180° . Сигналы U_x , U_y и два старших бита регистра ϕ подаются в схему определения квадранта, где происходит смена полярности сигналов U_x и U_y в

зависимости от значения битов. Далее, сигналы U_x и U_y с уже изменённой полярностью умножаются на множители $|\sin(\varphi)|$ и $|\cos(\varphi)|$ соответственно и вычитаются. Значение множителей $|\sin(\varphi)|$ и $|\cos(\varphi)|$ программируется регистром φ . В результате, выходным сигналом на сумматоре будет сигнал ошибки $U_{\text{ошибки}}$.

$$U_{\text{ошибки}} = U_x \cdot \sin(\varphi) - U_y \cdot \cos(\varphi) = \frac{A}{k} \cdot \sin(\theta - \varphi).$$

Далее, проверяется знак ошибки. Если знак положительный «+», то $\theta > \varphi = 180$, тогда второй по старшинству бит в регистре угла φ устанавливается в «1», а старший бит не меняется. В итоге в регистре φ записывается значение $0b1100\dots00$, которое соответствует углу 270° . Если знак отрицательный «-», то $\theta < \varphi = 180$, тогда второй по старшинству бит в регистре угла φ устанавливается в «1», а старший бит сбрасывается в «0». В итоге в регистре φ записано значение $0b0100\dots00$, которое соответствует углу 90° .

На каждой последующей такой итерации будет определено значение третьего по старшинству бита в регистре φ , затем четвертого и т.д. В итоге, если в регистре угла φ n бит, то будет выполнено n итераций, после чего в регистре φ отобразится такое значение, при котором модуль ошибки $|U_{\text{ОШИБКИ}}|$ минимален, т.е. $\varphi = \theta$. Подобным образом будет определено угловое положение вала СКВТ. Далее, схема выборки и хранения снова обновит выходные сигнала, и цикл снова повторится.

Достоинствами данного метода являются:

- высокая статическая точность, которая в сравнении с другими методами, делает данный метод эффективным;
- высокая разрешающая способность.

Недостатки данного метода:

- низкая частота обновления, определяемая частотой сигнала возбуждения СКВТ;
- высокие динамические ошибки.

2 Расчетная часть

2.1 Разработка схем и моделирование процессов следящей системы

На рисунке 2.1 изображена принципиальная схема дистанционной следящей системы с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами.

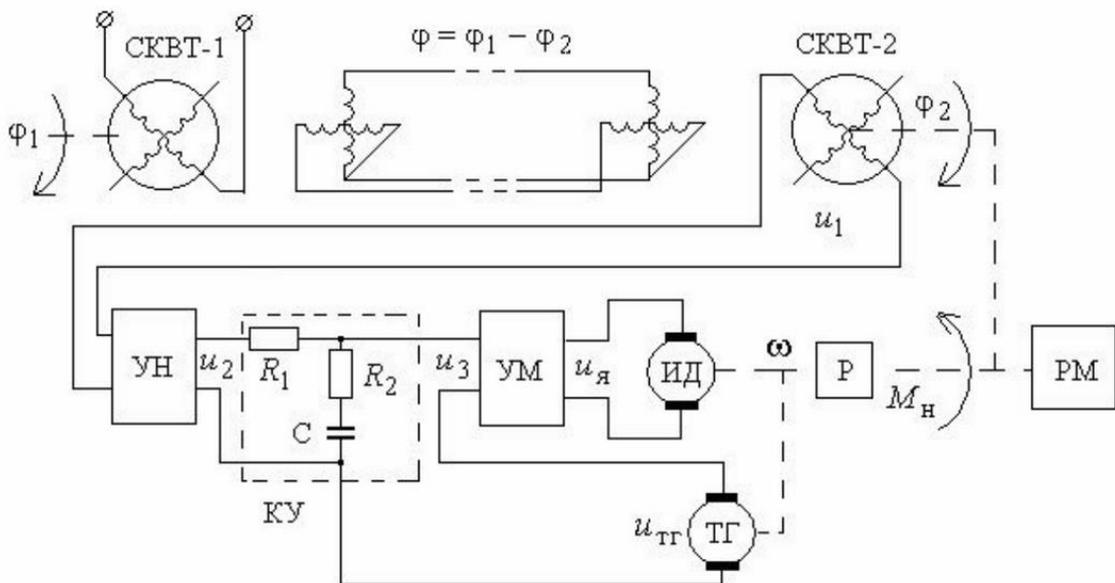


Рисунок 2.1 - Принципиальная схема дистанционной следящей системы с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами

Здесь:

СКВТ – синусно-косинусный вращающийся трансформатор,

УН - усилитель напряжения и выпрямитель,

КУ - последовательное корректирующее устройство,

УМ - усилитель мощности,

ИД - исполнительный двигатель,

Р - понижающий редуктор,

ТГ – тахогенератор,

РМ – рабочий механизм.

Описание дистанционной следящей системы и построение её функциональной схемы.

Синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ) - это электрическая микромашина переменного тока, позволяющий получать на выходе два напряжения, первое пропорционально $\sin\varphi$, второе - $\cos\varphi$.

Корректирующее устройство - это устройство, предназначенное для улучшения точности системы и качества переходных процессов.

Усилитель - это элемент САР, который предназначен для усиления входного сигнала до уровня, необходимого для начала работы исполнительного механизма.

Исполнительный двигатель - это некая маломощная машина, воздействия на управляющий или регулирующий орган путем преобразования электрического сигнала измерительного органа в угловое перемещение вала.

Тахогенератор - это машина небольшой мощности, предназначенная для преобразования механической величины в электрический сигнал [3].

В соответствии с описанием системы и её принципиальной схемы была построена функциональная схема САР, которая представлена на рисунке 2.2, а также универсальная схема САР, которая представлена на рисунке 2.3

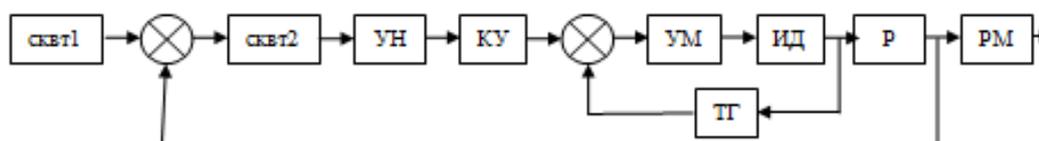


Рисунок 2.2 - Функциональная схема следящей системы с синусно-косинусными вращательными трансформаторами

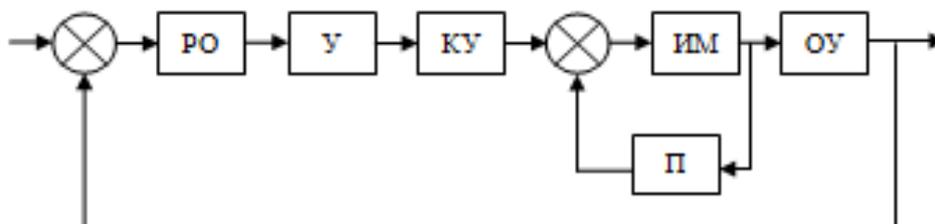


Рисунок 2.3 - Универсальная схема следящей системы с синусно-косинусными вращательными трансформаторами

Получение передаточных функций дистанционной следящей системы.

Передаточная функция – отношение преобразования по Лапласу выходной величины к преобразования по Лапласу входной величины при нулевых начальных условиях. Уравнение для нахождения передаточной функций выглядит следующим образом (2.1) [4].

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \dots + a_0} = G(s) \quad (2.1)$$

Линеаризованные уравнения элементов системы представлены в дифференциальной форме и имеют вид:

Вращающийся трансформатор:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (2.2)$$

$$u_1 = k_1 \cdot \varphi_1, \quad (2.3)$$

Усилители:

$$u_2 = k_u \cdot u_1, \quad (2.4)$$

$$T_m \frac{du_3}{dt} + u_3 = k_m \cdot u_2, \quad (2.5)$$

Двигатель с редуктором:

$$T_{дв} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = k_{дв} \cdot u_3, \quad (2.6)$$

$$\frac{d\varphi_2}{dt} = k_p \cdot \omega, \quad (2.7)$$

Тахогенератор и гибкая обратная связь:

$$u_3 = u_{KV} - u_{TG}, \quad (2.8)$$

$$u_{TG} = k_{TG} \cdot \omega. \quad (2.9)$$

В приведенных уравнениях:

φ_1, φ_2 – углы поворота командной и исполнительной осей,

$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ – ошибка поворота,

$u_1, u_2, u_{TG}, u_{KV}, u_3$ – напряжения постоянного тока,

M_H – момент нагрузки.

В таблице 2.1 приведены исходные данные для расчетов.

Таблица 2.1 - Таблица исходных данных

| k_1 | k_u | k_m | T_m | $k_{дв}$ | $T_{дв}$ | k_p | k_{TG} | R_1 | R_2 | C | φ_1 |
|------------------|-------|-------|-------|-------------------|----------|-------|----------------------|-------|-------|-----|-------------|
| $\frac{В}{град}$ | | | с | $\frac{град}{Вс}$ | с | | $\frac{В}{град * с}$ | МОм | МОм | мкФ | град |
| 4 | 12 | 7 | 0,02 | 100 | 0,03 | 0,005 | 0,2 | 1,5 | 0,15 | 2 | 5sin0,5t |

Передаточные функций в соответствии с выражениями (2.2) - (2.9) для каждого элемента системы дистанционной следящей системы с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами будет иметь вид:

Усилитель напряжения:

$$G = \frac{U_2}{U_1} = K_u = 12 \quad (\text{Пропорциональное звено}) \quad (2.10)$$

Усилитель мощности :

$$G_{ум} = \frac{u_я}{u_з} = \frac{k_m}{T_m s + 1} = \frac{7}{0,02s + 1} \quad (\text{Апериодическое звено 1-го порядка}) \quad (2.11)$$

Двигатель с редуктором:

$$G_{ИД} = \frac{\omega}{u_я} = \frac{k_{ДВ}}{T_{ДВ} s + 1} = \frac{100}{0,03s + 1} \quad (\text{Апериодическое звено 1-го порядка}) \quad (2.12)$$

$$G_p = \frac{\omega}{\varphi_2} = \frac{k_p}{s} = \frac{0,005}{s} \quad (\text{Звено интегрирования}) \quad (2.13)$$

Корректирующее устройство:

$$G_{ку}(s) = \frac{R_2 C s + 1}{(R_1 + R_2) C s + 1} = \frac{0,3s + 1}{3,3s + 1} \quad (\text{Апериодическое звено 1-го порядка}) \quad (2.14)$$

Тахогенератор и гибкая обратная связь:

$$G_{ТГ}(s) = \frac{\omega}{U_{ТГ}} = k_{ТГ} = 0,2 \quad (\text{Пропорциональное звено}) \quad (2.15)$$

Вращающийся трансформатор:

$$G_{БР}(s) = \frac{\varphi_1}{u_1} = k_1 = 4 \quad (\text{Пропорциональное звено}) \quad (2.16)$$

Составление структурной схемы, их передаточные функции и переходной процесс разомкнутой и замкнутой систем.

Структурная схема разомкнутой системы показана на рисунке 2.4

Эквивалентная передаточная функция для разомкнутой системы в соответствии со структурной схемой имеет вид:

$$G_{PC}(s) = G_{BT-2}(s) \cdot G_{УН}(s) \cdot G_{KV}(s) \cdot G_p(s) \cdot G_{OC}(s), \quad (2.17)$$

где $G_{OC}(s)$ - эквивалентная передаточная функция для местной обратной связи.

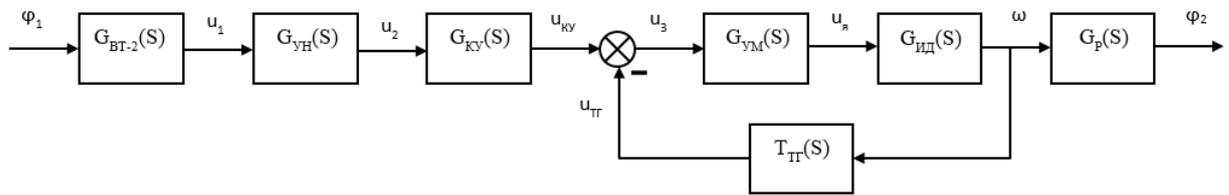


Рисунок 2.4 - Структурная схема разомкнутой системы

$$G_{OC}(s) = \frac{G_{УМ}(s) \cdot G_{ИД}(s)}{1 + G_{УМ}(s) \cdot G_{ИД}(s) \cdot T_{ТТ}(s)} \quad (2.18)$$

Подставив в уравнение 2.1.18 уравнения 2.11, 2.12 и 2.15, затем сократив получим эквивалентную передаточную функцию для местной обратной связи:

$$G_{OC}(s) = \frac{700}{0,0006s^2 + 0,05s + 141} \quad (2.19)$$

Подставив в уравнение 2.17 уравнения 2.18, 2.10, 2.13, 2.14 и 2.16, затем сократив получим эквивалентную передаточную функцию для разомкнутой системы:

$$G_{PC}(s) = \frac{50,4s + 168}{0,00198s^4 + 0,1656s^3 + 465,35s^2 + 141s} \quad (2.20)$$

Результат моделирования показан на рисунке 2.5.

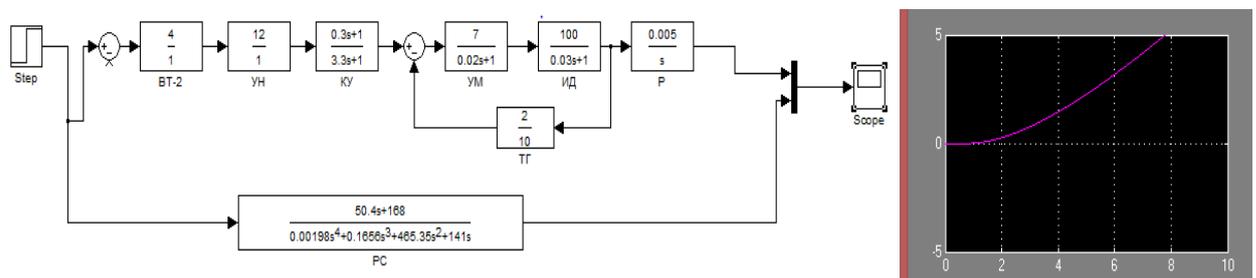


Рисунок 2.5 - Результат моделирования разомкнутой системы

Система стремится к бесконечности потому что в системе присутствует звено интегрирования.

Структурная схема замкнутой системы показана на рисунке 2.6

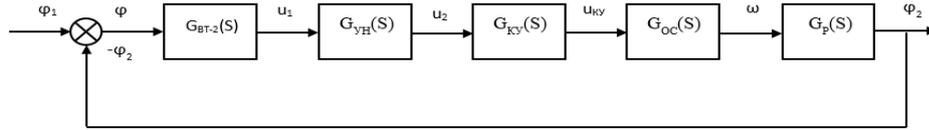


Рисунок 2.6 - Структурная схема замкнутой системы

Эквивалентная передаточная функция для замкнутой системы в соответствии со структурной схемой имеет вид:

$$G_{ЗС}(s) = \frac{G_{PC}(s)}{1 + G_{PC}(s)} \quad (2.21)$$

Подставив уравнение 2.20 в уравнение 2.21, а затем сократив получим эквивалентную передаточную функцию для замкнутой системы:

$$G_{ЗС}(s) = \frac{50,4s+168}{0,00198s^4+0,1656s^3+465,35s^2+191,4s+168} \quad (2.22)$$

Результат моделирования показан на рисунке 2.7

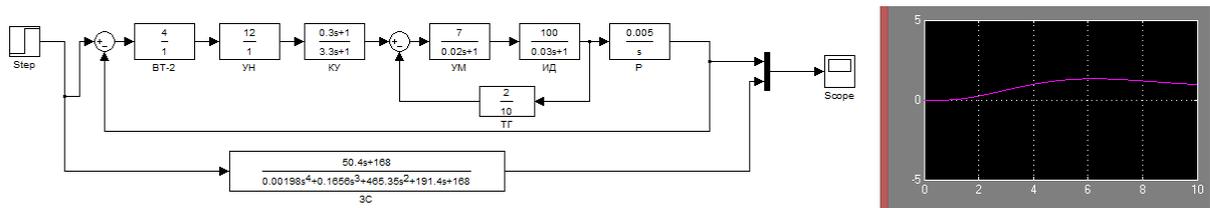


Рисунок 2.7 - Результат моделирования замкнутой системы.

2.2 Построение частотных характеристик разомкнутой дистанционной следящей системы

Определение действительной и мнимой частей дистанционной следящей системы.

Для определения действительной и мнимой частей разомкнутой системы вместо оператора Лапласа s в передаточную функцию разомкнутой системы (2.20) подставлена комплексная переменная $j\omega$ и получено выражение:

$$G_{PC}(j\omega) = \frac{50,4j\omega+168}{0,00198(j\omega)^4+0,1656(j\omega)^3+465,35(j\omega)^2+141j\omega}$$

Для упрощения решения многочлен в знаменателе был разбит на множители:

$$G_{PC}(j\omega) = \frac{50,4j\omega+168}{j\omega(j\omega+0,3)((j\omega)^2+0,8j\omega+23,2)}$$

Для избавления мнимых частей в знаменателе нужно числитель и знаменатель умножить на сопряженное число:

$$G_{PC}(j\omega) = \frac{24,14(0,3j\omega+1)(-j\omega)(1-3,33j\omega)((1-0,04\omega^2)-0,035j\omega)}{j\omega(-j\omega)(1+3,33j\omega)(1-3,33j\omega)(0,035j\omega+(1-0,04\omega^2))(-0,035j\omega+(1-0,04\omega^2))} \quad (2.23)$$

Далее перемножив все множители в числителе и знаменателе в выражении (2.23) получим:

$$G_{PC}(j\omega) = \frac{0,97j\omega^5+2,08\omega^4-21,56j\omega^3+0,97\omega^3-74\omega^2-24,14j\omega}{\omega^2(1+11,09\omega^2)(1-0,079\omega^2+0,0016\omega^4)}$$

Выделяем действительную и мнимую часть по формуле:

$$G_{PC}(j\omega) = \text{Re}(w) + j\text{Im}(w)$$

$$G_{PC}(j\omega) = \frac{2,08\omega^4+0,97\omega^3-74\omega^2}{\omega^2(1+11,09\omega^2)(1-0,079\omega^2+0,0016\omega^4)} - j \frac{0,97\omega^5-21,56\omega^3-24,14\omega}{\omega^2(1+11,09\omega^2)(1-0,079\omega^2+0,0016\omega^4)}$$

Откуда:

$$\text{Re}(w) = \frac{2,08\omega^4+0,97\omega^3-74\omega^2}{\omega^2(1+11,09\omega^2)(1-0,079\omega^2+0,0016\omega^4)} \quad (2.24)$$

$$\text{Im}(w) = \frac{0,97\omega^5-21,56\omega^3-24,14\omega}{\omega^2(1+11,09\omega^2)(1-0,079\omega^2+0,0016\omega^4)} \quad (2.25)$$

Действительная и мнимая части разомкнутой системы обозначены выражением (2.24) и (2.25)

Построение АФЧХ разомкнутой дистанционной следящей системы.

Для построения АФЧХ находятся значения реальной и мнимой частей передаточной функции разомкнутой системы в зависимости от изменения частоты. Значения данных частей приведены в таблице 2.2. Полученная АФЧХ показана на рисунке 2.8.

Таблица 2.2 – Таблица значений реальной и мнимой частей для построения АФЧХ

| | | | | | |
|----------------|----------|-------|-------|-------|----------|
| ω | 0 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | ∞ |
| Re(ω) | ∞ | -3.5 | -3.16 | -2.46 | 0 |
| Im(ω) | ∞ | -23.3 | -10 | -4.2 | 0 |

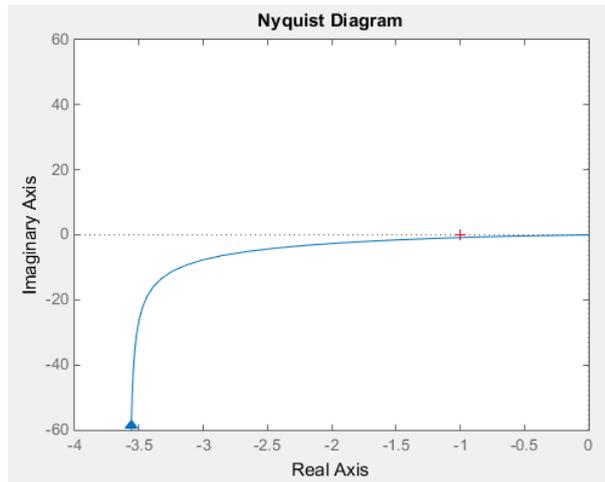


Рисунок 2.8 - График АФЧХ разомкнутой системы, построенный в среде MatLab

Построение АЧХ и ФЧХ разомкнутой дистанционной следящей системы.

Для построения АЧХ используется формула:

$$M(\omega) = \sqrt{\text{Re}^2(\omega) + \text{Im}^2(\omega)},$$

Далее подставив формулы действительной и мнимой частей получим:

$$M(\omega) = \frac{\sqrt{1+\omega^2 T^2}}{\omega \sqrt{(1-\omega^2 T^2)^2 + 4\xi^2 \omega^2 T^2} \sqrt{1+\omega^2 T^2}}$$

Далее из промежутка $[0; +\infty)$ выбраны частоты ω для использования в полученной формуле АЧХ. Значения АЧХ приведены в таблице 2.3. Полученная АЧХ показана на рисунке 2.9.

Таблица 2.3 - Таблица значения АЧХ

| | | | | |
|---------------|----------|-------|-------|----------|
| ω | 0 | 1 | 10 | ∞ |
| M(ω) | ∞ | 0.357 | 0.012 | 0 |

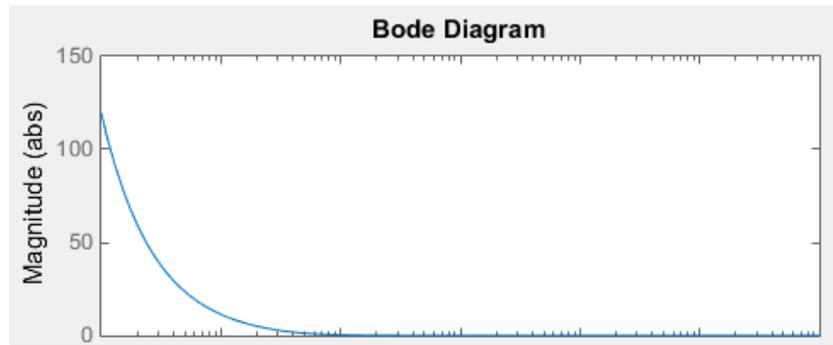


Рисунок 2.9 - График АЧХ разомкнутой системы, построенный в среде MatLab

Для построения ФЧХ используется формула:

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Re}(\omega)}{\text{Im}(\omega)}$$

Вместо ω в полученной формуле ФЧХ были подставлены значения из промежутка $[0; +\infty)$. Значения ФЧХ приведены в таблице 2.4.

Полученная ФЧХ показана на рисунке 2.10.

Таблица 2.4 – Таблица значений ФЧХ

| | | | | | | | | |
|----------------|-----|------|------|------|------|-----|------|----------|
| ω | 0 | 0.01 | 0.1 | 1 | 10 | 100 | 1000 | ∞ |
| $\Phi(\omega)$ | -90 | -92 | -107 | -146 | -107 | -95 | -265 | -270 |

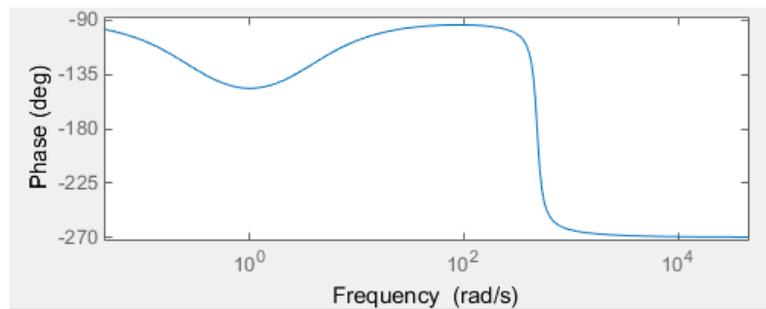


Рисунок 2.10 - График ФЧХ разомкнутой системы, построенный в среде MatLab

Построение ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой дистанционной следящей системы.

Для построения ЛАЧХ используется формула:

$$L(\omega) = \lg(M(\omega)),$$

Вместо ω в формуле ЛАЧХ были подставлены значения из промежутка $[0; +\infty)$. Полученная ЛАЧХ показана на рисунке 2.11.

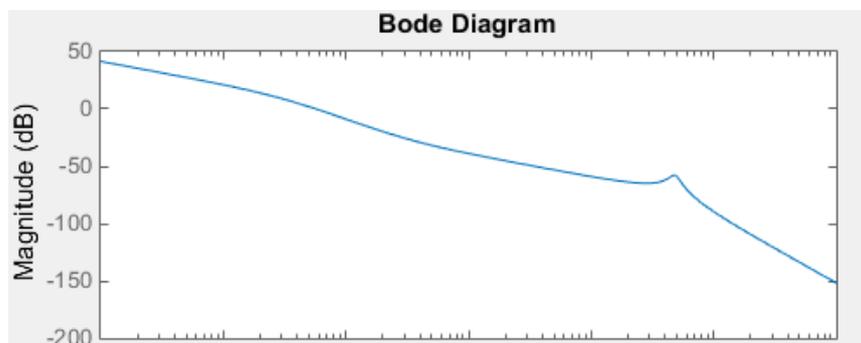


Рисунок 2.11 - График ЛАЧХ разомкнутой системы, построенный в среде MatLab

Для построения ЛФЧХ используется формула

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\operatorname{Re}(\omega)}{\operatorname{Im}(\omega)}$$

Вместо ω в формуле ЛФЧХ были подставлены значения из промежутка $[0; +\infty)$. Полученная ЛФЧХ показана на рисунке 2.12.

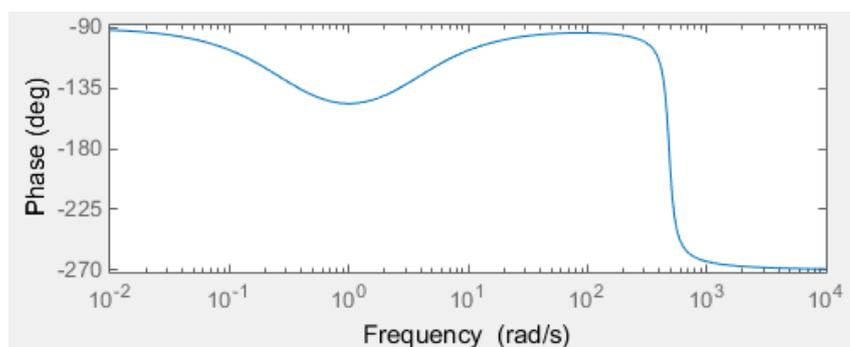


Рисунок 2.12 - График ЛФЧХ разомкнутой системы, построенный в среде MatLab

2.3 Анализ устойчивости дистанционной следящей системы

Исследование разомкнутой и замкнутой систем на устойчивость по первому методу Ляпунова. Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$G_{PC}(s) = \frac{50,4s+168}{0,00198s^4+0,1656s^3+465,35s^2+141s},$$

где характеристическим уравнением будет выражение:

$$0,00198s^4 + 0,1656s^3 + 465,35s^2 + 141s = 0 \quad (2.26)$$

Корни данного характеристического уравнения равны:

$$\begin{aligned} s_1 &= 0; \\ s_2 &= -0,0403 + 1,5324j; \\ s_3 &= -0,0403 - 1,5324j; \\ s_4 &= -0,0030. \end{aligned}$$

В соответствии с теоремой Ляпунова разомкнутая система находится на границе устойчивости, так как один полюс передаточной функции равен нулю, а остальные действительные части корней характеристического уравнения являются отрицательными.

Исследование на устойчивость замкнутой системы.

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

$$G_{зс}(s) = \frac{50,4s+168}{0,00198s^4+0,1656s^3+465,35s^2+191,4s+168}$$

где характеристическим уравнением будет выражение:

$$0,00198s^4 + 0,1656s^3 + 465,35s^2 + 191,4s + 168=0$$

Корни данного характеристического уравнения равны:

$$\begin{aligned} s_1 &= -0,0398 + 1,5324j; \\ s_2 &= -0,0398 - 1,5324j; \\ s_3 &= -0,0021 + 0,0056j; \\ s_4 &= -0,0021 - 0,0056j. \end{aligned}$$

В соответствии с теоремой Ляпунова замкнутая система является устойчивой, так как все действительные части полюсов являются отрицательными.

Исследование разомкнутой дистанционной следящей системы на устойчивость по критерию устойчивости Гурвица.

Для исследования разомкнутой системы на устойчивость по критерию Гурвица в качестве исходных данных используется её характеристическое уравнение (2.26). Оттуда параметры данного уравнения равны:

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 0,00198; \\
 a_1 &= 0,1656; \\
 a_2 &= 465,35; \\
 a_3 &= 141; \\
 a_4 &= 0.
 \end{aligned}$$

Далее по данным параметрам строится матрица Гурвица, которая имеет вид:

$$\begin{bmatrix}
 0,1656 & 141 & 0 & 0 \\
 0,00198 & 465,35 & 0 & 0 \\
 0 & 0,1656 & 141 & 0 \\
 0 & 0,00198 & 465,35 & 0
 \end{bmatrix}$$

Найдём определители всех главных миноров полученной матрицы:

$$\begin{aligned}
 \Delta_1 &= 0,1656; \\
 \Delta_2 &= 76,7828; \\
 \Delta_3 &= 1.0826e+004; \\
 \Delta_4 &= 0.
 \end{aligned}$$

В соответствии с критерием Гурвица разомкнутая система находится на границе устойчивости, так как $\Delta_4 = 0$, а $\Delta_1 = 0,1656 > 0$, $\Delta_2 = 76,7828 > 0$, $\Delta_3 = 1.0826e+004 > 0$

Исследование разомкнутой дистанционной следящей системы на устойчивость по критерию устойчивости Михайлова. Для исследования разомкнутой системы на устойчивость по критерию Михайлова в качестве исходных данных используется её характеристическое уравнение (2.26).

Далее получим:

$$D(j\omega) = 0,00198(j\omega)^4 + 0,1656(j\omega)^3 + 465,35(j\omega)^2 + 141j\omega = 0$$

Выделим действительную и мнимые части:

$$\begin{aligned}
 Re(\omega) &= 0,00198\omega^4 - 465,35\omega^2 \\
 Im(\omega) &= -0,1656\omega^3 + 141\omega
 \end{aligned}$$

Для построения годографа Михайлова нужно выбрать частоты ω из промежутка $[0; +\infty)$. Годограф Михайлова показан на рисунке 2.13.

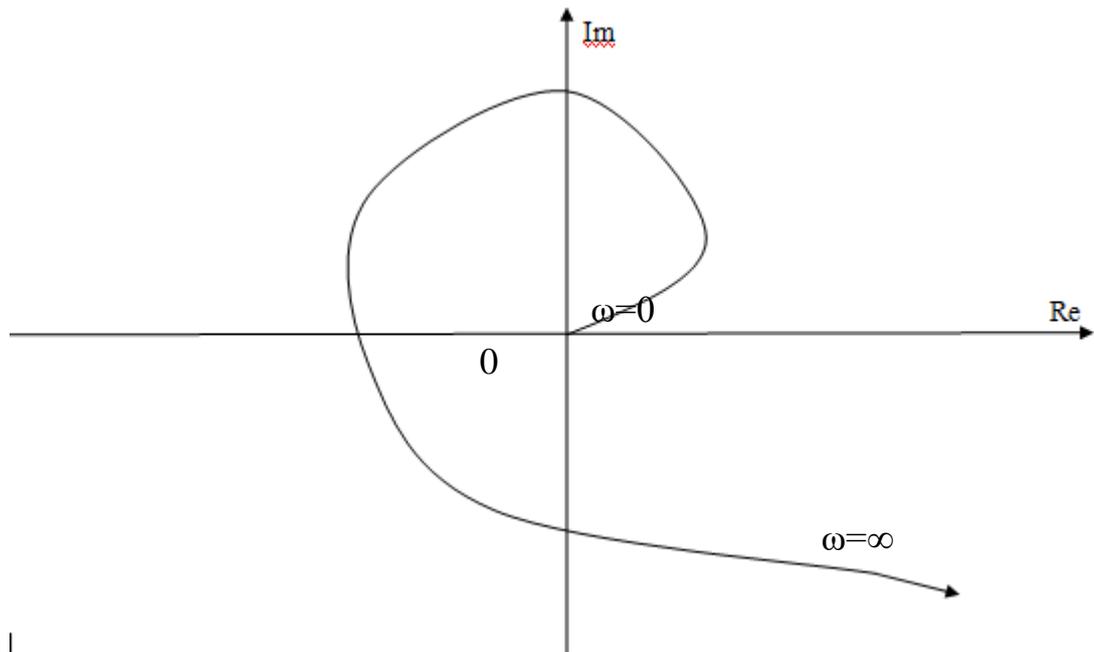


Рисунок 2.13 - Годограф Михайлова

В соответствии с критерием Михайлова разомкнутая система находится на границе устойчивости, так как график годографа Михайлова начинается с нуля вещественной оси, не проходит через точку $(0,0,j)$ и обходит 4 квадранта, вращаясь в положительную сторону.

Исследование замкнутой системы на предельный критерий усиления и нахождения области значения коэффициента усиления для устойчивости системы.

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$G_{PC}(s) = \frac{50,4s+168}{0,00198s^4+0,1656s^3+465,35s^2+141s}$$

Затем разложим знаменатель на множители:

$$G_{PC}(s) = \frac{50,4s+168}{s(s+0,3)(s^2+0,8s+23,2)}$$

Далее найдем предельный коэффициент усиления, затем заменим его на k :

$$G_{PC}(s) = \frac{24.14(0.3s+1)}{s(3.3s+1)(0.04s^2+0.035s+1)}$$

$$G_{PC}(s) = \frac{k(0.3s+1)}{s(3.3s+1)(0.04s^2+0.035s+1)} \quad (2.27)$$

Далее из передаточной функции разомкнутой системы (выражение 2.27) получим передаточную функцию замкнутой системы с предельным коэффициентом усиления k :

$$G_{PC}(s) = \frac{k(0.3s+1)}{s(3.3s+1)(0.04s^2+0.035s+1)+k(0.3s+1)} \quad (2.28)$$

Для нахождения области значения коэффициента усиления для устойчивости системы необходимо рассмотреть характеристическое уравнение (выражение 2.28) и построить матрицу Гурвица:

$$s(3.3s + 1)(0.04s^2 + 0.035s + 1) + k(0.3s + 1) = 0$$

$$0.13s^4 + 0.2s^3 + 3.37s^2 + s(1 + 0.3k) + k = 0$$

$$\begin{bmatrix} 0,1656 & 141 & 0 & 0 \\ 0,00198 & 465,35 & 0 & 0 \\ 0 & 0,1656 & 141 & 0 \\ 0 & 0,00198 & 465,35 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Далее найдем определитель матрицы 2.29:

$$\Delta = 0.544k + 0.082k^2 - 0.00117k^3 > 0 \quad (2.30)$$

Решим неравенство 2.30:

$$\begin{aligned} k_1 &> 0 \\ k_2 &\in (-4.15; 11.7) \\ k &\in (0; 11.7) \end{aligned}$$

Была получена область значений коэффициента усиления для устойчивости и предельный коэффициент усиления замкнутой системы $k_{пр1} = 0, k_{пр2} = 11.7$.

Исследование замкнутой дистанционной следящей системы на устойчивость по критерию устойчивости Найквиста.

По критерию устойчивости Найквиста замкнутая дистанционная следящая система с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами устойчива, так как по теореме Ляпунова разомкнутая система устойчива, а АФЧХ разомкнутой системы (рисунок 2.14) не охватывает точку $(-1,0j)$.

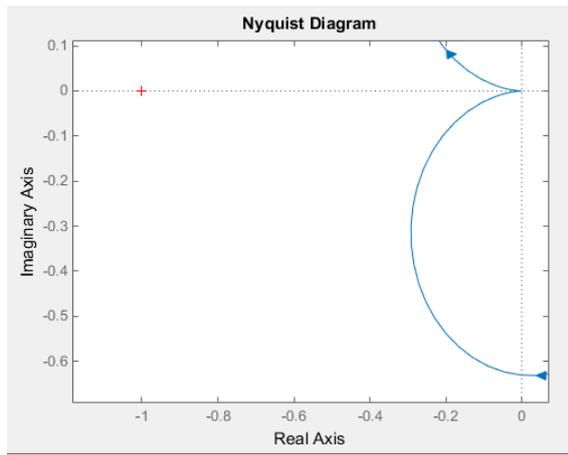


Рисунок 2.14 - АФЧХ разомкнутой системы

Исследование замкнутой дистанционной следящей системы на устойчивость по логарифмическому критерию устойчивости Найквиста.

Замкнутая дистанционная следящая система с синусно-косинусным вращательным трансформатором является устойчивой, так как ЛАЧХ разомкнутой системы проходит через точку частоты не среза раньше, чем ЛФЧХ проходит точку частоты равной -180° . Данный график показан на рисунке 2.15.

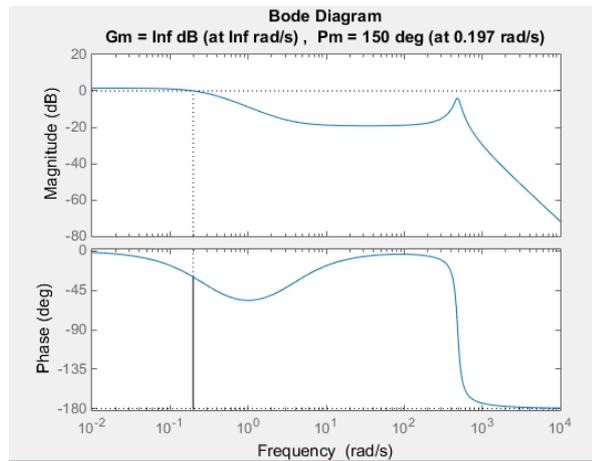


Рисунок 2.15 - ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы

Оценка запасов устойчивости дистанционной следящей системы по логарифмическим характеристикам.

Для частоты, при которой ЛФЧХ принимает значения -180° , находится значение ЛАЧХ. Данное значение берется с противоположным знаком, и получается значение запаса устойчивости по амплитуде. Данное значение показано на рисунке 2.15 и равно ∞ дБ.

Для частоты, при которой ЛАЧХ принимает нулевое значение, находится значение ЛФЧХ. Данное значение является значением запаса устойчивости по фазе. Данное значение показано на рисунке 2.15 и равно 150° .

2.4 Оценка качества переходного процесса замкнутой дистанционной следящей системы

Прямые оценки качества переходного процесса замкнутой дистанционной следящей системы .

Исходные данные - переходной процесс замкнутой системы. Переходной процесс замкнутой системы в среде MatLab получаем через команду step. После получения переходного процесса, нажатием на правую клавишу мыши и выбрав в контекстном меню пункты Characteristics => Peak Response; Settling Time; Rise Time; Steady State, можно получить прямые характеристики данного процесса, которые показаны на рисунке 2.16.

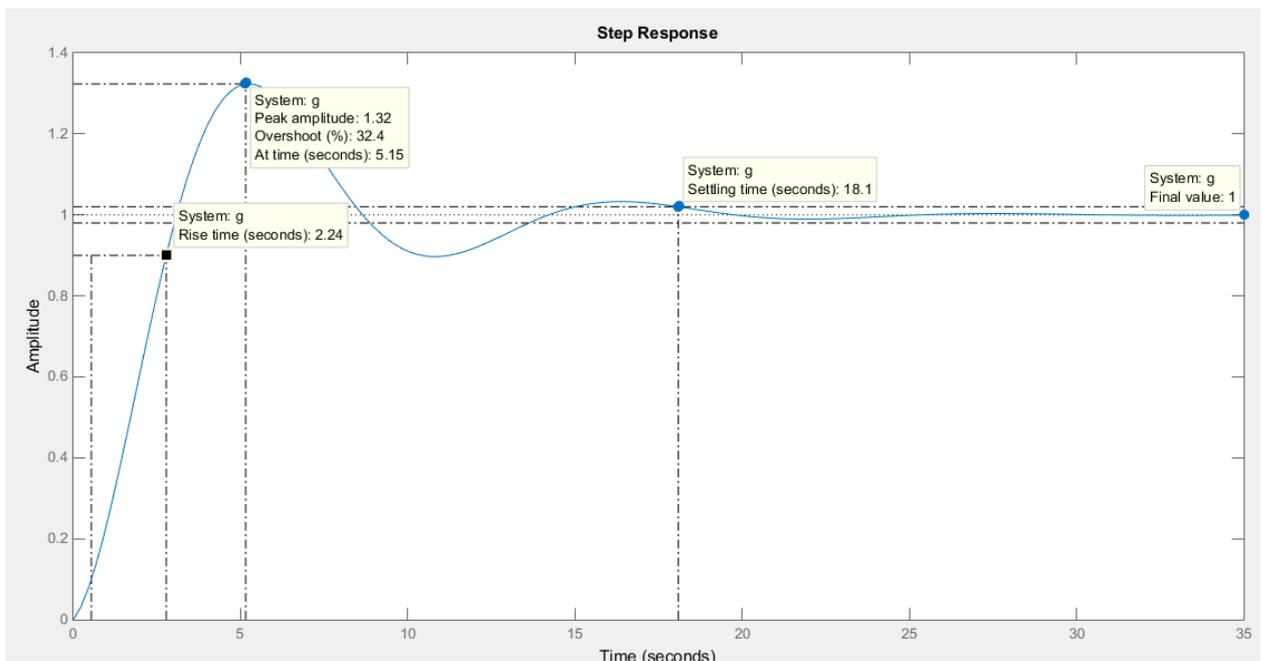


Рисунок 2.16 - Переходной процесс замкнутой системы

Получены следующие оценки качества:

- Peak Response: позволяет получить оценку перерегулирования (overshoot), $P_{ov} = 32.4\%$, время достижения первого максимума, $T_{\max} = 5.15$ с.
- Settling Time: время регулирования, $T_{SET} = 18.1$ с;
- Rise Time: время нарастания, $T_R = 2.24$ с;
- Steady State (Final value): установившееся состояние $y_F = 1$.

По полученным данным на найдены все прямые оценки качества замкнутой системы:

- 1) Время регулирования, $T_{set} = 18.1$;
- 2) Перерегулирование, $P_{ov} = 32.4\%$;
- 3) Число колебаний – 2;
- 4) Колебательность: $\mu = \frac{\Delta y_{max2}}{\Delta y_{max1}} * 100\% = \frac{0.97}{0.68} * 100\% = 4.41\%$
- 5) Частота колебаний: $\omega_{osc} = \frac{2\pi}{T} = 0.48$
- 6) Установившаяся ошибка: $\epsilon_{ss} = y_{ss} - y = 0$
- 7) Время достижения первого максимума, $T_p=5.15$ с.;
- 8) Время нарастания, $T_R=2.24$ с.;
- 9) Декремент затухания: $\chi = \frac{|y_{max1} - y_{ss}|}{|y_{max2} - y_{ss}|} = \frac{1.88-1}{1.69-1} = 1.275$.

Косвенные оценки качества переходного процесса замкнутой САУ.
Исходные данные – АЧХ замкнутой системы.

Для получения косвенных оценок качества замкнутой следящей системы с электромашинным усилителем отмети на графике АЧХ замкнутой системы следующие амплитуды (рисунок 2.17):

- Амплитуда $M(0) = 1$, полученная при частоте $\omega=0$ определяет полосу пропускания: $0.707 * M(0) = 0.707 * 1 = 0.707$, полученная полоса пропускания $\omega_{bandwidth} \in [0; 0.868]$;
- Амплитуда $M = 1$, определяющая частоту среза $\omega_{CF} = 455$;
- Амплитуда $M_{max}=2.26$, определяющая резонансную частоту $\omega_p = 326$.

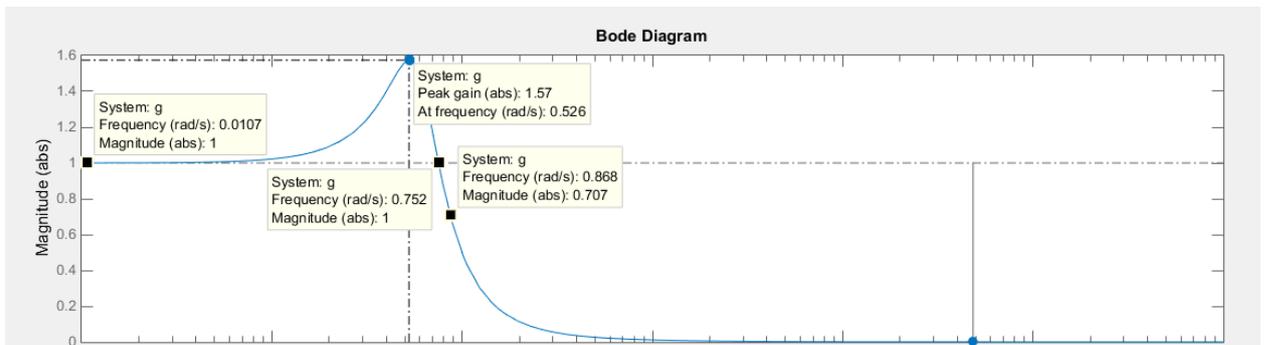


Рисунок 2.17 – Косвенные оценки качества по АЧХ замкнутой системы

В соответствии с перечнем косвенных оценок:

- 1) Показатель колебательности,

$$\mu = \frac{M_{max}(\omega)}{M(0)} = \frac{1.57}{1} = 1.57$$

- 2) Резонансная частота, $\omega_p = 0.57$;

3) Полоса пропускания системы, $\omega_{bandwidth} \in [0; 0.868]$;

4) Частота среза, $\omega_{CF} = 0.752$.

Получаем косвенные оценки качества замкнутой следящей системы с электромашинным усилителем на основе корневых методов. Получение в среде MATLAB полюсов передаточной функции на комплексной плоскости на основе команды pzmap, которые показаны на рисунке 2.18.

Также получаем в среде MATLAB собственных значений (eigenvalues), собственной частоты (natural frequencies), и коэффициента демпфирования (damping factors) передаточной функции на основе команды damp, которые показаны на рисунке 2.19.

Полученные данные позволяют получить полюса передаточной функции:

$$s_1, s_2 = -0.206 \pm j0.565$$

$$s_3, s_4 = -41.6 \pm j483$$

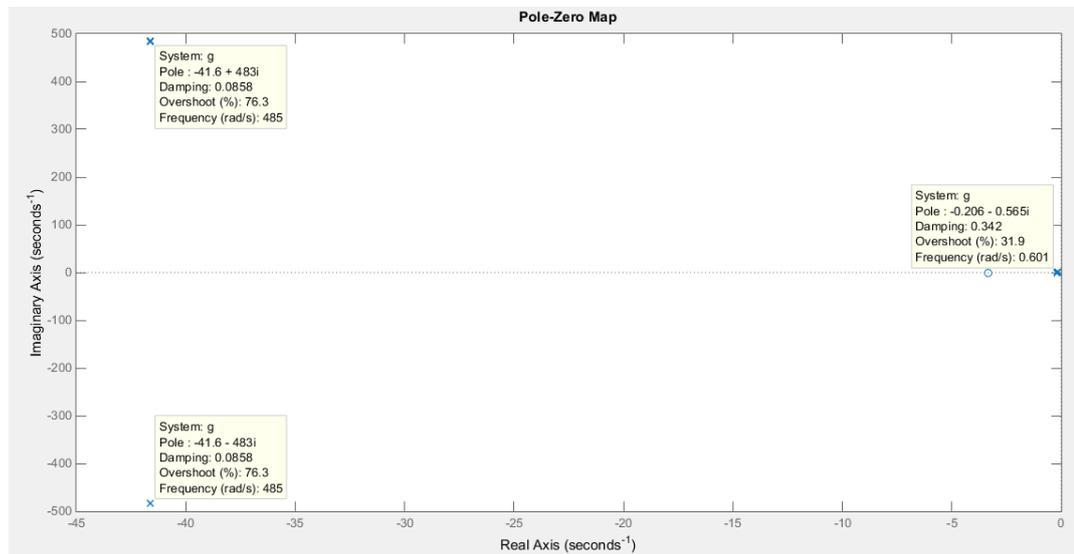


Рисунок 2.18 – Полюса передаточной функции на комплексной плоскости

| Pole | Damping (rad/seconds) | Frequency (seconds) | Time Constant (seconds) |
|-----------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|
| -2.06e-01 + 5.65e-01i | 3.42e-01 | 6.01e-01 | 4.86e+00 |
| -2.06e-01 - 5.65e-01i | 3.42e-01 | 6.01e-01 | 4.86e+00 |
| -4.16e+01 + 4.83e+02i | 8.58e-02 | 4.85e+02 | 2.40e-02 |
| -4.16e+01 - 4.83e+02i | 8.58e-02 | 4.85e+02 | 2.40e-02 |

Рисунок 2.19 – Данные, полученные через команду damp

Получим оценки качества следящей системы с электромашинным усилителем в соответствии с перечнем корневых оценок:

1) Время регулирования,

$$T_{set} = \frac{4}{|\sigma|} = \frac{4}{0.206} = 19.4 \text{ с}$$

2) Перерегулирование,

$$P_{ov} = e^{-\frac{\varepsilon\pi}{\sqrt{1-\varepsilon^2}}} * 100\% = e^{0.114} * 100\% = 31.2\%$$

3) Максимальное значение, y_{max} , используя y_{ss} и ε :

$$y_{max} = y_{ss} \left(1 + \frac{P_{ov}}{100} \right) = 1.312$$

4) Степень колебательности,

$$\mu = \frac{\omega_d}{\sigma} = \frac{0.565}{0.206} = 2.74\%$$

5) Частота колебаний,

$$\omega_{osc} = \omega_n \sqrt{(1 - \varepsilon^2)} = 0.601 \sqrt{(1 - 0.342)} = 0.49 \text{ с}^{-1}$$

6) Время достижения первого максимума,

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{(1 - \varepsilon^2)}} = \frac{3.14}{0.601 \sqrt{(1 - 0.342^2)}} = 5.6 \text{ с}$$

7) Быстродействие и степень устойчивости, система имеет минимальный полюс $s = -\sigma_{min} = -0.206$. Тогда η – степень устойчивости:

$$\eta = |\sigma_{min}| = 0.206$$

По полученным данным составим таблицу 2.4:

Таблица 2.4 – Оценки качества замкнутой системы

| | № | Оценка качества | | Прямые | Косвенные | Соответствие требованиям |
|--------------|---|--|-----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| Основные | 1 | Время регулирования (Settling time) | T_{set} | 18.1 с | 19.4 с | |
| | 2 | Перерегулирование (Overshoot) | P_{ov} | 32.4 % | 31.2 % | Не соответствует |
| | 3 | Число колебаний | M | 2 | | Соответствует |
| | 4 | Колебательность (Oscillation) | μ | 4.41 % | 2.74% | Не соответствует |
| | 5 | Частота колебаний (oscillation frequencies) | ω_{osc} | 0.48 с^{-1} | 0.49 с^{-1} | |
| | 6 | Установившаяся ошибка (steady-state error) | ϵ_{ss} | 0 | | |
| Дополнительн | 7 | Время достижения первого максимума (peak time) | T_p | 5.15 | 5.6 | |
| | 8 | Время нарастания (rise time) | T_R | 2.24 | | |
| | 9 | Декремент затухания | χ | 1.275 | | |

Вывод: Анализ оценок качества, представленных в таблице 3.2.1, показывает, что переходной процесс частично не удовлетворяет требованиям к качеству переходных процессов.

3 Безопасность жизнедеятельности

3.1 Организационные мероприятия

Руководство, организация работ по охране труда (ОТ), а также ответственность за их состояние возлагаются на начальника ВЦ. Для организации ОТ на участке есть кабинет по ОТ с одной штатной единицей: инженер по технике безопасности и охране труда. К работе допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности. На проектируемом участке предусматриваются следующие виды инструктажа:

- вводный инструктаж проводится с целью ознакомления работников с общими правилами по технике безопасности (ТБ) и производственной санитарии, правилами внутреннего трудового распорядка и основами законодательства. Этот инструктаж проводит инженер по охране труда со всеми людьми которые будут работать в помещении ВЦ;

- инструктаж на рабочем месте проводится, с целью ознакомления с действующей инструкцией по ОТ для конкретной специальности. Он проводится индивидуально с каждым человеком;

- повторный инструктаж проводится со всеми пользователями независимо от квалификации. Этот инструктаж проводится не реже одного раза в полугодие, и может быть групповым или индивидуальным в виде беседы с разбором характерных нарушений правил техники безопасности на участке;

- внеплановый инструктаж проводится при изменении инструкций по технике безопасности, замене оборудования или технологического процесса, условий и организации труда, нарушений работником правил техники безопасности и перерыва в работе более двух месяцев.

Контроль за соблюдением законодательства по охране труда проводят технический инспектор госнадзора, государственные санитарные инспекции и общественные инспекторы местного комитета профсоюза.

В вычислительном центре ежемесячно предусматривается выпуск информационных листов о нарушении правил техники безопасности, проведение лекций, распределение журналов по ОТ, предупредительных плакатов [5].

3.2 Воздух рабочей зоны

Человек находится в постоянной взаимосвязи с окружающей его средой. По мере возможности он приспосабливается к ней, а при невозможности всеми доступными средствами приспособливает ее к себе, обеспечивая тем самым условия для своего нормального существования.

Работающий человек примерно треть своего времени находится на производстве во взаимосвязи с производственной средой, которая характеризуется различными факторами: микроклиматом производственных помещений, интенсивностью технологического процесса, применяемыми материалами и механизмами и т. д.

Микроклимат производственных помещений – метеорологические условия внутренней среды этих помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения.

Итак, показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма [6].

Вредные вещества.

Атмосферный воздух, попадая в производственные помещения, может изменять свой состав, загрязняясь примесями вредных веществ: газов, паров, пыли, образующихся в процессе производства. Попадая в организм человека при дыхании, а также через кожу или пищевод, такие вещества могут оказать вредное воздействие. Ухудшение здоровья человека, причиной которого является низкое качество воздуха помещений, может проявиться появлением большого набора острых и хронических симптомов и в форме множества специфических заболеваний.

Понятие «вредное вещество» является одним из важнейших понятий в охране труда. Вредным называется вещество, которое при контакте с организмом человека, в случае нарушения требований безопасности может вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или другие отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе контакта с ним, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Токсические вещества – это вещества, яды, которые, попадая в организм в небольших количествах, вступают затем в химическое или физико-химическое взаимодействие с тканями и при определенных условиях вызывают нарушение здоровья. Хотя ядовитыми (токсичными) свойствами может обладать практически любое вещество, к ядам принято относить лишь те, которые проявляют свое вредное действие в обычных условиях и в относительно небольших количествах. Промышленные яды относятся к

категории вредных веществ и являются предметом изучения токсикологии. Действие ядовитых веществ может проявляться в острых и хронических отравлениях.

Острым отравлением называется заболевание, наступающее сразу же после воздействия яда. Острые отравления чаще всего бывают групповыми и возникают при авариях. Эти отравления характеризуются кратковременностью действия ядов (не более чем в течение одной смены) и поступлением в организм вредного вещества в относительно больших количествах. Острые отравления вызывают некоторые промышленные яды: синильная кислота, сероуглерод и др. Острые отравления расследуются и учитываются как несчастные случаи.

Для производственных условий в случае несоблюдения правил безопасности более характерными являются хронические отравления в результате длительного систематического проникновения в организм яда в малых количествах. При этом отравление происходит либо в результате постепенного накапливания (материальная кумуляция) яда в организме, либо вследствие постепенного накапливания изменений, вызванных попаданием яда (функциональная кумуляция). Действие одного и того же яда различно при хроническом и остром отравлениях. Например, при остром отравлении бензолом в основном страдает нервная система, при хроническом – система кроветворения.

Многие производственные процессы сопровождаются пылевым фактором. Во вдыхаемом человеком воздухе могут содержаться частицы пыли размером до 20 мкм. В верхних отделах дыхательных путей задерживаются частицы размером 10...20 мкм. В альвеолах легких в основном задерживаются частицы размером до 5 мкм.

Причины выделения пыли могут быть самыми разнообразными. Так, пыль образуется при механической обработке хрупких металлов, шлифовке, полировке, упаковке и расфасовке. Эти виды пылеобразования являются первичными. В условиях производства может возникнуть и вторичное пылеобразование, например, при проветривании, уборке помещений, движении людей.

Пыль – это дисперсная фаза твердых веществ, образующаяся при их дроблении, измельчении, а также при конденсации в воздухе паров металла и неметаллов. Пыли, взвешенные в воздухе, образуют аэрозоли, скопление осевшей пыли – аэрогели. Вредное воздействие пыли на организм человека зависит от количества вдыхаемой пыли, степени ее дисперсности, от формы частиц пыли, от ее химического состава и растворимости.

По характеру воздействия на организм производственные пыли подразделяются на общетоксические и раздражающие. Общетоксические пыли (свинца, мышьяка, бериллия, триоксида хрома и др.), растворяясь в биологических жидких средах организма, действуют как введенный в

организм яд и вызывают острое либо хроническое отравление. Раздражающие пыли не обладают способностью хорошо растворяться в жидких средах организма, но могут воздействовать на организм, раздражая кожу, глаза, уши, десны, вызывая аллергические реакции [7].

Общие требования, предъявляемые к контролю за содержанием вредных веществ.

Для каждого производственного участка должны быть определены вещества, которые могут выделяться в воздух рабочей зоны.

1. При наличии в воздухе нескольких вредных веществ контроль воздушной среды допускается проводить по наиболее опасным и характерным веществам, устанавливаемым органами государственного санитарного надзора.

2. Контроль содержания вредных веществ в воздухе проводится на наиболее характерных рабочих местах. При наличии идентичного оборудования или выполнения одинаковых операций контроль проводится выборочно на отдельных рабочих местах, расположенных в центре и по периферии помещения.

3. Отбор проб должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях. Зона дыхания – пространство в радиусе до 50 см от лица работающего. Отбор проб воздуха на содержание в нем вредных газовых или пылевых примесей производится несколькими способами: аспирационным, весовым, фильтровальным, способом поглощения. Методы анализа воздуха на содержание в нем примесей: весовой, объемный, электрохимический и др.

4. При возможном поступлении в воздух рабочей зоны вредных веществ с остронаправленным механизмом действия должен быть обеспечен непрерывный контроль с сигнализацией о превышении ПДК.

5. Периодичность контроля устанавливается в зависимости от класса опасности вредного вещества: для I класса – не реже 1 раза в 10 дней, II класса – не реже 1 раза в месяц, III и IV классов – не реже 1 раза в квартал.

6. В зависимости от конкретных условий производства периодичность контроля может быть изменена по согласованию с органами Государственного санитарного надзора. При установленном соответствии содержания вредных веществ III, IV классов опасности уровню ПДК допускается проводить контроль не реже 1 раза в год.

3.3 Производственное освещение

Свет имеет исключительно важное значение для человека, поскольку обеспечивает зрительное восприятие человеком окружающей среды. Большую часть информации, которую люди получают через органы чувств,

поставляет свет - примерно 80%. Он позволяет оценить форму, цвет и перспективу предметов, окружающих человека в повседневной жизни. Качество зрительной информации во многом определяется условиями зрительной работы. Не следует забывать и то, что такие элементы самочувствия человека, как настроение, степень утомления, зависят от освещения и цвета окружающих предметов.

Назначение производственного освещения - обеспечение нормальных зрительных условий для выполнения соответствующего вида работ в производственном помещении. Неудовлетворительная организация системы производственного освещения может привести к появлению ошибок, допущенных при выполнении порученных операций работником, а также несчастных случаев, связанных с трудностями в распознавании тех или иных предметов или определения степени опасности, связанной с обслуживанием станков, транспортных средств, контейнеров с агрессивными веществами и т.д.

Повреждения зрения, связанные с недостатками системы освещения, являются, к сожалению, частым явлением. Благодаря способности зрения приспосабливаться к недостаточному освещению этой проблеме не уделяют необходимого внимания.

Условия зрительного комфорта на рабочем месте:

1. Уровень освещенности на рабочем месте должен соответствовать характеру выполняемой работы. Обычно, чем сложнее зрительная работа, тем выше должен быть средний уровень освещенности. Тем не менее, чрезмерно высокая освещенность рабочей зоны может утомлять глаза.

2. Равномерное распределение освещенности на рабочих поверхностях и в пределах окружающего пространства. Это условие связано с тем, что постоянное перемещение в неравномерно освещенных зонах приводит к утомлению органов зрения, кроме того, на адаптацию к резкому изменению освещенности глазу требуется некоторое время, в течение которого человек не может видеть окружающее пространство и своевременно реагировать на возможные опасные ситуации. По этой причине одно местное освещение не применяется.

3. Отсутствие резких теней на рабочей поверхности. Резкие тени создают неравномерное распределение освещенности в поле зрения, искажают форму предметов и их размеры. Особенную опасность представляют движущиеся тени, дезориентирующие человека в пространстве и способствующие возникновению травмоопасных ситуаций.

4. В поле зрения должна отсутствовать прямая и отраженная блескость. Прямая блескость появляется, если источник света находится непосредственно в поле зрения, отраженная - если источник попадает в поле зрения, отражаясь в зеркальных и полированных поверхностях. Появление

прямой или отраженной блескости в поле зрения может привести к временному ослеплению работника.

5. Величина освещенности должна быть постоянной во времени. Пульсация освещенности оказывает неблагоприятное влияние как на органы зрения, так и на центральную нервную систему человека. Кроме того, в ряде случаев может привести к очень опасному явлению: стробоскопическому эффекту (вращающиеся предметы могут казаться неподвижными либо вращающимися в обратную сторону). Пульсация освещенности чаще всего возникает при использовании в качестве источников света газоразрядных ламп, которые в сети переменного тока (50 Гц) загораются и гаснут 100 раз в секунду (при переходе тока через ноль). Для устранения этого явления используются специальные схемы включения ламп и принимаются меры, предотвращающие стробоскопический эффект.

6. Направленность светового потока на рабочую поверхность должна быть оптимальной, чтобы обеспечить рассмотрение внутренних поверхностей изделий, оценить рельефность поверхностей и т.п.

7. Следует выбирать необходимый спектральный состав света либо для обеспечения правильной цветопередачи, либо для усиления цветовых контрастов.

8. Осветительная установка должна быть безвредной и безопасной в процессе эксплуатации. Выбор типа осветительной установки должен определяться условиями эксплуатации [8].

3.4 Виброзащита

Вибрация – это механические колебания машин, механизмов и их элементов. Основными источниками вибрации являются машины для приготовления, распределения и виброуплотнения бетонной смеси, а также строительные машины, компрессоры и бульдозеры. Вибрация относится к факторам, обладающим высокой биологической активностью.

При длительном воздействии она вызывает хроническое профессиональное заболевание – вибрационную болезнь. Действие вибрации в зависимости от продолжительности воздействия подразделяют на постоянную вибрацию, для которой контролируемый параметр за время наблюдения изменяется не более чем в 2 раза (на 6 дБ), и непостоянную вибрацию, для которой указанные параметры за время наблюдения изменяются более чем в 2 раза.

По характеру воздействия на человека вибрация подразделяется на: общую и местную (локальную). Общая вибрация передается через опорные поверхности сидящего (стоящего) человека и воздействует на весь организм.

При действии на организм общей вибрации в первую очередь страдает опорно-двигательный аппарат и нервная система и такие анализаторы, как вестибулярный, зрительный. Местная вибрация – передается через руки или участки тела человека, контактирующего с вибрирующими поверхностями. Она воздействует на отдельные части организма человека при работе с виброинструментом, присутствует на рычагах управления транспортными средствами и пр.

Если техническими средствами не удастся достичь выполнения гигиенических норм на рабочем месте, то необходимо применять средства индивидуальной защиты: виброзащитные рукавицы и виброзащитную обувь, наколенники, коврики, нагрудники, специальные костюмы. С целью снижения уровня отрицательного воздействия вибрации на здоровье работающих способствует применение индивидуальных средств защиты от вибрации.

Помимо организационных мер вибробезопасные условия труда обеспечиваются применением вибробезопасных машин, средств активной и пассивной виброзащиты, снижающих воздействие вибрации на работающих на путях ее распространения, а также проектированием технологических процессов и производственных помещений, обеспечивающих неперевышение норм вибрации на рабочих местах. Также следует предусматривать ограничение ультразвука, передающегося контактным путем.

Снижение вибрации машин может достигаться путем снижения виброактивности и внутренней виброзащитой источника. Причиной низкочастотных вибраций насосов, компрессоров, электродвигателей является неуравновешенность вращающихся элементов. Действие неуравновешенных динамических сил усугубляется плохим креплением деталей, их износом в процессе эксплуатации.

Устранение неуравновешенности вращающихся масс достигается балансировкой. Второй способ внутренней виброзащиты – вибродемпфирование, т.е. превращение энергии механических колебаний системы в тепловую энергию. Виброгашение в системе достигается при помощи динамических виброгасителей, использующих эффекты инерции вязкого, сухого трения и т.п. Виброизоляция заключается в уменьшении передачи вибрации от источника защищаемому объекту (человек или другой агрегат) путем введения дополнительной упругой связи [9].

3.5 Шум как неблагоприятный акустический фактор производства

Под шумом как гигиеническим фактором принято подразумевать совокупность слышимых звуков, неблагоприятно воздействующих на организм человека, мешающих его работе и отдыху.

По физической сущности звуки представляют собой волнообразно распространяющиеся механические колебательные движения частиц упругой среды (газовой, жидкой или твердой), имеющие, как правило, беспорядочный, случайный характер. Источником звука может быть любое колеблющееся материальное тело, выведенное из устойчивого состояния покоя внешней силой.

Как и для всякого волнообразного колебательного движения, основными параметрами, характеризующими звук, являются амплитуда колебания (перемещения, давления, скорости и других переменных параметров), скорость распространения и длина волны.

В настоящее время шум становится одним из наиболее распространенных социально-гигиенических факторов внешней, в первую очередь, производственной среды в связи с интенсификацией и механизацией технологических процессов, развитием дизелестроения, реактивной авиации, транспорта. Введение новых высокопроизводительных видов оборудования с постоянным увеличением скоростей движения машин и механизмов, широкое применение пневматического инструмента различного назначения, расширение станочного парка создают предпосылки для возникновения новых источников интенсивного шума и усиления интенсивности его при интенсификации существующих ранее технологических процессов.

Воздействие шума на организм может проявляться как в виде специфического поражения органа слуха, так и нарушений со стороны многих органов и систем.

К настоящему времени накоплены достаточно убедительные данные, позволяющие судить о характере и особенностях влияния шумового фактора на слуховую функцию. Течение функциональных изменений может иметь различные стадии. Кратковременное понижение остроты слуха под воздействием шума с быстрым восстановлением функции после прекращения действия фактора рассматривается как проявление адаптационной защитно-приспособительной реакции слухового органа. Адаптацией к шуму принято считать случаи временного понижения слуха не более чем на 10...15 дБ с восстановлением его в течение 3 мин после прекращения действия шума. Длительное воздействие интенсивного шума может приводить к перераздражению клеток звукового анализатора и его утомлению, а затем и к стойкому снижению остроты слуха.

Степень профессиональной тугоухости зависит от производственного стажа работы в условиях шума, характера шума, длительности воздействия его в течение рабочего дня, от интенсивности и спектра. Установлено, что утомляющее и повреждающее действие шума пропорционально его высоте (частоте). Наиболее выраженные и ранние изменения наблюдаются на частоте 4000 Гц и близкой к ней области, впоследствии повышение порогов слышимости распространяется и на более широкий спектр.

Показано, что импульсный шум (при эквивалентной мощности) действует более неблагоприятно, чем непрерывный. Особенности его воздействия существенно зависят от превышения уровня импульса над среднеквадратичным уровнем, определяющим шумовой фон на рабочем месте.

В развитии профессиональной тугоухости имеют значение суммарное время воздействия шума в течение рабочего дня и наличие пауз, а также общий стаж работы. Начальные стадии профессионального поражения слуха наблюдаются у рабочих со стажем 5 лет, выраженные (поражение слуха на все частоты, нарушение восприятия шепотной и разговорной речи) – свыше 10 лет.

Помимо действия шума на орган слуха, установлено его повреждающее влияние на многие органы и системы организма, в первую очередь на центральную нервную систему, функциональные изменения в которой происходят раньше, чем диагностируется нарушение слуховой чувствительности. При умственной деятельности на фоне шума происходит снижение темпа работы, ее качества и производительности.

У лиц, подвергающихся действию шума, отмечаются изменения секреторной и моторной функций желудочно-кишечного тракта, сдвиги в обменных процессах (нарушения основного, витаминного, углеводного, белкового, жирового, солевого обменов).

Для рабочих шумовых профессий характерно нарушение функционального состояния сердечно-сосудистой системы (гипертензивное, реже гипотоническое состояние, повышение тонуса периферических сосудов, изменения на ЭКГ и пр.).

Наличие симптомокомплекса, который заключается в сочетании профессиональной тугоухости (неврит слухового нерва) с функциональными расстройствами центральной нервной, вегетативной, сердечно-сосудистой и других систем у лиц, работающих в условиях шума, дает веские основания рассматривать эти нарушения в состоянии здоровья как профессиональное заболевание организма в целом и включить в список профессиональных заболеваний эту нозологическую форму — шумовую болезнь.

Профилактические мероприятия.

Генерация шума в производственных условиях сопутствует вибрации и, как правило, обусловлена многообразными причинами. Это создает трудности в борьбе с этим фактором и обычно требует применения комплекса мероприятий.

Проводятся мероприятия как технического, так и медицинского характера. Основными из них являются:

- 1 устранение причины шума или существенное его ослабление в самом источнике образования в процессе проектирования технологических процессов и конструирования оборудования;

- 2 изоляция источника шума (вибрации) от окружающей среды средствами звуко- и виброзащиты, звуко- и вибропоглощения;
- 3 уменьшение плотности звуковой энергии помещений, отраженной от стен и перекрытий;
- 4 рациональная планировка помещений и цехов;
- 5 применение средств индивидуальной защиты от шума;
- 6 рационализация режима труда в условиях шума;
- 7 профилактические мероприятия медицинского характера.

3.6 Технические мероприятия по защите работающих от неблагоприятного влияния электромагнитных полей

Выбор того или иного способа защиты от воздействия электромагнитных излучений зависит от рабочего диапазона частот, характера выполняемых работ, напряженности и плотности потока энергии. ЭМП, необходимо й степени защита.

К мерам по уменьшению воздействия на работников. ЭМП относятся: организационные, инженерно-технические и врачебно-профилактические

Организационные мероприятия осуществляют органы санитарного надзора. Они проводят санитарный надзор за объектами, в которых используются источники электромагнитных излучений

Инженерно-технические мероприятия предусматривают такое расположение источников. ЭМП, которое б сводило к минимуму их воздействие на работающих, использования в условиях производства дистанционного управления аппаратурой, есть источник ом излучения, экранирование источников излучения, применения средств индивидуальной защиты (халатов, комбинезонов с металлизированной ткани, с выводом на заземляющее устройство). Для защиты глаз целесообразно использовать защитные очки. ЗП5-90. Стекло очков покрыто полупроводниковым оловом, что ослабляет интенсивность электромагнитной энергии при светопропускание не ниже 755% [10].

Гигиеническое нормирование электромагнитных полей.

Целью гигиенического нормирования является установление предельно допустимых уровней (ПДУ) воздействия на людей ЭМП с учётом особенностей облучения и контингента лиц.

Обеспечение защиты персонала, профессионально не связанного с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМП, осуществляется в соответствии с требованиями гигиенических нормативов ЭМП, установленных для населения.

Предельно допустимый уровень напряжённости электростатического поля (ЭСП) при воздействии менее 1 часа за смену устанавливается равным

60 кВ/м. При большей напряжённости работа без средств защиты не допускается. Время пребывания в зоне воздействия ЭСП при напряжённости менее 20 кВ/м не регламентируется. В диапазоне 20 - 60 кВ/м допустимое время пребывания персонала в ЭСП без средств защиты определяется по формуле указанных норм [11].

Воздействие переменных электромагнитных полей.

Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряженностей электрического и магнитного полей, интенсивности потока энергии, частоты колебаний, локализации облучений на поверхности тела и индивидуальных особенностей организма.

Механизм этого воздействия заключается в том, что в электрическом поле атомы и молекулы, из которых состоит человеческое тело, поляризуются, а полярные молекулы (например, воды), кроме того, ориентируются по направлению распространения электромагнитного поля. В электролитах, которыми являются жидкие составляющие тканей, крови, межклеточной жидкости и т. п., после приложения внешнего поля появляются ионные токи. Переменное электрическое поле вызывает нагрев тканей тела человека как за счет переменной поляризации диэлектриков, так и за счет появления токов проводимости [12].

Источники излучений.

Известно, что около проводника, по которому протекает ток, возникают одновременно электрическое и магнитное поля. Если ток не меняется во времени, эти поля не зависят друг от друга. При переменном токе магнитное и электрическое поля связаны между собой, представляя единое электромагнитное поле.

Электромагнитное поле обладает определённой энергией и характеризуется электрической и магнитной напряжённостью, что необходимо учитывать при оценке условий труда.

Источниками электромагнитных излучений служат радиотехнические и электронные устройства, индукторы, конденсаторы термических установок, трансформаторы, антенны, фланцевые соединения волноводных трактов, генераторы сверхвысоких частот и др.

Защита от электромагнитных полей.

Электромагнитное поле – это область распространения электромагнитных волн. Основные параметры электромагнитных волн – длина волны λ , частота f и скорость распространения света c . Эти параметры связаны соотношением:

$$\lambda = \frac{c}{f \times \sqrt{\mu \times \varepsilon}} . \quad (3.3)$$

где μ и ε – магнитная и диэлектрическая проницаемость среды.

Средства защиты от электромагнитных полей и излучений должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) не искажать, существенно, электромагнитное поле;
- 2) не снижать качество технического обслуживания и ремонта;
- 3) не снижать производительность труда.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

- 1) уменьшение излучения от источника;
- 2) экранирование источника излучения и рабочего места;
- 3) установление санитарно-защитной зоны;
- 4) поглощение или уменьшение образования зарядов статического электричества;
- 5) устранение зарядов статического электричества;
- 6) применение средств индивидуальной защиты.

Уменьшение мощности излучения от источника реализуется применением поглотителей электромагнитной энергии; блокированием излучения или снижением его мощности для вращающихся антенн в секторе, в котором находится защищаемый объект.

Поглощение электромагнитных излучений осуществляется поглотительным материалом путем превращения энергии электромагнитного поля в тепловую. В качестве такого материала применяют каучук, поролон, пенополистирол, ферромагнитный порошок со связывающим диэлектриком, волосяные маты, пропитанные графитом.

3.7 Защита от прикосновения к объектам под напряжением

Опасность поражения током при прикосновении к корпусу и другим токоведущим металлическим частям электрооборудования, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам, может быть устранена быстрым отключением поврежденной электроустановки от питающей сети, а также снижением напряжения корпуса относительно земли.

Должна соблюдаться электробезопасность при проведении строительно-монтажных работ. Строительные площадки и помещения на них относятся к объектам повышенной или особой опасности. Рабочие, имеющие с применением электрического тока, в том числе пользующиеся электрифицированным инструментом, должны работать в резиновых перчатках и галошах и на резиновых ковриках. Включать электроустановки может только специально обученный рабочий. Корпуса электрооборудования должны быть надежно заземлены. В помещениях с повышенной влажностью, а также в котлах, баках и вне помещений

напряжение должно быть не выше 36 В. звука в дБА, используется для ориентировочной оценки постоянного и непостоянного шума, так как в этом случае мы не знаем спектра шума.

Поражение электрическим током происходит, когда человеческий организм вступает в контакт с источником напряжения. Коснувшись проводника, который находится под напряжением, человек становится частью электросети, по которой начинает протекать электрический ток. Как известно, организм человека состоит из большого количества солей и жидкости, что является хорошим проводником электричества, поэтому действие электрического тока на организм человека может быть летальным. Последствия, которые возникнут в результате действия электрического тока на человека зависят от многих факторов, а именно:- от величины и рода протекающего тока, переменный ток является более опасным, чем постоянный;- продолжительности его воздействия, чем больше время действия тока на человека, тем тяжелее последствия;- пути протекания, самую большую опасность представляет ток, протекающий через головной и спинной мозг, область сердца и органов дыхания (легкие);- от физического и психологического состояния человека. Организм человека обладает неким сопротивлением, это сопротивление варьируется в зависимости от состояния человека. Минимальная величина тока, которую способен почувствовать человеческий организм составляет 1 мА. При повышении тока более 1 мА человек начинает чувствовать себя некомфортно, возникают болезненные сокращения мышц, при увеличении тока до 12-15 мА возникает судорожное сокращение мышц, контролировать свою мышечную систему человек уже не в состоянии и собственными силами не может разорвать контакт с источником тока. Действие электрического тока более 25 мА приводит к параличу мышц органов дыхания в результате чего человек может просто-напросто задохнуться. При дальнейшем увеличении тока возникает фибрилляция сердца. Электрический ток проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий: термическое; электролитическое; биологическое.

Тело человека за счет наличия большого количества жидкости с содержащимися в ее составе солями и металлами, является проводником электрического тока, воздействие которого может привести к летальным последствиям для человека [13].

Так как источником питания роботов является электричество, каждый робот может нести потенциальную опасность. Источниками питания являются батарейки, аккумуляторы либо же прямое подключение робота в сеть при наличии подходящего зарядного кабеля с преобразователем непостоянного электрического тока в постоянный.

Поражающее воздействие электрическим током происходит, когда человек, не имея средств защиты касается объекта под напряжением.

Коснувшись способного проводить электричество объекта, к которым относятся различные металлические объекты, а также солесодержащие жидкости, человек, тело которого так же является проводником, сразу начинает пропускать сквозь себя электрический ток. Травматизм от воздействия электрического тока напрямую зависит от силы и времени воздействия. Поражающее воздействие электрического тока включает в себя:

- 1) Повреждение мягких тканей, вызывающее их разрыв;
- 2) Ожоги и обугливание тканей
- 3) Распад органических соединений в теле человека, включая плазму и кровь;
- 4) Непроизвольное сокращение мышц и тканей, опасное тем, что может привести к остановке сердца и атрофии мышц.

Опаснее всего является его воздействие на органы дыхания, мозг и сердце. Кроме того, электрический ток угнетающе действует на центральную нервную систему человека, и может привести к полному либо же частичному параличу.

Важнейшими факторами, влияющими на исход поражения электрическим током, являются:

- 1) величина тока, протекающего через тело человека;
- 2) продолжительность воздействия тока;
- 3) частота тока;
- 4) путь прохождения тока;
- 5) индивидуальные свойства организма человека.

В нормальных условиях наименьший ток промышленной частоты, который вызывает физиологические ощущения у человека, в среднем равен 1 миллиамперу (мА); для постоянного тока эта величина равна 5 мА.

Продолжительность воздействия тока. Продолжительное воздействие электрического тока с параметрами, не представлявшими первоначально опасности для организма, может привести к гибели в результате снижения сопротивления тела человека.

Токи различного рода (при прочих равных условиях) представляют различную степень опасности для организма. Характер их воздействия также неодинаков. Постоянный ток производит в организме термическое и электролитическое действие, а переменный — преимущественно сокращение мышц, сосудов, голосовых связок и т.д.

Путь тока в организме человека имеет важное значение для исхода поражения. Проходящий ток распределяется в организме по всему его объему, однако наибольшая часть его проходит по пути наименьшего сопротивления, главным образом вдоль потоков тканевых жидкостей, кровеносных и лимфатических сосудов и оболочек нервных стволов.

Особенности индивидуальных свойств человека. Физическое и психическое состояние человека в момент воздействия на него электрического тока имеет огромное значение.

Изоляция токоведущих частей – одна из основных мер электробезопасности. Сопротивление изоляции токоведущих частей электрических установок относительно земли должно быть не менее 0,5–10 МОм (1 МОм = 10⁶ Ом).

Электрическая изоляция — это слой диэлектрика, которым покрывают поверхность токоведущих элементов, или конструкция из непроводящего материала, с помощью которой токоведущие элементы отделяют от других частей электроустановки.

Часто в качестве дополнительной изоляции используется корпус электроприемника, выполненный из изоляционного материала. Такой корпус защищает от поражения электрическим током не только при пробое изоляции внутри изделия, но и при случайном прикосновении рабочей части инструмента к токоведущей части. Если же корпус изделия металлический, то роль дополнительной изоляции играют изоляционные втулки, через которые питающий кабель проходит внутрь корпуса, и изолирующие прокладки, отделяющие электродвигатель от корпуса.

Одним из способов защиты от поражения электричеством, является минимизации возможности соприкосновения человека с источником тока. С этой целью электрическое оборудование экранируется диэлектрическим экраном, который также защищает оборудование и от механического воздействия. Также использование защитной экипировки, таких как резиновая обувь и перчатки способны защитить человека даже при соприкосновении с прямым источником тока

Вторым способ является установка заземлений. Заземление представляет собой искусственное соединение электрооборудования с заземляющим устройством, представляющим собой набор проводников, и заземлителем. Заземлители представляют собой электроды из металла. Каждый электрический прибор подключаются к заземлению

Для рабочей мощности в пределах 1000 Вт, сопротивление заземления, согласно требованиям, составляет 15, 30 либо 60 Ом в зависимости от выбранного прибора [14].

Расчет заземляющих устройств сводится к определению переходного сопротивления растекания тока замыкания на землю с заземлителей, зависящего от удельного сопротивления слоев грунта ρ . Сопротивление слоев грунта зависит от их состава, влажности, уровня грунтовых вод и температуры. Наиболее точно ρ можно определить непосредственным промером на месте одним из существующих методов. Рекомендуются при предварительных расчетах значения для различных грунтов и повышающие коэффициенты в промерзающих грунтах приводятся в справочниках.

Произведя расчет для искусственных заземлителей, предварительно определяют, не окажется ли достаточно естественных заземлителей, а уже затем подсчитывают необходимое сопротивление заземлителей искусственных

$$R_{иск} \leq \frac{R_{3y} \times R_{ест}}{R_{ест} - R_{3y}},$$

Для электроустановок напряжением выше 1000 В с малыми токами замыкания на землю сопротивление заземляющего устройства должно удовлетворять условию

$$R_3 \leq \frac{U_3}{I_3},$$

4 Экономическая часть

4.1 Обоснованность эффективности разработки дистанционной следящей системы.

Дистанционной следящая система с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами наиболее эффективна в работе с роботами как датчик положения. Не секрет, что использование роботов пользуется большой популярностью в любой сфере производства. К тому же, роботы обладают огромным потенциалом.

При использовании роботов в промышленности повышается экономическая эффективность. Роботы сократят производственные затраты за счет устранения внутренних издержек на компенсацию заработной платы работников. Также повышается качество выпускаемой продукции. Промышленные роботы смогут обеспечить согласованность выпускаемой продукции с массовым производством.

Возможность человеческой ошибки, с которой могут столкнуться сотрудники сборочной линии, будет исключена. Еще одним плюсом является устранение работы человека в опасных условиях, поскольку производственные рабочие места часто подвергают работников большому физическому риску по сравнению со многими другими отраслями.

Снижение уровня опасности, предоставляемой работникам на рабочем месте, привлекательно для руководителей, чтобы сохранить репутацию компании и свести к минимуму потенциальные юридические обязательства. Рискованные отрасли промышленности, такие как производство и добыча полезных ископаемых, которые имеют печально известные катастрофы, обращаются к роботам за их способностью заменять неквалифицированных работников, выполняющих необходимую работу в опасных условиях [15].

4.2 Расчет себестоимости робота-манипулятора с дистанционной следящей системой с СКВТ на примере рабочего прототипа

Себестоимость САУ робота-манипулятора включает в себя затраты на материалы для изготовления робота, его сборку, а также разработку и установку необходимого программного обеспечения для робота. В таблице 4.1 представлен расчет себестоимости оборудования и деталей, необходимого для сборки робота

Таблица 4.1 – Перечень и стоимость деталей робота

| № | Наименование деталей, приборов и вычислительной техники | Количество | Стоимость, тг | Общая стоимость, тг |
|--------------|---|------------|---------------|---------------------|
| 1 | Микропроцессорный контроллер | 1 | 16000 | 16000 |
| 2 | ПК | 1 | 120000 | 120000 |
| 3 | Двигатель 186RPM | 1 | 9600 | 9600 |
| 4 | Двигателя 89RPM | 2 | 5600 | 11200 |
| 5 | Механизированная рука робота | 1 | 12000 | 7300 |
| 6 | Модуль для подключения двигателей | 4 | 3000 | 12000 |
| 7 | Bluetooth модуль | 1 | 9600 | 9600 |
| 8 | Комплект деталей и крепежей для создания каркаса | 1 | 18000 | 18000 |
| 9 | Источник питания | 1 | 3750 | 3750 |
| 10 | Вращающийся трансформатор | 2 | 15000 | 30000 |
| ИТОГО | | | | 217850 |

4.3 Затраты на заработную плату разработчиков

Для разработки робота-манипулятора требуются инженер-сборщик, программист и консультант по техническим вопросам. В таблице 4.2 показана заработная плата и время работы каждого специалиста.

Таблица 4.2 – Перечень специалистов и их заработная плата

| Наименование | Зарботная плата в месяц | Время работы |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------|
| Инженер-сборщик | 80000 | 1.5 месяца |
| Программист | 100000 | 0.5 месяца |
| Консультант по техническим вопросам | 80000 | 1.5 месяца |

Общая стоимость затрат высчитывается по формуле:

$$ЗП_{общ} = ЗП_{сб} \times T_{сб} + ЗП_{пр} \times T_{пр} + ЗП_{ко} \times T_{ко} , \quad (4.1)$$

где $ЗП_{общ}$ – общие затраты за заработную плату работников;

$ЗП_{сб}$ – заработная плата сборщика в месяц;

$T_{сб}$ – продолжительность работы сборщика;

$ЗП_{пр}$ – заработная плата программиста в месяц;

$T_{пр}$ – продолжительность работы программиста;

$ЗП_{ко}$ – заработная плата консультанта по техническим вопросам в месяц;

$T_{ко}$ – заработная плата консультанта в месяц;

$$ЗП_{общ} = 80000 \cdot 1.5 + 100000 \cdot 0.5 + 80000 \cdot 1.5 = 290000 \text{ тг}$$

Общие затраты на заработную плату сотрудников в течение всего периода разработки составляют 290000 тенге.

4.4 Затраты на разработку программного обеспечения

Общие затраты на разработку программного обеспечения складываются из заработной платы программиста за весь период работы, а также затраты на покупку компьютера.

Из предыдущего раздела заработная плата программиста в течении всего периода работы составляет 50000 тенге.

Стоимость покупки ноутбука составляет 120000 тенге. Потребление электричества в день составляет 400 Вт/час.

Стоимость затрат на электроэнергию, потребляемую ноутбуком за весь период разработки, определяется, как произведение потребляемой электроэнергии в день на количество рабочих дней:

$$З_{эк} = \frac{400 \times 15}{1000} \times 17 = 102 \text{ тг} .$$

Общие расходы на разработку ПО:

$$З_{по} = 120000 + 102 + 15000 = 135102 \text{ тг} .$$

В итоге, общие затраты на разработку программного обеспечения составляют 135102 тенге.

4.5 Затраты на электроэнергию

Источниками питания прототипа являются 6 батареек типа АА напряжением 1.2В.

В качестве таковых нами были использованы аккумуляторы Duracell Turbo стоимостью в 700 тенге. В сравнении с обычными щелочными батарейками, которые, безусловно, дешевле выбранных аккумуляторов, они

не обладают возможностью подзарядки после израсходования заряда. Они способны обеспечивать питание установки в течение 8 часов непрерывной работы до полного израсходования заряда, что означает необходимость перед началом каждого рабочего дня заряжать аккумуляторы. Ёмкость одного аккумулятора составляет 2500 мА/час, из чего следует, что общая ёмкость составляет 15000 мА/час.

Для зарядки аккумуляторов необходима покупка зарядного устройства Duracell CEF14 (2AA2500mah) стоимостью 13000 тенге. С его помощью в течении 5 минут можно заряжать по 2 аккумулятора, что обеспечивает полную зарядку всех батареек в течении 15 минут.

Общие экономические затраты на источник питания и устройство подзарядки составляют 17200 тенге.

Также необходимо учесть, что спустя 400 зарядок, соответствующих 400 рабочим дням требуется потратить дополнительно 4200 тенге за замену аккумуляторов в силу достижения ими предела допустимого количества перезарядок.

Экономические затраты на зарядку аккумуляторов в течении месяца вычисляются по формуле:

$$Z = D \times \frac{C}{100 \times U} \times P, \quad (4.2)$$

где Z – месячные затраты на электроэнергию;

D – количество рабочих дней;

C – общая ёмкость аккумуляторов;

U – напряжение;

P – стоимость одного кВт/час;

$$Z = 22 \times \frac{15000}{100 \times 6} \times 17 = 9350. \quad (4.3)$$

Из данных расчетов следует, что затраты на зарядку аккумуляторов в течение месяца будет составлять 9350 тенге.

4.6 Экономический эффект от использования робота-манипулятора на примере погрузочных работ.

Для определения данного эффекта будет вычислена производительность труда и затраты на содержание робота-погрузчика и рабочего-грузчика. Рабочим процессом будет являться перенос 20-килограммовых условных ящиков. Продолжительность труда в сутки составляет 8 часов. Стоимость

работы грузчика – 500 тенге в час. Общее количество рабочих часов в неделю составляет 40 часов. Стоимость работа оценивается в 1900000 тенге, стоимость обслуживания включая подзарядку аккумулятора составляет 1600 тенге в день.

Расчет годового экономического эффекта будет осуществляться по формуле

$$E = E1 - E2, \quad (4.4)$$

где E – годовой экономический эффект,

$E1$ – затраты на зарплату рабочего в год,

$E2$ – расходы на обслуживание работа в год (тг/год).

$$E = 120000 * 12 - 1600 * 22 * 12 = 1.440.000 - 422400 = 1.017.000 \text{ тенге}.$$

Для расчета времени, через которое стоимость работа окупится вычисляется по формуле

$$T = \frac{C}{E}, \quad (4.5)$$

где T – время,

C – цена работа,

E – годовой экономический эффект

$$T = \frac{C}{E} = \frac{1.900.000}{1.017.000} = 1.868.$$

В результате, через 1.868 года или же через 682 дня работ окупится. Как видно, менее чем через 2 года работ окупится, что подтверждает его рентабельность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой главе была описана дистанционная следящая система с синусно-косинусными вращающимися трансформаторами. Также были рассмотрены существующие методы обработки СКВТ с соответствующими схемами подключения.

Во второй главе были разработаны схемы и произведено моделирование следящей системы. Были построены частотные характеристики разомкнутой дистанционной следящей системы. Был произведен анализ устойчивости дистанционной следящей системы. И были определены оценки качества переходного процесса замкнутой дистанционной следящей системы.

В безопасности и охране труда были описаны опасные факторы, имеющие место быть при разработке дистанционной следящей системы с СКВТ. Также были рассмотрены вопросы проведения различного рода мероприятий во избежание несчастных случаев.

В экономической части были рассчитаны себестоимость разработки дистанционной следящей системы с СКВТ для робота-манипулятора, стоимость его программирования, расходы на ремонт и эксплуатацию робота, на заработную плату сотрудников, принимающих участие в создании робота-манипулятора, а также вычислены затраты на электроэнергию и замену источников питания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Попков С.Л. Следящие системы.- М.: Высшая школа, 1963. - 304 с
- 2 Воронов А. А. Теория автоматического управления Часть первая "Высшая школа", 1986. -367 с
- 3 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. - СПб, 2003.
- 4 Воронов А. А. Теория автоматического управления Часть первая "Высшая школа", 1986. -367 с
- 5 Правила техники безопасности при экспл.эл.установок от 29.11.2012 №1509
- 6 Приешкина А.Н. Основы безопасности жизнедеятельности. Часть первая. Обеспечение личной безопасности и сохранение здоровья, 2013, с 44-53
- 7 Арустамов Э.А. - безопасность жизнедеятельности. // Электронная версия на сайте <http://ohrana-bgd.narod.ru/bgdps11.html>
- 8 Колобова Е., Проскурина Л., Рахимова Н. Производственный шум. Нормирование. Методы снижения шума, Оренбург, 2009 г. с. 7-32
- 9 Колосов Ю.В., Барановский В.В. Защита от вибраций и шума на производстве // Электронная версия на сайте <http://window.edu.ru/resource/441/73441>
- 10 Левитт Б.Б. Защита от электромагнитных полей, Москва АСТ, 2007, с. 3-23
- 11 Титова Л.К. Электромагнитное излучение – Екатеринбург 2014 // Электронная версия на сайте http://lib.usfeu.ru/downloads/el-mag_Izl.pdf
- 12 Левитт Б. Б. Защита от электромагнитных полей, Москва АСТ, 2007, с. 45-68
- 13 Скляр Н.Е., Рузьяев Е.С., Волков В.В. Электробезопасность: Учебное пособие. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. - 215 с.
- 14 Егоров А.В., Круглов В.В., Малиновская Г.Н., Постнов С.П. Безопасность электроустановок: защита от электромагнитного излучения: учебное пособие. - М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. - 58 с.
- 15 Юревич Е.И. Основы робототехники. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005.- 416 с.