

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космической технологии

Специальность 6В06201 – Телекоммуникация

Турдиева Камила Рашидиновна

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

«Система управления на гексакоптере, для доставки малогабаритных грузов в
условиях малоэтажной застройки»

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космической технологии

6B06201 – Телекоммуникация

ДОПУЩЕНА К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
«Электроники, телекоммуникации и
космической технологии»

 Е. Таштай

«30» мая 2024 г.



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

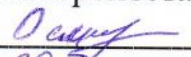
На тему: «Система управления на гексакоптере, для доставки малогабаритных грузов в условиях малоэтажной застройки»

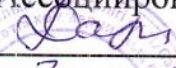
6B06201 – Телекоммуникация

Выполнила:



Турдиева Камила Рашидиновна

Рецензент
PhD, и.о. доцент
Казахского национального
Университета им. Аль-Фараби
 Б.С. Омаров
«30» мая 2024 г.

Научный руководитель
Кандидат технических наук
Ассоциированный профессор
 А.М. Дараев
«30» мая 2024 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Турдиева Камила Рашидиновна

Тема: «Система управления на гексакоптере, для доставки
малогабаритных грузов в условиях малоэтажной застройки»

*Утверждена приказом Ректора Университета № 548 П/О от «4» декабря
2023 года.*

Срок сдачи законченной работы «30» апреля 2024 г.

Исходные данные к дипломной работе:

2. Доставка малогабаритных грузов

-Взлётный вес: до 6кг

- Полезная нагрузка: до 2кг

-Время полёта: до 60мин

•Скорость полёта: 0- 50км/ч

-Взлёт/посадка: вертикально

-Высота полёта: 2 — 1000м

-Рабочие частоты: 433МГц, 900МГц, 1,2ГГц, 2,4ГГц, 5,8ГГц

-Системы спутникового позиционирования: GPS, ГЛОНАСС, BEIDOU,

GALILEO

-Размер площадки для взлёта/посадки: 2x2м

-Диаметр по осям двигателей: 850мм



-Количество двигателей: 6

ГРАФИК
подготовки дипломной работы (проекта)


Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Описание гексакоптеров	01.12.2023 - 15.12.2023 г.	Выполнено
Разработка системы управления гексакоптера	15.12.2023-30.12.2023 г.	Выполнено
Структура двигателя гексакоптера	30.01.2024-15.02.2024 г.	Выполнено
Система управления гексакоптера по GPS	15.02.2024-10.03.2024 г.	Выполнено
Разработка системы ЭМС, для гексакоптера, в условиях сельской местности	11.03.2024 - 31.03.2024 г.	Выполнено
Заключение	01.04.2024 - 31.04.2024 г.	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, Ф.И.О (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Ассоциированный профессор, кандидат технических наук Дараев А.М.	20.05.2023	
Нормоконтролер	Старший преподаватель каф. ЭТиКТ, PhD Досбаев Ж. М.	30.05.2024	

Научный руководитель  Дараев А.М.

Задание принял к исполнению обучающийся  Турдиева К.Р.

Дата «30» декабря 2023 г.

АННОТАЦИЯ

Данная работа предоставляет детальное объяснение теоретических моделей компонентов БПЛА для доставки лекарств. Беспилотный летательный аппарат, или БПЛА, создавался, как и многие другие технические новинки, по заказу военных.

Преимущество БПЛА перед другими летательными аппаратами состоит в том, что он дешев, компактен и не нуждается в специальных площадках для взлета и посадки. Более того, они могут освобождаться от груза, вообще не приземляясь - посылка опускается на землю с помощью троса.

Первый раздел данной работы предоставляет общую информацию о концепте доставки лекарств с использованием БПЛА и описывает существующие реализации данной концепции в мировой коммерческой сцене.

Второй раздел данной работы описывает общую структуру БПЛА, в частности, гексакоптера, который использовался в экспериментальной части данной работы.

Третий раздел данной работы описывает принцип работы BLDC мотора, использованной для БПЛА в экспериментальной части работы, описывает систему контроля мотора BLDC.

Четвертая и пятая разделы предоставляют используемые в БПЛА GPS и телеметрические компоненты БПЛА соответственно.

Шестой раздел данной работы предоставляет структуру и характеристики БПЛА, использованной в экспериментальной части дипломной работы.

АНДАТПА

Бұл жұмыста дәрілік заттарды жеткізуге арналған UAV компоненттерінің теориялық модельдері егжей-тегжейлі түсіндіріледі. Ұшқышсыз ұшатын аппарат немесе UAV, көптеген басқа техникалық жаңалықтар сияқты, әскерилердің тапсырысымен жасалған.

Басқа ұшақтардан ұшқышсыз ұшу аппаратының артықшылығы оның арзандығы, ықшамдығы және ұшып-қонуы үшін арнайы алаңдарды қажет етпейтіндігінде. Сонымен қатар, олар жүктен мүлде қонусыз босатылуы мүмкін - қаптама кабель арқылы жерге түсіріледі.

Осы жұмыстың бірінші бөлімінде UAV көмегімен дәрі-дәрмек жеткізу тұжырымдамасы туралы жалпы ақпарат берілген және осы тұжырымдаманың жаһандық коммерциялық сахнада бар іске асырылулары сипатталған.

Бұл жұмыстың екінші бөлімінде ұшқышсыз ұшу аппаратының жалпы құрылымы, атап айтқанда осы жұмыстың тәжірибелік бөлігінде қолданылған гексоптер сипатталған.

Осы жұмыстың үшінші бөлімінде жұмыстың тәжірибелік бөлігінде ұшқышсыз ұшу аппараты үшін қолданылатын BLDC қозғалтқышының жұмыс принципі сипатталған, BLDC қозғалтқышын басқару жүйесі сипатталған.

Төртінші және бесінші бөлімдер сәйкесінше UAV-да қолданылатын GPS және UAV телеметрия құрамдастарын ұсынады.

Осы жұмыстың алтыншы бөлімінде дипломдық жұмыстың тәжірибелік бөлімінде қолданылатын UAV құрылымы мен сипаттамалары берілген.

ANNOTATION

This work provides a detailed explanation of the theoretical models of UAV components for drug delivery. The unmanned aerial vehicle, or simply UAV, was created, like many other technical innovations, by order of the military. The advantage of a UAV over other aircraft is that it is cheap, compact and does not require special sites for takeoff and landing. Moreover, they can be released from the load without landing at all - the package is lowered to the ground using a cable.

The first section of this paper provides general information about the concept of drug delivery using UAVs and describes existing implementations of this concept in the global commercial scene.

The second section of this work describes the general structure of the UAV, in particular the hexacopter, which was used in the experimental part of this work.

The third section of this work describes the operating principle of the BLDC motor used for the UAV in the experimental part of the work, describes the BLDC motor control system.

The fourth and fifth sections provide the GPS and UAV telemetry components used in the UAV, respectively.

The sixth section of this work provides the structure and characteristics of the UAV used in the experimental part of the thesis.

ВВЕДЕНИЕ

В наше время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) играют все более значимую роль в различных сферах человеческой деятельности. Одним из наиболее перспективных направлений их применения является доставка медицинских препаратов и помощи социально уязвимым слоям населения.

Предполагается использовать разработанные медицинские модули, позволяющие оперативно производить доставку биологических материалов и оборудования для оказания скорой медицинской помощи, чтобы улучшить качество и выполнить поставленные задачи.

В данной дипломной работе рассматривается проект, который впервые разработан в Казахстане и является социальным. Автоматическая доставка с помощью БПЛА может гарантировать своевременную доставку лекарств клиенту, если они должны быть доставлены своевременно. В надежде, что в РК будут развиваться технологии БПЛА на основе инфраструктуры и логистики. Кроме того, страны СНГ в настоящее время не обладают этими технологиями. Экономический потенциал и авторитет Казахстана будут повышены благодаря экспорту инфраструктуры.

Доставка медицинских товаров играет решающую роль в обеспечении своевременных и эффективных медицинских услуг. Однако многочисленные препятствия препятствуют распределению предметов медицинского назначения, особенно в отдаленных сельских районах, а также во время стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), стали возможным многообещающим решением этих проблем и произвели революцию в методах доставки.

Благодаря БПЛА транспорт становится более гибким, более экологичным и менее зависимым от интенсивности движения по сравнению с автомобильными курьерами. Поездка на автомобиле продолжительностью три четверти часа превращается в полет всего на несколько минут в незагруженном воздушном пространстве, что означает реальную добавленную стоимость для клиентов в секторе здравоохранения и, как следствие, для их пациентов. В частности, грузы медицинского назначения зачастую являются срочными, и скорость их доставки может иметь решающее значение. БПЛА являются полезным дополнением к другим видам транспорта, особенно в тех случаях, когда грузы необходимо доставить срочно или в труднодоступные места.

1 БПЛА для доставки лекарств

В настоящее время цель всех «беспилотных» стартапов состоит в том, чтобы вывести свои разработки на американский рынок. Большинство проектов БПЛА испытываются или находятся на стадии проектирования. БПЛА наиболее быстро используются в Африке, где они могут сократить время доставки жизненно важных грузов.



Рисунок 1.1 – БПЛА для доставки медикаментов

В области здравоохранения использование БПЛА наиболее очевидно для доставки лекарств. Компания «Flirtey» провела первое тестирование доставки лекарств. Доставка, которая, кстати, стала первой официально разрешенной доставкой грузов с помощью БПЛА в Соединенных Штатах, была выполнена из аптеки в больницу. Она проходила в два этапа. Сначала аппарат доставил в аэропорт двадцать четыре пакета лекарств весом четыре с половиной килограмма, а затем в несколько заходов доставил их в сельскую больницу штата Виргиния. Сам груз опускался на тросе возле медицинского центра. Каждый полет длился около трех минут.

В июле 2017 года в швейцарском Берне начали испытывать БПЛА для доставки лекарств и лабораторных анализов. Swiss Post — швейцарская почта, которая уже несколько лет изучает коммерческое использование БПЛА. Swiss Post провела новаторскую работу в области логистики с помощью БПЛА по всему миру. В период с 2017 по 2022 год она стала одной из первых компаний, использовавших БПЛА для транспортировки лабораторных образцов между больницами и лабораториями. Операции показали, что БПЛА хорошо подходят для срочной перевозки специальных предметов и что существует явный интерес к этой услуге.

В 2016 году стало известно, что правительство Руанды в Африке заключило соглашение с калифорнийским стартапом «Zipline» для доставки лекарств в отдаленные больницы страны. В настоящее время компания отвечает

за доставку 75% запасов крови в Руанду за пределы Кигали. Процесс доставки чрезвычайно эффективен; Когда поступает заказ из больницы, все необходимое находится, упаковывается и помещается в основной корпус БПЛА. Затем его помещают на пусковую установку, где рабочие быстро прикрепляют батареи, крылья и носовую часть БПЛА. Аппарат запускается в течение 90 секунд с момента поступления заказа. После запуска аппарат разгоняется от 0 до 100 км/час за треть секунды с помощью стартовой ramпы. Это означает, что к моменту запуска он уже достигает крейсерской скорости, и для удержания его в воздухе требуется меньше энергии.

В Китае использовался БПЛА, для доставки и введения лекарства для оказания первой помощи. Китайские исследователи разработали систему оказания первой медицинской помощи посредством беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Речь идёт об адресной доставке лекарственных препаратов.

Компания DJI использовала БПЛА для дезинфекции улиц в 2020 году. Как сообщают местные СМИ, добровольцы компании обработали 3 млн квадратных метров всего за четыре дня.

В 2021 запускалась сеть доставки лекарств с БПЛА по всему США. Компания Wingcopter заключила стратегическое партнерство с компанией Air Methods для создания сети доставки лекарств по всей территории США. Так же, полиция города Уэст порт (штат Коннектикут) начало использования "пандемических беспилотников", которые позволяют оценивать температуру людей, частоту сердечных сокращений и частоту дыхания на расстоянии до 60 м, а также выявлять чихание и кашель.

Кроме того, необходимо отметить недостатки использования БПЛА для доставки лекарственных препаратов:

- Если грузоподъемность БПЛА ограничивает количество лекарств, доставляемых за один раз. Некоторые лекарства очень чувствительны к температуре и другим факторам, поэтому их не рекомендуется транспортировать на большие расстояния. Расчет маршрута и потребления энергии необходим для своевременной и качественной доставки лекарств;

- Дорогостоящее оборудование, расходы на привлечение квалифицированных специалистов в этой области. Использование новых технологий, не обходится дешево. Кроме того, очевидно, что крупные компании стремятся использовать БПЛА в коммерческих проектах и долгое время будут это делать. Это ставит на более мелкие проекты в той же отрасли под большее давление. Но все новые технологии, такие как машины и Интернет, прошли через это и вскоре стали общедоступными;

- Использование в определенных погодных условиях: из-за особенностей конструкции БПЛА и природы летательных аппаратов в целом погодные условия имеют решающее значение при оценке рисков. Когда габариты и конструкция БПЛА ограничиваются, все проблемы, связанные с использованием коммерческих самолетов, остаются актуальными и усугубляются;

– В связи с тем, что все энергопотребляющие элементы БПЛА находятся в непосредственной близости друг от друга, они также требуют значительного количества энергии, что ограничивает размеры аккумуляторов, батарей или генераторов. Эти компоненты вызывают проблемы с электромагнитной совместимостью устройств навигации, связи и хранения данных. Использование БПЛА в городах увеличивает шум в каналах связи и повышает риск системных неполадок, поскольку могут пострадать как люди, так и частное имущество;

– Правовые ограничения на использование БПЛА в городских районах связаны с рисками, поскольку неполадки и поломки летательных аппаратов могут причинить вред жизни или здоровью людей, или повреждению имущества. Законодательные органы во всех странах, где использовались или планируются БПЛА, рассматривают все подобные ситуации. Очевидно, что использование БПЛА как в частном, так и в государственном секторе будет сильно ограничено;

– В настоящее время БПЛА широко используются в противоправных целях. Использование БПЛА для доставки наркотиков, саботажа и террористических актов описано в большом количестве статей и видео в Интернете. Есть также информация об использовании БПЛА для предотвращения нелегального использования БПЛА. Инновации вызывают конфликты, а конфликты вызывают инновации, несмотря на все инновации.

БПЛА классифицируют по различным критериям, таким как базовый механизм, дальность полёта, масса полезной нагрузки и цель использования.

По техническим характеристиками выделяют БПЛА на самолётный и вертолётный (коптерный).

Беспилотники коптерного типа оснащены винтами. В зависимости от количества винтов коптеры делят на:

- трикоптер (3 винта);
- квадрокоптер (4 винта);
- гексакоптер (6 винтов);
- октокоптер (8 винтов).

БПЛА коптерного типа отличаются плавностью и стабильностью полёта. Аппараты подходят для мониторинга территории и её детального анализа.

Беспилотники также разделяют исходя из цели использования на военные и гражданские.

Военные БПЛА отличаются высокими техническими характеристиками: способны самостоятельно совершать посадку, летать на дальние расстояния, выполнять поставленные тактические задачи, выдерживать тяжёлые грузы.

Гражданские беспилотники нашли применение в сферах геодезических работ, безопасности, чрезвычайных ситуации и т.д.

Как показывают описанные выше случаи, беспилотные летательные аппараты успешно выполнили ряд важных задач: они преодолели необходимые расстояния с полезной нагрузкой, существенно сократили время доставки важных материалов и обеспечили необходимые ресурсы для медицинских

работников и пациентов. В ближайшем будущем ожидается, что использование беспилотных летательных аппаратов для доставки медицинских препаратов, расходных материалов и других жизненно важных товаров станет международной тенденцией. На сегодняшний день уже несколько десятков проектов в различных странах мира используют БПЛА для доставки медицинских товаров нуждающимся людям. В борьбе с чрезвычайно заразными вирусами беспилотные решения имеют два основных преимущества: они обеспечивают бесконтактную и быструю доставку материалов.

ДJI приветствует инновации в таких проектах, потому что они уже демонстрируют, как БПЛА могут улучшить нашу систему здравоохранения и помощь в чрезвычайных ситуациях.

2 Структура гексакоптера

Гексакоптер имеет шесть двигателей, прикрепленных к раме с помощью рычагов. Эти двигатели вращают пропеллер на очень высоких скоростях, создавая тягу.

Для достижения стабильности три двигателя вращаются по часовой стрелке (CW) и против часовой стрелки (CCW). Благодаря этой настройке он может отменить чистый момент относительно оси отклонения БПЛА.

Тип двигателей, используемых в мультироторах, — двигатели BLDC, скорость вращения которых контролируется с помощью трех разных фаз тока. Заданная скорость вращения двигателей поддерживается с помощью ESC (электронных регуляторов скорости).

ESC постоянно контролируют ток обратной связи от двигателя и вносят незначительные изменения во входной ток двигателей. Блок инерциальных измерений (IMU), состоящий из акселерометра и гироскопа, используется для измерения коротких перемещений и определения ориентации БПЛА. Это делается на основе ускорений, испытываемых телом.

Необходимо оценить общую развесовку гексакоптера; это позволяет анализировать компоненты, подчеркивать важность каждой детали и отслеживать ее производительность с помощью предыдущих и будущих итераций конструкции мультиротора.

Самым тяжелым компонентом всех мультироторных конструкций является аккумулятор. Для увеличения времени полета можно выбрать батарею большей емкости. Однако дополнительный вес более крупного аккумуляторного блока, в свою очередь, напрямую влияет на время полета.

Необходимо изучить физическую динамику системы, чтобы понять ожидаемое движение, когда во время полета на гексакоптер действуют различные силы. Чтобы понять структурную целостность и устойчивость гексакоптера во время полета, можно провести два важных исследования.

Структурный анализ используется для определения целостности рамы, рычагов и шасси при воздействии сил, которые могут быть вызваны гравитацией, тягой и столкновениями, которые гексакоптер сможет выдержать.

Стабильность физического тела делается для проверки расположения центра тяжести конструкции. Определив расположение центра тяжести, можно предсказать направление движения гексакоптера, когда на раму будут воздействовать силы вокруг центра тяжести [1].

Благодаря расположению центра тяжести посередине тяга винтов действует равномерно вокруг центра тяжести, тем самым устраняя любой чистый крутящий момент, который может вызвать нежелательное вращение и снос. Таким образом, для анализа устойчивости оценивается центр тяжести гексакоптера с полезной нагрузкой и без нее. Полезная нагрузка крепится значительно ниже рычагов и рамы кузова.

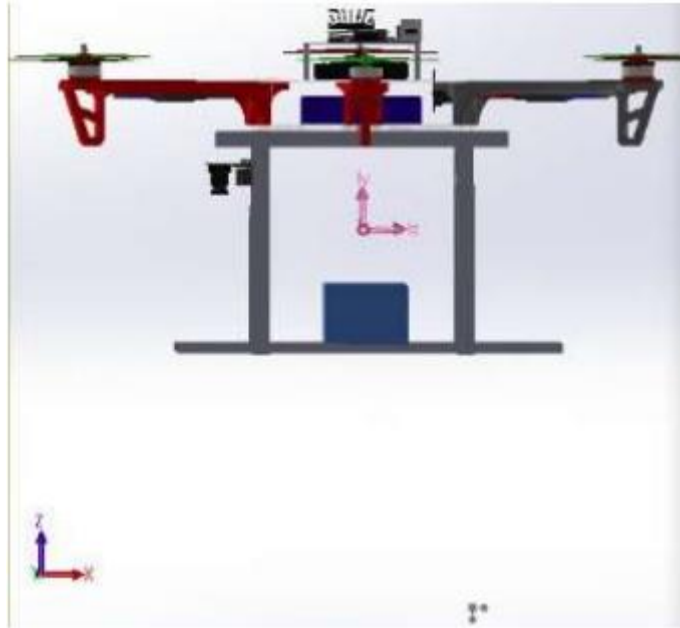


Рисунок 2.1 – Центр тяжести БПЛА с грузом

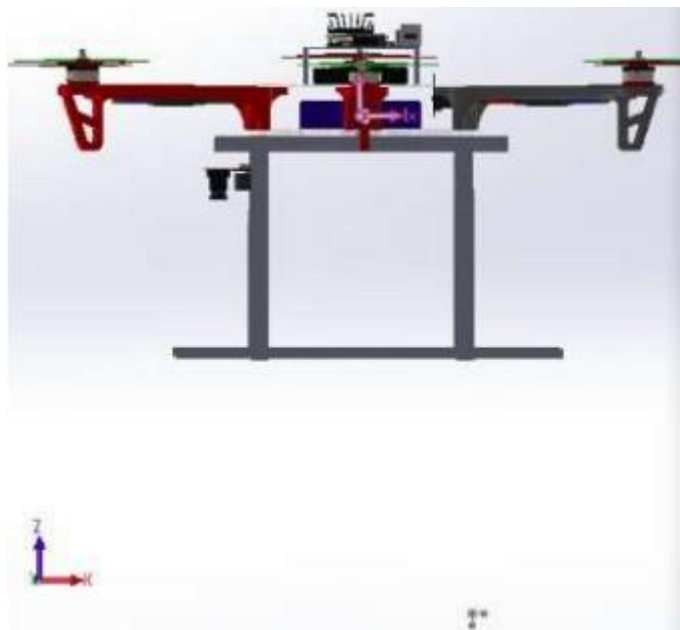


Рисунок 2.2 – Центр тяжести БПЛА без груза

Вращающиеся пропеллеры и их расположение создают на платформе как силы, так и крутящие моменты. Эти силы и моменты напрямую зависят от угловой скорости двигателей и используются для управления октокоптером во время полета.

Сила, создаваемая воздушными винтами, называется тягой. Обычный способ моделирования взаимосвязи между тягой и угловой скоростью винта —

использовать теорию импульса в состоянии зависания. Обычно тяга моделируется как сила, действующая вдоль оси Z в раме кузова.

Пропеллеры будут генерировать крутящий момент двумя разными способами:

- Реактивный крутящий момент, создаваемый при вращении пропеллеров в воздухе;

- Крутящий момент от рычага, т. е. смещения двигателя от центра масс.

Гравитационное притяжение создает силу, направленную вниз к земле, пропорциональную массе октокоптера. Эта сила будет направлена вдоль оси Z на Земле.

Эффект, называемый гироскопическим моментом, возникает при изменении ориентации вращающегося объекта и при увеличении или уменьшении скорости вращения. Крутящий момент, создаваемый изменением вращения, можно описать, представляя рамку, расположенную в центре колеса.

Тяга, создаваемая вращающимися винтами, действительна только в состоянии зависания. Когда транспортное средство начинает двигаться или при наличии ветра, поступающий воздух будет поступать в несущие винты, тем самым изменяя заданную тягу. Эффект становится заметен при выполнении агрессивных маневров во время высокоскоростных полетов.

Несущие винты будут создавать несбалансированную подъемную силу во время поступательного полета. Поступающий над ротором воздух вызывает разницу в подъемной силе между наступающей и отступающей лопастью.

Одним из важных факторов, которые следует учитывать при полете многокоптерных транспортных средств вблизи поверхностей, является эффект земли. Нисходящий поток создаст воздушную подушку между гребными винтами и поверхностью, создавая тем самым большую тягу гребных винтов.

В итоге, на аппарат действуют:

- Сила тяжести;
- Сила пропеллеров;
- Соппротивление воздуха;
- Внешняя сила;
- Реактивный момент двигателей;
- опрокидывающий момент от ветровой нагрузки;
- Внешний возмущающий момент – для отладки регуляторов;
- Моменты тяги пропеллеров.

3 Система контроля

3.1 Структура мотора БПЛА

В БПЛА используются бесщеточные двигатели постоянного тока, которые преобразуют электрическую энергию во вращательное движение. Бесщеточные двигатели постоянного тока, также называемые BLDC, имеют множество преимуществ по сравнению со своими коллекторными аналогами. BLDC обеспечивают более высокую эффективность и требуют меньшего обслуживания, поэтому за последние несколько десятилетий они заменили коллекторные двигатели во многих приложениях.

Оба типа двигателей работают по схожему принципу, при котором вращательное движение создается за счет притяжения и отталкивания магнитных полюсов постоянных и электромагнитов. Однако способы управления этими двигателями сильно различаются. Для BLDC требуется сложный контроллер для преобразования энергии постоянного тока в трехфазное напряжение, тогда как коллекторным двигателем можно легко управлять с помощью напряжения постоянного тока.

BLDC преодолевают недостатки коллекторных двигателей, заменяя механическую коммутацию коммутацией с электронным управлением. Чтобы лучше это понять, давайте посмотрим на структуру двигателя BLDC.

Бесщеточный двигатель состоит из двух основных частей: статора и ротора. Изображение показано ниже для справки.



Рисунок 3.1 – Ротор и статор

Статор — это неподвижная часть двигателя (обмотки), а ротор — вращающаяся часть двигателя (колокол с магнитами).

Пропуская постоянный ток через обмотки катушки, мы создаем с помощью этих полюсов электромагнит. Эти полюса затем взаимодействуют с полюсами постоянного магнита и заставляют ротор вращаться. Обратите внимание, что после каждого полуоборота ротора, чтобы ротор продолжал вращаться, нам необходимо переворачивать полюса электромагнита, что осуществляется путем переключения полярности тока в обмотках катушки. Такое переключение фаз

называется коммутацией. В коллекторных двигателях коммутация происходит механически, когда щетки соприкасаются с коллектором ротора во время вращения двигателя. Из-за такого физического контакта щетки со временем изнашиваются, что влияет на работу двигателя.

Размер двигателя зависит от размера статора. Например, если двигатель имеет размер 2207, это означает, что статор имеет ширину 22 мм и высоту 07 мм. Более высокий статор — более высокая максимальная скорость и менее эффективная управляемость на низкой скорости; более широкий статор — меньшая максимальная скорость и лучшая управляемость на низких скоростях. Основная причина – усиление магнитного поля статоров. Более высокие статоры имеют большие магниты по сравнению с меньшими и более широкими статорами.

KV двигателя теоретически означает скорость, с которой двигатель вращается на каждый вольт, приложенный к двигателю. Например, если бы мы использовали напряжение 14,8В для питания двигателя 2300 KV, максимальное количество оборотов двигателя составило бы примерно $2300 \times 14,8 = 34040$ об/мин.

Двигатели с более высоким номиналом KV смогут вращать пропеллер быстрее. Рекомендуется использовать винты большего размера в сочетании с двигателями с низким KV. Низкий рейтинг KV обладает высшим крутящим моментом. Двигатели с более высоким KV будут более эффективны при более высоких оборотах, но за счет крутящего момента.

На крутящий момент двигателя влияют такие факторы, как:

- Размер статора - чем больше статор, тем выше крутящий момент;
- Качество магнитов и медных обмоток ротора;
- Факторы конструкции двигателя, такие как воздушные зазоры между статором и ротором.

Крутящий момент, создаваемый двигателем, существенно влияет на характеристики БПЛА. Он также определяет, как БПЛА будет воспринимать входные данные. Чем выше крутящий момент, создаваемый двигателем, тем более отзывчивым будет работать БПЛА.

3.2 Принцип работы BLDC

Два полюса одного типа отталкиваются друг друга, заставляя ротор вращаться против часовой стрелки. В то же время противоположные полюса притягиваются друг к другу, и ротор продолжает вращаться в одном направлении. Как только он завершит поворот на 60 градусов, происходит следующая коммутация. Коммутация происходит таким образом, что ротор никогда не выравнивается по магнитному полю статора, а всегда преследует его.

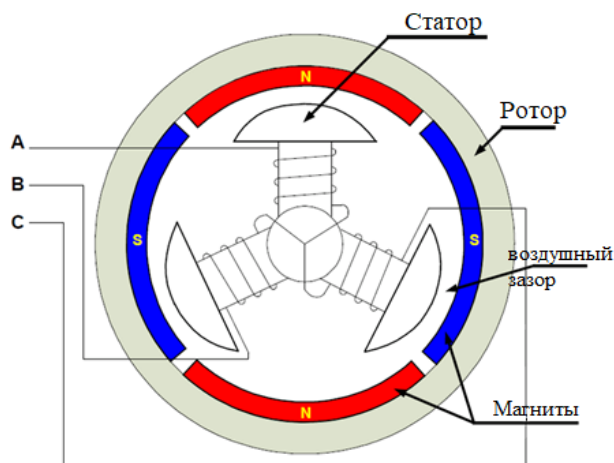


Рисунок 3.2 – схема работы BLDC

Для управления фазами шести ступенчатой коммутации используется трехфазный инвертор, преобразующий мощность постоянного тока в трехфазные токи. Чтобы подать положительный ток на одну из фаз, необходимо включить переключатель, подключенный к этой фазе на стороне высокого напряжения. А для отрицательного тока переключатель низкой стороны должен быть включен.

Постоянное напряжение преобразуется трехфазным инвертором, чтобы поддерживать постоянную скорость двигателя. Но чтобы управлять двигателем на разных скоростях, нам нужно иметь возможность регулировать подаваемое напряжение.

Один из способов сделать это — использовать ШИМ (широтно-импульсная модуляция).

Для управления двигателем на различных скоростях нам нужны значения напряжения в определенном диапазоне. ШИМ действует как переключатель, который принимает постоянное напряжение и подает его на двигатель серией импульсов включения и выключения с определенной частотой. Каждый цикл ШИМ называется периодом, и процент времени, в течение которого сигнал ШИМ включен в течение заданного периода, дает нам рабочий цикл. Например, если у нас рабочий цикл равен 50%, это означает, что в каждом периоде половину времени сигнал включен, а другую половину — выключен. Когда мы управляем двигателем с помощью этого, эффективное напряжение, воспринимаемое двигателем, будет средним значением этого сигнала ШИМ.

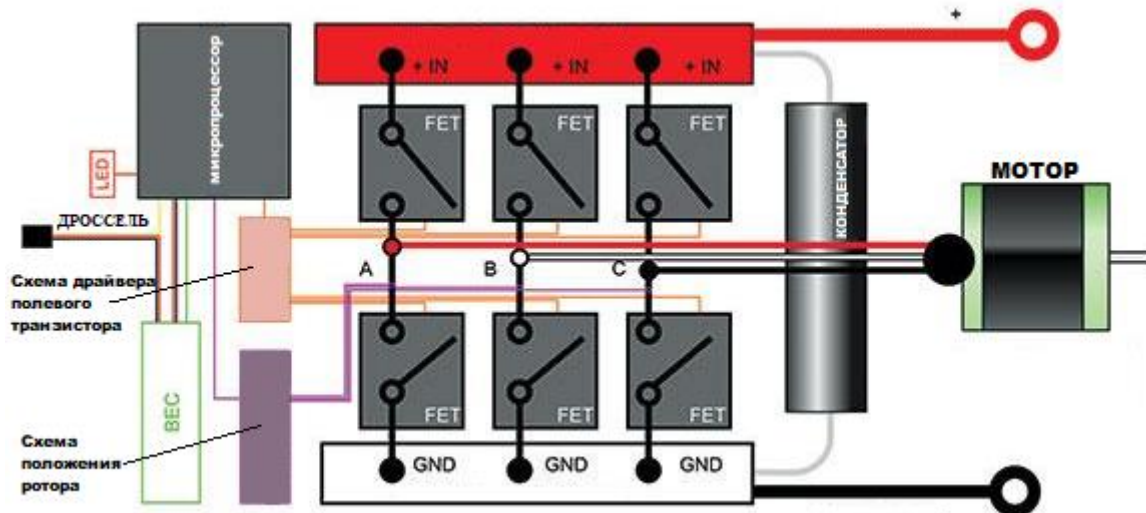


Рисунок 3.3 – Управление мотором с использованием микропроцессора с ШИМ и трехфазным инвертором

3.3 Контроллер тока BLDC с генерацией ШИМ

BLDC Current Controller с блоком PWM Generator генерирует сигнал широтно-импульсной модуляции и управляет током в бесщеточном двигателе постоянного тока.

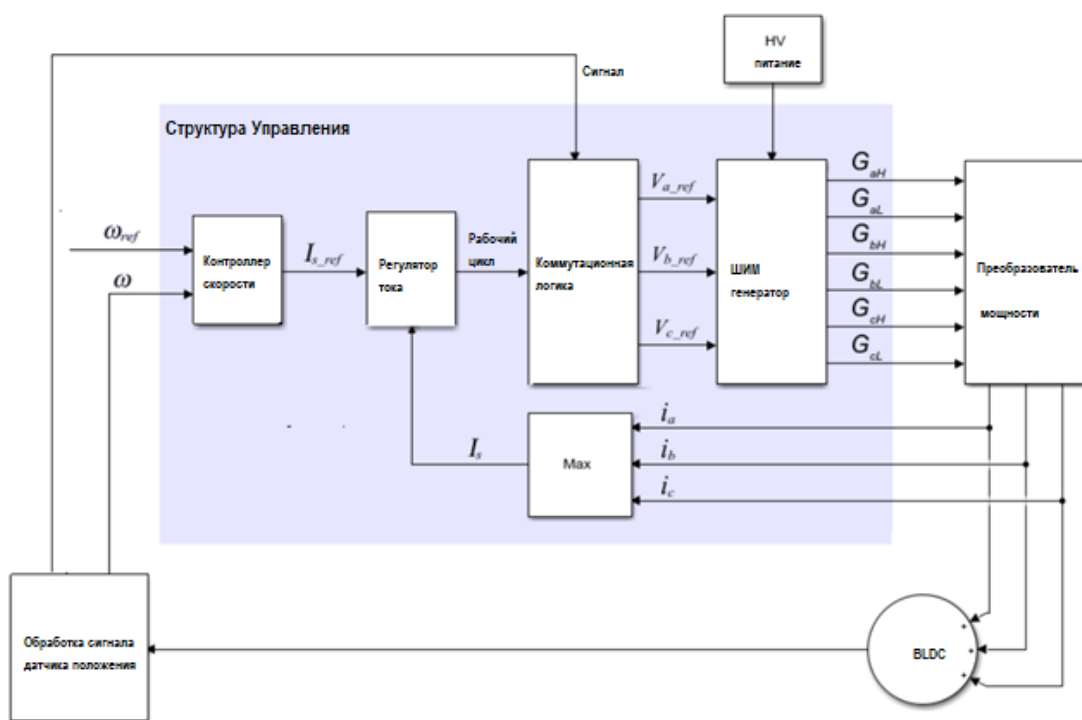


Рисунок 3.4 – Структура системы контроля BLDC

Контроллер тока BLDC с генерацией ШИМ создает рабочий цикл для блока BLDC, реализуя пропорционально-интегральное (PI) управление током, используя это уравнение:

$$D = (K_p + K_i \frac{T_s z}{z-1})(I_{s_ref} - I_s) \quad (3.1)$$

где, D - рабочий цикл;

K_p – пропорциональный коэффициент усиления;

K_i — интегральный коэффициент усиления;

T_s - период времени;

I_{s_ref} — опорный ток;

I_s – измеренный ток.

Передаточная функция с обратной связью для алгоритма управления PI дает ноль, который можно отменить, используя блок отмены нуля в пути прямой связи. Передаточная функция с отменой нуля в дискретном времени:

$$G_{ZC}(z) = \frac{\frac{T_s K_i}{K_p}}{z + \left(\frac{T_s - \frac{K_p}{K_i}}{\frac{K_p}{K_i}} \right)} \quad (3.2)$$

где, G_{zc} — полином нулевого сокращения.

Блок получает управляющие сигналы для трех фаз путем умножения рабочего цикла на коммутационные сигналы. Результирующие три управляющих сигнала нормализуются в интервале $[-1, 1]$.

Генератор ШИМ выдает 1, когда значение управляющего сигнала больше, чем значение счетчика несущей. В противном случае генератор ШИМ выдает 0.

Трехфазный двигатель BLDC представляет собой синхронную машину с ротором на постоянных магнитах и парами обмоток, симметрично распределенными в статоре (каждые 120°), которые активируются инвертором ШИМ, т.е. одновременная подача питания на две фазы с частотой коммутации, определяемой положением и скоростью вращения ротора [3]. Согласно [4] и [7], если предположить, что три фазы сбалансированы и пренебречь насыщением, вихревыми токами и гистерезисом, то ее можно описать как гибридную модель (показана на рис. 1) уравнениями

$$\begin{aligned}
 V_{ab} &= R(i_a - i_b) + L \frac{d}{dt}(i_a - i_b) + e_a - e_b, \\
 V_{bc} &= R(i_b - i_c) + L \frac{d}{dt}(i_b - i_c) + e_b - e_c, \\
 V_{ca} &= R(i_c - i_a) + L \frac{d}{dt}(i_c - i_a) + e_c - e_a, \\
 T_e &= J \frac{d\omega_m}{dt} + B_m \omega_m + T_L,
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

где V , i и e — соответственно напряжение, ток и индуктивное напряжение (противо-ЭДС) между фазами ab , ac или bc ;

R и L – сопротивление и индуктивность, предполагаемые одинаковыми во всех фазах;

T_e – электрический момент;

J – инерция;

ω_m – угловая скорость;

B_m – коэффициент вязкого трения;

T_L – момент нагрузки.

3.4 Математическая модель BLDC двигателя в Matlab

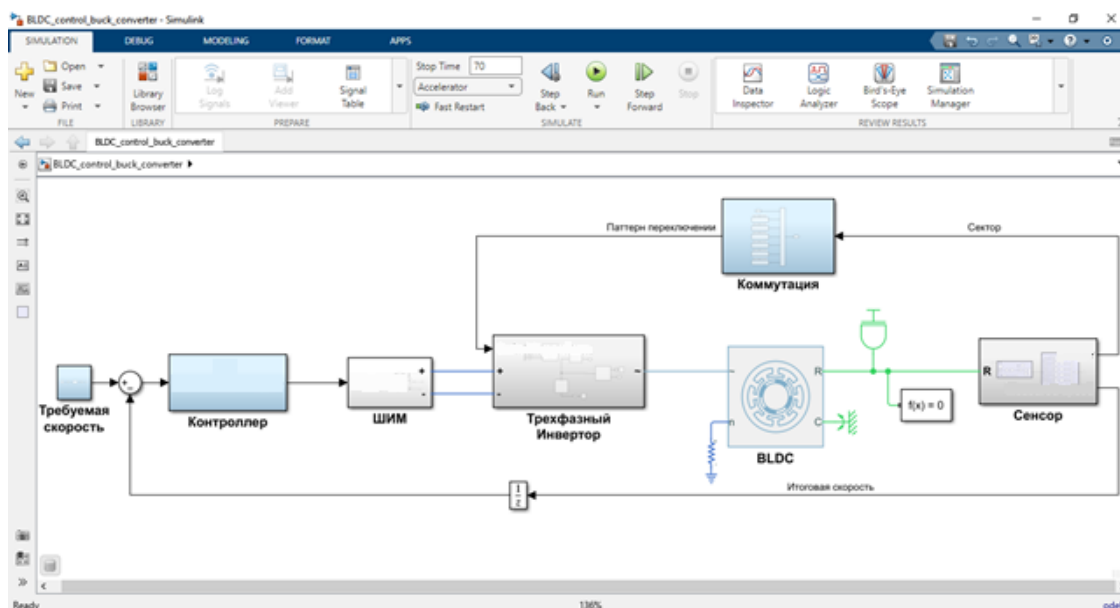


Рисунок 3.5 – Математическая модель BLDC

Для данной работы была составлена математическая модель системы управления BLDC мотора, с использованием PI контроллера и ШИМ.

– Блок «Требуемая скорость» выдает матрицу из численных значений $[1025/2, 1025, 2050]$, как представление желаемого значения скорости вращения;

- Блок «Контроллер» принимает как входящие данные численное значение из блока «Требуемая скорость», и выдает входящий сигнал, усиленный в соответствии со сравнением настоящего значения (K_p коэффициент усиления) и прошлых значений с требуемым значением (K_i коэффициент усиления);
- Блок ШИМ включает в себя DC сигнал батареи и ШИМ генератор, модулирующий сигнал батареи в соответствии со значением, соответствующим выходным сигналом блока «Контроллер»;

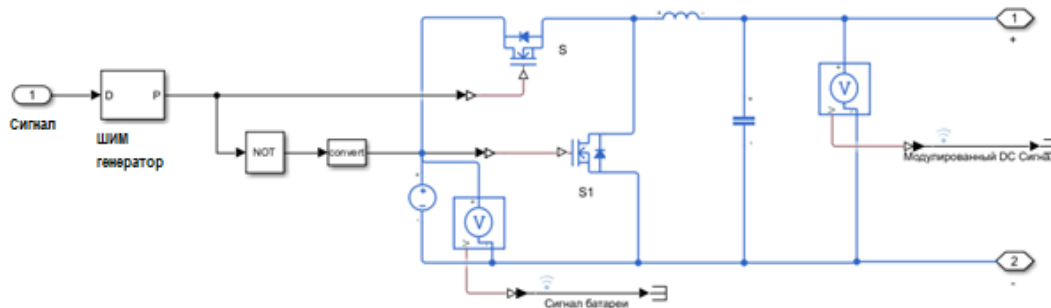


Рисунок 3.6 – Блок «ШИМ»

- Трехфазный инвертор, получающий заряд от блока ШИМ и коммутационную логику от блока «Коммутация», выдает сигнал для фаз ab, bc и ac;

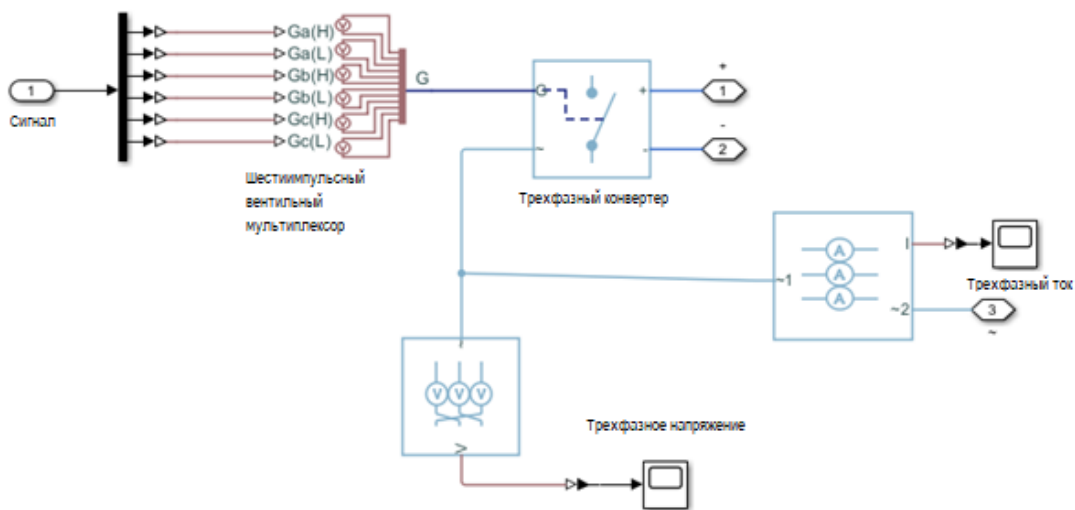


Рисунок 3.7 – Трехфазный инвертор

- Блок «Коммутация» выдает 6 значений в период времени между 0 и 1, для верхнего и нижнего регистра заряда на каждую фазу;

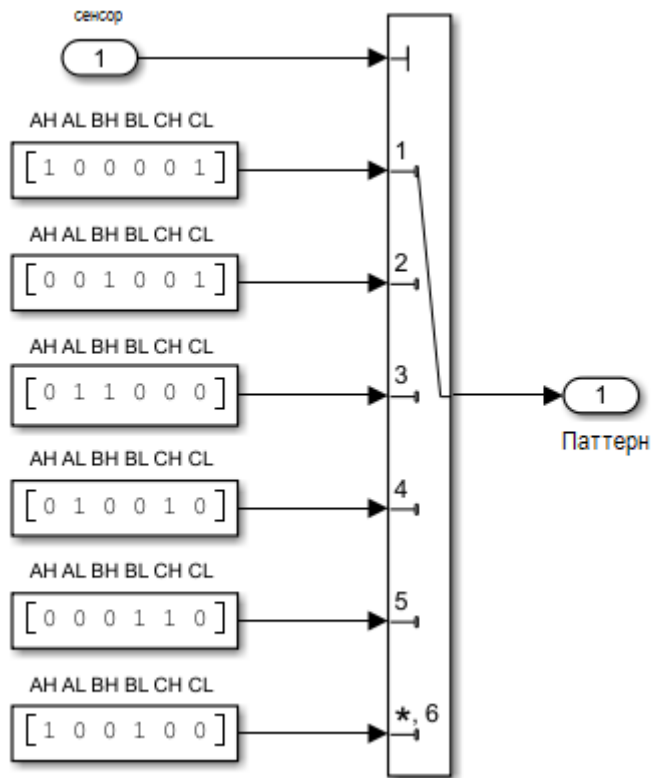


Рисунок 3.8 – Коммутационная логика

- Блок BLDC, представляющий математическую модель BLDC мотора;
- Блок «Сенсор», возвращающий значение настоящей скорости вращения BLDC мотора в блок «Контроллер».

Из схемы можно понять, что BLDC мотор представляет из себя закрытую систему, с механизмом негативной обратной связи.

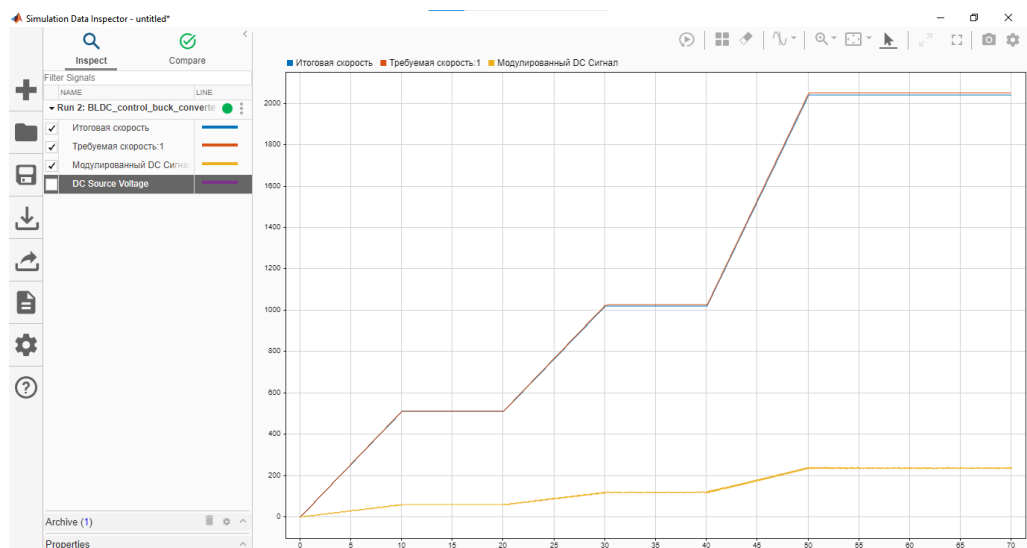


Рисунок 3.9 – Граф значения сигналов схемы во времени

Из рисунка можно видеть, что данная схема успешно предоставляет функционирующую систему контроля BLDC мотором, с использованием трехфазного инвертора для работы мотора, и ШИМ для регулировки скорости.

3.5 ЭМС

Электромагнитная совместимость (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭА) — это направление радиоэлектроники, которое позволяет одновременно работать различным радиотехническим, электронным и электрическим средствам.

Причины возникновения проблем с ЭМС:

- Увеличение количества одновременно работающих радиоустройств, особенно установленных на подвижных объектах;
- увеличение мощности радиопередатчиков, некоторые из которых достигают десятков мегаватт;
- расширение полосы частот многих современных радиоустройств;
- увеличение нагрузки радиочастотного диапазона;
- Использование автоматического контроля, диагностики и других функций на основе аналоговых и цифровых методов;
- Повышение плотности схемы оборудования и расширение оснащения электронных устройств подвижных объектов, особенно кораблей, самолетов и космических аппаратов;
- Ухудшение условий работы радиоэлектронной аппаратуры на летательных аппаратах, находящихся в зоне прямой видимости наземной радиоэлектронной аппаратуры;
- Расширение мобильной радиотелефонной связи.

Электромагнитные помехи могут быть вызваны любыми устройствами, излучающими электромагнитное излучение. Сюда входят устройства, которые не могут излучать электромагнитные волны. Все устройства, которые изменяют свои параметры (обратимо или необратимо) в результате электромагнитных помех, называются приемниками электромагнитных помех.

Соблюдение требований ЭМС должно быть основным фактором при разработке новых приложений, чтобы сократить время цикла и затраты на проект, а также избежать напрасной траты ресурсов на ретроспективное решение проблем ЭМС.

Современные методы защиты от помех и помехоустойчивости не всегда работают достаточно хорошо в сложных электромагнитных обстоятельствах, созданных современными техническими средствами производства электромагнитных воздействий.

Одним из них является Бортовая кабельная сеть Летательного Аппарата (БКС ЛА). Бортовая кабельная сеть соединяет устройства и бортовые системы, обеспечивает электропитание и обмен информацией. Электромагнитные

воздействия влияют на все бортовые приборы и устройства электротехнического комплекса летательного аппарата через кабельную сеть, что влияет на качество функционирования всех систем летательного аппарата.

Критические аспекты структуры/топологии компоновки, которые оказывают существенное влияние на электромагнитные помехи:

- Печатная плата: определение типа печатной платы, ее размер и количество слоев (часто зависит от стоимости);

- Заземление: определение топологии заземления, которая напрямую связана с выбором печатной платы;

- Сигналы: определение, какие типы сигналов управления, питания и заземления будут присутствовать для желаемой функции управления двигателем;

- Пути связи (перекрестные помехи): определение предпочтительной метод обмена сигналами между функциональными блоками (маршрутизация) и будет ли большинство компонентов с сосредоточенными параметрами SMT или сквозными;

- Ориентация и размещение компонентов: определение крупных компонентов или компонентов, требующих радиаторов, поскольку они могут иметь ограничения по размещению и требовать специального обращения;

- Экранирование: если другие методы контроля электромагнитных помех не соответствуют целям или ограничениям по ЭМС, применить экранирование к печатной плате.

4 GPS Навигация

В любой момент времени на орбите на высоте более 12 000 миль над Землей находится как минимум 24 активных спутника. Позиции спутников построены таким образом, чтобы небо над местоположением всегда содержало не более 12 спутников. Основная цель 12 видимых спутников — передавать информацию обратно на Землю по радиочастоте (в диапазоне от 1,1 до 1,5 ГГц).

Данные, отправляемые на Землю с каждого спутника, содержат несколько различных фрагментов информации, которые позволяют GPS-приемнику точно рассчитать свое положение и время. Важным элементом оборудования каждого спутника GPS являются чрезвычайно точные атомные часы.

Время на атомных часах отправляется на Землю вместе с орбитальной позицией спутника и временем прибытия в разные точки неба. Другими словами, модуль GPS получает метку времени от каждого из видимых спутников, а также данные о том, где на небе расположен каждый из них. На основе этой информации GPS-приемник теперь знает расстояние до каждого видимого спутника.

Если антенна GPS-приемника видит, как минимум 4 спутника, он может точно рассчитать свое положение и время.

4.1 GPS Сообщения

Сообщение NAV также известно, как сообщение GPS, включает в себя некоторую информацию, необходимую получателям для определения местоположения.

Традиционное сообщение NAV продолжает оставаться одной из опор, на которые опирается GPS. Код NAV передается на низкой частоте 50 Гц на несущих GPS L1 и L2 (1575,42 МГц и 1227,60 МГц соответственно). Он несет информацию о местоположении спутников GPS, называемую эфемеридами, и данные, используемые как для преобразования времени, так и для смещений, называемых поправками часов.

И спутники, и приемники GPS имеют на борту часы. Он также передает информацию о состоянии спутников на орбите и информацию об ионосфере. Ионосфера, наряду с тропосферой, представляет собой слой атмосферы, через который должны пройти сигналы GPS, чтобы добраться до пользователя.

Он включает в себя данные, называемые альманахами, которые предоставляют GPS-приемнику достаточно небольших фрагментов эфемеридной информации для расчета координат всех спутников в созвездии с приблизительной точностью до пары километров.

Навигационный код, или сообщение, является средством сообщения GPS-приемникам некоторых наиболее важных вещей, которые им необходимо знать. Вот некоторые параметры его конструкции.

Все навигационное сообщение содержит 25 кадров. Каждый кадр имеет длину 1500 бит и разделен на пять подкадров. Каждый подкадр содержит 10 слов, а каждое слово состоит из 30 бит. Таким образом, все навигационное сообщение содержит 37 500 бит, а при скорости 50 бит в секунду требуется 12,5 минут для передачи и приема при полностью холодном запуске. Другими словами, получение всего этого не происходит мгновенно. Получателю требуется некоторое время для обновления навигационного сообщения.



Рисунок 4.1 – Формат GPS сообщения

В пяти подкадрах устаревшего навигационного сообщения. TLM означает телеметрию. Затем следует слово передачи. В правой части иллюстрации описаны поправка часов, состояние спутника GPS и т. д. в первом подкадре.

Два и три посвящены эфемеридам. В четвертом и пятом описана ионосфера, а затем упоминаются номера спутников PRN (псевдослучайный шум) и альманахи. Термин PRN используется потому, что сигналы GPS, которые приемник использует для позиционирования, кажутся случайным шумом, но на самом деле сигнал представляет собой псевдослучайный шум, поскольку на самом деле сигналы очень тщательно разработаны и согласованы.

Номера PRN с 25 по 32 в подкадре номер четыре означают, что там можно найти альманахи спутника с номера 25 по номер 32. В пятом подкадре PRN от 1 до 24, у этих спутников есть свои альманахи, другими словами, немного их эфемерид. Это система идентификации. Другими словами, когда приемник получает навигационное сообщение от одного спутника, встроенное в это

сообщение, появляется немного информации, которая подскажет получателю, где он может найти остальную часть всего созвездия на небе.

Это помогает ему приобрести дополнительные спутники после того, как он получит первый. Таким образом собирая спутниковый альманах.

Важным моментом здесь является то, что это сообщение является основным средством передачи спутником важной информации получателю. После того, как приемник получил сигнал от этого спутника, сообщение NAV сообщает приемнику, где находится спутник.

Эфемериды – это спутниковая система координат. Он сообщает приемнику, где находится спутник в данный момент времени. Коррекция часов — это один из способов, с помощью которого спутник может сообщить приемнику, сколько времени на борту спутника. Ионосфера — это информация, которая позволит приемнику внести некоторые атмосферные поправки в сигнал, получаемый от конкретного спутника.

4.2 Кодировка GPS сообщения

Коды P и C/A известны как коды псевдослучайного шума или PRN. Они должны быть способны к повторению и тиражированию. Однако, в отличие от навигационного сообщения, коды P и C/A не являются средствами передачи информации, загруженной управляющим сегментом. Они несут необработанные данные, на основе которых приемники GPS получают измерения времени и расстояния.

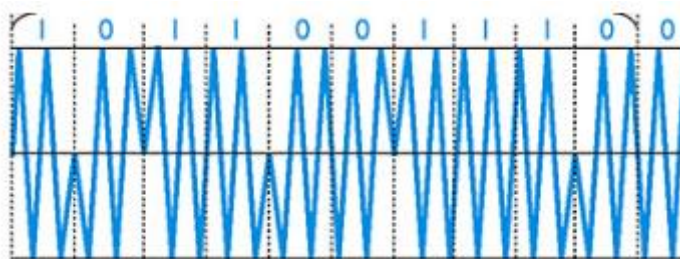


Рисунок 4.2 – P код GPS сообщения

Код P называется точным кодом. Это определенная серия единиц и нулей, генерируемая со скоростью 10,23 миллиона бит в секунду. Он осуществляется как на L1, так и на L2. Каждому спутнику GPS присваивается отдельная часть P-кода, а затем она повторяется каждые 7 дней. Такое присвоение каждой конкретной неделе 37-недельного P-кода каждому спутнику помогает приемнику GPS отличить передачу одного спутника от другого. Например, если спутник передает четырнадцатую неделю кода P, это должен быть Space Vehicle 14 (SV 14). Зашифрованный P-код называется P(Y)-кодом.

Код C/A также представляет собой определенную серию единиц и нулей, но скорость его генерации в 10 раз медленнее, чем код P(Y). Скорость кода C/A

составляет 1,023 миллиона бит в секунду. Здесь идентификация спутника довольно проста. Каждый спутник GPS не только передает свой собственный уникальный 1023-битный код C/A, но и повторяет свой код C/A каждую миллисекунду. Устаревший код C/A транслируется только на уровне L1. Раньше это был единственный гражданский код GPS; к нему присоединился новый гражданский сигнал, известный как L2C, который передается по L2.

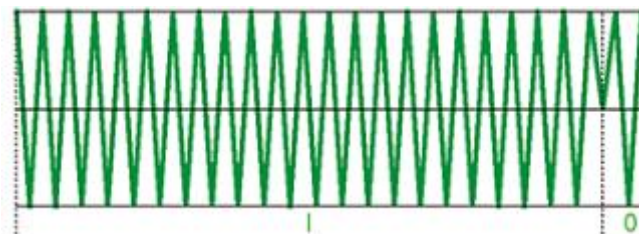


Рисунок 4.3 – C/A кодировка

5 Система коммуникации

5.1 Физический уровень OSI

Существует четыре основных типа услуг связи БПЛА:

- БПЛА-БПЛА для каналов передачи данных и управления;
- Базовая станция БПЛА-Земля для связи управления и командования;
- Беспроводные узлы БПЛА-земля для распространения и сбора данных с помощью БПЛА;
- система БПЛА-спутник [10].

На рисунке 16 показана архитектура беспроводной связи для сети БПЛА. Архитектура беспроводной связи БПЛА состоит из двух основных типов каналов связи, а именно канала управления, который называется каналом связи управления и бесполезной нагрузки (CNPC), а также канала передачи данных.

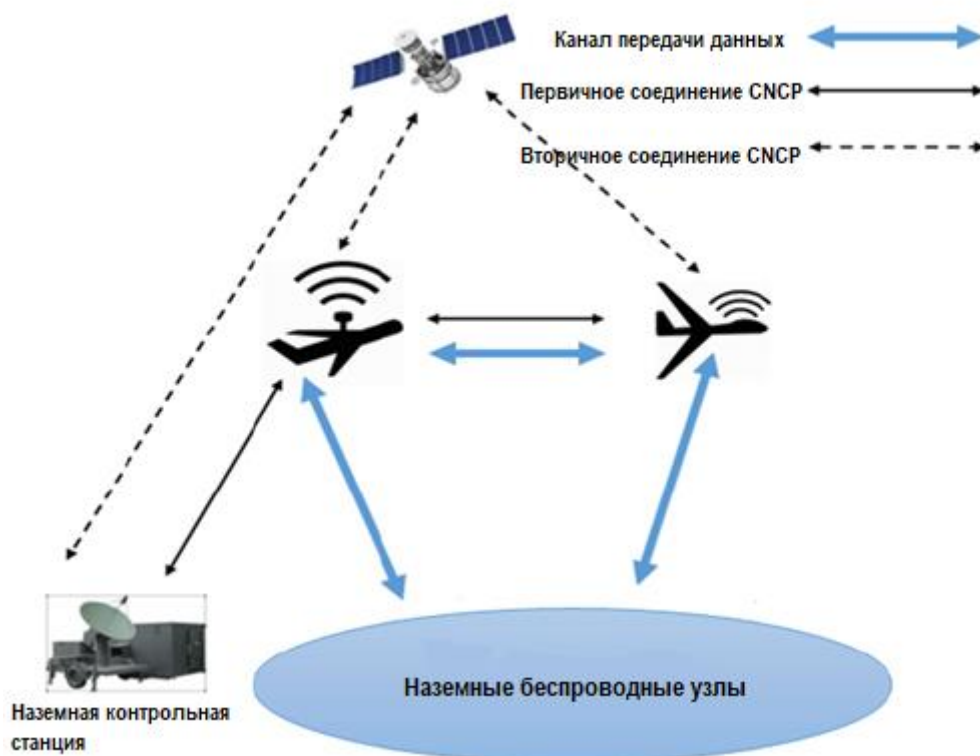


Рисунок 5.1 – Типы коммуникации БПЛА

В целом, CNPC используется для обеспечения безопасности БПЛА, предотвращения столкновений, а также для обнаружения и предотвращения информации среди БПЛА. В частности, CNCP предоставляет более надежную и точную информацию о работе БПЛА. В канале CNCP обмен управляющими данными осуществляется в сервисах связи БПЛА-БПЛА, БПЛА-ГКС и ГКС-БПЛА. В целях безопасности для обмена управляющими данными в канале управления требуется низкая скорость передачи данных. Доступны два типа

CNCP, а именно, первичный канал CNPC, который является предпочтительным каналом управления, и вторичный канал CNPC. Первый канал может использоваться через спутник в качестве резервного канала для повышения надежности и устойчивости. Первичная связь CNPC устанавливается непосредственно во время взлета и посадки. С другой стороны, вторичная связь CNPC может быть установлена через спутник во время работы БПЛА [10].

5.2 Канальный уровень

Канал передачи данных используется для отправки и получения данных, а именно, передача по нисходящей линии связи от БПЛА к наземной станции или спутнику и передача по восходящей линии связи от наземной станции или спутника к БПЛА. В целом требования к пропускной способности этого канала передачи данных зависят от приложений [10].

Мы классифицируем канал передачи данных на основе рабочего диапазона частот, а именно:

- микроволновый диапазон;
- диапазон сантиметровых волн (см-волн);
- диапазон миллиметровых волн (мм волн).

Микроволновой спектр определяется (МСЭ) как диапазон частот от 1 до 6 ГГц. Микроволновой сигнал имеет большую длину волны, которая способна проникать в наземные инфраструктуры. Требуемая мощность передачи микроволнового сигнала меньше, чем в более высоких диапазонах, но максимальная скорость передачи данных в микроволновом диапазоне составляет 1 Гбит/с. С другой стороны, см-волны относятся к диапазону частот от 6 до 33 ГГц. Таким образом, требуемая мощность передачи сигнала см-волны больше, чем у микроволнового сигнала, и скорость передачи данных выше, чем у микроволнового сигнала. Другая полоса частот называется полосой мм-волн. Его можно использовать для высокоскоростной беспроводной связи, диапазон частот которой составляет от 30 до 300 ГГц, а скорость передачи данных может достигать 10 Гбит/с и более. Однако для этого требуются мощные передатчики, а значит, для покрытия той же зоны покрытия требуется большая мощность передачи, чем в нижнем диапазоне частот. Кроме того, для диапазона миллиметровых волн требуется прямая видимость (LOS), которая не может проникать через препятствия и чувствительна к помехам окружающей среды.

Транспортное соединение — это любой канал связи «точка-точка» (P2P) между удаленно подключенными объектами. В беспроводной связи широкое распространение получает микроволновая и мм-волновая обратная связь. В канале передачи данных для передачи информации о полезной нагрузке между БПЛА используется беспроводная микроволновая или мм-волновая связь (обратная связь БПЛА-БПЛА). Кроме того, его также можно использовать, чтобы позволить БПЛА напрямую связываться с наземными пользователями (используя БПЛА в качестве базовой воздушной станции).

В системе с одним БПЛА, БПЛА должен обмениваться данными с GCS, обычно БПЛА в этой системе имеет большие размеры и нуждается в тяжелом коммуникационном оборудовании для установления канала связи с GCS. Более того, цена отказа БПЛА очень высока. С другой стороны, использование небольших БПЛА с системой из нескольких БПЛА имеет много преимуществ, чем использование одной системы БПЛА. Зона покрытия увеличится для системы из нескольких БПЛА. В то время как у одного БПЛА зона покрытия ограничена.

Кроме того, стоимость небольших БПЛА меньше, чем стоимость одного большого БПЛА. Кроме того, использование системы из нескольких БПЛА сводит к минимуму время, необходимое для выполнения миссии. Более того, в системе с одним БПЛА при выходе из строя БПЛА он должен вернуться в ГКС и задача не может быть выполнена. Однако в системе с несколькими БПЛА эту задачу могут выполнить другие БПЛА, таким образом, отказоустойчивость системы будет повышена [11].

В коммуникациях FANET OSI обычно используется в качестве модели связи для БПЛА, которая включает в себя физический уровень, уровень управления доступом к среде (канал передачи данных), сетевой, транспортный и прикладной уровни.

Уровень MAC отвечает за обработку ошибок физического уровня, политику доступа к каналу, управление потоками и ошибками. Уровень MAC использует общий протокол IEEE 802.11 [12] и его расширения, такие как IEEE 802.11g/n [13], и обычно для связи используется всенаправленная антенна, дальность связи которой может превышать несколько сотен метров в зоне прямой видимости [14]. В сетях FANET существует несколько проблем, которые необходимо учитывать при разработке эффективных протоколов уровней MAC, таких как:

- высокая трехмерность движения БПЛА;
- большое расстояние между БПЛА;
- прерывистое подключение сетей;
- частые изменения и сбои в работе каналов.

Более того, разработчикам необходимо гарантировать низкую частоту ошибок пакетов и низкую задержку, чтобы увеличить пропускную способность на этом уровне. Традиционные конструкции уровня MAC используют методы полудуплексной радиосвязи и не поддерживают возможность приема нескольких пакетов (MPR) [15].

При таком виде связи узел БПЛА не может принимать пакеты во время передачи, чтобы избежать конфликта между входящими пакетами. Чтобы решить эту проблему, авторы в [16] предложили схемы MAC для сетей FANET с протоколом на основе токенов, полнодуплексной радиосвязью и MPR. Более конкретно, в этой работе полнодуплексный режим позволял узлам БПЛА получать и передавать пакеты одновременно, а MPR позволял БПЛА получать одновременные пакеты.

Более того, направленная антенна может быть использована для решения некоторых из этих проблем и увеличения дальности связи для сетей FANET. Авторы в [17] предложили адаптивный протокол MAC для сетей FANET, использующих направленные антенны. Они использовали всенаправленную антенну для пакетов управления Request To Send (RTS), Clear To Send (CTS) и Acknowledgment (ACK).

Кроме того, направленная антенна используется для отправки пакетов данных. В [66] авторы представили новый MAC-протокол для сетей FANET, называемый Location Oriented Directional MAC-протоколом (LODMAC). В этом протоколе на уровне MAC использовались направленные антенны и оценка местоположения соседних узлов.

Более того, наряду с пакетами CTS и RTS он использует сигнал занятости для отправки (BTS) в качестве нового управляющего пакета. LODMAC может решить проблему глухоты направленного MAC и превзошел другой адаптивный протокол MAC для сетей FANET, использующих направленные антенны.

5.3 Сетевой уровень

В FANET первоначальные эксперименты были реализованы с использованием существующих протоколов маршрутизации MANET. Протокол маршрутизации MANET можно разделить на шесть основных классов: статические, проактивные, реактивные, гибридные, географические и иерархические протоколы. Протоколы маршрутизации MANET не удовлетворяют всем требованиям сети FANET.

Поэтому существующие протоколы MANET были модифицированы для использования в сети FANET.

Статические протоколы. В этом протоколе информация о маршруте БПЛА загружается в БПЛА до начала его миссии. Во время миссии таблица маршрутизации фиксирована и ее нельзя изменить. Точнее, топология сети БПЛА и информация о маршрутизации не могут быть изменены до завершения миссии БПЛА. Более того, БПЛА необходимо взаимодействовать с другими БПЛА в том же покрытии FANET или с GCS/спутником.

Для обновления таблиц маршрутизации БПЛА ему необходимо дождаться окончания миссии. Следовательно, в протоколе статической маршрутизации нет отказоустойчивости.

Протоколы проактивной маршрутизации (PRP). В этом протоколе каждый узел содержит таблицу, которая используется для хранения всей информации о маршрутизации всех других узлов в FANET.

Таким образом, каждый узел знает все о других узлах и всегда имеет самую свежую информацию о маршрутизации о других узлах в сети. Таким образом, узел отправителя может напрямую выбрать путь к узлу получателя.

С другой стороны, в протоколах такого типа полоса пропускания не может использоваться эффективно, поскольку PRP необходимо обмениваться большим

количеством сообщений между узлами для обновления таблиц маршрутизации. По этой причине PRP не подходит для крупных FANET или сетей с высокой подвижностью и может использоваться только в небольших FANET [19, 20, 21].

Протоколы реактивной маршрутизации (RRP). RRP — это протокол маршрутизации с эффективной полосой пропускания по требованию, используемый в одноранговых сетях, когда между узлами отправителя и получателя нет маршрута.

В RRP маршруты обнаруживаются и поддерживаются по мере необходимости, это уменьшит накладные расходы, возникающие при использовании протоколов упреждающей маршрутизации. Узел-отправитель отвечает за инициирование процесса обнаружения маршрута с узлом-получателем. Таким образом, отправитель заполнит сеть пакетом Route-Request, а после этого пункт назначения ответит на запрос пакетом Route-Reply. Этот процесс позволит снизить энергопотребление, сэкономить пропускную способность сети и решить проблему накладных расходов на маршрутизацию, связанную с протоколами упреждающей маршрутизации.

С другой стороны, для каждого маршрута недостижимого узла необходим процесс поиска. Этот процесс занимает много времени. Следовательно, он будет медленнее, чем проактивные протоколы.

В РРП, существует три ключевых протокола: динамическая маршрутизация источника (DSR) [22], специальный вектор расстояния по требованию [23] и маршрутизация по требованию с временными интервалами [24].

5.4 Транспортный уровень

Из-за изменчивой топологии, разъединений и быстрых изменений в каналах связи между БПЛА в сетях FANET традиционные протоколы транспортного уровня, такие как протокол пользовательских дейтаграмм (UDP) и протокол управления передачей (TCP) с механизмами управления потоками и перегрузкой, не могут быть напрямую реализованы для сетей FANET [25]. Несмотря на свою непригодность, TCP все еще используется в сетях FANET. Это связано с тем, что многие протоколы прикладного уровня, такие как HTTP и FTP, зависят от TCP.

CP — это транспортный протокол, ориентированный на соединение, который обеспечивает надежность и гарантирует упорядоченную доставку пакетов данных. Более того, механизм надежности TCP основан на сквозной повторной передаче, поскольку это снижает пропускную способность сети, потребляет больше энергии и увеличивает задержку передачи. С другой стороны, UDP является ненадежным транспортным протоколом и использует простую модель передачи без установления соединения, которая не гарантирует доставку пакетов.

В настоящее время уровень приложений передает большую часть интернет-трафика по протоколам HTTP и транспортному уровню TCP и UDP [26]. Уровень приложений предназначен для того, чтобы дать возможность программному обеспечению/пользователю получить доступ к сетям через

протоколы транспортного уровня. Например, передача протокола http осуществляется с помощью протоколов транспортного уровня TCP/UDP, а затем доступ к сети осуществляется через сетевой уровень.

Протокол ограниченного приложения (CoAP) (RFC 7252) [27] и передача телеметрии очереди сообщений (MQTT) [28] — это два протокола прикладного уровня, которые можно использовать для

Интернета вещей (IoT) и межмашинного взаимодействия (M2M) в ограниченных условиях. сети, такие как FANET.

Таблица 5.1 – Стэк протоколов обмена сообщениями

Прикладной уровень	CoAP	MQTT
Транспортный уровень	UDP	TCP
Сетевой уровень	6LoWPAN – IPV6 – ICMPv6	
Канальный уровень	IEEE 802.11, IEEE 802.15	
Физический уровень		

6 Эксперимент

Поскольку БПЛА был разработан для доставки полезной нагрузки местным сообществам, терпящим бедствие во время чрезвычайных ситуаций, было разработано исследование, подробно описывающее типичные условия такой миссии, и проведены летные испытания.

Характеристики аппарата:

- Взлётный вес: до 6кг;
- Полезная нагрузка: Медицинский груз, массой до 2кг;
- Скорость полёта: 0- 70км/ч;
- Взлёт/посадка: вертикально;
- Высота полёта: 2 — 1000м;
- Рабочие частоты: 915МГц, 5,8ГГц;
- Системы спутникового позиционирования: GPS, ГЛОНАСС, BEIDOU, GALILEO;
- Размер площадки для взлёта/посадки: 2х2м;
- Диаметр по осям двигателей: 850мм;
- Количество двигателей: 6;
- Тип двигателей: 3-хфазные BLDC;
- Управление: полуавтоматическое, автоматическое (взлёт/посадка, полёт по маршруту);
- Планирование маршрута: через ПК с использованием модема;
- Точность позиционирования — до 0,6м;
- Программное обеспечение: QGroundControl.



Рисунок 6.1 – БПЛА, использованная для эксперимента

Характеристики мотора, использованные во время эксперимента:

- Максимальная мощность: 380Вт;
- Электропитание: LiPo 6S;
- Kv: 380;
- Ток холостого хода: 0.3А@10В;
- Максимальный продолжительный ток: 16А;
- Внутреннее сопротивление: 0.194 Ом;
- Кол-во полюсов: 24;
- Размеры: 44.35x21 мм;
- Размер статора: 40x6 мм.



Рисунок 6.2 – BLDC мотор, использованный для эксперимента

В качестве рамы данного коптера выбрана легкая и прочная конструкция, изготовленная из алюминия и текстолита, которая обеспечивает прочную основу для установки моторов, электроники, аккумуляторов. Силовой каркас изготовлен из стеклотекстолита, винты композитные, углепластиковые. Конструкция отсека полезной нагрузки (полезная нагрузка, сервомеханизм). Серво-привод EMAX ,6В; ESOSA (1,8кг/см, 0,12 сек/600).

Контроллер электродвигателей: TURNIGY Plush 60A.

Пульт управления: FrSky HORUS x10/

Преимущества разработанного коптера:

- Увеличенная полезная нагрузка: крупные БПЛА могут нести более сложное оборудование и большее количество датчиков, что позволяет получать более полезные данные;
- Более долгое время полета: большие БПЛА имеют большую емкость батарей, что позволяет им проводить долгосрочные миссии и собирать данные на больших расстояниях;
- Высокая стабильность: крупные БПЛА более устойчивы к ветровым условиям и могут летать в более разнообразных погодных условиях.

Ограничения для разработанного гексакоптера:

- Менее маневренные: Крупные БПЛА менее маневренны и менее подходят для полетов в ограниченных пространствах;

– Большой размер:

Их размер может быть недостаточно удобным для некоторых миссий, особенно в плотно застроенных городских районах.

Механизм рычажного типа на базе сервомашины расположен в нижней части БПЛА. В штатном режиме замок должен срабатывать по команде оператора. В режиме максимальной мощности связного бортового передатчика БПЛА (примерно 1W), расположенного рядом, сервомотор с рычагом и шток замка переходит в автоколебательный паразитный режим, в результате шток недостаточно фиксирует груз [30].

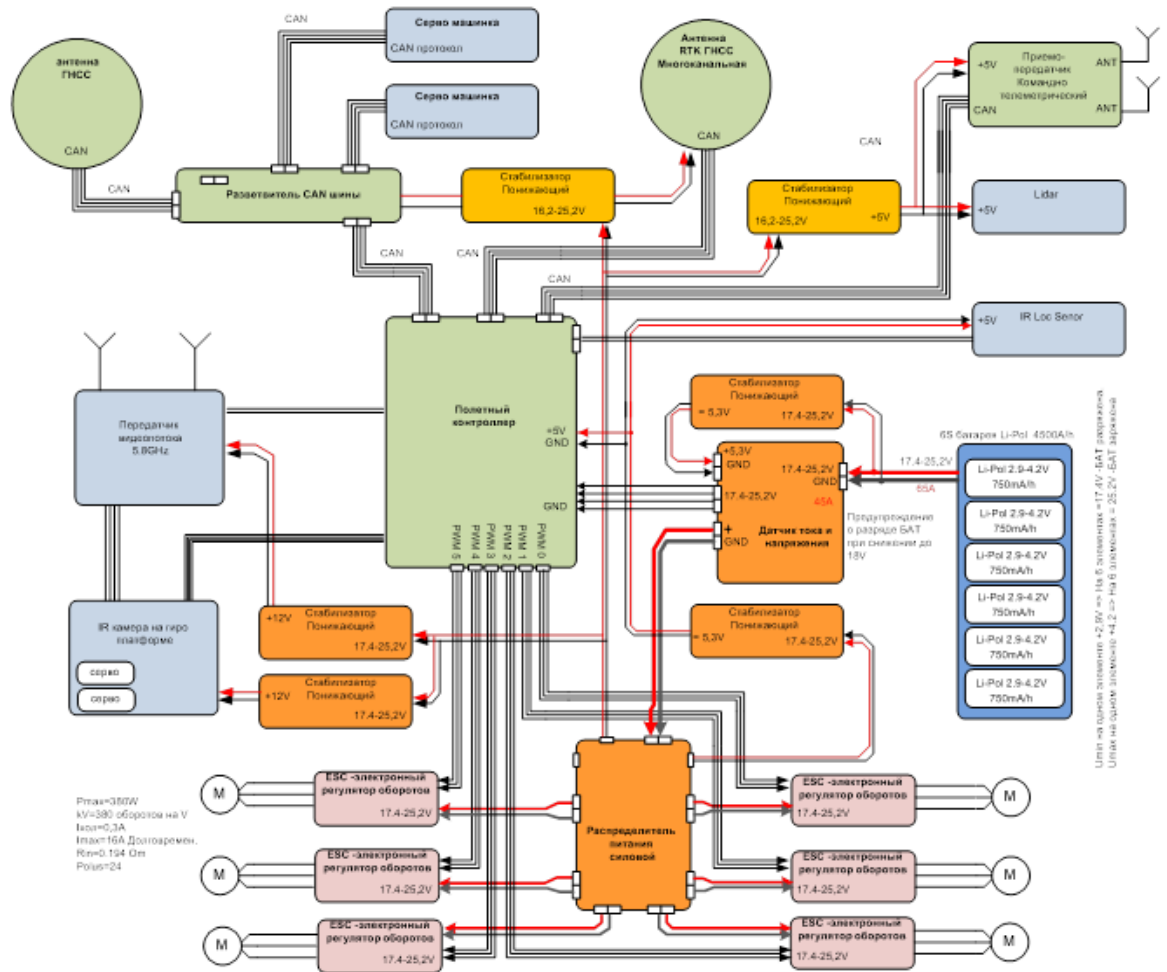


Рисунок 6.3 – Схема подключения компонентов БПЛА

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные выше характеристики показывают, что беспилотные летательные аппараты способны выполнять множество важных задач, таких как преодоление необходимого расстояния с полезной нагрузкой, сокращение времени доставки жизненно важных предметов и обеспечение необходимых медицинских материалов для врачей и пациентов. В ближайшем будущем будут наблюдаться глобальные тенденции по поставке медицинских препаратов, расходных материалов и других жизненно важных компонентов с помощью беспилотных летательных аппаратов. В настоящее время несколько десятков проектов по всему миру используют БПЛА для доставки медицинских товаров нуждающимся людям.

Данная работа предоставляет детальное объяснение теоретических моделей компонентов БПЛА для доставки лекарств. В частности, структура каркаса БПЛА, представленная в секции 2; система управления мотора пропеллеров аппарата в секции 3; схема работы GPS навигации, обязательной для доставки лекарств в секции 4; стек протоколов коммуникации систем в секции 5. Данная работа включает в себя математическую модель системы управления BLDC мотора в Matlab Simulink. Так же описываются характеристики настоящего аппарата, использованного для эксперимента доставки лекарств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 R. M. Alvarado, A. Sanchez-Orta, F. J. Ruiz-Sánchez, O. G. Salazar, Dynamic Response of BLDC-Thruster for Small Scale Quadrotors under Aerodynamic Load Torque, Power, Electronics and Computing (ROPEC), 2014 IEEE International Autumn Meeting, November 2014.
- 2 [Электронный ресурс] BLDC Current Controller with PWM Generation, Ссылка:<https://docs.exponenta.ru/phymod/sps/ref/bldccurrentcontrollerwithpwmgeneration.html>
- 3 D. W. Novotny and T. A. Lipo, Vector Control and Dynamics of AC Drives, Oxford, Clarendon Press, p.213, 1996.
- 4 R. Krishnan, Electric Motor Drives: Modelling Analysis and Control, New Jersey, Prentice Hall, pp. 577-614, 2001.
- 5 J. Seddon, Basic Helicopter Aerodynamics, London, BSP Professional Books, pp. 5-8, 23-36, 1990.
- 6 B.W. McCormick, Aeronautics and Flight Mechanics, John Wiley and Sons, USA, 1995.
- 7 J G. Leishman, Principles of Helicopter Aerodynamics, Cambridge University Press, USA, 2006.
- 8 C.P. Singh, SS Kulkarni, S. C. Rana, Kapil Deo, State-Space Based Simulink Modelling of BLDC Motor and its Speed Control using Fuzzy PID Controller, International Journal of Advances in Engineering Science and Technology, V2 No3, pp 359-369, 2013.
- 9 A. H. Sawalmeh, N. S. Othman, An overview of collision avoidance approaches and Network architecture of unmanned aerial vehicles (UAVs), Department of Electrical and Electronics Engineering, Universiti Tenaga Nasional, 43000 Selangor, Malaysia, 26 Mar 2021.
- 10 Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, “Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges,” IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 5, pp. 36–42, (2016).
- 11 M. H. Tareque, M. S. Hossain, and M. Atiquzzaman, “On the routing in flying ad-hoc networks,” in Federated Conference on Computer Science and Information Systems. IEEE, (2015), pp. 1–9.
- 12 I.W. Group et al., “Part11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications,” ANSI/IEEE Std. 802.11, (1999).
- 13 Y. Gu, M. Zhou, S. Fu, and Y. Wan, “Airborne WiFi networks through directional antennae: An experimental study,” in IEEE Wireless Communications and Networking Conference. IEEE, (2015), pp. 1314–1319.
- 14 I. Jawhar, N. Mohamed, J. Al-Jaroodi, D. P. Agrawal, and S. Zhang, “Communication and networking of uav-based systems: Classification and associated architectures,” Journal of Network and Computer Applications, (2017).
- 15 T. D. Ho, J. Park, and S. Shimamoto, “QoS constraint with prioritized frame selection CDMA MAC protocol for WSN employing UAV,” in IEEE GLOBECOM Workshops. IEEE, (2010), pp. 1826–1830. 22

- 16 Y. Cai, F. R. Yu, J. Li, Y. Zhou, and L. Lamont, "Medium access control for unmanned aerial vehicle (UAV) ad-hoc networks with full-duplex radios and multipacket reception capability," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 62, no. 1, pp. 390–394, (2013).
- 17 A. I. Alshbatat and L. Dong, "Adaptive MAC protocol for UAV communication networks using directional antennas," in *International Conference on Networking, Sensing and Control*. IEEE, (2010), pp. 598–603.
- 18 S. Temel and I. Bekmezci, "Lodmac: Location oriented directional MAC protocol for fanets," *Computer Networks*, vol. 83, pp. 76–84, (2015).
- 19 T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized link state routing protocol (olsr)," *Tech. Rep.*, (2003).
- 20 C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers," in *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 24, no. 4. ACM, (1994), pp. 234–244.
- 21 A. I. Alshbatat, L. Dong, J. Li, and F. Yang, "Low latency routing algorithm for unmanned aerial vehicles ad-hoc networks," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 48–54, (2010).
- 22 D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," *Mobile computing*, pp. 153–181, (1996).
- 23 S. Murthy and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An efficient routing protocol for wireless networks," *Mobile Networks and applications*, vol. 1, no. 2, pp. 183–197, (1996).
- 24 J. H. Forsmann, R. E. Hiromoto, and J. Svoboda, "A time-slotted on-demand routing protocol for mobile ad hoc unmanned vehicle systems," in *Proceedings SPIE*, vol. 6561, *Unmanned Systems Technology IX*, (2007), p. 65611.
- 25 Z. Fu, H. Luo, P. Zerfos, S. Lu, L. Zhang, and M. Gerla, "The impact of multihop wireless channel on TCP performance," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 4, no. 2, pp. 209–221, (2005).
- 26 A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of things for smart cities," *IEEE Internet of Things journal*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, (2014).
- 27 Z. Shelby, K. Hartke, and C. Bormann, "The constrained application protocol (CoAP)," (2014).
- 28 A. Banks and R. Gupta, "MQTT version 3.1. 1," *OASIS standard*, vol. 29, (2014).
- 29 A. Corsaro, C. Parisi, C. Rotay, *EMC design guides for motor control applications*, STMicroelectronics AN4694, June 2015
- 30 S. Yeong, L. King, and S. Dol, "A review on marine search and rescue operations using unmanned aerial vehicles," *Int. J. Mech. Aerosp. Ind. Mech. Manuf. Eng*, vol. 9, no. 2, pp. 396–399, 2015.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Турдиева Камила Рашидиновна

Специальность 6В06201 – Телекоммуникация

«Система управления на гексакоптере, для доставки малогабаритных грузов в условиях малоэтажной застройки»

Дипломная работа построена следующим образом: введение, обзор разных видов БПЛА, БПЛА для доставки лекарств. Структура гексокоптера. Система контроля. выводы, список литературы.

Использование беспилотных летательных аппаратов в целях доставки лекарств, вакцин и образцы биоматериала. Преимущество БПЛА перед другими летательными аппаратами состоит в том, что он дешев, компактен и не нуждается в специальных площадках для взлета и посадки. Более того, они могут освобождаться от груза, вообще не приземляясь - посылка опускается на землю с помощью троса.

В первой главе проводится обзор видов БПЛА для доставки лекарств. Приводятся примеры различных стран.

Во второй главе подробно рассмотрена Структура гексокоптера.

В третьей главе исследуются Система контроля. Структура мотора БПЛА. Принцип работы BLDC и Математическая модель BLDC двигателя в Matlab.

В четвертой главе рассматриваются вопросы GPS Навигация, GPS Сообщения.

В пятой главе рассмотрены вопросы Системы коммуникации.

В шестой главе описан Эксперимент.

Основные выводы содержатся в заключении.

Дипломная работа Турдиева Камила Рашидиновна может быть рекомендована к защите с присвоением ей академической степени бакалавра по образовательной программе 6В06201 – «Телекоммуникация» и оценивается на оценку 95 (отлично).

Научный руководитель:
ассоц-профессор, к.т.н



Дар Дараев А.М.

« 29 » 05

2024 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

РЕЦЕНЗИЯ

На дипломную работу

Турдиева Камила Рашидиновна

Специальность 6В06201 – Телекоммуникация

На тему: «Система управления на гексакоптере, для доставки малогабаритных грузов в условиях малоэтажной застройки»

Выполнено:

- а) теоретическая часть на 27 листах
- б) практическая часть на 6 листах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Целью работы является исследование БПЛА с шестью роторами для доставки малогабаритных грузов.

В работе предоставлены:

- Синтез системы управления гексакоптера для доставки лекарств в условиях сельской местности;
- Структура двигателя гексакоптера для доставки лекарств;
- Система управления гексакоптера по GPS;
- Обеспечение ЭМС гексакоптера в условиях сельской местности

Оценка работы

Считаю, что дипломная работа выполнена на «92», а студентка Турдиева Камила заслуживает присвоения академической степени бакалавра по специальности 6В06201 – Телекоммуникация.

Рецензент PhD, и.о доцент
Казахского национального университета
имени аль-Фараби

«30» 05 2024 г.



Омаров Б. С.



Кучаев



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Турдиева Камила Рашидиновна

Тақырыбы: Система управления на гексакоптере, для доставки малогабаритных грузов в условиях малоэтажной застройки

Жетекшісі: Абдумажит Дараев

1-ұқсастық коэффициенті (30): 7.4

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.6

Дәйексөз (35): 0.8

Әріптерді ауыстыру: 3

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 3

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

30.05.2024.
Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Турдиева Камила Рашидиновна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Система управления на гексакоптере, для доставки малогабаритных грузов в условиях малоэтажной застройки

Научный руководитель: Абдумажит Дараев

Коэффициент Подобия 1: 7.4

Коэффициент Подобия 2: 1.6

Микропробелы: 3

Знаки из здругих алфавитов: 3

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

30.05.2024

Дата

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Турдиева Камила Рашидиновна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Система управления на гексакоптере, для доставки малогабаритных грузов в условиях малоэтажной застройки

Научный руководитель: Абдумажит Дараев

Коэффициент Подобия 1: 7.4

Коэффициент Подобия 2: 1.6

Микропробелы: 3

Знаки из других алфавитов: 3

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

30.05.2024
Дата

Маржукен С.
проверяющий эксперт