|  |  |
| --- | --- |
| Gerb-BMSTU_01 | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

Информатика и системы управления

ФАКУЛЬТЕТ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Информационные системы и телекоммуникации

КАФЕДРА \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

**К КУРСОВОЙ РАБОТЕ**

**НА ТЕМУ:**

Стабилизатор частоты вращения коллекторного электродвигателя **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_***

*группы ИУ3-64Б*

***\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_***

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

(Группа) (Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Руководитель курсовой работы **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

*Н.С. Бульчук*

*Н.С. Бульчук*

*Н.С. Бульчук*

Москва, 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

[Введение 4](#_Toc102599164)

[1 Исследовательский раздел 6](#_Toc102599165)

[1.1 Анализ требований 6](#_Toc102599166)

[1.2 Описание предметной области 6](#_Toc102599167)

[1.2.1 Коллекторные электродвигатели постоянного тока 6](#_Toc102599168)

[1.2.1.1 Конструкция коллекторного электродвигателя постоянного тока 6](#_Toc102599169)

[1.2.2 Принцип работы коллекторного двигателя. Типы коллекторных электродвигателей 7](#_Toc102599170)

[1.2.2.1 Коллекторный двигатель с постоянными магнитами 7](#_Toc102599171)

[1.2.2.2 Коллекторный двигатель с обмотками возбуждения 8](#_Toc102599172)

[1.2.2.3 Двигатели независимого и параллельного возбуждения 9](#_Toc102599173)

[1.2.2.4 Двигатель последовательного возбуждения 10](#_Toc102599174)

[1.2.2.5 Двигатель смешанного возбуждения 12](#_Toc102599175)

[1.2.3 Характеристики коллекторного электродвигателя постоянного тока 12](#_Toc102599176)

[1.2.4 Основные параметры электродвигателя постоянного тока. Постоянная момента 13](#_Toc102599177)

[1.2.5 Датчики Холла для контроля частоты вращения коллекторных электродвигателей 13](#_Toc102599178)

[1.2.6 Основы регулирования и стабилизации частоты вращения коллекторных электродвигателей на основе широтно-импульсной модуляции 17](#_Toc102599179)

[1.3 Выбор и обоснование технического решения 18](#_Toc102599180)

[1.3.1 Структурная схема 18](#_Toc102599181)

[1.3.2 Функциональная схема 19](#_Toc102599182)

[1.4 Вывод 19](#_Toc102599183)

[2 Конструкторский раздел 20](#_Toc102599184)

[2.1 Выбор компонентов 20](#_Toc102599185)

[2.1.1 Выбор датчика Холла 20](#_Toc102599186)

[2.1.2 Выбор элементов схемы регулирования и стабилизации частоты вращения коллекторного электродвигателя 22](#_Toc102599187)

[2.2 Разработка схемы принципиальной электрической 23](#_Toc102599188)

[2.2.1 Разработка схемы 23](#_Toc102599189)

[2.2.2 Моделирование элементов схемы 23](#_Toc102599190)

[2.2.3 Расчет погрешности стабилизации частоты вращения КЭ 23](#_Toc102599191)

[Заключение 24](#_Toc102599192)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ 25](#_Toc102599193)

[Приложение А 26](#_Toc102599194)

## Введение

Электродвигатель постоянного тока (ДПТ) представляют собой механизм, преобразующий поступающую на него электрическую энергию в механическое вращение [1…6]. Работа агрегата базируется на явлении электромагнитной индукции - на проводник, помещенный в магнитное поле, действует сила Ампера: F = B\*I\*L, где L - длина проводника, I - ток, протекающий по проводнику, B - индукция магнитного поля. Данная сила обуславливает возникновение крутящего момента, который может быть использован для неких практических целей.

Электродвигатели постоянного тока обладают следующими преимуществами:

* Практически линейные регулировочные и механические характеристики, благодаря чему обеспечивается удобство эксплуатации.
* Большая величина пускового момента.
* Компактные размеры (особенно сильно выражено у двигателей на постоянных магнитах).
* Возможность использования одного и того же механизма как в режиме двигателя, так и генератора.
* КПД при полной нагрузке, как правило, выше на 1–2% чем у асинхронных и синхронных машин, а при неполной нагрузке преимущество может возрастать до 15%.

Основным недостатком данных устройств является высокая цена их изготовления. Также стоит отметить необходимость регулярного обслуживания коллекторно-щеточного узла и определенное ограничение срока эксплуатации, вызванные его износом, однако на современных моделях эти недостатки практически полностью нивелированы.

Стоит отметить, что механическая характеристика, а значит, и все эксплуатационные показатели во многом зависят от схемы подключения обмотки возбуждения и схемы стабилизации частоты вращения электродвигателя при изменении нагрузки на валу, на основе системы ШИМ, при заданной частоте вращения.

Несмотря на то, что подавляющее большинство электрических сетей обеспечивают переменное напряжение, электродвигатели постоянного тока используются весьма и весьма широко. Собственно говоря, все промышленные приводы, где требуется точная регулировка частоты вращения, реализованы именно на базе ДПТ. Кроме того, электрические машины на постоянных магнитах благодаря своей эффективности и большой плотности мощности широко используются в оборонительной отрасли, в частности в малогабаритных дронах разведовательного и боевого применения. Впрочем, не стоит думать, что вы не сталкивались вживую с данными механизмами. Отсутствие жестких ограничений по размерам приводит к тому, что мы зачастую их не замечаем. Например, в автомобилестроении используются только электродвигатели постоянного тока, причем, несмотря на различие в мощности, на всем грузовом транспорте и спецтехнике они запитаны от 24 вольт, в то время как на легковых автомобилях их рабочее напряжение составляет 12 вольт. Получая энергию от аккумуляторной батареи или генератора, они отвечают за позиционирование сидений, управление зеркалами, поднятие и опускание стекол, а также поддержание в салоне заданной температуры.

Впрочем, электродвигатели постоянного тока могут и сами приводить в движение транспортные средства, и это далеко не только игрушечные автомобили-аттракционы с 12-вольтным аккумулятором. Для того чтобы ощутить, насколько мощными могут быть эти устройства, достаточно оказаться вблизи проходящей мимо пригородной электрички, а мягкость и точность регулировки оборотов наглядно демонстрирует плавный разгон троллейбусов.

В настоящей курсовой работе и предложено, согласно задания, разработать систему стабилизации установленной частоты вращения коллекторного электродвигателя постоянного тока на основе ШИМ (широтно-импульсной модуляции), с обратной связью (изменения частоты вращения электродвигателя) на основе датчиков Холла. Что является актуальной задачей для решения.

## **1 Исследовательский раздел**

## 1.1 Анализ требований

Основным требованием технического задания является разработка

«Стабилизатора частоты вращения коллекторного электродвигателя постоянного тока 12 В с датчиком частоты вращения на основе эффекта Холла».

В результате проектирования требуется:

* описать принцип действия всех элементов и устройства в целом;
* разработать и описать структурную схему устройства;
* разработать и описать функциональную схему устройства;
* разработать принципиальную схему и перечень элементов;
* выполнить анализ полученных результатов.

## Описание предметной области

## Коллекторные электродвигатели постоянного тока

**Коллекторный электродвигатель постоянного тока** - [вращающаяся электрическая машина](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/electricmachine/" \l "rotating_machine) [постоянного тока](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/dcmotor/), преобразующая электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию, у которой хотя бы одна из обмоток, участвующих в основном процессе преобразования энергии, соединена с [коллектором](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "commutator) [1…5].

## 1.2.1.1 Конструкция коллекторного электродвигателя постоянного тока

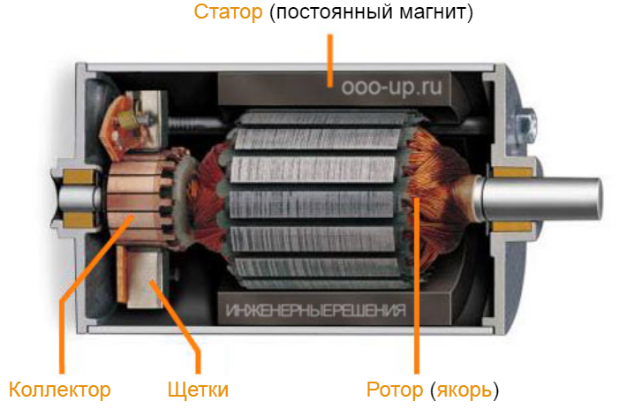


Рисунок 1 - Электродвигатель постоянного тока с постоянными магнитами в разрезе

**Ротор -** вращающаяся часть [электрической машины](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/electricmachine/).

**Статор** - неподвижная часть двигателя.

**Индуктор -** система возбуждения) – часть [коллекторной машины](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/motor/" \l "brush) постоянного тока или [синхронной машины](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/synchronous/), создающая магнитный поток для образования момента. Идуктор обязательно включает либо постоянные магниты, либо обмотку возбуждения. Индуктор может быть частью как ротора, так и статора. В двигателе, изображенном на рис.1, система возбуждения состоит из двух постоянных магнитов и входит в состав статора.

**Якорь** – часть [коллекторной машины](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/motor/" \l "brush) постоянного тока или [синхронной машины](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/synchronous/), в которой индуктируется электродвижущая сила и протекает ток нагрузки [[2]](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "2). В качестве якоря может выступать как ротор, так и статор. В двигателе, показанном на рис.1, ротор является якорем.

**Щётки** - часть электрической цепи, по которой от источника питания электрический ток передается к якорю. Щетки изготавливаются из графита или других материалов. Двигатель постоянного тока содержит одну пару щеток или более. Одна из двух щеток соединяется с положительным, а другая - с отрицательным выводом источника питания.

**Коллектор** - часть двигателя, контактирующая со щетками. С помощью щеток и коллектора электрический ток распределяется по катушкам обмотки якоря [[1]](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "1).

## 1.2.2 [Принцип работы коллекторного двигателя](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/motor/" \l "principle). Типы коллекторных электродвигателей

По конструкции статора коллекторный двигатель может быть [с постоянными магнитами](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "pmdc) и [с обмотками возбуждения](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "wound_stator).

## 1.2.2.1 Коллекторный двигатель с постоянными магнитами

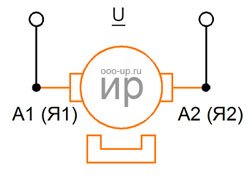


Рисунок 2 - Схема коллекторного двигателя с постоянными магнитами

Коллекторный двигатель постоянного тока (КДПТ) с постоянными магнитами является наиболее распространенным среди КДПТ. [Индуктор](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "inductor) этого двигателя включает постоянные магниты, которые создают магнитное поле статора. Коллекторные двигатели постоянного тока с постоянными магнитами (КДПТ ПМ) обычно используются в задачах не требующих больших мощностей. КДПТ ПМ дешевле в производстве, чем коллекторные двигатели с обмотками возбуждения. При этом момент КДПТ ПМ ограничен полем постоянных магнитов статора. КДПТ с постоянными магнитами очень быстро реагирует на изменение напряжения. Благодаря постоянному полю статора легко управлять скоростью двигателя. Недостатком электродвигателя постоянного тока с постоянными магнитами является то, что со временем магниты теряют свои магнитные свойства, в результате чего уменьшается поле статора и снижаются характеристики двигателя.

**Преимущества:**

* лучшее соотношение цена/качество
* высокий момент на низких оборотах
* быстрый отклик на изменение напряжения

**Недостатки:**

* постоянные магниты со временем, а также под воздействием высоких температур теряют свои магнитные свойства

## 1.2.2.2 Коллекторный двигатель с обмотками возбуждения

По схеме подключения обмотки статора коллекторные электродвигатели с обмотками возбуждения разделяют на двигатели:

* [независимого возбуждения](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "separately_excited" \o "Коллекторный двигатель постоянного тока независимого возбуждения)
* [последовательного возбуждения](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "swdc" \o "Коллекторный двигатель постоянного тока последовательного возбуждения)
* [параллельного возбуждения](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "shwdc" \o "Коллекторный двигатель постоянного тока параллельного возбуждения)
* [смешанного возбуждения](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "cwdc" \o "Коллекторный двигатель постоянного тока смешанного возбуждения)

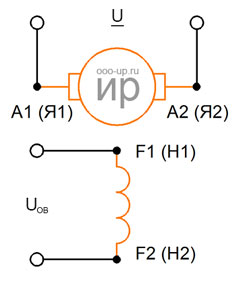


Рисунок 3 - Схема независимого возбуждения

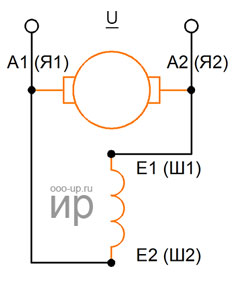


Рисунок 4 - Схема параллельного возбуждения

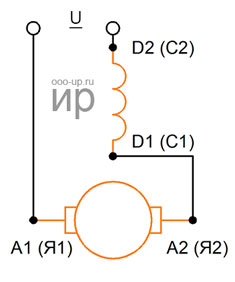


Рисунок 5 - Схема последовательного возбуждения

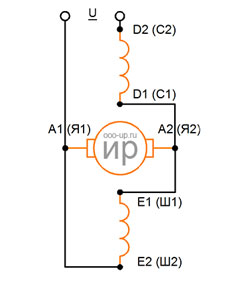


Рисунок 6 - Схема смешанного возбуждения

## 1.2.2.3 Двигатели независимого и параллельного возбуждения

В электродвигателях независимого возбуждения обмотка возбуждения электрически не связана с обмоткой [якоря](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "armature) (рис.3). Обычно напряжение возбуждения UОВ отличается от напряжения в цепи якоря U. Если же напряжения равны, то обмотку возбуждения подключают параллельно обмотке якоря. Применение в электроприводе двигателя независимого или параллельного возбуждения определяется схемой электропривода. Свойства (характеристики) этих двигателей одинаковы [[3]](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "3).

В двигателях параллельного возбуждения токи обмотки возбуждения (индуктора) и якоря не зависят друг от друга, а полный ток двигателя равен сумме тока обмотки возбуждения и тока якоря. Во время нормальной работы, при увеличении напряжения питания увеличивается полный ток двигателя, что приводит к увеличению полей статора и ротора. С увеличением полного тока двигателя скорость так же увеличивается, а момент уменьшается. При нагружении двигателя ток якоря увеличивается, в результате чего увеличивается поле якоря. При увеличении тока якоря, ток индуктора (обмотки возбуждения) уменьшается, в результате чего уменьшается поле индуктора, что приводит к уменьшению скорости двигателя, и увеличению момента.

**Преимущества:**

* практически постоянный момент на низких оборотах
* хорошие регулировочные свойства
* отсутствие потерь магнетизма со временем (так как нет постоянных магнитов)

**Недостатки:**

* дороже КДПТ ПМ
* двигатель выходит из-под контроля, если ток индуктора падает до нуля.

Коллекторный электродвигатель параллельного возбуждения имеет [механическую характеристику](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "characteristic) с уменьшающимся моментом на высоких оборотах и высоким, но более постоянным моментом на низких оборотах. Ток в обмотке индуктора и якоря не зависит друг от друга, таким образом, общий ток электродвигателя равен сумме токов индуктора и якоря. Как результат данный тип двигателей имеет отличную характеристику управления скоростью. Коллекторный двигатель постоянного тока с параллельной обмоткой возбуждения обычно используется в приложениях, которые требуют мощность больше 3 кВт, в частности в автомобильных приложениях и промышленности. В сравнении с [КДПТ ПМ](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "pmdc" \o "Коллекторный двигатель постоянного тока с постоянными магнитами), двигатель параллельного возбуждения не теряет магнитные свойства со временем и является более надежным. Недостатками двигателя параллельного возбуждения являются более высокая себестоимость и возможность выхода двигателя из-под контроля, в случае если ток индуктора снизится до нуля, что в свою очередь может привести к поломке двигателя [[5]](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "5).

## 1.2.2.4 Двигатель последовательного возбуждения

В электродвигателях последовательного возбуждения обмотка возбуждения включена последовательно с обмоткой якоря, при этом ток возбуждения равен току якоря (Iв=Iа), что придает двигателям особые свойства. При небольших нагрузках, когда ток якоря меньше номинального тока (Iа<Iном) и магнитная система двигателя не насыщена (Ф~Iа), электромагнитный момент пропорционален квадрату тока в обмотке якоря:

M = cm∙Ф∙Ia = c'm∙Ia^2,

где

M – [момент электродвигателя](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/motor/" \l "torque), Н∙м,

сМ – постоянный коэффициент, определяемый конструктивными параметрами двигателя,

Ф – основной магнитный поток, Вб,

Ia – ток якоря, А.

С ростом нагрузки магнитная система двигателя насыщается и пропорциональность между током Iа и магнитным потоком Ф нарушается. При значительном насыщении магнитный поток Ф с ростом Iа практически не увеличивается. График зависимости M=f(Ia) в начальной части (когда магнитная система не насыщена) имеет форму параболы, затем при насыщении отклоняется от параболы и в области больших нагрузок переходит в прямую линию [[3]](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "3).

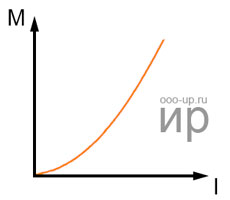


Рисунок 7 - Рабочая характеристика двигателя

последовательного возбуждения

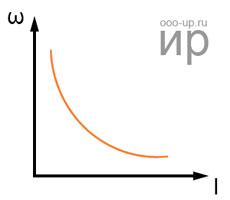


Рисунок 8 - Электромеханическая характеристика двигателя

последовательного возбуждения

**Важно:** Недопустимо включать двигатели последовательного возбуждения в сеть в режиме холостого хода (без нагрузки на валу) или с нагрузкой менее 25% от номинальной, так как при малых нагрузках частота вращения якоря резко возрастает, достигая значений, при которых возможно механическое разрушение двигателя, поэтому в приводах с двигателями последовательного возбуждения недопустимо применять ременную передачу, при обрыве которой двигатель переходит в режим холостого хода. Исключение составляют двигатели последовательного возбуждения мощностью до 100—200 Вт, которые могут работать в режиме холостого хода, так как их мощность механических и магнитных потерь при больших частотах вращения соизмерима с номинальной мощностью двигателя.

Способность двигателей последовательного возбуждения развивать большой электромагнитный момент обеспечивает им хорошие пусковые свойства.

**Преимущества:**

* высокий момент на низких оборотах;
* отсутствие потерь магнетизма со временем.

**Недостатки:**

* низкий момент на высоких оборотах;
* дороже [КДПТ ПМ](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "pmdc" \o "коллекторного двигателя постоянного тока с постоянными магнитами);
* плохая управляемость скоростью из-за последовательного соединения обмоток якоря и индуктора;
* двигатель выходит из-под контроля, если ток индуктора падает до нуля.

Коллекторный двигатель последовательного возбуждения имеет высокий момент на низких оборотах и развивает высокую скорость при отсутствии нагрузки. Данный электромотор идеально подходит для устройств, которым требуется развивать высокий момент (краны и лебедки), так как ток и статора, и ротора увеличивается под нагрузкой. В отличии от [КДПТ ПМ](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "pmdc" \o "коллекторных электродвигателей постоянного тока с постоянными магнитами) и двигателей параллельного возбуждения двигатель последовательного возбуждения не имеет точной характеристики контроля скорости, а в случае короткого замыкания обмотки возбуждения он может стать не управляемым.

## 1.2.2.5 Двигатель смешанного возбуждения

Двигатель смешанного возбуждения имеет две обмотки возбуждения, одна из них включена параллельно обмотке якоря, а вторая последовательно. Соотношение между намагничивающими силами обмоток может быть различным, но обычно одна из обмоток создает большую намагничивающую силу, и эта обмотка называется основной, вторая обмотка называется вспомогательной. Обмотки возбуждения могут быть включены согласовано и встречно, и соответственно магнитный поток создается суммой или разностью намагничивающих сил обмоток. Если обмотки включены согласно, то характеристики скорости такого двигателя располагаются между характеристиками скорости двигателей параллельного и последовательного возбуждения. Встречное включение обмоток применяется, когда необходимо получить неизменную скорость вращения или увеличение скорости вращения с увеличением нагрузки. Таким образом, рабочие характеристики двигателя смешанного возбуждения приближаются к характеристикам двигателя параллельного или последовательного возбуждения, смотря по тому, какая из обмоток возбуждения играет главную роль [[4]](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "4).

**Преимущества:**

* хорошие регулировочные свойства;
* высокий момент на низких оборотах;
* менее вероятен выход из-под контроля;
* отсутствие потерь магнетизма со временем.

**Недостатки:**

* дороже других коллекторных двигателей.

Двигатель смешанного возбуждения имеет эксплуатационные характеристики двигателей с параллельным и последовательным возбуждением. Он имеет высокий момент на низких оборотах, так же как двигатель последовательного возбуждения и хороший контроль скорости, как двигатель параллельного возбуждения. Двигатель смешанного возбуждения идеально подходит для устройств автомобилей и промышленности (таких как генераторы). Выход двигателя смешанного возбуждения из-под контроля менее вероятен, так как для этого ток параллельной обмотки возбуждения должен уменьшиться до нуля, а последовательная обмотка возбуждения должна быть закорочена.

## 1.2.3 Характеристики коллекторного электродвигателя постоянного тока

Эксплуатационные свойства двигателей постоянного тока определяются их рабочими, электромеханическими и [механическими характеристиками](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/motor/" \l "torque_speed_curve), а также регулировочными свойствами.

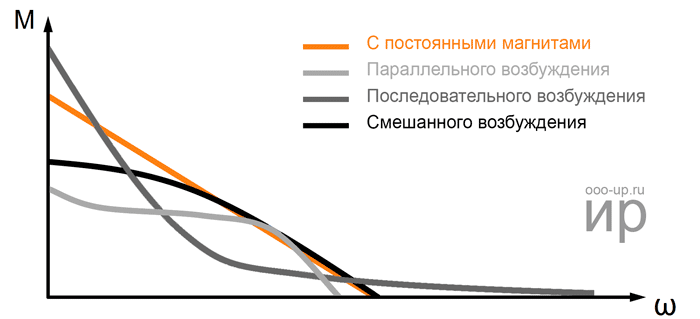


Рисунок 9 - Механические характеристики коллекторных

двигателей постоянного тока

## 1.2.4 Основные параметры электродвигателя постоянного тока. Постоянная момента

Для коллекторного электродвигателя постоянного тока [постоянная момента](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/dcmotor/" \l "torque_constant) определяется по формуле:

https://engineering-solutions.ru/files/images/motor/knowledge/m22.png,

где

Z - суммарное число проводников,

Ф – магнитный поток, Вб [[1]](https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/" \l "1)

## 1.2.5 Датчики Холла для контроля частоты вращения коллекторных электродвигателей

***Принцип действия датчика Холла***

Интегральные датчики магнитного поля в своём большинстве используют эффект Холла, открытый американским физиком Эдвином Холлом (E. Hall) в 1879 г. Эффект Холла состоит в следующем рис.10 [7].

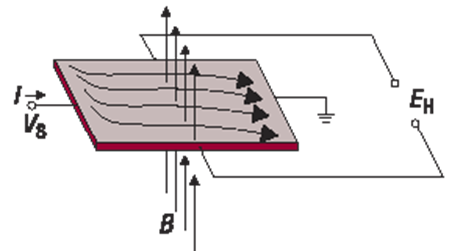


Рисунок 10 – Иллюстрация эффекта Холла

Если проводник с током помещён в магнитное поле, то возникает э.д.с., направленная перпендикулярно и току, и полю. Эффект Холла иллюстрируется на рис.10. По тонкой пластине полупроводникового материала протекает ток ***I***. При наличии магнитного поля на движущиеся носители заряда (электроны) действует сила Лоренца. Эта сила искривляет траекторию движения электронов, что приводит к перераспределению объёмных зарядов в полупроводниковой пластине. Вследствие этого на краях пластины, параллельных направлению протекания тока, возникает э.д.с., называемая э.д.с. Холла. Эта э.д.с. пропорциональна векторному произведению индукции ***B*** на плотность тока ***j***:

https://gearmotor.ru/publics_img/hall-frml1.gif

где ***d*** – ширина пластины, ***q*** – заряд частицы-носителя, ***n*** – концентрация носителей. При снижении концентрации носителей э.д.с. Холла возрастает, поэтому в качестве материала для датчиков Холла предпочтительно использование таких полупроводников, как кремний, арсенид галлия и др. Для прямоугольной пластины с однородными током и магнитным полем, направленными, как показано на рис.10, эта э.д.с. равна

https://gearmotor.ru/publics_img/hall-frml2.gif

где ***kн*** – постоянная Холла, ***VS*** – напряжение, создаваемое на токоподводящих выводах датчика Холла. Для кремния ***kн*** составляет величину порядка 70 мВ/(В\*Тл), поэтому, как правило, э.д.с. датчика Холла требуется усиливать. Кремний обладает тензорезистивным эффектом, заключающимся в изменении сопротивления при механических напряжениях. Желательно уменьшить это влияние в датчике Холла. Это достигается соответствующей ориентацией элемента Холла на интегральной схеме и использованием нескольких элементов на кристалле.

тока ***j***:

https://gearmotor.ru/publics_img/hall-frml1.gif

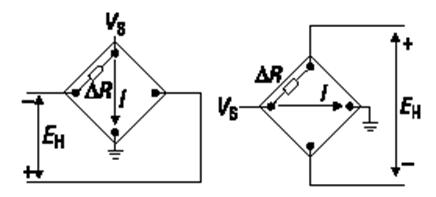


Рис.11 Расположение двух элементов Холла на ИМС, компенсирующее ошибку, вызванную механической деформацией кристалла

На рис.11 показаны два элемента Холла, расположенные рядом на кристалле ИМС. Они позиционированы так, что испытывают практически одинаковое механическое напряжение, вызывающее изменение ***R***. К элементу, который на рисунке изображён слева, приложено напряжение возбуждения ***VS***, направленное по вертикальной оси, а к изображённому справа – по горизонтальной. При сложении сигналов этих двух датчиков ошибка, вызванная деформацией кристалла, компенсируется.

Датчики Холла являются основой многих типов датчиков, таких как датчики линейного или углового перемещения, датчики магнитного поля, датчики тока, датчики расхода и др. Удобство бесконтактного срабатывания (полное отсутствие механического износа), низкая стоимость, простота использования делают их незаменимыми в приборостроении, автомобильной, авиационной и других отраслях промышленности. Интегральные датчики Холла производят такие фирмы, как Honeywell, Melexis, Allegro Microsystems, Micronas Intermetall, Siemens, Analog Devices и др.

Первая группа интегральных датчиков Холла - это линейные устройства, применяющиеся в измерителях напряжённости магнитного поля. Как правило, эти устройства содержат схемы усиления сигнала датчика. Необходимая предварительная обработка сигнала обычно заключается в усилении и температурной компенсации. Может понадобиться также стабилизация питающего напряжения. При отсутствии магнитного поля выходное напряжение датчика должно быть равно нулю, поэтому требуется дифференциальный усилитель (рис.12).

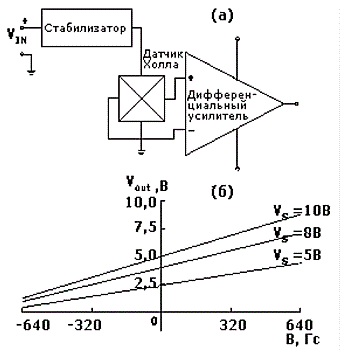


Рисунок 12 Схема ИМС линейного датчика Холла (а)

и график его характеристики преобразования (б)

Современные технологии позволяют ввести в состав ИМС датчиков магнитного поля сложные цифровые системы обработки информации. Примером такой ИМС может служить HAL805 фирмы Micronas Intermetall, содержащий на кристалле в трёхвыводном корпусе ТО92 АЦП, ЦАП, ЦПС и энергонезависимую память.

Такая структура позволяет программировать чувствительность и смещение датчика, осуществлять фильтрацию помех и механических возмущений. Вторая группа включает в себя микросхемы компараторного типа с логическими уровнями напряжения на выходе. Эта группа более многочисленна в силу большего числа возможных применений. Микросхемы с логическим выходом (рис.13а) делятся на две подгруппы: переключатели и триггеры.

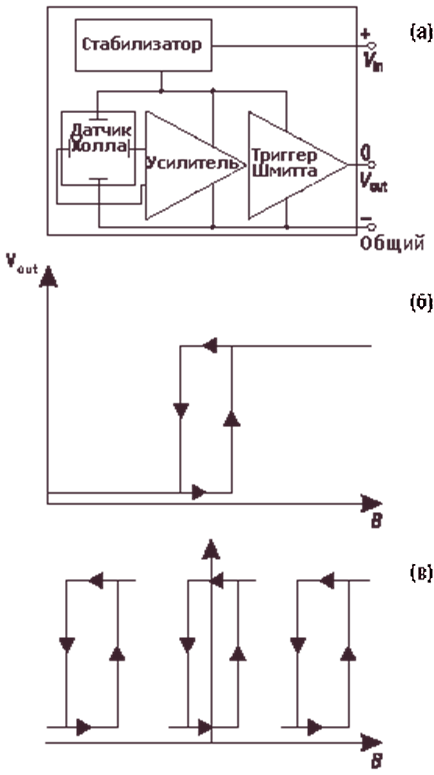
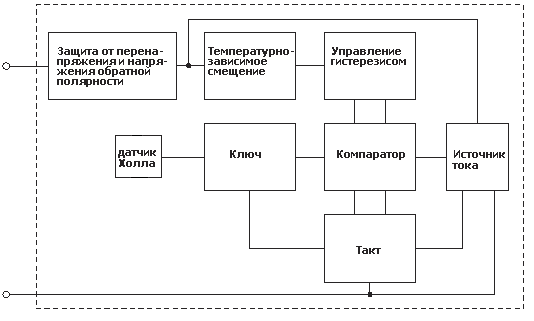


Рисунок 13 – Логический датчик Холла

Униполярный переключатель срабатывает только при наличии магнитного поля одной полярности и гарантирует выключенное состояние в отсутствие магнитного поля; магнитное поле противоположной полярности не оказывает на него никакого влияния (см. рис.13б). Биполярный триггер, напротив, реагирует на обе полярности: включается при приближении северного или южного полюсов магнита и выключается только в том случае, если поле с противоположным знаком достигнет определенного уровня. Термин «биполярный переключатель» обычно применяется к триггерам, реагирующим на пропадание поля. Такие переключатели переходят во включённое состояние при наличии магнитного поля, а выключаются при снижении уровня той же полярности, отсутствии поля, или в присутствии поля с противоположным знаком (см. рис.13в). Наличие ступени гистерезиса, которая является разностью между величинами магнитного поля в точках включения и выключения, повышает помехозащищенность устройства. Логический двухвыводной датчик Холла HAL556 производит фирма Micronas Intermetall. Эта микросхема (рис.14) потребляет большой ток при приближении положительного полюса магнита к маркированной стороне корпуса и малый ток при удалении. HAL566 реализует обратные функции. Микросхемы имеют встроенную систему, увеличивающую напряжение, приложенное непосредственно к кристаллу датчика Холла, с тем чтобы сделать возможным применение недорогих постоянных магнитов, имеющих сравнительно малую коэрцитивную силу.

  
Рисунок 14 – Двухвыводной логический датчик HAL556 обеспечивает

изменение протекающего через него тока при изменении уровня магнитного поля

***Применение датчиков Холла***

Ниже рассматриваются некоторые наиболее популярные применения интегральных датчиков Холла. Технические задачи, для решения которых наиболее часто используются эти датчики, описываются в книге [9].

* **Линейные датчики Холла:**
* приводы переменной частоты вращения;
* схемы управления и защиты электродвигателей;
* **Логические датчики Холла:**
* датчики частоты вращения;
* устройства синхронизации;
* бесколлекторные двигатели постоянного тока;

## 1.2.6 Основы регулирования и стабилизации частоты вращения коллекторных электродвигателей на основе широтно-импульсной модуляции

Наиболее простой метод регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока основан на использовании широтно-импульсной модуляции (ШИМ или PWM) [10]. Суть этого метода заключается в том, что напряжение питания подается на двигатель в виде импульсов. При этом частота следования импульсов остается постоянной, а их длительность может меняться.

ШИМ сигнал характеризуется таким параметром как коэффициент заполнения или Duty cycle. Это величина обратная скважности и равна отношению длительности импульса к его периоду.

*D = (t/T) \* 100%*  (1)

На рис.15 изображены примеры ШИМ сигналов с различными коэффициентами заполнения.

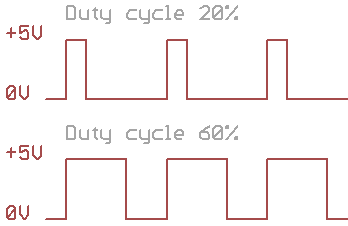


Рисунок 15 - ШИМ сигналы с различными коэффициентами заполнения

При таком методе управления скорость вращения двигателя будет пропорциональна коэффициенту заполнения ШИМ сигнала.

Система стабилизации скорости вращения двигателя постоянного тока – система, в которой скорость вращения двигателя зависит от величины напряжения на якоре двигателя, соответственно пропорциональна коэффициенту заполнения ШИМ сигнала.

Данная система может рассматриваться как объект регулирования скорости вращения двигателя.

Система состоит из двигателя постоянного тока, тахогенератора (на основе датчика Холла) и двух управляемых преобразователей. Тахогенератор выполняет функцию регулирующего органа.

В зависимости от скорости вращения двигателя, тахогенератор генерирует напряжение (пропорциональное коэффициенту заполнения ШИМ сигнала), которое сравнивается с входным напряжением. Разность входного напряжения и напряжения с тахогенератора поступает на регулятор, который регулирует напряжение на якоре двигателя, а соответственно и скорость вращения двигателя.

## Выбор и обоснование технического решения

## 1.3.1 Структурная схема

На основании проанализированных выше составляющих элементов устройства спроектирована следующая электрическая структурная схема, определяющая основные функциональные части устройства, их назначения и взаимосвязи.

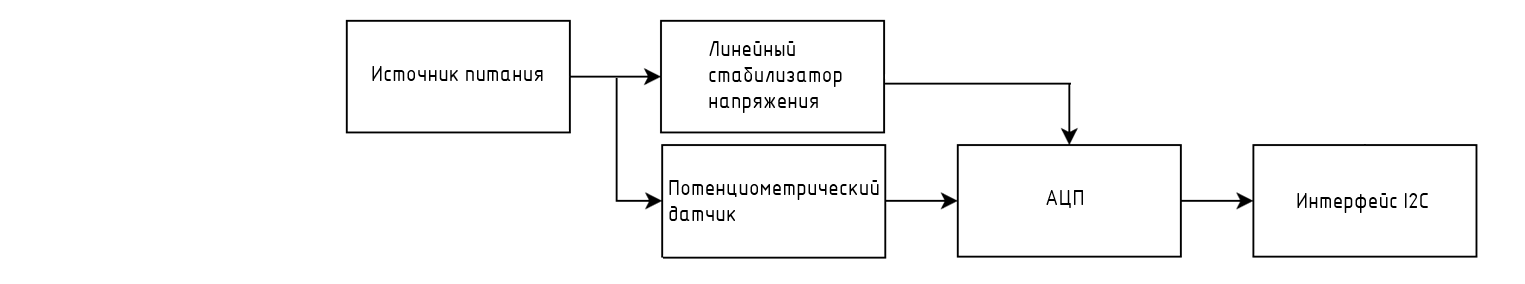


Рисунок 9 – Структурная схема

Внешний источник питания подключен к линейному стабилизатору напряжения. Линейный стабилизатор напряжения подключён к разъему питания.

## 1.3.2 Функциональная схема

## 1.4 Вывод

Проведено исследование принципов работы компонентов. Разработана и описана структурная схема.

## 2 Конструкторский раздел

## 2.1 Выбор компонентов

## 2.1.1 Выбор датчика Холла

Выберем датчик Холла. Рассмотрим датчики Холла основных производителей и их конструктивные особенности [8].

Компании Texas Instruments предлагают датчики Холла с ультрамалым энергопотреблением для компактных применений с автономным питанием. Имеются модели для определения фиксированного положения объекта и для измерения его движения.

Для передачи в электрическую схему информации о положении различных подвижных элементов, таких как валы, заслонки, крышки, роторы электродвигателей, в свое время были разработаны специализированные приборы, известные как датчики положения. Существуют датчики, основанные на электромеханическом, емкостном, индуктивном, ультразвуковом, магнитном или оптическом принципе работы, а также множество комбинированных устройств. В последние десятилетия список типов датчиков положения пополнился еще одним типом – датчиками на основе эффекта Холла.

Отличительными характеристиками современной электроники являются компактность и экономичность. И если с компактностью у датчиков Холла особых проблем никогда не было, то с экономичностью до недавнего времени было непросто: в связи с появлением экономичных электронных приборов, позволяющих устройству несколько лет работать от одноэлементной литиевой батарейки, даже небольшой ток потребления обычного датчика Холла уже вносит ощутимый вклад в общее энергопотребление системы.

Поэтому в последнее время ведущие производители электронных компонентов, в том числе Texas Instruments, представили новый тип датчиков положения на основе эффекта Холла, отличающийся повышенной экономичностью. Ключевой особенностью этих микросхем является ультрамалый ток собственного потребления, который в совокупности с компактными размерами и высокой чувствительностью делает их идеальными для компактных приложений с батарейным питанием.

***Особенности малопотребляющих дискретных датчиков Холла***

Различают линейные и дискретные датчики Холла (рисунок 1). Выходные сигналы линейных датчиков пропорциональны величине магнитной индукции. Основная сфера применения подобных устройств – измерители напряженности магнитного поля, датчики постоянных и переменных токов (рис.2), бесконтактные потенциометры, датчики угла поворота и прочие приложения, работающие с непрерывными сигналами. Кроме усилителя и схем температурной компенсации микросхемы, в зависимости от специализации, могут содержать множество других узлов, например, АЦП, компараторы тревожных сигналов для активизации центрального микроконтроллера, контроллеры популярных интерфейсов передачи данных, (USART, I2C, SPI и других), а также энергонезависимую память для хранения настроек.

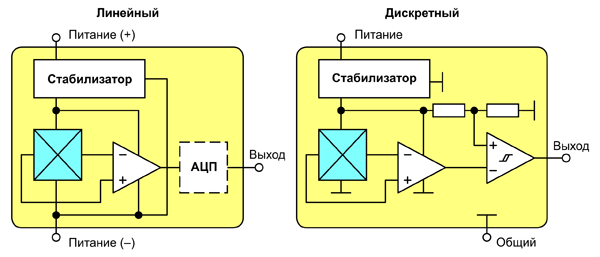


Рисунок 1 - Структурные схемы датчиков Холла

Классическим примером использования дискретных датчиков Холла являются электродвигатели, используемые в компьютерном оборудовании (рис.2). Размещенный на плате двигателя датчик Холла измеряет напряженность магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом ротора, формируя импульсный сигнал с логическими уровнями, частота которого пропорциональна частоте вращения, что позволяет оценить как исправность, так и производительность вентилятора.

***Малопотребляющие датчики Холла производства Texas Instruments***

В ассортименте TI присутствуют две модели датчиков с ультрамалым потреблением, взаимно дополняющие друг друга по своей функциональности. Ключевым отличием предлагаемых приборов является метод формирования выходного сигнала. Датчики [DRV5012](https://www.compel.ru/search?sp=DRV5012*(TI)) имеют функцию защелки, состояние которой меняется только при изменении полярности магнитного поля (рис.2). Это и определяет практическое назначение микросхем: DRV5012 – для измерения движения, например, ротора электродвигателя, и больше ориентированы на работу с многополюсными магнитами.

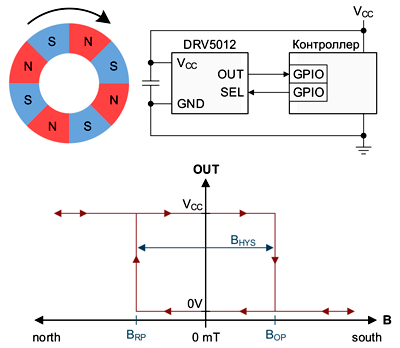


Рисунок 2 -. Принцип работы датчиков DRV5012

Структурная схема микросхем DRV5012 (рис.3) и их технические характеристики (табл.1) Отличительной особенностью DRV5012 является возможность управления частотой измерений с помощью вывода SEL. При наличии низкого уровня на этом входе микросхема будет измерять напряженность магнитного поля 20 раз в секунду, а при установке логической единицы частота измерений увеличивается до 2,5 кГц. Это позволяет использовать данные приборы в приложениях как с медленными, так и с быстро протекающими процессами, а также оптимизировать энергопотребление системы в различных режимах работы.

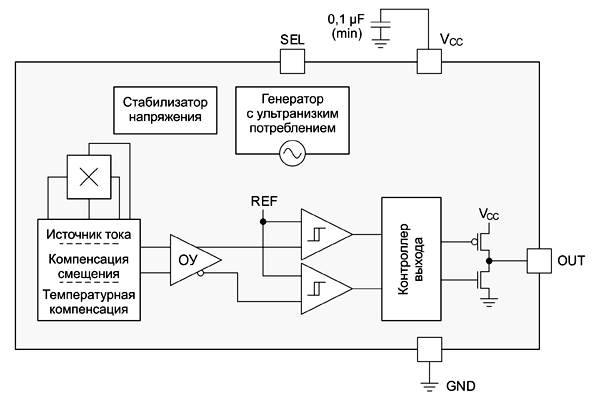


Рисунок 3 - Структурная схема датчиков DRV5012

Таблица 2 - Технические характеристики микросхемы DRV5012



Выберем датчик Холла типа DRV5012 в качестве основного датчика.

## 2.1.2 Выбор элементов схемы регулирования и стабилизации частоты вращения коллекторного электродвигателя

## 2.2 Разработка схемы принципиальной электрической

После всех расчётов была разработана электрическая принципиальная схема.

## 2.2.1 Разработка схемы

## 2.2.2 Моделирование элементов схемы

Произведем моделирование схемы в Multisim 14. Расчёт погрешностей

## 2.2.3 Расчет погрешности стабилизации частоты вращения КЭ

## Заключение

В результате работы были спроектированы и проанализированы структурная, функциональная и принципиальная схема устройства, удовлетворяющие техническому заданию.

Подробно были изучены и подобраны компоненты схемы.

Рассчитаны погрешности.

Результатом данной курсовой работы является настоящая расчетно-пояснительная записка, а также приложения к ней. Также стоит отметить, что данное задание позволило на практике применить задания, полученные на курсах по схемотехнике электронных устройств и электронике, прочитанных ранее.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коллекторный электродвигатель постоянного тока. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/brushdcmotor/>. Дата обращения 13.00 20.03.22.
2. Кенио Т., Нагамори С. Двигатели постоянного тока с постоянными магнитами: Пер. с англ.-М.: Энергоатомиздат, 1989. – 313 с.
3. ГОСТ 27471-87 Машины электрические вращающиеся. Термины и определения. – 64 с.
4. Кацман М. М. Электрические машины и электропривод автоматических устройств: Учебник для электротехнических специальностей техникумов. М.: Высш. шк., 1987. - 495 с.
5. Пиотровский Л. М. Электрические машины. Учебник для учащихся электромашиностроительных, энергетических и электротехнических техникумов. Л.: Энергия, 1972. – 266 с.
6. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cable.ru/articles/id-789.php> дата обращения 13.00 21.04.22.
7. Интегральные датчики Холла. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://gearmotor.ru/hall.htm дата обращения 13.00 21.04.22.
8. Интегральные малопотребляющие датчики положения на основе эффекта Холла. . – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.compel.ru/lib/92805.htm дата обращения 13.00 21.04.22.
9. Hall Effect Sensing and Application Book. Honeywell MICRO SWITCH Sensing and Control. 1999. – 213 с.
10. Регулятор скорости двигателя постоянного тока. ШИМ. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://chipenable.ru/index.php/programming-avr/item/ дата обращения 13.00 21.04.22.
11. Двигатели постоянного тока стабилизация скорости. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://lemzspb.ru/dvigateli-postoyannogo-toka-stabilizatsiya-skorosti/ дата обращения 13.00 21.04.22.

## Приложение А

