
Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
г. Сосновый Бор МБОУ СОШ №9 им В. И. Некрасова

Итоговый индивидуальный проект
на тему:
«Компактная магнитная трансмиссия»

Выполнил:

Ученик 10 класса «А»

Никульшин Алексей Дмитриевич

Руководитель:

учитель физики

Смирнова Елена Александровна

Аннотация

В наше время идет активное развитие технологий, человечество создает что-то новое и совершенствуют уже существующие изобретения при помощи новых идей и знаний. В основе почти любой машины есть то, что “двигает” и то, что “двигается”. Но между ними всегда есть детали, которые их соединяют и их недостатки не дают достигнуть максимального КПД.

Проблема

Традиционная механическая трансмиссия используется в огромном количестве механизмов, но при этом есть ряд недостатков: сложность в ремонте, пониженная надежность конструкции, замедленное переключение, потеря мощности и низкий КПД.

Цель

Создание трансмиссии, способной не только решить проблемы традиционной механической, но и превзойти ее по характеристикам.

Гипотеза

Использование постоянной магнитной силы вместо зубцов может дать ряд преимуществ: сокращение затрат на техническое обслуживание, снижение акустического шума, отсутствие трения между деталями (расширение территории применения механизма), повышенное КПД, повышение общей надежности и повышенная стойкость к перегрузкам.

Задачи

1. Подобрать оптимальную трансмиссию для основы создания магнитной;
2. Создать чертеж в среде «Autocad»;
3. Изготовить прототип и провести измерения;
4. Проанализировав ошибки прототипа, собрать итоговый продукт

Продукт проекта

Конструкция компактной магнитной трансмиссии, бумажные чертежи и 3d-чертежи в программах «Autocad», расчеты характеристик и финансовая оценка

Методы работы

Поиск информации в сети Интернет, создание бумажных набросков и чертежей. Создание 3d-чертежей в программах «Blender» и «Autocad». Создание деталей на 3d-принтере.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Механические передачи и их характеристики

Большой части машин требуется какая-либо форма передачи механической энергии. Механическая передача — это устройство для передачи от двигателя к исполнительным частям машины. Переключение передач могут изменять направление, силу и скорости, или преобразовать вид движения. Но при этом всегда если в чём-то выигрывает, а в чём-то проигрывает. Нельзя одновременно увеличить и силу, и скорость. Для того, чтобы обеспечить равномерное и непрерывное движение используют

механизмы вращательного движения. В каждой передаче различают два основных вала: входной (ведущий) и выходному (ведомый).

Типы механических передач:

- зубчатые (конические и цилиндрические)
- фрикционные
- винтовые (винтовые и червячные)
- имеющие гибкие элементы (ременные и цепные)

1.2. Зубчатая передача

Зубчатые передача является самой распространенной и надежной механической передачи с большой областью применения.

Зубчатая передача — это трехзвенный механизм, состоящий из двух подвижных зубчатых колес(или одно колесо и зубчатая рейка), которые образуют вращательную или поступательную с третьим неподвижным звеном. Шестерни определяются двумя важными параметрами: радиусом и количеством зубьев. Зубчатое колесо с большим количеством зубьев принято называть колесом, а с меньшим — шестерней.

Преимущества зубчатой передачи:

- компактность по сравнению с другими типами
- высокий КПД
- широкий диапазон скорости и мощности
- большая долговечность и надежность в работе

Недостатки:

- неустойчивость к перегрузкам(поломка зубьев)

- высокая жесткость, не позволяющая компенсировать динамические нагрузки
- акустический шум и наличие вибраций
- сложный процесс создания, требующий точности в изготовлении
- износ с течением времени

Передаточное отношение (μ) — отношение между угловыми скорости ведущего зубчатого колеса к угловой скорости ведомого зубчатого колеса.

$$\mu = \omega_1 / \omega_2 \quad (7)$$

(ω_1 — угловая скорость ведущего колеса, рад/с; ω_2 — угловая скорость ведомого колеса, рад/с)

Передаточное число (i) — это число, равное отношению количества зубьев на ведущем колесе к количеству зубьев на ведомом колесе.

Передаточное число равно передаточному отношению

$$i = n_2 / n_1 \quad (8)$$

(n_2 — кол-во зубьев ведомого зубчатого колеса, n_1 — кол-во зубьев ведущего колеса)

Если первичный вал связан с большей шестерней, то передачу называют мультипликатором, тогда ее передаточное отношение < 1 . Если первичный вал связан с меньшей шестерней, то эта передача — редуктор и ее передаточное отношение > 1 .



(рис. 1 пример двух колес зубчатой передачи)

1.3. Трансмиссия

Трансмиссия — это совокупность механизмов для передачи движения от двигателя к тому, что должно двигаться. Именно трансмиссия позволяет автомобилю тронуться с места, ускориться и двигаться. Главные назначения трансмиссии — это передача и преобразование крутящего момента. Устройство трансмиссии от типа привода, но к основным элементам относятся:

- коробка передач (служит для изменения крутящего момента)
- сцепление (передает энергию вращения двигателя и отключает и подключать трансмиссию к ведущему валу)
- дифференциал (два колеса, расположенных на одной оси способны вращаться с разными скоростями)

1.4. Постоянные магниты

Постоянные магниты — тело из магнитотвердого материала, способное долгое время сохранять намагничивание. Постоянные магниты изготавливаются различной формы и из различных материалов и используются как автономные источники постоянного магнитного поля. Для удобства на магнитах обозначают северный (N) и южный (S) полюса. Силовые линии магнитного поля, которые образуются вокруг постоянного магнита, выходят из северного полюса и входят в южный, образуя замкнутую петлю. Эти линии М. Фарадей (английский физик) назвал линиями индукции. Количество линий индукции, выходящих из магнита, называется магнитным потоком. Плотность магнитного потока называется магнитной индукцией. Магнитной индукцией определяется сила, с которой магнитное поле действует на находящийся в нем проводник с током.

1.5. Магнитная передача

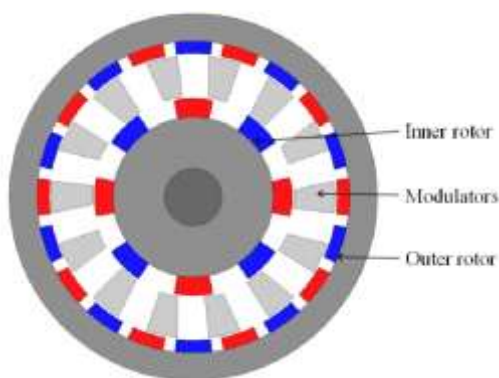
Магнитная передача напоминает традиционную механическую зубчатую передачу, только место зубцов используются постоянные магниты.

Магнитная передача, как и зубчатая передача, состоит из ведущего и ведомого вала, на которых могут быть закреплены ведущие и ведомые колеса или роторы. Колеса изготовлены из магнитопроницаемого материала, а на нем установлены постоянные магниты.

Типичная магнитная передача состоит из двух роторов, на которых расположены магниты с разным числом пар полюсов, а на среднем статоре расположены ферромагнитные детали. Все детали разделены воздушными зазорами. Ферромагнитные полюса модулируют магнитные поля, порождаемые внутренним и внешним ротором и создают пространственные гармоники в воздушных зазорах. Модулированные магнитные поля через ферромагнитные полюса взаимодействуют с магнитным полем на другой стороне для передачи крутящего момента. Простыми словами, магниты на входном валу «перемагничивают» ферромагнитные элементы, меняя их полярность, тем самым заставляют магниты на внешнем роторе переместиться под действием магнитной силы, так как теперь магниты стоят друг к другу одноименными полюсами. Для достижения наибольшей мощности крутящего момента, количество ферромагнитных элементов должно подчиняться равенству:

$$N_s = P_o + P_i \quad (10)$$

(P–пара полюсов, s–segments, i – inner rotor, o – outer rotor)



(рис. 2 пример коаксиальной магнитной передачи)

1.6. Какие недостатки зубчатой передачи и как их решает использование постоянных магнитов?

Одним из главных и наиболее сильных недостатков – это трение между шестеренками, которое приводит к потере КПД, если же место зубьев использовать в качестве зацепления магнитную силу, то потери будут меньше. Из-за отсутствия контакта между нашими новыми “зубьями”, конструкция будет более износостойкой и надежной, т.к. в традиционной зубчатой передаче со временем зубья могут испортиться из-за постоянного контакта. В случае перегрузки зубья могут обломаться или отколоться и придется разбирать конструкцию и менять деталь, а при использовании постоянных магнитов внутренний ротор “соскочит”, сделает оборот и встанет на свое место. Также отсутствие контакта уменьшится акустический шум и вибрации.

ГЛАВА 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Идея конструкции

За основу возьмем конструкцию коаксиальной магнитной передачи. В ней используется два ротора с постоянными магнитами и статор между ними с

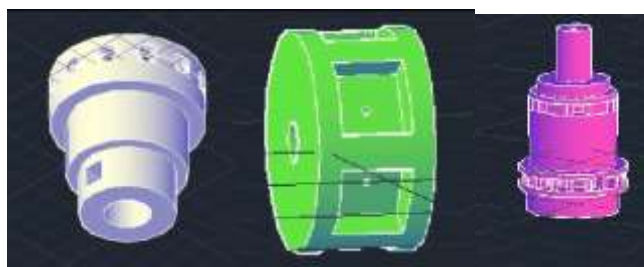
ферромагнитными элементами. для создания переключающиеся трансмиссии, то есть имеющее различное передаточное отношение нужно минимум два кольца магнитов на внешнем роторе. Использовать один внешний ротор с двумя кольцами магнитов намного удобнее, чем использовать два ротора, т.к. для каждого ротора нужен будет свой выходной вал, а так у нас есть один вал на вход и один на выход. Внешний ротор заканчивается тубусом, в который крепится выходной вал, а так же он служит центровщиком и креплением для входного вала, благодаря подшипнику, расположенному в нем.

Внутренний ротор расположен на двух валах, закрепленных с двух сторон для большей крепости (изначально вал продевался в отверстие внутреннего ротора, но из-за силы притяжения магнитов не мог держаться крепко). На внутреннем роторе по кругу расположены 6 магнитов, чередуясь полюсами. На внешнем роторе два кольца магнитов с 6 магнитами и с 18 магнитами для создания отношений 1:1 и 1:3. Статор имеет 12 стальных сердечников(из формулы 10), кольцо сердечников расположено напротив 18 магнитов в внешнем роторе, внутри же внутренний ротор входит в статор и располагается напротив сердечников и магнитов внешнего ротора. Сам статор состоит из 3 цилиндров, на первом расположены сердечники и в него входит ротор, на второй надевается большой подшипник, который вставляется вместе со статором во внешний ротор, в третий цилиндр вставляется подшипник для входного вала.

2.2. Чертежи и прототипы, их проблемы и решение этих проблем

Самый первый прототип имел схожую идею конструкции, но состоял из большого количества маленьких деталей и был ненадежным. Главной ошибкой было большое кол-во маленьких деталей, который невозможно

сделать на 3d-принтере точными, так же было придумано новое расположение магнитов, саму конструкцию было решено увеличить, чтобы избежать риски, т. к. пластик мог сломаться под действием постоянной магнитной силы, а также место реек от одного кольца магнитов до другого полностью закрыть, то есть сделать цельной. Вся конструкция теперь состоит из 3 деталей: внешний и внутренний роторы и статор.



(рис. 3 и 4 итоговые 3d-модели деталей: статор, внутренний и внешний ротор)

Магниты на внешнем роторе были выбраны неодимовые кубические $10 \times 10 \times 10$ с силой сцепления в 4,5 кг, 6 магнитов на первом кольце и 18 на втором кольце магнитов. Вокруг колец магнитов на внешнем роторе были расположены стальные пластины напротив каждого из них, которые сфокусировали линии магнитного поля, выходящие из магнитов с внешней стороны, благодаря этому магниты крепко держаться на своих местах. В качестве сердечников, был использован стальной вал, нарезанный на части. Во внутреннем роторе использовались магниты неодимовые магниты размера $15 \times 15 \times 10$ и магниты с зенковкой $15 \times 15 \times 3$, для лучшего крепления на внутреннем роторе.

2.3. Конкуренция

На сегодняшний день есть всего лишь два реальных конкурента: первый из Китая, их трансмиссия для велосипеда имеет три соотношения: 1:1, 1:3, 3:1, их система работает за счет сцепления вала к разному радиусу, что делает

переключение сложным и не дает полного отсутствия трения , это делает ее более сложной в починке, проект пока в разработке.

Второй аналог изготовлен французской компанией Effigear и имеет лишь одно магнитное передаточное отношения, а переключения идет по традиционной системе, магнитная передача служит для стойкости конструкции, цена 950 евро.

2.4. Результаты и выводы

Мне удалось собрать работающий прототип трансмиссии, который отображает принцип действия представленный мною. В проекте есть недочеты и то, что можно улучшить. Я планирую продолжать работать над проектом и представлять его в различных конкурсах и научных выставках. Я уже представлял более раннюю версию своего проекта на конкурсе “Большие вызовы” в 2022 году и стал призером регионального этапа.

Список литературы

Статьи: https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_gear,
<https://engineering-ru.livejournal.com/294778.html>,
https://mipt.ru/education/chair/physics/S_III/lab_el/Magn.pdf.
http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/7220/1/bulletin_tpu-2015-v326-i10-11.pdf,
https://www.researchgate.net/publication/275580214_Magnetic_gear_technologies_A_review,
https://www.researchgate.net/publication/273129991_Magnetic_Gear_A_Review,
<https://www.comsol.ru/blogs/modeling-magnetic-gears-in-comsol-multiphysics/>,
https://www.researchgate.net/publication/326229869_A_novel_bicycle_rear_hub_transmission_with_a_magnetic_gear_mechanism

