

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Машински елементи II

Број индекса: 111/2014

Ивана Д. Матић

**Магнетни
зупчаници**

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Зорица Ђорђевић, ванр. проф - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да да преглед и анализу зупчастих преносника снаге, са посебним освртом на магнетне зупчанике. Такође, треба да наведе област примене магнетних зупчаника, њихове предности и мане, као и да да препоруке за оптимизацију ових преносника.

Препоручена литература:

- [1] Николић В. : Машински елементи, теорија и примери, 2004. ;
- [2] Jørgensen, F. T.: Design and construction of permanent magnetic gears, Department of Energy Technology, Aalborg University, 2010. ;
- [3] Chicurel-Uziel R.: Cycloidal Magnetic Gear Speed Reducer, Instituto de Ingenieria, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico City, Mexico, Scientific Research, 2013. .

Крагујевац, 12.06.2018.

Ментор:

Др Зорица Ђорђевић, ванр.
проф

Резиме

У раду су представљени зупчасти преносни механизми. Поред најчешћих, механичких зупчаника, који су укратко описани, представљени су магнетни зупчаници као примарна тема овог рада. Кроз рад се детаљно описују и анализирају магнетни зупчаници. Кроз историју и развој, преко области примене до конкретних примера механизма у којима се користе. Извршено је поређење механичких зупчаника са магнетним, и уз то су представљене њихове предности и мане. Осим тога, представљени су и софтвери помоћу којих се врши дубља анализа магнетних зупчаника, како у статичким, тако и у динамичким стањима. Такође су дата нека од могућих решења за побољшање рада магнетних преносника.

Кључне речи: зупчаници, магнетни зупчаници, магнетни преносници.

Abstract

This paper presents gears of transmission. In addition to the most common mechanical gears, which are briefly described, magnetic gears are presented as the primary topic of this paper. Magnetic gears are described and analyzed in detail. Through history and development, through the application areas to concrete examples of the mechanisms in which they are used. A comparison of mechanical gears with magnetic was performed, and their advantages and disadvantages were presented. In addition, software are presented for the purpose of deeper analysis of magnetic gears in both, static and dynamic states. There are also some of the possible solutions for improving the performance of magnetic drives.

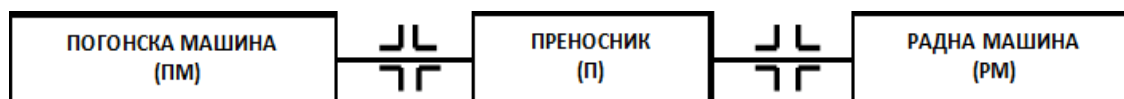
Key words: gears, magnetic gears, magnetic transmission

Садржај

1 Увод.....	6
1.2 Механички преносници	7
2 Историјски развој зупчастих преносника	8
3 Зупчасти преносници.....	11
3.1 Основни појмови и дефиниције.....	12
3.2 Подела и карактеристике механичких зупчаника	14
3.2.1 Цилиндрични зупчасти парови	16
3.2.1.1 Цилиндрични зупчаници са правим зупцима.....	18
3.2.1.2 Цилиндрични зупчаници са косим зупцима	18
3.2.1.3 Цилиндрични зупчаници са стреластим зупцима	19
3.2.2 Конични зупчасти парови	19
3.2.3 Хиперболоидни зупчасти парови	21
3.2.3.1 Цилиндрични зупчаници са хеликоидним зупцима – вијчаници.....	21
3.3 Материјали за израду механичких зупчаника	25
3.4 Најчешће грешке при изради зупчаника.....	26
4 Магнетни зупчаници	27
4.1 Основе магнетизма.....	27
4.2 Основе магнетних зупчаника.....	29
4.3 Подела магнетних зупчаника.....	30
4.3.1 Магнетни зупчаници са блиским магнетима.....	30
4.3.2 Начин функционисања и различита извођења магнетних зупчаника који врше кретање помоћу магнетног флукса	33
5 Механизми у којима се примењују магнетни зупчаници	36
5.1 Циклоидни магнетни редуктор.....	41
6 Софтвери који се користе за анализу магнетних зупчаника и њихове функције у механизмима	43
7 Закључак.....	45
8 Литература.....	46

1 Увод

Преносници се постављају између погонске и радне машине у циљу прилагођавања механичке енергије погонске машине потребама радне машине уз што мање губитке енергије. То значи да је преносник посредни механизам, чији је задатак да пренесе механичку енергију главног вратила погонске машине – мотора на главно вратило радне машине – радилице или на извршне делове радне машине. У низу случајева погонска машина (ПМ), преносника (П) и радна машина (РМ) чине целину, нпр. код моторних возила, локомотива, авиона и сл. Блок шема дата је на слици 1.1 [1].



Слика 1.1 - Позиција преносника у машини [1]

Увођење преносника, као посредника између погонске и радне машине, диктирано је условима рада како радне тако и погонске машине. На првом месту, потребна угаона брзина радне машине врло ретко одговара најпогоднијој угаоној брзини погонске машине (обично је много мања). Чест је случај да угаону брзину главних делова радне машине треба мењати независно од угаоне брзине погонске машине, јер мењати угаону брзину погонске машине у ширим границама је врло неекономично или чак немогуће. Погонске машине имају обично константну или приближно константну угаону брзину, уз константан обртни момент. Веће смањење минутног броја обртаја код погонске машине у већини случајева доводи и до смањења обртног момента, што је врло неповољно за радну машину, јер она захтева велике обртне моменте при малим брзинама.

Преносници могу да се поделе на више начина и то [2], [3], [4], [5]:

- Према начину преноса обртног момента, преносници се могу поделити на:
 - Механичке преноснике – пренос момента механичким путем, на два начина: трењем и обликом (посредно и непосредно);
 - Хидраулични преносници – пренос момента помоћу течности;
 - Пнеуматски преносници – пренос момента помоћу гасова;
 - Електрични преносници – пренос момента електричним путем;
 - Хибридни преносници.
- Према променљивости преносног односа, разликују се:
 - Преносници са константним преносним односом;
 - Преносници са променљивим преносним односом.
- Према томе да ли је доминантан пренос снаге и кретања или само кретања, разликују се:
 - Преносници снаге;
 - Преносници кретања.

1.2 Механички преносници

Преносници омогућују грађење погонских машина са великим бројевима обртаја, а малим обртним моментима, јер они врше повећање обртног момента на рачун смањења угаоне брзине. Брзоходна погонска машина, заједно са преносником има мање димензије и мању тежину него спороходна погонска машина употребљива без преносника [1].

Код механичких преносника механичка енергија се преноси преко машинских делова, међусобним додиривањем или без додиривања. Механички преносници могу преносити енергију, односно мењати обртни момент и угаону брзину, било приањањем, било зупцима, и то или непосредним додиривањем погонског или гоњеног елемента, било преко посредника или чак бесконтактним дејством.

Механички преносници омогућавају:

- Економичан рад;
- Извршавање задатка радне машине, која захтева честу поступну промену брзине кретања;
- Регулисање брзине кретања и рад са великим обртним моментима и са малим бројем обртаја;
- Повезивање погонске машине са радном машином и у случајевима, када због губитака, техничких прописа и слично, погонска машина не може да буде непосредно везана са извршним деловима радне машине;
- Остваривање одређених преносних односа са великом тачношћу.

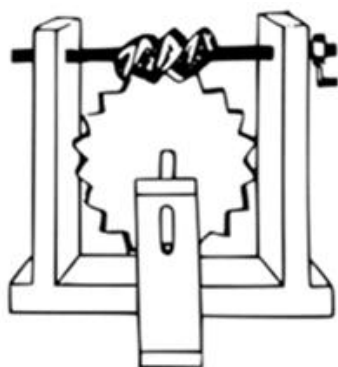
Механички преносник се састоји од једног или више различитих преносника. Механичка енергија се преноси преко машинских делова различитих врста и облика, међусобним додиривањем или спрезањем. Ови машински делови чине радне или посредничке органе преноса или преносника. У обзир долазе следеће врсте преноса и њихови радни, односно посреднички органи:

- Фрикциони преносници;
- Зупчасти преносници;
- Каишни (ремени) преносници;
- Ланчани преносници.

2 Историјски развој зупчастих преносника

Први трагови механичких зупчаника јављају се још у 27. веку пре нове ере у Кини, када је направљено возило изграђено на два точка, ношена покретним индикатором. Овај изум приписује се кинеском машинском инжењеру Ма Јун-у [6].

Први писани траг о зупчаницима оставља за собом Аристотел у 4. веку пре нове ере, где наводи прве дефиниције кретања зупчаника, рекавши да два зупчаника када су у спреси тј. када један зупчаник покреће други, имају супротне смерове ротација. Стотинак година касније, хеленски математичар Архимед оставља за собом прве шеме и цртеже зупчастих преносника [6].



Слика 2.1 - Архимедова шема зупчастог преносника [6]

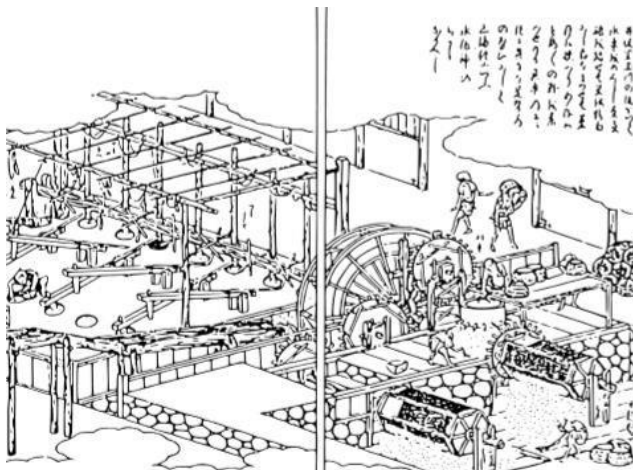


Слика 2.2 - Ма Јун-ов изум возила на два точка, где се први пут у функцији срећу зупчасти преносници [6]

Разни проналазачи су користили изум зупчаника у разне сврхе попут сатова и воденица.



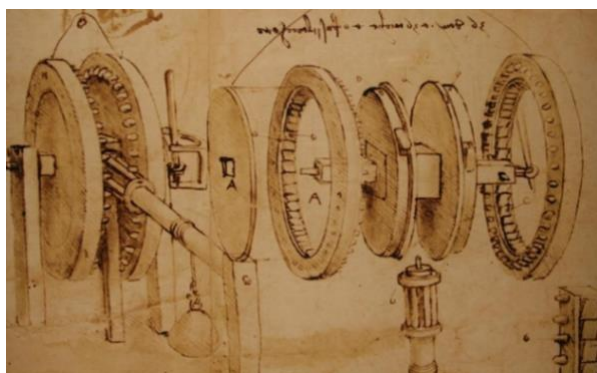
Слика 2.3 - Међу првим конструкцијама дрвених зупчаника на археолошком месту у Ираку [6]



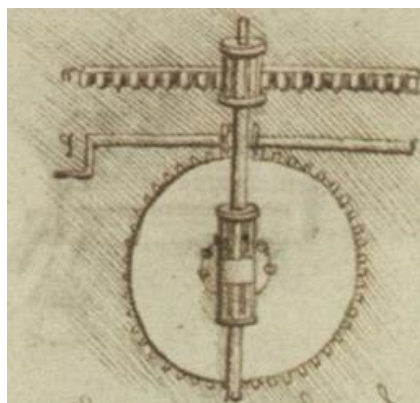
Слика 2.4 - Примена зупчастих механизма у Јапану [6]

На слици 2.4 види се како су зупчаници били примењивани у механизмима попут воденица у Јапану, у периоду Едо (1603 – 1867). Зупчаници су били израђени од дрвета храста и зелкова и имали су пречнике од једног метра.

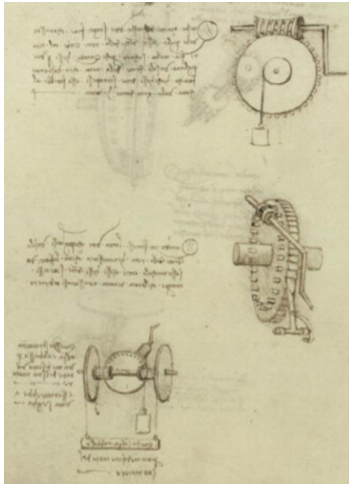
После свих ових изума, првих половичних записа и покушаја скица, дуги низ година није било већих помака када су зупчасти преносници у питању, све до записа италијанског полиматематичара Леонарда да Винчија (1451 – 1519), који је за собом оставио револуционарне записе и скице.



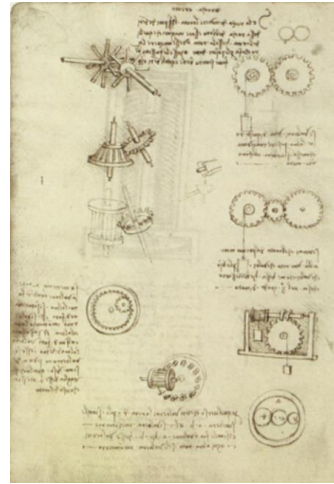
Слика 2.5 - Прве скице Леонарда да Винчија [7]



Слика 2.6 - Приказ зупчаника у Да Винчијевим записима [7]



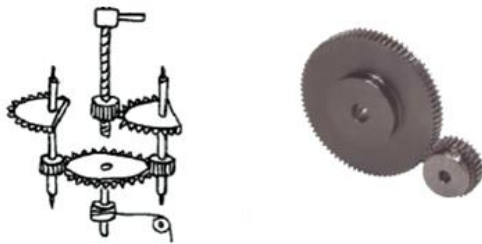
Слика 2.7 - Разне врсте
механизма у Да Винчијевим
записима [7]



Слика 2.8 - Приказ различитих
зупчаника [7]

На слици 2.9 приказана су поређења Да Винчијевих зупчаника са изгледом данашњих зупчаника.

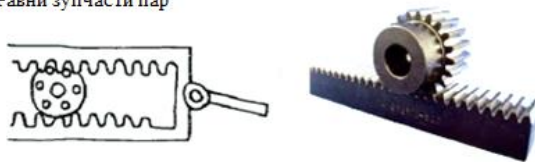
Цилиндрични зупчаници



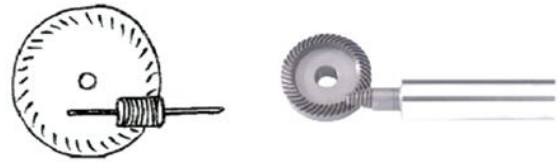
Конични зупчаници



Равни зупчasti пар



Хипоидни зупчаници



Зупчаници са хеликоидним зупцима



Пужни зупчаници



Слика 2.9 - Поређење изгледа данашњих зупчастих преносника са Да
Винчијевим зупчастим преносницима [6]

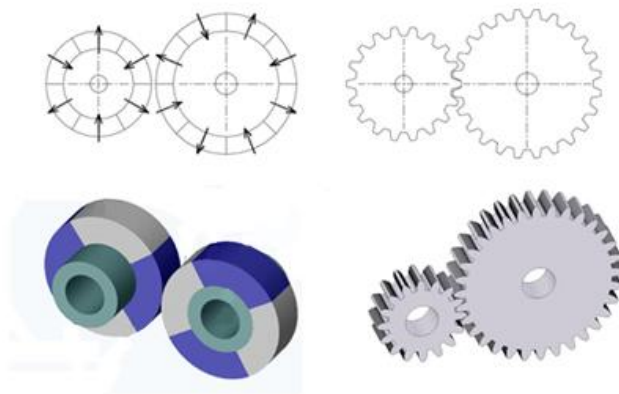
3 Зупчасти преносници

Зупчасти пренос има на сваком вратилу чврсто наглављен по један зупчаник чији зупци су међусобно спрегнути. При томе се врши и одређена трансформација броја обртаја и обртног момента. Најједноставнији зупчасти преносник састоји се од два зупчаника у спрези који чине зупчасти пар. Један од ова два зупчаника је погонски, а други гоњени. Погонски зупчаник преноси кретање и обртни момент на гоњени зупчаник. Зупчаници који чине зупчасти пар, називају се спрегнути зупчаници.

Зупчасти преносници представљају најраспрострањеније механичке преноснике. Имају широко поље оптерећења и дијапазон брзина. Преношење снаге се врши скоро без губитака, дуг век трајања и велику сигурност погона. Осим тога, дозвољавају преоптерећења, не захтевају велике трошкове одржавања, а стални преносни однос не зависи од величине оптерећења.

Као што је већ поменуто, пренос снаге може да се врши контактним и бесконтактним међусобним дејством. Према томе, зупчасти преносници се, уопштено, могу поделити на:

- Механичке зупчасте преноснике и
- Магнетне зупчасте преноснике.



Слика 3.1 - Приказ магнетних и механичких зупчаника у спрези [8]

Механички зупчасти преносници врше пренос кретања и обртног момента помоћу директног контакта између два зупчаника (гоњеног и погонског), док магнетни зупчаници пренос врше помоћу бесконтактног међусобног дејства, користећи само карактеристике магнета.

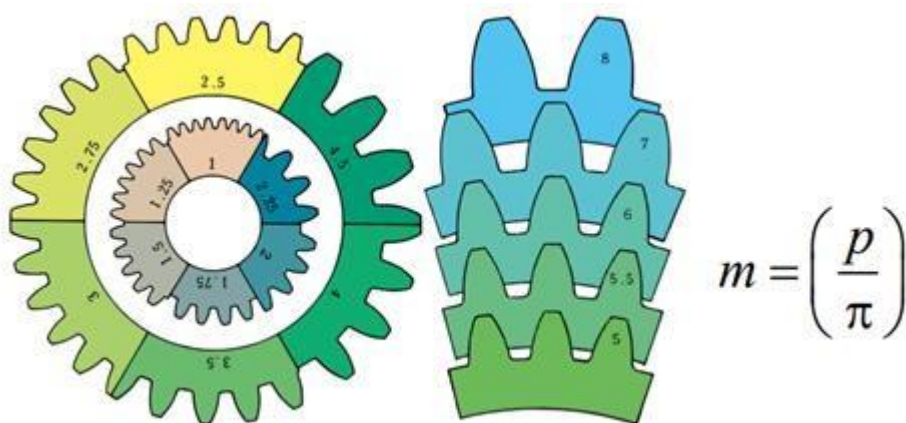
3.1 Основни појмови и дефиниције

При спрезању зупчаника, кинематски цилиндри (замишљени додирни цилиндри) котрљају се један по другом без клизања. Да би се остварио константан преносни однос, овај услов мора бити испуњен.

Ако на погонском зупчанику дејствује обртни момент T_1 при угаоној брзини ω_1 , непосредним додиривањем зубаца погонског и гоњеног зупчаника, на гоњеном зупчанику се генерише обртни момент T_2 при угаоној брзини ω_2 .

У тачки додира зубаца, јављају се нормалне силе F_n које су истог правца и интензитета, али супротног смера.

За прорачун скоро свих димензија зубаца и зупчаника, једна од најважнијих карактеристика ових преносника јесте модул зупчаника [6]. Модул се обележава са m , а као систем изражавања, користи се метрички систем. Упрошћено, модул дефинише величину зупца зупчаника (m_1, m_3, m_8). Већи број означава већу величину зупца зупчаника.



Слика 3.1.1 - Модул зупчаника [6]

Модули су стандардизовани према СРПС стандарду. Зупчаници који чине зупчасти пар имају исти модул.

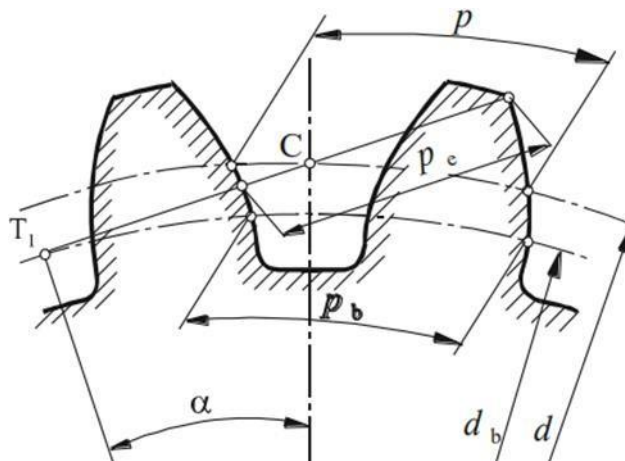
Подеони корак (p) једнак је збиру лучне дебљине зупца (s) и лучне ширине међузубља (e) $p=s+e$.

Основни корак је лучно растојање између истоимених бокова суседних зубаца и мери се по луку основног круга.

При спрезању два зупчаника, тачка додира се код погонског зупчаника помера од подножја ка темену, а код гоњеног зупчаника од темена ка подножју зупца.

Део бока на коме се остварује контакт зубаца зове се активни део бока.

Корак на додирници је нормално растојање истоимених бокова два суседна зупца.



Слика 3.1.2 - Приказ основних појмова зупчаника [2]

Додирница је скуп свих узастопних спрегнутих профила. Тачка додира се креће по додирници и истовремено помера дуж профила зубаца.

За профиле зубаца се могу користити све криве линије које задовољавају основно правило спрезања [2].

За познати профил једног зупчаника, дато осно растојање и преносни однос, профил зупца другог зупчаника је једнозначно одређен. То је иста крива линија али са другим параметрима.

Ове услове испуњавају криве линије познате као: еволвенте и циклоиде.

Еволвента је крива линија која настаје котрљањем без клизања праве по кругу и свака тачка те праве описује по једну еволвенту.

Ако би мали зупчаник био израђен независно од великог зупчаника, дошло би до заглављивања зубаца великог зупчаника у међузубљу малог зупчаника. Ова појава се зове интерференца или преклапање профила [2], [3].

3.2 Подела и карактеристике механичких зупчаника

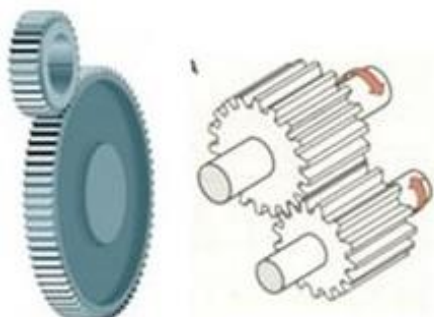
Механички зупчасти преносници, врше пренос кретања директним контактом погонског и гоњеног зупчаника, односно, кретање се преноси када су гоњени и погонски зупчаник у спрези. Погонски зупчаник преноси кретање на гоњени зупчаник и ближи је погонској машини, док је гоњени зупчаник ближи радној машини.

Подела механичких зупчаника се може извршити на више начина. Основна подела зупчаника се може извршити на поделу:

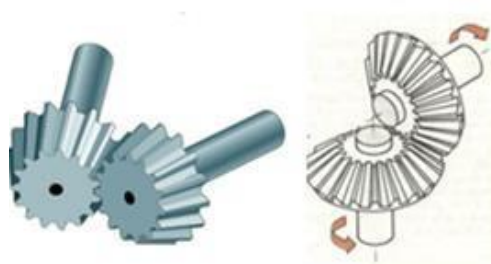
- Према међусобном положају оса вратила погонског и гоњеног зупчаника;
- Према облику зубаца;
-

Према међусобном положају оса вратила погонског и гоњеног зупчаника, разликују се [2], [3], [4], [5]:

- Цилиндрични зупчасти парови – зупчасти преносници код којих су осе вратила паралелне;
- Конични зупчасти парови – зупчасти преносници код којих се осе вратила секу;
- Хиперболоидни зупчасти парови – зупчасти преносници код којих се осе вратила мимоилазе.



Слика 3.2.1 - Цилиндрични зупчасти пар [9]



Слика 3.2.2 - Конични зупчасти пар [9]



Слика 3.2.3 - Хиперболоидни зупчасти пар [9]

Према облику зубаца, зупчаници се деле на зупчанике са [2], [3], [4], [5]:

- Правим зупцима;
- Косим зупцима;
- Стреластим зупцима;
- Завојним зупцима.



Слика 3.2.4 - Цилиндрични зупчаници са правим зупцима



Слика 3.2.5 - Зупчаници са косим зупцима



Слика 3.2.6 - Зупчаници са стреластим зупцима



Слика 3.2.7 - Зупчаници са завојним зупцима

3.2.1 Цилиндрични зупчасти парови

Цилиндрични зупчасти парови представљају преноснике код којих су осе вратила спрегнутих зупчаника паралелне. Кинематске површине зупчастих парова су цилиндри који се котрљају један по другом без клизања. Представљају најједноставније зупчасте парове и најчешће се налазе у употреби.

Подела цилиндричних зупчастих парова може се извршити на [2], [3], [4], [5]:

- Цилиндричне зупчасте преноснике са спољашњим озубљењем;
- Равне цилиндричне зупчасте парове;
- Унутрашње зупчасте парове.



Слика 3.2.1.1 - Зупчасти пар са спољашњим озубљењем



Слика 3.2.1.2 - Равни зупчасти пар



Слика 3.2.1.3 - Зупчасти пар са унутрашњим озубљењем

Код цилиндричних зупчастих парова са спољашњим озубљењем, спрегнути зупчаници имају супротне смерове обртања, за разлику од унутрашњих зупчастих парова, где спрегнути зупчаници имају исте смерове обртања. Равним зупчастим паром врши се претварање обртног кретања у праволинијско.

Цилиндрични зупчаници према врсти озубљења могу да се поделе на [2], [3], [4], [5]:

- Цилиндричне зупчанике са правим зупцима;
- Цилиндричне зупчанике са косим зупцима;
- Цилиндричне зупчанике са стреластим зупцима.



Слика 3.2.1.4 - Цилиндрични зупчаници са правим зупцима



Слика 3.2.1.5 - Цилиндрични зупчаник са косим зупцима



Слика 3.2.1.6 - Цилиндрични зупчаник са стреластим зупцима

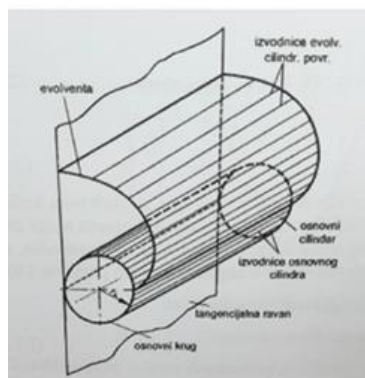
3.2.1.1 Цилиндрични зупчаници са правим зупцима

Код цилиндричних зупчаника са правим зупцима, зупци су паралелни са изводницом основног цилиндра, односно угао између праваца зубаца и изводнице основног цилиндра једнак је нули.

Бок зубаца цилиндричних зупчаника са правим зупцима је цилиндрична еволвентна површина. Ту површину описује било која права паралелна са изводницом основног цилиндра, а лежи у тангенцијалној равни која се котрља без клизања по основном цилиндру. Свака тачка уочене праве, при котрљању тангенцијалне равни по основном цилиндру описује по једну еволвенту. Скуп свих еволвенти формира бочну површину зупца. Све еволвенте описане су истовремено, а њихови почeci леже на правој која је истовремено изводница основног цилиндра [2].



Слика 3.2.1.1.1 - Цилиндрични зупчаници са правим зупцима



Слика 3.2.1.1.2 – Настајање бока зупца [2]

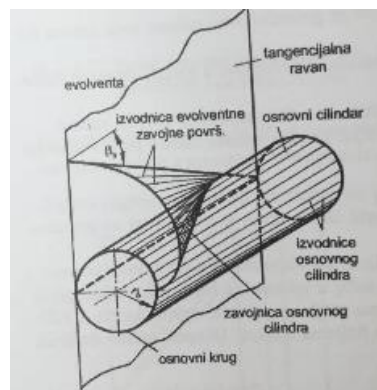
3.2.1.2 Цилиндрични зупчаници са косим зупцима

Код цилиндричних зупчаника са косим зупцима, бокови зубаца имају низ специфичности у односу на облик бокова код цилиндричних зупчаника са правим зупцима. Специфичности се најбоље уочавају ако се упореде начини настајања бока зубаца [2].

Код цилиндричних зупчаника са косим зупцима, бокови зубаца представљају завојну еволвенту површину. Ту површину описује права која лежи у тангенцијалној равни основног цилиндра и заклапа неки угао β са изводницом основног цилиндра.



Слика 3.2.1.2.1 - Цилиндрични зупчаник са косим зупцима



Слика 3.2.1.2.2 - Настајање бока зупца код зупчаника са косим зупцима [2]

3.2.1.3 Цилиндрични зупчаници са стреластим зупцима

Цилиндрични зупчаници са стреластим зупцима израђују се тако да зупци до половине ширине зупчаника имају, на пример, леви нагиб, а на другој половини ширине десни нагиб. Исти ефекат се постиже ако се споје два зупчаника са косим зупцима супротних смерова нагиба бочних линија зубаца [2].

Аксијалне компоненте сила на левом и десном делу зупчаника са стреластим зупцима су међусобно једнаке, али супротног смера, па се поништавају.

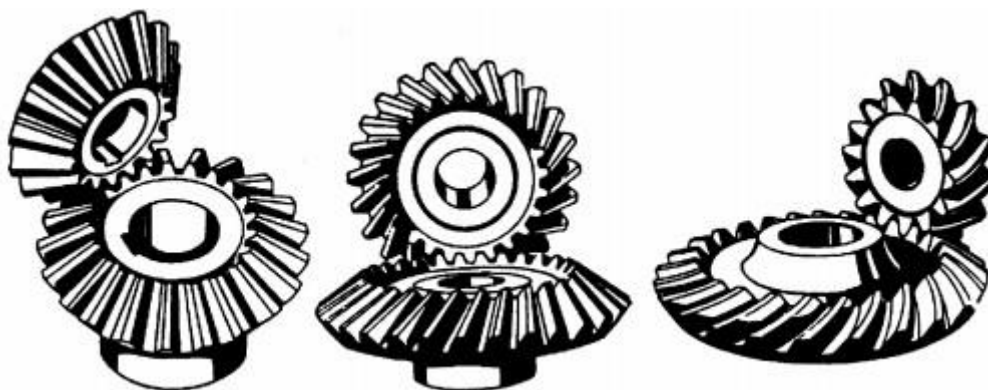
Спајањем зубаца на средини, повећава се крутост и отпорност зубаца. Када се зупчаници окрећу само у једном смеру, повољније је у погледу носивости, да врх стрелице зубаца буде окренут у смеру обртања зупчаника. Зупчаници који се окрећу у једном и другом смеру изводе се као двоструко стреласти.

3.2.2 Конични зупчасти парови

За преношење обртног момента и кретања између вратила чије се осе секу под неким углом, користе се конични зупчасти парови. Кинематске површине коничних зупчаника су конуси. При спрезању коничних зупчаника, кинематске површине се котрљају једна по другој без клизања. Да би се ово остварило потребно је да се врхови конуса секу у заједничкој тачки која је истовремено и пресек оса зупчаника.

Према облику бочне линије зупца, разликују се [2], [3], [4], [5]:

- Конични зупчаници са правим зупцима;
- Конични зупчаници са косим зупцима;
- Конични зупчаници са лучним зупцима.



Слика 3.2.2.1 - Конични зупчаници са правим, косим и лучним зупцима

Конични зупчаници са правим зупцима се примењују за обимне брзине V_m до 6 (8) m/s. При већим брзинама израженија је бука у току рада, због истовременог додира зубаца по целој дужини.

Код коничних зупчаника са косим зупцима, зупци постепено улазе и излазе из спреге, па је њихов рад знатно мирнији, степен спрезања је већи и мања је промена крутости спрегнутих зубаца у току рада у односу на коничне зупчасте парове са правим зупцима. Примењују се обимне брзине V_m до 50 m/s [2].

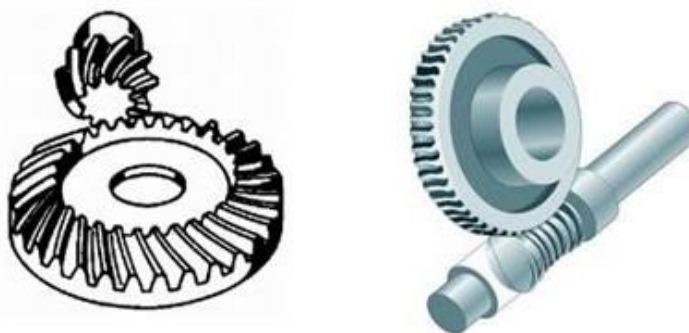
Конични зупчасти парови са кривим (лучним) зупцима, имају закривљене бочне линије. У току спрезања, додирују се конкавни и конвексни делови бока спрегнутих зубаца. Како су зупци облика спирале, називају се још и спиралним коничним зупчаницима, а угао нагиба бочне линије назива се и угао спирале. С обзиром на облик зубаца и услове додира бокова, ови зупчасти парови имају већу носивост, равномернији пренос и мирнији рад у односу на коначне зупчанике са правим и косим зупцима.

3.2.3 Хиперболоидни зупчасти парови

Хиперболоидни зупчасти парови се користе за пренос снаге и кретања између вратила чије се осе мимоилазе под неким углом. Кинематске површине зупчастих парова су хиперболоиди који се, код спрегнутих зупчаника, котрљају један по другоме и стално додирују по заједничкој изводници. Хиперболоиди настају ротацијом заједничке изводнице (кинематске осе) око оса спрегнутих зупчаника.

Хиперболоидни зупчаници се могу поделити на [2], [3], [4], [5]:

- Цилиндричне зупчанике са хеликоидним зупцима – вијчаници;
- Хипоидне зупчасте парове;
- Пужне преноснике.



Слика 3.2.3.1 - Хиперболоидни зупчасти парови

3.2.3.1 Цилиндрични зупчаници са хеликоидним зупцима – вијчаници

Вијачни пар се добија спрезањем два цилиндрична зупчаника са завојним (хеликоидним зупцима) чије се осе мимоилазе.

Спрегнути зупчаници имају различите вредности углова нагиба зубаца, а исте смерове нагиба (оба зупчаника су или десна или лева), што имплицира да кораци у чеоној равни нису једнаки.

Угао под којим се мимоилазе осе спрегнутих зупчаника са хеликоидним зупцима једнак је збиру појединачних углова нагиба зубаца спрегнутих зупчаника.

Спрегнути зупци се теоријски додирују у тачки, па су локална напрезања велика, због тога се зупци хеликоидних зупчаника брзо “троше” у раду.



Слика 3.2.3.1.1 – Цилиндрични зупчаник са хеликоидним зупцима

3.2.3.2 Хипоидни зупчасти парови

Хипоидни зупчасти пар настаје спрезањем два конична зупчаника са завојним зупцима чије су осе размакнуте тако да се вратила мимоилазе. Померање оса у смеру нагиба зубаца сматра се позитивним померањем, а померање супротно нагибу зубаца је негативно померање.



Слика 3.2.3.2.1 – Хипоидни зупчасти пар

При позитивном померању, код мањег зупчаника се повећавају модул, корак у чоној равни, пречник и угао конуса, а када је у питању негативно померање, ове карактеристике се смањују.

У циљу смањења хабања зубаца и смањења буке при раду, померање оса би требало да је што мање.

Најмањи број зубаца ових зупчаника је $z_1 = 6$ (у изузетним ситуацијама 4). Постоје и друге препоруке у зависности од методе која се користи за израду ових зупчаника и у зависности од угла нагиба зубаца.

Због повећаног клизања, олакшано је стварање уљног филма и рад је мирнији. Да би се пренела велика оптерећења, потребно је обилно подмазивање и то специјалним уљима (хипоидним уљима).

Погонски зупчаници код хипоидних зупчастих парова обрађују се у положају размакнутих оса, а тањирасти (гоњени) зупчаници се израђују на исти начин као и обични конични зупчаници са завојним зупцима.

Предности хипоидних зупчастих парова су у томе што погонски зупчаник може да се улежишти са обе стране (уместо да се налази на препусту вратила) или може на једном погонском вратилу да се налази више малих зупчаника, па се тако снага преноси са једног погонског вратила на више гоњених.

3.2.3.3 Пужни преносници

Пужни преносник или пужни пар састоји се од пужа и пужног кола (пужног зупчаника). Представљају врсту зупчастих преносника (хиперболоидни зупчасти пар) чије се осе мимоилазе најчешће под углом од 90° . Међутим, овај угао може бити већи и мањи од 90° . Пуж је најчешће погонски део преносника и тада, при преносу кретања, врши се редукција броја обртаја. Погонски део преносника може бити и пужно коло ако је потребна мултипликација броја обртаја. Пужни преносници се ретко примењују као мултипликатори јер су вредности степена искоришћења ниске.



Слика 3.2.3.3.1 – Пужни преносници [6]

Пуж је мањег пречника од пужног зупчаника и има једну или више завојница (зуба) обавијених око цилиндричног или глобоидног језгра. Тако да, пуж подсећа на завртањ или навојно вретено. Пуж са једним почетком навоја је једноходни, а са два почетка навоја двоходни. Угао успона завојнице пужа је мањи од 45° .

Пужни зупчаник обухвата својим зупцима део језгра пужа. Пужни зупчаник личи на половину навртке која уместо да се креће транслаторно, ротира око осе пужног зупчаника. Зато спрега пужа и пужног зупчаника подсећа на спрегу завртња и навртке.

Пужни пар представља један клизни спој. Пошто се функција остварује на основу интензивног клизања, потребно је да један од делова у споју буде од мекшег материјала (пужни зупчаник), а други део од материјала веће тврдоће (пуж). Тако се пужни зупчаник израђује од разних врста бронзе, легура цинка, легура алуминијума, сивог лива, а пуж од челика који је каљен и брушен.

Зависно од смера завојнице, пуж може да буде десни и леви (слика 3.2.3.3.1). Смерови нагиба зубаца за једну спрегу пужа и пужног зупчаника су идентични. Десном пужу одговара десни пужни зупчаник, а левом леви.

При обртању пужа, који је непокретан у аксијалном правцу, обрће се и пужни зупчаник. Смер обртања пужног зупчаника зависи од смера обртања пужа и смера завојнице пужа.

3.3 Материјали за израду механичких зупчаника

Материјали који се користе за израду механичких зупчаника имају велику улогу када је у питању животни век самог зупчаника као и његова функционалност.

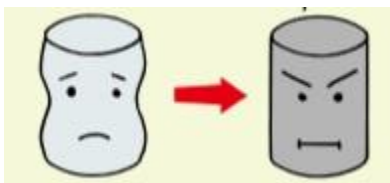
Најчешћи материјали од којих се израђују зупчаници су различите врсте челика, међутим постоје и други материјали за израду као што су неметали и различите врсте пластика.

Од неметала, најчешће се употребљавају алуминијум и бронза, поготово за израду пужних и вијчаних зупчаника, због потребе отпорности на хабање. Пошто се ови зупчаници најчешће израђују од одливака алуминијума, њихова набавка је нешто тежа у односу на челичне зупчанике.

Такође, за израду зупчаника, користе се различите врсте пластичних маса, мада оне се користе за израду зупчаника који нису изложени великим оптерећењима и нису одговорни за конструкције у којима фигуришу. Најчешће се користе у конструкцијама мањих машина или играчака.

Пошто су зупчаници у масовној примени у конструкцијама које припадају тешким конструкцијама, од велике је важности и стање материјала од којих су израђени.

Често се прибегава методама као што су термално загревање разних врста челика, како би се променила структура материјала и самим тим челик постао чвршћи и пружио већу безбедност самој конструкцији.

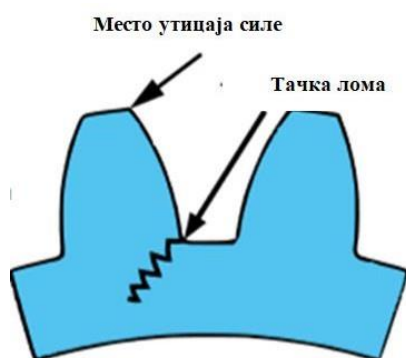


Слика 3.3.1 – Утицај топлоте на тврдоћу материјала [6]

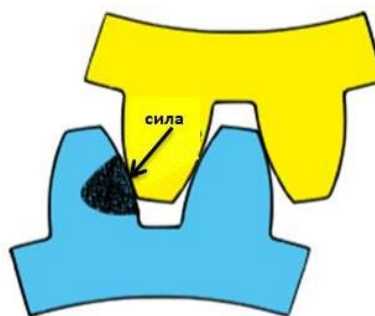
Још једна од важних метода побољшања материјала јесте и каљење. После дифузије молекула угљеника челика на виокој температури, челици отврдњавају тако што је површина материјала отпорнија на хабање са прогресивним меким језгром које задржава еластичност.

3.4 Најчешће грешке при изради зупчаника

Зупчаници захтевају велику прецизност израде. Јачина зупчаника се изражава у смислу чврстоће савијања и његове издржљивости на велика оптерећења. Уколико дође до преоптерећења зупчаника, долази до пуцања зупчаника. До преоптерећења може доћи из више разлога. Уколико материјал, од којих су израђени зупчаници, није адекватан, уколико је дошло до преоптерећења зупчаника и неравномерног преносног односа или уколико нису испоштоване толеранције при изради зупчаника, може доћи до лома зуба зупчаника или до оштећења површине зупчаника.

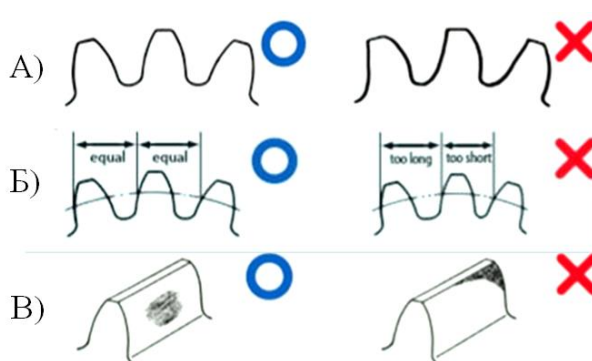


Слика 3.4.1 - Утицај силе на зупчаник и место настанка лома зуба зупчаника [6]



Слика 3.4.2 - Место деловања силе при спрези зупчаника [6]

Осим поштовања толеранција при изради, избора материјала, мора се водити рачуна и о основним карактеристикама и величинама које дефинишу зупчанике, како би зупчаници нормално и ефикасно функционисали. На слици 3.4.3 представљене су могуће грешке које могу довести до неправилног функционисања зупчаника.



Слика 3.4.3 – А) Правилан и неправилан изглед профила зубаца; Б) Место настанка хабања зубаца при спрези зупчаника; В) Разлика у величини корака зупчаника [6]

4 Магнетни зупчаници

Магнетни зупчаници представљају релативно нову врсту преносника. Као што је већ наведено, пренос кретања зупчастим механизмима, осим директним контактом (што је случај код механичких зупчаника), може бити остварен и бесконтактним међусобним дејством, што представља основу магнетних зупчаника. Основа магнетних зупчастих преносника заснива се на природи, расподели и величини магнета који их карактеришу. Већина карактеристика механичких зупчаника, као и механизма у којима фигуришу, зависи баш од природе магнета.

4.1 Основе магнетизма

Да би уопште могло да се говори о магнетним зупчастим преносницима, њиховим поделама и међусобним дејством, превасходно је потребно да се упознају основе магнетизма.

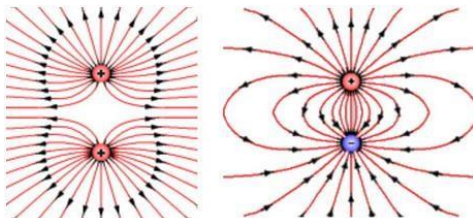
Магнетизам је појава привлачења или одбијања металних предмета. За магнетизам је везано постојање две врсте полова. Истоимени полови се одбијају, а различити се привлаче. Магнетни полови су нераскидиви, односно не може једно тело бити само једног пола а другог да нема. Уобичајено је да се полови зову северни и јужни. Физички је немогуће имати једнопол, магнет са једним полом. Зато се магнет зове дипол, јер има оба пола. Магнети се могу поделити на:

- Природне (магнетит, Fe_3O_4);
- Вештачке.

Магнетизам је један облик појављивања дуалне, електромагнетне силе. Дуалност се огледа у чињеници да електрична струја (кретање електрицитета) изазива магнетно поље, а да промена магнетног поља изазива електрично поље (и кретање слободних носилаца електрицитета, електричну струју).

Магнетно поље је посредник узајамног деловања магнетним силама.

Величина која карактерише магнетно поље у некој његовој тачки је векторска величина са смером и правцем као и интензитетом. С обзиром да се визуелизација магнетног поља остварује цртањем линија сила магнетског поља то се јачина поља дочарава густином линија.



Слика 4.1.1 - Линије сила електричног поља између истоимених и разноимених наелектрисања

У зависности од тога од којих су материјала изграђени, разликују се [10], [11]:

- Дијамагнетизам;
- Парамагнетизам;
- Феромагнетизам;

Дијамагнетизам настаје усред промене орбиталног кретања електрона услед спољашњег деловања магнетног поља. Дијамагнетни материјали су материјали чији атоми немају сопствени магнетни момент. Намагнетисање таквих тела врши се спољашњим магнетним пољем. Дијамагнетизам настаје под утицајем спољашњег магнетног поља услед електромагнетне индукције. Дијамагнетизам је универзално својство материје. Индуковани магнетни моменти јављају се у свим супстанцама када се унесу у магнетно поље.

Парамагнетни материјали, односно њихови атоми и молекули имају сталне магнетне моменте, чије су осе, због сталног кретања, оријентисане насумично. Уношењем оваквог материјала у магнетно поље, постојећи магнетни моменти се усмеравају у правцу поља, насупрот дезоријентисаном дејству термичког кретања. Магнетизација у том случају, једнака је нули, јер за сваки магнетни момент у једном смеру, постоји исти такав магнетни момент у супротном смеру.

Феромагнетни материјали су они материјали чији атоми имају неки резултујући магнетни момент. Феромагнетизам је својство материјала, попут гвожђа, да „запамти“ учинак магнетног поља ком је био изложен. Феромагнети се састоје од мноштва микроскопских домена скупа атома величине $5 \times 10^{-5} \text{m}$.

Феромагнетни материјали имају изражене магнетне особине. Осим овог својства, феромагнетици имају низ других карактеристичних својства, као што је хистерезис и губитак феромагнетних својстава изнад одређене температуре. Оваква карактеристична својства су резултат постојања микроскопски малих, спонтано намагнетисаних области, односно, домена у кристалима феромагнетика. Домени су групације већег броја атома чији су магнетни моменти доведени до паралелне оријентације. После великих прорачуна, закључено је да је феромагнетизам условљен некомпезованим магнетним моментима спина електрона, док су орбитални магнетни моменти електрона од секундарног значаја.

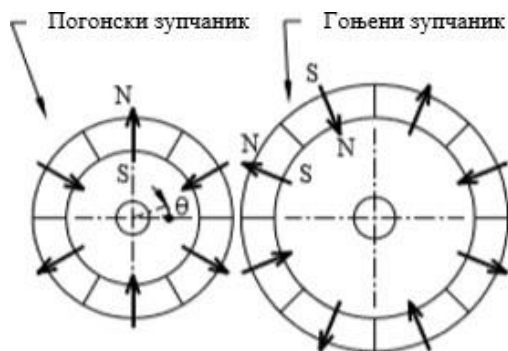
Магнетизација феромагнетика, у почетку се веома брзо повећава са порастом јачине магнетног поља, а затим постепено наступа засићење и након тога, магнетизација се не повећава даљим повећањем магнетног поља. Дакле, после засићења феромагнетика, магнетна индукција ће се повећавати само због пораста јачине спољашњег поља.

4.2 Основе магнетних зупчаника

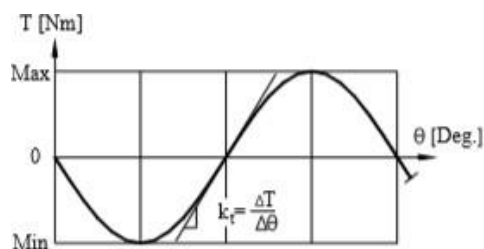
За разлику од механичких зупчаника, где се појављују зупци који су у спрези, код магнетних зупчаника доминантни су магнети, помоћу којих се врши пренос и трансформација кретања. Код механичких зупчаника, зупци који су се налазили на зупчанику, били су једнаки и израђени од истог материјала и имали су исте особине материјала, што није случај код магнетних зупчаника. Код магнетних зупчаника, делови зупчаника који долазе у спрегу, не представљају зупце зупчаника, већ половине магнета зупчаника. Материјали од којих су израђени магнетни зупчаници су најчешће феромагнетни материјали, чија су својства и особине већ наведене у претходном поглављу.

Као код механичких, и код магнетних зупчаника, у спрегу улазе погонски и гоњени зупчаник, који имају исте функције као и код механичких зупчаника. При спрезању погонског и гоњеног зупчаника, међусобним бесконтактним дејством, један на други, делују разноимени магнети. Односно, јужни и северни пол погонског и гоњеног зупчаника међусобно делују један на други.

Пошто не постоји директни контакт између магнета, долази до, такозваног, ефекта опруге фиктивног обртног момента. Ова појава, ефекта опруге, може да се објасни ако се замисли да је један од зупчаника фиксиран (непокретан), док се други окреће под малим углом. У том случају, доћи ће до појаве извесног обртног момента између ова два зупчаника. Величина обртног момента зависиће од угла обртања зупчаника. Овај феномен је приказан на слици 4.2.1, где је приказан механизам који се састоји од два магнетна зупчаника, од којих је један погонски а други гоњени зупчаник.



Слика 4.2.1 - Механизам од два магнетна зупчаника (погонског и гоњеног) [8]



Слика 4.2.2- Дијаграм зависности обртног момента од угла окретања зупчаника [8]

На дијаграму је приказана зависност обртног момента од угла окретања зупчаника у односу на други зупчаник.

Максимални обртни момент магнетног зупчаника $T_{\max}$ зависи од угла окретања зупчаника.

4.3 Подела магнетних зупчаника

Магнетни зупчаници се могу поделити на две основне врсте [8]:

- Магнетне зупчанике са блиским магнетима;
- Магнетне зупчанике који преносе кретање помоћу магнетног флукса.

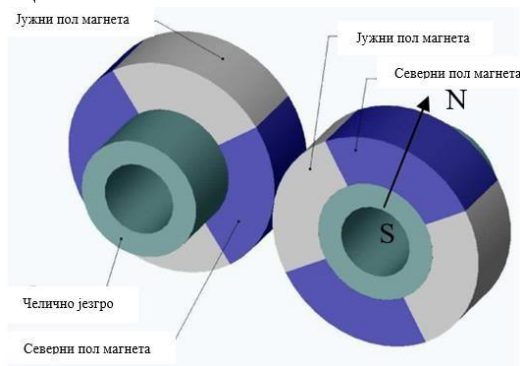
Магнетни зупчаници са блиским магнетима представљају најједноставније зупчасте магнетне парове.

Магнетни зупчаници који преносе кретање помоћу магнетног флукса, заснивају се на сталном магнетном ротору који преноси магнетни флукс на сегменте гвожђа.

4.3.1 Магнетни зупчаници са блиским магнетима

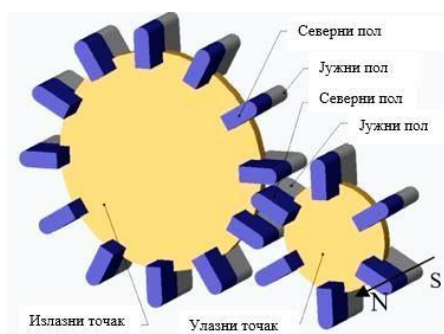
Постоји више врста магнетних зупчаника који могу да се категоришу као магнетни зупчаници са блиским магнетима. Ова врста зупчаника се заснива на интеракцији између два магнетна зупчаника који се налазе на две или више оса. Технологија се заснива на два зупчаника чије су површине прекривене магнетима. Магнети једног зупчаника су у интеракцији са магнетима другог зупчаника стварајући покретачку силу на погонском магнетном зупчанику.

Најједноставнији пример ове врсте зупчаника јесте радијални магнетни зупчасти пар [8] који је приказан на слици 4.3.1.1.

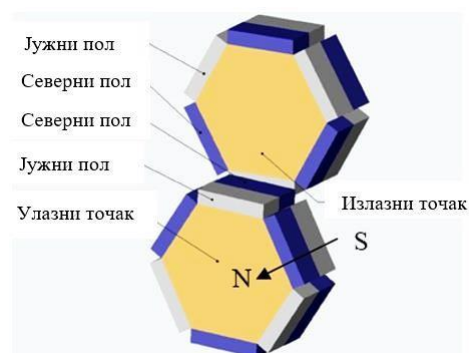


Слика 4.3.1.1- Магнетни зупчаници са блиским магнетима [8]

У зависности од положаја магнета, постоје различите врсте магнетних зупчаника са блиским магнетима, које су приказане на сликама 4.3.1.2 и 4.3.1.3.



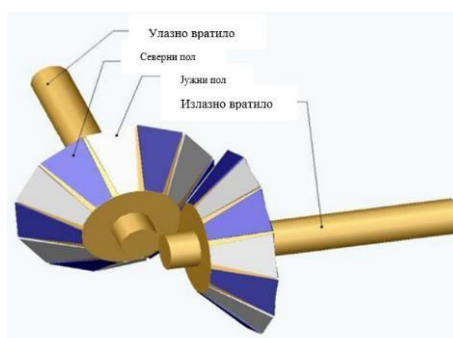
Слика 4.3.1.2 – Магнетни зупчasti пар са преклопним магнетима [8]



Слика 4.3.1.3 – Магнетни зупчasti пар са измештеним магнетима [8]

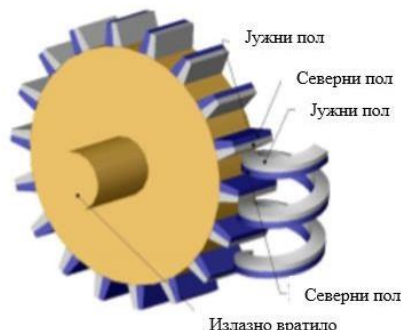
Такође, један од главних проблема, који би ови магнети могли да изазову, због природе магнетизације, јесте међусобно одбијање магнета. До тога може да дође ако постоји појава да се два истоимена магнета преклапају, односно да су сви магнети окренути у истом аксијалном смеру. Аксијална магнетизација ће у овом случају покушати да одржи исту раздаљину између магнетних полова. Између магнета зупчастих преносника, који имају овакву врсту конструкције, постоји физички контакт уколико је обртни момент превелики.

Такође, постоје и магнетни зупчasti парови који су слични коничним и пужним механичким зупчастим преносницима, задржавајући карактеристике магнетних зупчаника.



Слика 4.3.1.3 – Магнетни конични зупчаници [8]

На слици 4.3.1.4 приказан је магнетни зупчasti пар, који је сличан механичким коничним зупчаницама. Дакле, код ових врста зупчаника, осе се секу, што је одлика коничних зупчаника, а површина зупчаника је прекривена магнетима севебног и јужног пола, дефинишући овај зупчasti пар као магнетни.

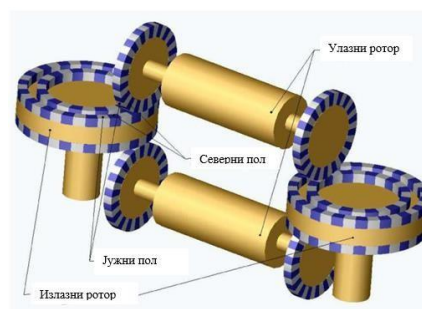


Слика 4.3.1.4 – Пужни магнетни преносник [8]

На слици 4.3.1.5 приказан је магнетни зупчasti пар сличан пужном механичком преноснику. Површина зупчаника је прекривена разноименим магнетима, који су испупчени, како би остварили међусобну интеракцију са пужом који је такође намагнетисан. Као и код пужних преносника, и овде магнетни зупчаник врши ротационо, а пуж хеликоидно кретање.



Слика 4.3.1.6 - Магнетни зупчasti преносници са мимоилазним осама [8]



Слика 4.3.1.7 - Магнетни зупчаници са два илазна вратила [8]

Магнетни зупчasti преносници код којих се осе вратила мимоилазе су нешто другачији. Првенствено, магнети су распоређени по целој дебљини зупчаника, односно дебљина магнета дефинише дебљину зупчаника, а распоред им је другачији од распореда магнета претходно приказаних магнетних зупчаника, полови магнета наизменично су распоређени по хеликоидним путањама. Како ће се понашати у току преноса обртног момента, зависи од више параметара као што су: дебљина магнета, број магнета, као и ширина зупчаника.

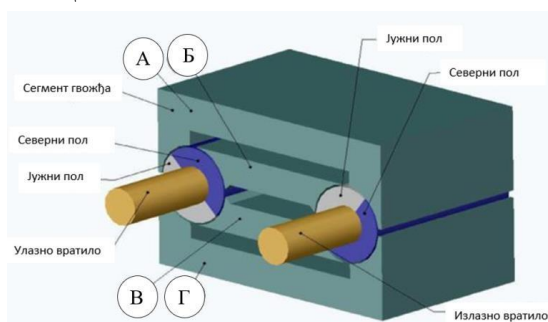
Специфичнији изглед магнетног зупчастог преносника представља врста магнетних зупчаника са два излазна вратила.

Сличан је вишестепеном механичком мењачу. Ови магнетни преносници могу да промене положај у аксијалном правцу. Самим тим, долази до промене целокупног механизма. Врста и начин промене зависе од броја полови магнета који су укључени у целокупни механизам, као и од пречника основног круга зупчаника. Овај тип магнетног механизма приказан је на слици 4.3.1.7 [8].

4.3.2 Начин функционисања и различита извођења магнетних зупчаника који врше кретање помоћу магнетног флуksа

У претходном поглављу описани су магнетни зупчаници са блиским магнетима, тако да магнетни флуks „путује“ од једног магнета, преко ваздушног простора, до другог магнета.

Ова врста магнетних зупчаника, који преносе кретање помоћу магнетног флуksа, имају гвожђе као додатни елемент и заснивају се на померању главног магнетног флуksа. Ови магнетни преносници састоје се од две осовине, које су магнетизоване северним и јужним половима магнета, а између њих се налазе сегменти гвожђа. Овај тип магнетних преносника приказан је на слици 4.3.2.1.



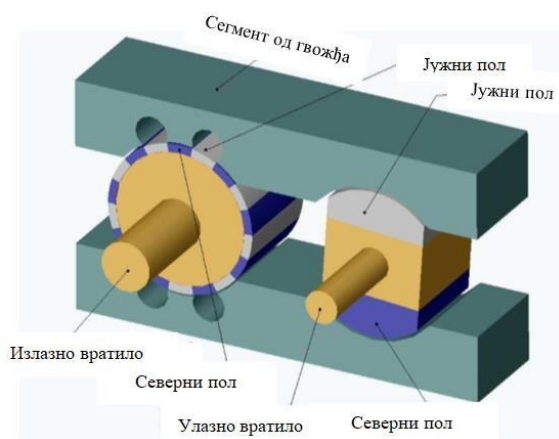
Слика 4.3.2.1 – Магнетни зупчаници са елементима гвожђа чији преносни однос зависи од положаја магнета и оса вратила [8]

На слици 4.3.2.1 приказан је тип магнетних зупчаника који преносе кретање помоћу магнетног флукса. Магнетни флукс се креће и пролази кроз сегменте који су означени словима (А, Б, В и Г). Главни магнетни флукс прво пролази кроз сегменте Б и Г, а даљим проласком кроз остале сегменте се смањује, тако да је у сегментима А и В мањи [8].

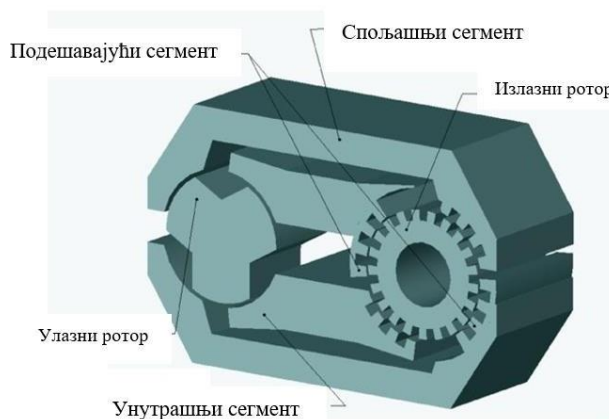
Међутим, ако би се магнетни зупчаници окретали тако да су северни и јужни полови магнета у вертикалном положају, онда би магнетни флукс био подједнако распоређен у свим сегментима. Уколико су осе вратила удаљене једна у односу на другу, магнетни флукс би првенствено пролазио кроз сегменте А и В, а у осталим сегментима би био мањи [8].

Осим овог случаја, када преносни однос зависи од положаја магнета, као и од међусобног основног растојања оса, постоји и зависност преносног односа у зависности од броја магнета који сачињавају магнетни зупчаник.

Овај тип магнетних зупчаника, чији преносни однос зависи од броја магнета, приказан је на слици 4.3.2.2. Преносни однос представља се релацијом $1:n_p$, где n_p представља број магнетних парова који улазе у састав овог магнетног механизма. Магнетни флукс који настаје, такође пролази кроз два гвоздена сегмента. Овај тип магнетног механизма има само једну фазу и из тог разлога велика је вероватноћа да ће доћи до проблема у току њиховог рада [8].



Слика 4.3.2.2 - Магнетни зупчаници који преносе кретање помоћу магнетног флукса, чији преносни однос зависи од броја полови магнета који чине зупчasti пар [8]



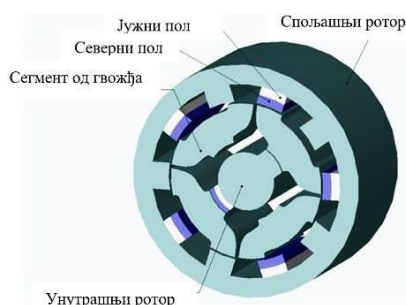
Слика 4.3.2.3 - Магнетни зупчаници који врше кретање помоћу електромагнетизма [8]

Овај тип магнетних механизма, који је приказан на слици 4.3.2.3, као основне сегменте користи електромагнете помоћу којих се ствара магнетни флукс који се касније креће кроз различите сегменте, чији се интензитет смањује током времена кретања. Интензитет магнетног флукса такође зависи и од распореда сегмената који сачињавају механизам.

Магнетни зупчаници, као што је већ описано, имају доста предности у односу на механичке зупчанике. Поред тишег рада, бесконтактних међусобних површина, самим тим и мањег трења, потреба за подмазивањем је непотребна, тако да је целокупан механизам у којима се налазе поједностављен. Поред свих ових предности, једна од најважнијих је да пружају велики преносни однос што је у појединим системима од велике важности. Међутим, поред свих ових предности које имају, иако су дуго били испитивани, како појединачни магнетни зупчасти парови, тако и њихово понашање и функционалност у прототипима система у којима фигуришу, потреба за оптимизацијом појединих делова система је неопходна. Ова потреба је неопходна највише због природе магнета. Иако су дуго испитивани, још увек нису пронађена идеална решења како би се отклониле неповољне силе које настају, као и апсолутно контролисање магнетне силе.

5 Механизми у којима се примењују магнетни зупчаници

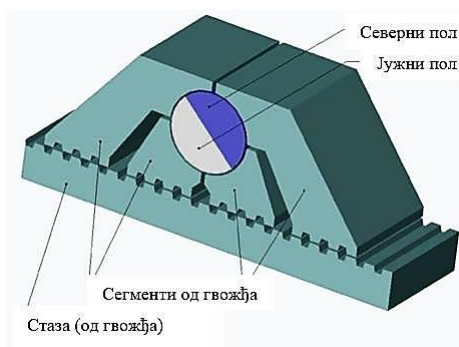
Појединим механизмима, за нормалан и несметани рад, потребно је да се обезбеди велики преносни однос при преносу кретања. Једна од одлика магнетних зупчаника је, управо та, да имају високи степен искоришћења, односно, велики преносни однос.



Слика 5.1 - Линеарни магнетни зупчаници [8]

На слици 5.1 приказан је механизам линеарног магнетног зупчаника који се састоји од сегмента који је израђен од гвожђа са зупцима. Како се вратило, које је прекривено магнетима, ротира, магнетни флуks ће бити приморан да пролази кроз одређене сегменте и да утиче на положаје појединих, што, у овом случају, значи да ће положај сегмента стазе од гвожђа бити промењен.

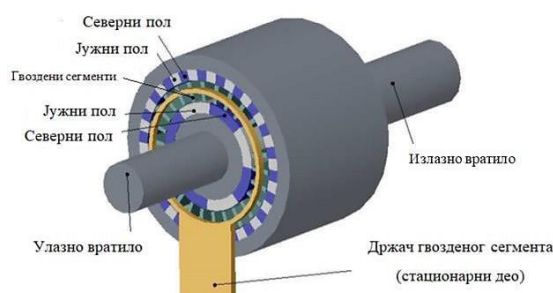
Када се прича о међусобном распореду сегмената, не говори се само о распореду између група сегмената, већ и о распореду појединачних сегмената који чине једну групу, као што су магнети. Магнети, пошто чине једну групу сегмената који сачињавају механизам, могу међусобно да буду различито распоређени, као што је случај код механизма који је сличан планетарном типу магнетног механизма.



Слика 5.2 - Магнетни механизам планетарног типа [8]

На слици 5.2 приказан је магнетни механизам који има сличност са механичким планетарним типом зупчаника [8]. Као што је већ описано у претходним случајевима, и овде се кретање заснива на магнетном флуксу који пролази кроз различите сегменте. Кретањем кроз различите сегменте, флукс има различити облик и различите величине, а самим тим и различите енергетске интензитете. Магнетни флукс се највише мења у деловима који су израђени од гвожђа.

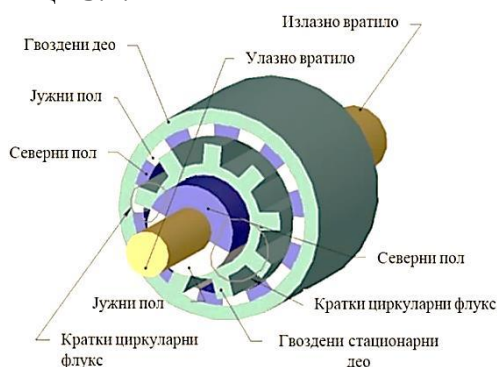
Као што је поменуто, кретањем флукса, он у одређеним деловима губи енергију па је његов интензитет мањи. Због овога, постоје магнетни механизми који одржавају енергију магнетног флукса константном. имају високу преформансу енергије магнетног флукса. Овај тип механизма приказан је на слици 5.3.



Слика 5.3 – Магнетни механизам са високим енергетским преформансама магнетног флукса [8]

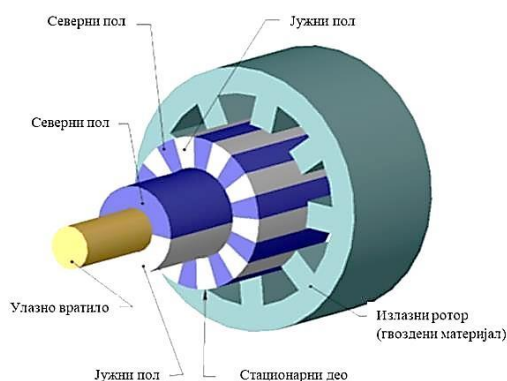
Осим овог типа планетарних магнетних зупчаника, постоје још неки типови чије су конструкције различите, као што су распоред, положај магнета, као и број магнета који улази у састав. Такође распоред сегмената који су израђени од гвожђа, њихов положај у односу на магнете, вратила као и уопштено њихов облик, од великог је значаја за кретање магнетног флукса, а самим тим и за целокупну покретљивост механизма као и способност преноса кретања [8].

Један од најсличнијих планетарном механизму, јесте Акерманов механизам са гвозденим сегментом који се налази у средини, који је патентиран 1997. године. Овај механизам је приказан на слици 5.4.

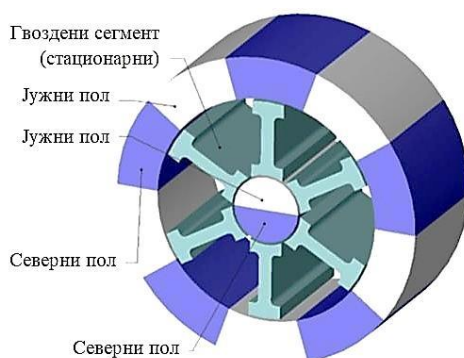


Слика 5.4 - Акерманов механизам са средишњим гвозденим делом [8]

Проблем механизма овакве конструкције јесте што је флукс веома кратког домена. Због овог проблема, Акермен је патентирао механизам са излазним ротором који је са спољашње стране механизма, док се у унутрашњости налазе само парови магнета у облику прстена које није лако направити. Овај тип је приказан на слици 5.5 [8].

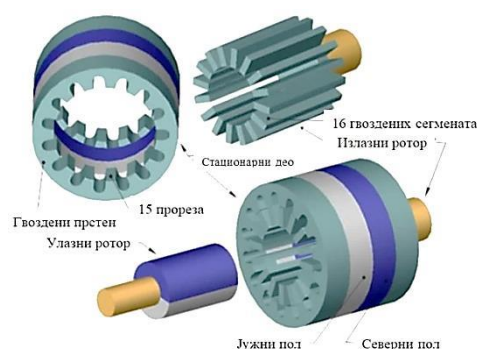


Слика 5.5 - Акерменов механизам са побољшаним циркуларним магнетним флуксом [8]



Слика 5.6 - Мартинова верзија планетарног магнетног зупчаника [8]

Још један начин конструкционог извођења ове врсте магнета приказан је на слици 5.6 који представља Мартинов планетарни магнетни зупчаник [8]. За разлику од осталих конструкција, које су до сада описане, ова се издваја по томе што су зидови сегмената од гвожђа, који се налазе у средини, веома танки. Због тога се повећава интензитет магнетног флукса, који може изазвати засићење у гвожђу. Међутим, када је ова врста патентирана (1960. године), нису постојали неодијумски магнети, што објашњава овакву врсту дизајна са танким зидовима од гвожђа. Осим тога, сегменти су јако издужени, што такође утиче на интензитет и ток магнетног флукса.

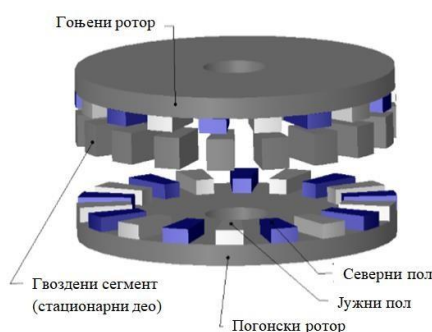


Слика 5.7 – Састав високо-преформансног магнетног преносника [8]

На слици 5.7 приказан је магнетни планетарни преносник са високим преносним односом. Ова врста конструкције представља конструкције са константним магнетним флуksom великог интензитета (високо-преформансни магнетни преносник). Преносник се састоји од двополно-магнетизованог улазног ротора, излазног ротора са гвозденим сегментима и стационарним делом на коме се налазе перманентни магнети и гвоздени прстен помоћу ког се наводи ток магнетног флукса. Сегмент који је стационаран прстенастог је облика и има 15 сегмената док излазни ротор има 16 гвоздених сегмената. Принцип функционисања је следећи: Ако се улазни ротор ротира тако да северни пол магнета доведе у положај „на 12 сати“, то ће довести до тога да се горња половина гвозденог елемента магнетизује северним намагнетисањем [8].

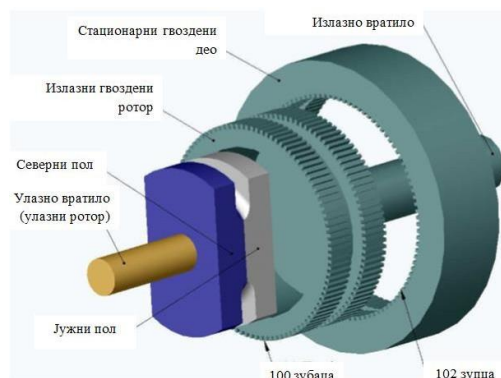
Магнетисањем горње половине стационарног гвозденог елемента северним полом магнета, доводи до тога да привлачи јужни пол ка себи. Када се ротор окрене за један пун круг, онда се излазно вратило помери за $1/16$ круга због промене магнетизације у гвозденим сегментима.

На слици 5.8 приказано је још једно конструкционо решење планетарног типа магнетних преносника, мађутим, овај случај је модификован, тако да функционише у аксијалном правцу.



Слика 5.8 - Модификовани планетарни тип магнетног зупчастог преносника [8]

Овај тип магнетног преносника се састоји од два прстена који су магнетизовани северним и јужним половима. Магнети полова се налазе са унутрашње стране, тако да су окренути једни према другима, док се прстени ротирају око исте осе. Челични сегмент је постављен између ова два прстена, тако да он, у суштини, преноси обртни момент.



Слика 5.9 - Магнетни зупчasti преносни механизам који се заснива на хармоничном погону [8]

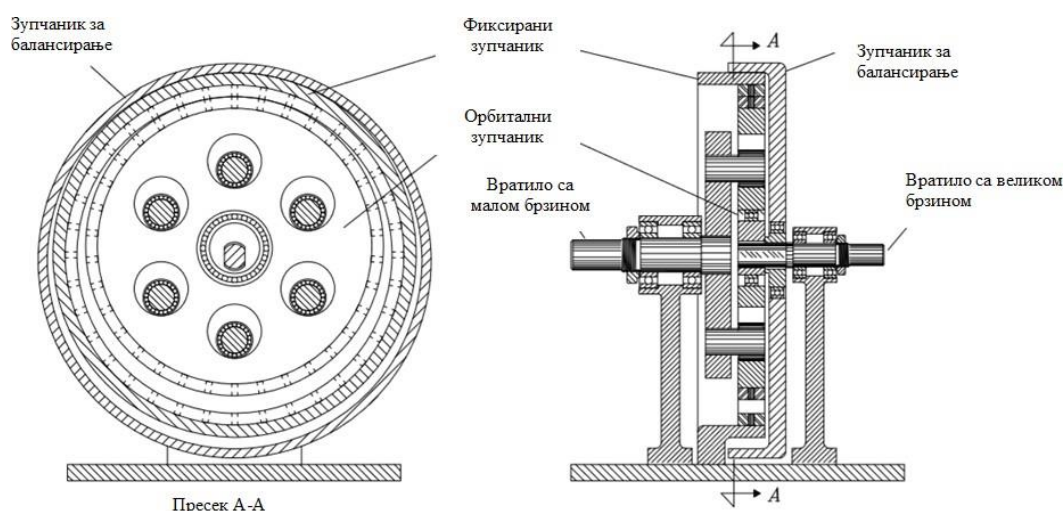
Други тип механизма магнетног преносника, који се састоји из три дела, приказан је на слици 5.9. Два елемента, који улазе у састав овог механизма, израђени су од челичног материјала, док је трећи део израђен од перманентног магнетног материјала. Овај тип има улазни ротор, који је израђен од перманентног магнета, и излазног ротора, који је израђен од челичног материјала. Стационарни спољни део је такође израђен од челика и овај део има 102 зупца изнутра. На излазном ротору се налази 100 зубаца са спољашње стране. Када је положај механизма такав да су полови магнета у хоризонталном положају, односно, под углом од 180° , тада су зупци на излазном ротору и стационарном делу у истој равни. Када се примени нулти обртни момент, ротор ће да обезбеди прецизно поравнање између излазног ротора и стационарног дела. Ако северни пол магнета, који се налази на улазном вратилу, заузме положај „на 12 сати“ и окреће се у смеру казаљке на сату, доћи ће до повећања ротације на излазној осовини за 2 зупца. Пошто се на стационарном делу налази 100 зубаца, онда ће преносни однос бити 50. За овај тип механизма магнетног преносника, сматра се, да може бити примењен уколико је неопходно постизање великог преносног односа [8].

5.1 Циклоидни магнетни редуктор

Један од механизма у којима се примењују магнетни зупчаници јесте циклоидни магнетни редуктор [12].

Редуктори који користе магнетне зупчанике уместо механичких, постају све атрактивнији. Међутим, још увек нису толико развијени да би се у многоме разликовали од механичких, али за сада велику предност имају и због тога што имају тиши и мирнији рад, као и што је одржавање целокупног система поједностављено. Постоје различита конструкциона извођења ових механизма. У механичким преносницима попут ових, због природе магнета, и у циклоидном магнетном редуктору постоје привлачне магнетне силе између сегмената које га сачињавају тако да у појединим сегментима постоји и међусобни контакт. На слици 5.1.1 приказан је циклоидни магнетни редуктор. Елементи који фигуришу у њему су пре свега „зупчаници“. Сваки од „зупчаника“ има правилно радијално постављене наизменичне полове магнета. Магнети, који су постављени у радијалним бушеним рубовима израђених од нерђајућег челика, не излазе из цилиндричних површина [12].

Код циклоидних редуктора, централни зупчаник се погони помоћу ручице на вратилу велике брзине.



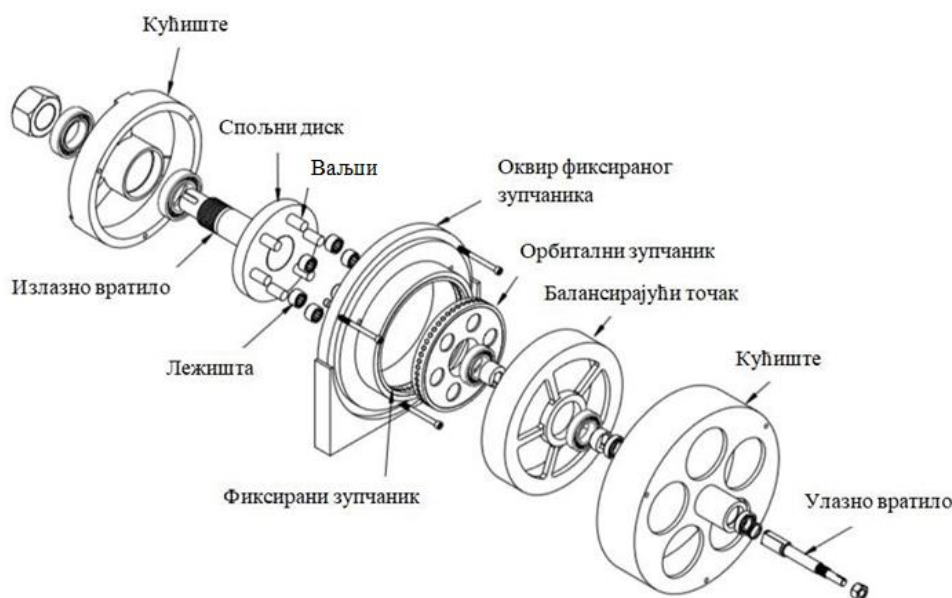
Слика 5.1.1 - Приказ циклоидног магнетног редуктора [12]

Језичак је сегмент улазног вратила са две паралелне равне површине, које продире у жлеб у централном делу на коме се поставља централни зупчаник помоћу кугличних лежајева. Ексцентричност жлебова на централном делу је једнак радијусу централног зупчаника. Дужина жлебова је нешто већа од ширине језичка и дозвољава привлачење централног зупчаника магнетном силом од стране фиксiranог зупчаника. Услед тога, јавља се нормална контактна сила између зупчаника. Ова нормална сила се повећава услед центрифугалне силе централног зупчаника у току рада механизма. На тај начин, централни зупчаник се окреће на фиксiranом зупчанику. Да би се избегло клизање површина, однос пречника контактних површина мора бити једнак одговарајућем односу парова магнета. Због овога, произилазе следеће предности:

- 1) Капацитет преноса обртног момента је повећан, јер се, поред магнетне силе, између зупчаника јавља и сила фрикције, која је повезана са нормалном контактном силом;
- 2) Радијално оптерећење лежајева орбиталног зупчаника се елиминира;
- 3) Потреба за прецизним контролисањем одвајања између зупчаника се такође елиминира;
- 4) Већа магнетна интеракција између магнета се добија елиминисањем простора између њих.

Новији дизајни циклоидних редуктора овог типа теже да се куглични лежајеви замене игличастим, како би се смањило трење, а самим тим повећала и ефикасност целокупног система.

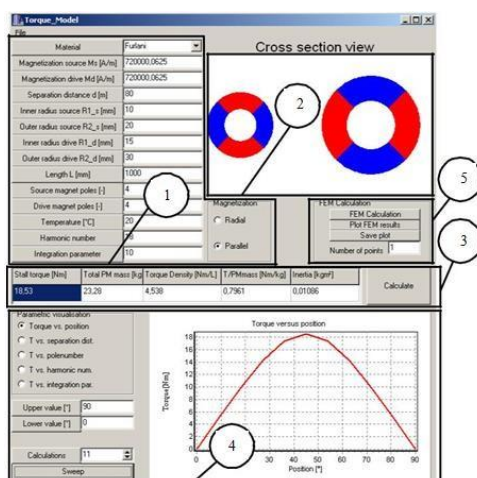
Прототип овог механизма је направљен и тестиран, међутим уочене су неке грешке у вези са вратилом мале брзине. Такође и монтажа дискова захтева одређене прераде [12].



Слика 5.1.2 - Експанзионски приказ циклоидног магнетног редуктор [12]

6 Софтвери који се користе за анализу магнетних зупчаника и њихове функције у механизмима

Постоје програми помоћу којих је могуће прорачунати разне параметре који су у вези са магнетним зупчаницима. Помоћу основних улазних параметара попут броја магнета, њиховог међусобног положаја, њихових пречника, врло лако се могу добити излазни параметри. За овакво израчунавање, користе се веома комплексне диференцијалне једначине, чије је израчунавање овим поступком упрошћено.

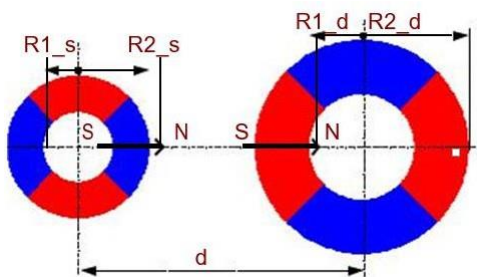


Слика 6.1 - Приказ изгледа програма за израчунавање параметара магнетних зупчаника [8]

На слици 6.1 приказан је изглед корисничког интерфејса програма помоћу ког се врши прорачун различитих параметара магнетних преносника, подељених на пар поља. Свако поље представља посебан извор информација при прорачуну.

Прво поље представља унос материјала од ког су израђени зупчаници. Подаци о магнетизацији трајног магнета налазе се у бази података у оквиру програма у којој се чувају сви подаци о материјалима који су унети. Осим тога, корисник има могућност додавања нових материјала, као и могућност измене његових карактеристика. Помоћу ових параметара као улазних, могуће је добити коефицијент температуре као и магнетизацију као излазне информације.

Друго поље представља пресек магнетног зупчаника који се ажурира сваким уношењем нових параметара.



Слика 6.2 - Приказ пресека магнетних зупчаника [8]

Треће поље се односи на израчунавање обртног момента. Могућност претварања обртног момента зависи од угла ротације погонског магнета. Овај прорачун се врши помоћу синусоидне функције. Највиша тачка ове синусоидне функције одговара максималном обртном моменту.

Четврто поље се односи на параметарску визуелизацију која има 4 опције, и то [8]:

- Обртни момент у односу на положај;
- Обртни момент у односу на раздаљину;
- Обртни момент у односу на број полова магнета;
- Обртни момент у односу на број интеграција.

Пето поље се односи на укупно израчунавање свих параметара који су појединачно били уношени и израчунавани. Осим тога, овај део служи и за упоређивање са резултатима који су добијени аналитичким путем.

7 Закључак

Преносници попут зупчаника, као главну улогу имају преношење кретања између погонске и радне машине, узимајући у обзир потребе и функционалност целокупног система у којима се налазе. У зависности од положаја у систему, функције и потребе врши се избор најпогоднијег зупчастог пара. У данашње време, велика је потреба за преносницима који омогућавају велики преносни однос, без пуно губитака током рада. Поред механичких зупчаника, који су и даље најзаступљенији у механизмима који се користе, постоје и магнетни зупчаници који управо ове потребе механизма за великим преносним односом покривају.

Рад магнетних зупчаника се заснива на бесконтактном међусобном дејству магнетних сила. Постоје магнетни зупчasti преносници са блиским магнетима и магнетни зупчasti преносници чији се рад заснива на контролисању магнетног флуksа. Због природе магнетне силе, тешко је апсолутно контролисати функционисање магнетних зупчаника. Такође и диктирање тока магнетног флуksа, код зупчаника чији се рад базира на томе, веома је тешко, тако да постоје разна конструктивна решења како би се најбоље искористиле све предности које ови преносници поседују. Пошто директни међусобни контакт између магнета не постоји, не долази ни до каквог хабања, трошења материјала од којих су израђени, као ни потреба за подмазивањем. Магнетни преносници се најчешће израђују од феромагнетних материјала. Приликом функционисања, за разлику од механичких, где зупци улазе у спрегу и остварују међусобни контакт, код магнетних преносника не постоје зупци, већ су то полови магнета.

Иако су релативно нови преносници, нашли су своје место у многим механизмима. Један од тих механизма је циклоидни магнетни редуктор. Међутим, иако имају доста предности у односу на механичке зупчанике, неопходна је оптимизација магнетних преносника, као и проналазак решења апсолутног контролисања природе магнетне силе.

8 Литература

- [1] Преносници снаге и кретања, приступљено јуна, 2018. године <https://www.scribd.com/doc/109972363/Prenosnici-Snage-i-Kretanja> ;
- [2] Николић В.: Машински елементи, теорија и примери, Машински факултет у Крагујевцу, 2004. ;
- [3] Миличић Д., Банић М., Милтеновић А., Миличић М.: Машински елементи, Машински факултет у Нишу, 2015. ;
- [4] Булатовић Б.Р.: Машински елементи 1, изводи из теорије, ријешени задаци, таблице и дијаграми, Универзитет Црне Горе, машински факултет у Подгорици, 2016. ;
- [5] Булатовић Б.Р.: Машински елементи 2, изводи из теорије, ријешени задаци, таблице и дијаграми, Универзитет Црне Горе, Машински факултет у Подгорици, 2017. ;
- [6] History of Gears, приступљено јуна, 2018. године, , <https://www.scribd.com/document/47769321/History-of-Gears> ;
- [7] Da Vinci L.: Codex Madrid I, приступљено јуна, 2018. године http://ebooks.library.cornell.edu/k/kmoddl/toc_leonardo1.html ;
- [8] Jørhensen, F.T.: Design and construction of permanent magnetic gears, Department of Energy Technology, Aalborg University, 2010. ;
- [9] Зупчасти преносници снаге, приступљено јуна, 2018. године, http://moodle.mfkg.rs/pluginfile.php/104519/mod_resource/content/1/02_ME_Cilindricni%20zupcanici%20sa%20pravim%20zupcima.pdf
- [10] Видић Ж.: Магнетизам и магнетне величине, семинарски рад из предмета “Електротехнике“, Универзитет у Бањој Луци, приступљено јуна, 2018. Године, <https://www.scribd.com/doc/20156736/Magnetizam-i-Magnetne-Vecine> ;
- [11] Николић М.: Електромагнетизам, приступљено јуна, 2018. године <https://www.scribd.com/doc/50452897/automatic-electro-magnetic-gear-shifting> ;
- [12] Chicurel-Uziel R.: Cycloidal Magnetic Gear Speed Reducer, 2013. .