

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Катарина С. Ђусић

**Мењачи са континуално променљивим
преносним односима**

Мастер рад

Крагујевац, 2020.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Структура и конструкција МВ

Број индекса: 423/2018

Катарина С. Ђусић

Мењачи са континуално променљивим преносним односима

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др. Јасна Глишовић, ванр. проф.

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да

- објасни улогу, тј. задатак мењачких преносника на моторним возилима, као и историјски развој овог система,
- прикаже поделу (врсте) мењача са континуално варијабилним преносним односима (варијатора),
- да основне карактеристике варијатора,
- прикаже савремена решења мењача са континуално променљивим преносним односима,
- уради модел тороидног типа мењача за возила по избору.

Препоручена литература:

- [1] Танасијевић С.: Механички преносници: ланчани преносници, зупчасти каишни преносници, кардански преносници, “Научна књига“, Београд, 1983.
- [2] Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W.: Automotivetransmissions-Fundamentals, Selection, DesignandApplication; SecondEdition; Springer, Berlin 2011
- [3] Глишовић Ј.: Конструкција возила, Методичка збирка задатака са изводима из теорије, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014.

Крагујевац, 9.03.2020. год.

Ментор:

Др Јасна, Д. Глишовић, ванр.проф.

Резиме:

У оквиру рада разматрани су историјски развој, примена и подела мењачких преносника, са акцентом на континуално варијабилну трансмисију. Анализиране су карактеристике континуално варијабилне трансмисије и то: варијатора, тороидних и хидростатичких мењачких преносника. Приказани су примери примене CVT и тороидних мењачких преносника на савременим моторним возилима. Извршена је рачунска провера перформанси возила са тороидним мењачким преносником и одређен максималан и минималан преносни однос преносника. На основу постојећих модела и рачунске провере урађен је 3D модел тороидног мењачког преносника.

Кључне речи: варијатор, CVT мењач, тороидни мењач.

The paper discusses the historical development, application and division of transmission, with an emphasis on continuously variable transmission. The characteristics of continuously variable transmission are analyzed, namely: variators, toroidal and hydrostatic transmission. Examples of application of CVT and toroidal transmission on modern vehicles are presented. A calculation check of the performance of the vehicle with a toroidal transmission was performed and the maximum and minimum gear ratios of the transmission were determined. Based on the existing models and computational verification, a 3D model of a toroidal transmission was made.

Keywords: variator, CVT transmission, toroidal transmission.

Садржај:

1. Увод.....	5
2. Историјски развој мењачких преносника, подела и примена.....	6
2.1. Историјски развој аутоматских мењачких преносника.....	6
2.2. Подела и примена мењачких преносника.....	7
2.2.1. Механички – мануелни мењачки преносници.....	9
2.2.2. Полуаутоматски и аутоматизовани мануелни мењачи.....	12
2.2.3. Аутоматски мењачки преносници.....	14
3. Карактеристика и поделе мењачких преносника са континуално променљивим преносним односом.....	28
3.1. Основне карактеристике варијатора.....	28
3.2. Основне карактеристике тороидних мењачких преносника.....	39
3.3. Основне карактеристике хидростатичких мењачких преносника са континуално променљивим преносним односом.....	45
4. Примена континуално варијабилне трансмисије на савременим моторним возилима	49
4.1. Тороидни мењачки преносник <i>Nissan Extroid CVT</i>	49
4.2. Тороидни мењачки преносник <i>Torotrak – SFTV</i>	54
4.3. Тороидни мењачки преносник <i>Perbury – SFTV</i>	59
4.4. Тороидни мењачки преносник <i>Jatco – DFTV</i>	61
4.5. CVT мењачки преносник <i>Audi – Multitronic</i>	63
5. Рачунска провера перформанси и прорачун преносних односа за путничко возило са тороидним мењачким преносником.....	68
6. Израда модела тороидног мењачког преносника у програмском пакету <i>Autodesk Inventor</i>	72
7. Закључак.....	77
Литература:.....	78

1. Увод

Мењачки преносник или мењач је део трансмисије, односно система за пренос снаге код моторних возила, а којим се врши прилагођавање параметара снаге, тј. прилагођавају се обртни момент и број обртаја мотора тренутним условима кретања возила, односно условима пута. Од мењачког преносника се очекује да обезбеди најбоље вучне карактеристике моторног возила зависно од оптерећења мотора, као и лаку промену степена преноса и миран и тих рад мотора без наглих оптерећења.

Према типу конструкције моторног возила развија се и конструкција трансмисије и њених елемената, па се према томе трансмисија може поделити на трансмисију путничких и теретних возила и трансмисију радних машина. Трансмисија моторног возила садржи погонски агрегат, спојницу, мењачки преносник, зглобне преноснике и погонски мост и друге елементе. Карактеристично је да се решења појединих склопова разликују по врсти и конструкцији зависно од врсте и типа возила.

Мењачки преносник, поред погонског агрегата представља најсложенију компоненту на моторном возилу. Савремени аутоматски преносници обухватају, како механичке системе, тако и хидрауличне системе, електричне системе, као и електронске управљачке јединице. Све оне чине један заједнички функционални систем. Савремени аутоматски преносници омогућавају безбеднију и лакшу вожњу.

Континуално варијабилна трансмисија, CVT – *ContinuouslyVariableTransmission* нема класичне зупчанике, већ улогу зупчаника у класичном мењачу имају две ременице променљивог пречника повезане ременом или ланцем. Принцип рада је базиран на ременицама променљивог пречника, што уз константну дужину каиша даје променљив преносни однос. Теоријски посматрано, CVT мењачки преносници представљају идеално решење, како по питању убрзања, тако и по питању економичности, поузданости и века трајања.

Код CVT мењачких преносника не постоје степени преноса у класичном смислу, већ се сама конструкција прилагођава тако да се мењач понаша као да има нпр. шест степени преноса. Мотор се скоро увек одржава на оптималном броју обртаја, осим у случају оштрих убрзања. У случају потребе за већом снагом, уместо гумених, користе се метални каишеви или ланци. Међутим, метални каишеви производе велику буку и имају мањи коефицијент пријањања, али током експлоатације немају проблема као гумени каишеви.

2. Историјски развој мењачких преносника, подела и примена

Мењачи преносе обртни момент мотора даље преко главног преносника на погонске точкове и у зависности од динамичког полупречника точка (r_d) на њима се остварује вучна сила (F_o) која покреће возило. Увећањем обртног момента мотора добија се вучна сила на погонским точковима како би се у току вожње могли савладати отпори кретања. Промене обртног момента остварују се у мењачком преноснику, број промена зависи од броја степена преноса у мењачу [2].

Поред ове, главне функције мењачког преносника, остварује се још могућност кретања возила малим брзинама, а при стабилним бројевима обртаја мотора, кретање возила уназад и раздвајање мотора од погонског моста (мењач у неутралном положају, а спојница укључена), што је неопходно када возило стоји у месту, а мотор ради.

2.1. Историјски развој аутоматских мењачких преносника

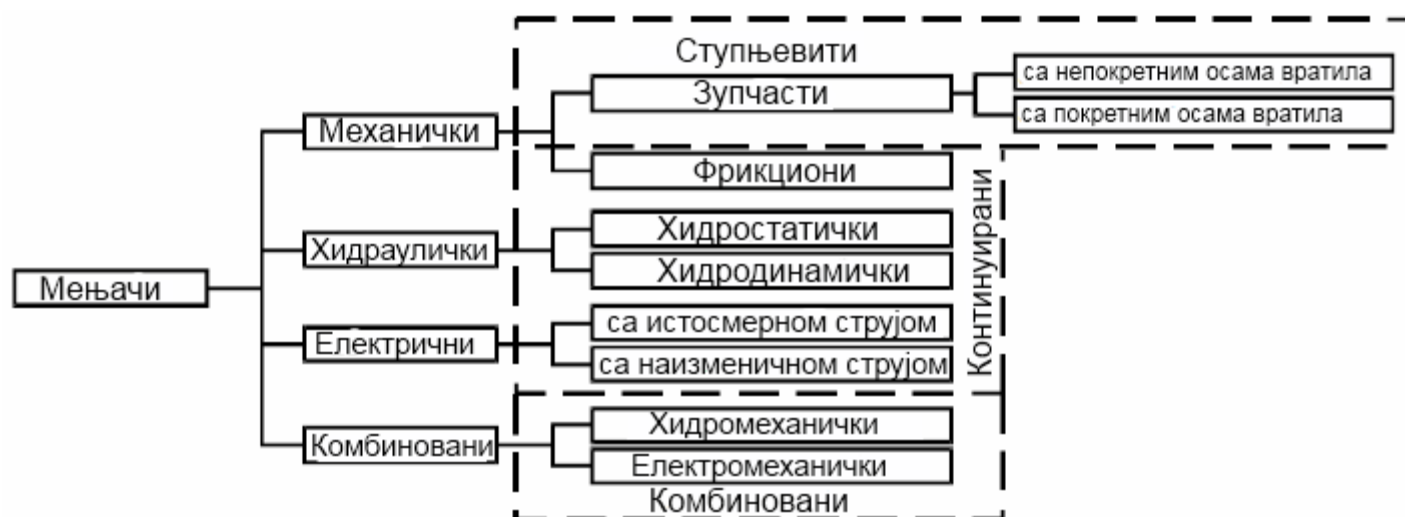
До краја друге половине XX века у путничка моторна возила углавном су били уграђивани мануелни мењачки преносници, а који су и данас у великој мери заступљени. Проналазак аутоматске трансмисије датира још из прве половина XX века, а овај вид преноса се и дан данас усавршава, посебно у последњих неколико година када електроника у ауто-индустрији узима примат. Може се рећи да мануелна трансмисија полако нестаје из примене, а на њено место долази модернија и ефикаснија решења у виду неког од аутоматских преноса.

Браћа *Sturtevant* су 1904. године у Бостону развила аутоматски мењач који при већим бројевима обртаја мотора, укључује висок степен преноса. Кад возило успори и када је број обртаја мотора смањен, мењач се пребацује на нижи степен преноса. Ипак, металургија тог времена није била довољно квалитетна, па су конструкције мењача биле често непоуздане. Увођењем модела *T* 1908. године уграђиван је и мењачки преносник са аутоматском променом степена преноса по данашњим стандардима, који је имао једноставан двостепени планетарни пренос и ход уназад чији је рад контролисан од стране возача. *Rieseler* је 1925. године конструисао аутоматски мењач, а 1927. године испитан је у возилу произвођача *Mercedes Benz*. *RKO* и *General Motors* су 1934. године развили полу-аутоматске мењаче са којима је било лакше маневрисати, него са мануелним мењачким преносником. Овакве конструкције су, међутим, наставиле да користе педалу спојнице да би се усагласио рад мотора са мењачем. *General Motors* 1939. године почиње са мењачким преносником „*Hydra-Matic*“, и то је први масовно произведен аутоматски мењач на свету. *GMC* 1948. године развио је аутоматски мењач „*Dynaflo*“. *Lincoln* аутомобили су од 1950. до 1954. године, такође, поседовали „*Hydra-Matic*“. *Mercedes-Benz* је касније развио свој мењач са четири степена преноса. *BorgWarner* је 1950-их, развио је низ

тростепених аутоматских мењача са претварачима обртног момента за компаније *AmericanMotors*, *Ford Motor Company*, *Studebaker* и још неколико других произвођача у САД и другим земљама. Од 1954. до 1961. године уграђиван је двостепени аутоматски мењач произведен од стране *ChryslerCorporation* и коришћен је на путничким возилима. Од 1970-их до 1990-их креће експанзија и развој мењачких преносника са аутоматском променом степена преноса код свих познатијих светских произвођача. У XXI веку креће развој аутоматске трансмисије какву данас познајемо. Тако су 2002. године *ZF Friedrichshafen* и *BMW* конструисали и почели са уградњом првих шестостепених аутоматских мењача (*ZF 6HP26* у *BMW E65*). *Mercedes-Benz* 2003. године направио *7G-TRONIC* први аутоматски мењач са седам степени преноса. *Toyota* 2008. године креће са увођењем осмостепеног аутоматског мењача и уградњу у путничко возило *Lexus LS 46* [1].

2.2. Подела и примена мењачких преносника

У зависности од промене преносног односа, мењачи за моторна возила могу се поделити на две главне групе: на мењаче са ступњевитим преносом и мењаче са континуалним преносом. Класификација мењача приказана је на слици 2.1, док је на слици 2.2 шематски приказан систем преноса снаге.



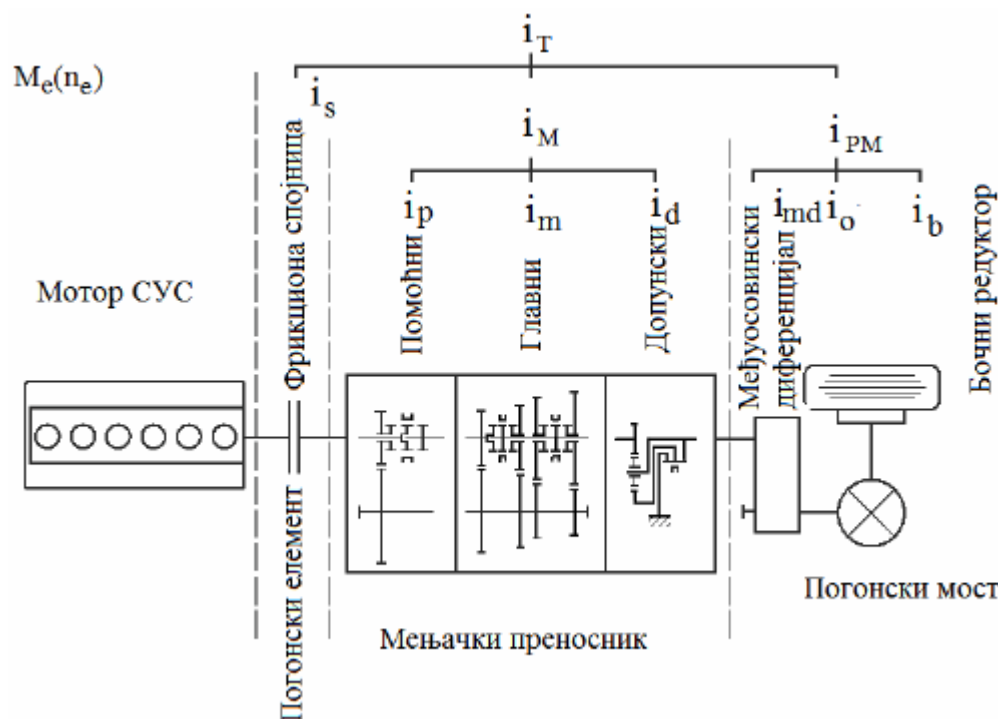
Слика 2.1. Шема класификације мењачких преносника [2]

Ступњевити мењачи који дају коначан број степени преноса изводе се [2]:

- са клизним зупчаницама,
- са стално узубљеним зупчаницама и
- са планетарним преносом.

Без обзира на конструкцију, мењачи морају испунити следеће захтеве [2]:

- омогућити постизање најбољих вучних карактеристика и карактеристика потрошње горива возила, при задатој карактеристици мотора,
- лагано командовање,
- бешуман рад при укључивању било ког степена преноса.



Слика 2.2. Систем преноса снаге: M_e – обртни момент мотора, i_T – преносни однос трансмисије, i_s – преносни однос спојнице, i_M – укупни преносни однос у мењачу, i_p – преносни однос помоћног мењача, i_m – преносни однос главног мењача, i_d – преносни однос допунског мењача, i_{PM} – укупни преносни однос у погонском мосту, i_{md} – преносни однос међуосовинског диференцијала, i_o – преносни однос у главном преноснику, i_b – преносни однос бојног редуктора [2]

Мењачки преносници који се примењују на моторним возилима могу се поделити у више група према различитим принципима поделе: конструкција, начин рада, применљивост или др. Разврставање мењачких преносника за моторна возила углавном се врши у две основне групе: механичке (мануелне) и хидродинамичке мењаче (аутоматске). Свака од ових врста се могу поделити у више подгрупа. На пример механички мењачи се пре свега могу поделити у две основне групе: мењачи са степенастом променом степена преноса и мењачи са континуалном променом степена преноса. Даља подела би могла да буде:

- мењачи са ручним командовањем – мануелни,
- полуаутоматски мењачи и
- мењачи са аутоматском променом степена преноса.

2.2.1. Механички – мануелни мењачки преносници

На моторним возилима су мењачи са зупчастим паровима, код којих се промена степена преноса остварује било упаривањем зупчаника или пак мењачи код којих су зупчasti парови по степенима преноса већ упарени, али се посебно врши укључивање једног или више појединачних парова применом синхро спојнице. Упаривањем зупчаника постиже се то да при мењању степена преноса периферне брзине зупчаника морају да буду једнаке, како би се међусобно укључивање уопште могло извести или да се не би изазвало хабање или чак оштети зуб.

Мануелни мењачки преносници су и поред све веће примене аутоматизованих турбозупчастих мењача и аутоматских мењача доста заступљени код теретних моторних возила. У зависности од спрезања зуба мануелни мењачи могу да се поделе на [1]:

- несинхронизовани (готово да нису у примени) и
- синхронизовани (преносни односи код синхронизованих мењача мењају се помоћу синхро спојнице) [1].

У односу на начин промене степена преноса могу бити са [1]:

- директном променом степена преноса: ручица мењача је директно повезана са кућиштем мењача,
- индиректном променом степена преноса: ручица мењача и кућиште мењача су физички одвојени.

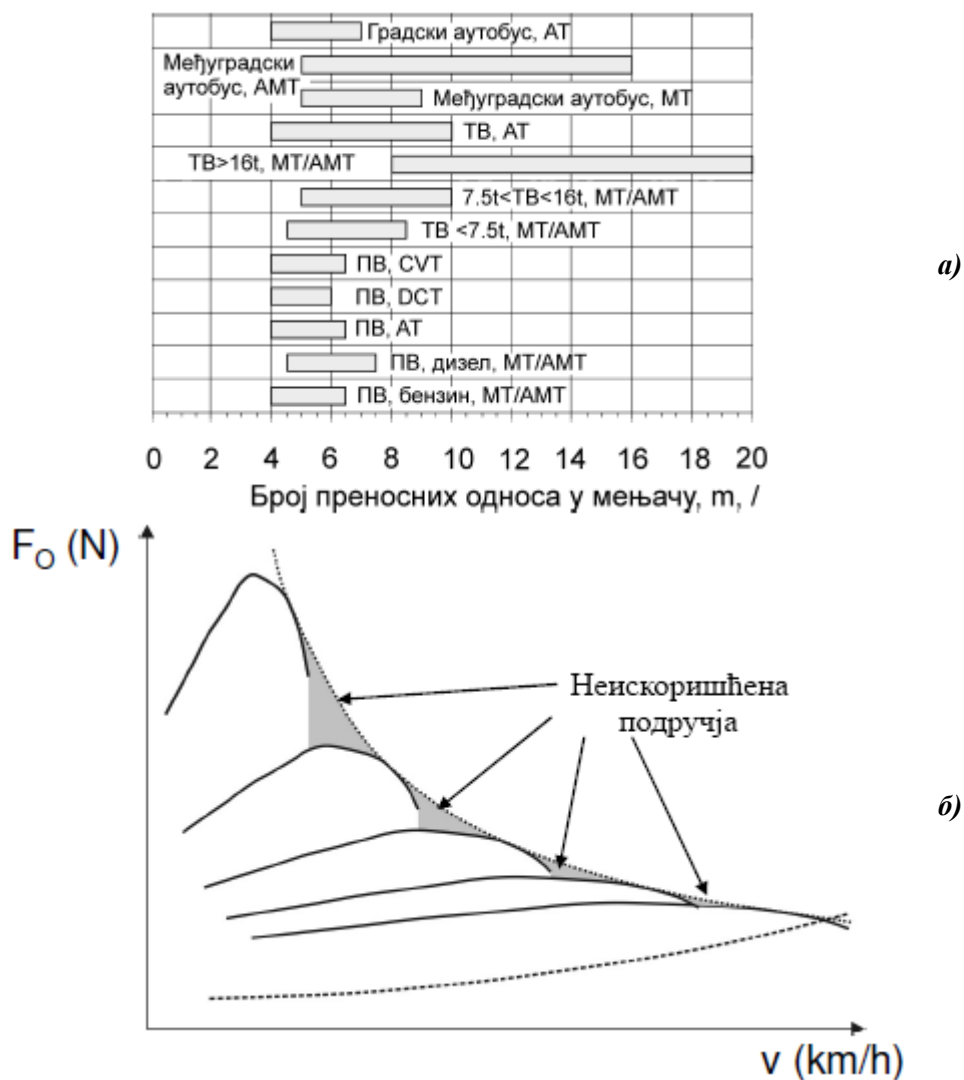
Мењачки преносници се могу поделити и још према броју и положају вратила [1]:

- са три вратила – пролазни,
- са два вратила – непролазни, такви мењачки преносници примењују се код моторних возила где се мотор и погонска осовина налазе на истом крају возила.

Као што је познато, сва возила захтевају преношење обртног момента мотора на погонске точкове, и у ту сврху користе се мењачки преносници. Задатак трансмисије је обезбедити оптималну вучну силу у зависности од погонске јединице, која треба да задовољи постављене захтеве од стране возила, пута, возача и животне средине (стандарди за емисију издувних гасова). Поред основних карактеристика, мењачки преносници путничких и комерцијалних – теретних возила треба да обезбеде: поузданост, мању потрошњу горива, несметан рад возила и безбедност у саобраћају.

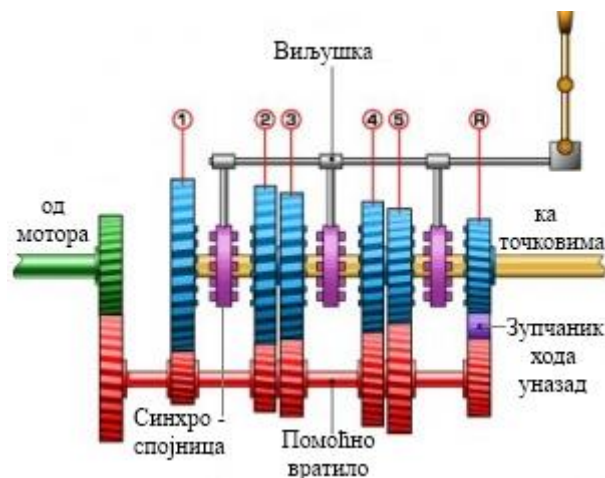
Оно што је битно код мењачких преносника моторних возила је специфична снага P_{spec} , [kW/kg]. С друге стране, мењачки преносници путничких возила морају бити конструисани тако да обезбеде дужи век трајања. Основне новине у области мењачких преносника се односе углавном на примену електронике за контролу процеса рада. На

основу слике 2.3, коефицијент искоришћења снаге дефинише се као однос збира правоугаоника (чије су висине вучне силе при максималној брзини у неком степену преноса, а основна разлика максималне и минималне брзине у том степену преноса) према површини испод идеалне хиперболе вуче у читавом интервалу брзина. Данашњи мењачки преносници у зависности од тежине и габарита, односно своје носивости изводе се са 6, 8, 12 или 16 степени преноса [3].



Слика 2.3. а) број преносних односа у мењачу возила: МТ – мануелни мењач, АМТ – аутоматизовани (турбозупчасти мењач), АТ – аутоматски мењач, CVT – континуална трансмисија, DCT – трансмисија са дуплом спојницом, ТВ – теретно возило, ПВ – путничко возило; б) дијаграм вучне силе са идеалном хиперболом вуче [1]

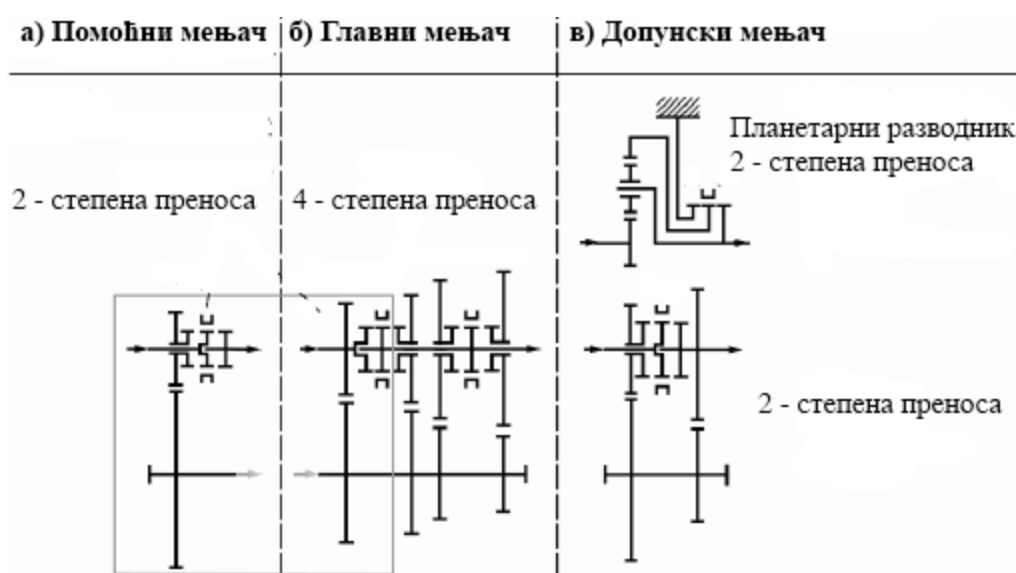
Мануелни мењачки преносници, нарочито код теретних моторних возила, могу бити изведени као јединствени, из једног кућишта, слика 2.4 и из више сегмената од којих сваки има одређен број степени преноса (допунски, главни и помоћни мењачи), овај начин извођена приказан је на сликама 2.5 и 2.6.



Слика 2.4. Шема 5-степеног мануелног мењачког преносника: 1, 2, 3, 4, и 5 – степени преноса [2]

У преносницима снаге осим основних примењују се и допунски мењачки преносници и помоћни преносници снаге. Врсте и задаци додатних преносника снаге зависе од намене. У том погледу на савременим моторним возилима примењују се допунски преносници [1]:

- Једноступени разводници снаге (код теретних и теренских возила), постављају се иза главног мењачког преносника и врше промену параметара снаге (слика 2.5в);
- Двоступени (ређе вишеступени) редуктори или разводници, тзв. допунски мењачи са разводником снаге или без њега. Једно од тих решења је допунски дво – или троступени мењач, који се поставља испред или иза главног мењача чиме се број степени преноса повећава за два или три пута. При постављању испред главног мењача помоћни мењач има задатак да повећа број степени преноса (слика 2.5а),
- Вучни преносници трактора и
- Преносници за одвод снаге до других потрошача.



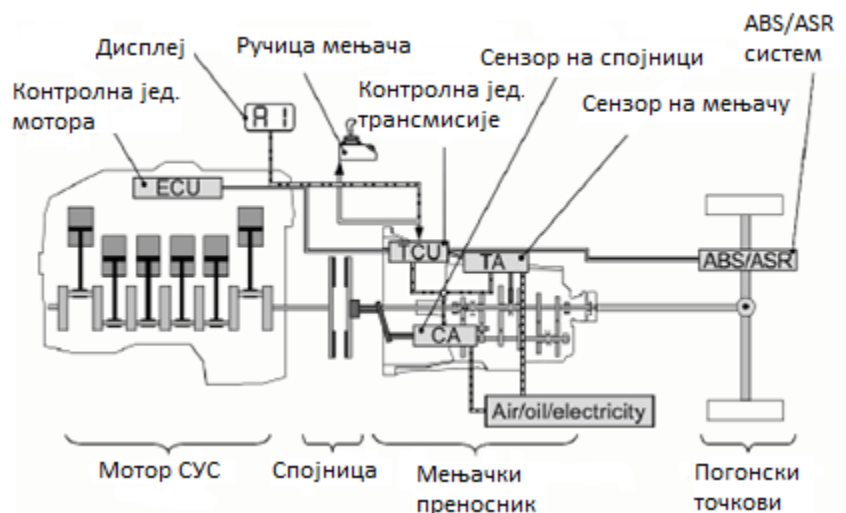
Слика 2.5. Шема зупчастих парова мануелног мењачког преносника из више сегмената [1]



Слика 2.6. Мануелни мењачки преносник из више сегмената [1]

2.2.2. Полуаутоматски и аутоматизовани мануелни мењачи

Полуаутоматски мењачи развијени су крајем 1990 – тих година. Овај ниво аутоматизације одликује се применом мехатроничких елемената, аутоматизацијом спојнице и промене степена преноса, као и применом контролне јединице мотора и контролне јединице преноса. На слици 2.7. приказана је шема аутоматизације трансмисије теретног возила.



Слика 2.7. Шема аутоматизације трансмисије [1]

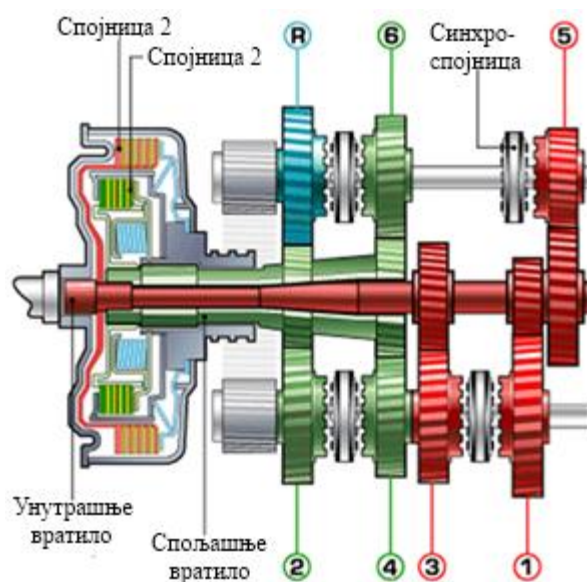
Аутоматизовани мењачки преносници користе предности мануелних мењачких преносника над аутоматским, чиме се постиже висока ефикасност система преноса. Правилним управљањем аутоматизованом трансмисијом мотор се експлоатише у областима ниже специфичне потрошње, што резултује мањом емисијом CO_2 у односу на возило са мануелном трансмисијом. Према томе, овој концепцији трансмисије моторних возила команда (педала) главне фрикционе спојнице није потребна, што возачу омогућава већи комфор у вожњи и повећање безбедности.

У оквиру ове концепције постоје два типа управљања зависно од степена аутоматизације. Код прве изведбе, ЕСМ (енг. *Electric-motor Clutch Management*), спрезање одговарајућих зупчастих парова у мењачу врши возач директно преко механичког преносног механизма, исто као код мануелних мењачких преносника. Једино се активирање главне фрикционе

спојнице, која има задатак да успостави и прекине ток снаге између мотора и мењача, врши електронским путем, односно, активирањем електричног мотора који добија управљачки сигнал од електронске контролне јединице на основу сигнала сензора који се налази у склопу команде бирача степена преноса. Примери возила која користе ово техничко решење су: *Mercedes A – Class*, *FiatSeicento* и *HyundaiAtoz* [1].

Друга изведба аутоматизоване мануелне трансмисије је *AST* (енг. *AutomatedShiftTransmission*) која се карактерише потпуно електронском променом степена преноса, при чему се у склопу команде бирача степена преноса налази само сензор позиције бирача без механичке везе са мењачем. Ово техничко решење се примењује на возилима: *VW Lupo*, *MCC Smart* и *OpelCorsaEasytronic* [1].

Мењачи са двоструком спојницом (DCT – *Dual ClutchTransmission*) у односу на класичне мануелне имају бржу промену степена преноса без прекида вучне силе. Овај тип трансмисије карактеристичан је по својој конструкцији, која се састоји из два вратила. Једно вратило врши промену непарних степена преноса (нпр. 1., 2., и 5.), а друго парних (2., 4., и 6.) као што је приказано на слици 2.8.



Слика 2.8. Мењачи са двоструком спојницом – DCT [2]

Принцип рада DCT је следећи. Када рачунар детектује да је број обртаја улазног вратила превише висока у одређеном степену преноса, припрема наредни степен преноса и спрезање одговарајуће синхро-спојнице са тим зупчастим паром. Након тога се врши пренос тока снаге са једног вратила на друго. Због врло добрих перформанси DCT мењачи су често примењиви на спортским возилима. Контролна управљачка јединица мењача садржи адаптивне функције препознавања оптималне регулације позиције спојнице, односно педале, кроз модулацију притиска.

2.2.3. Аутоматски мењачки преносници

Савремена аутоматска трансмисија је најкомпликованија механичка компонента на данашњим моторни возилима. Она обухвата механичке системе, хидрауличне системе, електричне системе и компјутерске контролне јединице, који раде заједно у савршеној хармонији. Са аспекта удобности вожње аутоматска трансмисија омогућава далеко већу опуштеност возача и безбедност у вожњи.

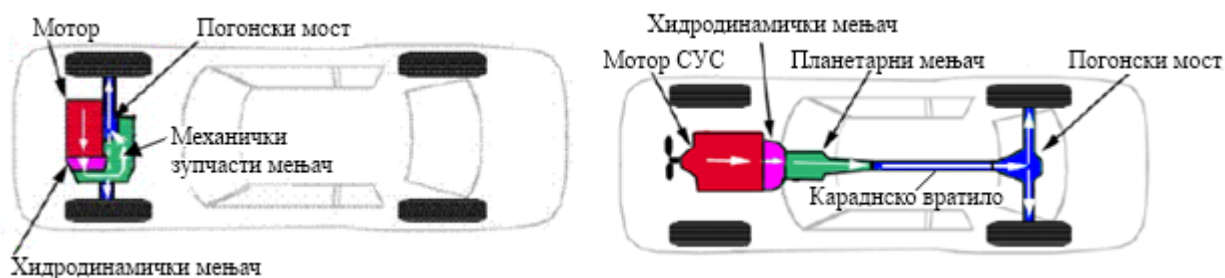
Аутоматски мењачки преносник је тип мењача који самостално мења брзине у зависности од брзине кретања и услова на путу, ослобађајући возача од ручног мењања брзина. Постоје аутоматски, полуаутоматски и континуално варијабилни аутоматски мењачи [2].

Стандардни аутоматски мењач се састоји од [2]:

- конвертора обртног момента који хидраулично спаја мотор и мењач, омогућавајући возилу да остане у брзини и док стоји у месту,
- пумпе која пумпа ATF (енг. *Automatic Transmission Fluid*) уље кроз мењач,
- више планетарних зупчаника који омогућавају различите преносне односе;
- спојница које садрже одговарајући сет планетарних зупчаника,
- хидрауличних вентила који регулишу избор степена преноса у односу на брзину кретања возила.

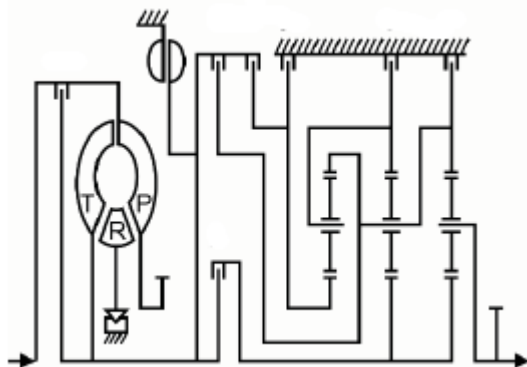
Конвертор обртног момента омогућава да је мењач у одређеном степену преноса и док се возило не креће, а омогућава и полазак возила из места без давања гаса. Ипак, конвертор обртног момента највише доприноси мањој ефикасности и већој потрошњи горива код аутоматског мењача. Модернији аутоматски мењачи имају спојницу која га блокира при већим брзинама, анулирајући тиме губитке који се јављају.

Код модернијих аутоматских мењача хидрауличне вентиле контролише одговарајући компјутер, омогућавајући тиме бољи избор преносног односа као и одређен ниво контроле мењања брзина од стране возача. На слици 2.9, приказана је примена аутоматске трансмисије на две основне концепције погона путничких возила.



Слика 2.9. Примена аутоматске трансмисије код путничких возила [2]

Аутоматски мењачки преносници се углавном пројектују као хидродинамички претварачи обртног момента мотора у комбинацији са планетарним преносником. Разликују се од мењача који се примењују код путничких возила по томе што имају додатне компоненте, као што су успоривачи мотора. На слици 2.10 приказана је шема зупчастих парова аутоматског мењача, произвођача ZF, са планетарним зупчаницима.



Слика 2.10. Шема зупчастих парова аутоматског мењача произвођача ZF са планетарним зупчаницима: *T* – турбинско коло, *P* – пумпно коло, *R* – реакторско коло [1]

Основна подела аутоматских мењачких преносника према принципу рада [4]:

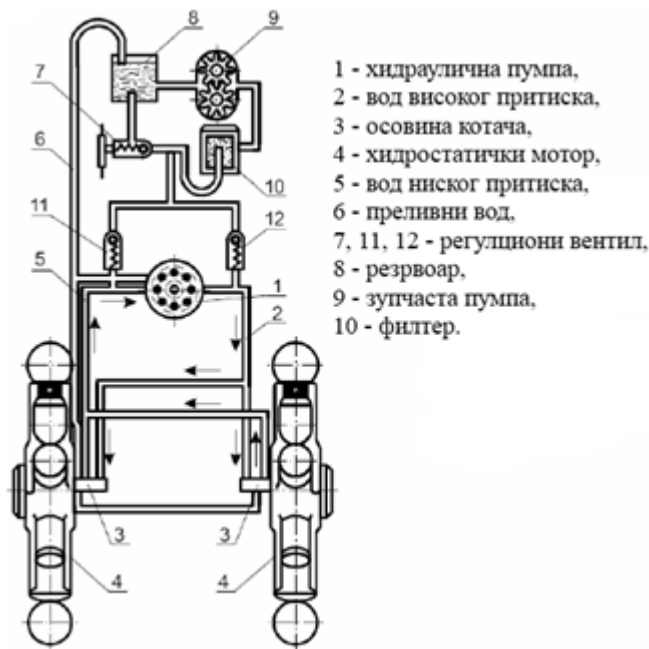
- аутоматизована мануелна трансмисија,
- хидродинамичко-механичка трансмисија,
- континуално варијабилна трансмисија,
- трансмисија са двоструком спојницом.

Хидростатички пренос снаге на моторним возилима односи се првенствено на пренос снаге на друге потрошаче, односно на покретање посебних уређаја на моторним возилима, а затим и на пренос снаге од мотора на погонске кретање возила.

Пренос снаге флуидом преко његове потенцијалне енергије може да се оствари на два начина. Први је претварањем механичке енергије на излазу из погонског мотора у потенцијалну енергију флуида и њеним претварањем у механичку енергију транслаторног кретања (R-T систем). Други начин је претварањем механичке енергије на излазу из мотора у потенцијалну енергију флуида и њеним претварањем у механичку енергију обртног кретања (R-R систем) на излазу из трансмисије. У зависности од врсте претварача потенцијалне у механичку енергију постоје системи са транслаторним и обртним кретањем извршног органа.

Класичан мењач, као механички систем у моторном возилу треба да омогући усклађивање потребне снаге на погонским полувратилима, а која се преноси од стране мотора, са снагом отпора кретању возила у свим условима експлоатације. Проучавањем дијаграма

вучног биланса $F_o(v)$ запажа се да класичан зупчасти мењач то успева да уради само у једној радној тачки за сваки степен преноса. Зато се увек тежило мењачу са континуалном променом степена преноса. Тежило се и да такав мењач буде аутоматски и тај проблем је решен употребом хидромењача који раде на хидростатичком принципу, слика 2.11.



Слика 2.11. Хидростатички пренос снаге [1]

Енергетско стање сваког, па и хидростатичког система за пренос снаге одређују његови енергетски параметри. У случају хидростатичке трансмисије то су притисак p и проток Q . Према томе, снага коју такав систем преноси одређена је изразом [3]:

$$P = f(p, Q) \quad (2.1)$$

Одређену трансмисију карактерише систем еквипотенцијалних кривих [3]:

$$P_i = K_i \cdot p \cdot Q = const. \quad (2.2)$$

Према претходном изразу може се закључити да се иста снага може пренети са различитим вредностима притиска и протока: већим притисцима одговарају мањи протоци и обрнуто. Познато је да већи протоци условљавају веће проточне пресеке, па тиме и веће димензије (маса) компоненти система.

Хидростатички пренос снаге може да преноси снагу константним преносним односом, тада је реч о систему са константним параметрима, а може и да при преносу мења параметре, тада је реч о систему са променљивим параметрима. Систем са константним параметрима су најједноставнији хидростатички системи за пренос снаге. Основне

компоненте оси система су: пумпа (P) и мотор (M) константних протока са одговарајућом арматуром. Под претпоставком да нема губитака и да је флуид не стишљив, следи [3]:

$$P_1 = P_2, \text{ односно } Cn_1 \cdot M_1 = Cn_2 \cdot M_2 \quad (2.3)$$

одакле је [3]:

$$M_2 = \frac{n_1}{n_2} M_1 = K M_1 \quad (2.4)$$

Коефицијент K је степен трансформације у систему. Пошто је $Q_p = Q_m$, а како је $Q_p = q_p \cdot n_1$ и $Q_m = q_m \cdot n_2$, где су q_p и q_m , јединични протоци (по једном обрту) пумпе и мотора, па следи да је [3]:

$$K = \frac{n_1}{n_2} = \frac{q_m}{q_p} \quad (2.5)$$

па је [3]:

$$M_2 = \frac{q_m}{q_p} M_1, \text{ односно } \frac{M_2}{M_1} = \frac{q_m}{q_p} = K \quad (2.6)$$

Коефицијент трансформације K код ових систем се одређује унапред, избором јединичних протока пумпе и мотора и не може се мењати. Због смањења степена корисног дејства при повећању коефицијента трансформације се ограничава на вредност 4:1 до 5:1 [3].

Скоро сви изведени системи користе регулисање преко промене протока. При томе, у принципу, постоје две могућности, односно два начина:

- одвођење једног дела флуида из потисног вода система (системи са регулацијом протока) и
- промена протока пумпе или мотора (системи са запреминским управљањем).

Хидродинамички преносници снаге спадају у групу хидрауличких преносника, који поред механичких елемената за пренос снаге користе и кинетичку енергију флуида, а најчешће се користи минерално уље. Данас се код моторних возила углавном користе две врсте хидродинамичких преносника снаге, а то су: хидродинамичка спојница ХДС и хидродинамички претварач обртног момента ХДП или хидродинамички мењач.

Са аспекта система за трансформацију снаге у моторним возилима хидродинамички мењач има следеће карактеристике [2,5].:

- промена излазног момента и броја обртаја се врши аутоматски и континуално, зависно од оптерећења излазног вратила.

- побољшање вучних карактеристика возила.
- безударни пренос снаге са мотора на погонске точкове (и обратно, удари са точкова ка мотору).
- мање димензије елемената који преносе снагу, јер су ублажена ударна оптерећења, тј. смањење тежине возила и цене.
- повећање проходности возила на песку и клизавим теренима, јер обезбеђује постепено благо повећање вучне силе.
- одржавање рада мотора у оптималном режиму. Возило са хидродинамичким мењачем може при сваком режиму рада користити пуну снагу мотора.
- повећање века трајања свих делова који преносе снагу.
- смањење буке при раду, као и вибрација.

Хидродинамички преносник снаге, слика 2.12, патентирао је још почетком XX века Херман Фотингер (*Hermann Föttinger*), који је утврдио да се обртни момент, односно снага које на себе прима хидродинамички преносник, могу изразити са [2]:

$$\begin{aligned} M_1 &= K \cdot \omega_1^2 \cdot D^5 \\ P_1 &= K \cdot \omega_1^3 \cdot D^5 \end{aligned} \quad (2.7)$$

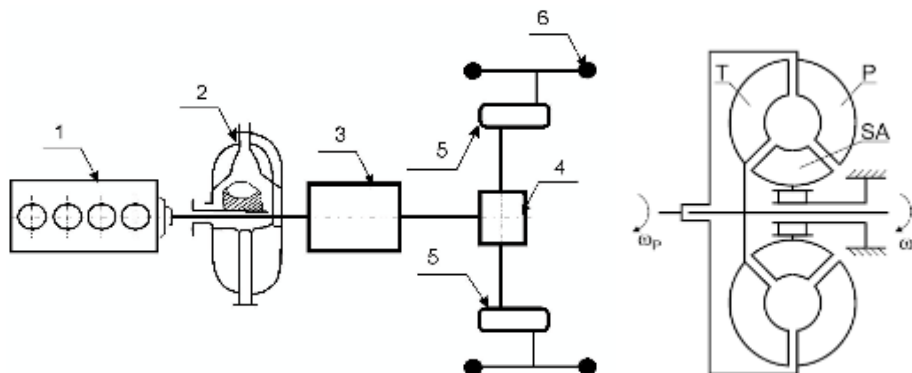
где су:

M_1 , ω_1 – обртни момент и угаона брзина пумпног кола,

D – пречник круга циркулације,

P_1 – снага пумпног кола,

K – фактор који узима у обзир; облик попречног пресека струје флуида илопатица, положај пумпног, турбинског и реакторског кола, специфичну густину флуида и клизање пумпног и турбинског кола.



Слика 2.12. Шема трансмисије моторног возила са хидродинамичким – механичким мењачким преносником: 1. мотор СУС, 2. хидродинамички мењач, 3. механички мењач, 4. погонски мост, 5. редуктор, 6. точкови, T – турбинско коло, P – пумпно коло, SA – реакторско коло [1]

Основне карактеристике хидродинамичког мењача (трансформатора обртног момента) су: коефицијент повећања обртног момента, коефицијент пропорционалности обртног момента пумпног кола, хидраулички преносни однос и степен искоришћења [2].

Коефицијент повећања обртног момента [2]:

$$K = f(i) = \frac{M_T}{M_p} \quad (2.8)$$

Коефицијент пропорционалности обртног момента пумпног кола овај коефицијент се добија на основу израза [2]:

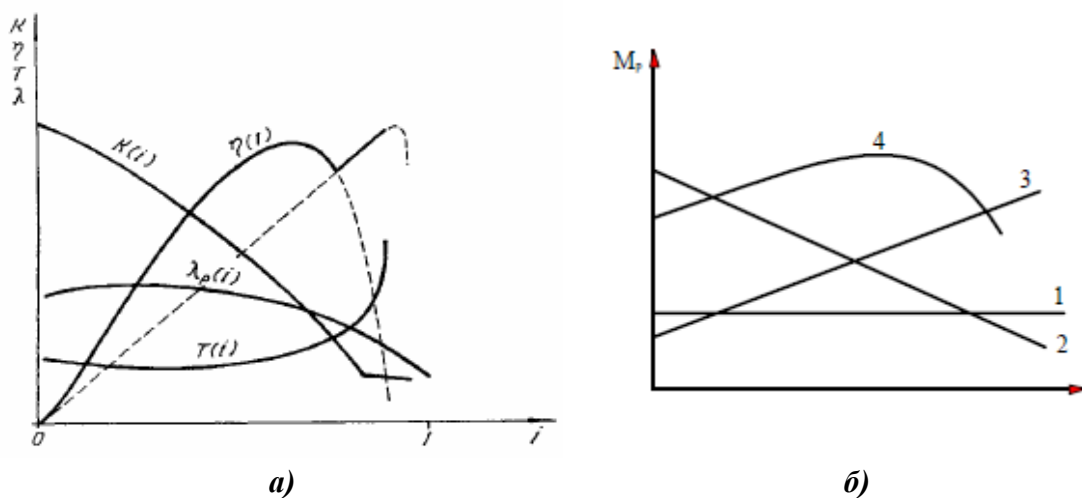
$$M_p = \lambda_p \cdot \rho \cdot \omega_p^2 \cdot D^5 \rightarrow \lambda_p = f(i) = \frac{M_p}{\rho \cdot \omega_p^2 \cdot D^5} \quad (2.9)$$

Хидраулички преносни однос [2]:

$$i = \frac{\omega_T}{\omega_p} \quad (2.10)$$

Степен искоришћења хидродинамичког мењача [2]:

$$\eta = \frac{P_T}{P_p} = \frac{M_T \cdot \omega_T}{M_p \cdot \omega_p} = K \cdot i \quad (2.11)$$



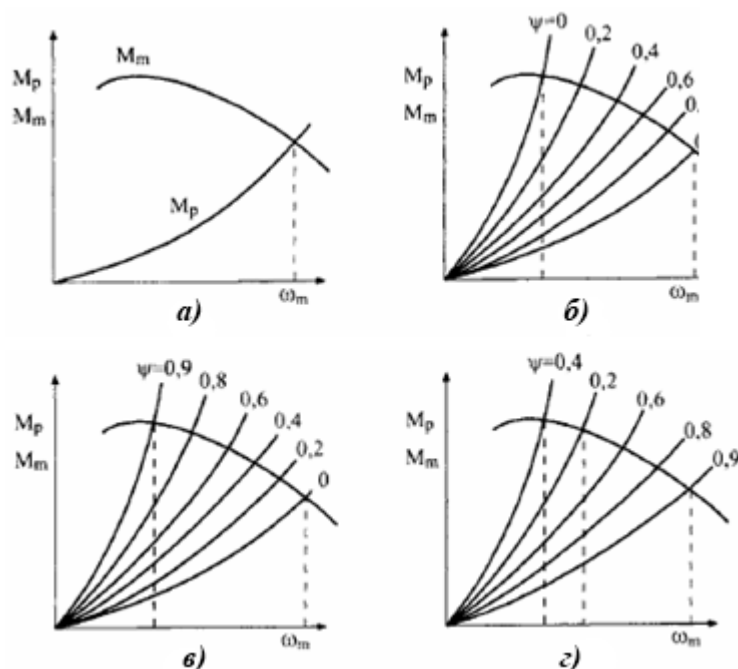
Слика 2.13. а) Основне карактеристике хидродинамичког мењача, б) карактеристике прозачности хидродинамичког мењача [2]

Ове величине представљају основне излазне карактеристике хидродинамичког мењача и приказане су на слици 2.13а. Једна од основних техничко-експлоатационих карактеристика примене хидродинамичких мењача је карактеристика прозачности. Код једне конструкције мењача промена момента на вратилу турбинског кола нема утицаја на промену обртног момента пумпног кола, односно погонски агрегат. Ова категорија

хидродинамичког мењача се назива непрозрачним мењачем (1). Оне конструкције мењача код којих се обртни момент пумпног кола мења у зависности од оптерећења турбинског кола називају се прозрачним мењачима. У зависности од карактера ове промене могу бити директно прозрачни (2), обрнуто прозрачни (3) или комплексно прозрачни (4), слика 2.13б [2].

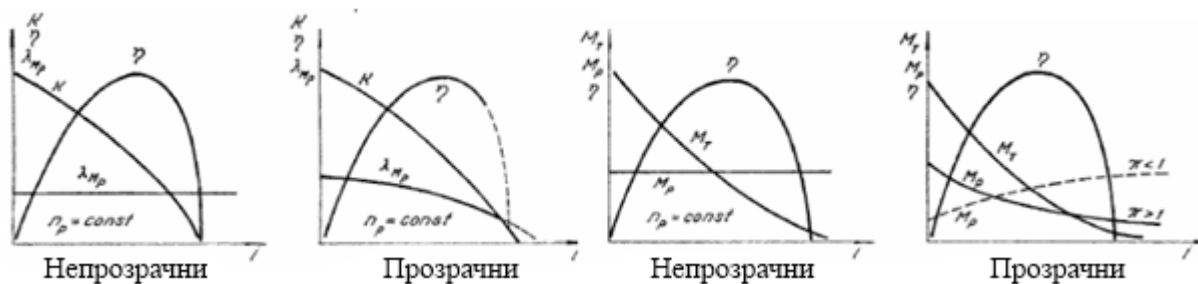
Да би се објективно могла оцењивати ваљаност рада хидродинамичког мењача и његова адекватна примена у трансмисијама моторних возила, неопходно је упознати се са уобичајеним основним карактеристикама хидродинамичког мењача: спољашња брзинска карактеристика, бездимензиона карактеристика и универзална карактер. хидродинамичког мењача. Спољашња брзинска карактеристика хидродинамичког мењача дефинише карактер промене основних енергетских параметара у функцији хидрауличног преносног односа, i , при константном броју обртаја пумпног кола $n_p = const$ [2].

Бездимензиона карактеристика, слика 2.14, погодна је за упоредно посматрање два или више мењача и њихову оцену. У овој карактеристици наносе се бездимензионе величине у функцији хидрауличног преносног односа.



Слика 2.14. а) и б) спољашње брзинске карактеристике хидродинамичког мењача, в) и г) бездимензионе карактеристике хидродинамичког мењача [2]

Универзална карактеристика хидродинамичког мењача представља функционалну зависност излазних параметара M_p , M_T , η од броја обртаја турбинског кола при различитим бројевима обртаја пумпног кола. Ова карактеристика се обично добија испитивањем хидродинамичког мењача на пробном столу.



Слика 2.15. Карактеристика заједничког рада мотора СУС и хидродинамичког мењача са различитим карактеристикама прозирности [2]

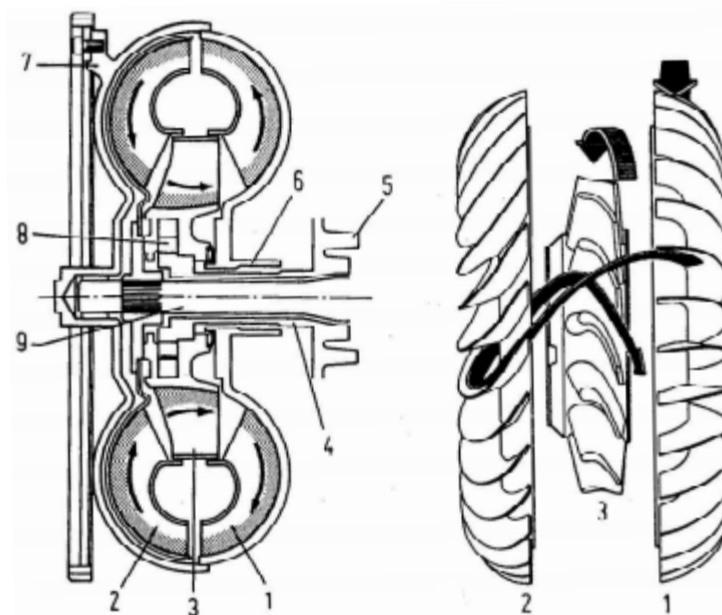
Хидродинамичка спојница – ХДС, као што је познато, састоји се из два основна елемента: пумпног кола (1), и турбинског кола (3), смештених у заједничком кућишту, слика 2.16. Кућиште се најчешће спаја са пумпним колом, а преко њега са коленастим вратилом мотора, док се турбинско коло спаја са излазним вратилом спојнице.

Хидродинамичке спојнице се израђују у два основна облика: са торусном шупљином између пумпног и турбинског кола и без ове шупљине. ХДС без торусне шупљине, за исти називни пречник, имају већи капацитет у погледу обртног момента који могу да пренесу. На празном ходу момент ношења спојнице треба да је што мањи, а уз повећање брзине обртаја пумпног кола момент треба да има бржи пораст како би се обезбедиле што боље стартне карактеристике уз мала клизања, а самим тим и већа економичност.

Са аспекта система за трансформацију снаге у моторним возилима хидродинамички мењач има следеће карактеристике [2]:

- промена излазног момента и броја обртаја се врши аутоматски и континуално зависно од оптерећења излазног вратила.
- побољшање вучних карактеристика возила.
- безударни пренос снаге са мотора на погонске точкове (и обратно удари са точкова ка мотору).
- мање димензије елемената који преносе снагу јер су ублажена ударна оптерећења тј. смањење тежине возила и цене.
- повећање проходности возила на песку и клизавим теренима јер обезбеђује постепено благо повећање вучне силе.
- одржавање рада мотора у оптималном режиму. Возило са хидродинамичким мењачем може при сваком режиму рада користи пуну снагу мотора.
- повећање века трајања свих делова који преносе снагу.
- смањење буке при раду, као и вибрација.

На слици 2.16, приказано је пумпно, реакторско и турбинско коло, односно хидродинамички трансформатор обртног момента.



Слика 2.16. Једноступени комплексни хидродинамички мењач: 1. пумпно коло, 2. реактивно коло, 3. турбинско коло, 4. веза ослоњца реактора са кућиштем мењача, 5. кућиште, 6. вратило пумпног кола, 7. кућиште мењача, 8. једносмерна спојница, 9. улазно вратило мењача [1]

Основни недостаци ХДС [2]:

1. Нижи степен корисног дејства у целој области промене преносног односа (нарочито при нижим и великим вредностима) што утиче на погоршање енергетског биланса.
2. Дијапазон промене преносног односа ограничен је и недовољан за потребе моторног возила.
3. Потребно је хлађење радног флуида ради повећања степена корисности мењача.

Лопатице пумпног кола се радијално пружају од центра (највећа пројекција апсолутне брзине флуида). Пројекције брзине флуида одређују величину енергију флуида која се трансформише преко елемената трансмисије у енергију кретања возила. Флуид из пумпног кола прелази у турбинско коло где се по изласку струја флуида креће супротно кретању пумпног кола тако да практично има кочење мотора. Овај проблем је решен местом реакторског кола. Ово коло има двоструку улогу: преусмеравање флуида тако да нема кочења пумпног кола и повећање енергије пумпног кола, јер флуид на излазу из реактора још увек поседује енергију која се усмерава у правцу повећања енергије пумпног кола. При малим брзинама турбинског кола реакторско коло је фиксирано, јер на тај начин реактор усмерава флуид под углом који пумпном колу повећава момент. Флуид који кружи и врши рад се у процесу преноса енергије загрева. То утиче на промену вискозности и карактеристика флуида па га је потребно хладити. Повећањем брзине турбинског кола реакторско коло постаје непотребно (губи на енергији) па је чак и неоперативно при знатном повећању брзине. Да би задовољило ту функцију реакторско коло је повезано са

кућиштем једносмерном спојницом. При већим брзинама кола могу да се заокрену тако да ослободе реакторско коло да би се окретало заједно са флуидом [2].

У циљу потпуног одвајања мотора од трансмисије при промени степена преноса ХДС се користи у комбинацији са фрикционом спојницом. Међутим, да би се ово постигло и без примене фрикционе спојнице, изводе се ХДС код којих се при промени степена преноса врши пражњење уља, чиме се остварује тзв. „чисто“ одвајање мотора од трансмисије. Ово се постиже помоћу одређених хидрауличких компонената (пумпе, разводника и вентилских уређаја). За правилан рад овакве ХДС треба обезбедити [6]:

- адекватну запремину спојнице,
- брзо и пуњење и пражњење,
- довољан капацитет пупе,
- мале губитке снаге на високим бројевима обртаја помоћу пумпе променљивог протока и
- довољно велики пресек испусног вентила.

Хидродинамичко-механичку трансмисију чини конвертор обртног момента – хидродинамичка спојница/мењач који је, такође, и улазни елемент у мењачки преносник са амортизујућом функцијом осцилација обртног момента, насталих неравномерним радом мотора СУС. Хидродинамички мењач се у начелу састоји од пумпног, турбинског и реакторског кола у затвореном кућишту испуњеном уљем. Карактеристика хидродинамичког преносника је релативно мали степен корисности услед клизања и трења флуида, тако да хидродинамички мењач садржи и једносмерну спојницу, чија је функција механичко спајање пумпног и турбинског кола, како би се смањили губици. Правилно управљање једносмерном спојницом представља једну од основних функција контроле ове концепције аутоматске трансмисије. У циљу што мањих губитака, односно што мање потрошње, једносмерну спојницу је потребно активирати што чешће уз оптималан ниво вибрација које се преносе од мотора. Различите контроле једносмерне спојнице остварене су применом „on/off“ актуатора и регулатора притиска. Велики број степени преноса које хидродинамичко-механичка трансмисија омогућава, остварује се упаривањем елемената планетарних преносника, помоћу спојница и кочница, контролисаних хидрауличним уљем.

Аутоматски хидродинамички мењачи прихватљиви су за услове експлоатације моторних возила. Пошто се моторно возило креће у условим променљивих отпора пута, управљање мењача, применом електронике, је посебно сложено, посебно због цикличне промене степена преноса [6]. У табели 2.1. приказане су карактеристике аутоматских турбозупчастих мењача код моторних возила.

Табела 2.1. Карактеристике хидродинамичких зупчастих мењача код моторних возила [6]

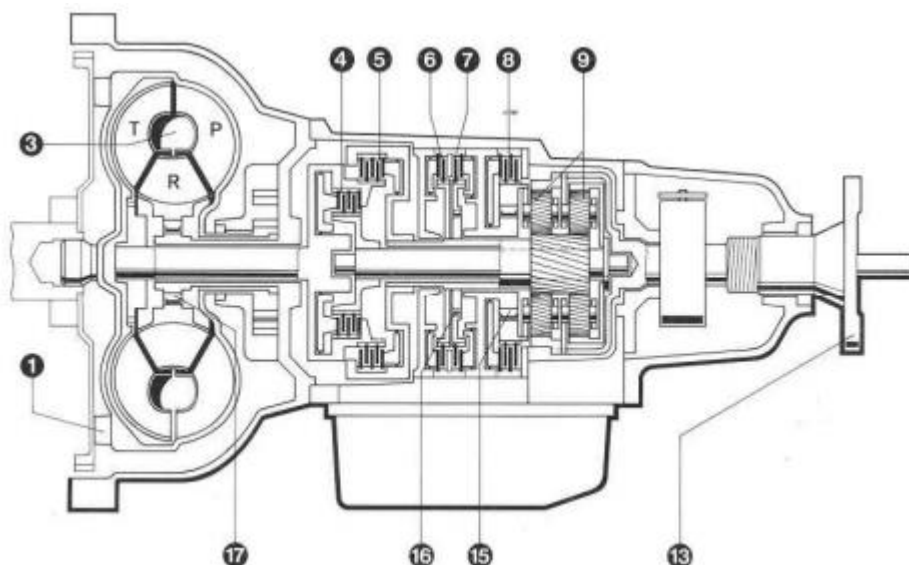
Врста возила	коэффициент промене обртног момента, (K_o)	прозрачност, Р	минималан број обртаја улазног вратила, $n_{1min}(o/min)$	број степена преноса	преносни однос зупчастог мењача, I_{ZM}
Путничка	2,1÷2,7	1,9÷2,2	1400÷1900	2÷3	1,8÷2,5
Аутобуси	2,6÷3,5	1,4÷1,6	1600÷2000	2÷3	1,8÷2,5
Теретна	2,6÷3,5	1,2÷1,6	1700÷2200	4÷6	5÷7

Код моторних возила неопходно је водити рачуна о спрези хидродинамичког мењача и мотора СУС. Потребно је усагласити брзинску карактеристику мотора СУС са карактеристиком пумпног кола. Тачке пресецања карактеристике мотора, карактеристике мењача представљају радни режим спрегнутих агрегата. Зато треба разликовати рад спреге по кривој пуне снаге мотора или по његовим парцијалним карактеристикама, као и спрегу са непрозрачним или прозрачним хидродинамичким мењачем. Такође, мора се водити рачуна о намени моторног возила и избору мењача по карактеру прозрачности [6].

На слици 2.17 приказане су улазне карактеристике хидродинамичког мењача (дијаграм заједничког рада мотора и мењача) за сва четири случаја прозрачности (непрозрачан а), директно прозрачан б), обрнуто прозрачан в) и комбиновано – комплексно прозрачан г). Усклађивање рада мотора и претварача врши се тако да тачка обртног момента мотора при максималној снази буде на квадратној параболи оног преносног односа (ψ) при коме је степен искоришћења мењача највећи.

И поред интензивног развоја хидродинамичких мењача у правцу повећања степена искоришћења и дијапазон трансформације обртног момента, није постигнут циљ да се једним агрегатом хидродинамичког мењача реши проблем трансмисије моторних возила и задовољи потреба динамичке равнотеже у расположивој и потребној вучној сили. Из наведеног разлога врши се комбинација хидрауличких и механичких преносника у једну целину под називом хидромеханички преносници снаге.

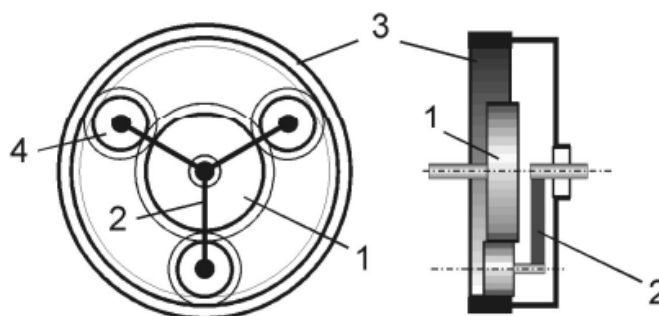
Конструкција извођења аутоматских трансмисија за путничка возила проистичу, између осталог, и из саме концепције погона, односно, међусобног положаја мотора и система за пренос снаге као што је првобитна концепција погона била мотор напред, погон назад, тако је и у почетном развоју аутоматских трансмисије њихова концепција била тако постављена. Међутим, све већа потреба за малим путничким возилима и због све мањег уградног простора за њихов погон, као и због попречног постављања мотора, наметнуле су корените измене у самој концепцији и конструкцији аутоматских трансмисија.



Слика 2.17. Хидромеханички преносник снаге – аутоматски мењачки преносник [7]

Код савременим конструкција мењача који се уграђују у аутомобиле, аутобусе и теретна моторна возила врло често се примењују решења са померљивим зупчаницама код којих се укључивање степени преноса врши помоћу тзв. тракасте кочнице.

Савремене трансмисије моторних возила користе углавном хипоцикличне зупчасте преноснике. Планетарне трансмисије се одликују компатибилношћу, мањим димензијама, једновременом расподелом оптерећења на више зупчаника и нижим нивоом буке. Једна од предности планетарних трансмисија са аспекта аутоматизације је у томе што се промена преносног односа, може вршити релативно једноставно и под оптерећењем. На слици 2.18, приказан је планетарни мењачки преносник са основним елементима.



Слика 2.18. Планетарни преносник: 1. централни зупчаник, 2. носач сателита – криваја, 3. озубљени венац – прстенасти зупчаник, 4. сателит [7]

Предности мењачких преносника са покретним осама вратила у односу на непокретне [2]:

1. већи коефицијент корисног дејства,
2. при истим пречницима зупчаника остварује се већи преносни однос,

3. вратила нису оптерећена радијалним силама,
4. оптерећење се преноси на више зуба зупчаника,
5. врши се промена преносног односа без промене тока снаге,
6. мања бука и дужи радни век.

Недостаци [2]:

1. сложенија конструкција,
2. скупља израда,
3. повећани су габарити у аксијаном правцу,
4. пораст броја степена преноса усложњава конструкцију.

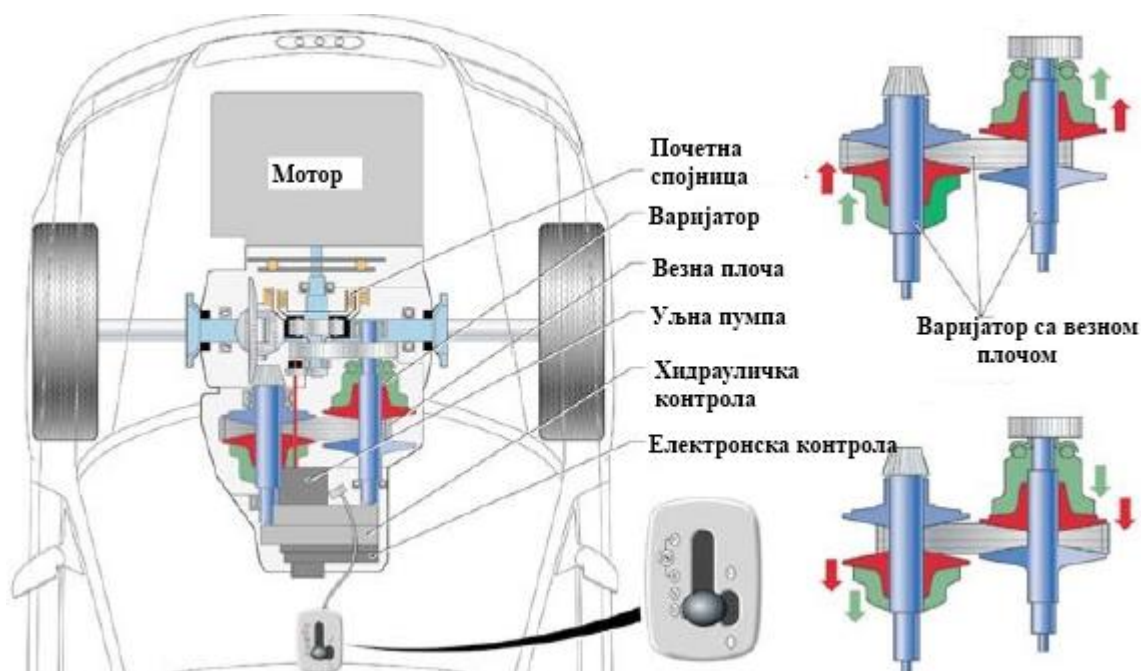
Врсте планетарних мењачких преносника су [1]:

1. хипоциклични са спољним прстенастим зупчаником, који има унутрашње озубљење и
2. епициклични, без прстенастог зупчаника.

Континуално варијабилни мењачки преносници – варијатори базирају се на скоро неограниченом броју преносних односа, па са теоријског аспекта постиже већу ефикасност преноса и трансформације параметара снаге у односу на остале врсте мењачких преносника. Најчешће се у склопу CVT – *ContinuouslyVariableTransmission* мењача користи фрикциони елемент, који има могућност клизања, те на тај начин утиче на смањење укупног степена корисности трансмисије.

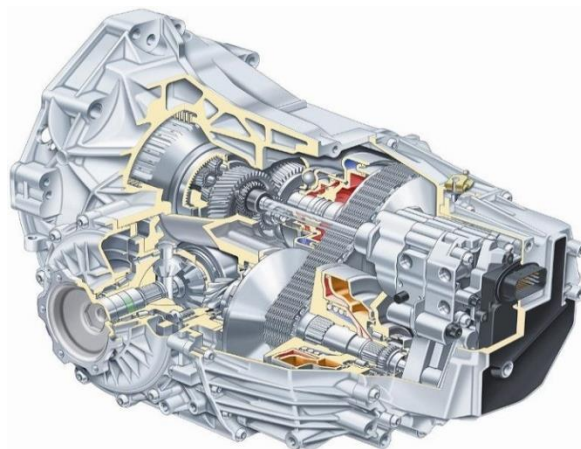
Како би се смањили губици снаге, неопходно је да затегнутост каиша буде задовољавајућа и то пропорционално снази која се преноси. CVT мењачки преносници су углавном у примени код мањих и средњих сегмената возила. Када је потребно пренети већу снагу користе се, уместо гумених, метални каишеви или ланци. Они производе већу буку и при том имају мањи коефицијент пријањања, али немају проблем истезања током експлоатације, за разлику од гумених каишева. Иначе, начин рада заснива се на ременицама променљивог пречника, што уз константну дужину каиша резултује променљивим преносним односом. На слици 2.11, приказан је аутоматски фрикциони мењачки преносник на возилу *Audi*.

Мењачки преносници без прекида тока снаге имају основни задатак да при преносу снаге од мотора на погонске точкове изврши промену његових параметара: обртног момента и броја обртаја односно угаоне брзине. Осим основног задатка мењач омогућава кретање возила напред/назад што се постиже са или без прекида тока снаге. Такође, фрикционе трансмисије спадају у групу трансмисија са континуалном променом преносног односа која се врши без прекида тока снаге.



Слика 2.19. Аутоматска фрикциона трансмисија код возила Audi [2]

Својим глатким и динамичним убрзањима, CVT мењачки преносник чини вожњу лако и пријатном. CVT мењачки преносник посебно долази до изражаја у урбаним срединама, у тзв. стани – крени саобраћају. Велики број савремених возила данас поседује континуално варијабилну трансмисију и то углавном хибридна возила код којих је ово доминантни систем преноса. Према неким подацима тренутно је сваки пети аутомобил у свету опремљен CVT мењачким преносником. А према неким предвиђањима за само неколико година, овај удео ће порастати за најмање једну четвртину. Овај тип мењача је тренутно доступан на преко 300 производних модела различитих возила широм света. На слици 2.20, приказан је Audi Multitronic CVT мењачки преносник.



Слика 2.20. Audi Multitronic CVT мењачки преносник [9]

3. Карактеристика и поделе мењачких преносника са континуално променљивим преносним односом

Фрикционе, хидрауличке и електричне трансмисије спадају у групу трансмисија са континуалном променом преносног односа, која се врши без прекида тока снаге. С обзиром да се, захваљујући могућностима електронике, све више аутоматизују и трансмисије са степенастом променом преносних односа, можда је прихватљивија класификација трансмисија према начину на који се остварује промена степена преноса у мењачком преноснику. Уствари подела трансмисија врши се на основу врсте мењачког преносника који је и основни склоп трансмисије.

На слици 3.1, приказана је подела континуалних мењачких преносника. Класификација мењачких преносника може се извршити према начину на који се може реализовати промена степена преноса:

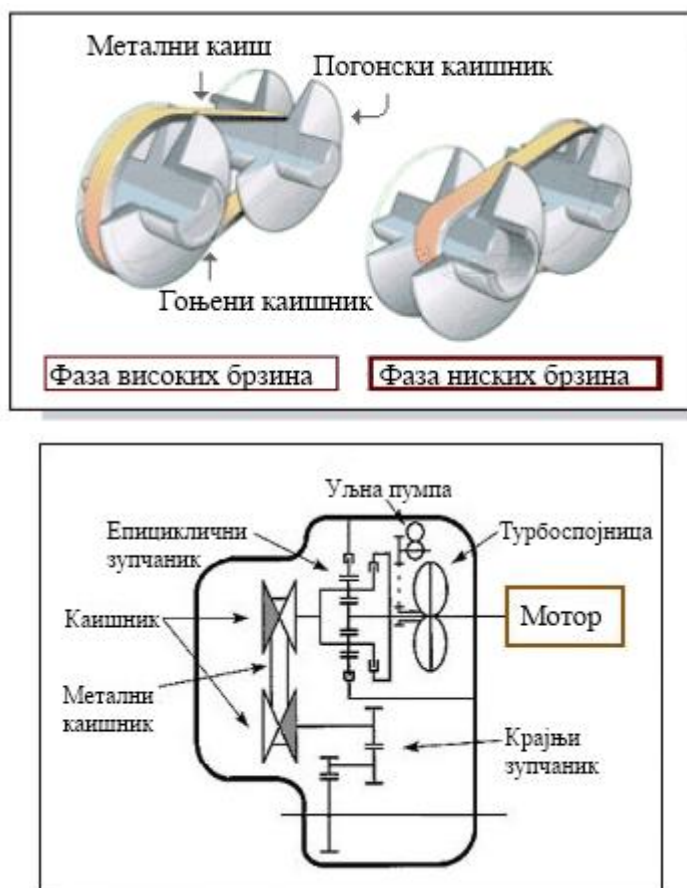
- степенаста,
- континуална или
- комбинована.



Слика 3.1. Класификација континуалних мењачких преносника

3.1. Основне карактеристике варијатора

Фрикциони преносници – варијатори, односно континуално варијабилна трансмисија, су механички преносници, који промену преносног односа врше континуално и без прекида тока снаге, пасу из тог разлога и нашли примену у аутоматским трансмисијама моторних возила. Постоји више врста фрикционих преносника, али се углавном користе преносници са клинастим ременима и са еластичним и металним ременима. На слици 3.2, шематски је приказана фрикциона трансмисија.



Слика 3.2. Шематски приказ фрикционе трансмисије [2]

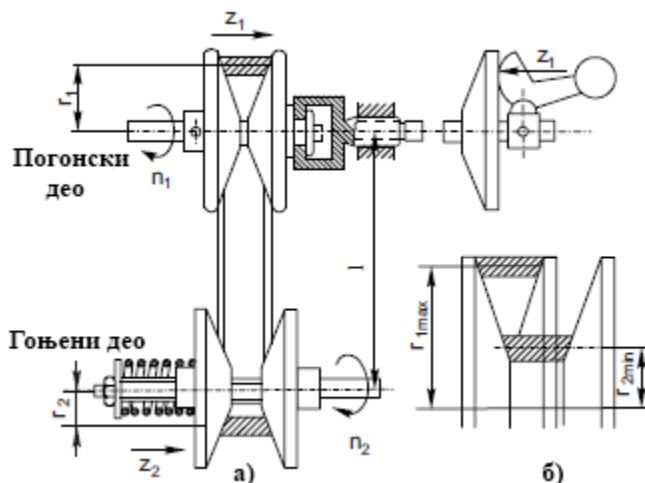
Карактеристике фрикционих мењачких преносника са варијатором:

- промена степена преноса без прекида тока снаге,
- висок ниво комфора,
- могућност регулације са подешавањем оптималне потрошње горива или максималног убрзања,
- велик дијапазон преносних односа,
- степен корисности зависи од управљачког система за промену степена преноса.

Позната су различита извођења ове врсте фрикционих трансмисија. Један од најпознатијих фрикционих преносника развила је фирма DAF, слика 3.3. Промена преносног односа врши се променом положаја аксијално покретног диска гоњене ременице. При аутоматизацији промене преносног односа, аутоматски регулатор одређује померање диска, прорачунски преносни однос одређује се помоћу израза [1]:

$$i = \frac{D_{1x}}{D_{2x}} \quad (3.1)$$

где су: D_{1x} и D_{2x} — тренутна вредност пречника ременице, а одређене су положајем неутралних линија попречног пресека ремена.



Слика 3.2. Фрикциони мењачки преносник: а) са основним елементима, б) и детаљем промене полупречника r_1 и r_2 [1]

Дијапазон промене преносних односа је [1]:

$$D_p = \frac{v_{max}}{v_{min}} \cdot \frac{n_{1max}}{n_{1min}} \quad (3.2)$$

где је:

v_{max} и v_{min} – максимална и минимална брзина возила,

n_{1max} и n_{1min} – максимани и минимални број обртаја погонске ременице.

Максималне и минималне вредности преносног односа одређени су изразом [1]:

$$i_{min} = \frac{d_1}{D_2}, \quad i_{max} = \frac{D_1}{d_2} \quad (3.3)$$

где је: d_i и D_i - највећи и најмањи пречници ременица.

За симетрични фриктиони преносник су: $d_1 = d_2 = d$ и $D_1 = D_2 = D$, па је дијапазон промене преносног односа одређен изразом [1]:

$$D_p = \left(\frac{D}{d}\right)^2 \quad (3.4)$$

а преносни односи [1]:

$$i_{max} = \sqrt{D_p}, \quad i_{min} = \frac{1}{\sqrt{D_p}} \quad (3.5)$$

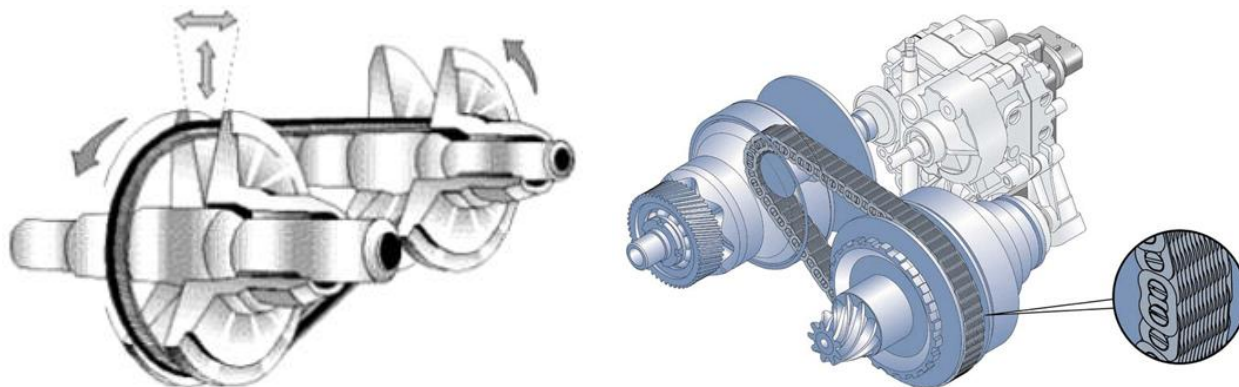
При пројектовању система аутоматског управљања овог типа трансмисије неопходно је да се зна зависност померања дискова погонске Y_1 и гоњене Y_2 ременице од промене преносног односа (i). И код симетричног фрикционог преносника померања Y_1 и Y_2 за исти преносни однос се разликују међусобно. То се објашњава условом одржања истог растојања (l) између вратила. Дужина ремена је [1]:

$$L = 2 \cdot l + \frac{\pi}{2} (D + d) + \frac{(D + d)^2}{4 \cdot l} \quad (3.6)$$

Континуални мењачки преносници, слика 3.3, омогућавају непрекидну измену вредности преносног односа трансмисије и непрекидну предају обртног момента на погонске точкове, у форми која одговара идеалној вучној карактеристици (хиперболи вуче). Према томе, континуални преносници служе за [7]:

1. континуалну аутоматску промену преносних односа,
2. измену преносних односа по закону који омогућава добре вучне и динамичке карактеристике возила при датој карактеристици мотора и
3. остваривање високог степена корисног дејства у широком опсегу промене експлоатационих режима.

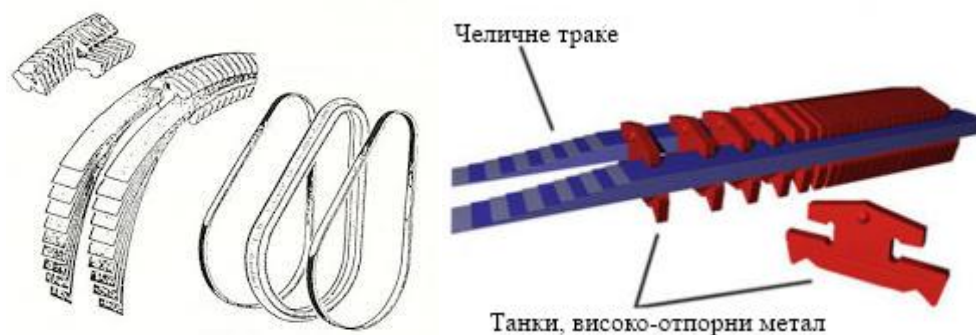
Применом континуираних преносника добија се веома равномерно кретање возила, пошто се обртни момент непрекидно доводи на погонске точкове, а са друге стране смањује се могућност преоптерећења делова трансмисије. Континуални преносници су сложенији по конструкцији и имају веће механичке губитке. Ови мењачких преносника су ређи на возилима у односу на степенасте мењаче чија је конструкција једноставнија, а тиме је израда јефтинија.



Слика 3.3. Фрикциони мењачки преносник [2, 8]

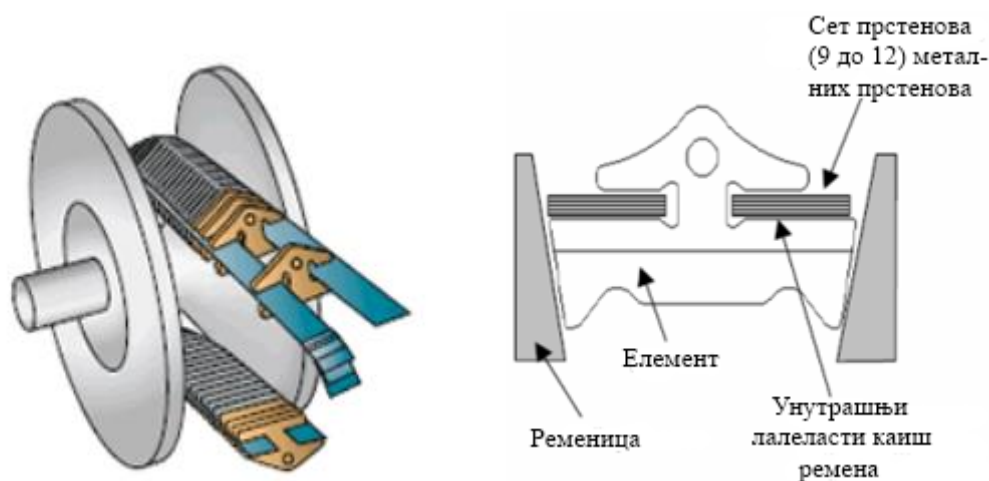
Ако се „густина снаге“ – снага сведена на јединицу масе зупчастог пара означи са индексом 100, онда према одређеним подацима, тај индекс за фрикциони преносник са еластичним – гуменим ременом износи свега 10. Из тог разлога су сва истраживања и развој у области ремених фрикционих трансмисија била усмерена ка повећању овог

индекса. Са комбинованим V ременима (гумено-металним) индекс се повећава на 14, а са металним V ланцима на 40. Ова решења базирана су на том принципу да се снага преноси силом истезања у ремену. На слици 3.4, приказани су елементи металног ремена код CVT мењачких преносника.



Слика 3.4. Метални ремен CVT мењачког преносника [9]

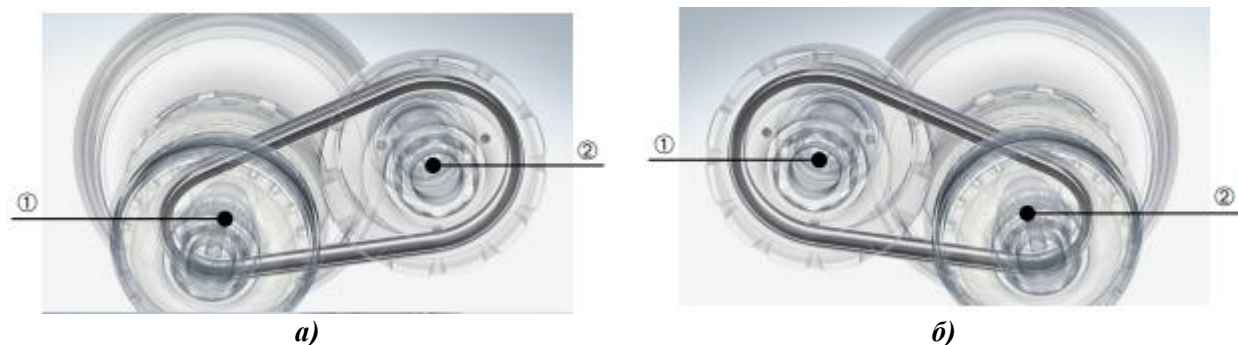
Van Doorne's Transmissieb.v. (VDT) је 1965. године отпочео истраживања у циљу развоја нове фрикционе трансмисије са металним ременом. Као резултат ових истраживања 1984. године почела је производња нове фрикционе трансмисије са металним ременом која преноси снагу силом притиска у ремену. Сада се те трансмисије уграђују у више модела различитих аутомобила. Примарна страна (улаз) је страна варијатора која је повезана са коленастим вратилом, док је секундарна страна (излаз) је страна варијатора која је повезана са погонском осовином возила. Метални клинасти ремен причвршћен је између два пара конусних снопова, тј. ременица. На слици. 3.5, приказан је варијатор са металним V ременом.



Слика 3.5. Фрикциони преносник – варијатор са металним ременом [10]

Подешавање степена преноса се постиже подешавањем силе стезања којом се делије на ремен. Варијатор има један или два погона ремена, док су погонски ремени спојени

помоћу ременог каиша. Ременице се састоје од две кочионе плоче које се могу размицати и на тај начин стезати или отпуштати ремен. На тај начин врши се промена степена преноса, слика 3.6. За стезење и отпуштање ремена, односно померање ременица може се користити хидраулички притисак, центрифугална сила или помоћу утицаја силе опруге. Ременице се најчешће постављају под углом нагиба од 20° , што омогућава ремену да се креће по површини уз минималан отпор.



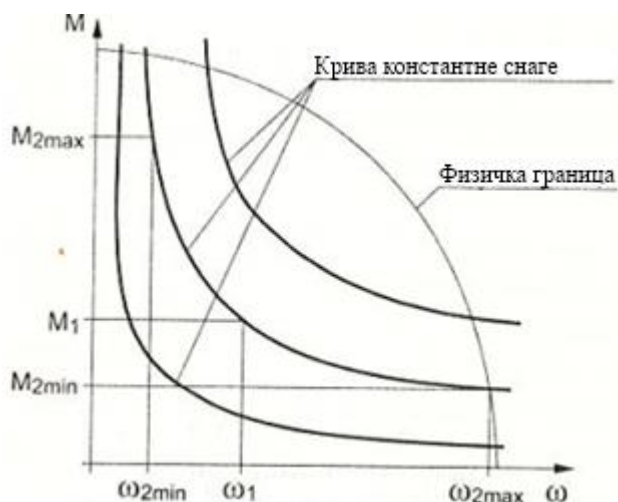
Слика 3.6. Шематски приказ промене преносног односа код CVT мењачког преносника: а) већи преносни однос, б) мањи преносни однос (1. примарна страна, 2. секундарна страна) [11]

Применом металног ремена, индекс код ових трансмисија повећава се на вредност од 70, уз смањење губитака у мењачу у односу на фриксионе мењаче са гуменим и другим врстама ремена, што је остварено посебном конструкцијом ремена. Ремен се састоји од већег броја танких челичних плочица, „V“ облика. Повезаних међусобно са два комплета, веома, танких металних трака од специјалног челика, а које су преднапегнуте на истезање силом претходног затезања која се остварује при монтажи. Ако су параметри снаге на улазу у трансмисију (излаз из мотора) M_1 и ω_1 , онда се на излазу из трансмисије могу остварити, следећи параметри [9]:

$$M_{2max} = M_1 \sqrt{D_p} \dots \text{при} \dots \omega_{2min} = \frac{\omega_1}{\sqrt{D_p}} \quad (3.7)$$

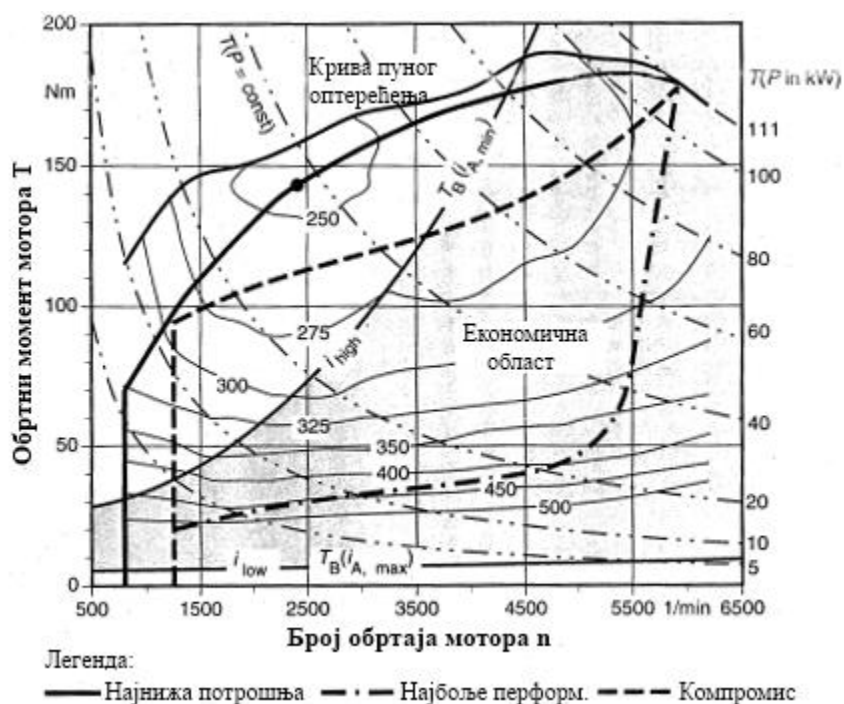
$$M_{2max} = \frac{M_1}{\sqrt{D_p}} \dots \text{при} \dots \omega_{2min} = \omega_1 \sqrt{D_p} \quad (3.8)$$

где је D_p дијапазон промене преносних односа. На слици 3.7, приказан је дијаграм параметара снаге на излазу из фриксионог мењача са дијапазоном промене преносног односа D_p .



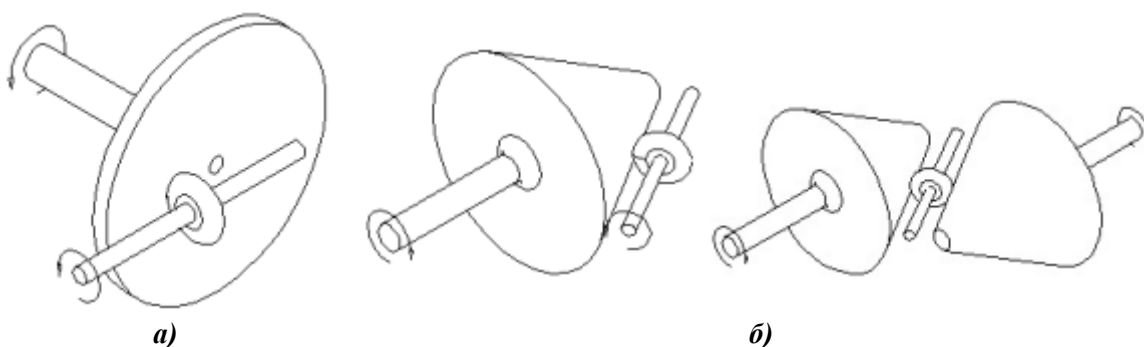
Слика 3.7. Параметри снаге на излазу из фрикционог мењача [9]

Код савремених возила поље минималне потрошње горива је врло мала елипса у радном пољу мотора. Избором броја степени преноса и преносних односа пројектанти путничких возила покушавају што чешће да користе ту област. Од модерних погонских агрегата се тражи да што чешће, по броју обртаја и по оптерећењима, раде са минималним вредностима потрошње горива и што нижом емисијом. Ото мотори са фиксним, односно компромисно изабраним степенима компресије не могу да испуне такве услове. Због тога се пројектују мењачки преносници са већим бројем степена преноса, а врло често се користе и CVT мењачки преносници, слика 3.8 [1].



Слика 3.8. Дијаграм перформанси мотора у комбинацији са CVT мењачким преносником [1]

Најчешће примењиван тип CVT мењачких преносника је са ременом, односно каишем, где се обртни момент преноси трењем. Код појединих модела постоји и посредничко тело, обично ролер – затезач. Најједноставнија конструкција CVT мењачких преносника је систем „диск и точак“, слика 3.9а, код којег се точак креће по површини ротирајућег диска, док точак може клизити дуж осовине да би доспео на диск на различитим удаљеностима од његовог центра. Степен преноса код таквог преноса снаге зависи од пречника точка, односно растојања од тачке контакта до центра диска. Веома сличан систему „диск и точак“ је и решење са „конус и точак“, у коме је диск замењен конусом, слика 3.9б. О овом типу мењачког преносника више речи биће у наставку рада.



Слика 3.9. CVT мењачки преносници: а) систем „диск и точак“, б) „конус и точак“ [11]

Трење игра важну улогу код конструкција CVT мењачких преносник. Коефицијент трења зависи од материјала који се користе, гума на челику је обично око 0,8 до 0,9. Највећи обртни момент који ти фриксиони преносници могу да пренесу даје се изразом [11]:

$$T_{max} = C_f \cdot F_N \cdot R_o \quad (3.9)$$

где је:

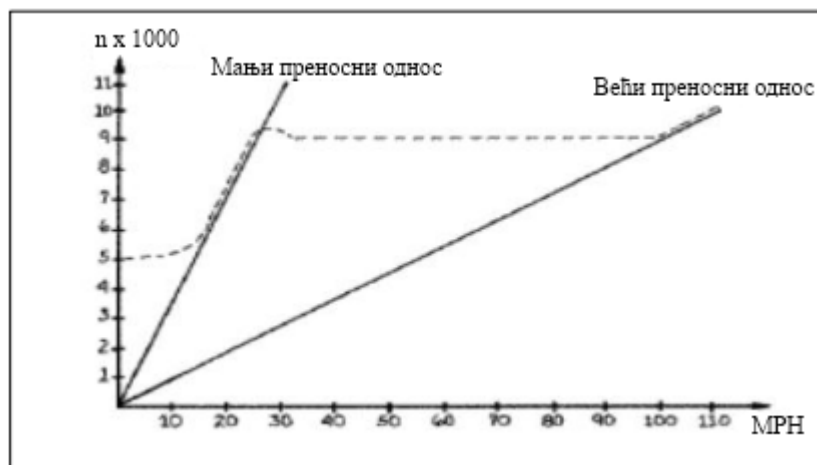
T_{max} – максимални обртни момент,

C_f – коефицијент трења између диска и точка,

F_N – нормална сила (сила којом точак притиска диск),

R_o – радијус точка или диска.

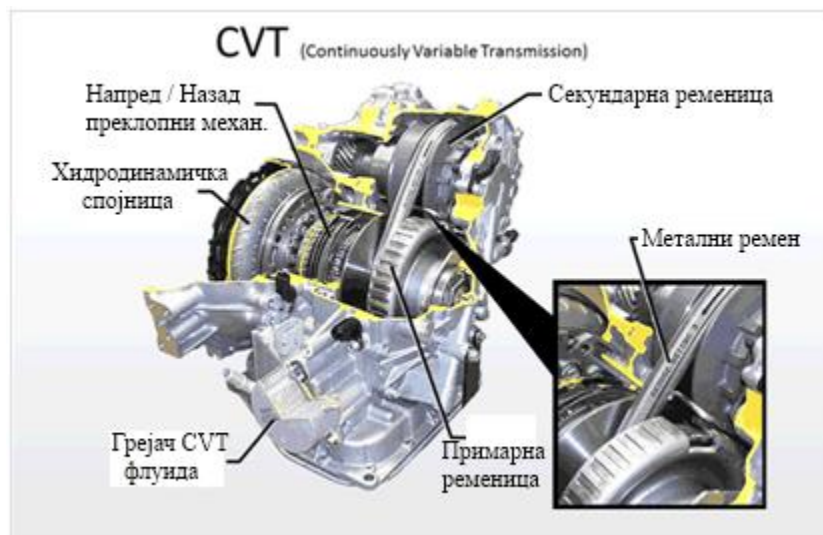
Механизам CVT мењачког преносника омогућава контролу пречника ременице. Односно применом додатних механизма омогућава се глатко повећавање брзине возила или одржавање броја обртаја мотора на одређеној вредности. Ова карактеристика одржавања константног броја обртаја мотора могућа је из разлога линеарне промене степена преноса мењачког преносника, слика 3.10.



Слика 3.10. Дијаграм развијања брзине возила са CVT мењачким преносником [12]

Степен преноса је однос између угаоне брзине улазног и излазног вратила. Према томе код CVT мењачких преносника и даље се користи термин степен преноса. Иако се CVT мењачки преносници изводе и без планетарних преносника, још увек се описују као да имају нижи и виши степен преноса, што је постигнуто договором произвођача.

На слици 3.11, приказан је пресек аутоматске трансмисије без полувратила са фрикционим мењачем за путничке аутомобиле са погоним на предње токове и попречно постављеним мотором. Поред фрикционог мењача, главног преносника са два пара зупчаника и диференцијалног преносника уграђен је и планетарни преносник, са по једном вишеламеластом кочницом и спојницом, за остварење прекида тока снаге и хода уназад. Аутоматско управљање фрикционом трансмисијом остварује се хидрауличким системом који добија информације од сензора угаоне брзине и оптерећења мотора, сензора брзине возила и сензора положаја покретне полуге погонске ременице.



Слика 3.12. Пресек аутоматске трансмисије без полувратила са фрикционим мењачем [13]

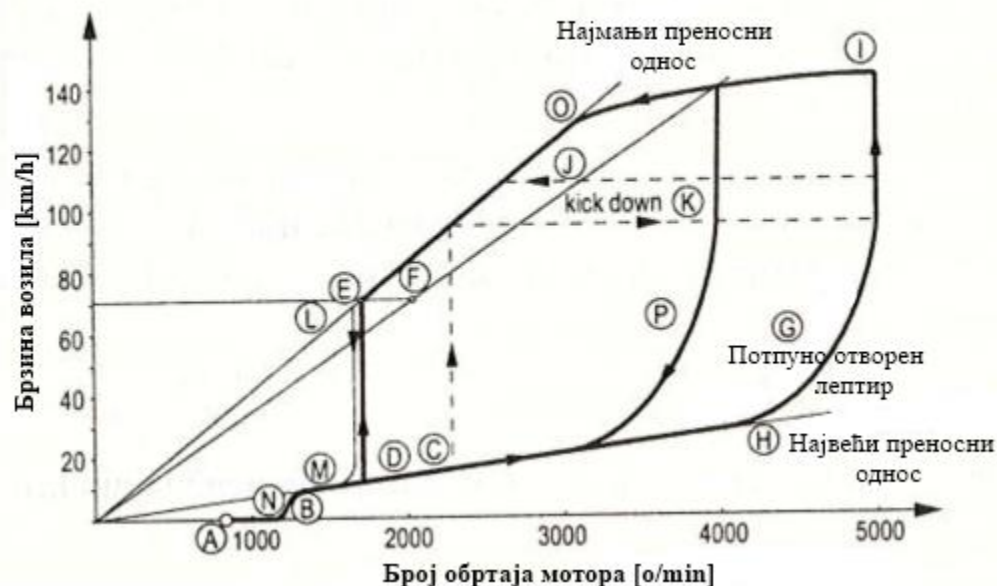
Управљање режимом рада трансмисије обавља се командном ручицом која има пет положаја L-D-N-P-R, слика 3.13, који означавају:

- L – кретање нижим брзинама напред или кочење мотором,
- D – кретање напред,
- N – неутрални положај,
- R – кретање уназад и
- P – паркирање.



Слика 3.13. Командна ручица код путничких возила са CVT мењачким преносником [13]

Процес аутоматског управљања одвија се на следећи начин: Постављањем командне ручице у положај D, када возило стоји у месту, спојница за кретање напред само се делимично укључује како би се, касније, постепено укључивала, чиме се спречава да возило крене назад при поласку на успону. Притиском на педалу за „гас“ спојница се потпуно укључује и возило полази (тачка В на слици 3.14). Од те тачке аутоматски управљачки систем подешава преносни однос на основу информација о: броју обртаја мотора, брзини кретања и положају педале за „гас“. Што је веће померање педале то преносни однос почиње да се смањује при већем броју обртаја мотора. Ако се полази из места са мало већим ходом педале за „гас“, мењач ће почети да смањује преносни однос већ при броју обртаја мотора око 1700 o/min (тачка D), при чему ће брзина возила на равном путу достићи вредност од 70 km/h (тачка F). При већем ходу педале мењач ће смањивати преносни однос при већем броју обртаја мотора (тачка C). При пуном ходу педале, мењач ће почети да смањује преносни однос тек при броју обртаја мотора 4500 o/min (тачка H) [9].



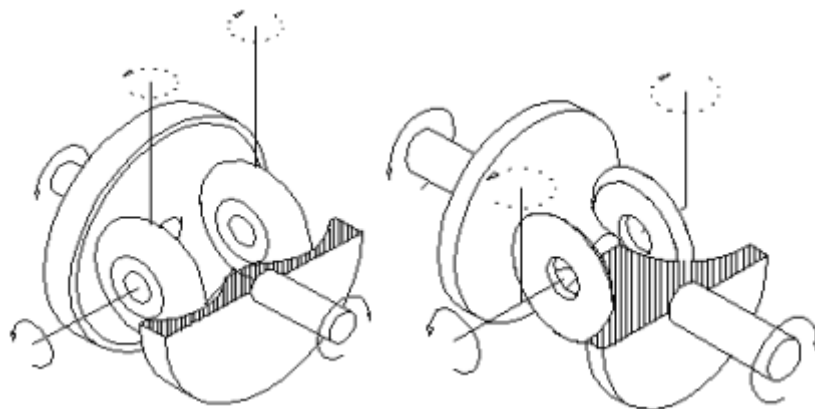
Слика 3.14. Дијаграм процеса аутоматског управљања CVT мењачког преносника [9]

Тада је смањење преносног односа праћено повећањем броја обртаја мотора све до достизања максималне брзине возила (тачка I) при 5000 o/min. Након тога, смањењем хода педале, преносни однос се и даље смањује („over-drive“), а и број обртаја мотора се смањује уз смањење и брзине возила (тачка O). Уколико возач, пре достизања максималне брзине смањи ход педале, смањује се и број обртаја мотора при константној брзини кретања, јер се и даље смањује преносни однос (тачка J) до достизања најмањег преносног односа. Притискивање педале до краја (активира се прекидач „kick-down“) условљава нагло повећање преносног односа (тачка K) како би се повећало убрзање возила. Постављањем командне ручице у положај L при кретању већом брзином мењач повећава преносни однос и условљава кочење мотором (тачка P) при чему је број обртаја мотора 3000 до 4000 o/min [9].

Растојање између центра каишника и места где каиш остварује контакт са жљебом је познато као галопирајући радијус. Када су конуси каишника раздвојени каиш се креће наниже и галопирајући радијус се смањује. Када су конуси каишника близу један другом, каиш се креће навише и галопирајући радијус се повећава. Однос између галопирајућег радијуса на погонском каишнику и галопирајућег радијуса на гоњеном каишнику дефинише степен преноса. У теорији, CVT мењачки преносник има бесконачан број степен преноса тако да може остварити погон у било ком тренутку времена, са било којим мотором или брзином кретања возила.

3.2. Основне карактеристике тороидних мењачких преносника

Још једна верзија CVT мењачких – тороидни мењачки преносник уместо каиша и каишника користи дискове и погонске ваљке. Варијатор трења или тороида је скуп коаксијално постављених дискова и ваљка који преносе обртни момент, слика 3.15. Назив тороидни уређај добио је због облика радних површина погонског и водећег елемента. Преносни однос се подешава померањем ваљка дуж бочне површине дискова. Због велике силе притиска ваљка на диску, кретање је могуће помоћу посебних механизма.

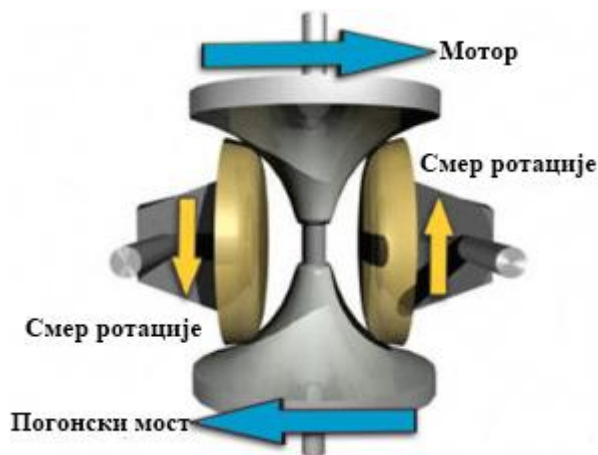


Слика 3.15. Варијатор трења или тороида [11]

Карактеристике:

- промена преносног односа без прекид тока снаге,
- нема промене степена преноса,
- могућност подешавања стратегије промене преносног односа (економичност – убрзавање),
- могућност преношења великих момената,
- брза промена преносног односа,
- део снаге се троши на хидраулички систем,
- коришћење специјалних хидрауличких уља

Иако овакав систем изгледа драстично другачије, све компоненте су аналогне са системом каиш - каишник и доводе до истих резултата - континуални варијабилни мењач. Принцип рада: Један диск је повезан са мотором. Ово одговара погонском каишнику. Други диск је повезан са зглобним преносником или погонским мостом. Ово одговара гоњеном каишнику. Ваљци, или котури, смештени су између дискова као каиш, преносећи снагу са једног диска на други, слика 3.16.



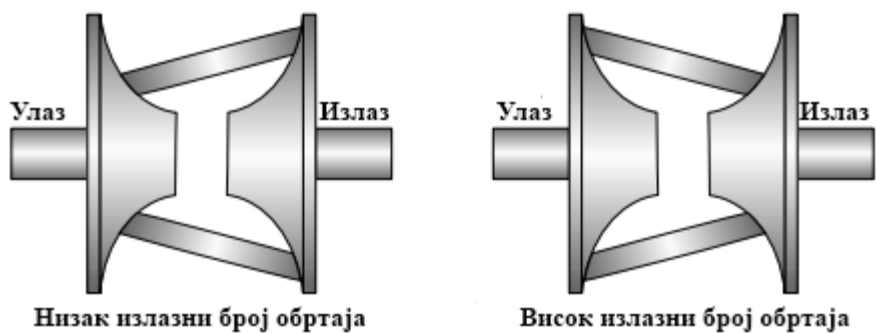
Слика 3.16. Варијатор трења или тороида [11]

Тороидна трансмисија може се поделити на:

- потпуно тороидну трансмисију (слика 3.17) и
- полутороидну трансмисију (3.18).



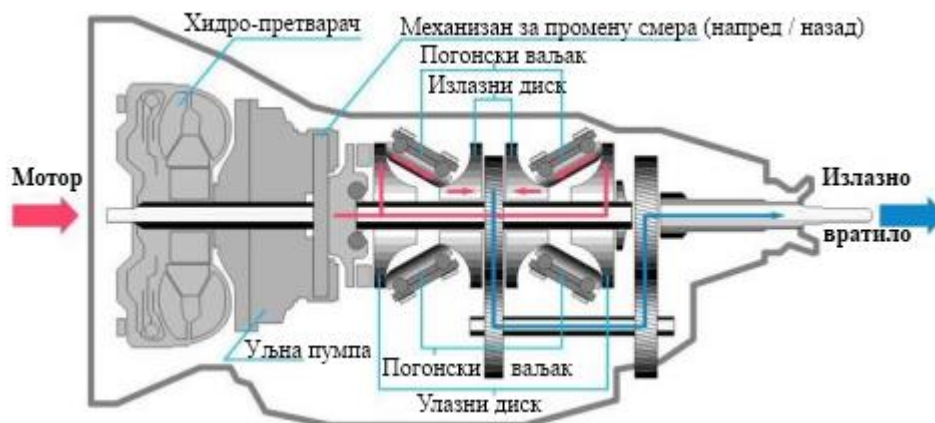
Слика 3.17. Концепт потпуно тороидне трансмисије [14]



Слика 3.18. Концепт полутороидне трансмисије [14]

Котури могу да ротирају око две осе. Они се окрећу око хоризонталне осе и нагињу се унутра или споља око вертикалне осе, што дозвољава котурима да додирују дискове на различитим местима. Када су котури у контакту са погонским диском близу центра, онда

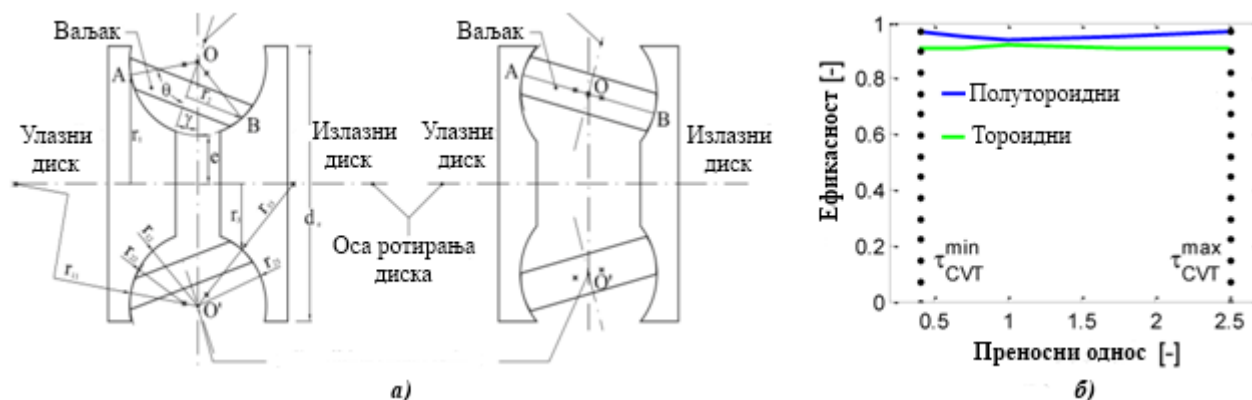
ће са гоњеним диском остварити контакт близу обода диска, узрокујући смањење угаоне брзине и повећање обртног момента (нпр. мањи степен преноса). Када котури додирују погонски диск близу обода диска, онда ће са гоњеним диском остварити контакт близу центра, узрокујући повећање угаоне брзине и смањење обртног момента (нпр. у већем степену преноса). Једноставно нагињање котура као и промена преносног односа, обезбеђујући равномерну, скоро тренутну промену преносног односа.



Слика 3.19. Конструкција тороидног мењачког преносника [7]

Тороидни мењачки преносници способни су да емитују више обртног момента. За израду делова за ову врсту CVT-а потребан је челик велике чврстоће, што утиче на његову цену.

Због свог великог обртног момента и бесконачног броја преносних односа, полутороидни или тороидни CVT мењачки преносници се широко примењују код многих моторних возила, као што су аутомобили и камиони погоњени мотором СУС. Ови системи могу донети неке предности, као што су смањење тежине и запремине због непостојања класичне педале спојнице. Главне компоненте ових преноса су улазни и излазни дискови приказани на слици 3.20а. Дизајнирани тако да створе тороидну шупљину. Врло танак уљни филм налази се између сваког диска и погонског ваљка и омогућава пренос обртног момента. Преносни однос може се брзо променити у складу са захтевима обртног момента и променом угла нагиба ваљака. Дијаграм са слике 3.20б приказује да ефикасност тороидних погона зависи од излазног обртног момента, силе стезања, преносног односа и мање од угаоне брзине, ако се занемаре топлотни ефекти. Штавише, сила стезања се може подесити да рад трансмисије буде максимално ефикасан, а чија је вредност скоро независна од излазног обртног момента. Из тога произлази да је ефикасност тороидне трансмисије у симулацијском моделу дата као функција односа брзине, као што је приказано на слици 3.20б. Ефикасност тороидних мењачких је 4% до 5% мања од полутороидних мењача, што се, такође, уочава на дијаграму 3.20.



Слика 3.20. а) геометријске величине тороидног мењачког преносника (θ – угаона брзина, r_{12} – полупречник ваљка, r_{33} – полупречник од осе ваљка до осе ротирања диска, O – оса ротирања ваљка), б) дијаграм ефикасности полутороидног и тороидног мењачког преносника [15]

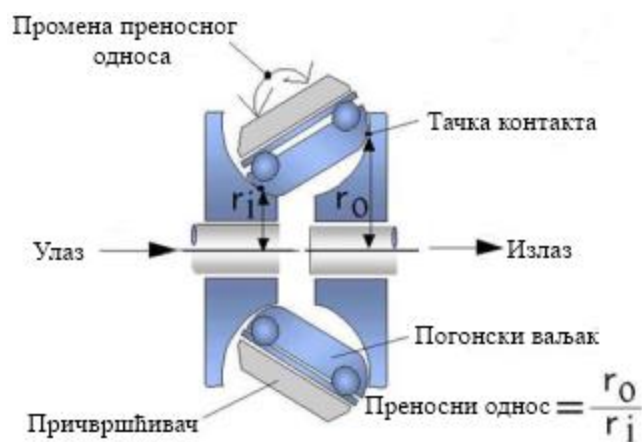
Промена односа се врши када се погонски ваљци нагињу око осе ротације причвршћивача, чиме се мења преносни однос и момент на улазном диску, а према излазном диску, слика 3.21. Пренос снаге се врши помоћу посебног уља које развија изузетно висок отпор на смицање под условима високог контактеног притиска, слика 3.22. Сила трења T између погонског ваљка и погонског ваљка дефинише се, као [16]:

$$T = \mu \cdot N \text{ [N]} \quad (3.10)$$

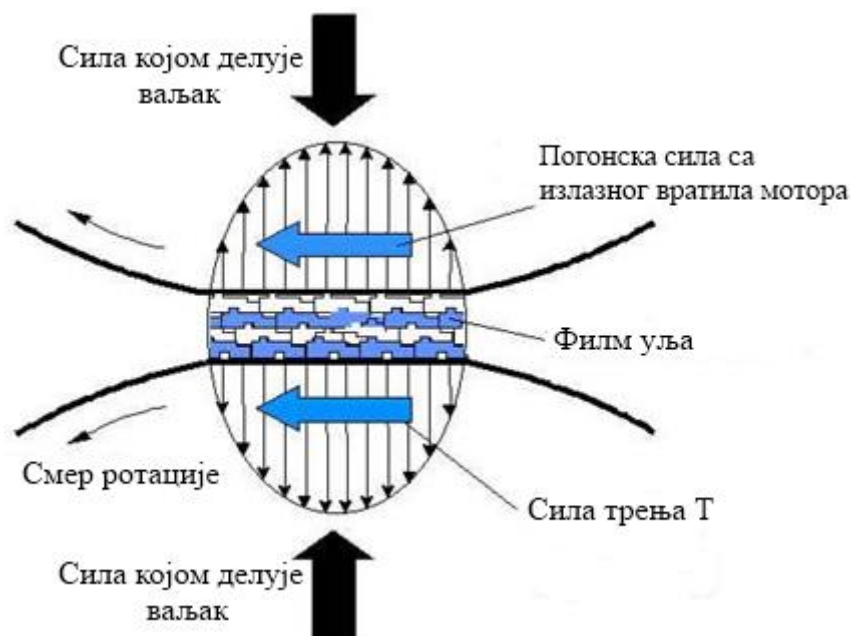
где је:

μ – коефицијент трења,

N – сила између два ваљка.



Слика 3.21. Принцип промене преносног односа код тороидног мењачког преносника [16]

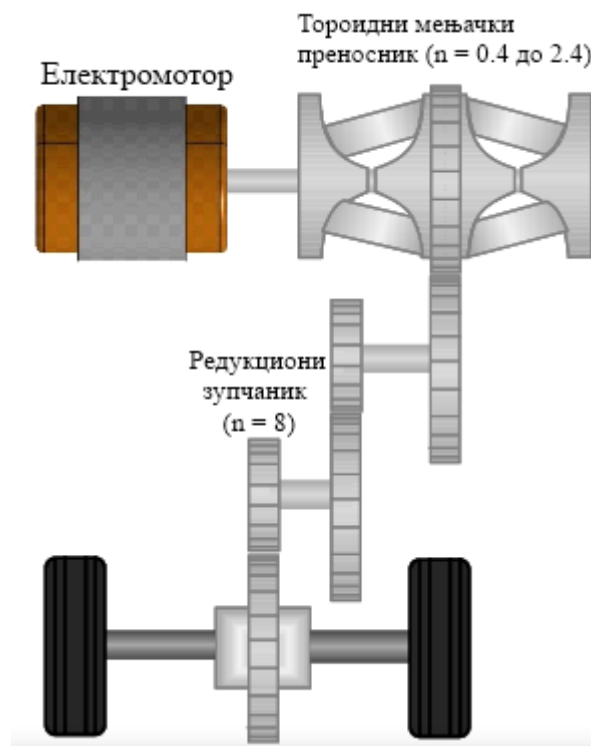


Слика 3.22. Принцип преношења снаге код тороидне трансмисије [16]

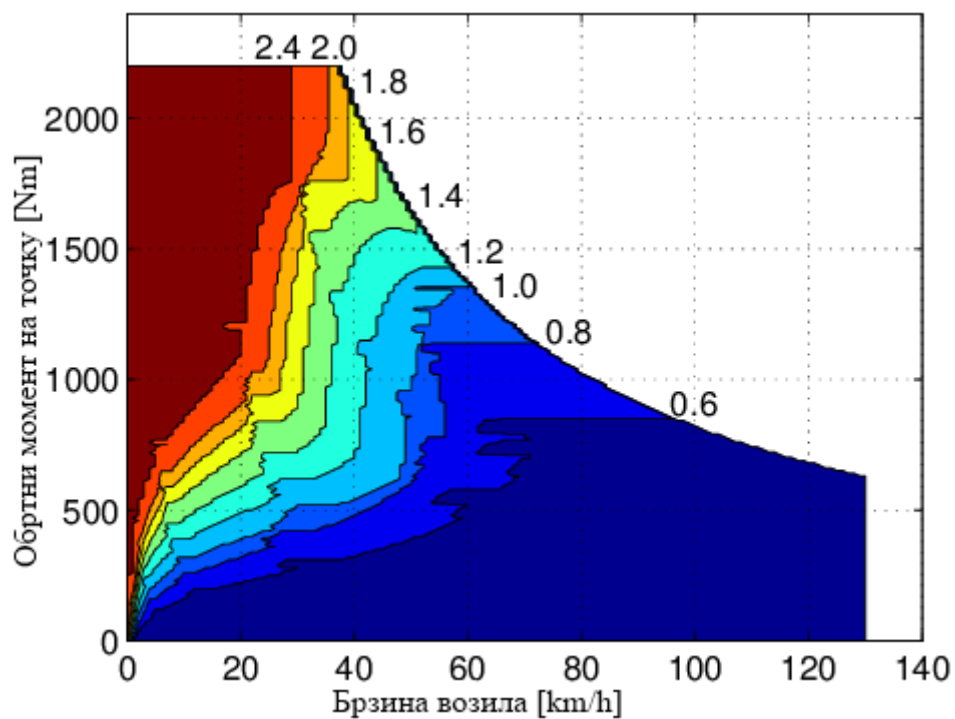
При конструисању тороидних мењачких преносника требају извршити следеће анализе:

1. анализа коефицијента трења под практичним условима,
2. синхронизација за сва четири погонска ваљка,
3. развој CVT система контроле који омогућава стабилност промене преносног односа и време одзива,
4. развој материјала и обраде дискова и ваљака како би се осигурао довољан век трајања и поузданост и
5. развој специјалног уља са високим коефицијентом трења.

Како би се код савремених возила побољшала ефикасност погонског склопа, нарочито код возила са електро-погоном, тежи се оптималнијем преносу снаге кроз трансмисију. Тороидни мењачки преносник се показао као посебно погодан, јер одржава радно стање електромотора ближе оптималној области, слика 3.24, чак и док се врши промена степена преноса. У појединим испитивањима вршена су упоређивања тороидног мењачког преносника и степенастог мењачког преносника, где су добијени резултати њихове ефикасности. Тороидни мењачки преносник има предност у подручју високог обртног момента, као и при ниском броју обртаја и ниском обртном моменту. Међутим, што се тиче осталих радних подручја ефикасност опада.



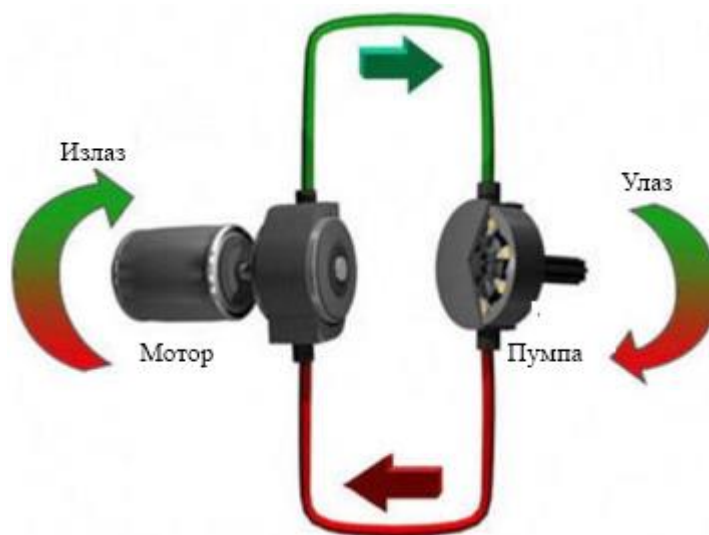
Слика 3.23. Шематски приказ примене тороидног мењачког преносника код возила са електро-погоном [17]



Слика 3.24. Дијаграм расподеле оптималног преносног тороидног мењачког преносника код возила са електро-погоном [17]

3.3. Основне карактеристике хидростатичких мењачких преносника са континуално променљивим преносним односом

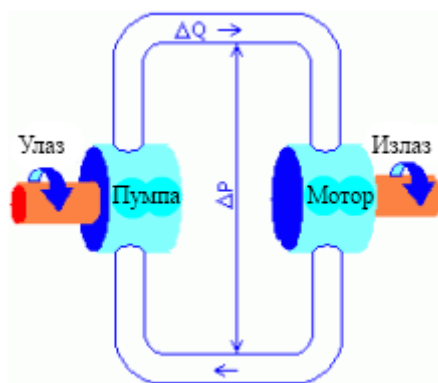
Поред CVT мењача са каишним преносом и тороидних CVT мењача са променљивим радијусом контакта између два ротирајућа објекта, постоје још једна врста CVT мењача, познатији као хидростатички CVT мењачи. Користе променљиво – померљиву пумпу за промену протока флуида у хидростатичком мотору. Код ове врсте мењача, ротационо кретање мотора покреће хидростатичку пумпу на погонској страни, слика 3.25. Пумпа претвара ротационо кретање у кретање флуида. После тога, помоћу хидростатичког мотора који се налази на гоњеној страни, кретање флуида се враћа у ротационо кретање.



Слика 3.25. Хидростатички CVT мењачки преносник [9]

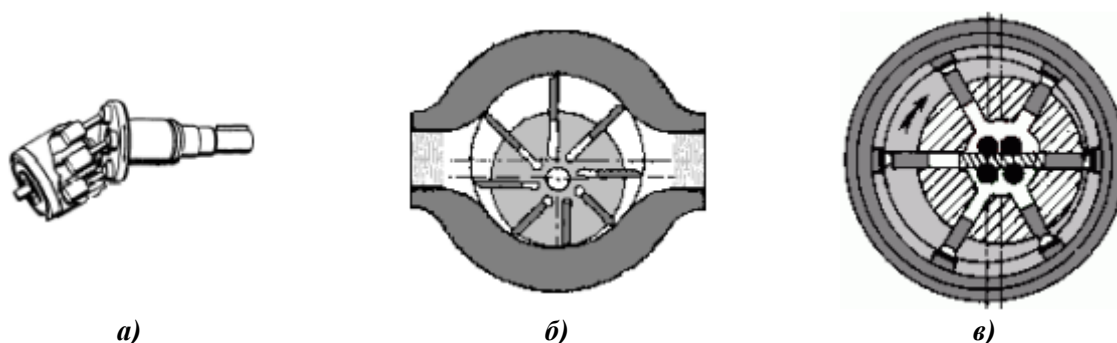
Углавном се хидростатички мењачки преносник комбинује са планетарним преносником и спојницама, како би се добио хибридни систем познат под називом хидромеханички мењач. Хидромеханички мењач преноси снагу од мотора до погонских точкова у три различита режима рада. При нижим бројевима обртаја снага се преноси хидраулички, а при вишим бројевима обртаја снага се преноси механички. Између ова два екстремна стања мењач користи обадва, хидраулички и механички начин за пренос снаге. Хидромеханички мењачи су идеални за примену на возилима која су изложена тешким условима рада, па је то разлог што су они уобичајени код пољопривредних трактора и возила која су намењена за све теренске услове.

Хидростатски CVT мењачки преносници претварају ротационо кретање у проток течности (хидростатичка пумпа), а затим се враћа у ротационо кретање (хидростатички мотор). На слици 3.26, шематски је приказан проток радне течности кроз хидростатички CVT мењач.

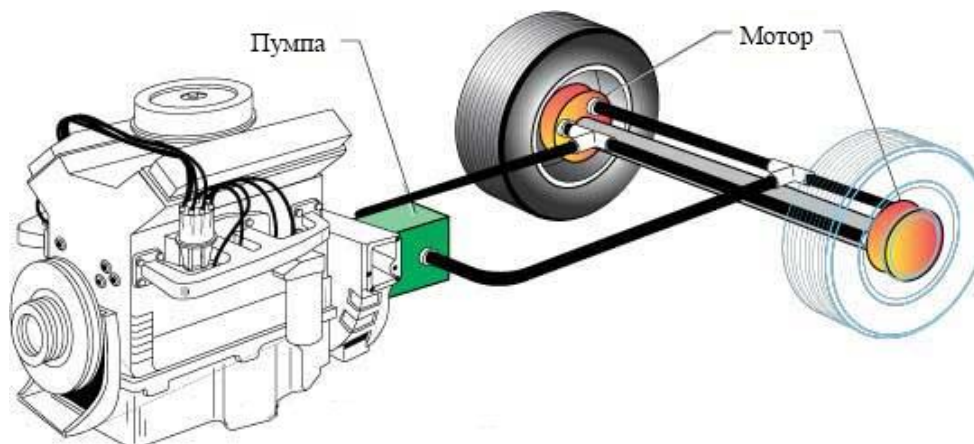


Слика 3.26. Проток радне течности кроз хидростатички CVT мењачки преносник: ΔQ – промена протока, ΔP – промена притиска [11]

Хидростатички пренос је веома једноставан хидраулични систем. У неким случајевима проток течности континуирано варира помоћу пумпе са променљивим потиском или са променљивим помаком, хидростатички мотор. Типични погонски систем возила састоји се од хидрауличке пумпе коју покреће примарни покретач и хидрауличног мотора који покреће погонске точкове, слика 3.28.



Слика 3.27. Хидростатичке пумпе: а) пумпа са нагибном цилиндарском главом (променљив угао), б) радијална клипна пумпа (померање осе), в) ротациона крилна пумпа [11]



Слика 3.28. Хидростатички мењачки преносник код путничког моторног возила [18]

Хидростатички преноси су постали златни стандард у индустрији рударства и тешких радних машина због високог излазног момента, оптимизације потрошње горива, стабилности и повећане безбедности. Идеалне су за теренске машине које не прелазе 20 km/h, обично су конструисане као хидрауличка пумпа и хидраулички мотор, слика 3.29.



Слика 3.29. Хидростатички мењачки преносник код радне машине [19]

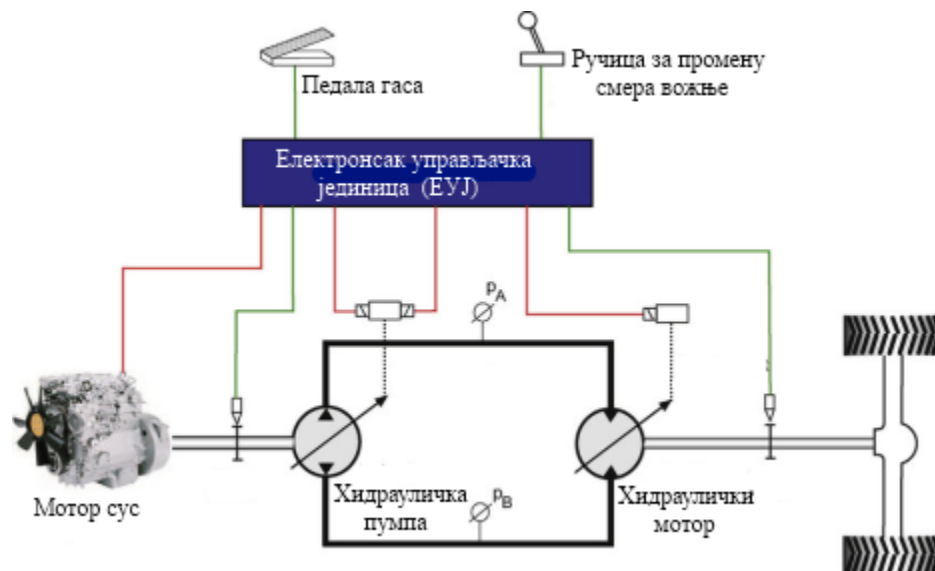
Мотор возила делује хидрауличком пумпом, која заузврат шаље уље у хидраулични мотор са различитим протоком и притиском. Хидраулички мотор претвара тај притисак уља у моторну енергију, омогућавајући машини да се креће. Уље се затим враћа у пумпу (затворени круг). Једноставније постављање омогућава мање компоненти у систему и на тај начин повећава његову поузданост.

Хидростатички пренос је посебно погодан за теренска возила. Електро-хидраулички, тј. хидростатички пренос у теренским возилима, такође, налази своју примену. Принцип хидростатичког преноса заснива се на томе да извор механичке енергије, попут мотора СУС, покреће хидрауличку пумпу која доводи уље у вучни хидраулички мотор. Обе ове групе међусобно су повезане цевоводом високог притиска, нарочито флексибилним. Ово поједностављује дизајн система, па нема потребе за коришћењем многих зупчаника, шарки, осовина и др., јер се обе јединице могу сместити независно једна од друге.

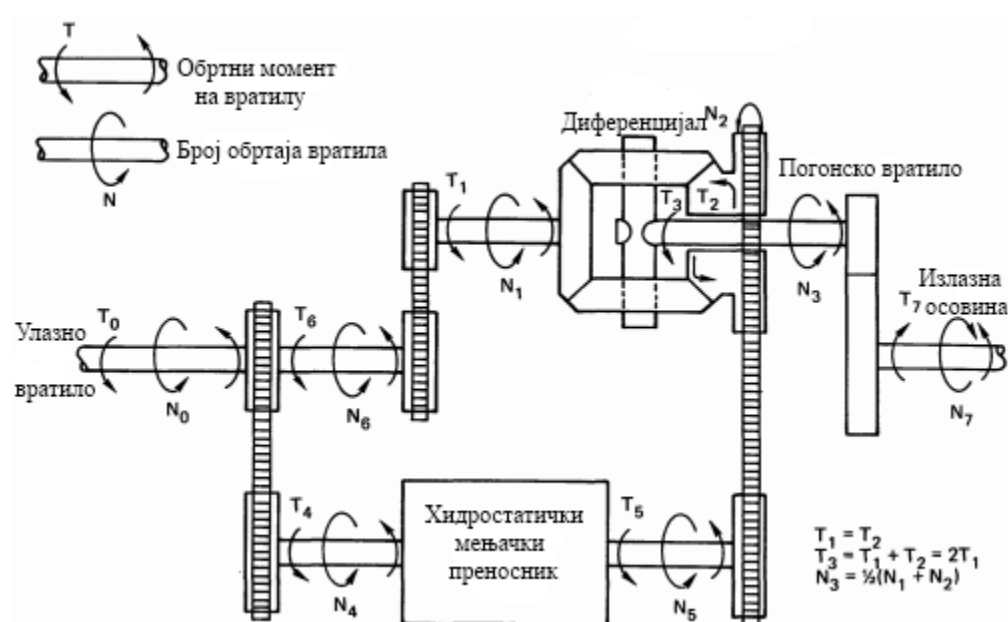
Снага погона одређена је волуменом хидрауличке пумпе и хидрауличког мотора. Промена степена преноса у хидростатичком погону се одвија без прекида тока снаге. Број обртаја излазне осовине у хидрауличком мењачком преноснику може се контролисати променом запремине радне пумпе или уградњом гасног регулатора или регулатора. На слици 3.30, приказана је шема електро-хидрауличког хидростатичког мењачког преносника код теренског моторног возила.

На слици 3.31, приказана је још једна шема хидростатичког CVT мењачког преносника са раздвајањем снаге. Приказан је однос броја обртаја између улазног вратила и улазног

вратила у хидростатички CVT мењачки преносник, а такође и између излаза из мењачког преносника и зупчастог диференцијала.



Слика 3.30. Електро-хидраулични хидростатички мењачки преносник код теренских возила [20]



Слика 3.31. Шема хидростатичког CVT мењачког преносника са раздвајањем снаге [21]

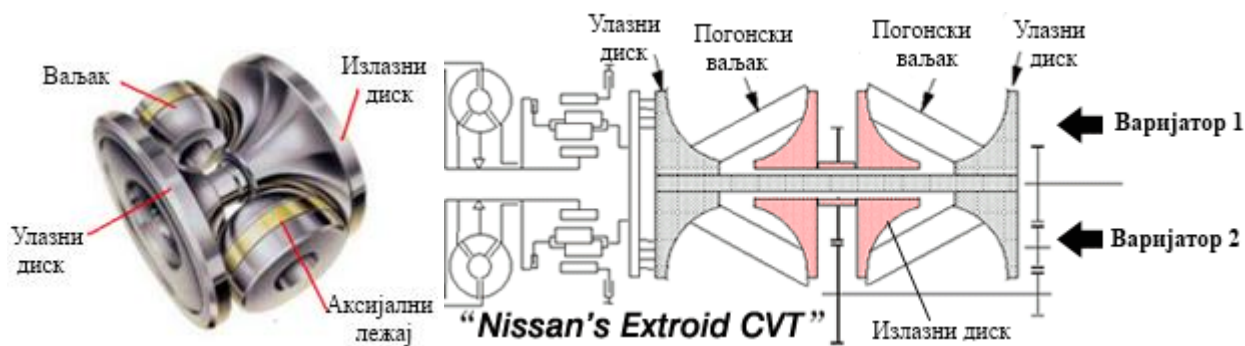
Да би се смањили део снаге која пролази кроз мењачки преносник и тиме повећала укупну ефикасност, смањује се њен обртни момент, што омогућава да се смањи његова величина. Како би се постигао баланс обртног момента диференцијала ($T_1 = T_2$), потребан је релативно велики преносни однос (N_5/N_2). Како се овај преносни однос повећава, утицај дате промене излазног броја обртаја N мењача опада, што резултира нижим преносним односом.

4. Примена континуално варијабилне трансмисије на савременим моторним возилима

Савремена концепција аутоматских мењачких преносника представља интеграцију електронике, хидраулике, рачунара и комуникационих протокола. Основне функције контроле CVT мењачких преносника остварују се интеграцијом одговарајућих сензора и актуатора у затворен систем, управљан контролном јединицом трансмисије (TCU – *Transmission Control Unit*). У наставку рада биће анализирана савремене концепције тороидних мењачких преносника реномираних светских произвођача.

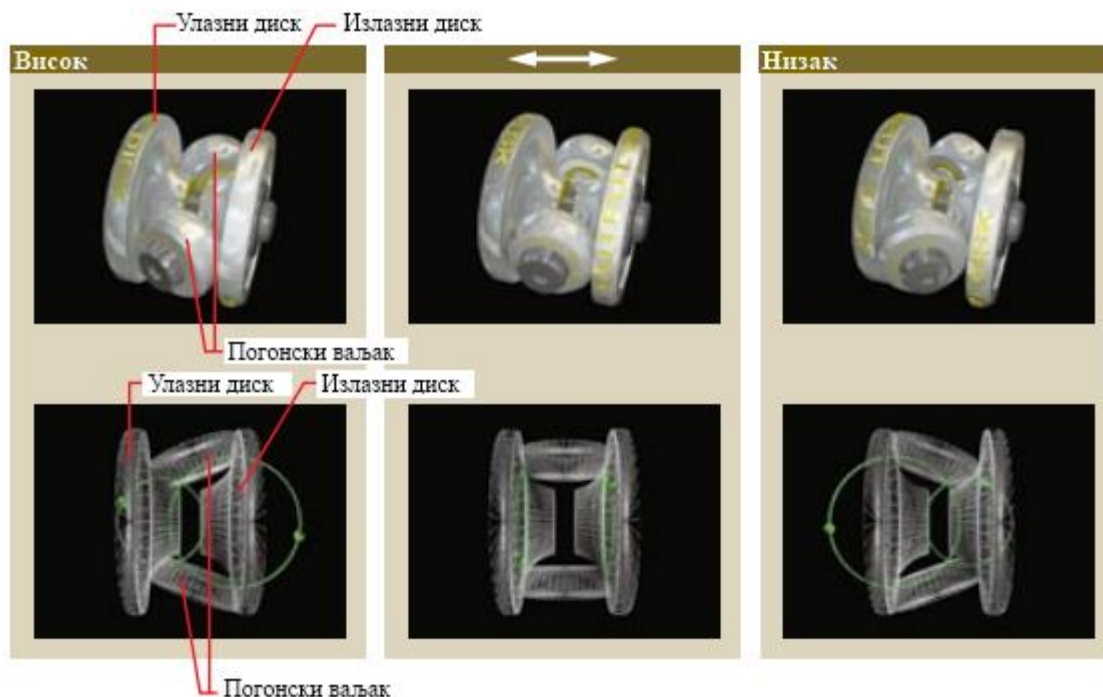
4.1. Тороидни мењачки преносник *Nissan Extroid CVT*

Nissan је желео да искористи све перформансе које нуде аутомобили са погоном на задњим точковима, а које покрећу мотори велике снаге. Тако је почео да развија моделе сличне онима са погоном на предњим точковима који користе CVT мењачке преноснике и моторе мање запремине. Како би постигао тај циљ, *Nissan* је развио *Extroid CVT*, слика 4.1, који се може користити и код аутомобила са погоном на задњим точковима и снажним моторима запремине веће од 3000 cm³. Користећи комбинацију дискова и погонских ваљака за пренос обртног момента и промену преносног односа, ово потпуно ново конструкцијско решење CVT мењачког преносника, први је CVT мењачки преносник на свету који се успешно имплементира на возилима са погоном на задњим точковима.



Слика 4.1. Мењачки преносник *Nissan Extroid CVT* [22]

У односу на каишни пренос или ланчани, ваљци могу издржати већи обртни момент. Како су улазни и изразни диск постављени у истој оси, могуће их је уградити у подужно кућиште и остварити задњи погон. Ваљци се покрећу електро-хидраулички. Ваљци нису у директном контакту са улазним и изразним диском. Специјално развијено вискозно уље обезбеђује кретање између њих, док у исто време смањује трење и хабање. Као и други модерни CVT мењачи, обезбеђује шест вештачких секвенцијалних преносних односа за оне возаче који желе већу ангажованост. Промене степена преноса фрикционе трансмисије (с лева на десно): нижи, директан и виши степен преноса, приказани су на следећој слици.

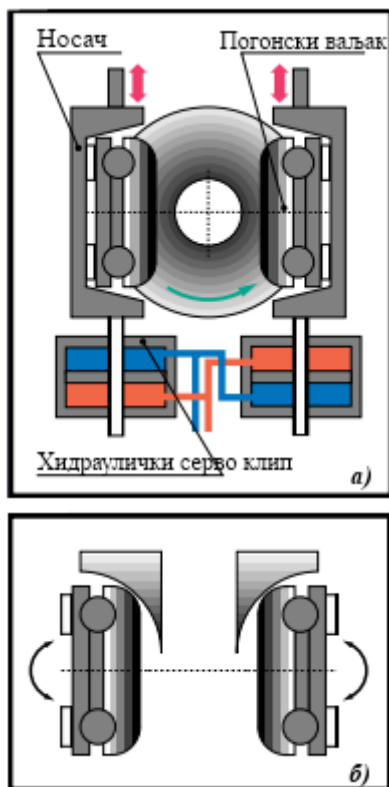


Слика 4.2. Промена степени преноса код мењачког преносника Nissan Extroid CVT [23]



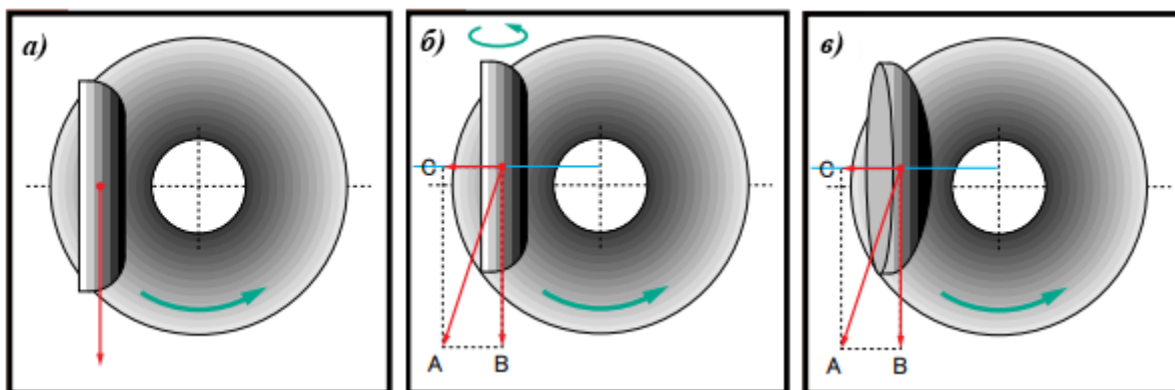
Слика 4.3. Механизам за промену степена преноса мењачког преносника Nissan Extroid CVT [23]

Иако се промена преносног односа постиже променом угла погонског ваљка, то се не постиже применом силе на њих директно. Уместо тога, ваљци се нагињу коришћењем силе која се преноси од дискова а која делује преко промене угла под којим ваљак стоји, када се дискови крећу око своје средишње осе. Дејством силе коју стварају дискови, који ротирају великом брзином, омогућава померање ваљка под углом уз минимално кретање и потисну силу, омогућавајући добијање изузетно брзе реакције на промену односа. То резултира линеарним убрзањем и успоравањем возила, као одговор на реакцију возача. На слици 4.4, шематски је приказан механизам за промену степена преноса код мењача *Extroid CVT*.



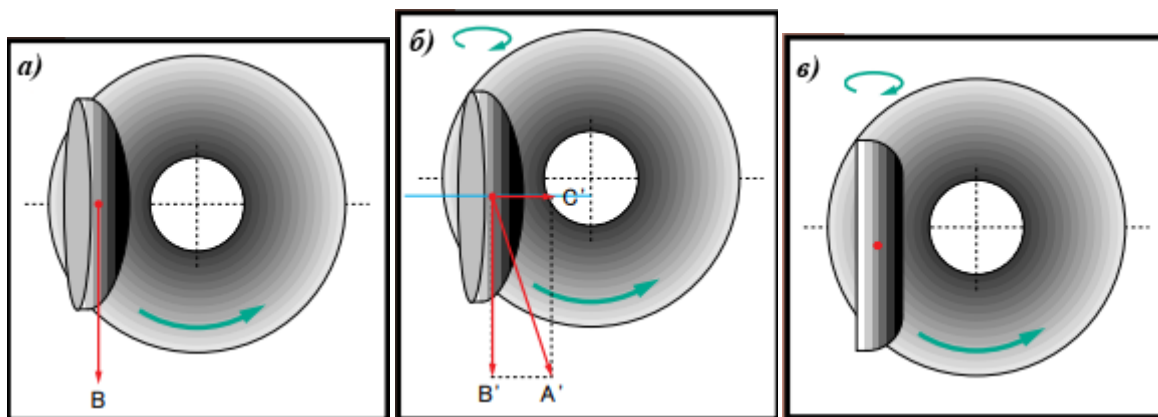
Слика 4.4. Механизам покретања мењачког преносника Nissan Extroid CVT [23]

Кад се поклопе оса диска и оса погонског ваљка, сила услед нагиба ваљка се не ствара. Према томе, пошто нагиб ваљка остаје исти, не врши се никаква промена преносних односа. Када се осовина погонског ваљка помера према горе, сила (А) која се преноси преко улазног диска, производи силу (В) која ротира ваљак и силу (С) која делује на потискивање ваљка према споља, слика 4.5. Сила (С) нагиње погонски ваљак око вертикалне осе диска.



Слика 4.5. Механизам покретања мењачког преносника Nissan Extroid CVT [23]

Када се погонски ваљак врати на средину хоризонталне осе диска, слика 4.6а, сила која гура ваљак према споља нестаје, тако да ваљак и даље остаје нагнут ка унутра. Када се осовина ваљака креће према доле, сила (A') која се преноси са улазног диска ствара силу (B') која ротира ваљак и силу (C') која делује на повлачење ваљка према унутра, слика 4.6б. Сила (C') нагиње погонски ваљак у супротном смеру, слика 4.6в.



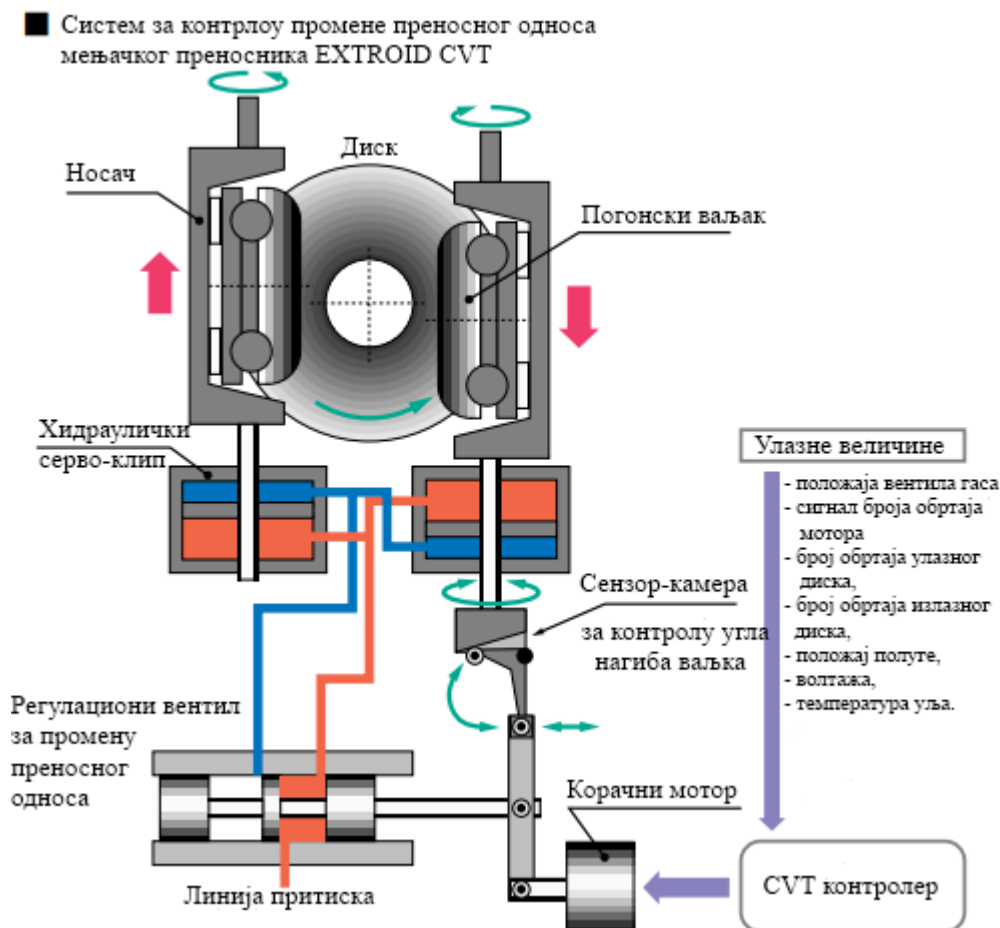
Слика 4.6. Механизам покретања мењачког преносника Nissan Extroid CVT [23]

Extroid CVT конструисан је са двоструком шупљином у кућишту у којој су смештени погонски ваљци, како би се омогућила примена на аутомобила са погоном на задњим точковима опремљених великим моторима. Иако ово конструкцијско решење омогућава да мењачки преносник пренесе већи обртни момент, могу се јавити проблеми ако рад сва четири погонска ваљка није синхронизован. Нпр. губици енергије који се јављају на ваљцима могу проузроковати повишено стварање топлоте.

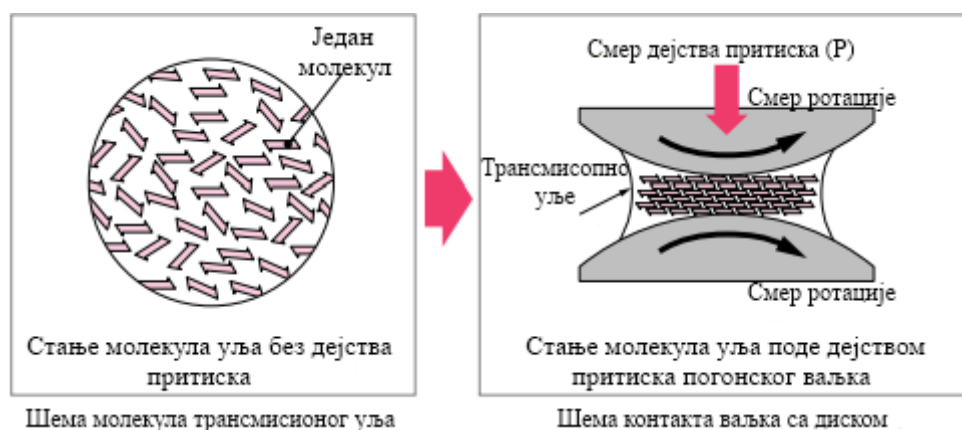
Да би избегао такве проблеме, *Nissan* је развио контролни систем за прецизну синхронизацију преноса снаге за сва четири ваљка. Сваки од ваљака потпомогнут је посебним хидрауличним серво-клипом који делује хидраулички притисак из једног хидрауличког извора напајања. Уз то се прати и угао нагиба сваког ваљка, те се информација враћа назад у контролну јединицу како би се обезбедила синхронизација.

Посебно мењачко уље служи као медиј за контакт дискова и ваљака који се међусобно окрећу великим бројем обртаја. Мењачко уље мора да пружа подмазивање и хлађење као и стандардно уље. Штавише, оно мора да служи и за додатне функције преноса снаге између дискова и ваљака и да спречи хабање материјала.

Да би испунио ове захтеве, *Nissan* је развио посебну врсту мењачког уља. Молекули овог уља имају клинасто обликоване избочине које се међусобно блокирају под изузетно високим површинским притиском, како би се формирала редно усклађена молекуларна структура. Ово спајање молекула уља ствара велику смицајну силу која омогућава пренос обртног момента, слика 4.8.



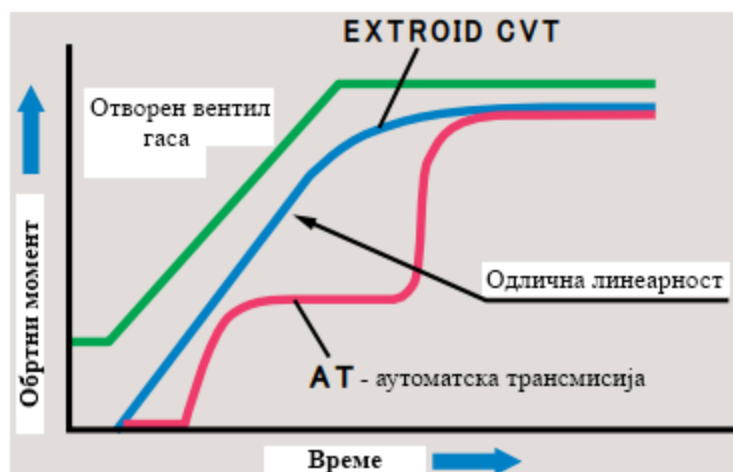
Слика 4.7. Систем за контролу преносног односа код мењачког преносника Extroid CVT [23]



Слика 4.8. Систем преноса снаге применом танког филма мењачког уља код мењачког преносника Extroid CVT [23]

Пошто дискови ротирају великом брзином, ваљци се могу довољно нагнути померајући се мало на доле или горе у опсегу $0,1 \text{ mm} \div 1,0 \text{ mm}$. То омогућава Extroid CVT - у да одмах одговори на наредбу возача за промену преносног односа, што резултира добрим возним

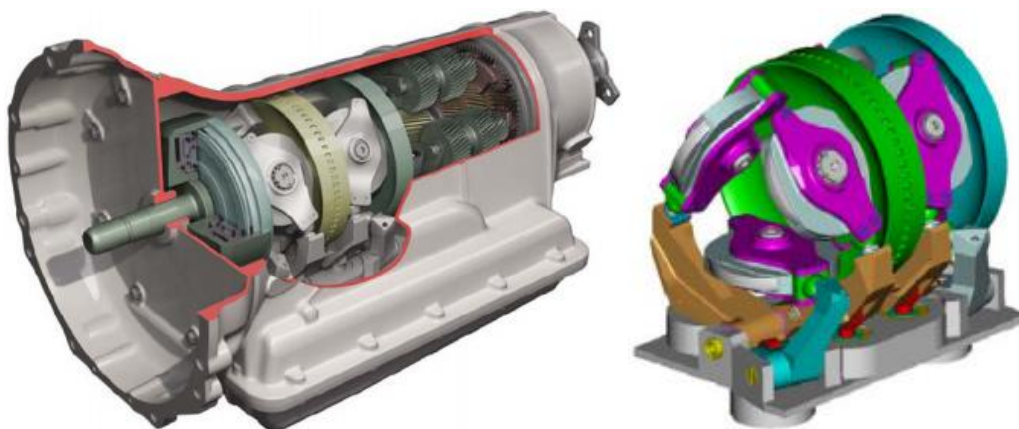
перформансама и динамиком возила. На слици 4.9, приказан је упоредни дијаграм обртног момента возила са аутоматском трансмисијом и *Extroid CVT* мењачким преносником, при промени преносног односа, где се код CVT-а уочава боља линеарност.



Слика 4.9. Упоредни дијаграм обртног момента возила са аутоматском трансмисијом и *Extroid CVT* мењачким преносником, при промени преносног односа [23]

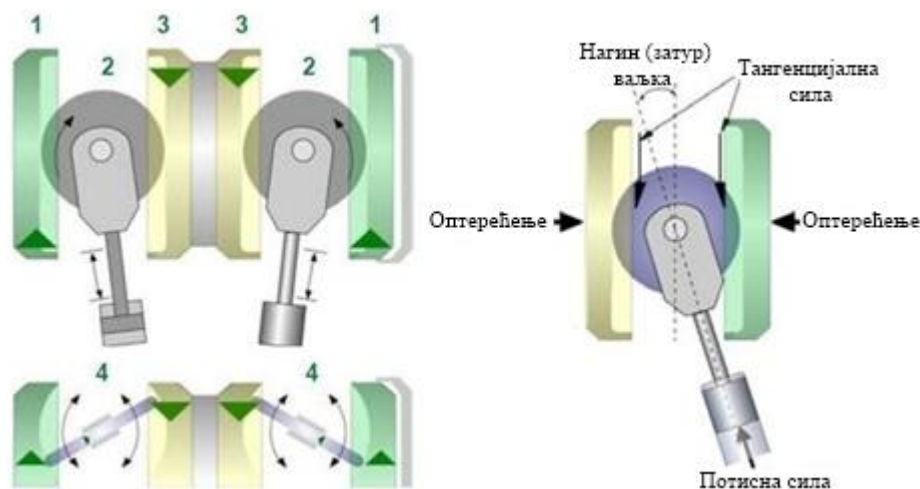
4.2. Торонидни мењачки преносник *Torotrak – SFTV*

Torotrak је компанија која је лиценцирана за развој савремених технолошких решења за произвођаче готових производа, нпр. аутомобилској индустрији. Брзи развој мењачког флуида и челика високе чистоће омогућио је *Torotrak* да доврши развој торонидног мењачког преносника. *Torotrak SFTV* (*Single Roller Full Toroidal Variator*) мењачки преносник, слика 4.10, осмишљен је тако да се промена преносног односа врши ваљцима и помоћу полуге са куглицом која се може померати у тангенцијалном правцу, што узрокује кретање ваљка стварајући различите преносне односе. Сваки ваљак повезан је са хидрауличким рамом који активира полуку. Ово резултира компликованим механизмом са много делова који захтева хидраулички систем велике снаге за покретање.



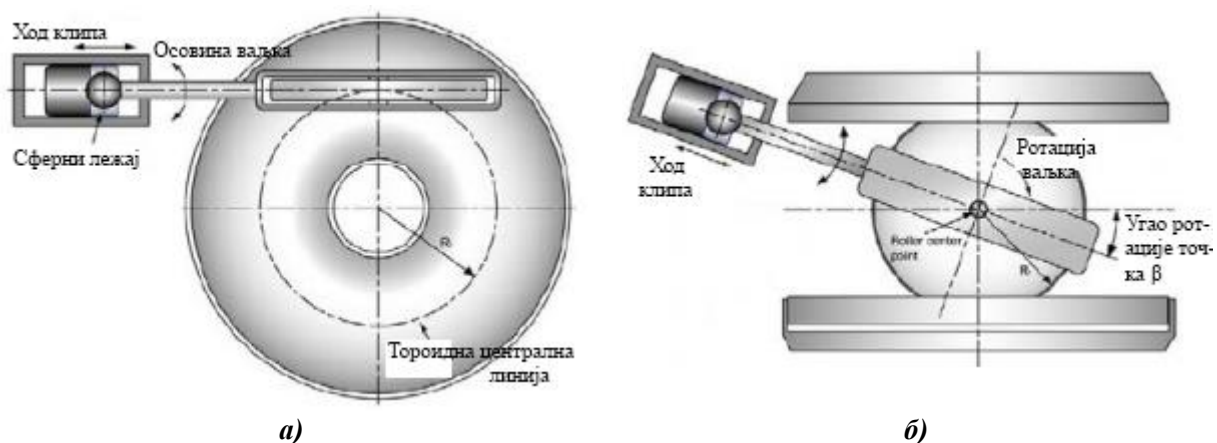
Слика 4.10. Торонидни мењачки преносник *Torotrak SFTV* [24]

Ваљци су ослоњени на клипове који на себе примају силе реакције система (амортизују), које настају када систем преноси снагу. Управљање клиповима хидрауличким притиском дозвољава ваљцима да се крећу напред или назад унутар тороидне шупљине. Ово кретање врши аксијалним померање осовине којом су повезани клип и ваљак. На тај начин се врши промена положаја ваљака, односно врши промена преносног односа, слика 4.11.



Слика 4.11. Механизам за промену преносног односа код мењачког преносника *Torotrak SFTV*: 1. улазни диск (покреће га мотор), 2. ваљци варијатора (преносе обртни момент), 3. излазни диск (преносе снагу на погонско вратило), 4. промена преносног односа (ваљци мењају свој нагиб и врше промену преносног односа) [24]

Ова метода контроле преносног односа је слична оној коју користи *Nissan*, али са битном разликом. Клипови који подупиру ваљке су благо нагнути према ротационој равни дискова. Како се ваљци померају, они се позиционирају у нови стабилан положај и не морају се враћати у центар, као што је то случај са *Nissan*-овом методом управљања. *Torotrak* ово назива „угао точка“ – угаони помак. На слици 4.12, приказан је начин преноса обртног момента код мењачког преносника *Torotrak SFTV*.



Слика 4.12. Систем преноса обртног момента код мењачког преносника *Torotrak SFTV*: а) поглед са стране, б) поглед одозго [24]

Torotrak описује овај начин функционисања мењачког преносника као контролу обртног момента, како би је разликовао од контроле преносног односа. Међутим, на рад овог мењача троши се доста енергије, јер се ваљци налазе на већој удаљености у односу на место преноса обртног момента.

Недостатак *Torotrak SFTV* трансмисије заснован је на четири основна фактора:

1. *Torotrak SFTV* је већи од осталих тороидних мењача, као и мењача са двоструком спојницом,
2. скупи су за производњу,
3. мање су ефикасни од осталих CVT и DCT мењачких преносника
4. показало се да су као део IVT система (*Infinitely Variable Transmissions* – бесконачно променљив преносни однос) несигурни у погледу сигурности избора неутралног положаја мењача.

Kia је у свој модел *Seltos* са 1,5 литарским бензинским мотором уградила и тороидни мењачки преносник, а који је развила у сарадњи са *Torotrak* –ом. Мотор може да развије 115 KS, при 6300 o/min и 144 Nm при 4500 o/min, слика 4.13. Модели са IVT системом могу постићи убрзање од 0 km/h до 100 km/h за 11,8 s.

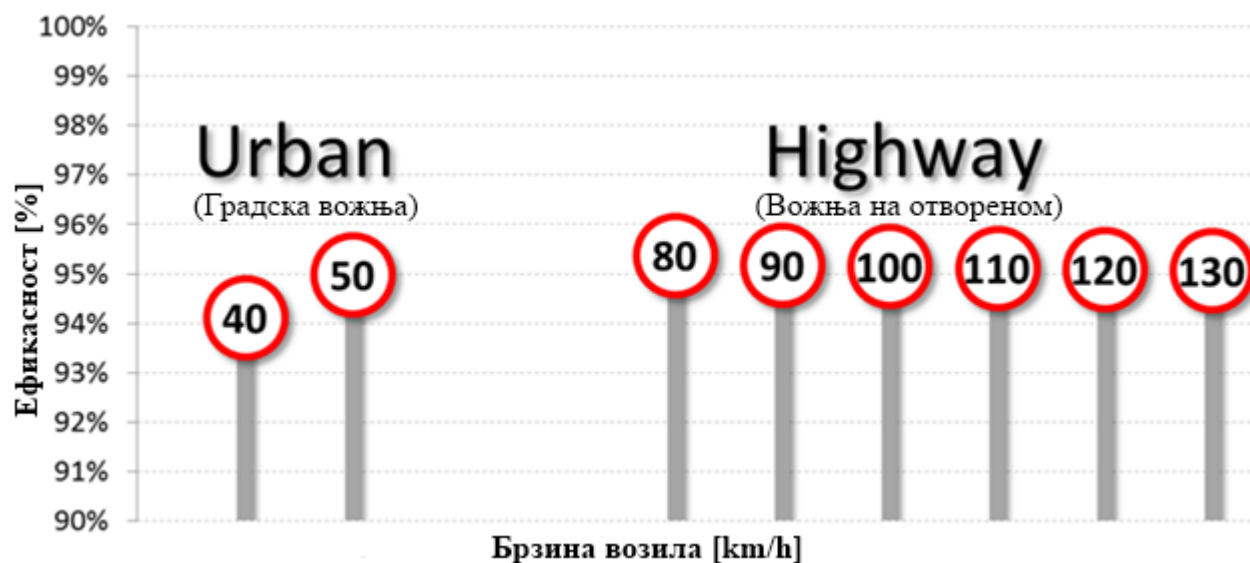


Слика 4.13. Бензински мотор и ручица IVT мењачког преносника путничког возила *Kia Seltos* [25]

Torotrak је увео и неколико побољшања код своје континуално варијабилне трансмисије, пружајући неограничен преносни однос и испоруку снаге кроз трансмисију уз незнатне губитке. *Torotrak*-ови CVT мењачки комбинују свој потпуно тороидни преносник са осталим конвенционалним компонентама преноса. *Torotrak* тороидни преносник је погодан и за платформе са погоном на предње и задње тоčkове. Дизајниран је да буде високо стабилан, а може пренети снагу мотора до 300 kW.

Истраживања показују да се у аутомобилској индустрији са конвенционалне аутоматске трансмисије све више прелази на CVT мењачке преноснике. Компанија *Torotrak* очекује да ће глобална продаја CVT-а достићи 12 милиона јединица годишње до 2020. године.

Повећавањем обртног момента на точковима при малим брзинама возила, тороидни CVT мењачки преносник може побољшати способност савладавања нагиба и перформансе возила. Такође, може бити примењен и на возилима са електричним погоном. Са тороидним мењачким преносником ефикасност преноса снаге код електричних возила у појединим случајевима већа је од 95% [26], слика 4.14.



Слика 4.14. Ефикасност преноса снаге код електричних возила са тороидним CVT мењачким преносником [26]

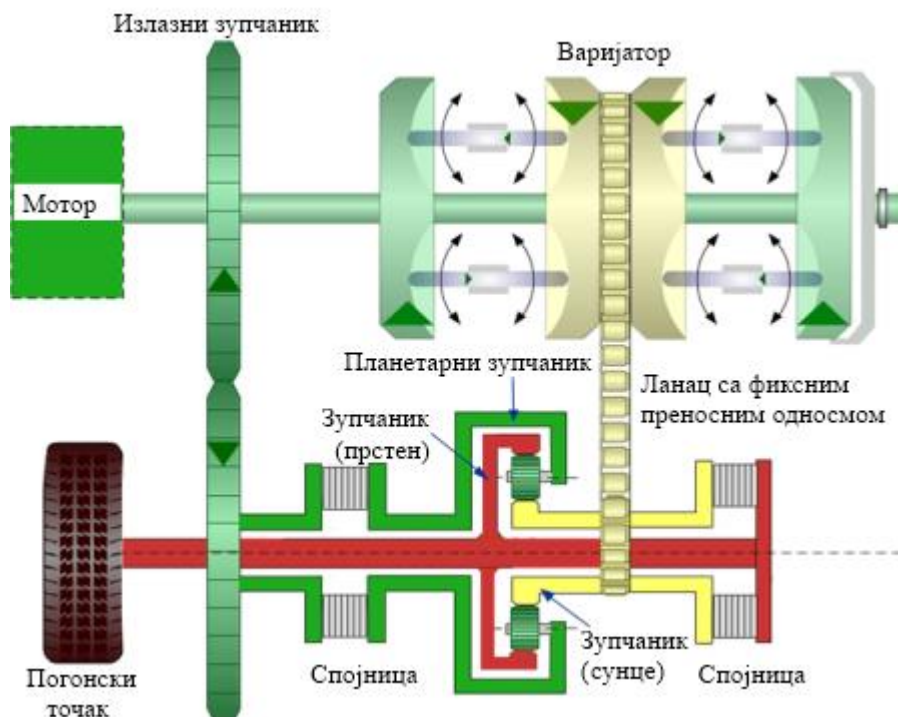
Torotrak-ову технологију преузео је и *Allison Transmissions* за примену на комерцијалним возилима средње величине. Код овог типа возила уградњом тороидне трансмисије превазиђени су недостаци услед великих габаритних димензија како би се добио скоро неограничен преносни однос који IVT може да понуди. *Torotrak* је успео да развије и тороидне мењаче који се уграђују у мале тракторе, као што је нпр. Carraro мењач који садржи и тороидни варијатор, слика 4.15.



Слика 4.15. Carraro тороидни мењачки преносник малих трактора [24]

Allison Transmission је један од водећих конструктора и произвођача аутоматских мењача за средња и тешка возила, као и за комерцијална возила. У сарадњи са компанијом *Torotrak*, односно према њиховој лиценци, *Allison Transmission* развио је потпуно нов тороидни мењачки преносник чија је концепција слична *Torotrak*-у *SFTV*. *Allison Transmission* је стекао лиценцна права на *Torotrak*-ову технологију преноса, као и могућности глобалних ексклузивних права у производњи и продаји на тржишту малих и средњих камиона и аутобуса, са сличним опцијама код великих моторних возила.

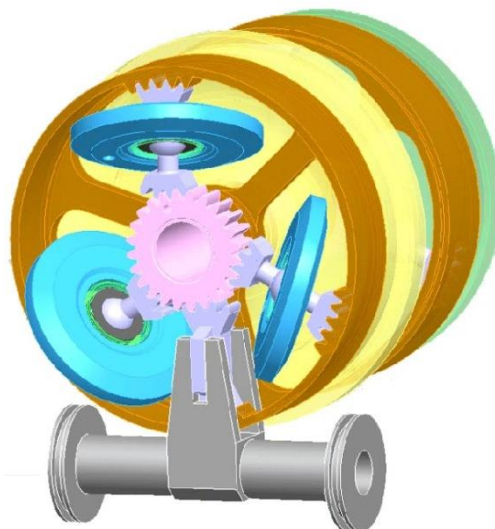
Allison IVT мењачки преносник, слика 4.16, је потпуно тороидни варијатор који се састоји од низа дискова и ваљка. Контрола режима рада *Allison IVT* врши се преко обртног моментом, а не преко преносног односа. Софтвер одређује обртни момент који је потребан на точковима возила, а затим „тражи“ обртни момент из мењача, не одређујући преносни однос. Мотор се тада може користити за испоруку снаге у најефикаснијој радној тачки. Код степенастих мењачких, где су степени преноса фиксирани, мотор ради у својим најефикаснијим радним тачкама врло кратко време.



Слика 4.16. Концепција преноса снаге код возила са IVT мењачким преносником [27]

Код *Allison IVT* мењачког преносника за пренос снаге се користи шест ваљака, по три у обе шупљине. С друге стране, у овом блоку налази се шест клипова који су изложени хидрауличком притиску који се користи за пренос силе на погонске ваљке. Како се сваки ваљак независно контролише, сваки дели подједнако оптерећење. Геометријске разлике и толеранције између механизма ваљка анулирају се различитим положајима клипова које регулише хидраулички систем.

Torotrak је недавно развио ERC (*Epicycloidal Roller Control*) за своје IVT мењачке преноснике. ERC концепт поједностављује уобичајени распоред повезивањем погонских ваљака заједно са преносним механизмом и хидрауличким клиповима који врше промену њиховог положаја. Конструкција механизма има облик планетарног преносника који се састоји од сунчевог зупчаника, планетарног зупчаника и склопа ваљака. Сваки ваљак је повезан и управљан преко планетарног зупчаника. Планетарни зупчаници су спрегнутиса централним (сунчаним) зупчаником и прстенастим зупчаником, на та начин се врши покретање погонских ваљака унутар тороидне шупљине. На слици 4.17, приказан је концепт ERC (*Epicycloidal Roller Control*) система.

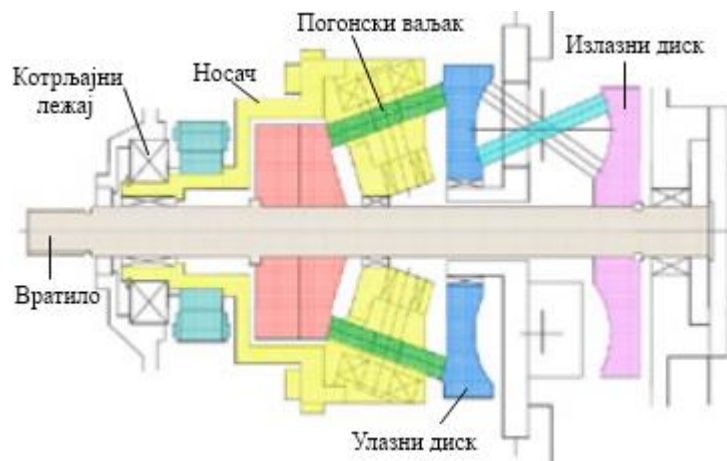


Слика 4.17. Концепција ERC (*Epicycloidal Roller Control*) система [27]

Употреба ERC-а побољшава ефикасност уз смањење укупних трошкова, масе и габарита система преноса снаге. ERC концепт смањује број делова унутар варијатора за 30%, што резултира смањењем трошкова израде варијатора за око 20%. Замена индивидуалног система управљања хидрауличким ваљком доноси значајне уштеде у маси и габаритима. Употреба IVT-а са ERC системом код возила са погоном на задње токове, може смањити дужину мењачког преносника за 5%, а запремину кућишта за 20%, односно повећати укупну ефикасност система преноса снаге за око 10% [27].

4.3. Тороидни мењачки преносник *Perbury – SFTV*

Континуално варијабилни преносник *Perbury SFTV (Single Roller Full Toroidal Variator)*, слика 4.17, био је један од најранијих покушаја комерцијализације једноделног потпуно тороидног мењача. Његов развој започео је након што су 1970-их почеле уводити мењачка уља високих перформанси.



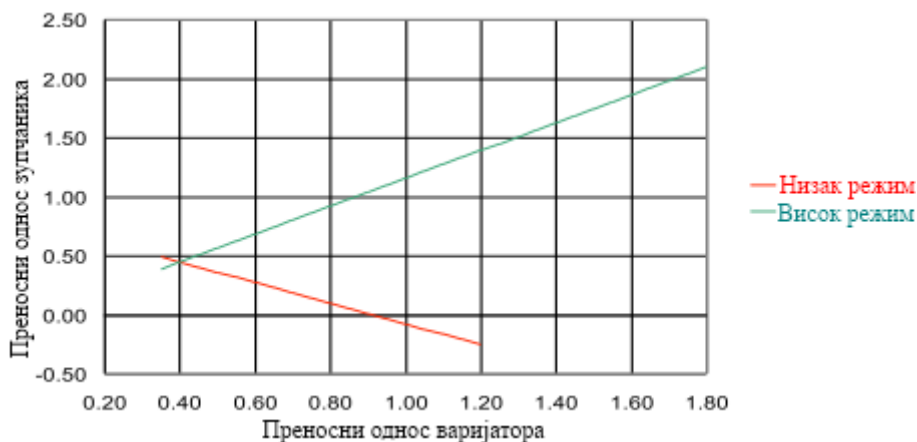
Слика 4.18. Концепт тороидног мењачког преносника Perbury SFTV (Single Roller Full Toroidal Variator) [24]

Првобитна конструкција је решена као једноделни тороидни преносник са једном шупљином у коју су смештени погонски ваљци. Овакво конструкцијско решење захтевало је велику носиву конструкцију која може да издржи оптерећења. Систем потисног лежаја је служио као епициклични погонски ваљак образујући IVT систем преноса снаге, слика 4.19. Пошто се улазни и излазни дискови окрећу у истом смеру, није неопходно да мењачки преносник има одвојене ваљке у шупљини кућишта. Пренос обртног момента може се вршити помоћу хидростатичког лежаја постављеног у додатну шупљину кућишта. Поставља се коаксијално у односу на погонске ваљке протиснут стезном плочом.



Слика 4.19. Концепт једноделног тороидног мењачког преносника са двоструким ваљцима [24]

Компанија Perbury брзо је увидела потенцијал примене варијатора као мењачког преносника са потенцијално бесконачно променљивим преносним односима IVT, како при високим режимима рада, тако и при ниским режимима и празном ходу. Елиминисано “тражење” степена преноса док возило успорава, нарочито при вожњи на успону. На слици 4.18, је приказано поређење преносних односа варијатора и зупчастог преноса за различите режиме рада.



Слика 4.20. Упоредни приказ варијатора и зупчастог мењача у ниским и високим режимима [24]

4.4. Тороидни мењачки преносник *Jatco – DFTV*

Jatco је развио континуално варијабилну трансмисију за путничка возила са погоним на предњим точковима. *Jatco DFTV – CVT(Double Roller Full Toroidal)* је тороидни мењачки преносник са двоструким погонским ваљцима. Конструисан је да пренесе улазни обртни момент од 250 Nm.

Обртни момент са мотора преноси се преко претварача обртног момента – ХДС спојнице. Хидрауличке компоненте су мање и покреће их електрични мотор смештен изван тела мењачког преносника. *Jatco DFTV* користи хидродинамички претварач обртног момента, као и двоструку спојницу мокрог типа за ход уназад, која се налази између мењачког преносника и мотора. На слици 4.19, приказан је попречни пресек тороидног мењачког преносника *Jatco DFTV – CVT(Double Roller Full Toroidal)*. Тренутно ниједно возило осим тешких трактора не користи мењачке преноснике засноване на IVT технологији.

Ефикасност *DFTV* механизма тороидног преносника је знатно већа у односу на зупчати или класични *CVT* каишни преносник. Његова максимална ефикасност (без контролних система) је преко 99%, док је максимална ефикасност *CVT* каишног преносника 95%. *DFTV* је најкомпактнија и најефикаснија врста *CVT* -а тренутно доступна на тржишту.

Табела 4.1. Техничке карактеристике мењачког преносника <i>Jatco DFTV – CVT (Double Roller Full Toroidal)</i> [28]	
Модел:	DFTV – IVT 250
Тип:	<i>Infinitely Variable Transmissions</i> – бесконачно променљив преносни однос
Максимални преносни обртни момент:	250 Nm
Преносни однос:	1,43 ÷ 0,36
Преносни однос хода уназад:	9,21
Преносни однос главног преносника:	2,61
Количина мењачког уља:	3 L

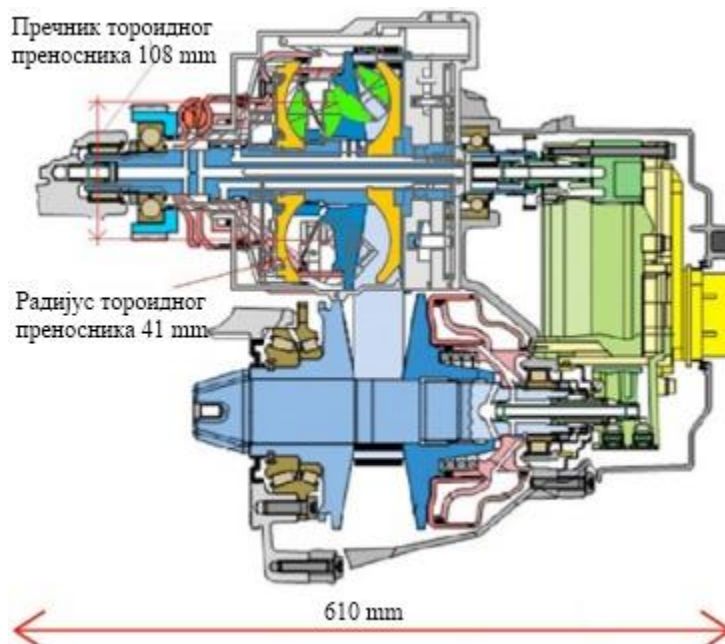
Маса:	37,5 kg
Дужина:	344 mm
Ширина:	188 mm
Запремина кућишта мењача:	15 L



Слика 4.21. Jatco DFTV – CVT (Double Roller Full Toroidal) тороидни мењачки преносник са двоструким погонским ваљцима (250 Nm) [28]

DFTV користи електромотор за погон хидрауличке пумпе. Није потребно никакво подмазивање уљем под високим притиском, осим благог подмазивања за шта је потребна пумпа која производи мали притисак. Регулација преносног односа обезбеђује се преко још једног мањег електромотора. За промену преносног односа је потребна врло мала сила, тј. електромоторима је потребно мање од 1% улазне снаге. DFTV ради у свим преносним односима тако што преноси преко 96% снаге, док CVT са каишним преносом или ланце мефикасно преноси нешто мање од 88% снаге [28].

CVT заснован на DFTV систему, такође, је развио и *Audi*, где је извршена комбинација DFTV систем са вучним ланцем CVT-а. *Audi* је у овом случају применио двоструку спојницу мокрог типа за пренос снаге са мотора коју покреће хидраулички систем смештен изван мењачког преносника. Овај мењачки преносник може да пренесе 350 Nm улазног обртног момента. На слици 4.22, приказан је попречни пресек Audi DFTV – CVT (*Double Roller Full Toroidal*) тороидног мењачког преносника са двоструким погонским ваљцима (350 Nm). Према наводима произвођача, DFTV мењачки преносник може да одржи врхунске перформансе возила уз смањење CO₂ у издувним гасовима.



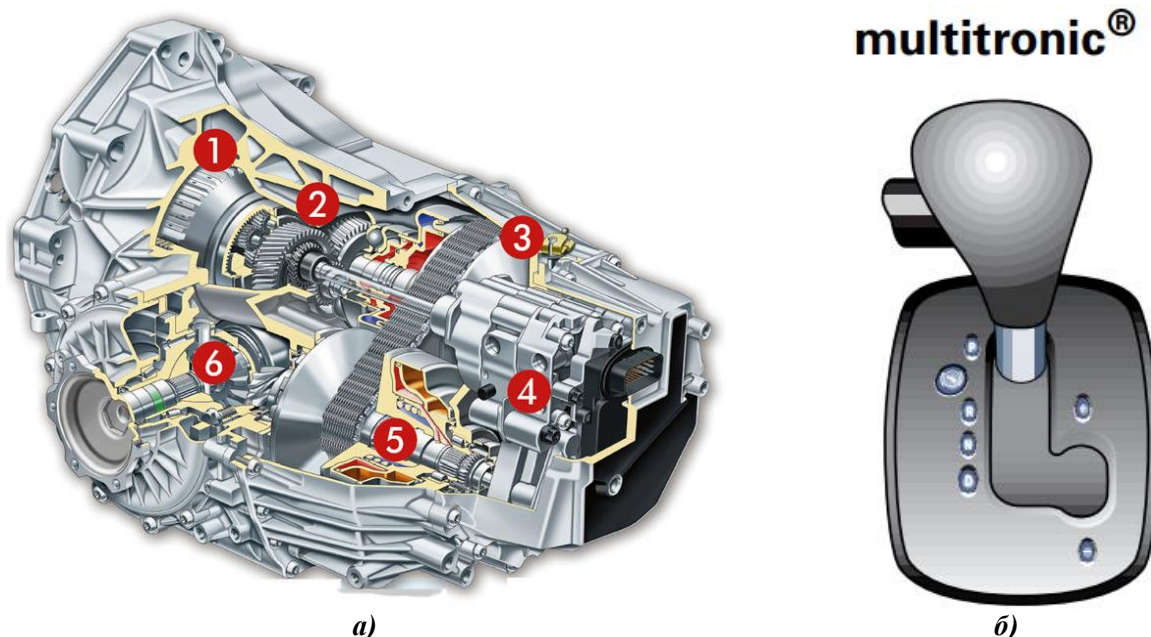
Слика 4.22. Audi DFTV – CVT (*Double Roller Full Toroidal*) тороидни мењачки преносник са двоструким погонским ваљцима (350 Nm) [28]

4.5. CVT мењачки преносник Audi – Multitronic

Multitronic је континуално варијабилни мењачки преносник, слика 4.23, који је Audi AG почео да уграђује у путничка возила крајем 1999. године, а који је заједнички развио и произвео LuK, једног од произвођача из групе *Schaeffler*. Континуирано варијабилни *Multitronic* мењачки преносник је понуђен као опција за многе моделе Audi-а са подужно постављеним мотором и погоном на предње точкове. Као и сви мењачки преноси компаније Audi-а, нуди *Multitronic* карактеристике попут ниског унутрашњег трења, широког опсега степена преноса и високе ефикасности. *Multitronic* готово увек омогућава мотору да ради у свом оптималном распону ефикасности.

„Срце“ *Multitronic*-а је варијатор, односно узак компактни ланац за пренос снаге смештен између две ременице постављене на погонској и излазној осовини. Ланац који се састоји од

више од 1000 појединачних карика постављен је између зазора дискова – ременица, који могу да се померају (размичу) дуж осовина. Сваки пут када се ременице одмакну или повуку ближе једна другој, ланац мења свој радијус, односно преносни однос.



Слика 4.23. а) CVT мењачки преносник Audi Multitronic: 1. електронски контролисана вишеламеласта спојница, 2. планетарни преносник за ход уназад, 3. пар примарних ременица које примају обртни момент са мотора, 4. хидрауличко-електрична управљачка јединица, 5. пар секундарних ременица које преносе обртни момент на излазно вратило мењача, 6. излазна осовина мењача, б) ручица мењача Multitronic [29] [30]

Друга битна компонента *Multitronic*-а је електронски управљана вишеламеласта спојница мокрог типа. Њен задатак је када је мењачки преносник у празном ходу одвоји рад мењача од мотора. Као резултат тога, увек је доступан одговарајући преносни однос. Мотор увек може радити при оптималном броју обртаја без обзира да ли је оптимизован да пружи добре перформансе или уштеду горива. *Multitronic* се, такође, уклапа са „start-stop“ системом компаније Audi.

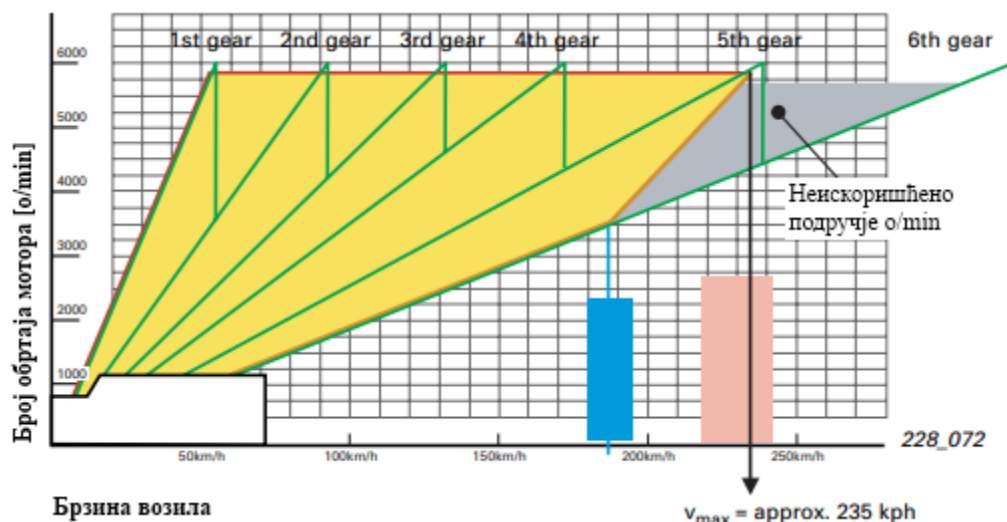
Варијатор се састоји од два конусна диска – ременице, односно пара примарних ременица (ременица 1) и пара секундарних ременица (ременица 2) - као и посебног ланца који се креће у облику у облику слова V између два пара ременица. Ланац заправо представља елемент за пренос енергије. Ременицу 1 покреће мотор помоћу помоћног редуктора. Обртни момент мотора преноси се ланцем до ременице 2, а одавде до диференцијалног погона, слика 4.23. Једана од ременица у сваком од два сета ременица може се померати дуж осовине, како би се извршило подешавања пречника ланца и преносног односа. Два сета ременица морају се истовремено подесити тако да ланац буде увек затегнут и да контактни притисак диска буде довољан да се оствари одговарајући преносни однос.



Слика 4.24. Пренос обртног момента мотора преко CVT мењачког преносник Audi Multitronic [30]

У аутоматском режиму рада, било који преносни однос је могућ унутар граница контролне мапе. Фактори који одређују број обртаја су улазна снага (положај папучице гаса и брзина активирања) и отпори кретању. Преносни односи подешавају се потпуно без удара и без икаквих прекида тока снаге.

У моду типтроник постоји 6 дефинисаних положаја пребацивања за ручни избор степена преноса. Возач стога може одабрати динамику руковања у складу са својим личним жељама. Ова карактеристика је посебно корисна на пример низбрдицама, јер возач може лично да утврди ефекат кочења мотора селективним пребацивањем у ниже режиме. На слици 4.25, приказан је дијаграм преносног односа међустепена CVT мењачког преносника Audi Multitronic на возилу Audi-ју A6 B6 са 2,8-литарским мотором од 142 kW.

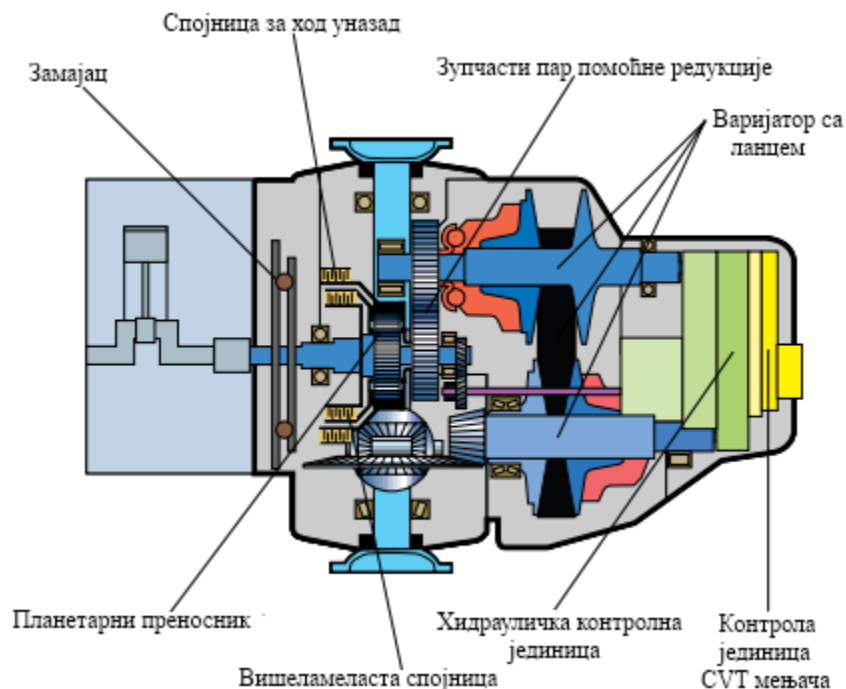


- Радно поље мењачког преносника.
- Контрола улазног броја обртаја мењачког преносника, користи се за прилагођавање максималне брзине возила у функцији вучног отпора.
- У зависности од вучног отпора неопходна је промена из најдуже преносног односа у краћи.
- Карактеристике мењачког преносника: зависност брзине возила од броја обртаја мотора и расподеле степена преноса.
- Економична област вожње.
- Спортски начин вожње.

Слика 4.25. Преносни однос међустепена CVT мењачкога преносник Audi Multitronic на возилу Audi-ју A6 B6 са 2,8-литарским мотором од 142 kW [30]

Обртни момент мотора преноси се на мењачки преносник преко замајца или замајца са двоструком масом, у зависности од снаге мотора. Код возила Audi A6 B6 обртни момент се преноси преко двоструке спојнице мокрог типа, где један сет спојница служи за кретање напред. Смер ротације спојнице за вожњу уназад мења се помоћу планетарног зупчастог преносника. Обртни момент мотора преноси се на варијатор преко помоћног редуктора, па даљена погонске тачкове.

Треба напоменути да је пренос обртног момента помоћу вучног ланца део иновативног решења компаније Audi. Електро-хидрауличка контрола, заједно са управљачком јединицом мењача, чини контролну јединицу која је смештена у кућишту мењача. Tiptronic функција омогућава мануелни избор 6 степени преноса. На слици 4.26, приказан је пренос снаге код путничког возила Audi A6 B6 са CVT мењачким преносником Multitronic. Док су у табели 4.2, дате техничке карактеристике CVT мењачког преносника Multitronic.



Слика 4.26. Пренос снаге код путничког возила Audi A6 B6 са CVT мењачким преносником Multitronic [30]

Табела 4.2. Техничке карактеристике CVT мењачког преносника Audi Multitronic [30]	
Модел:	Multitronic 01J
Фабричка ознака:	VL 30
Ознака:	DZN
Максимални преносни обртни момент:	310 Nm
Преносни однос варијатора:	2,40 ÷ 0,40
Број степени преноса (положаја варијатора):	6
Преносни однос помоћног редуктора:	51/46 = 1,109 : 1
Преносни однос главног преносника:	43/9 = 4,778 : 1
Радни притисак уљне пумпе:	60 bar
Број обртаја пумпе за уље:	10 ÷ 1000 o/min
Мењачко уље за multitronic:	G 052 180 A2
Осовинско уље за multitronic:	G 052 190 A2
Количина уља:	7,5 L
ATF уље (укључујући ATF хладњак и ATF филтер):	1,3 L
Осовинско уље:	
Маса:	88 kg
Дужина:	610 mm
Запремина кућишта мењача:	38 L

5. Рачунска провера перформанси и прорачун преносних односа за путничко возило са тороидним мењачким преносником

У даљем раду биће извршена провера перформанси и прорачун преносних односа за путничко возило *Kia Seltos* са тороидним мењачким преносником *Torotrak SFTV*. У овом случају кренућемо од одређивања максималног преносног односа.

Полазни подаци за путничко возило *Kia Seltos* [31]:

- снага погонског агрегата 115 KS / 6300 o/min,
- обртни момент 144 Nm / 4500 o/min.
- **Одређивање највишег преносног односа:**

Обично се бира највиши преносни однос тако да омогући постизање највеће могуће брзине возила за дати погонски агрегат и мењачки преносник. Упркос томе већи однос доприноси побољшању економичности, односно мањој потрошњи горива на отвореном путу. Дакле морамо да знамо максималну брзину возила, користећи задату снагу, како би на основу тих параметара дошли највишег преносног односа.

- **Расположива снага:**

Узимајући у обзир да је снага мотора $P_e = 115 \text{ KS} \approx 85 \text{ kW}$, а ефикасност преноса (укључујући отпор котрљања) $E_{ff} = 70 \text{ [\%]}$, расположива снага преноса биће [32]:

$$P_t = P_e \cdot E_{ff} = 85 \cdot E_{ff} = 59,5 \text{ [kW]}$$

- **Сила на погонским точковима:**

При брзини $v(\text{m/s})$, сила на погонским точковима биће [32]:

$$T_f = \frac{P_t}{v} \text{ [N]} = \frac{59,5}{v} = 59500 \text{ [N]}$$

где је:

v – брзина возила $[\text{m/s}]$

- **Вучна сила:**

Како би смо одредили максималну брзину возила неопходно је одредити максималну вучну силу [32]:

$$F_T = c_x \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A$$

где су:

c_x – коефицијент отпора ваздуја, $c_x = 0,4$,

ρ – густина ваздуха, $\rho \approx 1,25 [kg/m^3]$,

A – чеона површина возила, $A = 1,9 [m^2]$.

- Максимална брзина:

На основу претходног израза може се израчунати максимална брзина, изједначавањем силе на погонским точковима и вучне силе ($T_f = F_T$) [32]:

$$v^3 = \frac{P_t}{\left(c_x \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A\right)} = \frac{59500}{\left(0,4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 1,9\right)}$$

$$v_{max} = 50,03 [m/s] \Rightarrow v_{max} = 180,12 [km/h]$$

- Највиши преносни однос:

Узимајући у обзир да је максимални број обртаја 6300 [o/min], а пречник точка је 17 [in], а преносни однос у диференцијалу 3,6. Према изразу за максималну брзину можемо одредити максимални преносни однос [32]:

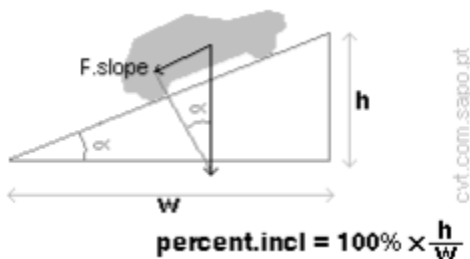
$$v_{max} = \frac{\left(\frac{n_{max} \cdot 2\pi}{60}\right) \cdot \left(\frac{r_d \cdot 0,0254}{2}\right)}{i_{max} \cdot i_o} \Rightarrow i_{max} = \frac{\left(\frac{n_{max} \cdot 2\pi}{60}\right) \cdot \left(\frac{r_d \cdot 0,0254}{2}\right)}{v_{max} \cdot i_o}$$

$$i_{max} = \frac{\left(\frac{6300 \cdot 2\pi}{60}\right) \cdot \left(\frac{17 \cdot 0,0254}{2}\right)}{50,03 \cdot 3,6} = 0,79084$$

- Сила на точковима потребна за савладавање напора:

Треба узети у обзир да аутомобил мора бити у стању да се креће узбрдо, потпуно натоварен. Маса оптерећеног возила је 1450 [kg]. У случају да је нагиб пута 10 [%], а фактор сигурности је 2,0. Сила услед нагиба биће [32]:

$$F_{sn} = \frac{(m_t \cdot 9,81) \cdot (\alpha_p/100) \cdot s_s}{E_{ff}} = \frac{(1650 \cdot 9,81) \cdot (10/100) \cdot 2}{70\%} = 4064,14 [N]$$



Слика 5.1. Савладавање успона [32]

Максимални обртни момент мотора је 144 [Nm]. Међутим, приликом покретања места долази до проклизавања спојнице што доводи до смањења ефикасности преноса снаге од око 60%. Тангенцијална сила на погонским точковима биће:

$$F_{tg} = \frac{M_e \cdot E_{ff60\%} \cdot i_{min} \cdot i_o}{\left(\frac{r_d \cdot 0,0254}{2}\right)}$$

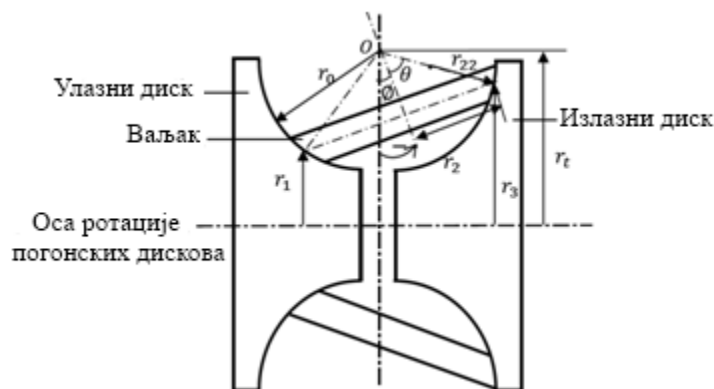


Слика 5.2. Савладавање успона – сила на точковима [32]

Изједначавањем $F_{sn} = F_{tg}$, а на основу претходног израза можемо добити израз за минимални преносни однос [32]:

$$i_{min} = \frac{F_{sn} \cdot \left(\frac{r_d \cdot 0,0254}{2}\right)}{M_e \cdot E_{ff60\%} \cdot i_o} = \frac{4064,14 \cdot \left(\frac{17 \cdot 0,0254}{2}\right)}{86,4 \cdot 3,6} = 2,8214$$

Ваљци тороидног мењачког преносника се могу окретати дуж две осе и то око хоризонталне осе, али да се око вертикалне осе, што омогућава ваљцима да додирују погонске дискове тиме стварајући различите преносне односе, слика 5.3. Када су погонски ваљци у контакту са погонским диском у близини центра, морају додиривати погонски диск у близини обода, што резултира смањењем брзине и повећањем обртног момента (тј. ниски степен преноса). Када погонски ваљци додирују погонски диск по ободу, то резултира повећањем брзине и смањењем обртног момента (тј. виши степен преноса). Једноставно нагињање ваљака постепено мења преносни однос, пружајући глатке, готово, тренутне промене преносног односа.



Слика 5.3. Геометријске величине полутороидног мењачког преносника: O – оса ротирања ваљка, r_t – растојање од осе ротирања ваљка до осе ротирања диска, r_0 – полупречник шупљине диска, r_1 , r_2 – растојање од осе ваљка до осе ротирања диска [15]

За изабрано путничко возило познате су следеће техничке карактеристике мењачког преносника, табела 5.1. У зависности од брзине клизања ваљка, трења изазваног оптерећењем и угла у ком се ваљак налази зависе и преносни односу, табела 5.2.

Табела 5.1. Технички подаци за Kia Seltos са тороидним мењачким преносником Torotrak SFTV [31]	
Спољни пречник ваљка:	100 mm
Унутрашњи пречник ваљка:	76 mm
Контактни угао конуса:	60°
Број погонских ваљака:	4
Радијус контакта диска:	30÷50 mm
Полупречник кружнице ваљка:	5, 20, 75 mm
Угао заокретања погонског ваљка:	27,5° ÷ 97,5°
Максимални улазни обртни момент M_{max} :	до 600 Nm
Максимални улазни број обртаја n_{max} :	6000 o/min
Преносни односи:	0,427÷2,34
Радна температура флуида:	60, 80, 100 °C

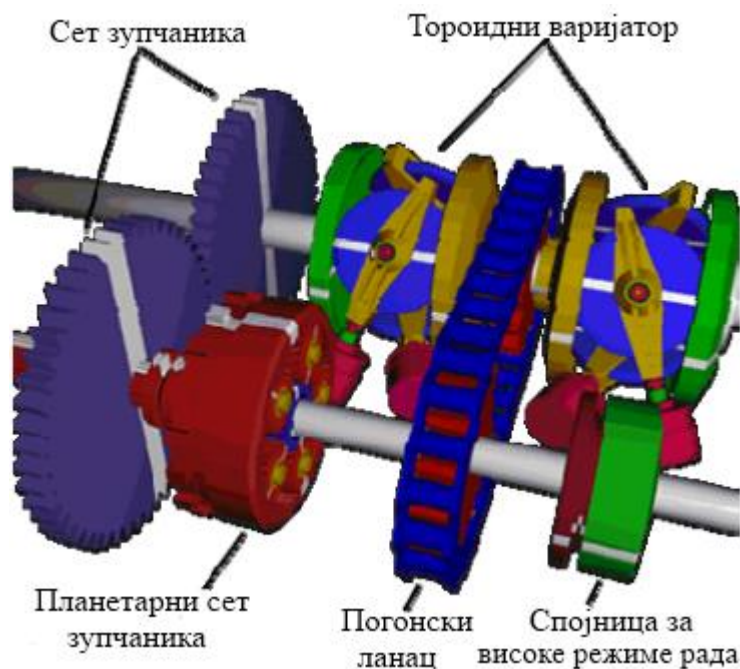
Табела 5.1. Преносни односи у зависности од угла погонског ваљка	
-20	2,8214
0	1,0000
20	0,7908

Погонски ваљци и дискови тороидних мењачких преносника израђују се од хром-никл-молибден челика, 34CrNiMo6 (Č5431) [33]. Ови челици имају високу вредност затезне чврстоће и напона течења, добру жилавост и високу вредност динамичке чврстоће, па се користе за израду делова који су јако оптерећени наизменично променљивим оптерећењима. Технички подаци за челик 34CrNiMo6 су следећи:

- затезна чврстоћа $\sigma_M = 1100 \div 1300$ МПа,
- граница развлачења $\sigma_T = 900$ МПа,
- динамичка чврстоћа при једносмерном променљивом оптерећењу:
 - зазезна $\sigma_{D(0)} = 600 \div 800$ N/mm²,
 - савојна $\sigma_{D(0)} = 870 \div 1050$ N/mm²,
 - увојна $\tau_{D(0)} = 370 \div 550$ N/mm².
- динамичка чврстоћа при наизменичном променљивом оптерећењу:
 - зазезна $\sigma_{D(-1)} = 360 \div 430$ N/mm²,
 - савојна $\sigma_{D(-1)} = 500 \div 600$ N/mm²,
 - увојна $\tau_{D(-1)} = 290 \div 350$ N/mm².
- тврдоћа 235÷241 НВ.

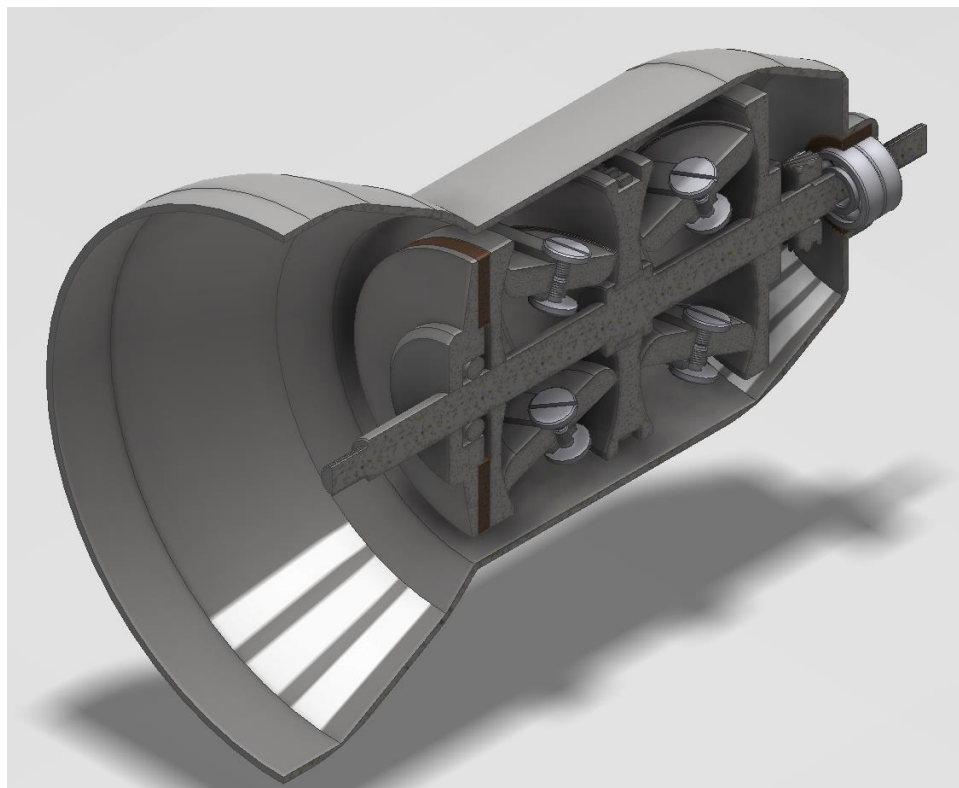
6. Израда модела тороидног мењачког преносника у програмском пакету *Autodesk Inventor*

На основу података из поглавља 5, даље је приступљено моделирању тороидног мењачког преносника. Према димензијама погонског ваљка и погонских дискова добијених за возило *Kia Seltos* са тороидним мењачким преносником *Torotrak SFTV* може се извршити креирање 3D модела тороидног дела мењачког преносника. На слици 6.1, приказана је модел потпуно тороидног мењачког преносника према концепту произвођача *Torotrak*.

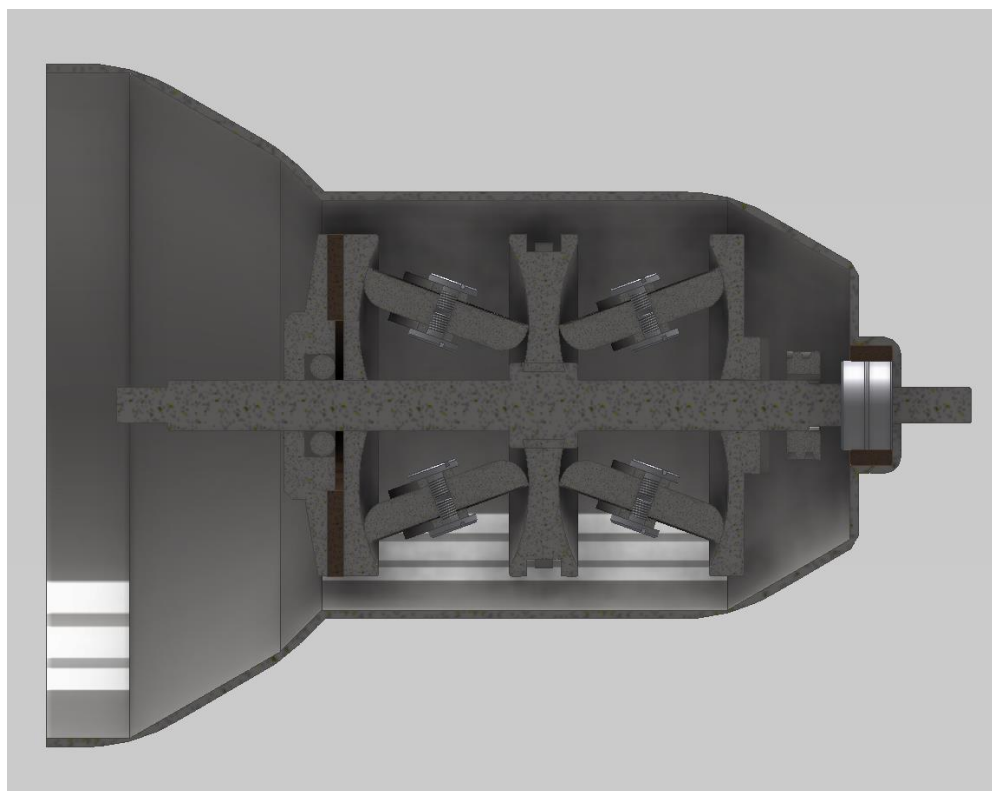


Слика 6.1. 3D модел тороидног мењачког преносника *Torotrak IVT* серије 3 [33]

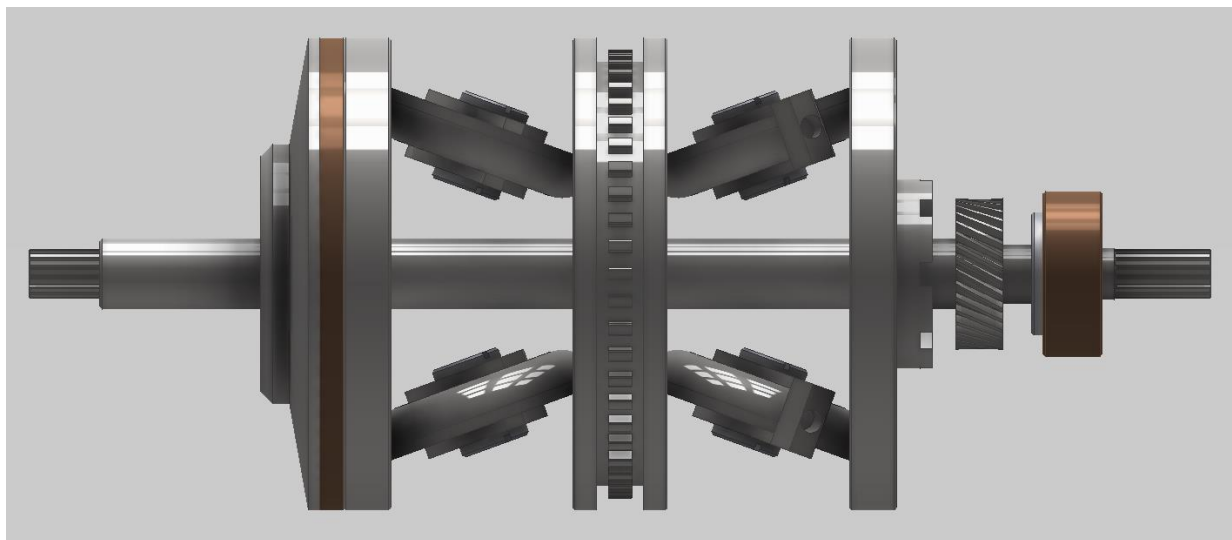
Након завршеног моделирања свих важнијих елемената потпуно тороидног мењачког преносника врши се формирање склопа у програму “*Assembly*” програмског пакета *Autodesk Inventor*. На основу параметара из прорачуна перформанси за возило *Kia Seltos* и габарита модела *Torotrak SFTV* мењачког преносника извршено је моделирање и склапање 3D модела. Склоп модела тороидног мењачког преносника приказан је на следећим сликама.



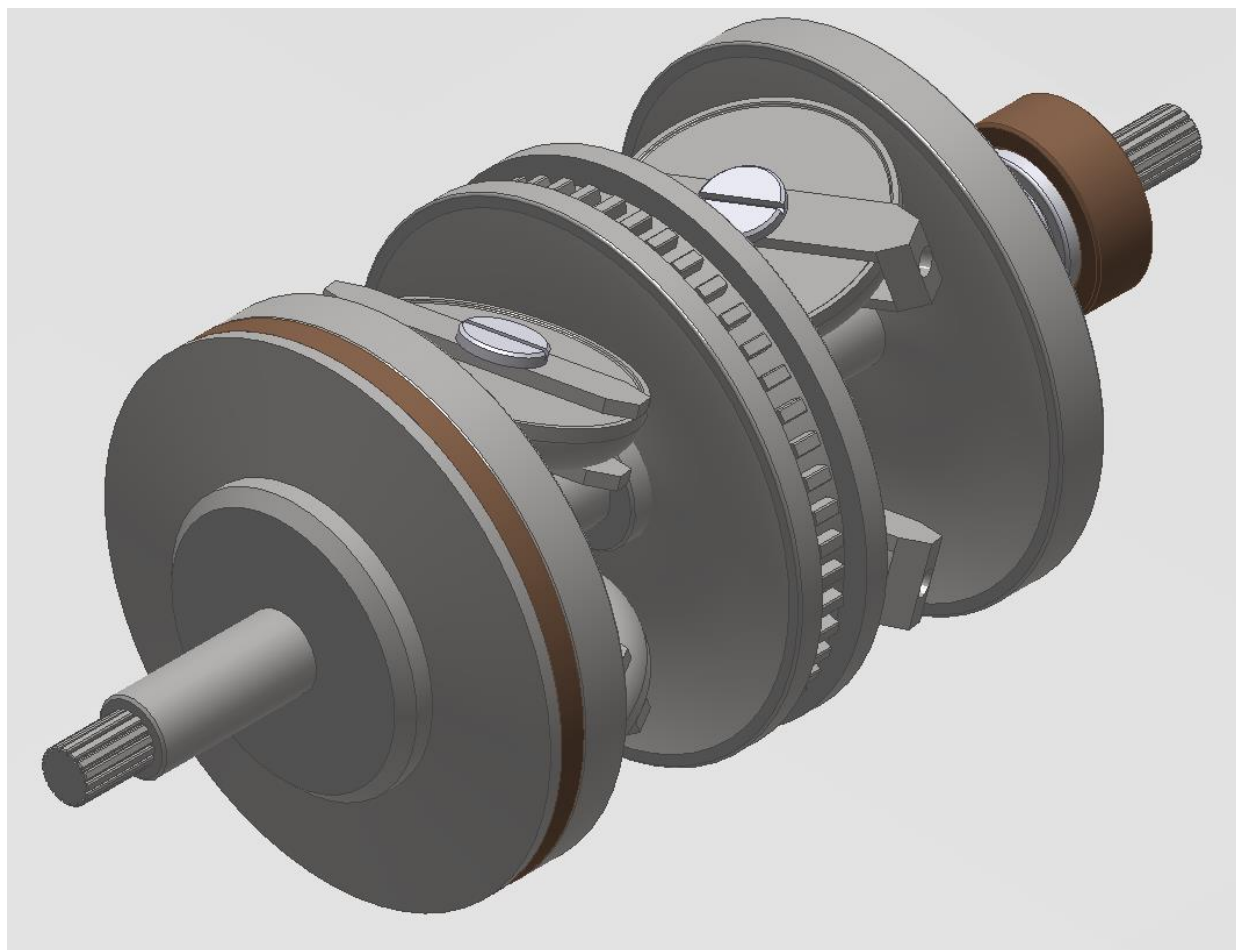
Слика 6.2. 3D модел тороидног мењачког преносника, поглед са стране – пресек



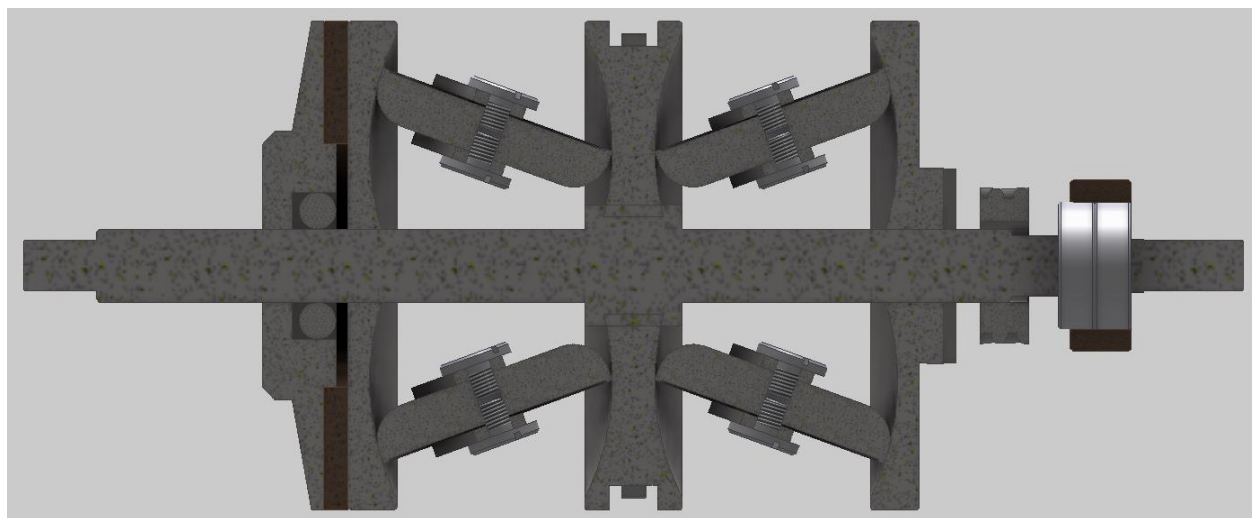
Слика 6.3. 3D модел тороидног мењачког преносника – пресек



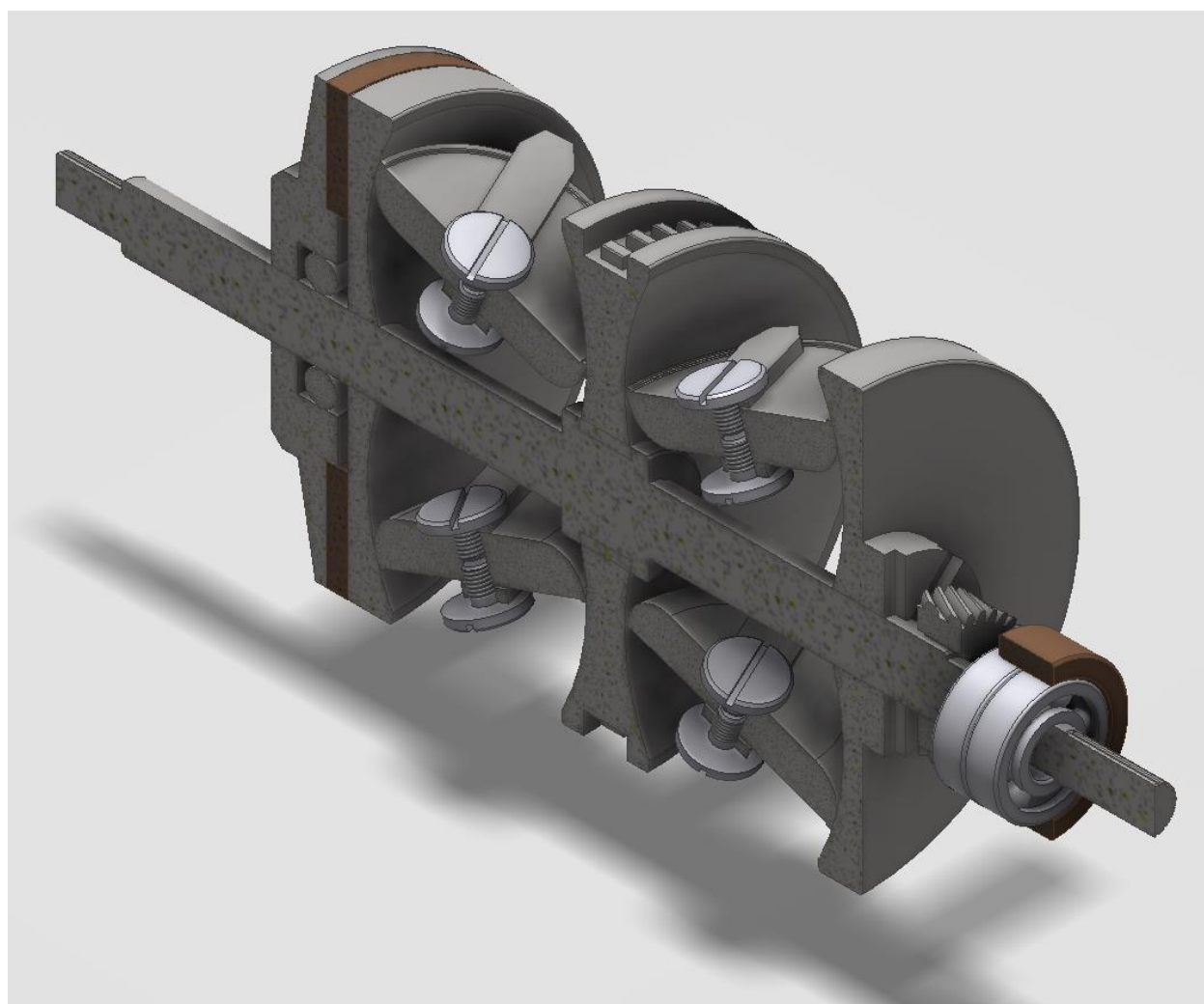
Слика 6.4. 3D модел варијатора тороидног мењачког преносника



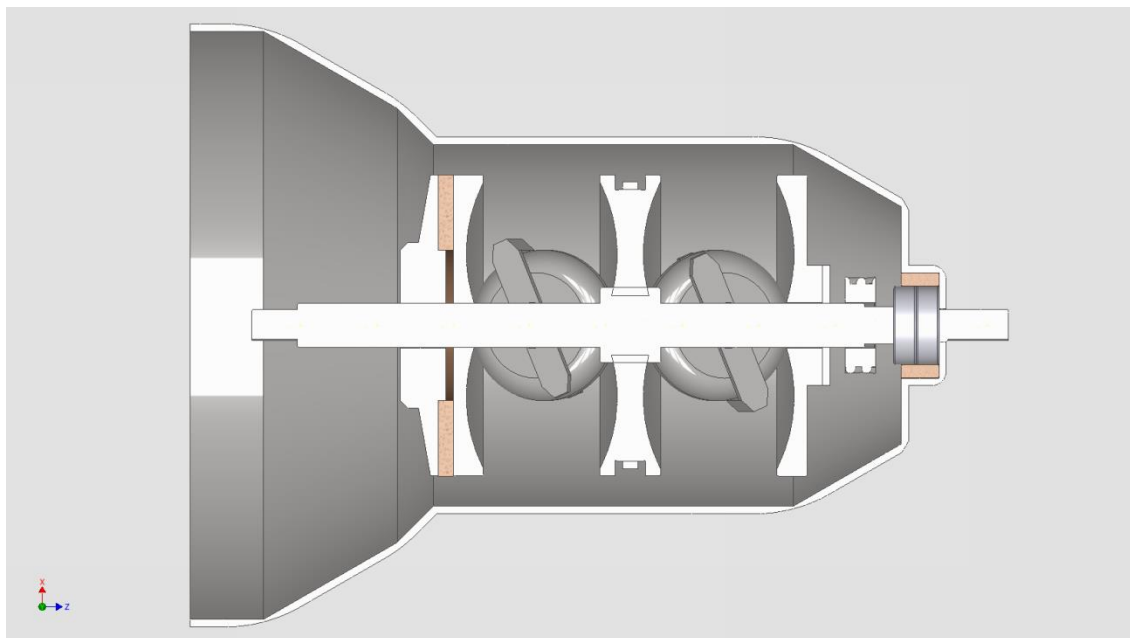
Слика 6.5. 3D модел варијатора тороидног мењачког преносника



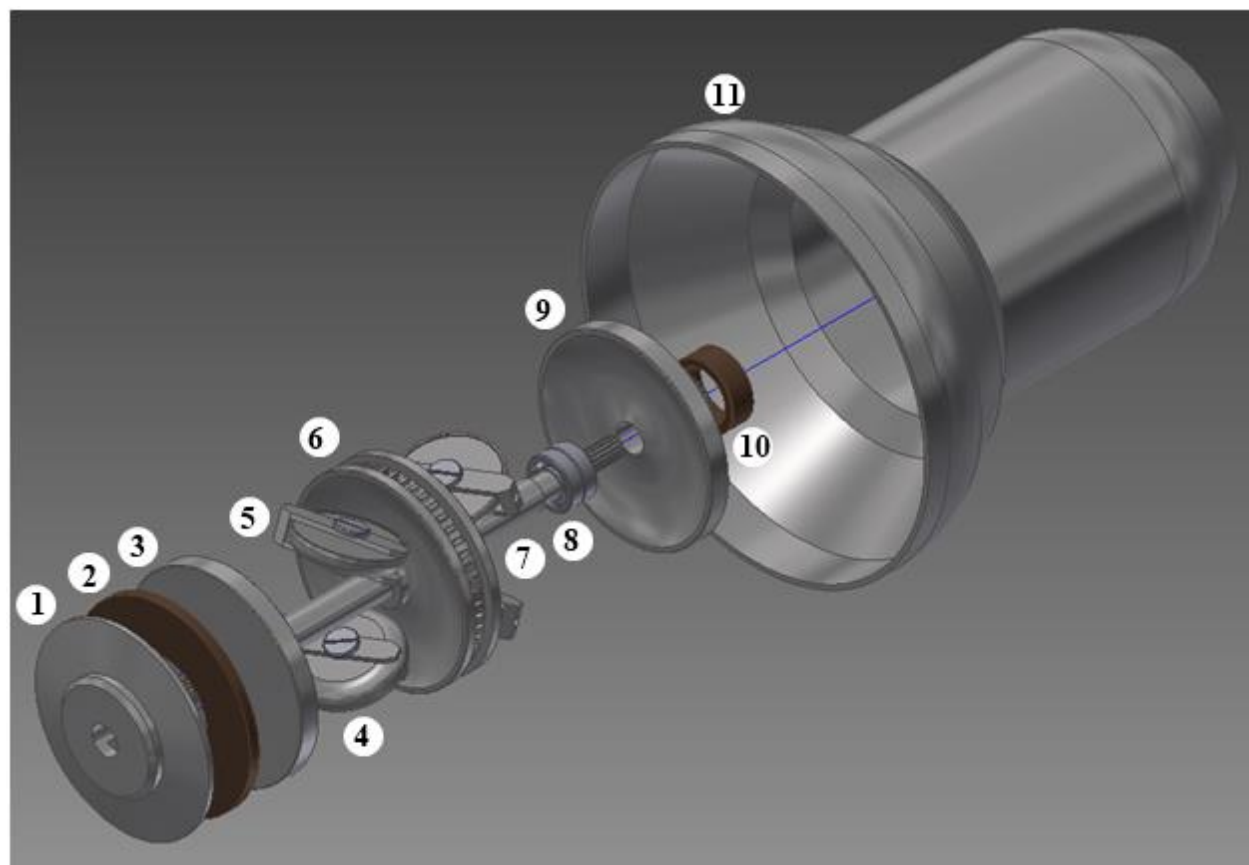
Слика 6.6. 3D модел варијатора тороидног мењачког преносника – пресек



Слика 6.7. 3D модел варијатора тороидног мењачког преносника – пресек



Слика 6.8. 3D модел варијатора тороидног мењачког преносника поглед одозго – пресек



Слика 6.9. 3D модел варијатора тороидног мењачког преносника: 1. потисна плоча, 2. потисни прстен, 3. улазни диск, 4. погонски ваљак, 5. носач погонског ваљка, 6. централни нисач, 7. вратило, 8. лежај, 9. излазни диск, 10. чаура лежаја, 11. кућиште мењача

6. Закључак

Савремена трансмисија моторних возила је изузетно сложена, на којима мењачки преносник поред погонског агрегата представља најсложенију компоненту возила. Данашњи аутомобили поседују различите врсте преноса снаге, а широка примена континуално варијабилне трансмисије тек почиње.

Предности аутомобила са CVT мењачким преносником су пре свега глатко и истовремено убрзање, а затим удобна вожња и лакше управљање возилом. Захваљујући континуално варијабилној трансмисији оптерећење погонских елемената и мотора равномерно је распоређено без обзира стил вожње. Мотор у комбинацији са варијатором готово увек ради без наглог оптерећења, при економичном режиму рада. То значајно повећава његов век трајања, смањује потрошњу горива, а смањује и емисију штетних гасова из возила.

Недостаци континуално варијабилне трансмисије су пре свега високи трошкови одржавања и недостатак стручног кадра специјализованог за овај тип трансмисије. Затим коришћење посебне врсте мењачког уља, нарочито код тороидних мењачких преносника. Још један од недостатака је и потреба за великим броје различитих сензора, а ако један од њих откаже могу се приметити озбиљни поремећаји у раду читавог мењача. Један од већих недостатака је и немогућност инсталирања на аутомобиле са снажнијим мотором.

Компанија *Nissan* је дугогодишњи предводник у развоју и примени технологије континуално варијабилне трансмисије, као и *JATCO* произвођач преносних система који је у *Nissan*-овом власништву. *JATCO* производи 43% CVT мењачких преносника на светском тржишту, а *Nissan* и *JATCO* годишње пласирају и до милион возила са различитим типовима континуално варијабилне трансмисије.

CVT-ови нове генерације имају иновативну конструкцију која комбинује класичан CVT каиш с помоћним мењачким преносником, што обезбеђује већи распон степена преноса. Поред тога што повећава коефицијент степена преноса, смањује масу и побољшава економичност, савремена конструкција CVT мењача нове генерације у комбинацији са помоћним мењачем је компактнија и примењивија на више разних типова возила.

Конструкција CVT мењачког преносника се стално усавршава и прилагођава савременим моторима и другим система који се све више уграђују у возила. Потреба за бољом економичношћу и смањењем емисије CO₂ подстакла је све у аутоиндустрији да развијају своје моделе континуално варијабилне трансмисије. Очекивања су да ће произвођачи аутомобила наставити да на тржиште уводе нове генерације возила која за пренос снаге користе неки од варијабилних преносника.

Литература:

- [1] Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W.: Automotivetransmissions-Fundamentals, Selection, DesignandApplication; SecondEdition; Springer, Berlin 2011.
- [2] Глишовић Ј.; Структура и конструкција МВ, наставни материјал, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, школска 2019/2020.
- [3] Аутоматски мењачи, Хидрауличке трансмисије, Електричне трансмисије: <http://213.244.236.11/download.php?id=23884> приступљено 4.4.2020.
- [4] Стефановић А., Друмска возила – основи конструкције, Центар за моторе и моторна возила машинског факултета у Нишу и Центар за безбедност саобраћаја у Крагујевцу, 2010.
- [5] Филиповић И., Цестовна возила – приручник за водитеље станица техничког прегледа возила, Сарајево, 2012.
- [6] Живановић З., Јанићијевић Н., Аутоматске трансмисије моторних возила, издавач: Ecolibri, Београд, 2000.
- [7] Аутоматизација трансмисије, наставни материјал, преузето са: <http://mehanizacija.ftn.uns.ac.rs/wp-content/uploads/2015/12/06-OMV-automatski-menjac1.pdf>, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2015.
- [8] Филиповић И, Мотори и Моторна возила, Машински факултет у Тузли, 2006.
- [9] Аутоматски мењачи, Врсте аутоматских трансмисија: <http://www2.viser.edu.rs/download.php?id=23832>, приступљено 14.4.2020.
- [10] Seelan V., Analysis, Designand Application of Continuously Variable Transmission (CVT), Int. Journal of Engineering Researchand Applications ISSN : 2248-9622, Vol. 5, Issue 3, (Part -1) March 2015, pp.99-105.
- [11] Mulen S., High-Performance, Control of Continuously Variable Transmissions, Technische Universiteit Eindhoven, 2010.
- [12] Kumar K., Studyanddesing of automobile continuously variable transmissions, Department of Industrial Design, National Institute of Technology, Rourkela, 2015.
- [13] Rapid Repair Auto Center, What Is a Continuously Variable Transmission (CVT): <http://www.rapidrepairautocenter.com/what-is-a-continuously-variable-transmission-cvt/>, приступљено 13.5.2020.
- [14] Continuously variable transmission (CVT), интернет презентација: https://d2t1xqejoj9utc.cloudfront.net/files/19153/eti_19_CVTransmission.pdf?1363999370, приступљено 23.5.2020.

- [15] Bottiglione F., Stefano De Pinto, Mantriota G., Sorniotti A., Energy Consumption of a Battery Electric Vehicle with Infinitely Variable Transmission: <https://www.mdpi.com/1996-1073/7/12/8317/htm>, приступљено 24.5.2020.
- [16] Database on Noteworthy Contributions for Science and Technology (Japan), Half-Toroidal Continuously Variable Transmission: <https://dbnst.nii.ac.jp/english/detail/1776>, приступљено 25.5.2020.
- [17] Gunji D, Fujimoto H., Efficiency Analysis of Powertrain with Toroidal Continuously Variable Transmission for Electric Vehicles, University of Tokyo, 2013.
- [18] FPSI, McLaren R., Does your hydrostatically propelled vehicle have brakes?, преузето са: http://www.fluidpowersafety.com/fpsi_alert-30.html, приступљено 27.5.2020.
- [19] Putzmister, Advantages of hydrostatic drives for underground construction: <http://bestsupportunderground.com/hydrostatic-drives/?lang=en>, приступљено 27.5.2020.
- [20] Research Gate, Scheme of hydrostatic transmission in mobile working machines: https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-hydrostatic-transmission-in-mobile-working-machines_fig5_268386449, приступљено 28.5.2020.
- [21] Beachley N., Frank A., Continuously Variable Transmission: Theory and Practice, College of Engineering University of Wisconsin, Madison, 1979.
- [22] Idemitsu Cosan Co., Ltd, How Traction CVTs Work: <https://www.idemitsu.com/business/lube/tdf/cvts.html>, приступљено 20.6.2020.
- [23] Nissan's CVT Technologies, Extrid CVT, For Application to Rear-Wheel-Drive Cars Powered by Large Engines: https://www.nissan-global.com/PDF/tcvt_e.pdf, приступљено 20.6.2020.
- [24] Ultimate Transmissions, Traction Drives and Toroidal Variators: https://ultimatetransmissions.com/downloads/03.TractionDrive_Toroidal.pdf, приступљено 21.6.2020.
- [25] Kia, Seltos, Badass by design: <https://www.kia.com/content/dam/kia2/in/en/images/buy/download-brochure/kia-seltos-brochure.pdf>, приступљено 27.6.2020.
- [26] Charles Morris, Chargedevs – Electric vehicles magazine, Torotrak's continuously variable transmissions increase efficiency and performance: <https://chargedevs.com/newswire/torotraks-continuously-variable-transmissions-promise-increased-efficiency-and-performance/>, приступљено 1.7.2020.

- [27] Green Car Congress, Allison Transmission Takes Stake in Torotrak, Licenses Full-Toroidal Traction-Drive Transmission Technology:
<https://www.greencarcongress.com/2009/03/allison-transmi.html>, приступљено 4.7.2020.
- [28] Utimate Transissions, Double Roller Full Toroidal Variator based CVT, DFTV-CVT:
https://ultimatetransmissions.com/downloads/04.DFTV_CVT.pdf, приступљено 8.7.2020.
- [29] Auto motor sport, Getriebe ohne Gänge: <https://www.auto-motor-und-sport.de/technik/stufenloses-cvt-getriebe-getriebe-ohne-gaenge/>, приступљено 8.7.2020.
- [30] Volkspage, Variable Automatic Gearbox multitronic:
http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_228_d1.pdf, приступљено 11.7.2020.
- [31] Kia, 2021 Seltos LX: <https://www.kia.com/us/en/seltos/specs>, приступљено 11.8.2020.
- [32] Continuously Variable Transmission:
<http://www.engineering108.com/Data/Engineering/Automobile/Continuously-Variable-Transmission.pdf>, приступљено 18.8.2020.
- [33] B. Bonnet, Matching of internal combustion, Eengine characteristics for continuously variable transmission, PhD Thesis, Cranfield University, School of engineering, Automotive Department, 2007.