

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Маријана С. Милорадовић

Двоструке спојнице моторних возила

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: 442/2018

Маријана С. Милорадовић

Двоструке спојнице моторних возила

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 спојница на моторним возилима, као и историјски развој овог система,
- прикаже поделу (врсте) двоструких спојница моторних возила,
- дати основне карактеристике двоструких спојница моторних возила (сувих и мокрых),
- прикаже савремена решења више ламеластих двоструких спојница и мењача,
- урадити модел двоструке спојнице возила по избору.

Препоручена литература:

- [1] Genta, G., Morello, L.: The Automotive Chassis Vol. 1: Components Design, Springer, 2009
- [2] Wagner, U., Buehle P., Mueller, B., Kimmig, K-L., Kneissler, M.: Dry Double Clutch Systems, ATZ, Volume 111, November 2009, pp. 28-33
- [3] Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W., Automotive Transmissions, Fundamentals, Selection, Designand Application, 2011
- [4] Kimmig, K-L.: The Self-Adjusting Clutch SAC of the 2nd Generation, 6th LuK – Symposium, pp.1-21

Крагујевац, 9.03.2020.

Ментор:

Др Јасна, Д. Глишовић

Резиме:

У раду су анализиране спојнице моторних возила и њихов историјски развој са освртом на двоструке спојнице. Дата је подела двоструких спојница, приказана њихова конструкцијска решења и описан принцип рада. Анализирана је примена двоструких спојница у трансмисији савремених моторних возила, као и тенденције њиховог развоја. Извршен је прорачун елемената спојнице и моделирање двоструке спојнице са сувим фрикционим површинама у програмском пакету *Autodesk Inventor*. На крају рада дата су закључна разматрања.

Кључне речи: *Двострука спојница, DCT мењачи, моторна возила*

Summary:

The clutches of motor vehicles and their historical development with reference to double clutch were analyzed in master paper. The classification of double clutches is given, their construction solutions are shown and the principle of operation is described. The application of double clutch in the transmission of modern motor vehicles is analyzed, as well as the tendencies of their development. The calculation of the clutch elements and the modeling of the double clutch with dry friction surfaces in the *Autodesk Inventor* software package were performed. Concluding remarks are given at the end of the paper.

Keywords: *Double clutch, DCT transmission, Motor Vehicles*

Садржај:

1. Увод.....	5
2. Спојнице моторних возила, историјски развој и подела.....	6
2.1. Суве фрикционе спојнице.....	7
2.2. Мокре фрикционе спојнице.....	10
2.3. Хидродинамичке спојнице – ХДС	10
2.4. Електромагнетне спојнице	13
3. Подела и основне карактеристике двоструких спојница	14
3.1. Конструкција двоструких спојница	14
3.2. Двострука спојница са сувим фрикционим површинама.....	17
3.3. Двострука спојница са мокрым фрикционим површинама	19
3.4. Принцип рада и конструкцијска решења двоструких спојница и мењачких преносника.....	26
4. Примена двоструких спојница на савременим моторним возилима	34
4.1. Двострука спојница <i>ZF ND2015</i> и <i>ZF ND2216</i>	34
4.2. Двострука спојница са сувим фрикционим површинама (<i>Ford DPS6, Hyundai-Kia D6GF1, Renault DC0/DC4</i> и <i>Smart H-DCT</i>).....	35
4.3. Двострука спојница са сувим фрикционим површинама (<i>Ford 1.6 – 2.0, 6-степенни мењачки преносник DPS6</i>).....	43
4.4. Двострука спојница са сувим фрикционим површинама (<i>Alfa Romeo – Fiat, 6-степенни мењачки преносник C635 DDCT</i>).....	47
4.5. Двоструке спојнице и DSG мењачки преносници код <i>VW</i> и <i>Audi</i> путничких возила	53
4.6. Двоструке спојнице и DCT мењачки преносници код <i>BMW</i> путничких возила	55
5. Тенденције развоја двоструких спојница и DCT мењачких преносника	60
6. Прорачун елемената двоструке спојнице са сувим фрикционим површинама за путничко возило	63
7. Израда елемената двоструке спојнице у програмском пакету <i>Autodesk Inventor</i>	73
8. Закључак	77
Литература:	78

1. Увод

Спојница је елемент за пренос снаге од погонског агрегата до мењачког преносника. Поред основне функције, још има и функцију да ублажава ударе од мотора и да у случају преоптерећења заштити остале елементе за пренос снаге од оштећења. Основни делови стандардне фриксионе спојнице су кућиште спојнице, фриксиони диск са торзионим опругама, главне опруге и потисна плоча. Кућиште спојнице је причвршћено за замајац мотора, а фриксиони диск се преко ожељбљене везе спаја са улазним вратилом мењачког преносника.

Усавршавањем мењачких преносника и спојница, тако сада у примени имамо мењачке преноснике са две осовине и две спојнице (двострука спојница). Код овог решења се парни степени преноса налазе на једном, док су непарни на другом вратилу. На овај начин је промена степена преноса из нижег у виши степен преноса знатно бржа у односу на мануелни.

Највећа предност двоструких спојница јесте што омогућавају брзу промену степена преноса без прекида преноса вучне силе. Овај тип спојнице, као и мењачког преносника, карактеристичан је по својој конструкцији, која се састоји од два вратила, једно за непарне степене преноса (нпр. 1., 3. и 5.), а друго за парне (нпр. 2., 4. и 6.).

Принцип рада DCT (енг. *Dual Clutch Transmission*) мењачких преносника и спојница заснива се на томе да рачунар детектује да је број обртаја улазног вратила и сувише висок у одређеном степену преноса. Затим се припрема наредни степен преноса спрезањем одговарајуће синхро-спојнице са тим зупчастим паром. Тек онда се врши пренос тока снаге са једног вратила на друго. Због високих перформанси, DCT трансмисија је изузетно применљива код спортских модела возила. Контролна управљачка јединица ECU (енг. *Engine Control Unit*) садржи адаптивне функције учења, памћења, оптималне регулације позиције спојнице и актуатора кроз модулацију притиска.

Двоструке спојнице моторних возила имају врло широку примену код возилима са аутоматским мењачима и уређајима за погон помоћних система. Примена овог типа спојница у систему трансмисије конвенционалних возила је доста ограничена. Разлог за то је већа цена израде и сложеније одржавање. Данас се двоструке спојнице више користите у комбинацији са секвенцијалним мењачким преносником, као алтернатива фриксионим спојницама [1].

2. Спојнице моторних возила, историјски развој и подела

Max Lohmann и *Max Stolverfoht* су 1884. године, независно један од другог, открили принцип трења код спојница. До тада су искључиво биле познате спојнице са стезаљкама које су се могле померати само током мировања, а таква спојница се није могла активирати под оптерећењем. Позната као „А“ спојница, патентирана је фрикциона спојница која ће касније ући у масовну производњу и у даљи развој и која је код већине стандардних моторних возила данас готово незаменљива [2].

Двоструку спојницу је конструисао Француз *Frenchman Adolphe Kégresse* непосредно пре Другог светског рата, али никада није развио радни модел. Први аутоматски мењачки преносник са двоструком спојницом „*Easydrive*“ развила је 1950. године британска компанија „*Smiths Industries and Rootes*“. Систем је користио двоструке електромагнетне спојнице и уграђиван је на „*Hillman* и *Singer*“ моделима возила. Прва масовна производња и развој трансмисије са двоструком спојницом почео је 1980. године под вођством *Harry Webster* у „*Automotive Products-y*“, а уграђивана је у *Ford Fiesta Mk1*, *Ford Ranger* и *Peugeot 205*. Раније конструкције двоструких спојница припадале су сувом типу, односно поседовале су једну спојницу са више плоча. Касније је почела уградња двоструких спојница у спортска возила попут *Porsche 956* из 1983. године [4].

Данас, мењачки преносници се углавном упарују са двоструком спојницом, пре свега мокрог типа са две и више плоча. Највећу продају возила са DCT (енг. *Double Clutch Transmission*) мењачким преносником забележио је *Volkswagen* 2009. године. *BMW Canada's* је 2010. године започео серијску производњу путничког возила *BMW Series 3* са седмостепеним DCT мењачким преносником и двоструком спојницом [3].

Спојница је елемент трансмисије моторног возила који служи за повезивање мотора и мењачког преносника. Поред задатка да преносе обртни момент од мотора ка мењачком преноснику, спојница код моторних возила врши и друге важне задатке, као што су одвајање мотора од остатка трансмисије и поновно спајање, омогућавање равномерног поласка возила из места, убрзавање возила и омогућавање промене степени преноса за време кретања возила уз минималне ударе. Минималном стабилном броју обртаја мотора n_{min} , одговара минимални стабилни број обртаја погонских точкова n_{Tmin} :

$$n_{Tmin} = \frac{n_{min}}{i_T} \quad , \quad (2.1)$$

где је:

i_T – укупни преносни однос трансмисије.

Равномерно убрзавање возила од $n_{min} = 0$ до n_{Tmin} остварује се на рачун клизања спојнице у том интервалу [5].

Инерциони момент се јавља у тренутку блокирања тачкова при кочењу, без искључивања спојнице. При томе се делови мотора са замајцем (са моментом инерције J_m) обрћу угаоном брзином ω , а услед кочења тачкови су принуђени да се зауставе за веома кратко време t , односно при врло великом успорењу $\frac{d\omega}{dt}$. У том случају инерциони момент M_j износи [5]:

$$M_j = J_m \frac{d\omega}{dt} . \quad (2.2)$$

Спојница треба да обезбеди следеће [5]:

- да одвоји мотор од трансмисије (искључи), да би се приликом укључења спојнице могао предати најповољнији обртни момент на погонске тачкове,
- да омогући равномерно укључивање, да би трење могло постепено да се повећава,
- да омогући брз одвод топлоте, која се јавља на површинама трења проклизавањем, како у време укључивања спојнице, тако и приликом преоптерећења,
- да гоњени делови спојнице имају што мањи момент инерције и
- омогући аутоматизацију процеса укључивања и искључивања.

У зависности од преноса обртног момента спојнице се могу поделити на:

1. фриксионе спојнице које могу бити [1]:
 - суве фриксионе спојнице и
 - мокре фриксионе спојнице,
2. хидродинамичке спојнице,
3. електромагнетне и
4. комбиноване спојнице.

Према начину командовања спојницом оне се могу поделити на [1]:

- спојнице којима се командује од стране возача и
- аутоматско командовање које може бити у зависности од положаја педале акцелератора, у зависности од броја обртаја и оптерећења мотора.

2.1. Суве фриксионе спојнице

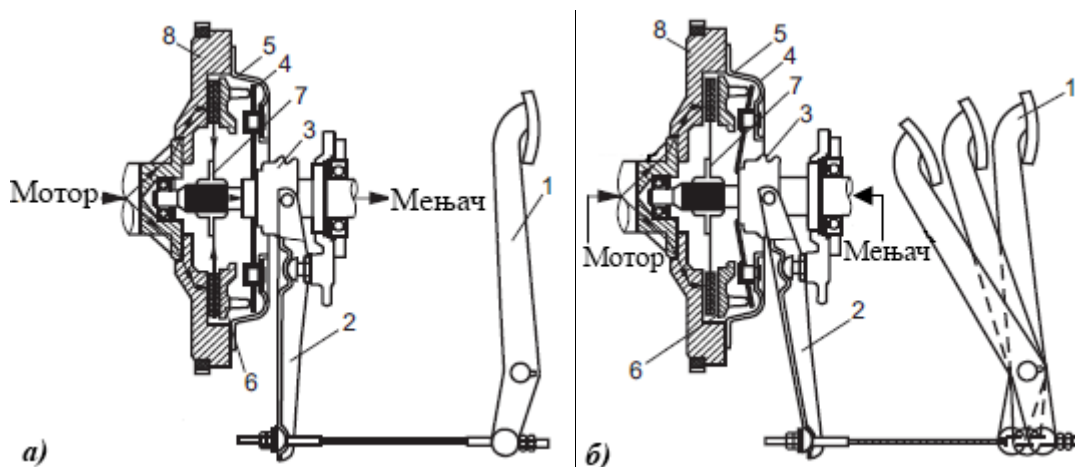
На савременим моторним возилима са степенастим зупчастим мењачем углавном се примењују суве фриксионе спојнице и то углавном са једном ламелом (диском). Рад фриксионе спојнице заснован је на коришћењу сила трења које се јављају између фриксионих површина. Површине које врше пренос обртног момента деле се на погонске и гоњене. Погонски делови спојнице су везани за замајац мотора и окрећу се заједно, док су гоњени делови спојнице везани за вратило мењача. Када се погонски делови спојнице споје са гоњеним деловима, тада се оствари пренос обртног момента од мотора ка

мењачком преноснику. Равномерност укључивања постиже се проклизавањем површина погонских и гоњених делова спојнице. Трење између површина погонских и гоњених елемената спојнице мора бити такво да омогући пренос обртног момента, што зависи од материјала фриксионих површина и коефицијента трења.

Фрикционе спојнице се деле на [5]:

- у односу на облик површине трења: конусне, добошасте и дискосне,
- у односу на начин остваривања нормалне силе: опружне, полу-центрифугалне, центрифугалне и електромагнетне са потисном плочом,
- према положају при дејству сила: стално укљученог и стално искљученог типа,
- и према начину управљања: са принудним и аутоматским управљањем.

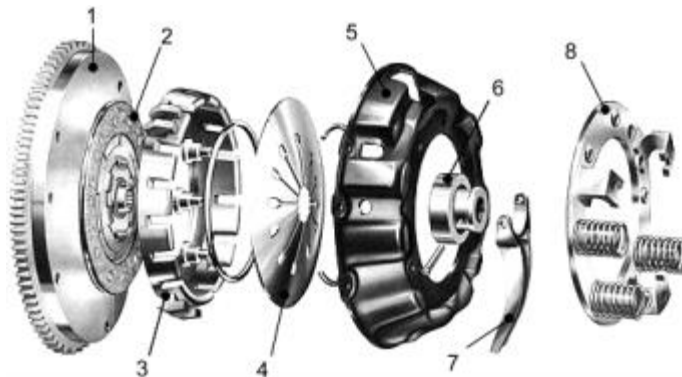
Најчешће се користе фриксионе спојнице, код којих се снага преноси моментом трења које настаје између две или више фриксионих површина. Нормална сила притиска између површина трења може се остварити завојним опругама постављеним кружно или централно постављеном тј. тањирастом опругом.



Слика 2.1. Шематски приказ укључене и искључене спојнице: а) укључена спојница, б) искључена спојница: 1. папучица спојнице, 2. искључна виљушка, 3. потисни лежај, 4. жабица (потисна опруга), 5. кућиште спојнице, 6. потисна плоча, 7. фриксиони диск, 8. замајац [1]

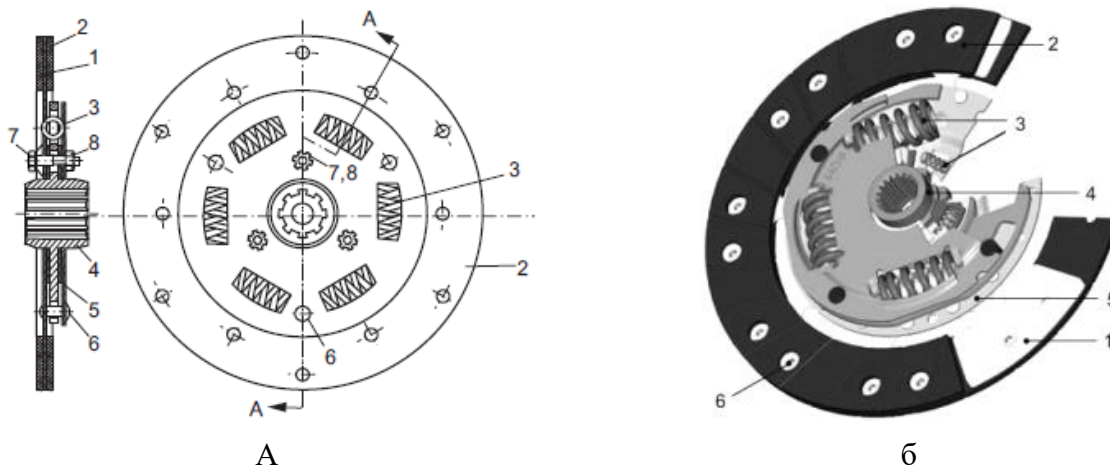
На слици 2.1, шематски је приказан рад фриксионог диска спојнице. Када возач ногом притисне папучицу спојнице (1) преко искључне виљушке (2) потискује се аксијални потисни лежај (3). Лежај тада дејствује на жабице спојнице (4) које имају улогу полуге улежиштене у кућиште спојнице (5). Фриксиона спојница се изводи са по три жабице распоређене по обиму. Жабица је својим другим крајем повезана са потисном плочом (6) коју у процесу искључивања спојнице повлачи и при томе савладава силу у потисним опругама спојнице. На тај начин се ослобађају фриксионе површине од оптерећења. Попуштањем папучице, аксијална сила потисних опруга потискује потисну плочу, па је трансмисија поново повезана са погонским агрегатом [1].

На слици 2.2. приказана је фрикциона спојница са главним елементима, уобичајене конструкције за путничка моторна возила. За ову конструкцију примењена је тањираста опруга као потисна опруга. У десном делу слике приказана је и варијанта потисне плоче са спиралним опругама.



Слика 2.2. Основни елементи фрикционе спојнице: 1 – замајац, 2 – фрикциони диск, 3 – потисна плоча, 4 – тањираста опруга, 5 – поклопац спојнице, 6 – потисни лежај, 7 – искључна виљушка, 8 – потисна плоча са спиралном опругом [1]

На слици 2.3а, приказан је типичан фрикциони диск спојнице, који се често користи код путничких возила, а у пресеку А-А дати су сви детаљи склопа и везе са вратилом. На слици 2.3б приказан је делимични пресек диска, где се такође виде детаљи носећег лима (1), облога (2), торзионог амортизера (3) и главчине диска (4) [2].



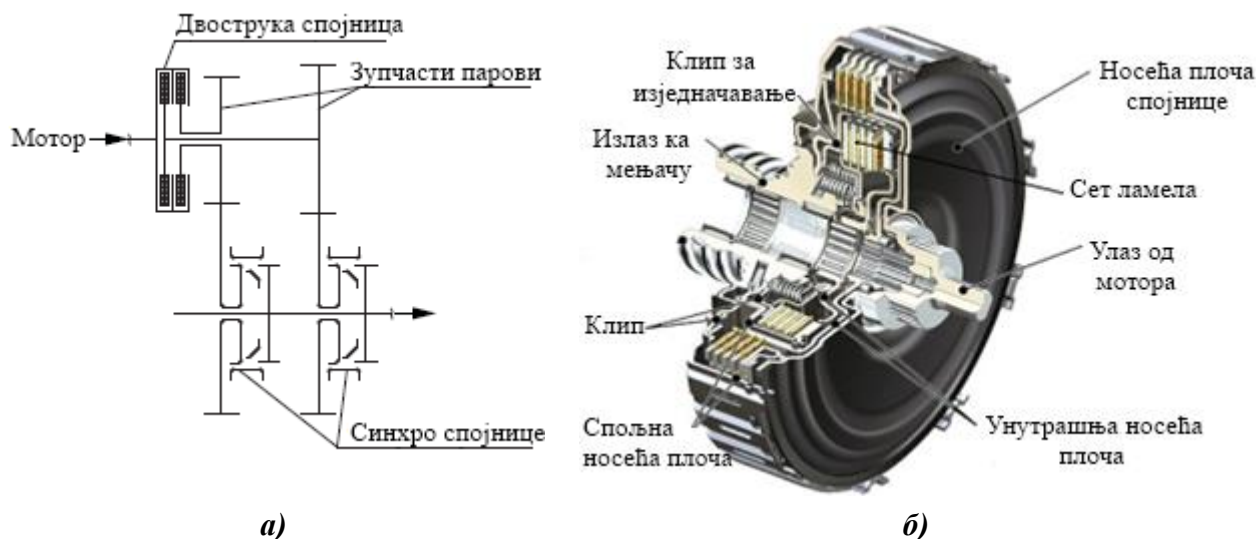
Слика 2.3. Фрикциони диск: 1. плоча (носећи лимови), 2. фрикциона облога, 3. торзиона опруга, 4. главчина, 5. плоча торзионих опруга, 6. нитне, 7,8. вијак и навртка [1]

Када се врши укључивање спојнице, фрикциони диск са главчином (4) преко жлебова клизи на мењачком вратилу. Преко потисне плоче се потискује до фрикционе површине на замајцу мотора. Фрикциона облога, заправо најважнији елемент на фрикционом диску спојнице, је преко нитни спојена са носећом плочом. Фрикциона спојница на себи има

уграђене и торзионе опруге, али такође је важно да има аксијалну еластичност која јој помаже да оствари мекано (безтрзајно) укључивање.

2.2. Мокре фрикционе спојнице

Мокре фрикционе спојнице данас имају врло широку примену у возилима са аутоматским мењачким преносницима и уређајима за погон помоћних система. Њихова примена, као главних спојница у систему трансмисије конвенционалних возила врло је ограничена. Један од разлога за то је већа цена и сложеније одржавање. Ипак, овај тип спојница почиње све више да се примењује у комбинацији са секвенцијалним мењачем и то као двоструке спојнице тј. алтернатива сувим двоструким фрикционим спојницама. На слици 2.4а, приказана је мокра спојница са два сета упарених дискова, постављених концентрично један изнад других („прстен у прстену“). Њихова активација се врши дејством притиска хидрауличне течности, а помоћу одговарајућег клипа. Ова конструкција мокре фрикционе спојнице има исти задатак као двострука сува фрикциона спојница.

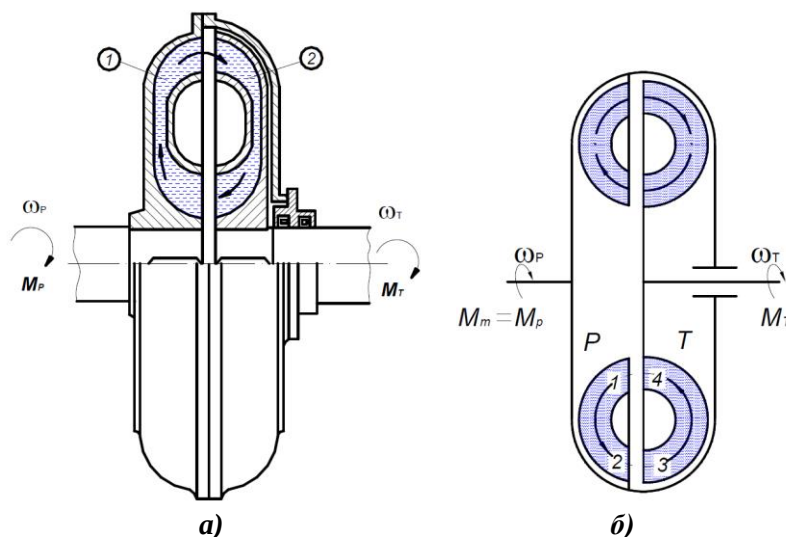


Слика 2.4. а) шема конструкције двоструке суве фрикционе спојнице б) реализовано решење мокре спојнице са два сета упарених дискова [1]

2.3. Хидродинамичке спојнице – ХДС

Хидродинамичка спојница – ХДС, састоји се из два основна елемента: пумпног и турбинског кола, смештених у заједничком кућишту, слика 2.5. 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. Хидродинамичке спојнице 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 тиме и већа економичност у потрошњи горива.



Слика 2.5. Хидродинамичка спојница – претварач: а) изглед: 1. пумпно коло, 2. турбинско коло, б) шематски приказ: M_p - обртни момент пумпног кола, M_t - обртни момент турбинског кола [5]

У циљу потпуног одвајања мотора од трансмисије при промени степена преноса, хидродинамичка спојница се користи у комбинацији са фрикционом. Међутим, да би се ово постигло и без примене фрикционе спојнице, изводе се хидродинамичке спојнице 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 овог типа спојница треба обезбедити следеће [5]:

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

Типична спољашња карактеристика хидродинамичке спојнице представља зависност фактора преношења спојнице (μ) и степена искоришћења (η) од броја обртаја турбине при константном броју обртаја пумпе. За хидродинамичку спојницу важи следећа једначина [5]:

$$M_2 = M_1, \quad \lambda = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = 1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}, \quad \mu = \frac{M_2}{M_1}, \quad \eta = \frac{\omega_2}{\omega_1} = 1 - \lambda = \frac{1}{i_h} = \psi, \quad (2.3)$$

где је:

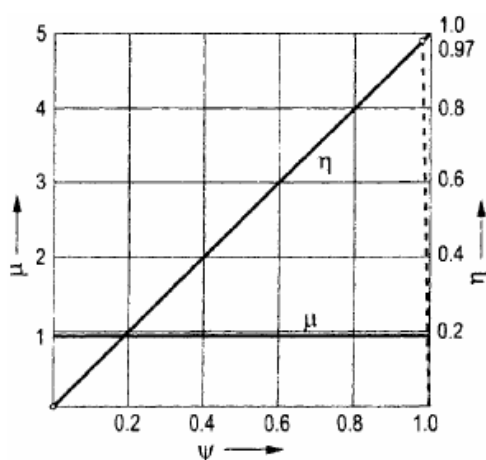
η – степен корисности,

i_h – хидраулички преносни однос,

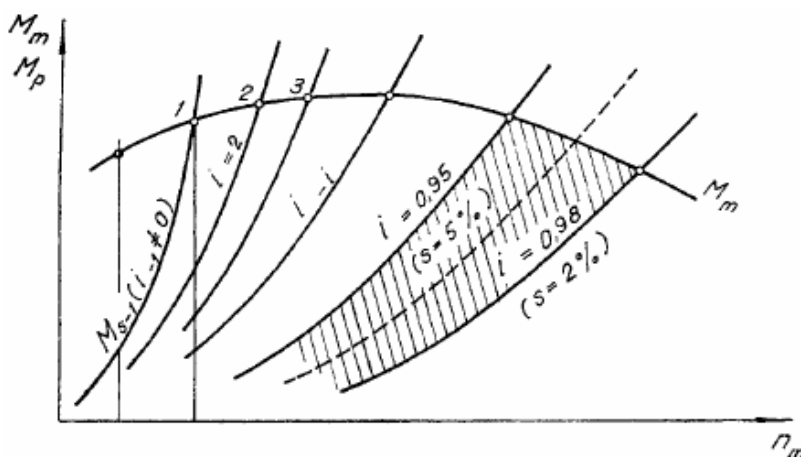
λ – клизање и

ψ – однос угаоне брзине турбинског и пумпног кола.

Спољно-брзинска карактеристика хидродинамичке спојнице се може представити у бездимензионалном облику (слика 2.6). Када је $\omega_1 = \omega_2$, постоји сингуларна тачка, јер када је угаона брзина пумпе једнака угаоној брзини турбине, нема преношења енергије, па је $\eta = 0$. У литератури се ток степена корисног дејства спојнице представља кроз вредност од приближно $\eta = 0,97$, када се постиже максимум и онда пада на вредност 0, при $\omega_2/\omega_1 = 1$ (испрекидана линија на слици 2.6).



Слика 2.6. Бездимензионе карактеристике хидродинамичке спојнице [5]



Слика 2.7. Радна карактеристика спреге мотора СУС и хидродинамичке спојнице [5]

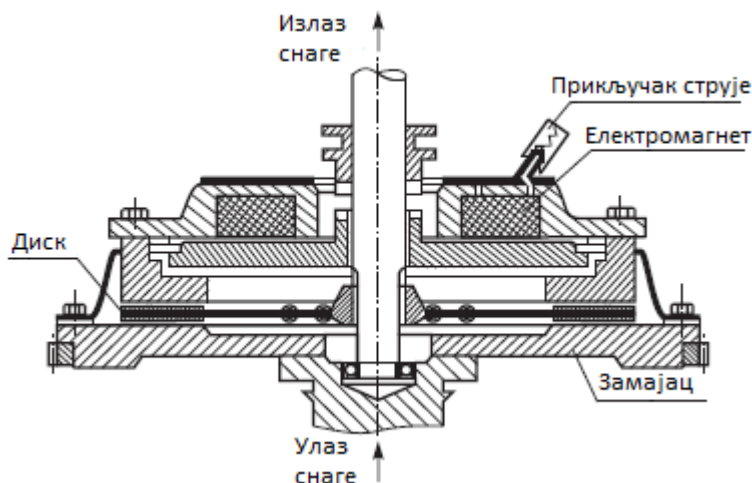
Имајући у виду карактеристике заједничког рада мотора СУС и хидродинамичке спојнице, на слици 2.7, могу се издвојити неке основне предности коришћења у возилу [5]:

- при заустављању возила није потребно одвајање трансмисије од возила,

- омогућава смањење броја промене степена преноса,
- елиминише ударна оптерећења и торзионе осцилације у систему за пренос снаге при поласцима возила и промени степена преноса,
- пригушује променљива оптерећења која се преносе на мотор,
- повећава век мотора и трансмисије и
- омогућује једноставан полазак.

2.4. Електромагнетне спојнице

Електромагнетне спојнице спадају у групу спојница са аутоматским управљањем, без ангажовања возача. Постављањем одређених механизма није потребна педала спојнице и због тога се таква возила називају возила са двопедалним управљањем (педала кочнице и педала акцелератора – гаса). Силе опруге потисне плоче су замењене силама електромагнета. Пример конструкције електромагнетне фрикционе спојнице приказан је на слици 2.8.



Слика 2.8. Електромагнетна фрикциона спојница [1]

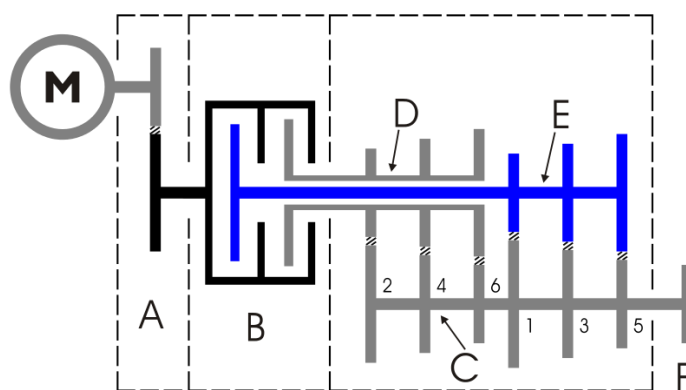
Принцип рада електромагнетне спојнице се заснива на томе да електромагнет добија енергију од генератора, а она зависи од броја обртаја мотора. На празном ходу мотора напон генератора је недовољан, те магнетни ток има малу величину и као последица тога, спојница се не укључује.

Повећањем броја обртаја мотора напон генератора се повећава и спојница се укључује равномерно. Успостављањем магнетног флуksа између замajaца и котве, феромагнетни прашак испуњава простор ваздушног зазора између погонског и гоњеног елемента. Након искључивања спојнице феромагнетни прашак може остати делимично намагнетисан и као последица тога, спојница може преносити обртни момент иако је искључена. Како би се ова појава избегла, кроз намотаје електромагнета пушта се супротан ток струје, након чега се прашак размагнетише. На овај начин се врши преко специјалних релеја и промена

степени преноса. Релеји су у вези са ручицом мењача. Електромагнетне спојнице су нашле примену углавном на путничким аутомобилима [1].

3. Подела и основне карактеристике двоструких спојница

DCT мењачки преносник је заправо аутоматски мењачки преносник, са свим одликама мануелног мењачког преносника, а који поседује две ламеласте спојнице и два вратила за редукцију броја обртаја. Оваква конструкција је разлог велике ефикасности овог система. Обе спојнице су пнеуматски вођене, тако да DCT мењачи немају потребе за педалом спојнице. Тако је систем контролисан рачунаром и „притиска“ имагинарну педалу уместо возача. На слици 3.1, приказана је шема мењачког преносника са двоструком спојницом.



Слика 3.1. Шема мењачког преносника са дуплом спојницом: *М* – мотор, *А* – ток снаге од мотора ка мењачу, *В* – двострука спојница, *С* – помоћно вратило, *Д* – шупље вратило (парни зупчаници), *Е* – пуно вратило (непарни зупчаници), *Ф* – излаз [7]

3.1. Конструкција двоструких спојница

Двострука спојница има основни задатак да смањи време промене степена преноса. Иначе трансмисија путничких возила са двоструком спојницом састоји се од двоструког замајца, тзв. замајца са двоструком масом, двоструке спојнице и механизма за повезивање и укључивање вратила, слика 3.2.

Основна подела двоструких спојница је на:

- двострука спојница са сувим фрикционим површинама и
- двострука спојница са мокрим фрикционим површинама.

Двострука спојница се састоји од два сета упарених фрикционих дискова, постављених концентрично један изнад других, прстен у прстену. Активирање спојнице се врши дејством притиска хидрауличне течности, а помоћу одговарајућег клипа. Ова конструкција

мокре фрикционе спојнице има исти задатак, као и двострука сува фрикциона спојница. Рад савремених DCT мењача контролише мехатронички систем који се састоји од електронске управљачке јединице, хидрауличко-управљачке јединице (механизма за покретање) и сензора. На слици 3.3, приказани су елементи двоструке спојнице.

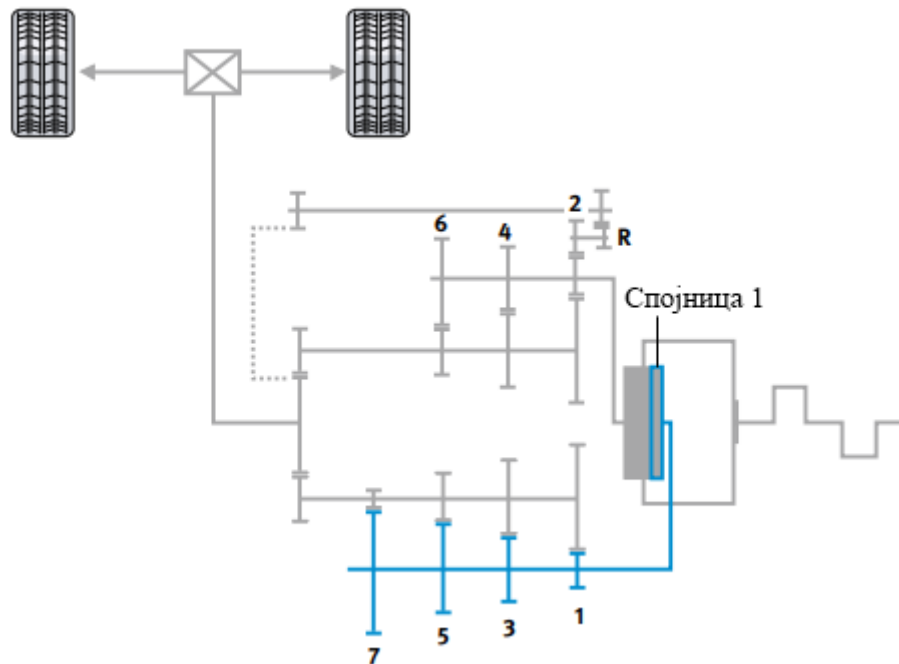


Слика 3.2. Систем за пренос снаге код возила са двоструком спојницом: 1. двоструки замајац, 2. двострука спојница, 3. механизам за повезивање и укључивање вратила [8]

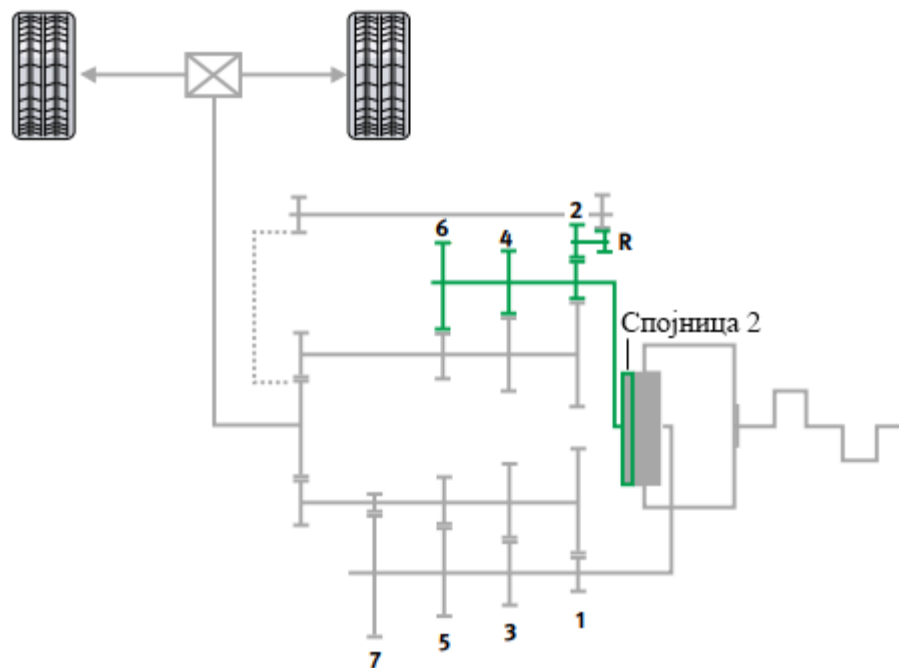


Слика 3.3. Елементи двоструке спојнице са сувим фрикционим површинама: 1. погонски прстен са потисном плочом, 2. фрикциони диск 1, 3. средишња плоча, 4. фрикциони диск 2, 5. потисна плоча, 6. тањираста опруга са механизмом за подешавање фрикционог диска 2, 7. поклопац спојнице са механизмом за подешавање фрикционог диска 1, 8. тањираста опруга, 9. спона, 10. зауставни прстен [8]

На слици 3.4, приказана је шема преноса обртног момента са спојнице 1 на унутрашњем вратилу и зупчанике који су у спрези са њим (1, 3, 5 и 7). Овај систем преноса снаге чини један „под-редуктор“ мењачког преносника.



Слика 3.4. Шема активирања спојнице 1 на унутрашњем вратилу [8]

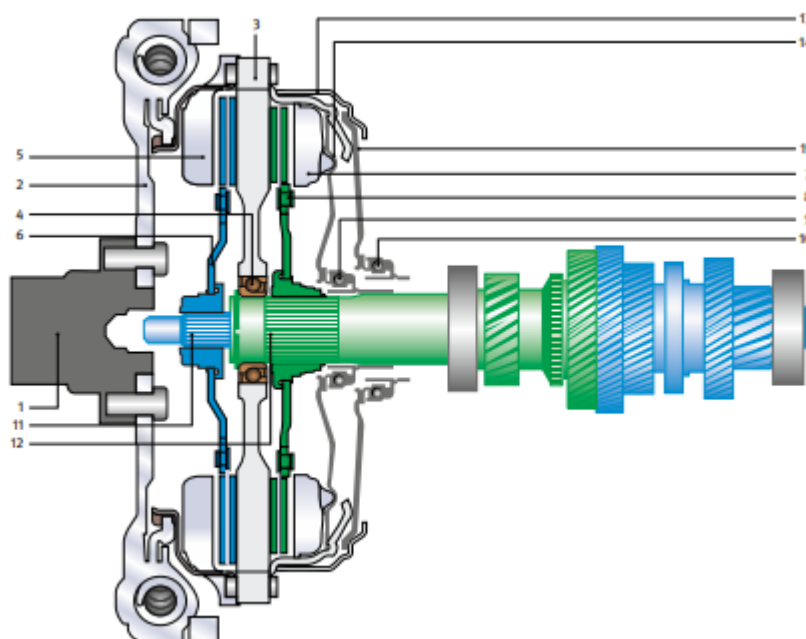


Слика 3.5. Шема активирања спојнице 2 на спољашњем шупљем вратилу [8]

На слици 3.5, приказана је шема преноса обртног момента са спојнице 2 на спољашње шупље вратило и зупчанике који су у спрези са њим (2, 4, 6 и R– ход уназад). Овај систем преноса снаге чини други „под-редуктор“ мењачког преносника.

3.2. Двострука спојница са сувим фрикционим површинама

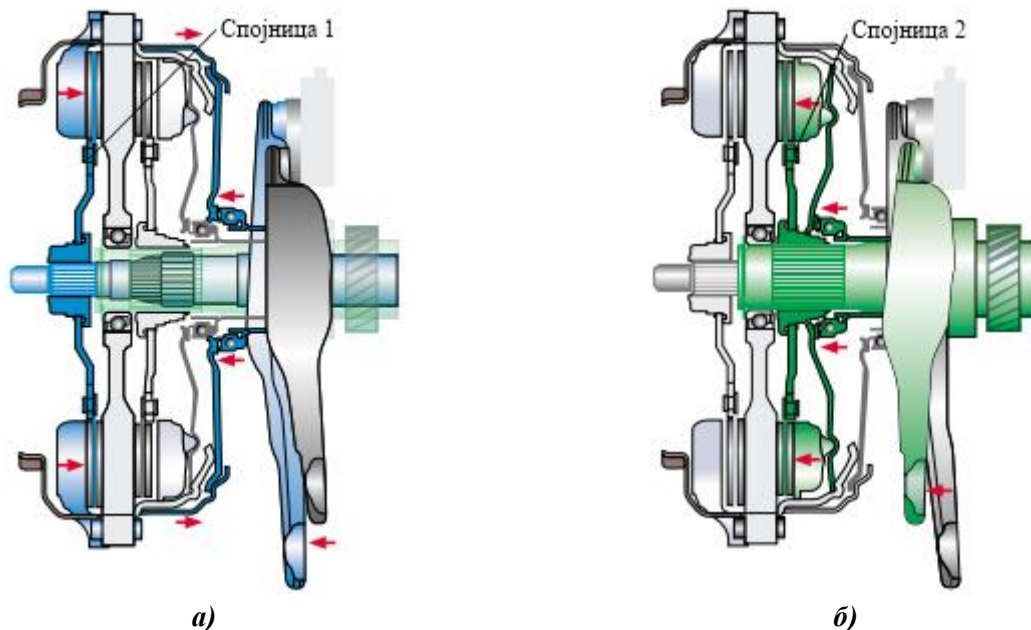
Двоструке спојнице са сувом фрикционим површином по конструкцији подсећају на стандардне фрикционе спојнице. Такође, спојница са непарним зупчаницима је већа због додатног оптерећења у првом степену преноса приликом проласка. На слици 3.6, шематски је приказан склоп двоструке спојнице. Средишња плоча са две површине трења (3) чини језгро двоструке спојнице. Ова плоча се монтира на спољашње шупље вратило (12) преко носећег лежаја (6). Са обе стране су постављене спојнице које се активирају притиском плоче, а преко споне (13) и опруга (14 и 15).



Слика 3.6. Двострука спојница DCT мењачког преносника са сувим фрикционим површинама: 1. коленасто вратило мотора, 2. замајац са двоструком масом, 3. средишња плоча, 4. ослонац/лежај, 5. потисна плоча 1, 6. фрикциони диск 1, 7. потисна плоча 2, 8. фрикциони диск 2, 9. зупчаник за пренос обртног момента са спојнице 2, 10. зупчаник за пренос обртног момента са спојнице 1, 11. улазно вратило мењача 1, 12. улазно вратило мењача 2 (шупље), 13. спона, 14. тањираста опруга 2, 15. тањираста опруга 1 [8]

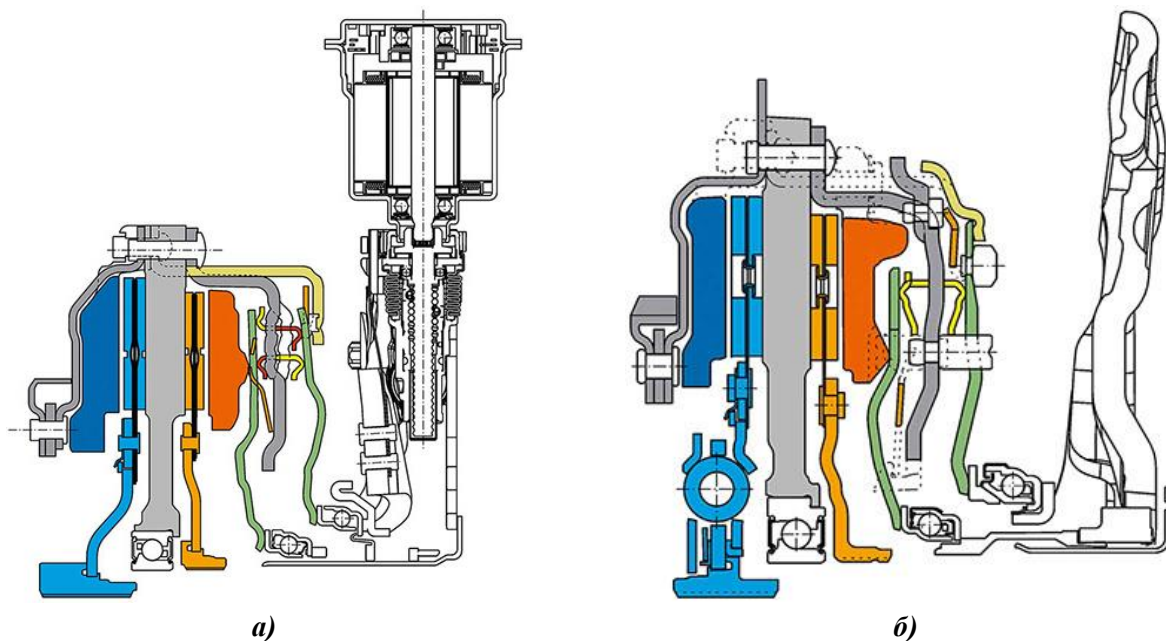
Када је један од зупчаника непарних степени преноса, који је у спрези са унутрашњим вратилом и спојницом 1 активан током вожње, спојница се активира командом мехатроничког система и тањирастом опругом. Активирањем спојнице 1 обртни момент се преноси на унутрашње вратило. Током неравномерне (градске) вожње мехатронички систем припрема промену степена преноса у нижи или виши степен преноса, слика 3.7а.

Ако је потребна промена степена преноса зупчаника који су повезани са спољашњим шупљим вратилом и спојницом 2, тањираста опруга се враћа уназад ослобађајући тако спојницу 1. Мехатронички систем активира мању тањирасту опругу и покреће спојницу 2 која обртни момент мотора преноси на спољашње шупље вратило, слика 3.7б.



Слика 3.7. Шема активирања фрикционих дискова двоструке спојнице: а) фрикциони диск 1, б) фрикциони диск 2 [8]

Сува двострука највише се примењује код возила са погонским агрегатом до 280 Nm. С обзиром на своје карактеристике, конструисане су за мала и средња возила. Овај тип спојнице представља економично решење, јер смањује емисију CO₂ услед смањеног обртног момента. Поједини типови сувих двоструких спојница имају механизме за подешавање (компензацију) хабања фрикционих облога и активирају се помоћу лежајева, слика 3.8.

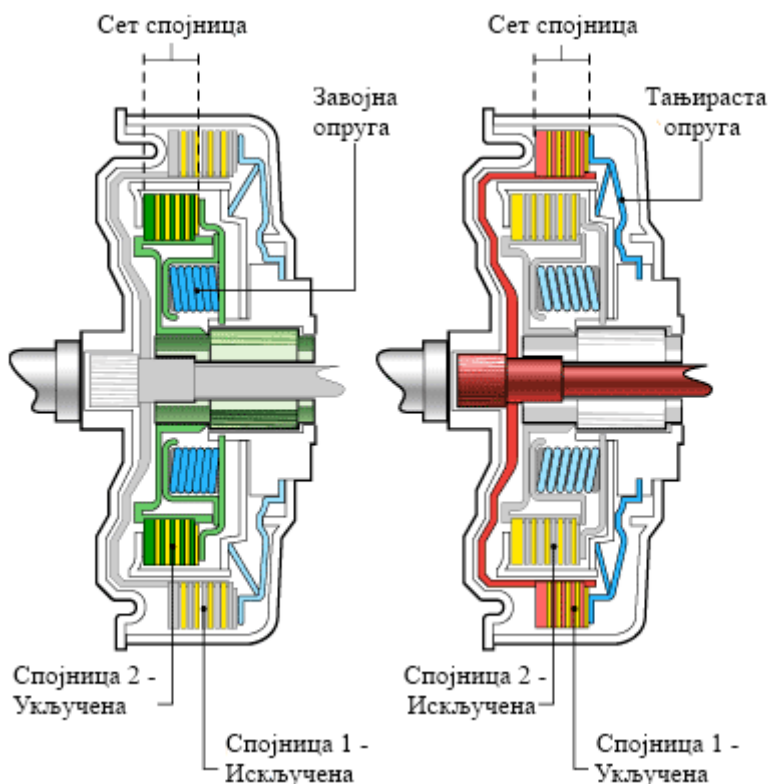


Слика 3.8. а) двострука спојница са подешавањем хабања, б) двострука спојница без подешавања хабања [9]

Пошто суве двоструке спојнице нису хлађене уљем, масе материјала потребне за обезбеђивање потребног топлотног капацитета спојнице доводе до већих инерционих сила, него код мокрог типа. Елиминацијом система подешавања хабања и минимализовањем масе могуће је конструисати варијанту спојнице за мала возила, чији погонски агрегати имају обртне моменте до 150 Nm. Овај тип двоструке спојнице спада у групу двоструких спојница са нижим трошковима израде.

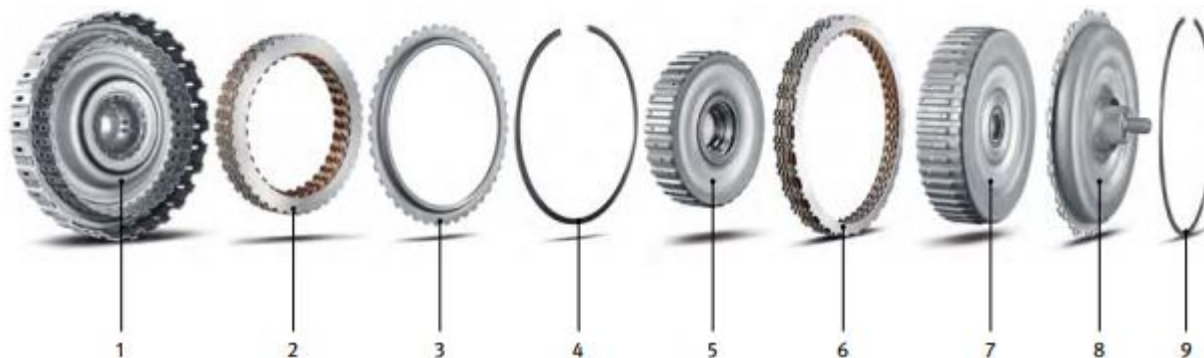
3.3. Двострука спојница са мокрым фрикционим површинама

Конструкција мокре фрикционе спојнице има исти задатак као и двострука сува фрикциона спојница. Њихово активирање се врши дејством притиска хидрауличке течности, а помоћу одговарајућег клипа. На слици 3.9, приказана је мокра спојница са два сета ламеластих дискова, постављених концентрично један изнад других.



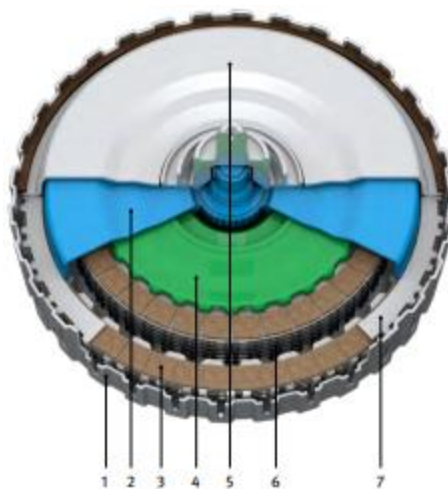
Слика 3.9. Двострука спојница са мокрым фрикционим површинама [10]

На слици 3.10, приказани су елементи двоструке спојнице са мокрым фрикционим површина, а њен начин функционисања је следећи. Обртни момент мотора преноси се са замајца двоструке масе на улазно вратило, главчину погонског диска, преко излазних вратила мењача. Погонски диск је повезан са носачем сета дискова K_1 , а њихова веза осигурана је прстеном (9). Спољашњи носач сета дискова обртни момент мотора преноси на дискове K_1 и K_2 . Спољашњи носач сета дискова K_1 покреће улазно вратило мењача (пуно вратило). По истом принципу, улазно вратило мењача (шупље вратило) покреће унутрашњи носач сета дискова K_2 . На спољашњој страни спојнице постоји више клипова за покретање; они затварају одговарајућу спојницу помоћу притиска уља, а отварају спојницу помоћу опруге када нема притиска уља.



Слика 3.10. Елементи двоструке спојнице са мокрим фрикционим површинама: 1. спољни носач сета, 2. сет дискова K_2 , 3. потпорни прстен, 4. прстен-осигурач, 5. носач сета дискова K_2 , 6. сет спољашњих дискова K_1 , 7. носач сета дискова K_1 , 8. погонски диск са улазним вратилом, 9. прстен-осигурач [8]

Унутар двоструке спојнице налазе се два сета ламеластих дискова. Број и пречник дискова може се разликовати у зависности од обртног момента двоструке спојнице. Дискови су обложени фрикционим материјалом и повезани са спољним или унутрашњим носачима дискова, слика 3.11. Дискови обложени фрикционим материјалом формирају површине на којима настаје трење. Дискови имају једнаке правилне размаке, а уље тече кроз ове жлебове током рада да би се обезбедило хлађење.



Слика 3.11. Двострука спојница са мокрим фрикционим површинама, страна окренута ка мотору: 1. носач сета дискова K_1 , 2. унутрашњи носач дискова K_1 , 3. фрикциони материјал, 4. унутрашњи носач сета дискова K_2 , 5. погонски диск са улазним вратилом, 6. спољашњи носач сета дискова K_2 , 7. челични ламеластички диск [8]

Обе спојнице се могу отворити и затворити независно једна од друге, променом притиска уља. Спојнице се под притиском уља преко главног чворишта активирају помоћу два ротациона прикључка. Један (прстенови слични клипним прстеновима) остварују заптивање између мењача и ротационих спојева. Уље протиче кроз отворе на предњој

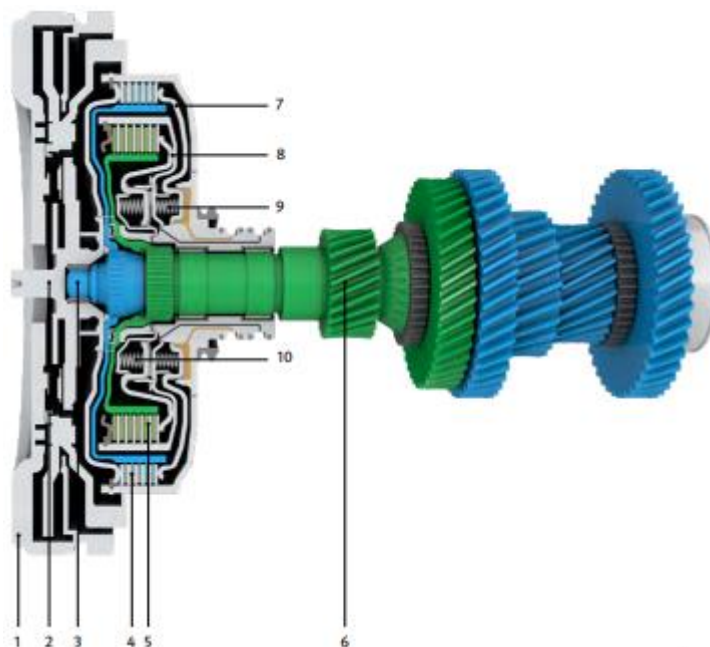
спојнице и тако хлади плоче које су окренуте ка напред, слика 3.12. Вратила мењача покрећу два ваљкаста лежаја преко погонског вратила 2 (шупљег).



Слика 3.12. Двострука спојница са мокрым фрикционим површинама, страна окренута ка мењачу: 1. погонски зупчаник уљне пумпе, 2. радијални заптивач за прикључак сета K_1 , 3. ротациони прикључак сета K_1 , 4. радијални заптивач за прикључак сета K_1 , 5. радијални заптивач за прикључак сета K_2 , 6. ваљкасти лежај улазне осовине, 7. ротациони прикључак сета K_2 , 8. радијални заптивач за прикључак сета K_2 , 9. отвор за хлађење уљем [8]

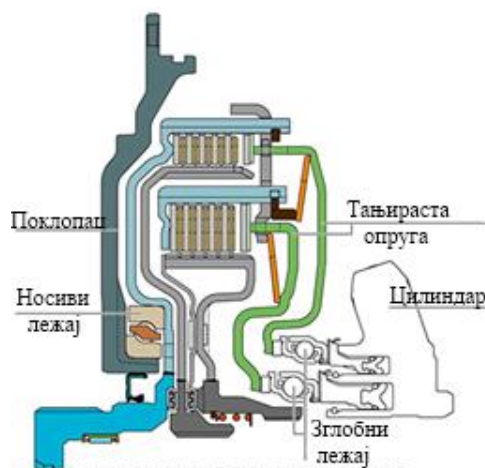
За укључивање 1., 3., 5. и 7. степена преноса, сет спојница K_1 мора бити затворена. Да би се то постигло, електро-хидрауличка управљачка јединица усмерава притисак уља на сет спојница K_1 . Уље пролази кроз канал између носача плоче и клипа за активирање сета K_1 . Као резултат, завојне опруге и сет ламеластих спојница се сабија и врши се затварање. Да би се отворила спојница, притисак уља се мора снизити. Снага напрегнутих опруга сада је већа од силе притиска уља, због чега се клип враћа у почетни положај.

За укључивање 2., 4. и 6. степена преноса, сет спојница K_2 мора бити затворена. Да би се то постигло, електро-хидрауличка управљачка јединица усмерава притисак уља на сет спојница K_2 . Уље пролази кроз канал између носача плоче и клипа за активирање сета K_2 . Као резултат, завојне опруге и сет ламеластих спојница се сажима и врши се затварање. Да би се отворила спојница, притисак уља се мора снизити. Сила напрегнутих опруга сада је већа од силе притиска уља, због чега се клип враћа у почетни положај.



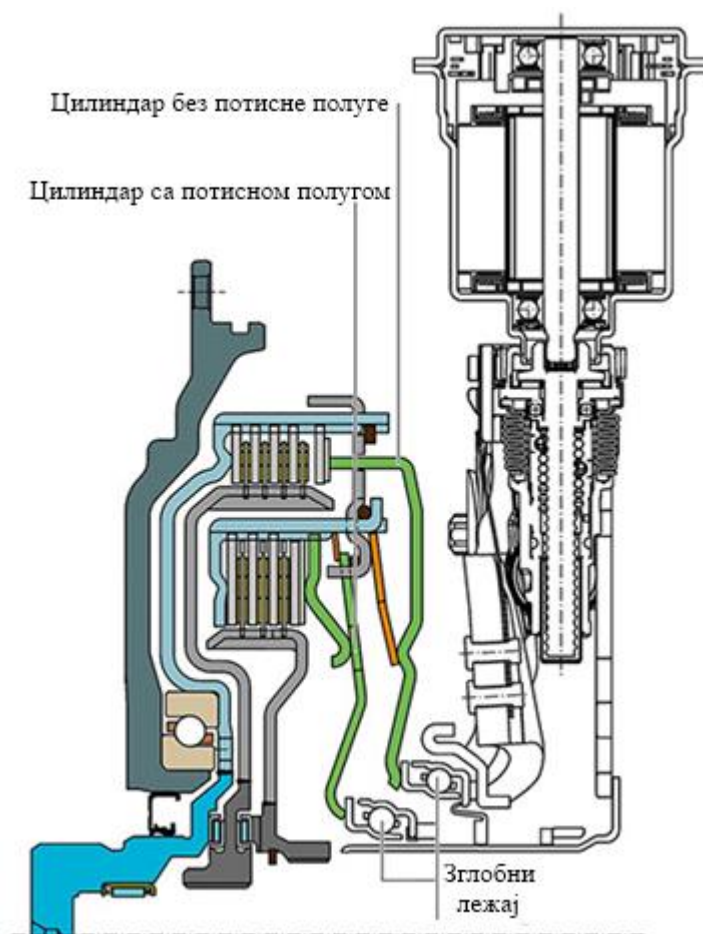
Слика 3.13. Склоп спојнице са мокрим фрикционим површинама и улазних вратила DTC мењачких преносника: 1. замајац са двоструком масом, 2. улазно чвориште, 3. улазно вратило 1 (пуно), 4. спојница K_1 , 5. спојница K_2 , 6. улазно вратило 2 (шупље), 7. клип за активирање спојнице K_1 , 8. клип за активирање спојнице K_2 , 9. опруга за активирање спојнице K_1 , 10. опруга за активирање спојнице K_1 [8]

Двострука спојница приказана на слици 3.14, активира се помоћу зглобних лежајева. Ова врста активирања захтева зглобни лежај који фиксира положај спојнице и преноси на њу одговарајуће силе у радијалном и аксијалном правцу. Активирање спојнице потпомогнуто зглобним лежајевима умањује губитке услед трења у поређењу са хидрауличким спојницама. Овде спојница нема унутрашњи преносни однос и активира се директно, што резултира заузимањем мањег простора у односу на спојнице са активирањем помоћу полуге.



Слика 3.14. Двострука спојница са мокрим фрикционим површинама са зглобним лежајевима [9]

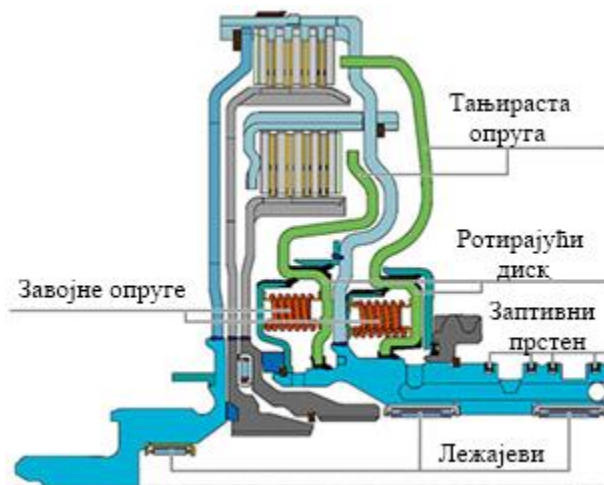
Слика 3.15, приказује двоструку спојницу са мокрым фрикционим површинама са полугом за активирање. Код ове конструкције спојнице могу се и даље користити носиви лежајеви. Мањи пречници дискова дају и мање трење што захтева или додатне дискове или повећану силу активирања. Да би се ограничио број дискова, код унутрашњег сета спојница потребна је потисна полуга како би се постигао већи контактни притисак применом исте силе покретања. То омогућава пренос обртног момента уз обезбеђење малог простора за смештај дискова. И код ове варијанте се активирање остварује помоћу зглобних лежајева. У комбинацији са потисном полугом, ова спојница представља иновативно решење у погледу трошкова и ефикасности.



Слика 3.15. Двострука спојница са мокрым фрикционим површинама са полугом [9]

На слици 3.16, приказано је конструкцијско решење двоструке спојнице са мокрым фрикционим површинама, код којих се активирање врши помоћу завојних опруга и ротирајућих дискова. Ова тип спојнице је посебно погодна за примену у комбинацији са хидрауличким мењачким преносницима. Ово решење омогућава активирање спојнице уз малу примену потисне силе.

У овом случају покретање спојнице се не врши механичким путем, већ се хидрауличким путем, притиском уља, врши активирање ротирајућих дискова. Пренос притиска уља кроз клизни заптивни прстен је склон пропуштању, па се стварају губици трења у зависности од притиска. Међутим, директно активирање спојница трењем преко притисног диска – опруге резултира кратким ходом активирања. Потребна повратна сила спојница обезбеђена је унутрашњим склопом завојне опруге под притиском [1].

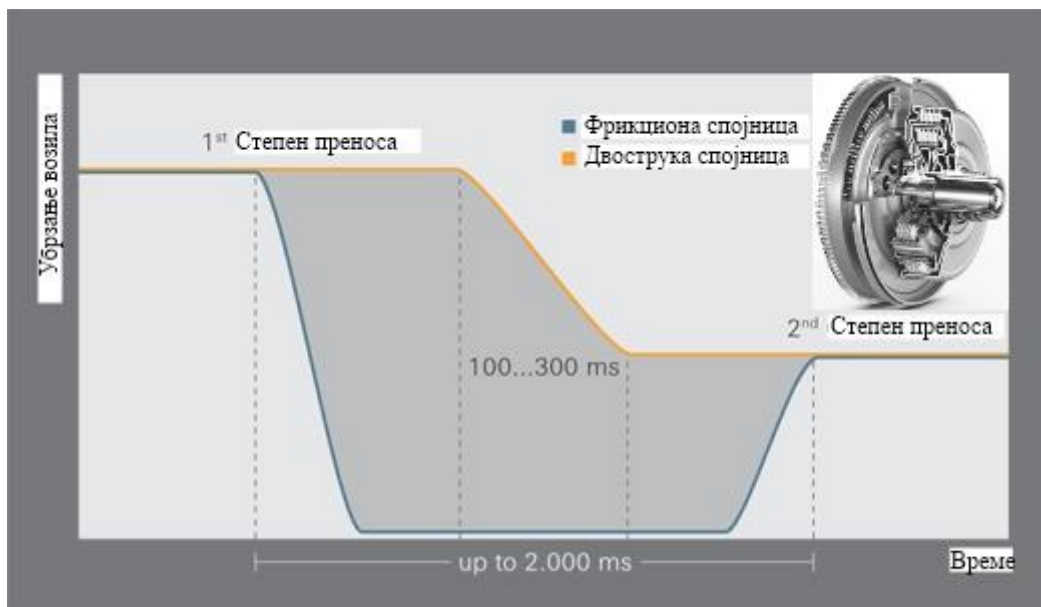


Слика 3.16. Двострука спојница са мокрым фрикционим површинама са завојним опругама ротирајућим дисковима [9]

Главна предност мокрых двоструких спојница је у томе што се два степена преноса могу истовремено активирати. Двоструке спојнице имају краће време промене степена преноса од стандардних спојница. Перформансе које дуалне спојнице обезбеђују моторним возилима, путничким аутомобилима, је врло разноврсна од изузетно спортске до врло удобне. Промена степена преноса креће се у распону од 100 m/s до 300 m/s, слика 3.17. Код двоструких спојница нема губитака возних карактеристика током промена степена преноса, што чини читав погонски систем ефикаснијим [9].

Предности двоструких спојница са мокрым фрикционим површинама [9]:

- обртни момент износи од 350 до 750 Nm, а највећи обртни момент до 1000 Nm,
- веома висока отпорност на топлоту,
- заузимају мањи простор,
- стабилност при великим брзинама,
- низак обртни момент трења,
- обезбеђују добру динамику вожње,
- смањују потрошњу горива.



Слика 3.17. Дијаграм промене степена преноса код двоструких спојница са мокрим фрикционим дисковима [11]

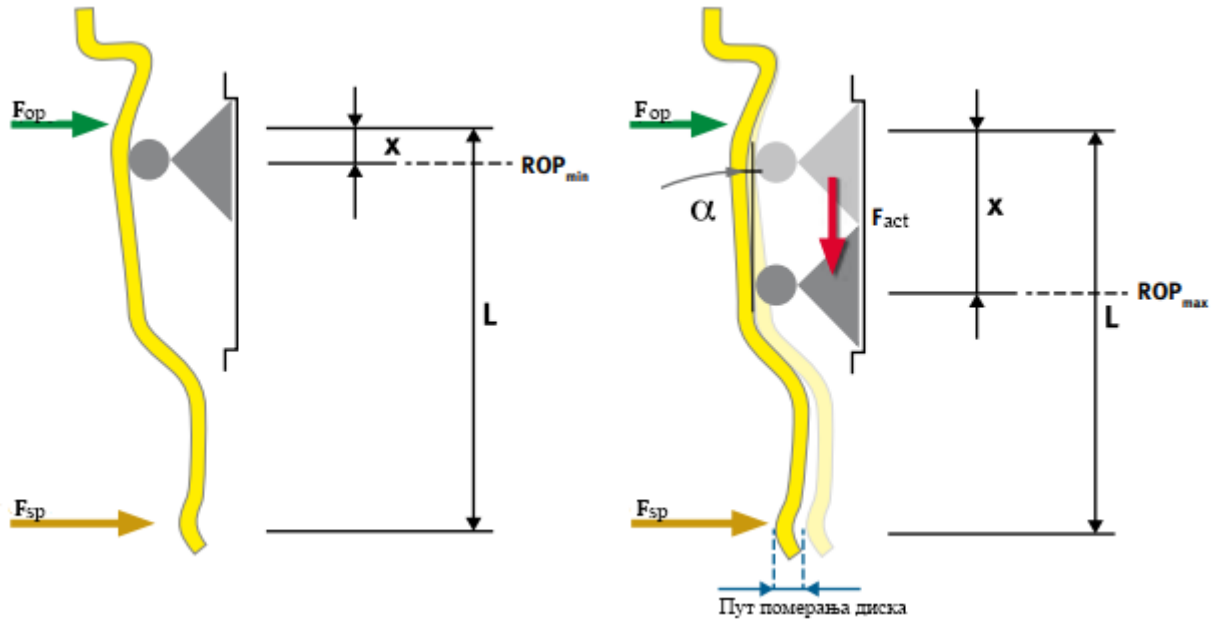
3.4. Принцип рада и конструкцијска решења двоструких спојница и мењачких преносника

Конструкцијом двоструких спојница и мењачких преносника са два вратила значајно је смањено време потребно за промену степена преноса. Сама конструкција мењача подсећа на хидро-механички мењачки преносник, па је тако доста сложена и великих габарита. Ипак, сама маса мењачког преносника не представља проблем, јер се за конструкцију склопа користе лаки материјали.

Код савремених конструкција двоструких спојница сервомотор мења централну тачку лежишта полуге за причвршћивање фрикционог диска. Промена момента на полузи врши се помоћу кугличних ваљака. То утиче на ефективни момент полуга који се непрекидно мења током процеса промене степена преноса. Клизач – ваљак се креће према улазном вратилу током процеса укључивања, слика 3.18. Повратна опруга се сабија због нагиба (радног угла) полуге за учвршћивање и тако делује као акумулатор енергије. Сила на лежају за активирање се повећава, али због неповољног односа на полузи још није довољна за затварање спојнице.

Даљим померањем клизача још више енергије се акумулира у повратној опрузи, до тачке у којој је момент полуге заједно са силом повратне опруге довољан за затварање спојнице. Интелигентна употреба „принципа полуге“ доводи до готово константног нивоа силе којом делује сервомотор. Ово омогућава значајно смањење величине сервомотора. Због

малог утrophка енергије и универзално применљивог механизма, овај систем нашао је примену код већине модела двоструких спојница са сувим фрикционим површинама.



Слика 3.18. Математички модел активирања спојнице: F_{sp} – сила којом делује диск спојнице, F_{op} – сила којом делује опруга, F_{act} – сила покретача (актуатора) [8]

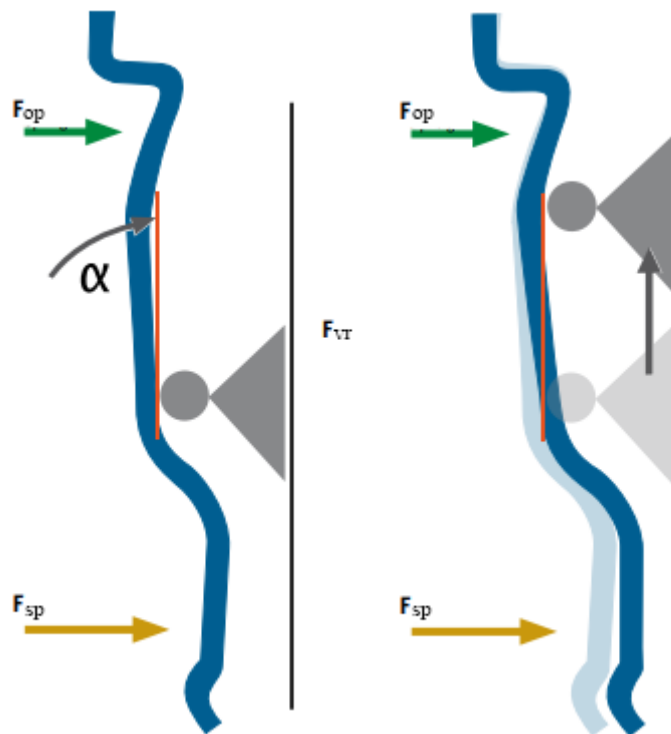
Сила преднапрезања потисне опруге (F_{op}) у повратној опрузи и крак силе (нормално растојање између ослоња полуге и правца силе F) ($x/(L - x)$) који настају из положаја (x) на ваљцима одређују силу захватања спојнице (F_{sp}):

$$F_{sp} = F_{op} \cdot \frac{x}{L - x} \quad (3.1)$$

Да би се спојница укључила, клизачи (ваљци) се морају померити до крајње тачке, односно до положаја (ROP_{max}). Сила покретача – актуатора (F_{act}) добија се из равнотеже између опруге и силе спојнице, тј. померене у односу на радни угао (α):

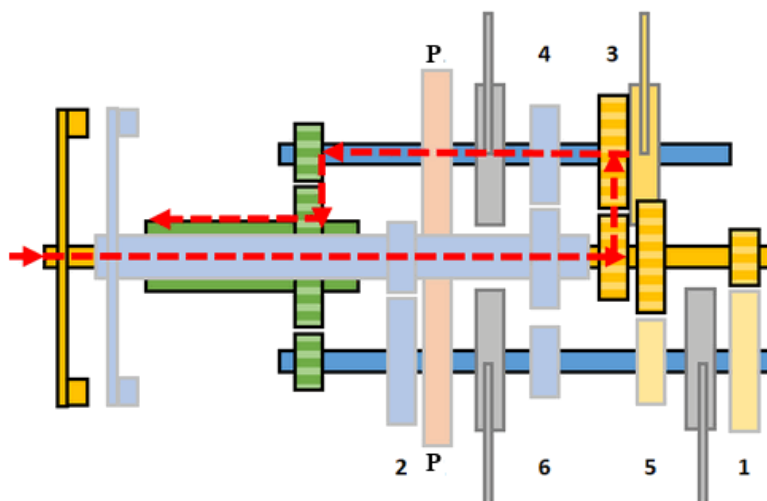
$$F_{act} = (F_{sp} + F_{op}) \cdot \alpha \quad (3.2)$$

За разлику од мануелних мењачких преносника, дуалне спојнице стално су у активном стању. У случају отказа, систем за укључивање може остати у нераздвојеном, активном стању. Возило се тада више не би могло покренути, јер зупчаници остају у одређеном степену преноса. Како би се то спречило, покретачи полуге се конструишу тако да са сервомотором и уз помоћ силе повратне опруге, аутоматски врате у неутралан положај, чиме се спојница отвара, слика 3.19. На овај начин возило се и даље може покренути у хитним случајевима, чак и када остане у одређеном степену преноса.



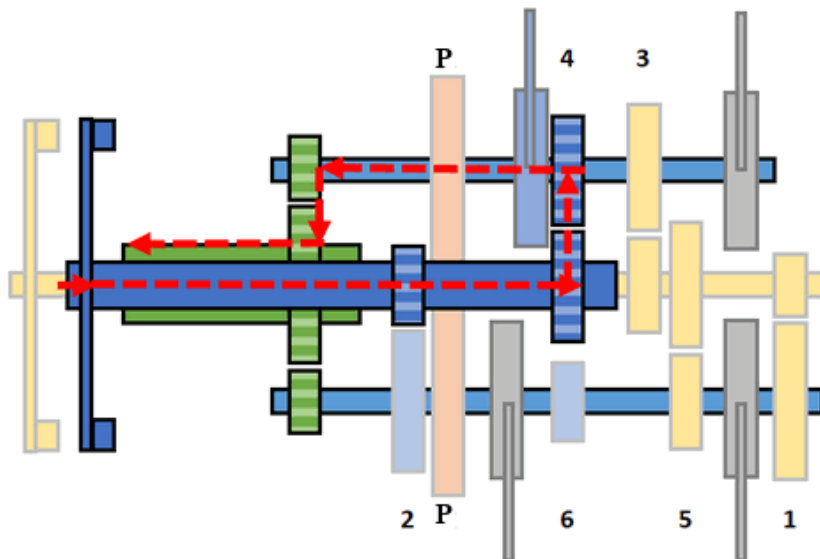
Слика 3.19. Математички модел искључивања спојнице: F_{sp} – сила којом делује диск спојнице, F_{op} – сила којом делује опруга, F_{vr} – сила вретена [8]

На слици 3.20, приказан је пренос снаге и обртног момента са мотора на мењачки преносник са прве спојнице преко унутрашњег „пуног“ вратила. У том тренутку се преко диска спојнице 1, обртни момент мотора преноси преко унутрашњег вратила на зупчасти пар 3, односно возило се креће у трећем степену преноса.



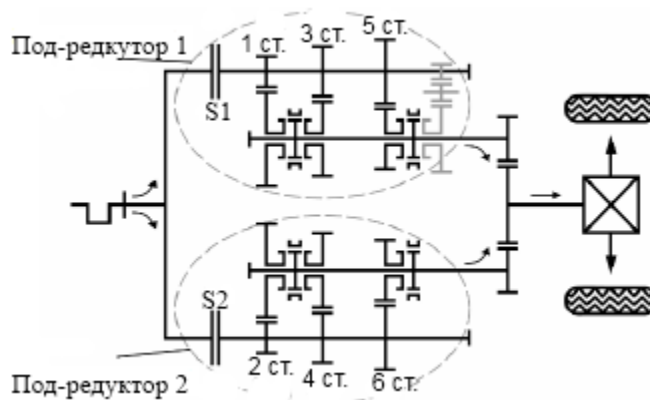
Слика 3.20. Пренос обртног момента преко унутрашњег „пуног“ вратила DCT мењачког преносника – 3. степен преноса [12]

На слици 3.21, приказан је пренос снаге и обртног момента са мотора на мењачки преносник са друге спојнице преко спољашњег „шупљег“ вратила. У том тренутку се преко диска спојнице 2, обртни момент мотора преноси преко унутрашњег вратила на зупчасти пар 4, односно возило се креће у четвртом степену преноса.



Слика 3.21. Пренос обртног момента преко спољашњег „шупљег“ вратила DCT мењачког преносника – 4. степен преноса [12]

На слици 3.22, приказана је шема повезивања Volkswagen DSG мењачког преносника. Ипак, у реалној конструкцији мењач се састоји из два под-редуктора са парним и непарним степенима преноса који су смештени један до другог, ради уштеде простора. Овај начин повезивања је могућ, јер је једно од улазних вратила шупље.

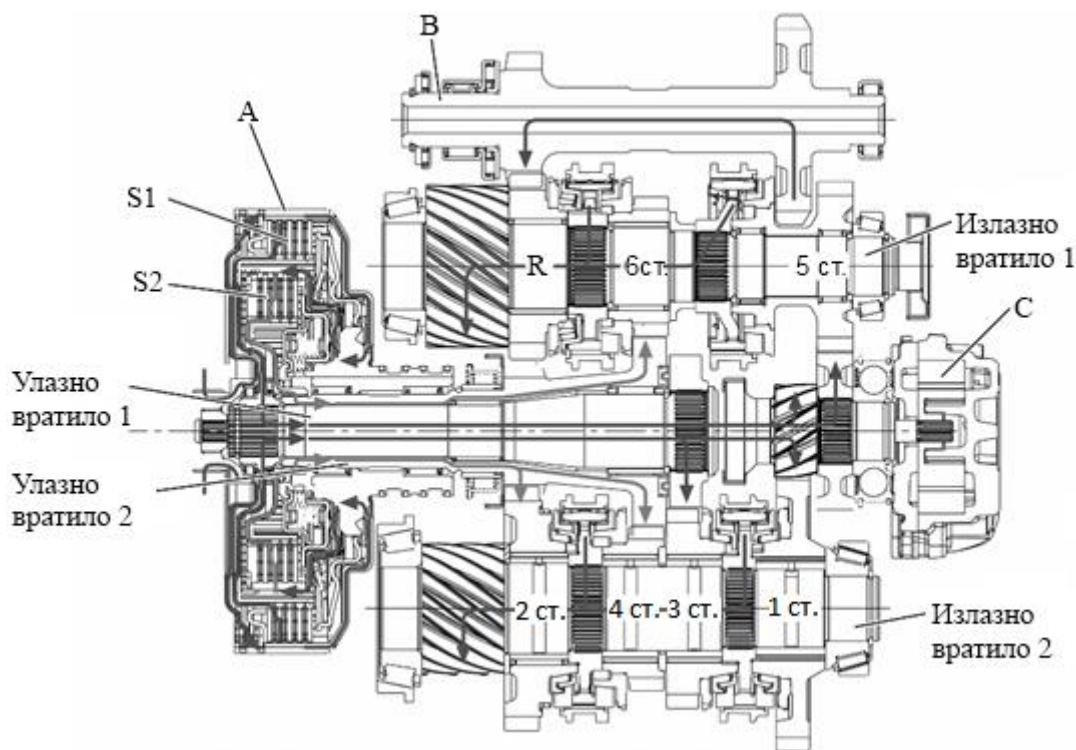


Слика 3.22. Шема трансмисије са мењачким преносником са дуплом спојницом [13]

Основа функционисања DCT мењача биће објашњена на примеру промене степена преноса из другог у трећи. Када је потребна промена степена преноса из нижег у виши степен пренос, односно из тренутно ангажованог другог у трећи, зупчаник трећег степена

преноса се спаја са слободним под-редуктором 1. Процес синхронизације одговарајућег степена преноса није приметан возачу. У процесу преклапања спојнице S_1 и одвајања спојнице S_2 , ток преноса снаге се не прекида. Када спојница S_1 преузме део момента, други зупчаник се одваја од под-редуктора 2, који је сада слободан.

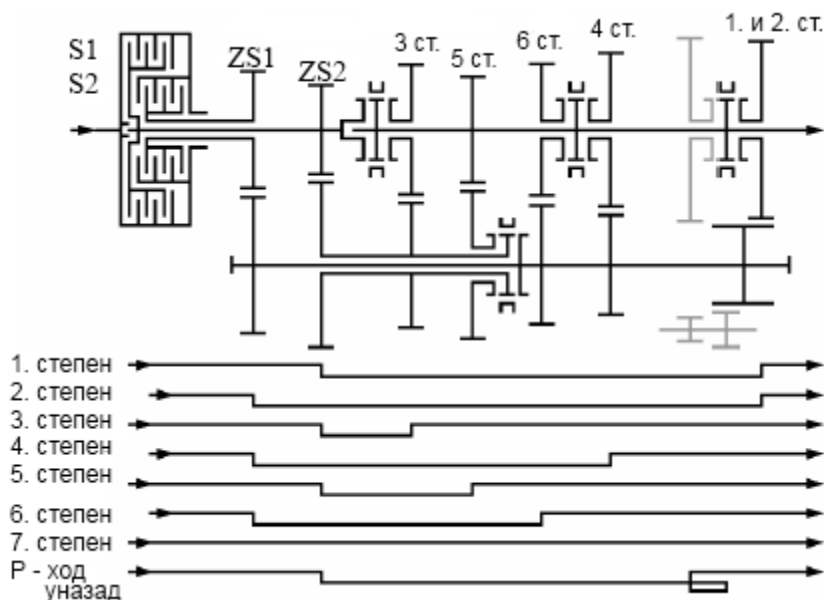
Прва конструкција овог типа мењачког преносника – DSG, слика 3.23 има шест степени преноса. Први, трећи и пети степен преноса су упарени са првом спојницом, док су други, четврти и шести упарени са другом спојницом, чиме је добијен систем симетричног типа. Када је мењач позициониран у првом степену преноса (вратило са зупчаницима 1-3-5 је у директној вези са мотором), односно друга спојница и вратило су, такође, активни омогућавајући ротацију зупчаника 2 и тако практично припремају систем за прелаз у виши степен преноса. Конструкција мењачког преносника са дуплом спојницом поседује и велики број сензора и микропроцесора који омогућавају припрему промене степена преноса. Промена степена преноса одвија се у милисекундама (ms), па тако да при наглom кочењу систем реагује и аутоматски враћа у нижи, тј. одговарајући степен преноса (нпр. из 5. у 2. степен преноса). Захваљујући принципу дупле спојнице постиже се изузетно кратак временски интервал потребан за прелаз из једног у други степен преноса.



Слика 3.23. DSG мењачки преносник произвођача Volkswagen: A – сет спојница (S_1 – спојница 1, S_2 – спојница 2), B – помоћна осовина, C – пумпа за уље, R – зупчаник/ход уназад [13]

На слици 3.24, приказана је шема седмостепеног DCT мењача. Настао као ефикаснија замена за постојећи 6-степени DCT мењач, који је у понуди у већини VW модела возила.

Нови седмостепени DCT мењач комбинује предности мануелног и аутоматског мењача истовремено нудећи бржи пренос обртног момента. У току развојног процеса инжењери су имали за циљ смањење потрошње горива за 5% и побољшање убрзања у односу на постојећи 6-степен DCT мењач. Једно од кључних подручја у развоју DCT мењача су смањење буке и вибрација што су постигли са спољним носачем мењача, што омогућава глатку промену степена преноса без трзаја. Овај модел мењача (са датим димензијама и компонентама) може да пренесе до 125 kW и 250 Nm. Уз помоћ седмог степена преноса, DCT мењач, може коришћењем јако кратког првог степена преноса да смањи време потребно за убрзање аутомобила. С друге стране, седми степен преноса је продужен, како би се постигла ниска потрошња приликом вожње на отвореном путу.



Слика 3.24. Шематски приказ седмостепеног DCT мењача: S_1 – спојница 1, S_2 – спојница 2, ZS_1 – зупчаник вратила 1 и спојнице 1, ZS_2 – зупчаник вратила 2 и спојнице 2 [13]

Зупчаници као најважнија компонента преносног система имају улогу да пренесу велики обртни момент од мотора ка излазном вратилу, као и да би се превазишао отпор током стартовања, и ако се ради о малом броју обртаја. Када мотор ради на великом броју обртаја, возилу није потребан велики обртни момент због момента инерције.

Механизам за контролу брзине и обртног момента према условима на путу врши контролу брзине возила одржавањем одговарајућег степена преноса. Основни однос коришћен за пројектовање зупчаника и одржавање одговарајућег преносног односа дат је изразом [14]:

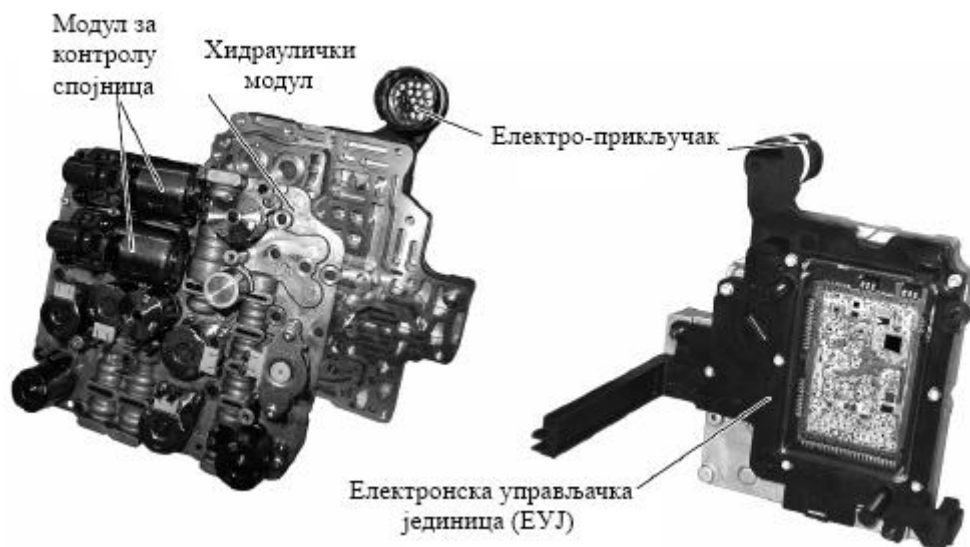
$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{T_1}{T_2} \quad (3.3)$$

где су N_1 и N_2 број обртаја гоњеног и погонског зупчаника, а T_1 и T_2 је број зуба на гоњеном и погонском зупчанику.

Гоњени зупчаници се код појединих степени преноса пројектују са мањим бројем зубаца у односу на погонске зупчанике, како би однос T_1/T_2 био мањи од 1. Овакав преносни однос се пројектује како би се постигао одређени број обртаја, односно брзина на погонским точковима.

Код савремених конструкција примењује се мехатронички модул, слика 3.25. Углавном на предњем делу мењача и има улогу регулатора. Овај систем комбинује хидраулички модул (1), модул за контролу спојница (хидраулички вентили), као и електронске управљачке јединице и сензора. Ова управљачка јединица DCT мењачких преносника се повезује са једносмерном струјом електро-система возила.

Мехатронички модул има задатак да контролише промену степена преноса и врши припрему за промену у наредни, виши или нижи степен преноса. Сензори модула детектују положај актуатора зупчаника и на тај начин припремају промену преносног односа, такође, поједини сензори контролишу и температуру уља мењачког преносника. Битне компоненте мехатроничког модула, зависно од конструкције мењачког преносника су модулатор хлађења уља, актуатори за покретање зупчаника дуж осе вратила (тип синхро-спојнице) и др.



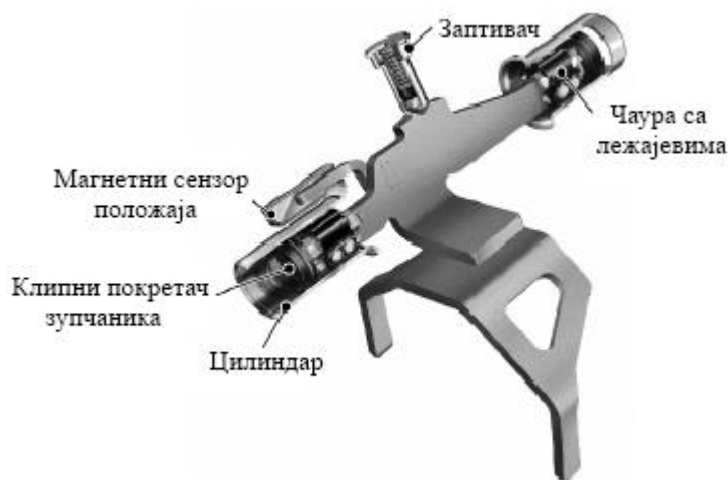
Слика 3.25. Мехатронички модул DCT мењачког преносника [15]

Уређај има 12 сензора, а хидрауличким путем управља или регулише осам покретача зупчаника. Путем шест вентилационих модулатора притиска и пет селекторских вентила, такође, контролише притисак и проток расхладног уља сета DTC спојница. Код DTC мењачких преносника јављају се температуре од -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$ и механичке вибрације до 33 g. Овај систем спречава пораст температуре уља изнад 135°C помоћу хладњака за уље. Упаривање зупчаника се остварује преко селекторских „виљушки“ на исти начин као

и код мануелних мењача. Свака виљушка врши промену два степена преноса. Виљушке се активирају хидраулички на редуктору са директним помаком.

Један од сензора који се може наћи у кућишту мењачког преносника јесте бројач броја обртаја на улазном вратилу. Такође, ту је и сензор који мери температуру уља на излазу из двоструке спојнице мокрог типа. Овај сензор мери радну температуру уља у температурном опсегу од $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ту су и помоћни сензори који прате евентуалне губитке снаге и радних течности, па у случају губитка радне течности систем прелази у режим самозаштите. Поред наведених сензора, у мењачком преноснику се још налази и магнетни вентил унутар јединице мехатронике који контролише активирање свих степени преноса.

Како би се постигла брза промена степена преноса и висока удобност управљања возилом, односно промена степена преноса без наглих трзаја, као и код мануелних мењача, користи се „виљушка“ мењачког преносника за одређене степене преноса. Изводе се са мањим хидрауличким елементима, као и актуаторима и сензорима који прате параметре и дају сигнал модулу када је потребно извршити промену степена преноса, слика 3.26.



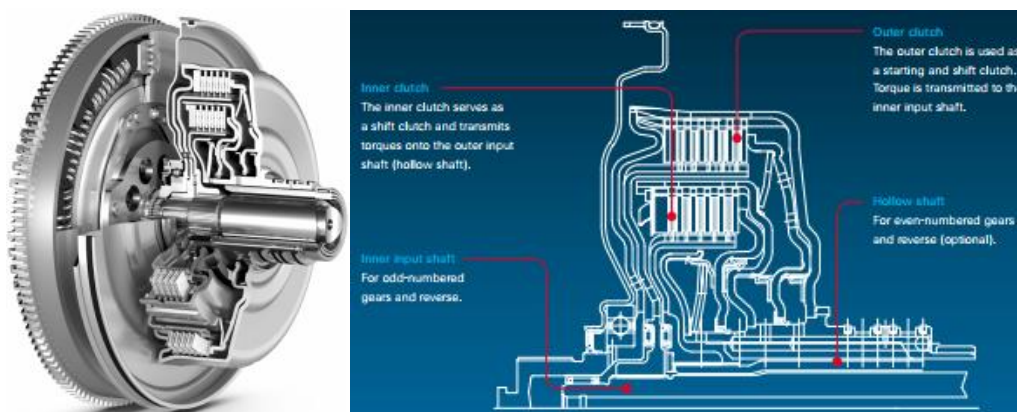
Слика 3.26. Виљушка са чаурама за промену 1. и 3. степена преноса [15]

4. Примена двоструких спојница на савременим моторним возилима

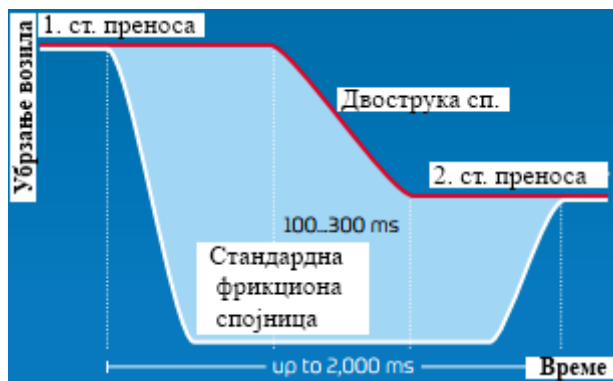
Рад на развоју погонског система моторног возила има за циљ да побољша пренос снаге и да смањи губитак колико год је то могуће. Важни критеријуми при конструисању система преноса снаге укључују нижу потрошњу горива у комбинацији са побољшаном удобношћу и динамиком вожње. Двострука спојница код савремених возила за пренос обртног момента, показала се као одлично решење за постизање наведеног. Два, међусобно, повезана вратила која се закључавају, а која су повезана са две одвојене спојнице, омогућавају промену степена преноса без прекида обртног момента.

4.1. Двострука спојница ZF ND2015 и ZF ND2216

Код савремених двоструких спојница цео процес промене степена преноса траје само неколико стотих делова секунди, без прекида обртног момента и уз минималан губитак снаге. Код ZF модела спојница, посебно ZF ND2015 и ZF ND2216, слика 4.1, развијена је електронска управљачка јединица, која регулише систем рада двоструке спојнице и процес промене степена преноса. Управљачка јединица прати све релевантне параметре, као што су брзина возила, број обртаја и степен преноса, те прилагођава промену зависно од ситуације у вожњи. Двоструке спојнице имају краће време одзива од стандардних спојница. Брзина промене код дуалних спојница је променљива и може бити у распону од 100 ms до 300 ms, слика 4.2. Њихова примена се креће од спортских модела возила, до возила високе класе. Код двоструких спојница нема смањења перформанси возила током промене степена преноса, као што се догађа код класичних фрикционих спојница, што чини погонски склоп ефикаснијим. У табели 4.1, дате су техничке карактеристике за двоструке спојнице ZF ND2015 и ZF ND2216.



Слика 4.1. Двострука спојница ZF ND2015 [16]



Слика 4.2. Дијаграм промене степена преноса код двоструких спојнице ZF ND2015 [16]

Табела 4.1. Техничке карактеристике спојница ZF ND2015 и ZF ND2216 [16]					
Модел	Обртни момент [Nm]	Пречник [mm]	Маса [kg]	Момент инерције [kgm ²]	Уградња
ZF ND2015	350÷750	250	11.7	0,0579	предњи погон задњи погон
ZF ND2216	500÷1000	270	13	0,0820	предњи погон задњи погон

4.2. Двострука спојница са сувим фрикционим површинама (*Ford DPS6, Hyundai-Kia D6GF1, Renault DC0/DC4 и Smart H-DCT*)

Светски реномирани произвођачи путничких возила *Ford, Hyundai, Kia, Renault* и *Smart*, код појединих модела примењују систем двоструких спојница. Двострука спојница која се упарује са мењачким преносницима *Ford DPS6, Hyundai-Kia D6GF1, Renault DC0/DC4*, и *Smart H-DCT* се састоји од три главне компоненте: механизма за двоструки обртни момент, два фрикциона диска и система забрављивања са покретачким полугама. Управљачка јединица за контролу преноса снаге, која се налази на спољној страни кућишта преносника, управља са два сервомотора. Они активирају покретачке полуге и доводе до наизменичног затварања и отварања спојница. На слици 4.3, приказане су основне компоненте двоструке спојнице са сувим фрикционим површинама (*Ford DPS6, Hyundai-Kia D6GF1, Renault DC0/DC4 и Smart H-DCT*).

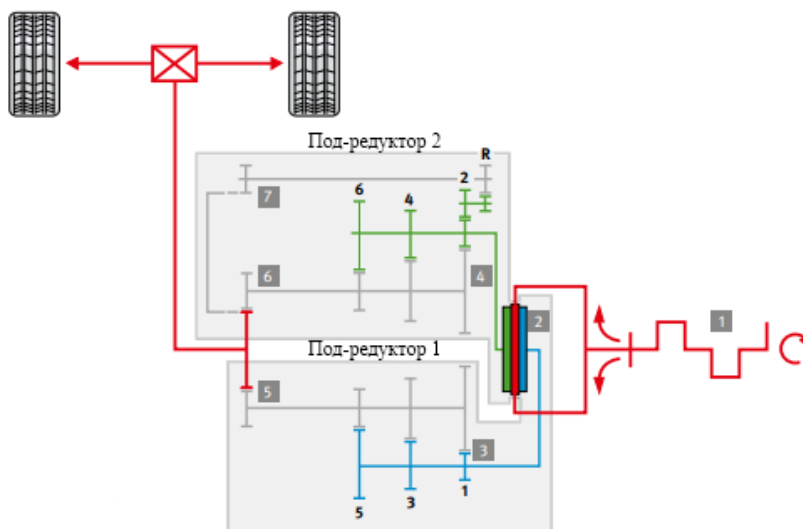
У режиму вожње, електронска јединица за контролу преноса снаге код овог типа спојнице процењује, између осталог, следеће информације:

- улазни број обртаја,
- брзину возила,
- избор зупчаника,
- положај папучице за гас и
- информације о папучици кочнице.



Слика 4.3. Двострука спојница са сувим фрикционим површинама (Ford DPS6, Hyundai-Kia D6GF1, Renault DC0/DC4 и Smart H-DCT): 1. замајац са двоструком масом, 2. двострука спојница, 3. водећа чаура са причврсним лежајем, 4. покретачка полуга са сервомоторима [8]

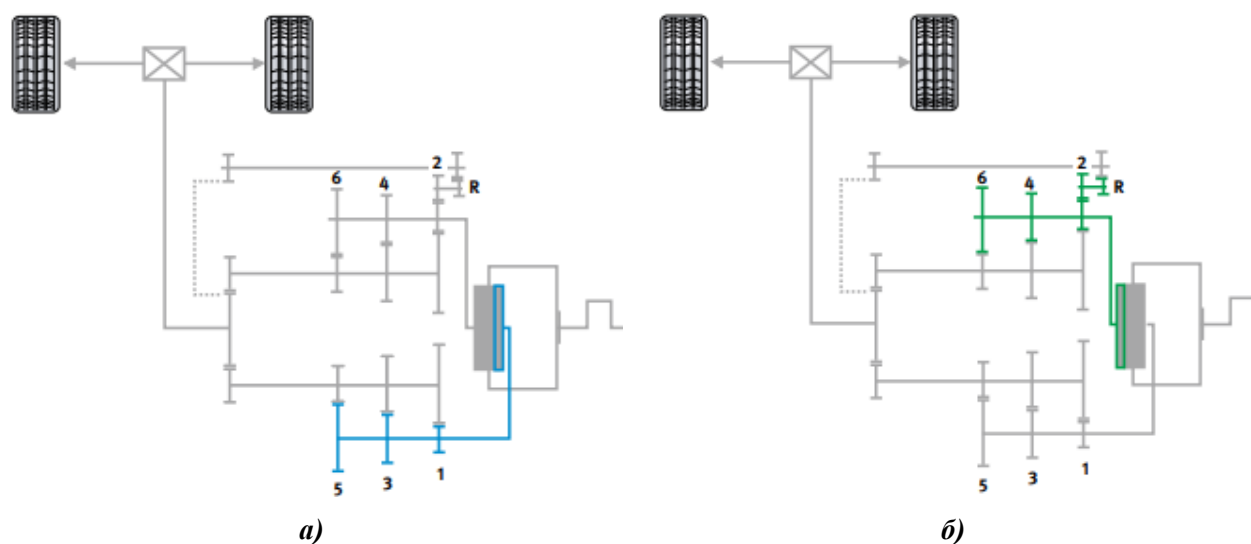
На слици 4.4, шематски је приказан DTC мењачки преносник са расподелом снаге преко спојнице (Ford DPS6, Hyundai-Kia D6GF1, Renault DC0/DC4 и Smart H-DCT). Једна спојница је увек затворена у режиму вожње што значи да је један под-редуктор увек повезан са излазним вратилом мотора.



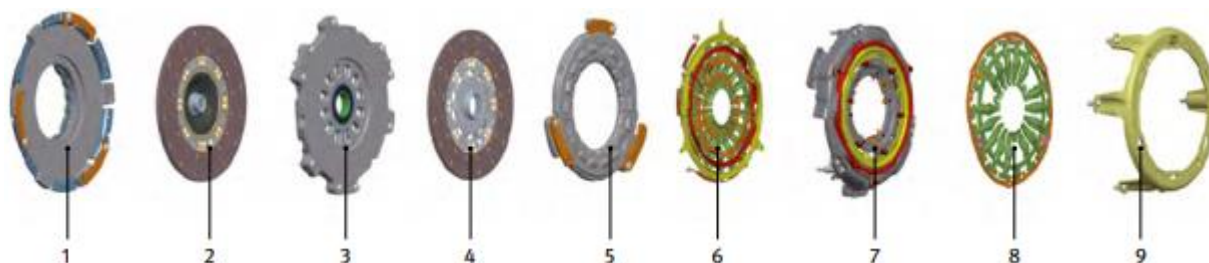
Слика 4.4. Шематски приказ DTC мењачког преносник са расподелом санге преко двоструке спојнице (Ford DPS6, Hyundai-Kia D6GF1, Renault DC0/DC4 и Smart H-DCT): 1. коленасто вратило, 2. двострука спојница, 3. улазно вратило мењача 1, 4. улазно вратило мењача 2, 5. излазно вратило 1, 6. излазно вратило 2, 7. излазно вратило 3 (ход уназад) [8]

Друга спојница, повезана са другим под-редуктором, остаје отворена и преко ње се не преноси обртни момент. За време промене степена преноса једна спојница се отвара, а друга се затвара. Обртни момент се затим преноси преко изабраног степена преноса. Ово значи да је могуће возити готово без прекида тока снаге.

Сваки под-редуктор код преноса са двоструком спојницом конструисан је као и код мануелног мењачког преносника. По једна спојница повезана је са једним под-редуктором. Обе спојнице су смештене на међусобно повезана вратила мењача, спољном „шупљем“ вратилу и унутрашњем „пуном“ вратилу. Зупчasti парови 1, 3 и 5 се активирају од стране прве спојнице, слика 4.5а. Зупчasti парови 2, 4, 6 и ход уназад активира спојница 2, а обртни момент се преноси на шупље вратило. На слици 4.6, приказани су елементи двоструке спојнице (*Ford DPS6*, *Hyundai-Kia D6GF1*, *Renault DC0/DC4* и *Smart H-DCT*).

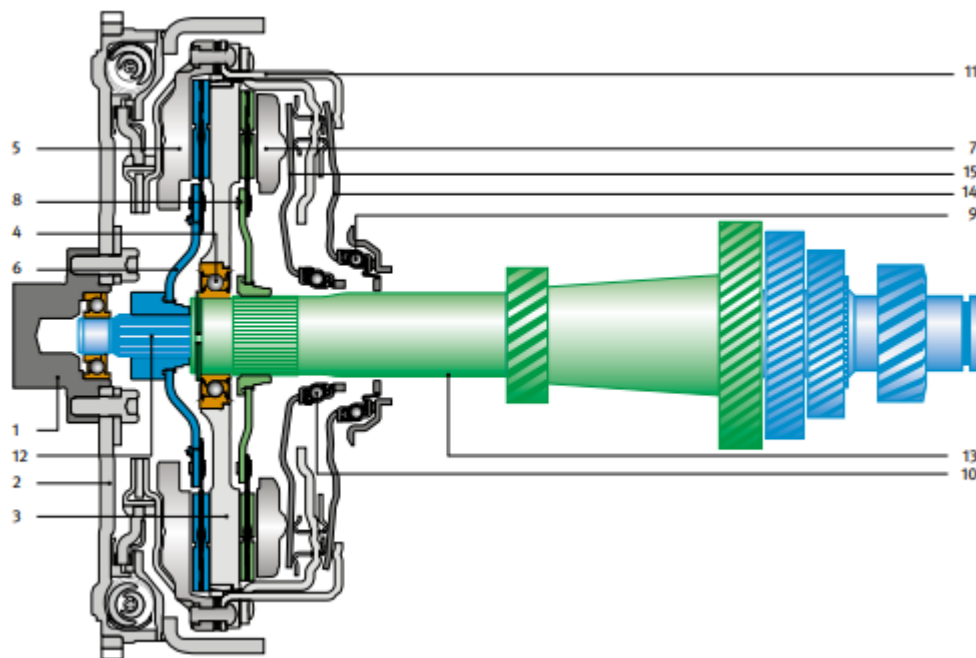


Слика 4.5. Шема активирања спојнице 1 и 2 код 6-степеног мењачког преносника (*Ford DPS6*, *Hyundai-Kia D6GF1*, *Renault DC0/DC4* и *Smart H-DCT*) [8]



Слика 4.6. Елементи двоструке спојнице (*Ford DPS6*, *Hyundai-Kia D6GF1*, *Renault DC0/DC4* и *Smart H-DCT*): 1. погонски прстен са потисном плочом, 2. фрикциони диск 1, 3. средишња плоча, 4. фрикциони диск 2, 5. потисна плоча, 6. тањираста опруга са механизмом за подешавање фрикционог диска 2, 7. корпа спојнице са механизмом за подешавање фрикционог диска 1, 8. тањираста опруга, 9. зауставни прстен [8]

Средишња плоча, слика 4.6 позиција 3, са своје две фрикционе површине чини језгро спојнице. Причвршћена је на шупље вратило помоћу носећег лежаја. Диск спојнице и одговарајућа потисна плоча постављени су са обе стране централне плоче. На слици 4.7, приказан је попречни пресек двоструке спојнице DCT мењачког преносника (Ford DPS6, Hyundai-Kia D6GF1, Renault DC0/DC4 и Smart H-DCT).

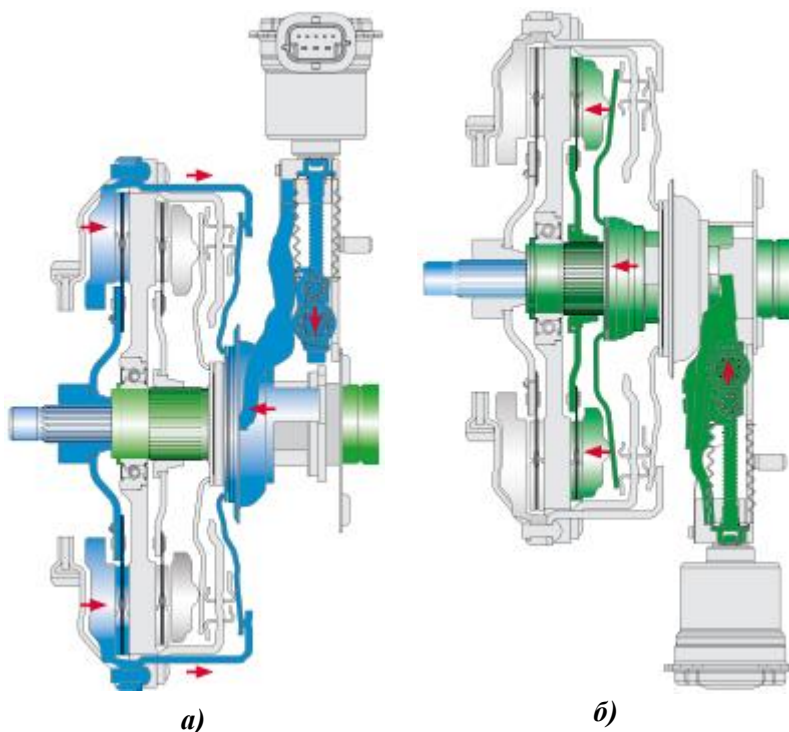


Слика 4.7. Попречни пресек двоструке спојнице DCT мењачког преносника (Ford DPS6, Hyundai-Kia D6GF1, Renault DC0/DC4 и Smart H-DCT): 1. коленасто вратило мотора, 2. замајац са двоструком масом, 3. средишња плоча, 4. ослонац/лежај, 5. потисна плоча 1, 6. фрикциони диск 1, 7. потисна плоча 2, 8. фрикциони диск 2, 9. зглобни лежај 1, 10. зглобни лежај 2, 11. сигурносни прстен, 13. улазно вратило мењача 1 (пуно), 13. улазно вратило мењача 2 (шупље), 13. спона, 14. тањираста опруга 1, 15. тањираста опруга 2 [8]

Приликом вожње у 1., 3. или 5. степену преноса, сервомотор спојнице 1 се активира електрично. То узрокује да се полука за причвршћивање са широким отвором виљушке и великим зглобним носачем помиче према двострукој спојници. Спољашња опруга полуге преноси ово кретање на сигурносни прстен и преноси силу потиска на плочу – тањирасту опругу. Као резултат, тањираста опруга спојнице 1 се повлачи према централној плочи, затварајући спојницу. Диск спојнице затим преноси обртни момент мотора на улазну осовину мењачког преносника – пуну, слика 4.8а.

Ако се за вожњу користи неки од зупчастих парова 2, 4, 6 или ход уназад, сервомотор спојнице 1 се активира електрично и активира полуку за укључивање. Унутрашња опруга полуге активира се помоћу потисног лежаја. Он под притиском помера тањирасту опругу према централној плочи и тада се остварује веза са фрикционим диском спојнице. Обртни

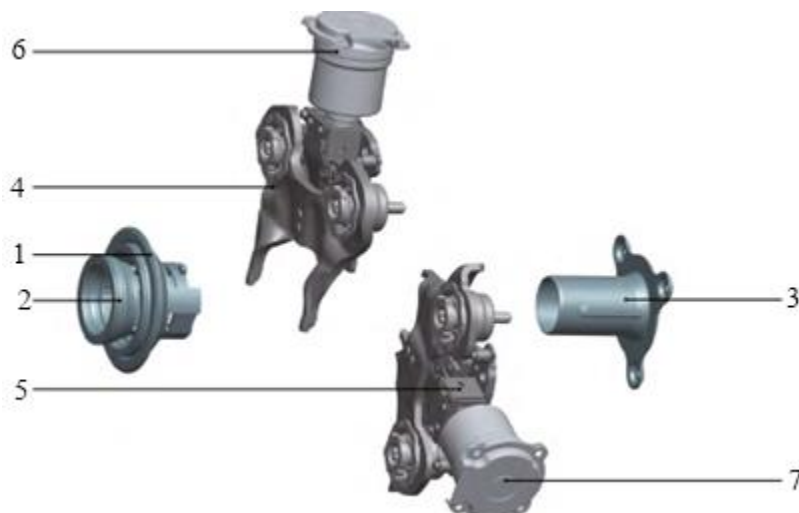
момент мотора преноси се на унутрашње шупље вратило, а у исто време отвара се спојница 1, слика 4.8б.



Слика 4.8. Процес активирања фрикционих дискова двоструке спојнице: а) активирање спојнице 1 (1., 3. и 5. степен преноса), б) активирање спојнице 2 (2., 4. и 6. степен преноса и ход уназад) [8]

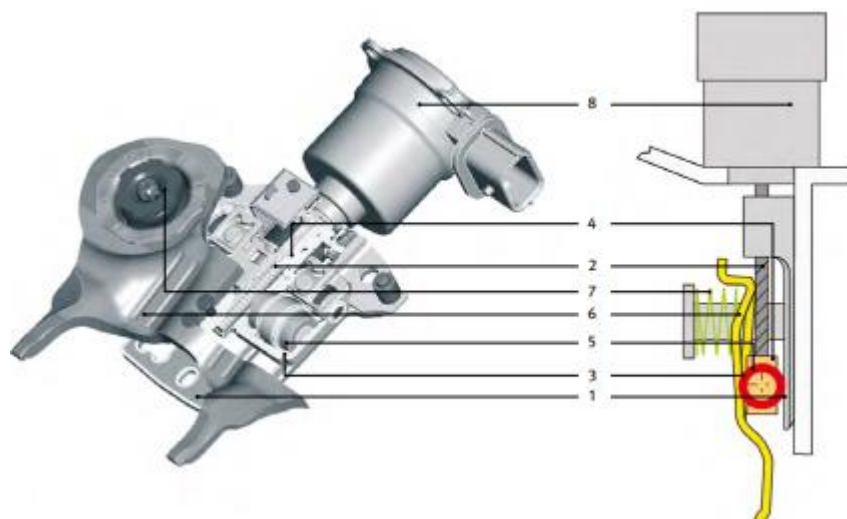
Код мануелних мењачких преносника са једноструком спојницом, спојница се затвара приликом рада у празном ходу. Отвара се притиском на папучицу спојнице, чиме се искључује пренос снаге. То се дешава преко „система ослобађања“. Супротно томе, спојнице у овом систему двоструких спојнице се отварају када су у празном ходу нормално отворена. Затварају се када се активира полуга за причвршћивање, па се стога ово назива системом ангажовања, односно активирања.

Систем за активирање спојница се покреће електро-системом и састоји се од два лежаја са причврсном прирубницом K_1 и K_2 (1 и 2), водеће чауре (3) и две покретачке полуге (4 и 5). Те компоненте су смештене у кућишту преноса, док су два сервомотора (6 и 7) постављена споља. Повезани су на одговарајући покретач полуге путем вретена и оба раде идентично, али су отвори виљушке на причврсним полугама различити.



Слика 4.9. Покретачи полуге: 1. котрљајни лежај са прирубницом K_1 , 2. котрљајни лежај са прирубницом K_2 , 3. водећа чаура, 4. полука покретача (актуатора) за K_1 , 5. полука покретача (актуатора) за K_2 , 6. сервомотор за K_1 , 7. сервомотор за K_2

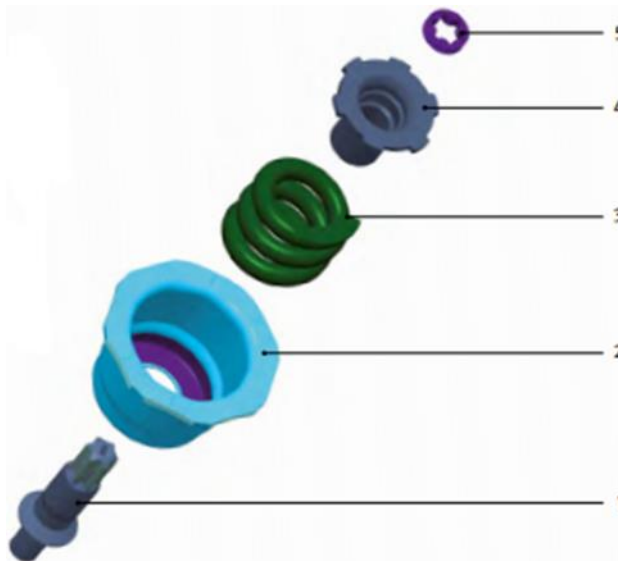
Покретач полуге састоји се од основне плоче, завојног вретена, клизача (навртке са куглицама), полуге и повратне опруге. Заједно чине механизам покретања. Основна плоча користи се за учвршћивање ручице на кућишту мењача и прецизно усмеравање ваљка. Механизам садржи и две повратне опруге које служе као тачке одбоја и акумулатори енергије.



Слика 4.10. Елементи покретача полуге: 1. основна – носећа плоча, 2. вретено, 3. клизач, 4. навојно вретено са навртком, 5. ваљак, 6. полука за активирање, 7. повратна опруга, 8. сервомотор [8]

Повратна опруга делује као акумулатор енергије током процеса активирања спојнице. Цилиндар – уложак (2) и спирална (потисна) опруга (3) чине једну целину. На доњем крају

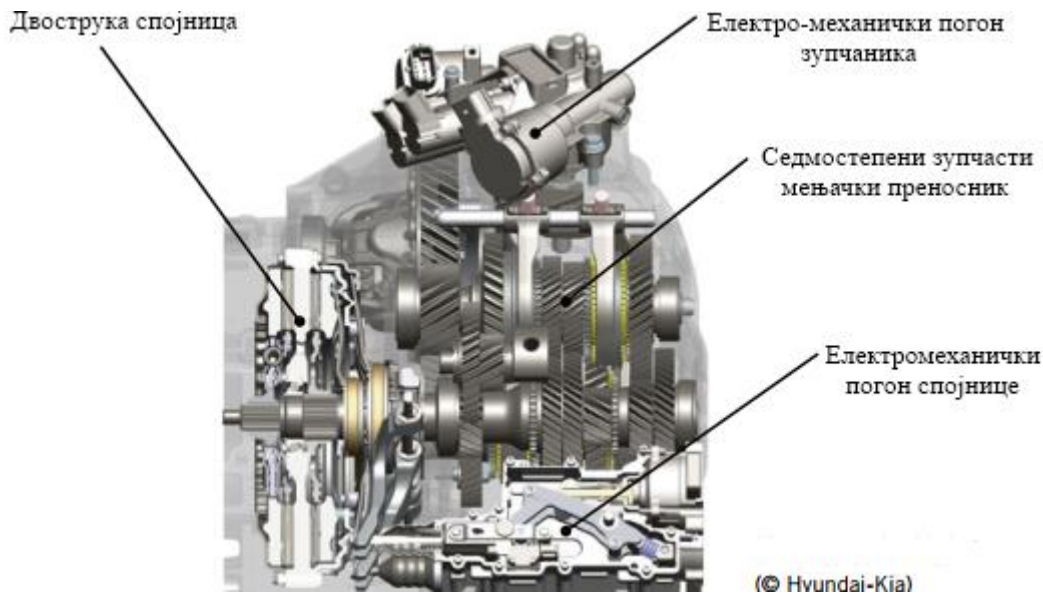
вијка постоји граничник који ограничава путању чауре, а на горњем крају се налази матица (4), која одржава притисак опруге и користи се за подешавање система повратне опруге.



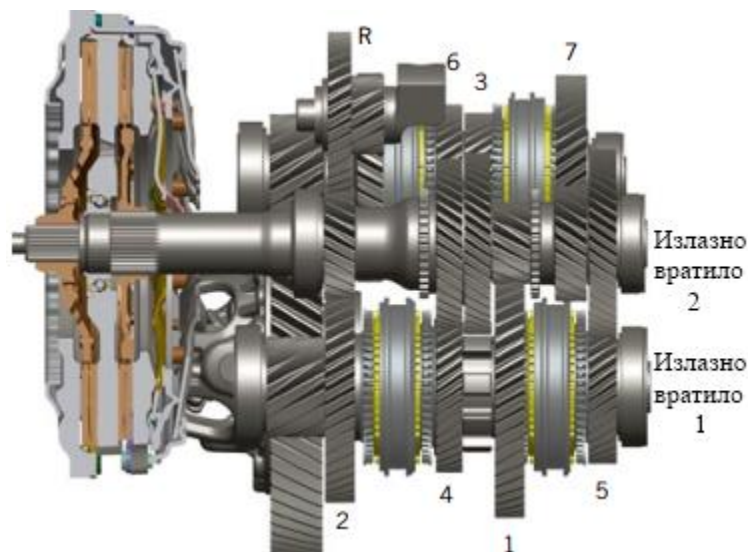
Слика 4.11. Повратна опруга: 1. вијак, 2. цилиндар – уложак, 3. спирална (потисна) опруга, 4. навртка, 5. сигурносни прстен [8]

Два DTC модела мењачког преносника различитог обртног момента произведена су паралелно за бензинске и дизел моторе, *D7GF1* са 220 Nm и *D7UF1* са 340 Nm, развили су их *Hyundai* и *Kia*, слика 4.12. Оба модела мењачког преносника су конструкцијски идентично решена и деле исти распоред зупчаника, као и актуатора за активирање спојница. Разлике се могу наћи у величини зупчаника, удаљености оса зупчаника од осе погонских вратила, као и у самим двоструким спојницама. Предност ове конструкције мењачког преносника огледа се и у малој маси од 7 kg. Обе конструкције мењачког преносника користе претходно анализиран тип двоструке спојнице.

Да би питање вишеструке употребе овог мењачког преносника било решено неопходно је било одредити распоред зупчаника, као што је приказано на слици 4.13. Зупчаници 1., 2., 4. и 5. степена преноса налазе се на доњем излазном вратилу 1, док су 3., 6., и 7. степен преноса и ход уназад смештени на горњем излазном вратилу 2. Да би скратили дужину мењачког преносника, 4. и 6. степени преноса деле један заједнички погонски зупчаник, а 2. степен преноса и ход уназад деле други заједнички погонски зупчаник на улазном вратилу. То је довело до укупне дужине преноса од 385 mm од блока мотора до краја кућишта, што је овај модел чини конкурентним с обзиром на велики излазни обртни момент од 340 Nm.

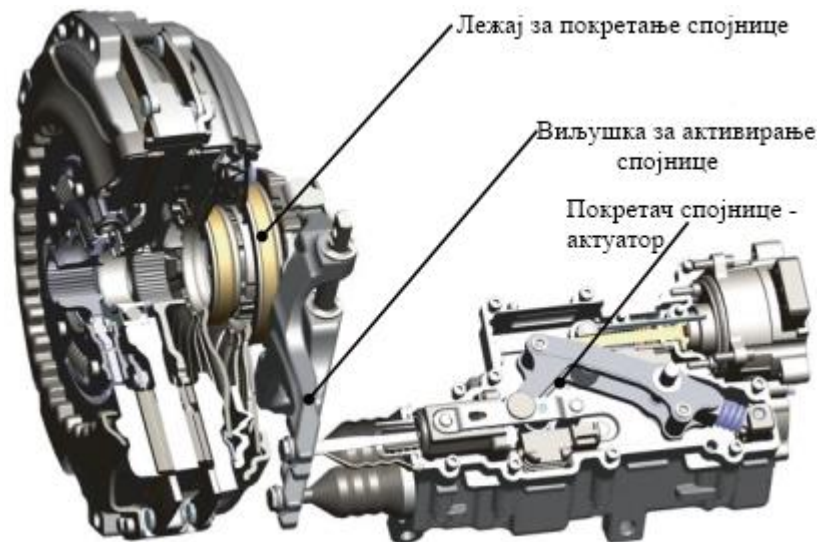


Слика 4.12. Конструкција седмостепеног мењачког преносника Hyundai-Kia са двоструком спојницом са сувим фрикционим површинама [17]



Слика 4.13. Распоред степени преноса на вратилима 1 и 2 DTC мењачког преносника Hyundai-Kia D7GF1u D7UF1 [17]

Hyundai-Kia систем двоструке спојнице са сувим фрикционим површинама, слика 4.14, развијен је да пренесе веома висок обртни момент од 340 Nm за мењачки преносник D7UF1. Спољашњи пречник спојнице је 235 mm за „непарне степене преноса“, а 229 mm за „парне“. Треће карактеристично за фрикциону облогу спојнице директно утиче на пренос снаге, јер се мења током експлоатације. Из тог разлога, јединица за управљање прати карактеристике трења, како би се обезбедило несметано управљање возилом. Свака промена ове карактеристике процењује се кроз праћење обртног момента мењача.



Слика 4.14. Систем двоструке спојнице са нелинеарним актуатором произвођача Hyundai-Kia [17]

4.3. Двострука спојница са сувим фрикционим површинама (Ford 1.6 – 2.0, 6-степенни мењачки преносник DPS6)

Главне компоненте, Ford-овог система двоструке спојнице су замајац, двострука спојница и систем активирања са покретачким полугама, слика 4.15. Управљачка јединица, која се налази са спољне стране кућишта преноса, управља са два сервомотора. Они активирају покретачке полуге и омогућавају наизменично затварање и отварање спојница. Овај систем двоструке спојница примењује се код Ford-их путничких возила са 1.6 и 2.0-литарским мотором СУС.

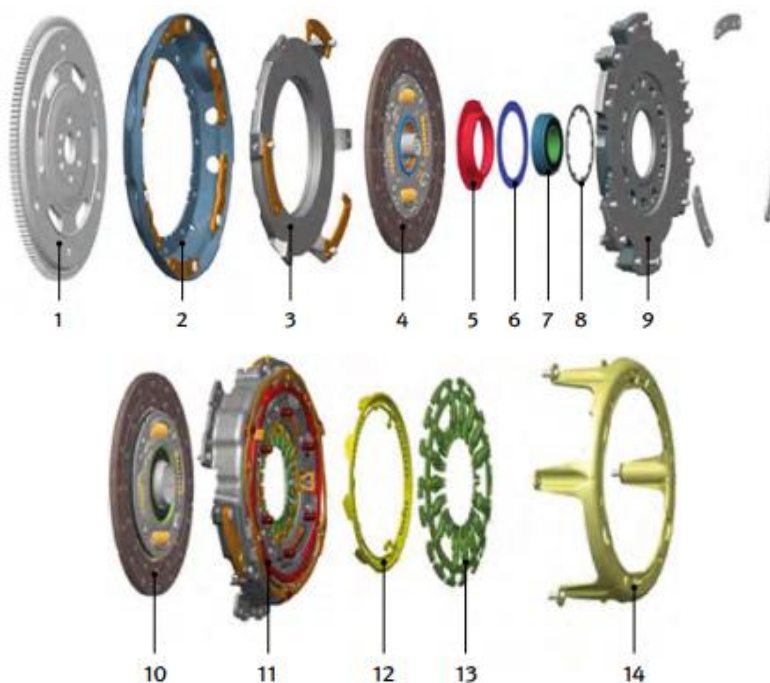


Слика 4.15. Двострука спојница са сувим фрикционим површинама (Ford 1.6 – 2.0, 6-степенни мењачки преносник DPS6): 1. замајац, 2. двострука спојница, 3. водећа чаура са причврслним лежајем, 4. покретачка полуга са сервомоторима [8]

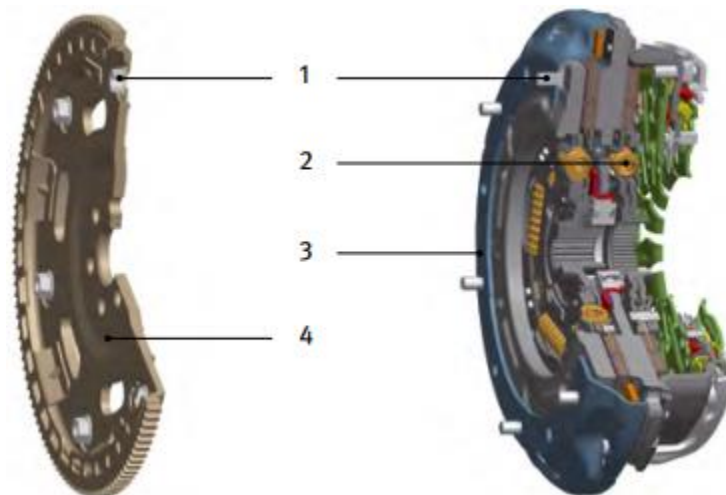
У току вожње, управљачка јединица процењује, између осталог, следеће информације:

- улазни број обртаја,
- брзину возила,
- избор зупчаника,
- положај лептира гаса,
- положај папучице гаса,
- информације о папучици кочнице,
- број обртаја и обртни момент мотора,
- температуру мотора и спољну температуру и
- угао управљача.

На слици 4.16, приказану су елементи двоструке спојнице (*Ford 1.6 – 2.0, 6-степен* мењачки преносник *DPS6*). Централна плоча са своје две фриксионе површине чини језгро спојнице. Централна плоча опремљена је лежајем (7) који заједно са сигурносним прстеном (8), клизним диском (6) и чауром (5) формира склоп који врши клизно померање спојнице, слика 4.17. Диск спојнице са торзионим опругама и потисна плоча са подешавањем хабања су постављени са сваке стране централне плоче. Захваљујући прстену са лиснатим опругама (4) формира се флексибилни склоп са мотором.

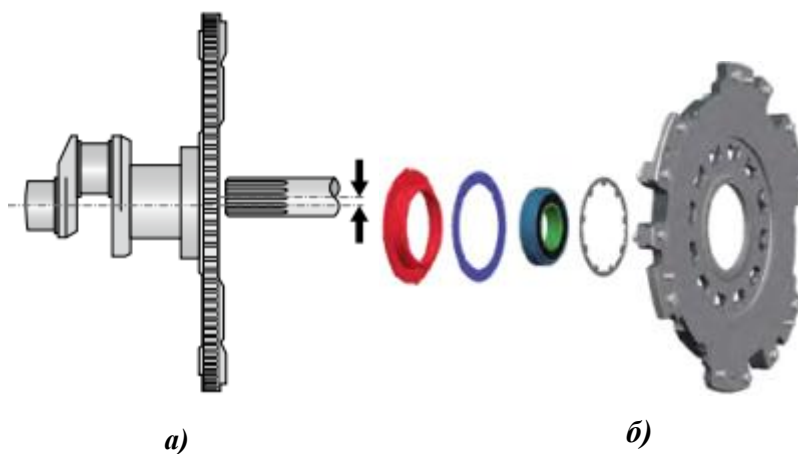


Слика 4.16. Елементи двоструке спојнице (*Ford 1.6 – 2.0, 6-степен* мењачки преносник *DPS6*): 1. замајац, 2. прстен (оплата) са лиснатим опругама, 3. потисна плоча спојнице 1, 4. спојница 1, 5. чаура, 6. клизни диск, 7. лежај, 8. сигурносни прстен, 9. централна (средишња) плоча, 10. спојница 2, 11. поклопац спојнице са тањирастом опругом, 12. елемент за подешавање спојнице 2, 13. тањираста опруга, 14. сигурносни прстен [8]



Слика 4.17. Пригушни елементи двоструке спојнице (Ford 1.6 – 2.0, 6-степенни мењачки преносник DPS6): 1. вијци за везу са замајцем, 2. торзиона опруга, 3. прстен – оплата, 4. замајац [8]

Аутомобилске компоненте се углавном производе у дефинисаном распону толеранција, што омогућава одступања од стандардног стања без последица по исправно функционисање система. Када се мотор и мењачки преносник спајају заједно, комбинација толеранција компоненти може бити неповољна, што узрокује радијално померање, слика 4.18а. У таквим случајевима, осе ротације коленастог вратила и улазног вратила мењачког преносника нису у истом нивоу. Радијално померање може довести до буке у празном ходу и повећаног хабања, нарочито ако улазно вратило мењачког преносника нема носиви лежај. Као противмера овој појави користи се систем који врши клизно померање спојнице, тзв. „клизни компензатор“, слика 4.18б. Систем користи клизни лежај без подмазивања и на тај начин обезбеђује радијално померање спојнице на улазном вратилу мењачког преносника. Померање је усмерено преко централне (средишње) плоче, па се радијалне силе ефикасно неутралишу.

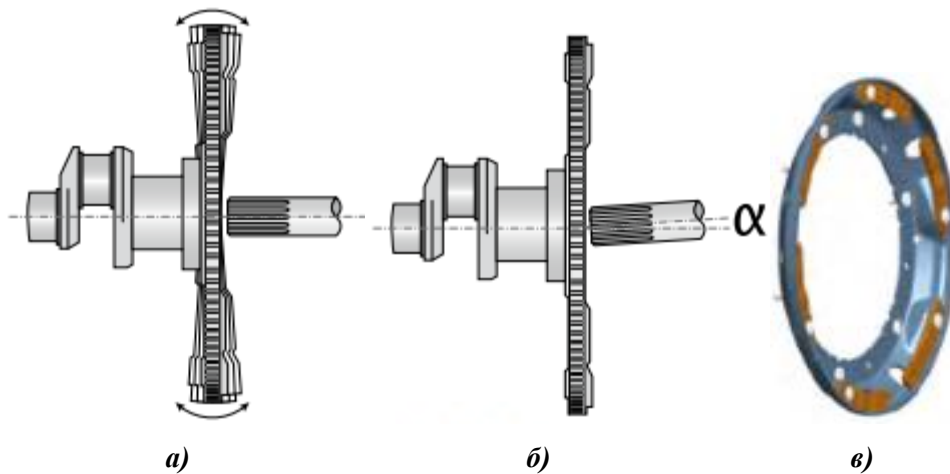


Слика 4.18. а) радијално померање вратила мењачког преносника, б) систем клизно померање спојнице „клизни компензатор“ [8]

Коленасто вратило је оптерећено на савијање услед сагоревања у цилиндрима мотора. Када дође до сагоревања, коленасто вратило трпи савијање дуж осе ротације. Ово резултира вибрацијама по дужини коленастог вратила, које се јављају у складу са фреквенцијом сагоревања. Ове промене по дужини стварају аксијално померање, због чега замајац подрхтава – вибрира. Ово кретање не сме да се преноси директно на двоструку спојницу, јер би то имало негативног утицаја на комфор у возилу.

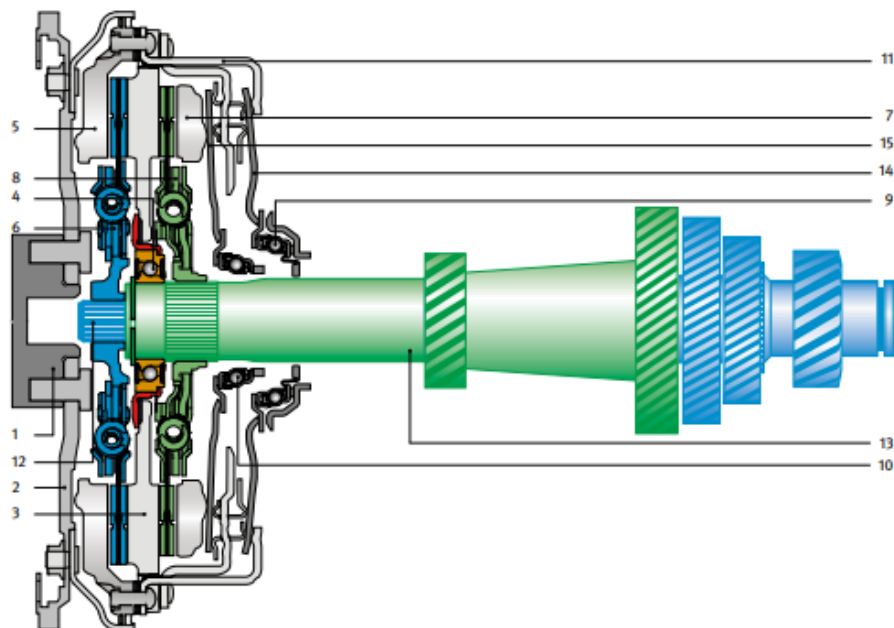
Угаоно померање може, такође, бити резултат комбинације толеранција на компонентама. У таквим случајевима, осе ротације коленастог вратила и улазног вратила мењача постављене су под различитим угловима, једна према другој. Због тога се дискови спојнице током рада стално подвргавају савијању, што може довести до њиховог оштећења.

Да би се амортизовало аксијално померање, као и угаоно померање без стварања хабања, двострука спојница се флексибилно поставља преко прстена (оплате) са лиснатим опругама. Део овог прстена су посебно обликоване лиснате опруге, које ефикасно амортизују аксијално и угаоно померање.



Слика 4.19. а) аксијално померање замајца – вибрације, б) угаоно померање улазног вратила мењачког преносника, в) прстен (оплата) са лиснатим опругама [8]

Систем двоструке спојнице (Ford 1.6 – 2.0, 6-степенни мењачки преносник DPS6) садржи две суве фрикционе спојнице која су отворене када мотор ради у празном ходу (нормално отворене). Једна спојница је увек затворена у режиму вожње, па је тако и један под-редуктор увек вези са излазним вратилом мотора. Зупчасти пар на другом под-редуктору је већ унапред одабран, јер је спојница овог под-редуктора још увек отворена. За време промене степена преноса, једна спојница се отвара, а друга се затвара. Снага се затим преноси путем претходно одабраног зупчастог пара, што значи да је могуће возити без прекида тока снаге. На слици 4.20, приказан је попречни пресек двоструке спојнице DCT мењачког преносника (Ford 1.6 – 2.0, 6-степенни мењачки преносник DPS6).



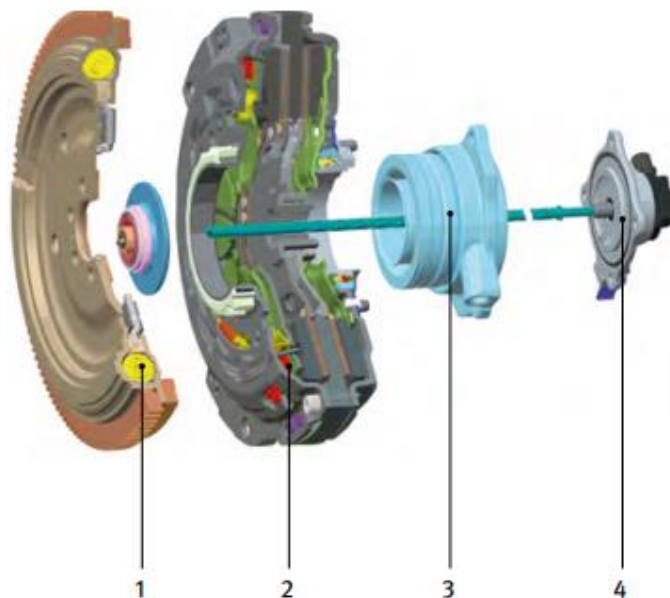
Слика 4.20. Попречни пресек двоструке спојнице DCT мењачког преносника (Ford 1.6 – 2.0, 6-степенни мењачки преносник DPS6): 1. коленасто вратило мотора, 2. замајац, 3. централна (средишња) плоча, 4. ослонац/лежај, 5. потисна плоча 1, 6. фрикциони диск 1, 7. потисна плоча 2, 8. фрикциони диск 2, 9. зглобни лежај 1, 10. зглобни лежај 2, 11. сигурносни прстен, 12. улазно вратило мењача 1 (пуно), 13. улазно вратило мењача 2 (шупље), 14. спона, 15. тањираста опруга 2 [8]

4.4. Двострука спојница са сувим фрикционим површинама (Alfa Romeo – Fiat, 6-степенни мењачки преносник C635 DDCT)

Двострука спојница са сувим фрикционим површинама (Alfa Romeo – Fiat, 6-степенни мењачки преносник C635 DDCT) се састоји од следећих главних компоненти (слика 4.21):

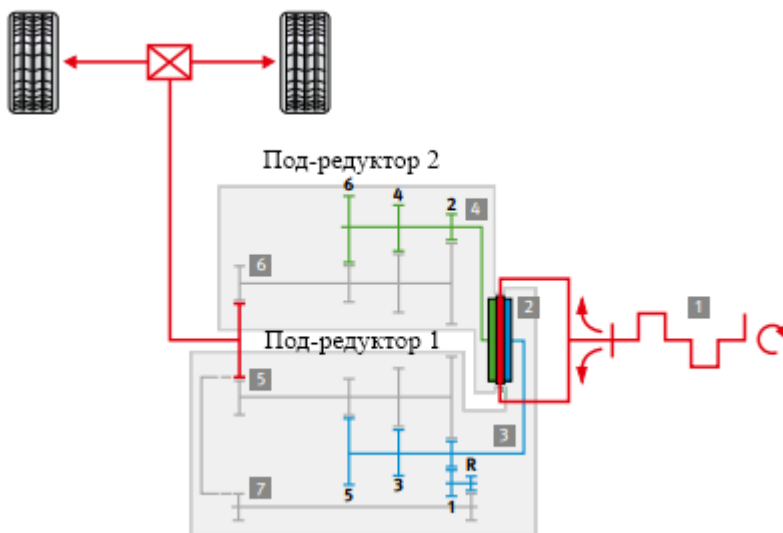
- двоструке спојнице,
- система забрављивања и активирања,
- замајаца са двоструком масом и
- електро-хидрауличке управљачке јединице.

Све функције промене степена преноса врше се електро-хидрауличком управљачком јединицом. Ова контролна јединица постављена је са спољне стране мењачког преносника и састоји се од пумпе, акумулатора притиска и разних електромагнетних вентила. „Управљачки центар“ је спољна управљачка јединица, која користи примљене информације како би израчунала тачку померања и активирања промене степена преноса у правом тренутку.



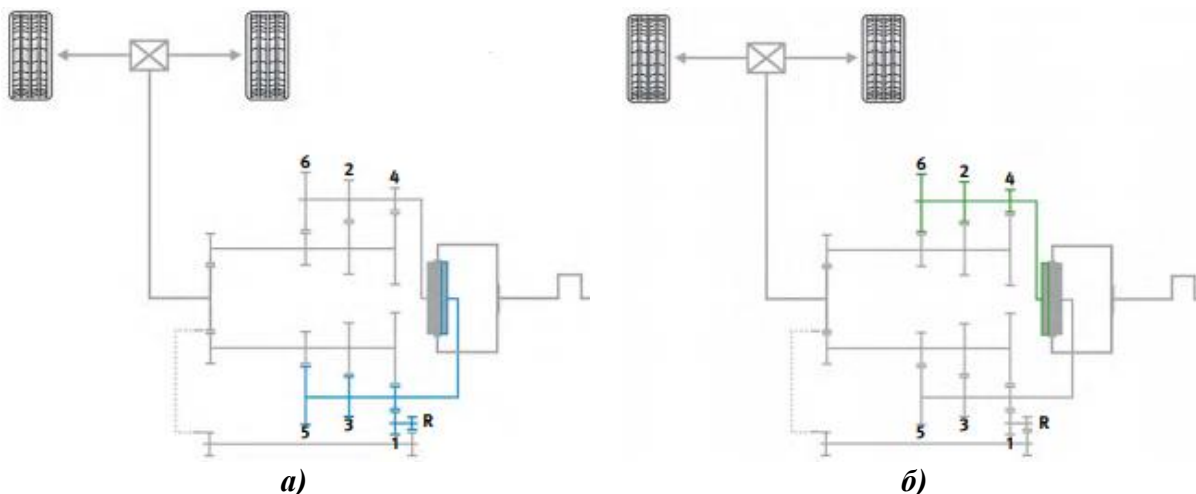
Слика 4.21. Двострука спојница са сувим фрикционим површинама (Alfa Romeo – Fiat, 6-степенни мењачки преносник C635 DDCT): 1. замајац са двоструком масом, 2. двострука спојница, 3. водећа чаура са зглобним лежајем, 4. електро-хидрауличка управљачка јединица [8]

На слици 4.22, шематски је приказан DTC мењачки преносник са расподелом снаге преко спојнице (Alfa Romeo – Fiat, 6-степенни мењачки преносник C635 DDCT). Једна од спојница је увек затворена у режиму вожње, што значи да је друга повезана са излазним вратилом мотора, самим тим је и један под-редуктор увек активан.



Слика 4.22. Шематски приказ DTC мењачки преносник са расподелом снаге преко двоструке спојнице (Alfa Romeo – Fiat, 6-степенни мењачки преносник C635 DDCT): 1. коленасто вратило, 2. двострука спојница, 3. улазно вратило мењача 1, 4. улазно вратило мењача 2, 5. излазно вратило 1, 6. излазно вратило 2, 7. излазно вратило 3 (ход уназад) [8]

Код 6-степеног мењачког преносника са двоструком спојницом, сваки под-редуктор је конструисан као засебни мануелни мењач, по својој функцији. По једна спојница врши пренос обртног момента на сваки под-редуктор. Обе спојнице су смештене на два коаксијална улазна вратила, распоређена као унутрашње и спољашње (шупље). Степени преноса 1, 3, 5 и ход уназад укључују се помоћу спојнице 1, док се обртни момент преноси преко унутрашњег вратила. Степени преноса 2, 4 и 6 укључују се помоћу спојнице 2, при чему се обртни момент преноси спољашњег (шупљег) вратила. На слици 4.23, приказани су елементи двоструке спојнице (*Alfa Romeo – Fiat C635 DDCT*).



Слика 4.23. Шема активирања спојнице 1 и 2 код 6-степеног мењачког преносника (*Alfa Romeo – Fiat C635 DDCT*) [8]

Као и код претходног модела спојнице и код овог модела, централна плоча са своје две фрикционе површине чини језгро двоструке спојнице. Обе спојнице су распоређене тако да њихове фрикционе површине окренуте у правцу централне плоче.

Спојница 1 налази се ближе замајцу. На улазу у кућиште спојнице налази се зупчаник (озубљен са унутрашње стране) који се захвата у прирубницу замајца са двоструком масом. Обртни момент мотора се овом везом преноси на спојницу.

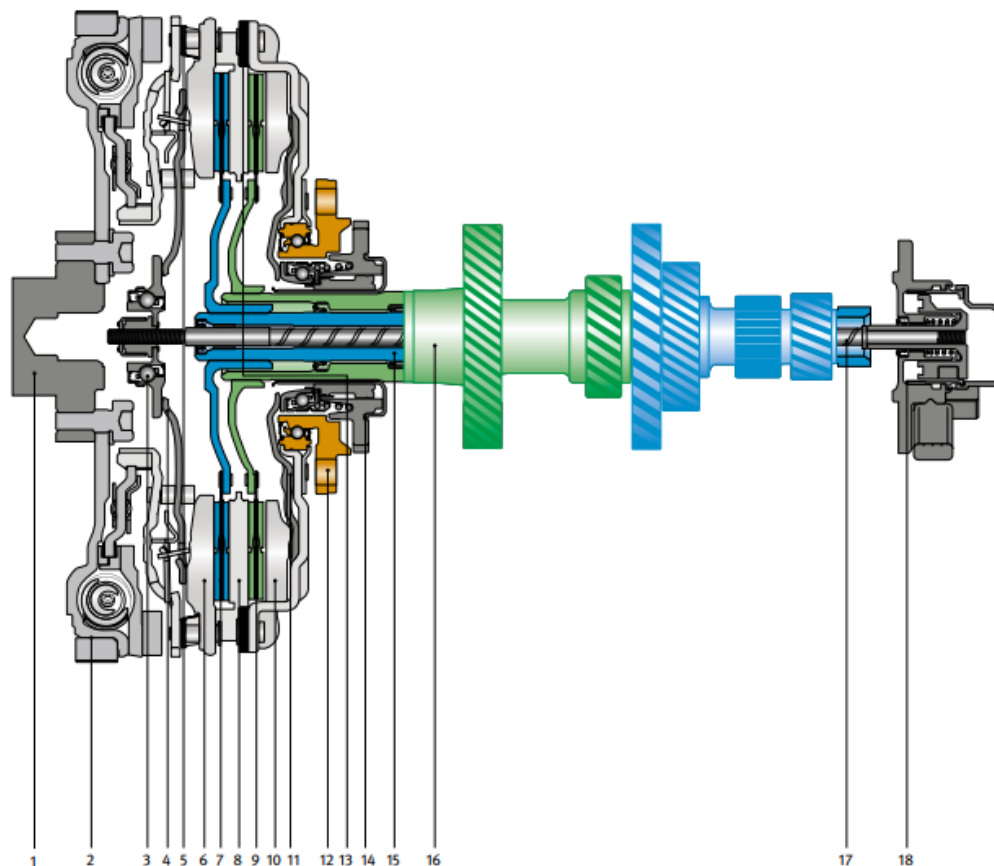
Овај тип двоструке спојнице са сувим фрикционим површинама поседује механизам за самоподешавање. Овај механизам омогућава компензацију хабања фрикционих површина помоћу опруга (сензора) и подешавајућег прстена. На слици 4.24, приказани су елементи двоструке спојнице (*Alfa Romeo – Fiat C635 DDCT*).



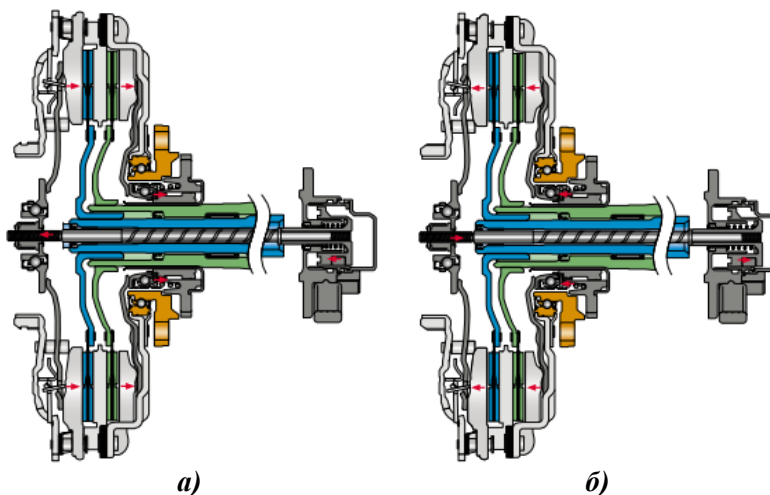
Слика 4.24. Елементи двоструке спојнице (Alfa Romeo – Fiat C635 DDCT): 1. зупчаник (озубљен), 2. поклопац спојнице 1, 3. прстен за подешавање, 4. опруга (сензор), 5. тањираста опруга, 6. тангенцијална лисната опруга 1, 7. потисна плоча, 8. спојница 1, 9. централна (средишња) плоча, 10. спојница 2, 11. тангенцијална лисната опруга 2, 12. потисна плоча 2, 13. тањираста опруга, 14. поклопац спојнице 2, 15. прирубнички лежај

Спојница 1 ради на принципу „затвореног кола“, што значи да је затворена у нормалном (неактивном) положају, празном ходу. Спојница 2 налази се са друге стране централне плоче и ради по принципу „отвореног кола“, што значи да је спојница отворена у празном ходу. Да би се спојница затворила, мора бити укључена, па овај тип спојнице поседује и систем за укључивање. Систем поседује тањирасту опругу за генерисање потребног оптерећења стезаљки на потисној плочи. На излазној страни спојнице налази се „поклопац“ опремљен прирубни лежајем. Прирубни лежај је причвршћен вијком за кућиште и носи део тежине двоструке спојнице. Као резултат, лежајеви на улазним вратилима су изложени мањим оптерећењима. На слици 4.25, приказан је попречни пресек двоструке спојнице DCT мењачког преносника (Alfa Romeo – Fiat C635 DDCT).

Приликом укључивања 1., 3., и 5. степена преноса или хода уназад, спојница 1 се затвара док се спојница 2 отвара. Тако се контролни притисак у систему закључавања спојнице смањује у засебним линијама, независно један од другог. Током овог процеса, клип у концентричном цилиндру гура се у почетни положај преко лежаја и управљачког штапа. Сила са тањирасте опруге спојнице 1 узрокује да се спојница прислони на централну плочу притиском потисне плоче, слика 4.26а.



Слика 4.25. Попречни пресек двоструке спојнице DCT мењачког преносника (Alfa Romeo – Fiat C635 DDCT): 1. коленасто вратило мотора, 2. замајач, 3. зглобни лежај, 4. тањираста опруга, 5. тангенцијална лисната опруга 1, 6. потисна плоча 1, 7. спојница 1, 8. Централна плоча, 9. спојница 2, 10. потисна плоча 2, 11. спирална опруга, 12. прирубнички лежај, 13. тангенцијална лисната опруга 2, 14. централни систем закључавања спојнице 2, 15. унутрашња (пуно) вратило, 16. спољашње (шупље) вратило, 17. контролна шипка, 18. концентрични цилиндар [8]



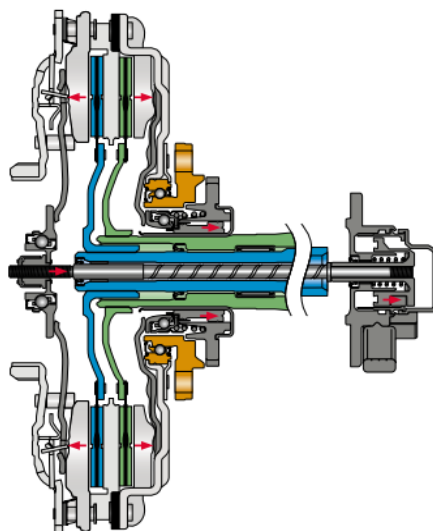
Слика 4.26. Процес активирања фрикционих дискова двоструке спојнице: а) активирање спојнице 1 (1., 3. и 5. степен преноса и ход уназад), б) активирање спојнице 2 (2., 4. и 6. степен преноса) [8]

На овај начин се остварује веза која преноси обртни момент мотора на унутрашње (пуно) вратило мењачког преносника. Пад притиска у централном систему закључавања спојнице 2 смањује силу на тањирастој опрузи. Ово омогућава тангенцијалним лиснатим опругама да помере потисну плочу са фриксионог диска и отвори спојницу.

Приликом укључивања 2., 4., и 6. степена преноса или хода уназад, спојница 2 се затвара док се спојница 1 отвара. Тако се контролни притисак у систему закључавања спојнице смањује у засебним линијама независно један од другог. Током овог процеса, клип у концентричном цилиндру гура се у почетни положај преко лежаја и управљачког штапа. Сила са тањирасте опруге спојнице 1 узрокује да се спојница прислони на централну плочу притиском потисне плоче, слика 4.26б. Притисну плочу подижу тангенцијалне опруге листова и одвајају од фриксионог диска спојнице.

Спојница 1 отвара и прекида пренос снаге на унутрашње вратило мењача. Истовремено, концентрични цилиндар врши притисак на тањирасту опругу спојнице 2. Она се наслања на кућиште спојнице, а активира потисну плочу која савлађује отпор тангенцијалних лиснатих опруга. На тај начин ствара се веза која преноси обртни момент мотора на спољне (шупље) вратило мењача. Због наизменичног затварања спојница један подредуктор увек је повезан са мотором. Међутим, постоје неке ситуације попут стартовања или заустављања у којима обе спојнице морају бити искључене. Да би се то постигло, активира се систем за укључивање спојнице и систем за закључавање спојнице, па тако обе спојнице остају отворене.

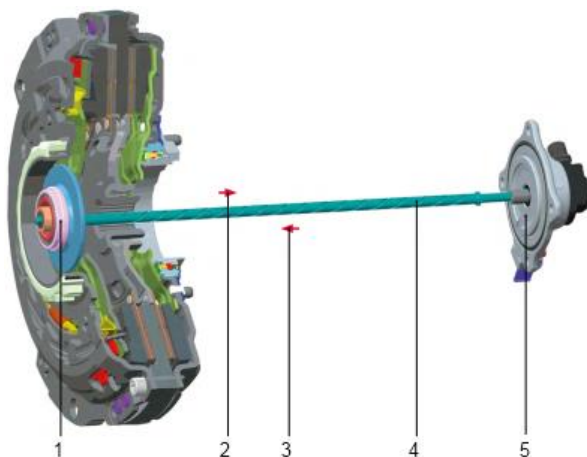
Током функционисања овог система спојница 1 се држи у отвореном положају тако што се притисак у концентричном цилиндру повећава и одржава на стално високом нивоу. Паралелно се смањује и притисак у централном систему закључавања, због чега се спојница 2 независно отвара и искључује проток снаге.



Слика 4.27. Активирање празног хода двоструке спојнице (Alfa Romeo – Fiat C635 DDCT) [8]

Концентрични цилиндар активира спојницу 1, преко које се активирају степени преноса 1, 3, и 5. Да би се спојница отворила, хидраулична течност се пумпа у комору под притиском, услед чега се клип увлачи и повлачи контролну шипку. Као резултат, тањираста опруга се активира отпуштајућим лежајем, а спојница је искључена. Ако се притисак хидрауличне течности смањи, клип се под дејством силе помера у почетни положај. У овом радном стању опруга за преднапрезање омогућава лагано преднапрезање потисног прстена и на тај начин смањује трошење контактних површина.

Како би се извршила брза промене степена преноса, положај отпуштајућег лежаја мора се пренети управљачкој јединици у облику електричног сигнала. Овај сигнал генерише се директно на концентрични цилиндар са магнетним прстеном на клипу. На слици 4.28, приказан је систем са концентричним цилиндром за активирање промене степена преноса код двоструке спојнице (Alfa Romeo – Fiat C635 DDCT).

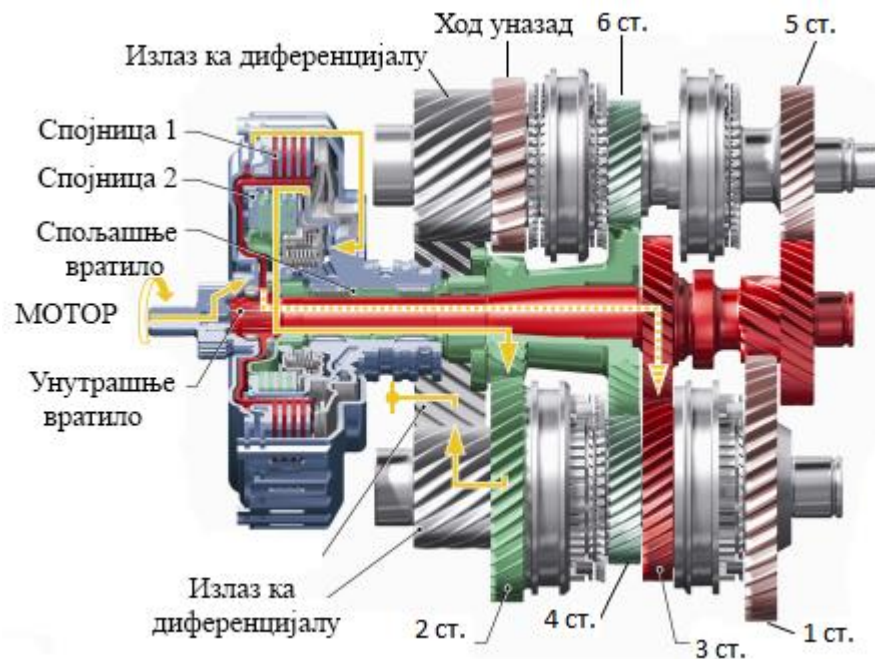


Слика 4.28. Концентрични цилиндар за активирање промене степена преноса (Alfa Romeo – Fiat C635 DDCT): 1. отпусни лежај са потисним прстеном, 2. смер деактивирања спојнице 1, 3. смер активирања спојнице 1, 4. контролна шипка, 5. концентрични цилиндар [8]

4.5. Двоструке спојнице и DSG мењачки преносници код VW и Audi путничких возила

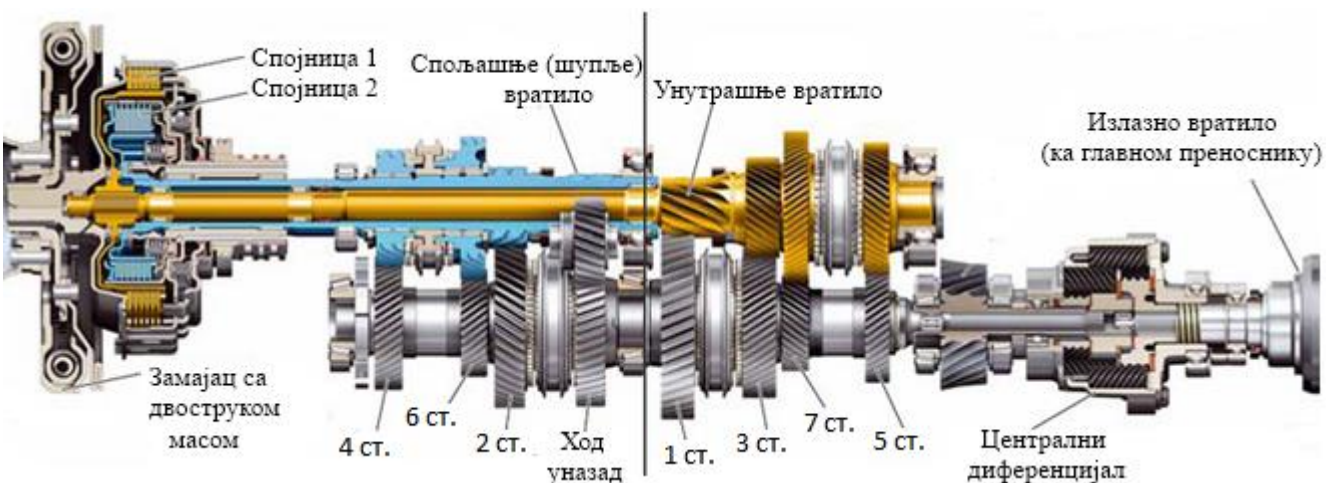
DSG мењачки преносник је почео да се производи 2003. године и био је први мењач са двоструком спојницом који се уграђивао серијски у комерцијална возила. Уграђивао се на моделу VW Golf Mk. 5 R32, а који је био намењен за немачко тржиште. На глобалном нивоу DSG мењач је представљен на моделу Audi TT 3.2, слика 4.29. У почетку DSG је био доступан само за аутомобиле са погоном на предњим точковима, имао је 6 степени преноса и био је упарен са моторима до највише 350 Nm обртног момента. Верзија за погон на два точка имала је масу од 93 kg. Почетком 2008. године, VW је почео и производњу мењачког преносника у 7-степеној верзији, тежине 70 kg. Користи двоструку спојницу са сувим фрикционим површинама, а намењен је возилима са слабијим моторима

са максимално 250 Nm обртног момента. На слици 4.30, приказан је 7-степен *DSG* мењачки преносник *VW* групације.

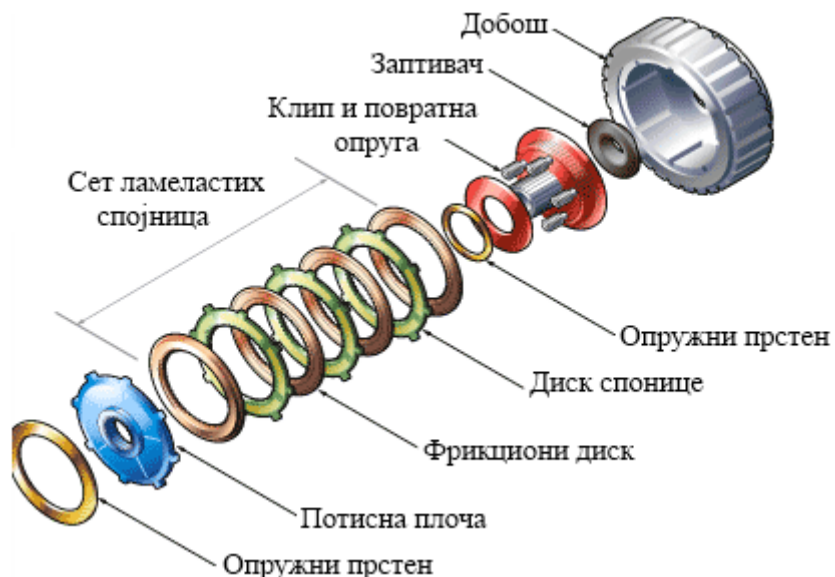


Слика 4.29. *DSG* мењачки преносник на возилу *Audi TT 3.2* [18]

Од 2008. у производњу улази потпуно нова седмостепена *S-Tronic* верзија *DSG* мењачког преносника за уздужно уграђене моторе. Ова верзија мењача има сет спојница, слика 4.31, потопљених у синтетичко уље *ATF* (*Automatic Transmission Fluid* – течност за аутоматску трансмисију). Упарује се са моторима који постижу обртни момент до 600 Nm и снагу до 360 kW. Има укупну масу (са уљем) од 141,5 kg. У табели 4.2, дате су техничке карактеристике за *DTC* седмостепени *VW* – ов мењачки преносник.



Слика 4.30. *DSG S-Tronic* седмостепени мењачки преносник [19]



Слика 4.31. Двострука спојница DSG S-Tronic седмостепеног мењачког преносника са мокрим фрикционим површинама [18]

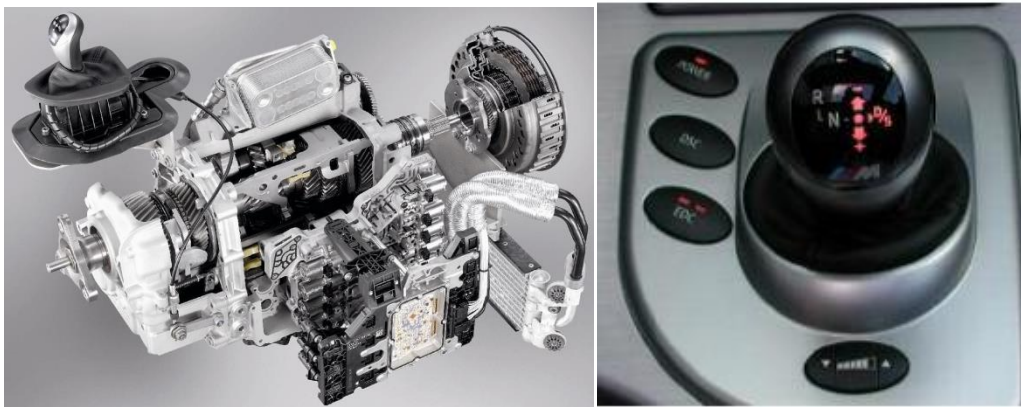
Табела 4.2. Техничке карактеристике мењачког преносника DSG S-Tronic [18]	
Произвођач	VW група
Развој и примена	Audi AG, Audi TT 3.2
Тип	DSG S-Tronic DL501 – 7Q
Контрола рада	Мехатронички систем – електро-хидрауличка контрола
Преносни однос (најнижи и највиши)	8.1 : 1 до 1:1
Међуосно растојање вратила	89 mm
Обртни момент и број обртаја	550 Nm и 9000 o/min
Маса	146 kg са дуплим пливајућим замајцем

Рад мењачког преносника је под контролом механичког система. Његов концепт контроле омогућава прецизну контролу рада мењача и контролу брзине кретања возила, као и снагу када се мења степен преноса. Тако, у зависности од ситуације у вожњи, могуће је постићи брзу промену степена преноса без угрожавања удобности и безбедности возача и путника.

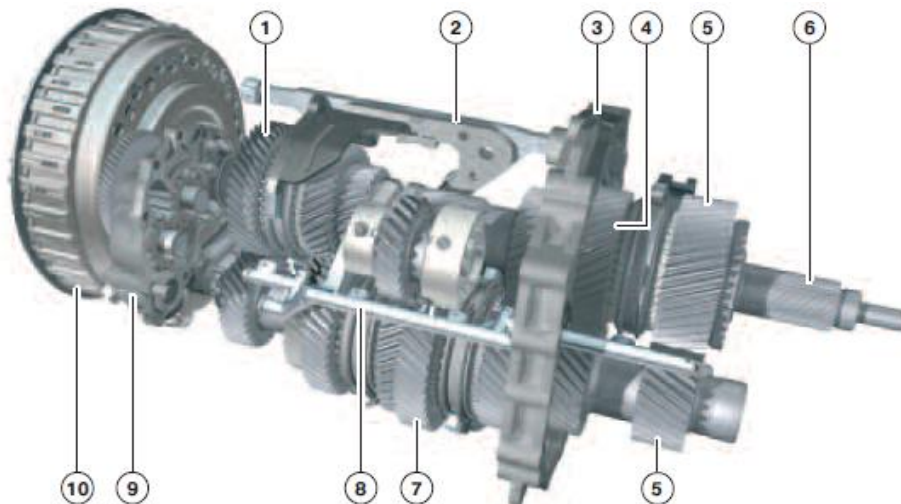
4.6. Двоструке спојнице и DCT мењачки преносници код BMW путничких возила

Један од светских произвођача аутомобила BMW, на својим возилима E класе уграђује секвенцијалне мењачке преноснике са две спојнице. Заправо, реч је о мењачком преноснику M DCT Drivelogic, који се уграђује у сва путничка возила BMW серије E9xM3.

M DCT Drivelogic, слика 4.32, комбинује предности аутоматског и секвенцијалног преноса. Може се користити у аутоматском режиму рада, као и у мануелном режиму. Постоји пет програма у аутоматском режиму рада и шест програма у мануелном моду. У мануелном моду промена степена преноса врши се ручицом мењача потпомогнуто електронским системом. Главна карактеристика овог мењачког преносника јесте да се промена степена преноса врши без прекида тока снаге. Промену степена преноса контролише електроника, док су извршни органи хидрауличке компоненте које чине један мехатронички модул. *M DCT Drivelogic* поседује интегрисан систем за подмазивање компоненти мењача, док се температура уља регулише посебним системом хлађења.

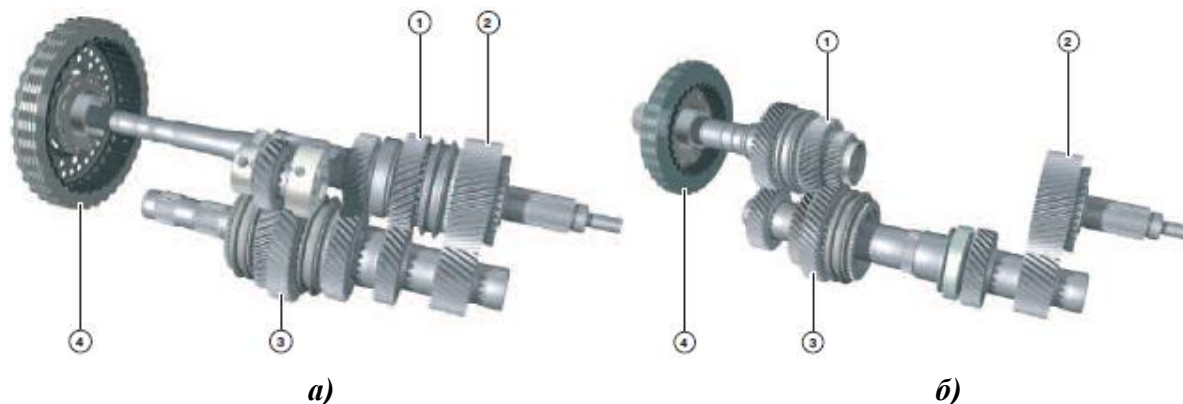


Слика 4.32. *M DCT Drivelogic* мењачки преносник (лево), ручица мењача *M DCT Drivelogic* (десно)
[20]



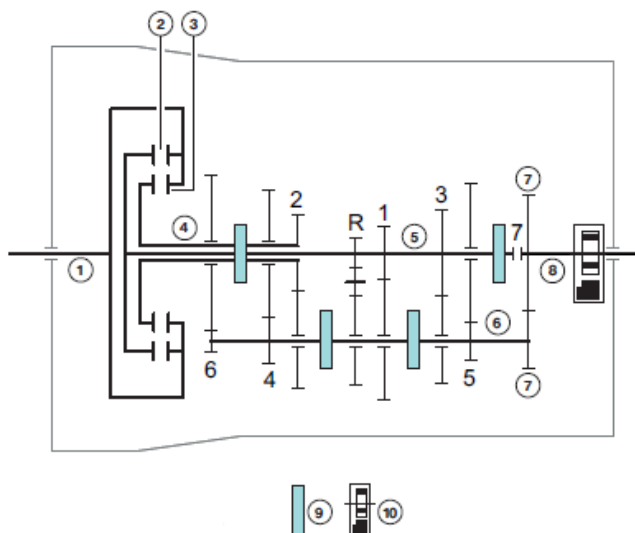
Слика 4.33. *M DCT Drivelogic* мењачки преносник: 1. унутрашње улазно вратило 2. бирач – виљушка, 3. средишња кутија, 4. унутрашње улазно вратило, 5. редукциони зупчаник, 6. излазно вратило, 7. помоћно вратило, 8. цев за подмазивање, 9. уљна пумпа, 10. спољашње кућиште са двоструком спојницом [20]

Структура *M DCT* мењачког преносника, састоји се из два под-редуктора, тако да се обртни момент преноси преко унутрашњег улазног вратила на зупчанике 1., 3., 5., и 7. степена преноса као и за ход уназад, слика 4.34а. Односно преко спољашњег вратила на зупчанике 2., 4., и 6. степена преноса, слика 4.7б.



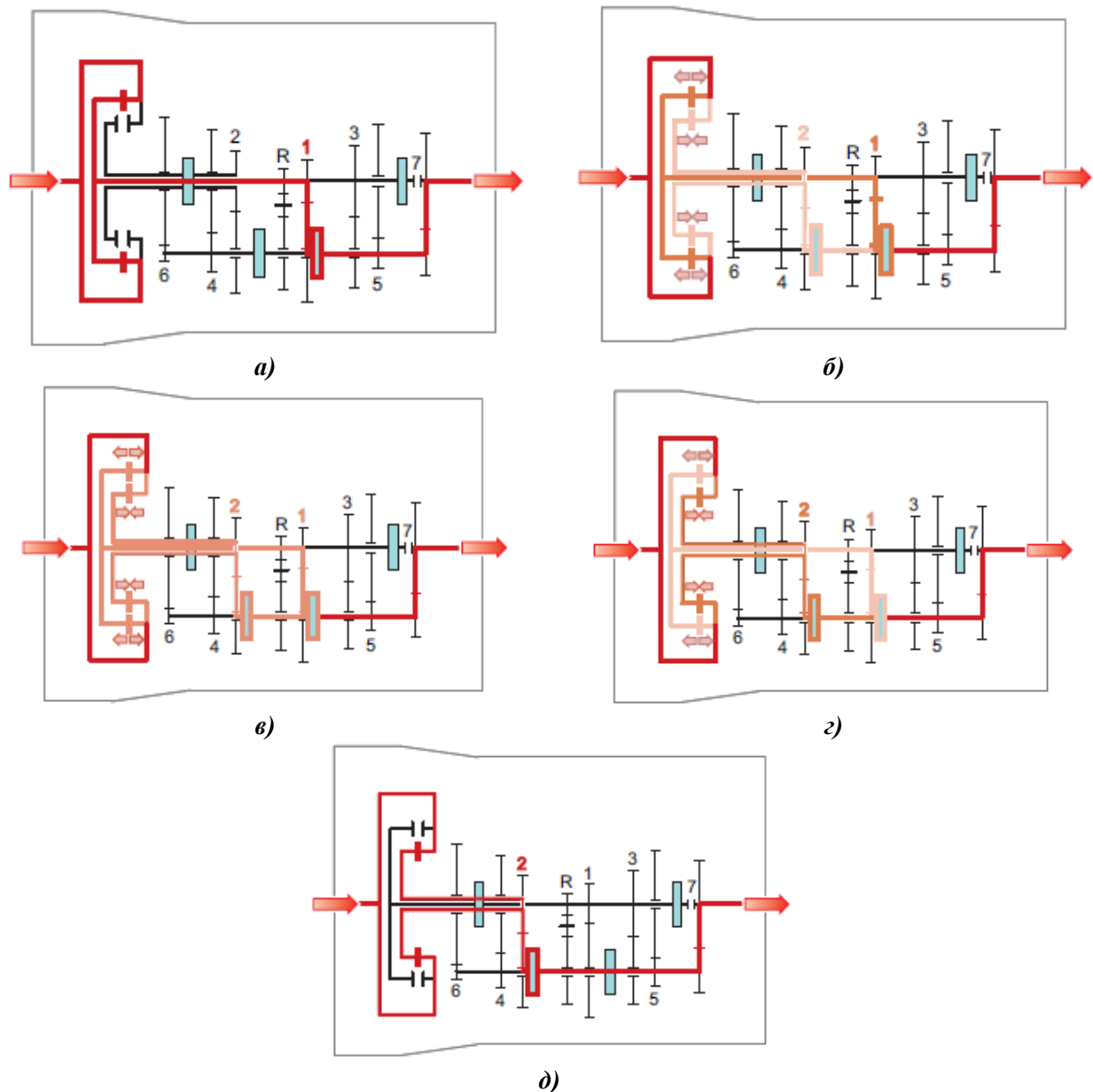
Слика 4.34. Структура мењачког преносника *M DCT Drivelogic*: а) под-редуктор 1, б) под-редуктор 2: 1. улазна вратила са зупчаницима, 2. излазна вратила, 3. помоћна вратила, 4. ламеласте спојнице [20]

На слици 4.35, шематски је приказан распоред вратила и зупчаника код мењачког преносника *M DCT Drivelogic*. Преко спојница (2) и (3) обртни момент се са излазног вратила мотора (1) преноси на унутрашњу улазну осовину (5), односно на спољашње вратило (4). Даље се момент преноси на излазно вратило (8), односно преко редукционог зупчаника (7) на помоћно вратило са зупчаницама, које својом променом положаја врши промену степена преноса тако што се упарују одређени зупчаници.



Слика 4.35. Шематски приказ мењачког преносника *M DCT Drivelogic* 1. излазно вратило мотора, 2. и 3. спојнице, 4. спољашње вратило, 5. унутрашње вратило, 6. помоћно вратило, 7. редукциони зупчаник, 8. излазно вратило, 9. синхро-спојница, 10. закључавање мењача [20]

На слици 4.36, приказане су фазе промене степена преноса из 1. у 2. Тако, током прве фазе возач убрзава у 1. степену преноса, а систем врши припрему 2. степена преноса. Током прве фазе спојница 2 почиње да се укључује с обзиром да се спојница 1. лагано почиње одвајати од унутрашњег вратила. У другој фази повећава се притисак на спојницу 2, док на спојници 1 пропорционално слаби.



Слика 4.36. Шематски приказ промене степена преноса код мењачког преносника M DCT Drivelogic: а) возило се креће у 1. степену преноса, б) прва фаза промене степена преноса, припрема 2. степена преноса, в) друга фаза, притисак се преноси на спојницу 2, г) трећа фаза, спојница 2 носи већи део момента, док се спојница 1 у потпуности одваја, д) возило се креће у 2. степену преноса [20]

У трећој фази спојница 2 носи већи део момента, док се спојница 1 у потпуности одваја. Притисак на спојници 2 је знатно већи док на спојници 1 у потпуности слаби. Четврта фаза подразумева завршетак промене степена преноса, возило наставља да се креће у другом степену преноса. У табели 4.3, дате су техничке карактеристике мењачког преносника *BMW M DCT Drivelogic*.

Табела 4.3. Техничке карактеристике мењачког преносника <i>BMW M DCT Drivelogic</i> [19]	
Произвођач	<i>BMW</i>
Развој и примена	<i>BMW, BMW E9x M3</i>
Тип	<i>M DCT Drivelogic</i>
Контрола рада	<i>Мехатронички систем – електро-хидрауличка контрола</i>
Преносни однос (најнижи и највиши)	<i>4.78 : 1 до 0.78:1</i>
Обртни момент и број обртаја	<i>520 Nm и 9000 o/min</i>
Маса	<i>117kg са дуплим пливајућим замајцем</i>

Промена степена преноса одређује се безконтактно помоћу *Hall* сензора, који се налази на покретачима појединих селекторских виљушки. Температура уља у мењачу се одређује индиректно преко сензора температуре хидрауличког уља, јер обе температуре имају линеарно одступање једна у односу на другу. Управљачка јединица користи измерену температурну вредност за рад електро-зупчасте пумпе. Сензор хидрауличког притиска налази се унутар хидрауличке јединице. Користи се за одређивање вредности радног притиска. Нормални радни притисак је 75 bar. Улазни број обртаја прати се, такође, *Hall*-овим сензором. *BMW E60 M5* користи двоструку спојницу са механизмом за самоподешавање, слика 4.37.



Слика 4.37. Двострука спојница са сувим фрикционим површинама код возила *BMW E60 M5*: 1. фрикциони диск 1, 2. централна (средишња) плоча, 3. фрикциони диск 2, 4. контактна плоча, 5. опруга, 6. потисна плоча [19]

5. Тенденције развоја двоструких спојница и DCT мењачких преносника

Будућност трансмисије са двоструким спојницом, као аутоматизованог аутомобилског мењачког преносника отвориће више могућности за побољшање перформанси возила. С обзиром на садашњу DCT технологију, произвођачи аутомобила теже да је учине ефикаснијом. Вероватноћа да се постићи напредак постојеће DCT технологије, делује вероватно. Будуће конструкције мењачких преносника са двоструком спојницом треба да обезбеди безударно пребацивање степена преноса.

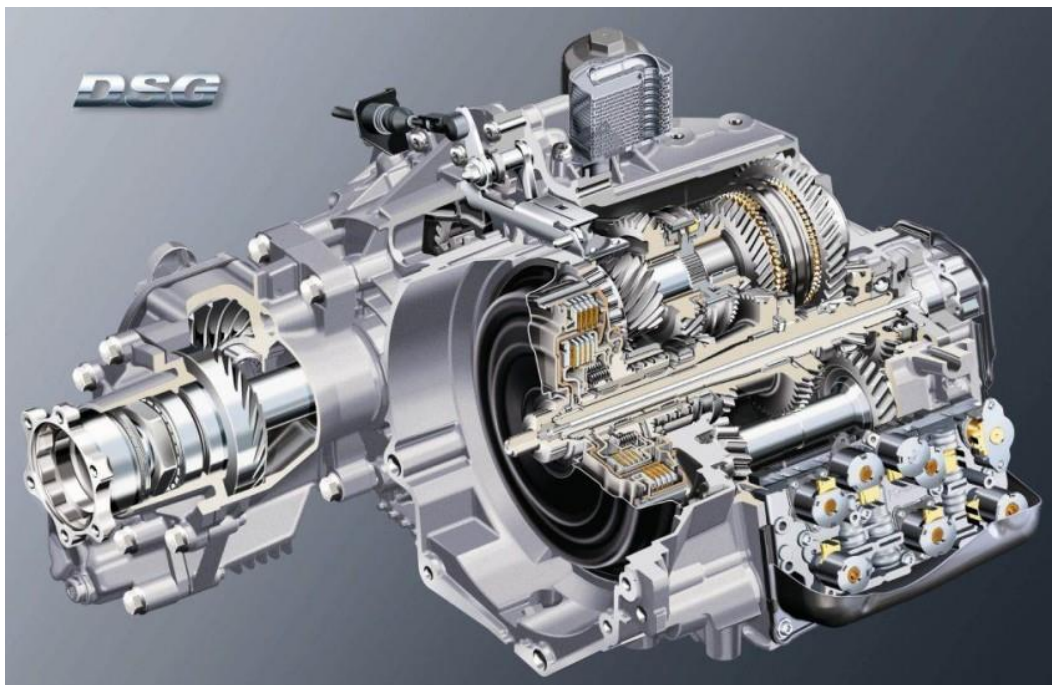
Аутомобили будућности можда су превише напредни у погледу конструкције, ефикасности – потрошње горива, обртног момента и перформанси, али ипак, интеракција између возача и возила остаће предуслов. DCT мењачи се активно укључује у концепте путничких возила водећих произвођача аутомобила.

Кинески утицај на глобално тржиште трансмисија са двоструком спојницом ће се наставити, јер се ови системи из кинеских производних погона активно постављају у неколико модела европских аутомобила. Недавна студија о глобалном тржишту DCT-а, коју је спровела компанија *Future Market Insights*, о пројектима који ће приходи из азијско-пацифичког региона (APAC) очекује се раст њихове производње у наредних пет година. Очекује се да се до 2020. године производња мењачких преносника са двоструком спојницом у региону APAC повећава на 16,14% [20].

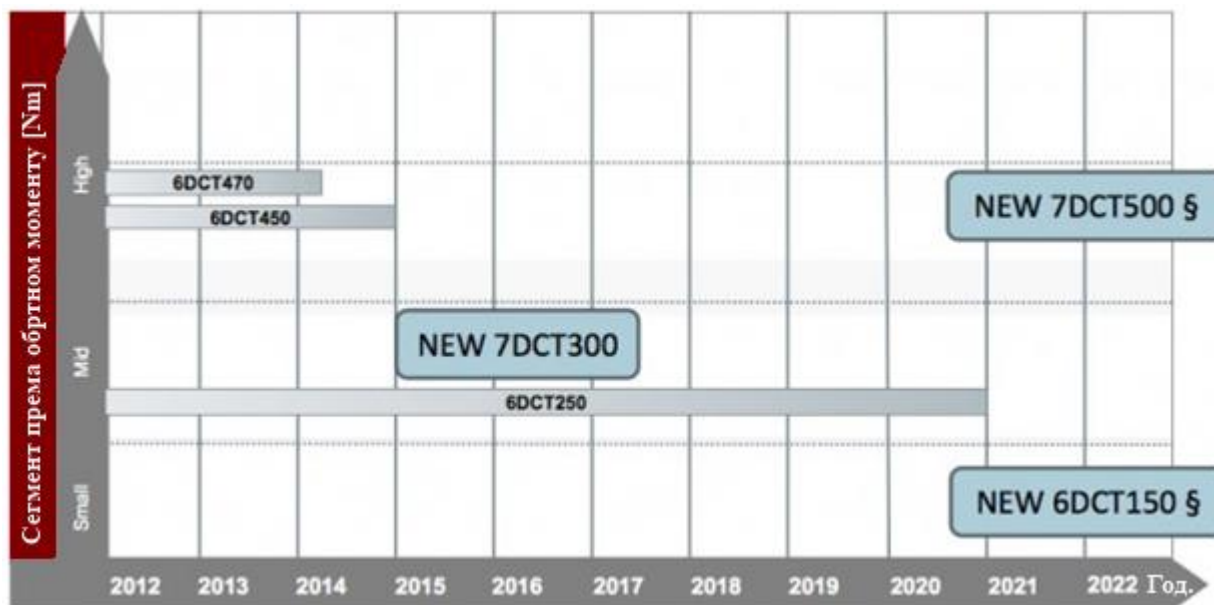
Предвиђа се знатан раст уградње DCT система у Северној Америци и западној Европи, с обзиром да су ово два најдоминантнија региона на глобалном тржишту. Европски произвођачи луксузних аутомобила попут *BMW*-а и даље уграђују мењачке преноснике са двоструком спојницом у своја возила високих перформанси. *BMW*-ов модел *M3* и даље се производи са *GETRAG's Dual Tronic* преносним системом са двоструком спојницом. *GETRAG*-ови DCT системи, такође, ће бити уграђивани у возила високих перформанси реномираних произвођача аутомобила *Ford Volvo, Ferrari, BMW* и *Mitsubishi* [20].

Истраживање глобалног тржишта потврдило су да је у 2014. години произведено 4.765.000 јединица DCT система у свету. До 2020. године, потражња за мењачем са двоструком спојницом и даље ће бити већа од континуално варијабилне трансмисија (CVT – *Continuously Variable Transmission*). Предвиђање је да ће спортски аутомобили остати опремљени DCT система, јер од свих врста преноса обезбеђују глатко пребацивање степена преноса. Очекивања су да ће у мотоцикле бити уграђивани мањи и компактни системи са двоструком спојницом, која је тренутно у развоју. Нови сет зупчаника који се уграђује DCT мењаче треба у систему додатно да унапредити пренос обртног момента, користећи уместо 10 зупчастих парова или 6 или 7 [20].

GETRAG-ови мењачки преносници са двоструком спојницом користе технологију спојница са мокрим фрикционим површинама. Највише примењивани модели преносника са двоструком спојницом су 6DCT150, као и седмостепени 7DCT300 и хибридни 7HDT300, конструисани за системе са мотором СУС и електромотором. Предвиђања су да ће се постојећи 6DCT150, слика 5.1, уграђивати у аутомобиле до краја 2022. године, слика 5.2.

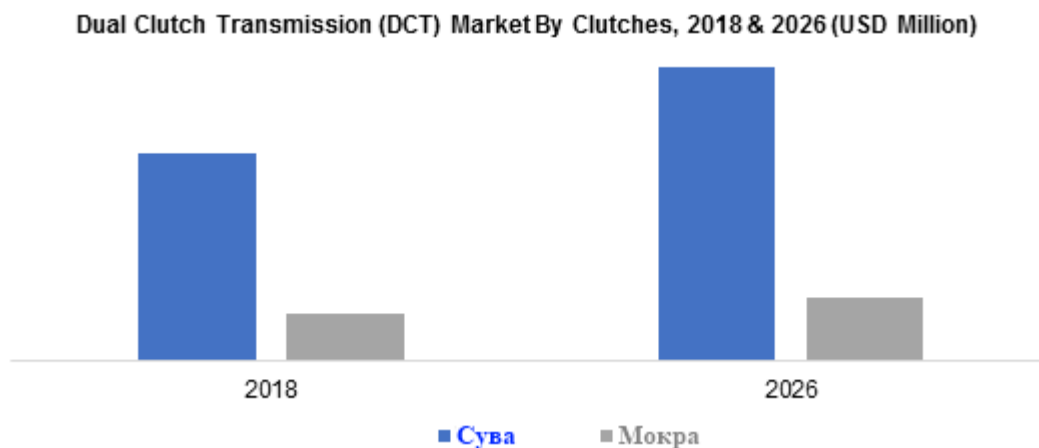


Слика 5.1. Мењачки преносник 6DCT150 [22]



Слика 5.2. Предвиђање производње GETRAG мењачких преносника са двоструком спојницом [22]

Двоструке спојнице са мокрым фрикционим површинама бележи значајну примену у спортским возилима. Реномирани произвођачи у аутомобилској индустрији укључени су у развој иновативних решења двоструких спојница са побољшаном динамиком вожње и контролом возила на неравним и тешким путевима. На пример, *ZF Friedrichshafen AG Power Shift DCT*, са мокрым фрикционим површинама обезбеђује обртни момент од 350 Nm до 750 Nm. Обезбеђује високу топлотну отпорност, стабилност при великим брзинама и обртним моментима ниског трења. Према истраживању *Global Market Insights*, очекује се да производња мењачких преносника са двоструком спојницом достигне 50 милијарди USD, слика 5.3.



Слика 5.3. Предвиђање повећања раста продаје мењачких преносника са двоструком спојницом у периоду од 2018. до 2026. године [23]

Приходи од мењачких преносника са двоструком спојницом на европском тржишту у периоду до 2026. године требало би да порасту за око 4%. Произвођачи се фокусирају на надоградњу погонског склопа и унапређење рачунарских јединица на возилу које се користе у технологији преноса снаге са двоструком спојницом. Према међународном савету за чист транспорт (ICCT – *International Council on Clean Transportation*), побољшани алгоритми у електронским управљачким јединицама (ECU) DCT-а ће умањити потрошњу горива, односно повећати економичност [23].

6. Прорачун елемената двоструке спојнице са сувим фрикционим површинама за путничко возило

У наставку рада биће извршен прорачун одређених елемената двоструке спојнице са сувим фрикционим површинама на основу одређених улазних величина за путничко возило. У овом случају изабрано је путничко возило *Ford Focus* са шестостепеним DCT мењачким преносником, модел *Ford DPS6*.

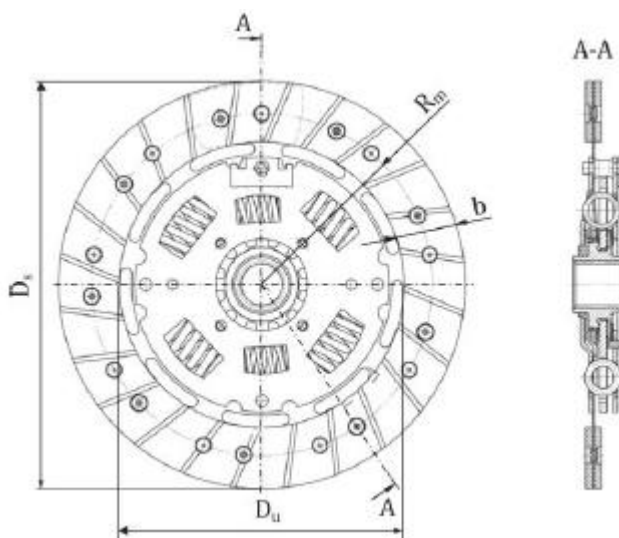
Полазни подаци:

- снага мотора (118 kW/160 KS/6500 o/min),
- обртни момент мотора (198 Nm/6500 o/min),
- шестостепени DCT мењачки преносник:
(1., 3. и 5. степен преноса – спојница 1)
(2., 4., 6. и ход уназад – спојница 2)

Задатак:

За путничко возило чији погонски агрегат има следеће карактеристике: $P_{emax} = 118 \text{ kW}$, $n_p = 6500 \text{ o/min}$ и $M_{emax} = 198 \text{ Nm}$ при $n_M = 6500 \text{ o/min}$ биће извршен прорачун главних делова фрикцих дискова двоструке спојнице: фрикционих дискова, фрикционе облоге, торзионих опруга и ожљебљене главчине. Након димензионисања биће извршен и прорачун провере наведених елемената.

1) Прорачун фрикционог диска и фрикционе облоге:



Слика 6.1. Фрикциони диска са основним величинама: D_s – спољачњи пречник диска, D_u – унутрашњи пречник диска, b – ширина фрикционе облоге, R_m – средњи пречник фрикционе површине [24]

- усвајање односа спољашњег и унутрашњег пречника фрикционе облоге:

$$\frac{D_u}{D_s} = 0,65 [-]$$

где је:

$$a = \frac{D_u}{D_s} = \begin{cases} 0,5 \div 0,6 - \text{за теретна возила} \\ 0,6 \div 0,7 - \text{за путничка возила} \end{cases}$$

- усвајање дозвољеног специфичног притиска:

$$p = 0,2 \text{ МПа}$$

где је:

$$p = \begin{cases} 0,15 \div 0,3 \text{ МПа} - \text{за суве фрикционе површине} \\ 2 \div 3 \text{ МПа} - \text{за метално керамичке фрикционе површине у уљу} \end{cases}$$

- усвајање коефицијента трења фрикционих облог по челику:

$$\mu = 0,3 [-]$$

где је:

$$\mu = \begin{cases} 0,325 \div 0,36, & t < 200^\circ\text{C} \\ 0,18, & t = 200^\circ\text{C} \\ \approx 1, & t < 100^\circ\text{C} \end{cases}$$

- Усвајање степена сигурности спојнице:

$$\beta = 1,6 [-]$$

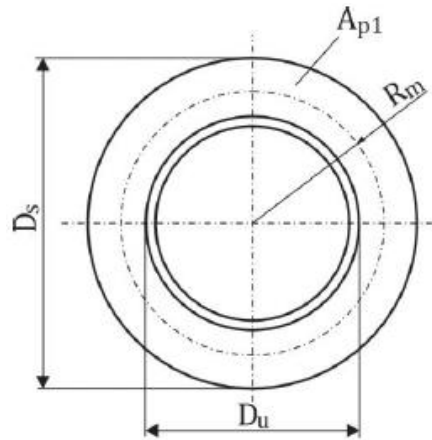
где је:

$$\beta = \begin{cases} 1,3 \div 1,75 - \text{за путничка возила} \\ 1,6 \div 2,5 - \text{теретна возила} \end{cases}$$

- Момент ношења спојнице:

$$M_s = \beta \cdot M_{emax} = 1,6 \cdot 198 = 316,8 \text{ Nm}$$

- Димензије фрикционе облоге:



Слика 6.2. Контактна фрикциона површина облога фрикционог диска: D_s – спољачњи пречник диска, D_u – унутрашњи пречник диска, R_m – средњи пречник фрикционе површине, A_{p1} – површина фрикционог диска [24]

$$M_s = F_s \cdot R_m = 2 \cdot \mu \cdot p \cdot A \cdot R_m;$$

- спољашњи пречник и ширина прстена облоге:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_s^2 - D_u^2)$$

- средњи пречник фрикционе површине:

$$R_m = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{D_s^3 - D_u^3}{D_s^2 - D_u^2} \right)$$

$$M_s = 2 \cdot \mu \cdot p \cdot \frac{\pi}{12} \cdot (D_s^3 - D_u^3) = \frac{\pi}{6} \cdot D_s^3 \left(1 - \left(\frac{D_u}{D_s} \right)^3 \right) \rightarrow$$

$$D_s^3 = \frac{6 \cdot M_s}{\pi \cdot \mu \cdot p \cdot \left(1 - \left(\frac{D_u}{D_s} \right)^3 \right)} = \frac{6 \cdot 203,02}{\pi \cdot 0,3 \cdot 0,2 \cdot 10^6 (1 - 0,65^3)} = 0,014 \text{ m}^3$$

$$D_s = 0,241 \text{ m} \rightarrow D_s = 245 \text{ mm}, \rightarrow D_u = 159,25 \text{ mm} \rightarrow D_u = 160 \text{ mm}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_s^2 - D_u^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (245^2 - 160^2) = 27037 \text{ mm}^2$$

$$R_m = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{D_s^3 - D_u^3}{D_s^2 - D_u^2} \right) = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{245^3 - 160^3}{245^2 - 160^2} \right) = 102,73 \text{ mm}$$

- димензије облоге фрикционог диска:

$$b = \frac{A}{2 \cdot R_m \cdot \pi} = \frac{27037}{2 \cdot 102,73 \cdot \pi} = 41,88 \text{ mm}$$

- провера димензија спољашњег и унутрашњег пречника:

$$D_s = 2 \cdot R_m + b = 247,34 \text{ mm}$$

$$D_u = 2 \cdot R_m - b = 139,65 \text{ mm}$$

- потребна максимална потисна сила главне спојнице је:

$$F_A = A \cdot p = 27037 \cdot 0,2 = 5407,4 \text{ N}$$

- максимална сила трења потребна за остваривање момента спојнице:

$$F_{\mu R} = \frac{M_s}{R_m} = \frac{316,8}{102,73} = 3083,81 \text{ N}$$

- број фриксионих површина:

$$F_{\mu R} = i \cdot \mu \cdot F_A \rightarrow i = \frac{F_{\mu R}}{\mu \cdot F_A} = \frac{3083,81}{0,3 \cdot 5407,4} = 1,90$$

пошто може бити само паран број површина усвојено је: $\rightarrow i = 2$

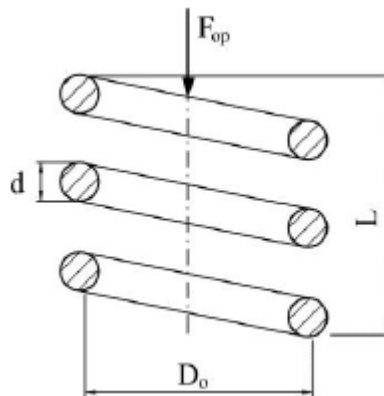
- потребан број опруга главне спојнице:

усвојено је да је потисну плочу потискује сила $F_{z1} = 900 \text{ N}$

$$z = \frac{F_A}{F_{z1}} = \frac{5407,4}{900} = 6,008$$

Усвојено је $z = 6$ опруга за уградњу.

б) Прорачун главних завојних опруга фриксионог диска:



Слика 6.3. Попречни пресек торзионе опруге на фриксионом диску од кружне жице [24]

Нормална сила на облози (која је једнака сили притиска главне опруге када се занемари кривост облога): $F_A = A \cdot p = 27037 \cdot 0,2 = 5407,4 \text{ N}$.

Ако узмемо конструкцију спојнице са 6 спиралних опруга смештених по обиму диска:

$$F_{op} = \frac{F_A}{6} = 901,28 \text{ N}$$

Полазни подаци:

- средњи пречник опруге $D_o = 30 \text{ mm}$,
- број опруга $p = 6$,
- коефицијент ношења спојнице $\beta = 1.6$,
- максимални момент мотора $M_{emax} = 198 \text{ Nm}$,
- модул клизања за опружне челике $G = (8 \div 9) = 8,5 \cdot 10^4$,
- дозвољени напон за опружне челике $\tau_d = (700 \div 900) = 800 \text{ MPa}$
- усвојени угиб опруге $f = 15 \text{ mm}$
- полупречник по коме се распоређују торзионе опруге $R_{to} = D_u = 139,65 \text{ Nm}$

- димензионисање пречника жице:

$$F_{op} = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \tau_d}{16 \cdot D_o/2} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot F_{op} \cdot D_o}{\pi \cdot \tau_d}} = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot 901,28 \cdot 30}{\pi \cdot 800}} = 4,41 \text{ mm}$$

усвојено (стандардно) $d = 4,5 \text{ mm}$

- број навојака опруге:

$$f = \frac{64 \cdot n \cdot \left(\frac{D_o}{3}\right)^3 \cdot F_{op}}{d^4 \cdot G} \Rightarrow n = \frac{f \cdot d^4 \cdot G}{8 \cdot D_o^3 \cdot F_{op}} = \frac{15 \cdot 4^4 \cdot 8,5 \cdot 10^4}{8 \cdot 30^3 \cdot 901,28} = 0,0002685 \cdot 10^4$$

$\Rightarrow n = 3$ – пуних навојака

укупан број навојака $n_{uk} = n + (1,2 \div 2)$

- кривост опруге:

$$c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot n \cdot D^3} = \frac{8,5 \cdot 10^4 \cdot 4,5^4}{8 \cdot 5 \cdot 30^3} = 53,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

- провера угиба опруге:

$$f = \frac{F}{c} = \frac{901,28}{53,8} = 16,75 \text{ mm}$$

- дужина слободне опруге:

$$L = 1,1 \cdot n \cdot d + 2f = 1,1 \cdot 3 \cdot 4,5 + 2 \cdot 15 = 44,85 \text{ mm} \Rightarrow 45 \text{ mm}$$

- сила која делује на опругу (преко обртног момента):

$$F = \frac{\beta \cdot M_{emax}}{R_{to}} = \frac{1,6 \cdot 198}{0,13965} = 2262,85 \text{ N}$$

- сила по опрузи:

$$F_1 = \frac{2262,85}{6} = 377,14 \text{ N}$$

- провера смицајног напона:

$$\tau = \frac{8 \cdot F_{op} \cdot D_o}{\pi \cdot d^3} = \frac{8 \cdot 901,28 \cdot 30}{\pi \cdot 4,5^3} = 755 \text{ MPa} \leq \tau_{udoz}$$

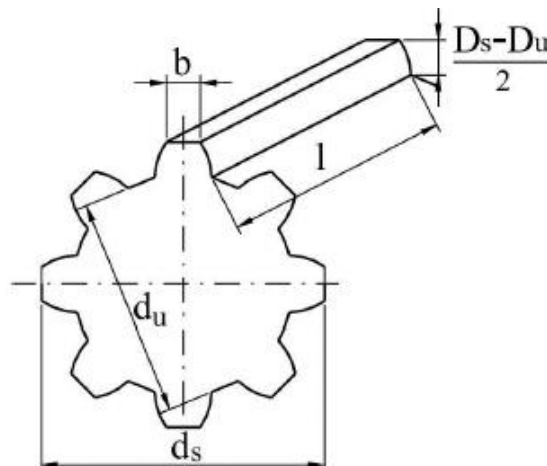
где је:

$\tau_{udoz} = (700 \div 900)$ – за опружи челик

в) Прорачун ожљебљене главчине:

Познати подаци:

- спољни пречник жљебова $D_s = 34 \text{ mm}$
- унутрашњи пречник жљебова $D_u = 30 \text{ mm}$
- дужина жљебова $l = 30 \text{ mm}$
- број жљебова $z = 8$
- коефицијент налегања површине жљебова $\alpha = 1.6$
- ширина жљебова $b = 6 \text{ mm}$



Слика 6.4. Ожљебљена главчина [24]

- средњи полупречник ожљебљења:

$$r_s = \frac{D_s + D_u}{4} = \frac{34 + 30}{4} = 16 \text{ mm}$$

- висина жљеба:

$$h = \frac{D_s + D_u}{2} = \frac{34 + 30}{2} = 32 \text{ mm}$$

- контактна површина:

$$A_n = h \cdot l \cdot z = 32 \cdot 30 \cdot 8 = 7680 \text{ mm}^2$$

- нормална сила по средњем пречнику жљеба:

$$F_n = \frac{\beta \cdot M_{emax}}{r_s} = \frac{1,6 \cdot 198}{0,016} = 19800 \text{ N}$$

- номинални напон:

$$\sigma_1 = \frac{F_n}{\alpha \cdot A_n} = \frac{19800}{1,6 \cdot 10240} = 161,133 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{doz}(150 \div 300 \text{ МПа})$$

- површина изложена смицању:

$$A_t = z \cdot l \cdot b = 8 \cdot 30 \cdot 6 = 1440 \text{ mm}^2$$

- смицајни напони:

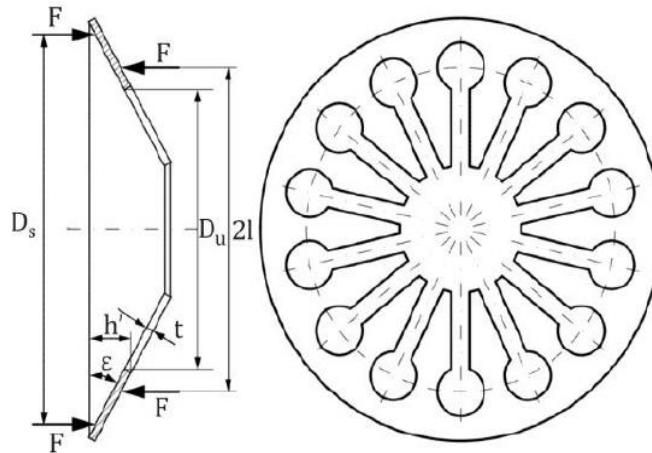
$$\tau = \frac{F_n}{\alpha \cdot A_t} = \frac{19800}{1,6 \cdot 1440} = 8,6 \text{ МПа}$$

$$\tau_{doz}(5 \div 15 \text{ МПа})$$

2) Пример аналитичког прорачуна разрезане тањирасте опруге:

Код главних спојница моторних возила примењују се тзв. разрезане тањирасте опруге, које се одликују сложеносту конструкције, дефинисању њених математичких параметара. Њихова аналитичка анализа захтева рашчлањавање на конични опружни прстен и опружно перо. Овакав аналитички поступак је могућ из разлога што опружни прстен остварује радну силу, док опружна пера служе за укључивање и искључивање дејства опружног

прстена, чиме су ова два дела функционално раздвојена. У овом случају примењена је метода еластичног коничног диск.



Слика 6.5. Разрезана тањираста опруг: D_u – унутрашњу пречник тањирасте опруге, D_s – спољашњи пречник опруге, F – сила, t – дебљина опруге, h – ход опруге, ε – угао хора опруге [11]

- спољашњи пречник опруге: $D_s = 245 \text{ mm}$,
- унутрашњи пречник опружног прстена : $D_u = 160 \text{ mm}$,
- дужина пера: $l = 47 \text{ mm}$,
- Поасонов коефицијент : $\nu = 0,3$,
- дебљина: $t = 2 \text{ mm}$,
- висина опруге: $h_0 = 15 \text{ mm}$,
- модул еластичности: $E = 2,06 \text{ GPa}$
- ширина пера на врху:

$$q = \frac{(120 \cdot \nu)}{18 - 8} = 13 \text{ mm}$$

- ширина пера на дну:

$$p = \frac{(40 \cdot \nu)}{18 - 2} = 5 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{D_s}{D_u} = \frac{245}{160} = 1,53$$

- **опружни прстен:**

препоручује се са највећи угиб буде $f_{\max} = 0,75 \cdot h_0$

- висина опружног прстена:

$$h' = \frac{h_0 \cdot \frac{D_s - D_u}{2}}{\frac{D_s}{2}} = \frac{15 \cdot \frac{245 - 160}{2}}{\frac{245}{2}} = 5,20 \text{ mm}$$

- следећи поступак је добијање вредност за коефицијент K :

$$\frac{1}{K} = \left(\frac{\delta + 1}{\delta - 1} - \frac{2}{\ln \delta} \right) \cdot \pi \cdot \left(\frac{\delta}{\delta - 1} \right)^2$$

$$\frac{1}{K} = \left(\frac{1,53 + 1}{1,53 - 1} - \frac{2}{\ln 1,53} \right) \cdot \pi \cdot \left(\frac{1,53}{1,53 - 1} \right)^2$$

$$\frac{1}{K} = 1,85 \rightarrow K = \frac{1}{1,85} = 0,54$$

сила која делује на опружни прстен за највећи препоручени угиб:

$$F = \frac{E \cdot f_{max} \cdot t}{\left(\frac{D_s}{2} \right)^2 \cdot K \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left((h' - f_{max}) \cdot \left(h' - \frac{f_{max}}{2} \right) + t^2 \right)$$

$$F = \frac{2,06 \cdot 10^5 \cdot 0,75 \cdot 15 \cdot 2}{\left(\frac{245}{2} \right)^2 \cdot 0,54 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left((5,2 - 0,75 \cdot 15) \cdot \left(5,2 - \frac{0,75 \cdot 15}{2} \right) + 2^2 \right)$$

$$F = 4130,38 \text{ N}$$

- **Опружно перо:**

- угиб f'_1 на месту дејства силе Q се може одредити као:

$$f'_1 = \xi \cdot \frac{E \cdot f_{max} \cdot t \cdot l^2}{n \cdot 3 \cdot B \cdot K \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left[(h_o - f_{max}) \cdot \left(h_o - \frac{f_{max}}{2} \right) + t^2 \right]$$

$$f'_1 = 1,2 \cdot \frac{2,06 \cdot 10^5 \cdot 0,75 \cdot 15 \cdot 2 \cdot 47^2}{20 \cdot 3 \cdot 6,66 \cdot 10^5 \cdot 0,54 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left[(15 - 0,75 \cdot 15) \cdot \left(15 - \frac{0,75 \cdot 15}{2} \right) + 2^2 \right]$$

$$f'_1 = 24,5 \text{ mm}$$

Фактор ξ зависи од односа $p/q = 0,38$ и има вредност $\xi = 1,2$.

$B = E \cdot I_x$ – крутост опружног пера,

$I_x = \frac{q \cdot t^3}{12}$ – момент инерције пера.

n – број пера 20.

$$I_x = \frac{5 \cdot 2^3}{12} = 3,33 \text{ mm}$$

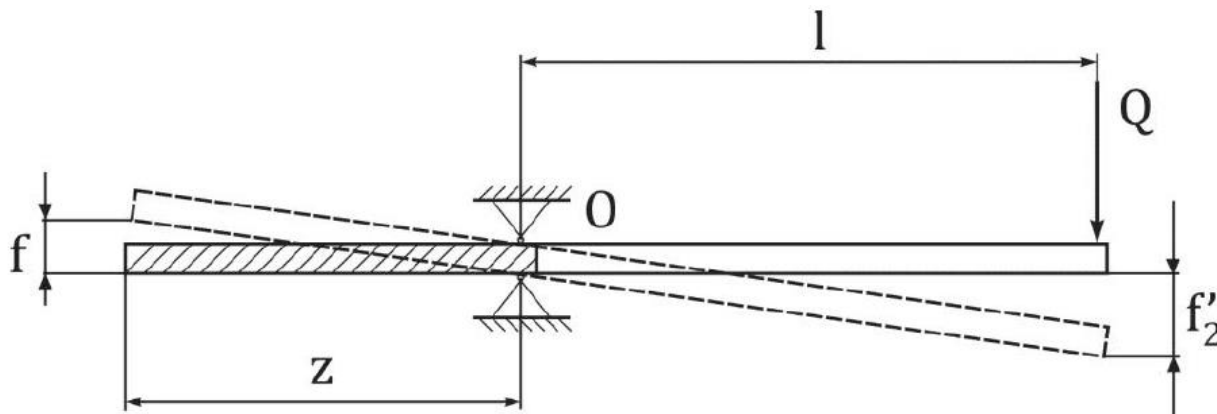
$$B = E \cdot I_x = 2,06 \cdot 10^5 \cdot 3,33 \text{ N/mm} = 6,66 \cdot 10^5 \text{ N/mm}$$

Услед промене угиба опружног прстена f , на основу (слика 3.9), може се доћи до додатног померања силе Q за угиб f'_2 , тада ће укупан угиб бити:

$$f'_1 + f'_2 = f'$$

где је:

$$f'_2 \cdot z = f \cdot l$$



Слика 6.6. Одређивање компоненте угиба f'_2 [5]

- други део угиба настаје ротацијом уз додатно померање силе:

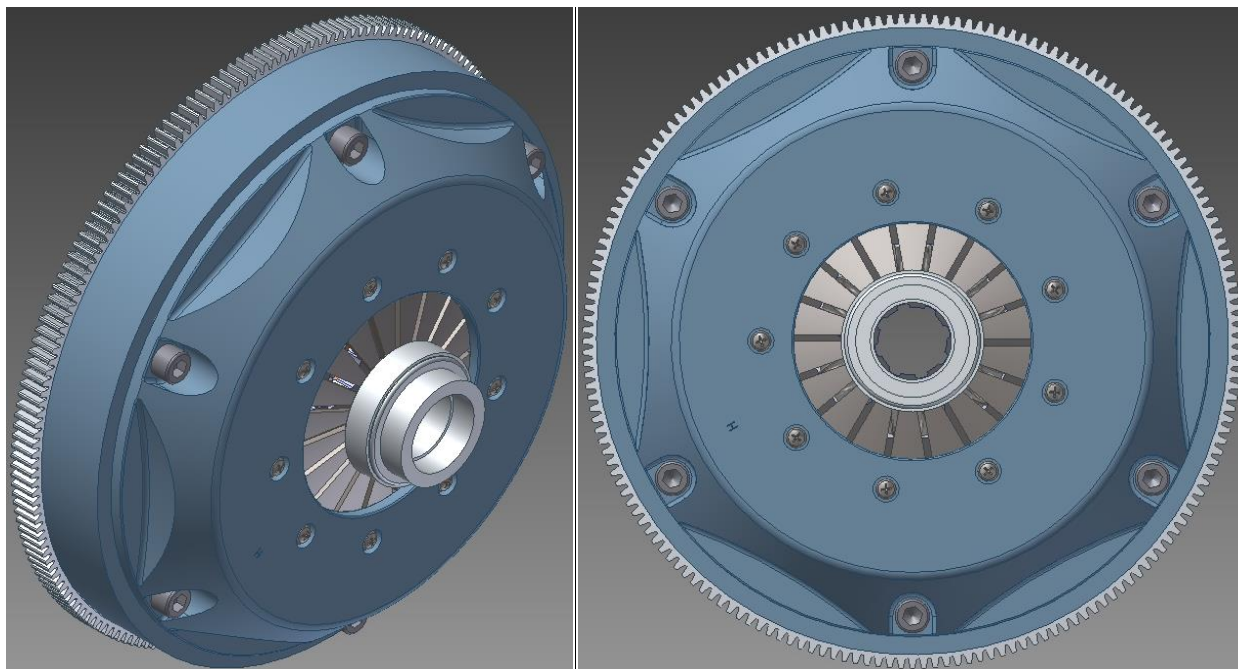
$$f'_2 = \frac{f_{\max} \cdot l}{z} = \frac{0,75 \cdot 15 \cdot 47}{32} = 16,52 \text{ mm}$$

- укупан угиб се добија сабирањем претходних чланова:

$$f' = f'_1 + f'_2 = 24,5 + 16,52 = 41,02 \text{ mm}$$

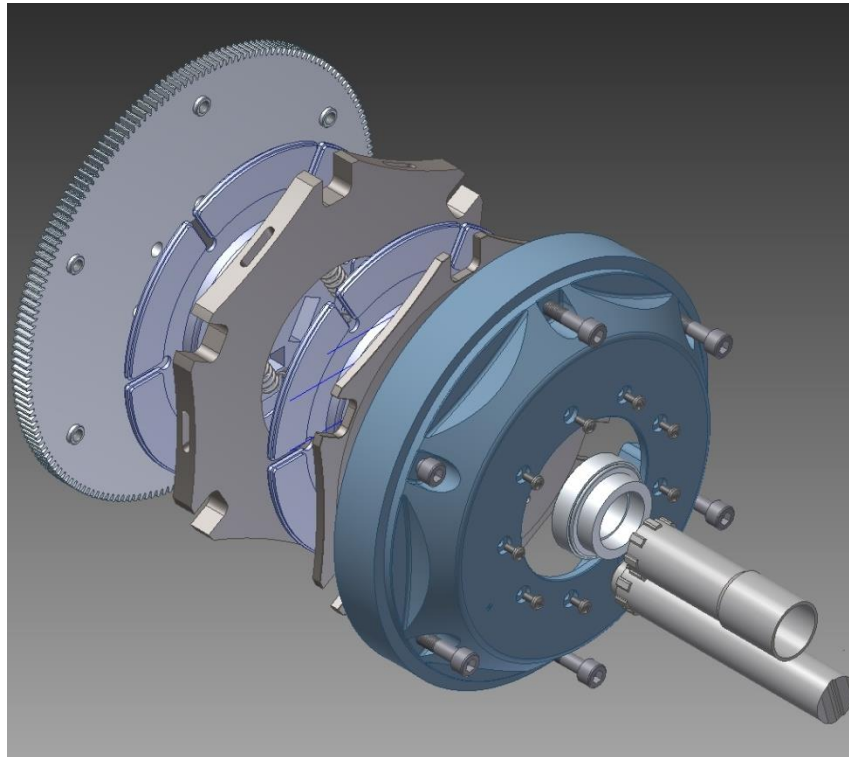
7. Израда елемената двоструке спојнице у програмском пакету *Autodesk Inventor*

На основу прорачуна из поглавља 6, даље се приступа моделирању двоструке спојнице. Према димензијама фрикционих дискова добијених прорачуном може се извршити креирања скице профила погонских дискова (слика 7.1), односно запреминског модела.

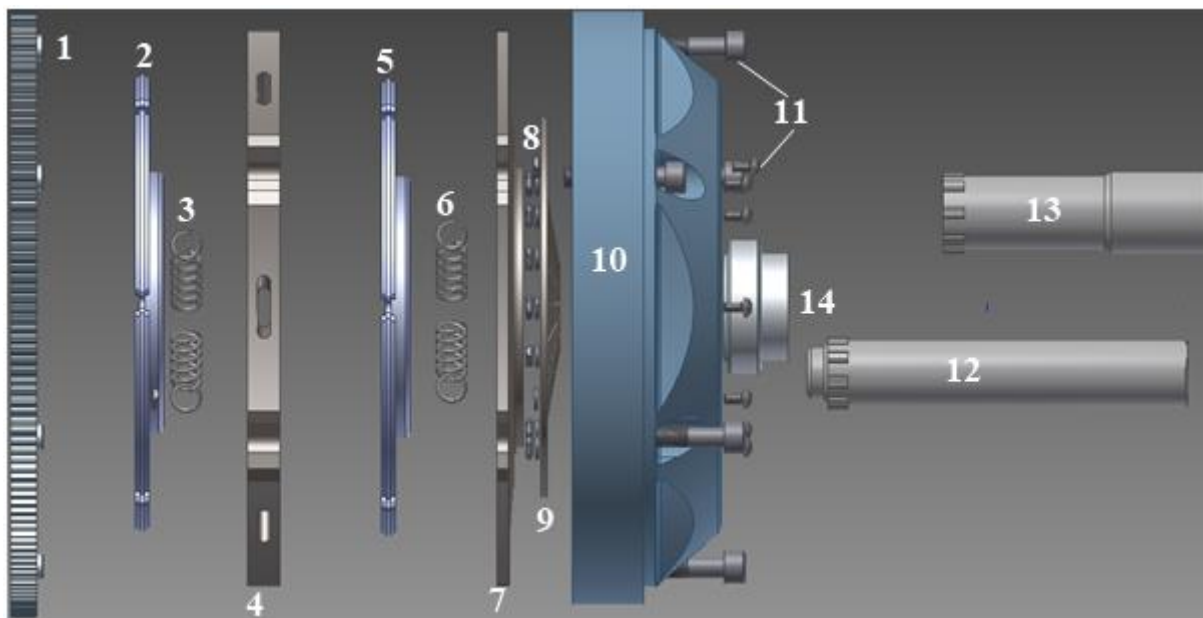


Слика 7.1. Тродимензионални модел двоструке спојнице креиран у програмском пакету *Autodesk Inventor*

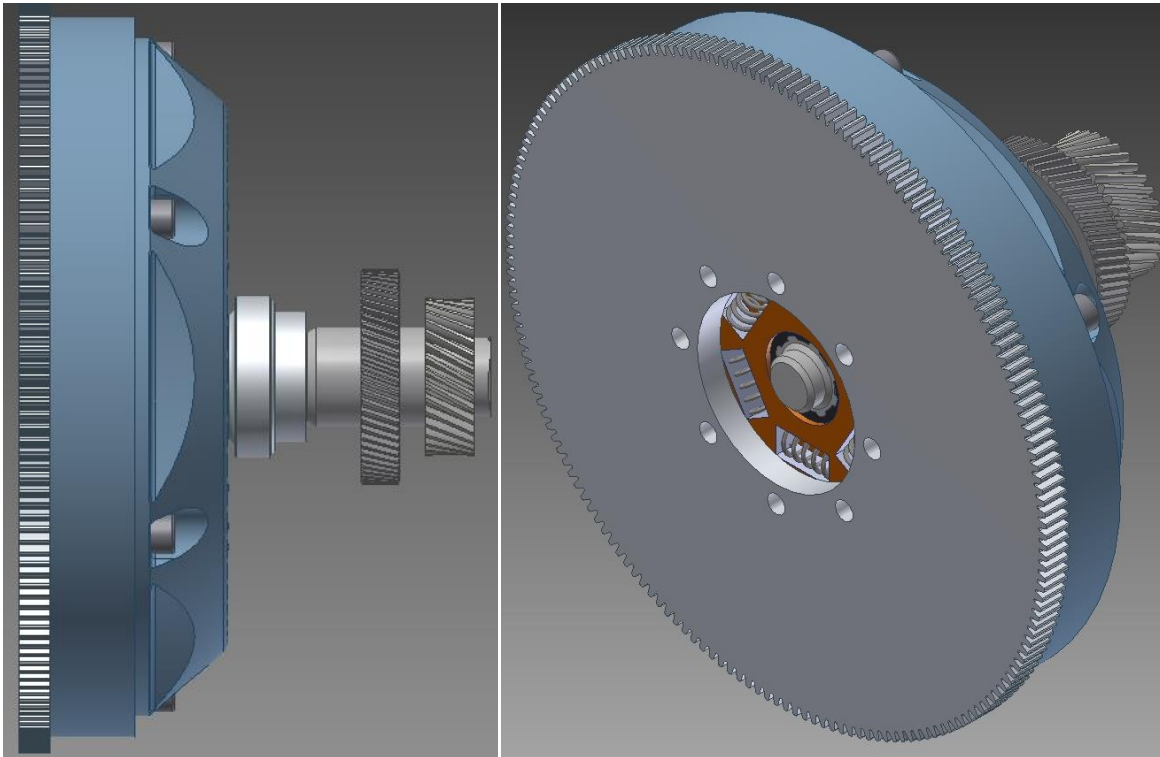
Када је завршено моделирање свих битних елемената двоструке спојнице врши се формирање склопа у програму “*Assembly*” програмског пакета *Autodesk Inventor*. На основу параметара из прорачуна, габарита и сличних модела двоструких спојница са сувим фрикционим површинама извршено је склапање исте. Склоп модела двоструке спојнице приказан је на наредним сликама.



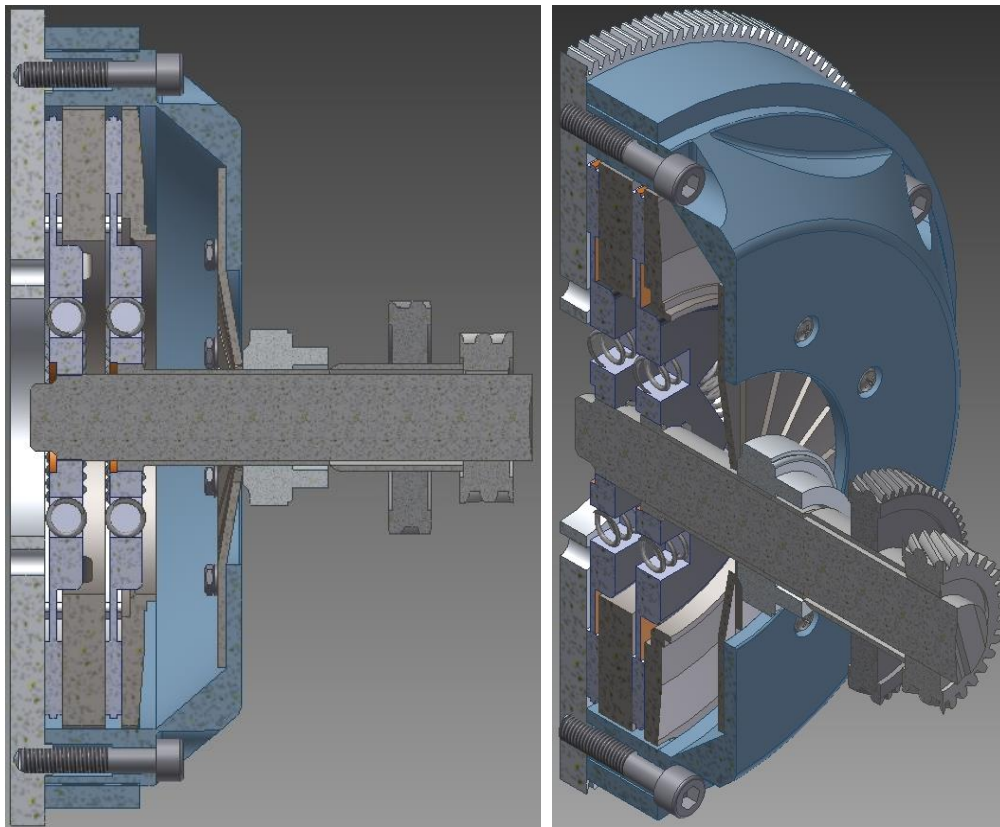
Слика 7.2. Склоп модела двоструке спојнице у растављеном стању



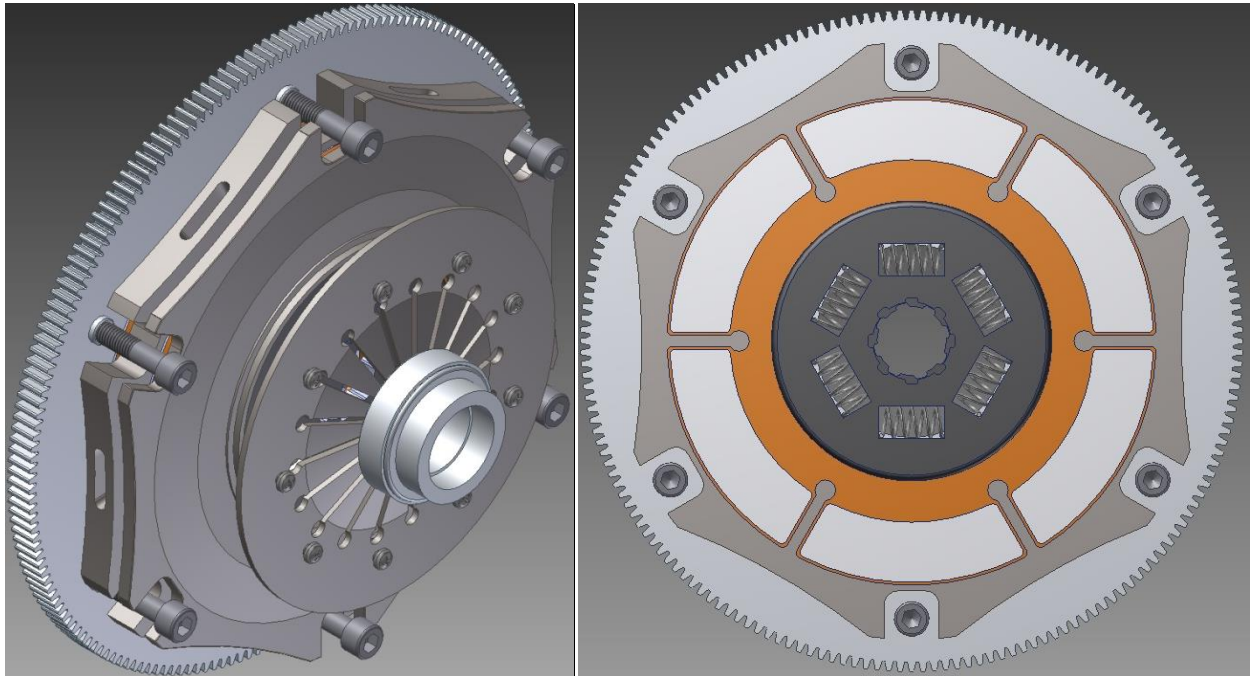
Слика 7.3. Склоп модела двоструке спојнице у растављеном стању са означеним позицијама: 1. једноструки замајац, 2. фрикциони диск 1, 3. торзионе опруге, 4. потисна плоча 1, 5. фрикциони диск 2, 6. торзионе опруге, 7. потисни диск 2, 8. навртке и подлошке, 9. тањираста опруга, 10. поклопац спојнице, 11. вијци, 12. део унутрашњег (пуног) вратила са ожљебљеном главчином, 13. део спољашњег (шупљег) вратила са ожљебљеном главчином, 14. потисни лежај



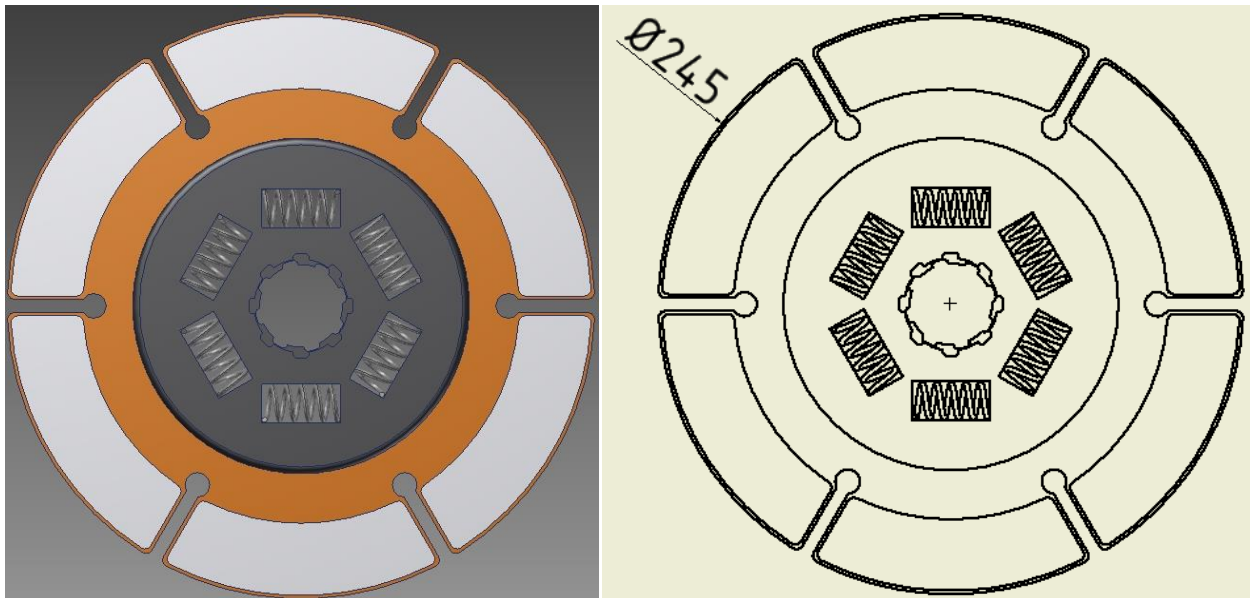
Слика 7.4. Склоп модела двоструке спојнице поглед са стране и отпозади



Слика 7.5. Склоп модела двоструке спојнице попречни пресек



Слика 7.6. Склоп модела двоструке спојнице без поклопца спојнице



Слика 7.7. Модела фрикционог диска 2 (245 mm)

8. Закључак

Усавршавањем фрикционих спојница дошло се до конструктивног решења трансмисије моторних возила у коме се снага мотора преноси преко двоструке спојнице. Код овог типа конструкције мењачких преносника пошло се од идеје да се парни степени преноса налазе на једном, а непарни на другом вратилу. Тако је промена степена преноса из нижег у виши знатно бржа у односу на мануелне мењачке преноснике.

Примена DCT мењачких преносника на путничким возилима постаје предуслов испуњења све строжијих захтева у погледу ефикасности, потрошње горива, преношења обртног момента и перформанси. Очекивања су да у будућности двоструке спојнице постану први избор за уградњу у путничка возила водећих светских произвођача аутомобила. Своју ефикасност DCT мењачки преносници и двоструке спојнице показали су код спортских аутомобила, где се тражи брза промена степена пренос из нижег у виши и обрнуто.

Ипак, без обзира на све предности примена овог типа спојница у трансмисији конвенционалних возила је веома ограничена. Разлози ових ограничења су сложено одржавање, ако већа цена израде. Тако се њихова примена своди двоструке на комбинацију са секвенцијалним мењачким преносником, као алтернативно решење за фрикционе спојнице.

Сматра се да мењачи с двоструком спојницом бити у примени наредних неколико година, а очекивања су да се аутомобилска индустрија акценат стави на конвенционалне аутоматске преноснике са конвертером обртног момента. Произвођачи аутомобила планирају аутоматске мењачке преноснике са 9 или чак 10 степена преноса.

DCT мењачки преносници је у односу на хидромеханичке мењаче има две предности, а то су маса и бржа промена степена преноса. Сада је та разлика у брзини промене степена преноса неутралисана из разлога јер су аутоматски мењачи постали ефикаснији по овом критеријуму. Међутим, није само брзина промене степена преноса ограничавајући фактор. Један од већих недостатака је и век трајања и максимална снага и обртни момент, јер је њихов лимит око 340 kW и 600 Nm. Код мењачких преносника са двоструком спојницом не може се гарантовати поузданост у случају њихове примене преко наведених вредности.

Литература:

- [1] Филиповић И., Цестовна возила – приручник за водитеље станица техничког прегледа возила, Сарајево, 2012.
- [2] ZF, Product for Industrial Gearboxes, History: https://www.zf.com/products/en/industrial_gearboxes/history/history.html, приступљено 21.3.2020.
- [3] Drive Mag, History of the dual-clutch transmission: <https://drivemag.com/red-calipers/history-of-the-dual-clutch-transmission>, приступљено 22.3.2020.
- [4] Dctfactors, Wet Clutch or Dry Clutch?: <https://web.archive.org/web/20100327162942/http://www.dctfacts.com/information/wet-clutch-or-dry-clutch.aspx>, приступљено 22.3.2020.
- [5] Глишовић Ј., Структура и конструкција МВ – наставни материјал, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, школска 2019/2020.
- [6] Техничка обука система за пренос снаге путничких возила, Конструкција, функција и могућа оштећења: https://simimpex.ba/download/kvacilo/ostecenja_i_savjeti_za_sistem_prenosa_snage_sachs.PDF, приступљено 28.3.2020.
- [7] Wikiwand, Dual-clutch transmission: https://www.wikiwand.com/en/Dual-clutch_transmission, приступљено 11.4.2020.
- [8] The Double Clutch, Technology/special tools: <https://www.repxpert.com/en/mediadocument/LuK-TecBr-2CT-Basis-PC/en>, приступљено 11.4.2020.
- [9] Schaeffler, Made-to-Order Double Clutch Systems: <http://schaeffler-events.com/symposium/lecture/t6/index.html>, приступљено 12.4.2020.
- [10] Auto howstuffworks, How Dual-clutch Transmissions Work: <https://auto.howstuffworks.com/dual-clutch-transmission1.htm>, приступљено 21.4.2020.
- [11] ZF, Product for Cars, Dual Wet Clutch: https://www.zf.com/products/en/cars/products_29327.html#products_anchor_link_1346, приступљено 22.4.2020.
- [12] Team-Bhp, Ford PowerShift Dual-ClutchTransmission (DCT): <http://www.team-bhp.com/forum/technical-stuff/168683-ford-powershift-dual-clutch-transmission-dct-technical-overview.html>, приступљено 16.5.2020.
- [13] Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W., Automotive Transmissions, Fundamentals, Selection, Designand Application, 2011.

- [14] Rashmi V N, Varun Kumar G, Rashmi S, An insight to the construction and working of double clutch transmission, International Journal of Engineering Research And Advanced Technology (IJERAT), ISSN: 2454-6135, Special Volume. 02 Issue.01, May 2016.
- [15] Axle addict, The Mechatronics of the Volkswagen Dual-Clutch Transmission: <https://axleaddict.com/auto-repair/The-Mechatronics-of-the-Volkswagen-Dual-Clutch-Transmission>, приступљено 16.5.2020.
- [16] ZF, Active launch systems (For passenger cars up to 1,000 Nm): https://www.zf.com/products/media/en/product_media/cars_5/pkw_a_aktiveanfahrsysteme_2017.pdf, приступљено 17.5.2020.
- [17] Chang-Yeon Cho, Jeong-Heon Kam, Han-Ki Hong, Lövenich C., More Efficiency with the Dry Seven-speed Dual-clutch Transmission by Hyundai. ATZ 06/2016, Volume 118.
- [18] MLFREE, DSG gearbox – How the DSG gearbox works: <https://mlfree.com/en/dsg-gearbox/>, приступљено 6.6.2020.
- [19] Audizine, Seven-speed dual-clutch gearbox 0B5/S tronic: [http://www.audizine.com/forum/showthread.php/356141-Details-about-the-Seven-speed-dual-clutch-gearbox-0B5-S-tronic-\(DL501\)](http://www.audizine.com/forum/showthread.php/356141-Details-about-the-Seven-speed-dual-clutch-gearbox-0B5-S-tronic-(DL501)), приступљено 7.6.2020.
- [20] M Drivetrain: http://www.m5board.com/vbulletin/attachments/e60-m5-e61-m5-touring-discussion/227985d1366040978-m5-m6-s85-recall-tech-service-bulletin-service-information-bulletin-technical-docs-thread-one-stop-shop-06_m-drivetrain.pdf, приступљено 13.6.2020.
- [21] Budholiya A, Embedded Computing Desing, The future of dual-clutch transmissions: <https://www.embedded-computing.com/embedded-computing-design/the-future-of-dual-clutch-transmissions>, приступљено 14.6.2020.
- [22] Paul Tan, Dual-clutch transmissions: dry clutch on the way out?: <https://paultan.org/2014/03/17/dual-clutch-transmissions-dry-clutch/>, приступљено 14.6.2020.
- [23] Pulidindi K., Pandey H., Global Market Insights, Dual Clutch Transmission (DCT) Market Size to hit \$50bn by 2026: https://www.gminsights.com/pressrelease/dual-clutch-transmission-dct-market?fbclid=IwAR1f7UYTYNtSYFvmSivl-hlTuCHR-Hx1B_dE1Fj2T84fHrA8dR9c7mQCb0A, приступљено 15.6.2020.
- [24] Глишовић Ј.; КОНСТРУКЦИЈА ВОЗИЛА – Методичка збирка задатака са изводима из теорије, Крагујевац, 2014.