

Факултет инжењерских наука

Универзитета у Крагујевцу

Јован С. Ђурђевић

Торзен осовински/међуосовински диференцијал

Крагујевац, 2017.

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Аутомобилско инжењерство
Ниво студија: Мастер академске студије
Предмет: Конструкција возила
Број индекса: 392/2015**

Јован С. Ђурђевић

Торзен осовински/међуосовински диференцијал

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. Др Јасна Глишовић, доцент – ментор**
- 2. _____**
- 3. _____**

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- прикаже историјски развој диференцијалних преносника савремених друмских возила, изврши класификацију, објасни улогу и захтеве који се постављају пред овај склоп,
- анализира различита конструктивна решења осовинских/међуосовинских диференцијала моторних возила које се примењују у склоповима преноса снаге,
- објасни принцип функционисања и конструкцију Торзен диференцијалног преносника,
- изврши прорачун пужног преносника као главног елемента Торзен диференцијала,
- моделира Торзен диференцијал коришћењем програма Autodesk Inventor6.

Препоручена литература:

- [1] Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W.: Automotive transmissions-Fundamentals, Selection, Design and Application; Second Edition; Springer, Berlin 2011
- [2] Глишовић Ј.: Конструкција Возила, Методичка збирка задатака са изводима из теорије, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014.
- [3] Mahes, S., Mantovani, U., Tasca, A., Torsen differential for FSAE 2016 race car, B.S. THESIS, Florida International University, 2015

Крагујевац 21.05.2017

ментор:

Др Јасна Глишовић, доцент

РЕЗИМЕ

Циљ овог мастер рада је упознавање са основним карактеристикама Торзен диференцијала на возилима. У раду су анализиране осовинске/међуосовинске врсте диференцијала, као и њихова примена на возилима и основни задаци. Објашњен је принцип рада диференцијала, а посебан акценат је стављен на функционисање Торзен диференцијала. Приказан је и утицај Торзен диференцијала на управљивост. Извршен је прорачун пужног преносника у Торзен диференцијалу за изабрано возило. Такође је и дат 3D модел Торзен диференцијала у програму Autodesk Inventor.

Кључне речи: *Торзен диференцијал, возило, управљивост, пужни преносник, 3D модел.*

ABSTRACT

The aim of this master thesis is to familiarize with the basic characteristics of Torsen differential on vehicles. The paper analyses the basic types of axle/centre differentials, as well as their application on vehicles and basic tasks. The principle of operation of the differential is explained, and a special emphasis is placed on the functioning of the Torsen Differential. The influence of Torsen Differential is also shown to influence vehicle's handling. The calculation of the worm gearbox in the Torsen differential for the selected vehicle was executed. The 3D Model of Torsen Differentials in Autodesk Inventor was also given.

Key words: *Torsen differential, vehicle, steering, worm gear, 3D model.*

Садржај

1. Увод.....	5
1.1 Историјски развој диференцијала.....	6
2. Типови диференцијала	8
2.1 Диференцијални преносник	8
2.2 Међуосовински диференцијал	12
2.3 Блокада диференцијала.....	17
2.3.1 Механичко (100%) блокирање диференцијала	20
2.3.2 Самоблокирајући диференцијали зависно од разлике обртног момента.....	22
2.3.3 Аутоматско блокирање диференцијала у ограниченом проценту.....	22
2.3.4 Самоблокирајући диференцијали зависни од брзине	23
2.3.5 Системи са активно (рачунаРСки) контролисаним диференцијалима.....	25
2.3.6 Porsche 959 PSK систем	25
3. Торзен диференцијал.....	27
3.1 Упоредна анализа других диференцијала са Торзен диференцијалом	32
3.2 Типови Торзен диференцијала.....	35
4. Коришћени материјали за израду Торзен диференцијала	38
5. Утицај Торзена на управљивост.....	40
6. Прорачун и моделирање Торзен диференцијала коришћењем програма Autodesk Inventor	43
6.2 Прорачун пужног преносника и 3D модел	47
6.2.1 Димензионисање пужног пара	47
6.2.2 Границе оптерећења пужног пара.....	51
6.2.2.1 Гранична снага обзиром на загревање.....	51
6.2.2.2 Гранична снага обзиром на носивост бока зуба	53
6.2.2.3 Контрола угиба осовине пужа	54
6.2.2.4 Контрола чврстоће зуба на лом	55
6.3 CAD модел Торзен диференцијала.....	56
7. Закључак.....	58
8. Литература.....	59

1. Увод

Данас је у свету развијено више различитих типова диференцијала. Сви су развијени према посебним захтевима и у зависности од услова имају своје предности и мане. Првобитна верзија је био отворени диференцијал који је био захвалан за одржавање али се у случају проклизавања неког од погонских точкова сав обртни момент мотора преносио на тај точак због чега је, у случају потпуног губитка пријањања поменутог точка, возило остајало заглављено. Тај недостатак надокнадили су диференцијали са ограниченим проклизавањем (енг. Limited Slip Differential - LSD) који су у савременој аутомобилској индустрији тренутно најраспрострањенији и представљају најоптималније решење у погледу односа уложено/добито.

Неки од LSD диференцијала на путничким возилима су:

- диференцијали са непроменљивим преносним односом обртног момента између осовина,
- диференцијали који реагују на промену обртног момента између осовина (Torsen),
- диференцијали који реагују на промену брзине између осовина и
- електронски контролисани диференцијали.

Како расподелити расположиви обртни момент на поједине точкове са добрим/лошим пријањањем у зависности од услова на путу је био главни проблем, како возача тако и произвођача возила. У аутомобилима и осталим возилима са точковима, диференцијал је уређај који се најчешће састоји од зупчаника и омогућава да се погонски точкови обрћу различитим брзинама док се на исте доводи подједнак обртни момент. Ово је била основна замисао диференцијала која је тежила циљу да се добије возило које ће се стабилно кретати, како на правцу тако и у кривинама, без додатног оптерећења на управљачки и моторски склоп возила.

Дужина пређеног пута унутрашњих точкова мања је од дужине пута спољашњих. Такође је приметна разлика пређених путева између точкова на задњој и предњој осовини. Ово је битно приметити јер се код овог типа возила мора уградити и централни (лонгитудинални) диференцијал који има могућност да регулише количину обртног момента која ће се пренети између погонских осовина.

Да диференцијал није уграђен (било између осовина или између појединих точкова исте осовине) тада би точкови били спојени крутом везом. У ситуацији када је потребна разлика између брзина одређених точкова долазило би до појаве блокирања или клизања точка по подлози.

На данашњим асфалтним путевима и са квалитетним пнеуматичима била би потребна велика сила како би возач савладао и натерао точак да проклиза, а и када би се то десило та сила би се пренела дуж свих елемената које преносе погонски момент што би довело до њиховог механичког напрезања и повећаног хабања и скраћеног радног века [2].

1.1 Историјски развој диференцијала

Постоји много тврдњи о настанку диференцијала, али први потврђени трагови о њима се могу срести у списима из античког доба. Кључне године које се везују за настанак диференцијала су следеће [3]:

- 1050-771 п.не. у књизи песме (која је писана између 502 и 557 н.е.) се налази податак да се диференцијал користио у конструкцији кочија која је коришћена у западној Џоу династији у Кини.
- 227-239 н.е. упркос сумњи министара, Ма Џун из краљевства Веи у Кини је направио први историјску кочију која показује југ и у себи има диференцијал (слика 1).



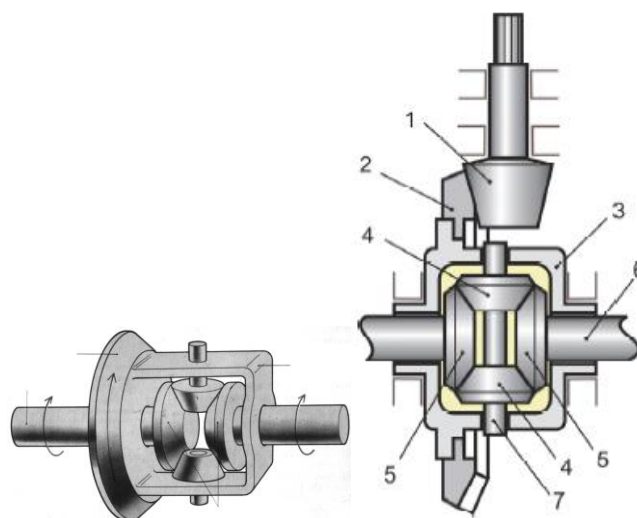
Слика 1. Кочија са првим диференцијалом која показује југ [4]

- 658-666 н.е. двоје кинеских будистичких монаха и инжењера су направили кочију која показује југ за владара Тенци из Јапана.
- 1027-1107 н.е. документовано је више произведених модела кочија које показују југ од стране Јан Су и Ву Дерена, у којима су описани детаљи и функционисање механизма као и односи зупчаника, опис је много опширнији него у ранијим кинеским записима.
- 1720. - Џозеф Вилијамсон користи диференцијални механизам у сату.
- 1810. - Рудолф Акерман из Немачке осмишљава управљачки механизам за четири точка за кочије, који касније неки писци грешком сврставају у диференцијал.
- 1827. - модерни аутомобилски диференцијал је патентиран од стране произвођача сатова Онезијфу Пикеа (1792-1852) који га користи на парним колима.
- 1832. - Ричард Роберц из Немачке патентира диференцијал за локомотиве.
- 1876. - Џејмс Старли из Ковентрија осмишљава диференцијал који се погони ланцем за примену на бициклима, изум је касније користио Карл Бенц за производњу аутомобила.
- 1897. - прво коришћење диференцијала на аустралијском парном аутомобилу од стране Дејвида Ширера.
- 1913. - Пакард представља диференцијал са спиралним зупчаницима који смањују буку.
- 1926. - Пакард представља хипоидни диференцијал, који омогућава да погонско вратило и његово кућиште буду такве конструкције да омогућава мањи клиренс возила.
- 1958. - Вернон Глиман патентира торзен диференцијал са ограниченим клизањем, који се заснива на раду зупчаника уместо комбинације спојнице и зупчаника.

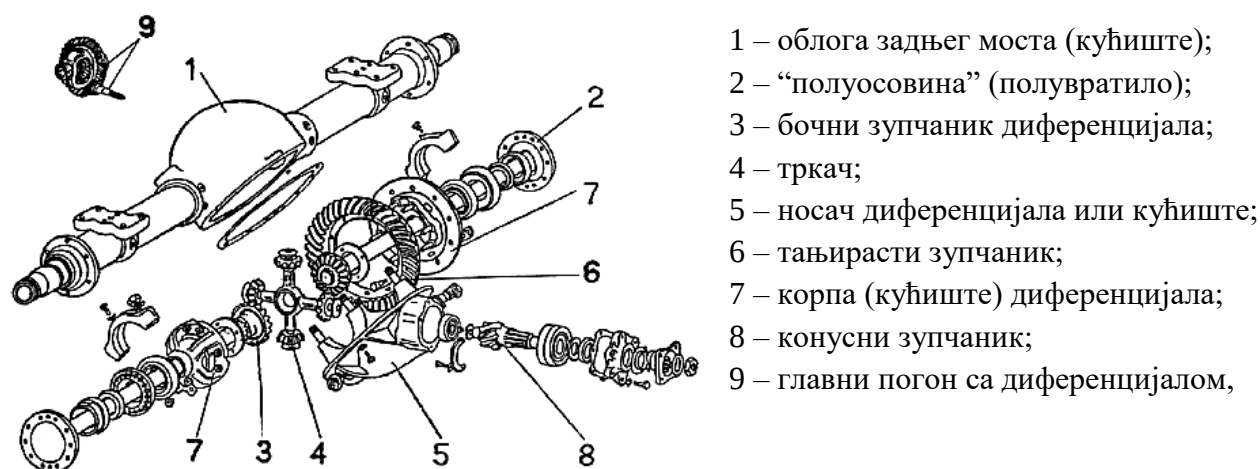
2. Типови диференцијала

2.1 Диференцијални преносник

Осовински диференцијални преносник (диференцијал) служи за развођење снаге на леви и десни точак, при чему им се брзине могу разликовати (слика 2). До разлике брзина може доћи при кретању у кривини, по неравној подлози или проклизавања точка. Током кретања возила момент се преко главног преносника доводи на кућиште диференцијала, а са кућишта преко осовине и сателита разводи на централне зупчанике, односно вратила точкова. Ако се занемари трење и инерција, доведени моменти левом и десном точку су увек исти. При кретању на правцу тј. када се леви и десни точак (теоријски) обрћу једнаком брзином, сателитски зупчаници окрећу се са кућиштем диференцијала, али мирују у односу на осовину и кућиште (не врше релативно обртање). Када возило пролази кроз кривину, точак на спољашњој страни кривине прелази већи пут за исто време и зато се брже обрће од точка на унутрашњој страни кривине. То изазива релативно обртање сателитских зупчаника око њихове осе. При томе је тренутна средња брзина обртања левог и десног точка једнака брзини обртања кућишта диференцијала [1].



Слика 2. Шематски приказ склопа главног преносника са коничним паром
 1 - погонски зупчаник главног преносника, 2 - тањирасти зупчаник главног преносника, 3 - кућиште диференцијала, 4 - сателитски зупчаници, 5 - централни зупчаници, 6 - погонско вратило точка, 7 - осовина сателита



Слика 3. Позиција диференцијала у склопу погонског моста [5]

Приликом кретања возила кроз кривину, точак који прелази мањи пут пружа већи отпор окретању, јер га кочи подлога. У том случају зупчаник те полуосовине се кочи, те се преко кућишта и сателита повећава број обртаја полуосовине точка који прелази дужи пут. Колико се смањи број обртаја једног точка, толико се повећа број обртаја другог. При кретању возила у правцу, сателити се не обрћу око своје осе него тада играју улогу клинова међу бочним зупчаницима полуосовина. Приликом кочења једног од бочних зупчаника полуосовине услед повећаног отпора котрљања, сателити почињу да се окрећу око своје осовине, те на тај начин повећавају број обртаја друге полуосовине.

Ова осовина диференцијала у неким случајевима отежава кретање возила на клизавом путу. Приликом пропадања једног погонског точка у блато или песак, тај точак има веома мали отпор котрљања насупрот точку који се налази на чврстој подлози. У том случају точак који се налази на чврстој подлози престаје да се обрће, док точак који је на делу подлоге која пружа мали отпор, преко диференцијала добија пун број обртаја и возило остаје непокретно [5].

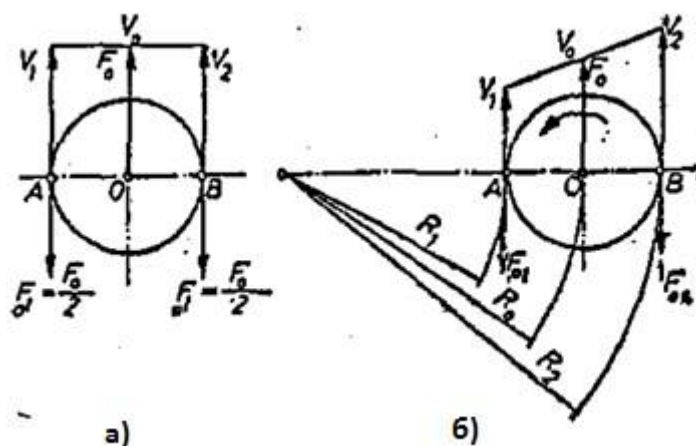
Ради обезбеђења могућности преношења обртног момента при различитим угаоним брзинама на погонске точкове користе се диференцијални преносници на моторним возилима. До међусобне разлике угаоних брзина на левом и десном погонском точку долази при кретању возила: у кривини, по неравном путу, при различитим условима приањања и у случају различитих полупречника точкова (услед различитих притисака, неједнаке похабаности, итд.) [7].

У свим овим случајевима, разлика у угаоним брзинама настаје услед тога што точкови у истом временском интервалу морају да имају различите обимне брзине, пошто прелазе различите путеве за исто време, односно прелазе исти пут са различитим полупречницима

Принцип рада, односно начин функционисања диференцијала подразумева да снага (обртни момент и угаона брзина) улазе на осовиницу сателита, што се може лако схвати на примеру котураче. Кретање возила у правцу по равном тлу, са истим полупречницима точкова, може да се представи као праволинијско (транслаторно) померање котураче, чији се центар O , услед дејства силе F_0 , креће брзином V_0 , која је пропорционална броју n обртаја тањирастог зупчаника [7].

Котурача врши при томе само транслаторно кретање, па тачке A и B на обиму котураче имају:

- једнаке брзине $V_1 = V_2 = V_0$
- једнаке силе, такође $F_{01} = F_{02} = F_0 / 2$



Слика 4. Кинематика и динамика диференцијала [7]

Приликом наилаaska возила, на пример, у леву кривину, при истом броју обртаја тањирастог зупчаника, леви (унутрашњи) точак обрће се са мањим, а десни (спољни) точак са већим бројем обртаја у односу на број обртаја тањирастог зупчаника, јер се крећу по различитим радијусима, односно треба да за исто време пређу различити пут. Пример таквог кретања возила представљен је котурачом на слици. Брзина померања центра O по радијусу R_0 , услед дејства исте силе F_0 , и даље је V_0 . Пошто се тачка A креће по мањем радијусу R_1 и њена брзина $V_1 < V_0$, а како се тачка B креће по већем радијусу R_2 то је њена $V_2 > V_0$. То значи да котурача почиње и да се обрће у смеру стрелице.

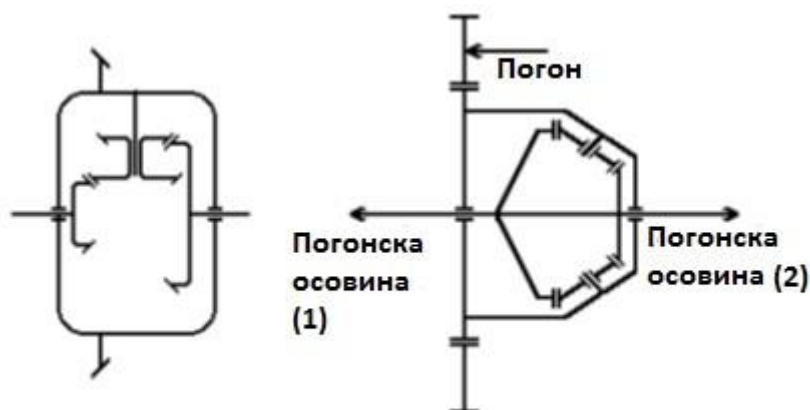
Пошто се снага преноси ка тачкама А и В у једнаким износима, силе F_{01} и F_{02} биће обрнуто пропорционалне брзинама V_1 и V_2 . То значи да је при кретању у левој кривини [7].

$V_1 < V_0 < V_2$, а $F_{01} > F_0 > F_{02}$. При кретању у десној кривини биће обрнуто: $V_1 > V_0 > V_2$, а $F_{01} < F_0 < F_{02}$. Увек, пак важи да је: $V_1 + V_2 = 2V_0$ и $F_{01} + F_{02} = F_0$.

Потреба да се погонским точковима омогући постизање различитих угаоних брзина условљава и извесне проблеме и недостатке који се негативно одражавају на вучна својства возила при његовом кретању на тешким клизавим подлогама, што је нарочито уочљиво код теренских и радних возила.

Према расподели погонског момента, диференцијале делимо на симетричне и асиметричне.

Асиметрични нам служе да погонски момент по неком унапред одређеном преносном односу, расподели на две или више погонских осовина. Шематски прикази неких конструкцијских изведби асиметричних диференцијала дати су на слици 5. Асиметричне диференцијале делимо на асиметричне са управно постављеним осама и асиметричне са косо постављеним осама [7].



Слика 5. Асиметрични диференцијал [7]

Доведени момент M се расподељује на M_1 и M_2 .

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{Z_2}{Z_1} = i \Rightarrow M_2 = i \cdot M_1 \quad \omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$$

Такође важи: $M_1 + M_2 = M \Rightarrow M_1(1+i) = M$

$$M_1 = \frac{M}{1+i}; M_2 = \frac{i \cdot M}{1+i}$$

Биланс снаге даје: $P = P_1 + P_2 \quad \omega \cdot M = \omega_1 \cdot M_1 + \omega_2 \cdot M_2$

$$\omega(1+i)M_1 = \omega_1 \cdot M_1 + i \cdot \omega_2 \cdot M_1$$

$$\omega(1+i) = \omega_1 + i \cdot \omega_2 \quad \text{или} \quad \omega \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1} \right) = \omega_1 + \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \omega_2$$

Код симетричног диференцијала: $Z_1 = Z_2, i = 1$

$$\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$$

2.2 Међуосовински диференцијал

Задатак међуосовинског (централног) диференцијала је да изједначава средње ободне брзине погонских точкова предњег и задњег погонског моста. Зависно од конструкције и положаја овај диференцијал може да обавља и функцију развођења обртног момента на предњи и задњи погонски мост. Ово развођење може даље да буде у унапред изабраном односу, опет зависно од конструкционог концепта диференцијала, или да се овај моменат разводи у складу са условима трења (способност преношења сила на тло). Међуосовински диференцијали могу се извести на више начин а у примени су најчешће конструкције са планетарним механизмима или са спојницама које преузимају и функцију диференцијала [6].

– Планетарни диференцијали

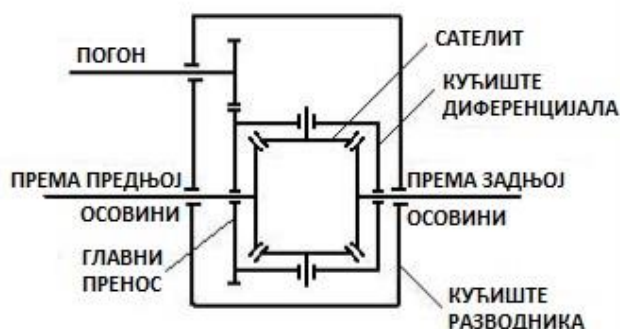
Систематизација

Планетарни диференцијали су зупчасти механизми са две слободе кретања, а изводе се обично са:

- коничним зупчаницима,
- цилиндричним зупчаницима,
- пужним зупчаницима.

Велики цилиндрични зупчаник главног преноса повезан је са кућиштем диференцијала и преко сателита и коничних погонских зупчаника погони погонске осовине, предњу и задњу (слика 6). При овом се сателити не обрћу, диференцијал делује као клин.

При вожњи у кривини задња осовина прелази мањи пут па се сателити почињу обртати смањујући број обртаја задње осовине за Δn , а исто толико повећавајући број обртаја предње осовине, у складу са средњим путем точкова предње и задње осовине.



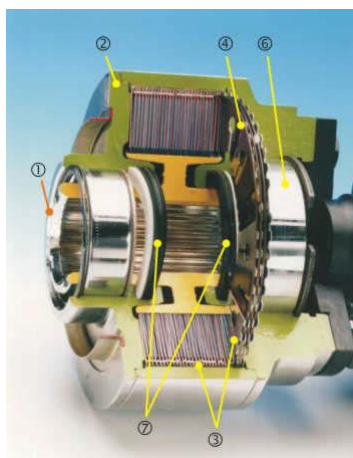
Слика 6. Диференцијални планетарни конични механизам [6]

Уколико је потребно извршити другачију расподелу момента мотора користе се асиметрични конични или цилиндрични планетарни механизми. Поред планетарних диференцијала у возилима са разводницима погона на све точкове примењују се и разни типови спојница које омогућавају различите средње брзине предње и задње погонске осовине. Екстремно једноставно решење користи се у возилима која се претежно крећу по тешким теренима. Овде се примењују аксијалне зупчасте спојнице које омогућавају различите средње брзине погонских осовина само повременим прекидом аксијалне зупчасте везе. Пример такве спојнице је спојница Powertrax No-Slip приказана на слици 7.



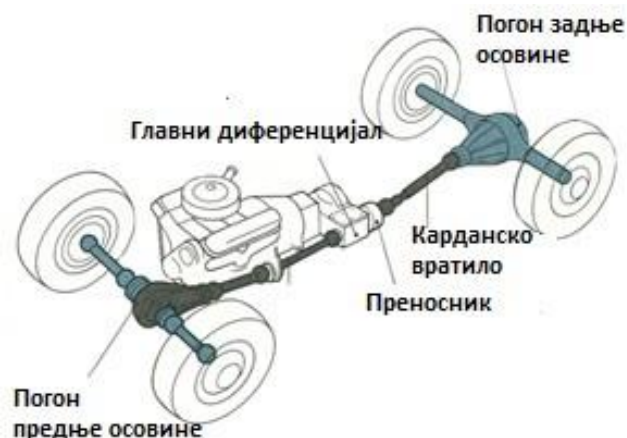
Слика 7. Аксијална спојница Povertrax – No-Slip [6]

За возила која се крећу претежно по путевима примењују се различита решења ламеластих спојница. Једно од ових решења су виско-спојнице, вишеламеласте спојнице са вискозном силиконском течностју која има вискозитет око 25000 cSt. Изглед виско-спојнице приказан је на слици 8, [6].

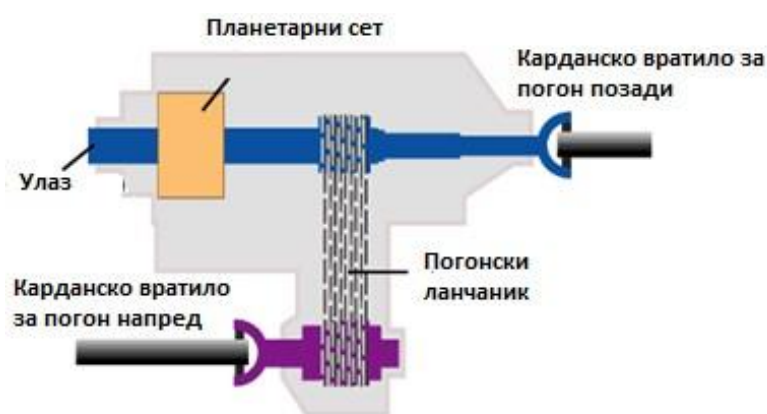


Слика 8. Изглед ламеласте спојница [6]

На сликама 9 и 10 приказан је положај диференцијала који дели момент на предњи и задњу оsovину док је на слици 12 међуосовински диференцијал са каишним преносом.



Слика 9. Положај диференцијала који дели момент на предњу и задњу осовину [8]



Слика 10. Међуосовински диференцијал са каишним преносником [8]

На слици 11 приказано је решење међуосовинског диференцијала примењеног на моделу Ауди А4 quattro под називом Торзен (eng. "Torsen"-Torque Sensing). Ради се о самоблокирајућем пужном зупчастом пару. Предност се састоји у томе што је блокирање покренуто од стране саме трансмисије. Овај тип диференцијала подешава разлике у брзини и када се кочи или при кретању у кривини.



Слика 11. Међуосовински диференцијал Торзен примењен на моделу Audi A4 quattro [8]

Quattro погон посредством централног диференцијала омогућава континуирану и у зависности од ситуације потребну расподелу снаге, а тиме и оптимално кретање. То опет значи предност у свим условима вожње - не само по снегу и леду или приликом вуче приколице. Код вожње у кривинама сва четири точка једног аутомобила пређу различиту дужину пута. Задатак централног диференцијала је да изједначи разлике које настају између предње и задње осовине као и да расподели погонску силу мотора на предњи и задњи део возила [8].

Централни диференцијал је срце погонског механизма кватро перманентног погона на сва четири точка марке Ауди. У зависности од услова вожње и карактеристика подлоге систем у милисекундама аутоматски регулише расподелу снаге. То се дешава посредством торзен-диференцијала или хидрауличке спојнице. Величине од утицаја током процеса регулације јесу број обртаја мотора и обртни момент, брзина окретања точкова као и уздужна и попречна убрзања.

Што се тиче конструктивних решења, диференцијале делимо на оне са:

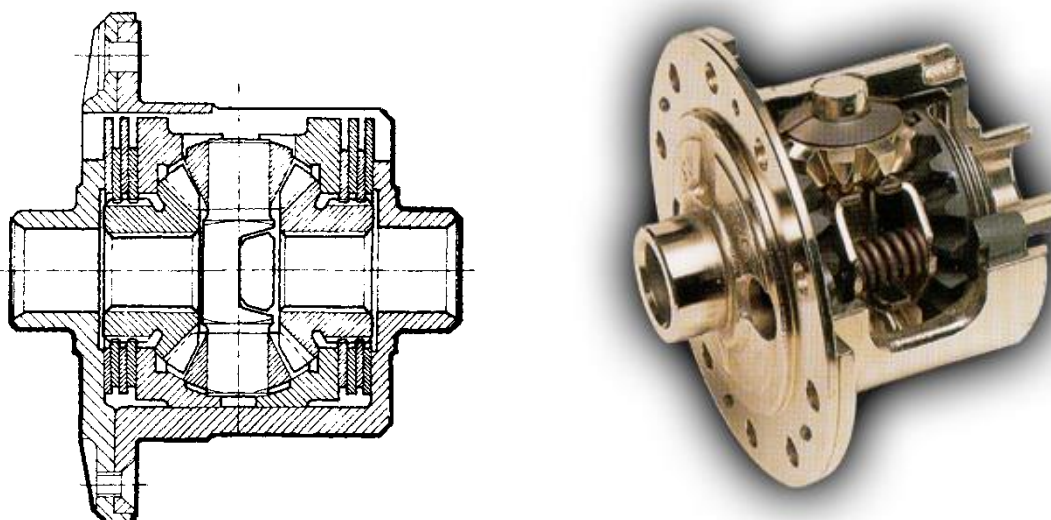
- зупчаницима,
- пужним преносницима,
- кулисним механизмима,
- механизмима слободног хода.

Код савремених моторних возила најчешће су у употреби диференцијали са конусним зупчаницима. Уколико се возило тј. погонски точкови исте осовине нађу истовремено на подлогама са различитим коефицијентима пријањања, доћи ће до релативног проклизавања једног точка у односу на други.

Ако посматрамо екстремни случај оваквог кретања, а то је возило у поласку при чему је један точак на леду а други на сувом асфалту, приметимо да ће возило остати у стању мировања због кинематских особина диференцијала. Погонски момент у оваквим условима иде путем мањег отпора тако да ће точак који се налази на леду да проклизава, док ће други точак бити у стању мировања [8].

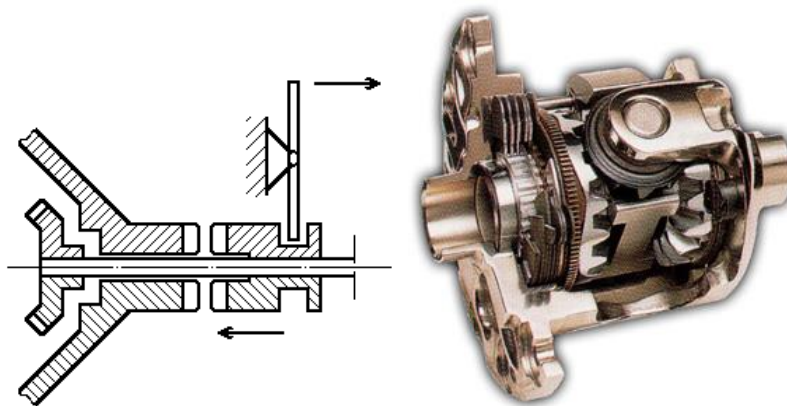
2.3 Блокада диференцијала

Да би се избегао негативни утицај диференцијала на проходност теретног моторног возила, израђују се диференцијали са могућношћу блокирања. У зависности од начина на који се врши блокирање постоје решења диференцијала са принудним блокирањем (блокирањем командује возач) и самоблокирањем (спонтано блокирање при појави разлике угаоних брзина левог и десног точка). Самоблокирање се постиже уградњом посебних елемената којима се повећава унутрашње трење, чиме се ствара отпор релативном закретању полувратила (до одређене мере) (слика 12), [8].



Слика 12. Самоблокирајући диференцијали [8]

Најчешће конструктивно решење диференцијала са принудним блокирањем је спајање кућишта диференцијала са једним од погонских полувратила преко канцасте спојнице, слика 13.



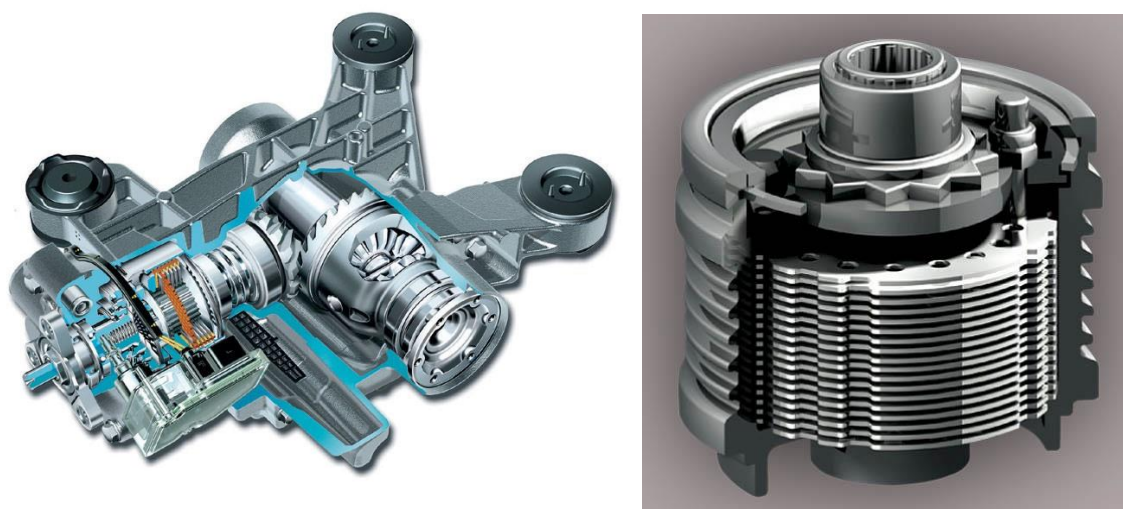
Слика 13. Кандаста спојница [8]

У новије време, као самоблокирајући механизам диференцијала, посебно међуосовинских, користе се виско-спојнице. Ова спојница се састоји од кућишта спојеног за једно вратило и наизменично постављених дискова од којих су једни спојени са кућиштем, односно једним вратилом, а други спојени са другим вратилом. Највећи део запремине кућишта је попуњен силиконским уљем. До самоблокирања долази при знатнијој разлици угаоних брзина вратила услед вискозног трења између уља и дискова.

4MOTION представља перманентан погон на сва четири точка марке Volkswagen. Код перманентног погона на сва четири точка 4MOTION марке Volkswagen снага мотора се према потреби распоређује на сва четири точка. Код модела са линијски постављеним мотором торзен диференцијал обезбеђује расподелу погонске силе на предњу и задњу осовину. Код возила са попречно уграђеним мотором у употреби је халдекс спојница.

4MOTION нуди високу активну безбедност, поуздано пријањање на скоро свим подлогама и константно најбоље праволинијско кретање - такође и код појаве бочног ветра - те је због "перманентне предности у погледу безбедности" знатно надмоћнији у односу на придодате погоне на сва четири точка. Осим тога, 4MOTION се може комбиновати са свим управљачким системима динамике вожње, као што је електронска контрола стабилности (ESP), регулација проклизавања погонских точкова (ASR), регулација момента кочења мотора (MSR) и електронска блокада диференцијала (EDS).

Виско-спојница на задњој осовини возила Голф 4MOTION, (слика 14), је електронски контролисана, тако да може синхронизовано да функционише са противблокирајућим системом (ABS), системом за контролу клизања (ASR) и системом за контролу стабилности кретања (ESP). Величина обртног момента на задњој осовини може да се мења у зависности од притиска у виско-спојници. Расподела обртног момента може да иде до односа 50:50 између осовина. Када се возило креће праволинијски, 90% обртног момента иде на предњу осовину [8].



Слика 14. Задња осовина Голф 4MOTION са виско-спојницом фирме HALDEX [8]

Возила са погоном на свим точковима имају боље вучне могућности, и код њих се примењују разводници погона, који се користе првенствено тамо где је потребна побољшана проходност возила, дакле за кретање на тешком терену или терену са ниским вредностима коефицијента пријањања (блато, снег, киша). Уколико би се ограничили на примену једноставног диференцијала, или како се обично назива отвореног диференцијала, у овим возилима наведени циљ се не би постигао, чак напротив смањила би се проходност возила. Својство отвореног диференцијала да омогућава различите средње брзине погонских осовина може, а то се на тешко проходном терену често дешава, да онемогући кретање возила. Наиме, како моменти који делују на диференцијал морају бити у равнотежи, у случају да једна од осовина не може да преноси погонски моменат на тло, ни на другу осовину се код отвореног диференцијала не може довести погонски моменат. Да би се овај битни недостатак отвореног диференцијала отклонио код возила са погоном на све точкове у правилу се користи неки од система блокаде диференцијала [6].

Постоји велики број начина блокаде диференцијала, а две основне поделе изведби блокаде диференцијала су [6]:

– Према степену блокаде диференцијала:

- системи код којих се врши механичко потпуно (100%) блокирање диференцијала,
- системи код којих се диференцијали аутоматски блокирају у ограниченом проценту,
- системи са активно (рачунарски) контролисаним диференцијалима.

– Према начину активирању блокаде:

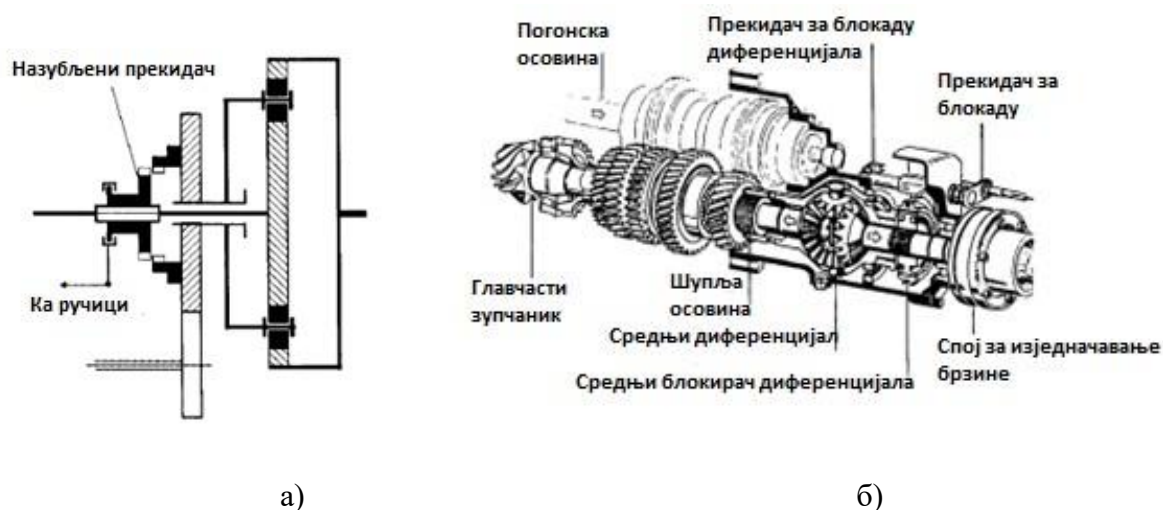
- системи код којих се врши мануелно блокирање диференцијала,
- системи код којих се врши само блокирање диференцијала,
- системи са активно (рачунарски) контролираним диференцијалима.

2.3.1 Механичко (100%) блокирање диференцијала

Ови системи користе се код возила код којих је блокада функције диференцијала практично стално потребна, али насупротив томе и код возила која ретко и само кратко захтевају блокаду диференцијала. Прву групу чине возила намењена за стално коришћење на лошем и тешком терену. Код ових возила диференцијал је ретко потребан па се користе решења код којих је диференцијал пред блокиран, а у случају стварне потребе успоставља се његова функција и омогућавају различите средње брзине предње и задње погонске осовине.

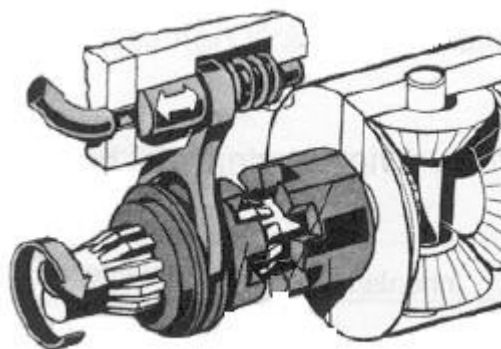
Другу групу чине возила код којих се блокада диференцијала чини само краткотрајно и у правилу ретко. Код ових возила примењује се често механичка блокада диференцијала коју возач активира мануелно или користећи пнеуматске, хидрауличне или електричне серво уређаје.

Таква возила су на пример кипери-све точкаши и слична возила али и особна возила која ретко напуштају добар пут. На слици 15а дат је принципијелна скица механичке блокаде диференцијала, а на слици 15б механичка блокада централног планетарног диференцијала са коничним зупчаницима код једне раније верзије возила Audi quattro [6].



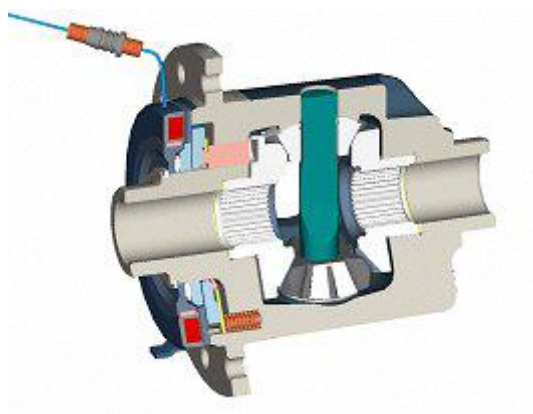
Слика 15. Механичка блокада централног планетарног диференцијала са коничним зупчаницима [6]

Обзиром да активирање механичке блокаде оптерећује возача, који се при том већ обично налази у стресној ситуацији, често се, као што је већ речено, користе серво уређаји, пнеуматски, хидраулични или електрични, за извршавање механичке блокаде, да би се бар на тај начин олакшао рад возачу. На слици 16 приказан је један такав пнеуматички уређај [6].



Слика 16. Пнеуматичка блокада диференцијала [6]

Уређаји са електричним укључивањем су посебно интересантни јер се лако уграђују, а могу се и интегрирати у електронске системе контроле кретања возила. На слици 17 дат је такав блокадни диференцијал фирме Еатон.



Слика 17. Електрична блокада диференцијала [6]

2.3.2 Самоблокирајући диференцијали зависно од разлике обртног момента

Самоблокирајући диференцијали зависни од разлике броја обртаја такође су у широкој примени. Предност ових диференцијала је што се при вожњи у кривини понашају као отворени диференцијали тако да је стабилност кретања неугрожена.

Ови диференцијали такође имају врло добро понашање при маневрима кочења, а недостатак им је што при врло ниским коефицијентима пријањања не могу битно побољшати пријањање што диференцијали са фрикцијом могу. Најпознатији диференцијал са овим блокадним решењем је већ споменути Торзен диференцијал приказан на слици 18.



Слика 18. Торзен диференцијал [6]

Ефекти само кочења који се могу реализирати завојним зупцима користе се и код других блокадних диференцијала који раде на принципу сличном Торзен диференцијалу. Пример таквог диференцијала је Truetrac фирме Detroit Locker. Карактеристика блокирања Торзен диференцијала подешава се угловима завојних зупчаника и усклађује се са возилом код кога се примењује [6].

2.3.3 Аутоматско блокирање диференцијала у ограниченом проценту

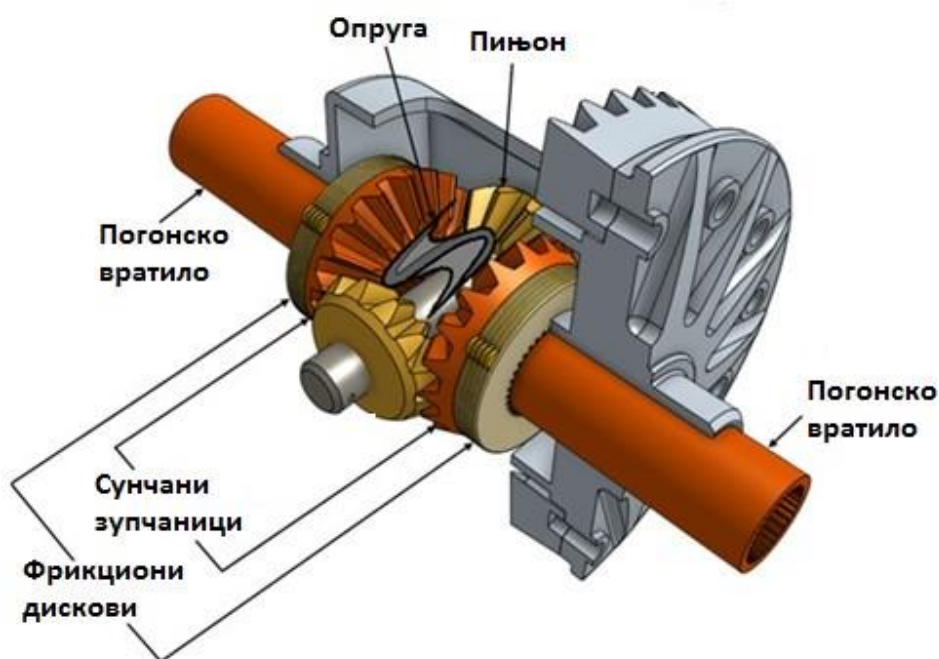
Ови системи су комфорнији за возача од мануелног блокирања, делују када треба и сада су врло широко примењени код теренских возила и возила више класе. Принцип рада је следећи: на погонској осовини која је изгубила пријањање, те онемогућава довођење погонског момента и на другу осовину, генерише се одговарајући моменат трења. Овако генерисан моменат омогућава довођење исто толиког момента на погонску осовину која тај моменат може искористити за вучу возила.

Ови диференцијали називају се диференцијали са ограниченим самоблокирањем односно диференцијали са ограниченим клизањем (LSD - limited slip differential) (слика 19).

Ови диференцијали увек дозвољавају разлике у брзини обртаја спољног и унутрашњег точка у кривини, али код већих разлика у бројевима обртаја, полувратила се у некој мери спајају [6].

Диференцијали засновани на разлици брзина могу се даље поделити у две основне групе и то:

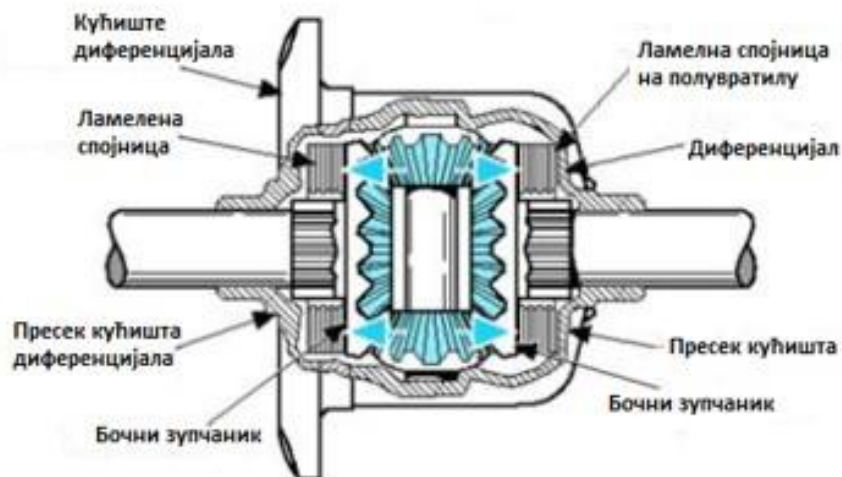
- засновани на фрикцији чврстих тела,
- засновани на фрикцији вискозности течности.



Слика 19. Диференцијал са ограниченим клизањем [9]

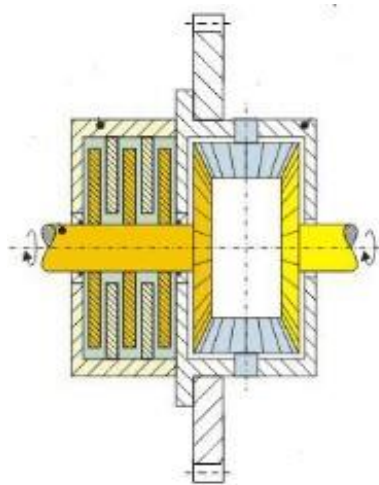
2.3.4 Самоблокирајући диференцијали зависни од брзине

Код самоблокирајућих диференцијала који су засновани на фрикцији чврстих тела користе се различите врсте фрикционих спојница, најчешће вишеламеласте али и конусне. Сила потребна за деловање спојница обезбеђује се обично уградњом опруга или обртањем сателита (на пример на ексцентричној осовиници). На слици 20 приказана је блокада диференцијала вишеламеластим спојницама.



Слика 20. Блокада диференцијала вишеламеластим спојницама [6]

Код самоблокирајућих диференцијала који су засновани на фрикцији вискозних течности користе се већ споменуте виско-спојнице са вискозном силиконском течношћу у комбинацији са планетарним диференцијалом. На слици 21 приказано је овакво решење комбинације виско-спојнице и отвореног диференцијала што даје блокадни диференцијал [6].



Слика 21. Комбинација виско-спојнице и отвореног диференцијала [6]

2.3.5 Системи са активно (рачунарски) контролираним диференцијалима

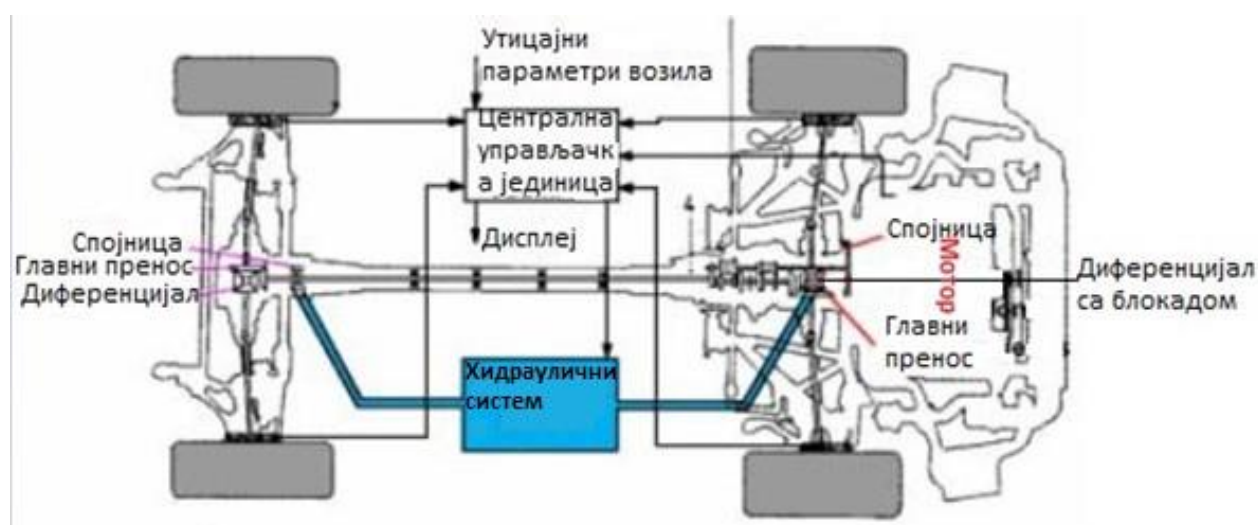
Савремена возила, због повећавања активне сигурности и побољшања перформанси у све већој мери примењују различите системе рачунарске подршке. У најширој примени су:

- ABS – рачунарски подржано кочење возила са циљем да се одржи стабилност возила,
- ESP – рачунарски подржано управљање возилом са истим циљем.

Примена различитих система блокаде диференцијала може да буде некомпатибилна са ABS и ESP системима и што може да резултира обострано негативним утицајима и умањењем ефикасности. Зато су поред већ наведених многобројних система диференцијала и њихове блокаде развијени системи са активном, рачунарски подржаном, контролом диференцијала [6].

2.3.6 Porsche 959 PSK систем

Један од првих активно контролираних диференцијала примењивала је фирма Porsche (PSK = Porsche Schalt Kupplung) (слика 22). У нормалном режиму војње, подела обртног момента између предње и задње осовине је 40 : 60 као што је и расподела тежине возила. Код великог убрзања, долази до прерасподеле тежине на задњу осовину услед чега долази до пораста пријањања на задњим точковима док се смањује пријањање предњих точкова. У овом случају PSK ће пренети више од 80 % обртног момента на задњи погонски мост да би се постигла боље пријањање. На клизавом путу користи се однос 50:50. Porsche 959 PSK користи вишеламеласту спојницу са шест пари фрикционих плоча уместо централног диференцијала.



Слика 22. Изглед Porsche 959 PSK система [6]

Сваки пар је независно контролисан од стране компјутера и уз модулацију хидрауличног притиска.

Да би овај систем радио, предња и задња погонска осовина раде различитим брзинама у нормалним условима (959 користи пар предњих гума са 1 % већим пречником од задњих). Због разлике брзине између предње и задње погонске осовине, две фриксионе плоче које представљају независну спојницу ротирају релативно једна према другој. Променом хидрауличног притиска на парове спојница врши се прерасподела обртног момента у складу са способношћу пријањања. Обртни момент се дели 50 : 50 када су све спојнице потпуно ангажоване. Све ове радње су контролисане компјутером.

То важи за нормалне услове. Као и код других возила са погоном на све точкове ако дође до проклизавања точкова, већи део обртног момента може се послати на осовину која не проклизава. Код нормалне вожње губитак енергије услед хабања и клизања спојнице мањи је од 0,4 % снаге мотора [6].

3. Торзен диференцијал

Торзен диференцијал представља изум који прави најбољи компромис између два основна задатка сваког диференцијала, а то су пренос обртног момента са једне на две осовине (полувратила) и несметано, независно обртање полувратила појединачног точка. Код прве верзије коју је осмислио В. Глисман диференцијал Торзен Т1 (слика 14), се састоји од једног пара међусобно одвојених зупчаника са пужним преносом који се налазе на заједничкој осовини. На њих налажу три пара зупчаника који су израђени тако да су по средини пужног преноса, док су по свом ободу израђени тако да имају праве зубе. Улога пужног преноса код три мања пара зупчаника јесте да буду у константној вези са већим паром пужних зупчаника, док прави зуби омогућавају сталну међусобну везу између мањих зупчаника сваког посебног пара. Торзен углавном ради на истом принципу али га разликује од осталих коришћење пужних преносника монтираних у склоп. Овај принцип је једноставан, ротацијом пужног преносника може да се ротира пужни зупчаника али ротацијом пужног зупчаника не може да се врти пужни преносник. Овај принцип је са разлогом за брже и осетљиве промене у излазном обртном моменту.

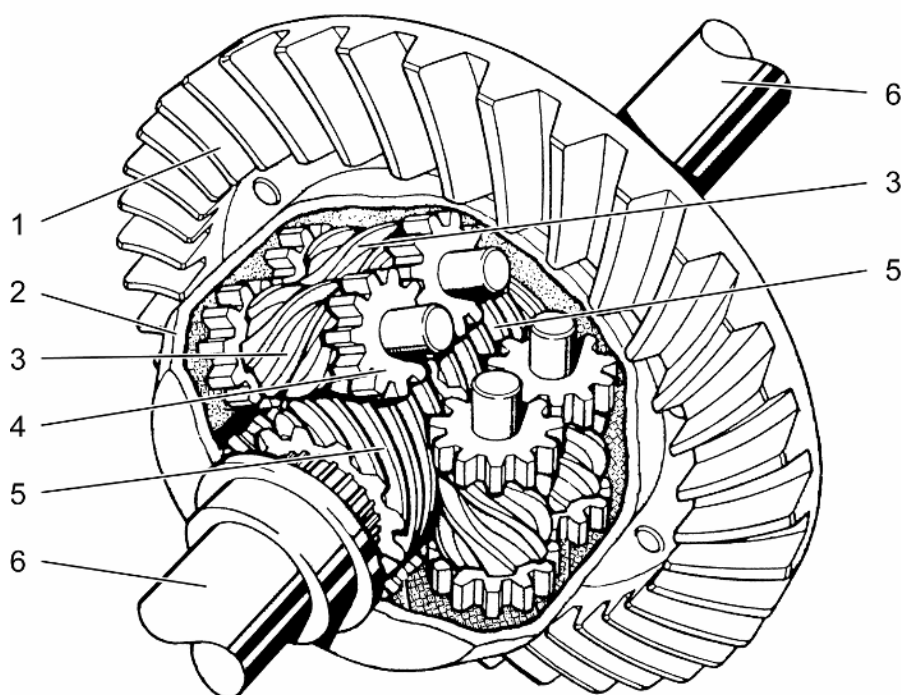
Торзен диференцијал је механички самоблокирајући међудиференцијал који зависно од потребе регулише снагу између предње и задње осовине. Појам „Torsen“ састоји се од енглеских речи „torque“ (обртни момент) и „sensing“ (осећај). Диференцијал ради на принципу „осећаја обртног момента“. Притом систем реагује на различите силе окретања између улазног и излазног вратила (предња односно задња осовина). На тај начин је могућа варијабилна расподела погонског момента између осовина. Код Торзен диференцијала два погонска точка повезана су пужним диференцијалима. Ограничавају превисоку разлику у броју обртаја и истовремено осигуравају компензацију код вожње у кривини.

Основна конструкција Торзен диференцијала предвиђена је да погонске силе код нормалног погона расподељује на предњу и задњу осовину у односу 50:50. Код проклизавања Торзен диференцијал без степена и прекида преусмерене до 20 посто погонске снаге на осовину с бољим пријањањем (мах. 70:30, односно 30:70). Блокирајуће деловање Торзен диференцијала повећава се аутоматски с оптерећењем, он за разлику од Виско-спојнице која ради на принципу „осећаја броја обртаја“ ради на принципу „осећаја обртног момента“. Предност је вожња у кривини без напрезања јер се допуштају разлике у боју обртаја које су потребне возилу

Састоји се од два и више пара сателит зупчаника повезаних са централним спиралним преносником. Парови зупчаника су повезани са свим осталим помоћу два озубљена зуба. Углавном, пренос обртног момента долази од мотора преко шест елемента зупчаника али овај број може да варира од обртног момента и слободног простора.

Иако су сви конвенционални диференцијали служе истој сврси бољег пријањања и обртног момента на погонским точковима, технички гледано ни један од њих не може да буде ефикасан за све услове вожње. Диференцијал реагује на неједнаке услове пријањања слањем обртног момента на погонски точак коме је потребно боље пријањање пре неко сто други погонски точак изгуби трење доступно за тај точак. Технички Торзен приказује боље резултате у односу са осетљивошћу и контролом проклизавања точкова [10].

На слици 23 је приказан Торзен диференцијал који се састоји од погонског тањирастог зупчаника (1) који је повезан са кућиштем диференцијала (2). Шест пужних преносника (3) се крећу по централном погонском зупчанику. Зупчаник са правим зупцима (4) чеоно је повезан са пужним зупчаником. Зупци овог зупчаника су узубљени са суседним идентичним спојем зупчаника. Пужни зупчаници су симетрично радијално распоређени. Пужни зупчаници су шупљи и имају унутрашње озубљење у коме је смештено излазно вратило (6), [11].

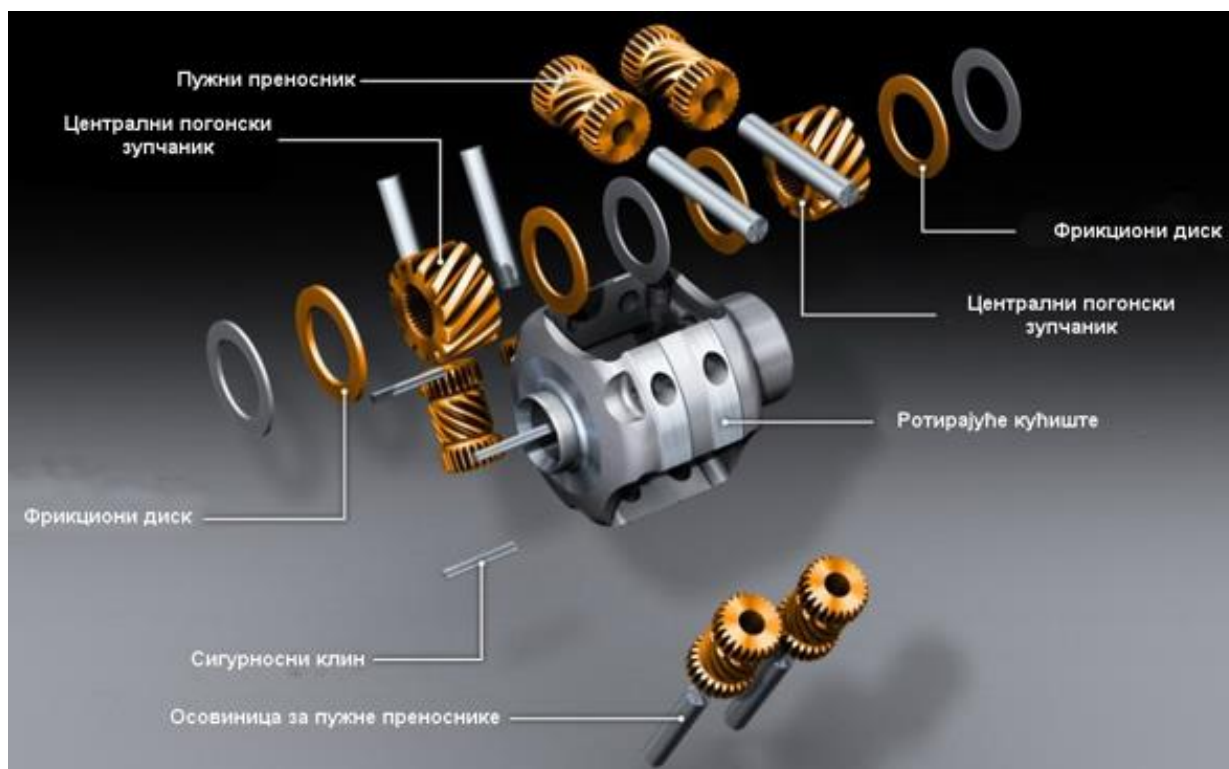


Слика 23 . Торзен диференцијал [11]

Момент мотора који се преноси преко излазног вратила мењачког преносника даље се преноси на велики зупчаник са прстенастим ожлебљењем који момент предаје Торзен диференцијалу. Уколико се возило креће праволинијски по сувој подлози са добрим пријањањем точкова нема разлике у међусобним брзинама два погонска точка. У том случају момент са прстенастог зупчаника диференцијал преноси преко пара већих пужних зупчаника на два полувратила. Тада се три мања пара зупчаника не крећу и не утичу на рад диференцијала. Када услед промене правца возила или услед недостатка пријањања на неком току настане потреба за разликом брзине диференцијал то регулише тако што момент пребацује са оног точка који има лошији контакт на онај који има бољи контакт са подлогом.

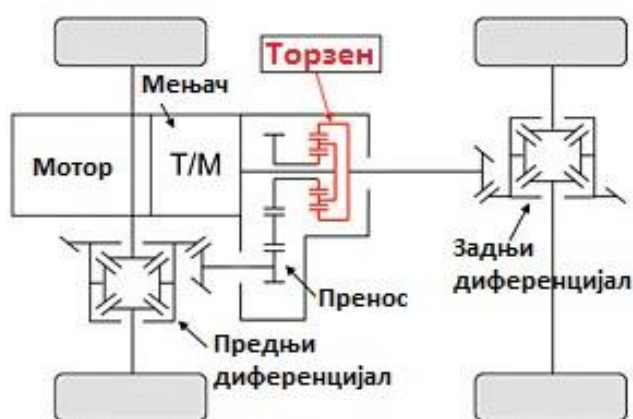
Преношење момента се врши тако што већи пужни зупчаник који се налази на полувратилу точка који има лошије пријањање почиње брже да се окреће и тада свој повећан број обртаја преноси на сваки од три мања зупчаника са којима је директно узубљен. У том тренутку се момент, у облику повећаног броја обртаја једног точка, преноси са три мања зупчаника на друга три мања зупчаника са којима су директно узубљени преко правих зубаца на својим крајевима који се налазе на другом пужном зупчанику из већег пужног пара. Тако се прослеђује момент између три пара мањих зупчаника даље на један већи пужни зупчаник који даље преноси момент на полувратило и други точак који има боље пријањање.

Зупчаници диференцијала су у константној вези и регулација преношења момента се одвија, природно без додатног утицаја било које компоненте система. Због оваквог начина рада диференцијала регулација преношења момента је активна и без кашњења приликом изједначавања момента појединих осовина. Зато се овај диференцијал назива још и самоблокирајући (или самозатварајући диференцијал. Количина момента који диференцијал може да пренесе са једног полувратила на друго одређена је преносним односом између зубаца већег пужног пара и три мања пара пужних зупчаника (**Torque Bias Ratio - TBR**), (слика 24), [2].



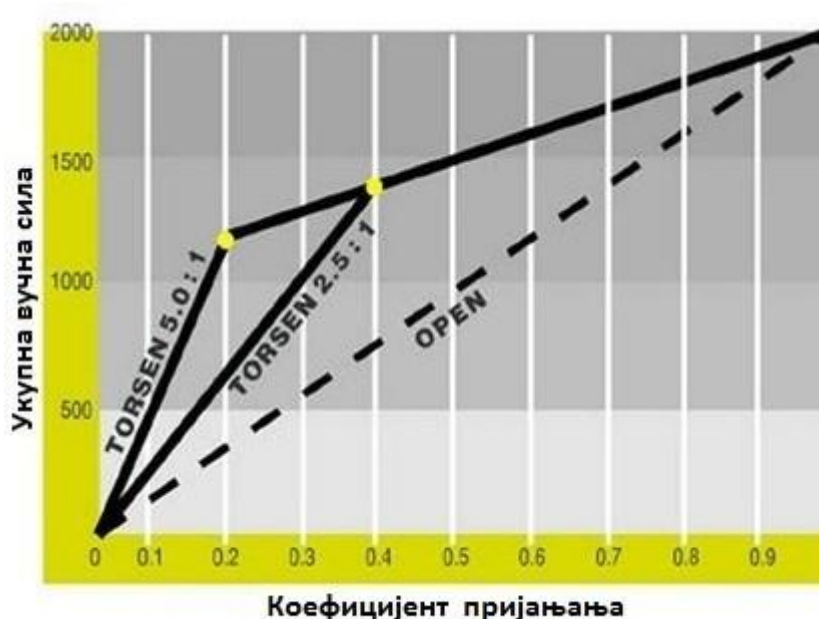
Слика 24. Растављени приказ Торзен диференцијала [12]

Ако се нпр. усвоји да је преносни однос зупчаника 4:1 то у пракси значи да Торзен диференцијал има могућност да у случају потребе пребаци до 80% момента на онај точак који има боље пријањање. Ово правило важи и код возила са погоном на све точкове где Торзен диференцијал може имати улогу централног диференцијала где дозира момент између предње и задње осовине (слика 25). Овако осмишљен Торзен диференцијал има много предности над другим решењима диференцијалима [2].



Слика 25. Приказ положаја Торзена у аутомобилу [14]

У поређењу са конвенционалним отвореним диференцијалом бољи је јер поседује способност “самозакључавања” тј. у случају проклизавања неког погонског точка отворени диференцијал ће сав момент мотора пренети на точак са најлошијим пријањањем (слика 26). Једини начин да се то спречи јесте уградња додатне блокаде диференцијала којом се на тај начин избацује диференцијал из рада па се онда расположиви момент дели подједнако на погонске токове. Све ово додатно компликује и поскупљује производни поступак. Због оваквог принципа рада отвореном диференцијалу је потребно значајно више снаге да савлада ситуацију у којој неки погонски точак има лошији контакт са подлогом сто као последицу има лошије перформансе возила и повећану потрошњу горива [2].



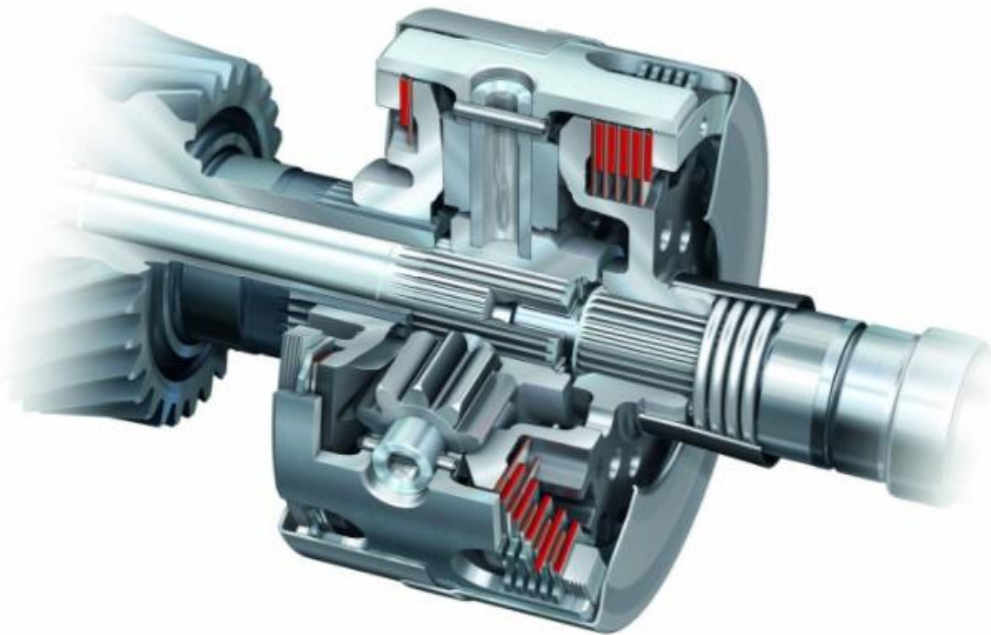
Слика 26. Типична крива зависности вучне силе и коефицијента пријањања [2]

Губици у пару пужних зупчаника се стварају услед трења истих. Ово ствара неједнако преношење обртног момента на две излазне стране, који се касније повећава услед трења контакта пужних зупчаника. Укупна губици обртног момента су једнаки блокирајућем моменту. Губици овог склопа зупчаника у теорији су 20%. У пракси ови губици премашују 20% због трења између различитих компоненти и кућишта диференцијала. Зуби пужног зупчаника могу бити намерно не узубљени како би се постигло узубљење веће од 60%. Како би остварили ефекат блокирања овом механизму је потребна разлика брзина између излазних вратила и позитиван улазни момент. Ефекат блокирања престаје када оптерећење нестане. Овај тип диференцијала је потпуно упарив са системом против блокирања кочница (ABS) [2].

3.1 Упоредна анализа других диференцијала са Торзен диференцијалом

Ламеласти диференцијал је у принципу отворени диференцијал са додатим ламелама и сетом опруга (слика 27). Упрошћено, овај диференцијал ради као и отворени када се возило креће праволинијски. Кад се услови вожње промене и дође до појаве разлике између брзина два точка онај зупчаник који се брзе окрене бива успорен од стране ламела које су у фиксном положају и везане за кућиште диференцијала. Тада зупчаник мора да савлада отпор ламела на које га притискају опруге. Отпор је додатно већи са већом разликом између броја обртаја појединих точкова.

Овај диференцијал има солидне карактеристике али мана му је што због оваквог начина конструкције има повећано хабање ламела унутар диференцијала и на тај начин скраћен радни век. Такође за разлику од Торзен диференцијал он има “временско одлагање” реакције тј. када дође до разлике између брзина погонских точкова потребно је одређено време (кратко али ипак постоји) да диференцијал одреагује и пребаци момент на други точак [2].



Слика 27. Ламеластични диференцијал [14]

Вискозни диференцијали спадају у групу диференцијала који реагују на разлику брзине између осовина које покрећу. То су диференцијали који у свом кућишту имају неколико парова плочица (дискова) и уље велике вискозности. Њихов принцип рада заснива се на томе да када додаје до настанка разлике брзина између две осовине тј. када један точак почне да се врти већим бројем обртаја у односу на други тада једна половина плочица у диференцијалу, које су у директној вези са осовином (половина плочица за једну осовину/точак, а друга половина за другу осовину/точак) на којој се

налази погонски точак помињу да се врте различитом брзином у односу на другу половину плочица.

Њихове међусобне брзине теже да се изједначе због велике вискозности уља унутар кућишта диференцијала.

Мана овог диференцијала у односу на Торзен диференцијал је то да за интервенцију диференцијала мора постојати разлика брзина између појединих осовина. Због тога овај диференцијал, као и ламелни има временско кашњење од момента проклизавања точка до тренутка реакције и почетка изједначавања момента који се преноси на обе осовине. У кривинама разлика између броја обртаја плочица није значајна, али у случају када возило наиђе на клизаву подлогу са ниским коефицијентом пријањања долази до велике разлике између брзина и тада се под фрикционим дејством плочица уље загрева. Због константне запремине коморе у којој се уље налази, јер је диференцијал херметички затворени његовог загревања у одређеном тренутку када у вискозном диференцијалу уље достигне критичну запремину вискозни диференцијал је потпуно за блокирати тј. тада почиње да ради као да су погонски точкови (осовине) спојени крутом везом. Такође, временом услед сталних промена температуре уље губи на вискозности што за последицу има то да након пређеног одређеног броја километара вискозни диференцијал почне да функционише као стандардни отворени диференцијал. Све су ово мане вискозних диференцијала које су код Торзен диференцијала елиминисане.

Електронски контролисани диференцијали најчешће раде на истом принципу као раније описани ламеластички диференцијали само сто у овом случају уместо опруга имају уграђене сензоре који надгледају брзине погонских осовина. У случају појаве разлике брзина између њих ECU реагује преко уграђених актуатора у диференцијалу и коци погонску осовину која се врти већим бројем обртаја. Постоје и електронски системи који су базирани на отвореним диференцијалима и деловању кочница на поједини точак чиме имитирају дејство диференцијала. Ови системи су развијани од стране висе произвођача али најчешћи је Халдех-ова спојница, развијена у компанији Haldex AB (Шведска) који се употребљава код разних произвођача у више различитих модела [2].

Када се све сагледа главне предности Торзен диференцијала (Т1 верзија) су:

- Чисто механички систем који омогућује слободну расподелу момента између погонских точкова без икаквог додатног оптерећења;
- Регулација момента је тренутна и нема кашњења у одговору диференцијала у случају потребе за изједначавањем момента између две погонске осовине;
- Због начина на који диференцијал функционише момент који се преноси са мотора бива максимално искоришћен јер нема никаквих губитака, већ се само врши прерасподела момента са точка који има лоше на точак који има боље пријањање – побољшане вучне карактеристике возила;

- Због начина интеграције у систем и начина рада Торзен диференцијала несметано ради у комбинацији са различитим Ел. Системима (ABS, ESP...);
- Момент који се преноси нема фиксну вредност и варира у зависности од услова у којем се возило налази а у оквиру граница које су дефинисане “преносним односом момента” – ТБР;
- У кривинама мирна и сталожена вожње без икаквих отпора и напрезања као у случају вискозног диференцијала;
- Употребљивост и исправност диференцијала није фабрички ограничена тј. радни век диференцијала се поклапа са радним веком возила на који је уграђен;
- Нема никаквог одржавања (изузев замене уља у диференцијала на одређени временски интервал);
- Могу се монтирати на било коју погонску осовину као и на место централног диференцијала.

Све ово чини Торзен диференцијал једним од најбољих решења када је у питању пренос момента са мотора на погонске точкове.

Али као и сваки систем и овај има својих мана:

- Уколико се један од погонских точкова налази у ваздуху диференцијал нема могућност да пренесе момент на точак са добрим пријањањем
- Због саме конструкције захтева фино и прецизно подешавањем како би исправно функционисао током целог радног века
- Компликованија конструкција додатно поскупљује цену диференцијала.

Прва наведена је уједно и највећа мана Торзен диференцијала - могућност да погонски точкови остану без икаквог момента са мотора уколико један од погонских точкова остане у ваздуху. Али ова ситуација је изузетно ретка и могућа је само у изузетно тешким условима ван пута или код екстремних облика леда који имају коефицијент пријањања раван 0.

Све ово је битно јер и најмањи додир са подлогом довољан је да се испуни однос који је дефинисан кроз ТБР и да точак са бољим пријањањем добије велику количину момента којом би могао да покрене и извуче ауто са лошег терена или подлоге са ниским коефицијентом пријањања на којој се ауто налази [2].

3.2 Типови Торзен диференцијала

На платформи Торзен диференцијала Т1 (слика 28), током развојних година вршене су одређене модификације које су касније представљене јавности као нови модели Торзен диференцијала. У основи, принцип рада је био исти или благо промењен. Примарни разлог развијања нових модела Торзен диференцијала је имао улогу да се прилагоди и прошири могућност уградње диференцијала на друге произвођаче аутомобила који су имали другачију конструкцију за пренос момента на погонске точкове.



Слика 28. Т1 Торзен диференцијал [15]

Торзен диференцијала Т2 (слика 29), представља диференцијал Т1 код којег је измењен дизајн зупчаника унутар диференцијала. Уместо пужних зупчаника искоришћени су зупчаници са косим зупцима који су названи “Equivex” зупчаници са паралелним озубљењем који су касније постали патентирани производ компаније “JTEKT Torsen North America Inc” која и дан данас развија и дистрибуира Торзен производе. У средини диференцијала је задржан већи пар зупчаника који су, сваки за себе, преко полувратила повезани на погонски точак.

Али њихова међусобна веза је овог пута извршена са укупно четири пара зупчаника са косим зупцима, за разлику од првобитне верзије Т1 са три пара пужних зупчаника. Ова изведба Торзен диференцијала је намењена уградњи у возила фабрика “Ford” и “General Motors” [2].



Слика 29. T2 Торзен диференцијал [15]

Торзен T2P је диференцијал који је значајно побољшао карактеристике претходног модела T2, и уопште сваког Торзен диференцијала је приказан на слици 30. На овом моделу је додатно повећан преносни однос момента (ТБР) чиме је омогућено да диференцијал пребаци момент са точка код кога пријањање има још мању вредност него код ранијих модела. Али главна предност овог диференцијала је то што су налик на ламеласти диференцијалу кућиште Торзен диференцијала уграђене ламеле са сетом опруга. Задатак ових опруга је био да у најекстремнијим условима када је пријањање неког погонског точка једнако 0 притисну зупчаника уз ламеле и на тај начин остваре минималан отпор на том точку. На овај начин се момента пребацује на точак који има боље пријањање.



Слика 30. T2P Торзен диференцијал [15]

Код овог диференцијала је успешно премошћена највећа мана Торзен диференцијала – немогућност преноса монета када један погонски точак потпуно изгуби пријањање. Због начина конструкције Торзен диференцијал T2P се може уградити на возило са Ел. контролом проклизавања (ASR) чиме се добијају ултимативне вучне карактеристике са побољшаним управљањем и бољим убрзањем возила.

Овај тип Торзен диференцијала је погодан за уградњу како на возила намењена вожњи у тешким условима ван пута тако и тркачким аутомобилима који у комбинацији са овим диференцијалом дају врхунске возне перформансе.

Последња генерација Торзен диференцијала има ознаку Т3. Конструкцијски подсеца на Т2 верзију али са одређеним изменама : Уместо два пара уграђена су само два зупчаника са спирално урезаним зупцима који се “планетарно” крећу по назубљеном ободу диференцијала са једне стране и око средњег зупчаника са друге стране. Овом конструктивном изведбом су задржане возне карактеристике претходних Торзен диференцијала (осим Т2Р), али највећи добитак је на димензијама диференцијала који сада има знатно редуковану масу и захтева мање простора. Због ових предности Торзен Т3 представља одлично решење на месту централног диференцијала (слика 31) [2].



Слика 31. Т3 Торзен диференцијал [15]

4. Коришћени материјали за израду Торзен диференцијала

Постоји неколико материјала који се најчешће користе за производњу диференцијала. Један од Материјала који је одабран је нитрован челик. Нитрован челик се често користи у производњи летелица, аутомобилских делова и турбина. Процес нитрирања омогућава челику да остане у феритној фази током целог процеса. Молекулна структура ферита остаје непромењена, односно не повећава се. Током процеса нитрирања врши се хлађење. Не примењује се брзо хлађење како би се дозволила трансформација из аустенита у мартензит. Увијање и савијање може бити проузроковано топлотом у току овог процеса. Процес нитрирања спаја азот и челике као и ливено гвожђе. Овај процес се дешава због растворљивих састојака у овим металима. Растворљивост азота зависи од температуре. Да би се извршило успешно нитрирање потребно је да буде испуњено више фактора. Треба вршити контролу температуру, време, проток гаса. Контролом ових фактора се смањују поремећаји током процеса нитрирања. Нитрирање челика доприноси додатном ојачању челика.

У раном 20. веку Адолф Мачлет је радио као инжењер металургије. Он је открио да површинско ојачавање угљеником доводи до деформације зато што се дуго времена потроши на загревање на високе температуре и брзо хлађење. Спровођењем различитих експеримената, Мачлет је пронашао решење у нитрирању челика. Дифузија азота ствара релативно тврде површине и омогућава отпорност на корозију. Процес нитрирања не користи високе температуре нити каљење. Нитриран део је остављен да се хлади слободно у простору где је претежно азотна средина. Један од изазова са којим је био суочен Мачлет је контрола распадања амонијака који се користи за ослобађање азота. Открио је да коришћењем водоника као растварача азота, смањује количину азота. Мачлет је аплицирао за патент, процес нитрирања 1908. године, али није био одобрен све до 1913. Мачлетов рад у нитрирању је са аспекта технологије веома важан али је остао непознат.

Адолф Фрај из Немачке је много познатији и њему је дат надимак “отац нитрирања”. Фрај је препознао растворљива својства азота у металу на високим температурама. Он је развио процес нитрирања у једној фази. Открио је да се процес нитрирања може спровести на површинама које садрже хром молибдем алуминијум, ванадијум, и волфрам. Ови метали су познати као стабилни нитриди. Процес од кога највише зависи процес нитрирања је температура. Ако је температура превисока постоји ризик да се на површини јави “ мрежа нитрида” што је разблажен раствор азота на површини метала. Фрај је развио групу метала са већом концентracијом легура који се данас називају азотне легуре челика.

Постоји разлика између процесу нитрирања у Сједињеним Америчким Државама и Немачкој.

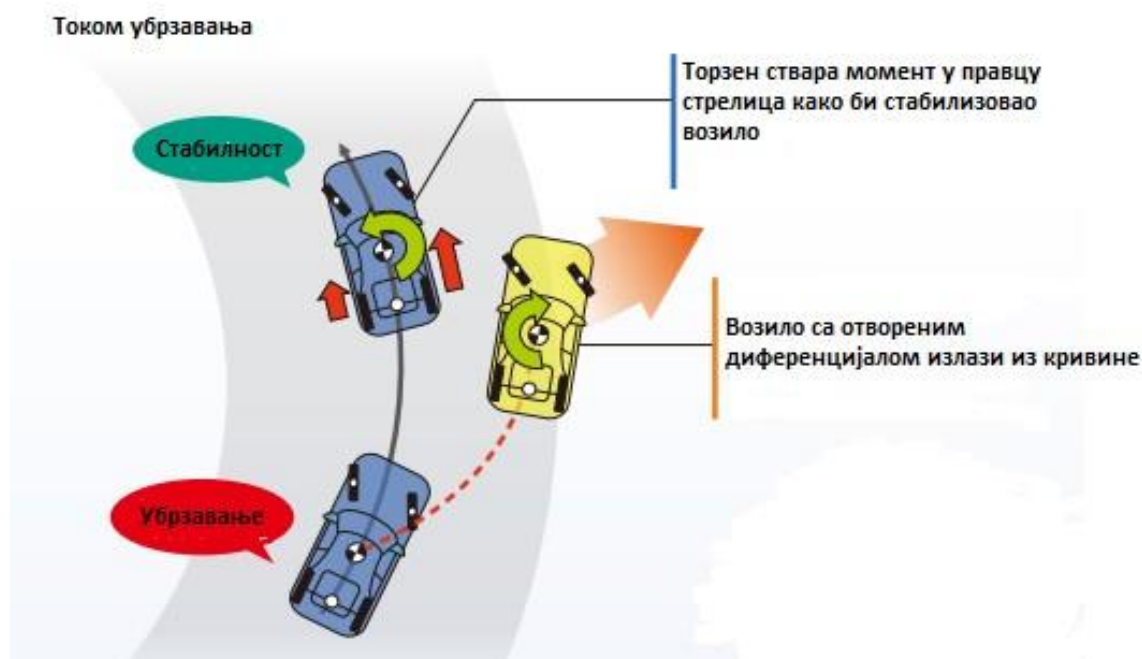
Главне разлике су:

- ✓ У САД се користи водоник како би се растворио азот и како би се контролисао процес нитрирања.
- ✓ У Немачкој процес укључује легирање челика и унапређујући чврстину и затезну чврстоћу.

Мачлетов процес није имао много успеха у САД. Фрајев процес, међутим, користи се интензивно након првог светског рата. Користили су овај процес како би производили летелице, текстил и делове за аутомобиле. Двадесетих година 20. века Фрајево истраживање на ову тему се проширило у САД. Презентација на удружењу инжењера је довела до комерцијализације Фрајевог процеса у Америци. Металурзи Х.В Меквејд И W.J Кечам нису накнадно истраживали процес нитрирања. Њихови експерименти су се базирали на температури. Истраживали су да ли може температура бити мања него она коју је користио Мачлет. Између 540 и 640 °C. Дошли су до закључка да висока температура утиче на чврстину легираног челика, али не утиче на процес нитрирања [16].

5. Утицај Торзен диференцијала на управљивост

Торзен диференцијал стабилизује возило у правцу кретања и омогућава лагано кретање у кривини, док возило са отвореним диференцијалом тежи да изађе из кривине, што је приказано на слици 32.



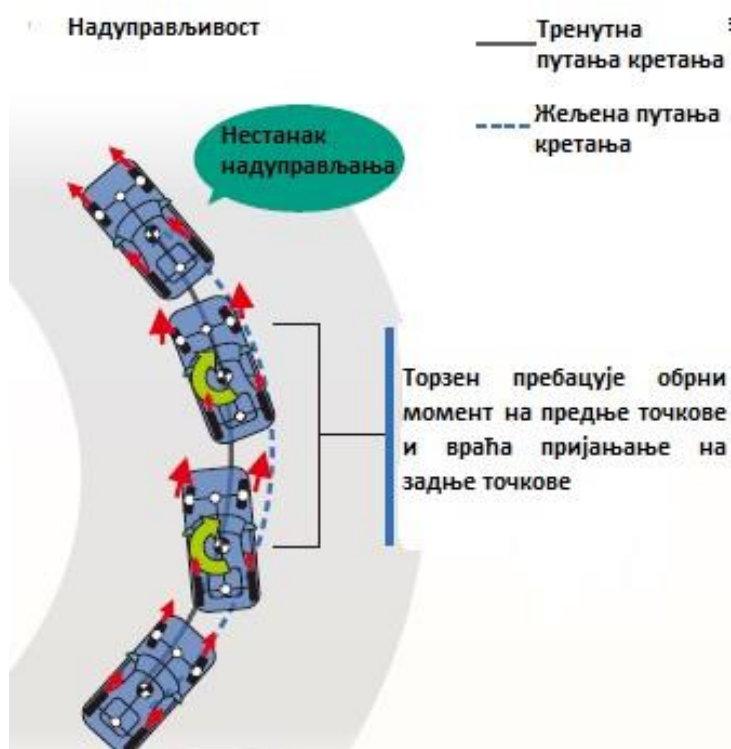
Слика 32. Понашање Торзен диференцијала у кривини током убрзавања [17]

Торзен диференцијал омогућава стабилно кретање возила како би омогућио возачу да што безбедније успори возило (слика 33).

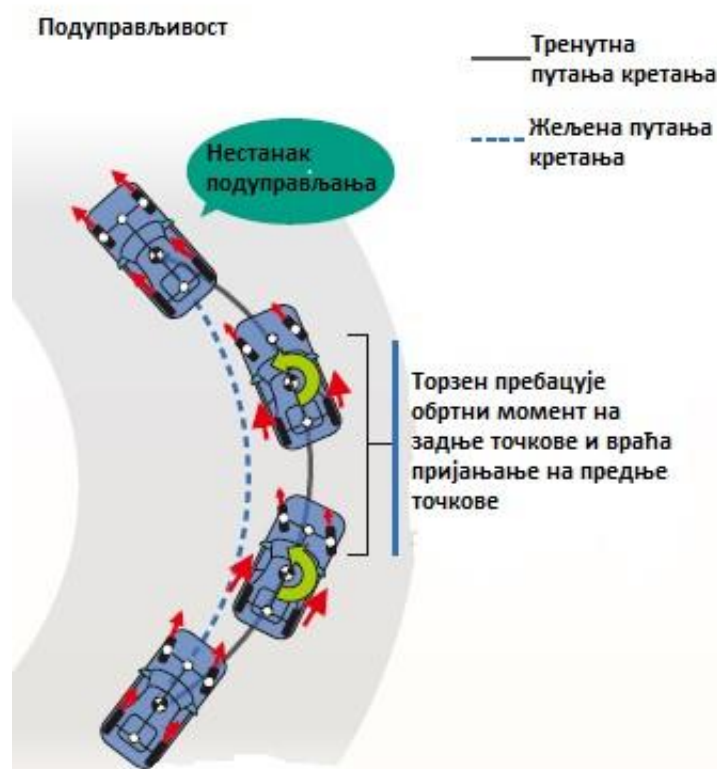


Слика 33. Понашање Торзен диференцијала у кривини током успоравања [17]

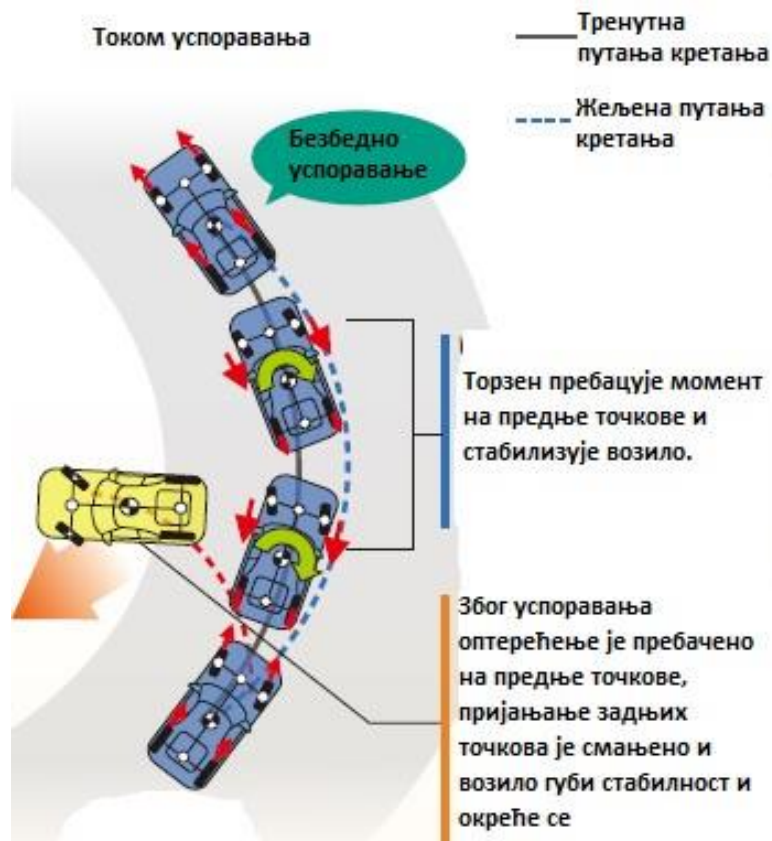
На слици 34 и 35 је приказано како Торзен диференцијал делује на подуправљивост и надуправљивост као и током успоравања возила при кретању возила кроз кривину.



Слика 34. Деловање Торзен диференцијала на надуправљивост [17]



Слика 35. Деловање Торзен диференцијала на подуправљивост [17]



Слика 36. Деловање Торзен диференцијала током успоравања возила [17]

6. Прорачун и моделирање Торзен диференцијала коришћењем програма Autodesk Inventor

Прорачун пужног пара у Торзен диференцијалу извршен је за возило Audi 2.0 TFSI quattro S tronic. 3D модел Торзен диференцијала је урађен преко Autodesk Inventor-a.

Autodesk Inventor у потпуности подржава пројектовање сложених конструкција у машинској индустрији. Параметарско пројектовање 3D модела у верзији програма Autodesk Inventor је ефикасно повезано са модулима програма који омогућавају израду цртежа у 2D као и израду остале неопходне документације за реализацију производње. Садржи комплетну верзију програма за напредно управљање израдом документације који у потпуности подржава тимски рад на пројекту. Поседује библиотеке са око милион 3D делова и облика по светским техничким стандардима (ISO, DIN, GOST, ANSI, BSI, GB, JIS). Документација за производњу је комплетно усаглашена са изабраним техничким стандардом и у потпуности је асоцијативна са 3D моделом.

Autodesk Inventor, као напреднија варијанта овог производа, представља моћан алат за пројектовање у машинству кроз 3D CAD обликовање делова и склопова, трасирање каблова, цеви и црева, провере напонских стања и симулацију рада покретних делова и склопова машина и уређаја. Осим опција из програма Autodesk Inventor са модулима за опште машинство, поседује и модуле који омогућавају провере механички оптерећених делова и склопова са оптимизацијом конструкције. Могућност реалне симулације у потпуности отклања могућност грешака у пројектовању и драстично смањује трошкове развоја производа због тога што физичку израду прототипа конструкције, ради провера пројектованих параметара, чини непотребном. Autodesk Inventor садржи следеће модуле [18]:

- Design Accelerator – Пројектовање погонских трансмисија;
- Sheet Metal – Рад са танким лимовима;
- Frame Generator – Рад са металним рамовима;
- Weldments – Рад са завареним спојевима;
- Inventor Studio – Креирање фотореалистичних приказа и анимација;
- Stress Analysis – Анализе оптерећења;
- Dynamic Stimulation – Динамичка симулација кретања;
- Tube and Pipe – Рад са цевима и цревима;
- Cable and Harness – Каблови и електроинсталације;
- Plastic injection molding tools – Алати за делове од пластике.

6.1 Техничке карактеристике изабраног возила

У табели 1 приказане су карактеристике возила изабраног за прорачун пужног преноса у склопу Торзен диференцијала [19].

Табела 1. Карактеристике возила

Модел	A4
Генерација	A4 (B9 8W)
Мотор	2.0 TFSI quattro S tronic
Број врата	4
Снага	250 KS, (184kW)/5000-6000 min⁻¹
Максимална брзина	250 km/h
Убрзање 0 - 100 km/h	5,8 s
Дужина	4726 mm
Ширина	1842 mm
Висина	1427 mm
Позиција мотора	Предњи, подужни
Запремина мотора	1984 cm³
Обртни момент	370 Nm/1600-4500 rpm.
Систем убризгавања	Директно убризгавање
Турбина	Турбо (Турбопуњење)
Позиција цилиндра	Редни
Број цилиндра	4
Компресија	9,6
Број вентила по цилиндру	4
Гориво	Бензин
Погон	Погон на сва 4 точка (4x4)
Број степена преноса (аутоматски мењач)	7 S tronic



Слика 37. Ауди кватро 2.0 TFSI [20]

- Мотор

Ауди TFSI (Turbocharged Fuel Stratified Injection) убризгавање горива је систем за мешање горива са ваздухом у мотору са унутрашњим сагоревањем. Постао је примарни систем за испоруку горива који се користи у бензинским моторима. Различити системи убризгавања постојали су од најраније употребе мотора са унутрашњим сагоревањем.

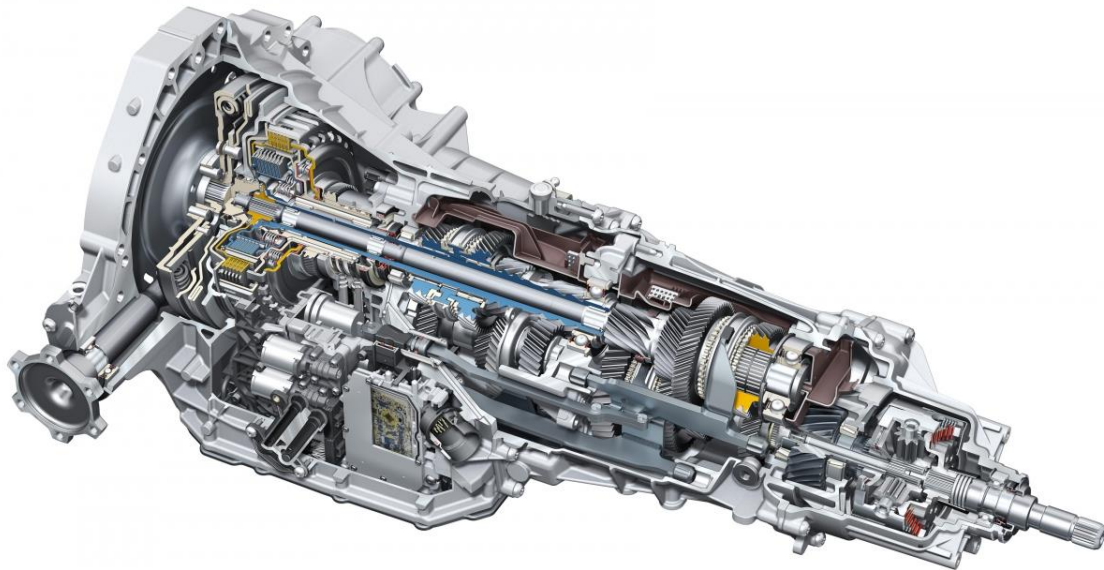
Ауди је први произвођач на свету који комбинује FSI технологију са турбо пуњењем у производњи. FSI технологија омогућава постизање ниже потрошње горива, бољи излаз и одзив. Ова технологија представља значајан корак ка новој генерацији мотора високих перформанси са ниским утицајима који нуде економичност и перформансе у једнакој мери [21].



Слика 38. Ауди TFSI мотор [22]

- Мењач

S-tronic пренос са двоструком спојницом комбинује удобност аутоматике са ефикасношћу ручног мењача (слика 39). Кроз већину модела S-tronic је доступан са шест или седам степена преноса. За уздужно инсталиране моторе, Ауди је развио специјалну верзију седмостепеног S tronic -а у којем су зупчаници за сва степене преноса постављени један за другим на излазном вратилу. Три верзије за трансверзално уграђене моторе су конфигурисане у једном распореду са две излазне осовине, што омогућава компактни дизајн. S-tronic за трансверзалне моторе доступан је са шест или седам степена преноса. S-tronic са седам степена преноса има две верзије. Која верзија се користи с којим мотором зависи од количине обртног момента који се преноси [23].



Слика 39. Ауди S-tronic мењач [23]

6.2 Прорачун пужног преносника и 3D модел

Прорачун пужног пара у Торзен диференцијалу извршен је за возило Audi quattro S-tronic.

6.2.1 ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ПУЖНОГ ПАРА

Уколико није познат осни размак, може се израчунати приближно, ако се као меродавно за прорачун узме загревање редуктора, односно одвођење топлоте.

Према Линднер-у је:

$$a \geq C_i C_m C_n \sqrt{P_1} \quad (6.2.1)$$

Где је:

a – осни размак, у mm

C_i – фактор утицаја преносног односа, $C_i = 10 + 2i$

C_m – фактор материјала, усваја се из табеле 1 која је дата у прилогу рада.

C_n – фактор брзине обртања

Снага на осовини пужа једнака је, $P_1 = 184kW$

Брзина обртања осовине пужа, $n_1 = 6000 \min^{-1}$

$$C_i = 10 + 2i \Rightarrow 10 + 2 \cdot 5 = 20 \quad (6.2.2)$$

Број зуба пужа и пужног точка се усваја из табеле 2 која је дата у прилогу рада.

$$z_1 = 6, z_2 = 30 \Rightarrow i = \frac{30}{6} = 5 \quad (6.2.3)$$

См, усвајамо из табеле 1, која је дата у прилогу рада. Материјал за који смо изабрали је челик каљен и брушен: $C_m = 1,12 \quad a \geq 20 \cdot 1,12 \cdot 0,31 \sqrt{184} \Rightarrow a \geq 93,74 \text{ mm}$

Фактор брзине обртања:

$$C_n = \frac{1}{\sqrt{1+6\left(\frac{n_1}{1000}\right)^{\frac{2}{3}}}} = \frac{1}{\sqrt{1+6\left(\frac{6000}{1000}\right)^{0,66}}} = \frac{1}{\sqrt{1+9,12}} = \frac{1}{\sqrt{10,12}} = \frac{1}{3,18} = 0,31 \quad (6.2.4)$$

Осни размак је једнак:

$$a \geq 20 \cdot 1,12 \cdot 0,31 \sqrt{184} \Rightarrow a \geq 93,74 \text{ mm} \quad (6.2.5)$$

Код избора z_2 треба водити рачуна о подрезивању корена зуба, које је за пуж најкритичније и наступа ако није задовољен услов:

$$z_2 \geq \frac{2h_k}{m \cdot \sin^2 \alpha} = z_2 \min \Rightarrow \frac{2 \cdot 2}{2 \cdot \sin^2 23} = \frac{4}{2 \cdot 0,15} = 14 \quad (6.2.6)$$

Где је: h_k -висина главе зуба, m -модул се бира из реда стандардних модула табела 4, која је дата у прилогу рада:

$$h_k = m, \alpha - \gamma_m \geq 15^\circ$$

Захватани угао у чеоном пресеку пужног точка је:

Узима се: $\alpha_n = 20^\circ$ за $\gamma_m = 25 \dots 35^\circ$

Z_f – фактор облика пужа, $Z_f = 6 \dots 12$ (макс 16), усвојено је 6.

$$\gamma_m = \arctg \left(\frac{z_1}{z_f} \right) = \arctg \left(\frac{6}{10} \right) = \arctg 0,6 = 31^\circ \quad (6.2.7)$$

Па је:

$$\alpha = \arctg \left(\frac{\tan \alpha_n}{\cos \gamma_m} \right) = \arctg \left(\frac{\tan 20^\circ}{\cos 31^\circ} \right) = \arctg \left(\frac{0,36}{0,85} \right) = 23^\circ \quad (6.2.8)$$

Према стандарду може се средњи пречник пужа израчунати из услова минимума губитака:

$$d_{f1} = 0,6 \cdot a^{0,85} = 0,6 \cdot (93,74)^{0,85} = 28,46mm \quad (6.2.9)$$

Сада се може израчунати модул: $m = \frac{2a - d_{f1}}{z_{m2} + 2,4} = \frac{2 \cdot 93,74 - 28,46}{13 + 2,4} = 10$ (6.2.10)

z_{m2} – средњи број зуба пужног точка. Код овог прорачуна може се узети $z_{m2} \cong z_2$

Па је онда

$$d_{m1} = d_{f1} + 2,4m = 28,46 + 2,4 \cdot 10 = 52,44mm \quad (6.2.11)$$

Средњи пречник пужног точка и осни размак је:

$$d_{m2} = z_{m2} \cdot m = 10 \cdot 13 = 133mm \quad (6.2.12)$$

Осни размак:

$$a = \frac{d_{m1} + d_{m2}}{2} = \frac{52,44 + 133}{2} = 92,72mm \quad (6.2.13)$$

Даље се рачунају крајње мере:

Пречник главе пужа:

$$d_{k1} = d_{m1} + 2h_k \Rightarrow 52,44 + 2 \cdot 10 = 72,44mm \quad (6.2.14)$$

Пречник пужног точка:

$$d_{k2} = d_{m2} + 2h_k \Rightarrow 133 + 20 = 153mm \quad (6.2.15)$$

Пречник подножних кругова:

$$d_{f2} = d_{m2} - 2,4h_k \Rightarrow 133 - 24 = 109mm \quad (6.2.16)$$

$$b_1 = 2,5m\sqrt{z_{m2} + 2} \Rightarrow 2,5 \cdot 10 \sqrt{13,3 + 2} = 97,78mm \quad (6.2.17)$$

Пречник пужног точка:

$$d_{o2} = m \cdot z_2 \Rightarrow 10 \cdot 13,3 = 133mm \quad (6.2.18)$$

Пречник пужа:

$$d_{o1} = 2a - d_{o2} \Rightarrow 2 \cdot 92,72 - 133 = 52,44mm \quad (6.2.19)$$

Ширина озубљења узима се приближно:

$$b_1 = 2,5m\sqrt{z_{m2} + 2} \Rightarrow 2,5 \cdot 10\sqrt{13,3 + 2} = 97,78mm \quad (6.2.20)$$

Рачунска ширина пужног точка (на средњем пречнику) је:

$$b_{m2} = 0,45(d_{m1} + 6m) = 0,45m(z_f + 6) \Rightarrow \quad (6.2.21)$$

$$0,45 \cdot 10(10 + 5,24) = 68,59mm$$

Где је

$$z_f = \frac{d_{m1}}{m} = \frac{52,44}{10} = 5,24 \quad (6.2.22)$$

Стварна ширина венца пужног точка узима се:

$$b_2 \cong b_{m2} = 68,59mm \quad \text{за пужни точак од праве бронзе}$$

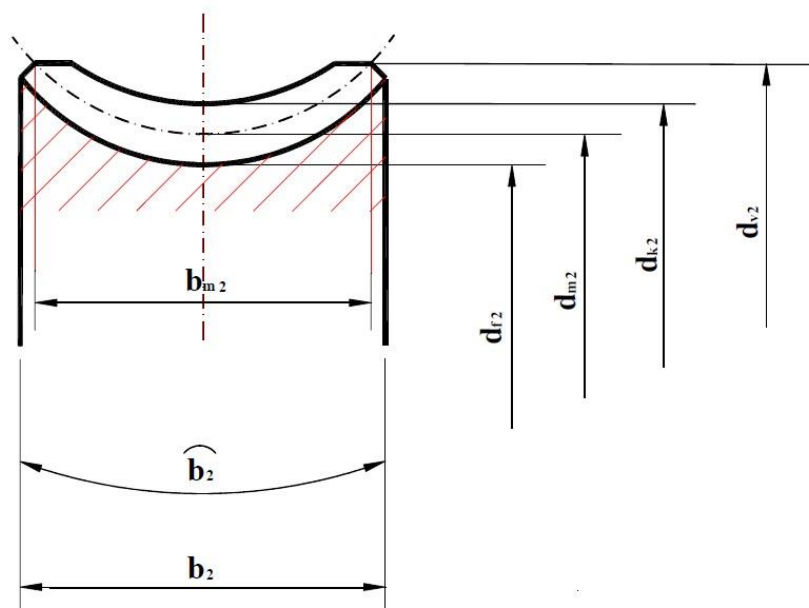
$$b_2 \cong b_{m2} + 1,8m = 68,59 + 1,8 \cdot 10 = 86,59mm - \text{за пужни точак од Al -бронза}$$

Дужина средњег венца пужног кола:

$$b_2 \cong 1,1b_2 = 75,44mm - \text{за пужни точак од праве бронзе}$$

$$b_2 \cong 1,17b_2 = 1,17 \cdot 86,59 = 101,31mm - \text{за пужни точак од Al -бронза}$$

Технички цртеж пречника пужног пара дат је на слици 40.



Слика 40. Приказ пречника пужног пара [24]

6.2.2 ГРАНИЦЕ ОПТЕРЕЋЕЊА ПУЖНОГ ПАРА

6.2.2.1 Гранична снага обзиром на загревање

Механички губици код преноса снаге у пужном редуктору претварају се у топлоту. Да услед тога не би температура уља прешла допуштену границу од 90°C (максимално 100°C), снага која се преноси не сме прећи следеће граничне вредности [24]:

На осовини пужног точка

$$P_{2T} = \frac{\eta_1}{1-\eta_1} A_R \alpha_z t_{N,dop} q_T = \frac{0,99}{1-0,99} 0,26 \cdot 48,92 \cdot 49,68 \cdot 1,16 = 3591,6 = 3,5kW \quad (6.2.23)$$

На осовини пужа

$$P_{1T} = \frac{\eta_1}{1-\eta_1} A_R \alpha_z t_{N,dop} q_T = 3,5kW \quad (6.2.24)$$

Овде је: η_1 -искоришћеност пужног преноса, ако је пуж погонски;

A_R -расхладна површина;

$$A_R = 0,3 \left(\frac{a}{100} \right)^{1,85}, a(mm) \Rightarrow 0,86 \cdot 0,3 = 0,26mm \quad (6.2.25)$$

α_z - проходност топлоте са кућишта у ваздух

$$\alpha_z = \alpha_o \left[1 + y_v \left(\frac{n_1}{100} \right)^{1,5} \right] = 16 \cdot \left[1 + 0,14 \left(\frac{6000}{1000} \right)^{1,5} \right] = 48,92, \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (6.2.26)$$

$\alpha_o = 16 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ -за пуж изнад кола

$y_v = 0,14$ – без вентилатора

Допуштен температура зидова у односу на ваздух:

$$t_{N,dop} = \frac{(t_{u,dop} - t_z)}{\left(1,03 + 0,1 \sqrt{\frac{n_1}{1000}} \right)} - 1,5 = \frac{(90 - 25)}{1,03 + 0,1 \sqrt{\frac{6000}{1000}}} - 1,5 = \frac{65}{1,27} - 1,5 = 49,68^\circ \text{C} \quad (6.2.27)$$

$t_{u,dop}$ -усвојена допуштена температура уља 90°C

t_z - температура ваздуха усвојена 25°C

Фактор повећања граничне снаге при прекиду погона q_t рачуна се из израза:

$$q_t = 1 + \frac{\xi \frac{100 - I}{I}}{1 + y_v \left(\frac{n_1}{1000} \right)^{1,5}} = 1 + \frac{1,2 \frac{100 - 70}{70}}{1 + 0,14 \left(\frac{6000}{1000} \right)^{1,5}} = 1 + \frac{1,2 \frac{30}{70}}{3,05} = 1 + \frac{0,51}{3,05} = 1,16 \quad (6.2.28)$$

Где је: ξ –Фактор смањења проходности топлоте у мировању усвојено 1,2.

I - релативно време рада у %, усвојено 70%.

Корисност пужног преноса је:

$$\eta_1 = 1 - \frac{P_g}{P_1} = \frac{1}{1 + \frac{P_g}{P_2}} = 1 - \frac{1,85}{184} = 0,99 \quad (6.2.29)$$

Изгубљена снага је:

$$P_g = P_o + P_L = 0,33 + 1,52 = 1,85 \text{ kW} \quad (6.2.30)$$

Губици празног хода се рачунају из израза:

$$P_o = \left(\frac{a}{100}\right)^{2,5} \frac{v+90}{2450} \left(\frac{n_1}{1000}\right)^{1,33} = \left(\frac{92,72}{100}\right)^{2,5} \frac{2+90}{2450} \left(\frac{6000}{1000}\right)^{1,33} = 0,82 \cdot 0,037 \cdot 10,83 = 0,33kW \quad (6.2.31)$$

$V=2$ - Кинематичка вискозност уља код погонске температуре. Усвојено из табеле 5, која је дата у прилогу рада.

Губици у лежајевима рачунају се из израза:

$$P_L = 0,228P_2 \left(\frac{a}{100}\right)^{0,44} \frac{i}{d_{m2}} = 0,228 \cdot 184 \left(\frac{92,72}{100}\right)^{0,44} \cdot \frac{5}{133} = 40,5 \cdot 0,037 = 1,52kW \quad (6.2.32)$$

6.2.2.2 Гранична снага обзиром на носивост бока зуба

Рачунски додирни притисак у озубљењу пужног преноса одређује се према изразу:

$$k = \frac{F_2}{Y_p b_{m2} d_{m2}} = \frac{2T}{Y_p b_{m2} d_{m2}^2} = \frac{2 \cdot 293}{0,381 \cdot 68,59 \cdot 133^2} = \frac{586}{462263,92} = 0,0012MPa \quad (6.2.33)$$

Где је: Y_p –Фактор притиска-усвојено из табеле 3 која је дата у прилогу рада.

$$\omega_2 = \frac{\pi n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 6000}{30} = 628 \text{ min}^{-1} \quad (6.2.34)$$

$$P_2 = T_2 \omega_2 \Rightarrow T_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{184000}{628} = 293Nm \quad (6.2.35)$$

f_v - Фактор брзине:

$$f_v = \frac{2}{2 + v_F^{0,85}} = \frac{2}{2 + 3,5^{0,85}} = \frac{2}{4,9} = 0,408 \quad (6.2.36)$$

f_h - Фактор трајности:

$$f_h = \sqrt[3]{\frac{1200}{L_h}} = \sqrt[3]{\frac{1200}{25000}} = \sqrt[3]{0,048} = 0,367 \quad (6.2.37)$$

L_h - трајност озубљења у погонским сатима, 25000h усвојено.

6.2.2.3 Контрола угиба осовине пужа

Угиб осовине пужа рачуна се из формуле:

$$f = \frac{F_{t1} l_1^3}{48EI} = d_{m1} \cdot 10^{-3} = 0,052mm \quad (6.2.38)$$

Где је: F_{t1} -Резултујућа сила у чеоном пресеку пужа;

$$F_{t1} = \sqrt{F_1^2 + F_R^2} = \sqrt{8,28^2 + 1,87^2} = \sqrt{68,61 + 3,49} = 8,49kN \quad (6.2.39)$$

F_1 - Ободна сила на пужу:

$$F_1 = F_2 \tan(\gamma_m + \rho) = 4,406 \tan(31 + 31) = 4,406 \cdot 1,88 = 8,28N \quad (6.2.40)$$

ρ -Еквивалентни угао трења, $\rho = \gamma_m$

F_2 -Ободна сила на пужном точку:

$$F_2 = \frac{2T_2}{d_{m2}} = \frac{2 \cdot 293}{133} = 4,406kN \quad (6.2.41)$$

F_R - Радијална сила на пужу

$$F_R = F_2 \tan \alpha = 4,406 \cdot \tan 23^\circ = 1,87kN \quad (6.2.42)$$

I-Момент инерције пужа израчунати са:

$$I = \frac{\pi d_{f1}^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 28,44^4}{64} = 32097,23mm^4 \quad (6.2.43)$$

Гранично дозвољени угиб осовине пужа се у зависности од захтева постављају на прецизност рада пужног преноса у границама;

$$f_{gr} = \frac{d_{m1}}{1000} \dots \frac{d_{m1}}{500} = \frac{133}{1000} = 0,133mm \quad (6.2.44)$$

Мора бити испуњен захтев да је;

$$f \leq f_{gr} \Rightarrow 0,052 \leq 0,133 \quad (6.2.45)$$

Односно степен сигурности на угиб треба бити:

$$S_o = \frac{f_{gr}}{f} \geq 1 \Rightarrow \frac{0,133}{0,052} = 2,557 \quad (6.2.46)$$

$$S_o > 1 \quad (6.2.47)$$

6.2.2.4 Контрола чврстоће зуба на лом

Рачуна се обзиром на краткотрајност преоптерећења ободном силом F_{2max} . Као мера напрезања узима се вредност:

$$C_{max} = \frac{F_{2max}}{m_n \pi b_2} = \frac{4406}{6,58 \cdot 3,14 \cdot 101,31} = \frac{4406}{2093,186} = 2,10 \quad (6.2.48)$$

Где је: m_n - нормални модул: $m_n = m \cos \gamma_o = 10 \cos 48,84 = 10 \cdot 0,65 = 6,58$

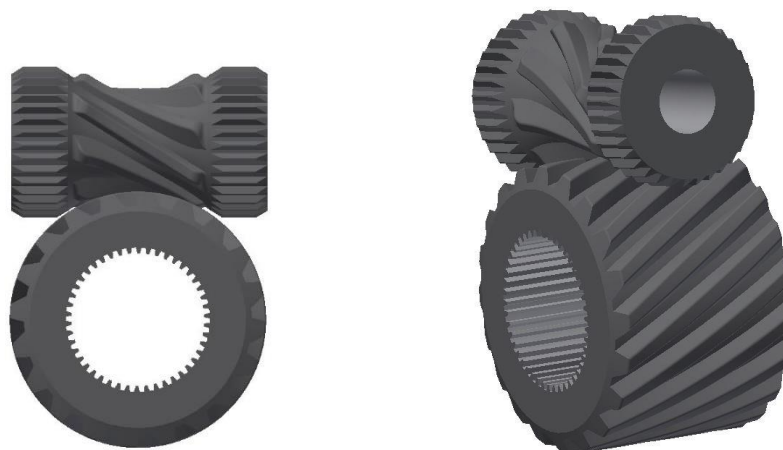
γ_o -угао успона на подеоном пречнику пужа

$$\gamma_o = \arctg\left(\frac{z_1 m}{d_{o1}}\right) = \arctg\left(\frac{6 \cdot 10}{52,44}\right) = \arctg 1,14 = 48,84^\circ \quad (6.2.49)$$

Степен сигурности против лома у корену зуба пужног точка:

$$S_L = \frac{C_{gr}}{C_{max}} \geq 1 \Rightarrow \frac{30}{2,10} = 14,28 \quad (6.2.50)$$

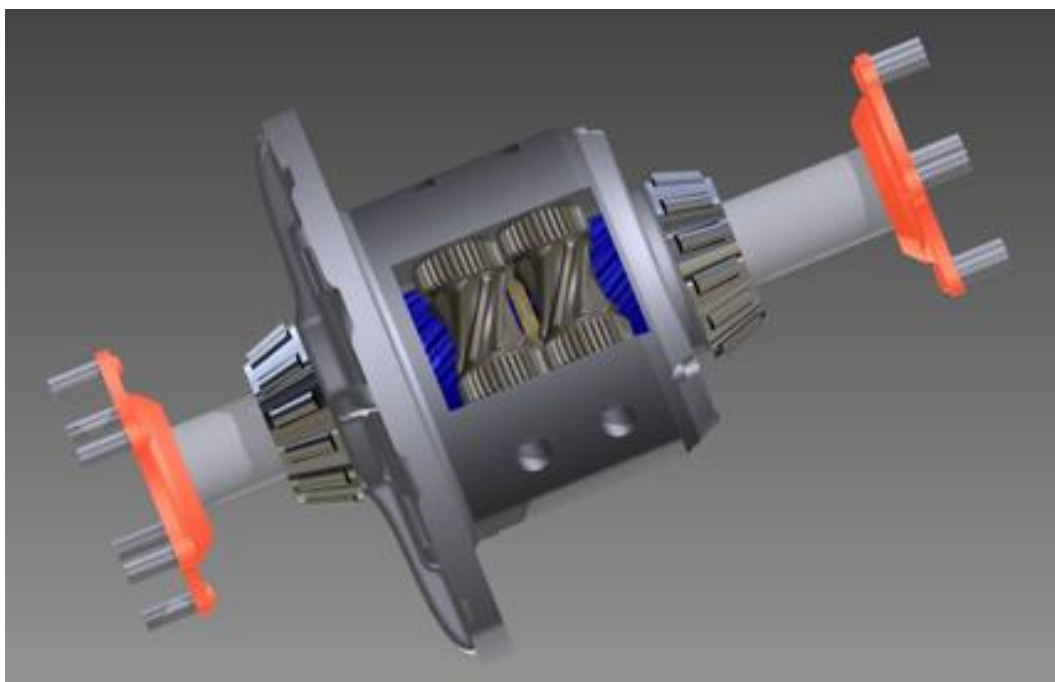
При чему се C_{gr} одређује из табеле 6 која је дата у прилогу рада.



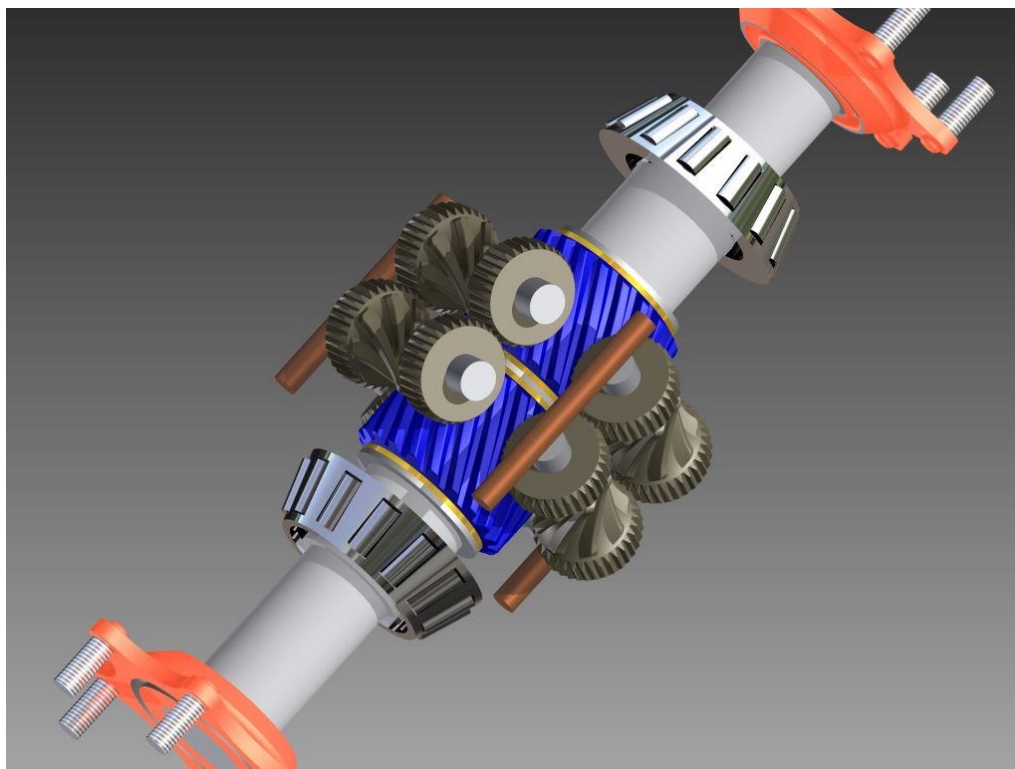
Слика 41 . 3D модел пужног пара

6.3 CAD модел Торзен диференцијала

На слици 42 је приказан модел Торзен диференцијала типа T1, на слици 43 је приказан модел без кућишта, док је на слици 44 је приказано кућиште Торзен диференцијала креираног у програму Autodesk Inventor.



Слика 42. Приказ Торзен диференцијал у Autodesk Inventor



Слика 43. Приказ Торзен диференцијала без кућишта



Слика 44. Кућиште Торзен диференцијала

7. Закључак

Циљ завршног рада био је упознавање са осовински и међуосовинским Торзен диференцијалом на моторним возилима. У оквиру рада су поменуте и обрађене све значајне изведбе диференцијала, као и њихови саставни делови.

Данас је у свету развијено више различитих типова диференцијала. Сви су развијени према посебним захтевима и у зависности од услова имају своје предности и мане. Првобитна верзија је био отворени диференцијал који је био захвалан за одржавање али се у случају проклизавања неког од погонских точкова сав обртни момент мотора преносио на тај точак због чега је, у случају потпуног губитка пријањања поменутог точка, возило остајало заглављено. Тај недостатак надокнадили су диференцијали са ограниченим проклизавањем (енг. Limited Slip Differential - LSD) који су у савременој аутомобилској индустрији тренутно најраспрострањенији и представљају најоптималније решење у погледу односа уложено/добито.

Торзен диференцијал је карактеристичан, има компактан дизајн и велику осетљивост када је потребно реаговање. Торзен омогућује расподелу обртног момента у зависности ком точку је потребно. Према томе, утврђено је да је бољи од било ког другог конвенционалног диференцијала о којима се говори у овом раду.

8. Литература

- [1] Д. Ружић, Н. Познановић, Ф. Часњи: „Основи моторних возила”, Факултет техничких наука у Новом Саду, Нови Сад, 2010.
- [2] Доступно на: <http://www.seminarski-diplomski.co.rs/ELEKTRONIKA/Torsen-diferencijal.html>, датум приступа, 10.06.2017.
- [3] SlideShare “Differential in automobile”, доступно на: <https://www.slideshare.net/padam2015/differential-in-automobile>, датум приступа, 10.06.2017 године.
- [4] The Chinese South-Pointing Chariot, доступно на: <http://www.lhup.edu/~dsimanek/make-chinese/southpointingcarriage.htm>, датум приступа 15.06.2017 године.
- [5] И. Филиповић: „Мотори и моторна возила“, Машински факултет Универзитета у Тузли, Тузла, 2006.
- [6] П. Кнор, Пројектовање и конструкција моторних возила, Машински факултет Сарајево, 2005/2006.
- [7] Д. Симић: „Моторна возила”, Научна књига, Београд, 1988.
- [8] Зглобни преносници, “Основне дефиниције и задаци”, доступно на: http://moodle.mfkg.rs/pluginfile.php/27598/mod_resource/content/0/Cas6_2013.pdf, датум приступа 20.06.2017.
- [9] MathWorks, “Limited-Slip Differential”, доступно на: <https://www.mathworks.com/help/physicsmod/sdl/ref/limitedslipdifferential.html>, датум приступа 20.06.2017.
- [10] I. Bajpai: “Comparative Study of Torsen Differential”, IJRMET, Vol. 5, N° 1, November 2014 - April 2015.
- [11] H. Naunheimer, B. Bertsche, J. Ryborz, W. Novak: „Automotive transmissions-Fundamentals, Selection, Design and Application”, Second Edition; Springer, Berlin 2011.
- [12] Audi Technology Portal, “Torsen differential”, доступно на: https://www.audi-technology-portal.de/en/drivetrain/quattro_en/torsen-differential, датум приступа 25.06.2017 године.
- [13] Car engineer, “A Friction Control Technology for TORSEN differential”, доступно на: <http://www.car-engineer.com/friction-control-technology-torsen-differential/>, датум приступа 26.06.2017 године.
- [14] Fourtitude, “Drivetrain”, доступно на: http://www.fourtitude.com/news/publish/Audi_News/article_5818.shtml, датум приступа 30.06.2017 године.

- [15] How it works, “Torsen differentials”, доступно на: <https://torsen.com/how-it-works/> , датум приступа 02.07.2017 године.
- [16] S. Mahes, U. Mantovani, A. Tasca: „Torsen differential for FSAE 2016 race car”, Florida international University, November, 2015.
- [17] JTEKT, ”Torsen”, доступно на: <http://eb-cat.ds-navi.co.jp/enu/jtekt/tech/eb/catalog/img/pdf/catd1001je.pdf> , датум приступа 02.07.2017 године.
- [18] Autodesk, „Inventor”, доступно на: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview> , датум приступа 05.07.2017 године.
- [19] Auto data, “Technical specifications”, доступно на: https://www.autodata.net/en/?f=showCar&car_id=22312 , датум приступа 05.07.2017 године.
- [20] A4 Saloon, доступно на: <https://www.audi.co.uk/new-cars/a4/a4-saloon.html#/gallery> , датум приступа 07.07.2017 године.
- [21] Quoera, “What is the difference between Audi's TFSI and Volvo's GDTI engines“ доступно на: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-Audis-TFSI-and-Volvos-GDTI-engines> , датум приступа 07.07.2017 године.
- [22] APR, “APR 2.0 TFSI Valvelift Gen 2 ECU Upgrade”, доступно на: https://www.goapr.com/products/ecu_upgrade_20tsivl_long.html , датум приступа 07.07.2017.
- [23] Audi Technology Portal, “S tronic”, доступно на: https://www.audi-technology-portal.de/en/drivetrain/transmission-technologies/s-tronic_en , датум приступа 8.07.2017 године.
- [24] Д. Јеласка, С. Подруг: „Прорачун пужних преноса, (Упутство)”, Факултет електротехнике, стројарства и бродоградње у Сплиту, Сплит, фебруар 2008.

Прилог 1

Табеле за прорачун пужних преносника

Табела 1. Подаци за материјале пужних преноса

Материјал		C_M	k_0	γ_M
Пуж	Пужни точак	1)	N/mm^2	
Челик каљен и брушен	Cu-Sn Бронза	1	8,0	1
	Al Бронза	1,08	4,2	1
	Сиви перлитни лив	1,12	12,0	1,1
Челик побољшан (не брушен)	CuSn Бронза	1,08	4,7	1,5
	Al Бронза	1,16	2,5	1,5
	Синтеровано гвожђе	1,16	2,5	1,5
	Zn легуре	1,10	1,7	1,5
	Сиви лив ($\sigma_M=120 N/mm^2$)	1,20	4,0	1,8
Сиви лив ($\sigma_M=180 N/mm^2$)	Cu-Sn Бронза	1,08	4,0	1,2
	Al Бронза	1,15	2,0	1,2
	Сиви лив ($\sigma_M=120 N/mm^2$)	1,16	3,5	1,3

Табела 2. Смернице за избор броја зуба.

$i=z_2/z_1$	3...4	4...6	6...10	10...22	22...40	преко 40
z_1	11...7	8...5	6...3	4...2	2...1	1
z_2	21 ...60, пожељно 28 ... 40					i
d_{m1}/a	0,55 ... 0,3					

Табела 3. Фактор Y_r за прорачун додирног притиска.

Z_F	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$z_1=1$	0,835	0,780	0,739	0,700	0,666	0,637	0,612	0,589	0,570	0,552	0,536
2	0,790	0,741	0,702	0,670	0,638	0,613	0,519	0,571	0,553	0,535	0,522
3	0,762	0,713	0,675	0,646	0,618	0,594	0,573	0,553	0,537	0,519	0,508
4	0,751	0,699	0,660	0,628	0,600	0,579	0,559	0,540	0,524	0,509	0,496
5	0,744	0,691	0,652	0,618	0,590	0,565	0,546	0,527	0,513	0,499	0,487
6	0,743	0,687	0,646	0,613	0,583	0,559	0,539	0,520	0,505	0,489	0,478
7		0,687	0,644	0,609	0,580	0,555	0,534	0,515	0,499	0,484	0,471
8			0,643	0,607	0,576	0,551	0,531	0,511	0,494	0,479	0,467
9				0,607	0,575	0,549	0,528	0,508	0,492	0,475	0,463
10					0,575	0,548	0,525	0,506	0,489	0,474	0,461

Табела 4. Препоручени размаи осовина a и модули m .

a , mm	50	63	80	100	125	160
m , mm	1...2,5	1...3,15	1,25...4	1,6...5	2...6,3	2,5...8
a , mm	200	250	315	400	500	600
m , mm	3,15...10	4...12,5	5...16	6,3...20	8...20	10...20

Табела 5. Препоручене количине уља.

a	mm	65	80	100	125	140	160	180	200
V	dm ³	0,6	1,2	2,3	4	6	8,5	12	15
Q	dm ³ /min	-	-	2	3	3	4	4	6
a	mm	225	250	260	320	360	400	450	500
V	dm ³	20	26	35	48	63	82	112	150
Q	dm ³ /min	6	10	10	15	15	20	20	20

V се односи на редукторе са и без подмазивања

Q је количина уља код подмазивања под притиском

Притисак код подмазивања 1,5....2,5 bar

Табела 6. Избор уља код подмазивања урањањем.

v_F у m/s	1,5	1,5...3,5	3,5...10	10
v_{50} и mm^2/s при 50^0C	300	270...230	190...150	140...105
За случај да је пуж изнад пужног точка треба предвидети за 30....50 % већу вискозност, али не преко $380 mm^2/s$ при 50^0C .				