

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Механизми машина

Број индекса: 33/2014

Јанко Н. Даговић

**Варијатори брзина - примена у аутомобилској
индустрији**

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Саша Јовановић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да да преглед и анализу различитих конструкцијских решења варијатора брзина кроз истицање одговарајућих предности и недостатака. Такође, потребно је навести најважније области примене овог типа фриксионих преносника, са посебним акцентом на аутомобилску индустрију. Посебно треба анализирати конструкцијско решење континуалне варијабилне трансмисије – CVT.

Препоручена литература:

- [1] Проф. др Слободан Танасијевић, проф. др Александар Вулић, Механички преносници, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, новембар 2006
- [2] Automatic transmissions & transaxles, 6th Edition, Jack Erjavec, Ken Pickerill
- [3] Efficiency optimization of the push-belt CVT by variator slip control, Bram Bonsen, Eindhoven University of Technology, 2006

Крагујевац
октобар 2018.

Ментор:

Резиме

Тема овог завршног рада су варијатори брзина и њихова примена у аутомобилској индустрији. Варијатори брзина представљају фриксионе преноснике снаге, код којих се преносни однос врши континуално без прекида тока снаге. Могу се користити код металуршких машина, у пољопривредим и грађевинским машинама, производњи грађевинског материјала и у аутомобилској индустрији. У аутоиндустрији се користи континуална варијабилна трансмисија (continuously variable transmission), код које варијатор представља један од главних елемената механизма.

Кључне речи: варијатори брзина, аутомобилска индустрија, континуална варијабилна трансмисија, continuously variable transmission

Abstract

Topic of this thesis are speed variators and their implementation in automotive industry. Speed variators are devices that transmit power with friction, where transmission ratio is continuous without interrupting the power flow. They can be used in metallurgical machines, in agricultural and construction machines, in production of construction materials, automotive industry. In automotive industry is used continuously variable transmission, where variator presents one of the main elements of mechanism.

Key words: speed variators, automotive industry, continuously variable transmission

Садржај

1. Увод	1
1.1 Област примене варијатора.....	1
1.2 Класификација варијатора	2
2. Фрикциони варијатори са крутим члановима.....	4
2.1 Основне карактеристике	4
2.2 Конични варијатори.....	7
2.3 Варијатори са крутим међупросторним члановима на ослонцима.....	8
2.4 Варијатори са гипким члановима	10
2.4.1 Ремени варијатори.....	11
2.4.2 Ланчани варијатор.....	14
2.4.3 Ланчани варијатори са спрезањем.....	15
2.5 Планетарни варијатори	17
3. Варијатори брзина - примена у аутомобилској индустрији	18
3.1 “DAF” – аутоматски мењач.....	18
3.2 3A3-1102	19
4. Continuously Variable Transmission (CVT) – Континуална варијабилна трансмисија	21
4.1 Компоненте CVT-а	22
4.1.1 DNR склоп.....	23
4.1.2 Редуктор CVT-а	23
4.1.3 Систем активације.....	23
4.2 Класификација каишева	24
4.2.1 Ремен	24
4.2.2 Ланци.....	25
4.2.3 Pushbelt ланци.....	25
4.3 Варијатор	26
4.4 Геометрија варијатора	27
5. Ефикасност током вожње	31
5.1 Ефикасност CVT-а	31
6. Примена континуалне варијабилне трансмисије у будућности.....	35
7. Закључак.....	36
8. Литература	37

1. Увод

Побољшање технолошких процеса и жеља ка аутоматизацији захтева велику употребу преносника са континуалном променом брзине. У данашње време је тешко наћи индустријску област и привредну грану у којој се не захтева регулисање брзина радних машина. Због операција које врше, аутоматским системима је потребна аутоматизована промена брзине режима обраде у зависности од низа променљивих параметара као што су захтеван квалитет готовог производа или својство материјала. Поједине аутоматске линије по својој концепцији су предодређене за обављање истих операција, али на различитим радним комадима, па је очигледно да се и код њих захтева промена брзине при преласку са једног предмета обраде на други.

Транспортне машине и путне машине за промену брзина користе сложене мењаче са ступњевима, па се тако код аутомобила број степени преноса креће од 3 до 6, а тако и број преносника. Поједине самоходне машине имају од 8 до 11 степени преноса, а алатне машине још више.

Регулисање брзине се може обавити на два начина, односно непосредном променом угаоне брзине вратила мотора или применом механизма, који су постављени у кинематски ланац погона и предодређени за континуално регулисање његовог преносног односа. Поменути уређаји представљају варијаторе брзине, а по конструкционим и осталим карактеристикама могу се поделити на механичке, електричне и хидрауличне. У данашње време механички варијатори су највише у употреби, јер истраживања показују да имају извесне предности у односу на хидрауличне и електричне варијаторе. Употреба механичких варијатора знатно олакшава управљање машинама, омогућава аутоматизацију процеса, анализу оптималних режима и поједностављује конструкцију машине. До развијања и прилагођавања механичких континуалних преносника долази порастом општег нивоа техничког знања. Њиховом применом се врши рационалнија потрошња енергије, због чега су стекли посебан значај [1].

1.1 Област примене варијатора

Конструкциона решења механичких варијатора јесу веома сложени механизми, недовољно савршени, па је њихова примена углавном ограничена на стационарне механизме.

Варијатори су нашли велику примену у машинама за извлачење, машинама за ваљање, машинама за хладно ваљање траке, машинама за извлачење алуминијумских жица. Поред тога, заступљени су и код машина које се користе у пољопривреди и грађевинарству, путним машинама, транспортерима, ескалаторима, елеваторима, у производњи грађевинског материјала. Употреба варијатора повећава продуктивност и побољшава техничке карактеристике аутоматских линија у

прехрамбеној и лакој индустрији. Механички варијатори су добили велику примену у текстилним машинама, па се данас примењују у пределицама, моталицама, сушилицама и код других текстилних машина [1].

У зависности од намене, неопходног опсега регулисања, снаге и других фактора, код алатних машина се користе различити облици варијатора. Захтевани опсег регулисања брзине главног кретања се налази у границама: 20-120 за стругове, 2-12 за вертикалне бушилице, 20-30 за глодалице.

У индустрији аутомобила, мотоцикала и трактора се врше значајна истраживања у области примене варијатора као аутоматских трансмисија. Употреба аутоматске трансмисије знатно повећава економске и динамичке карактеристике машина, повећава вучну силу, олакшава рад возача, побољшава управљачке способности и комфорност, продужава век трајања елемената и склопова погона. Истраживањем је доказано да током вожње аутомобила са класичним мењачем у градским условима, на 100 километара пута, возач делује на мењач 600-800 пута, па тим чином изазива искључивање и укључивање појединих елемената преносника у различитим ситуацијама. Вожња постаје удобнија, а искључивања су отклоњена употребом варијатора. У трансмисији mopеда, малолитражних аутомобила и мотора користе се варијатори са трапезним ременима. Актуелна производња континуалних преносника чешће снадбева тржиште комбинованим конструкцијама: варијатор-електромотор, редуктор-варијатор-електромотор. Они представљају јединствене агрегате опште примене и намене који сједињују варијатор, редуктор и асинхрони електромотор. Производе се у различитим димензијама, широког опсега снаге и брзине гоњеног вратила [1].

1.2 Класификација варијатора

У зависности од преноса снаге и кретања, варијатори се могу поделити у две групе, а то су фрикциони и спрегнути варијатори.

Фрикциони варијатори представљају континуалне преноснике код којих се релативним померањем две или више глатких површина у контакту остварује промена преносног односа, а обртно кретање под оптерећењем се преноси само силом трења.

Обртно кретање код спрегнутих варијатора се остварује зубима који су постављени на основним или међупросторним члановима. Преносни однос ових варијатора се мења континуално, као што је случај код фрикционих варијатора. Поред основних елемената који преносни однос мењају континуално, у зависности од кинематске шеме, у варијатору могу бити уграђени обични преносници, планетарни или редни. По конструкционим и кинематским особинама варијаторе можемо поделити у две групе [1]:

- Коничне

- Са крутим међупросторним чланом на ослонцима
- Са крутим међупросторним чланом без ослонца
- Са гипким међупросторним чланом без ослонца
- Планетарне

Конични варијатори као основни елемент имају диск, који може бити различитог геометријског облика (конус-конус, цилиндар-конус, конус-сфера). Погонски и гоњени диск имају једну зону додира, при чему се њихов додир остварује у тачки или по линији. Контакт се остварује по површини због деформација под оптерећењем. Померањем гоњеног и погонског точка се врши регулисање брзине варијатора. Преносни однос између два фрикциона диска се може променити изменом радијуса контакта једног или оба диска, условљеног еластичном деформацијом. Еластичне ивице диска се израђују пуне, од хомогеног материјала или у облику еластичних шупљих комора које су испуњене течномшћу или гасом. Код коничног варијатора се регулисањем запремине испуњивача може додатно подесити полупречник дискова у зони контакта.

Варијатори са крутим међупросторним чланом на ослонцима садрже један или више међупросторних чланова који узајамно делују, са погонским и гоњеним чланом. Међупросторни члан представља круто, обртно тело, постављено на осовину, утврђену у лежиштима. На основу карактеристика конструкционих особина, разликујемо следеће групе варијатора: чеоне са цилиндричним или коничним ваљцима, кугличне (међупросторни члан-куглица) са спољашњим или унутрашњим контактом, торусни (дискови који имају торусну површину) са тетивним или дијаметралним положајем ваљка, вишедискни (међучлан-диск) са спољашњим или унутрашњим контактом.

Варијатори са крутим међупросторним чланом без ослонца су варијатори који имају покретне точкове (на извлачење).

Варијатори са гипким међупросторним чланом без ослонца представљају гипка тела (ремени или ланци) који обухватају гоњени и погонски точак. Пренос снаге и кретања се остварује на више начина. Зупчasto-плочастим спрезањем, фрикцијом (силама трења), притискивањем еластичног елемента ка крутој ременици. Променом положаја погонског и гоњеног члана дуж својих оса врши се регулисање брзине. Разликујемо варијаторе са плоснатим каишем, уским трапезним и широким трапезним ременом. Ланчани варијатори као међучлан могу имати прстенасти, плочасти, папучасти и ваљкасти ланац.

Планетарни варијатори су варијатори конструисани по планетарној шеми и варијатори затворени зупчастим диференцијалом. Карактеристичне собине ових варијатора су постојање обртних елемената. Осе елемената се обрћу у односу на централну осу варијатора [1].

2. Фрикциони варијатори са крутим члановима

2.1 Основне карактеристике

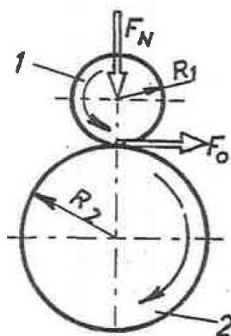
Конструкције фрикционих варијатора са крутим члановима се састоје од једног или више трибомеханичких система (фрикционих парова). Осе елемената трибомеханичких система се могу сећи, мимоилазити или могу бити паралелне. Почетни додир елемената се остварује у тачки или по линији, док се пренос снаге и кретања добија трењем у заједничкој површини контакта. Рад фрикционог преносника се може представити сликом 1, где погонски точак (1) врши притисак силом F_N на гоњени точак (2). Пренос момента се обавља трењем са једног тачка на други. Обимна сила F_o која се може пренети и која зависи од силе притиска и коефицијента трења, је једнака сили трења F_T :

$$F_T = F_o = \mu \cdot F_N \quad (1)$$

Фрикциони преносник може пренети снагу и кретање само онда када је обртни момент M_o мањи или највише једнак моменту силе трења мировања M_{TRM} . Повећање поузданости преносника се обично остварује задавањем мање величине M_o од момента трења мировања:

$$M_o = k \cdot M_{TRM} \quad (2)$$

где је k -коефицијент сигурности спрезања за дати фрикциони преносник.



Слика 1 – Шема рада фрикционог преносника[1]

Механизам преноса снаге фрикционих преносника заснива се на особинама трења мировања и да цео процес спрезања (од почетка до краја циклуса контакта фрикционих елемената) протиче у условима трења мировања.

Главна карактеристика варијатора је дијапазон регулисања I . Варијатори код којих се регулисањем преносног односа обавља изменом радном полупречника једног од тела котрљања (сл. 2.а) и (сл. 2.б) [1]:

$$I = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{R_{\max}}{R_{\min}} \quad (3)$$

За варијаторе код којих се регулисање преносног односа обавља изменом полупречника R гоњеног точка, изражен је као:

$$i = \frac{R}{R_1 \cdot \xi_{kl}} \quad (4)$$

$$i_{min} = \frac{R_{min}}{R_1 \cdot \xi_{kl}}, \quad (5)$$

$$i_{max} = \frac{R_{max}}{R_1 \cdot \xi_{kl}} \quad (6)$$

где су: R – променљиви полупречник контакта гоњеног точка,

R_1 - константни полупречник погонског точка,

$\xi_{kl} = 0,94-0,995$ – коефицијент клизања који зависи од конструкционог решења варијатора и од тога да ли се варијатор подмазује или не.

Регулисање преносног односа варијатора променом полупречника R погонског точка, може да се изрази као:

$$i = \frac{R_1}{R \cdot \xi_{kl}} \quad (7)$$

$$i_{max} = \frac{R_1}{R_{min} \cdot \xi_{kl}} \quad (8)$$

$$i_{min} = \frac{R_1}{R_{max} \cdot \xi_{kl}} \quad (9)$$

,

где су: R – променљиви полупречник контакта погонског точка,

R_1 - константни полупречник гоњеног точка.

Регулисање преносног односа варијатора истовременом променом полупречника оба тела, при симетричном положају области регулисања може се изразити као (сл. 2.с) и сл. 2.f):

$$i = \frac{R_2}{R_1 \xi_{kl}} \quad (10)$$

$$i_{max} = \frac{R_{max}}{R_{min} \cdot \xi_{kl}} \quad (11)$$

$$i_{min} = \frac{R_{min}}{R_{max} \cdot \xi_{kl}} \quad (12)$$

следи да је:

$$i_{max} \cdot i_{min} \approx 1 \quad (13)$$

Код варијатора са покретним коничним дисковима преносни однос је (сл. 2.d):

$$i = \frac{R_{\min} + \delta \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\xi_{kl} \cdot (R_{\max} - \delta \cdot \operatorname{tg} \alpha)} \quad (14)$$

где су: δ – померање погонских дискова мерено од положаја њиховог максимално могућег приближавања,
 α – угао нагиба конуса,

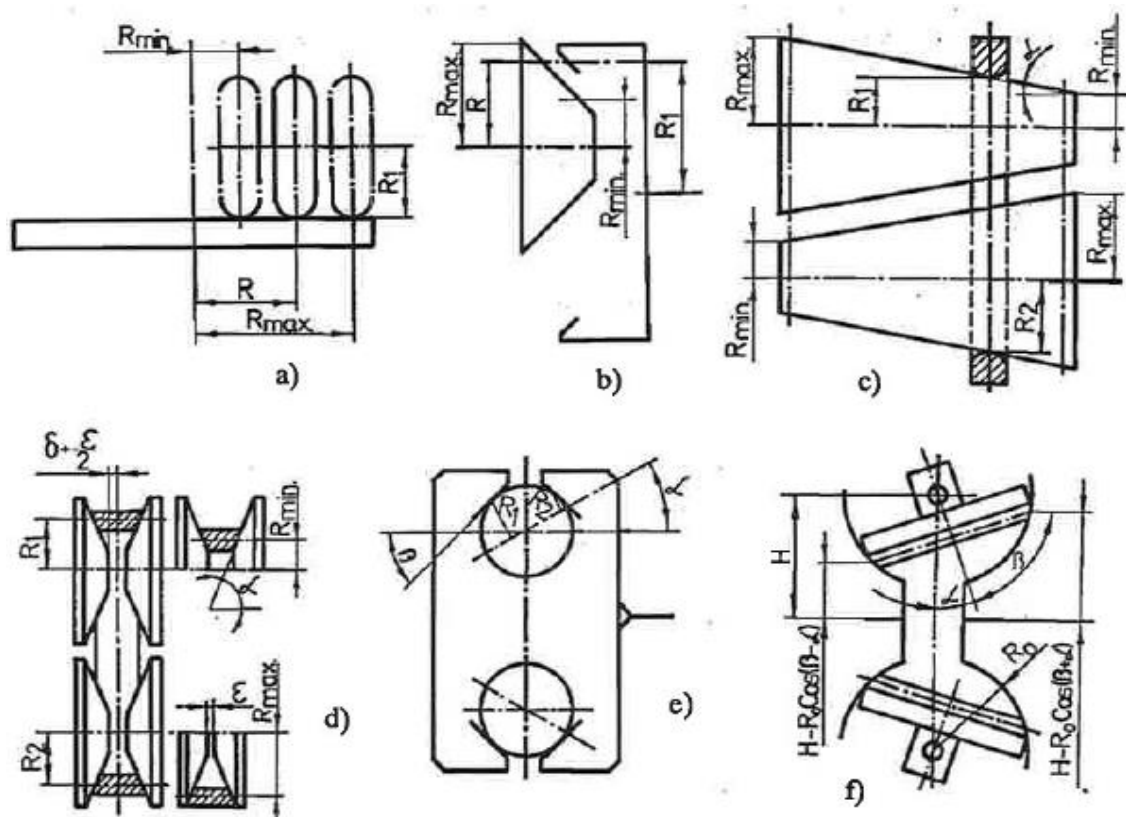
Куглични варијатори имају преносни однос(сл. 2.е):

$$i = \frac{R_2}{R_1 \xi_{kl}} = \frac{\cos(\beta + \alpha)}{\xi_{kl} \cos(\beta - \alpha)} \quad (15)$$

где је: β – угао нагиба коничне површине шољице.

Код торусних варијатора преносни однос се израчунава као(сл. 2.ф):

$$i = \frac{H_0 - R_0 \cdot \cos(\beta + \alpha)}{\xi_{kl} \cdot (H_0 - R_0 \cdot \cos(\beta - \alpha))} \quad (16)$$



Слика 2 – Принциписке шеме фриксионих варијатора са крутим члановима [1]

Обезбеђивање већих сила притиска представља главни недостатак фриксионих варијатора. Помоћу ових сила се остварује неопходан контакт радних тачкова. Обимне силе су неколико пута мање од интензитета ових сила. У случају да је

највећа обимна сила која се преноси фрикционим паром F_0 , величина нормалне силе којом су точкови притиснути један уз други је:

$$F_N = \frac{F_0 \cdot k}{\mu} \quad (17)$$

Где је: μ - коефицијент трења фрикционог пара,

k - коефицијент сигурности спрезања.

Најчешћи материјал од којих се израђују фрикциони точкови већине варијатора је челик. Површине су брушене или каљене и могу радити у присуству мазива. Коефицијент трења се креће у интервалу $\mu=0.015-0.05$, а коефицијент сигурности спрезања $k=1.2-2.0$. У најбољем случају, за $\mu=0.05$ и $k=1.2$, сила притиска $F_N \geq 24 \cdot F_0$. Фрикциони преносници под оптерећењем своју енергију троше на трење котрљања фрикционих тела, трење еластичног и геометријског клизања, трење елемената лежаја и отпоре средине (ваздух или мазиво). Однос укупне доведене снаге P и снаге утрошене на савлађивање отпора у преноснику P_{UG} , представља степен корисног дејства и он је један од најважнијих параметара конструкције. Степен корисног дејства се може израчунати као:

$$\eta = \frac{P - P_{UG}}{P} = \frac{P - (P_G + P_M + P_E + P_O + P_L)}{P} \quad (18)$$

Где су: P_G – снага утрошена за савлађивање геометријског клизања,

P_M - снага утрошена за распршивање мазива,

P_E – снага губитака услед еластичног клизања,

P_O - снага губитака на отпоре котрљања фрикционих точкова,

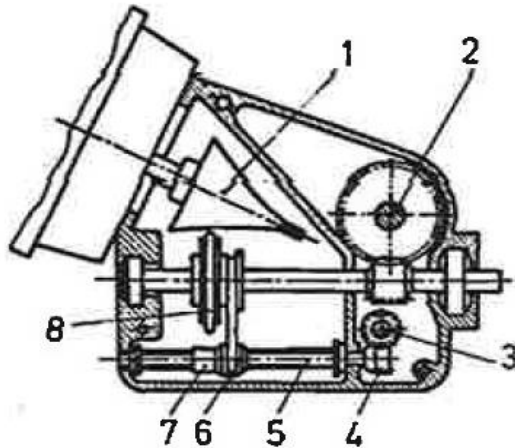
P_L - снага губитака на трење у лежајевима [1].

2.2 Конични варијатори

По својим конструкционим решењима конични варијатори су релативно прости, редни механизми који се састоје од два точка, од којих бар један има коничну форму. Радна површина точка је израђена праволинијском или криволинијском изводницом при чему се један од точкова везује за гоњено вратило, а други за погонско вратило. Аксијалним померањем једног од точкова се може вршити континуална промена преносног односа.

Погонски конус (1) чији је положај непосредно на вратилу мотора преноси кретање преко ваљка (8) и пужног пара на гоњено вратило (2). Аксијалним померањем ваљка (8) дуж вратила, врши се континуално регулисање излазног броја обртаја, уз помоћ пужног пара (3) и (4), завојног пара (5) и (7) и виљушке (6). Опругом која је уграђена на вратило електромотора се добија жељена сила трења тј. потребно пријањање фрикционих елемената. Овакви варијатори се најчешће користе као чланови кинематског ланца.

Опште конструкционо решење коничног варијатора је приказано на слици 3:

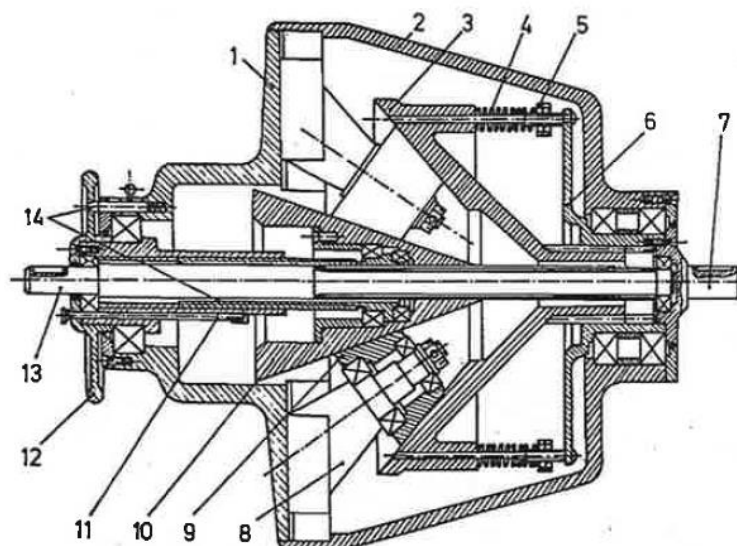


Слика 3 – Конични варијатор [1]

2.3 Варијатори са крутим међупросторним члановима на ослонцима

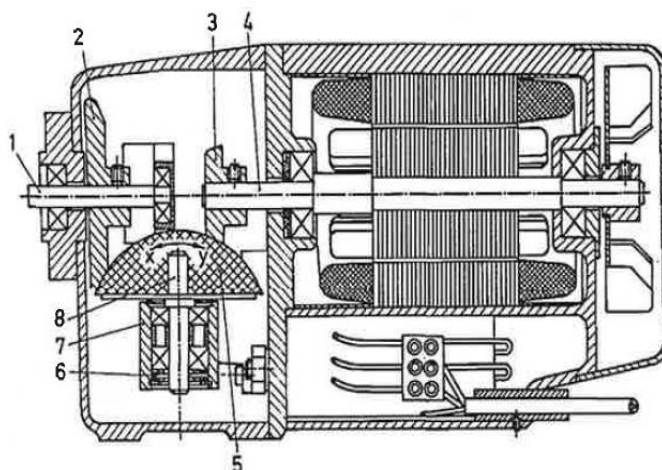
Основни делови ових варијатора су ваљци који могу имати цилиндричне, сферне или коничне радне површине. Ваљци су постављени на вратила чији су ослонци клизна и котрљајна лежишта. Сви ваљци су истовремено у контакту са гоњеним и погонским точком. Синхроним померањем оса међупросторних ваљака специјалним механизмом се врши промена преносног односа. Неки од недостатака ових варијатора је тешко обезбеђивање једнаког положаја свих паралелно радних међупросторних чланова [1]. Варијатори са крутим међупросторним члановима на ослонцима се могу поделити на:

Чеоне варијаторе - на основу геометријског облика, ваљци чеоних варијатора се могу поделити на коничне и цилиндричне. Код коничних ваљака клизање је мање и мења се променом преносног односа. Чеони варијатори (сл. 4) имају веће габаритне димензије и масе, имају мали степен корисног дејства, релативно кратак век трајања и они су релативно прости механизми. Варијатор са коничним ваљцима има већи степен искоришћења, због минималног геометријског клизања. Кућиште варијатора је ливено и састоји се из два дела (1 и 2). На водећем вратилу (7) налази се спољашњи конусни точак (3). Преко опруге (4) и регулационе навртке (5) се остварује контакт конуса са коничним ваљцима (9) и погонским конусом (10). Регулациона навртка се у свом граничном положају може ослањати на прирубницу (6). Завојним паром (11) и замајцем (12) се остварује померање погонског конуса (10) дуж ожлебљеног погонског вратила (13). Да се замајац не би произвољно окретао врши се обезбеђивање чивијом за фиксирање (14). Ваљци се могу радијално померати дуж своје осе.



Слика 4– Чеони варијатор са коничним ваљцима [1]

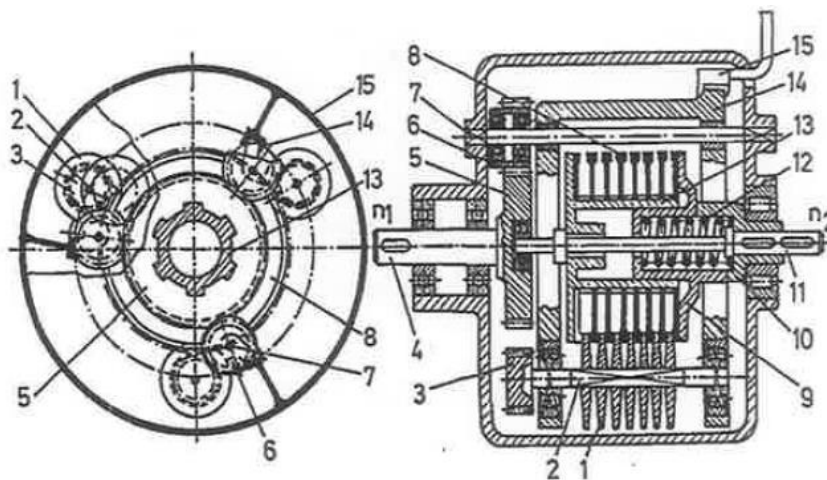
Куглични варијатори- главна карактеристика ових варијатора је да гоњени и погонски точак имају коничну радну површину , док се куглице користе као међупросторни чланови. На основу конструкционог решења , ови варијатори се могу поделити на једноредне и вишередне. Помоћу сферног одсечка (5) који је у контакту са фрикционим точковима (2) и (3) врши се пренос снаге и кретања са погонског вратила (1) на саосно гоњено вратило (4). Окретањем сфере у правцу стрелица х и у врши се промена преносног односа. На осовини (8), која је смештена у кућишту (7), сфера (5) се обрће и притиска фрикционе точкове (2) и (3) тањирастом опругом (6). Кроз центар сфере пролази рукавац осовине(8). Кућиште (7) се може обртати у вертикалној равни, уз помоћ пужног преносног пара. Једноредни куглични варијатор је приказан на слици 5.



Слика 5 – Куглични једноредни варијатор [1]

Вишедискни варијатори – главна одлика ових фрикционих варијатора је фрикциона контактна радна површина, што им даје могућност преноса високих снага при малом специфичном притиску у фрикционим паровима. Смањење притиска се постиже због

већег броја паралелних фрикционих парова. Имају могућност преноса снаге и преко 300kW, што је далеко више од могућности осталих фрикционих варијатора чија је граница испод 20 kW. Вишедискни варијатор је приказан на (сл. 6).



Слика 6 – Вишедискни варијатор [1]

На погонско вратило (4) је намонтиран зупчаник (5) који преноси снагу и кретање на зупчанике (3), преко међузупчаника (6) који су постављени на осовине (7). На ожљебљеним међувратилима (2) су постављени зупчаници (3). Међувратила су ослоњена на лежаје. Лежаји су распоређени на крајевима полууга (14) које се могу окретати на осовинама (7), уз помоћ прстена (15) у чије прорезе улазе ластини репови полууга. Пакети погонских коничних дискова (1) су постављени на ожљебљена вратила (2). У зависности од величине снаге која се преноси и типа конструкције број пакета може бити три, четири или шест. Са коничних дискова (1) кретање се преноси на централни пакет фрикционих дискова (8). На гоњеном вратилу (11) је постављен ожљебљен добош (13). Централни пакет фрикционих дискова је смештен на ожљебљен добош. Помоћу притисних чаура (9) и (10) се остварује веза између добоша и гоњеног вратила. Чауре су међусобно спрегнуте завојним паром који је под нагибом. На тај начин се врши притискивање дискова, које је пропорционално моменту увијања које се преноси. За претходно притискивање дискова се користи опруга (12). Променом растојања између гоњеног вратила (11) и међувратила (2) регулише се преносни однос тј. брзина.

2.4 Варијатори са гипким члановима

Најзаступљенији механички варијатори јесу варијатори са гипким члановима. Пренос снаге и кретања код ових варијатора се обавља гипким елементима. За гипке елементе се употребљавају ланци различитих конструкција, каиши и ремени. Гипки елемент код варијатора преноси оптерећење са погонског на гоњени точак уз минималне губитке. Преношење оптерећења код једне групе варијатора са гипким члановима може се поделити на:

- 1) Пренос момента са погонског точка на гипки елемент (ланац, ремен) помоћу трења које се јавља између бочних површина профилисаних гипких елемената и контактне површине погонског точка.
- 2) Затезањем гипког елемента се врши преношење вучне силе на гоњени точак и преношење момента трењем са гипког елемента на гоњени точак.

За разлику од прве групе, друга група варијатора са гипким члановима, пренос момента са погонског точка на гипки елемент (ланац) обавља се трењем и спрезањем гипког елемента са погонским и гоњеним точком.

Према врсти гипког елемента и према конструкционим решењима, варијатори са гипким елементима се могу поделити на:

- Ремени варијаторе
- Ланчане варијаторе
- Ланчане варијаторе са спрезањем

2.4.1 Ремени варијатори

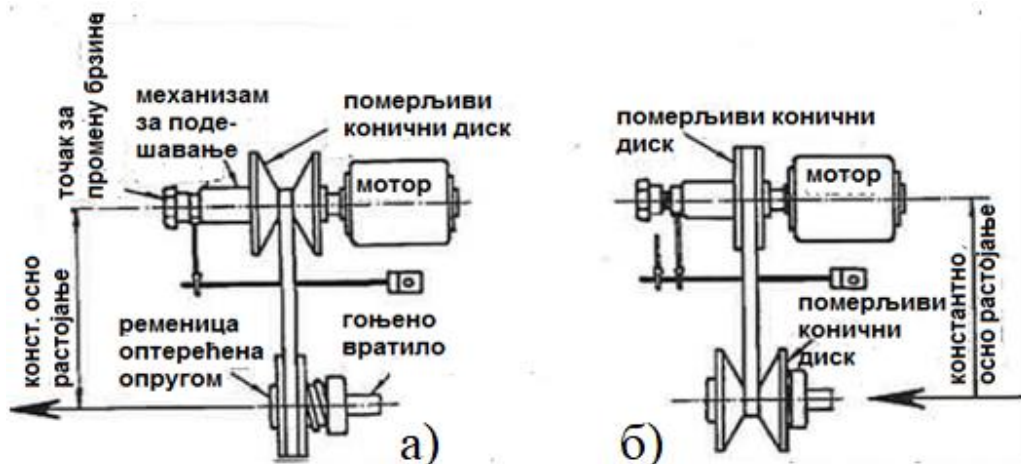
Ремени варијатори у актуелној производњи представљају механичке варијаторе који се најчешће користе. Њихов рад се на основу конструкционог решења заснива на преносу снаге и кретања ременом или каишем. До краја 30-их година и почетка 40-их година прошлог века варијатори са широким ременом су пронашли већу примену, док су се варијатори са класичним каишом и ременом повлачили из употребе. Данас преко 2/3 укупне светске производње чине варијатори са широким ременом. Варијатори са широким ременима се боље показују од класичних ремена и разликују се већом ширином при истој висини, попречна крутост им је боља, повећана гипкост у уздужном правцу, модул еластичности је већи при истезању, мала заостала издужења. Ови варијатори у поређењу са осталим фриксионим варијаторима имају већу поузданост, једноставнији ремонт, једноставнију конструкцију, релативно краћи период уходавања. Хабању су подложни лежајеви и ремен.

Принцип рада ремених варијатора се заснива на преносу снаге и кретања трењем. Пренос силе се обавља преко погонске ременице на ремен. Ремен трењем преноси силу до гоњене ременице. Бочне површине ремена и контактне површине гоњене и погонске ременице остварују контакт током целог рада. Ремени варијатори према континуалној промени преносног односа могу бити:

- Са константним осним растојањем
- Са променљивим осним растојањем

Варијатор са константним осним растојањем има опцију подешавања обе ременице. Погонску ременицу чине два конична диска. Један од тих дискова може вршити аксијално померање помоћу механизма за подешавање који се састоји од завојног пара (навртка и завртањ). Гоњену ременицу такође чине два конична диска. Она је оптерећена опругом која задржава неопходан контакт између ременице и ремена.

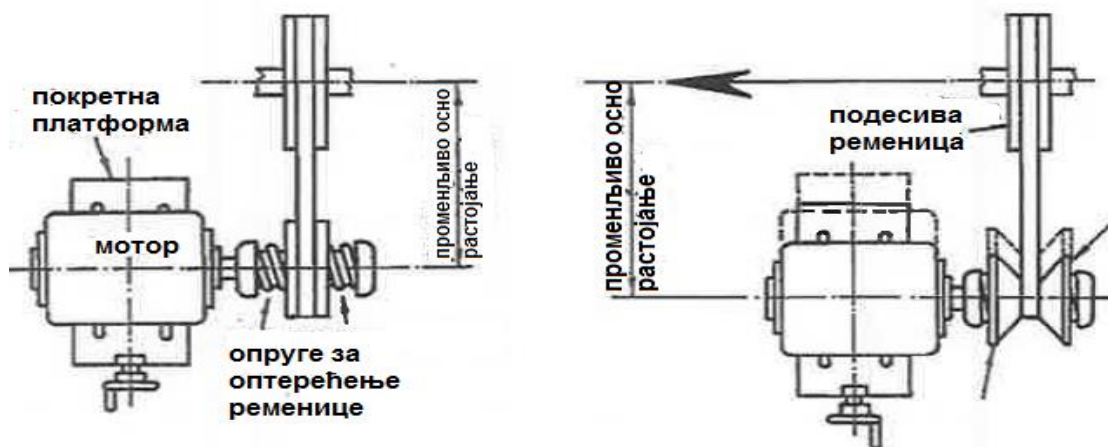
Покретљиви конични диск се помера окретањем точка и деловањем на завојни пар, тј. долази до ширења жљеба погонске ременице. Ремен изводи радијално померање, па на тај начин обухвата радни полупречник који му жљеб омогућава. У исто време по гоњеној ременици, ремен клизи радијално. До континуалне промене преносног односа долази само за време рада преносника, јер је померање ремена и заузимање радног полупречника на гоњеној ременици условљено деловањем центрифугалне силе.



Слика 7 – а) смањивање броја обртаја гоњеног вратила,
б) повећање броја обртаја гоњеног вратила [1]

Полупречник гоњене ременице се повећава до тренутка када ремен заузме одговарајући положај који је условљен ширином жљеба и радним полупречником погонске ременице. Преносни однос се тако повећава тј. смањује број обртаја гоњене ременице (сл. 7а). Инверзно томе (сл. 7б), сужењем радног жљеба погонске ременице долази до повећања радног полупречника и смањења радног полупречника гоњене ременице. Број обртаја гоњене ременице расте, док се преносни однос смањује.

Код варијатора се тежи ка томе да се променом осног растојања измени радни полупречник подесиве ременице, па тако и преносни однос тј. број обртаја гоњене ременице (сл.8). Подесива ременица може бити израђена од пара коничних дискова. Конични дискови могу имати један аксијално померљив диск или оба. На покретној платформи се налази фиксиран електромотор. Део електромотора чини и ременица која је постављена на њему. Друга ременица није подесива, јер је направљена из једног дела и она има константан пречник. Опруга оптерећује подесиву ременицу. Циљ опруге је да створи притисак између ременице и ремена како би се потребно трење задржало. Удаљавање платформе електромотора од гоњене ременице, које се постиже завојним паром, доводи до тога да ремен клизи дуж коничних дискова што смањује радни пречник. Тада се брзина на гоњеној ременици константно смањује. Овим принципом долази до континуалне промене излазног броја обртаја.



Слика 8 – Рад ременог варијатора са променљивим осним растојањем[1]

Од конструкције ремених варијатора доста зависи гранични преносни однос и дијапазон регулисања. Када је погонска ременица померљива:

$$I = \frac{R_1}{r_1} \quad (19)$$

$$i_{max} = \frac{R_2}{r_1} \quad (20)$$

$$i_{min} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{i_{max}}{I} \quad (21)$$

Када је гоњена ременица померљива:

$$I = \frac{R_2}{r_2} \quad (22)$$

$$i_{max} = \frac{R_2}{R_1} \quad (23)$$

$$i_{min} = \frac{r_2}{R_1} = \frac{i_{max}}{I} \quad (24)$$

Када су обе ременице померљиве:

$$I = \frac{R_1 R_2}{r_1 r_2} \quad (25)$$

$$i_{max} = \frac{R_2}{r_1} \quad (26)$$

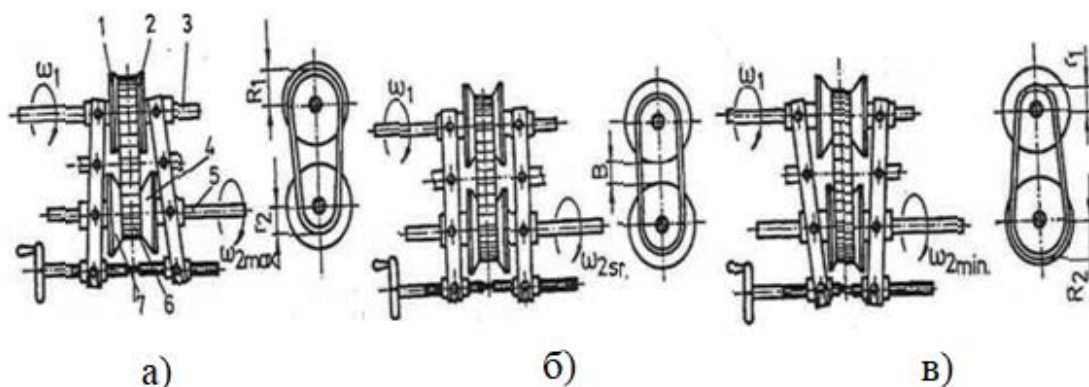
$$i_{min} = \frac{r_2}{R_1} = \frac{i_{max}}{I} \quad (27)$$

R_1 и R_2 - представљају највеће радне полупречнике погонске и гоњене ременице,
 r_1 r_2 – представљају најмање радне полупречнике погонске и гоњене ременице.

Код варијатора са константним осним растојањем, опсег регулисања преносног односа се креће до $I=10$. Опсег регулисања код варијатора са променљивим осним растојањем се креће до $I=n_{max}/n_{min}=3$.

2.4.2 Ланчани варијатор

Код ланчаних варијатора се као елемент трансмисије користи специјални метални ланац. Принцип рада ових варијатора се базира на механизму преноса снаге ремених варијатора. Представљају фриксионе варијаторе, а пренос снаге и кретања се врши силама трења. Ланчани варијатори имају релативно просту конструкцију, дугог су века трајања, поуздани су у раду, дијапазон регулисања је велики и могу радити у условима краткотрајног преоптерећења. Користе се у условима мањих оптерећења (3-5kW). Употребљавају се код непрекидног рада, без честог пуштања и заустављања. Актуелна је производња ланчаних варијатора већих снага, 25-50 kW. Упоредном изменом радних полупречника R_1 и r_2 погонског и гоњеног точка, добија се равномерна промена угаоне брзине ω_2 гоњеног вратила. Пар коничних дискова (1) и (2) чине погонски точак. Пар коничних дискова (4) и (7) чине гоњени точак. Специјални ланац (6) користи се као трансмисиони гипки елемент. Ланац је у константном контакту са дисковима по радним полупречницима R_1 и r_2 . Када се на погонском вратилу (3) дискови (1) и (2) приближавају, долази до аксијалног удаљавања коничних дискова (4) и (7) на гоњеном вратилу (5). На (сл.9) су приказани положаји механизма при максималној брзини гоњеног вратила (сл. 9а), средњој брзини гоњеног вратила (сл. 9б) и минималној брзини гоњеног вратила (сл.9в).



Слика 9– Шема брзине гоњеног вратила код ланчаног варијатора[1]

Дијапазон регулисања представља главни кинематски параметар ланчаних варијатора, па је сагласно ременим варијаторима:

$$I = \frac{\omega_{2max}}{\omega_{2min}} = \frac{n_{2max}}{n_{2min}} = \frac{i_{max}}{i_{min}} = \frac{R_1 R_2}{r_1 r_2} \quad (28)$$

$$i_{max} = \frac{\omega_1}{\omega_{2min}} = \frac{R_2}{r_1} \quad (29)$$

$$i_{min} = \frac{\omega_1}{\omega_{2max}} = \frac{r_2}{R_1} \quad (30)$$

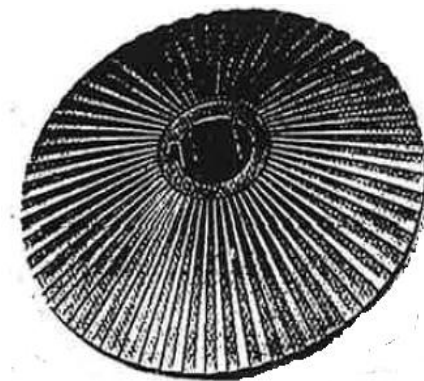
Овде су: R_1 и R_2 максимални радни полупречници погонског и гоњеног точка
 r_1 и r_2 минимални радни полупречници погонског и гоњеног точка

Пренос снаге и кретања се врши трећем, па је код ланчаних варијатора $I_{\max} < 10$. Ланчани варијатори се могу комбиновати са редукторима или са планетарно-диференцијалним преносницима за потребе већих дијапазона регулисања.

2.4.3 Ланчани варијатори са спрезањем

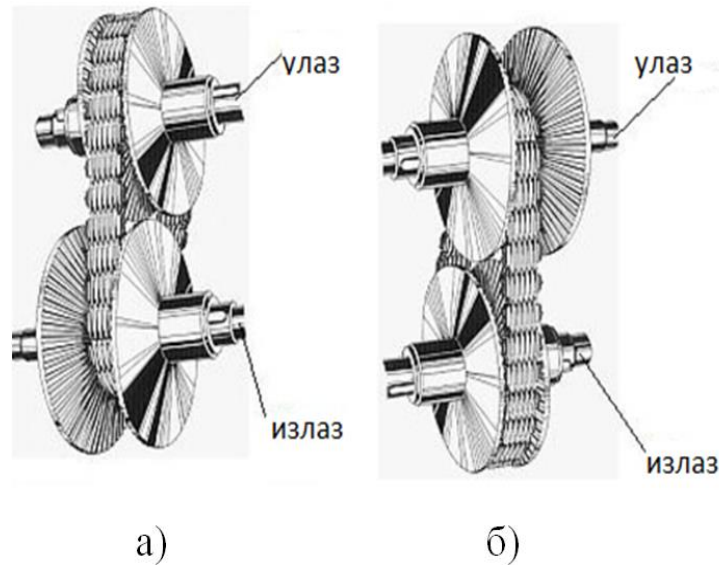
Они представљају групу варијатора која се користи у решавању бројних захтева континуалног преноса снаге и кретања. Ланчане варијаторе са спрезањем одликују добре особине других механичких преносника, пре свега ремених. Пренос снаге и кретања се код ових варијатора добија спрезањем ланца и нажлебљених коничних дискова које је слично зупчастом каишном преносу. Ланчане варијаторе са спрезањем одликује компактност, дуг век трајања и висок степен корисног дејства. Опсег регулисања је до 6, брзина до 25m/s и користе се за снагу до 30kW. Принцип рада им се заснива на истом принципу ремених и ланчаних варијатора. Начин остваривања контакта између ланца и дискова је нешто другачији.

Погонски и гоњени точак се састоје од пара коничних дискова. Дискови су покретни у аксијалном правцу. Дискови се састоје из одређеног броја зуба и међузубља. Радијално су ожљебљени као што је приказано на слици 10. Угао конуса износи 150° . Зуби су уски и близу центра, знатно шири на ободу диска. Висина зуба је 1 до 2 mm, а попречни пресек је трапезастог облика. Дискови су постављени на вратилу на тај начин да зуби једног диска наспрам међузубља другог диска.



Слика 10- Радијално ожљебљен диск[1]

Конструкционо решење варијатора им омогућава аксијално приближавање и удаљавање дискова. Аутоматско удаљавање коничних дискова погонског точка доводи до истовременог приближавања коничних дискова гоњеног точка и обрнуто [1].



Слика 11– Промена преносног односа [1]

Када се дискови погонског точка удаљавају један од другог, ланац клизи дуж жљебова и помера се све ближе дну дискова уколико је растојање дискова веће. У исто време на гоњеном точку ланац клизи ка врху коничних дискова. Када постоји минимално растојање између дискова, ланац ће се налазити на свом врху. Промена излазног броја обртаја представља однос радних полупречника погонског и гоњеног точка. Највећи број обртаја гоњеног вратила (мултипликација) може да се постигне максималним приближавањем дискова погонског точка, тако да је ланац на свом врху (сл. 11а). Тада се јавља максимална удаљеност коничних дискова гоњеном вратилу, а ланац је на дну точка. Редукција, тј. минимални број обртаја гоњеног вратила се добија обрнутим процесом (сл. 11б). Кинематски параметри ланчаних варијатора са спрезањем су аналогни параметрима ланчаних варијатора, па је у граничним положајима и за симетрично регулисање угаоних брзина [1]:

$$i_{max} = \sqrt{I} \quad (31)$$

$$i_{min} = \frac{1}{\sqrt{I}} \quad (32)$$

Следећа релација важи и за варијаторе са симетричним регулисањем брзина:

$$R_{max} : R_{min} = \sqrt{I} \quad (33)$$

односно:

$$R_{max} = R_{min} \cdot \sqrt{I} \quad (34)$$

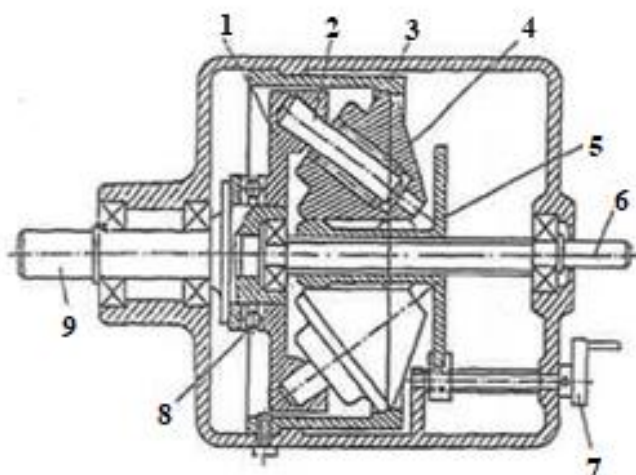
$$R_{min} = \frac{R_{max}}{\sqrt{I}} \quad (35)$$

где су: R_{max} и R_{min} – максимални и минимални полупречници дискова на којима се остварује контакт ланцем [1].

2.5 Планетарни варијатори

Да би се повећала снага преносника и да би се повећао опсег регулисања, потребно је повећати број варијантних решења, а то се постиже комбиновањем, спајањем и повезивањем основних решења преносника. Повезивања се деле на редна и паралелна. Користи се и принцип планетарног повезивања елемената. Главна карактеристика планетарних варијатора је већи опсег регулисања и компактност преносника. Одликују се различитим решењима конструкцијских извођења.

Планетарни варијатор (слика 12) код кога се промена преносног односа остварује променом прорачунског пречника поседује погонско вратило (6) које је постављено на централни точак (5). Централни точак поседује сферичну спољашњу радну површину и може се померати дуж жљебова вратила (6). У контакту са точком налазе се конични точићи-сателити (4). Они су постављени на носачу (1). Другим коничним делом површине точићи-сателити долазе у контакт са коничном површином другог централног точка (3). Други централни точак је непокретан у кућишту. Сателити се котрљају по непокретном точку (3) када се точак (5) доведе у стање обртања. На тај начин се доводи у кретање и гоњено вратило (9). Кугличним механизмом аутоматског притискивања (8) се стварају потребне силе притиска сателита на точкове. Пошто је површина жљебова између којих су смештене куглице подесива, при обртању површина које припадају носачу сателита и гоњеном вратилу, јавиће се силе које расту са повећањем отпора обртања гоњеног вратила. Изменом пречника котрљања сателита током померања централног точка (5) дуж вратила (6), уз помоћ навојног механизма (7), постиже се промена величине преносног односа. Главна мана ове конструкције варијатора је ограничена носивост. Она је условљена додиром у тачки две испупчене површине малих полупречника точка (5) и сателита (4). Пренос већег оптерећења помоћу фрикционог пара 4-3 не може бити испуњен због конвексно-конкавног контакта [1].



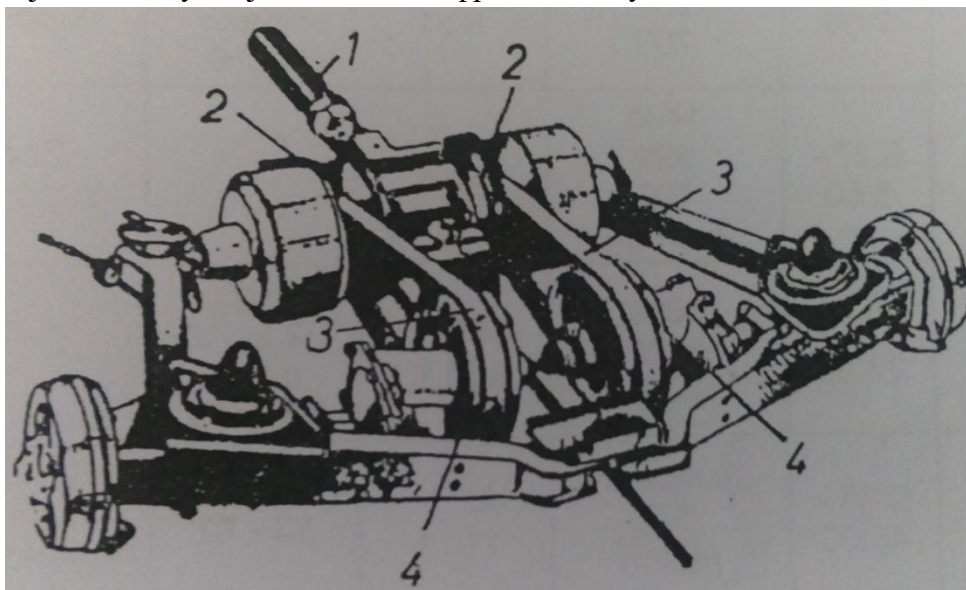
Слика 12– Планетарни варијатор[1]

3. Варијатори брзина - примена у аутомобилској индустрији

У земљама које представљају индустријске силе, нарочито у Сједињеним Америчким Државама, дуги низ година се обављају истраживања и експерименти континуално регулисаних механичких преносника у возилима. Возила са континуално регулисаним механичким преносницима имају већи степен корисног дејства у односу на често примењиване хидротрансформаторе. Аутомобили у целом опсегу броја обртаја имају потребу за константном снагом. Коришћење једног мотора са унутрашњим сагоревањем обезбеђује максималну снагу само у ограниченој области броја обртаја, па као такав не може да обезбеди ове захтеве. Употреба ових преносника врши искоришћење мотора у оптималном опсегу броја обртаја и даје могућност рационалније и економичне потрошње горива. У данашњој аутомобилској производњи употребљавају се ремени варијатори тј. варијатори са гипким члановима [1].

3.1 “DAF” – аутоматски мењач

Холандска фирма DAF је развила овај преносник 1958. године. Имају релативно широку примену. У последње време њихову конструкцију користи шведска фирма Volvo на једном типу својих возила као фрикциони аутоматски мењач.



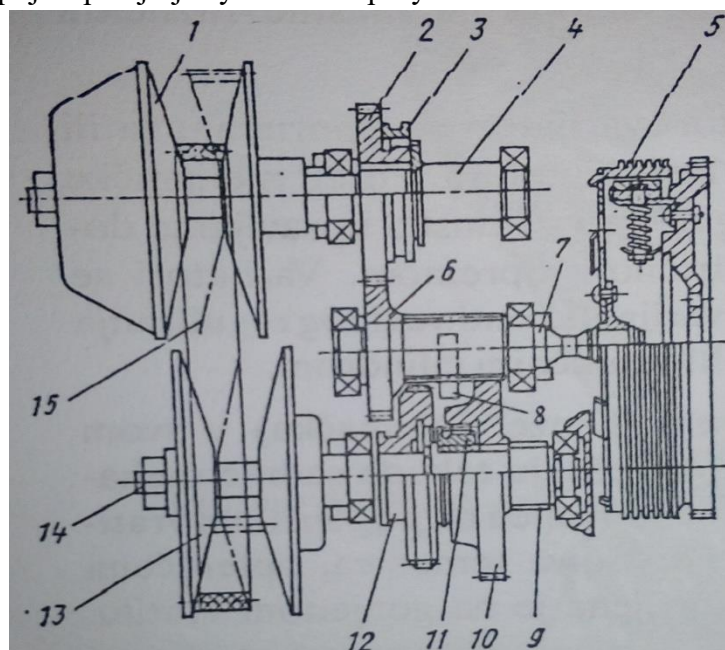
Слика 13 – Аутоматски мењач “DAF” [1]

Уз помоћ улазног вратила (1) и главног преносника, снага мотора се преноси на две погонске ременице (2) и одводи ременима на гоњене ременице (4). Два бочна редуктора и погонска полувратила врше пренос снаге са гоњене ременице на точкове возила. Погонске ременице су израђене од пара коничних дискова. Један од дискова се помера аксијално, као код класичних варијатора. Гоњене ременице су такође израђене од пара коничних дискова. Неопходан контакт између ремена и ременице је

омогућен опругом. Промењеним положајем ремена на погонској и гоњеној ременици тј. изменом радних полупречника долази до континуалне промене преносног односа. При померању коничних дискова помажу и центрифугалне силе. Аксијално померање коничних дискова погонске ременице се обавља аутоматски, променом броја обртаја мотора тј. променом количине уведеног горива у радни простор мотора. Довођењем педале за гас у други положај долази до реализације ове операције [1].

3.2 ЗАЗ-1102

Напретком на пољу континуалне аутоматске трансмисије аутомобила у СССР-у је ушао у производњу аутоматски мењач за аутомобиле ЗАЗ-1102. У његовој основи лежи ремени варијатор који је аутоматски регулисан.



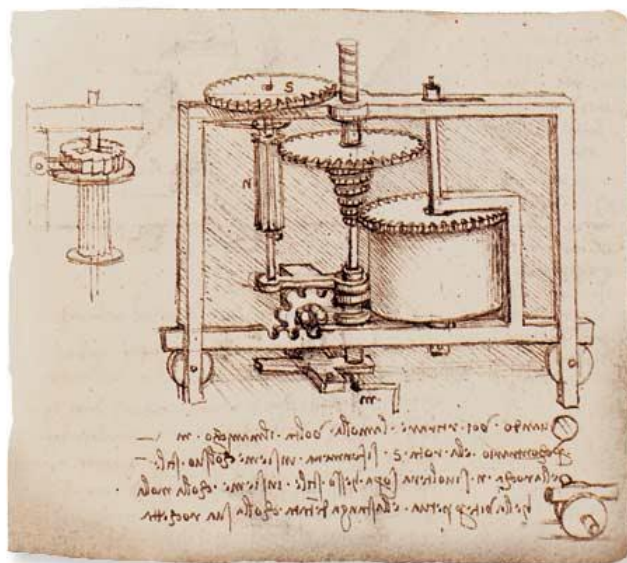
Слика 14 – Аутоматски мењач "ЗАЗ-1102"[1]

Пар коничних дискова у које је уграђен центрифугални регулатор чине погонску ременицу (1), која је постављена на вратилу (4). На вратилу је постављен и зупчаник (2) са укључном спојницом (3). Преко укључне спојнице долази до спајања зупчаника (2) и вратила (4). Добош (5), који представља гоњени елемент коленастог вратила мотора је постављен на ожљебљеном погонском вратилу-зупчанику (7) где је зупчаник (6) константно спрегнут са зупчаником (2). Гоњена ременица коју сачињавају пар коничних дискова (13) и уређај за притискивање постављена је на гоњеном вратилу (14), урађена из једног дела са погонским зупчаником главног преносника (9). Зупчаник (12) који је постављен на гоњеном вратилу (14) је изведен са укључном спојницом и има могућност аксијалног померања по жљебовима вратила. На вратилу (14) је постављен механизам слободног хода (11) који је инсталиран у главчини гоњеног зупчаника (10). Овај преносник чини и међузупчаник хода у назад (8) који има могућност аксијалног померања.

Међузупчаник је спрегнут са вратило-зупчаником (7). Ременом (15) су везане погонска и гоњена ременица. Када је мотор у режиму "празног хода" вратила се не могу покретати, а спрезања су размакнута. Варијатор није оптерећен у тренутку покретања возила као и при кретању са константним максималним преносним односом. Са вратила (7) снага мотора се преноси преко зупчаника (10) и спојнице слободног хода на гоњено вратило (14). У тренутку смањења преносног односа и измени од максималног до минималног, снага мотора се преноси преко зупчаника (2), међувратила (4), погонске ременице и ремена на гоњену ременицу (13) и гоњено вратило (14). Таквим процесом се током интервала са највећим оптерећењем (највећи преносни однос), скраћује време рада ремена. Преносни однос овог преносника је висок (7.141), док поједина испитивања приказују да је степен корисног дејства не мањи од 90% [1].

4. Continuously Variable Transmission (CVT) – Континуална варијабилна трансмисија

И поред тога што континуална варијабилна трансмисија представља иновацију у аутомобилској индустрији, сама идеја се јавила још у 15. веку. Леонардо да Винчи је 1490. године направио скицу за коју многи верују да представља континуалну варијабилну трансмисију. Један од првих модела CVT-а је произведен четири века након тога. Међутим, различити проблеми као што су цена и прилагодљивост ограничили су њихову примену и зауставили њихово ширење [2].



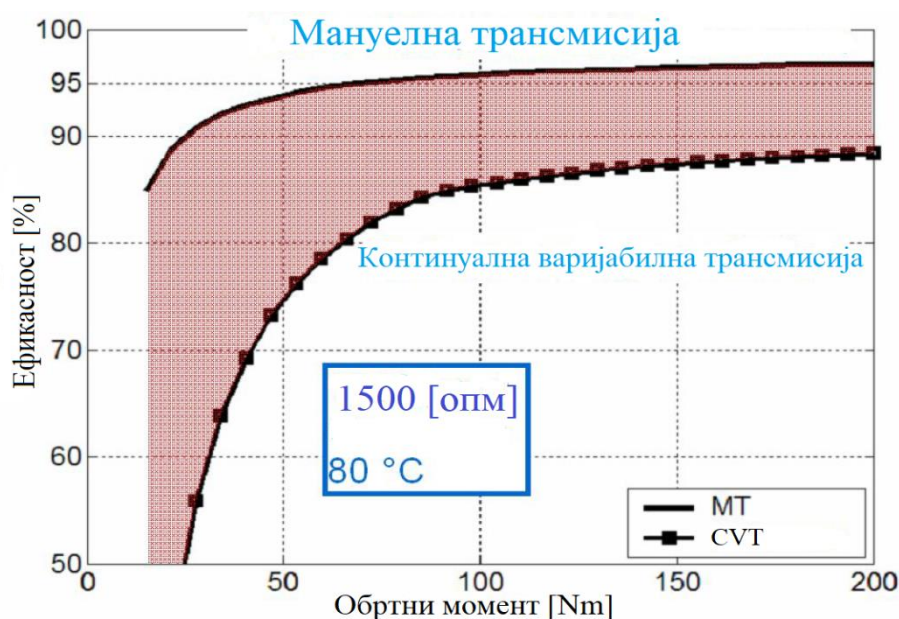
Слика 15– Да Винчијева скица CVT-а [3]

Први патенти континуалне варијабилне трансмисије су представљени од стране Даимлера и Бенца 1886. године. Најпознатији CVT је произведен у компанији Van Doorne. Браћа Van Doorne су основала компанију 1928. године, али је тек педесетих година прошлог века уведен у примену код DAF аутомобила. Срж њиховог аутомобила представљао је CVT, који су назвали Вариоматик (Variomatic). Сваки DAF аутомобил их је користио. Први произведени Вариоматик је користио каишеве од гумених материјала, који нису показивали довољну издржљивост. Због тога је њихова примена била ограничена само на аутомобиле испод 100 коњских снага. То је довело до развоја металних каишева који су могли да истрају у знатно јачим моторима. Хонда је касних деведесетих година представила унапређен облик CVT-а који је одговарао и јачим моторима тј. CVT је инсталиран у серији Хонде Сивик (Honda Civic) из 1996. године [2].

Амерички произвођач Форд је 2005. године представио тип CVT-а са ланчаним варијатором, који је коришћен код аутомобила већих снага (Ford Taurus, Ford 500, Ford-Freestyle). Компанија Нисан је 2006. године дизајнирала CVT који је одговарао њиховим моторима од 3.5 литара V6 и који се најчешће може пронаћи на Нисан Алтими (Nissan Altima). CVT се користи код возила компанија Audi, Dodge, Fiat,

Mitsubishi, Mini-Cooper, Saturn, Honda, Ford, GM, Nissan и код осталих аутомобилских компанија [2].

Континуална варијабилна трансмисија се све више примењује у аутомобилској индустрији. Има предност у односу на конвенционалне аутоматске мењаче због великог преносног односа и одсуства проблема удобности. Ово омогућава мотору економичније функционисање. Због тога су аутомобили са инсталираним CVT-ом економичнији од аутомобила са аутоматском трансмисијом који су опремљени са планетарним зупчаницима. Упркос овим предностима, CVT који користи V-тип каиша има велики потенцијал у напретку ефикасности трансмисије као што се може видети на дијаграму који је приказан на слици 16 [4].

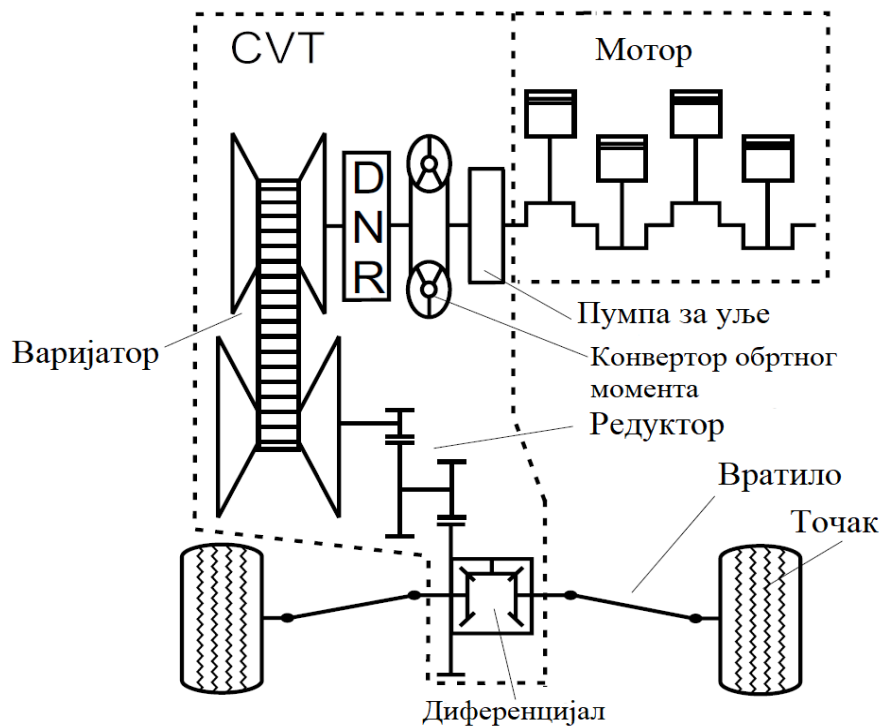


Слика 16– Потенцијал у напретку континуалне варијабилне трансмисије у односу на мануелну трансмисију [4]

4.1 Компоненте CVT-а

CVT се састоји од неколико компоненти, а то су: систем активације, уређај за покретање, варијатор, редуктор и DNR.

Уређај за покретање-Континуалној варијабилној трансмисији су потребни одвојени уређаји за покретање. У ову сврху се углавном користи конвертор обртног момента. Након покретања возила, конвертор обртног момента се закључава укључивањем квачила за закључавање. Тек након тога долази до остваривања везе између мотора и остатка трансмисије [4].



Слика 17 – Компоненте возила са континуалном варијабилном трансмисијом [4]

4.1.1 DNR склоп

CVT садржи DNR (Drive-Neutral-Reverse) склоп који омогућава возачу да мотор пребаци у неутрално стање или да изабере кретање напред или уназад. DNR склоп се састоји од система планетарних зупчаника и од дуплог тањир квачила.

4.1.2 Редуктор CVT-а

Секундарно вратило варијатора је повезано са диференцијалним зупчаницима преко одређеног броја зупчаника. Диференцијални зупчаници преносе обртни момент на два вратила. Заједно, зупчаници на секундарном вратилу варијатора, средње вратило и диференцијални зупчаници чине редуктор CVT-а (FDR) или (Final Drive Reduction) [4].

4.1.3 Систем активације

Ранији CVT су користили механичке системе за контролу сила стезања и преносног односа. Ефикасност и осећај током вожње су били веома слаби. Да би се остварило боље управљање, хидраулични системи су подвргнути даљем развоју. Предност представљају снаге и контрола брзине која је независна од брзине вратила.

У садашњим CVT системима сила стезања се преноси преко хидрауличног система за активирање. CVT са електо-хидрауличним активирањем је развијен за потребе хибридних возила. У њиховом случају електромотор погони пумпу за уље хидрауличног система. Ово је неопходно код хибридних возила, јер се мотор са унутрашњим сагоревањем повремено искључује па се он не може користити за непрекидно покретање пумпе за уље [4].

4.2 Класификација каишева

Каишеви за CVT се производе у неколико различитих форми, а најчешће се користе:

- Ремен (каиш чији је материјал гума)
- Ланци
- Pushbelt

4.2.1 Ремен

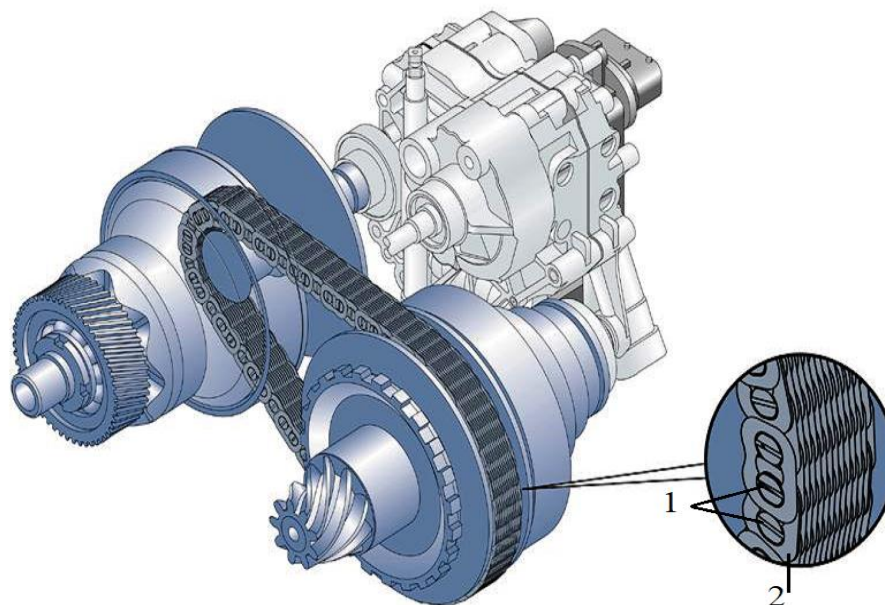
Први каишеви који су се употребљавали код CVT-а су били V-типови каишева, чији је материјал био гума. Овај каиш се још увек употребљава и тежи се ка његовом даљем развоју. Гумени V-типови каишева код CVT-а не одговарају примени у аутомобилској индустрији, због њихове ограничене способности за пренос обртног момента. Ипак, овај тип каиша привлачи пажњу због знатно вишег коефицијента трења који се остварује између каиша и ременице него у варијанти подмазивања. Овај облик каиша CVT-а одликује мања маса, мања димензија и знатно мања сила стезања. Ове карактеристике су погодне за употребу код возила мањих снага, као што су мањи аутомобили или лакши мотоцикли. Главни проблем који се јавља код неподмазаних контаката каиша и ременице је тај што нема хлађења контакта мазивом. Тај проблем знатно ограничава пренос обртног момента код CVT-а употребом овог каиша. V-тип ремена је приказан на слици 18 [4].



Слика 18 – Ремен CVT-а произвођача Aichikikai [4]

4.2.2 Ланци

Ланци CVT-а се састоје од одређеног броја чиода (1) и плочица (2) (сегмената). Чиоде се углавном користе како би побољшале контакт између ланца и ременице. Већина ланаца CVT-а има ваљкасте контакте између чиода и статичке контакте између чиода и плочица. У ланцима се јавља веома мало унутрашње трење због њиховог унутрашњег ваљкастог контакта. У поређењу са класичним ременима, ланци имају генерално већи степен ефикасности, нарочито при ниским улазним обртним моментима. На слици 19 се налази ланац, на коме су означене чиоде и плочице. Тај ланац се састоји од две чиоде по једној плочици. Чиоде ланца су постављене у групи, два по два. Ово омогућава ланцу да пренесе силу затезања преко ваљкастих и статичких контаката, а да се при томе не јавља проклизавање. Међутим, чиоде морају да врше ротацију по одговарајућем редоследу како би се променила конфигурација ланца. За ланце је типична карактеристика да узрокују знатно већу буку током рада од pushbelt ланаца. Узрок тога је што релативно мали број чиода непрекидно улази у ременицу током рада. Компанија Luk је превазишла овај проблем променом дужине плочица [4].

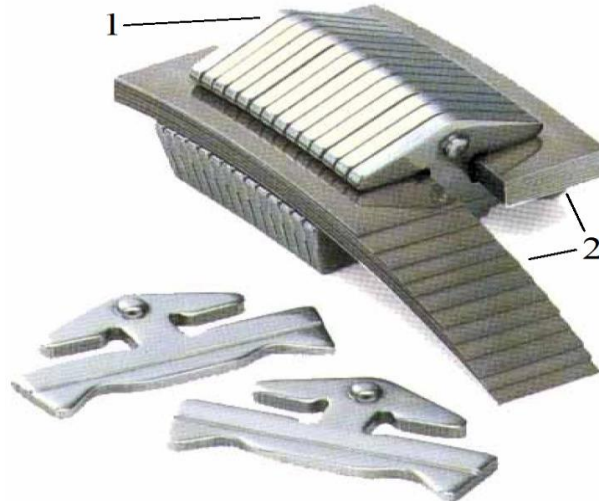


Слика 19 – Ланац CVT-а [5]

4.2.3 Pushbelt ланци

Ван Дорнов pushbelt ланац се састоји од блокова (1) и челичне (2) траке као што је приказано на слици 20. Конструкција pushbelt ланца се састоји у нормалним околностима од две траке са по 9-12 блокова. Циљ траке је да добро уклопи блокове и да их држи стегнуте. Способност савијања трака је веома мала и може се занемарити, тако да је само сила затезања присутна у њима. Блокови могу да пренесу обртни момент само док су под дејством компресије. Уколико је компресија већа од силе затезања у траци контакт између pushbelt ланца и диска ће се изгубити и јавиће

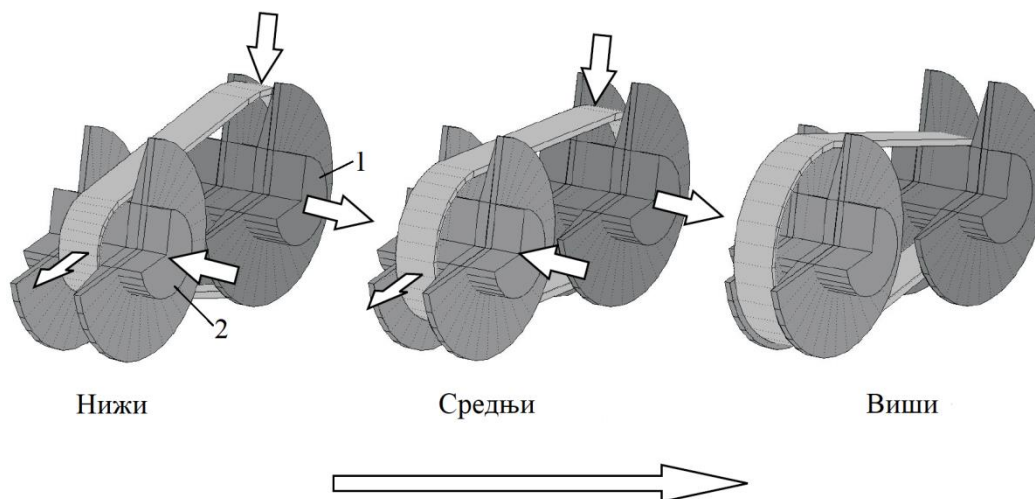
се савијање. Осим губитака која се јављају у лежиштима вратила због клизања, постоје и губици трења у pushbelt ланцу. Трака и блокови немају исти радни радијус, што може да изазове разлику у брзини траке и блока. Овај појава резултира губицима услед трења, што смањује ефикасност pushbelt ланаца. Због непрекидног савијања и ширења траке, јавља се проблем замора. Pushbelt ланац садржи већи број блокова него што CVT ланац има чиода, па ја крајњи резултати мања бука током рада.



Слика 20 – metal pushing V-belt [4]

4.3 Варијатор

Варијатор CVT-а је уређај који користи трење како би пренео снагу са погонске ременице на ремен, а са ремена на гоњену ременицу. Варијатори се састоје од сегментираног челичног V-каиша и два вратила који на себи носе коничне дискове. Они заједно чине срж једног CVT система. Каиш је стегнуто постављен између два пара коничних дискова. У варијатору је трансмисиони однос одређен истовременим подешавањем радног полупречника каиша на дисковима. На сваком од вратила налази се по један фиксиран диск и један диск који врши аксијално померање. Аксијално померање помичног диска подешава размак између дискова и тиме радни радијус. На слици 21 је приказан принцип рада варијатора тј. процес померања од ниског ка високом преносном односу, где су означени улазно врило (1) и излазно врило (2) [4].

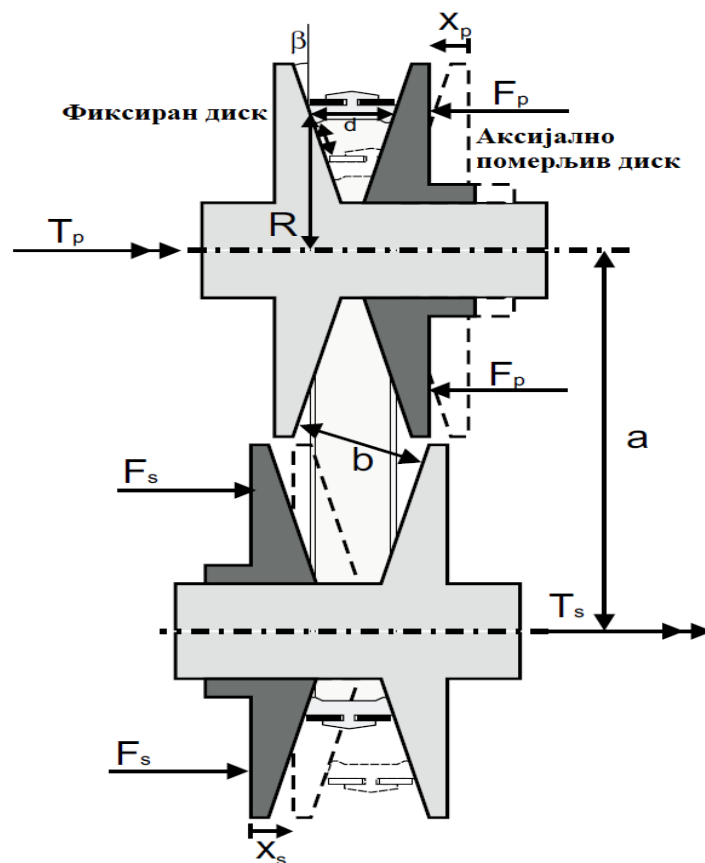


Слика 21– Принцип рада варијатора са V-каишем. Илустровани приказ промене положаја каиша од ниског ка високом преносном односу [4]

Међусобно дејство између дискова и каишева одређују силе које делују на дискове и каишеве. Ове силе могу да изазову различите деформације елемената као што су савијање котурова (дискова), савијање вратила као и издужење каиша. Деформације добијене на дисковима и каишевима услед дејства ових сила утичу на ефикасност варијатора и пренос снаге варијатора. При конструисању и дизајнирању, силе стезања које су неопходне за пренос обртног момента, промену преносног односа као и веза између силе стезања и ефикасности представљају важан параметар. Због трења које се јавља у току рада и због различитих крутих чланова који су укључени у процес, механизам преноса снаге варијатора представља комплексан математички проблем [4].

4.4 Геометрија варијатора

Варијатори са V-ременом се појављују неколико различитих форми. Разликују се најчешће по облику или по материјалу од којих је ремен или ланац израђен или се разликују по облику дискова. Диск (котур) који се налази на погонском вратилу се може називати и примарним диском, док се диск који се налази на гоњеном вратилу може називати и секундарним диском. Сваки пар дискова се састоји од фиксiranог и покретног дела. Примарни и секундарни аксијално померљиви дискови се налазе на раличитим странама каиша, као што је приказано на слици 22 [4].



Слика 22– Дејство сила на ременице [4]

Померање примарног диска x_p не заузима крајње наспраман положај у односу на секундарни диск x_s . Геометријски односи ремена су дати једначином:

$$L = R_p(\pi + 2\varphi) + R_s(\pi - 2\varphi) + 2a \cos \varphi \quad (36)$$

Где је:

L - дужина ремена

R_p – радни радијус примарног диска

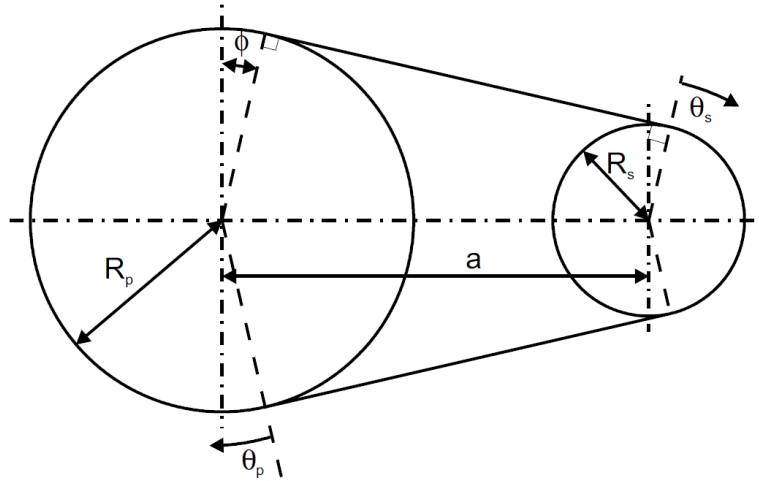
R_s – радни радијус секундарног диска

φ – угао који оса вратила формира са равним делом ремена који улази у котур

a - растојање између осе погонског вратила и осе гоњеног вратила (слика 22)

Угао φ се може израчунати и као:

$$R_p - R_s = a \sin \varphi \quad (37)$$



Слика 23 – Геометријска конфигурација ремена [4]

Позиција примарног и секундарног диска се може одредити помоћу једначине:

$$x_p = 2(R_p - R_{mp}) \tan \beta \quad (38)$$

$$x_s = 2(R_s - R_{ms}) \tan \beta \quad (39)$$

У овим једначинама R_{mp} и R_{ms} представљају минимални радни полупречник примарне и секундарне осе. Разлика у померању примарног и секундарног покретног диска, $x_p - x_s$, изазива да ремен буде незнатно неусклађен на обе ременице [4].

Силе које делују на диск ременице су приказане на слици 24. Да би се пронашла одговарајућа величина силе стезања за неопходну равнотежу, силе које делују на ременицу у хоризонталном правцу морају бити интегрисане уз закривљен угао каиша на ременици, па је:

$$F_c(\theta) = \int_0^\theta (q_N \cos \beta + q_w \sin \gamma \sin \beta) d\theta \quad (40)$$

Да би се пронашао обртни момент који је пренесен ременом, силе трења које делују у тангенцијалном правцу морају бити интегрисане уз закривљен угао каиша на ременици, па је:

$$T_p = \int_0^{\theta_p} (q_w \cos \gamma) R_p d\theta_p \quad (41)$$

$$T_s = \int_0^{\theta_s} (q_w \cos \gamma) R_s d\theta_s \quad (42)$$

У овим једначинама T_p и T_s представљају обртне моменте на примарној и на секундарној страни. Брзина промене односа силе стезања има велики утицај на стабилност и контролу преносног односа система.

Однос сила стезања због које се варијатор неће померати ($\dot{r} = 0$), је дефинисан као:

$$\Psi = \left. \frac{F_p}{F_s} \right|_{\dot{r}=0} \quad (43)$$

F_p и F_s представљају примарну и секундарну силу стезања,

F – сила у лежајевима,

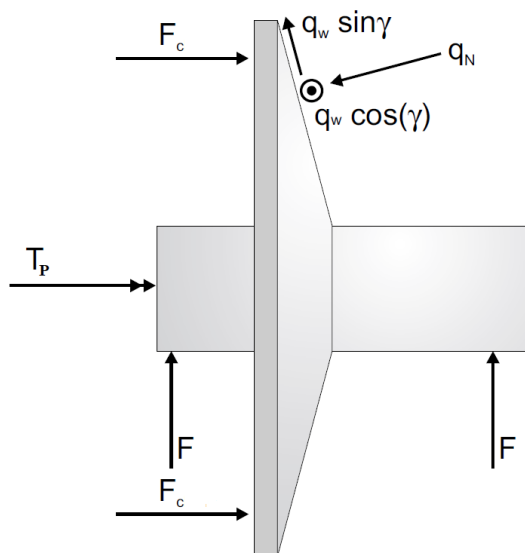
q_n – нормална сила која делује на каиш,

q_w – сила трења која делује,

S – сила затезања каиша,

γ – угао који правац силе трења заклапа са радијалним правцем

β – угао жљеба на ременици



Слика 24– Дејство сила на диск ременице [4]

Обртни момент који се преноси са погонске ременице се може израчунати ако користимо силу затезања у деловима каиша између ременица ($S_1 - S_2$) и радни полупречник погонске ременице (R_p).

$$T_p = (S_1 - S_2)R_p \quad (44)$$

а када се примени модел Кулоновог трења и Кулонов коефицијент трења, онда ова једначина има облик:

$$T_p = S_0(e^{\frac{\mu\alpha}{\sin\beta}} - 1)R_p \quad (45)$$

Када је на једној од ременица активан угао једнак закривљеном углу ремена на ременици, постиже се максимални обртни момент који се може пренети. Укупан обртни момент који се може пренети зависи од силе стезања, радног полупречника и од модела Кулоновог трења. Максимални пренет момент се може изразити као:

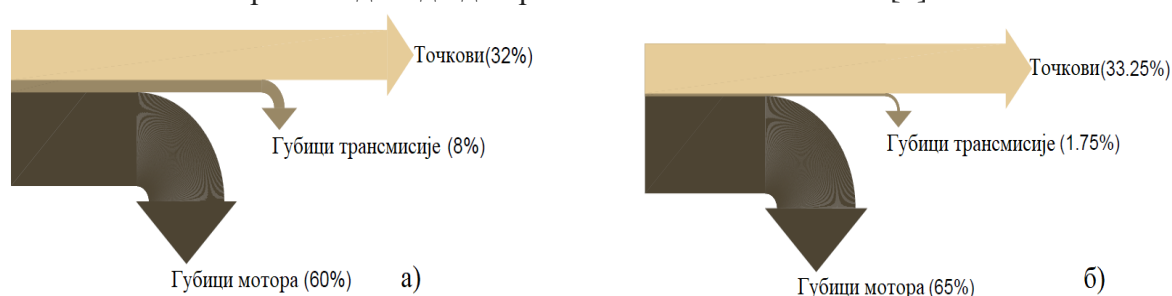
$$T_{max} = S_0(e^{\frac{\mu(\pi-2\phi)}{\cos\beta}} - 1)R_p \quad (46)$$

Однос између обртног момента на погонском делу и максималног обртног момента који може бити пренет уз задату одређену силу стезања назива се однос обртног момента и означава се са τ . Његова вредност се може израчунати [4]:

$$\tau = \frac{T_p}{T_{max}} \quad (47)$$

5. Ефикасност током вожње

Слика (25а) показује проток енергије кроз погон CVT. Крајњи резултат ефикасности погона CVT-а је сличан ефикасности погона мануелне трансмисије. Проток енергије код погона са мануелном трансмисијом је приказан на слици 25б. Губици континуалне варијабилне трансмисије су већи од мануелне трансмисије, али су губици мотора са континуалном варијабилном трансмисијом мањи од губитака мотора са мануелном трансмисијом. Претпоставља се да је просечна ефикасност трансмисије око 80% у погону CVT-а. Највеће губитке CVT-а стварају варијатор и хидраулика. У актуелној производњи главни разлог ниске ефикасности континуалне варијабилне трансмисије је велика сила стезања која је неопходна за пренос обртног момента мотора. У модерној производњи CVT-а сила стезања је знатно виша од потребне (30% или више) да би се смањио ризик од сталног спадања ремена. Веће силе стезања резултују већим губицима у хидрауличном и механичком систему. Такође, повећавају се и губици пумпе, губици услед трења због повећане оптерећености на компоненте варијатора. Вишак силе стезања смањује и издржљивост каиша, јер је вучна сила овог елемента већа од неопходне за пренос снаге. Вишак оптерећења доводи до примене тежих компоненти [4].



Слика 25 - Проток енергије у различитим погонима
а) проток енергије у CVT погону
б) проток енергије у погону мануелне трансмисије [4]

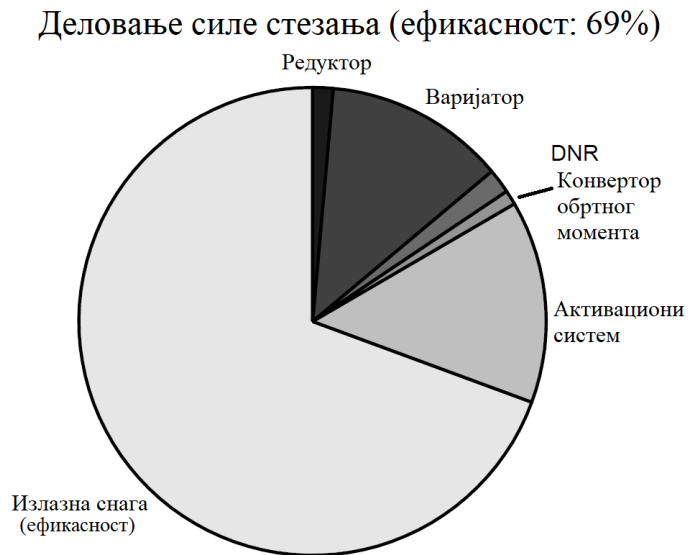
5.1 Ефикасност CVT-а

Побољшање ефикасности CVT-а представља кључни фактор за повећан степен ефикасности потрошње горива возила са континуалном варијабилном трансмисијом. Фактори који утичу на ефикасност CVT-а су:

- Ефикасност механичког система
- Губици активационог система

На слици 26 је приказано искоришћење снаге мотора класичне континуалне варијабилне трансмисије током вожње при константној умереној брзини. Може се видети да активациони систем троши велики део енергије и да варијатор нема жељену ефикасност. Ако се силе стезања смање до најниже могуће вредности,

ефикасност континуалне варијабилне трансмисије се повећава, што се може видети на слици 27. Не само да је ефикасност варијатора побољшана, већ је и енергија потребна за активациони систем смањена. Ипак, активациони систем захтева значајну количину енергије. У случају да се ефикасност активационог система још више повећа, потребна енергија за његов рад ће се значајно смањити. На слици 28 се налази графикон на којем је приказан пораст ефикасности са 69% на 87%, у случају високе ефикасности активационог система [4].



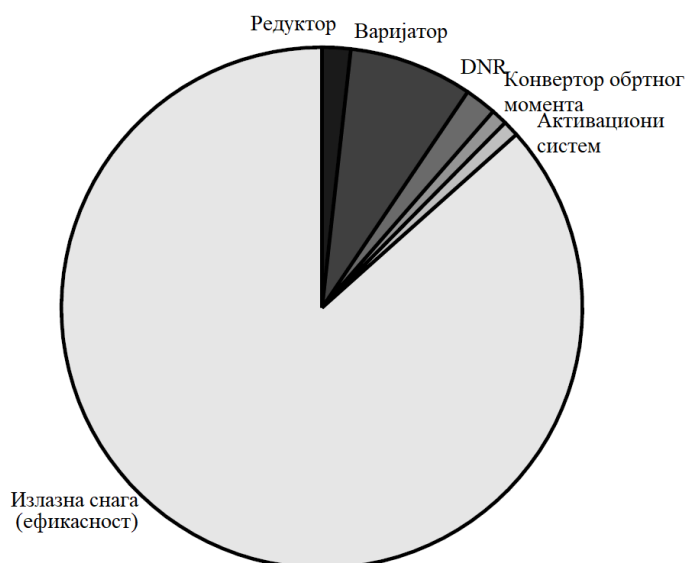
Слика 26 – Проток снаге мотора у класичном CVT-у [4]

где је: DNR- (Drive-Neutral-Reverse) склоп



Слика 27 – Проток снаге мотора у CVT-у са оптималном силом стезања [4]

Оптимални систем активације (ефикасност:87%)



Слика 28 – Проток снаге мотора у CVT-у са оптималном силом стезања и активационим системом са високом ефикасношћу [4]

Механички систем континуалне варијабилне трансмисије се састоји од вратила, зупчаника, варијатора и уређаја за покретање, углавном конвертера обртног момента. Механичка ефикасност зависи од дизајна и конструкције ових компоненти, али и од силе стезања и преноса обртног момента. Откључани конвертори обртног момента имају ограничену ефикасност при преносу снаге. Да би се овај проблем превазишао, додаје се квачило за закључавање. Управљачки систем погона (DMS-Driveline Management System) се користи за укључивање квачила за закључавање одмах након покретања возила. Квачило за закључавање као и квачило DNR склопа су обично типови тањирастог квачила. Код овог типа квачила се јављају мала проклизавања при преносу обртног момента. И поред тога што су проклизавања веома мала, она изазивају смањену ефикасност континуалне варијабилне трансмисије. Лежајеви погонског и гоњеног вратила су јако оптерећени у радијалном правцу. Оптерећење је изазвано затезањем каиша, што заузврат зависи од силе стезања. Резултат оптерећења доводи до губитака изазвано трењем које се јавља у лежајевима. Пренос обртног момента варијатора се заснива на трењу, па се код њих као и код квачила јавља проклизавање. Губици снаге варијатора зависе линеарно од силе стезања. Зупчаници који повезују гоњено вратило са диференцијалним мењачем, као и сами диференцијални мењачи имају знатне губитке при преносу снаге. Све трансмисије употребљавају диференцијалне мењаче, тако да ови губици не представљају проблем уколико се континуална варијабилна трансмисија упореди са другим типовима трансмисије [4].

Потребна енергија за функционисање активационог система континуалне варијабилне трансмисије се добија из погона. Енергија неопходна за покретање активационог система смањује ефикасност континуалне варијабилне трансмисије.

Постоји неколико принципа активације: хидраулична активација, електро-хидраулична активација и електро-механичка активација. У актуелној производњи континуална варијабилна трансмисија ради помоћу хидрауличне снаге, која је генерисана пумпом за уље. Пумпа за уље је директно повезана са улазним вратилом. У нормалним околностима пумпа има константан проток. Проток пумпе мора да испуни одговарајуће спецификације у свим ситуацијама вожње, посебно у празном ходу мотора. Веће брзине мотора стварају знатно већи проток у пумпи CVT-а, чиме се повећавају губици активационог система континуалне варијабилне трансмисије. Боље решење је примена пумпи са двоструким протоком. Друга могућност је коришћење електро-хидрауличних активационих система. Електро-хидраулични активациони систем генерише неопходан проток за рад CVT-а, али тај систем захтева додатни електромотор. Разматра се и коришћење електро-механичких система чиме би се потпуно елиминисала употреба хидрауличних система. Применом електро-механичког система се елиминише и вишак протока уља као и цурења хидрауличних цилиндара [4].

Губици варијатора и активационог систем се могу приписати различитим компонентама. Хидрауличном активационом систему је неопходна пумпа за генерисање енергије. Осталим облицима активационих система је неопходна помоћна енергија за рад. Ова енергија није неопходна за рад аутомобила па се она дефинише као губитак. Остали губици се јављају у лежајевима варијатора, због оптерећења услед дејства сила стезања, па се могу сматрати као губици обртног момента. Такође, варијатор доприноси губитку снаге. Унутрашње трење каиша или ланца доводи до смањења ефикасности.

Проток снаге од примарне до секундарне ременице тј. ефикасност варијатора се може изразити као [4]:

$$\eta = \frac{P_{ul}}{P_{Iz}} = \frac{T_s \omega_s}{T_p \omega_p} \quad (48)$$

Ако је са T_{uk} означен укупан губитак обртног момента, а са ω_{uk} је означен губитак брзине варијатора, онда користећи губитке обртног момента и брзине, излазни обртни момент и излазну брзину добијамо:

$$T_s = \frac{T_p}{r_g} - T_{uk} \quad (49)$$

$$\omega_s = \omega_p r_g - \omega_{uk} \quad (50)$$

па је ефикасност трансмисије:

$$\eta = \left(1 - \frac{r_g T_{uk}}{T_p}\right) (1 - \nu) \quad (51)$$

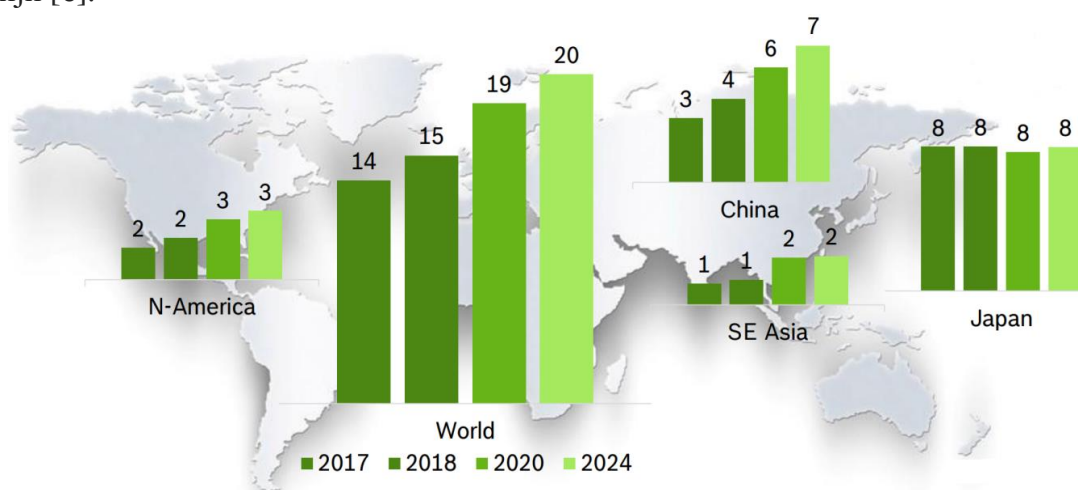
Губици обртног момента се могу добити помоћу једначине:

$$T_{uk} = \left[1 - \frac{\eta}{1 - \nu}\right] T_p \quad (52)$$

6. Примена континуалне варијабилне трансмисије у будућности

Аутоматска трансмисија је све више присутна у моторним возилим, док купци у исто време теже ка возилима са економичнијом потрошњом и већим комфором. До 2020. године је предвиђено да од укупног броја возила са аутоматском трансмисијом, више од 20% чине возила са континуалном варијабилном трансмисијом. Новији облици ланаца и каишева који се уводе у употребу имају за 15% мањи корак и већи капацитет обртног момента.

Примена континуалне варијабилне трансмисије константно расте, као што је приказано на слици 29. Велики раст је нарочито присутан у Кини и Југоисточној Азији [6].



Слика 29– Повећана примена возила са континуалном варијабилном трансмисијом [7]



Слика 30– Приказ различитих облика каишева и њихове производње по годинама [7]

7.Закључак

Жеља за напретком целокупне индустрије директно је везана са напретком механичких преносника, због чега је данас готово немогуће пронаћи део производње у којем се не осећа потреба за регулисањем брзина радних машина. Велика потреба за аутоматизацијом производних процеса, подстиче развој механичких преносника за континуално регулисање преноса снаге и кретања. Употреба варијатора знатно упрошћава конструкцију, проналази оптималне режиме рада и омогућава аутоматизацију процеса. Тежња ка замени преносника са класичном степенастом променом са варијаторима је оправдана. Једна од области у којој се стреми ка употреби варијатора је и аутомобилска индустрија. Примена континуалне варијабилне трансмисије код путничких возила постаје све чешћа и популарнија. Оно што их чини интересантним је способност преноса обртног момента на скоро непрекоран начин, чиме се повећава удобност вожње. Поред повећане удобности, поједностављује се и управљање возила са континуалном варијабилном трансмисијом, јер возач при експлоатацији аутомобила не делује на мењач. У поређењу са возилима која користе мануелну трансмисију, употребом континуалне варијабилне трансмисије се за 15% смањује потрошња горива, што представља једну од њихових главних карактеристика. Уколико се губици ове трансмисије додатно спусте, онда ће се економичност возила са континуалном варијабилном трансмисијом додатно повећати. Напредак и развој континуално варијабилне трансмисије иде у правцу употребе фрикционих и електричних континуалних преносника снаге, али и хибридног погона уз помоћ дизел мотора и електромотора који је напајан из електричних батерија и електрогенератора.

8. Литература

- [1] Проф. др Слободан Танасијевић, проф. др Александар Вулић, Механички преносници, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, новембар 2006.
- [2] Automatic transmissions & transaxles, 6th Edition, Jack Erjavec, Ken Pickerill
- [3] <http://www.odec.ca/projects/2007/viva7s2/cvts2.htm>
- [4] Efficiency optimization of the push-belt CVT by variator slip control, Bram Bonsen, Eindhoven University of Technology, 2006
- [5] <https://www.audiworld.com/how-tos/a/audi-a4-b8-multitronic-cvt-problems-421233>
- [6] https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/symposia_1/downloads_11/Schaeffler_Kolloquium_2014_34_en.pdf
- [7] https://www.researchgate.net/publication/320710551_CVT_variability_secures_a_bright_future