



PROJEKTOVANJE ZUPČASTOG MENJAČKOG PRENOSNIKA MOTORNIH VOZILA

1. OPŠTE

Menjački prenosnik predstavlja najznačajniji sklop prenosnika snage. Osnovni zadatak menjačkog prenosnika je da pri prenosu snage izvrši promenu njenih parametara (obrotnog momenta i broja obrtaja), dovodeći ih na nivoe koji odgovaraju trenutnim potrebama pogonskog mosta. Pored ovoga, menjački prenosnik omogućuje kretanje vozila unazad i prekid toka snage pri uključenoj spojnici.

Zupčanički menjački prenosnici vrše stepenastu promenu prenosnih odnosa, što je broj stepeni prenosa veći, veće je približenje idealnoj hiperboli vuče, ali istovremeno proizvodnja menjača postaje komplikovanija i skuplja.

Zupčaničke menjače u pogledu položaja vratila, moguće je podeliti na menjače sa pokretnim i nepokretnim osama, a u pogledu zadatka koji obavljaju, na glavne i dopunske menjačke prenosnike (svako vozilo opremljeno motorom SUS mora da ima glavni menjač, a po potrebi, i dopunske menjače).

Sa stanovišta broja stepeni prenosa, postoje menjači sa dva, tri, četiri i više stepeni prenosa, a sa stanovišta upravljanja, razlikuju se menjači sa prinudnim (ručnim, manuelnim) i automatskim upravljanjem. Ako se razmatra način prenošenja sile od komandne poluge do mehanizma za uključivanje i isključivanje pojedinih stepena prenosa, sistemi upravljanja menjačima mogu biti: mehanički, hidraulički, pneumatski, vakuumski, električni i kombinovani.

Osnovni konstrukcioni zahtevi su:

- jednostavnost promene stepeni prenosa uz što manje sile, po mogućnosti bez promene toka snage,
- bešuman rad,
- jednostavnost upravljanja,
- bezudarno uključivanje svih stepeni prenosa,
- osiguranje od samoisključivanja,
- mala masa i gabaritne dimenzije,
- pouzdanost,
- visok stepen korisnog dejstva, itd.

Menjački prenosnici se najčešće grade sa dva i tri vratila (ne računajući dopunsku osovinu ili vratilo zupčanika stepena prenosa za hod unazad). Uključivanje stepeni prenosa u savremenim konstrukcijama menjačkih prenosnika



rešeno je sa nepomerljivim zupčanicima i sinhro spojnicama (ili kandžastim spojnicama), a eventualno se prvi stepen prenosa uključuje pomeranjem zupčanika.

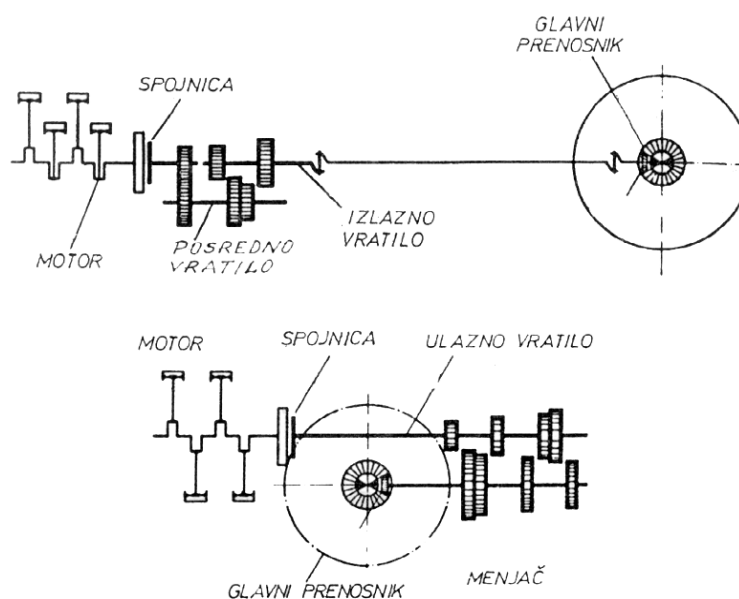
Rešenja menjača sa dva vratila primenjuju se na motornim vozilima kod kojih se i motor i pogonska osovina nalaze na jednom (prednjem ili zadnjem) kraju vozila, a rešenje sa tri vratila koristi se kada je motor napred, a pogonska osovina pozadi.

Kod menjačkog prenosnika postoje ulazno, posredno (za rešenje sa tri vratila) i izlazno vratilo, odgovarajući broj spregnutih parova zupčanika i odgovarajući broj ležaja i sinhro-spojnice (dvosmernog i/ili jednosmernog dejstva). Svi ovi elementi se nalaze u kućištu koje se sastoji iz osnovnog dela i poklopca. Gornji poklopac se obično izvodi tako da se u njega smeštaju elementi mehanizma za upravljanje menjačem: poluga, viljuške, šipke za učvršćenje viljuški, fiksatori itd.

2. KONSTRUKCIJSKA IZVOĐENJA MENJAČKOG PRENOSNIKA

U prethodnom poglavlju videli smo podele menjačkih prenosnika po različitim osnovama. Sada će biti prikazana osnovna konstrukcijska rešenja.

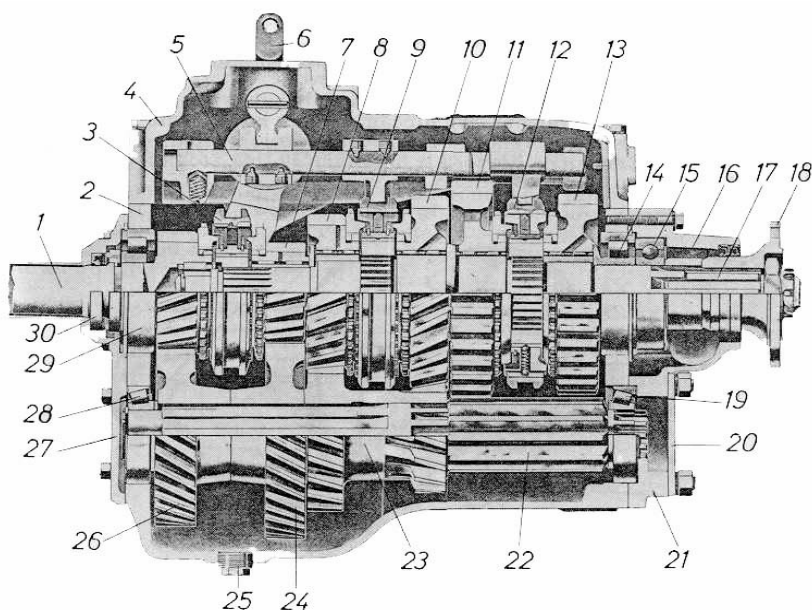
Prenos snage kod menjačkog prenosnika ide od ulaznog vratila, preko spregnutog para zupčanika do izlaznog vratila. tok snage, odnosno put prenošenja obrtnog momenta i ugaone brzine možemo videti na sledećoj slici. (slika 2.1)



Slika 2.1. Prenos snage od motora do pogonskih poluvratila



Na prethodnoj slici (slika 2.1) vidimo razliku u prenošenju snage kod menjača sa dva (donja slika) i kod menjača sa tri vratila (gornja slika). Kod prve grupe menjača (sa dva vratila) snaga ide direktno sa ulaznog vratila preko spregnutog para zupčanika određenog stepena prenosa na izlazno vratilo. Ova grupa menjača se primenjuje kod koncepcije: motor napred – pogon napred i kod koncepcije motor nazad – pogon nazad. Kod klasične koncepcije (motor napred – pogon nazad) se uvek primenjuje menjački prenosnik sa tri vratila (slika gore), koji pored ulaznog i izlaznog vratila, sinhro-spojnice i zupčanika poseduje i stalno spregnuti zupčasti par i posredno vratilo. Bitna razlika između ove dve grupe menjača je to da se kod prve grupe mora izbeći prenosni odnos jednak jedinici ($i=1$), dok je kod druge čak i poželjan radi uštede u prostoru i u masi.



Slika 2.2. Presek menjačkog prenosnika sa tri vratila

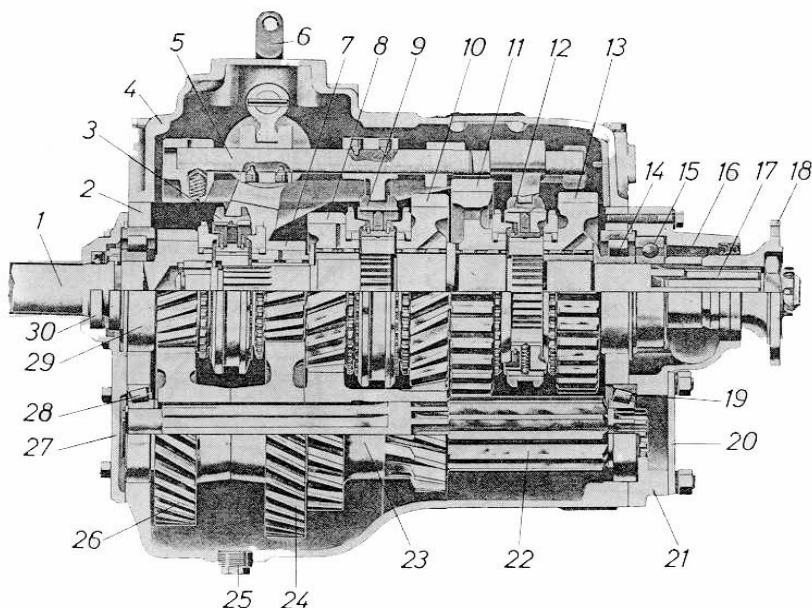
Delovi menjačkog prenosnika su: 1 – Ulazno vratilo; 2 – Kućište; 3, 9 i 12 – Sinhro spojnice; 4, 16, 20, 21 i 27 – Poklopci; 5 – Osovina mehanizma za uključivanje stepeni prenosa; 6 – Mehanizam za uključivanje stepeni prenosa; 7, 8, 10, 11, 13, 23, 24 i 26 – Zupčanici; 14 i 29 Valjkasti ležajevi; 15 – Kuglični ležaj; 17 – Izlazno vratilo; 18 – Prirubnica; 19 i 28 – Konusno-valjkasti ležajevi; 22 – Ozubljeno posredno vratilo; 25 – Čep za ispuštanje ulja, 30 – Zaptivač.

Prikazani menjački prenosnik ima pet stepeni prenosa za hod u napred i svi su sinhronizovani. Zupčanici su zbog većeg stepena sprezanja, bešumnijeg rada i manjih gabarita, urađeni sa kosim zupcima. Sinhro spojnice su postavljene na izlaznom vratilu (ovo rešenje postavlja sinhrospojnice je povoljnije uprkos većim opterećenjima – veći su momenti jer je manja ugaona brzina, tačnije manja je razlika ugaonih brzina pa je moguća brza sinhronizacija ugaonih brzina, a bitan činilac je i to što je pojednostavljen komandni mehanizam).



Prvi stepen prenosa

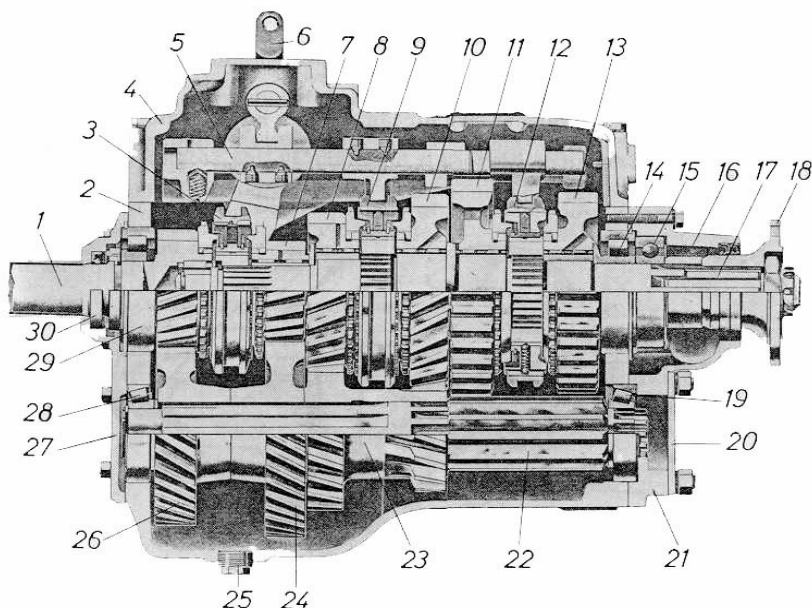
Uključivanje prvog stepena prenosa se ostvaruje pomeranjem napred u desno ručice mehanizma za uključivanje stepeni prenosa (6) koji dejstvuje na osovinu (5) i preko viljuške pomera sinhro spojnicu (12) u levo koja spaja izlazno vratilo sa gonjenim zupčanicom prvog stepena prenosa (11). Tada parametri snage (moment i ugaona brzina) od motora preko spojnice dolaze na ulazno vratilo menjačkog prenosnika (1) koje je veoma često i spojničko vratilo i ono počinje da se obrće istom ugaonom brzinom kao frikcionni disk spojnice. Kako je pogonski zupčanik stalno spregnutog para zupčanika (26) pričvršćen za ulazno vratilo, isti nivo parametara snage dolazi i na taj zupčanik. Pošto je pogonski zupčanik u stalnoj sprezi sa gonjenim zupčanicom stalno spregnutog para zupčanika on takođe počinje da se obrće i to ugaonom brzinom koja je redukovana za prenosni odnos u stalno spregnutom paru zupčanika (i_{ss}), prenoseći obrtni moment uvećan za prenosni odnos u stalno spregnutom paru zupčanika. Isti nivo parametara snage se prenosi i preko posrednog vratila (22) i pogonskog zupčanika prvog stepena prenosa (11). Dalje parametri snage se prenose preko gonjenog zupčanika prvog stepena prenosa (11), izlaznog vratila i prirubnice (broj obrtaja se redukuje za prenosni odnos u prvom stepenu prenosa – i_1 , a obrtni moment se povećava za isti prenosni odnos) i dalje preko ostalih sklopova transmisije: zglobnog prenosnika, glavnog prenosnika, diferencijalnog prenosnika, pogonskih poluvratila na kretače koji obezbeđuju kretanje vozila u uslovima najmanjih brzina i najvećih obimnih sila na pogonskim kretačima.





Drugi stepen prenosa

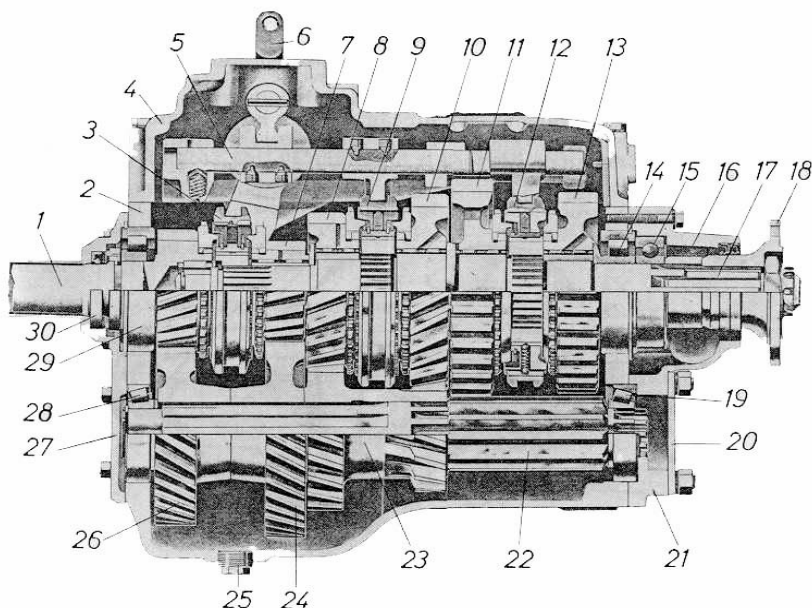
Uključivanje drugog stepena prenosa se ostvaruje pomeranjem nazad u levo ručice mehanizma za uključivanje stepeni prenosa (6) koji deluje na osovinu (5) i preko viljuške pomera sinhro spojnicu (9) u desno koja spaja izlazno vratilo sa gonjenim zupčanicom drugog stepena prenosa (10). Tada parametri snage (moment i ugaona brzina) od motora preko spojnice dolaze na ulazno vratilo menjačkog prenosnika (1) koje je veoma često i spojničko vratilo i ono počinje da se obrće istom ugaonom brzinom kao i frikcioni disk spojnice. Kako je pogonski zupčanic stalno spregnutog para zupčanika (26) pričvršćen za ulazno vratilo, isti nivo parametara snage dolazi i na taj zupčanic. Pošto je pogonski zupčanic u stalnoj sprezi sa gonjenim zupčanicom stalno spregnutog para zupčanika on takođe počinje da se obrće i to ugaonom brzinom koja je redukovana za prenosni odnos u stalno spregnutom paru zupčanika (i_{ss}), prenoseći obrtni moment uvećan za prenosni odnos u stalno spregnutom paru zupčanika. Isti nivo parametara snage se prenosi i preko posrednog vratila (22) i pogonskog zupčanika drugog stepena prenosa (10). Dalje parametri snage se prenose preko gonjenog zupčanika drugog stepena prenosa (10), izlaznog vratila i priрубnice (broj obrtaja se redukuje za prenosni odnos u drugom stepenu prenosa – i_2 , a obrtni moment se povećava za isti prenosni odnos) i dalje preko ostalih sklopova transmisije: zglobnog prenosnika, glavnog prenosnika, diferencijalnog prenosnika, pogonskih poluvratila na kretače koji obezbeđuju kretanje vozila u uslovima ostvarenja većih brzina kretanja nego u prvom stepenu prenosa ali manjom raspoloživom obimnom silom na kretačima.





Treći stepen prenosa

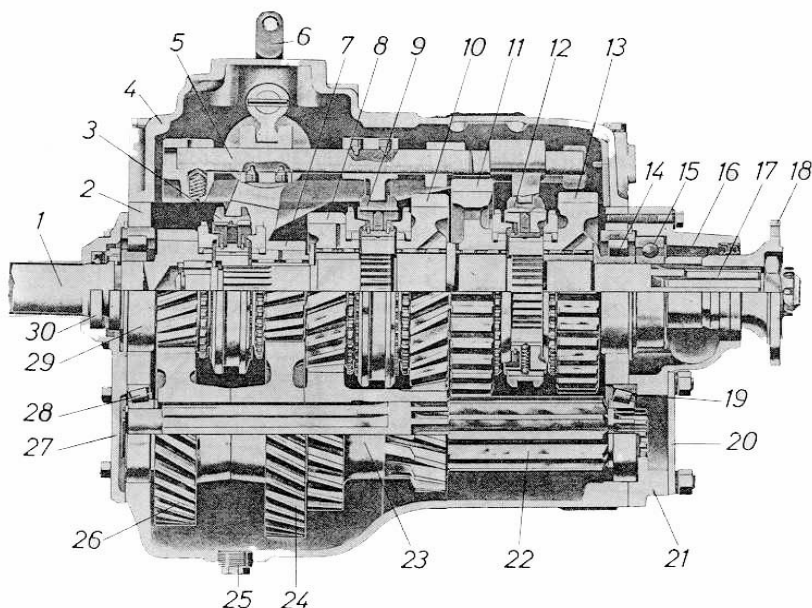
Uključivanje trećeg stepena prenosa se ostvaruje pomeranjem napred u desno ručice mehanizma za uključivanje stepeni prenosa (6) koji dejstvuje na osovinu (5) i preko viljuške pomera sinhro spojnicu (10) u levo koja spaja izlazno vratilo sa gonjenim zupčanicom trećeg stepena prenosa (8). Tada parametri snage (moment i ugaona brzina) od motora preko spojnice dolaze na ulazno vratilo menjačkog prenosnika (1) koje je veoma često i spojničko vratilo i ono počinje da se obrće istom ugaonom brzinom kao i frikcioni disk spojnice. Kako je pogonski zupčanic stalno spregnutog para zupčanika (26) pričvršćen za ulazno vratilo, isti nivo parametara snage dolazi i na taj zupčanic. Pošto je pogonski zupčanic u stalnoj sprezi sa gonjenim zupčanicom stalno spregnutog para zupčanika on takođe počinje da se obrće, i to ugaonom brzinom koja je redukovana za prenosni odnos u stalno spregnutom paru zupčanika (i_{ss}), prenoseći obrtni moment uvećan za prenosni odnos u stalno spregnutom paru zupčanika. Isti nivo parametara snage se prenosi i preko posrednog vratila (22) i pogonskog zupčanika trećeg stepena prenosa (8). Dalje parametri snage se prenose preko gonjenog zupčanika trećeg stepena prenosa (8), izlaznog vratila i prirubnice (broj obrtaja se redukuje za prenosni odnos u trećem stepenu prenosa – i_3 , a obrtni moment se povećava za isti prenosni odnos) i dalje preko ostalih sklopova transmisije: zglobnog prenosnika, glavnog prenosnika, diferencijalnog prenosnika, pogonskih poluvratila na kretače koji obezbeđuju kretanje vozila u uslovima ostvarenja većih brzina kretanja nego u drugom stepenu prenosa ali manjom raspoloživom obimnom silom na kretačima.





Četvrti stepen prenosa

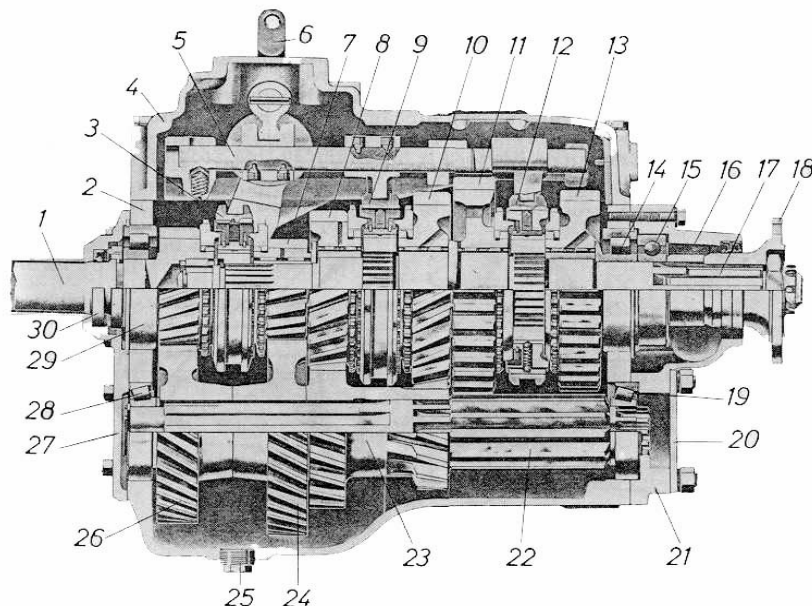
Uključivanje četvrtog stepena prenosa se ostvaruje pomeranjem nazad u desno ručice mehanizma za uključivanje stepeni prenosa (6) koji dejstvuje na osovinu (5) i preko viljuške pomera sinhro spojnicu (3) u desno koja spaja izlazno vratilo sa gonjenim zupčanicom četvrtog stepena prenosa (7). Tada parametri snage (moment i ugaona brzina) od motora preko spojnice dolaze na ulazno vratilo menjačkog prenosnika (1) koje je veoma često i spojničko vratilo i ono počinje da se obrće istom ugaonom brzinom kao i frikcioni disk spojnice. Kako je pogonski zupčanic stalno spregnutog para zupčanika (26) pričvršćen za ulazno vratilo, isti nivo parametara snage dolazi i na taj zupčanic. Pošto je pogonski zupčanic u stalnoj sprezi sa gonjenim zupčanicom stalno spregnutog para zupčanika, on takođe počinje da se obrće i to ugaonom brzinom koja je redukovana za prenosni odnos u stalno spregnutom paru zupčanika (i_{ss}), prenoseći obrtni moment uvećan za prenosni odnos u stalno spregnutom paru zupčanika. Isti nivo parametara snage se prenosi i preko posrednog vrtila (22) i pogonskog zupčanika četvrtog stepena prenosa (24). Dalje parametri snage se preko gonjenog zupčanika četvrtog stepena prenosa (7) prenose na izlazno vratilo i prirubnicu (broj obrtaja se redukuje za prenosni odnos u četvrtom stepenu prenosa – i_4 , a obrtni moment se povećava za isti prenosni odnos) i dalje preko ostalih sklopova transmisije: zglobnog prenosnika, glavnog prenosnika, diferencijalnog prenosnika, pogonskih poluvratila na kretače koji obezbeđuju kretanje vozila u uslovima ostvarenja većih brzina kretanja nego u trećem stepenu prenosa ali manjom raspoloživom obimnom silom na kretačima.





Peti stepen prenosa

Uključivanje petog stepena prenosa (tzv. direktan stepen prenosa) se ostvaruje pomeranjem napred u desno ručice mehanizma za uključivanje stepeni prenosa (6) koji deluje na osovinu (5) i preko viljuške pomera sinhro spojnicu (3) ulevo koja spaja izlazno sa ulaznim vratilom i tako ostvaruje prenos parametara snage koji odgovaraju spojnici do trenutka završetka njenog uključivanja, a kasnije parametrima snage motora ka ostalim sklopovima transmisije: zglobnom prenosniku, glavnom prenosniku, diferencijalnom prenosniku, pogonskim poluvratilima i kretačima koji obezbeđuju kretanje vozila u uslovima ostvarenja većih brzina kretanja nego u četvrtom stepenu prenosa ali manjom raspoloživom obimnom silom na kretačima.

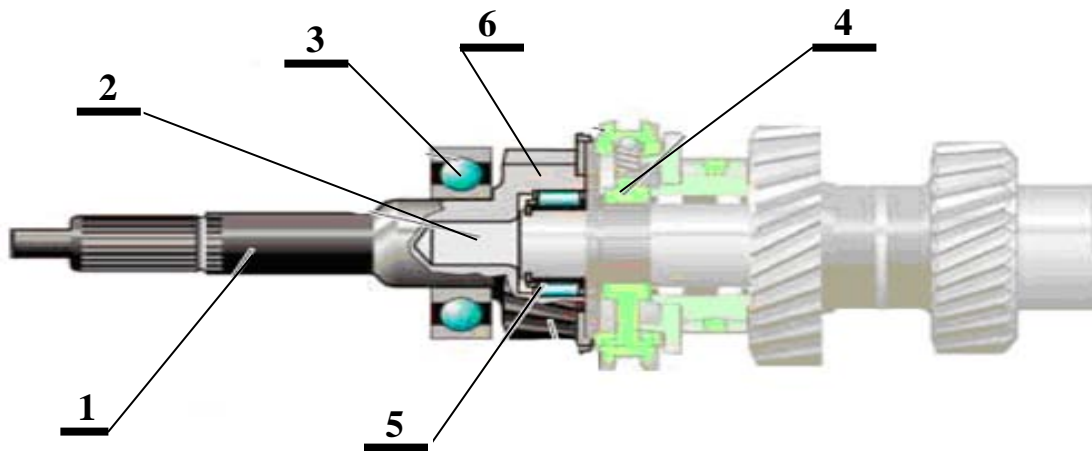


Hod unazad

Hod unazad se ostvaruje primenom dopunskog zupčanika u prenosu snage sa posrednog na izlazno vratilo. Kod trostepenih i petostepenih menjačkih prenosnika dopunski zupčanik je stalno spregnut sa zupčanicom posrednog vratila, a za uključivanje stepena za hod unazad obično se koristi zupčanik prvog stepena prenosa, pa tada nije potrebna posebna viljuška. Kod četvorostepenih menjačkih prenosnika za uključivanje se primenjuje poseban dopunski udvojeni zupčanik koji se pomera posebnom viljuškom.



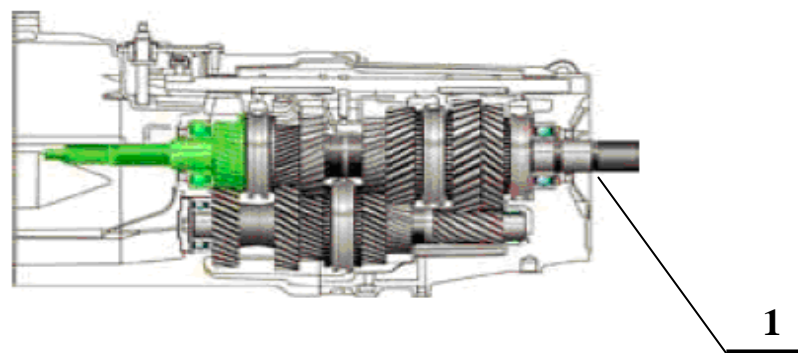
Ulazno vratilo (spojničko) (1) je sa jedne strane oslonjeno na kućiste preko kugličnog ležaja (3), a sa druge strane se oslanja na zamajac motora preko odgovarajućeg ležišta (slika 2.3).



Slika 2.3.

Ono je izrađeno izjedna sa pogonskim zupčanicom stalno spregnutog para zupčanika (6). Zadatak ovog vratila je da sa spojnice prenese parametre snage na stalno spregnuti par zupčanika.

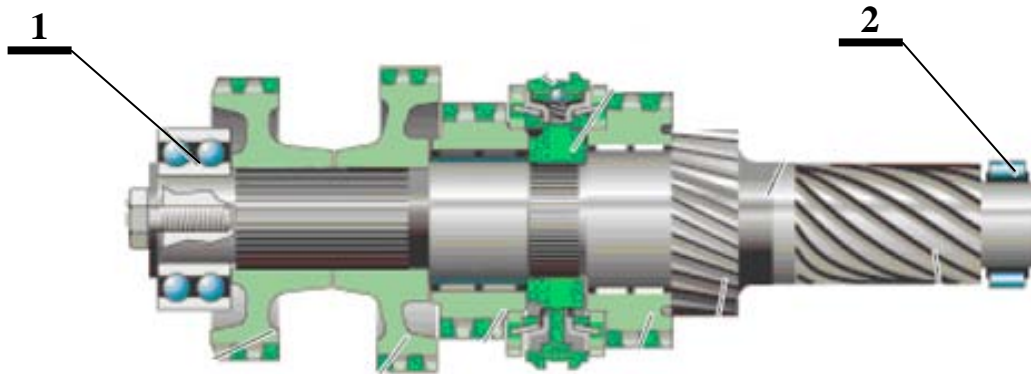
Izlazno vratilo (2) se, sa jedne strane oslanja preko valjčastih ležaja na ulazno vratilo (1), a sa druge strane preko kugličnih ležaja na kućište menjačkog prenosnika (slika 2.2 .poz. 15 i slika 2.4. poz. 1)



Slika 2.4.



Posredno vratilo može da bude oslonjeno na kućište preko konusno-valjkastih (Slika 2.2. poz. 22 i 28) ili preko jednog dvoredog kugličnog ležaja (slika 2.5. poz. 1.) ili jednog igličastog ležaja (slika 2.5. poz. 2).



Slika 2.5.

Vratila imaju četiri konstrukcijska oblika:

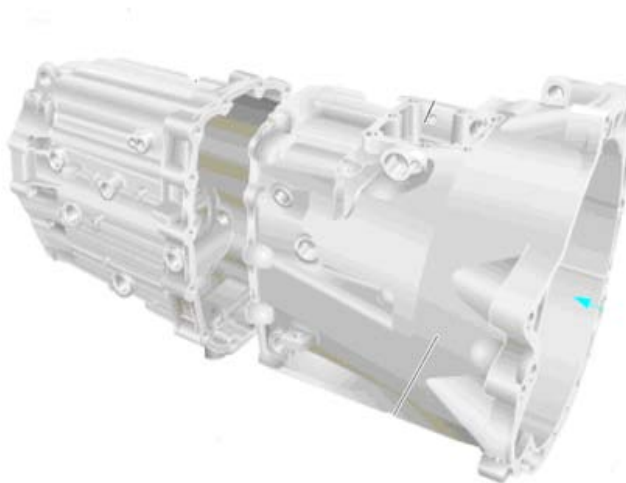
- a) sa zupčanicima u jednom bloku (nerazvojiva celina) koji su oslonjeni na nepokretnu osu preko igličastih ležajeva ,
- b) sa pojedinačnim zupčanicima učvršćenim na vratilo preko ožljebljene veze,
- c) sa pojedinačnim zupčanicima učvršćenim na vratilo preko klina, i
- d) zupčanici izjedna izrađeni sa vratilom.



Kućište menjačkog prenosa se sastoji iz osnovnog dela kućišta i poklopaca.



Slika 2.6.

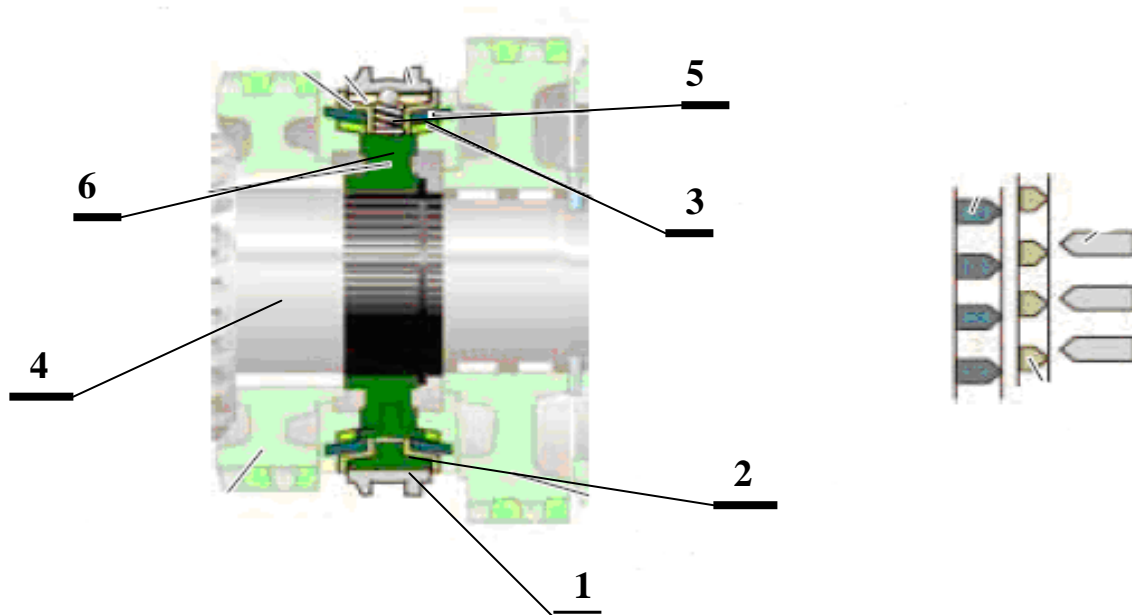


Slika 2.7.

Pri projektovanju kućišta treba voditi računa da njegova krutost bude što veća. Zbog toga otvori na kućištu treba da budu što manji, a na zidovima je neophodno postaviti rebra. Kućište, kao što je već prikazano, mora da ima tri otvora koji se najčešće izrađuju sa konusnom zavojnicom: jedan za ulivanje ulja pri njegovoj zameni, drugi za ispuštanje ulja pre zamene i treći za kontrolu nivoa ulja. Kućište se izrađuje livenjem pri čemu se kod putničkih automobila najčešće koriste legure aluminijuma (vidi slike 2.6. i 2.7.)

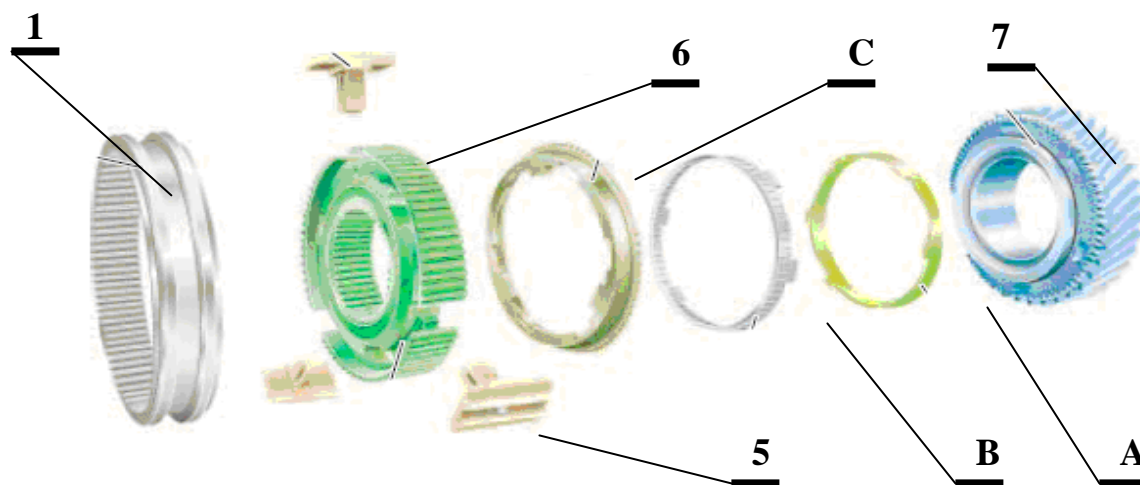


Sinhro-spojnica (slika 2.8) ima osnovni zadatak da obezbedi promenu stepeni prenosa. Ona to obezbeđuje na dva načina: ili spajanjem zupčanika sa vratilom ili spajanjem dva vratila.



slika 2.8.a

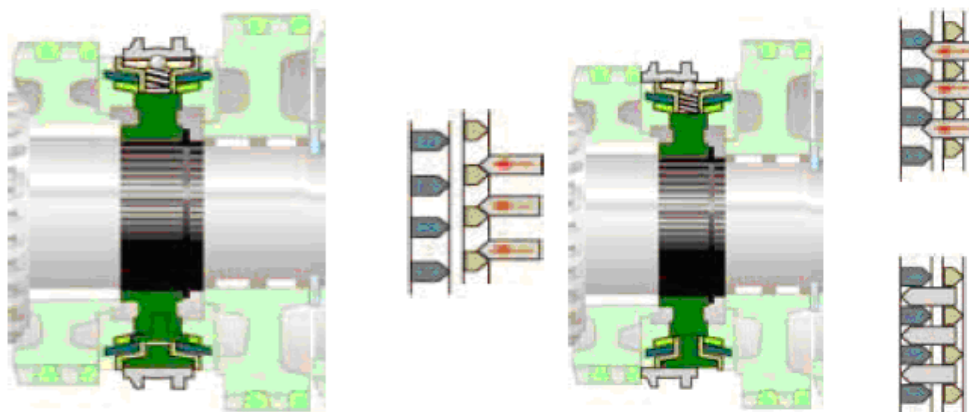
- 1 – Spoljni prsten;
- 2 – Sinhronizacioni element (uključna spojnica);
- 3 – Sinhronizacioni prsten;
- 4 – Izlazno vratilo;
- 5 – Tzv. loptasti fiksatori;
- 6 – Konusni prsten sinhro-spojnice;



slika 2.8.b

- 1 – Spoljni prsten;
- 2 – Sinhronizacioni element (uključna spojnica);
- 3 – Sinhronizacioni prsteni (unutrašnji prsten (A), međuprsten (B) i spoljni prsten (C);
- 4 – Izlazno vratilo;
- 5 – Tzv. loptasti fiksatori;
- 6 – Konusni prsten sinhro-spojnice;
- 7 – Zupčanik sa konusnim prstenom.

Sinhro-spojnica obavlja svoju funkciju na sledeći način: Konusni prsten sinhro-spojnice (6) se stalno obrće sa izlaznim vratilom (4). U prvom delu hoda poluge menjača konus prstena sinhro-spojnice (6) dolazi u kontakt sa konusom na vođenom zupčaniku čija ugaona brzina odgovara ugaonoj brzini posrednog vrtila. Daljim pomeranjem poluge menjača do kraja izjednačavaju se ugaone brzine posrednog i izlaznog vrtila i na taj način je završeno uključivanje određenog stepena prenosa. Na sledećoj slici (slika 2.9) prikazana je funkcija rada spojnice.



slika 2.9



Komandni mehanizam menjača. Osnovni zadatak komandnog mehanizma menjača je da obezbedi promenu stepena prenosa. Postoje dve vrste komandnih mehanizama: manuelni (ručni) komandni mehanizmi i automatski komandni mehanizmi. Kod ručnih komandnih mehanizama komanda se vrši ručno dejstvom korisnika vozila (vozača) na polugu komandnog mehanizma.



3. TEORIJSKE POSTAVKE ZA PROJEKTOVANJE ZUPČASTOG MENJAČKOG PRENOSNIKA

Za izbor menjača potrebni su ulazni podaci koji se odnose na karakteristike vozila, motora i samog menjačkog prenosnika, i to :

- vrsta vozila
- P_{emax} (kW)
- n_{Pemax} (o/min)
- M_{emax} (Nm)
- n_{Memax} (o/min)
- β (-)
- i_o (-)
- n (-)
- $i_1 \dots i_n$ (-)
- putničko, teretno, autobus, radno, terensko
- maksimalna snaga motora
- broj obrtaja motora pri maksimalnoj snazi
- maksimalni moment motora
- broj obrtaja motora pri maksimalnom momentu
- koeficijent sigurnosti nošenja spojnice
- prenosni odnos u glavnom prenosniku
- broj stepeni prenosa
- prenosni odnosi za svaki stepen prenosa

Kod radnih vozila potrebno je znati brzine u pojedinim stepenima prenosa (V_I , V_{II} , V_{III} , V_{IV} , ...), kao i rad na regulatorskoj karakteristici.

Maksimalna snaga i maksimalni moment motora, kao i brojevi obrtaja pri kojima se ostvaruju ove vrednosti su karakteristike motora i određuju se u laboratoriji, ispitivanjem na probnom stolu.

Koeficijent sigurnosti nošenja spojnice predstavlja koeficijent koji uzima u obzir inerciju motora vozila. Za svaki tip vozila ovaj koeficijent ima određene granične vrednosti, koje su date u Tabeli 1:

Tabela 1.

Tip vozila	Putnička	Teretna	Autobusi	Terenska	Traktori
β	1.4 - 1.8	1.8 - 2.4	1.6 - 2.8	1.8 - 2.8	2.2 - 3.6(4)

Manje vrednosti se uzimaju za vozila koja su predviđena za bolje uslove korišćenja i blaže režime.

Prenosni odnosi se dobijaju vučnim proračunom.

Izbor zupčaničkog menjača zavisi, pre svega, od osnovne koncepcije automobila u pogledu položaja pogonskog agregata.



Izbor osnovog rastojanja

Posle izbora koncepcije menjača u pogledu broja stepeni prenosa određuje se osno rastojanje i modul ozubljenja. To je jedna od najvažnijih faza u projektovanju menjača.

Oсно rastojanje (A) bitno utiče na konstrukcijske karakteristike, gabarite i masu menjača, pa time i automobila u celini. Cilj je ostvariti što manje osno rastojanje.

Postoji više načina za orijentaciono izračunavanje osnovog rastojanja (empirijski izrazi na osnovu iskustva), u funkciji od M_{emax} :

- | | | |
|----|--|-----------------------|
| a) | $A' = 11.7 \cdot \sqrt[3]{M_{emax}}$ [mm] | za putnička vozila |
| | $A' = 18.7 \cdot \sqrt[3]{M_{emax}}$ [mm] | za teretna vozila |
| | $A' = 23.4 \cdot \sqrt[3]{M_{emax}}$ [mm] | za radna vozila |
| b) | $A'' = 9.1 \cdot \sqrt[3]{M_{emax} \cdot i_l \cdot \eta}$ [mm] | za transportna vozila |
| | $A'' = 9.1 \cdot \sqrt[3]{\frac{Z_{Mst} \cdot r_d \cdot \varphi}{\eta \cdot i_o \cdot i_{br}}}$ [mm] | za radna vozila |
| c) | $A''' = 11.8 \cdot \sqrt[3]{M_{emax} \cdot i_l \cdot \eta \cdot c}$ [mm] | za transportna vozila |
| | $A''' = 11.8 \cdot \sqrt[3]{\frac{Z_{Mst} \cdot r_d \cdot \varphi}{\eta \cdot i_o \cdot i_{br}} \cdot c}$ [mm] | za radna vozila |

gde je:

Z_{Mst} - statička reakcija tla na pogonskoj osovini

$i_o \cdot i_{br}$ - ukupna redukcija od menjača do točkova (bez menjača)

$\varphi = 0.8$ - usvojeno

$\eta = 0.96 \div 0.98$ - usvojeno

c - koeficijent iskorišćenja obrtnog momenta, a daje se dijagramski ili tabelarno (Tabela 2)

$$c = f(F_{omax}/G ; V)$$



Tabela 2

$\frac{F_{omax}}{G}$ $V [m/s]$	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75
1.4	0.79	0.67	0.56	0.45	0.35	0.27	0.18
2.8	0.75	0.62	0.52	0.44	0.35	0.27	0.18
8.4	0.61	0.49	0.42	0.37	0.33	0.27	0.18
13.9	0.50	0.40	0.33	0.30	0.28	0.27	0.18
18	0.42	0.33	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18

F_{omax} - maksimalna vučna sila (kod traktora odgovara nominalnoj vučnoj sili)

$V [m/s]$ - brzina pri F_{omax}

$$\frac{F_{omax}}{G} = \frac{M_{emax} \cdot i_l \cdot i_o \cdot i_{br} \cdot \eta}{G \cdot r_d}$$

$$V = \frac{\omega_{emax} \cdot r_d}{i_l \cdot i_o \cdot i_{br}}$$

Opšta preporuka za traktore:

$$c = 0.27 \div 0.32 \quad \text{za traktore točkaše}$$

$$c = 0.25 \div 0.30 \quad \text{za traktore guseničare}$$

Na osnovu dobijenih vrednosti pomoću sva tri izraza, analizom sa stanovišta koncepcije, mogućnosti izrade, ekonomičnosti, ..., proceniti najpogodnije rešenje.

Generalni cilj je minimalno međuosno rastojanje. Naša procena potvrđuje se kasnije proračunom.



Izbor modula zupčanika menjača (modul ozubljenja)

Merodavan je maksimalni obrtni moment na ulaznom vratilu menjača:

$$M_m = M_{e\max} \cdot \beta \cdot \eta \quad [\text{Nm}] \quad \text{za transportna vozila (sa stanovišta motora)}$$

Na osnovu merodavnog maksimalnog momenta određenog prema datoj formuli, iz Tabele 3 se bira nominalni modul. Modul je veličina od koje zavise dimenzije zupčanika.

Tabela 3

Merodavni maksimalni moment (Nm)	Nominalni modul - m_n (mm)
100	1.75 ÷ 2.75
300	2 ÷ 3.25
500	2.25 ÷ 3.50
800	2.5 ÷ 3.75
1000	2.75 ÷ 4
1500	3 ÷ (4.25)
2000	3.25 ÷ 4.5
3000	3.5 ÷ (4.75)
4000	4 ÷ 5
5000	4.25 ÷ 5.5
8000	4.75 ÷ 6
10000	5 ÷ 6.5

Modul zubaca bira se u granicama preporučenih vrednosti i ako se na primer uzme veći modul to znači da će zupčanici biti veći. Treba voditi računa o standardizaciji modula. Standardizacija se primenjuje zbog univerzalnosti primene zupčanika.

Srpski standard SRPS M.C1.015 propisuje niz standardnih vrednosti koje je potrebno izabrati (Tabela 4).



Tabela 4

Redni broj	m_n (mm)
1	1
2	1.125
3	1.25
4	1.375
5	1.5
6	1.75
7	2
8	2.25
9	2.5
10	2.75
11	3
12	3.25
13	3.5
14	3.75
15	4
16	4.5
17	5
18	5.5
19	6
20	7

Napomene:

- veće vrednosti modula se biraju za zupčanike sa pravim zubima, a manje za zupčanike sa kosim zubima, kao i kada se postavljaju viši zahtevi u pogledu šumnosti (buke);
- izabrana vrednost modula usaglašava se sa standardnim vrednostima prema SRPS M.C1.015, pri čemu treba izbegavati vrednosti u zagradama;
- kod radnih vozila se još vrši i provera odabrane vrednosti modula sa stanovišta snage motora, i to:
 - $P_{emax} \leq 15 \text{ kW}$ $\Rightarrow m_n = 2.5 \div 3 \text{ mm}$
 - $15 \text{ kW} < P_{emax} \leq 30 \div 40 \text{ kW}$ $\Rightarrow m_n = 3 \div 4 \text{ mm}$
 - $P_{emax} > 40 \text{ kW}$ \Rightarrow ne vrši se dopunska provera



Izbor ugla nagiba zupca (β) i širine zuba (b)

Ugao β se određuje iz uslova da u osnom preseku (podeoni cilindar) stepen sprežanja bude $\varepsilon_a \geq 1$, tj:

$$\varepsilon_a = \frac{b \cdot \operatorname{tg} \beta}{t_s} = b \cdot \frac{\sin \beta}{\pi \cdot m_n} \geq 1, \quad \text{jer je} \quad t_s \cdot \cos \beta = \pi \cdot m_n$$

β - nagib bočne linije na podeonom cilindru;
 t_s - korak ozubljenja.

Stepen sprežanja zupčastog para (ε_a) je odnos dodirnog luka profila i koraka profila na kinematskom krugu. Da bi se ostvarilo kontinualno obrtanje gonjenog zupčanika, potrebno je da pre nego što jedan par spregnutih profila zubaca završi svoje dodirivanje, sledeći par već počne dodirivanje i tako na sebe preuzme ulogu koju je u prethodnom periodu igrao posmatrani par. Ako je stepen sprežanja jednak jedinici, stalno se dodiruje samo po jedan par spregnutih profila.

Uobičajene vrednosti uglova nagiba zubaca su sledeće:

- za putnička vozila $\beta = 20 \div 30^\circ$
- za teretna i radna vozila $\beta = 25 \div 45^\circ$

Ugao zubaca utiče na dimenzije zupčanika kao i na broj zuba zupčastog para. Izborom većeg ugla dobijaju se veći zupčanici sa većim brojem zuba.

Modul i ugao zubaca treba da budu jednaki za sve zupčanike u menjaču zbog unifikacije.

Svi zupčanici u menjačkom prenosniku treba da budu jednake širine, a ona se određuje pomoću sledećih odnosa:

- a) pravi zubi $\frac{b}{m_n} = 4.5 \div 7$
- b) kosi zubi $\frac{b}{m_n} = 7 \div 8.5$

Ukoliko se iz preporučenih vrednosti širine zupčanika izabere veća vrednost dobijaju se veće dimenzije menjačkog prenosnika, ali se zato smanjuje radni napon u korenu i na bokovima zubaca i povećava se stepen sprežanja zupčastog para čemu i treba težiti. Za povećanje širine zuba b potrebna je veća tačnost izrade, kao i veća krutost vratila zbog slike nošenja (treba postupati oprezno !!!)



Izbor broja zuba pojedinih parova zupčanika menjača

Ovaj izbor vrši se na osnovu sledećih ulaznih veličina:

- i_i - prenosni odnosi u menjačkom prenosniku;
- A - usvojeno međuosno rastojanje;
- m_n - usvojeni nominalni modul;
- β - ugao nagiba zuba.

Prvo treba odrediti (samo za menjački prenosnik sa tri vratila) zbir zuba za spregnute zupčaste parove, pri čemu treba voditi računa da svaki zupčasti par u menjaču treba da ima isti zbir zuba.

Korišćenjem sledećih izraza dobija se zbir zuba spregnutog zupčastog para:

$$m_n = \frac{2 \cdot A \cdot \cos \beta}{z_1 + z_2}$$

$$z_1 + z_2 = \frac{2 \cdot A \cdot \cos \beta}{m_n} \quad \Rightarrow \quad z \cdot (1 + i) = \frac{2 \cdot A \cdot \cos \beta}{m_n}$$

$$z \cdot (i + 1) = \frac{2 \cdot A \cdot \cos \beta}{m_n} = z_1 + z_2 = z$$

gde su:

- | | |
|---------------------|--|
| z (-) | - broj zuba zupčanika, |
| i (-) | - prenosni odnos posmatranog para zupčanika, |
| A (mm) | - osno rastojanje vratila, |
| m_n (mm) | - standardni modul zuba, |
| β (°) | - ugao zuba, |
| z_1 i z_2 (-) | - brojevi zuba pogonskog odnosno gonjenog zupčanika. |

Napomena:

- zbir zuba pojedinih parova zupčanika mora biti jednak:

$$z_{11} + z_{12} = z_{21} + z_{22} = \dots$$

- u cilju uklapanja broja zuba za pojedine zupčaničke dopušta se korigovanje polaznih podataka koji se odnose na prenosne odnose

Sada je potrebno usvojiti brojeve zuba za prvi stepen prenosa (menjač sa dva vratila) i za spregnuti par zupčanika (menjač sa tri vratila). Usvajanje se vrši tako što ulazni zupčanik treba da ima što manji broj zuba (preporučene vrednosti su od 10 do 20 (25), pri čemu treba težiti što manjem broju jer se tako dobijaju manji gabariti menjača), a da pri tom dobijeni prenosni odnosi budu što bliži prenosnim odnosima zadatim projektnim zadatkom (dozvoljeno odstupanje $\pm 5\%$).



Nakon određivanja brojeva zubaca stalno spregnutog para tj. prenosnog odnosa istog zupčastog para

$$u = \frac{Z_2}{Z_1}$$

računaju se brojevi zubaca i za ostale zupčaste parove i to na sledeći način (kod menjačkog prenosnika sa dva vratila $u = 1$):

- za zupčanike 1. stepena prenosa:

$$i_{1'} = \frac{i_{1zad}}{u}$$

gde je

i_{1zad} - prenosni odnos za prvi stepen prenosa zadat projektnim zadatkom
 u - prenosni odnos stalno spregnutih zupčanika

Pomoću naredne dve jednačine dobijaju se brojevi zubaca zupčastog para za prvi stepen prenosa z_{11} i z_{12}

$$i_{1'} = \frac{z_{12}}{z_{11}}$$

$$z_{11} = \frac{z_1 + z_2}{(i_{1'} + 1)}$$

Dobijeni brojevi zubaca z_{11} i z_{12} se zaokružuju na cele brojeve, a zatim se iz prethodne formule dobija i prenosni odnos $i_{1'}$ za prvi zupčasti par. Ukupan prenosni odnos za prvi stepen prenosa dobija se iz formule:

$$i_1 = i_{1'} \cdot u$$

Na ovaj način se izračunavaju brojevi zubaca i korigovani prenosni odnosi za sve zupčanike tj. zupčaste parove u menjačkom prenosniku.

Pri projektovanju menjača treba odrediti i prečnik izlaznog vratila na sredini raspona pomoću izraza:

$$D = (0,53 \div 0,62) A$$

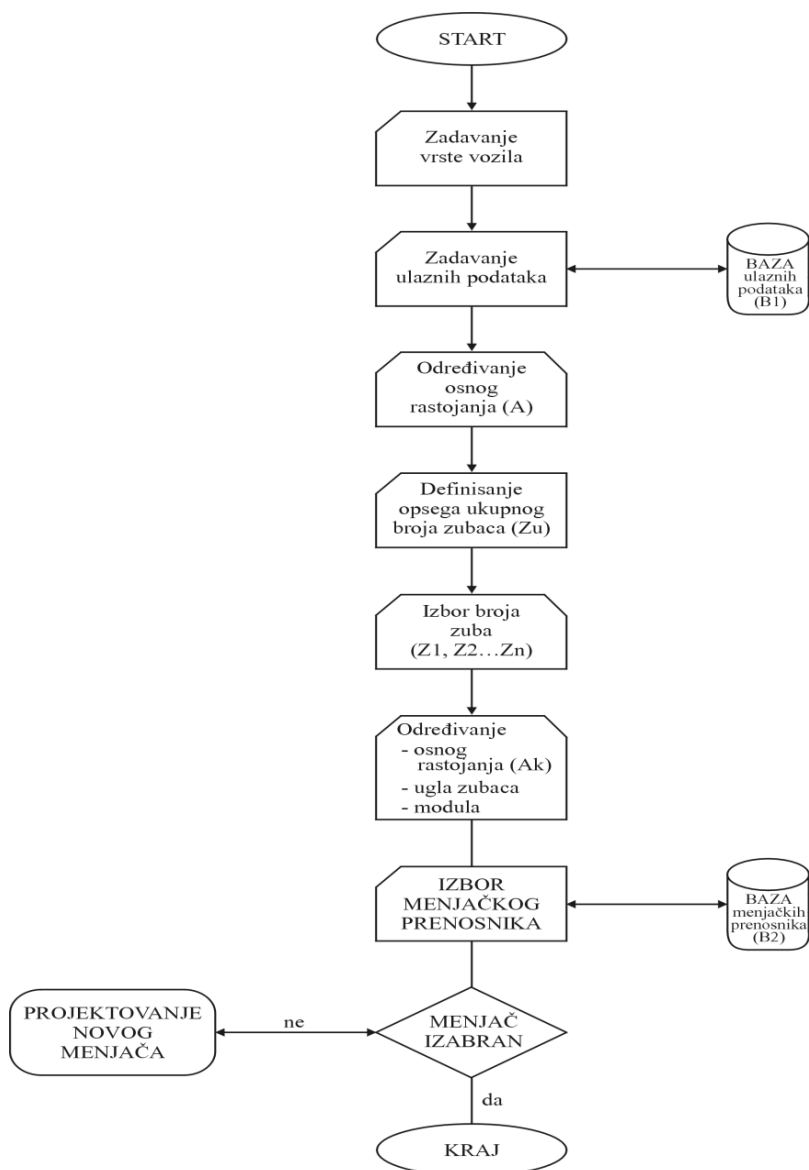
gde je

A - osno rastojanje.

**Algoritam za projektovanje zupčastog menjačkog prenosnika**

Za projektovanje zupčastog menjačkog prenosnika neophodno je pre svega raspolagati dobro definisanim algoritmom projektovanja, koji predstavlja osnovu za sprovođenje postupka projektovanja kako u pogledu osnovnih funkcionalnih zahteva koji se postavljaju pred novoprojektovani menjač, tako i u odnosu na redosled operacija koje inženjer-projektant treba da sprovede u fazi projektovanja.

Zbog toga je u nastavku detaljno prikazan algoritam za sprovođenje postupka projektovanja zupčastog menjačkog prenosnika (Slika 3.1).



Slika 3.1



Prikazani algoritam na Slici 3.1 obezbeđuje:

- Zadavanje vrste (kategorije) vozila za koju se želi sprovođenje postupka izbora zupčastog menjačkog prenosa. U okviru toga neophodno je da projektantu budu na raspolaganju sledeće opcije:
 - i. putničko vozilo,
 - ii. teretno vozilo,
 - iii. autobus
- Zadavanje ulaznih podataka za definisanu vrstu (kategoriju) vozila i to:
 - maksimalne snage motora,
 - ugaone brzine za zadatu maksimalnu snagu motora,
 - maksimalnog momenta motora,
 - ugaone brzine za zadati maksimalni moment motora,
 - koeficijenta nošenja spojnice,
 - mase frikcionog diska,
 - dinamičkog poluprečnika kretača (točka), i
 - broj stepeni prenosa i vrednosti prenosnih odnosa za svaki od njih.Takođe je neophodno obezbediti da navedeni ulazni podaci mogu biti na raspolaganju korisniku u obliku dve mogućnosti: direktnim unošenjem ili iz unapred definisane baze podataka.
- Određivanje osnovnog rastojanja koristeći prethodno navedene izraze;
- Definisanje opsega broja zubača;
- Izbor broja zubača zupčanika;
- Korigovanje prenosnih odnosa i definisanje korigovanog osnovnog rastojanja, ugla zubača zupčanika i modula, i
- Izbor odgovarajućeg menjača iz kataloga proizvođača.