

Delovanje ročnega avtomobilskega menjalnika

Avtor: Tomaž Travnikar

Univerza v Ljubljani fakulteta za strojništvo, Aškerčeva cesta 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenija,
E-mail: tt9033@student.uni-lj.si

December 14, 2022

Povzetek

Krajši članek podaja odgovore na temo delovanje ročnega avtomobilskega menjalnika. Gre za sistem zobnikov in gredi, ki prenašajo moč motorja na pogonska kolesa avtomobila. S premikanjem prestavne ročice lahko voznik izbere različna prestavna razmerja, ki omogočajo izbiro tako hitrosti kot navora. Za razumevanje delovanja menjalnika pa je potrebno poznavanje strojnih elementov in njihove funkcije v menjalniku. Za boljše in udobnejše prestavljanje so zaslužni sinhronizatorji, njihova zgradba in delovanje ter čas sinhronizacije pa so predstavljeni v članku. Večja učinkovitost menjalnika povzroča manjše izgube moči motorja in s tem goriva potrebnega za delovanje. Članek zato na koncu predstavi nekaj faktorjev, ki vplivajo na izkoristek menjalnika.

Ključne besede

Ročni avtomobilski menjalnik, prestavno razmerje, sinhronizator, čas sinhronizacije, izkoristek menjalnika.

Uvod

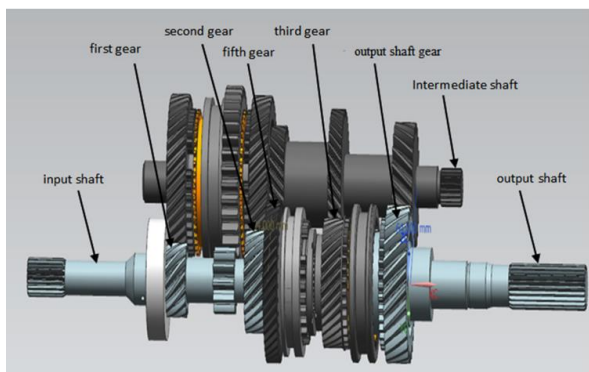
Menjalnik je običajno nameščen na zadnji strani motorja in ob vključitvi sklopke prek vhodne gredi sprejema navor iz motorja. Navor se nato prenaša prek sklopa zobnikov, ki ga povečajo, zmanjšajo ali neposredno prenesejo. Nastali navor vrtil izhodno gred menjalnika, ki je posredno povezana s pogonskimi kolesi. Vsi menjalniki imajo dva osnovna namena: izbirajo različna hitrostna razmerja za različne pogoje in omogočajo povratno gibanje vozila. S premikanjem prestavne ročice lahko izberete različna prestavna in hitrostna razmerja. Prestave v menjalniku so izbrane tako, da vozniku omogočajo izbiro hitrosti in navora; višje prestave zagotavljajo manjši navor, vendar višje hitrosti vožnje. Prestavna razmerja določajo razmerje med številom zob na

pogonski (izhodni) prestavi in številom zob na pogonski (vhodni) prestavi [1]. Sodobni ročni menjalniki osebnih avtomobilov so opremljeni s sinhronizacijskim sistemom. Sinhronizator je ključni sestavni del menjalnika, saj sestavne dele, ki se vrtijo z različnimi hitrostmi, uskladi na eno sinhronizirano hitrost. Preprečuje, da bi se zobniki menjalnika udarili, ter s tem zmanjšuje hrup in omogoča, da se voznik počuti udobje med prestavljanjem [2].

Osnovno delovanje ročnega menjalnika

Vsi ročni menjalniki delujejo na enak način in imajo podobne komponente. Preden v celoti razumemo delovanje menjalnika, moramo poznati imena, namene in opise glavnih sestavnih delov menjalnikov. Ohišje

menjalnika je običajno iz litega aluminija ali magnezija, v katerem je nameščena večina zobnikov menjalnika in ima obdelane površine za pokrov, zadnji podaljšek in pritrditev na sklopko [1]. Vsi menjalniki so opremljeni z različnim številom prestav za vožnjo naprej in eno za vzvratno vožnjo. Primer menjalnika s petimi prestavami je prikazan na sliki 1 [3].



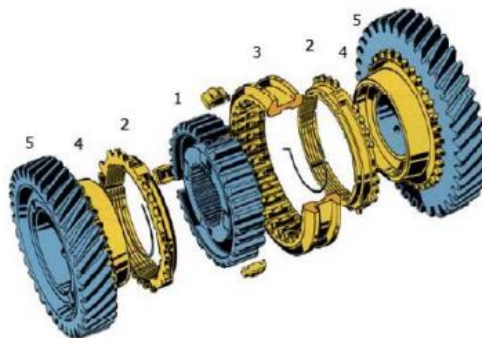
Slika 1: Razporeditev zobnikov in gredi v tipičnem petstopenjskem menjalniku, [3].

Nasprotni zobniki so običajno nameščeni v spodnjem delu ohišja menjalnika in so v stalnem stiku z vhodnimi zobniki. Na nasprotni gredi je več zobnikov različnih velikosti, ki se vrtijo kot enovit sklop. Običajno se sklop nasprotnega zobnika vrti na nasprotni gredi z več vrstami valjčnih igličnih ležajev. Hitrostni zobniki so nameščeni na glavni gredi. Ti zobniki niso pritrjeni na glavno gred vendar se prosto vrtijo. Nenehno so v medsebojnem stiku z nasprotnimi zobniki, ki jih obračajo. Za vzvratno vožnjo je med zobnikoma na obeh gredih nameščen prosti zobnik, ki povzroči, da glavna gred spremeni smer vrtenja. Vzvrtna prestava običajno ni sinhronizirana [1].

Delovanje sinhronizatorja

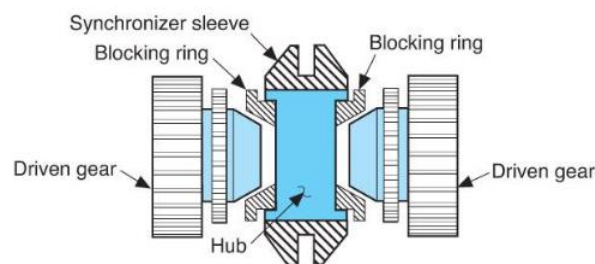
Sinhronizator je mehanski del menjalnika. Njegov namen je zagotoviti, da je hitrost vklopljenega zobnika enaka hitrosti sinhronizacijskega pesta (pritrjenega na izhodno gred). Za sinhronizacijo zobnika in pesta se uporabljajo torni stožci [4]. Sinhronizacijski sestav običajno vključuje (1) pesto sinhronizatorja, (2) obroč sinhronizatorja, (3) sinhronizacijski tulec, (4)

zobnik s stožcem, (5) pogonski zobnik, kot je prikazano na sliki 2.



Slika 2: Sestav sinhronizatorja, [2].

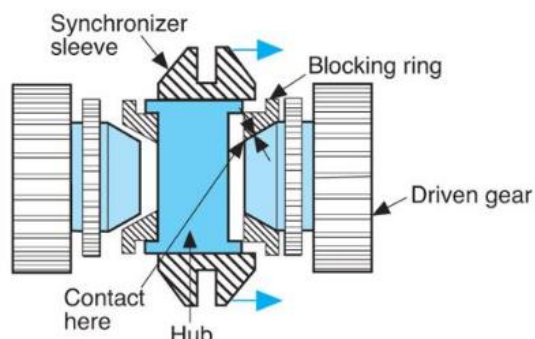
Pesto sinhronizatorja je pritrjeno na gred menjalnika. Sinhronizacijski obroč zagotavlja, da je med prestavljanjem hitrost vrtenja med sinhronizacijskim tulcem in pogonskim zobnikom enaka [2]. Ko je menjalnik v nevtralnem položaju (Slika 3), so sinhronizatorji v nevtralnem položaju in se ne vrtijo skupaj z glavno gredjo. Zobniki glavne gredi so povezani z nasprotnimi zobniki in se vrtijo skupaj z nasprotno gredjo. Vendar se na glavni gredi prosto vrtijo z različnimi hitrostmi in ne povzročajo vrtenja gredi, ker z njo niso povezani.



Slika 3: Blok sinhronizator v naravnem položaju, [5].

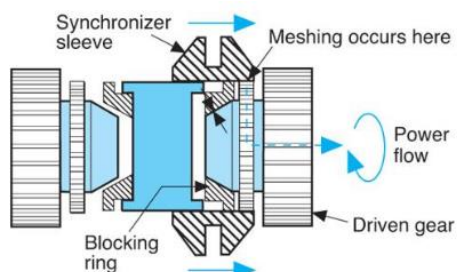
Ko izberete prestavo, prestavna vilica potisne sinhronizacijski tulec (synchronizer sleeve) proti izbrani prestavi. Ob premikanju tulca se premikajo tudi vložki, saj so zaklenjeni v notranjem utoru tulca. Zaradi gibanja vložkov se blokirni obroč (blocking ring) dotakne stožca pogonskega zobnika (driven gear). Ob tem stiku utori na stožcu blokirnega obroča prerežejo plast maziva na zobniku. Če film ni prerezan z utori, sinhronizacija ni mogoča. Z

uničenjem filma pride do stika kovine s kovino, kar sproži sinhronizacijo hitrosti obeh delov (Slika 4). Posledično trenje med njima pripelje stožec zobnika do hitrosti blokirnega obroča.



Slika 4: Prvi stik blokirnega obroča s stožcem zobnika, [5].

Ko sestavni deli dosežejo enako hitrost, blokirni obroč sinhronizatorja prepreči, da bi prišlo do stika sinhronizacijskega tulca in pogonskega zobnika. Ko se hitrosti gredi izenačijo, blokirni obroč popusti in omogoči sinhronizacijskemu tulcu, da se zaskoči za zobe pogonskega zobnika (Slika 5). S tem je sinhronizator dokončno vpet; zobnik je zdaj zaklenjen na glavno gred.



Slika 2: Premik prestavne objemke zaklene zobnik na sinhronizacijsko pesto, [5].

Moč zdaj teče, od vhodnega zobnika do nasprotnega zobnika in nazaj do pogonskega zobnika, ki se nahaja ob sinhronizatorju. Moč nato teče iz zobnika skozi blokirne zobe v tulec, nato v pesto in nazadnje na glavno gred [5].

Čas sinhronizacije

Za izračun časa sinhronizacije predpostavimo, da so med prestavljanjem navor gnane gredi,

navor upora in navor sinhronizatorja konstantni.

Tabela 1: Notacija

D	Efektivni premer pogonskega kolesa
I_c	Vztrajnostni moment delov med sklopko motorja in vhodnim sinhronizatorjem
I_r	Vztrajnostni moment delov med izhodnim sinhronizatorjem in podlago
I_v	Vztrajnostni moment vozila in vseh vrtečih se delov med izhodnim sinhronizatorjem in podlago
R	Skupno redukcijsko razmerje izhodnega sinhronizatorja in kolesa avtomobila
r	Razmerje začetnih hitrosti vhodnega in izhodnega sinhronizatorja
T_d	Vlečni navor v glavni sklopki in sodelujočih delih
T_s	Navor v sinhronizatorju
T_v	Uporni navor zaradi kotaljenja, nagibov in drugih dejavnikov
t	čas
t_0	Čas stika do sinhronizacije
W	Teža vozila
ϕ	Kot zasuka na izhodni strani sinhronizatorja
ρ	Skupni zunanji upor pri gibanju, vključno s kotaljenjem upora, nagiba in neučinkovitosti, izražen kot delež mase vozila.
ω	Začetna kotna hitrost izhodne strani sinhronizatorja

Osnovne enačbe

Na vhodni strani sinhronizatorja:

$$I_c \frac{d^2 \phi}{dt^2} = \mp T_s - T_d \quad (1)$$

Podobno na izhodni strani:

$$I_v \frac{d^2 \theta}{dt^2} = \pm T_s - T_v \quad (2)$$

Upoštevajmo da velja:

$$T_v = \frac{\rho WD}{2R}, I_v = \frac{WD^2}{4gR^2} + I_r$$

Upoštevamo, da se navori ne spreminjajo s časom. Integriramo zgornji enačbi in dobimo:

$$I_c \phi = (\mp T_s - T_d)t + A \quad (3)$$

$$I_c \dot{\theta} = (\mp T_s - T_d)t + A \quad (4)$$

Integracijski konstanti A in B določimo iz začetnih pogojev:

$$\dot{\theta} = \omega \text{ in } \phi = r\omega$$

Sledi

$$A = I_c r \omega \text{ in } B = I_v \omega \quad (5)$$

Poleg tega v času $t = t_0$, $\phi = \dot{\theta}$, od koder:

$$\frac{(\pm T_s - T_v)}{I_v} + \frac{\omega}{t_0} = \frac{(\mp T_s - T_d)}{I_c} + \frac{r\omega}{t_0} \quad (6)$$

Iz zgornje enačbe izpostavimo T_s :

$$\pm T_s = \frac{\omega I_v I_c (r - 1)}{(I_v + I_c) t_0} + \frac{T_v I_c - T_d I_v}{I_v + I_c} \quad (7)$$

Pri prestavljanju iz prestave n v prestavo $(n + 1)$ – prestavljanje navzgor, je razmerje r večje od 1. Pri prestavljanju iz prestave $(n + 1)$ v prestavo n – prestavljanje navzdol, je razmerje r manjše od 1.

Velja povezava:

$$[r_n \rightarrow n + 1][r_{n+1} \rightarrow n] = 1$$

Iz enačbe (6) izpostavimo sinhronizacijski čas t_0 :

$$t_0 = \frac{\omega I_v I_c (r - 1)}{\pm T_s (I_v + I_c) - T_v I_c + T_d I_v} \quad (8)$$

Izpeljali smo enačbo za izračun časa sinhronizacije [6].

Izkoristek menjalnika

Razlika med vhodno in izhodno močjo je izguba moči pri delovanju menjalnika, ki se pretvori v druge izgube energije. Izguba moči je neposredno povezana z vrednostjo učinkovitosti menjalnika. V glavnem vključuje izgubo moči zobnikov P_m (kW), izgubo moči zaradi trenja ležajev P_b (kW), izgubo energije olja pri vrtenju P_c (kW) in izgub energije tesnila menjalnika P_y (kW). Zato je izkoristek menjalnika razmerje med vrednostjo razlike med skupno vhodno močjo in skupno izgubljenno močjo. Formula za izračun izkoristka:

$$\eta = 1 - \frac{P_m + P_c + P_b + P_y}{P} \quad (9)$$

P je skupna vhodna moč. Izguba moči pri zobniškem stiku je posledica drsnega in kotalnega trenja med zobniki. Izguba moči oljnega tesnjenja izhaja predvsem iz izgube trenja med gredjo in tesnili [3].

Reference

- [1] J. Erjavec, "Manual Transmissions," in *Manual Transmissions*, Thomson/Delmar Learning, 2003, pp. 265–277.
- [2] Z. Gong, W. Zhang, G. Chen, and W. Wang, "Analyses and evaluation on synchronizer of manual transmission," in *Proceedings - 2008 Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application, PACIIA 2008*, 2008, vol. 1, pp. 842–845. doi: 10.1109/PACIIA.2008.121.
- [3] S. Yan, G. Li, S. Tian, and Q. Zheng, "Research on the relationship between transmission efficiency and input torque of manual transmission," *Mechanics and Industry*, vol. 20, no. 6, 2019, doi: 10.1051/meca/2019046.
- [4] P. Datta and E. Cort, "Related papers A Method to Optimize Brass Type Single Synchronizer Ring for Manual Gearbox Prakash Chandrasekaran Dynamic and Analytical Analysis of the Synchroniser for a Direct Shift Gearbox Saurabh Sast e Control-Oriented Models for Real-Time Simulation of Automatic Transmission Systems." [Online]. Available: http://www.rspublication.com/ijeted/ijeted_index.htm
- [5] R. J. Socin and L. K. Walters, "Manual Transmission Synchronizers," 1968. [Online]. Available: <https://www.jstor.org/stable/44565046>
- [6] E. M'ewen, A. (M. I. Eng, and E. Mech, "The Theory of Gear-changing."