
Súčasný stav prevodoviek s nastaviteľným prevodovým pomerom pri elektrickom pohone

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Vladimír Samaš, Ing.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: vladimir.samas@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2557

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

Current State of Transmissions with Adjustable Gear Ratios in Electric Drives

Abstract: The scope of this article covers potential technologies for transmission mechanisms with variable gear ratios that can be applied to electric traction. A transmission with an adjustable gear ratio allows for the adaptation of the gear ratio according to usage conditions. By adjusting the gear ratio and consequently the traction forces, we can enhance driving parameters, e.g. improved both efficiency and range. The paper theoretically examines various transmissions with variable gear ratios and compares their parameters in the context of electric drives.

Keywords: electric traction, transmission, traction force.

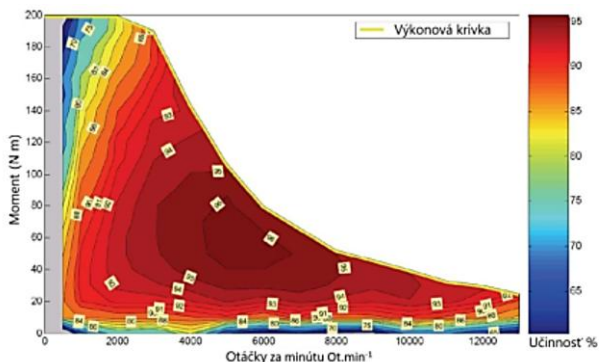
ÚVOD

Elektrická trakcia je často používaná a v súčasnosti sa aplikuje do elektrických a hybridných vozidiel. Súčasťou tejto trakcie je prevod, ktorý sa najčastejšie používa v konštantnom prevedení. Z pohľadu koncepcie je možné využiť prevodový mechanizmus s nastaviteľným prevodovým pomerom, označovaný ako prevodovka. Existuje viacero druhov prevodoviek, ktoré je možné použiť pri elektrickej trakcii. Využitie prevodovky pri elektrickej trakcii prináša množstvo výhod, ako je napríklad lepšia účinnosť v určitých režimoch, vyššia maximálna rýchlosť a väčšia trakčná sila.

Tento článok prináša teoretický pohľad na problematiku prevodových mechanizmov s nastaviteľným prevodovým pomerom pri elektrickom pohone. Základnou časťou je rozdelenie prevodoviek, ktoré sa môžu použiť pri elektrickej trakcii a ich porovnanie.

1 RIEŠENÁ PROBLEMATIKA APLIKÁCIE PREVODOVIEK DO ELEKTRICKEJ TRAKCIE

V súčasnosti sa elektrické vozidlá používajú v stále väčšom množstve a ich parametre sa neustále zlepšujú. Je evidentné, že ich vývoj bude pokračovať, pričom sa bude zvyšovať aj ich využitie a integrácia do dopravy. V súčasnosti sú najčastejšie vybavené stálym prevodovým pomerom medzi motorom a kolesami. Výrobcovia preto musia nastaviť presný prevodový pomer, ktorý musí byť schopný pokrývať rôzne typy používania vozidla. Toto riešenie je možné predovšetkým vďaka výkonovej charakteristike elektrických motorov (obr. 1), ktoré poskytujú maximálny krútiaci moment už pri veľmi nízkych otáčkach. Avšak tento prístup nie je ideálny, pretože obmedzuje maximálnu rýchlosť vozidla, znižuje účinnosť pri vyšších a nižších rýchlostiach a vyžaduje používanie veľmi výkonných motorov.



Obr. 1. Účinnosť charakteristika elektromotora

Na základe charakteristiky variabilnej účinnosti elektrických motorov, ako je zobrazené na obr. 1, vyplýva, že existuje optimálny režim, v ktorom motor dosahuje maximálnu účinnosť. Preto je dôležité udržiavať motor v čo najbližšom rozmedzí tohto optimálneho režimu, aj keď sa mení rýchlosť vozidla. Ak to nie je možné, je potrebné sa pohybovať v intervale, kde je účinnosť čo najlepšia. Účinnosť pri nízkych otáčkach je zvyčajne podpriemerná, preto je z hľadiska dojazdu dôležité udržiavať minimálny otáčkový režim. Naopak, pri veľmi vysokých rýchlostiach je dojazd často horší, pretože účinnosť klesá s rastúcou rýchlosťou. Tento jav je spôsobený indukovaným magnetickým poľom v elektromagnetoch, ktoré pôsobí proti elektrickému prúdu [1].

Na riešenie týchto problémov sa dá použiť prevodový mechanizmus s variabilným pomerom, takzvaná prevodovka. Táto by mohla umožniť zlepšiť maximálnu rýchlosť a účinnosť pri vyšších rýchlostiach a tak isto nižších režimoch a umožniť používať slabší a tým pádom lacnejší motor. Tak isto by to mohlo mať vplyv na zosilnenie rekuperačného brzdzenia.

2 ROZDELENIE PREVODOVIEK

Prevodovky používané v doprave môžeme rozdeliť podľa spôsobu zmeny prevodového pomeru do dvoch hlavných skupín:

- stupňové,
- plynulé.

Riadenie môže byť vykonané tromi spôsobmi:

- priame riadenie,
- nepriame riadenie,
- samočinné riadenie.

Zmena krútiaceho momentu sa vykonáva:

- hydromechanicky,
- hydrostaticky,
- mechanicky,

- elektronicky.

Ďalšie rozdelenie je podľa prevodového typu, poznáme:

- reťazové,
- ozubené,
- remeňové,
- trecie,
- hydrodynamické,
- hydrostatické.

Každá technológia prevodovky má svoje špecifické výhody a nevýhody. Rôzne typy prevodoviek nachádzajú svoje využitie v závislosti od konkrétnych požiadaviek. V automobilovom priemysle sú najbežnejšie prevodovky s ozubenými kolesami, ktoré môžu byť manuálne alebo automatické. Variátorové prevodovky sú taktiež často používané v automobilovom priemysle, a to najmä kvôli ich schopnosti poskytovať plynulý a nepretržitý prevodový pomer.

3 PREVODOVKY S LINEÁRNOU ZMENOU PREVODOVÉHO POMERU

Prevodovky s lineárnou zmenou prevodového pomeru sú systematicky automatické prevodovky, ktoré prispôbujú svoj prevodový pomer aktuálnym trakčným požiadavkám. Tieto prevodovky majú široký prevodový rozsah, v rámci ktorého plynule menia pomer. Existuje viacero typov prevodoviek s lineárnou zmenou prevodového pomeru, ktoré sa využívajú v automobilovom priemysle ako sú guľové CVT, hydrostatické CVT, E-CVT, toroidné CVT, systém rozdelenia výkonu CVT, pásové CVT, reťazové CVT, guľové toroidné CVT, Milner CVT atď. [2].

3.1 CVT prevodovka

Štandardná prevodovka s nepretržitou zmenou prevodového pomeru, známa ako CVT (*Continuously Variable Transmission*), sa široko používa v automobilovom priemysle, a to nielen v automobiloch, ale aj v ľahkých motocykloch. Tento typ prevodovky je konštruovaný tak, že využíva kužeľové kolesá, ktoré umožňujú plynulú a lineárnu zmenu prevodového pomeru. Krútiaci moment je prenášaný pomocou pásu alebo reťaze, ktorá je súčasťou systému. CVT prevodovky sú vybavené ovládacím systémom, ktorý umožňuje presnú reguláciu prevodového pomeru v závislosti od aktuálnych jazdných podmienok. Tento typ prevodovky môže prispieť k zlepšeniu palivovej účinnosti vozidiel so spaľovacím motorom o približne 2,2 % [3]. Na obr. 2 je zobrazená schéma remeňovej prevodovky CVT.



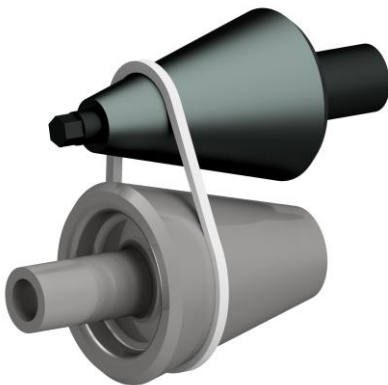
Obr. 2. Ilustrácia CVT prevodovky

3.2 E-CVT prevodovka

Elektrická prevodovka s lineárnou zmenou prevodového pomeru (*E-CVT*) predstavuje špeciálny druh prevodovky, ktorý využíva kombináciu generátora a elektrického motora na poskytovanie trakcie. Tento typ prevodovky je často používaný firmou Toyota v ich hybridných vozidlách. *E-CVT* sa vyznačuje tým, že trakciu zabezpečuje elektrický motor s konštantným prevodovým pomerom, a tým nerieši problematiku variabilného prevodového pomeru [4].

3.3 Kuželová variabilná prevodovka

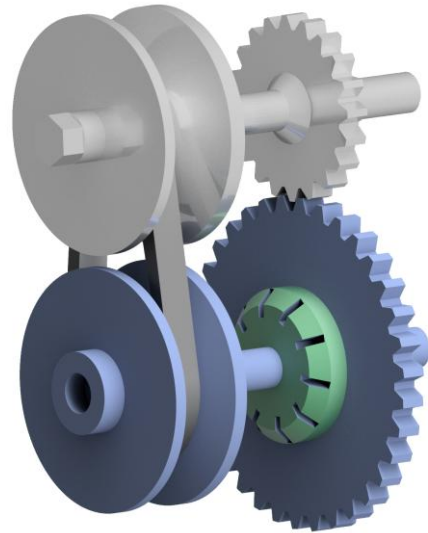
Kuželová variabilná prevodovka sa vyskytuje v rôznych koncepciách. Táto kategória prevodoviek zahŕňa všetky systémy, ktoré sa skladajú z jedného alebo viacerých kuželových telies, ktoré spolupracujú pozdĺž svojich príslušných osí na dosiahnutie požadovanej variácie. Najjednoduchší variant je jednokuželová variabilná prevodovka, ktorá využíva koleso pohybujúce sa pozdĺž sklonu kužela. Tento pohyb vytvára variáciu medzi úzkymi a širokými priermi kužela, čím mení prevodový pomer. Sofistikovanejší variant je dvojkuzelová prevodovka, ktorá je častejšie používaná a zobrazená na obr. 3 [5, 6].



Obr. 3. Ilustrácia kuželovej prevodovky

3.4 D-CVT prevodovka

D-CVT znamená *Dual Clutch Continuously Variable Transmission*. Je to typ automatickej prevodovky (obr. 4), ktorý kombinuje výhody plynulej variabilnej prevodovky (*CVT*) a dvojspojčkovej prevodovky (*DCT*). *D-CVT* využíva *CVT* na nepretržité prispôsobovanie prevodového pomeru, zatiaľ čo dvojspojčkový systém zabezpečuje rýchle zaradenie prevodového stupňa. Tento systém umožňuje dosiahnuť vysokú účinnosť v rámci prevodového rozsahu a zároveň zabezpečuje plynulé prispôsobovanie prevodového pomeru nad alebo pod prevodovým pomerom ozubeného kolesa.



Obr. 4. Ilustrácia *D-CVT* prevodovky

4 PREVODOVKY S STUPŇOVITOU ZMENOU PREVODOVÉHO POMERU

Prevodovky so stupňovitou zmenou prevodového pomeru sa častejšie používajú v automobilovom priemysle ako prevodovky s lineárnou zmenou prevodového pomeru. Tieto prevodovky sa vyznačujú stupňovitou zmenou prevodového pomeru, ktorá je určená radov vyvolených čísiel [7]. Prevodovky s nastaviteľným stupňovým prevodom sa používajú ako automatické, tak manuálne. Vzhľadom na zachovanie jednoduchosti ovládania elektrickej trakcie sa v tomto článku zameriavame iba na automatické prevodovky.

4.1 Planétová automatická stupňová prevodovka

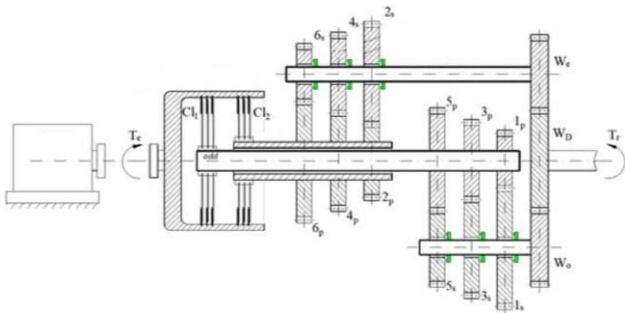
Planétová automatická prevodovka pozostáva z viacerých planétových sústav ozubených kolies, ktoré umožňujú plynulú zmenu prevodových stupňov. Tieto prevodové stupne sa aktivujú pomocou spojok, ktoré riadia postupné prispôbenie prevodového pomeru. Vďaka svojej kompaktnej konštrukcii a vysokej efektívnosti je tento typ prevodovky veľmi populárny v moderných automobiloch. Jednou z

nevýhod je však zložitosť samotnej koncepcie, ktorá si vyžaduje použitie väčšieho počtu spojok a komponentov. To môže znižovať účinnosť najmä počas prechodu medzi prevodovými stupňami, keď sa viaceré spojky aktivujú alebo uvoľňujú, čo môže viesť k vyšším stratám energie a väčšiemu opotrebeniu systému [8].

4.2 Dvojspojková automatická prevodovka

Dvojspojková prevodovka je typ automatickej prevodovky (obr. 5), ktorá využíva dve spojky na plynulejšie a rýchlejšie radenie prevodových stupňov. Tieto spojky pracujú striedavo - jedna ovláda párne prevodové stupne (2, 4, 6 atď.) a druhá nepárne (1, 3, 5 atď.), čo umožňuje rýchlu zmenu prevodov bez prerušenia prenosu výkonu.

Výhodou dvojspojkovkej prevodovky je, že poskytuje efektívnejší prenos výkonu a zvyšuje plynulosť jazdy, čím kombinuje komfort automatickej prevodovky s rýchlosťou a účinnosťou manuálneho radenia. Je obľúbená v športových aj bežných automobiloch, pretože zlepšuje akceleráciu a znižuje spotrebu paliva, resp. má lepšiu účinnosť [9].



Obr. 5. Schéma dvojspojkovkej prevodovky

4.3 Elektronicky riadená prevodovka

Elektronicky riadená prevodovka je typ prevodovky, ktorá využíva elektronický systém na ovládanie prevodových stupňov mechanickej (manuálnej) prevodovky. Hoci je jej rýchlosť radenia o niečo pomalšia ako pri plne automatických prevodovkách, zachováva vysokú účinnosť manuálnej ozubenej prevodovky.

5 POROVNANIE PREVODOVIEK S NASTAVITEĽNÝM POMEROM PRI ELEKTRICKEJ TRAKCII

Elektrická trakcia v automobilovom priemysle je zameraná na dosiahnutie vysokej účinnosti, aby obmedzený dojazd spôsobený kapacitou batérie bol čo najväčší. Pre hybridné vozidlá je účinnosť kľúčová z hľadiska emisných noriem, ktoré musia byť splnené. Účinnosť je preto základným parametrom pri porovnávaní prevodoviek.

Prevodovky s lineárnou zmenou prevodového pomeru ktorých účinnosť je horšia nie sú ideálne pre

elektrickú treciu. Na rozdiel od prevodoviek s stupňovitou zmenou prevodového pomeru ktoré majú vyššiu účinnosť. Prevodovky typu *D-CVT* predstavujú jednu z možných variantov.

6 UPLATNENIE V KOĽAJOVEJ DOPRAVE

V koľajovej doprave sa pri elektrickej trakkii štandardne používa stáli prevod. Tento systém je prispôbený vysokým ťažným silám pôsobiacim na hnané dvojkolesia, pričom na vyvolanie týchto síl je potrebný vysoký moment vytváraný elektrickým motorom. Vysoký moment však spôsobuje, že motory často pracujú mimo svojich optimálnych prevádzkových bodov [1], a preto môže prevodový mechanizmus s nastaviteľným prevodovým pomerom priniesť významné výhody. V koľajovej doprave nie je z technologických dôvodov možné uplatniť prevodovky s lineárnou zmenou prevodového pomeru, a preto sú vhodné dvojestupňové prevodovky s ozubenými kolesami, ktoré môžu mať priame alebo šikmé zuby.

ZÁVER

Článok sa zaoberá využitím prevodového mechanizmu s nastaviteľným prevodovým pomerom v elektrických vozidlách, so zameraním na automobilový sektor a koľajovú dopravu. Predstavuje základné druhy automatických prevodoviek, ktoré je možné implementovať do elektrických automobilov, pričom sú rozdelené na prevodovky s lineárnou a stupňovitou zmenou prevodového pomeru. V článku sú následne podrobne uvedené výhody a nevýhody jednotlivých typov prevodových mechanizmov a na záver je vykonané ich vzájomné porovnanie.

Pod'akovanie

„Táto práca vznikla vďaka podpore projektu KEGA 031ŽU-4/2023: Rozvoj kľúčových kompetencií absolventa študijného program Vozidlá a motory.“

LITERATÚRA

- [1] MALICK K. - HLIQUI S. - CHENG Z. - BELHADI M. (2018): *Etat de l'art des topologies de machines électriques utilisées dans les véhicules électriques et hybrides*. 3ème Symposium de Génie Electrique (SGE), Université de Lorraine, hal-02981853. [Online]. Dostupné na internete: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02981853/document>
- [2] OLYAEI, A. (2019): *Novel continuously variable transmission mechanism*. SN Applied Sciences. [Online]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1081-4>
- [3] XIAO, F. - HU, J. - PENG, H. - ZHAO, W. (2022): *CVT discrete speed ratio optimizations based*

on energy efficiency for PHEV. [Online]. Dostupné na internete:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016821006402?via%3Dihub>

[4] CHUNG, C. - WU, C. - HUNG, Y. (2018): *Effects of Electric Circulation on the Energy Efficiency of the Power Split e-CVT Hybrid Systems*. Department of Vehicle Engineering, National Formosa University, Yunlin 63201. [Online]. Dostupné na internete: www.mdpi.com/journal/energies

[5] SUTAR, S. - MARKAD, M. - ILAG, A. - NISHANT, S. - BHOLSE, S. (2021): *Continuously variable transmission (CVT) Cone type*. Dept Mechanical Engineering, ISB&M School of Technology. [Online], Dostupné na internete: www.ijaresm.com

[6] SRINATH, N. (2015): *Cone Type CVT with High Speed Variations*. Puduvoyal, Thiruvallur, Tamil Nadu. 601206 ISSN 2229-5518.

[7] BLATNICKÝ, M. (2015): *Dopravné a manipulačné zariadenia, riešene príklady*. Žilinská univerzita v Žiline, ISBN 978-80-554-1039-5.

[8] RAJPUT, D. - HERREROS, J. - SCHAUB, J. - DIZQAH, A. (2021): *Electrified Powertrain with Multiple Planetary Gears and Corresponding Energy Management Strategy*. [Online], Dostupné na internete: <https://doi.org/10.3390/vehicles3030021>

[9] BRANCATI, R. - PAGANO, S. - ROCCA, E. (2023): *Dynamic Behaviour of an Automotive Dual Clutch Transmission during Gear Shift Maneuvers*. [Online], Dostupné na internete: <https://doi.org/10.3390/app13084828>