

Ideálne a skutočné sily na kolesách automobilu

Matej Juraj · Elektrotechnika

01.04.2013



Nasledujúci príspevok pojednáva o ideálnych priebehoch krútiacich momentov a výkonov hnacieho motora a skutočných priebehoch spaľovacieho motora. V článku je vysvetlené použitie viacstupňovej prevodovky v automobile z hľadiska priblíženia priebehov skutočných hnacích síl k ideálnym hnacím silám na pohon automobilu rovnako aj priblíženie skutočných priebehov výkonu od spaľovacieho motora k ideálnemu priebehu.

Úvod

Napriek rozšírenému využitiu spaľovacieho motora na pohon automobilov, spaľovací motor nemá priaznivý priebeh krútiaceho momentu a teda aj výkonu na pohon automobilu. Priam ideálne priebehy krútiaceho momentu a výkonu má elektromotor, ktorý má však problém presadiť sa v automobilovom priemysle ako pohonná jednotka z iných dôvodov, predovšetkým s dôvodu nevybudovanej infraštruktúry, kapacity a času dobitia akumulátorov. Spaľovací motor, aj keď nemá vhodnú charakteristiku na pohon automobilu, dokáže pracovať na rôzne palivá, ktoré sa môžu rýchlo a bezpečne uskladniť a s ktorými automobil dosahuje niekoľko stokilometrové dojazdy, čo ho predurčuje na pohon automobilov.

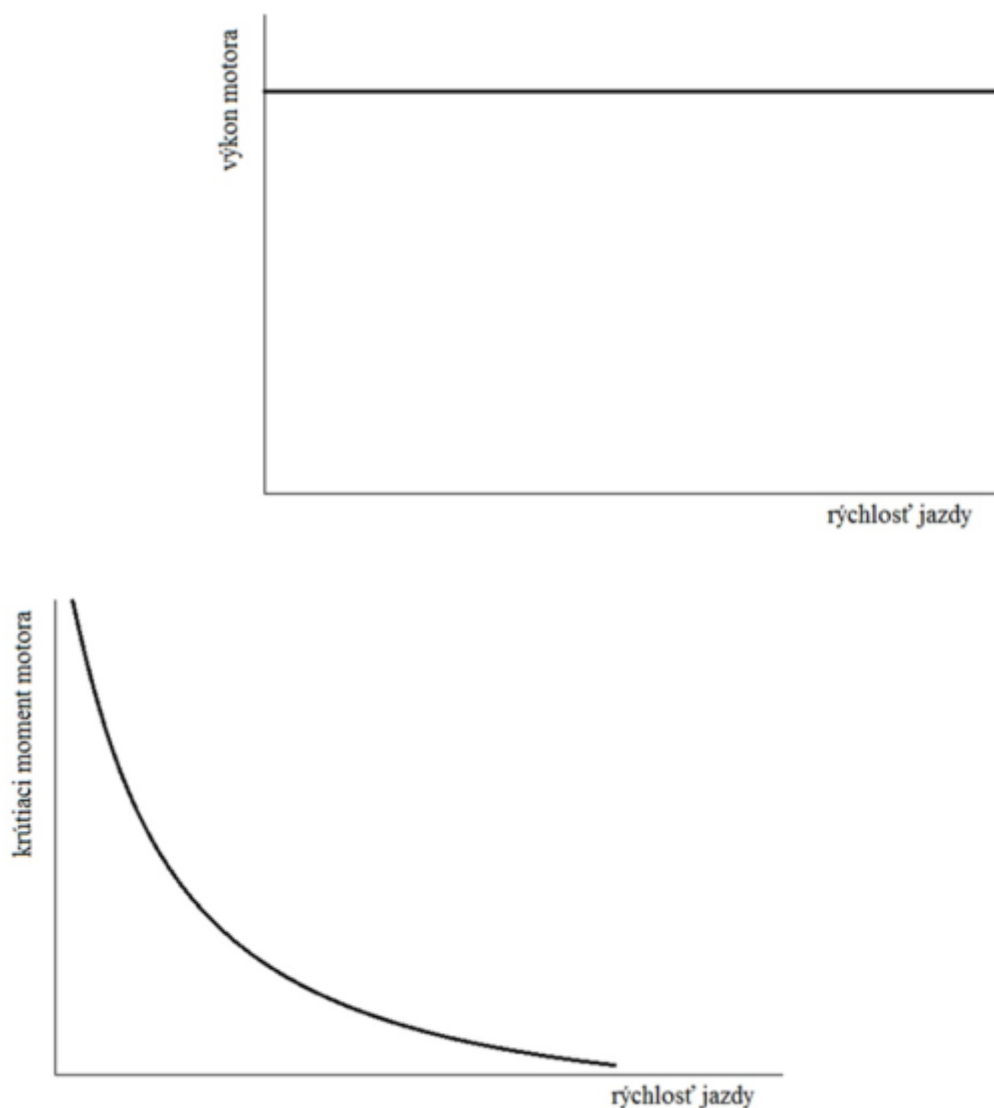
Jeho nepriaznivé priebehy krútiaceho momentu a výkonu sa dajú optimalizovať použitím vhodného prevodového mechanizmu, ktorý dokáže nepriaznivý krútiaci moment spaľovacieho motora pretransformovať vo viacstupňovej prevodovke na priaznivejšie hodnoty a priebehy približujúce sa k ideálnym priebehom. Použitím viacstupňových prevodoviek sa hnacie sily na kolesách približujú ideálnej hnacej sile. Využívaním ideálnych hnacích síl sa zvyšuje komfort jazdy ako aj znižuje spotreba paliva automobilu. Čím viac prevodových stupňov má prevodovka, tým sme bližšie k ideálnej hnacej sile na hnacích kolesách.

Všimnime si, ako sa so zvyšovaním požiadaviek na jazdné vlastnosti automobilov a spotrebu paliva a produkciu emisií zvyšuje počet prevodových stupňov. V čase, keď sa nedbalo na spotrebu paliva sa vyskytovali automobily s prevodovkami iba s tromi prevodovými stupňami. Neskôr sa stalo štandardom použitie štyroch prevodových stupňov. So zvyšovaním požiadaviek na spotrebu paliva a s ňou spojené emisie sa zavádzali do prevádzky päťstupňové prevodovky, aby sa lepšie využila charakteristika spaľovacieho motora a sily na kolesách sa viac priblížili k ideálnym. V dnešnej dobe nie je výnimočné použitie šesť stupňových manuálnych prevodoviek a sedem, osem, ale aj

deväť stupňových automatických prevodoviek v osobných automobiloch.

1. Ideálny priebeh výkonu a krútiaceho momentu

Krútiaci moment a výkon sú fyzikálne veličiny, ktoré sú na sebe závislé. Priebeh výkonu ovplyvňuje priebeh krútiaceho momentu a naopak. Za ideálny priebeh výkonu na pohon automobilov by sme mohli považovať priebeh, ktorý je konštantný a s rýchlosťou jazdy sa nemení. Priebeh krútiaceho momentu k takémuto priebehu má hyperbolický priebeh. Na obr.1 je teda zobrazený ideálny priebeh výkonu a krútiaceho momentu, ktorý by mal mať hnací motor automobilu resp. ideálne priebehy, ktoré by mali byť na hnacích kolesách automobilu.

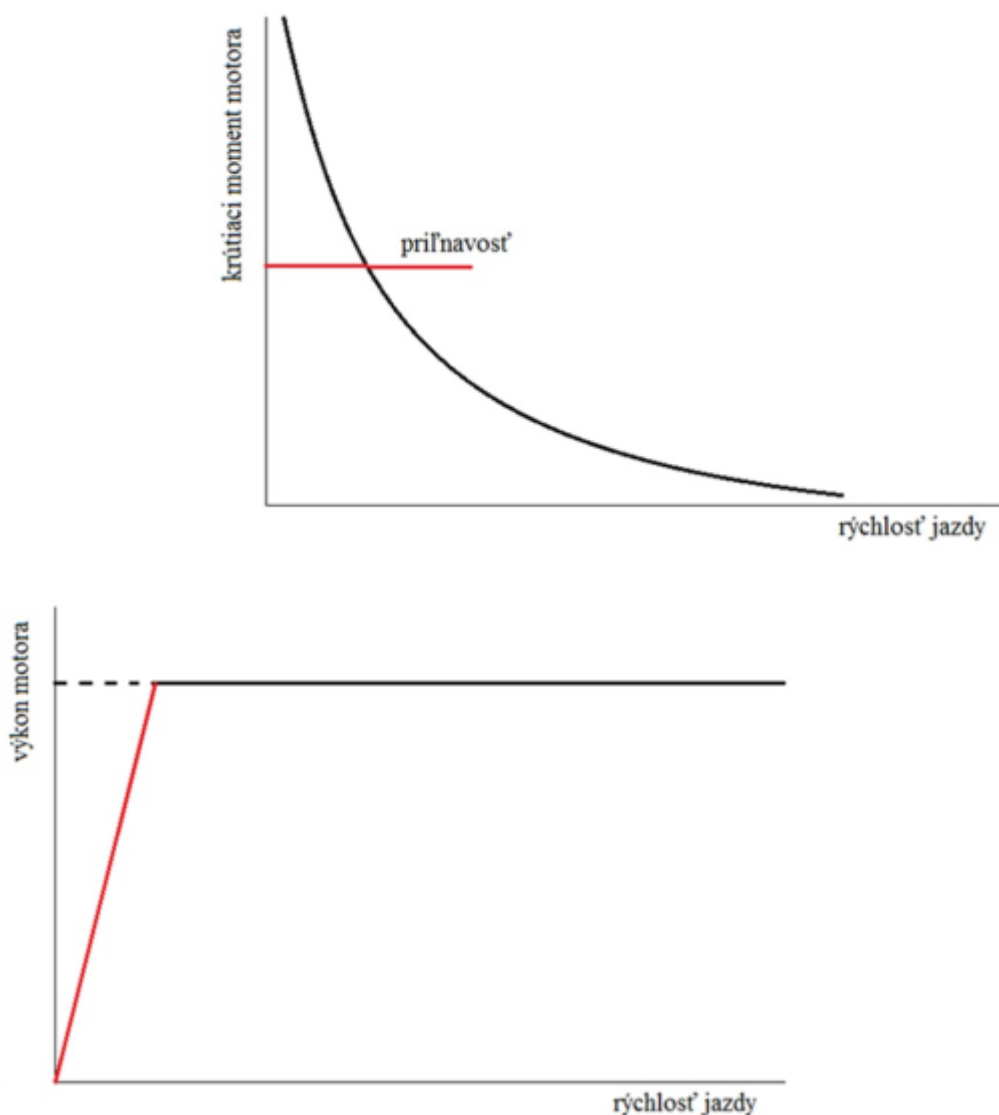


Obr.1 Ideálny priebeh výkonu a krútiaceho momentu pre pohon automobilu

Pri priebehu výkonu podľa obr.1 by krútiaci moment motora dosahoval nekonečnú hodnotu už pri nulovej rýchlosti. Takú veľkú silu, však nie sú pneumatiky schopné preniesť na cestu a už pri určitej hodnote prenášaného momentu by sa začali prešmykovať hnacie kolesá. Hnacie kolesá sú schopné preniesť na cestu iba obmedzenú silu, ktorá je daná vlastnosťami cesty, pneumatiky a zaťažujúcimi silami.

Maximálnu veľkosť krútiaceho momentu, ktorú pneumatiky dokážu preniesť na cestu sú obmedzené prilnavosťou. Na obr.2 je znázornené obmedzenie maximálneho

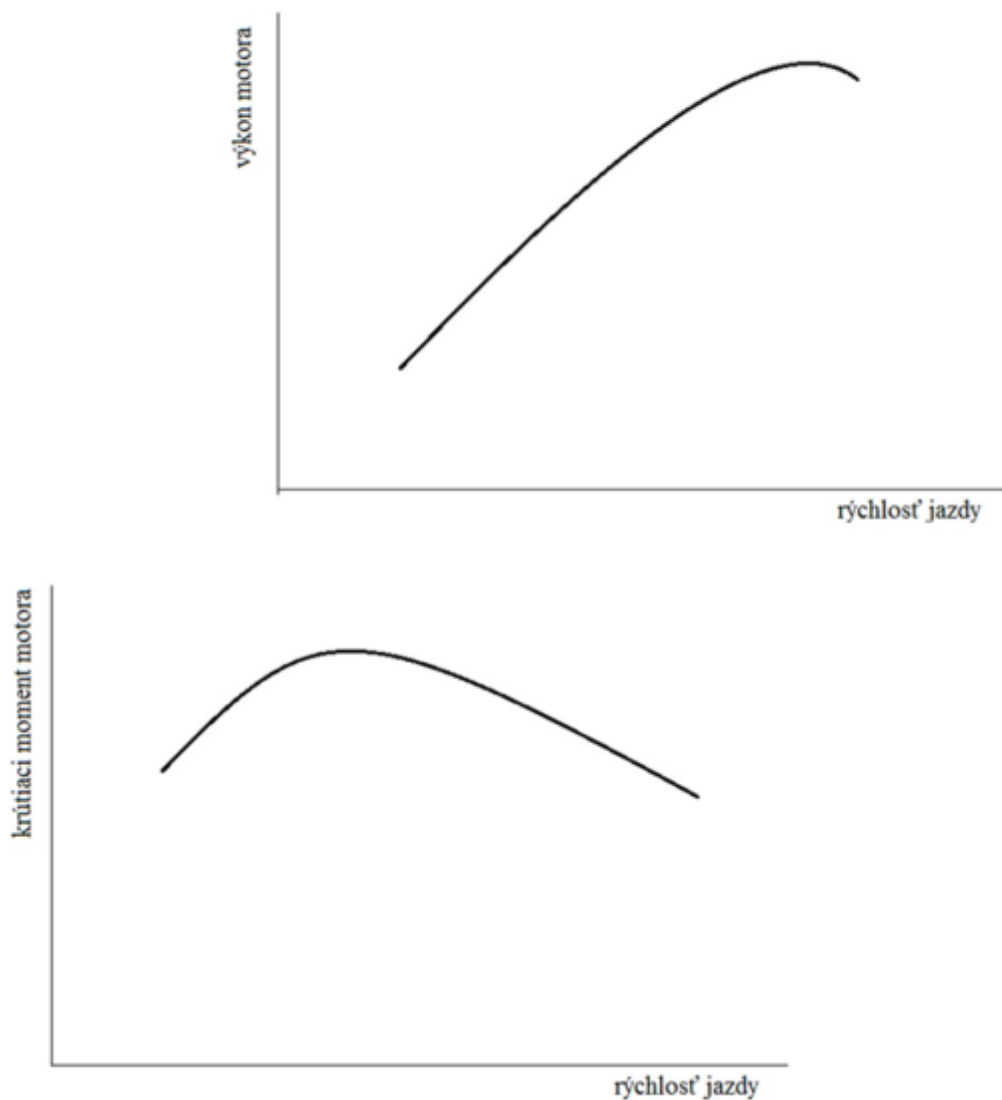
prenášaného momentu bez prešmyku pneumatík resp. na hranici šmyku. Pre túto zmenu v priebehu krútiaceho momentu sa zmení aj priebeh výkonu, ktorý je takisto zobrazený na obr.2. Na obr.2 sú znázornené maximálne priebehy krútiaceho momentu a výkonu, ktoré by bolo ideálne dosiahnuť na hnacích kolesách automobilu na hranici šmyku.



Obr.2 Ideálny priebeh krútiaceho momentu a výkonu, obmedzený priľnavosťou pneumatík

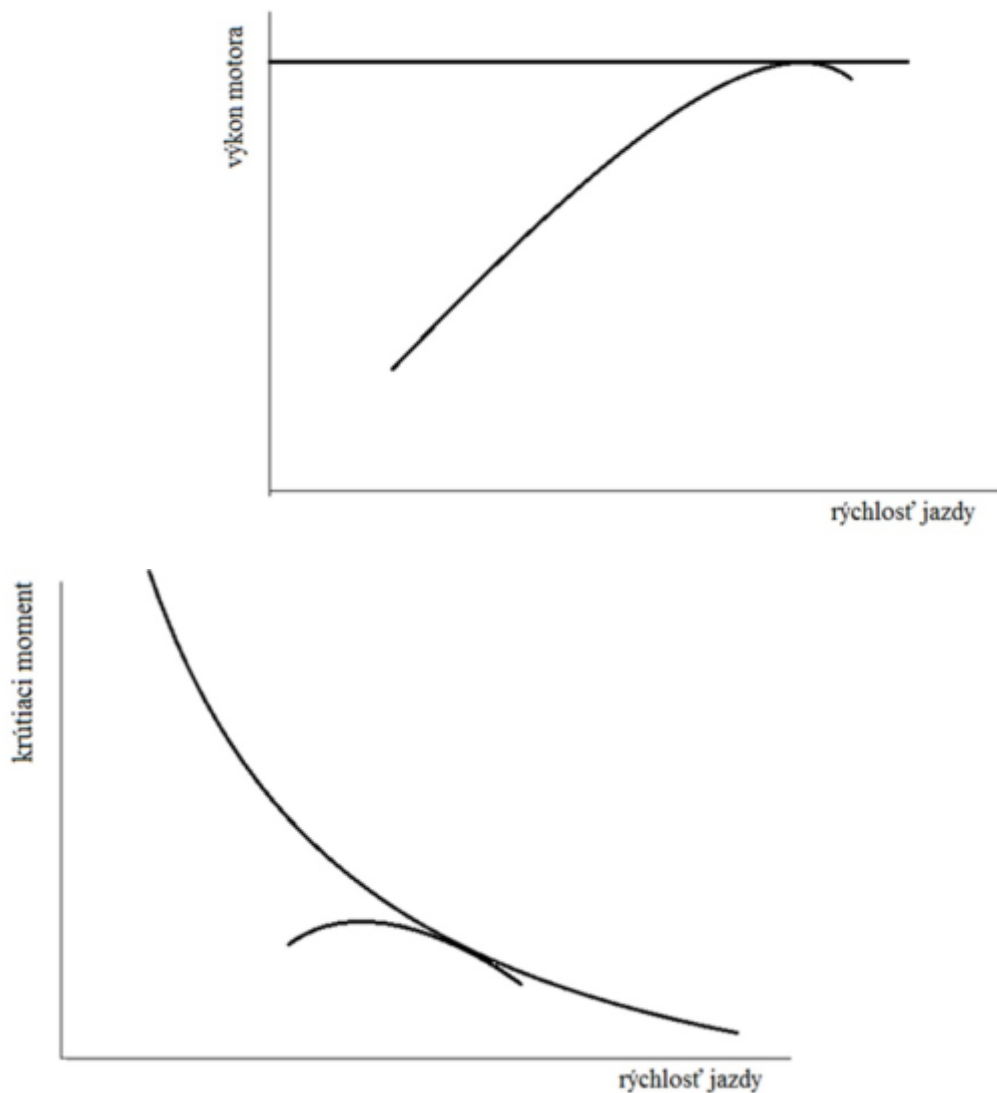
2. Skutočný priebeh výkonu a krútiaceho momentu spalovacieho motora

Priebeh výkonu a krútiaceho momentu spalovacieho motora je veľmi odlišný od ideálnych priebehov. Na obr. 3 vidíme skutočný priebeh výkonu a krútiaceho momentu spalovacieho motora. Ideálny priebeh výkonu by mal mať v závislosti od rýchlosti jazdy konštantný priebeh, skutočný priebeh však s rýchlosťou jazdy stúpa a ideálny priebeh krútiaceho momentu by mal mať hyperbolický priebeh, skutočný je však celkom odlišný od ideálneho.



Obr.3 Skutočný priebeh výkonu a krútiaceho momentu spaľovacieho motora

Ak si navzájom porovnáme ideálne a skutočné priebehy výkonov a krútiacich momentov vidíme, že priebehy sú veľmi odlišné, vid' obr.4. Na obr.4 je zobrazený ideálny a skutočný priebeh výkonu ako aj ideálny a skutočný priebeh krútiaceho momentu bez použitia viacstupňovej prevodovky. Ak by sme spaľovací motor v automobile využívali bez použitia viacstupňovej prevodovky, prevádzka automobilu by bola veľmi nekomfortná a neekonomická. Vidíme, že pri malých rýchlostiach je ideálne mať k dispozícii veľké krútiace momenty, čo by spaľovací motor bez spolupráce s prevodovkou nebol schopný dosiahnuť. Rovnako by bola veľká oblasť rýchlostí, ktoré by sa museli prekonávať pri preklze spojky a rozsah rýchlosti jazdy by bol veľmi obmedzený. Spaľovací motor by tak vyplňal iba malú oblasť z ideálnej charakteristiky.

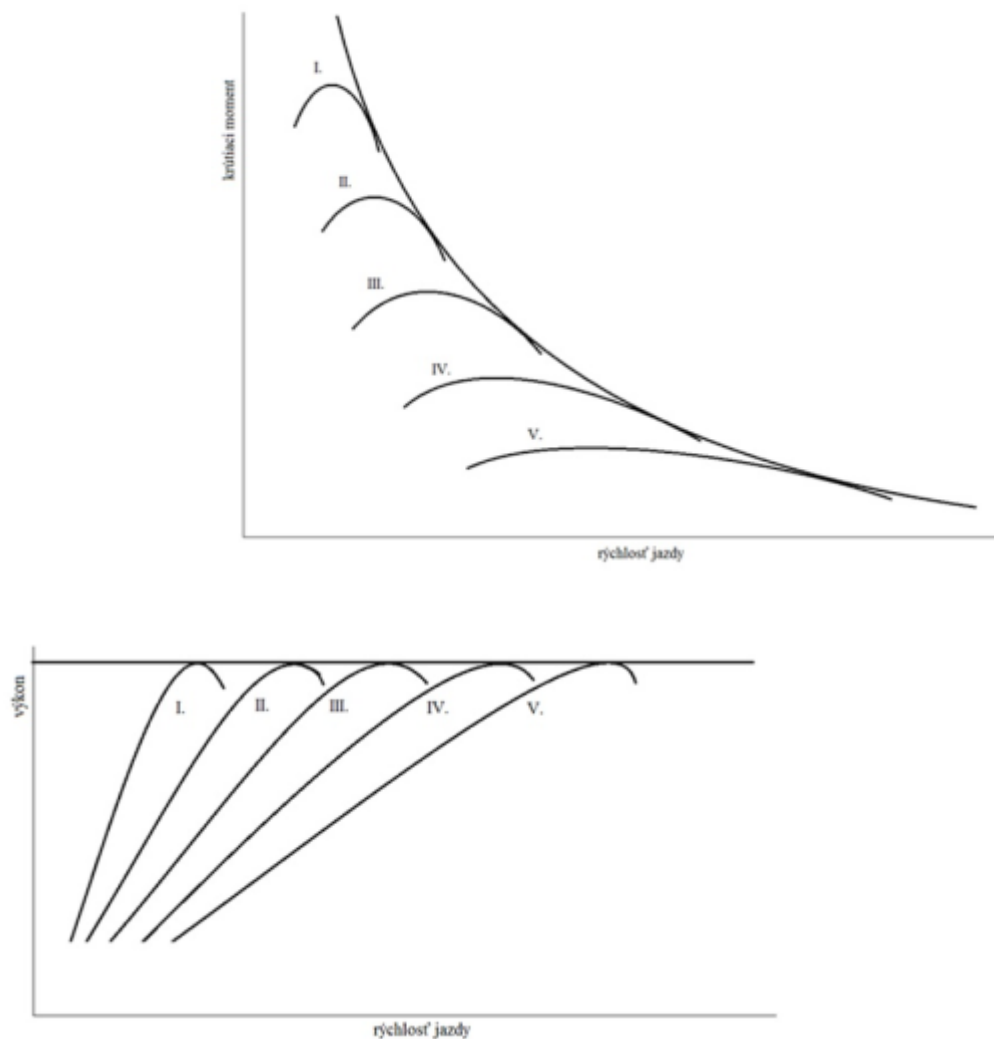


Obr.4 Ideálny a skutočný priebeh výkonu a krútiaceho momentu bez použitia prevodovky

3. Sily a výkony na hnacích kolesách automobilu

Z predchádzajúcich kapitol je zrejmé, že aby skutočný priebeh výkonu a krútiaceho momentu spaľovacieho motora z väčšej časti vyplňal oblasť ideálnej charakteristiky, je potrebné charakteristikou motora obsiahnuť väčší rozsah rýchlosti jazdy a zvýšiť krútiaci moment v nízkych rýchlostiach. Na to slúži spolupráca spaľovacieho motora s viacstupňovou prevodovkou. Prevodovka zvyšuje hodnoty krútiaceho momentu spaľovacieho motora a umožňuje rozšíriť rozsah rýchlosti jazdy. Na obr.5 je znázornená spolupráca spaľovacieho motora s päťstupňovou prevodovkou.

Na ľavej strane môžeme vidieť ako sa upravil priebeh krútiaceho momentu spaľovacieho motora pri použití jednotlivých prevodových stupňov. Rýchlosti, ktoré je potrebné prekonať preklzom v spojke sa znížili, krútiaci moment pri nízkych rýchlostiach sa zväčšil a so zvyšovaním rýchlosti jazdy klesá a lepšie tak využíva ideálnu oblasť krútiaceho momentu. Na pravej strane obr.5 je zobrazený priebeh výkonov na jednotlivých prevodových stupňoch a ideálny priebeh výkonu v závislosti od rýchlosti jazdy. Môžeme vidieť, že oblasť ideálneho výkonu je po použití viacstupňovej prevodovky taktiež obsiahnutá efektívnejšie.



Obr.5 Ideálny priebeh a skutočné priebehy výkonov a krútiacich momentov pri 5 stupňovej prevodovke

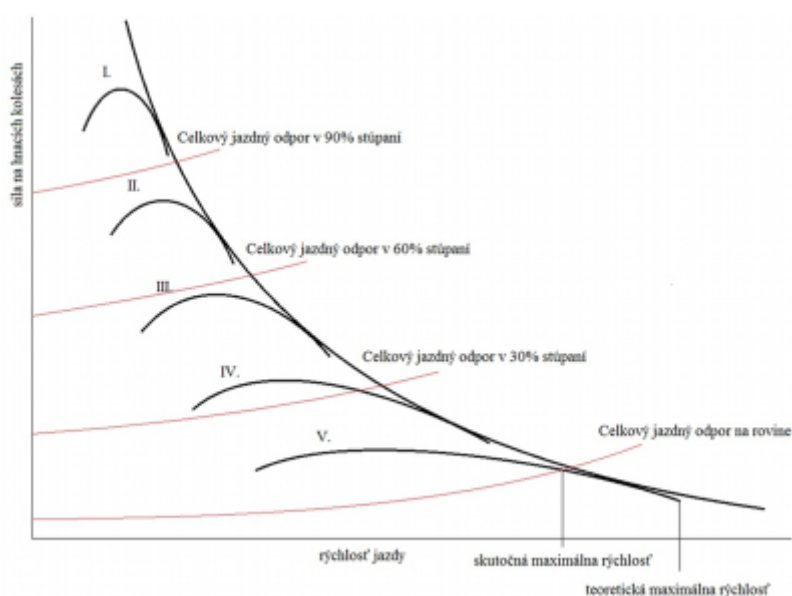
Všimnime si, že čím viac prevodových stupňov by sme použili v spolupráci spaľovacieho motora a prevodovky, tým lepšie by sme využili ideálnu oblasť krútiaceho momentu a výkonu. Optimálne by bolo, ak by spaľovací motor spolupracoval s prevodovým mechanizmom, ktorý nemá skokovú zmenu prevodového pomeru, ale plynulú. Tým by sme dokázali využiť priebehy krútiaceho momentu a výkonu spaľovacieho motora takmer v celej oblasti ideálnej charakteristiky. Túto možnosť ponúkajú toroidné, variátorové prevodovky a s časti automatické planétové prevodovky v spolupráci s hydrodynamickým meničom, ktorý tiež slúži ako prevodovka s plynulou zmenou prevodového pomeru.

Moderné prevodové mechanizmy tak z dôvodu využitia čo najširšej ideálnej oblasti využívajú čoraz vyšší počet prevodových stupňov. Pri manuálnych prevodovkách sa obvykle využíva 5-6 prevodových stupňov, viac by bežný vodič nevedel správne radiť a pri automatických prevodovkách až do 9 prevodových stupňov často v spolupráci s prevodovkou s plynulou zmenou prevodového pomeru (hydrodynamický menič krútiaceho momentu alebo variátorová prevodovka).

Na obr.6 je znázornená tzv. dynamická charakteristika automobilu. Je to závislosť síl na kolesách v závislosti od rýchlosti jazdy zo zakreslením celkového jazdného odporu pri ustálenej rýchlosti. Celkový jazdný odpor pri ustálenej rýchlosti sa skladá so síl,

ktoré musí automobil počas jazdy prekonávať. Celkový jazdný odpor v dynamickej charakteristike je tvorený odporom valenia pneumatík, odporom vzduchu a odporom stúpania cesty. Z dynamickej charakteristiky si tak vieme odčítať maximálne sily, ktoré máme k dispozícii na pohon automobilu na jednotlivých prevodových stupňoch.

Ak by sa sily na kolesách navzájom prekrižovali, vieme určiť správny okamih (otáčky motora) preradovania, aby sme dosiahli maximálne dynamické vlastnosti počas akcelerácie. Ak sa nekrižujú, na dosiahnutie maximálnej dynamiky jazdy je vhodné preradovať v maximálnych otáčkach motora. Vieme vyčítať maximálnu teoretickú aj skutočnú rýchlosť automobilu, ktorú by automobil dosiahol bez jazdných odporov, resp. ktorú dosiahne s jazdnými odpormi ako aj maximálnu stúpavosť automobilu. Pri určení maximálnej stúpavosti je však potrebné počítať s príľnavosťou pneumatík a skutočná sila, ktorú dokážu pneumatiky preniesť na cestu môže byť nižšia ako ponúka spaľovací motor v spolupráci s prevodovkou.



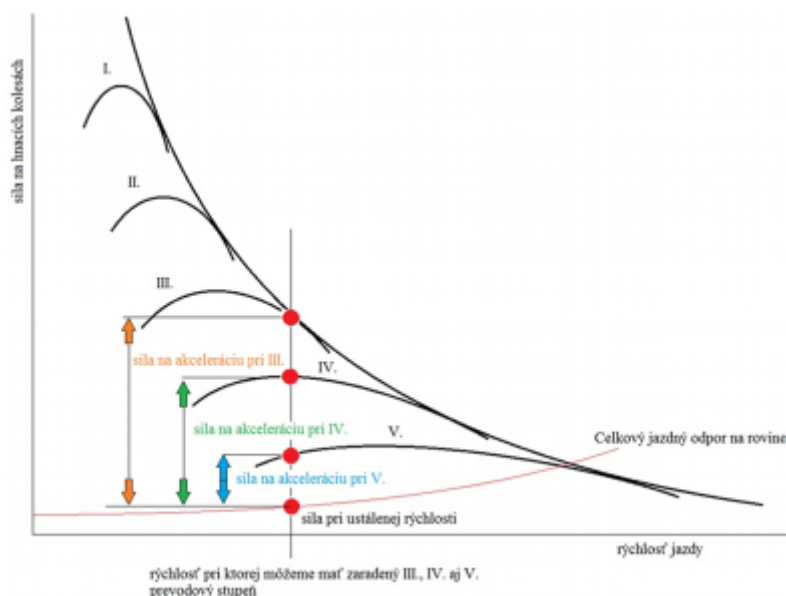
Obr.6 Dynamická charakteristika automobilu

Rozdiel medzi priebehom sily na kolesách pri konkrétnom prevodovom stupni a priebehom celkového jazdného odporu pri ustálenej rýchlosti je odpor zotrvačnosti automobilu. Jedná sa o silu na hnacích kolesách, ktorú máme k dispozícii pri zošliapnutí plynového pedálu na maximum, a ktorú môžeme využiť na akceleráciu. Bližšie to znázorňuje obr.7. Počas ustálenej jazdy, bez ohľadu na zaradený prevodový stupeň, sila na kolesách musí byť rovná jazdným odporom. Pri ustálenej jazde musí byť sila na hnacích kolesách totožná s odporom valenia pneumatík a s odporom vzduchu, príp. s odporom stúpania. V závislosti od toho, aký prevodový stupeň máme zaradený, takú máme k dispozícii rezervu sily (zotrvačný odpor), ktorú vieme využiť pri akcelerácii.

Napr. ak ideme ustálenou rýchlosťou, pri ktorej môžeme mať zaradený III., IV. aj V. prevodový stupeň, bez ohľadu na to aký stupeň máme aktuálne zaradený, sila na kolesách je rovnaká (taká aká je potrebná na prekonanie odporu valenia a vzduchu príp. stúpania). Ale, ak máme zaradený V. stupeň a stlačíme plynový pedál na maximum, k dispozícii máme určitú rezervu sily. Ak by sme mali zaradený IV. stupeň, rezerva sily na akceleráciu je vyššia a pri zaradenom III. stupni je rezerva sily ešte

vyššia, vid'. obr.7.

Pri potrebe rýchlej akcelerácie s vozidlom je teda výhodné zaradiť najnižší prevodový stupeň ako je len možné, pretože na nižšom prevodovom stupni je vyššia maximálna sila ako na vyššom stupni a teda je tam aj väčšia rezerva sily, ktorú môžeme použiť na akceleráciu. Ak by sa v dynamickej charakteristike prekrižovali maximálne sily na kolesách toto tvrdenie nemusí platiť, to by ale vyplývalo z analýzy danej dynamickej charakteristiky, kde by bolo zrejmé, pri ktorom zaradenom stupni a pri akej rýchlosti jazdy je najvyššia rezerva sily.



Obr.7 Sily využiteľné na akceleráciu na jednotlivých prevodových stupňoch

Záver

Vhodná spolupráca spaľovacieho motora a viacstupňového prevodového mechanizmu je v dnešnej dobe nevyhnutnou podmienkou k dosiahnutiu požadovaného jazdného komfortu z hľadiska dynamických vlastností automobilu, ako aj k dosiahnutiu lepšieho využitia charakteristiky spaľovacieho motora, ktorou vo väčšej miere vyplňame ideálnu charakteristiku automobilu a tým dosahujeme hospodárnejšiu prevádzku spaľovacieho motora a s tým súvisiacu nižšiu produkciu plynných emisií.

Stále sa zvyšujúci počet prevodových stupňov moderných automobilov tak prispieva k hospodárnejšej prevádzke. Vyšší počet prevodových stupňov prispieva k optimálnemu priblíženiu skutočnej charakteristiky spaľovacieho motora k ideálnej charakteristike na hnacích kolesách. Vysoký počet prevodových stupňov však už bežný vodič nedokáže optimálne preradať, preto sa stále intenzívnejšie prechádza od manuálnych prevodoviek k automatickým, ktoré preradujú podľa presne naprogramovaných riadiacich algoritmov.

Použitá literatúra

1. Vlk, F.: Automobilová technická príručka, 2003, 1. vyd, česky, František Vlk, Brno, 791 stran, ISBN: 8023896814
2. Ikrinský, A., Patek, P., Tichý, J.: Teória dopravných prostriedkov. - 2. vyd. - Bratislava: STU - Strojnícka fakulta, 1991. - 294 s

