

METODIKA NÁVRHU PARAMETROV DIFERENCIÁLNYCH PREVODOVIEK S VYUŽITÍM ALGORITMOV

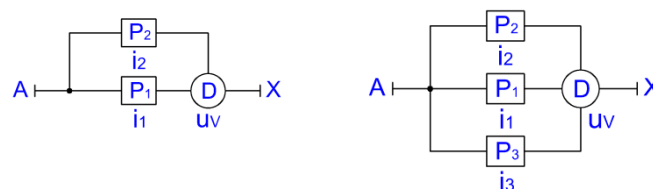
Jaroslav PITOŇÁK – Miroslav GALBAVÝ

Žilinská univerzita – Strojnícka fakulta – Katedra konštruovania a častí strojov

V súčasnej dobe nachádzajú najväčšie uplatnenie koncepcne jednoduché hriadel'ové a planétové prevodovky s jednoduchým usporiadaním. Naproti tomu diferenciálne prevody sú už na prvý pohľad komplikovanejšie a pri ich návrhu je častokrát potrebné siahnuť po najnovších dostupných výpočtových prostriedkoch. Spracovanie a vyhodnotenie čísel relatívne malého množstva možných koncepcií môže byť často nad ľudské možnosti. Projektovanie pohonov však možno výrazne zjednodušiť a zdokonaľiť pri súčasnom využívaní softvérových prostriedkov založených na báze numerickej matematiky. Moderné vývojové metódy medzi ktorými patria simulácie technických procesov nachádzajú vo vývojovom procese čoraz väčšie uplatnenie a v procese vývoja má prevodový inžinier k dispozícii širokú škálu výpočtových nástrojov. Príkladom môže byť využitie Matlabu a jeho nadstavieb práve pri navrhovaní diferenciálnych prevodov.

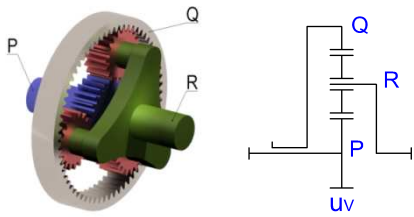
1 Úvod

V pohonoch vozidiel, strojov a zariadení sú v súčasnosti komerčne najviac využívané hriadel'ové alebo planétové prevodovky. Tie k zaradzovaniu prevodových stupňov používajú radiace prvky - spojky alebo brzdy rôznej koncepcie. K zaradeniu konkrétneho stupňa je potrebné zopnúť, resp. rozopnúť jeden alebo viacero týchto prvkov a konkrétne ozubené súkolesie sa často využíva len pri konkrétnom prevodovom stupni. Pri ďalších prevodových stupňoch sa teda už nevyužíva. Ak by bolo možné jednotlivé súkolesia využiť pri viacerých stupňoch, vznikla by možnosť pri nižšom počte ozubených záberov dosiahnuť vyšší počet prevodových stupňov. Na mieste je teda otázka, či je možné skonštruovať prevodovku s čo najmenším počtom riadiacich prvkov a ozubených súkolesí, pri súčasnom dosiahnutí čo najvyššieho možného počtu prevodových stupňov. Takéto možnosti ponúkajú diferenciálne prevody (obr. 1).

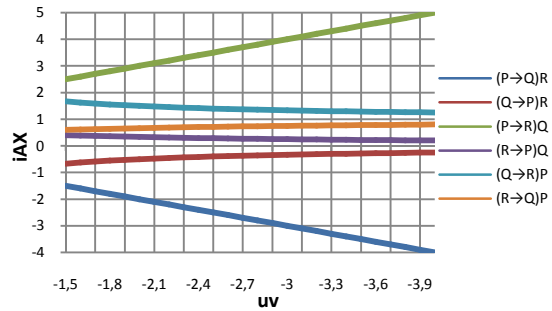


Obr. 1: Všeobecná schéma diferenciálneho prevodu s jednoradovým diferenciálom (vľavo) a so štvorhriadel'ovým diferenciálom (vpravo); A - vstupný hriadel', X - výstupný hriadel' prevodovky, P_1 , P_2 a P_3 - prevody s prevodovými pomermi i_1 , i_2 a i_3 , D - diferenciál s vnútorným prevodovým pomerom u_v

Základom diferenciálnych prevodov je planétové súkolesie (obr. 2). Jednoduché planétové súkolesia sú tvorené centrálnymi kolesami P a Q, ktoré sú uložené súosovo s unášačom R a satelitmi [1]. Toto jednoduché planétové súkolesie môže pracovať vo funkcii prevodu alebo diferenciálu. Ak sa majú vyznačiť vstupné, výstupné a reakčné členy a smer toku výkonu, potom funkčný stav jednoduchého planétového súkolesia možno zapísať napr.: $(P \rightarrow Q)^R$ - pre prevod, $(P+Q \rightarrow R)$ - pre diferenciál. Šípka určuje smer toku výkonu, pričom reakčný člen je exponent nad zátvorkou. Prevodový pomer medzi centrálnymi kolesami pri zastavenom unášači možno označiť ako vnútorný prevodový pomer u_v [1].



Obr. 2: Jednoduché planétové súkolesie;
P, Q - centrálna kolesá, R - unášač,
 u_v - vnútorný prevodový pomer

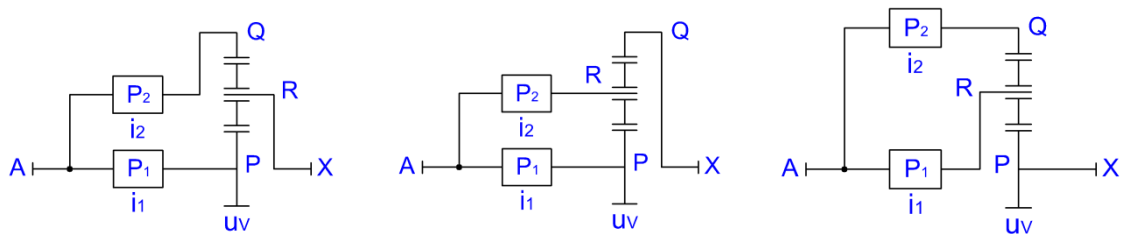


Obr. 3: Dosiadnuteľné hodnoty celkového prevodového pomeru i_{AX} pre rôzne pohybové stavy jednoduchého planétového prevodu

Jednoduché planétové súkolesie môže vo funkcii prevodu v jednotlivých pohybových stavoch vzhľadom na reálne možnú hodnotu u_v dosiahnuť hodnotu celkového prevodového pomeru i_{AX} len v určitých medziach (obr. 3). Ak ale planétové súkolesie pracuje vo funkcii diferenciálu, napr. $(P+Q \rightarrow R)$, celkový prevodový pomer i_{AX} môže byť výrazne vyšší. Z toho vyplýva možnosť využitia diferenciálnych prevodov v aplikáciách, kde je potrebné dosiahnuť vysoký prevod.

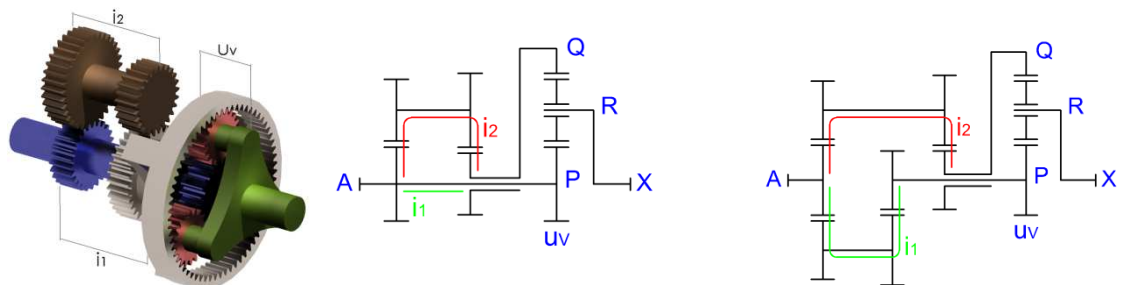
2 Diferenciálne prevodovky s jednoradovým diferenciálom

Najjednoduchší diferenciálny prevod pozostáva z jednej planétovej rady vystupujúcej vo funkcii diferenciálu a jedného prípadne niekoľkých prevodov. U takejto transmisie dochádza k deleniu alebo k cirkulácii toku výkonu. Celkovo možno hovoriť o šiestich možných usporiadaniach alebo pohybových stavoch jednoradového diferenciálu [1]. Diferenciál vo všeobecnej schéme na obr. 1 vľavo môže byť usporiadaný troma spôsobmi, a teda $(P+Q \rightarrow R)$, $(R+Q \rightarrow P)$ alebo $(P+R \rightarrow Q)$ (obr. 4).



Obr. 4: Usporiadania jednoradového diferenciálu, teda $(P+Q \rightarrow R)$, $(P+R \rightarrow Q)$ a $(R+Q \rightarrow P)$

Prevodovka pozostávajúca z diferenciálu $(P+Q \rightarrow R)$ a jedného, prípadne dvoch predradených prevodov P_1 a P_2 (napríklad ozubených) môže mať podrobnú schému ako je uvedené na obr. 5. Prevody P_1 a P_2 môžu byť napríklad aj hydrostatické, prípadne sa môže jednať o variátorové prevody.



Obr. 5: Celkové schémy prevodoviek, ktorých základ tvorí jednoradový diferenciál $(P+Q \rightarrow R)$;
Pre prevodovku vľavo platí $i_1 = 1$

Pre uvedenú prevodovku s diferenciálom (P+Q→R) platia medzi uhlovými rýchlosťami jednotlivých hriadeľov nasledovné väzby [1]:

$$\omega_P - \omega_Q \cdot u_v = (1 - u_v) \cdot \omega_R \quad (1)$$

$$\omega_A = \omega_Q \cdot i_2 \quad (2)$$

$$\omega_A = \omega_P \cdot i_1 \quad (3)$$

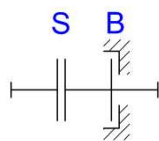
Celkový prevodový pomer medzi vstupným a výstupným hriadeľom i_{AX} je po úprave a dosadení potom daný vzťahom:

$$i_{AX} = \frac{\omega_A}{\omega_X} = \frac{(1-u_v) \cdot i_1 \cdot i_2}{i_2 - u_v \cdot i_1} \quad (4)$$

Z toho vyplýva, že na hodnotu celkového prevodového pomeru i_{AX} majú rozhodujúci vplyv hodnoty prevodových pomerov i_1 , i_2 a u_v .

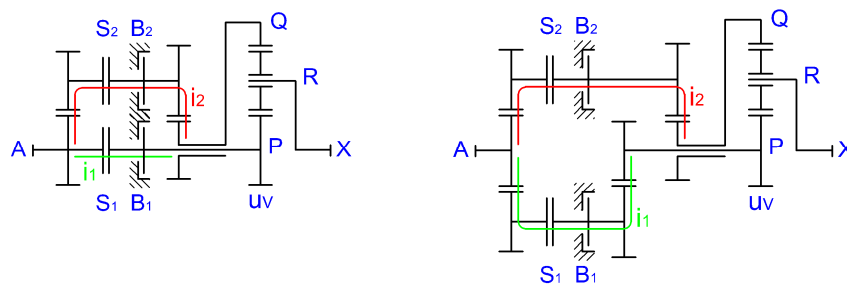
3 Združené radiace prvky

V súčasnosti je veľmi aktuálna otázka radenia pod zaťažením, kde sa využívajú trecie, najčastejšie lamelové spojky a brzdy, ktoré spájajú alebo brzdia konkrétne základné členy (obr. 6). Ak sa spojka a brzda umiestnia na jeden hriadeľ, pri tomto riešení je jeden člen v jednom stave spojený s druhým členom a prenáša krútiaci moment a v druhom stave je zabrzdnený. Podobné riešenia sa využívajú v komerčných planétových prevodovkách [5]. Vzájomnou syntézou oboch radiacích členov na jednom hriadeľi možno dosiahnuť radiaci prvok, ktorý bude zložený zo spojky a brzdy.



Obr. 6: Spojka S a brzda B, ktoré sú umiestnené na jednom hriadeľi

Ak by bola prevodovka na obr. 5 doplnená o uvedené radiace členy, takýmto usporiadaním by bolo možné dosiahnuť celkovo 3 prevodové stupne (obr. 7). Pre dosiahnutie hociktorého prevodového stupňa musí ale platiť, že pokiaľ je spojka na danom hriadeľi rozopnutá, musí byť brzda na tom istom hriadeľi zabrzdzená a naopak, tieto radiace prvky sú teda združené. Ak je napríklad zopnutá spojka S_1 a zabrzdzená je brzda B_2 , dosiahne sa jeden prevodový stupeň, ak je zopnutá spojka S_2 a zabrzdzená je brzda B_1 , dosiahne sa druhý prevodový stupeň. Pri zopnutí oboch spojok sa dosiahne tretí prevodový stupeň.



Obr. 7: Celkové schémy prevodoviek s radením pod zaťažením, ktorých základ tvorí jednoradový diferenciál (P+Q→R) a umožňujú dosiahnuť 3 prevodové stupne

Ak sa prevodový pomer prvého prevodového stupňa označí i_{AX1} , prevodový pomer druhého stupňa sa označí i_{AX2} atď. až pre n - tý prevodový stupeň i_{AXn} , potom možno definovať prevodový skok φ [1,5,6] medzi dvoma susedným prevodovými stupňami nasledovne:

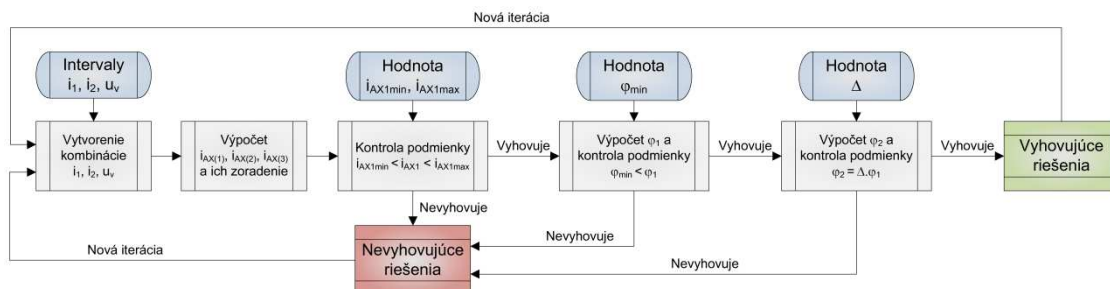
$$\varphi_{(n-1)} = \frac{i_{AX(n-1)}}{i_{AXn}} \quad (5)$$

Prevodový skok je dôležitým parametrom, nakoľko v mnohých prípadoch (napríklad v prevodovkách nákladných vozidiel) sa požaduje, aby bola jeho hodnota približne rovnaká medzi všetkými prevodovými stupňami, resp. pre všetky radenia. Možno teda hovoriť o podmienke približne rovnakého skoku medzi dvoma susednými prevodovými stupňami [5,6]. U prevodoviek osobných vozidiel sa naopak požaduje, aby sa hodnota prevodového skoku menila podľa určitej závislosti, teda podľa progresívneho odstupňovania. Parameter φ teda charakterizuje odstupňovanie prevodových stupňov.

4 Parametre diferenciálnej prevodovky s jednoradovým diferenciálom

Je zrejmé, že hodnoty i_1 , i_2 a u_v je potrebné navrhnuť tak, aby výsledná hodnota celkového prevodového pomeru i_{AX} zodpovedala požadovanej, častokrát vopred známej hodnote. To vo všeobecnosti nie je problém, pokiaľ sa vychádza z rovnice (4). Komplikácie ale vznikajú pri otázke ako zvoliť hodnoty i_1 , i_2 a u_v tak, aby vyhovovali všetkým trom požadovaným prevodovým stupňom. Všetky tri parametre možno totiž vybrať z relatívne širokého intervalu možných hodnôt a tie treba vhodne skombinovať a výsledné riešenia usporiadať. Ak sa k tomu pridá požiadavka odstupňovania prevodových stupňov podľa zvolenej rady, je táto úloha nad ľudské možnosti. Je teda nevyhnuté vytvoriť počítačový program alebo algoritmus, ktorý zo zvolených intervalov vyberie hodnoty, ktoré budú spĺňať dané požiadavky, vhodne ich usporiada a skontroluje, či výsledné prevodové pomery vyhovujú podmienke odstupňovania. V našom prípade bol uvedený algoritmus zostavený v Matlabe a pre nájdené riešenia vyrátal aj celkovú účinnosť prevodovky (tabuľka 1).

Na obr. 8 je schématicky opísaný princíp navrhnutého algoritmu. Ten pracoval tak, že zo zadaných intervalov hodnôt i_1 , i_2 a u_v vybral kombináciu a z týchto hodnôt pomocou rovnice (4) vyrátal hodnoty prevodových pomerov $i_{AX(1)}$, $i_{AX(2)}$ a $i_{AX(3)}$, ktoré vzostupne zoradil. Ďalším vstupom do algoritmu sú obmedzenia maximálnych a minimálnych hodnôt prevodových pomerov i_{AX} . Túto podmienku je potrebné zadať tak, aby algoritmus vylúčil riešenia, s ktorými nemožno z konštrukčných, funkčných alebo technologických dôvodov ďalej uvažovať a je formulovaná v závislosti od zadania. Algoritmus následne zo zoradených prevodových pomerov $i_{AX(1)}$, $i_{AX(2)}$ a $i_{AX(3)}$ vyrátal podľa rovnice (5) prevodový skok φ_1 . Ten musí byť taktiež v rozsahu požadovaných hodnôt, ktoré tvoria ďalší vstup. Podobne znova podľa rovnice (5) algoritmus vyrátal prevodový skok φ_2 . Nakoľko sa požaduje, aby hodnoty φ_1 a φ_2 boli približne rovnaké, bola stanovená hodnota odchýlky Δ a platí $\varphi_2 = \Delta \cdot \varphi_1$. Navrhnutý algoritmus skontroloval teda aj túto podmienku a hodnota Δ je taktiež vstupom do algoritmu. Po každej kontrole danej podmienky výpočet buď pokračoval ďalej a zvolená kombinácia i_1 , i_2 a u_v bola postupne overená všetkými kritériami, alebo v okamihu, keď zvolená kombinácia nevyhovovala danej kontrole, sa výpočet prerušil, algoritmus dané riešenie označil ako nevyhovujúce a zvolil si novú kombináciu i_1 , i_2 a u_v . Algoritmus teda začal novú iteráciu.



Obr. 8: Schéma algoritmu na nájdenie hodnôt i_1 , i_2 a u_v vyhovujúcich zadaným podmienkam

Pre získanie požadovaného riešenia (tabuľka 1) boli zvolené nasledovné parametre: hodnota maximálneho prevodu i_{AX1} mala byť v rozmedzí 3,8 až 4, požadovaný skok medzi prvými dvoma stupňami mal byť minimálne $\varphi_1 = 1,4$, nasledovný skok a mal byť $\varphi_2 = \Delta \cdot \varphi_1$, pričom $\Delta = (0,99 \div 1)$. Účinnosti prevodov P_1 a P_2 boli $\eta_1 = 0,98$ a $\eta_2 = 0,98$, účinnosť planétového prevodu bola $\eta_v = 0,97$. Pre algoritmus boli zvolené nasledovné intervaly hodnôt i_1 , i_2 a u_v :

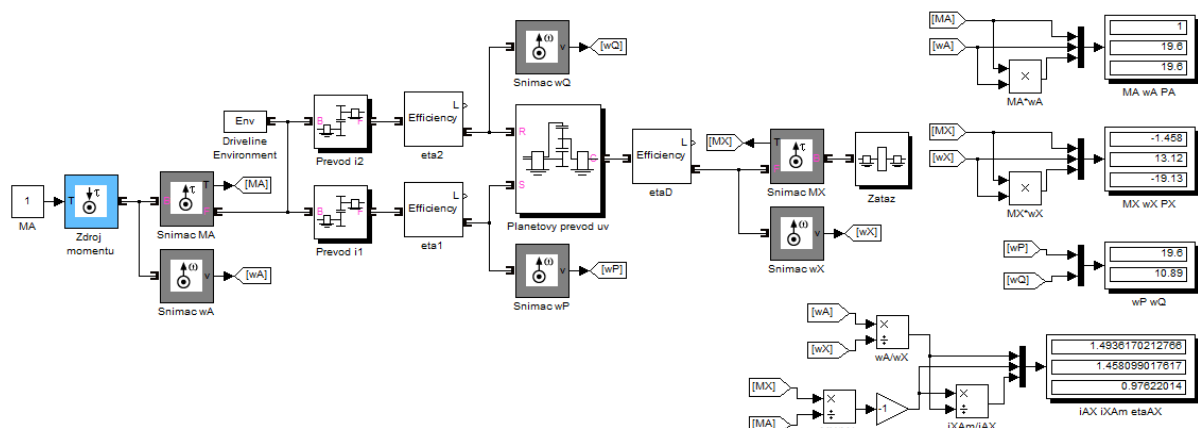
$$i_1 = \langle -4; -3,9; \dots -0,4; -0,3 \rangle \quad i_2 = \langle -4; -3,9; \dots -0,4; -0,3 \rangle \quad u_v = \langle -4; -3,9; \dots -1,6; -1,5 \rangle$$

Tabuľka 1: Riešenia, ktoré podľa algoritmu vyhovujú zadaným požiadavkám

Č.	i_1	i_2	u_v	S_1	S_2	S_1	S_2	S_1	S_2
				i_{AX1}		i_{AX2}		i_{AX3}	
				η_{AX1}	η_{AX2}	η_{AX2}	η_{AX3}	η_{AX3}	η_{AX3}
1.	-1,1	-1,7	-2,5	X			X	X	X
				-3,85	-2,38	-1,4708			
				0,9590	0,9716	0,9771			
2.	-1	-1,8	-2,9	X		X	X	X	X
				-3,9	-2,4207	-1,4936			
				0,9581	0,9725	0,9762			
3.	-0,9	-1,9	-3,4	X		X	X	X	X
				-3,96	-2,4588	-1,5169			
				0,9573	0,9733	0,9753			
4.	-0,8	-2,7	-2,1		X	X	X	X	X
				-3,9857	-2,48	-1,5288			
				0,9705	0,9601	0,9713			
5.	-0,7	-2,7	-2,4		X	X	X	X	X
				-3,825	-2,38	-1,4671			
				0,9714	0,9592	0,9704			
6.	-0,6	-3	-3,1		X	X	X	X	X
				-3,9677	-2,46	-1,5185			
				0,9728	0,9578	0,9689			
7.	-0,6	-2,9	-3		X	X	X	X	X
				-3,8667	-2,4	-1,4809			
				0,9726	0,9579	0,9691			
8.	1,1	1,7	-2,5	X			X	X	X
				3,85	2,38	1,4708			
				0,9590	0,9716	0,9771			
9.	1	1,8	-2,9	X		X	X	X	X
				3,9	2,4207	1,4936			
				0,9581	0,9725	0,9762			
10.	0,9	1,9	-3,4	X		X	X	X	X
				3,96	2,4588	1,5169			
				0,9573	0,9733	0,9753			
11.	0,8	2,7	-2,1		X	X	X	X	X
				3,9857	2,48	1,5288			
				0,9705	0,9601	0,9713			
12.	0,7	2,7	-2,4		X	X	X	X	X
				3,825	2,38	1,4671			
				0,9714	0,9592	0,9704			
13.	0,6	3	-3,1		X	X	X	X	X
				3,9677	2,46	1,5185			
				0,9728	0,9578	0,9689			
14.	0,6	2,9	-3		X	X	X	X	X
				3,8667	2,4	1,4809			
				0,9726	0,9579	0,9691			

Uvedenému zadaniu podľa algoritmu vyhovuje 7 zo 37544 možných riešení (prvých 7 riešení tabuľky 1). Je však zrejmé, že pokiaľ by boli intervaly i_1 , i_2 opačné, teda od $+0,3$ do $+4$, výsledkom by bolo ďalších 7 riešení. Tomu zodpovedajú riešenia 8 až 14. Inému zdaniu by pochopiteľne vyhovovala úplne iná skupina riešení. Taktiež je možné algoritmus upraviť pre iné špecifické požiadavky výsledkom čoho by boli zase iné riešenia.

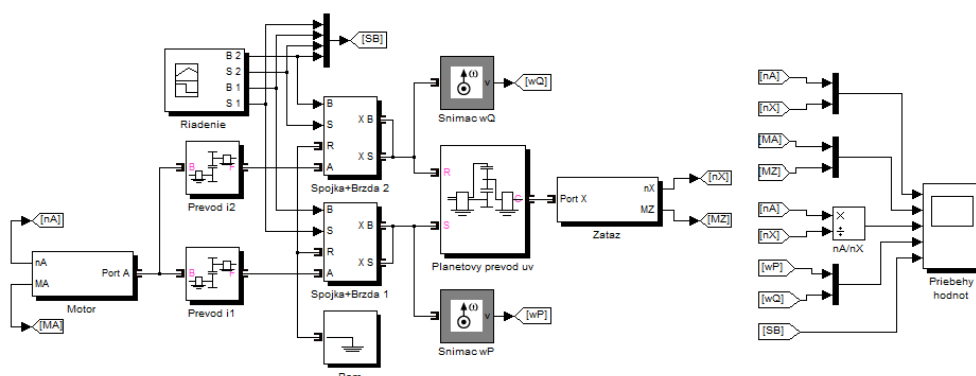
Z konštrukčného hľadiska je najzaujímavejšie riešenie č. 9, jeho usporiadanie zodpovedá celkovej schéme transmisie na obr. 7 vľavo. Správnosť tohto riešenia prevodovky s jednoradovým diferenciálom ($P+Q \rightarrow R$) bola otestovaná pomocou simulácií v programe SimDriveline, kde sa pre zadané hodnoty i_1 , i_2 a u_v sledovali celkové prevodové pomery, momentové prevodové pomery, celkové účinnosti, výkony a pod. (obr. 9).



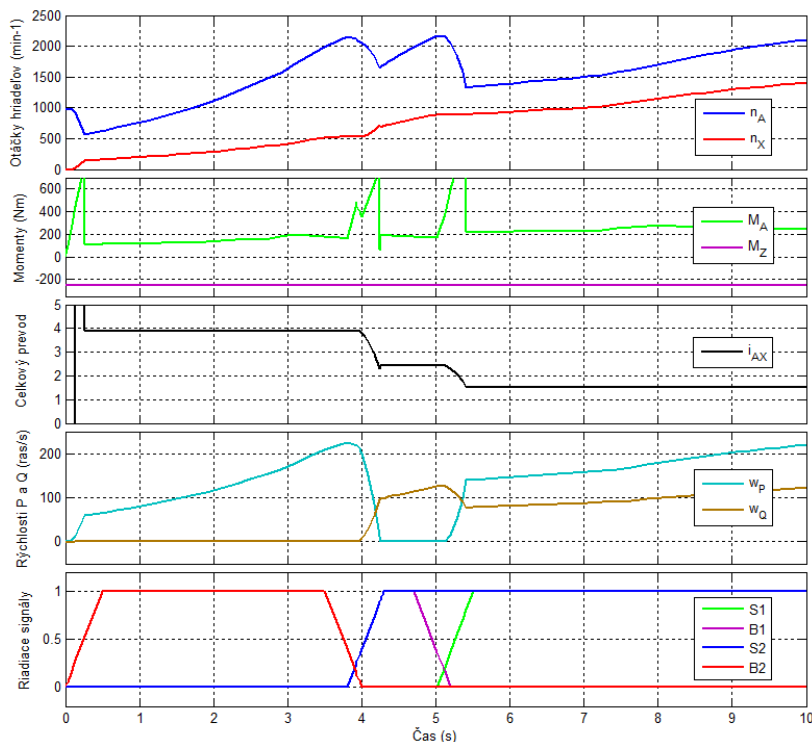
Obr. 9: Fyzikálny simulačný model diferenciálnej prevodovky s jednoradovým diferenciálom ($P+Q \rightarrow R$) na overenie parametrov riešenia navrhovaného algoritmom

SimDriveline je nadstavbou Matlabu a rozširuje jeho možnosti o nástroje pre modelovanie a simuláciu mechaniky pohonov [3,4]. Na rozdiel od štandardných matematických modelov, ktoré sa v takýchto prípadoch bežne využívajú [2], uvedený softvér obsahuje knižnice prvkov pohonov a z nich zostavený blokový diagram popisuje prostredie a usporiadanie jednotlivých častí prevodovky. Navrhnutý algoritmus na nájdenie hodnôt i_1 , i_2 a u_v bol zostavený z rovníc, ktoré boli doň zadané, no SimDriveline umožňuje modelovať správanie sa systému priamo popisom jeho fyzikálnej štruktúry. Do tohto softvéru sa príslušné matematické vzťahy nezadávajú, nakoľko simulačný softvér tieto vzťahy generuje automaticky. Z toho vyplýva, že je vhodné ho použiť na otestovanie výsledkov a možno ho považovať za objektívny nástroj na overenie výsledkov výpočtov.

Pre simuláciu celkovej činnosti prevodovky s jednoradovým diferenciálom ($P+Q \rightarrow R$), vrátane preraďovania prevodových stupňov bol zostavený simulačný model na obr. 10. Prevodovka je poháňaná elektromotorom, ktorý prekonáva moment pasívnych odporov viskózneho trenia a moment od dynamických účinkov sústavy. Pre zjednodušenie modelu sa redukujú zotrvačné účinky hmôt záťaže na zotrvačník, zostavený model predpokladá torzne tuhé členy mechanizmu. Simulácia opisuje rozbeh poháňaného zariadenia.



Obr. 10: Fyzikálny simulačný model diferenciálnej prevodovky s jednoradovým diferenciálom ($P+Q \rightarrow R$) sledujúci dynamiku prevodovky pri jej rozbehu

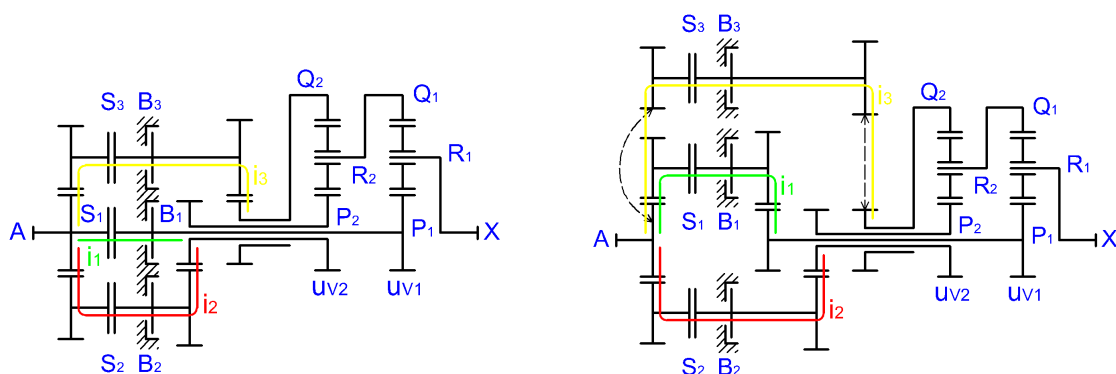


Obr. 11: Priebehy sledovaných veličín pri simulácii rozbehu diferenciálnej prevodovky s jednoradovým diferenciálom ($P+Q \rightarrow R$) s parametrami navrhnutými algoritmom

Spojky a brzdy k zaradzovaniu príslušných prevodových stupňov sú ovládané signálmi z riadiacej jednotky a v tomto prípade sa uvažuje so zjednodušenými priebehmi pri zaradzovaní, resp. vyradzovaní príslušného stupňa. Priebehy sledovaných veličín pri rozbehu prevodovky sú na obr. 11.

5 Diferenciálne prevodovky so štvorhriadeľovým diferenciálom

Podobne možno postupovať pri navrhovaní prevodovky pozostávajúcej zo štvorhriadeľového diferenciálu a predradených prevodov (obr. 1 vpravo), vzniká však problém pri výbere vhodného usporiadania diferenciálu. V predošlom prípade (v odseku 2) diferenciál pozostával len z jednej planétovej rady a mohol byť usporiadaný troma spôsobmi (obr. 4). Pokiaľ by diferenciál pozostával z dvoch planétových rád, je k dispozícii celkovo 36 možných koncepcií, z toho niektoré sú konštrukčne náročné alebo ťažko realizovateľné. Pre ďalšie riešenie však bola vybraná relatívne jednoduchá koncepcia (obr. 12). Pre výber vhodného riešenia je však možné znova vytvoriť určitý algoritmus, ktorý poskytne prehľad o možnostiach, ktoré poskytuje všetkých 36 usporiadaní.



Obr. 12: Celkové schémy prevodoviek s radením pod zaťažením, ktorých základ tvorí štvorhriadeľový diferenciál a umožňujú dosiahnuť 7 prevodových stupňov

Na obr. 12 sú dva spôsoby konštrukčného usporiadania prevodovky so zvoleným štvorhriadeľovým diferenciálom, pričom na jednotlivých hriadeľoch sú už implementované radiace členy (spojky a brzdy). Takéto usporiadanie umožňuje dosiahnuť celkovo 7 prevodových stupňov pri súčasnom radení pod zaťažením. Princíp činnosti uvedenej prevodovky je obdobný ako v predošlom prípade (odsek 3), a teda pre dosiahnutie hociktorého prevodového stupňa musí platiť, že pokiaľ je spojka na danom hriadeľi rozopnutá, musí byť brzda na tom istom hriadeľi zabrzdená a naopak. Ak je napríklad zopnutá spojka S_1 a zabrzdená je brzda B_2 a B_3 , dosiahne sa jeden prevodový stupeň, atď.

Pre uvedenú prevodovku so štvorhriadeľovým diferenciálom taktiež platia medzi jednotlivými hriadeľmi väzby:

$$\omega_{P1} - \omega_{Q1} \cdot u_{v1} = (1 - u_{v1}) \cdot \omega_{R1} \quad (6)$$

$$\omega_{P2} - \omega_{Q2} \cdot u_{v2} = (1 - u_{v2}) \cdot \omega_{R2} \quad (7)$$

$$\omega_A = \omega_{Q2} \cdot i_3 \quad (8)$$

$$\omega_A = \omega_{P2} \cdot i_2 \quad (9)$$

$$\omega_A = \omega_{P1} \cdot i_1 \quad (10)$$

Celkový prevodový pomer medzi vstupným a výstupným hriadeľom i_{AX} je po úprave a dosadení potom daný vzťahom:

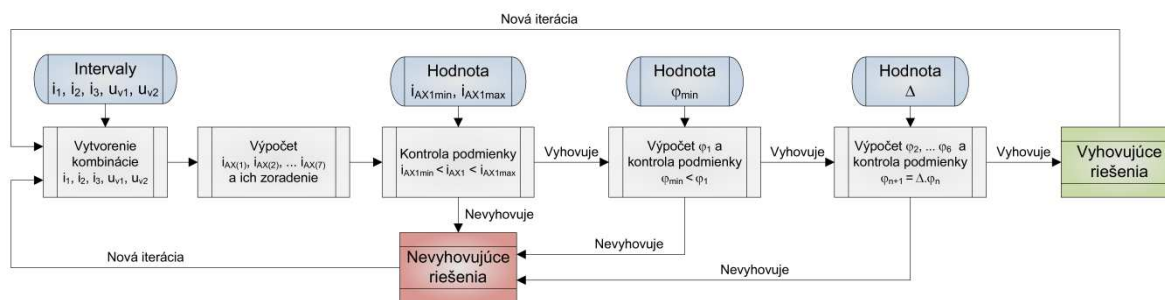
$$i_{AX} = \frac{\omega_A}{\omega_X} = \frac{(1-u_{v2}) \cdot (1-u_{v1}) \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3}{(1-u_{v2}) \cdot i_2 \cdot i_3 - u_{v1} \cdot i_1 \cdot (i_3 - u_{v2} \cdot i_2)} \quad (11)$$

Z toho opäť vyplýva, že na hodnotu celkového prevodového pomeru i_{AX} majú rozhodujúci vplyv hodnoty prevodových pomerov i_1, i_2, i_3, u_{v1} a u_{v2} . Prevodový skok φ medzi dvoma susedným prevodovými stupňami je definovaný rovnako ako v predošlom prípade, teda v odseku 3.

6 Parametre diferenciálnej prevodovky so štvorhriadel'ovým diferenciálom

Je zrejmé, že na hodnotu celkového prevodového pomeru i_{AX} majú rozhodujúci vplyv hodnoty prevodových pomerov i_1, i_2, i_3, u_{v1} a u_{v2} . Vynára sa teda otázka, ako tieto hodnoty navrhnuť tak, aby vyhovovali všetkým siedmim požadovaným prevodovým stupňom. Všetkých päť parametrov možno opäť vybrať z relatívne širokého intervalu možných hodnôt a tie treba opäť vhodne skombinovať a výsledné riešenia usporiadať. Samozrejmom je taktiež požiadavka odstupňovania prevodových stupňov podľa zvolenej rady.

Opäť je nevyhnuté vytvoriť počítačový algoritmus, ktorý bude principiálne rovnaký, ako algoritmus pre jednoradový diferenciál opísaný v odseku 4, avšak vzhľadom na počet premenných, ich rozsahy, počet podmienok a požiadaviek bude o rád komplikovanejší (obr. 13). Nami navrhnutý algoritmus v tomto prípade hodnoty prevodových pomerov $i_{AX(1)}, i_{AX(2)}$ až $i_{AX(7)}$ vyrátal pomocou rovnice (11) a tie následne vzostupne zoradil. Ďalšie kroky pri hľadaní riešenia boli principiálne rovnaké, ako bolo opísané v odseku 4. Opisovaný algoritmus bol znova zostavený v Matlabe a pre nájdené riešenia taktiež vyrátal aj celkovú účinnosť transmisie.



Obr. 13: Schéma algoritmu na nájdenie hodnôt i_1, i_2, i_3, u_{v1} a u_{v2} vyhovujúcich zadaným podmienkam

Pre získanie požadovaného riešenia boli zvolené podobné parametre, ako v predošlom prípade (v odseku 4). Opäť bolo potrebné zadať požadovaný skok medzi prvými dvoma stupňami φ_1 a nasledovné skoky mali byť približne rovnaké ako prvý skok. Účinnosti prevodov P_1, P_2 a P_3 boli $\eta_{1,2,3} = 0,98$, účinnosť planétového prevodu bola $\eta_{v1,2} = 0,97$. Pre algoritmus boli zvolené nasledovné intervaly hodnôt i_1, i_2, i_3, u_{v1} a u_{v2} :

$$i_{1,2,3} = \langle -4; -3,9; \dots -0,4; -0,3 \rangle \quad u_{v1,2} = \langle -4; -3,9; \dots -1,6; -1,5 \rangle$$

Zadaným podmienkam vyhovuje viacero algoritmom navrhovaných riešení, no z konštrukčného hľadiska je zaujímavé nasledovné riešenie:

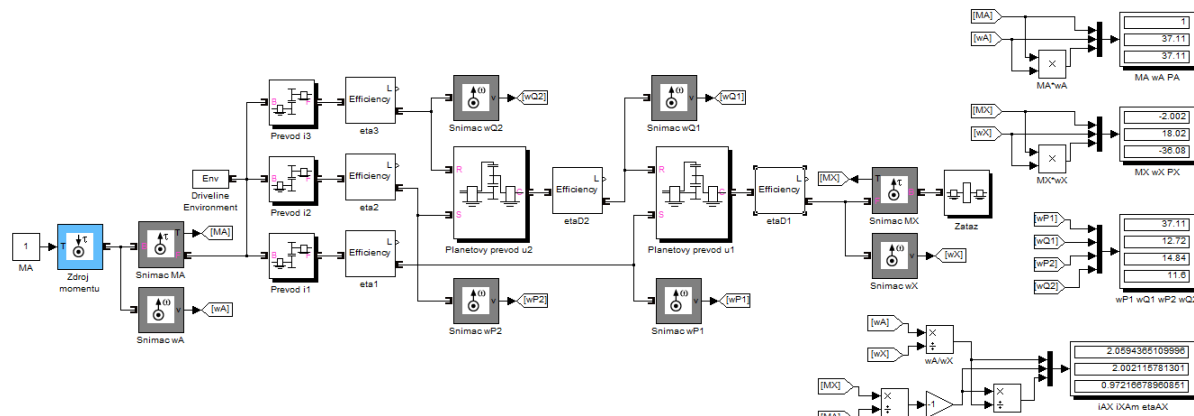
```

-----
i1 = -1.0000
i2 = -2.5000
i3 = -3.2000
uv1 = -3.6000
uv2 = -1.9000
iAX1 = -9.2639   eta = 0.9545   0 1 0
iAX2 = -6.2409   eta = 0.9635   0 0 1
iAX3 = -4.6000   eta = 0.9570   1 0 0
iAX4 = -3.7289   eta = 0.9719   0 1 1
iAX5 = -3.0737   eta = 0.9604   1 1 0
iAX6 = -2.6481   eta = 0.9651   1 0 1
iAX7 = -2.0594   eta = 0.9722   1 1 1
fi(1-6)         = 1.48 1.36 1.23 1.21 1.16 1.29
delta(1-5)      = 1.09 1.10 1.02 1.05 0.90
-----

```


Aj v tomto prípade platí, že pokiaľ by boli intervaly i_1 , i_2 a i_3 opačné, teda od $+0,3$ do $+4$, výsledkom by bolo ďalšie rovnaké riešenie, ktoré by sa od uvedeného líšilo len tým, že hodnoty celkových prevodových pomerov i_{AX} by boli kladné. Jeho usporiadanie zodpovedá celkovej schéme prevodovky na obr. 12 vľavo. Je teda zrejmé, že sa pri relatívne malom počte ozubených záberov dosiahlo 7 rýchlostných stupňov.

Správnosť tohto riešenia prevodovky so štvorhriadel'ovým diferenciálom bola opäť otestovaná pomocou simulácii v programe SimDriveline, kde sa pre zadané hodnoty sledovali celkové prevodové pomery, momentové prevodové pomery, celkové účinnosti, výkony a pod. (obr. 14).

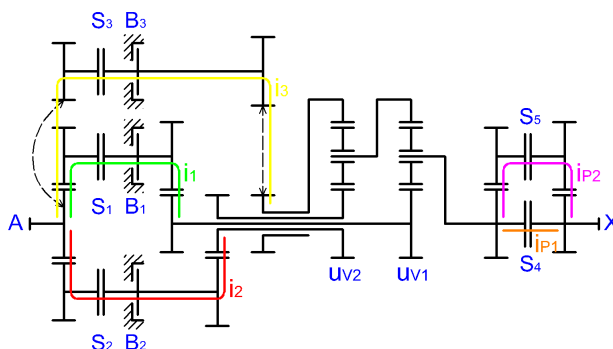


Obr. 14: Fyzikálny simulačný model diferenciálnej prevodovky so štvorhriadel'ovým diferenciálom na overenie parametrov riešenia navrhovaného algoritmom

Nakoľko sa jedná o prevodovku, ktorá umožňuje dosiahnuť sedem rýchlostných stupňov pri súčasnom radení pod zaťažením, vzniká možnosť takúto prevodovku implementovať do pohonu nákladného vozidla. Podmienkou však je vhodné rozdelenie prevodových stupňov, ktoré vyplýva z požiadaviek, ktoré sú na vozidlo kladené, hlavne čo sa týka prevádzkových podmienok. Podľa známych vzťahov možno vyrátať minimálny a maximálny požadovaný prevod prevodovky, no treba taktiež uvažovať aj s koncovými prevodmi pohonu. Medzi týmito dvoma okrajovými hodnotami je potrebné jednotlivé prevody rozdeliť podľa zvolenej rady [1,5,6]. Pre algoritmus potom možno definovať konkrétne požiadavky, na základe ktorých je schopný nájsť požadované riešenie.

7 Trojtoková diferenciálna prevodovka s radením pod zaťažením

Na základe uvedených poznatkov bola vytvorená trojtoková diferenciálna prevodovka, ktorá sa svojimi parametrami blíži k požadovaným na takú mieru, že bude môcť nájsť uplatnenie v pohonoch nákladných vozidiel. Navrhnutý algoritmus zohral neoceniteľnú úlohu práve pri hľadaní hodnôt i_1 , i_2 , i_3 , u_{v1} a u_{v2} a následným otestovaním nájdených riešení pomocou simulačných modelov sa dospelo k optimálnemu riešeniu.



Obr. 15: Trojtoková trinásťstupňová diferenciálna prevodovka s radením pod zaťažením

Navrhovaná prevodovka pozostáva z predradených prevodov, štvorhriadeľového diferenciálu a z prídavnej skupiny (obr. 15). Parametre predradených prevodov i_1 , i_2 , i_3 , vnútorných prevodových pomerov u_{v1} , u_{v2} a prídavných prevodov i_{p1} a i_{p2} sú:

$$i_1 = 2; i_2 = 3; i_3 = 3,2; \quad u_{v1} = -3; u_{v2} = -2,4; \quad i_{p1} = 1; i_{p2} = 0,27$$

8 Záver

Výpočtové softvéry, v tomto prípade Matlab a jeho moduly, zohrávajú pri vývoji automobilových prevodoviek nezastupiteľnú úlohu. Z vyššie uvedeného je zrejmé, že pomocou navrhnutých algoritmov je možné nájsť základné parametre diferenciálnych prevodoviek vyplývajúce zo zadania. V závislosti od požiadaviek na počet prevodových stupňov sa možno rozhodnúť medzi prevodovkou s jednoradovým alebo štvorhriadeľovým diferenciálom. Následne podľa požiadaviek na hodnoty prevodových pomerov a ich odstupňovanie možno zadať vstupy algoritmu a ten nájde parametre vyhovujúce požiadavkám. V opisovaných prípadoch boli hodnoty overené pomocou simulácií.

Nakoľko algoritmus pracuje automatizovane, výrazne sa tým skraca čas potrebný na nájdenie parametrov vyhovujúcich zadaniu. Rýchlosť výpočtu závisí od stanovených podmienok, ale hlavne od šírky intervalov hodnôt, ktorá nie je daná len rozsahom hodnôt, ale aj delením intervalov. Na druhej strane, jemnejším delením hodnôt intervalov možno dosiahnuť presné požadované hodnoty prevodových pomerov a nie je potrebné uvažovať s ich odchýlkou.

Z objektívnych dôvodov netreba očakávať, že po zadaní vstupov algoritmus automaticky nájde jediné správne riešenie. V skutočnosti nájde množstvo riešení, ktoré môžu vyhovovať požiadavkám a je len na schopnostiach človeka rozhodnúť, ktoré riešenie je použiteľné. Mnohé riešenia totiž nemusia byť realizovateľné. Alebo naopak, algoritmus nenájde žiadne riešenie. To však neznamená, že riešenie neexistuje. V takom prípade treba prehodnotiť požiadavky, upraviť zadanie, vstupné parametre alebo rozsahy hodnôt a hľadať riešenie znova a pracovať iteračne. Je teda zrejmé, že hoci sa vďaka tomuto nástroju skraca čas na nájdenie riešenia, i tak môže byť tento proces zdĺhavý.

Literatúra

- [1] MÁLIK, L. – CHRZOVÁ, J. – ŠOŠKA, M.: *Konštruovanie III*. Žilina, EDIS - vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žiline, 2007, ISBN: 978 – 80 – 8070 – 733 – 0.
- [2] FILO, M. – LUKÁČ, M.: *Modelovanie a simulácia mechanizmov s počítačovou podporou*. EDIS - vydavateľstvo ŽU, 2005, ISBN: 80 – 8070 – 466 – X.
- [3] Podklady HUMUSOFT, www.humusoft.cz.
- [4] *SimDriveline 1 User's Guide*. Mathworks Documentation, The MathWorks Inc., 2010.
- [5] LECHNER, G. – NAUNHEIMER, H.: *Automotive transmissions - Fundamentals, Selection, Design a Application*. Springer – Verlag Berlin, 2011, ISBN: 978 – 3 – 642 – 16213 – 8.
- [6] IKRINSKÝ, A.: *Mechanické a hydraulické prevody*. Vydavateľstvo STU Bratislava, 2003, ISBN: 80 – 227 – 1855 – 6.

Príspevok vznikol s podporou projektu APVV-0087-10 Inteligentné diagnostické systémy prevodoviek a ich komponentov.

Ing. Jaroslav PITOŇÁK - Žilinská Univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra konštruovania a častí strojov, e-mail: jaroslav.pitonak@fstroj.uniza.sk

Ing. Miroslav GALBAVÝ - Žilinská Univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra konštruovania a častí strojov, e-mail: miroslav.galbavy@fstroj.uniza.sk