

Иновативни конструкции на цилиндрични и планетни предавки с повишена енергийна ефективност и подобро разпределение на натоварването

Антоанета Добрева, Васко Добрев, Георги Георгиев

Innovative design solutions of spur and planetary gear trains with increased energy efficiency and improved load distribution: The objectives of the presented paper are to analyze innovative design solutions of spur and planetary gear trains with increased energy efficiency, to carry out a theoretical research of different design versions of planetary gears and to consider the load distribution among the elements of such gear trains. The following conclusions are summarized: An innovative design of planetary gear train is presented. The main advantages of this design solution are the improved energy efficiency parameters. New solutions and recommendations for the elaboration of innovative design versions of spur and planetary gear trains with improved efficiency and load distributions are analyzed.

Key words: Innovative design solutions, Planetary gear trains, Energy efficiency, Load distribution.

ВЪВЕДЕНИЕ

Трансмисиите за съвременни автомобили включват най-често планетна предавка вместо класическа механична предавка. Планетната предавка в най-общия случай се състои от четири основни части: централно колело, водило, планетни колела, зъбен венец. При застопоряване на един от тези елементи, планетната предавка е в състояние да генерира различни предавателни отношения. Най-често автоматичните трансмисии включват две планетни предавки с различни размери на централните колела, които влизат в зацепване със съответните планетни колела. Възможно е да се използва едно водило, което да свързва двата комплекта планетни колела, които образуват съставна планетна предавка.

Целта на представения материал е да се разгледат иновативни конструкции на цилиндрични и планетни предавки с повишена енергийна ефективност, да се направи теоретично изследване на различни конструкции планетни предавки и анализ на разпределение на натоварването в елементите им.

ИНОВАТИВНИ КОНСТРУКЦИИ НА ЦИЛИНДРИЧНИ И ПЛАНЕТНИ ПРЕДАВКИ С ПОВИШЕНА ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ

Енергийната ефективност на трансмисиите може да бъде подобрена чрез употребата на подходящи трансмисионни масла, оптимизиране на смазочни системи и помпи, подобряване на стратегиите за включване и оптимизиране на зъбните зацепвания, лагерите и уплътненията.

Значителен и подробен анализ на енергийната ефективност и на силовия поток на много скоростно трансмисии е представен в [1]. Няколко основни теми, свързани с възможностите за повишаване на коефициента на полезно действие са дискутирани задълбочено в тази изследователска разработка:

- анализ и изследване на видовете загуби на мощност в трансмисиите: загуби на мощност, зависещи от натоварването и такива загуби, които не зависят от натоварването.

- За загубите на мощност, зависещи от натоварването, се предлага прецизно изчисляване на геометричния фактор на загубите, който е функция само от геометрични параметри и оценява специфичното плъзгане в зацепването.

Както е известно, коефициентът на триене зависи от условията на експлоатация: грапавостта на повърхнините, натоварването, скоростта на въртене, смазването и параметрите на смазочния слой.

Загубите на мощност, които не зависят от натоварването, се причиняват от ефектите на разпръскване на маслото и на притискане на смазочния слой. В [1] се подчертава, че тези загуби са приблизително пропорционални на квадрата на скоростта.

В заключение в [1] се формулират две основни конструктивни предложения:

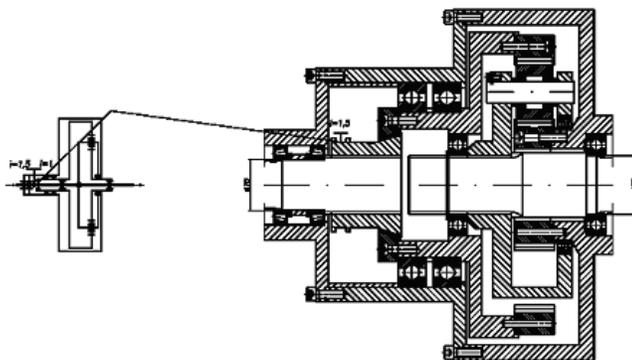
- Оптимизиран дизайн на трансмисии по отношение на загубите за ниски скорости на въртене на зъбните колела при благоприятно разположение на свободно – въртящите се колела;
- Използване на зъбни колела с ниски загуби и едновременно намаляване на нивото на маслото.

Конструктивното решение на част от авторския колектив на трансмисия с повишена енергийна ефективност, предназначена за камиони, е представена основно в [3].

В настоящия момент, някои тежкотоварни превозни средства имат само една скорост за всички задвижващи колела. Съществува обаче изискване от някои потребители за наличие на допълнително предавателно число от 1,5.

Посочено е следното техническо задание: въртящ момент от 6000 Nm; трайност от 500h при входяща скорост от 500 оборота в минута; максимален въртящ момент 14000 Nm; предавателни отношения - 1.0 и 1.5; намаляване на всички загуби доколкото е възможно; трансмисионно масло 97307 (според шведските стандарти); температура в корпуса – не повече от 120°C.

Принципната конструкция на разработената планетна предавка е показана на фиг.1.



Фиг. 1. Принципна конструкция на описаната планетна предавка, [3]

При предавателно отношение $i=1,5$, междуосовото разстояние на зъбното зацепване: централно колело–планетни колела и междуосовото разстояние на зъбното зацепване: зъбен венец–планетни колела трябва да бъде равно на 127,5 mm. Този размер е фиксиран от предварително изискване на Шведска компания, производител на редуктори.

Разработена е принципната конструкция, яостните изчисления, оразмеряване на елементите и избора на материал за съответните детайли. Най-доброто алтернативно решение в този случай е да се добави една планетна предавка към съществуващата трансмисия.

ТЕОРЕТИЧЕН АНАЛИЗ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАЗЛИЧНИ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНЕТНИ ПРЕДАВКИ

В [1,4] е представена 8-скоростна автоматична трансмисия за стандартни задвижвания, чийто иновативен дизайн е насочен към постоянно нарастващите изисквания към намаляване на разхода на гориво и на CO₂ емисиите. Осем – скоростната трансмисия, фиг. 2, е базирана на система от зъбни зацепвания с 5 подвижни елемента и 4 планетни предавки. Максималното предавателно число е 7.05. Отделните предавателни числа, добрият коефициент на полезно действие на скоростната кутия, доброто балансиране на ъгловата скорост и разпределението на силовия поток в рамките на трансмисията осигуряват компактна конструкция и добър вътрешен коефициент на полезно действие.



Фиг. 2. Трансмисия 8HP70 [4]

Трансмисията е подкрепена допълнително с два отворени подвижни елемента на скорост. Оформлението на вътрешното пространство (design space) е сравнимо с предходната 6HP28 трансмисия. Теглото е редуцирано още повече в сравнение с 6- скоростната трансмисия. Използван е нов троен конвертор с блокиращ съединител, който се регулира отделно. Според [4], в представената конструкция са осигурени различни торзионни демпферни системи, които дават възможност за оптимално позициониране към съответната предавка.

От съображения за ограничаване на разхода на гориво, блокиращият съединител може да бъде затворен веднага след стартиране на двигателя. С цел осигуряване на смазочен слой, е поставена клетъчна помпа, успоредно на водещия мост, в близост до контролния панел и задвижвана от ролкова верига.

Зъбните предавки и съединителите са конструирани с оптимизирани размери и тегло, като могат да бъдат управлявани спрямо въртящия момент на двигателя в различни конфигурации. Дебелината на стената е намалена на места до 3 mm. Пластмасовият резервоар за маслото е взаимстван от предходната трансмисия.

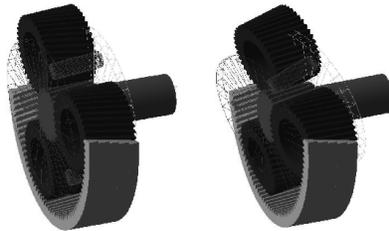
Представената конструкция отговаря на изискванията за намаляване на енергийните разходи и на CO₂ емисиите в транспортните средства. Постигната е 6%-на редукция в сравнение с 6-скоростната трансмисия от второ поколение. Намаленият разход на гориво в размер на около 6% се дължи на:

- подобрените експлоатационни параметри: по-голямото предавателно отношение, по-голям брой скорости, бързо включване;
- намален вътрешен спирачен момент: отворени съединители, подобрен КПД на зацепванията, оптимизирано смазване;
- подобрена стратегия за преобразуване на въртящия момент чрез оптимизирано торзионно демпфиране.

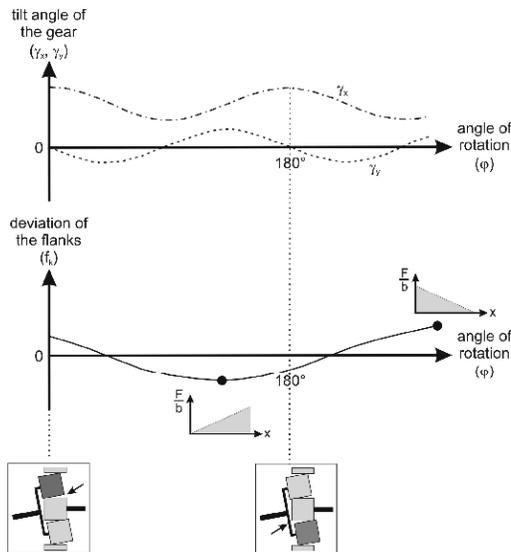
- оптимизираната по критерия “ефективност” клетъчна помпа.

Трансмисиите могат да бъдат оборудвани с различни стартиращи системи. Независимо от размерите, към трансмисията могат да бъдат интегрирани микрохибридни и хибридни системи.

В [5] е анализирана планетна предавка. С помощта на софтуерния продукт “SIMPACK” предавката е моделирана и наклона на зъбните колела е преобразуван в ефективно отклонение на страничните профили. В комбинация със силата в зацепването е направен анализ на разпределение на натоварването с помощта на софтуерния продукт “LVR”, фиг. 3.



Фиг. 3: Моделиране на планетна предавка в “SIMPACK” без (вляво) и с наклон на планетното водило (вдясно), [5]



Фиг. 4. Разпределение на натоварването по време на едно завъртане на планетното водило, [5]

Моделът на система от няколко тела за планетната предавка позволява определянето на деформациите и изместванията, които са несиметрични спрямо ъгъла на въртене – например: изместванията или неточностите на слънчевото колело или планетното водило. Като пример е показана симулацията на наклона на планетното водило в резултат на външно натоварване. В резултат на това, разпределението на натоварването в зацепването се изменя в рамките на един

оборот на планетните колела с планетното водило поради ефективните отклонения на фланците, фиг. 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направеното теоретично изследване и анализ могат да се систематизират следните **изводи**:

1. Разработена е оригинална принципна конструкция на планетна предавка. Този иновативен дизайн се характеризира с подобрени енергийни показатели.

2. Представени са нови решения и практически препоръки за разработването на иновативни конструкции на цилиндрични и планетни предавки с повишена енергийна ефективност и подобро разпределение на натоварването.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Hoehn, B. R., Michaelis, K., Kurth, F.: Efficiency and power flow analysis of multi-speed transmissions. Proceedings of the 3rd international conference "POWER TRANSMISSIONS '09", Sofia publications, Thessaloniki, Greece, 2009, pp. 125 - 132.

[2] Joachim, F.-J., J. Börner, N. Kurz: How to Minimize Power Losses in Transmissions, Axles and Steering Systems. Düsseldorf: VDI report no. 2108.1, 2010, pp. 111 – 126.

[3] Orzech K., Khoshaba, S., Dobрева, A.: Development and design of a two speed transfer gearbox for a truck. Proceedings of GENERAL MACHINE DESIGN 2009, Rousse, Bulgaria, 2009, pp. 177 – 180.

[4] Scherer H., Wagner G., Naunheimer H., Dick A.: The ZF 8HP70 Automatic Transmission. Düsseldorf: VDI report no. 2029, 2008.

[5] Schlecht, B., Chr. Bauer, T. Rosenlöcher, M. Höfgen: Stress Analysis of Gearings within their Elastic Environment under the Influence of its Dynamic Behaviour. Düsseldorf: VDI report no. 2108.2, 2010, pp. 755 – 766.

За контакти:

Доц. д-р инж. Антоанета Иванова Добрева, Катедра "Машинознание, машинни елементи и инженерна графика", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 437, e-mail: adobreva@uni-ruse.bg

Доц. д-р инж. Васко Илиев Добрев, Катедра "Машинознание, машинни елементи и инженерна графика", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 492, e-mail: vdobrev@uni-ruse.bg

Докторант Георги Димитров Георгиев, Катедра "Машинознание, машинни елементи и инженерна графика", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 492, e-mail: gdq@uni-ruse.bg

Изследванията са подкрепени по договор BG051PO001-3.3.04/28 "Подкрепа за развитие на научните кадри в областта на инженерните научни изследвания и иновациите". Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на оперативна програма „Развитие на човешките ресурси” 2007-2013, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз.

Докладът е рецензиран.