

СИНТЕЗ БЕЗСТУПІНЧАСТИХ ДВОПОТОКОВИХ ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНИХ ТРАКТОРНИХ ТРАНСМІСІЙ

Самородов В.Б., д-р. техн. наук, проф. Бондаренко А.І., к.т.н, доц.,
Подмолода Д.А., магістрант

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»*

Систематизовано основні закономірності розподілу кінематичних, силових та енергетичних параметрів гідрооб'ємно-механічних трансмісій, що працюють за схемами “диференціал на вході”, “диференціал на виході”, “з двома диференціалами: на вході та виході” вибрано та проаналізовано перспективні схеми.

Вступ

В процесі створення нових гідрооб'ємно-механічних трансмісій (ГОМТ) суттєва увага приділяється закономірностям розподілу кінематичних, силових та енергетичних параметрів трансмісій, значення яких суттєво залежить від конструктивної схеми трансмісії, значень передавальних відношень, параметрів гідрооб'ємної передачі (ГОП) і т.п.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Авторами [1] визначені тенденції та перспективи застосування в автомобіле- і тракторобудуванні безступінчастих ГОМТ, проведений порівняльний аналіз безступінчастих двохпотокових ГОМТ.

В роботах [2-5] наведені схеми ГОМТ, що найбільш часто використовуються та працюють за схемою “диференціал на вході” та “диференціал на виході”, складені спрощені кінематичні та структурні їх схеми, наведений математичний опис зміни кінематичних, силових та енергетичних параметрів, визначені основні параметри розглянутих трансмісій при рівних та різних об'ємах гідромашин (гідронасоса та гідромотора), визначено вплив об'єму гідромотора на кінематичні, силові та енергетичні параметри ГОМТ, проаналізовано розподіл потоків потужності у ГОМТ, що працюють за схемою “диференціал на вході”.

Проте, в роботах [1-5] не визначено, як місце розташування редуктора в замкнутому контурі впливає на основні параметри трансмісії, не розглянута схема “з двома диференціалами: на вході та виході”.

Мета та постановка завдань

Метою даної роботи є схемний аналіз безступінчастих ГОМТ, що працюють за схемами “диференціал на вході”, “диференціал на виході” “з

двома диференціалами: на вході та виході”, вибір і аналіз найбільш раціональних перспективних схем ГОМТ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- скласти спрощені кінематичні схеми ГОМТ з різним з’єднанням механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного ряду (ПР) (з сонячною шестернею, коронною шестернею, водилом);
- визначити кінематичні, силові та енергетичні параметри трансмісії, коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії;
- вибрати перспективні схем ГОМТ;
- проаналізувати отримані результати.

Синтез безступінчастих двопотокових гідрооб’ємно-механічних тракторних трансмісій

У ГОМТ тракторів, що працюють за схемою “диференціал на вході”, можливі 6 варіантів з’єднання механічної та гідравлічної гілки з ланками ПР, які можуть реалізовуватися у вигляді 24 схем замкнутих контурів ГОМТ (рис. 1).

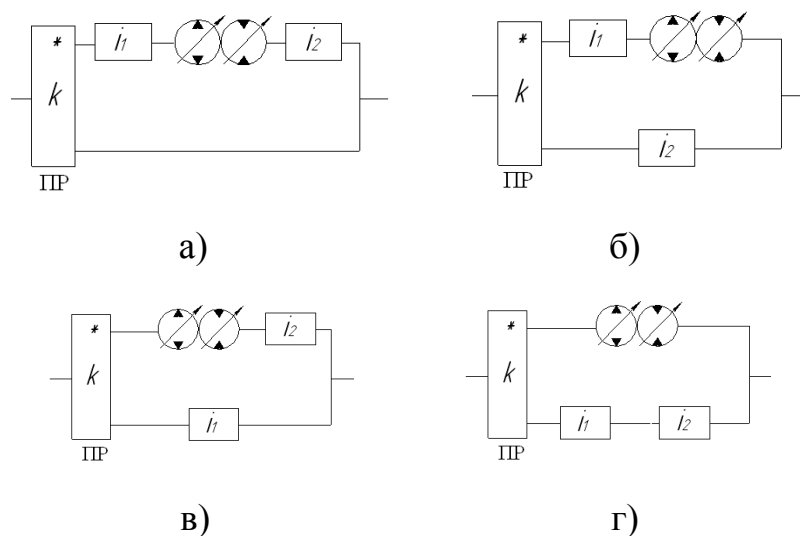


Рис. 1 – Варіанти структурних схем замкнутих контурів ГОМТ з диференціалом на вході:

а) – два редуктора в гідравлічній гілці; б) – один редуктор перед ГОП, другий в механічній гілці; в) – один редуктор за ГОП, другий в механічній гілці; г) – два редуктора в механічній гілці; * – ПР.

Проаналізуємо основні параметри ГОМТ із замкнутим контуром, представленим на рис. 1, а, спрощені кінематичні схеми даних ГОМТ наведені на рис. 2. В якості початкових даних для аналізу вибрані наступні параметри: максимальні оберти колінчастого валу двигуна 2250 об/хв; радіус коліс $r = 0,85$ м; маса трактора 9000 кг; швидкість, що реалізується на тяговому діапазоні при коефіцієнті опору руху 0,5 – від 0 до 10 км/год; робочий об’єм гідронасоса – 130 см^3 , робочий об’єм гідромотора – 130 см^3 , 250 см^3 .

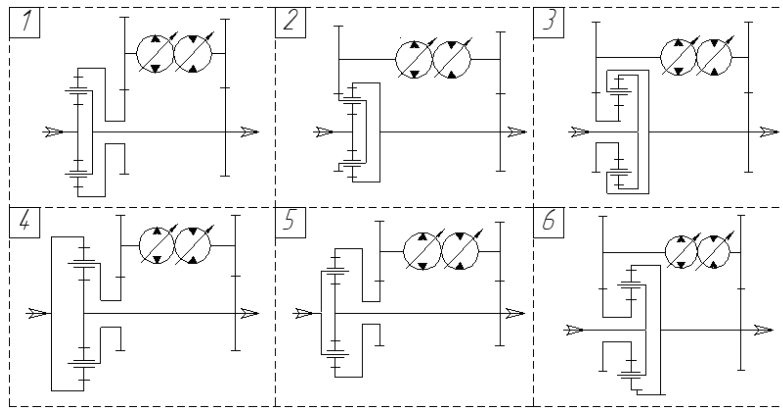


Рис. 2 – Спрощені кінематичні схеми замкнутих контурів ГОМТ тракторів з диференціалом на вході при різних з'єднаннях механічної та гідравлічної гілки з ланками ПР та розташуванням двох редукторів в гідравлічній гілці

Визначимо на скільки суттєво впливає місце розташування редуктора в замкнутому контурі на зміну кінематичних, силових та енергетичних параметрів ГОМТ на прикладі схем *a* і *б* (рис. 1). Результати роботи зведено до табл.

Таблиця – Схеми ГОМТ з диференціалом на вході

Схема	Варіанти структурних схем ГОМТ з диференціалом на вході
a	$\omega_7 = \omega_4 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4; \quad \omega_7 = \omega_5 \cdot i_3 \cdot i_4 \Rightarrow \omega_5^{1*} = \omega_4^{1*} \cdot i_2^{1*} \Rightarrow \omega_4^{1*} = \omega_5^{1*} / i_2^{1*}.$
б	$\omega_7 = \omega_5 \cdot i_3 \cdot i_4; \quad \omega_7 = \omega_4 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4 \Rightarrow \omega_5^{2*} = \omega_4^{2*} \cdot i_2^{2*}.$

Верхні індекси в табл. відповідають наступним варіантам структурних схем замкнутих контурів ГОМТ з диференціалом на вході: 1* – *a*; 2* – *б*. Позначення табл.: M_{nm} – моменти на ланках ГОМТ; m – індекс-число співпадає з номером кутової швидкості ланки; n – індекси-букви відповідають моментам на кінцях ланок; ω_i – кутова швидкість ланки; i_j – передавальне відношення редуктора; e_1, e_2 – відносний параметр регулювання ГОП; q_1, q_2 – максимальна продуктивність гідромашин.

Для варіантів *a* та *б* структурних схем $\omega_4^{1*} = \omega_5^{2*}$; $\omega_5^{1*} = \omega_4^{2*} \Rightarrow \frac{\omega_5^{1*}}{i_2^{1*}} = \omega_4^{2*} \cdot i_2^{2*} \Rightarrow$

$i_2^{2*} = \frac{1}{i_2^{1*}}$, при цьому $i_1^{1*} = i_1^{2*}$; $i_3^{1*} \neq i_3^{2*}$; $i_4^{1*} = -i_4^{2*}$. Для схеми № 5, як приклад,

$$M_{5a}^{1*} - \frac{i_1^{1*} \cdot i_2^{1*} \cdot M_{5a}^{1*}}{k} + M_{5c}^{1*} = 0; \quad M_{5a}^{2*} - \frac{i_1^{2*} \cdot M_{5a}^{2*}}{k \cdot i_2^{2*}} + M_{5c}^{2*} = 0, \text{ що підтверджує } i_2^{2*} = \frac{1}{i_2^{1*}}.$$

Перевіримо адекватність твердження, що $i_2^{2*} = 1/i_2^{1*}$ та проаналізуємо основні параметри ГОМТ із замкнутим контуром, представленим на рис. 1, б. Спрощені кінематичні схеми даних ГОМТ наведені на рис. 3.

Проаналізувавши сучасні схеми ГОМТ, прийшов до висновку, що між ГОП та двигуном обов'язково присутній узгоджувальний редуктор (для регулювання обертів вала гідронасоса або ж з конструктивних міркувань), тому варіанти структурних схем замкнутих контурів ГОМТ з диференціалом на вході та з диференціалом на виході: один редуктор розташовано за ГОП, другий в механічній гілці; два редуктора розташовано в механічній гілці, а узгоджувальний редуктор між двигуном і гідронасосами відсутній, розглядатися не будуть.

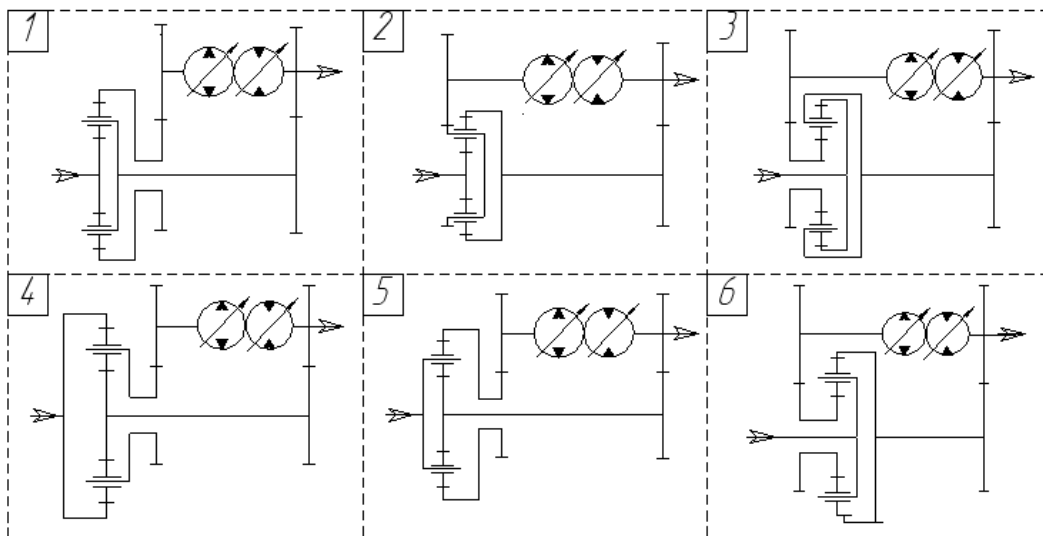
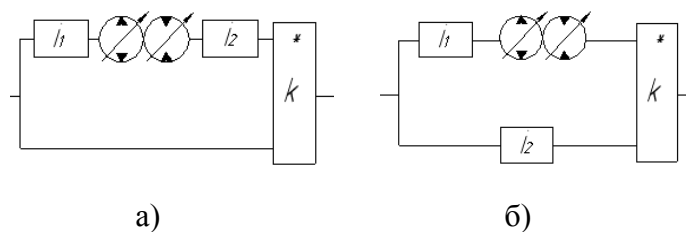


Рис. 3 – Спрощені кінематичні схеми замкнутих контурів ГОМТ тракторів з диференціалом на вході при різних з'єднаннях механічної та гідравлічної гілки з ланками ПР та розташуванням одного редуктора перед ГОП, другого в механічній гілці

У ГОМТ тракторів, що працюють за схемою “диференціал на виході”, можливі 6 варіантів з'єднання механічної та гідравлічної гілки з ланками ПР, які можуть реалізовуватися у вигляді 24 схем замкнутих контурів ГОМТ ТЗ (рис. 4).



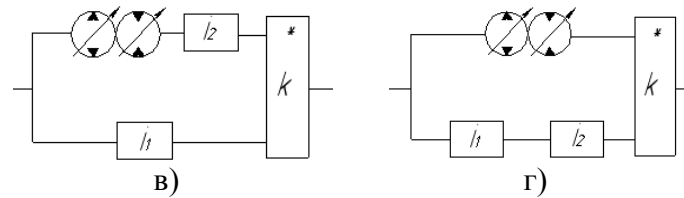


Рис. 4 – Варіанти структурних схем замкнутих контурів ГОМТ з диференціалом на виході:

а) – два редуктора в гідравлічній гілці; б) – один редуктор перед ГОП, другий в механічній гілці; в) – один редуктор за ГОП, другий в механічній гілці; г) – два редуктора в механічній гілці; * – ПР.

Проаналізуємо основні параметри ГОМТ із замкнутим контуром, представленим на рис. 4, а та б, спрощені кінематичні схеми даних ГОМТ наведені на рис. 5 та 6 відповідно.

У ГОМТ з двома диференціалами: на вході та виході можливі 3 варіанти найпростішого з'єднання механічної та гідравлічної гілки з ланками ПР, які можуть реалізовуватися у вигляді 108 схем замкнутих контурів ГОМТ (рис. 7-9).

Визначення основних параметри ГОМТ з рис. 7-9 не можливе без завдання додаткових початкових даних. В якості додаткового початкового даного можна математично описати блокування однієї з ланок диференціала на вході з внутрішнім передавальним відношенням ПР k_1 або однієї з ланок диференціала на виході з внутрішнім передавальним відношенням ПР k_2 . В цьому випадку задача зводиться до визначення параметрів ГОМТ окремо з диференціалом на вході та окремо з диференціалом на виході і реалізується у вигляді 432 схем замкнутих контурів ГОМТ (рис. 10-13).

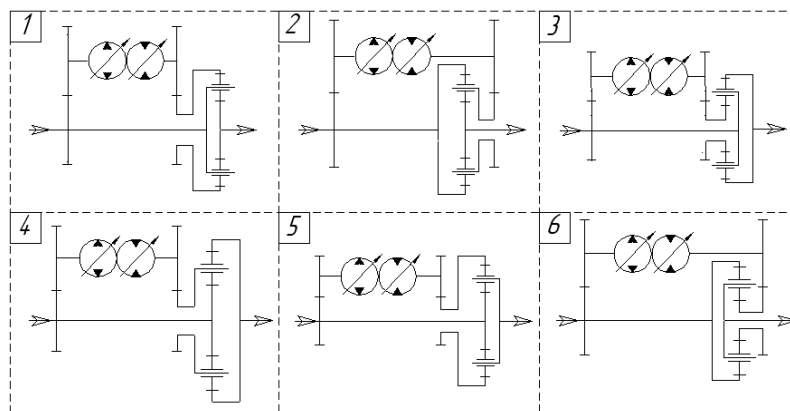


Рис. 5 – Спрощені кінематичні схеми замкнутих контурів ГОМТ тракторів з диференціалом на виході при різних з'єднаннях механічної та гідравлічної гілки з ланками ПР та розташуванням двох редукторів в гідравлічній гілці

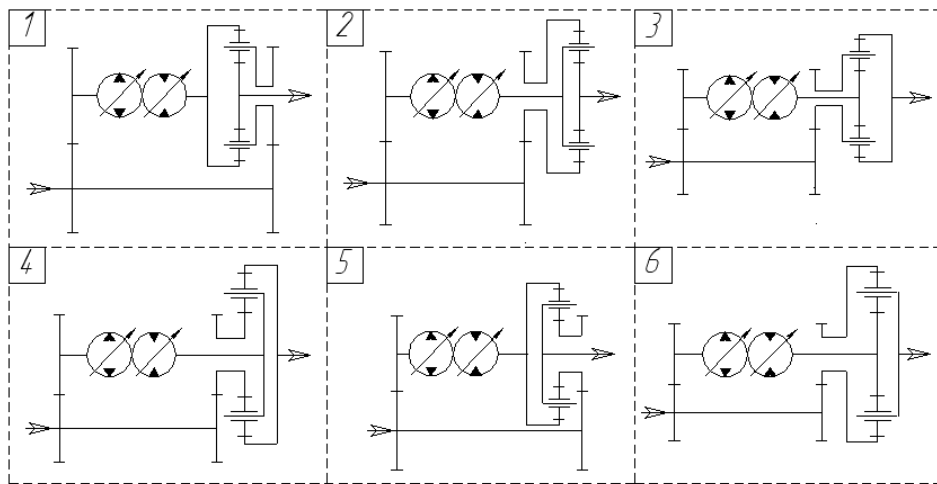


Рис. 6 – Спрощені кінематичні схеми замкнутих контурів ГОМТ тракторів з диференціалом на виході при різних з'єднаннях механічної та гідравлічної гілки з ланками ПР та розташуванням одного редуктора перед ГОП, другого в механічній гілці

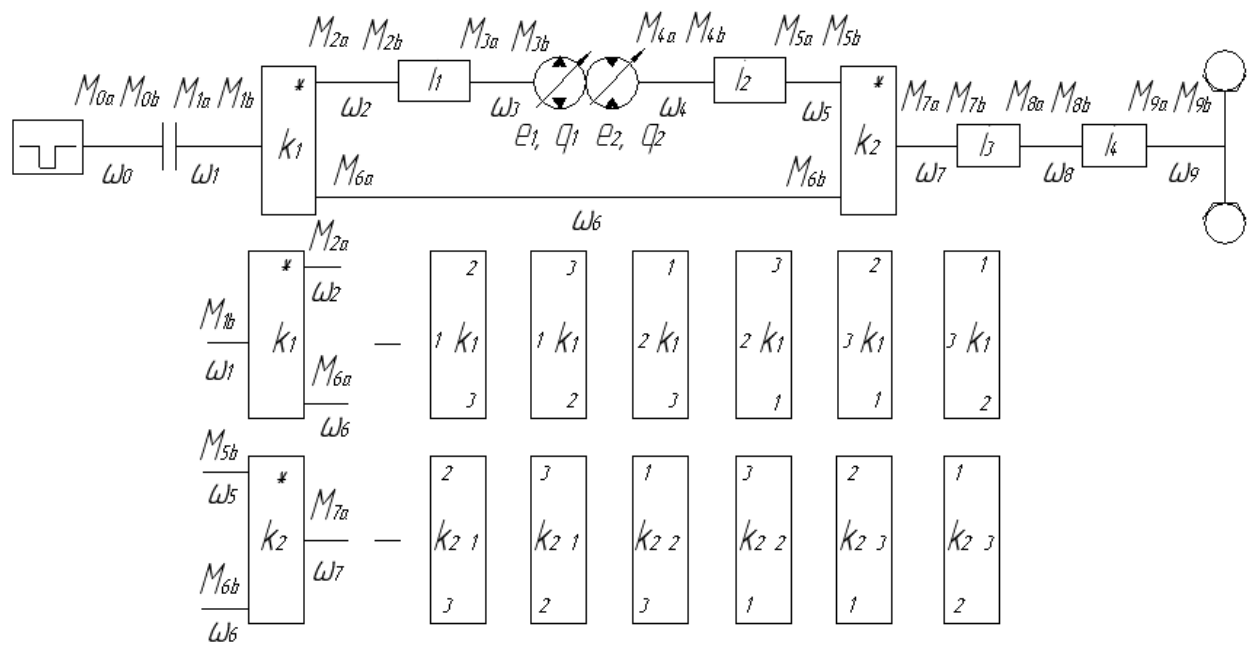


Рис. 7 – Структурні схеми ГОМТ з двома диференціалами та двома редукторами в гідравлічній гілці замкнутого контуру: (“1” – сонячна шестерня, “2” – коронна шестерня; “3” – водило)

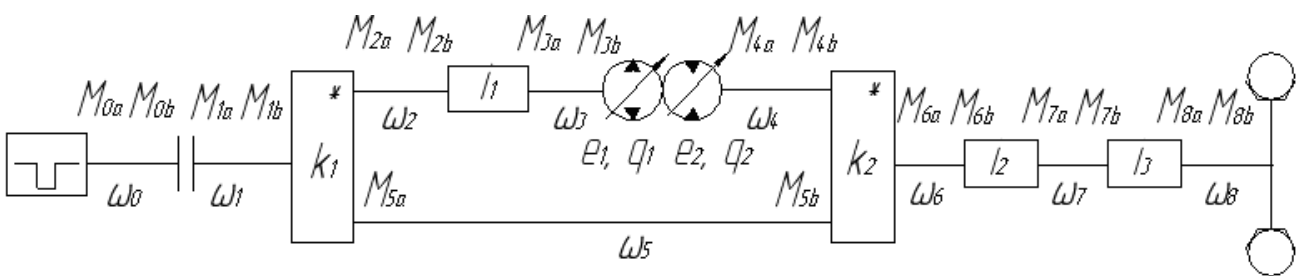


Рис. 8 – Базова структурна схема ГОМТ з двома диференціалами та одним редуктором перед ГОП в гідравлічній гілці замкнутого контуру

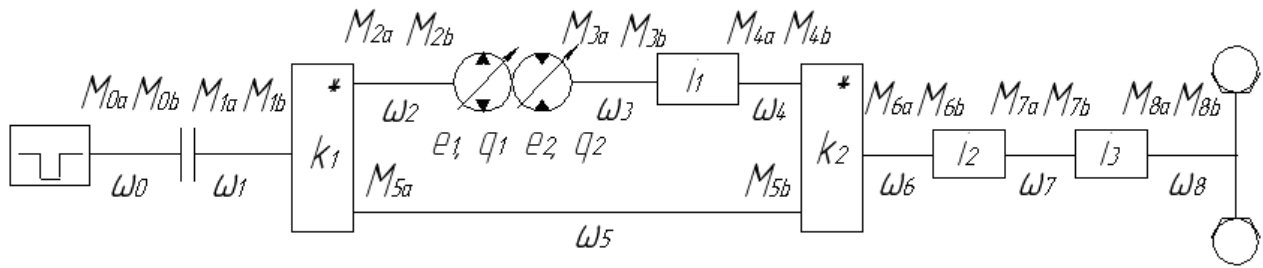
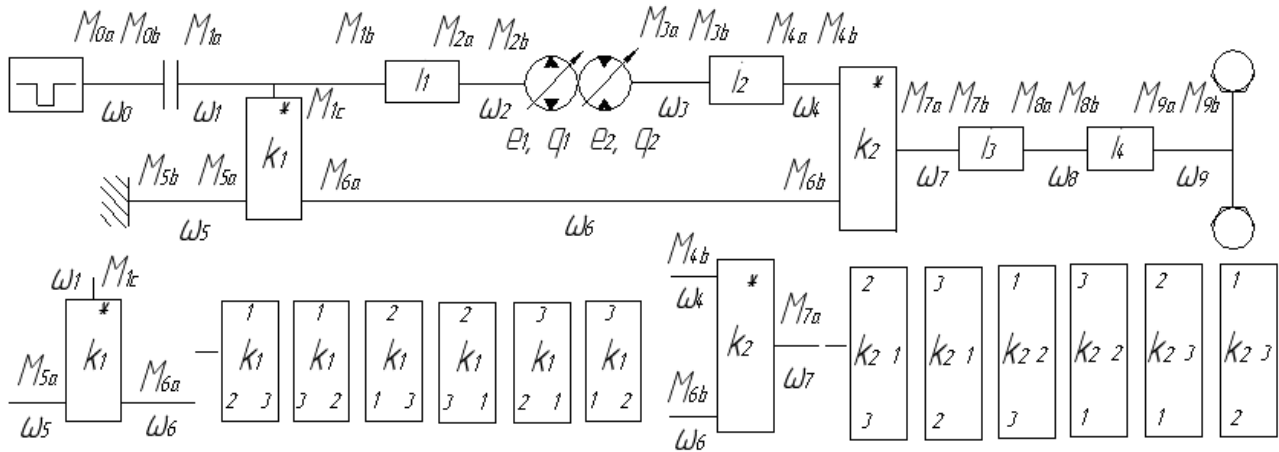
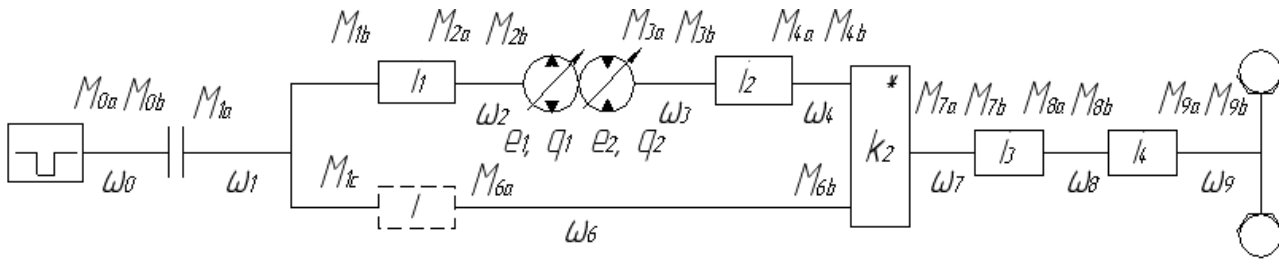


Рис. 9 – Базова структурна схема ГОМТ з двома диференціалами та одним редуктором за ГОП в гідравлічній гілці замкнутого контуру



а)



б)

Рис. 10 – ГОМТ з двома диференціалами та двома редукторами в гідравлічній гілці замкнутого контуру з блокуванням однієї з ланок ПР на вході та з'єднанням двигуна з гідравлічною гілкою в обхід ПР: а) – структурні схеми ГОМТ; б) – трансформована структурна схема ГОМТ з двома диференціалами в ГОМТ з диференціалом на виході.

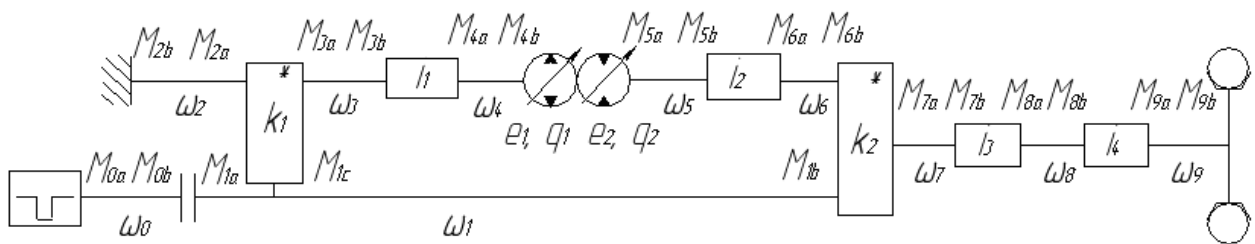


Рис. 11 – Базова структурна схема ГОМТ з двома диференціалами та двома редукторами в гідравлічній гілці замкнутого контуру з блокуванням однієї з ланок ПР на вході та з'єднанням двигуна з механічною гілкою в обхід ПР

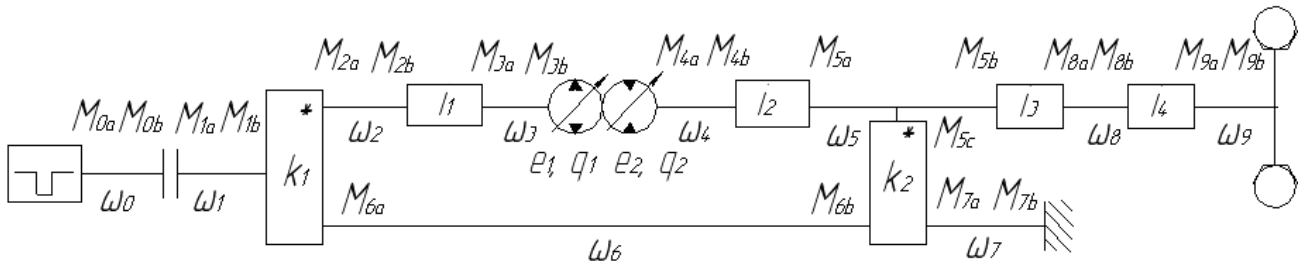


Рис. 12 – Базова структурна схема ГОМТ з двома диференціалами та двома редукторами в гідравлічній гілці замкнутого контуру з блокуванням однієї з ланок ПР на виході та з'єднанням гідравлічної гілки з колесом в обхід ПР

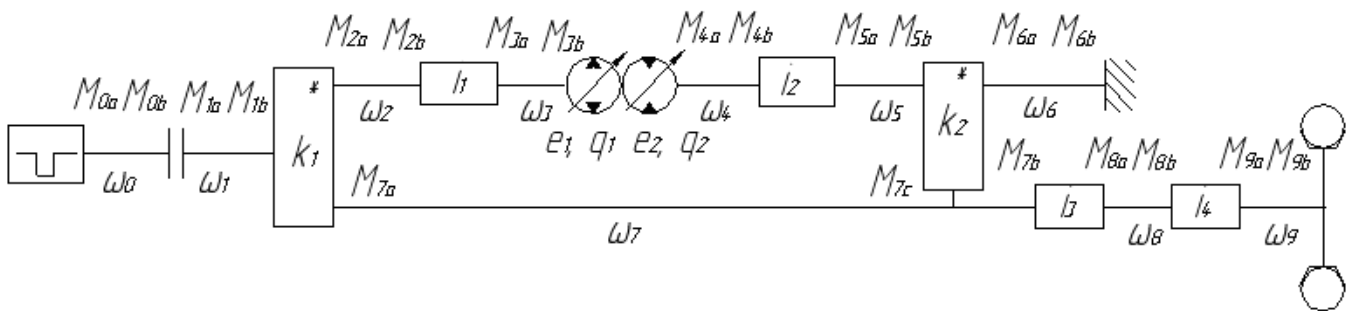


Рис. 13 – Базова структурна схема ГОМТ з двома диференціалами та двома редукторами в гідравлічній гілці замкнутого контуру з блокуванням однієї з ланок ПР на виході та з'єднанням механічної гілки з колесом в обхід ПР

Висновки

1. Кінематичні, силові та енергетичні параметри ГОМТ з диференціалом на вході та розташуванням двох редукторів в гідравлічній гілці замкнутого контуру повністю ідентичні параметрам ГОМТ з розташуванням одного редуктора в гідравлічній гілці замкнутого контуру перед ГОП, другого в механічній гілці в разі вірного підбору передавальних відношень редукторів ГОМТ.
2. При використанні ГОМТ з диференціалом на вході та регульованим замість нерегульованого гідромотора спостерігається зниження перепаду робочого тиску в ГОП, підвищення ККД трансмісії та кутової швидкості валу гідромотора, інші показники, в залежності від схеми, збільшуються або зменшуються не суттєво.
3. Збільшення робочого об'єму регульованого гідромотора ГОМТ з диференціалом на вході призводить до зниження перепаду робочого тиску в ГОП та кутової швидкості валу гідромотора, інші показники, в залежності від схеми, збільшуються або зменшуються не суттєво.
4. Швидкість при якій включається в роботу регульований гідромотор ГОМТ з диференціалом на вході не завжди відповідає максимальному значенню ККД трансмісії.
5. Найкращою з розглянутих ГОМТ з диференціалом на вході при заданих

початкових даних є схема № 4 з максимальним ККД трансмісії 0,862 при швидкостях 8,5 – 10,0 км/год, на другому місці – № 1 з максимальним ККД трансмісії 0,850 при швидкості 10,0 км/год, на третьому місці – № 5 з максимальним ККД трансмісії 0,823 при швидкостях 7,5 – 8,5 км/год (всі з регульованим гідромотором з робочим об'ємом 130 см³ та розташуванням одного редуктора в гідравлічній гілці замкнутого контуру перед ГОП, другого в механічній гілці). Схеми № 3; № 4 та № 6 (при розташуванні двох редукторів в гідравлічній гілці замкнутого контуру використовувати не рекомендується. Схеми № 6 (при розташуванні одного редуктора в гідравлічній гілці замкнутого контуру перед ГОП, другого в механічній гілці), № 2 – не працездатні.

6. Не зважаючи на те, що схема № 5 ГОМТ з диференціалом на вході (рис. 3) поступається за показниками ККД іншим схемам, на теперішній час саме на її базі розроблено трансмісію Fendt Variot, яка є найбільш оригінальною, ефективною та простою з усіх існуючих безступінчастих ГОМТ. Крім того, ця схема характеризується мінімальним значенням кутової швидкості валу гідронасоса в порівнянні зі схемами № 4 та № 1.
7. Циркуляція потужності в замкнутому контурі ГОМТ з диференціалом на вході можлива, в залежності від схеми, як при русі переднім так і заднім ходом.
8. При використанні ГОМТ з диференціалом на виході та регульованим замість нерегульованого гідромотора спостерігається підвищення перепаду робочого тиску в ГОП, кутової швидкості сателітів та валу гідромотора, потужності двигуна, інші показники, в залежності від схеми, збільшуються або зменшуються не суттєво.
9. Збільшення робочого об'єму регульованого гідромотора ГОМТ з диференціалом на виході призводить до зниження перепаду робочого тиску в ГОП, потужності двигуна, максимальної кутової швидкості валу гідромотора, максимальної кутової швидкості сателітів при розташуванні одного редуктора в гідравлічній гілці замкнутого контуру перед ГОП, другого в механічній гілці; підвищення максимальної кутової швидкості сателітів при розташуванні двох редукторів в гідравлічній гілці замкнутого контуру, інші показники, в залежності від схеми, збільшуються або зменшуються не суттєво.
10. Якнайкращою з розглянутих ГОМТ з диференціалом на виході при заданих початкових даних є схема № 4 (при розташуванні двох редукторів в гідравлічній гілці замкнутого контуру та при використанні гідронасоса робочим об'ємом 130 см³, регульованого гідромотора робочим об'ємом 250 см³) з максимальним ККД трансмісії 0,883 при швидкостях 5,8 – 7,2 км/год, на другому місці – № 3 (при розташуванні одного редуктора в гідравлічній гілці замкнутого контуру перед ГОП, другого в механічній гілці та при використанні гідронасоса робочим об'ємом 130 см³, нерегульованого гідромотора робочим об'ємом 130 см³) з максимальним ККД трансмісії 0,866 при швидкостях 5,2 – 7,2 км/год, на третьому місці – № 6 (при розташуванні одного редуктора в

гідролінійній гілці замкнутого контуру перед ГОП, другого в механічній гілці та при використанні гідронасоса робочим об'ємом 130 см^3 , нерегульованого гідромотора робочим об'ємом 250 см^3) з максимальним ККД трансмісії 0,856 при швидкості 5,2 км/год та № 5 при використанні гідронасоса робочим об'ємом 130 см^3 , нерегульованого гідромотора робочим об'ємом 130 см^3 : при розташуванні двох редукторів в гідролінійній гілці замкнутого контуру з максимальним ККД трансмісії 0,826 при швидкості 5,95 км/год; при розташуванні одного редуктора в гідролінійній гілці замкнутого контуру перед ГОП, другого в механічній гілці з максимальним ККД трансмісії 0,822 при швидкості 5,85 км/год. Різниця в ККД схем № 6 та № 5, що розділили між собою третє місце, зумовлена різною кількістю використаних редукторів. Схеми №1, № 2; № 5 (з регульованими гідромоторами); №3, № 6 (при розташуванні двох редукторів в гідролінійній гілці замкнутого контуру); № 4 (при розташуванні одного редуктора в гідролінійній гілці замкнутого контуру перед ГОП, другого в механічній гілці); №3, № 6 (при розташуванні одного редуктора в гідролінійній гілці замкнутого контуру перед ГОП, другого в механічній гілці та при використанні гідронасоса робочим об'ємом 130 см^3 , регульованого гідромотора робочим об'ємом 130 см^3) – не працездатні.

11. Не зважаючи на те, що схема № 5 ГОМТ з диференціалом на виході (рис. б) займає за показниками третє місце, вона має найменші значення кутових швидкостей валів гідромашин та сателітів в порівнянні з ГОМТ, що займають перше та друге місце.
12. В зв'язку з тим, що ККД ГОМТ з диференціалом на виході максимальне при $e_1 \approx 0$, діапазон зміни параметра регулювання e_1 та значення передавальних відношень редукторів ГОМТ необхідно підбирати такими, щоб при $e_1 \approx 0$ швидкість руху машини відповідала робочій швидкості на якій виконується основний вид робіт.
13. У всіх розглянутих схемах ГОМТ з диференціалом на виході при певних швидкостях руху в замкнутому контурі з'являється циркуляція потужності, що приводить до перевантаження механічної гілки.
14. Находження кінематичних, силових та енергетичних параметрів ГОМТ з двома диференціалами: на вході та виході не можливе без:
 - блокування однієї з ланок диференціала на вході або однієї з ланок диференціала на виході, що призводить до трансформації в складну схему з диференціалом на вході або окремо з диференціалом на виході;
 - жорсткого зв'язку ланок диференціала на вході з ланками диференціала на виході, що призводить до суттєвого ускладнення конструкції.
15. Застосування ГОМТ з двома диференціалами: на вході та виході призводить до необхідності використання додаткових елементів, що перемикаються, та викликає ускладнення конструкції.

Список використаних джерел

1. Самородов В.Б. Тенденції та перспективи застосування в автомобіле- і тракторобудуванні безступінчастих гідрооб'ємно-механічних трансмісій / В.Б. Самородов, А.І. Бондаренко // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. – 2012. – № 30. – С. 13 – 22.
2. Самородов В.Б. Основные параметры гидрообъемно-механических трансмиссий, работающих по схеме “дифференциал на входе” / В.Б. Самородов, А.И. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/7 (56).– С. 25 – 35.
3. Самородов В.Б. Розподіл потоків потужності у гідрооб'ємно-механічних трансмісіях, що працюють за схемою “диференціал на вході”/ В.Б. Самородов, А.І. Бондаренко // Вісник національного технічного університету “ХПІ”: зб. наук. праць. Серія: “Автомобіле- та тракторобудування”. – 2012. – № 60 (966) .– С. 31 – 41.
4. Самородов В.Б. Основные параметры гидрообъемно-механических трансмиссий, работающих по схеме “дифференциал на выходе” / В.Б. Самородов, А.И. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/7 (57).– С. 4 – 12.
5. Самородов В.Б. Вплив об'єму гідромотора на основні параметри гідрооб'ємно-механічних трансмісій, що працюють за схемою “диференціал на виході” / В.Б. Самородов, А.І. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 6/7 (60).– С. 20 – 25.

Аннотация

СИНТЕЗ БЕССТУПЕНЧАТЫХ ГИДРООБЪЕМНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАКТОРНЫХ ТРАНСМИССИЙ

Самородов В.Б., Бондаренко А.И., Подмолода Д.А.

Систематизированы основные закономерности распределения кинематических, силовых и энергетических параметров гидрообъемно-механических тракторных трансмиссий, работающих по схемам “дифференциал на входе”, “дифференциал на выходе”, “с двумя дифференциалами: на входе и выходе” выбраны и проанализированы перспективные схемы.

Abstract

SYNTHESIS OF HYDROSTATIC-MECHANICAL TRACTORS TRANSMISSIONS

Samorodov V.B., Bondarenko A.I., Podmoloda D.A.

Systematization of kinematics, power and energetic parameters of hydrostatic-mechanical transmissions, which work on a charts “differential on entrance” and “differential on exit”, “with two differentials: on an entrance and exit” have been done, chosen and analysed perspective charts.