

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦЉНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ГРАФІВ В СТРУКТУРНОМУ СИНТЕЗІ ГОМТ

Самородов В.Б., проф., д.т.н., Мітцель М.О., аспірант

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

В статті виконано детальне обґрунтування переваг застосування теорії графів в процесі структурного синтезу безступінчастих гідрооб'ємно-механічних автотракторних трансмісій. Окреслені подальші напрямки розвитку даного методу, спираючись на відомі нині роботи вітчизняних і зарубіжних авторів. Описано принцип кодування структурних елементів ГОМТ для подальшого програмного вирішення задачі.

Постановка задачі. Питання структурного та параметричного синтезу гідрооб'ємно-механічних трансмісій не втрачає своєї актуальності, адже й понині конструктори та інженери в процесі створення нових зразків не мають можливості проаналізувати всю множину варіантів схем побудови трансмісій в силу складності подібної задачі. Саме тому виникає потреба в розробці автоматизованих методів структурного та параметричного синтезу ГОМТ, які б знизили питому вагу інтуїції та власного досвіду конструктора, як суб'єктивних характеристик, в процесі вибору кінематичної схеми трансмісії та її параметрів. Задача інженера в такому випадку буде зводитись до завдання бажаних характеристик транспортного засобу, та певних вихідних даних, наприклад, характеристик гідромашин. Наявність у конструкторів описаного інструменту, має суттєво знизити витрати часу на обґрунтування трансмісії і, як наслідок, скоротиться період з моменту видачі технічного завдання до процесу виробництва. Теорія графів дозволяє на практиці реалізувати автоматизований структурний синтез трансмісій, іншими словами, перейти від коду трансмісії до її структурної, а в подальшому, і кінематичної схеми.

Аналіз останніх публікацій і досягнень. Звертаючи увагу на роботи присвячені теорії графів можна зробити висновок, що цей розділ дискретної математики знаходить широке застосування в галузі хімії, електротехніці, лінгвістиці, соціології, транспортній логістиці [3,4]. Проте перелік робіт, в яких була хоча би здійснена спроба перекласти методи теорії графів на автотракторні трансмісії дуже обмежений, а стосовно гідрооб'ємно-механічних трансмісій, таких робіт взагалі немає.

В роботах іноземних авторів теорія графів знаходить застосування при синтезі механічної частини гідродинамічних автомобільних трансмісії [7,8,9] і має свої особливості.

Однак відомі фундаментальні роботи [1,2,5,6] присвячені синтезу планетарних коробок передач, в яких результатом позиціонується "атлас кодів" – список всіх можливих схем планетарних ступінчастих трансмісій з заданим ступенем свободи з заданого переліку елементів. Проте, описані в них

алгоритми перевірки графів складних планетарних механізмів можливо адаптувати під графи ГОМТ з певним доопрацюванням.

Шляхи вирішення поставленої задачі. Розвиток та вдосконалення розрахунково-графічних методик по структурному та параметричному синтезу двопоточних безступінчастих ГОМТ в цілому дозволить ще на етапі проектування отримати комплексну оцінку даної складної технічної системи, оптимізувати конструктивні параметри трансмісії з метою підвищення її кінематичних, силових та енергетичних характеристик. Застосування теорії графів дозволить впритул наблизитися до вирішення цієї проблеми.

Відповідно до [6] можна виділити три основні етапи синтезу зубчастих механізмів:

- 1) перерахування і побудова схем механізмів;
- 2) визначення основних параметрів (швидкостей обертання ланок, моментів, потужності);
- 3) розміщення механізму в просторі.

Перший етап зазвичай реалізується за допомогою математичних комбінаторних прийомів, другий – з застосуванням матричних методів, третій – з використанням графів.

Будь-яку трансмісію, в тому числі гідрооб'ємно-механічну, можна представити в вигляді графу, вершини якого будуть уособлювати певну ланку трансмісії, а зв'язки між ланками будуть характеризуватися ребрами графу, описувати такий граф зручно в кодовій формі.

Проте, перш ніж перейти до описання нашого бачення побудови графів ГОМТ, доцільно буде звернути увагу на роботи [7,9]. Однак їх суттєвим недоліком є те, що з них не можна визначити послідовність дій авторів, вони пропонують читачу лише початкові данні та кінцевий результат – граф трансмісії.

На рис.1а, б показано типову кінематичну схему побудови механічної частини гідродинамічної трансмісії та її граф відповідно.

Особливістю даного графу є те, що він враховує не тільки зв'язки між елементами, але й їх типи, наприклад, зв'язок через пару обертання (вал трансмісії з'єднується з корпусом через підшипник чи сателіт планетарного механізму – з водилом) чи через зубчасте зачеплення.

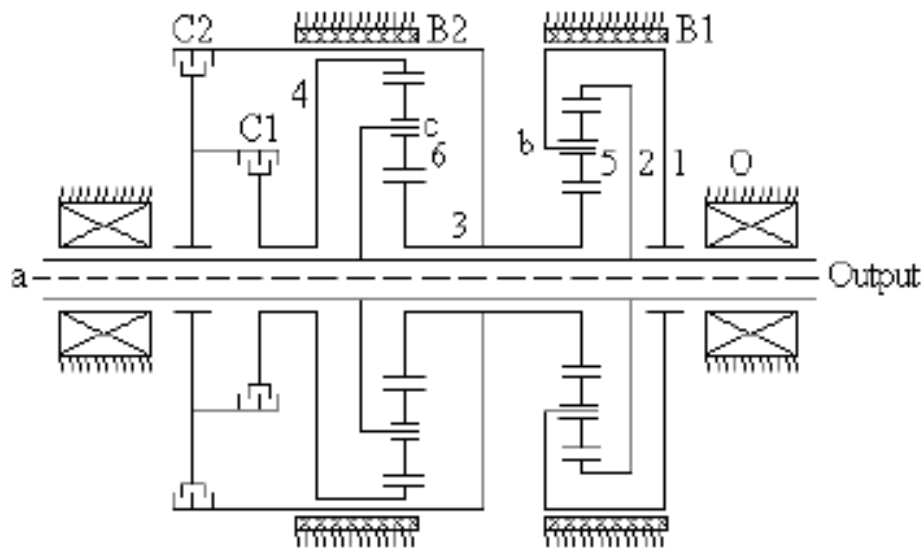
Наступною особливістю є введення додаткової вершини "0", що позначає корпус коробки передач, та розбиття графу на рівні (див. рис. 1б). Нижчим або нульовим рівнем виступає корпус, першим рівнем графу є сонячні шестерні, водила та епіцикли, третій рівень – сателіти.

Тонкими лініями показані з'єднання через пари обертання, жирними лініями – через пари зачеплення, в роботі [7] також пропонується розрізняти типи зв'язків, для чого використовується "метод фарб".

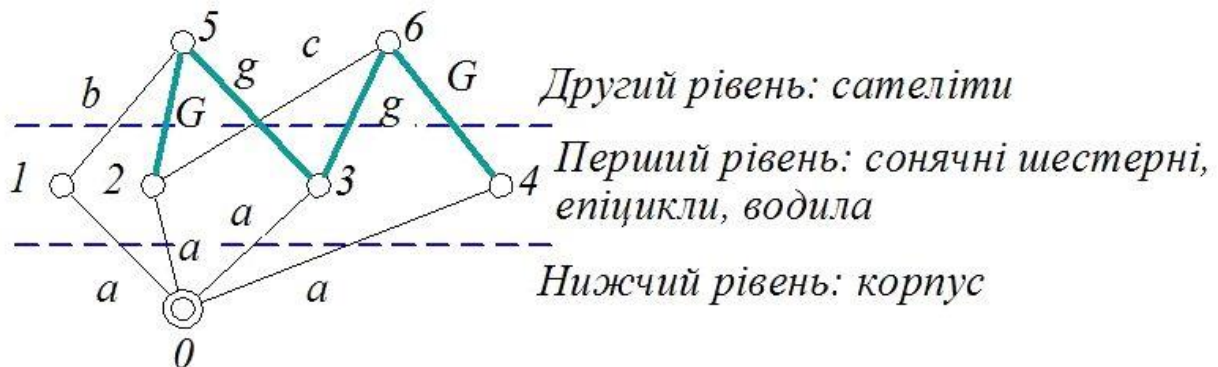
Вирішення задачі структурного синтезу планується проводити в декілька етапів, на першому етапі буде реалізовано наступний алгоритм:

- 1) побудова з обраної кількості структурних елементів множини кодів – можливих варіантів трансмісії;

- 2) перехід до матриць суміжності та інцидентності, з метою перевірки на планарність та ізоморфність;
- 3) представлення матриць в формі графу.



а)



б)

Рис. 1 – Механічна частина автоматичної коробки передач:
а) кінематична схема трансмісії; б) граф трансмісії

Навідмінно від планетарних коробок передач до складу гідрооб'ємно-механічної трансмісії може входити більший перелік елементів, що ставить необхідність визначитися зі способом умовного позначення елементів. В табл.1 приведено перелік структурних елементів трансмісії з програми Trans2000 та наведені їх індивідуальні коди.

Проте даний спосіб кодування в подальшому може бути змінений, зокрема розглядається варіант "подвійного числового кодування" коли перша цифра коду нам буде вказувати на клас елемента, а друга на його порядковий номер серед елементів даного класу. Адже варто чітко усвідомлювати, що "код трансмісії", як числова комбінація, сприймається лише людиною, алгоритм же автоматичної обробки буде працювати з вищезгаданими матрицями, які несуть в собі всю необхідну інформацію про елементи та зв'язки між ними.

Таблиця 1 – Коди структурних елементів ГОМТ

Назва елемента	Піктограма	Код	Назва елемента	Піктограма	Код
Двигун		"1"	Аксiальна ГОП		"8"
Редуктор		"2"	Вал вiдбору потужностi		"9"
Диференцiал 1		"3"	Гiдромашина (окрема)		"a"
Диференцiал 2		"4"	Колесо		"b"
Фрикцiон		"5"	Зiрочка		"c"
Гальмо		"6"	Обгiнна муфта		"d"
Радiальна ГОП		"7"	Корпус	К	"0"

Далі наведемо деякі особливості елементів з табл.1, які будуть враховуватися при накладенні обмежень на алгоритм формування множини трансмісій та їх обробку.

Двигун внутрішнього згорання є початковим елементом, тому код "1" не може бути розміщений між двома іншими кодами.

Диференціал типу 1 з кодом "3" представляє триланковий планетарний механізм, відмінність його в порівнянні з диференціалом типу 2 (код "4") полягає в різному розміщенні цих редукторів відносно інших елементів трансмісій. Для перевірки пересічення зв'язків планетарного механізму достатньо мати його код, як єдиного механізму. Зовнішні зв'язки важливі і враховуються ребрами графу.

Фрикціон типу "5" з'єднує та розриває потік потужності і, як наслідок, суміжні з ним елементи трансмісії, встановлюючи нові зв'язки в графі трансмісії.

Детальний аналіз подібних особливостей елементів буде наведено в подальших роботах безпосередньо з алгоритмами обробки.

На рис. 2 представлена структурна схема двопоточної ГОМТ та її кодування. Малі цифри зліва – це порядкові індекси (довільна нумерація), великі цифри і букви праворуч – позначення типу елементів згідно табл. 1.

Код даного механізму: 12 - 23 - 36 - 35 - 34 - 69 - 58 - 47 - 9а - 8а, де «а» – це двозначний код (10) ланки ГОМПа і зв'язку (8а). Загальна кількість елементів трансмісії обмежена числом цифр від 0 до 9 і малих 26 літер латинського алфавіту. При необхідності опису кількості елементів більше 36, слід вводити додатково великі літери алфавіту або двозначні коди. За кодом будуємо граф (див. рис. 3) з ребрами: (1,2), (2,3), (3,6), (3,5), (3,4), (6,9), (5,8), (4,7), (9, а), (8, а) відкидаючи одне з ребер з взаємно однаковими вершинами.

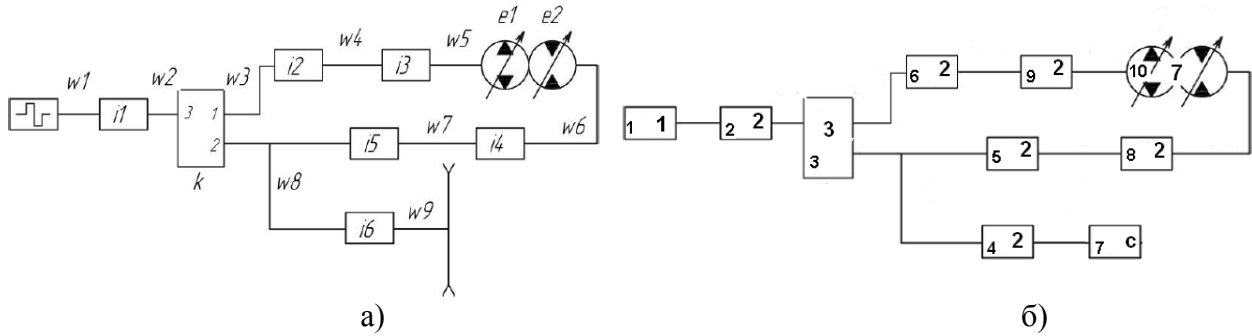


Рис. 2 – ГОМТ с диференціалом на вході: а) структурна схема; б) кодування елементів

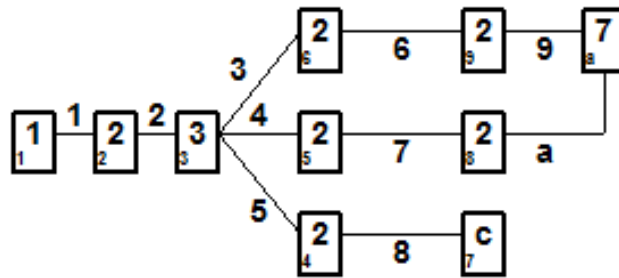


Рис. 3 – Граф трансмісії

Даний граф є планарним оскільки його ребра не перетинаються крім вершин їм інцидентних. Має одну грань (замкнута область). Вершини даного графа мають не одну і ту ж ступінь (вершина 3 має чотири ребра). Граф не є зв'язним. Матриця суміжностей 10×10 графа, приведена на рис. 4, де рядки і стовпці – це номери елементів, симетрична відносно діагоналі з нульовими значеннями, тому з'єднання елементів самих на себе відсутні

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	а
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
5	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
6	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
а	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

Рис. 4 – Матриця суміжності графа

Під нульовою діагоналлю матриці міститься код суміжних елементів, які знаходяться зліва по ходу потоку потужності, а вище діагоналі – справа в кожній парі зв'язків. У даному випадку, з'єднання елементів з однаковими кодами (декількох пар редукторів), дає однакові елементи в обох половинах матриці. Надалі по такій матриці може бути побудована система кінематичних рівнянь, так як елементи в ній вже не знеособлені, а їх внутрішні властивості (передавальні числа і т.п.) можуть бути задані згідно до відповідного коду.

Матриця інцидентності 10×10 рис. 5 де рядки – це номери ребер в порядку їх перерахування: 1 – (1,2), 2 – (2,3), 3 – (3,6), 4 – (3,5), 5 – (3,4), 6 – (6,9), 7 – (5,8), 8 – (4,7), 9 – (9, а), а – (8, а), а стовпці – індекси елементів у вузлах графа. Матриця інцидентцій, як і матриця суміжностей, може бути записана в кодах елементів.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	а
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
7	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
8	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
а	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

а)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	а
1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0
4	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0
5	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0
7	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0
8	0	0	0	2	0	0	с	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7
а	0	0	0	0	0	0	0	2	0	7

б)

Рис. 5 – Матриця інцидентцій в загальній (а) та кодовій (б) формі

Висновки. В даній роботі проведено обґрунтування та закладені основи для подальшого розвитку теорії графів в області структурного та параметричного синтезу ГОМТ. Перевагою даного методу є висока наочність кодів трансмісій, адже вони чітко демонструють зв'язки накладені на кожен ланку, а сам метод підлягає програмуванню. Даний напрямок планується інтенсивно розвивати відповідно до сучасних вимог.

Список використаних джерел

1. Іванченко П.Н., Сушков Ю.А., Вашец А.Д. Автоматизация выбора схем планетарных коробок передач. Справочное пособие. – Л.: Машиностроение, 1974. – 232 с.
2. Красеньков В.И., Вашец А.Д. Проектирование планетарных механизмов транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1986. – 272 с.
3. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход – М.: Мир, 1978. – 215 с.
4. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов. – СПб.: Питер, 2000 – 304 с.
5. амородов В.Б., Шадрунов Е.В. Этапы поиска новых вариантов

трансмиссий для транспортных средств.// Вісник НТУ "ХПІ" Автомобіля-
тракторобудування. – 2005. – №13. – с. 80-87.

6. Сушков Ю.А. Графы зубчатых механизмов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 215 с., ил.
7. Esmail E.L. Kinematic nomographs of epicyclic-type transmission Mechanisms. Emirates journal for engineering researches. Vol. 12, Sec.Vol. 12, Sec. 3, 2007. – 47-55 p.
8. Chatterjee, G., and Tsai, L. W. (1996). Computer-aided sketching of epicyclic-type automatic transmission gear trains, Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 108, No. 3, 1996. – 405-411p.
9. Chatterjee, G., and Tsai, L.W. Enumeration of epicyclic-type transmission gear trains, Transactions of SAE, Vol. 103, Sec. 6, 1995. – 415-426 p.

Аннотация

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ГРАФОВ В СТРУКТУРНОМ СИНТЕЗЕ ГОМТ

Самородов В.Б., Митцель М.О.

В статье выполнено детальное обоснование преимуществ применения теории графов в процессе структурного синтеза бесступенчатых гидрообъемно-механических автотракторных трансмиссий. Обозначенные дальнейшие направления развития данного метода, опираясь на известные ныне работы отечественных и зарубежных авторов. Описаны принцип кодирования структурных элементов ГОМТ для дальнейшего программного решения задачи.

Abstract

RATIONALE USING GRAPH THEORY IN STRUCTURAL SYNTHESIS HST

V. Samorodov, M. Mitsel

The article evidence detailed benefits of graph theory in the synthesis of structural and mechanical continuously variable hydrostatic automotive transmissions. Indicated future directions of development of the method, based on the now famous work of domestic and foreign authors. Describes the coding principle structural elements HST for further software solution.