

УДК 621.311.24

АЛЕКСІЄВСЬКИЙ Д.Г.

Запорізька державна інженерна академія

СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ У ЗМІННИХ СТАНУ ДЛЯ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ВІТРОЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧИХ СИСТЕМ

Мета. Розробка методики синтезу моделей у змінних стану для багатоканальних вітроелектрогенеруючих систем на базі представлення структур цих систем у вигляді схем енергетичних трактів.

Методика. Методика синтезу моделей у змінних стану для багатоканальної вітроелектрогенеруючої системи базується на представленні її роботи у формі структури енергетичного тракту. Самі схеми енергетичних трактів реалізують певний спосіб декомпозиції системи, який базується на використанні замкнутого набору елементів, що відображають фази та стадії перетворення, накопичення та перерозподілу енергії у системі. Запропонований алгоритм використовує табличне представлення інформації про властивості елементів та структуру системи. Сам же алгоритм реалізовано у формі ітераційних обчислень.

Результати. Розроблено алгоритм перетворення візуально-блочної моделі багатоканальної вітроелектрогенеруючої системи у модель у змінних стану.

Наукова новизна. Методика синтезу моделей у змінних стану для багатоканальних вітроелектрогенеруючих систем на базі представлення структур цих систем у вигляді схем енергетичних трактів запропонована вперше.

Практична значимість. Дана методика може бути використана як складова у процедурі синтезу оптимальних регуляторів для електромеханічних систем багатоканальних ВЕУ.

Ключові слова: вітроенергетична установка, математична модель у змінних стану, багатоканальні вітроелектрогенеруючі систем, схеми енергетичних трактів.

Вступ. На теперішній час зусилля розробників ВЕУ спрямовані на пошук технічних рішень, що сприяють підвищенню їх ефективності. На цьому шляху з'являється ряд конструктивних рішень які відрізняються від класичної концепції ВЕУ, серед яких можна виділити групу багатоканальних ВЕУ. У цих системах потужність піддається перетворенню не в послідовному одноканальному тракті перетворення, як у класичних ВЕУ, а в розгалуженій системі перетворення потужності. Поява таких конструкцій обумовлене наявністю ряду технічних проблем, до яких можна віднести [1]:

- необхідність узгодження кутових швидкостей вітротурбіни та генератора;
- нерівномірність розподілу значення вітрового потоку по висоті;
- прагнення спростити монтаж та обслуговування ВЕУ;
- необхідність зниження механічних навантажень на конструктивні елементи ВЕУ.

Одним з аспектів застосування цих систем є проблема розробки систем керування для них. Першим етапом процедури синтезу системи керування деякими засобами сучасної теорії управління є представлення об'єкту управління у формі моделі у змінних стану. Трудомісткість синтезу моделі об'єкту управління, може досягати від 80 до 90% від загального трудомісткості усієї процедури синтезу системи керування [2]. У зв'язку з цим стає актуальним створення умов для скорочення часу на синтез математичної моделі для багатоканальної ВЕУ, як об'єкту управління, враховуючи більш складну структуру та більший порядок таких систем в порівнянні з класичною концепцією побудови ВЕУ.

Постановка завдання. В роботі [1] було запропоновано методику побудови візуально-блочних моделей (ВБМ) багатоканальних вітроенергетичних установок, що базується на представленні ВЕУ у формі схеми енергетичних трактів. Даний підхід дозволяє

сформувати замкнену бібліотеку компонентів структури, що значно полегшує виконання синтезу, як на стадії створення так і на стадії налагодження імітаційної моделі.

Представлення математичного опису об'єкта управління у формі імітаційної моделі, в більшості випадків, непридатна для початку синтезу системи керування.

Подальший розвиток концепції представлення електромеханічної системи багатоканальної ВЕУ у формі енергетичного тракту породив ідею розробки алгоритму перетворення ВБМ, отриманої на попередньому етапі синтезу, у модель змінних стану для забезпечення наступного етапу - синтезу регулятора. Створенню цього алгоритму перетворення присвячена дана робота.

Результати. Модель у змінних стану має наступний вигляд:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= A \cdot x + B \cdot u \\ y &= C \cdot x + D \cdot u,\end{aligned}\tag{1}$$

де x - вектор змінних стану;

\dot{x} - вектор похідних змінних стану;

u - вектор вхідних змінних;

y - вектор вихідних змінних;

A - матриця систем;

B - вхідна матриця;

C - вихідна матриця;

D - прохідна матриця.

Похідною інформацією для реалізації алгоритму формування матричної системи в змінних стану багатоканального електротехнічного комплексу ВЕУ є візуально-блочна модель цього комплексу. Алгоритм включає в себе наступні три етапи:

- перетворення ВБМ у пакет карт елементів (ПКЕ);
- формування карти системи;
- перетворення карти системи у матричну систему рівнянь змінних стану.

На етапі перетворення візуально-блочної моделі електротехнічного комплексу у пакет карт елементів кожному зв'язку ВБМ ставиться у відповідність індекс за наступною системою позначень:

$x_{K^o}^o$, - індекс, що відповідає змінній стану системи;

$x_{K^+}^+$ - індекс, що відповідає вхідній змінній системи;

$x_{K^-}^-$ - індекс, що відповідає вихідній змінній системи;

$x_{K'}^{'}$ - індекс, що відповідає внутрішній змінній системи;

K^o, K^+, K^-, K' - наскрізні номери у межах відповідної групи.

Далі кожному елементу ВБМ ставиться у відповідність карта елемента з бібліотеки типів елементів, відповідно до його типу.

Типова карта елемента представляє собою заготовку для формування карти елемента моделі. Вона включає незаповнені комірки, що відповідають вхідним та вихідним змінним елементу. Комірки заповнюються елементами: $x_{K^o}^o$, $x_{K^+}^+$, $x_{K^-}^-$, $x_{K'}^{'}$. В наслідок цього встановлюється зв'язок між змінними системи та типовими змінними елементами.

Таким чином заповнюються карти усіх елементів системи, в наслідок чого відбувається формування ПКЕ. Отриманий, таким чином, ПКЕ містить у собі повну

інформацію як про властивості елементів так і про структуру моделі. Карта елемента ВБМ являє собою прямокутну таблицю, що має чотири сектори (рисунок 1). Номер елемента ВБМ задається через наскрізну нумерацію елементів моделі.

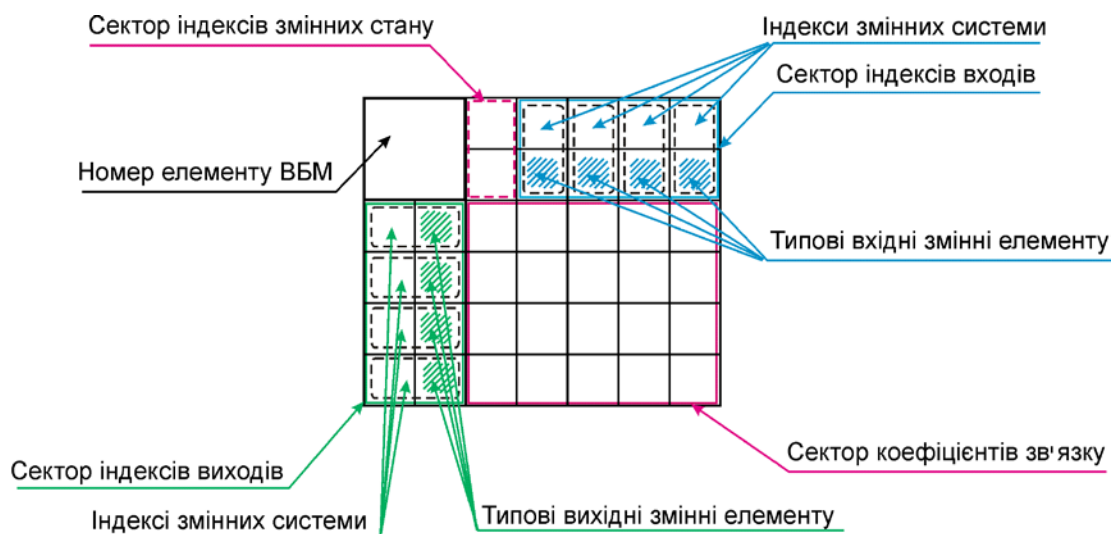


Рис. 1. Структура карти елемента

Сектор індексів входів має два рядки. Нижній рядок містить типові вхідні змінні елементу. Їх символічні значення задані заздалегідь та визначаються типом елемента моделі, що міститься у бібліотеці елементів. В процесі формування карти елемента їх значення не змінюється.

Верхній рядок сектора входів містить індекси системи, що пов'язаний з відповідною типовою змінною. Кожний індекс розташовано над типовою змінною елемента, та ставиться їй у відповідність виходячи з структури ВБМ.

Сектор індексів виходів має два стовпчики. Правий стовпчик містить типові вихідні змінні елементу. Їх символічні значення задані заздалегідь та визначаються типом елемента моделі, що міститься у бібліотеці елементів. В процесі формування карти елемента їх значення не змінюється.

Лівий стовпчик сектора виходів містить індекси системи, що пов'язані з відповідними типовими змінними. Кожний індекс розташовано навпроти типової змінної елемента, та ставиться їй у відповідність виходячи з структури ВБМ.

Сектор коефіцієнтів містить коефіцієнти системи рівнянь, що визначають властивості елемента моделі. При формуванні карти елемента до позначень коефіцієнтів елемента додається числовий індекс, що дорівнює номеру елемента у ВБМ. Таким чином кожен коефіцієнт моделі отримує унікальний ідентифікатор.

При наявності пакета карт елементів може бути сформована карта системи. Вона має вигляд прямокутної таблиці (рисунок 2). У її структурі можна виділити сектори: А, В, С, D, АВ, АС, ВD, CD та ABCD.

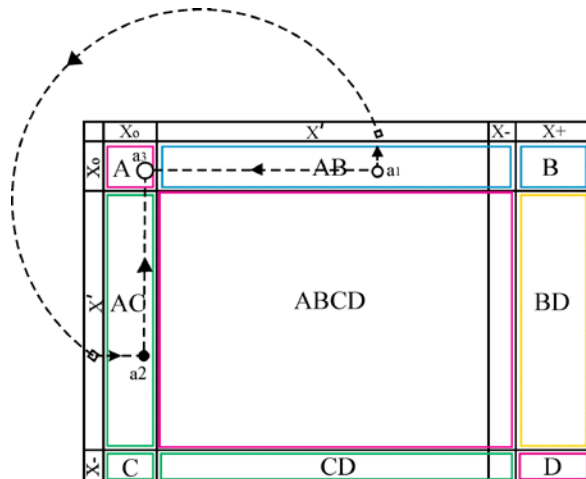


Рис. 2. Структура карти системи

Верхній рядок карти системи включає в себе сектори: X^0 , X' , X^- , X^+ , лівий стовпчик – сектори: X^0 , X' , X^- . В процесі реалізації алгоритму в секторах A, B, C, D будуть сформовані відповідні матриці змінних стану. В секторах X^0 , X' , X^- та X^+ розміщуються індекси змінних системи.

Карта системи формується з ПКЕ шляхом перенесення коефіцієнтів з кожної карти ПКЕ на перехресті рядка та стовпчика у відповідності з індексами.

В основі алгоритму перетворення карти системи у матриці системи змінних стану A, B, C, D знаходиться наступна послідовність дій (на рисунку 2 зображено варіант формування елемента матриці A):

- визначення в секторі AB і AC не пустого елемента (позначеного як a_1);
- визначення індексу стовпчика цього елемента у верхньому рядку карти системи;
- задавання рядка у карті системи з однойменним індексом;
- визначення непустого елемента у заданому рядку (позначеного як a_2).
- на перетині рядка з елементом a_1 та стовпці з елементом a_2 записати результат - a_3 ,

що відповідає наступному виразу:

$$a_3 = a_0 + a_1 \cdot a_2, \quad (2)$$

де a_0 - символічне значення обраної комірки до початку процедури.

Описана процедура може мати шість варіантів - сценаріїв, в залежності від місця розміщення не пустого елемента - a_2 . Схематично ці сценарії зображені на рисунку 3.

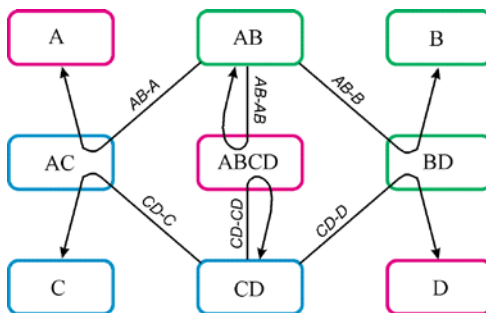


Рис. 3. Схема здійснення варіантів процедури перетворення матриці системи

Розглянута процедура проводиться як ітераційний процес послідовного перетворення початкової карти системи, у результаті якого формуються матриці А, В, С, D. Він завершується тоді, коли у секторах АВ та CD не залишається жодного невикористаного не пустого елемента.

Висновки. В межах єдиного підходу представлення електромеханічної системи багатоканальної ВЕУ розроблено ефективну технологію отримання її математичного опису у формі моделі змінних стану, що є відправною точкою для реалізації алгоритмів синтезу регуляторів для багатоканальної системи засобами сучасної теорії автоматичного управління [2, 3, 4].

Процедура формування матричної системи у змінних стану може, на перший погляд, здаватися складною. Але вона є повністю формалізованою и може бути легко реалізована програмними засобами.

Дана методика значно спрощує синтез математичної моделі багатоканального вітроенергетичного комплексу за рахунок залучення бібліотеки елементів. Вона має спадкоємність з представленням багатоканального електротехнічного комплексу у формі схеми енергетичних трактів та ВБМ, що дозволяє розглядати даний алгоритм як елемент наскрізної методології аналізу багатоканальних вітроелектрогенеруючих систем та синтезу систем керування на їх базі.

Література

1. Алексеевский Д.Г. Визуальное моделирование многоканальных ветроэлектрогенерирующих систем // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Спецвипуск: Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – 2017. – № 27(1249). – С. 332–336.
2. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. Перевод с английского Копылова Б.И. – Москва: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 616 с.
3. Dorf Р., Бишоп Р. Современные системы управления. Перевод с английского Копылова Б.И. – Москва: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
4. Ивановский Р.И., Нестеров А.В. Синтез многомерных систем управления. Проблема устойчивости // Гироскопия и навигация. – 2011. – № 1 (72). – С. 90-94.

References

1. Alekseevskiy D.G. (2017), Vizual'noe modelirovanie mnogokanal'nykh vetroelektrogeneriruyushchikh sistem [Visual simulation of multilink wind electric generation system] *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiyi politekhnichniy instytut». Spetsvypusk: Problemy avtomatizirovannoho elektroprivoda. Teoriia i praktika.* – Kharkov.: Natsionalnyi tekhnichnyi universytet «Kharkivskiyi politekhnichniy instytut» – Reporter of the National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute". Special: The problems of an automated electric drive. Theory and practice. - Kharkiv: National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 27(1249), 332–336 [in Russian].
2. Fillips, Ch., Kharbr, R. (2001). *Sistemy upravleniya s obratnoy svyaz'yu* [Control systems with feedback]. Perevod s anhliskoho Kopylova B.I. Moskva: Laboratoriia Bazovykh Znanii [in Russian].
3. Dorf, R., Bishop, R. (2002) *Sovremennyye sistemy upravleniya* [Modern control systems]. Perevod s anhliskoho Kopylova B.I. Moskva: Laboratoriia Bazovykh Znanii [in Russian].
4. Ivanovskii, R.I., Nesterov, A.V. (2011). Sintez mnogomernykh sistem upravleniya. Problema ustoychivosti [Synthesis of multidimensional control systems. The problem of stability]. *Giroskopiya i navigatsiya – A gyroscope and navigation*, 1(72), 90-94 [in Russian].

**СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ В ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ
ВЕТРОЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМ
АЛЕКСЕЕВСКИЙ Д.Г.**

Запорожская государственная инженерная академия

Цель. Разработка методики синтеза моделей в переменных состояниях для многоканальных ветроэлектрогенерирующих систем на базе представления их структур в виде схем энергетических трактов.

Методика. Методика синтеза моделей в переменных состояниях для многоканальной ветроэлектрогенерирующей системы базируется на представлении ее работы в форме структуры энергетического тракта. Сами схемы энергетических трактов реализуют определенный способ декомпозиции системы, основанный на использовании замкнутого набора элементов, отражающих фазы и стадии преобразования, накопления и перераспределения энергии в системе. Предложенный алгоритм использует табличное представление информации о свойствах элементов и структуре системы. Сам же алгоритм реализован в форме итерационных вычислений.

Результаты. Разработан алгоритм преобразования визуально-блочной модели многоканальной ветроэлектрогенерирующей системы в модель в переменных состояниях.

Научная новизна. Методика синтеза моделей в переменных состояниях для многоканальных ветроэлектрогенерирующих систем на базе представления структур этих систем в виде схем энергетических трактов предложена впервые.

Практическая значимость. Данная методика может быть использована как составляющая в процедуре синтеза оптимальных регуляторов для электромеханических систем многоканальных ВЭУ

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, математическая модель в переменных состояниях, многоканальные ветроэлектрогенерирующие системы, схемы энергетических трактов.

**SYNTHESIS OF STATE VARIABLES MODELS FOR MULTILINK WIND POWER
GENERATION SYSTEMS
ALEKSEEVSKIY D.G.**

Zaporozhe State Engineering Academy

Purpose. Method development of state variable models synthesis for multilink wind power generation systems based on a concept of their structure in the form of energy chain schemes.

Methodology. The methods of state variable models synthesis for multilink wind power generation systems based on a concept of its operation in the form of energy chain structure. Energy chain schemes implement a use closed set of elements. They reflect phase and step of transformational, integration rearrangement of energy in a system. A proposed algorithm used a table representation of information about element ability and schemes structure. The algorithm itself is realized in the form of computation iterative.

Findings. The transformation algorithm of visually-block model of multilink wind power generation systems to state variable models developed.

Originality. Methods of state variable models synthesis for multilink wind power generation systems based on a concept of their structure in the form of energy chain schemes are first proposed.

Practical value. This method can be used as a component in the optimal controls synthesis process for electromechanical systems of multilink wind power plant.

Key words: wind power plant, wind turbine, mathematical model in variable state, multilink wind power generation systems, energy chain schemes.