

А.В. РОГОВ, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ» (г. Харьков)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ МАТРИЧНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Запропоновано узагальнення енергетичних зв'язків структурної схеми трансмісії для методики матричного математичного моделювання. Представлено приклад структурної схеми з різними типами зв'язків. Побудовано повну матричну математичну модель гідрооб'ємного механізму повороту.

Generalization of structural scheme power connections of transmission is offered for the method of matrix mathematical modeling. The example of structural scheme is presented with the different types of connections. The complete matrix mathematical model of hydrovolumetric mechanism of turn is built.

Анализ последних достижений и публикаций. Методика матричного анализа, применяемая для моделирования работы технических систем, в частности, механических и гидрообъемно-механических трансмиссий, в настоящее время успешно применяется [1,2] для анализа статических и динамических режимов работы трансмиссий. Ее достоинствами является простота реализации с помощью вычислительной техники [1], высокая степень формализации, позволяющая детально изучать работу каждого элемента в отдельности и совершенствовать методики моделирования элементов без внесения изменений в общую методику матричного анализа; детальность и информативность полученных результатов – угловых скоростей, ускорений и моментов нагрузки на каждом звене и элементе трансмиссии.

Цель и постановка задачи. К недостаткам методики матричного анализа можно отнести направленность на моделирование исключительно механических процессов – рассматриваются в основном механические звенья, передающие мощность за счет угловой скорости и момента. При учете гидравлических [2] и электромеханических элементов [3] внутренние процессы передачи и потери мощности замыкаются внутри самого элемента, который представлен в методике матричного анализа как обобщенный «моноблок», то есть механическое устройство, потребляющее и передающее механическую мощность. К таким моноблокам сводятся, в частности, гидрообъемные и электромеханические передачи [3]. Фактически на эффективность методики и точность полученных результатов такое сведение не влияет, но исключает возможность детального изучения процессов, протекающих внутри блоков, а также требует введения дополнительных алгоритмов и допущений, позволяющих моделировать отдельные системы, изменяющие характер проходящей мощности, в частности, гидросистему «насос – гидромоторы».

Поскольку к подобным системам также относится электромеханическая передача, в состав которой может входить генератор, частотный преобразователь, электродвигатели постоянного и переменного тока [3] (а также отсутствовать генератор при наличии постоянного источника энергии – сети), ставится задача обобщения методики матричного анализа для трех видов мощности – механической, гидравлической и электрической.

Основным определением, препятствующим подобному обобщению, в существующей методике матричного анализа является определение кинематического звена – единого механического элемента, составные части которого обладают одной угловой скоростью. В самом названии кинематического звена присутствует частность данного определения – поскольку рассматривается исключительно звено, передающее механическую энергию.

Методика моделирования. В данной статье понятие кинематического звена обобщается до понятия структурной связи и рассматриваются ее частные случаи: механическая связь, гидравлическая и электрическая.

Любая структурная связь подчиняется закону сохранения энергии. Для статических режимов данный закон записывается в виде:

$$\sum N_i = 0, \quad (1)$$

где N_i – мощность на выводе элемента, принимаемая положительной для генерируемой мощности и отрицательной – для потребляемой [2].

Механическая связь обладает единой угловой скоростью ω_i для всех выводов элементов, присоединенных к ней; для моментов M_i на выводах элементов сохраняется баланс моментов (следствие закона Ньютона):

$$\forall i: w_i = w_{i+1}; \quad (2)$$

$$\sum M_i = 0. \quad (3)$$

Различные знаки для моментов соответствуют их направлению – по часовой стрелке или против, в зависимости от изначальной договоренности. Как правило, положительным направлением крутящего момента считают направление вращения коленчатого вала двигателя.

Аналогично, для гидравлической связи без учета гидравлических потерь (как правило, гидравлический КПД связи близок к 1) существует единое давление p_i для всех выводов элементов, а расход рабочей жидкости Q_i подчиняется закону сохранения массы:

$$\forall i: p_i = p_{i+1}; \quad (4)$$

$$\sum Q_i = 0. \quad (5)$$

Под давлением p_i принимается разность между магистралями высокого и низкого давления; согласно [2] данная величина может принимать отрицательные и положительные значения, характеризующие, например, направление крутящего момента на валу гидромотора. Знак расхода

характеризует направление потока жидкости в одной из магистралей: принимается положительным, если элемент подает по выбранной магистрали в гидросистему жидкость и отрицательным, если жидкость по выбранной магистрали подается в элемент. Знак расхода, в частности, однозначно определяет направление вращения вала нерегулируемого гидромотора. С учетом принятых договоренностей для гидравлической связи также выполняется закон сохранения энергии:

$$\sum N_i = \sum Q_i p_i = p \sum Q_i = 0 \quad (6)$$

Для электрической связи постоянного тока без учета сопротивления соединительных элементов напряжение U_i одинаково для всех элементов связи. Сила токов I_i подчиняется закону Кирхгофа:

$$\forall i: U_i = U_{i+1}; \quad (7)$$

$$\sum I_i = 0. \quad (8)$$

Знак напряжения, в частности, характеризует направление вращения генератора или электродвигателя – совпадает, таким образом, со знаком угловой скорости валов электрических машин. Сила тока принимается положительной, если по выбранному проводнику ток направлен от элемента в электрическую систему; отрицательной – если по данному проводнику ток потребляется элементом. Электрическая связь также подчиняется закону сохранения энергии, что следует из (9):

$$\sum N_i = \sum U_i I_i = U \sum I_i = 0 \quad (9)$$

Выражения для электрической связи переменного тока полностью аналогичны (7) - (9), поскольку знак тока и напряжения отражает природу их возникновения, а не непосредственно разность потенциалов между двумя проводниками. Так, положительное напряжение возникает при вращении вала синхронного генератора в направлении вращения коленчатого вала двигателя (или в направлении, принятом положительным, если в схеме отсутствует двигатель внутреннего сгорания).

Таким образом, понятие кинематической связи в методике матричного анализа может быть расширено до энергетической связи с сохранением основных принципов: каждая энергетическая связь имеет уникальный номер и в качестве неизвестных включает в себя постоянную величину – угловую скорость, перепад давления или напряжение, в зависимости от типа связи, а также аддитивные величины – моменты нагрузки, расходы и силы токов. С точки зрения алгоритма записи в матричной системе все типы связей полностью эквивалентны – в частности, независимо от типа связи присутствует однотипное уравнение связи (2), (5) или (8). Понятие кинематической и силовой матричной системы, таким образом, также расширяется до матричных систем постоянных и аддитивных неизвестных.

Результаты моделирования. Пример расчетной схемы гидрообъемного механизма поворота гусеничной машины, в которой использованы все три типа энергетических связей, представлен на рис. 1.

На рис. 1 обозначения проставлены согласно классической методике матричного анализа [2], за исключением новых типов связей (гидравлическая связь №2 и электрическая связь №5). Матричный шаблон системы постоянных неизвестных для данной схемы представлен в виде таблицы 1:

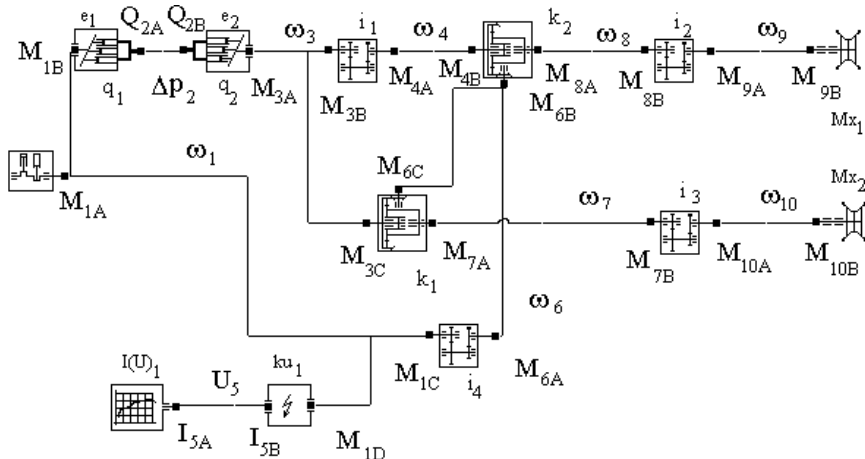


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема гидрообъемного механизма поворота гусеничной машины

Таблица 1. Матричный шаблон постоянных неизвестных

ω_1	ω_3	ω_4	U_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9	ω_{10}	
1									ω_D
	$-i_1$	1				$-i_2$	1		
					$-i_3$			1	
	1			$-k_1$	k_1-1				
		1		$-k_2$		k_2-1			
1				$-i_4$					
$-k_{u1}$			1						

Матричный шаблон (табл. 1) не замкнутый, поскольку в нем представлены только уравнения, описывающий взаимосвязи между постоянными неизвестными. Для объемной гидромашины, например, взаимосвязь записывается между моментом и перепадом давления – что не соответствует определению матричной системы постоянных неизвестных и требует наличия промежуточной матричной системы:

Таблица 2. Матричный шаблон промежуточной системы

Δp_2	ω_1^*	ω_3^*	Q_{2A}^*	Q_{2B}^*	M_{1B}^*	M_{3A}^*
	$-e_1 q_1$		1			
		$-e_2 q_2$		1		
1					$e_1 q_1$	
1						$e_2 q_2$

В таблице (2) символом «*» показаны неизвестные, не учитываемые при вычислении ранга полной матричной системы, поскольку уже присутствуют в шаблоне для постоянных или аддитивных неизвестных.

Матричный шаблон аддитивных неизвестных в связи с высоким рангом невозможно привести в статье. Уравнения, отличающиеся от классической методики матричного анализа, представлены в шаблоне в таблице 3:

Таблица 3. Дополнительный матричный шаблон

I_{5A}	I_{5B}	M_{1D}^*	
	k_{01}	1	
1			$I(U)$

Таким образом, полная матричная система гидрообъемного механизма поворота состоит из:

- 10 постоянных неизвестных – 8 угловых скоростей, 1 перепад давления и 1 напряжение;
- 23 аддитивных неизвестных – 17 моментов, 2 расхода и 2 силы тока.
- 4 кинематических и 4 силовых уравнений для редукторов;
- 2 кинематических и 4 силовых уравнений для трехзвенных планетарных механизмов;
- 4 промежуточных уравнений для двух гидромашин;
- 1 силового и 1 кинематического уравнения для генератора;
- 3 силовых уравнений для звездочек и потребителя электроэнергии;
- 10 уравнений связи.

Следовательно, полная матричная система имеет размеры 33x33 и может иметь единственное нетривиальное решение.

Выводы. Представленное в статье обобщение энергетических связей структурной схемы технической системы, в частности, трансмиссии, позволяет расширить методику матричного анализа за счет введения новых базисных матриц структурных элементов с сохранением основных принципов построения матричных моделей.

Список литературы: 1. Самородов В.Б., Рогов А.В. Объектно-ориентированный подход к моделированию трансмиссий в области транспортного машиностроения // Вестник ХГПУ, серия НРСТ.– Харьков.–1999.– Вып.66. –С.48-53. 2. Самородов В.Б. Генерация матричных моделей для гидрообъемно-механических трансмиссий произвольного вида //Системотехника автомобильного транспорта.– Харьков: ХГАДГУ, 1999.– С.61-68. 3. Буряковский С.Г., Рогов А.В., Таран И.А., Самородов В.В. Информационные технологии при проектировании и расчете бесступенчатых трансмиссий на базе электрических передач. – Механика и машиностроение. – Харьков: НТУ «ХПИ». –2008 г. – №1. – с. 274-279.

Поступила в редколлегию 15.12.2009