

УДК 681.518.2

О.В. Шульга

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ У СИСТЕМАХ НАВІГАЦІЇ

Для побудови систем навігації пропонується використовувати нелінійні системи автоматичного керування. Проведений аналіз даної системи, визначені математичні вирази для розрахунку прямого та оберненого гармонійних коефіцієнтів передачі нелінійного елемента, що дозволяє знаходити амплітудно-фазові характеристики системи. Розглянута методика розрахунку стійкості і параметрів автоколивальних у нелінійних системах автоматичного керування.

**Ключові слова:** нелінійність, стійкість, нечутливість, релейний елемент, критерій стійкості, модель, електропривод, зворотний зв'язок, корекція, регулятор, коефіцієнт передачі.

### Вступ

В зв'язку з розширенням використання засобів навігації у різних галузях виробництва, де вимагається орієнтація об'єктів у просторі та керування їх рухом за заданою траєкторією, велика увага приділяється аналізу і синтезу даних систем.

У відповідності з вимогами до систем навігації та управління рухом, вони будуються і працюють як нелінійні системи автоматичного керування (САК). Об'єктом керування у цих системах являються, в основному, двигуни постійного струму (ДПС), які при більш простих схематичних рішеннях дозволяють отримати високі точності та якісні показники при регулюванні вихідних сигналів у широкому діапазоні.

У роботі розглянуті питання математичного моделювання нелінійних САК, розрахунку передавальних функцій складових частин, коефіцієнтів передачі, побудові та аналізу характеристик систем.

**Мета статті.** Теоретичне обґрунтування та експериментальне дослідження автоколивальних про-

цесів у нелінійній системі, вплив вигляду нелінійності на якість нелінійної системи.

### Основний матеріал

Нелінійні системи – це системи автоматичного керування, рух яких описується нелійними диференціальними рівняннями. Нелінійність частіше за все зумовлена характеристиками елементів, що входять до складу системи, які за своєю фізичною природою є нелійними. Наприклад, релейні елементи, в яких вихідна величина змінюється стрибками при неперервній зміні вхідної величини; обмеження напруги в усіх електронних підсилювачах, що визначається напругою живлення; зона нечутливості двигунів постійного струму, що визначається моментом тертя і т.п.

Теоретичний аналіз нелінійних систем є більш складним через відсутність єдиних методів розв'язку нелінійних диференціальних рівнянь. Теорія автоматичного керування має кілька методів аналізу і синтезу нелінійних систем, як точних, так і приблизних. Із точних методів найбільше розповсюдження дістав

метод фазового простору для систем першого, другого, а інколи й третього порядку. Із приблизних методів найбільш ефективним інженерним методом є метод гармонійної лінеаризації.

Фазовим простором називають простір, по осях координат якого відкладені змінні, що характеризують стан динамічної системи. Якщо рух системи описується диференціальним рівнянням  $n$ -го порядку, то стан фазового простору, по осях якого відкладені одна з координат системи і  $n-1$  її похідних. Точка, що характеризує стан системи, називається зображуючою точкою. При русі її координати змінюються і зображуюча точка буде описувати фазову траєкторію.

Якщо рух системи описується диференціальним рівнянням другого порядку, то фазовий простір називають двомірним, тобто перетворюється у фазову площину.

### Розрахунок нелінійної системи методом гармонійної лінеаризації

Розглянемо нелінійну систему, схема якої наведена на рис. 1. Метою розрахунку є визначення можливості існування автоколивань та їх параметрів – амплітуди і частоти. Оскільки лінійна частина системи являє собою низькочастотний фільтр, то доцільним є застосування методу гармонійної лінеаризації.

Для даного типу нелінійності вираз для гармонійного коефіцієнта передачі дається формулою

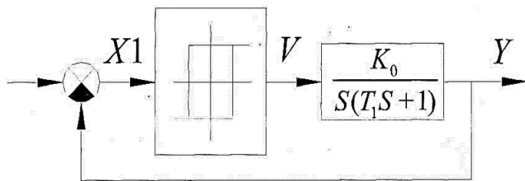


Рис. 1. Структурна схема моделювання нелінійності

$$W_H(a) = \frac{4B}{a\pi} \sqrt{1 - \frac{C^2}{a^2}} - j \frac{4BC}{a^2\pi} \quad (1)$$

Обернений гармонійний коефіцієнт передачі НЕ:

$$-W_H(a) = -\frac{4B}{a\pi} \sqrt{1 - \frac{C^2}{a^2}} - j \frac{4BC}{a^2\pi} \quad (2)$$

АФХ лінійної частини системи

$$W_L(j\omega) = \frac{K_0}{j\omega(T_1j\omega+1)} = \frac{K_0T_1}{1+\omega^2T_1^2} - j \frac{K_0}{\omega(1+\omega^2T_1^2)} \quad (3)$$

На рис. 2 наведені АФХ нелінійного елемента нелінійної частини, побудовані за виразами (2) та (3). Як видно з цього рисунка, в системі виникають автоколивання при будь-яких параметрах НЕ і лінійної частини. Ці автоколивання стійкі, оскільки в точці N АФХ НЕ виходить із контуру  $W_L(j\omega)$ .

Розрахунок параметрів автоколивань, що відповідають точці перетину N (рис. 3). Запишемо рівняння Гольдфарба:

$$W_L(j\omega) = -\frac{1}{W_H(a)}, \quad (4)$$

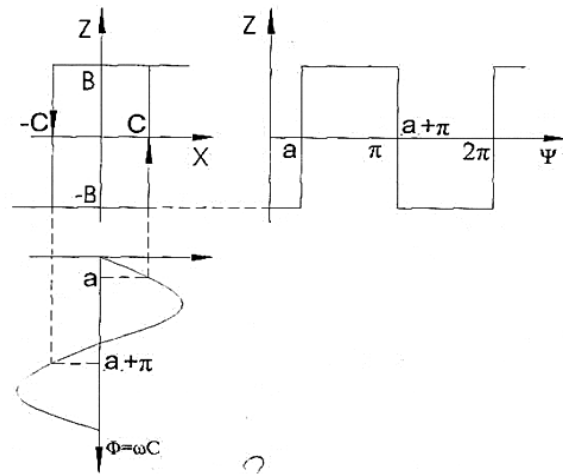


Рис. 2. Амплітудно-фазова характеристика нелінійного елемента

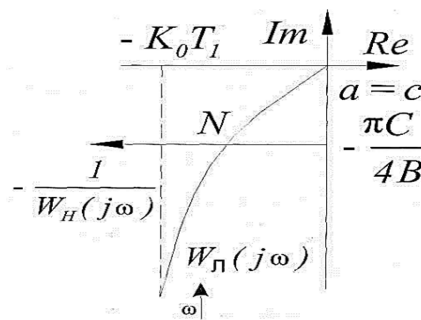


Рис. 3. Розрахунок стійкості і параметрів автоколивань

і порівняємо окремі дійсні та уявні частини:

$$\frac{K_0T_1}{1+\omega^2T_1^2} = -\frac{a\pi}{4B} \sqrt{1 - \frac{C^2}{a^2}}, \quad (5)$$

$$\frac{K_0}{\omega(1+\omega^2T_1^2)} = \frac{a\pi}{4B}. \quad (6)$$

Рівняння (6) кубічне відносно  $\omega$ , і його розв'язок досить громіздкий. Тому рівняння (5) та (6) розв'язують на EOM (MathCAD).

Приблизні вирази для параметрів межового циклу при  $\frac{BT_1K_0}{C} \gg 0,3$  мають вигляд

$$\Omega = \frac{1}{T_1} \sqrt[3]{D}; A = C \sqrt{1 + \frac{D^2}{(1+\Omega^2T_1^2)^2}}; D = \frac{4BT_1K_0}{C\pi}.$$

### Порядок виконання досліджень

Проведення експериментальних досліджень нелінійної системи керування ДПС релейної дії виконуємо у такій послідовності:

1. Складаємо схему моделювання двигуна постійного струму з релейним керуванням (рис. 4). Задати наступні значення:  $Q_3(t) = 10$  В,  $K_D = 1$ ; постійних параметрів:  $T_D = 5$  с,  $K_J = 2$ ,  $K_C = 0,8$ .

2. Перевіряємо на допоміжній схемі роботу нелінійного елемента та будуємо характеристику  $U(e(t))$ .

3. Змінюючи ширину петлі гістерезису  $[-C;C]$ , знімаємо залежність амплітуди та частоти автоколивань у точці  $Q$  від ширини петлі статичної характеристики. Дані заносимо в табл. 1 і будуємо графіки:

Таблиця 1

Дані досліджень			
	$C = 1В$	$C = 2В$	$C = 4В$
АВ			

4. Проаналізувати і пояснити характер перехідних процесів у точках  $e(t)$ ,  $U$ ,  $Q$  (при  $B=5В$ ).

5. Для всіх експериментів слід вибрати задавальну дію  $g(t) = 10 \cdot I(t)$ .

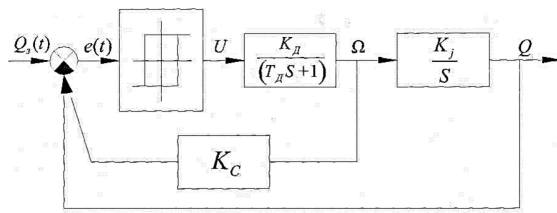


Рис. 4. Схема моделювання ДПС із релейним керуванням

### Висновки

Проведені дослідження синтезованої нелінійної системи автоматичного управління дозволяють зробити наступні висновки:

1. Визначення можливості існування автоколивань та їх параметрів – амплітуди і частоти здійснюється методом гармонійної лінеаризації.

2. Отримані у роботі значення гармонійного та оберненого гармонійного коефіцієнта передачі НЕ дозволили розрахувати АФХ лінійної частини системи керування.

3. АФХ нелінійного елемента нелінійної частини, побудовані за розрахунковими виразами показують, що в системі виникають автоколивання при будь-яких параметрах НЕ і лінійної частини. Ці ав-

токоливання стійкі, оскільки в точці  $N$  АФХ НЕ виходить із контуру  $W_L(j\omega)$ .

4. За схемою моделювання двигуна постійного струму з релейним керуванням, змінюючи ширину петлі гістерезисна  $[-C;C]$  отримана залежність амплітуди та частоти автоколивань у точці  $Q$  від ширини петлі статичної характеристики.

### Список літератури

1. Попович М.Г., Борисюк М.Г., Гаврилюк В.А. та ін. Теорія електропривода / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін. – К.: Вища школа, 1993. – 494 с.
2. Справочник по автоматизованому електроприводу / Под ред. В.А. Елесеєва и А.В. Шиянського. – М.: Энергоиздат, 1987. – 616 с.
3. Терехов В.М. Элементы автоматизированого електропривода / В.М. Терехов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 224 с.
4. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барынина, М.Л. Самовера. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.
5. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи: Навчальний посібник / М.В. Галай. – Полтава: ПНТУ, 2002. – 428 с.
6. Шульга О.В. Автоматизоване керування електроприводами: Навчальний посібник / О.В. Шульга. – Полтава: ПолНТУ, 2010. – 298с.
7. Зимин Е.Н., Яковлев В.И. Автоматическое управление электроприводами / Е.Н. Зимин, В.И. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1979. – 318 с.
8. Терехов В.М. Дискретные и непрерывные системы управления в электроприводах / В.М. Терехов. – М.: Издательство МЭИ, 1989. – 77 с.
9. Следящие электроприводы / Под ред. Б.К. Чемоданова. – Издательство МЭИ, 1980. – 104 с.
10. Применение микропроцессоров в автоматизированном электроприводе / Под ред. Л.А. Ильищенко. – М.: Издательство МЭИ, 1986. – 102 с.

Надійшла до редколегії 25.06.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

### ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ В СИСТЕМАХ НАВИГАЦИИ

О.В. Шульга

Для построения систем навигации предлагается использовать нелинейные системы автоматического управления. Проведен анализ данной системы, определены математические выражения для расчета прямого и обратного гармонических коэффициентов передачи нелинейного элемента, что позволяет находить амплитудно-фазовые характеристики системы. Рассмотрена методика расчета устойчивости и параметров автоколебаний в нелинейных системах автоматического управления.

**Ключевые слова:** нелинейность, устойчивость, нечувствительность, релейный элемент, критерий устойчивости, модель, электропривод, обратная связь, коррекция, регулятор, коэффициент передачи.

### NONLINEAR AUTOMATIC MOTION CONTROL SYSTEM IN NAVIGATION SYSTEMS RESEARCH

O.V. Shulga

Encouraged to use nonlinear automatic control systems for navigation systems construction. Carry out system analysis, determined mathematical expressions for nonlinear element forward and reverse transmission harmonic coefficients calculating that allows us to find amplitude and phase system characteristics. Nonlinear automatic control systems stability and oscillations parameters calculating method considered.

**Keywords:** nonlinearity, stability, insensitivity, relay element, stability criterion, model, motor power, feedback, correction, controller, transfer coefficient.