

УДК 629.33:629.3.048.8

В.О. Сильченко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

МАТЕМАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНИХ СИСТЕМ ПОВОРОТУ І СТАБІЛІЗАЦІЇ ГОЛОВНОГО СВІТЛА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Всі реальні технічні системи не мають ідеально прямолінійних статичних характеристик при будь-яких значеннях вхідної величини, тобто всяка регульована система, власне кажучи, є нелінійною системою, тому що якщо регульований об'єкт і вимірювальний елемент регулятора можна вважати в першому наближенні лінійними, то підсилювально-силовий елемент регулятора завжди буде нелінійним завдяки великого посилення і обмеженої потужності регулюючого елемента. У технічних розрахунках через неможливість точно урахування всіх явищ звичайно створюють деякий ідеалізований математичний опис досліджуваної системи за допомогою рівнянь, щоб, зберігши її головні істотні риси, одержати найбільш просту розрахункову методу.

Ключові слова: транспортний засіб, фара, система адаптивного освітлення.

Вступ

Постановка проблеми. Найбільш простими і найбільш вивченими є лінійні рівняння, тому цілком природним є прагнення тим або іншим способом лінеаризувати всі реальні нелінійні характеристики, тобто замінити їх так чи інакше прямою лінією (однією прямою лінією). І тільки тоді, коли нелінійність відіграє істотну роль у поведінці системи, застосовують теорію нелінійних систем. Остання стає усе більш важливою для практики по мірі підвищення вимог до якості процесів і до точності розрахунку систем автоматичного керування і регулювання.

Різноманітність процесів у нелінійних системах та особливості їх поведінки створюють труднощі точного математичного опису і теоретичного вивчення таких систем. Але в цей час інженерам та науковим співробітникам в галузі автоматики у всіх її різноманітних застосуваннях все частіше доводиться зіштовхуватися з нелінійними динамічними явищами. Точному математичному рішенням піддається лише невелика частина нелінійних задач теорії автоматичного регулювання. Однак точне рішення, навіть якщо воно і отримано, часто виявляється надто складним для застосування в інженерних розрахунках. У зв'язку з цим першорядне значення для теорії і практики систем автоматичного керування і регулювання здобуває розвиток наближених методів дослідження динамічних властивостей нелінійних автоматичних систем [1–4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Велике значення в цій області надбали наближені методи, засновані на ідеях гармонійного балансу і еквівалентної лінеаризації та запропоновані у відомих роботах М.Н. Крилова і Н.Н. Боголюбова. Стосовно автоматичних систем цей метод (метод гармонічної лінеаризації) розроблений Л.С. Гольдфарбом, Е.П. Поповим [3–5].

Ціль методу гармонічної лінеаризації полягає у тому, щоб провести дослідження системи з істотною нелінійністю в значній мірі лінійними методами. Сутність методу гармонічної лінеаризації полягає у зведенні нелінійної системи до еквівалентної лінійної, у якій нелінійна ланка замінюється еквівалентною лінійною з коефіцієнтом підсилення, що залежить від амплітуди A , тобто він приймає різні постійні значення при зміні A . По суті, тут нелінійна характеристика замінюється не однією прямою, а пучком прямих, нахил яких залежить від амплітуди A , тобто після гармонічної лінеаризації нелінійні властивості все-таки у відомому змісті зберігаються. Ця принципова відмінність гармонічної лінеаризації від звичайного способу лінеаризації робить її цінним засобом для дослідження динамічних процесів у нелінійних автоматичних системах. Після приведення нелінійної системи до еквівалентної лінійної її можна досліджувати лінійними методами.

Постановка задачі

Передавальна функція нелінійної ланки гармонічно лінеаризованої системи має вигляд

$$W_H(A) = q(A) + jq'(A), \quad (1)$$

де $q(A)$, $q'(A)$ – коефіцієнти гармонічної лінеаризації.

В роботі розглянемо найбільш поширені в системах стабілізації головного світла нелінійності: зона обмеження (насичення) і змінний коефіцієнт підсилення.

Насичення, або обмеження, є, мабуть, найбільш розповсюдженим видом нелінійності. Форма характеристики насичення ідентична для багатьох реальних пристроїв, хоча вхідні і вихідні величини можуть мати різну фізичну природу. Так, практично всі реальні підсилювачі, незалежно від того, чи є вони електронними,

магнітними, пневматичними або гідравлічними, мають межу підсилення потужності в області великих вхідних сигналів уже тільки тому, що джерело живлення, за рахунок якого здійснюється підсилення вхідного сигналу, обмежено по потужності.

Перша нелінійна ланка з характеристикою типу зона обмеження (насичення) і крива зміни передавальної функції від відношення наведені на рис. 1. Для цієї ланки передавальна функція згідно методу гармонічної лінеаризації

$$W_{H_1}(A_{H_1}) = \frac{2k_{H_1}}{\pi} \left(\arcsin \frac{b_{H_1}}{A_{H_1}} + \frac{b_{H_1}}{A_{H_1}} \sqrt{1 - \left(\frac{b_{H_1}}{A_{H_1}} \right)^2} \right), \quad (2)$$

де $k_{H_1} = \text{tg } \beta_1$ – коефіцієнт підсилення (рис. 1).

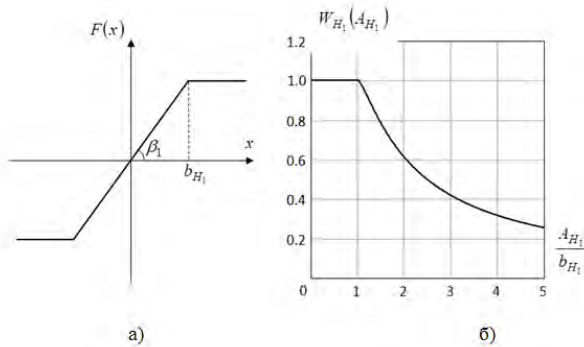


Рис. 1. Характеристика типу зона обмеження (а) і залежність $W_{H_1}(A_{H_1})$ від відношення A_{H_1}/b_{H_1} при $k_{H_1} = 1$ (б)

Насичення, або обмеження, є, мабуть, найбільш розповсюдженим видом нелінійності. Форма характеристики насичення ідентична для багатьох реальних пристроїв, хоча вхідні і вихідні величини можуть мати різну фізичну природу [2; 3].

Так, практично всі реальні підсилювачі, незалежно від того, чи є вони електронними, магнітними, пневматичними або гідравлічними, мають межу підсилення потужності в області великих вхідних сигналів уже тільки тому, що джерело живлення, за рахунок якого здійснюється підсилення вхідного сигналу, обмежено по потужності.

Друга нелінійна ланка з характеристикою зі змінним коефіцієнтом підсилення і крива зміни передавальної функції $W_{H_2}(A_{H_2})$ від відношення A_{H_2}/b_{H_2} наведені на рис. 2. Для другої нелінійної ланки передавальна функція згідно методу гармонічної лінеаризації

$$W_{H_2}(A_{H_2}) = k_{H_3} - \frac{2(k_{H_3} - k_{H_2})}{\pi} \times \left(\arcsin \frac{b_{H_2}}{A_{H_2}} + \frac{b_{H_2}}{A_{H_2}} \sqrt{1 - \left(\frac{b_{H_2}}{A_{H_2}} \right)^2} \right), \quad (3)$$

де $k_{H_2} = \text{tg } \beta_2$ і $k_{H_3} = \text{tg } \beta_3$ – коефіцієнти підсилення (рис. 2).

Статична характеристика ланки зі змінним коефіцієнтом підсилення може бути отримана як апроксимацією криволінійної статичної характеристики, так і в ланках з лінійною характеристикою при наявності пристрою перемикання передатного числа в залежності від значення вхідної величини [5].

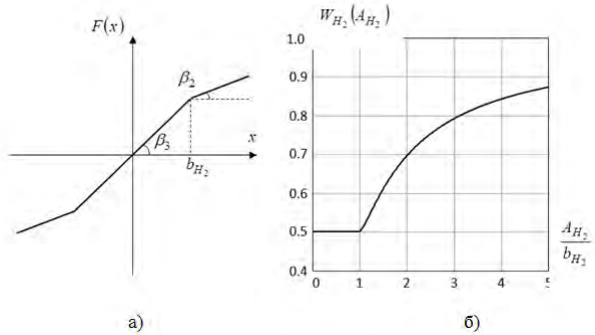


Рис. 2. Характеристика зі змінним коефіцієнтом підсилення (а) і залежність $W_{H_2}(A_{H_2})$ від відношення A_{H_2}/b_{H_2} при $k_{H_2} = 0,5$, $k_{H_3} = 1$ (б)

Області стійкості замкненої системи повороту і стабілізації з урахуванням нелінійної ланки

На рис. 3; 4 приведено границі області стійкості замкненої системи повороту і стабілізації оптичного елемента у горизонтальній площині (ОЕв) в площині варійованих параметрів регулятора k_ϕ і $k_{\omega 2}$ з урахуванням нелінійної ланки зі змінним коефіцієнтом підсилення, де a , b , c – точки мінімуму цільової функції без і з урахуванням $W_{H_1}(A_{H_1})$, $W_{H_2}(A_{H_2})$ відповідно. Для випадку з урахуванням $W_{H_1}(A_{H_1})$ і $W_{H_2}(A_{H_2})$ на основі методу факторного експерименту отримаємо: $I = 0.944662$; $k_\phi^* = 808.2$; $k_{\omega 2}^* = 100.1$. Параметри для: $t_1 = 0,25$ с; $T = 2$ с.

Як видно з рис. 3, введення в систему нелінійної ланки зі змінним коефіцієнтом підсилення розширює область стійкості замкненої системи повороту і стабілізації ОЕв (при $k_{H_2} = k_{H_3}$ (крива 1) область стійкості повністю збігається з областю стійкості лінійної системи). Оптимальна точка c в цьому випадку переміщується в область підвищених коефіцієнтів k_ϕ і $k_{\omega 2}$. Вищезазначене дозволяє підвищити надійність і точність замкненої системи повороту і стабілізації.

На рис. 4 представлені перехідні процеси замкненої системи повороту і стабілізації ОЕв при отриманих значеннях варійованих параметрів регу-

лятору k_{ϕ}^* і $k_{\omega_2}^*$ для випадку з урахуванням $W_{H_1}(A_{H_1})$ і $W_{H_2}(A_{H_2})$. Величина перерегулювання $\phi_{OЕв}(t)$ склала 0,5%.

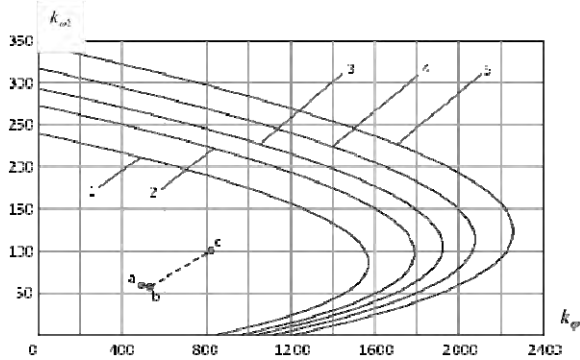


Рис. 3. Область стійкості замкненої системи повороту і стабілізації

ОЕв з урахуванням нелінійної ланки зі змінним коефіцієнтом підсилення при $A_{H_2}/b_{H_2} = 2$:

- 1 – $k_{H_2} = k_{H_3}$; 2 – $k_{H_2} = 0,8 k_{H_3}$; 3 – $k_{H_2} = 0,7 k_{H_3}$;
- 4 – $k_{H_2} = 0,6 k_{H_3}$; 5 – $k_{H_2} = 0,5 k_{H_3}$

Використання в контурі системи повороту і стабілізації ОЕв ланки зі змінним коефіцієнтом підсилення крім розширення області стійкості дозволило зменшити величину перерегулювання $\phi_{OЕв}(t)$ на 20%, а також функціонал якості системи I.

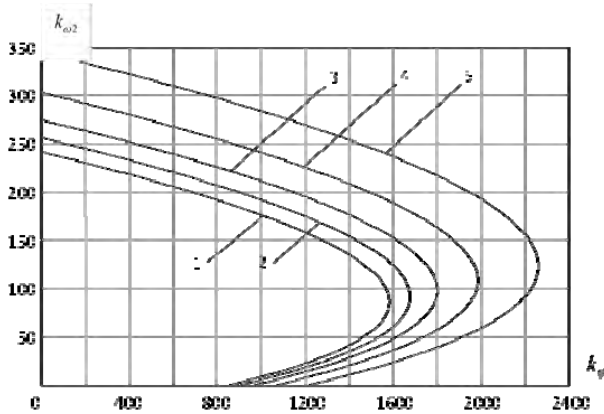


Рис. 4. Область стійкості замкненої системи повороту і стабілізації

Це пов'язано з особливістю виконавчого двигуна у вертикальній площині (ВДв) ОЕв і його досить великими постійними часу, і як слідство, з поверхнею функціонала I.

Порівняння перехідних процесів, представлених на рис. 5, дозволяє казати про зменшення амплітуди коливаний перехідних процесів при використанні ланки зі змінним коефіцієнтом підсилення [4–6].

ОЕв з урахуванням нелінійної ланки зі змінним коефіцієнтом підсилення при $k_{H_2} = 0,5 k_{H_3}$:

- 1 – $A_{H_2}/b_{H_2} = 100$; 2 – $A_{H_2}/b_{H_2} = 10$;
- 3 – $A_{H_2}/b_{H_2} = 5$; 4 – $A_{H_2}/b_{H_2} = 3$; 5 – $A_{H_2}/b_{H_2} = 2$.

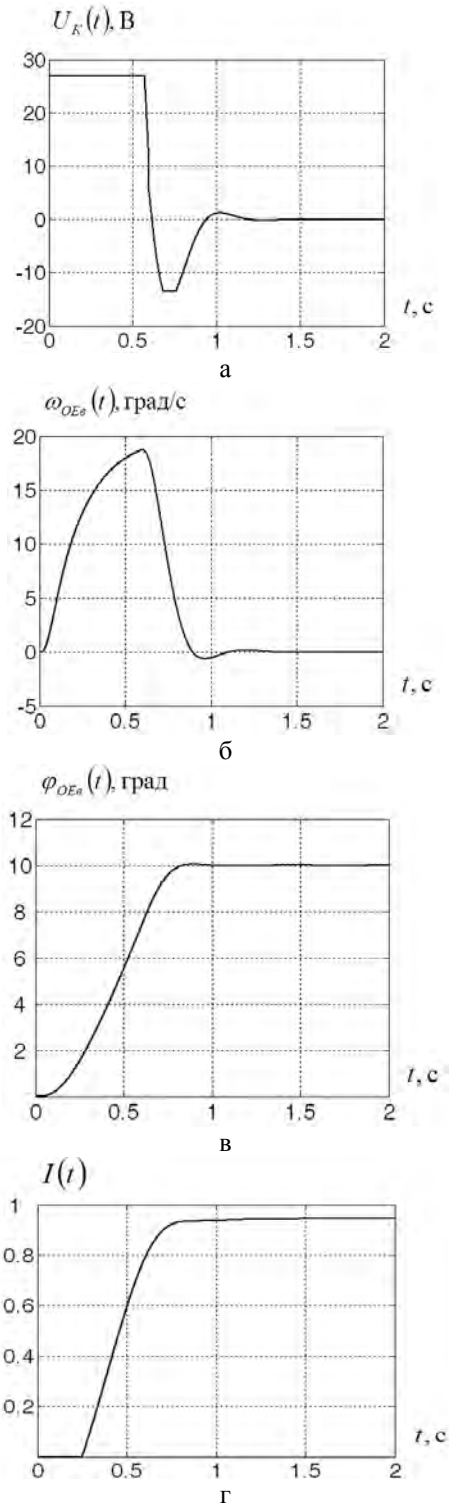


Рис. 5. Перехідні процеси замкненої системи повороту і стабілізації ОЕв при $k_{\phi}^* = 808,2$, $k_{\omega_1}^* = 100,1$: з напруги керування $U_K(t)$ (а), кутової швидкості ОЕв $\omega_{OЕв}(t)$ (б) та куту повороту ОЕв $\phi_{OЕв}(t)$ (в), а також цільової функції I(t) (г)

Висновок

Проведено дослідження найбільш поширених нелінійностей замкненої системи повороту і стабілізації головного освітлення транспортного засобу (ТЗ). Запропоновано дослідити нелінійності – зона обмеження (насичення) і змінний коефіцієнт підсилення на основі розроблених відповідних структурних схем і математичних моделей.

Урахування нелінійних характеристик типу зона обмеження (насичення) і змінного коефіцієнту підсилення в математичній моделі системи повороту і стабілізації головного освітлення ТЗ дозволяє як можна точніше відтворити динамічні процеси реального об'єкту. Розраховані області стійкості і перехідні процеси з урахуванням нелінійностей значно відрізняються від аналогічних лінійних. Тому для подальших досліджень системи повороту і стабілізації головного освітлення ТЗ необхідно використовувати повну математичну модель з урахуванням нелінійних характеристик.

Список літератури

1. Александров Е.Е. Танковая система наведения и стабилизации с переменной структурой / Е.Е. Александров, И.Е. Александрова, И.В. Костяник // Интегрированные технологии та энергосбережения. – 2006. – № 2. – С. 71-74.

2. Клепиков В.Б. Применение методов нейронных сетей и генетических алгоритмов в решении задач управления электроприводами / В.Б. Клепиков, С.А. Сергеев, К.В. Махотило // Электротехника. – 1999. – № 5. – С. 2-6.

3. Дорф Р.К. Современные системы управления / Р.К. Дорф, Р.Х. Бишоп: пер. с англ. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.

4. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем / В.П. Волков, Ю.В. Волков, В.П. Матейчик, О.Я. Никонов. – Х.: ХНАДУ, 2013. – 400 с.

5. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления / под ред. Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.

6. Баранова В.О. Разработка функциональной и структурной схем интеллектуальной системы управления адаптивного головного света автомобиля / В.О. Баранова // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2014. – Вип. 4(41). – С. 69-72.

Надійшла до редколегії 4.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Я. Ніконов, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ПОВОРОТА И СТАБИЛИЗАЦИИ ГОЛОВНОГО СВЕТА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В.О. Сильченко

Все реальные технические системы не имеют идеально прямолинейных статических характеристик при любых значениях входной величины, то есть всякая регулируемая система, по существу, является нелинейной системой, поэтому что если регулируемый объект и измерительный элемент регулятора можно считать в первом приближении линейными, то усилительно-силовой элемент регулятора всегда будет нелинейным благодаря большому усилению и ограниченной мощности регулирующего элемента. В технических расчетах из-за невозможности точного учета всех явлений обычно создают некоторое идеализированное математическое описание исследуемой системы с помощью уравнений, чтобы, сохранив ее главные существенные черты, получить наиболее простую расчетную методику.

Ключевые слова: транспортное средство, фара, система адаптивного освещения.

THE MATHEMATICAL RESEARCH OF THE NONLINEAR SYSTEM OF THE TURN AND THE STABILIZATION OF HEAD LIGHT OF THE VEHICLE

V.O. Sylchenko

All real technical systems are not of the perfectly straight static of characteristics at any values of the input variable, adjustable every system, in fact, is a nonlinear system, because if controlled object and measuring element of the regulator can be considered as a first approximation linear, the intensive regulatory of the element will always be nonlinear due to large gain and the limited capacity of the regulatory element. In technical calculations because of the inability accurate account of all phenomena usually create some idealized mathematical description of the system with equations that, while maintaining its key essential features to get the most simple billing method.

Keywords: vehicle, headlamp, adaptive front-light system.