

УДК 629.735.015.017.2

М.І. Гученко, канд. техн. наук, доц.

АНАЛІТИЧНИЙ СИНТЕЗ АЛГОРИТМУ РОБОТИ ОПЕРАТОРА НА ЧАСТОТАХ РЕМНАНТИ

Розглянуто задачу аналітичного синтезу алгоритму роботи оператора на частотах ремнанти в одноканальній системі компенсаційного стеження при гармонійному сигналі збурення. Наведено приклади чисельного моделювання задачі. Аналітично знайдено амплітуду третьої гармоніки реакції оператора

На основі експериментальних даних [1] у роботі [2] доведено, що в одноканальній системі компенсаційного стеження з передаточною функцією об'єкта, що дорівнює одиниці, при гармонійному сигналі збурення оператор, намагаючись звести до мінімуму відхилення контрольованого параметра від заданого значення, реалізує такий алгоритм:

– вводить у протифазі до сигналу збурення першу гармоніку (лінійна частина реакції оператора);

– послідовно (в міру навчання та покращення результату) вводить у фазі до сигналу збурення подальші непарні гармоніки (ремнанту).

Введенням гармонік з частотами, вищими частоти вхідного сигналу, оператор зменшує амплітуду вихідного сигналу приблизно на 20 %, тобто ремнанта є корисною частиною реакції оператора. У подальшому будемо називати таку модель оператора гармонійною.

У роботі [2] також було аналітично знайдено амплітуду лінійної частини реакції оператора (першої гармоніки).

Для подальшого аналітичного синтезу вказаного алгоритму для вищих гармонік (на частотах ремнанти) класичними методами математичного та спектрального аналізу задамо сигнал збурення:

$$f(t) = A \sin(\omega t).$$

Вихідний сигнал системи запишемо у вигляді ряду Фур'є, що складається тільки з непарних синусних гармонік, тобто

$$y(t) = L \sin(\omega t) + b_3 \sin(3\omega t) + b_5 \sin(5\omega t) + \dots + b_m \sin(m\omega t) = L \sin(\omega t) + \sum_k b_k \sin(k\omega t),$$

де L – амплітуда вихідного сигналу системи після введення оператором лінійної частини реакції; b_k – коефіцієнти Фур'є для гармонік на частотах ремнанти; $k = 1, 3, 5 \dots m$, $m = 2n+1$; n – натуральне число.

Теоретично m має бути безкінечно великим, але практично воно обмежується заданою точністю наближення функції $y(t)$ рядом Фур'є.

Критерієм якості керування будемо вважати модуль максимального відхилення контрольованого параметра від заданого (нульового) значення:

$$E = \max |y(t)|.$$

Необхідно знайти набір значень b_k , який мінімізував би E . У силу симетрії задачу доцільно розглянути для інтервалу значень аргументу $0, \pi$ або навіть $0, \pi/2$, але тоді задача стане складнішою. Тобто з формальної точки зору треба аналітично знайти положення всіх локальних максимумів вихідного сигналу по t на вказаному інтервалі, глобальний максимум серед локальних, залежність глобального максимуму від коефіцієнтів b_k , набір значень b_k , що мінімізує глобальний максимум. Незважаючи на простоту задачі, її аналітичний розв'язок має значні математичні труднощі.

Пролюструємо деякі цікаві особливості задачі на конкретних прикладах, у яких сигнал збурення має вигляд

$$f(t) = 10 \sin(\pi t).$$

Для цього сигналу були одержані такі оптимальні значення коефіцієнтів:

$$b_3 = 1,363, b_5 = 0,532, b_7 = 0,184, b_9 = 0,047.$$

Експерименти показують, що оператор вводить гармоніки до дев'ятої включно. Більш високі гармоніки вводити немає смислу, оскільки при дев'яти гармоніках результат вже практично ідеальний (рис. 1). При цьому всі $b_k \geq 0$.

При введенні оператором тільки першої та третьої гармонік (рис. 2) позиція максимуму для лінійної моделі збігається з позицією мінімуму третьої гармоніки. Ефективність компенсації максимальна. У залежності від значення b_3 кількість локальних максимумів змінюється від одного до трьох. Глобальними можуть бути або два бічних, або центральний. Абсциси бічних екстремумів змінюються при зміні значення b_3 . При оптимальному значенні b_3 екстремум досягається при $t \approx 0,33$ с (тобто в точці, де значення третьої гармоніки дорівнює нулю) і дорівнює значенню вихідного сигналу лінійної моделі в цій точці. Екстремум максимуму є мінімумом. Глобальний максимум при оптимальному значенні b_3 не дорівнює його значенню при оптимальному наборі b_3, b_5, b_7, b_9 .

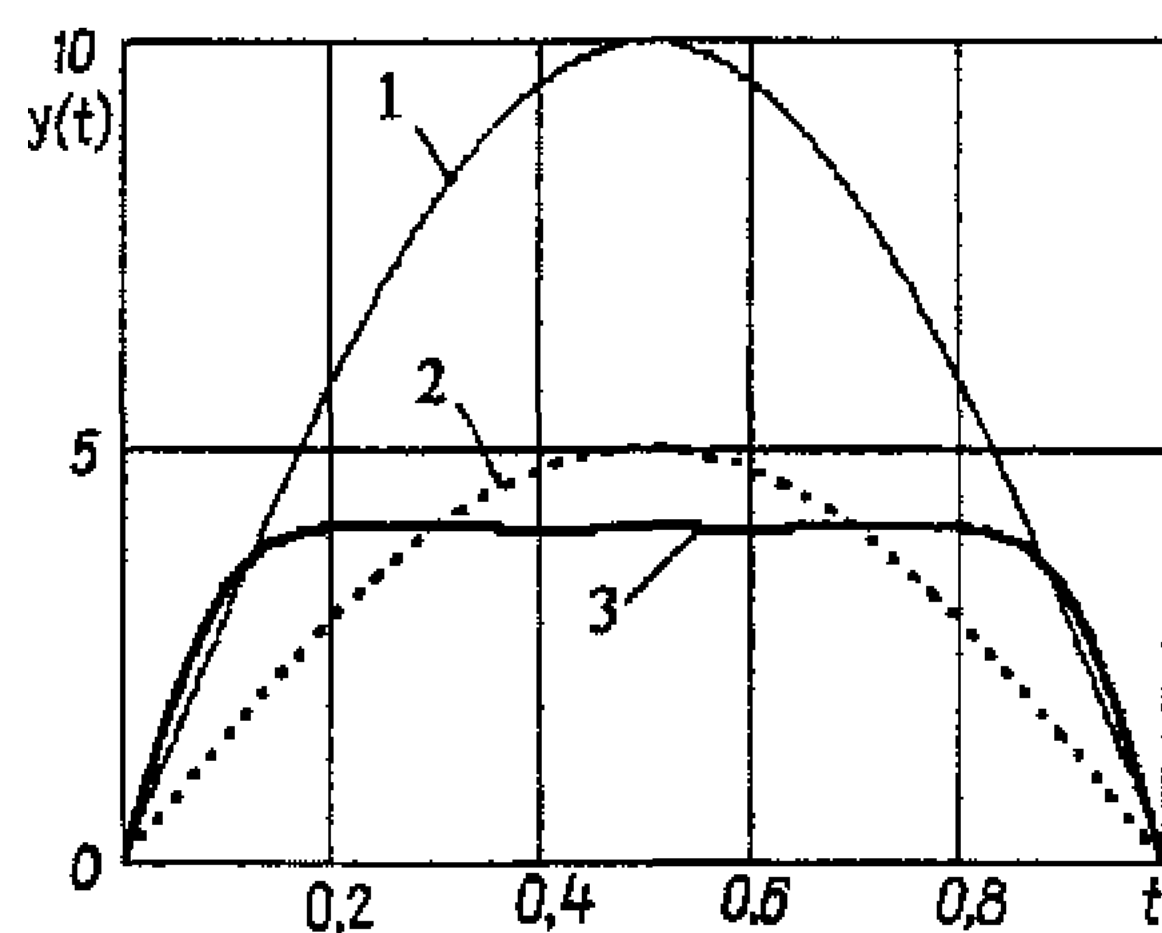


Рис. 1. Значення вихідного параметра системи:

1 – некерований режим, 2 – лінійна модель оператора; 3 – гармонійна модель при оптимальних значеннях b_3, b_5, b_7, b_9

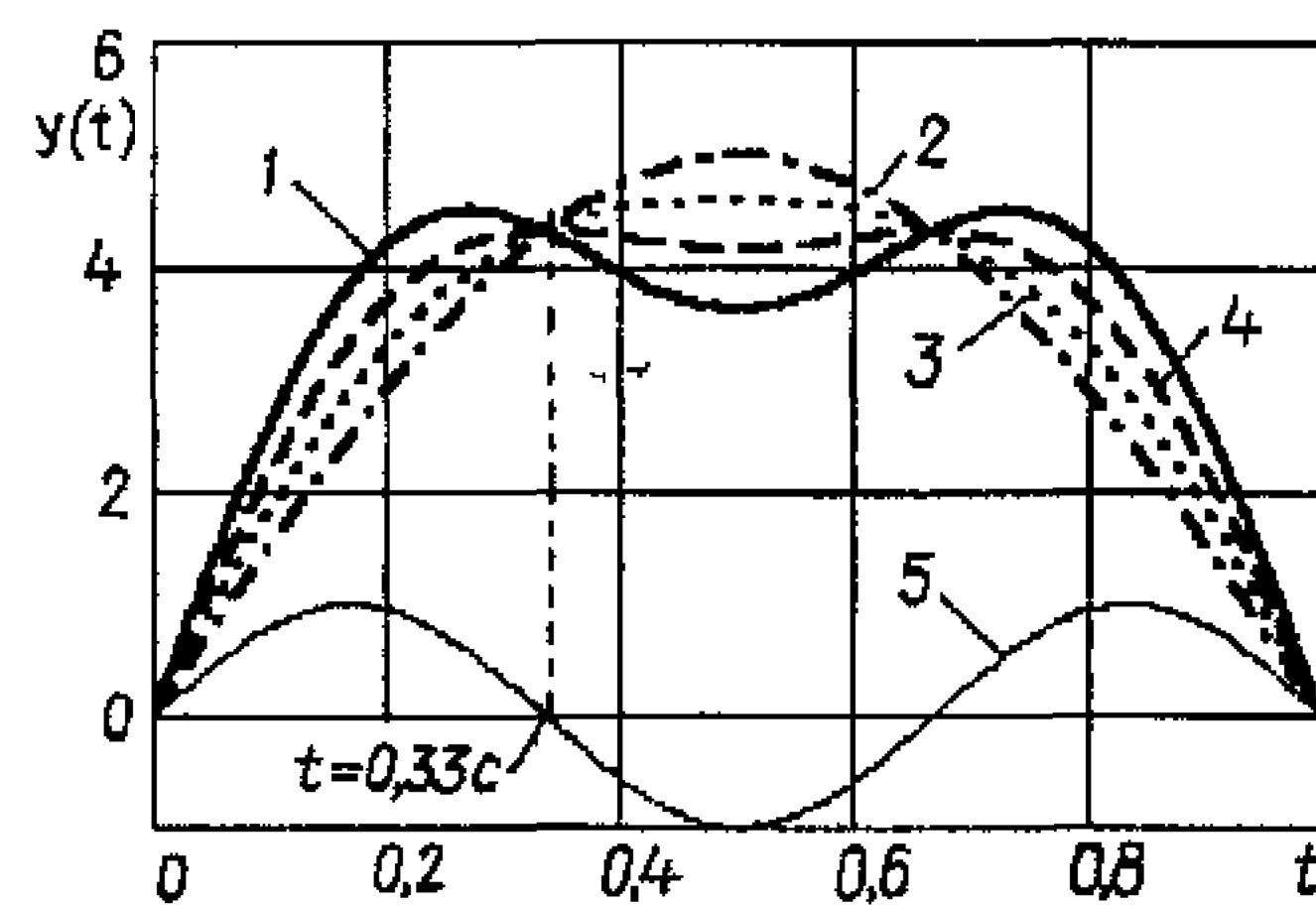


Рис. 2. Вихідний сигнал системи:

1 – гармонійна модель при оптимальних b_3, b_5, b_7, b_9 ($b_{11} \dots b_m = 0$); 2 – лінійна модель; 3 – гармонійна модель при $b_3 = 0,400$ ($b_5 \dots b_m = 0$); 4 – гармонійна модель при оптимальному b_3 ($b_5 \dots b_m = 0$), 5 – третя гармоніка одиничної амплітуди

При введенні оператором першої, третьої та п'ятої гармонік (рис. 3, а) позиції максимумів моделі з попереднім набором коефіцієнтів та мінімумів п'ятої гармоніки вже незбігаються, тобто ефективність компенсації відхилення таким способом зменшується. У залежності від значення b_3 та b_5 кількість локальних максимумів змінюється від двох до трьох. Глобальними можуть бути два бічних, центральний або всі три екстремуми. Абсциси бічних екстремумів змінюються при зміні значень b_3 та b_5 . При оптимальних значеннях b_3 та b_5 екстремум досягається при $t \approx 0,2$ с (у точці, де значення п'ятої гармоніки дорівнює нулю, тобто зсувається вліво порівняно з попереднім випадком) і дорівнює значенню вихідного сигналу гармонійної моделі з використанням першої та третьої гармонік у цій точці. Екстремум максимуму є мінімумом. Глобальний максимум при оптимальних значеннях b_3 та b_5 практично дорівнює його значенню при оптимальному наборі b_3, b_5, b_7, b_9 . При оптимальних значеннях b_3 та b_5 значення всіх максимумів близькі між собою.

При введенні оператором першої, третьої, п'ятої, сьомої та дев'ятої гармонік (рис. 3, б) позиції максимумів моделі з попереднім набором коефіцієнтів та мінімумів дев'ятої гармоніки знову практично збігаються. При значеннях коефіцієнтів, близьких до оптимальних, локальних максимумів п'ять. Значення всіх максимумів практично рівні.

З наведених прикладів видно:

- максимальна кількість екстремумів у вихідному сигналі збільшується разом зі збільшенням кількості гармонік, що вводяться оператором;
- при зміні величин та знаків амплітуд гармонік кількість екстремумів змінюється, максимуми перетворюються на мінімуми і навпаки;

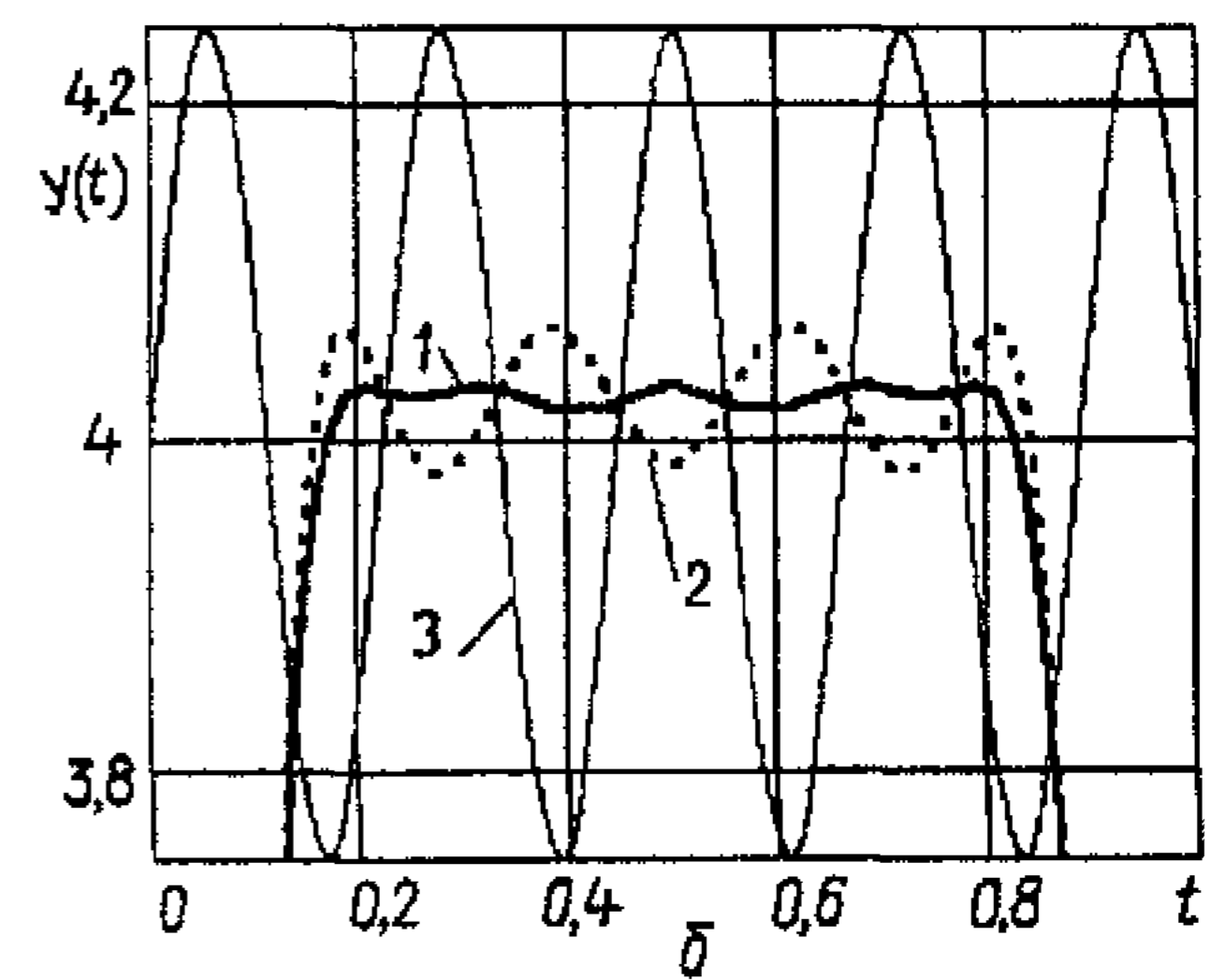
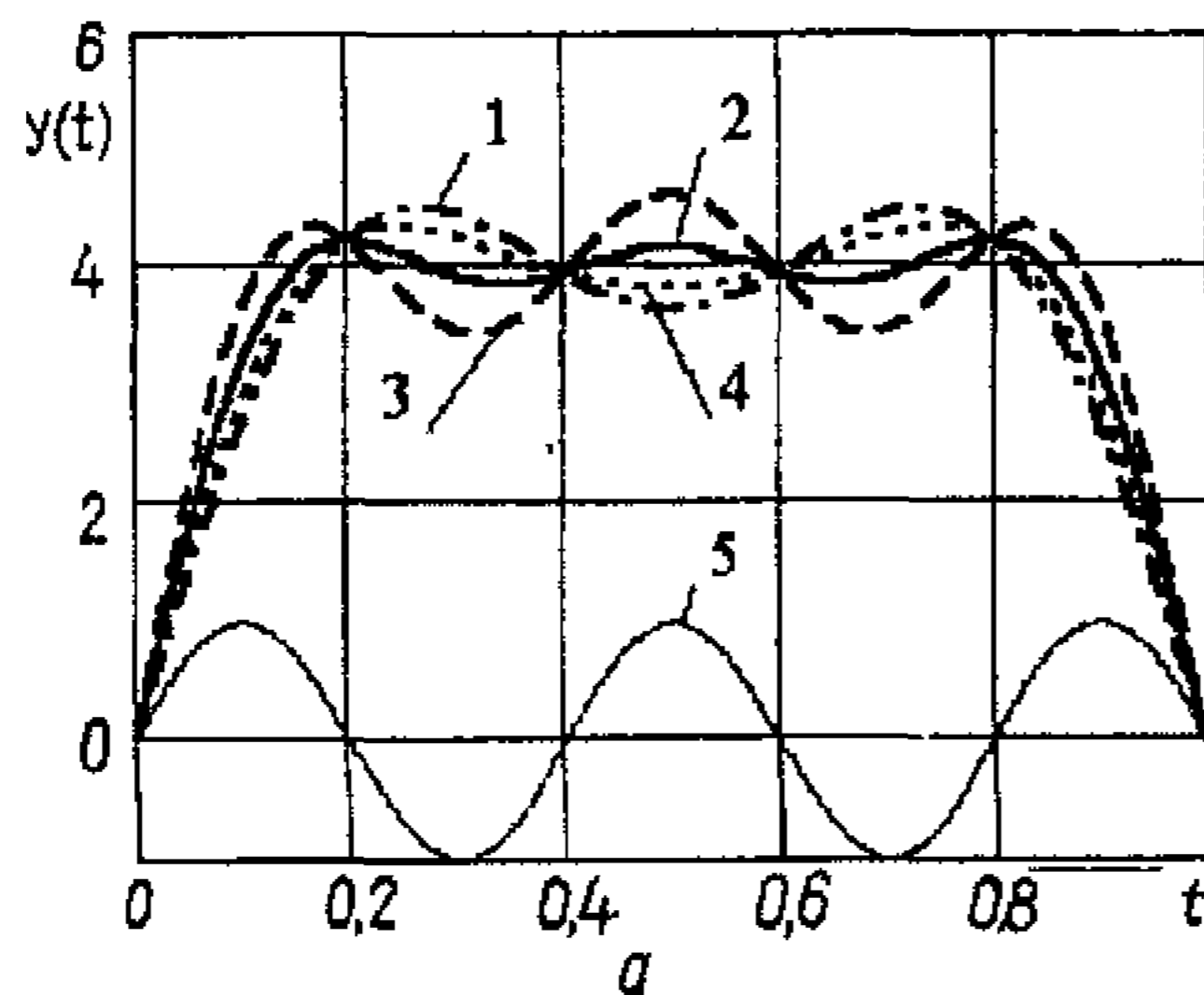


Рис. 3. Гармонійна модель:

a – використання першої, третьої, п'ятої гармонік: 1 – при оптимальному b_3 ($b_5 \dots b_m = 0$); 2 – при оптимальних b_3, b_5, b_7, b_9 ($b_{11} \dots b_m = 0$); 3 – при $b_3 = 1,363, b_5 = 0,400$ ($b_7 \dots b_m = 0$); 4 – при $b_3 = 1,363, b_5 = 0,200$ ($b_7 \dots b_m = 0$); 5 – п'ята гармоніка одиничної амплітуди;
b – використання першої, третьої, п'ятої, сьомої, дев'ятої гармонік: 1 – при оптимальних b_3, b_5, b_7, b_9 ($b_{11} \dots b_m = 0$); 2 – при оптимальних b_3, b_5, b_7 ($b_9 \dots b_m = 0$); 3 – дев'ята гармоніка амплітудою 0,25 (умовно зміщена вгору)

– позиції глобальних екстремумів змінюються при зміні величин та знаків коефіцієнтів;
 – спільної закономірності в позиціях глобального максимуму для довільної кількості гармонік не прослідковується.

При введенні оператором першої та третьої гармонік вихідний сигнал системи має вигляд:

$$y(\varphi) = L \sin(\varphi) + b_3 \sin(3\varphi), \tag{1}$$

де $\varphi = \omega t$.

Перша похідна дорівнює

$$y'(\varphi) = L \cos(\varphi) + 3b_3 \cos(3\varphi).$$

Після заміни

$$\cos 3\varphi = 4 \cos^3 \varphi - 3 \cos \varphi$$

одержимо

$$y'(\varphi) = \cos(\varphi) [12b_3 \cos^2 \varphi + (L - 9b_3)].$$

З рівняння

$$\cos(\varphi) [12b_3 \cos^2 \varphi + (L - 9b_3)] = 0,$$

кубічного відносно $\cos(\varphi)$, знайдемо позиції трьох екстремумів.

Крайній лівий максимум (один з двох глобальних) досягається при

$$\varphi = a \cos \left[\frac{\sqrt{3}}{6b_3} \sqrt{b_3(-L + 9b_3)} \right]. \tag{2}$$

Підставивши рівняння (2) у формулу (1), отримаємо залежність

$$y(b_3) = L \sin \left[a \cos \left[\frac{\sqrt{3}}{6b_3} \sqrt{b_3(-L + 9b_3)} \right] \right] + b_3 \sin \left[3a \cos \left[\frac{\sqrt{3}}{6b_3} \sqrt{b_3(-L + 9b_3)} \right] \right].$$

Прирівнявши до нуля її першу похідну по b_3 (навести рівняння повністю не є можливим через його громіздкість):

$$y'(b_3) = 0, \tag{3}$$

отримаємо оптимальне значення

$$b_3 = \frac{L}{6}.$$

Більш
г вже

макси-
вність
в змі-
нний.
ченні
юніки
кстре-
b₃ не

b₇, b₉
на мо-
на мо-
- третя

макси-
езбіга-
залеж-
трьох.
бічних
b₅ екст-
тобто
игналу
м мак-
ктично
ченнях

с. 3, б)
армоні-
к, лока-

і збіль-

ся, мак-

Таким способом для двох гармонік можуть бути знайдені знайшли точні значення коефіцієнтів Фур'є.

Для трьох гармонік можна знайти точні позиції екстремумів, але знайти точні значення коефіцієнтів b_3 , b_5 вже не вдається через надзвичайну громіздкість системи трансцендентних рівнянь:

$$\frac{\partial y(b_3, b_5)}{\partial b_5} = 0;$$

$$\frac{\partial y(b_3, b_5)}{\partial b_3} = 0.$$

Для більшого числа гармонік аналітичне рішення класичним методом взагалі неможливе, оскільки $y(t)$ описується рівняннями п'ятої та вищих ступенів відносно тригонометричних функцій, які в загальному випадку принципово нерозв'язні в радикалах [3].

Список літератури

1. Гученко М.І., Лашко Ю.В., Сидоренко В.М. Експериментальні дослідження процесу навчання оператора // Проблемы создания новых машин и технологий: Сб. науч. тр. – К.: КГПИ, 1998.
2. Гученко М.І. Синтез алгоритму роботи оператора в області частот ремнанти при гармонійному сигналі збурення // Проблемы создания новых машин и технологий: Сб. науч. тр. – К.: КГПИ, 2000. – Вып. 1.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Наука, 1967.
4. Стаття надійшла до редакції 03.10.01.

УДК 621.386:62-82.001.63: 616-073.75

С.В. Балашов, канд. техн. наук, доц.,
С.А. Ясенко, канд. техн. наук, доц.

КОРИГУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ «МОНІТОР-ПЛІВКА» ДЛЯ МУЛЬТИФОРМАТНИХ КАМЕР У МЕДИЦИНІ

Розглянуто питання формування якісних рентгенівських зображень при перенесенні їх на плівку в мультиформатних камерах. Запропоновано алгоритм корекції цифрового зображення перед експонуванням його на плівку.

На теперішній час у багатьох напрямках розвитку техніки аналогові зображення замінюють цифровими [1]. Це стосується і медичних систем формування та відображення зображень, наприклад, комп'ютерної та магніторезонансної томографії, ультразвукових, ендоскопічних досліджень, цифрової рентгенографії та ін.

Частіше за все в системах рентгенодіагностики носієм довгострокового зберігання інформації була плівка. Однією з характеристик плівки, що впливає на якість діагностики, є сенситометрична крива, яка має S-подібний вигляд. Це призводить до погіршення розрізнення, зменшення контрасту зображення у найбільш світлих та найбільш темних областях зображення. Під час епідемії туберкульозу, коли необхідно мати якісне рентгенівське зображення особливо у верхівках легень, та дослідженні кісток можливі пропуски початкових форм хвороби.

Досвід роботи на цифрових рентгенівських системах показує, що через більший динамічний діапазон датчиків зображень у деяких випадках була відмічена гіпердіагностика. Це можна пояснити більш лінійною передаточною характеристикою цифрових приймачів зображень та звичкою лікарів до зображень на плівці, яка має менший динамічний діапазон. Після адаптації операторів (лікарів) гіпердіагностика закінчувалась.