

УДК 621.396.621(045)

РОЗРІЗНЕННЯ СИГНАЛІВ У НЕЛІНІЙНИХ ДЕТЕРМІНОВАНИХ СТЕЖНИХ СИСТЕМАХ

С. О. Шматок, д-р техн. наук, проф.; **А. Б. Петренко**, канд. техн. наук, доц.;
О. С. Шматок, канд. техн. наук, доц.

Національний авіаційний університет

e-mail: pab.05@mail.ru

У роботі досліджується режим захоплення радіосигналу на автоматичне супроводження. Представлена методика кількісної оцінки процесу розрізнення сигналу в нелінійних детермінованих стежних системах першого та другого порядків, яка базується на теорії біфуркацій (катастроф) і розрахунок областей захоплення. Побудовані фазові портрети нелінійної стежної системи. Визначені умови зриву вимірювання за корисним сигналом.

Ключові слова: стежна система, захоплення сигналу, область захоплення, точки стійкої і нестійкої рівноваги, біфуркаційна діаграма.

In this paper the capture mode on the automatic tracking of a radio signal. The methods of quantifying signal resolution process in deterministic nonlinear tracking systems first and second order based on bifurcation theory (accident) and calculating the area of capture. The phase portraits of nonlinear tracking system. The conditions for tracking breakdown of the useful signal.

Keywords: tracking system, capturing the signal pick-up area, in terms of stable and unstable equilibrium, bifurcation diagram.

Постановка проблеми

Характерним для радіолокації являється вимірювання параметрів корисних сигналів на фоні завад, що істотно обмежує можливості розрізнення сигналів, відбитих від різних об'єктів. При автоматичному супроводженні цілей та виміру їх координат (параметрів руху) виникають випадки, коли в межах інтервалу розрізнення по одній або декількох координатах протягом деякого відрізка часу існують одночасно кілька сигналів. У таких випадках якість автосупроводження цілі повністю залежить від процесу розрізнення цих сигналів в нелінійній стежній системі.

Аналіз досліджень та публікацій

Завдання захоплення радіосигналів на стежне вимірювання параметрів досліджувалось у багатьох працях [1, 3, 4, 5]. Так М. В. Капранов одним із перших запропонував «полосу захоплення» як кількісну характеристику успішного процесу захоплення в системах фазової автопідстроювання частоти (ФАПЧ). У працях С. В. Первачева, С. І. Євтянова і В. К. Снетковой запропоновані різні методи розрахунку полоси захоплення ФАПЧ з фільтрами першого та другого порядків [3]. Завдання захоплення сигналів у різноманітних системах ФАПЧ усебічно вивчається в фундаментальній роботі В. В. Шахгільдяна та А. А. Ляховкіна У книзі Я. Д. Ширмана розглянуто різні види оптимального розрізнення за нормальної статистики сигналів і завад [4].

Мета роботи

Визначити умови розрізнення двох сигналів за допомогою областей захоплення в нелінійних детермінованих стежних системах з фільтрами оцінювання першого та другого порядку.

Виклад основного матеріалу дослідження

Нелінійна стежна система першого порядку

Нехай на нелінійну стежну систему (рис. 1) впливають два сигнали, які відбиті від цілей, що рознесені у просторі на деяку базу Δ . Тоді нелінійна радіоелектронна система автоматичного управління буде містити параметричну дискримінаційну характеристику $Y(z, \Delta)$, де Δ — кутлова відстань між цілями (база) [2, 5, 6]. Якщо лінійна безперервна частина стежної системи описується передатною функцією вигляду $K(S) = K_v/S$ (рис. 1), то диференціальне рівняння відносно сигналу розузгодження записується:

$$\frac{dZ(t)}{dt} = -K_v Y(Z, \Delta). \quad (1)$$

Положення точок рівноваги системи першого порядку відповідає рівнянню:

$$Y(Z, \Delta) = 0, \quad (2)$$

тобто співпадає з точками нуля параметричної дискримінаційної характеристики. Використовуємо апроксимацію параметричної дискримінаційної характеристики отримуємо рівняння:

$$Y(Z, \Delta) = Z \exp\left\{-\frac{b}{2} Z^2\right\} + \beta(Z - \Delta) \exp\left\{-\frac{b}{2} (Z - \Delta)^2\right\}. \quad (3)$$

За виразом (3) проведений розрахунок параметричної дискримінаційної характеристики для деяких значень Δ і β . Відповідні графіки представлені на рис. 2, а, б, в, г, д.

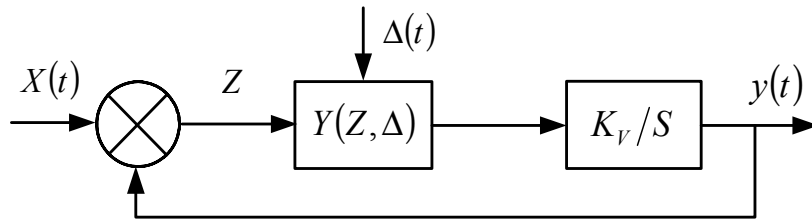
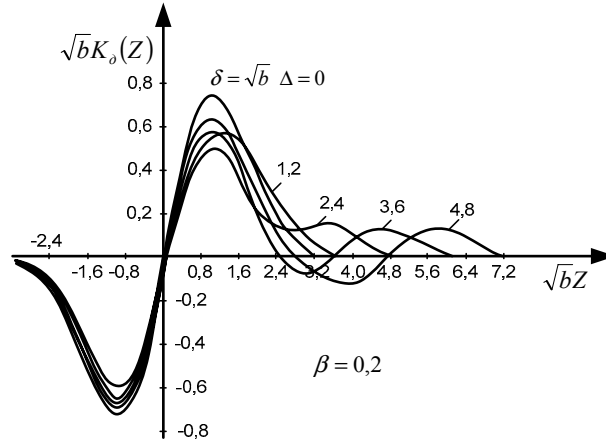
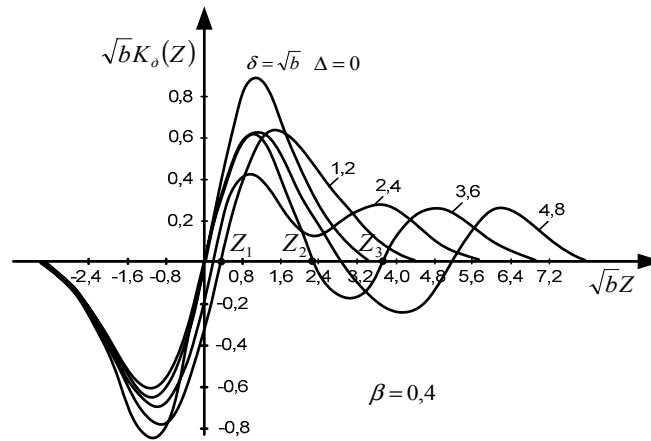


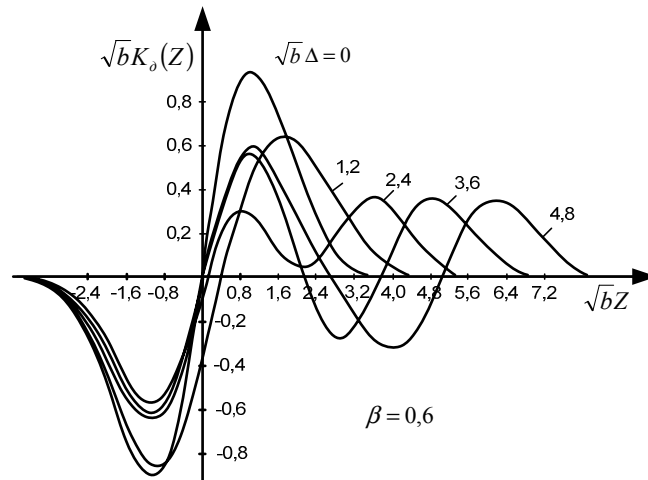
Рис. 1. Схема лінійної безперервної частини стежної системи



a



b



в

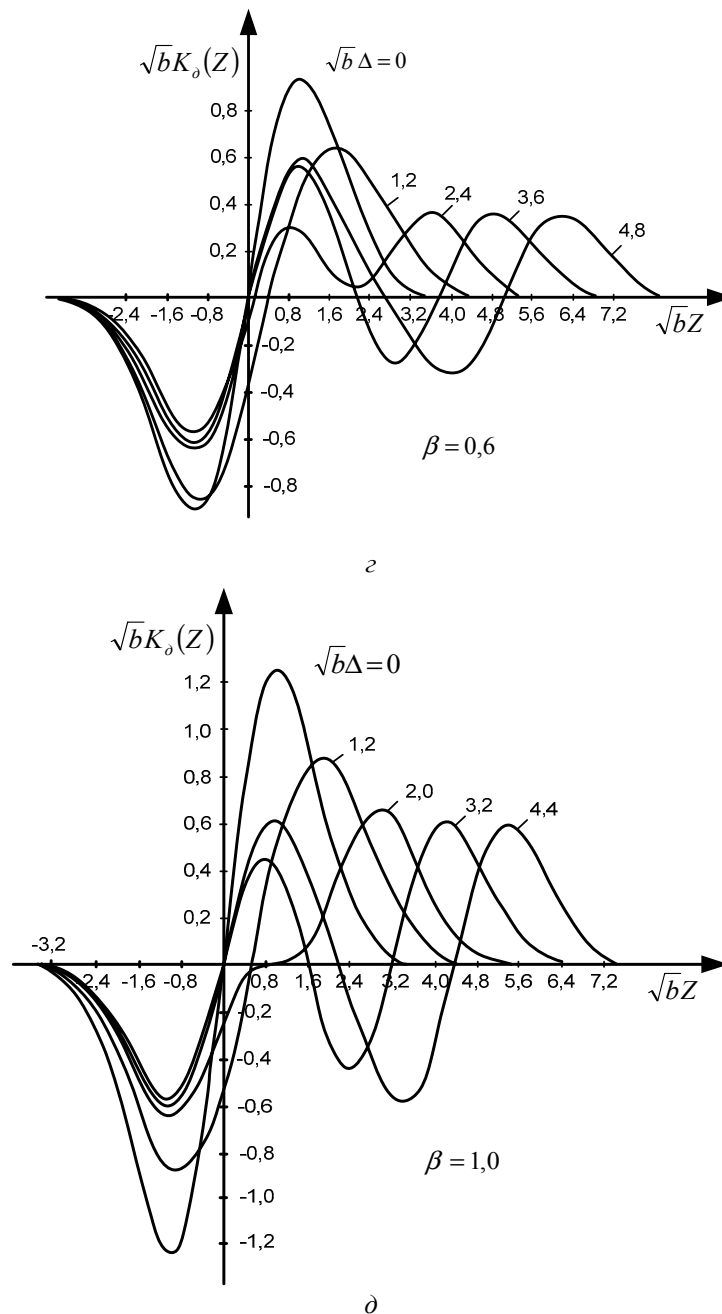


Рис. 2. Фазовий портрет системи при:
 $a - \beta = 0,2$; $b - \beta = 0,4$; $c - \beta = 0,6$; $z - \beta = 0,8$; $d - \beta = 1,0$

Із графіків видно, що при досягненні величиною бази значень $\sqrt{b}\Delta p$ при $\beta = 1,0$ та $2,4 < \sqrt{b}\Delta p < 3,6$ при $\beta = 0,4$ у параметричній дискримінаційній характеристиці появляються додаткові точки нульових значень.

При $\beta = 1,0$ появи нових точок нульових значень передусе обнуління крутизни у точці «старого» нуля. Серед точок нульових значень, що з'явилися, є точки, які відповідають стійкому і нестійкому станам рівноваги системи. Так, наприклад, при $\beta = 0,4$ та $\sqrt{b}\Delta = 3,6$ точки Z_1 і Z_3 ,

є точками стійкої рівноваги системи, а Z_2 точка нестійкої рівноваги.

Як видно з рис. 2, b , точка Z_2 поділяє області захоплення для Z_1 і Z_2 (у даному випадку областю захоплення є відрізки, що розташовані на дійсній осі, яка є одновимірним фазовим простором). Таким чином, необхідною умовою розрізнення двох сигналів у нелінійній стежній системі є біфуркація точки стійкої рівноваги і поява в результаті цього двох нових точок. Умовою біфуркації є рівність $\Delta = \Delta p$. Рух зображуючої точки системи після біфуркації стану рівноваги

визначається низкою додаткових умов і може бути таким. Зображуюча точка може переміститися в область притягування одного з двох новоутворених станів стійкої рівноваги. При цьому відбувається перехоплення одного з двох сигналів, що власне, і є процесом розрізнення.

Якщо зображуюча точка системи появляється поза межами областей притягування нових точок рівноваги, то припиняється автоматичне супроводження, тобто відбувається зрив стеження (вимірювання). При значеннях бази між двома сигналами, що перевищують Δp , ($\Delta > \Delta p$) точки стійкого та нестійкого стану рівноваги можуть зберегтись, або відбувається їх наступна біфуркація. Для дослідження подальших змін властивостей фазового портрета, зручно користуватися біфуркаційною діаграмою, під якою розуміють залежність $Z_i = \alpha(\Delta)$, де Z_i — значення сигналу

похибки, за якого параметрична дискримінаційна характеристика перетворюється на нуль, тобто $Y(Z_i, \Delta) = 0$. Для прийнятої апроксимації дискримінаційної характеристики біфуркаційна діаграма представлена на рис. 3.

Гілки «а» і «б» діаграми відповідають апертурі параметричної дискримінаційної характеристики, яка визначена за спадом характеристики на краях до рівня 0,01 максимумів. З рис. 3 видно, що ці гілки небагато змінюються при зміні відношення потужностей сигналів двох цілей, яке оцінюється параметром β , ($\beta_1 = 1,0$ і $\beta_2 = 0,4$).

Гілки «д» і «в» відповідають переміщенню вздовж осі абсцис точок стійкої рівноваги системи, а гілка «г» — переміщенню точок нестійкої рівноваги. На рис. 4 представлена та сама біфуркаційна діаграма, але у збільшеному масштабі для декількох значень параметрів β .

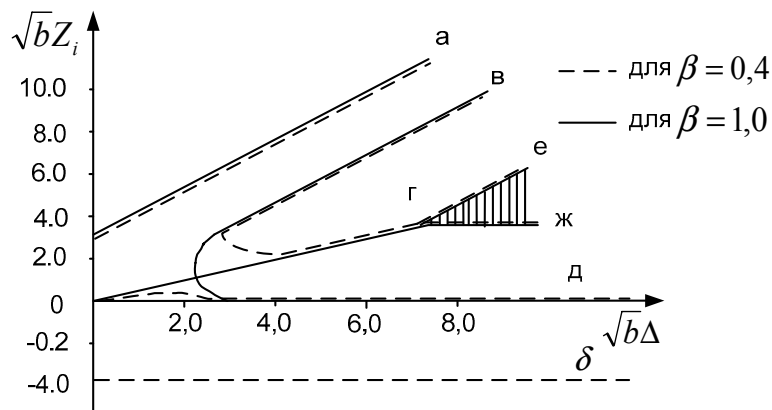


Рис. 3. Біфуркаційна діаграма

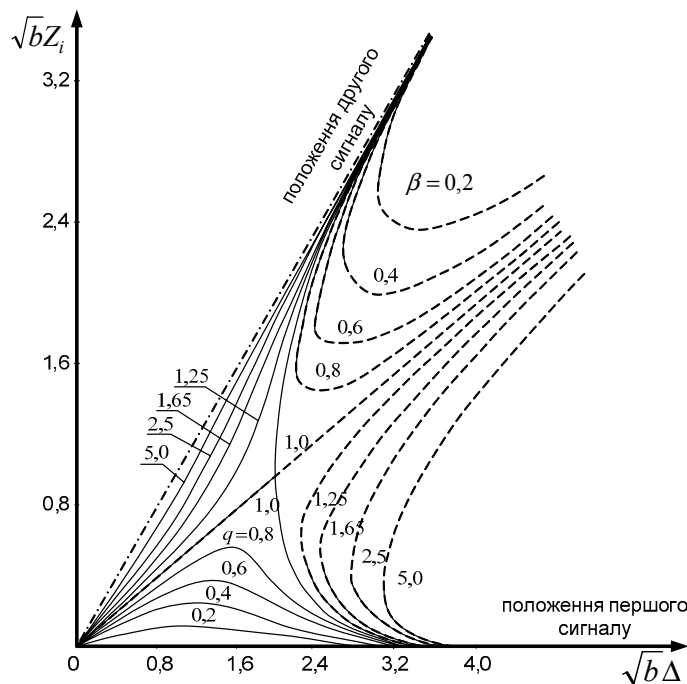


Рис. 4. Біфуркаційна діаграма

При цьому пунктирні лінії відповідають положенням тих точок нуля дискримінатора, які є нестійкими станами рівноваги системи, суцільні лінії — положенням точок стійкої рівноваги. З діаграми видно, що відмінність між потужностями сигналів двох цілей призводить до того, що біфуркаційне значення відстані між цілями збільшується. Відповідно, чим більше β відрізняється від одиниці, тим при більших значеннях бази Δp може відбутися розрізнення двох цілей в нелінійній стежній системі.

Гілки біфуркаційної діаграми, які відповідають положенням точок нестійкої рівноваги системи, є границями областей захоплення (притягування) стійких точок рівноваги.

Звідси можливо зробити висновок, що біфуркаційна діаграма є повною характеристикою процесу розрізнення цілей в нелінійній детермінованій стежній системі з фільтром оцінювання першого порядку.

Крім того, за гілками, що відповідають точкам стійкої рівноваги, можна визначати величину складової динамічної помилки стеження, яка викликається впливом іншої цілі. При цьому, за початок відліку необхідно вибрати координатну вісь $Z_i = 0$ (вісь абсцис) і бісектрису координатного кута $Z_i = \Delta$, які характеризують точне положення цілей.

2. Нелінійна стежна система другого порядку.

Проведемо оцінювання умов розрізнення двох сигналів за допомогою областей захоплення в нелінійних стежних системах другого порядку [2]. Вважатимемо, що за тих же умов лінійна безперервна частина описується системою диференціальних рівнянь (4), але дискримінаційна характеристика є параметричною, тобто залежить від параметра Δ .

Тоді

$$\left. \begin{aligned} \frac{dZ(t)}{dt} &= y(t), \\ \frac{dy(t)}{dt} &= -K_w Y(Z, \Delta) - K_w T \frac{dY(Z, \Delta)}{dZ} y(t). \end{aligned} \right\} (4)$$

Для визначення стану рівноваги та оцінки стійкості системи другого порядку можливо використовувати ті ж способи, що і для системи першого порядку.

Але для систем другого порядку області захоплення яких визначаються у двохмірному фазовому просторі, біфуркаційна діаграма характеризує процес розрізнення не повністю. Тому, для систем другого і більш вищого порядку процес розрізнення доцільно характеризувати за допомогою областей захоплення.

Біфуркаційна діаграма в даному випадку буде аналогічна, яка досліджувалась раніше. За її допомогою можливо розрахувати координати точок станів рівноваги, визначити їх стійкість і т. д.

У даному випадку, будемо обчислювати області захоплення після біфуркацій станів рівноваги (рис. 5, а). У момент біфуркації стану рівноваги (розглядається двоцільова ситуація) фазовий портрет системи другого порядку матиме вигляд, як показано на рис. 5, б.

З рис. 5, б видно, що в якості границь областей захоплення доцільно вибирати «вуси» EG , DC та сепаратриси AA_1 і A_1B , що проходять через точку нестійкої рівноваги.

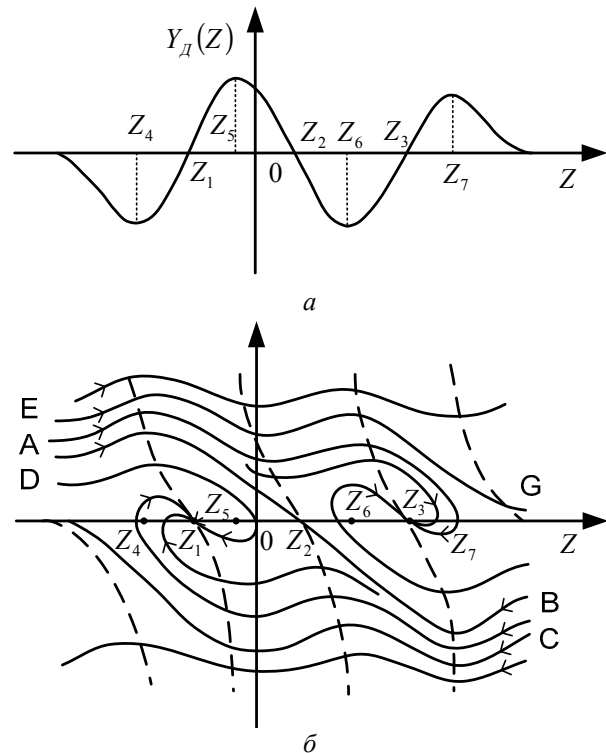


Рис. 5. Области захоплення нелінійної системи другого порядку

Їх розрахунок здійснюється шляхом рішення системи рівнянь (4) після обернення часу та відповідного визначення за фазовим портретом системи початкових умов. При цьому, початкові умови для розрахунку сепаратрис AA_1 та A_1B визначаються на границях точки нестійкої рівноваги Z_2 (можливо користуватись біфуркаційною діаграмою). Початкові умови для розрахунку «вусів» EG та DC можна задати з умови того, що їх асимптотою є вісь абсцис (нескінченна ізоклина фазової площини y, z). На рис. 6, а, б, в, г представлені декілька розрахованих областей захоплення, що відповідають наступним розрахованим умовам: $K_w = 10c^{-2}$; $T = 2c$; $\sqrt{b}\Delta = \delta = 3, 0$; $\beta = 1, 0; 0, 8; 0, 6; 0, 4$.

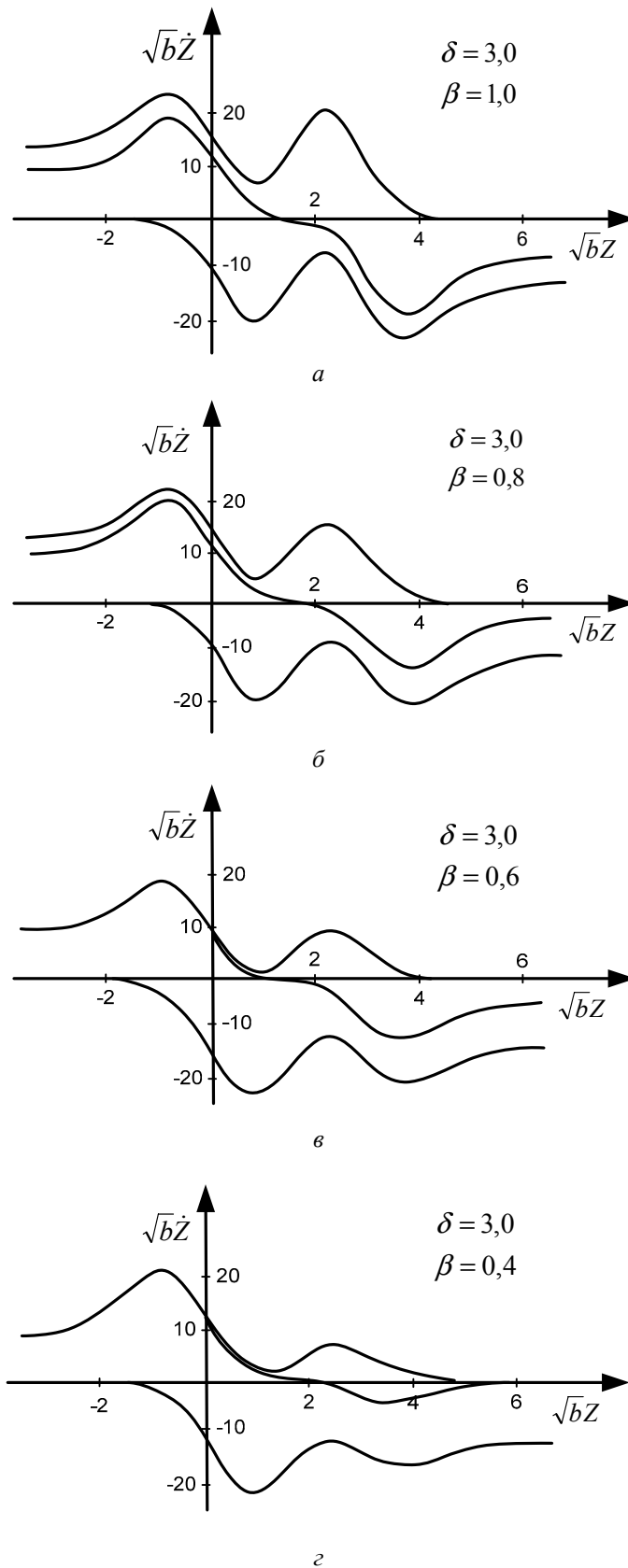


Рис. 6. Области захоплення нелінійним детермінованим стежним вимірювачем із фільтром оцінювання другого порядку при $\delta = 3,0$; а — $\beta = 1,0$; б — $\beta = 0,8$; в — $\beta = 0,6$; г — $\beta = 0,4$

З представлених графіків можливо зробити висновок, що в системах другого порядку на процес розрізнення двох цілей в нелінійній стежній системі впливає не тільки положення зображуючої точки, а ще і швидкість її переміщення у момент біфуркації первинного стану рівноваги. Розміри областей захоплення суттєво залежать від потужностей сигналів, які надходять від цілей. Так сигнал з більшою потужністю має більшу область захоплення.

Аналізуючи графіки, що показані на рис. 6, бачимо «подавлення» сигналу з меншою потужністю сигналом з більшою, у тому сенсі, що умови його захоплення погіршуються. Це «подавлення» послаблюється зі збільшенням баз Δ між сигналами.

Висновок

Таким чином, поняття області захоплення, дозволяє увести кількісний аналіз захоплення окремих сигналів у нелінійних стежних детермінованих системах і процесу розрізнення декількох сигналів з урахуванням динамічних властивостей систем і характером змін параметрів вхідних сигналів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Радиотехнические системы*: учебник для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др.; под ред. Ю. М. Казаринова. — М.: Высш. шк., 1990. — 496 с.
2. *Шматок С. А.* Основы автоматического управления систем РЭС. Автоматические устройства поиска и захвата сигналов в радиоэлектронных следающих системах / С. А. Шматок, В. Ф. Лукьянов. — Минск: МВИЗРУ ПВО, 1976. — 197 с.
3. *Первачев С. В.* Статистическая динамика радиоэлектронных следающих систем / С. В. Первачев,

А. А. Валуев, В. И. Чиликин. — М.: Сов. радио, 1973. — 487 с.

4. *Ширман Я. Д.* Разрешение и сжатие сигналов / Я. Д. Ширман. — М.: Сов. радио, 1974. — 360 с.

5. *Баранов О. А.* Нелінійна стохастична динаміка фільтрів оцінювання: захоплення та розподіл сигналів / О. А. Баранов, С. П. Лісовий, С. О. Шматок. — К.: Радіоаматор, 2000. — 217 с.

6. *Шматок А. С.* Математическая модель дискретного нелинейного следающего измерителя частоты первого порядка / А. С. Шматок, А. Б. Петренко // наук.-практ. конф. «Інтегровані інформаційні технології та системи», зб. тез. — К.: НАУ, 2007. — С. 151–153.

REFERENCES

1. *Radio-technical systems*: Proc. for by special institutions. «Radio» N / S.P. Grishin, V.P. Ipatov, Y.M. Kazarinov etc.; ed. Y.M. Kazarinova. — M.: Higher. wk, 1990. — 496 p.
2. *Shmatok S. A.* Fundamentals of automatic control systems of RES. Automatic device search and seizure of electronic signals in servo systems / Shmatok S. A., Lukyanov V. F. — Minsk MVIZRU defense, 1976. — 197 p.
3. *Pervach S. V.* Statistical dynamics of electronic tracking systems / Pervach S. V., Valuev A. A., Chilikin V. I. — M.: Sov. radio, 1973. — 487 p.
4. *Shearman Y. D.* Resolution and compression of signals / Shearman Y. D. — M.: Sov. radio, 1974. — 360 p.
5. *Baranov O. A.* Nonlinear stochastic dynamics evaluation filters: capture and distribution of signals / O. A. Baranov, S. P. Lisovy, S. A. Shmatok. — K., radio, 2000. — 217 p.
6. *Shmatok A. S.* Mathematical model of nonlinear discrete tracking meter frequency of the first order / A. S. Shmatok, A. B. Petrenko // nauk.-pract. conf. «Integrovani informatsiyni tehnologii that system» st. mes. — K.: UNAM, 2007. — P. 151-153.

Стаття надійшла до редакції 25.11.16