

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФАЗОВОГО АВТОПІДСТРОЮВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ КОРЕНЕВОГО ГОДОГРАФА

У статті ставиться і вирішується задача синтезу корегуючих пристроїв за заданими показниками якості. Досліджуються системи фазового автопідстроювання (ФАП) другого і третього порядків, які найбільш часто зустрічаються на практиці. Розглянуто можливості синтезу та оцінки показників якості систем ФАП, а також побудова кривих перехідного процесу і частотних характеристик без застосування допоміжних графіків, номограм і таблиць.

Ключові слова: фазове автопідстроювання, синтез, кореневий годограф, система фазового автопідстроювання, ФАП, корегуючий пристрій, показник якості.

DEVELOPMENT OF PHASE-LOCKED LOOP MODEL BY ROOT HODOGRAPH

In this article, the problem of synthesizing correction devices with the given quality indicators is set and solved. The systems of the phase-locked loop (PLL) of the second and third order, as most commonly found in practice, are investigated. The algorithm of synthesis of PLL system correction device by the root trajectory method is considered. The possibility of a significant reduction of the velocity component of the PLL system error in the presence of correction is shown. The variants of implementation of the adjusting device using the operational amplifier are given. It is shown that the introduction of a sequential correction device in a closed control circuit can improve the accuracy in the steady state and improve the quality of the transient process of the system. The possibilities of synthesis and evaluation of quality indicators of PLL systems are considered, as well as the construction of transition curves and frequency characteristics without the use of auxiliary charts, nomograms and tables. There is presented the method of synthesizing the coremegal extension of the systems of phase auto tuning assigned for assigning viewers an anchor for the method of trajectory roots. It is shown, for a particular system of phase auto tuning, that is introduced after the control device in the closed loop, the control is enabled to adjust the accuracy in the idle mode and the polarity of the overflow system. Showing the possibility of the a substantial reduction of the speed error warehousing system of phase auto tuning for correction. Globally, the possible synthesis of the feedback of phase auto tuning scoring systems.

Key words: phase auto-tuning, synthesis, root hodograph, phase-locked loop, PLL, correction device, quality index.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ С ПОМОЩЬЮ КОРНЕВОГО ГОДОГРАФА

В статье ставится и решается задача синтеза корректирующих устройств с заданными показателями качества. Исследуются системы фазовой автоподстройки (ФАП) второго и третьего порядков, которые наиболее часто встречаются на практике. Рассмотрены возможности синтеза и оценки показателей качества систем ФАП, а также построение кривых переходного процесса и частотных характеристик без применения вспомогательных графиков, номограмм и таблиц.

Ключевые слова: фазовая автоподстройка, синтез, корневой годограф, система фазовой автоподстройки, ФАП, корректирующее устройство, показатель качества.

Вступ. Перевагою методу траєкторій коренів є велика наочність, простота дослідження впливу окремих параметрів на динаміку системи фазового автопідстроювання (ФАП), можливість синтезу і оцінки показників її якості, а також побудова кривих перехідного процесу і частотних характеристик без застосування допоміжних графіків, номограм і таблиць [1].

При використанні цього методу зазвичай один з параметрів розімкнутої системи ФАП вважають таким, що змінюється, і будують на комплексній площині криві, що показують, як змінюються корені характеристичного рівняння, тобто будуються кореневі годографи (траєкторії коренів) [2].

У даній роботі досліджуються системи ФАП, які найбільш часто зустрічаються на практиці, і вирішується завдання синтезу корегувальних пристроїв за заданими показниками якості.

Основна частина. Синтез корегуючого пристрою (КП) системи ФАП за допомогою методу траєкторії коренів проводиться в такий спосіб. На підставі заданих показників якості (перерегулювання, тривалість перехідного процесу, число коливань вихідної величини за час перехідного процесу) приблизно визначають бажане положення і вводять додаткові нулі або полюси, домагаючись проходження траєкторій коренів скоригованої системи ФАП поблизу бажаної точки, де б коефіцієнт передачі K_p задовольняв вимогам її точності [3]. Введення додаткових нулів і полюсів досягається включенням послідовного або паралельного коригуючого пристрою. Після вибору оператора $W_{КП}(p)$ проводиться перевірочний розрахунок показників якості. Якщо цей розрахунок дає негативні результати, то вносяться поправки в параметри КП і проводиться нова перевірка і т.д.

Припустимо, що потрібно здійснити синтез послідовного КП з передаточною функцією $W_{КП}(s)$ в системі ФАП з передаточною функцією в розімкнутому стані

$$W_p(s) = \frac{K_p}{s(T_\phi s + 1)(T_{III} s + 1)}, \quad (1)$$

де $K_p = 30 \text{ с}^{-1}$; $T_{III} = 0,02 \text{ с}$ – постійна часу підсилювача-перетворювача;
 $T_\phi = 0,2 \text{ с}$ – постійна часу фільтра.

Система ФАП повинна задовольняти наступні показники якості: перерегулювання $\sigma\% \leq 25\%$; тривалість перехідного процесу $t_p \leq 0,7 \text{ с}$; число коливань вихідної величини за час перехідного процесу не більше двох.

Структурна схема скоректованої системи ФАП зображена на рис. 1.

Полюси передавальної функції, яка визначена за формулою (1), дорівнюють: $q'_1 = 0$; $q'_2 = -5$; $q'_3 = -50$.

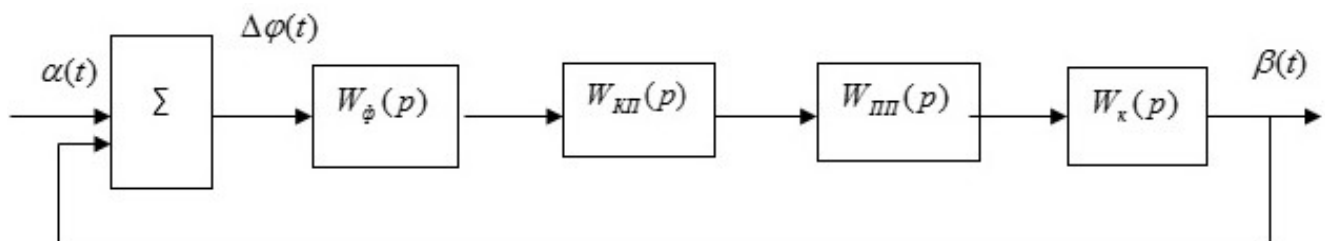


Рис.1. Структурна схема скоректованої системи ФАП

Перерегулювання $\sigma\% = 25\%$ згідно графіка рис. 2 в системі другого порядку відповідає $\xi = 0,4$; поклавши $t_p = 0,7$ с і використовуючи формулу $t_p \approx \frac{3}{\delta_1}$, отримаємо

$$\delta_1 \approx \frac{3}{t_p} = \frac{3}{0,7} \approx 4,3.$$

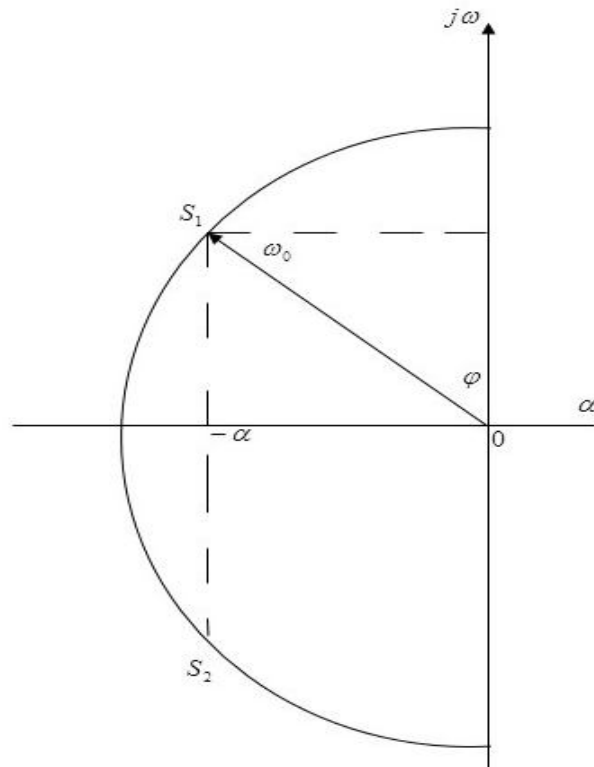


Рис. 2. Зображення переважної пари коренів на комплексній площині.

Вибравши положення переважної пари відповідно до знайдених величин ξ і σ_1 , відзначимо положення кореня s_1 на площині s (рис. 3).

Безпосередньо з рисунка знайдемо:

$$\varphi_1 = 100^\circ, \varphi_2 = 88^\circ, \varphi_3 = 33^\circ,$$

тобто:

$$-(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3) = -(100^\circ + 88^\circ + 35^\circ) = -223^\circ.$$

Отже, точка s_1 не може належати траєкторії нескоректованої системи ФАП. Введемо додатковий полюс q_4 і нуль q_1 з таким розрахунком, щоб задовольнялося рівняння фаз

$$\sum_{j=1}^m \varphi'_j - \sum_{i=1}^n \varphi_i = \pm(2r+1)\pi.$$

Нехай введене значення нуля відповідає полюсу, тобто $q_2 = q'_2 = -5$ (полюс q'_2 повністю компенсується нулем q_2). Тоді з рівняння фаз отримуємо

$$\varphi_4 = -\pi + \varphi_1 + \varphi_3 = -180^\circ + 88^\circ + 35^\circ = -57^\circ.$$

Провівши пряму через точку s_1 під кутом φ_4 , знайдемо на дійсній осі точку $q'_4 = -29,5$.

Визначимо величину коефіцієнт передачі K_p системи ФАП в розімкнутому стані з урахуванням додатково введених нуля і полюса.

Згідно рис. 3 маємо:

$$K = r_1 r_3 r_4 = 32,5 \times 38 \times 56 = 69160.$$

Тоді

$$K_{p_{ск}} = \frac{K}{q_3 q_4} = \frac{69160}{50 \times 29,5} = 46,8 \text{ с}^{-1}.$$

Нескоректована система мала коефіцієнт передачі $K_p = 30$. У скоригованій системі $K_{p_{ск}} = 46,8 \text{ с}^{-1}$, тобто швидкісна складова помилки системи ФАП при наявності корекції зменшується в $K_{p_{ск}}/K_p = 46,8/30 = 1,56$ разів.

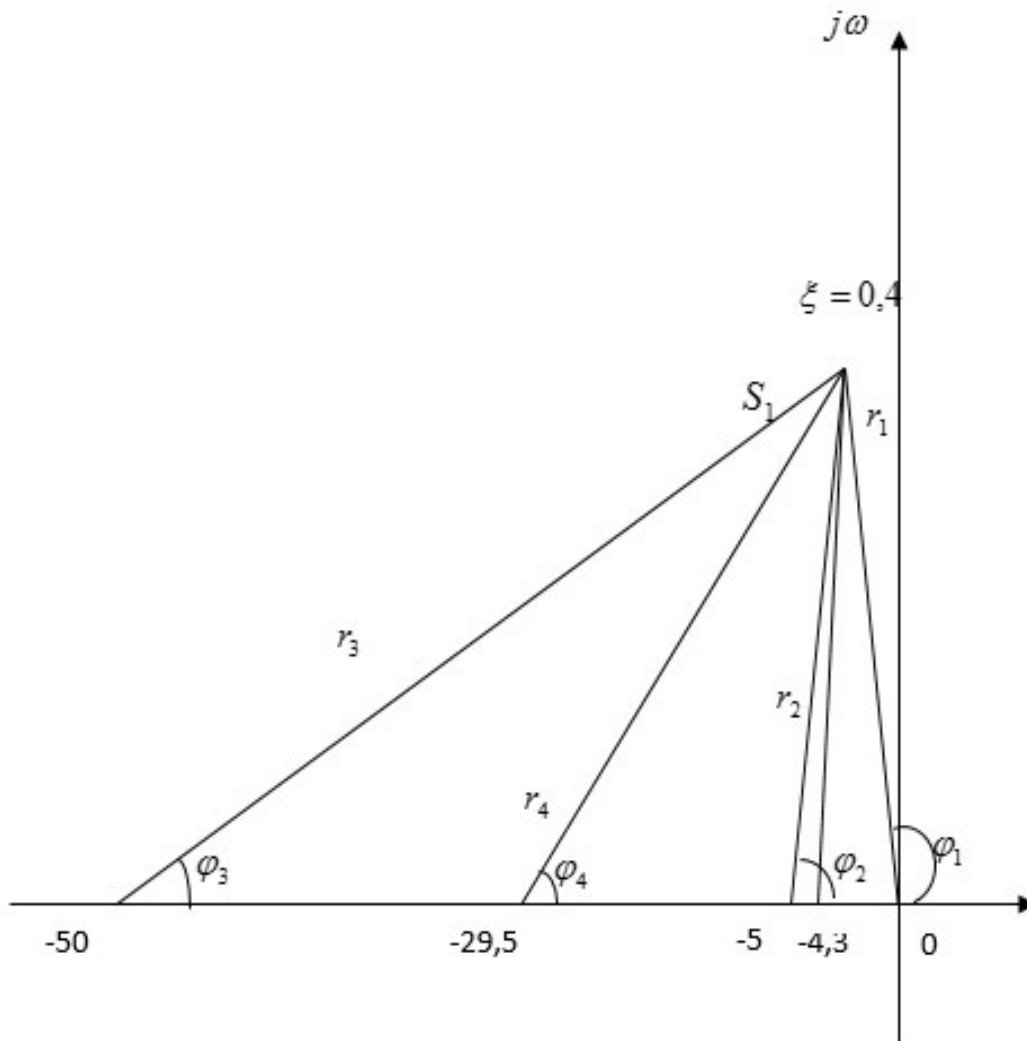


Рис. 3. Визначення параметрів послідовного КП

Очевидно, що корекція системи ФАП забезпечується за допомогою послідовного фазовипереджального КП з передавальною функцією

$$W_{кп}(s) = \frac{0,2s + 1}{0,038s + 1},$$

яка може бути реалізована на операційному підсилювачі.

При реалізації КП на операційному підсилювачі з двома конденсаторами (рис. 4) оператор КП має вигляд

$$W_{\text{КП}}(p) = K \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1},$$

де $T_1 = R_1 C_1$; $T_2 = R_2 C_2$; $W(0) = K$; $W(\infty) = K \frac{T_1}{T_2} = \frac{C_1}{C_2}$; $K = \frac{R_2}{R_1}$;

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} T_1 \omega - \text{arctg} T_2 \omega.$$

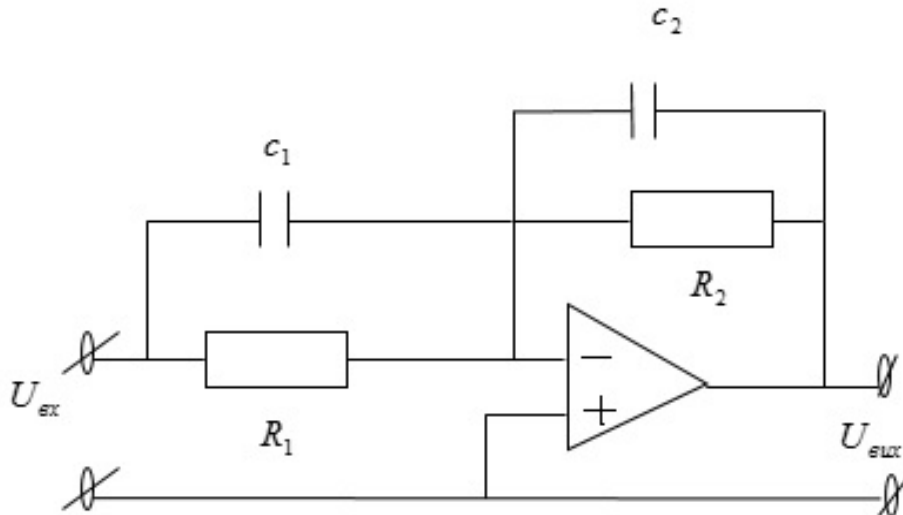


Рис. 4. КП на операційному підсилювачі з двома конденсаторами.

При реалізації КП на операційному підсилювачі з одним конденсатором (рис. 5) маємо:

$$W_{\text{К}}(p) = K \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1},$$

де $K = \frac{R_2}{R_1}$; $T_1 = \frac{R_1 + R_2}{C}$; $T_2 = R_2 C$; $W(0) = K$.

$$W(\infty) = \frac{K T_1}{T_2} = \frac{R_3 (R_1 + R_2)}{R_1 R_2}.$$

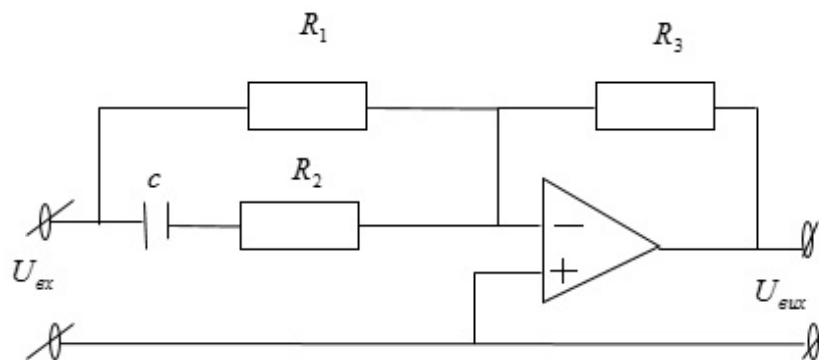


Рис. 5. Реалізація КП на операційному підсилювачі з одним конденсатором.

В цьому випадку передавальна функція скоригованої системи ФАП в розімкнутому стані має вигляд:

$$K_{\text{пск}}(s) = \frac{69160}{s(s + 29,5)(s + 50)}.$$

Таким чином, введення послідовного КП в замкнутий контур управління дозволяє підвищити точність в усталеному режимі і поліпшити якість перехідного процесу [4]. При порівнянні перехідних процесів вихідної системи ФАП і скорегованої видно, що тривалість перехідного процесу в скорегованій системі ФАП зменшується в порівнянні з тривалістю в нескорегованій системі в $t_p / t_{p_{ск}} = 1,8 / 0,6 = 3$ рази.

Висновки

В статті показано, що метод траєкторій коренів дозволяє оцінити вплив того чи іншого параметра замкнутого контуру системи ФАП на її показники якості.

З огляду на те, що в астатичній системі ФАП з астатизмом першого порядку постійна часу фільтра значно більше постійної часу підсилувача-перетворювача, в характеристичному рівнянні системи ФАП завжди можна вибрати пару комплексно сполучених коренів, які визначають її динаміку. Знаючи траєкторії коренів характеристичного рівняння замкнутої системи ФАП, легко визначити криву перехідного процесу.

Запропоновано метод синтезу корегувального пристрою системи ФАП за заданими показниками якості за допомогою методу траєкторій коренів. Показано, для конкретної системи ФАП, що введення послідовного КП в замкнутий контур управління дозволяє підвищити точність в усталеному режимі і поліпшити якість перехідного процесу системи [4]. Зокрема, тривалість перехідного процесу в скорегованій системі ФАП зменшилася в 3 рази у порівнянні з тривалістю перехідного процесу в нескорегованій системі ФАП.

Список використаної літератури

1. Стеглов В. К. Синтез многоконтурных итерационных систем фазовой автоподстройки в установившихся режимах / В. К. Стеглов, Д. В. Охрущак, В. И. Стасюк // Известия вузов Радиоэлектроника. – 2003. – Т. 46, №8. – С. 21-26.
2. Расчет автоматических систем / под ред. А. В. Фатеева. – Москва: «Высшая школа», 1973. – 336 с.
3. Охтен О. И. Повышение точности систем фазовой автоподстройки с помощью экстраполирующего корректирующего устройства в цепи обратной связи / О. И. Охтен, Д. В. Охрущак, Т. И. Трухан // Зв'язок. – 2001. – №1. – С.62-63.
4. Зайцев Г. Ф. Радиотехнические системы автоматического управления высокой точности / Г. Ф. Зайцев, В. К. Стеглов. – Київ: Техніка, 1988. – 208 с.

References

1. Steglov V. K., Okhruschak D. V., Stasyuk V. I. "Synthesis of multi-loop iterative phase-locked systems in steady-state regimes." *Izvestiya vuzov Radioelectronika* 46(8) (2003):21-26.
2. Fateev A. V., ed. "Calculation of automatic systems." *Moskva: Vysshaya shkola* (1973): 336.
3. Okhten O. I., Okhruschak D. V., Trukhan T. I. "Increase the accuracy of phase-locked loop systems using an extrapolating corrector in the feedback loop." *Zviyazok* 1 (2001): 62-63.
4. Zaitsev G. F., Steglov V. K. "Radio-technical systems of automatic control of high accuracy." *Kyiv: Tekhnika* (1988): 208.

Автор статті

Руденко Наталія Вікторівна – старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +380 (68) 219 50 50. E-mail: scully170517@gmail.com.

Author of the article

Rudenko Nataliya Viktorivna – teacher of computer sciences department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (68) 219 50 50. E-mail: scully170517@gmail.com.

Дата надходження
в редакцію: 15.01.2018 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор К. С. Козелкова
Державний університет телекомунікацій, Київ