

Руденко Н. В. Державний університет телекомунікацій, Київ

### РОЗРОБКА МЕТОДУ СИСТЕМ ФАЗОВОГО АВТОПІДСТРОЮВАННЯ З НЕОДИНИЧНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Вирішується завдання підвищення точності систем фазового автопідстроювання в сталих режимах за допомогою неодиначних зворотних зв'язків. Намічені подальші шляхи і можливості підвищення порядку астатизму на два порядки. Вирішуються завдання побудови нових структур систем фазового автопідстроювання з неодиначним головним зворотним зв'язком, проводиться їх аналіз з точки зору динамічної точності при повільно мінливих впливах. Використання неодиначного зворотного зв'язку в статичній системі ФАП дозволяє порівняно простими технічними засобами підвищити точність системи ФАП в сталих режимах при повільних змінах різниці фаз двох порівнюваних напруг. Досліджується вплив неодиначних зворотних зв'язків на перехідний процес.

**Ключові слова:** фазове автопідстроювання, точність, зворотний зв'язок, перехідний процес, статистичні характеристики, керована величина

Rudenko N. V. State University of Telecommunications, Kyiv

### DEVELOPMENT OF THE METHOD OF PHASE AUTO-ADJUSTING SYSTEMS WITH MULTIPLE FEEDBACKS

This article addresses and solves the problem of phase auto-adjusting systems accuracy increase in static modes, using the multiple feedbacks and researches their affection on transition process. There are plans for further ways and possibilities of doubling the astaticism order. The problems of establishing new structures of phase auto-adjusting systems with multiple feedbacks are solving and the analysis in terms of dynamic accuracy with slowly varying influences are performing. The use of unsingle feed-back in the static PLL system allows at comparatively simple hardwares to raise exactness of the system PLL in the permanent modes at the slow changes of difference of phases two compared voltage. The researches of multiple feedback influences on transition process are held.

**Keywords:** phase auto-adjusting, accuracy, feedback, transition process, static characteristics, managed value.

Руденко Н. В. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

### РАЗРАБОТКА МЕТОДА СИСТЕМ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ С НЕОДИНИЧНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Решается задача повышения точности систем фазовой автоподстройки в установившихся режимах с помощью неодиначных обратных связей. Намечены последующие пути и возможности повышения порядка астатизма на два порядка. Решаются задача построения новых структур систем фазовой автоподстройки с неодиначной главной обратной связью, проводится их анализ с точки зрения динамической точности при медленно переменчивых влияниях. Использование неодиначной обратной связи в статической системе ФАП позволяет сравнительно простыми техническими средствами повысить точность системы ФАП в установившихся режимах при медленных изменениях разности фаз двух сравниваемых напряжений. Исследуется влияние неодиначных обратных связей на переходной процесс.

**Ключевые слова:** фазовая автоподстройка, точность, обратная связь, переходной процесс, статистические характеристики, управляемая величина.



Фазовий дискримінатор ФД забезпечує отримання різниці фаз  $\alpha(t)$  напруг  $U_1(t)$  і  $U_2(t)$

$$\alpha(t) = \varphi_1(t) - \varphi_2(t).$$

Особливістю системи ФАП є те, що використовується тільки один фільтр  $\Phi$ , який розташований в замкнутому контурі управління. Система працює наступним чином. На вхід ЕП надходить задаючий вплив  $\alpha(t)$  і керована величина  $\beta(t)$ . На виході ЕП має місце сигнал  $\Delta\varphi_1(t)$ , пропорційний різниці між заданою дією  $\alpha(t)$  і керованої величини  $\beta(t)$ .

$$\Delta\varphi_1(t) = \alpha(t) - \beta(t).$$

У фільтрі нижніх частот  $\Phi$  пригнічується змінна складова сигналу  $\Delta\varphi_1(t)$ , а сигнал  $U_\phi(t)$  подається на підсилювач-перетворювач ПП, де посилюється і перетворюється, потім надходить на керований фазообертач  $\Phi O$ , змінюючи фазу сингала  $U_2(t)$  таким чином, щоб різниця  $\Delta\varphi_1(t)$  зменшилася.

На рис. 2 зображена функціональна схема системи ФАП, яка відрізняється від рис. 1 тим, що вона має два фільтри  $\Phi$  і  $\Phi_1$ , що забезпечують придушення змінних складових задаючого впливу  $\alpha(t)$  і керованої величини  $\beta(t)$ . З точки зору складності фізичної реалізації функціональна схема статичної системи ФАП з одним фільтром краще.

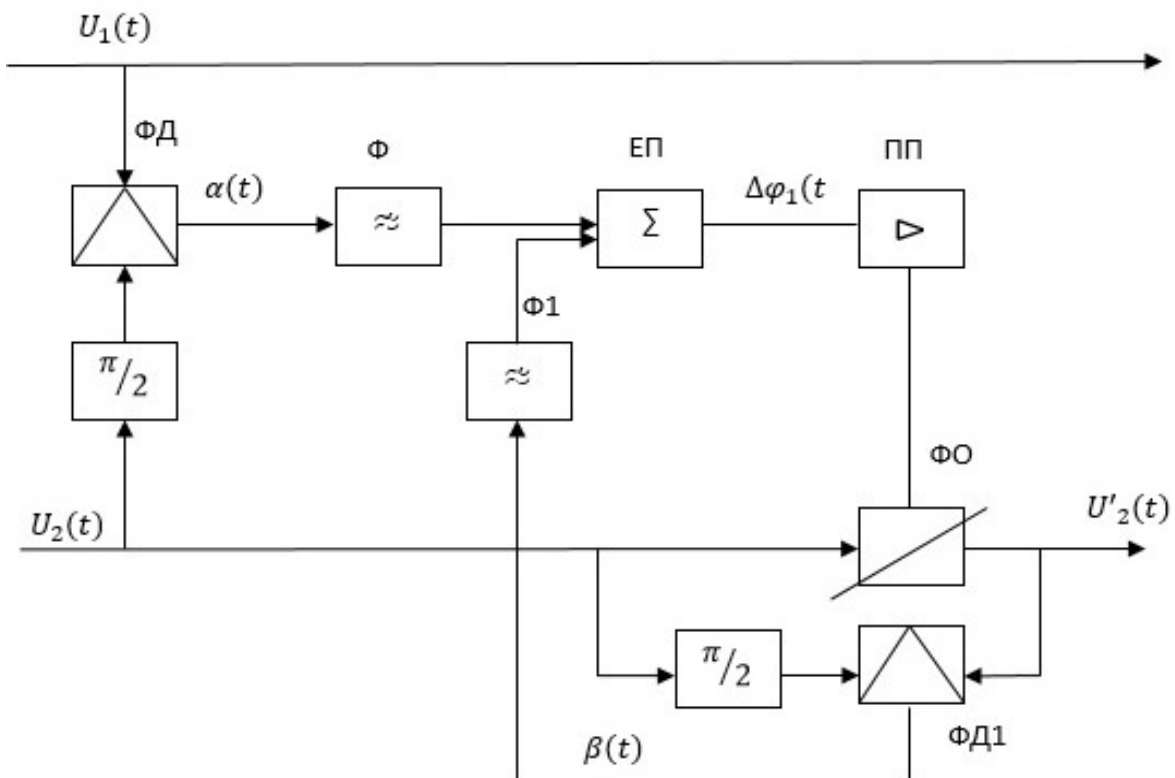


Рис. 2. Функціональна схема статичної системи ФАП з двома фільтрами

Структурну схему системи ФАП з двома фільтрами представимо так:

$$W_\phi(p) = \frac{K_\phi}{T_\phi p + 1} = \frac{D_\phi(p)}{F_\phi(p)}; \quad W_{\text{III}}(p) = \frac{K_{\text{III}}}{T_{\text{III}} p + 1} = \frac{D_{\text{III}}(p)}{F_{\text{III}}(p)};$$

$$W_{\phi D_1}(p) = K_{\phi D_1}; \quad W_{\phi O}(p) = K_{\phi O},$$

де  $D_\phi(p) = K_\phi$ ;  $F_\phi(p) = T_\phi p + 1$ ;  $D_{III}(p) = K_{III}$ ;  $F_{III}(p) = T_{III} p + 1$ ;  $p \equiv d/dt$ .

Очевидно, що при  $K_{\phi_{Д1}} = 1$  значення  $\varphi_{\text{вих}}(t) = \beta(t)$ ,  $\Delta\varphi(t) = \varphi_1(t)$ . У загальному випадку  $K_{\phi_{Д1}} \neq 1$  і  $\Delta\varphi(t) \neq \Delta\varphi_1(t)$ .

Рівняння елементів системи фазового автопідстроювання визначається виразами:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_1(t) &= \alpha(t) - \beta(t); \\ \beta(t) &= W_{\phi_{Д1}}(p)\varphi_{\text{вих}}(t); \\ \varphi_{\text{вих}}(t) &= W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)\Delta\varphi_1(t); \\ \Delta\varphi(t) &= \alpha(t) - \varphi_{\text{вих}}(t). \end{aligned} \tag{1}$$

З рівняння (1) отримуємо

$$[1 + W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)W_{\phi_{Д1}}(p)]\varphi_{\text{вих}}(t) = W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)\alpha(t),$$

звідки

$$\varphi_{\text{вих}}(t) = \frac{W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)\alpha(t)}{1 + W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)W_{\phi_{Д1}}(p)}. \tag{2}$$

Підставивши рівняння (1) у вираз (2) маємо:

$$\Delta\varphi(t) = \alpha(t) - \frac{W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)}{1 + W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)W_{\phi_{Д1}}(p)}\alpha(t). \tag{3}$$

Після перетворення виразу отримуємо:

$$\Delta\varphi(t) = \frac{1 + W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)[W_{\phi_{Д1}}(p) - 1]}{1 + W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)W_{\phi_{Д1}}(p)}\alpha(t). \tag{4}$$

З виразу (4) отримуємо рівняння руху системи ФАП щодо помилки:

$$[1 + W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)W_{\phi_{Д1}}(p)]_\Delta\varphi(t) = \{1 + W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)[W_{\phi_{Д1}}(p) - 1]\}\alpha(t). \tag{5}$$

З виразу руху (5) визначаємо оператор системи фазового автопідстроювання щодо помилки:

$$W_{\Delta\varphi}(p) = \frac{\Delta\varphi(t)}{\alpha(t)} = \frac{1 + W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)[W_{\phi_{Д1}}(p) - 1]}{1 + W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)W_{\phi_{Д1}}(p)}.$$

Розглянемо два випадки:  $W_{\phi_{Д1}}(p) = 1$  і  $W_{\phi_{Д1}}(p) \neq 1$ . В першому випадку, коли  $W_{\phi_{Д1}}(p) = 1$ , отримуємо:

$$W_{\Delta\varphi}(p) = \frac{1}{1 + W_\phi(p)W_{III}(p)W_{\phi O}(p)}.$$

З урахуванням значень операторів елементів системи ФАП маємо:

$$W_{\Delta\varphi}(p) = \frac{(T_\phi p + 1)(T_{III} p + 1)}{(T_\phi p + 1)(T_{III} p + 1) + K_\phi K_{III}} = \frac{a_2 p^2 + a_1 p + a_0}{c_2 p^2 + c_1 p + c_0},$$

де  $a_0 = 1$ ;  $a_1 = T_{III} + T_\phi$ ;  $a_2 = T_{III} T_\phi$ ;  $c_0 = K_\phi K_{III} + 1$ ;  $c_1 = a_1$ ;  $c_2 = a_2$ .

### III. Висновки

За допомогою неединичного зворотного зв'язку підвищується точність [4] систем ФАП в сталих режимах. Однак, в цьому випадку змінюється характеристичний поліном системи, а, отже, і перехідна складова помилки. Для дослідження впливу неединичного зворотного зв'язку на перехідний процес розглянута система ФАП з конкретними значеннями параметрів операторів.

Використання неединичного зворотного зв'язку в статичній системі ФАП дозволяє порівняно простими технічними засобами підвищити точність системи ФАП в сталих режимах при повільних змінах різниці фаз двох порівнюваних напруг.

Показано, що за допомогою неединичного зворотного зв'язку можна підвищити порядок астатизму на два порядки. При цьому підвищується точність в сталих режимах [1]. Однак в тому випадку необхідно кожен раз дослідити систему фазового автопідстроювання на стійкість.

Аналіз системи фазового автопідстроювання з неединичним головним зворотним зв'язком показує, що неединичний зворотний зв'язок впливає на тривалість перехідного процесу. Цей вплив позначається по-різному при різних видах коренів характеристичного рівняння. У межах тривалості перехідного процесу ступінь стійкості прагне до значення цих величин для системи ФАП з одиничним головним зворотним зв'язком.

### Список використаної літератури

1. Стеклов В. К. Синтез многоконтурных итерационных систем фазовой автоподстройки в установившихся режимах / В. К. Стеклов, Д. В. Охрушак, В. И. Стасюк // Известия вузов Радиоэлектроника. – 2003. – Т. 46, №8. – С. 21-26.
2. Зінченко О. В. Оцінка впливу збурень що діють на додатковий контур керування ітераційної системи ФАП / О. В. Зінченко // Зв'язок. – 2014. – №6. – С. 34-37.
3. Охтень О.И. Повышение точности систем фазовой автоподстройки с помощью экстраполирующего корректирующего устройства в цепи обратной связи / О. И. Охтень, Д. В. Охрушак, 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. Стеклов. – Київ: Техніка, 1988. – 208 с.

### References

1. Steklov 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. Zinchenko O. V. "Estimation of disturbances influence of that operate on the additional control contour of the iterative PLL system." *Zviyazok* 6 (2014): 34-37.
3. Okhten O. I., Okhrushchak 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., Steklov 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 Nataliia 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: 16.11.2017 р.

Рецензент:  
доктор технічних наук, професор С. В. Козелков  
*Державний університет телекомунікацій, Київ*