УДК 621.396

В.О. Яскевич

Державний університет телекомунікацій, Київ

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СИНХРОННО-ФАЗОВИХ ДЕМОДУЛЯТОРІВ (СФД) У СИНХРОННИХ РЕЖИМАХ ЗА ДОПОМОГОЮ КОРИГУЮЧИХ ЛАНОК

Пропонується методика досягти необхідної точності СФД із принципом управління по відхиленню, в синхронних режимах, за допомогою введення еквівалентної ізодромної ланки, забезпечуючи необхідні запаси стійкості.

Ключові слова: *синхронно-фазовий демодулятор, системи автоматичного управління, цифрові системи модуляції, ізодромна ланка.*

Вступ

Одним із найбільш ефективних методів підвищення точності синхронно-фазових демодуляторів в синхронних режимах є підвищення порядку астатизму СФД відносно фази вхідного сигналу з задавального діяння введенням інтегруючих ланок в замкнений контур [1]. Якщо проектувати СФД за умови підвищення точності в усталеному режимі відомими методами, то такий демодулятор характеризується великою перехідною складовою фазової похибки, тобто СФД, побудованим по типу замкнутих систем синхронізації (систем з управління по відхиленню), притаманна суперечність між точністю в усталеному режимі і стійкістю. Проте в ряді випадків, використовуючи відповідний пристрій, що корегує, можна досягти необхідної точності СФД в синхронних режимах, забезпечуючи необхідні запаси стійкості.

Вирішується задача синтезу оператора розімкненого каналу управління в класі комбінованих систем. Пропонується використовувати в замкненому контурі СФД для підвищення його точності в усталених режимах різних корегуючих пристроїв.

Основной материал

У відповідності до методу В.А. Боднера [1], пропонується в замкнений контур системи ФАП ввести інтегруючу ланку, яку охоплює прямий паралельний зв'язок. Розглянемо можливості цього способу (назвемо його першим) стосовно до СФД із принципом управління по відхиленню. Структурна схема СФД зображена на рис. 1.

Рівняння елементів системи ФАП визначається виразом (1)

$$\left.\begin{aligned}\Delta\alpha(t) &= \alpha(t) - \beta_1(t);\\ \beta(t) &= K_1(p)\beta(t);\\ \beta(t) &= k_1(p)\Delta\varphi(t),\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

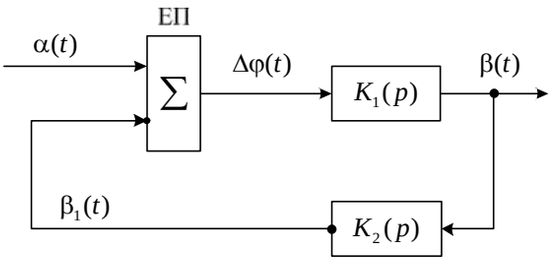


Рис. 1. Структурна схема СФД

Вважаємо, що

$$K_1(p) = \frac{D_1(p)}{F_1(p)};\ K_2(p) = \frac{D_2(p)}{F_2(p)} = \frac{D_2(p)}{F_{20}(p)p^{\nu}},$$

де ν - порядок астатизму:

$$\lim_{p\to 0} F_{20}(p) \neq 0;\ F_2(p) = F_{20}(p)p^{\nu}.$$

Розглядуваний СФД із принципом управління по відхиленню є астатичною системою з астатизмом першого порядку.

Оператор СФД відносно фазової похибки при урахуванні виразу (1) визначається формулою:

$$K_{\Delta\varphi}(p) = \frac{1}{1+K_p(p)} = \frac{F_1(p)F_{20}(p)p^{\nu=1}}{D_1(p)D_2(p)+F_1(p)F_2(p)}, \quad (2)$$

де $K_p(p) = K_1(p)K_2(p)$.

Увімкнемо в замкнений контур коригуючий пристрій КП оператором $K_{\text{КП}}(p)$. Значення оператора $K_{\text{КП}}(p)$ визначається виразом:

$$K_{\text{КП}}(p) = \frac{k_{\text{КП}}}{p} + k_{\text{п}} = k_{\text{КП}}\frac{Tp+1}{p} = \frac{D_{\text{КП}}(p)}{F_{\text{КП}}(p)}, \quad (3)$$

де $D_{\text{КП}}(p) = k_{\text{КП}}(TP+1);\ T = \frac{k_{\text{п}}}{k_{\text{КП}}};\ F_{\text{КП}}(p) = p$,

$k_{\text{П}}$ - коефіцієнт передачі паралельного підсилюючого пристрою.

З урахуванням виразу (3) запишемо оператор СФД відносно похибки:

$$K_{\Delta\varphi}(p) = \frac{F_1(p)F_{20}(p)p^{\nu=1}F_{\text{КП}}(p)}{D_1(p)D_2(p)D_{\text{КП}}(p) + F_{20}(p)p^{\nu}F_{\text{КП}}(p)} =$$

$$= \frac{F_1(p)F_{20}(p)p^{\nu}}{D_1(p)D_2(p)D_{\text{КП}}(p) + F_1(p)F_2(p)F_{\text{КП}}(p)}. \quad (4)$$

Порівнюючи вирази (2) і (4), бачимо, що порядок астатизм) СФД підвищився з $\nu = 1$ до $\nu = 2$, тобто на один порядок.

Фазова похибка при повільних змінах фази вхідного сигналу може бути представлена у вигляді збіжного ряду:

$$\Delta\varphi(t) = K_{\Delta\varphi}(p)\alpha(t) = \\ = D_0\alpha(y) + D_1\alpha(t) + ... + D_n \overset{n}{\alpha}(t) \quad (5)$$

де n - порядок характеристичного рівняння СФД;

D_j (при $j = \overline{0,n}$) - j-й коефіцієнт похибки;

$$\overset{n}{\alpha}(t) = \frac{d^n\alpha(t)}{dt^n};\ D_j = \frac{1}{j}\left[\frac{d^j K_{\Delta\varphi}(p)}{dp^j}\right]_{p=0}.$$

В астатичному СФД з астатизмом другого порядку $D_0 = D_1 = 0$. тобто відсутня складова фазової похибки, яка обумовлена швидкістю зміни фази (частотою), а також: статична фазова похибка.

Як випливає з виразу (3), введення в пряме коло СФД інтегруючої ланки, яка охоплена прямим паралельним жорстким зв'язком, еквівалентно ввімкненню в замкнений контур ізодромної ланки, тобто в замкнений контур СФД з інтегруючою ланкою вноситься також і диференціююча ланка першого порядку. Наявність цієї ланки, постійна часу якої може бути створена будь-яким відповідним вибором коефіцієнта передачі $k_{\text{п}}$, суттєво спрощує забезпечення необхідного запасу стійкості замкненого контуру СФД.

Другий спосіб отримання еквівалентної ізодромної ланки заснований на застосуванні критичного позитивного зворотного зв'язку, який охоплює один з каскадів підсилюючого пристрою.

Структурна схема СФД, в якій реалізується цей спосіб, зображена на рис. 2,*а*. В коло місцевого позитивного коригуючого зворотного зв'язку ввімкнене пасивне *RC*-коло, яке реалізує аперіодичну ланку з оператором

$$K_{\text{АЛ}}(p) = \frac{k_{\text{зз}}}{Tp+1}, \quad (6)$$

Еквівалентний оператор КП:

$$K_{\text{КП}}(p) = \frac{k_0(T_0 p+1)}{Tp+1-k_0K_{\text{зз}}}. \quad (7)$$

Вибираючи $k_{\text{зз}} = \frac{1}{k_0}$, отримаємо:

$$K_{\text{КП}}(p) = \frac{k_0(Tp+1)}{Tp} = \frac{k_0^*(Tp+1)}{p} = \frac{D_{\text{КП}}(p)}{F_{\text{КП}}(p)},$$

де $k_0^* = \frac{k_0}{T}$; $D_{\text{КП}}(p) = k_0^*(Tp+1)$; $F_{\text{КП}}(p) = p$.

Неважко показати, що в цьому випадку оператор СФД відносно похибки визначається виразом (4), тобто порівняно з початковою системою (рис. 1) порядок астатизму СФД відносно задавального діяння підвищується на один порядок (з $\nu = 1$ до $\nu = 2$). При цьому, відсутні також складові фазової похибки: статична похибка і похибка, обумовлена швидкістю зміни $\alpha(t)$, $D_0 = D_1 = 0$.

Розглянутим методом можна підвищити порядок астатизму тільки на один порядок, так як при подальшому підвищені порядку астатизму дуже ускладнюються умови забезпечення потрібних запасів стійкості замкненого контуру СФД.

Третій спосіб підвищення порядку астатизму СФД полягає в тому, що в замкненому контурі вводиться підсилювач з дуже великим коефіцієнтом підсилення, який охоплений коригуючим негативним зворотним зв'язком з оператором:

$$K_{\text{зз}}(p) = \frac{Tp}{Tp+1}. \quad (8)$$

Структурна схема СФД для цього випадку зображена на рис. 2,б.

Оператор коригуючого пристрою визначається виразом:

$$K_{\text{КП}}(p) = \frac{k_0}{1+k_0K_{\text{зз}}(p)}.$$

При дуже великих коефіцієнтах підсилювача к0 в достатньо широкій смузі частот виконується умова

$$|k_0K_{\text{зз}}(p)| >> 1, \quad (9)$$

і тоді в цій смузі частот:

$$K_{\text{КП}}(j\omega) = \frac{k_0}{k_0K_{\text{зз}}(j\omega)} = \frac{1}{K_{\text{зз}}(j\omega)}$$

або

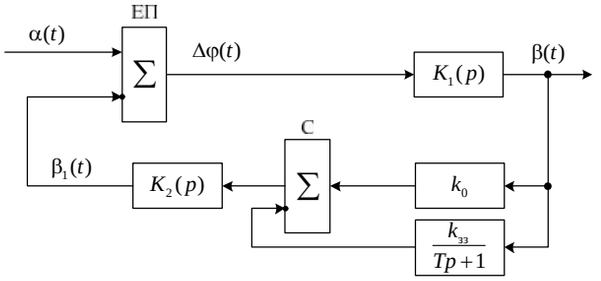
$$K_{\text{КП}}(p) \cong \frac{Tp+1}{p} \quad (10)$$

Вираз (10) є оператором еквівалентної ізодромної ланки, тобто схеми на рис. 2, *а* і *б* рівноцінні у відношенні підвищення точності в усталених режимах.

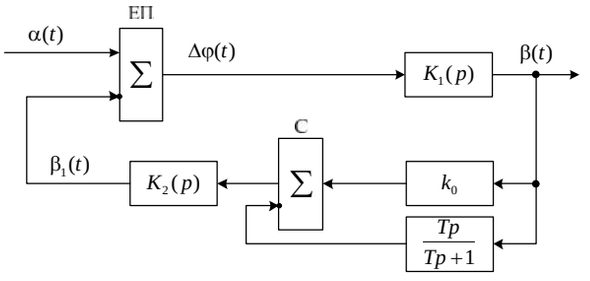
Умова (9) в області низьких частот практично виконується. Тому даний метод дозволяє практично отримати СФД, наближений по своїм динамічним властивостям до СФД з астатизмом другого порядку. Швидкісна (частотна) складова фазової похибки системи може бути зроблена достатньо малою,

теоретично строго вона не може бути повністю усунена.

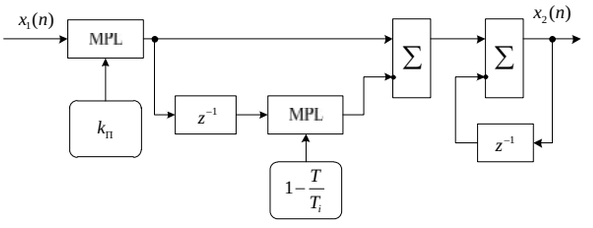
Таким чином, введення тим чи іншим способом еквівалентної ізодромної ланки дозволяє суттєво підвищити точність СФД в усталених режимах.



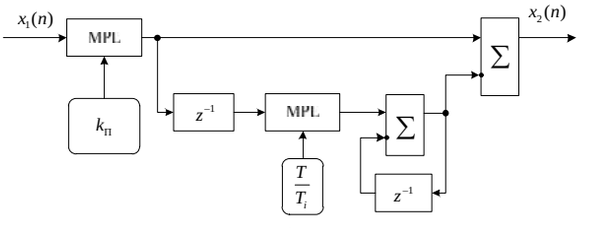
а



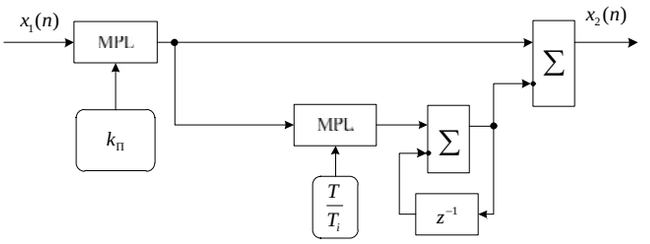
б



в



г



д

Рис. 2. Структурні схеми СФД (а, б) та структурні схеми алгоритмів програмної реалізації вибраній корегуючої ланки (*в*, *г*, *д*).

Виводи

Запропоновано, для підвищення точності СФД у синхронних режимах доцільно використовувати у замкненому контурі СФД еквівалентну ізодромну ланку: паралельно включенням до інтегруючої ланки підсилювальної ланки; використанням критичного позитивного зворотного зв'язку, яка охоплює один із каскадів підсилюючого пристрою; введенням у замкнений контур СФД підсилювача з дуже великим коефіцієнтом підсилення негативного зворотного зв'язку.

Показано, що при ввімкненні у замкнений контур СФД ізодромної ланки одночасно з інтегруючою ланкою вноситься також і диференціююча ланка першого порядку. Наявність цієї ланки істотно полегшує забезпечення необхідного запасу стійкості замкненого контуру СФД.

Список літератури

1. Нетудыхата Л.И., Стеклов В.К. Системы фазовой автоподстройки в устройствах связи. - К.: Техника, 2003 - 368 с.

2. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К. Радиотехнические системы автоматического управления высокой точности.–Киев: Техніка, 1988. – 208с.

3. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К., Бріцький О.І. Теорія автоматичного управління. - К.: Техніка, 2002. - 628 с.

Надійшла до редколегії 11.04.2014

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СИНХРОННО-ФАЗОВЫХ ДЕМОДУЛЯТОРОВ (СФД) В СИНХРОННОМ РЕЖИМЕ ПРИ ПОМОЩИ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ

В.А. Яскевич

Предлагается методика достижения необходимой точности СФД с принципом управления по отклонению, в синхронных режимах, с помощью введения эквивалентной изодромного звена, при обеспечении необходимого запаса устойчивости.

Ключевые слова: *синхронно-фазовый демодулятор, системы автоматического управления, цифровые системы модуляции, изодромное звено.*

IMPROVING THE ACCURACY OF PHASE-SYNCHRONOUS DEMODULATORS IN SYNCHRONOUS MODE USING THE CORRECTION CIRCUITS

V.O. Yaskevych

The methods of to achieve the necessary precision phase-synchronous demodulator with the principle of management by exception, in synchronous modes, by introducing an equivalent PID controller, while ensuring an adequate supply of sustainability.

Keywords: *sync phase demodulator, automatic control system, digital modulation systems, PID controller.*