

В. В. КОРОБКО, к. т. н. С. Н. СКЛЯРЕНКО

Украина, Киевский институт связи

Дата поступления в редакцию
04.04 2000 г.

Оппонент д. т. н. В. К. СТЕКЛОВ

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДВУХКОНТУРНОЙ ИТЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ

Предлагается двухконтурная итерационная система фазовой автоподстройки с непрерывным основным контуром управления и дискретным дополнительным с разомкнутой компенсационной связью.

Повышение точности двухконтурных итерационных систем фазовой автоподстройки (ДИС ФАП) достигается за счет того, что порядки астатизма основного и дополнительного контуров управления складываются [1, 2], т. е. порядок астатизма всей двухконтурной итерационной системы равен $\nu = \nu_1 + \nu_2$,

где ν_1 — порядок астатизма основного контура;

ν_2 — порядок астатизма дополнительного контура управления.

Чем больше ν_1 и ν_2 , тем больше ν и тем выше точность двухконтурной итерационной системы ФАП.

В настоящей работе решается задача повышения точности ДИС ФАП с помощью разомкнутого компенсационного канала управления дополнительного дискретного контура управления.

Структурная схема ДИС ФАП изображена на рисунке, где ЭС1, ЭС2 — элементы сравнения основного и дополнительного контуров управления ДИС ФАП; $\alpha(t)$, $\beta(t)$ — задающее воздействие и управляемая величина; $\Delta\varphi_1(t)$, $\Delta\varphi_2(t)$, $\beta_1(t)$, $\beta_2(t)$ — ошибки и управляемые величины основного и дополнительного контуров; С1, С2 — сумматоры.

Основной контур управления является непрерывным. Оператор основного контура в разомкнутом состоянии имеет вид

$$W_{p1}(p) = W_{\phi1}(p)W_{y1}(p)W_n(p)W_{\phi\beta1}(p) = D_{p1}/F_{p1}(p),$$

где $p \equiv d/dt$; t — текущее время;

$$W_{\phi1}(p) = k_{\phi1}/(T_{\phi}p+1); W_{y1}(p) = k_{y1}/(T_{y1}p+1);$$

$$W_n(p) = k_n/p; W_{\phi\beta1}(p) = 1; D_{p1}(p) = k_{\phi1}k_{y1}k_n;$$

$F_{p1}(p) = (T_{\phi}p+1)(T_{y1}p+1)p$; $W_{\phi1}(p)$, $W_{y1}(p)$, $W_n(p)$, $W_{\phi\beta1}(p)$ — операторы фильтра, усилителя, интегратора и фазовращателя, соответственно; $k_{\phi1}$, k_{y1} , k_n — коэффициенты передачи фильтра, усилителя и интегратора; T_{ϕ} , T_y — постоянные времени фильтра и усилителя.

Для дополнительного контура имеем:

$$W_1(p) = D_1(p)/F_1(p); W_2(p) = D_2(p)/F_2(p); W_1(p)W_2(p) = W_{p2}(p);$$

$$W_{p2}(p) = D_{p2}(p)/F_{p2}(p) = W_{\phi2}(p)W_{y2}(p)W_n(p)W_{\phi\beta2}(p);$$

$$W_{ky}(p) = D_{ky}(p)/F_{ky}(p),$$

где $W_{\phi2}(p)$, $W_{y2}(p)$, $W_n(p)$, $W_{\phi\beta2}(p)$ — операторы фильтра, усилителя, интегратора и фазовращателя дополнительного контура, соответственно; $D_{p2}(p)$, $F_{p2}(p)$, $D_{ky}(p)$, $F_{ky}(p)$ — соответствующие операторные полиномы; $W_{ky}(p)$ — оператор разомкнутой компенсационной связи, обеспечивающий повышение порядка астатизма дополнительного контура.

Рассмотрим отдельно структурную схему дополнительного контура (верхняя часть рисунка). Дискретная передаточная функция дополнительного контура относительно ошибки имеет вид

$$W_{\Delta\varphi}(z, 0) = - \frac{\Delta\varphi_2(z)}{\Delta\varphi_1(z)} =$$

$$= \frac{[F_{x2}^x(z,1)F_{ky}^x(z,1) - z^{-1}D_{ky}^x(z,1)D_{x2}^x(z,1)]F_{x1}^x(z,1)}{[F_{x1}^x(z,1)F_{x2}^x(z,1) + z^{-1}D_{x2}^x(z,1)]F_{ky}^x(z,1)} =$$

$$= \frac{D_{\Delta\varphi_2}(z,1)}{F_{\Delta\varphi_2}(z,1)} = W_{x\Delta\varphi_2}^x(z,1)(z-1)^\nu, \quad (1)$$

где $z = \exp(T_s)$; s — оператор Лапласа;

$$D_{\Delta\varphi_2}^x(z, 1) = [F_{x2}^x(z, 1) - z^{-1}D_{ky}^x(z, 1)D_{x2}^x(z, 1)]F_{x1}^x(z, 1);$$

$$W_{ky}^x(z, 1) = D_{ky}^x(z, 1)/F_{ky}^x(z, 1);$$

$$W_i^x(z, 1) = D_i^x(z, 1)/F_i^x(z, 1); i=1,2;$$

$$\lim_{z \rightarrow 1} D_{\Delta\varphi_2}^x(z, 1) \neq 0; \lim_{z \rightarrow 1} W_{\Delta\varphi_2}^x(z, 1) \neq 0.$$

Методику синтеза дискретной передаточной функции $W_{ky}^x(z, 1)$ из условия повышения порядка астатизма дополнительного контура рассмотрим на конкретном примере со следующими значениями операторов:

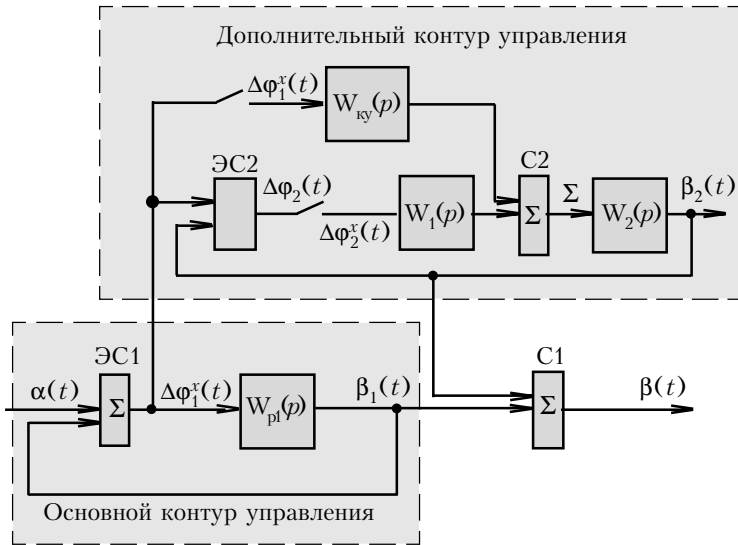
$$W_1(p) = D_1(p)/F_1(p) = 1;$$

$$W_2(p) = \frac{D_2(p)}{F_2(p)} = \frac{k_1k_2(T_2p+1)}{[(T_1p+1)(T_2p+1) + k_2p\tau]p} =$$

$$= (e_1p + e_0) / \sum_{j=1}^3 c_j p^j, \quad (2)$$

где $e_1 = k_1k_2T_2$; $e_0 = k_1k_2$; $c_1 = 1$; $c_2 = T_1 + T_2 + k_2\tau$; $c_3 = T_1T_2$; T_1 , T_2 — постоянные времени.

Разложим знаменатель выражения (2) на множители и воспользуемся таблицей z -преобразований [3, с. 52]:



Структурная схема двухконтурной итерационной системы ФАП

$$D_2^x(z, 1) = (k_1 + k_2 - k_3)z^2 - [e^{\lambda_1 T} + e^{\lambda_1 T}] + k_2(1 + e^{\lambda_2 T}) - k_3(1 + e^{\lambda_1 T} + (k_1 e^{\lambda_1 T} e^{\lambda_2 T} + k_2 e^{\lambda_2 T} - k_3 e^{\lambda_1 T}));$$

$$F_2^x(z, 1) = \gamma(z, 1)^3 + \gamma(2 - e^{\lambda_1 T} - e^{\lambda_2 T})(z - 1)^2 + \gamma(1 - e^{\lambda_1 T})(1 - e^{\lambda_2 T})(z - 1),$$

где $k_1 = e_0(\lambda_1 - \lambda_2)$; $k_2 = \lambda_2 e^{\lambda_1 T}(e_1 \lambda_1 + e_0)$; $k_3 = \lambda_1(e_1 \lambda_2 + e_0)e^{\lambda_2 T}$;
 $\gamma = \lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 - \lambda_2)$; $\lambda_1 = (-c_2 + \sqrt{c_2^2 - 4c_3}) / (2c_3)$;

$$\lambda_2 = (-c_2 - \sqrt{c_2^2 - 4c_3}) / (2c_3).$$

Представим полиномы числителя и знаменателя дискретной передаточной функции $W_2^x(z, 1)$ как функции от $(z-1)$.

Тогда

$$W_2^x(z, 1) = \frac{D_2^x(z, 1)}{F_2^x(z, 1)} =$$

$$= \frac{k(z-1)^2 + 2(k-c)(z-1) + k-c+n}{\gamma(z-1)^3 + (2 - e^{\lambda_1 T} - e^{\lambda_2 T})(z-1)^2 + \gamma(1 - e^{\lambda_1 T})(1 - e^{\lambda_2 T})(z-1)},$$

где $k = k_1 + k_2 - k_3$; $c k_1 (e^{\lambda_1 T} + e^{\lambda_2 T}) + k_2 (1 + e^{\lambda_1 T}) - k_3 (1 + e^{\lambda_1 T})$;
 $n = k_1 e^{\lambda_1 T} e^{\lambda_2 T} + k_2 e^{\lambda_1 T} + k_3 e^{\lambda_1 T}$.

Пусть задающее воздействие системы изменяется по линейному закону $\alpha(t) = \Omega t$. Необходимо с помощью связи по задающему воздействию устранить скорость ошибку системы ФАП.

Для устранения установившейся ошибки порядок астатизма системы ФАП должен быть выше, чем порядок r высшей производной задающего воздействия. В нашем случае $r=1$. Следовательно, v должно быть равно 2. Так как исследуемая система имеет порядок астатизма $v=1$, то необходимо повысить астатизм на один порядок. Учитывая (1) и подставляя в это выражение конкретные значения $F_2^x(z, 1)$, $D_2^x(z, 1)$, $F_1^x(z, 1)$, $D_1^x(z, 1)$, определяем условия повышения порядка астатизма при $v_T=2$:

$$[\gamma(z-1)^{3+v}(2 - e^{\lambda_1 T} - e^{\lambda_2 T})(z-1)^2 + \gamma(1 - e^{\lambda_1 T})(1 - e^{\lambda_2 T}) \times (z-1)] F_{ky}^x(z, 1) - [k(z-1)^2 + (2k-c)(z-1) + k-c+n] \times D_{\Delta\phi_2}^x(z, 1) = D_{\Delta\phi_2}^x(z, 1)(z-1)^2. \quad (3)$$

Для удовлетворения условию (3) полиномы $D_{ky}^x(z, 1)$ и $F_{ky}^x(z, 1)$ необходимо выбрать таким образом, чтобы скомпенсировать все члены с $(z-1)$, показатели степени которых ниже, чем требуемый порядок астатизма $v=v_T$ (в нашем случае $v=2$). Из (3) мы видим, что для этого полином $D_{ky}^x(z, 1)$ должен содержать множитель $(z-1)$ в первой степени. Выбираем

$$W_{ky}^x(z, 1) = D_{ky}^x(z, 1) / F_{ky}^x(z, 1) = (z-1) / (z-a). \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3), получим:

$$\gamma(z-1)^4 [\gamma(1-a) + \gamma(2 - e^{\lambda_1 T} - e^{\lambda_2 T}) - k] (z-1)^3 + [\gamma(z - e^{\lambda_1 T} - e^{\lambda_2 T})(1-a) + \gamma(1 - e^{\lambda_1 T})(1 - e^{\lambda_2 T}) - (2k-c)] (z-1)^2 + [\gamma(z - e^{\lambda_1 T})(1 - e^{\lambda_2 T})(1-a) - (k-c+n)] (z-1) = D_{\Delta\phi_2}^x(z, 1)(z-1)^2. \quad (5)$$

Условие (5) сводится к равенству нулю коэффициента при $(z-1)$. Приравняем нулю коэффициент при $(z-1)$ и получаем:

$$\gamma(1 - e^{\lambda_1 T})(1 - e^{\lambda_2 T})(1-a) - k + c - n = 0.$$

Решая это уравнение, определяем:

$$\alpha = 1 - c_3 k_1 k_2.$$

Следовательно, для повышения порядка астатизма рассмотренной системы ФАП необходимо ввести связь по задающему воздействию с передаточной функцией

$$W_{ky}^x(z, 1) = (z-1) / [z - (1 - c_3 k_1 k_2)]. \quad (6)$$

Программная реализация дискретной передаточной функции, определяемой выражением (6), не представляет технических трудностей.

Таким образом, повышение порядка астатизма дополнительного контура управления ДИС ФАП на один порядок (от $v=1$ до $v_1=2$) с помощью разомкнутой компенсационной связи позволяет получить общий порядок астатизма всей ДИС ФАП равным 3, т. е. при отсутствии разомкнутой связи порядок астатизма равен $v=v_1+v_2=1+1=2$, а в ДИС ФАП со связью $v=v_1+v_2=1+2=3$. Тогда в установившемся режиме компенсируются составляющие фазовой ошибки, обусловленные первой и второй производными от задающего воздействия (разности фаз двух сравниваемых по фазе напряжений).

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Коробко В. В. Итерационные системы фазовой автоподстройки // Зв'язок. 1999. — № 4. — С. 28–30.
2. Коробко В. В. Структурный синтез комбинированных итерационных систем фазовой автоподстройки // Одеса: Праці УНДІРТ. — 1999. — № 2 (18). — С. 85–87.
3. Зайцев Г. Ф. Анализ линейных импульсных систем автоматического регулирования и управления. — К.: Техника, 1967.