УДК 621.3.078

ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ОШИБКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

О.Н.Агамалов,
Ташлыкская ГАЭС ОП ЮУ АЭС НАЭК «Энергоатом»,
г. Южноукраинск, 55000, Україна.

Рассмотрен новый тип обратной связи, основанный на структуре и последующей экстраполяции функции комплексной ошибки (ФКО) систем автоматического управления (САУ). С помощью преобразования Гильберта определены произвольные входы и выходы САУ в форме аналитических сигналов, найдено мгновенное фазовое запаздывание между ними и структура ФКО. Определив ФКО как неаналитическую (неголоморфную) комплексную функцию комплексного аргумента (выхода объекта управления) в точке равновесия (установившегося режима) и используя производную Виртингера для расчета коэффициентов степенного ряда, ФКО экстраполируется в точке равновесия САУ при изменении выхода объекта управления. Экстраполируемое (прогнозируемое) значение ФКО используется в контуре обратной связи САУ. Библ. 5.
Ключевые слова: преобразование Гильберта, структура функции комплексной ошибки, экстраполяция функции комплексной ошибки, производная Виртингера.

Фазовые запаздывания САУ могут быть измерены при помощи преобразования Гильберта, позволяющего представить произвольные сигналы входа r и выхода y САУ как аналитические сигналы [1, 3]

$$\Delta\varphi_{yr} = \varphi_y(t) - \varphi_r(t) = arctg\frac{\tilde{y}(t)\cdot r(t) - y(t)\cdot\tilde{r}(t)}{y(t)\cdot r(t) + \tilde{y}(t)\cdot\tilde{r}(t)}, \tag{1}$$

где ~ − обозначение мнимой части аналитического сигнала.

Вычислим прогнозируемую ошибку управления САУ e с учетом фазовых запаздываний (1) в окрестности точки начального установившегося режима (точки равновесия) САУ, характеризуемой значениями $(\bar{r}_0, \bar{y}_0, \bar{e}_0 = 0)$. Рассматривая комплекснозначную функцию ошибки комплексного аргумента (комплексного выхода объекта управления) [1, 2]

$$\begin{aligned} &y = y_R + iy_I = y\cos(\Delta\varphi) + iy\sin(\Delta\varphi), \\ &e = f(r,y) = e_R + je_I = r - y\cos(\Delta\varphi) + jy\sin(\Delta\varphi), \quad 0 < t < T \end{aligned}, \tag{2}$$

находим, что для нее не выполняются условия Коши-Римана [4], определяющие возможность ее дифференцирования по комплексному выходу объекта управления и, соответственно, разложения в степенной ряд в окрестности точки равновесия САУ. Для возможности вычисления производных в окрестности точки равновесия САУ $(\bar{r}_0, \bar{y}_0, \bar{e}_0 = 0)$, с целью последующего разложения в ряд, определим реально дифференцируемую функцию комплексной ошибки, для которой могут быть найдены производные Виртингера [4, 5].

ТЕОРЕМА: Пусть функция комплексной ошибки САУ $e: R\times R = R^2 \mapsto C$ определяется вещественными переменными $y_R = (y+\tilde{y})/2$ и $y_I = (y-\tilde{y})/j2$ так, что $e = f(y_R, y_I) = f(y,\tilde{y})$, где $y = y_R + jy_I = y\cos(\Delta\varphi) + jy\sin(\Delta\varphi) = ye^{j(\Delta\varphi)}$ и $\tilde{y} = y_R - jy_I = y\cos(\Delta\varphi) - jy\sin(\Delta\varphi) = ye^{-j(\Delta\varphi)}$ − комплексный и комплексно-сопряженный, независимые друг от друга выходы САУ. Тогда могут быть определены производные Виртингера функции комплексной ошибки

$$\frac{de(y)}{dy} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial e(y)}{\partial y_R} - j\frac{\partial e(y)}{\partial y_I}\right); \qquad \frac{de(y)}{d\tilde{y}} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial e(y)}{\partial y_R} + j\frac{\partial e(y)}{\partial y_I}\right), \tag{3}$$

а необходимое и достаточное условия стационарной точки (точки равновесия) $(\bar{r}_0, \bar{y}_0, \bar{e}_0)$ функции комплексной ошибки САУ определяется равенствами

$$\frac{de(r_0, y_0, \tilde{y}_0)}{dy} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{de(r_0, y_o, \tilde{y}_0)}{d\tilde{y}} = 0\,. \tag{4}$$

Равенства (1)−(4) позволяют экстраполировать функцию комплексной ошибки при изменении комплексного выхода объекта управления, используя ее в контуре обратной связи САУ.

1. *Агамалов О.Н.* Геометрическая модель системы управления, представленная на поверхности комплексной ошибки // Проблемы управления и информатики. – 2011. – №3. – С. 25−41.

2. *Agamalov O.* Geometrical Model of Plant Presented on a State Surface of a Complex Error (№ 650-655)./ 10th Intern. Conf. on Signal Processing, Robotics and Automation (ISPRA-2011). – Cambridge, UK. – February 20-22. – 2011.

3. *Poularikas A.D.* The Transforms and Applications Handbook. − CRC Press, 2000. − 1335 p.

4. *Remmert R.* Theory of Complex Functions. − Springer-Verlag, 1991.

5. *Kreutz-Delgado K.* The complex gradient operator and the CR-calculus / Lecture Supplement ECE275A, 2006. − Pp. 1–74.

УДК 621.3.078

Екстраполяція функції комплексної похибки систем автоматичного управління зі зворотним зв'язком

О.Н.Агамалов,
Ташлицька ГАЕС ВП ЮУ АЕС НАЕК «Енергоатом»,
м. Южноукраїнськ, 55000, Україна.

Розглянуто новий тип зворотного зв'язку, заснований на структурі та подальшій екстраполяції функції комплексної похибки (ФКП) систем автоматичного управління (САУ). За допомогою перетворення Гілберта довільні входи та виходи САУ у вигляді аналітичних сигналі, знаходимо миттєве фазове запізнення між ними та структуру ФКП. Визначено ФКП як неаналітичну (неголоморфну) комплексну функцію комплексного аргументу (виходу об'єкта управління) в точці рівноваги (усталений режим) та, використовуючи похідну Віртінгера для розрахунку коефіцієнтів ступінного ряду, ФКП екстраполюється в точці рівноваги САУ при зміні виходу об'єкта управління. Екстрапольоване (прогнозоване) значення ФКП використовується в контурі зворотного зв'язку САУ. Бібл. 5.
Ключові слова: перетворення Гілберта, структура функції комплексної похибки, екстраполяція функції комплексної похибки, похідна Віртінгера.

Extrapolation of Complex Error Function of Control System with Feedback

O.N.Agamalov
Tashlyk PSPP of Yushnoukrainsk NPP of NAGC "Energoatom",
Yuzhnoukrainsk, 55000, Ukraine.

In the report the new type of a feedback based on structure and the subsequent extrapolation of a complex error function (CEF) of control systems is considered. Defining Hilbert's transform any an input and output of control system in the form of analytical signals, there is an instant phase delay between them and structure of CEF. Further, having defined CEF as not analytical complex function of complex argument (an output of plant) in an equilibrium point (the steady-state mode) and using a Wirtinger derivative for calculation of gains a power series, CEF it is extrapolated in an equilibrium point of control system at change of an output of plant. Extrapolated (predicted) value of CEF is used in a contour of feedback of control system. References 5.
Key words: Hilbert transform, structure of complex error function, extrapolation of complex error function, Wirtinger derivative.

1. *Agamalov O.N.* Geometrical Model of Control System Presented on Complex Error Surface // Journal of Problemy upravleniia i informatiki.− 2011. − Vol. 43. − No 5. − Pp. 23−39.

2. *Agamalov O.* Geometrical Model of Plant Presented on a State Surface of a Complex Error // 10th International Conference on Signal Processing, Robotics and Automation. − Cambridge, UK, February 20-22, 2011.

3. *Poularikas A.D.* The Transforms and Applications Handbook. − CRC Press, 2000. − 1335 p.

4. *Remmert R.* Theory of Complex Functions. − Springer-Verlag, 1991.

5. *Kreutz-Delgado K.* The complex gradient operator and the CR-calculus / Lecture Supplement ECE275A, 2006. − Pp. 1–74.

Надійшла 20.12.2011
Received 20.12.2011