

ЧАСТОТНЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Кривошеев В.П., Кан Б.А.

*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,
Владивосток, e-mail: krivosheev@vvsu.ru*

В основе расчета комбинированных систем управления лежит принцип инвариантности, но реализовать полученные передаточные функции зачастую достаточно сложно. В статье рассматривается параметрический синтез цифровых комбинированных систем управления, предлагается метод аналитического расчета реальных компенсирующих устройств в виде простых динамических звеньев с помощью расширенных амплитудно-фазовых характеристик. Приводится сравнительная оценка результатов поэтапного параметрического синтеза комбинированных систем управления для аналогового и дискретного вариантов. Выполнено сравнение амплитудно-фазовых характеристик объекта управления по каналам возмущения и управления, амплитудно-фазовых характеристик идеальных компенсаторов, амплитудно-фазовых характеристик реальных компенсаторов, переходных процессов аналоговой и цифровой систем управления. Установлена идентичность результатов каждого этапа параметрического синтеза комбинированных систем управления в аналоговом и дискретном вариантах. Показано что аналитический метод расчета компенсирующих устройств для аналоговых систем может быть применен при параметрическом синтезе цифровых комбинированных систем управления.

Ключевые слова: цифровые системы управления, комбинированные системы, параметрический синтез, амплитудно-фазовая характеристика, частотный метод, компенсатор

FREQUENCY SYNTHESIS METHOD COMBINED DIGITAL CONTROL SYSTEMS

Krivosheev V.P., Kan B.A.

Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, e-mail: krivosheev@vvsu.ru

The basis of the calculation of the combined management systems is the principle of invariance, but implementation of obtained transfer functions is often difficult. The article discusses the parametric synthesis of combined digital control systems proposed analytical method of calculating real compensating devices as simple dynamic links using advanced amplitude-phase characteristics. In this work a comparative evaluation of the results of parametric synthesis combined management systems in both analog and discrete versions. Was performed comparing the amplitude phase characteristics of the object management via disturbance and management, amplitude phase characteristics of ideal compensators, amplitude phase characteristics of real compensators and transients of analog and digital control systems. Established the identity of the results of parametric synthesis of combined control systems for analog and digital versions. Shown that the analytical method for calculating the compensating devices for analog combined control systems can be applied to parametric synthesis of digital combined control systems.

Keywords: digital control systems, combined control systems, parametric synthesis, amplitude phase characteristic, frequency method, compensating device

Комбинированные системы управления широко используются при управлении технологическими процессами [1]. Реализация принципов управления по отклонению и по возмущению в одной системе позволяет значительно улучшить качество переходного процесса в системе управления. Эффективность этих систем обусловлена возможной компенсацией основных контролируемых возмущающих воздействий.

Отсутствие возможности полной компенсации в связи со сложностью реализации идеального компенсатора и наличия неконтролируемых возмущений накладывает на управляющее устройство в обратной связи задачу стабилизации регулируемой переменной. За счет частичной компенсации основных возмущающих воздействий контур обратной связи значительно улучшает качество переходного процесса по величине перерегулирования и по времени регулирования по сравнению

с одноконтурной системой без компенсаторов возмущений.

Для аналоговых систем вопрос выбора реальных компенсаторов освещен достаточно широко. В работе [2] предложен графо-аналитический метод расчета настроечных параметров реальных дифференцирующих и интегро-дифференцирующих звеньев. В работах [3, 4] предложен аналитический метод расчета настроечных параметров указанных звеньев, а также дополнительно в рассмотрение в качестве реального компенсатора неминимальнофазовое инерционное звено [5].

Обзор публикаций в области синтеза цифровых комбинированных систем управления [6–7] показал, что при параметрическом синтезе этих систем ограничиваются определением передаточных функций идеальных компенсаторов.

В данной работе ставится задача параметрического синтеза компенсирующих

устройств в цифровых комбинированных системах управления. На рис. 1 показаны

возможные варианты включения компенсаторов в цифровых системах управления.

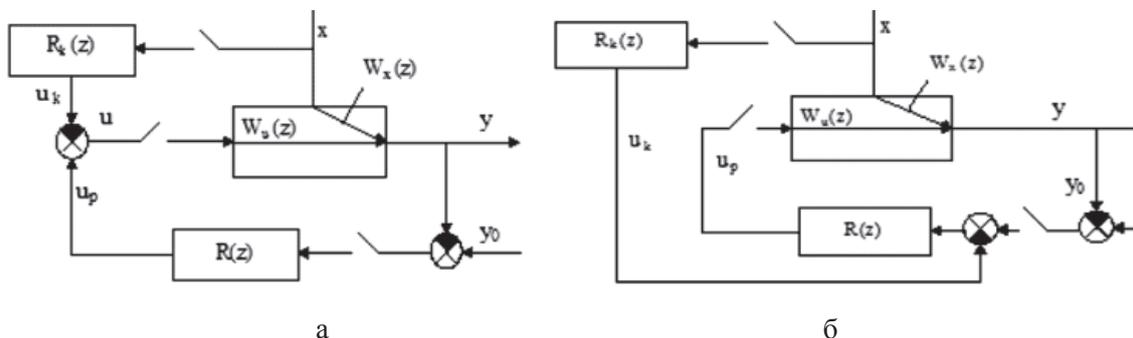


Рис. 1. Структурные схемы цифровых комбинированных систем управления при подаче компенсирующего сигнала:
а – на вход объекта; б – на вход стабилизирующего регулятора

Нами предложен частотный метод параметрического синтеза цифровых одноконтурных систем управления с пропорционально-интегральными (ПИ) и пропорционально-дифференциальными (ПД) – законами регулирования, реализованными в дискретной форме [8]. В работе [9] предложен частотный метод параметрического синтеза цифровых одноконтурных систем управления с пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) законом управления, реализованным в дискретной форме.

Работы [8, 9] дают возможность определять рабочую частоту цифровой одноконтурной системы, которая используется при синтезе компенсаторов.

При выборе реального компенсатора в аналоговых системах используется следующий алгоритм:

1. Рассчитывают оптимальные настроечные параметры выбранного типа регулятора и соответствующую им рабочую частоту.

2. Рассчитывают амплитудно-фазовые характеристики (АФХ) объекта управления по каналам управления $W_{oy}(j\omega)$ и возмущения $W_{об}(j\omega)$.

3. Рассчитывают АФХ идеально-го компенсатора как $W_{нк}(j\omega) = \frac{W_{об}(j\omega)}{W_{oy}(j\omega)}$

в случае подачи компенсирующего сигнала на вход объекта управления или как

$W_{нк}(j\omega) = \frac{W_{об}(j\omega)}{W_{oy}(j\omega) \cdot W_{yy}(j\omega)}$ в случае по-

дачи компенсирующего сигнала на вход стабилизирующего регулятора $W_{yy}(j\omega)$.

4. Выбирают тип реального компенсатора для удовлетворения следующих условий:

$$W_k(j \cdot 0) - W_k^p(j \cdot 0) = 0; \quad (1)$$

$$W_k(j \cdot \omega_p) - W_k^p(j \cdot \omega_p) = 0 \quad (2)$$

или

$$W_k(j \cdot 0) - W_k^p(j \cdot 0) = 0; \quad (3)$$

$$W_k(j \cdot \omega_p) - W_k^p(j \cdot \omega_p) \rightarrow \min_{\bar{a}, \bar{b}} \quad (4)$$

или

$$W_k(j \cdot 0) - W_k^p(j \cdot 0) \rightarrow \min_{\bar{a}, \bar{b}}; \quad (5)$$

$$W_k(j \cdot \omega_p) - W_k^p(j \cdot \omega_p) = 0. \quad (6)$$

5. Вычисляют настройки выбранного типа компенсатора.

Руководствуясь этой методикой, выполнены все этапы параметрического синтеза цифровой комбинированной системы с дискретной реализацией ПИ – закона управления управляющего устройства. На каждом этапе проводилось сравнение результатов, полученных для аналогового и цифрового вариантов.

Для сравнения взяты результаты параметрического синтеза аналоговых комбинированных систем управления из [4].

Передаточные функции объекта управления:

а) для аналогового варианта

$$W_{oy}(s) = 2 \cdot \frac{e^{-0,2 \cdot s}}{10000 \cdot s^2 + 570 \cdot s + 1};$$

$$W_{об}(s) = \frac{10 \cdot e^{-2,2 \cdot s}}{100 \cdot s^2 + 25 \cdot s + 1};$$

б) для цифрового варианта (переход выполнялся по Тапину [8])

$$W_{oy}(z) = \frac{0,000048613 \cdot (z+1)^2}{z^2 - 1,9445 \cdot z + 0,94459666};$$

$$W_{об}(z) = \frac{0,022173 \cdot (z+1)^2}{z^2 - 1,7594 \cdot z + 0,7782184} \cdot z^{-2}.$$

Амплитудно-фазовые характеристики

а) для аналогового варианта выполнялась замена

$$s = j\omega;$$

б) для цифрового варианта выполняется билинейное преобразование [6]

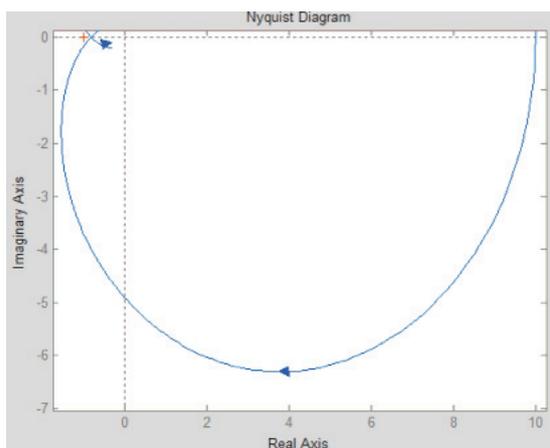
$$z = \frac{1+w}{1-w}$$

с последующим переходом на круговую частоту по выражению

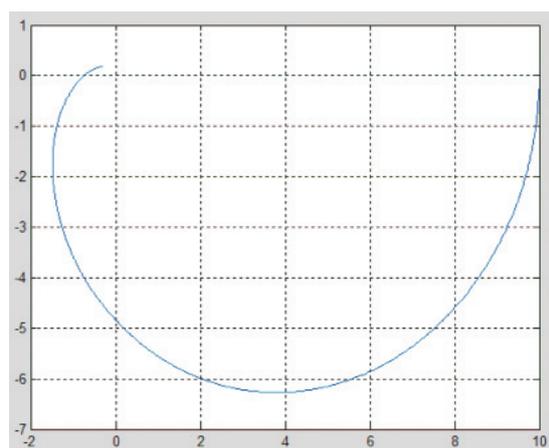
$$w = j \cdot \operatorname{tg} \frac{\omega T_0}{2} \quad \text{для } \omega \leq \frac{\pi}{T_0},$$

где ω – круговая частота; T_0 – шаг квантования (дискретизации). При выборе шага квантования использованы рекомендации [6].

Графики АФХ объекта управления для аналогового и дискретного вариантов приведены на рис. 2 и 3.

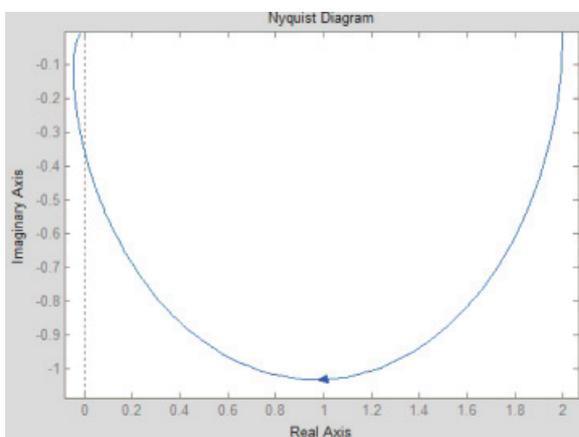


а

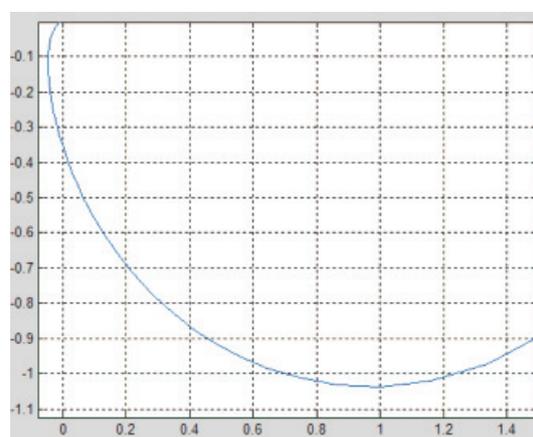


б

Рис. 2. Амплитудно-фазовые характеристики объекта по каналу возмущения: а – для аналогового варианта; б – для дискретного варианта



а



б

Рис. 3. Амплитудно-фазовые характеристики объекта по каналу управления: а – для аналогового варианта; б – для дискретного варианта

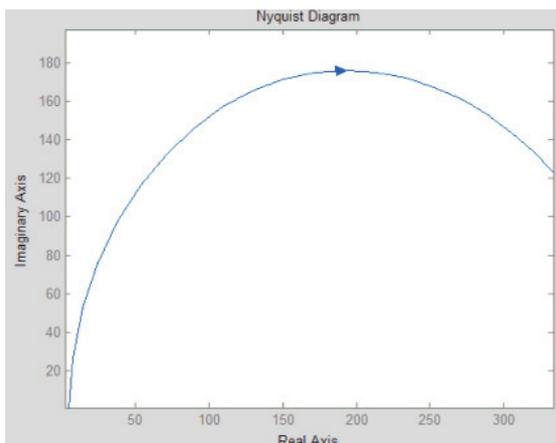
На рис. 4 приведены АФХ идеальных компенсаторов для аналогового и дискретного вариантов.

Для аналогового варианта выбран реальный компенсатор в виде интегро-дифференцирующего звена с передаточной функцией $W(s) = k \frac{T_B s + 1}{TS + 1}$. По Тастину [6]

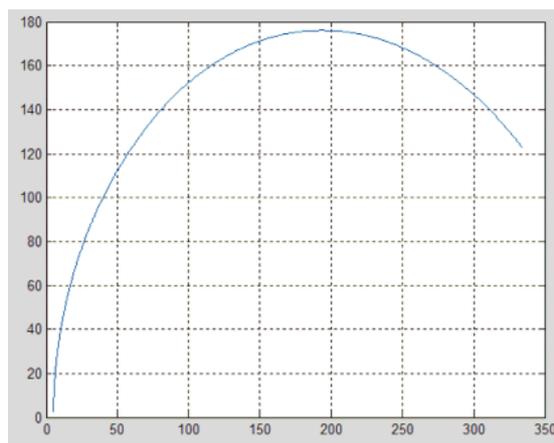
дискретная передаточная функция реального компенсатора имеет вид

$$W(z) = k \frac{(2T_B + T_0) \cdot z + T_0 - 2T_B}{(2T + T_0) \cdot z + T_0 - 2T}.$$

Расчет параметров k , T_B и T реального компенсатора в цифровой системе управления осуществлялся при соблюдении условий (1) и (2) по алгоритму, приведенному в [4].



а



б

Рис. 4. АФХ идеального компенсатора:
а – для аналогового варианта; б – для цифрового варианта

На рис. 5 показаны АФХ реальных компенсаторов для аналогового и дискретного вариантов.

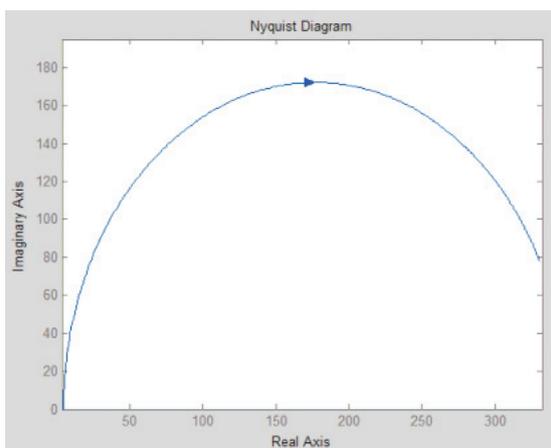
Сравнение АФХ объекта управления, сравнение АФХ идеальных и реальных компенсаторов и сравнение переходных процессов в аналоговых и цифровых системах управления свидетельствует об их идентичности. Аналогичное сравнение было выполнено для всех рассмотренных случаев в работах [3–5]. Установлена также полная идентичность для аналогового и дискретного вариантов. Следовательно, аналитический метод расчета компенсирующих устройств, предложенный в работах [3–5],

может быть применен при параметрическом синтезе цифровых комбинированных систем управления.

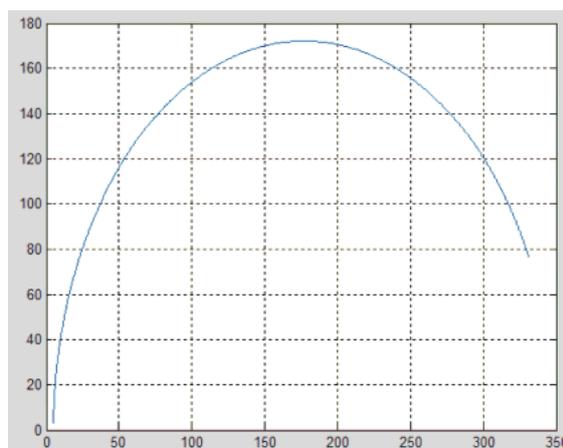
На рис. 6 показаны переходные процессы комбинированных систем управления для аналогового и дискретного вариантов.

Заключение

При параметрическом синтезе цифровых комбинированных систем управления для вычисления настроек реальных компенсаторов справедливы математические выражения, полученные для расчета аналоговых реальных компенсаторов.



а



б

Рис. 5. Амплитудно-фазовые характеристики реального компенсатора для аналогового (а) и дискретного (б) вариантов

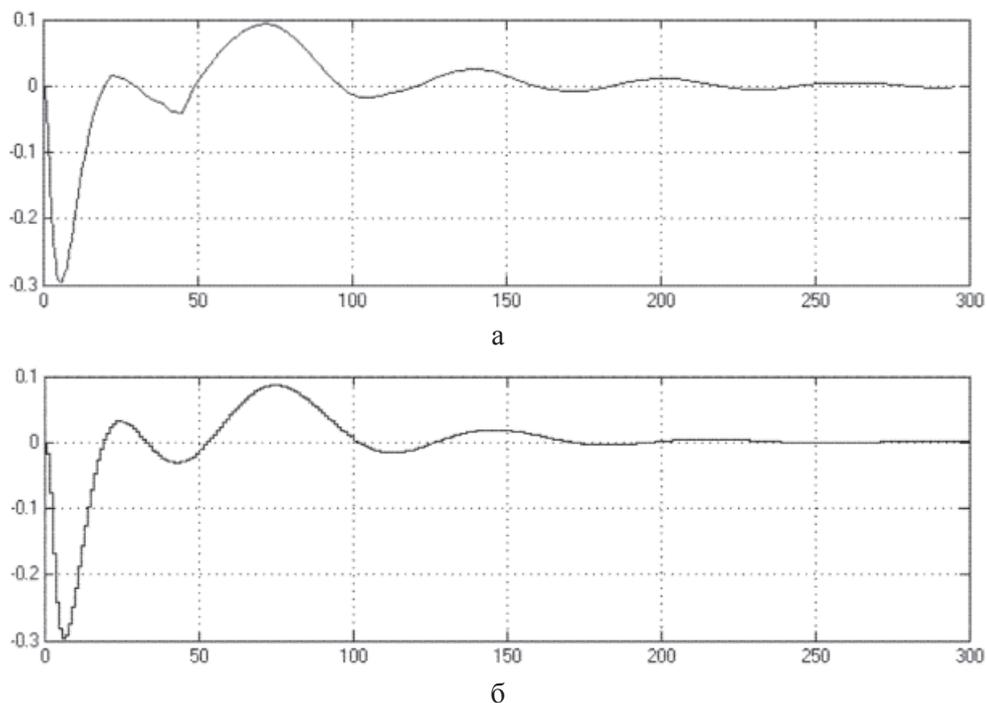


Рис. 6. Переходные процессы комбинированных систем для (а) аналогового и (б) дискретного вариантов

Список литературы

1. Дудников Е.Г. Автоматическое управление в химической промышленности. – М.: Химия, 1987. – 368 с.
2. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования – М.; Л.: Энергоиздат, 1961. – 344 с.
3. Кривошеев В.П., Сачко М.А. Аналитический метод расчета типовых компенсаторов и развязывающих устройств. I // Информатика и системы управления. – 2010. – № 23. – С. 147–155.
4. Кривошеев В.П., Сачко М.А. Аналитический метод расчета типовых компенсаторов и развязывающих устройств. II // Информатика и системы управления. – 2010. – № 25. – С. 125–136.
5. Кривошеев В.П., Сачко М.А. Аналитический метод расчета типовых компенсаторов и развязывающих устройств. III // Информатика и системы управления. – 2010. – № 26. – С. 127–136.
6. Изерман Р. Цифровые системы управления – М.: Мир, 1984. – 541с.
7. Кудряшов В.С. Синтез систем цифрового управления многосвязными нестационарными технологическими объектами: дис. ... д-ра техн. наук. – ВГТА. – 2005.
8. Кривошеев В.П., Епифанцев А.В., Кан Б.А. Метод параметрического синтеза цифровых систем управления на основе расширенных амплитудно-фазовых характеристик // Информатика и системы управления. – 2012. – № 4. – С. 138–147.
9. Кривошеев В.П., Кан Б.А. Параметрический синтез дискретного алгоритма ПИД – регулятора частотным методом // Информатика и системы управления. – 2013. – № 3. – С. 143–151.

References

1. Dudnikov E.G., Avtomaticheskoe upravleniye v himicheskoy promyshlennosti. Moscow, 1987. 368 p.

2. Rotach V.Ya. Raschet nastroyki promyshlennyh sistem regulirovaniya. Moscow, 1961. 344 p.
3. Krivosheev V.P., Sachko M.A. Analiticheskiy metod rascheta tipovyh kompensatorov i razvyazyvayuschih ustroystv I, Informatika i sistemy upravleniya, 2010, no 23., pp. 147–155.
4. Krivosheev V.P., Sachko M.A. Analiticheskiy metod rascheta tipovyh kompensatorov i razvyazyvayuschih ustroystv II, Informatika i sistemy upravleniya, 2010, no 25., pp. 125–136.
5. Krivosheev V.P., Sachko M.A. Analiticheskiy metod rascheta tipovyh kompensatorov i razvyazyvayuschih ustroystv III, Informatika i sistemy upravleniya, 2010, no 26., pp. 127–136.
6. Izerman R. Tsifrovyye sistemy upravleniya. Moscow, 1984, 541 p.
7. Kudryashov V.S. Sintez sistem tsifrovogo upravleniya mnogovyaznymi nestatsionarnymi tehnologicheskimi obektami. VGTA. 2005.
8. Krivosheev V.P., Epifancev A.V., Kan B.A. Metod parametricheskogo sinteza tsifrovyyh sistem upravleniya na osnove rashirenyh fmlitudno-fazovyh harakteristik, Informatika i sistemy upravleniya, 2012, no 4., pp. 138–147.
9. Krivosheev V.P., Kan B.A. Parametricheskii sintez diskretnogo algoritma PID – regulaytora chastotnym metodom, Informatika i sistemy upravleniya, 2013, no 3., pp. 143–151.

Рецензенты:

- Игнатюк В.А., д.ф.-м.н., профессор кафедры электроники, Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, г. Владивосток;
Шахгельдян К.И., д.т.н., начальник управления научно-технического обеспечения, Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, г. Владивосток.

Работа поступила в редакцию 01.04.2014.