

Принцип управления приводом ТВ-камеры в системах наблюдения и безопасности

© Авторы, 2015

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2015

Э.П. Арзумян – д.т.н., гл. науч. сотрудника, ЗАО «МНИТИ»**Д.В. Миколайчук** – начальник сектора, ЗАО «МНИТИ»

Проведен анализ двухконтурной схемы авторегулирования, используемой в оптико-электронных системах наблюдения и безопасности. Построена математическая модель, позволяющая наглядно отслеживать последовательность процедур обработки сигналов и провести оценку полученных динамических характеристик системы, при широком диапазоне входного возмущающего сигнала.

Ключевые слова: система, контур, ТВ-растр, поле зрения, изображение, передаточная функция, координата, частота.

Analysis of double-circuit self-regulation scheme often used in optoelectronic observing and security systems is conducted. Authors has developed the mathematical model which allows to trace the sequential steps of signal processing and to estimate dynamic characteristics of the system within the wide range of input driving signal.

Keywords: system, circuit, TV pattern, visual field, image, transfer function, coordinate, frequency.

В последнее время широко применяются системы автоматического слежения за объектами, обеспечивающие наблюдение пространства, заключенного в пределах угла зрения оптико-электронной системы (ОЭС), на основе телевизионных (ТВ) и/или тепловизионных датчиков изображения. В известных системах изображение объекта обрамляется пространственным стробом, который перемещается в плоскости ТВ-растра вместе с объектом при его движении [1]. В стационарных системах относительные перемещения в плоскости ТВ-растра незначительны в тех случаях, когда объектом является, например, человек в движении (рис. 1,а). При более подвижных объектах, например, автомобилях, применяются оптические средства с широким полем зрения, обеспечив тем самым, невысокие скорости перемещения по ТВ-растру (рис. 1,б).

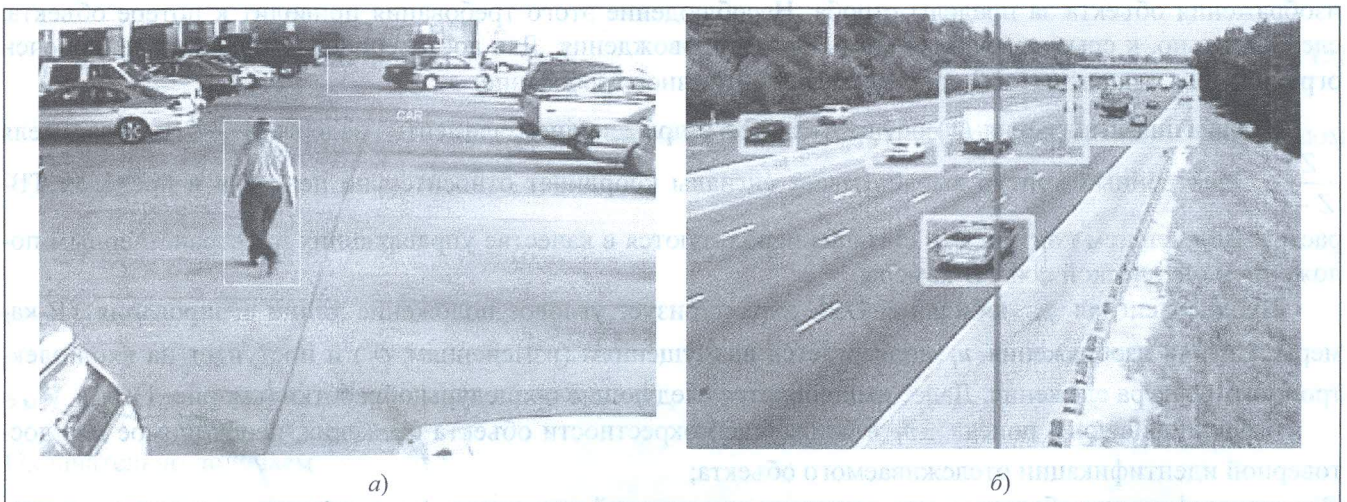


Рис. 1. Примеры обрамления объектов следящими стробами: а – движущийся человек; б – движущийся автомобиль

Требования к таким системам со временем повышаются, в частности, в сторону применения мобильных систем, предназначенных для оперативной съемки локальных событий. В этом случае объект наблюдения может находиться на значительных расстояниях, а для его опознавания, визуального или автоматического, требуются достаточные размеры фрагмента изображения самого объекта.

С этой целью оптическое средство в ОЭС применяется с узким углом зрения, в результате чего увеличивается скорость перемещения по ТВ-расту вплоть до выхода объекта за пределы мгновенного поля зрения объектива ТВ-камеры. Решение задачи сводится к применению подвижной платформы, на кото-

рой устанавливается ТВ-камера. Управление платформой осуществляется сигналами, вырабатываемыми электронным контуром слежения стробом в пределах мгновенного поля зрения ОЭС.

Существует временная задержка между формированием растрового изображения и новым положением строба. Этот пространственный сдвиг накладывает определенные требования на размер строба. Чем больше угловая скорость перемещения, тем больше временной сдвиг. Следовательно, для сохранения обрамляющего свойства строба его размеры должны соответственно увеличиваться.

В работе рассматривается двухконтурная схема автосопровождения объектов с астатизмом первого порядка, которая решает поставленную задачу. Следящие контуры с более высокими порядками астатизма мало устойчивы к флуктуационной составляющей сигналов управления электроприводом ОЭС. В

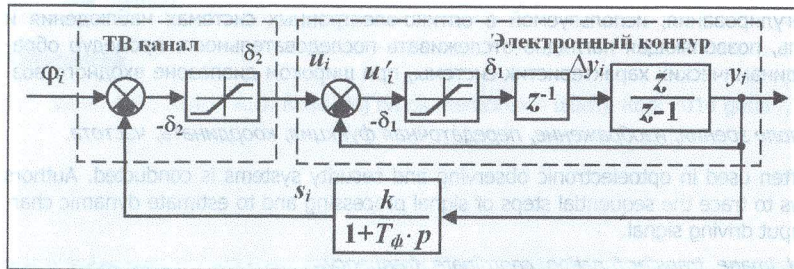


Рис. 2. Схема двухконтурной системы автосопровождения

этой схеме выходной сигнал контура слежения стробом служит управляющим для электропривода ТВ-камеры.

Таким образом, обеспечивается широкий обзор системы при узком поле зрения ТВ-камеры.

Анализ схемы (рис. 2) проводится для одной координаты $y(t)$ двумерной системы ОЭС. Влияние флуктуационной составляющей управляющего сигнала не

рассматривается с целью упрощения понимания основных принципов работы системы.

Специфика ТВ-принципа локализации объекта заключается в его поиске в ближайшей окрестности текущей координаты. Поиск объекта в более широкой области наблюдаемого изображения может привести к ложным идентификациям. Поэтому в каждом цикле Δt работы электронного контура вычисляются приращения координат $\Delta y(t)$, а сами координаты формируются методом накопления дифференциальной ошибки следующим образом:

$$y(t) = y(t - \Delta t) + \Delta y(t). \quad (1)$$

Минимально допустимый сдвиг между объектом и стробом необходим для предотвращения выхода изображения объекта за пределы строба. Несоблюдение этого требования приводит к потере объекта, следовательно, к срыву работы системы автосопровождения. Для достоверности модели в нее включен ограничитель с порогами $\pm \delta_1$, обеспечивающий данное требование.

Реализация выражения (1) осуществляется с применением элементов задержки Z^{-1} и накопителя $\frac{Z}{Z-1}$. Электронный контур вырабатывает сигналы координат относительно центра и в пределах ТВ-растра. Во внешнем контуре эти сигналы используются в качестве управляющих пространственным положением оптической оси ТВ-камеры.

Входной сигнал φ_i мобильной ОЭС характеризует угловое положение линии визирования ТВ-камеры. Сигнал изображения u_i подвергается возмущениям (изменениям φ_i) и поступает на вход электронного контура слежения. Далее выполняются следующие процедуры обработки (см. рис. 1):

ограничение зоны поиска $\pm \delta_1$ в ближайшей окрестности объекта слежения, необходимое для достоверной идентификации отслеживаемого объекта;

идентификация объекта с определением приращений координат Δy_i вследствие перемещения изображения (алгоритмы идентификации в данной работе не рассматриваются);

формирование координат объекта в пределах мгновенного поля зрения ТВ-камеры.

Совокупность процедур обработки должна занимать минимальное время, поскольку от быстродействия внутреннего (электронного) контура полностью зависит допустимое быстродействие электропривода.

Это минимальное время не может быть меньше времени формирования изображения u_i – основного источника информации. В данной работе предполагается обрабатывать каждое из двух полей, получаемых при чересстрочной развертке ТВ-растра. В этом случае время цикла обработки составляет $\Delta t = 0,02$ с, что соответствует частоте 50 ТВ-полей в секунду.

Для выявления диапазона возможностей работы системы на ее вход подается сигнал возмущения φ_i с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) [2].

$$\varphi_i = A \sin \left[2\pi f_0 i \Delta t + \pi m \frac{(i \Delta t)^2}{T^2} \right], \quad (2)$$

где A – амплитуда сигнала; f_0 – начальная частота ЛЧМ-сигнала; i – переменная времени: $i = 1, \dots, \frac{T}{\Delta t} - 1$; m – параметр базы ЛЧМ-сигнала; Δt – шаг дискретности цикла обработки; T – длительность реализации.

Параметры ограничителя задаются следующим образом:

$$\delta_1 = n \frac{\theta}{z}, \quad (3)$$

где n – число, задаваемое на основе алгоритма селекции объекта; θ – угол зрения оптического средства (в градусах); z – число ТВ-элементов, заключенных в угле θ .

Внешний контур системы обладает инерционностью, поэтому его передаточная функция представляется аperiodическим звеном вида

$$w(p) = \frac{k}{T_\phi p + 1}, \quad (4)$$

где k – коэффициент усиления в тракте привода; T_ϕ – постоянная времени звена; p – оператор Лапласа.

Известны другие подходы к моделированию передаточной функции внешнего контура [3, 4]. Любая модель стремится приблизиться к свойствам реального электромеханического привода системы. Тем не менее, в каждом варианте главными исходными данными являются постоянная времени звена обратной связи, коэффициент усиления тракта и период дискретизации сигнала управления.

Применив явный метод Эйлера представления производной [5] для сигнала S_i (см. рис. 1), на выходе передаточного звена $w(p)$ получаем уравнение в дискретной форме:

$$s_{i+1} = s_i + \left[\frac{y_i k - s_i}{T_\phi} \right] \Delta t. \quad (5)$$

В выражении (5) значение y_i неизвестно, но, как следует из структурной схемы, пользуясь методом z-преобразования:

$$Z^{-1} \frac{Z}{Z-1} \Rightarrow \frac{Z^{-1}}{1-Z^{-1}}, \quad (6)$$

определяется y_i

$$y_i = u'_i \frac{Z^{-1}}{1-Z^{-1}} \Rightarrow u'_{i-1} = y_i - y_{i-1} \Rightarrow u'_{i-1} = u_{i-1} - y_{i-1}. \quad (7)$$

Окончательно получаем

$$y_i = u_{i-1}. \quad (8)$$

Значение сигнала u_i известно из условий задачи и соответствует

$$u_i = \varphi_i - S_i. \quad (9)$$

Условие прохождения сигнала u'_i через ограничитель и осуществление останова по критерию достижения пределов $\pm \delta_1$ выполняется оператором «until», который в системе MathCAD представляется следующим образом:

$$\Delta y_i = \text{until} \left[-[(u'_i < -\delta) \vee (u'_i > \delta)], u'_i \right]. \quad (10)$$

рис.2

Дальнейшая процедура заключается в определении граничной частоты f_m , выше которой слежение срывается. Частоту f_m находим, используя полную фазу входного сигнала (2), которая для ЛЧМ-выражается как

$$\psi(t) = 2\pi f_0 t + \pi m \frac{t^2}{T^2}, \quad (11)$$

а ее производная записывается в виде [5]

$$\omega(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} = 2\pi f_0 + \frac{\pi m}{T^2} 2t. \quad (12)$$

В дискретной форме выражение (12) запишется как

$$\omega_i = 2\pi f_0 + \frac{\pi m}{T^2} 2i\Delta t. \quad (13)$$

Искомая частота f_m определяется следующим образом:

$$f_m = \frac{\omega_i}{2\pi} = f_0 + \frac{m}{T^2} i\Delta t. \quad (14)$$

Рассматриваемая математическая модель выполнена в системе MathCAD. Ниже приводятся результаты моделирования, полученные для разных режимов внутренних параметров контура слежения, предопределяющих возможности системы при воздействии внешних динамических возмущений.

Для проверки достоверности построенной модели следящей системы необходимо установить критерий ее устойчивости, в соответствии с которым добротность внешнего контура должна быть меньше внутреннего. На основе этого условия определяются пределы и запас устойчивости системы.

Добротность электронного контура соответствует частоте выполнения циклов работы, т.е.

$$d = \frac{1}{\Delta t} \left[\frac{1}{c} \right]. \quad (15)$$

Аналогичный параметр для внешнего контура определяется его передаточной функцией (4). Для этого производится обратное преобразование Лапласа:

$$L^{-1} \left\{ \frac{k}{Tf p + 1} \right\} = \frac{k}{Tf} e^{-\frac{\Delta t}{Tf}} = D \left[\frac{1}{c} \right], \quad (16)$$

где $\frac{k}{Tf}$ – добротность по [6]; множитель $e^{-\frac{\Delta t}{Tf}}$ – учет периода дискретизации управляющего сигнала в замкнутом контуре. Критерием устойчивости системы является выполнение неравенства $D < d$. При этом запас устойчивости обозначается $Q = \frac{d}{D}$. В процессе моделирования неизменными были приняты значения аргументов: $T = 8$ с; $z = 288$; $\Delta t = 0,02$ с; $f_0 = 0,1$ Гц;

Проверка запаса устойчивости системы была проведена лишь одним параметром – постоянной времени аperiodического звена T_ϕ . В этом исследовании неизменными были приняты значения следующих аргументов: $m = 10$; $\theta = 3,5$; $n = 8$; $k = 2$; $A = 3$. На рис. 3 приведены три фазы состояния системы.

Как видно из рис. 3,а, останов автосопровождения произошел при определенной частоте входного сигнала φ_i и по достижении порога δ_1 . Определение этой граничной частоты (обозначим ее φ_1 для электронного контура) осуществляется по последнему номеру отсчетов функции Δu_i (10) на основе уравнения (14):

$$\varphi_1 = f_{m_{\text{ast}}(\Delta t)}, \quad (17)$$

в данной реализации $\varphi_1 = 0,331$ Гц.

Далее необходимо определить угловое ускорение φ_1'' оптической оси на данной частоте:

$$\varphi_1'' = -A4\pi^2\varphi_1^2 = -12,995, [^\circ/c^2]. \quad (18)$$

Этот параметр является определяющим для электронного контура и зависит от размера электронного строба, условно принятого как $2n$. На рис. 4 приведены результаты трех экспериментов, в которых параметр n изменяется в пределах $n = 4 \dots 11$. В первом эксперименте приняты исходные данные: $A = 2,5$; $T_\phi = 0,175$; $k = 1,5$; $\theta = 3$, во втором $A = 1,5$, в третьем – $T_\phi = 0,25$ по отношению к первому. Показателем данной зависимости служит допустимый угловой сдвиг (УС) в стробе, который зависит от общей добротности двух контуров системы (произведения двух добротностей).

$$УС = \frac{|\varphi_1''|}{Dd}, [\text{град}]. \quad (19)$$

Как видно из зависимостей, с увеличением размера электронного строба увеличивается допустимое угловое ускорение оптической оси. Эта зависимость является важной характеристикой при проектировании систем аналогичного назначения. Однако следует учитывать, что с увеличением размера строба усложняются условия селекции объекта. Ступенчатый характер диаграмм обусловлен дискретностью телевизионных элементов, на основе которых задается размер строба – число n .

Характеристики внешнего контура управления в основном зависят от качественных свойств электропривода. В данной модели эквивалентом принято апериодическое звено (4). Известно, что динамическая ошибка в системе авторегулирования является функцией угловой скорости. Исходя из этого, целесообразно определить предельную частоту сигнала φ_2 и предельную угловую скорость, предполагая, что пределом должен служить угол зрения объектива θ с учетом размера строба. Таким образом, ограничителем по растру служит величина

$$\delta_2 = \frac{\theta}{2} - 2\delta_1, [\text{град}]. \quad (20)$$

Предельный уровень ограничения по (20) определяется аналогично (10):

$$Lu_i = \text{until} \left[- \left[(u_i < -\delta_2) \vee (u_i > \delta_2) \right], u_i \right], \quad (21)$$

а граничная частота φ_2 – по (14). При этом момент останова автосопровождения по достижению порога δ_2 определяется аналогично (17)

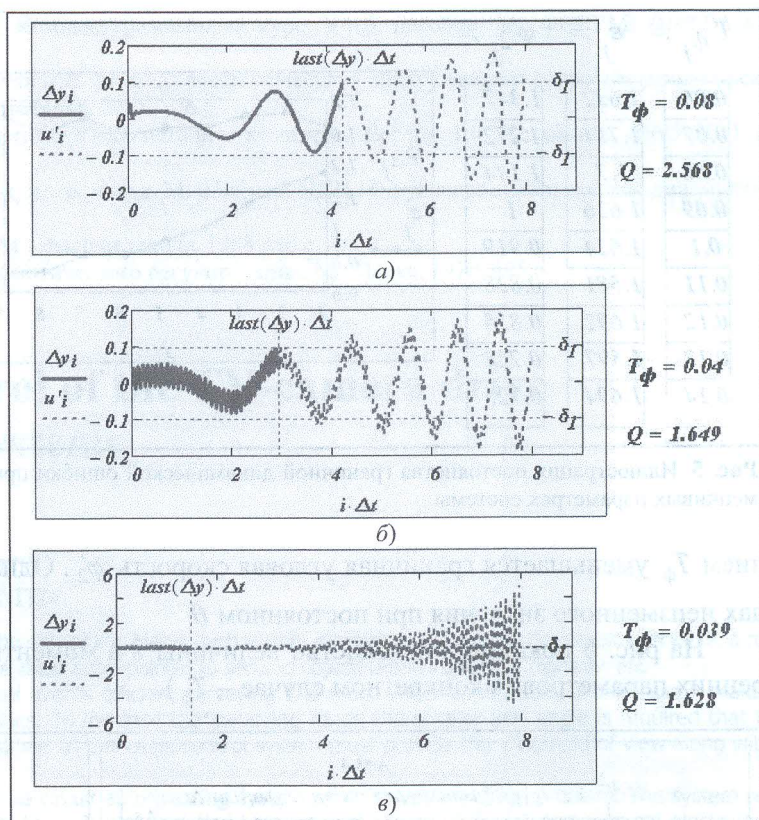


Рис. 3. Графическое представление состояния системы при разных значениях T_ϕ : а – система устойчива при $Q = 2,568$; б – система на пороге возбуждения при $Q = 1,649$; в – система полностью возбуждена при $Q = 1,628$.

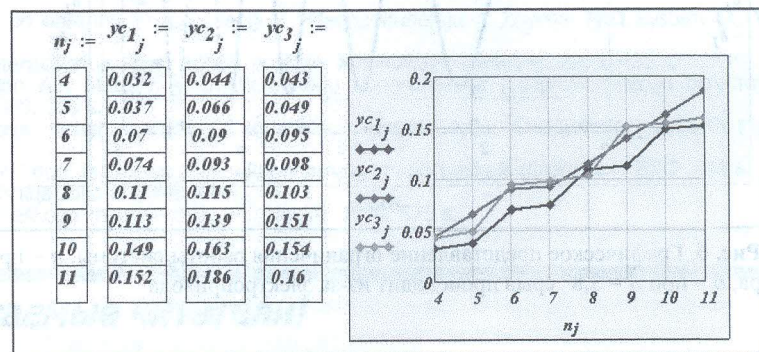


Рис. 4. Результаты проведенных трех экспериментов

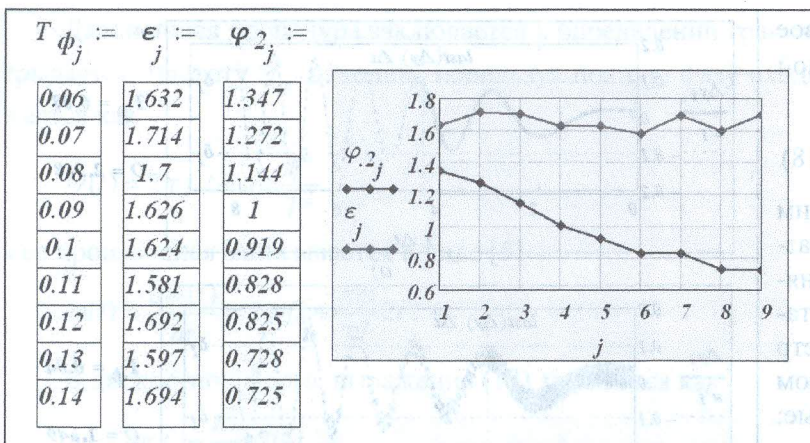


Рис. 5. Иллюстрация постоянства граничной динамической ошибки при изменчивых параметрах системы

С увеличением T_{ϕ} уменьшается граничная угловая скорость φ'_2 . Однако ε также граничное, оно остается в пределах неизменного значения при постоянном θ .

На рис. 6 показано постоянство величины ε в моменты останова системы при изменении ее внутренних параметров (в конкретном случае – T_{ϕ}).

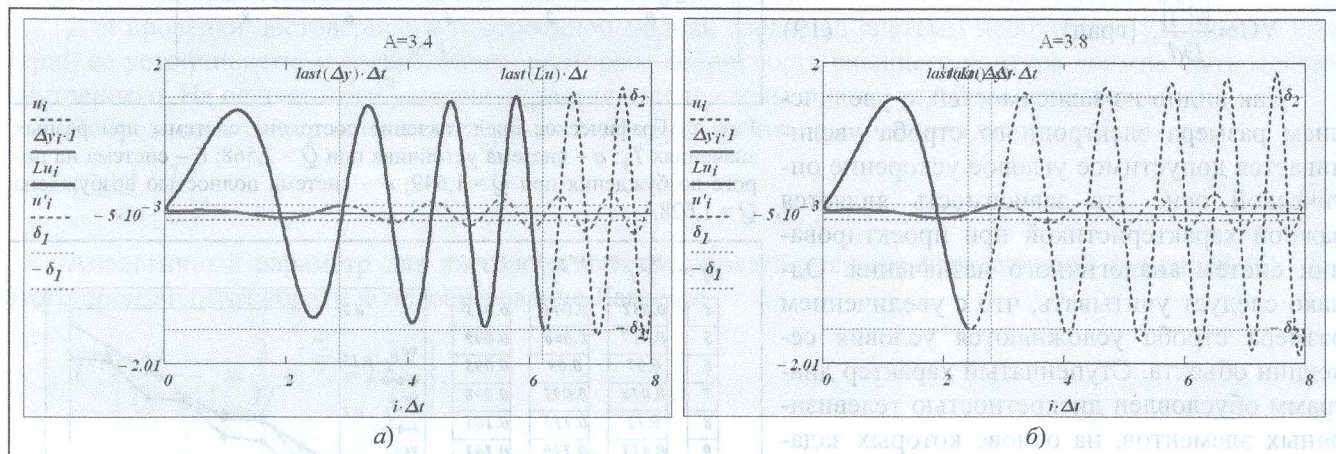


Рис. 6. Графическое представление ограничения работы системы: а – при $A = 3,4^\circ$ срыв происходит из-за электронного контура; б – при $A = 3,8^\circ$ срыв происходит из-за электропривода

- Анализ результатов проведенных исследований показывает, что построение двухконтурной системы автосопровождения с астатизмом первого порядка полностью удовлетворяет требованиям мобильных ОЭС. Система чувствительна больше всего к угловым ускорениям оптической оси, но при этом обеспечивает применение длиннофокусной оптики – $\theta = 3...4^\circ$.

Построенная модель позволяет исследовать многие параметры системы на стадии разработки реальной аппаратуры. На модели можно показать, что рассматриваемая схема равносильна контуру с астатизмом второго порядка по динамическим свойствам, но более помехоустойчива. В принятом решении входные помехи повторяются на первом, внутреннем контуре, и воздействуют на один интегратор внешнего контура, в контуре же с астатизмом второго порядка помеха усиливается, проходя через два последовательно включенных интеграторов.

Литература

1. Профессиональное издание для экспертов и специалистов по охранному телевидению и видеонаблюдению // Журнал PRO System CCTV. 2008. № 4(34). С. 15–20.

$$\varphi_2 = f_{m_{\text{last}}(Lu)} \quad (22)$$

Граничная угловая скорость вычисляется следующим образом:

$$\varphi'_2 = A2\pi\varphi_2 \quad (23)$$

Угловой размер динамической ошибки записывается как

$$\varepsilon = \frac{\varphi'_2}{D} \quad (24)$$

Для выявления характера этого параметра проведен эксперимент с изменением постоянной времени апериодического звена $T_{\phi} = 0,06...1,4$. Результаты приведены на рис. 5. С увеличением

2. *Каганов В.И.* Радиотехнические цепи и сигналы. Компьютеризованный курс: Учеб. пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М. 2005. 432 с.
3. *Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашиов О.Е., Степашкин А.И.* Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление // Радиотехника. 2008. 176 с.
4. *Воронин С.Г.* Электропривод летательных аппаратов: Учеб.-методич. комплекс. Версия 1.0. Челябинск. 1995–2011 // http://epla.susu.ac.ru/vsg_udk.htm.
5. *Бабенко К.И.* Основы численного анализа. Изд. 2-е, испр. и доп. М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2002. 848 с.
6. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа. 1988 448 с.
7. *Бесекерский В.А.* Динамический синтез систем автоматического регулирования. М.: Наука. 1970. 575 с.

Поступила 2 ноября 2015 г.

About the principle of control of the TV-camera drive in observing and security systems

© Authors, 2015

© Radiotekhnika, 2015

E.P. Arzoumanian – Dr.Sc. (Eng.), CJSC «MNITI»

D.V. Mikolaychuk – Head of Sector, CJSC «MNITI»

Observing and security systems are very important for the society life. Mainly such system represents a stationary device established on a rotational platform which uses TV (or IR) camera with wide visual angle pointed to secured object: urban institution, highway, etc.

With time mobile observing systems intended for local events efficient surveying find much wider application. In this case it makes high demands of mobile system dynamic characteristics. To increase the surveying range the smaller lens angle is required that in turn, demands the high quality of electromechanical drive. In this case, control system must provide the wide field of view along with narrow visual field of TV camera.

This study performs the analysis and estimate of double-circuit auto tracking system which solves the given problem. The system referred above has got the first-order astaticism within itself. It also includes both internal electronic circuit and external electromechanical one. The mathematical modeling was conducted and the values of main parameters leading to the system stability were defined. The model uses the linear frequency modulated signal as a disturbing influence. At the design stage of real equipment obtained model allows to optimize many parameters such as permissible angle velocities and accelerations of the camera optical axis.

References

1. Professional'noe izdanie dlja jekspertov i specialistov po ohrannomu televideniju i videonabljudeniju // Zhurnal PRO System CCTV. 2008. № 4(34). С. 15–20.
2. *Kaganov V.I.* Radiotekhnicheskie cepi i signaly. Komp'yuterizovannyj kurs: Ucheb. posobie. M.: FORUM: INFRA-M. 2005. 432 s.
3. *Alpatov B.A., Babajan P.V., Balashov O.E., Stepashkin A.I.* Metody avtomaticheskogo obnaruzhenija i soprovozhdenija ob'ektov. Obrabotka izobrazhenij i upravlenie // Radiotekhnika. 2008. 176 s.
4. *Voronin S.G.* Jelektroprivod letatel'nyh apparatov: Ucheb.-metodich. kompleks. Versija 1.0. Cheljabinsk. 1995–2011// http://epla.susu.ac.ru/vsg_udk.htm.
5. *Babenko K.I.* Osnovy chislennogo analiza. Izd. 2-e, ispr. i dop. M. IZhevsk: NIC «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika». 2002. 848 s.
6. *Baskakov S.I.* Radiotekhnicheskie cepi i signaly. M.: Vysshaja shkola. 1988 448 s.
7. *Besekerskij V.A.* Dinamicheskij sintez sistem avtomaticheskogo regulirovanija. M.: Nauka. 1970. 575 s.

Уважаемые читатели!

В Издательстве «Радиотехника» Вы можете приобрести книгу

Гринев А.Ю., Темченко В.С., Багно Д.В.

Радары подповерхностного зондирования. Мониторинг и диагностика сред и объектов

Рассмотрены актуальные вопросы диагностики подповерхностных сред и объектов инфраструктуры (дорожных покрытий, кабелей, трубопроводов) радарными подповерхностного зондирования (РПЗ). Впервые комплексно исследованы все этапы реконструкции электрофизических и геометрических параметров подповерхностных сред и объектов, а также алгоритмы формирования трехмерных радиоизображений объектов многоканальными РПЗ. Исследованы особенности решения прямой и обратной задачи реконструкции с учетом характеристик РПЗ. Использована электродинамическая модель реальной системы «передающая антенна – слоистая среда (объект) – приемная антенна» для повышения точности реконструкции. Показано применение методов и технологий в многоканальных многофункциональных радарных подповерхностного зондирования. Приведена структура программного обеспечения многоканального РПЗ и представлены результаты натурных испытаний.

Для научных сотрудников, аспирантов и инженеров, специализирующихся в области разработки и использования радаров подповерхностного зондирования. Может быть полезна специалистам-практикам для расширения сферы приложений РПЗ, преподавателям и студентам.

По вопросам заказа и приобретения книг обращаться по адресу: 107031 г. Москва, Кузнецкий мост, 20/6

Тел./факс (495) 625-92-41, тел.: (495) 625-78-72, 621-48-37

Полный перечень книг, выпускаемых Издательством «Радиотехника», размещен на сайте

<http://www.radiotec.ru>; e-mail: info@radiotec.ru