

Ғылыми мақала

FTAMP 50.47.02

<https://doi.org/10.55956/IMUW7000>

Л.Н. Есмаханова *

PhD доктор
М.Х.Дулати атындағы Тараз университеті
Тараз қ., Қазақстан
laura060780@mail.ru

Е.К. Акилов 

студент
М.Х.Дулати атындағы Тараз университеті
Тараз қ., Қазақстан
eraliakylov@gmail.com

БАСҚАРУДЫҢ ЦИФРЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа: Жұмыста басқару жүйесінің элементі ретінде цифрлық контроллердің нақты сипаттамаларын ескере отырып, көп тізбекті объектілерді цифрлық басқарудың математикалық моделі құрастырылған. Мақалада үздіксіз және дискретті жүйелерді басқару жүйелерін синтездеу саласындағы дәстүрлі алгоритмдер мен жаңа әзірлемелерге негізделген қазіргі заманғы цифрлық басқару жүйелерін жобалаудың теориялық негіздері мен әдістері көрсетілген. Цифрлық басқаруы бар екі тізбекті жүйені математикалық модельдеудің мысалы келтірілген. Мәселені шешу үшін фон Нейман типті цифрлық контроллерлері бар күрделі көп циклды басқару жүйелерінің стандартты блок-схемасы әзірленді, онда өңделетін мәліметтердің кездейсоқ сипаты және транзакциялар арасындағы нақты уақыттық кешігулер ескеріледі. Ғылыми жаңалығы - бағдарламалық қамтамасыз етудің икемділігі күрделі алгоритмдерді енгізу мүмкіндіктерін айтарлықтай кеңейтеді, бұл қазіргі заманғы басқару теориясының соңғы әдістерін іс жүзінде қолдану үшін алғышарттар жасайды.

Тірек сөздер: микроконтроллер, цифрлық құрылғы, код, математикалық модель, контроллер, басқару заңы.

Кіріспе. Цифрлық басқару құрылғысы бар жүйелердің айрықша ерекшелігі микроконтроллерге сигналды өңдеу үшін белгілі бір уақыт қажет. Сондықтан өңдеу жүріп жатқан уақыт кезеңінде шығыс сигналы өзгермейді, содан кейін кенеттен жаңа мәнге ауысады. Осыған байланысты цифрлық басқару құрылғысы дискретті. Басқару

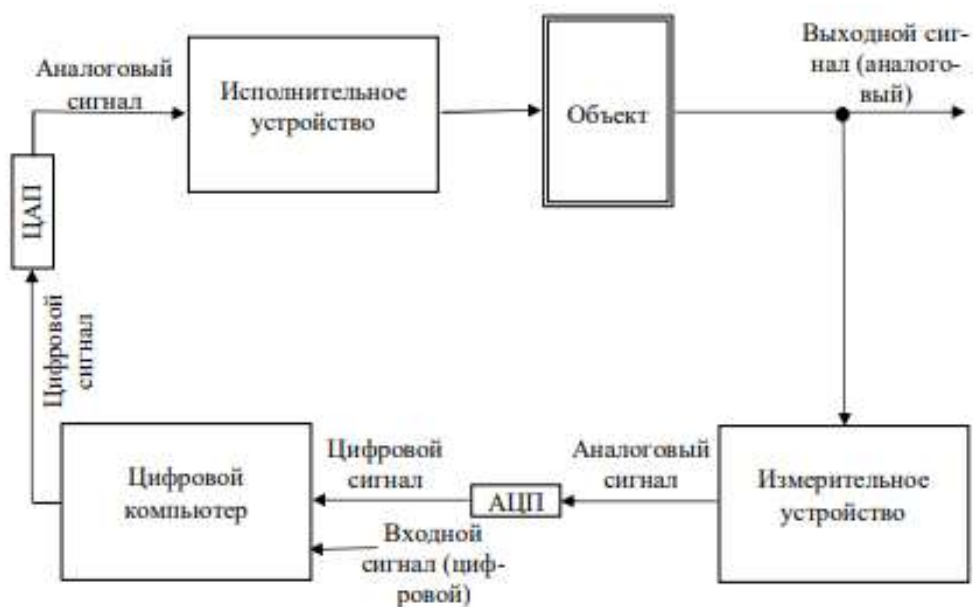
сигналдарының дәйекті шығыстары арасындағы уақыт аралығы дискретизация қадамы немесе дискретизация кезеңі деп аталады. Цифрлық құрылғысы бар басқару жүйесі де дискретті болады.

Заманауи автоматты басқару жүйелерінде қолданылатын басқару объектілері мен алгоритмдерінің

күрделілігі басқару жүйелерін жобалау кезінде компьютерлік модельдеу кезеңін қажет етеді. Бұл модельдеу өте жан-жақты болуы керек: басқару объектісінде динамикалық процестерді модельдеу (объектінің математикалық моделін жасау), басқару алгоритмдерін модельдеу және жөндеу, компьютердегі микропроцессорды эмуляциялау және ең соңында микропроцессорлық микробағдарлама үшін машиналық кодты генерациялау. Қазіргі уақытта осы мақсаттарға қол жеткізу үшін көптеген бағдарламалық өнімдер бар.

Басқару құрылғысының рөлін микропроцессордың басқаруымен

жұмыс істейтін цифрлық контроллер атқаратын үздіксіз объектіні басқару жүйесін қарастырайық. Контроллерді кәдімгі жұмыс үстелі компьютерінің негізінде жасауға болады немесе қуаттылығы аз микропроцессоры бар арнайы жасалған автономды контроллерде жүзеге асырылуы мүмкін. Цифрлық басқару құрылғысы жалпы түрде цифрлық компьютер деп аталады, ал цифрлық компьютерді пайдаланатын жүйе цифрлық басқару жүйесі деп аталады. Мұндай жүйенің құрылымы 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1.

Басқарудың цифрлық жүйе құрылымы: АЦП – аналогты-цифрлық түрлендіргіш; ЦАП – цифрлы-аналогты түрлендіргіш

Үздіксіз объектілерді басқарудың цифрлық жүйесінде үздіксіз электрлік сигналды (өлшенетін шамаға ұқсас өзгертін электрлік сигнал – аналогтық сигнал) кейіннен компьютерлік өңдеу үшін цифрлық түрге түрлендіретін аналогты-цифрлық түрлендіргіш (АЦП) болуы керек, және компьютердің сандық шығыс сигналын үздіксіз түрлендіретін цифрлық-аналогтық түрлендіргіш (ЦАП). Дискретті реттегіштердің

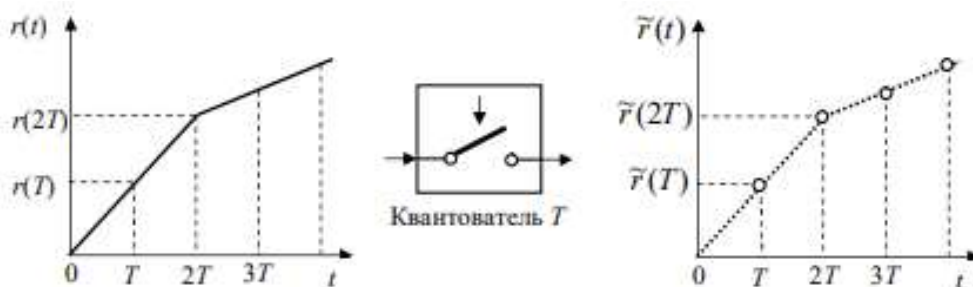
математикалық модельдерін қарастырмас бұрын, идеалды АЦП және ЦАП математикалық модельдерін құру қажет (сур.2).

Барлық сандар (өлшеу нәтижелері және цифрлық түрдегі басқару сигналдары) компьютерге енгізіліп, одан бірдей бекітілген уақыт T интервалымен шығарылады деп есептейміз.

Кезекті өлшеулер мен сигнал шығыстары арасындағы бекітілген уақыт

кезеңі кванттау кезеңі деп аталады (синонимдер: дискретизация кезеңі,

кванттау аралығы, дискретизация интервалы).



Сурет 2.

Идеал кванттаушы түріндегі АЦП математикалық моделі

Ағылшын тілінде кванттау кезеңі Sample time деп аталады.

АЦП математикалық моделі 2-суретте кванттаушы түрінде берілген (Sampler). Кванттаушы әр T секунд сайын жабылатын және кіріс сигналының $r(t = kT)$, $k = 0, 1, 2, \dots$ мәнін $\check{r}(kT)$ үлгісіне айналдыратын ауыстырғыш ретінде қарастыруға болады. Санақ (сандық мән), жалпы айтқанда, АЦП машина регистрінің екілік биттерінің соңғы санына байланысты өлшенген мәнмен сәйкес келмейді. Сигнал деңгейін кванттау қатесі немесе цифрландыру қатесі орын алады. Биттік тереңдігі жоғары құрылғылар үшін сигналды цифрлау қатесін елемуге болады; егер разряд тереңдігі аз болса, басқару жүйесін жобалау кезінде қатені ескеру қажет. 2-суретте идеалды кванттаушы түріндегі АЦП математикалық моделі көрсетілген: коммутатор шексіз аз уақыт аралығында жабылады және $r(kT) = \check{r}(kT)$ теңдігі орындалады.

Идеал кванттаушының шығыс сигналын амплитудалық модуляцияланған импульс тізбегі

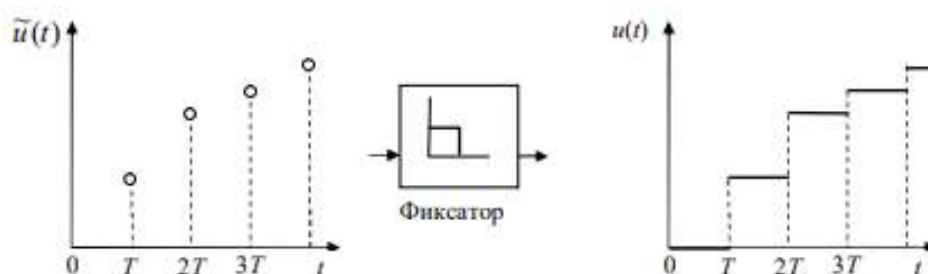
ретінде көрсетуге болады:

$$\check{r}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} (r(kT)\delta(t - kT))$$

Амплитудалық-модуляцияланатын импульстік тізбектердің формасы бар, яғни белгіленген периодпен бөлінген уақыттың дискретті моментінде анықталған функциялар торлы функциялар деп аталады.

ЦАП математикалық моделі, яғни компьютердің дискретті шығыс сигналын $\check{u}(t)$ бөліктік үзіліссіз $u(t)$ сигналға түрлендіретін құрылғыны қысқаш (нөлдік экстраполятор - Zero-order holder) ретінде көрсетуге болады. Экстраполятор $\check{u}(kT)$ мәнін алады және оны бүкіл кванттау кезеңі бойына шығысында сақтайды. ЦАП математикалық моделі 3-суретте көрсетілген. Экстраполятордың жұмысын төмендегі формуламен сипаттауға болады.

$$u(t) = \check{u}(kT), kT \leq t \leq (k+1)T$$



Сурет 3.

Қысқаш түріндегі ЦАП математикалық моделі (нөлдік экстраполятор)

Қазіргі заманғы өнеркәсіп дамуының негізгі тенденциясы технологиялық процестердің күрделенуі және осыған байланысты өндірілетін өнімнің қажетті сапа көрсеткіштерін қамтамасыз ету үшін басқару жүйелерін цифрлық басқару технологиясын кеңінен енгізу болып табылады [1, 2]. Объектілерді басқару кезінде цифрлық жүйелерге көшу олардың құрылымына фон Нейман типті контроллерлерді, яғни аналогтық контроллерлермен салыстырғанда жаңа қасиеттері бар құрылғыларды қосумен байланысты [3, 4, 5]. Қасиеттер нақты физикалық уақытта дамиды басқару алгоритмі операторларының дәйекті интерпретациясымен анықталады. Алгоритм сенсор шығыстарында жасалған кездейсоқ деректерді өңдейді және тармақталған нүктелердегі шешім операторларын қамтиды. Оны интерпретациялау нәтижесінде транзакциялар арасында мәліметтерді енгізу және шығару кезінде де (мәліметтердің қисаюы) да, басқару әрекетін есептеу кезінде де (таза кешігу) пайда болады [6]. Бұл ретте өнеркәсіптік, әскери және басқа жүйелер цифрлық технологияларға көшу кезінде басқару контурларындағы кездейсоқ уақыт кідірістеріне қарамастан, басқару объектісінің параметрлерін өзгертудің кең ауқымында қажетті жұмыс дәлдігін қамтамасыз етуі керек. Сондықтан сандық контроллерлерді синтездеу

әдіснамасы үшін негіз бола алатын басқару компьютерлерінің нақты физикалық сипаттамаларын ескеретін күрделі объектілерді басқару модельдерін құрудың ғылыми мәселесі туындайды.

Сандық басқару жүйелерін модельдеу әдістері белгілі [6] және инженерлік тәжірибеде кеңінен қолданылады. Дегенмен, басым көпшілігінде олар фон Нейман типті компьютерлердегі транзакциялар арасындағы уақыт интервалдарының болуын ескермейтін модельдерді қалыптастыруды қамтиды. Бұл өз кезегінде басқару жүйелерін әзірлеу кезінде эксперименттік зерттеулердің уақыты мен көлемін негізсіз арттырады. Атап айтқанда, бұл дәлелденген басқару алгоритмдерін басқа элементтік базаға, мысалы, жылдамдығы басқа контроллерлерге немесе басқа басқару жүйесі бар контроллерге ауыстыру кезінде жүйелерді қосымша эксперименталды зерттеу қажеттілігіне әкеледі.

Зерттеу әдістері. Мысал ретінде ең қарапайым екі тізбекті жүйе зерттеледі. Жүйе екі тізбекте де бір кері байланысты жүзеге асырады, ал цифрлық контроллер басқарудың П-заңын жүзеге асырады.

Басқару объектісінің динамикасын анықтайтын тасымалдау функциялары мыналарға тең:

$$\Phi_{11}(s) = \frac{10}{s+5}; \Phi_{22}(s) = \frac{12}{s+3}; \Phi_{12}(s) = \Phi_{21}(s) = \frac{1}{s+4}$$

Транзакциялар арасында келесі уақыт кідірістері қарастырылған:

$$T_{f1} = 0; T_{f2} = 0.05; T_{o2} = 0.15; T_{\epsilon 1} = 0.2; T_{\epsilon 2} = 0.25$$

Цифрлық контроллер енгізген кателерді есепке алмай, өтпелі процестердің сипатын анықтайтын сипаттамалық теңдеу келесі пішінге ие:

$$s^4 + 38s^3 + 480s^2 + 227s + 3885 = 0$$

Цифрлық контроллер енгізген кателерді ескере отырып, өтпелі процестердің сипатын анықтайтын сипаттамалық теңдеу келесі түрге ие:

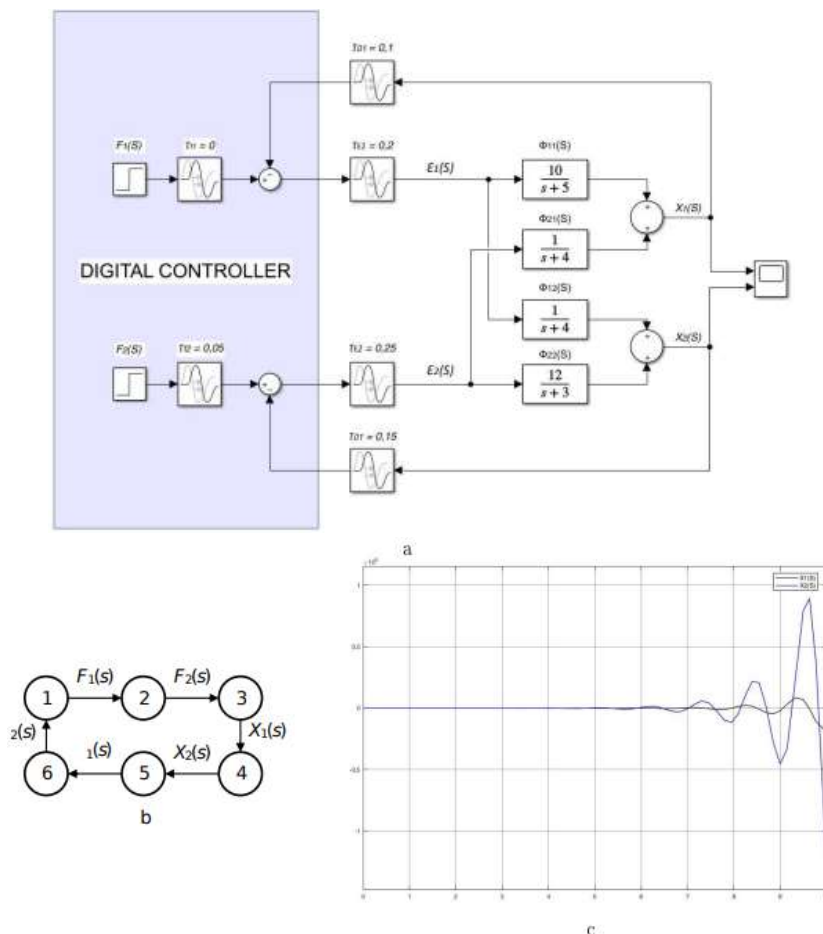
$$[s + 5 + 10 \exp(-0.3s)] * [s + 3 + 12 \exp(-0.4s)] * (s^2 + 8s + 16) - \exp(-0.7s) * (s^2 + 8s + 15) = 0$$

Зерттеу нәтижелері. Ең қарапайым екі тізбекті жүйенің құрылымы 3b-суретте көрсетілген құрылыммен алгоритмді жүзеге асыратын цифрлық контроллермен және оның 3с графикалық шешімімен 4a-суретте көрсетілген.

Сипаттамалық теңдеулерді шешу келесі толық мәндерді береді: - кателерді есепке алмаса:

$s_1 = -14; s_2 = -16; s_3 = -4 + 0,091i; s_4 = -4 - 0,091i$, мұнда i - жалған бірлік – кателіктерді есептегенде

$s_1 = 23,5; s_2 = -21,7; s_3 = 0,79 + 21,5i; s_4 = 0,79 - 21,5i$, мұнда i – жалған бірлік.



Сурет 4. Қос тізбекті жүйе (а); бақылау циклограммасы (b); графикалық бейнелеу (с).

Кешендік-үйлестірілген түйірлер жұбының болуы:

- оң нақты бөлігімен тұйық жүйеде дивергентті периодты өтпелі процестің жүретінін көрсетеді; дивергентті

периодтық процестен басқа нақты оң түбірдің болуы тұйық жүйенің тұрақсыздығын көрсетеді;

- теріс нақты бөлігімен тек қана айқаспалы байланыстардың болуымен туындаған жабық жүйеде демпингтік периодтық өтпелі процестің болатынын көрсетеді. Басқару объектісінде айқаспалы байланыстар болмаған жағдайда жүйе бірінші ретті буындармен сипатталатын екі тәуелсіз объектіні басқару контурына ыдырайды, яғни оларда демпленген периодтық компонент жоқ.

Осылайша, бірдей операциялық логикасы бар цифрлық контроллер арқылы тұрақты аналогтық жүйенің кері байланыс контурларын жабу өтпелі процестер сипатындағы сапалы өзгерістерге әкеледі, бұл цифрлық басқару жүйелерін жобалау кезінде ескерілуі керек.

Қорытынды. Нәтижесінде басқару жүйесінің элементі ретінде цифрлық контроллердің нақты сипаттамаларын ескере отырып, көп тізбекті объектілерді цифрлық басқарудың математикалық

моделі салынды. Басқару алгоритмінің командаларының дәйекті интерпретациясы бар фон Нейман типті контроллерлер уақыт кідірістерінің көзі болып табылатыны көрсетілген, бұл деректердің қисаюы және басқару цикліндегі таза артта қалу сияқты құбылыстарға әкеледі. Өз кезегінде деректердің қисаюы да, таза кешігу де өтпелі уақыт, асып кету және тербеліс сияқты сапаны бақылау параметрлерінің нашарлауына әкеледі. Уақыт интервалдарын есептеудің ұсынылған әдісі жүйенің сипаттамаларын жобалау кезеңінде бағалауға мүмкіндік береді. Демек, ол кез келген дерлік күрделіліктегі басқару алгоритмдері бар көп тізбекті объектілер үшін цифрлық басқару жүйелерін ұтымды жобалаудың кілті болып табылады.

Бұл саладағы одан әрі зерттеулер күрделілік/сапаның арақатынасы бойынша оңтайлы және цифрлық жүйелердің жұмыс істеуінің қажетті сипаттамаларын қамтамасыз ететін цифрлық басқару алгоритмдерін жасауға бағытталуы мүмкін.

Әдебиеттер тізімі

1. Ощепков, А. Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB: учебное пособие [Текст] / А.Ю. Ощепков. – СПб.: Лань, 2018. – 208 с.
2. Каганов, В.И. Радиоэлектронные системы автоматического управления [Текст] / В.И. Каганов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 432 с.
3. Деменков, Н.П. Модельно-ориентированное проектирование систем управления [Текст] / Н.П. Деменков // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2008. – № 11. – С. 66–69.
4. Кетков, Ю.Л. MATLAB 6.x: программирование численных методов [Текст] / Ю.Л. Кетков, А.Ю. Кетков, М.М. Шульц. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 672 с.
5. Дэбни, Дж Simulink 4. Секреты мастерства [Текст] / Дж.Дэбни, Т.Харман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 403 с.
6. Дорф, Р. Современные системы управления [Текст] / Р.Дорф, Р. Бишоп. – М.: ЛБЗ, 2002. – 800 с.

Л.Н. Есмаханова*, Е.К. Акилов

Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация: В работе построена математическая модель цифрового управления многоцепными объектами с учетом особенностей цифрового контроллера как элемента системы управления. В статье показаны теоретические основы и методы проектирования современных цифровых систем управления на основе традиционных алгоритмов и новых разработок в области синтеза непрерывных и дискретных систем управления. Приведен пример математического моделирования двухконтурной системы с цифровым управлением. Для решения задачи была разработана типовая структурная схема сложных многоконтурных систем управления с цифровыми контроллерами типа фон Неймана, учитывающая случайный характер обрабатываемых данных и задержки в реальном времени между транзакциями. Научной новизной является гибкость программного обеспечения, существенно расширяющая возможности реализации сложных алгоритмов, что создает предпосылки для практического применения новейших методов современной теории управления.

Ключевые слова: микроконтроллер, цифровое устройство, код, математическая модель, регулятор, закон управления.

L. Yesmakhanova, E.Akilov – M.Kh.Dulaty Taraz university, Taraz, Kazakhstan*

SIMULATION OF DIGITAL CONTROL SYSTEMS

Abstract: In this work, a mathematical model of digital control of multi-circuit objects is constructed, taking into account the features of the digital controller as an element of the control system. The article shows the theoretical foundations and methods of designing modern digital control systems based on traditional algorithms and new developments in the field of synthesis of continuous and discrete control systems. An example of mathematical modeling of a two-circuit system with digital control is given. To solve the problem, a standard block diagram of complex multi-loop control systems with von Neumann-type digital controllers was developed, taking into account the random nature of the processed data and real-time delays between transactions. The scientific novelty is the flexibility of the software, which significantly expands the capabilities of implementing complex algorithms, which creates the prerequisites for the practical application of the latest methods of modern control theory.

Keywords: microcontroller, digital device, code, mathematical model, regulator, control law.

References

1. Oshchepkov, A. Yu. *Sistemy avtomaticheskogo upravleniya: teoriya, primeneniye, modelirovaniye v MATLAB: uchebnoye posobie* [Automatic control systems: theory, example, modeling in MATLAB: textbook] [Text] / A.I. Oshchepkov. – St. Petersburg: Lan, 2018. – 208 p.
2. Kaganov, V.I. *Radioelektronnyye sistemy avtomaticheskogo upravleniya* [Radio-electronic automatic control systems] [Text] / V.I. Kaganov. – M.: Hotline-Telecom, 2009. – 432 p.

3. Demenkov, N.P. Model'no-orientirovannoe proektirovanie sistem upravleniya [Model-oriented design of a control system] [Text] / N.P. Demenkov // Industrial automated control systems and controllers – 2008. – No. 11. – pp. 66-69.
4. Ketkov, Yu.L. MATLAB 6.x: programmirovaniye chislennykh metodov [MATLAB 6.x: programming numerical methods] [Text] / Yu.L. Ketkov, A.Yu. Ketkov, M.M. Schultz. – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2004. – 672 P.
5. Dabney, Jay Simulink 4. Sekrety masterstva [Simulink 4. Mastery of the secret] [Text] / J.Dabney, T.Harman. – M.: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2003. – 403 P.
6. Dorf, R. Sovremennyye sistemy upravleniya [Modern control systems] [Text] / R.Dorf, R. Bishop. – M.: LBZ, 2002. – 800 P.

20.12.23 ж. баспаға түсті

22.11.24 ж. түзетулермен түсті.

03.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды

Мақалаға сілтеме:

Есмаханова, Л.Н. Басқарудың цифрлық жүйелерін модельдеу [Мәтін] / Л.Н. Есмаханова, Е.К. Ақилов // Dulary University Хабаршысы. – 2024. – №4. – Б.152-159
<https://doi.org/10.55956/IMUW7000>



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).