Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра радиотехнических систем

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСКРЕТНОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ

Методические указания
к лабораторной работе по курсу «Радиоавтоматика» для студентов
специальностей I-39 01 01 «Радиотехника», I-39 01 02 «Радиоэлектронные
системы» и курсу «Автоматика информационных систем» для студентов
специальности I-39 01 03 «Радиоинформатика»
всех форм обучения

Минск 2006

УДК 681.5 (075.8)
ББК 32.965 я 73
И 88

С о с т а в и т е л ь
С.А. Ганкевич

Исследование дискретной следящей системы: Метод. указ. к лаб.
И 88 работе по курсу «Радиоавтоматика» для студ. спец. I-39 01 01 «Радиотехника», I-39 01 02 «Радиоэлектронные системы» и курсу «Автоматика информационных систем» для студ. спец. I-39 01 03 «Радиоинформатика» всех форм обуч. / Сост. С.А. Ганкевич. – Мн.: БГУИР, 2006. – 27 с.: ил.

В работе рассмотрены принципы построения и математическое описание дискретных следящих систем, изложены методы анализа точности и устойчивости. Даны указания по выполнению лабораторной работы. Приведены вопросы для самопроверки.

УДК 681.5 (075.8)
ББК 32.965 я 73

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование моделей дискретных радиоэлектронных следящих систем, анализ характеристик переходного и установившегося режимов работы, анализ устойчивости по переходным характеристикам замкнутых систем, годографу, ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутых систем.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Системы с прерывистым входным сигналом. Функциональные схемы

В радиотехнических системах часто в качестве носителя информации используют импульсный сигнал (импульсные РЛС, сканирование диаграммы направленности или переключение процесса слежения с одного объекта на другой и т.д.). В этом случае на вход дискриминатора поступает периодический импульсный сигнал (рис.1).

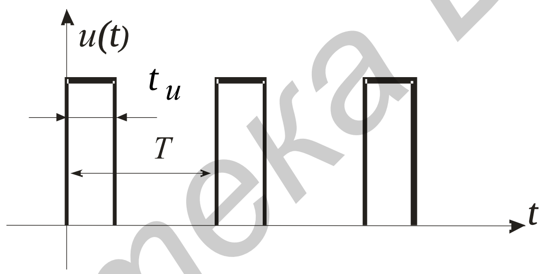

Рис.1. Импульсный сигнал на входе дискриминатора

Функциональные схемы следящих систем при наличии прерываний входного сигнала приведены на рис. 2, 3. Схема (рис. 2) отличается от обобщенной функциональной схемы радиоэлектронной следящей системы наличием ключа *Кл*, размыкаемого во время пауз. На рис. 3 представлена схема с фиксатором, который препятствует пропаданию напряжения на входе фильтра в промежутке между импульсами.

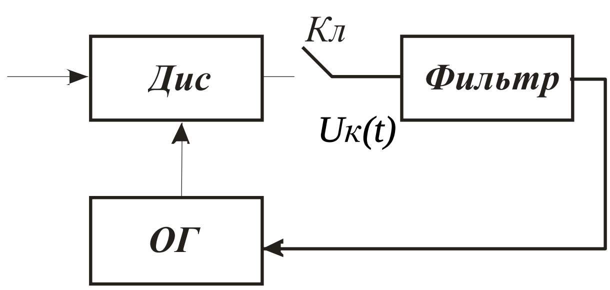

Рис. 2. Функциональная схема следящей системы с прерывистым входным сигналом: *Дис* – дискриминатор; *ОГ* – опорный генератор

Фиксатор (экстраполятор нулевого порядка) состоит из сумматора Σ, линии задержки на время $T - t_u$ и интегратора *Инт*. В фиксаторе во время действия импульса полезного сигнала на входе интегратор заряжается до некоторого уровня, который сохраняется до прихода очередного импульса. Перед приходом очередного импульса интегратор разряжается задержанным на время $T - t_u$ отрицательным импульсом, поступающим через линию задержки.

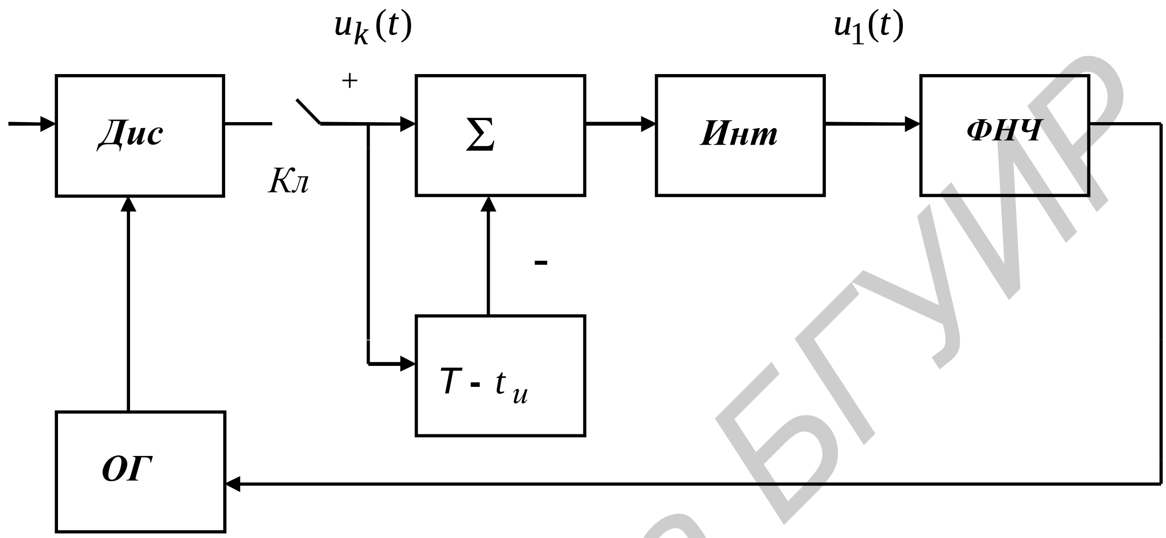

Рис. 3. Функциональная схема следящей системы с фиксатором

Временные диаграммы, поясняющие принцип работы фиксатора, приведены на рис. 4.

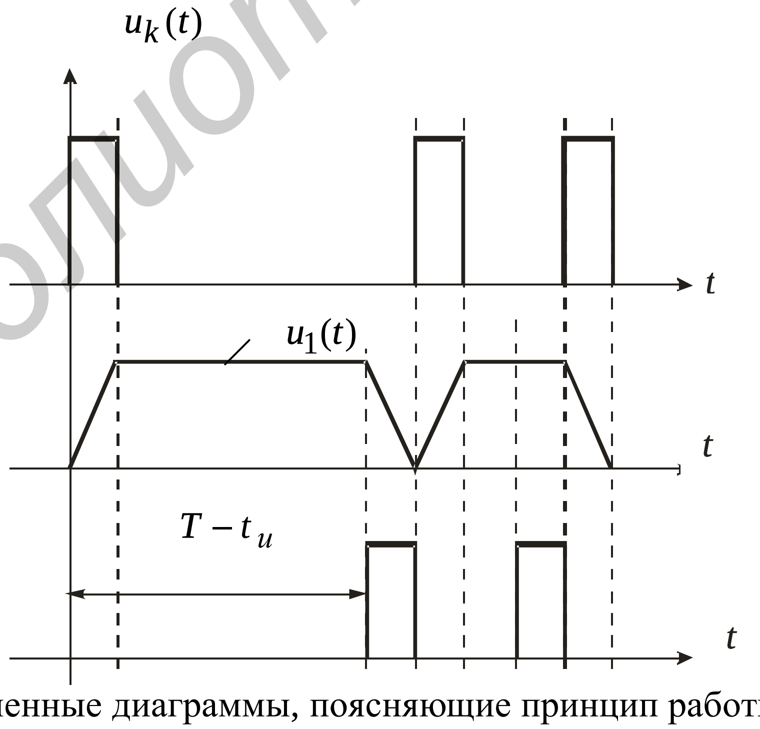

Рис. 4. Временные диаграммы, поясняющие принцип работы фиксатора

Использование фиксатора позволяет обеспечить необходимый коэффициент усиления контура.

Передаточная функция фиксатора:

$$W(s) = \frac{k_u}{s}(1 - e^{-s(T - t_u)}). \tag{1}$$

Если $T >> t_u$,

$$W(s) = \frac{k_u}{s}(1 - e^{-sT}), \tag{2}$$

где k_u – коэффициент передачи интегратора (величина, обратная постоянной времени).

2.2. Структурные схемы систем

Структурная схема системы с прерывистым входным сигналом без фиксатора отличается от схемы системы с непрерывным входным сигналом наличием ключа перед звеном с передаточной функцией $W_ф(p)$ (рис. 5). При использовании фиксатора схема дополняется звеном с передаточной функцией, определяемой выражением (1) или (2).

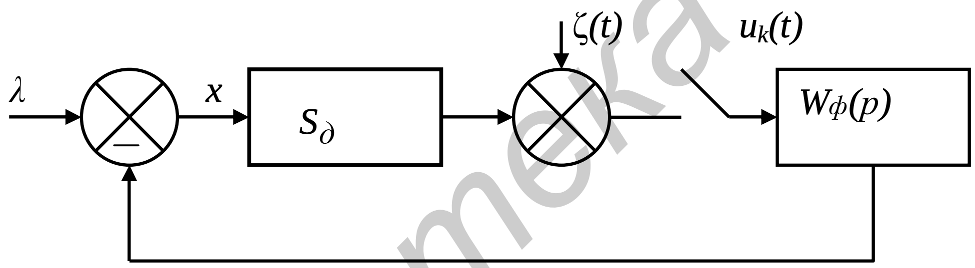

Рис. 5. Структурная схема системы с прерывистым входным сигналом: $S_∂$ – крутизна дискриминационной характеристики; $z(t)$ – флюктуационная составляющая

Коэффициент передачи ключа (рис.6)

$$k(t) = \begin{cases} 1 \text{ при } 0 < t < t_u; \\ 0 \text{ при } t < 0,\ t > t_u. \end{cases}$$

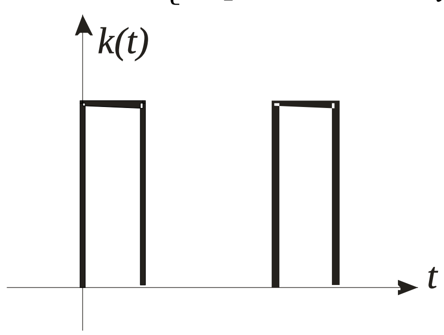

Рис. 6. Коэффициент передачи ключа

Наличие ключа делает процесс регулирования прерывистым, а системы – системами с переменными во времени параметрами.

Анализ таких систем определяется соотношениями между длительностью импульса, полосой пропускания следящей системы и частотой повторения импульсов.

Если частота повторения импульсов много больше полосы системы, то анализ может быть осуществлен методами анализа непрерывных систем.

Если же это условие не выполняется и за время t_u происходит значительное изменение ошибки слежения, то такие системы называют системами с конечным временем съема данных, или импульсными системами. Анализ их осуществляется отдельно в момент отсутствия и наличия сигнала на входе, затем решения сшиваются.

Если же за время t_u ошибка меняется незначительно, анализ системы можно существенно упростить, представив систему прерывистого регулирования как дискретную. Дискретными называют системы, в которых сигналы подвергаются дискретизации по времени.

Рассмотрим методику перехода к дискретной системе на примере системы прерывистого регулирования без фиксатора.

Чтобы получить структурную схему дискретной системы, вместо ключа вводят импульсный элемент (рис.7), коэффициент передачи которого является последовательностью дельта-функций:

$$k(t) = \sum_{k=0}^{\infty} d(t - kT).$$

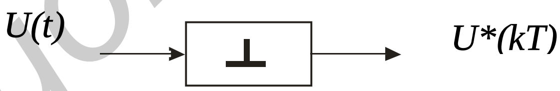

Рис.7. Изображение импульсного элемента на структурной схеме

Импульсный элемент преобразует непрерывную функцию в последовательность модулированных по площади дельта-функций:

$$u^*(kT) = \sum_{k=0}^{\infty} u(kT) d(t - kT) , \tag{3}$$

где $u(kT)d(t - kT)$ – модулированная по площади дельта-функция (рис. 8);

$u(kT)$ – дискретная функция (рис. 9).

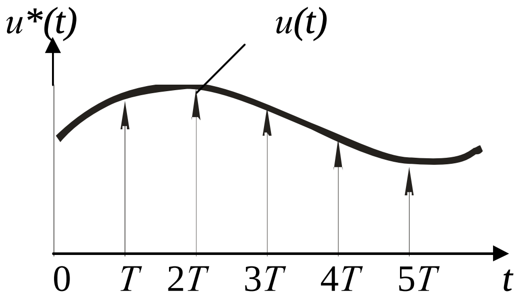

Рис. 8. Модулированная последовательность дельта-функций

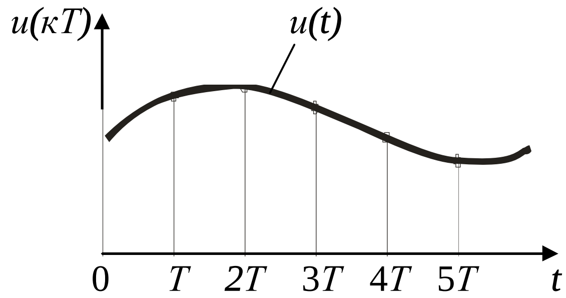

Рис. 9. Дискретная функция

Дискретная функция в тактовых точках равна исходной непрерывной, а в промежутках между тактовыми точками равна нулю (см. рис. 9).

Импульсный элемент преобразует непрерывную функцию в дискретную и модулирует ее по площади.

Импульсы напряжения на выходе ключа имеют конечную длительность, и коэффициент передачи его равен единице в замкнутом состоянии, а на выходе импульсного элемента формируется последовательность дельта-функций.

Чтобы обеспечить подобие процессов на выходе ключа и выходе заменяющего его импульсного элемента, необходимо последовательно с импульсным элементом включить формирующий фильтр.

Импульсная характеристика формирующего фильтра $h_{фф}(t)$ – реакция системы на последовательность дельта-функций. Она должна быть равна коэффициенту передачи ключа:

$$h_{фф}(t) = k(t).$$

Передаточная функция формирующего фильтра является преобразованием Лапласа от импульсной характеристики:

$$W_{\Phi\Phi}(s) = L\left[h_{фф}(t)\right] = \frac{1 - e^{-st_{и}}}{s}.$$

Процесс ее формирования можно представить как преобразование Лапласа разности двух ступенчатых функций (разность изображений по Лапласу единичной ступенчатой функции и этой же функции, задержанной на длительность импульса).

Условием эквивалентности ключа и импульсного элемента с формирователем является незначительное изменение ошибки в моменты действия импульса.

С учетом проведенных преобразований структурная схема может быть представлена в виде рис. 10.

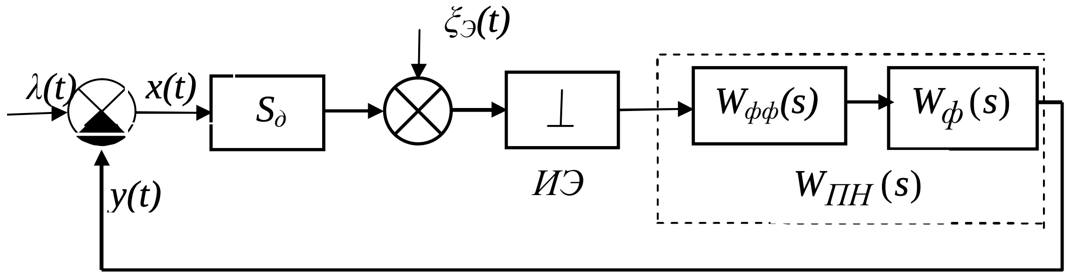

Рис. 10. Структурная схема дискретной системы

$W_{ПН}(s)$ называется передаточной функцией приведенной непрерывной части системы:

$$W_{ПН}(s) = W_{фф}(s) W_{ф}(s);$$

при наличии фиксатора передаточная функция звена

$$W_{ФФ}(s) = \frac{1 - e^{-st_и}}{s} \frac{k_u}{s}(1 - e^{-st_и}).$$

Если $e^{-st_и} << 1$, то $e^{-st_и}$ можно приближенно записать в виде

$$e^{-st_и} \approx 1 - st_u;$$

.

Обычно полагают, что $t_u k_u = 1$.

Тогда

$$W_{фф}(s) = \frac{1}{s}(1 - e^{-st_и}).$$

Эквивалентная флюктуационная составляющая отличается от флюктуационной составляющей непрерывной системы. Ее дисперсия равна

$$s_э^2 = S_x(0)/t_u.$$

Таким образом, в дискретной системе закон изменения параметров определяется только периодом повторения импульсов.

2.3. Математическое описание дискретных систем

2.3.1. *Z*-преобразование и его свойства

Для описания и анализа дискретных систем используется соответствующий математический аппарат: интегрирование заменяется суммированием, дифференцирование – конечной разностью, вместо дифференциальных уравнений используются разностные уравнения. Наряду с разностными уравнениями при анализе систем используются также дискретные преобразования Фурье и Лапласа, z-преобразование и другие.

Дискретное преобразование Лапласа:

$$X_{\partial}(s) = \sum_{k=0}^{\infty} x(kT)e^{-skT} ,$$

где $X_{\partial}(s)$ – изображение;

$x(kT)$ – оригинал.

Для анализа систем преобразование Лапласа неудобно, так как изображение является трансцендентной функцией переменной. Поэтому путем замены переменной

$$e^{sT} = z$$

переходят к z-преобразованию:

$$X(z) = Z\{x(kT)\} = \sum_{k=0}^{\infty} x(kT)z^{-k} .$$

Основные свойства z-преобразования определяются рядом теорем:

- теорема обращения, позволяющая по изображению определить оригинал:

$$x(kT) = \frac{1}{2pj}\oint_{l} X(z)Z^{k-1}dz ;$$

- z-изображение суммы или разности дискретных процессов:

$$Z\{x_1(kT) \pm x_2(kT)\} = X_1(z) \pm X_2(z);$$

- z-изображение произведения постоянной величины и дискретного процесса:

$$Z\{x_1(kT)a\} = aX(z);$$

- теорема о конечном значении оригинала:

$$\lim_{k\to\infty} x(kT) = \lim_{Z\to 1} (z-1)X(z);$$

- теорема о начальном значении оригинала:

$$\lim_{k\to 0} x(kT) = \lim_{z\to\infty} X(z);$$

- теорема свертки оригиналов:

$$Z\left\{\sum_{i=0}^{k} x_1(t-iT)x_2(iT)\right\} = X_1(z)\cdot X_2(z);$$

- теорема запаздывания: при ненулевых начальных условиях –

$$Z\{x(t-kT)\} = z^{-k}\left[X(z) + \sum_{m=1}^{k} z^m x(-mT)\right];\ x(t) \neq 0;\ \ \textit{при}\ \ t<0;$$

при нулевых начальных условиях –

$$Z\{x(t-kT)\} = z^{-k} X(z);$$

- z- преобразование непрерывной функции времени:

$$Z\{x(t)\} = Z\{x(kT)\} = X(z),$$

где $x(t)$ – непрерывная величина.

Z-преобразование изображения по Лапласу непрерывного процесса по определению совпадает с z-преобразованием процесса $x(t)$:

$$Z\{x(s)\} = Z\{x(kT)\};$$
$$Z\{x(t)\} = Z\{x(kT)\} = X(z),$$

где $x(t)$ – непрерывная величина.

Таким образом,
$$Z\{x(t)\} = Z\{x(kT)\} = Z\{x(s)\} = X(z).$$

2.3.2. Передаточные функции дискретных систем

Передаточная функция дискретной системы определяется как отношение z-изображений выходной и входной величин при нулевых начальных условиях:

$$H_{ly}(z) = \frac{Y(z)}{\Lambda(z)}; \qquad H_{lx}(z) = \frac{X(z)}{\Lambda(z)}.$$

Передаточные функции дискретной системы (рис. 10) при нулевом значении флюктуационной составляющей определяются выражениями

$$H_{lx}(z) = \frac{1}{1 + S_{\partial} W_{ПН}(z)}; \tag{4}$$

$$H_{ly}(z) = \frac{S_{\partial} W_{ПН}(z)}{1 + S_{\partial} W_{ПН}(z)}. \tag{5}$$

Если в системе используется фиксатор, то передаточная функция приведенной непрерывной части системы определяется выражением

$$W_{ПН}(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{s} W_{ф}(s),$$

где $\frac{1 - e^{-sT}}{s}$ – передаточная функция последовательного соединения фиксатора и формирующего фильтра.

$$W_{\Pi H}(s) = (1 - e^{-sT})\frac{W_{\phi}(s)}{s};$$

$$W_{\Pi H}(z) = Z\left\{\frac{W_{\phi}(s)}{s}\right\} - Z\left\{\frac{e^{-sT}W_{\phi}(s)}{s}\right\}.$$

Умножение изображения по Лапласу на e^{-sT} соответствует задержке оригинала на величину *T*. С учетом теоремы сдвига и обозначения

$$Z\left\{\frac{W_{\phi}(s)}{s}\right\} = K(z) \tag{6}$$

получим

$$W_{\Pi H}(z) = K(z) - z^{-1}K(z) = \frac{z-1}{z}K(z). \tag{7}$$

$K(z) = Z\left\{\frac{W_{\phi}(s)}{s}\right\}$ – определяется по таблицам *z*- изображений.

2.3.3. Разностные уравнения

Разностные уравнения определяют связь между дискретными значениями выходной и входной величин в тактовых точках.

Чтобы составить разностное уравнение, надо представить дискретную передаточную функцию в следующем виде:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \ldots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \ldots + a_n z^{-n}}. \tag{8}$$

Если $V(z)$ – значение выходной величины, а $\Lambda(z)$ – входной в виде z-изображения, то связь между ними определяется выражением

$$V(z) = H(z)\cdot\Lambda(z). \tag{9}$$

Подставим (8) в (9):

$$V(z)(1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \ldots + a_n z^{-n}) = (b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \ldots + b_m z^{-m})\Lambda(z). \tag{10}$$

Применим к левой и правой частям уравнения (10) теорему обращения. С учетом теоремы запаздывания оригинала можно записать

$$U_k + a_1 U_{k-1} + a_2 U_{k-2} + \ldots + a_n U_{k-n} = b_0 l_k + b_1 l_{k-1} + \ldots + b_m l_{k-m}, \tag{11}$$

где $U_k = U(kT)$;

$U_{k-n} = U(kT - nT)$.

Из уравнения (11) можно определить значения оригинала в тактовых точках:

$$U_k = \sum_{i=0}^{m} b_i l_{k-i} - \sum_{i=0}^{n} a_i U_{k-i} . \qquad (12)$$

Уравнение (12) является разностным уравнением, определяющим связь между входной и выходной величинами в тактовых точках.

2.3.4. Операторный коэффициент передачи дискретной системы

Для составления операторного коэффициента передачи вводится оператор запаздывания – c.

Действие его на временную функцию приводит ее к сдвигу по времени на величину T:

$$cv(kT) = v(kT - T);$$
$$c^2 v(kT) = v(kT - 2T);$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$c^n v(kT) = v(kT - nT).$$

При использовании оператора c разностное уравнение записывается в виде

$$y(kT) = H(c) \cdot l(kT),$$

где

$$H(c) = \frac{b_0 + b_1 c + b_2 c^2 + \ldots + b_m c^m}{1 + a_1 c + a_2 c^2 + \ldots + a_n c^n}.$$

Чтобы перейти от дискретной ПФ к операторному коэффициенту передачи, необходимо сделать замену:

$$z^{-1} = c.$$

2.3.5. Комплексный коэффициент передачи дискретной системы

Комплексный коэффициент передачи дискретной системы (частотную передаточную функцию) можно получить из передаточной функции дискретной системы путем замены $z = e^{jwT}$:

$$H_{\partial}(jw) = H(e^{jwT}) = H(z)\Big|_{z = e^{jwT}} .$$

Комплексный коэффициент передачи дискретной системы определяется как отношение комплексных амплитуд управляемой величины *Y(kT)* и задающего воздействия в тактовых точках *kT*. По формированию значений выходного процесса в тактовых точках дискретная система эквивалентна непрерывной с комплексным коэффициентом передачи $H_д(jw)$.

Комплексный коэффициент передачи является периодической функцией переменной w с периодом изменения, равным

$$\Omega = \frac{2p}{T}.$$

2.3.6. Устойчивость дискретных систем

Устойчивость дискретной системы связана с расположением полюсов ее передаточной функции на комплексной плоскости. Если все полюса расположены в левой полуплоскости, система устойчива. Таким образом, заменив в передаточной функции $H(z)$ z на e^{sT} и решив характеристическое уравнение, можно определить устойчивость.

При переходе от s-плоскости к z-плоскости левая полуплоскость плоскости s трансформируется в круг единичного радиуса. Поэтому дискретная система устойчива, если полюсы ее передаточной функции $H(z)$ расположены внутри окружности единичного радиуса, т.е. удовлетворяют условию

$$|z_i| < 1,\ i = 1,2\ldots\ n,$$

где z_i – корни характеристического уравнения:

$$A(z) = a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \ldots + a_0 = 0.$$

Характеристическое уравнение составляется путем приравнивания к нулю знаменателя передаточной функции:

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)}.$$

Для определения устойчивости дискретных систем используют алгебраические и частотные критерии.

Алгебраический критерий состоит в проверке выполнения системы неравенств, составленных из коэффициентов характеристического уравнения.

При $n = 1$:
$$\left.\begin{aligned} a_1 + a_0 > 0; \\ a_1 - a_0 > 0. \end{aligned}\right\}$$

При $n = 2$: $$\left.\begin{aligned} &a_2 + a_1 + a_0 > 0;\\ &a_2 - a_1 + a_0 > 0;\\ &a_2 - a_0 > 0. \end{aligned}\right\}$$

При $n=3$ указанная система неравенств принимает вид

$$\begin{aligned} &a_3 + a_2 + a_1 + a_0 > 0;\\ &a_3 - a_2 + a_1 - a_0 > 0;\\ &a_3^2 - a_0^2 + a_0 a_2 - a_1 a_3 > 0;\\ &3(a_3 + a_0) - a_2 - a_1 > 0;\\ &3(a_3 - a_0) + a_2 - a_1 > 0. \end{aligned}$$

Частотный критерий (критерий Найквиста): если годограф комплексного коэффициента передачи разомкнутой системы при изменении частоты от 0 до $2\pi/T$ не охватывает точку с координатами (-1; $j0$), то система устойчива.

2.3.7. Анализ детерминированных процессов в дискретных системах

Задачей анализа является определение динамической ошибки $x_{уст}$ или зависимости выходной величины от входной. Анализ может быть произведен с помощью z-преобразований.

Если имеем z-изображение

$$Y(z) = H_{ly}(z) \cdot \Lambda(z)$$

и необходимо определить оригинал по z-изображению выходной величины, то можно воспользоваться теоремой обращения:

$$y(kT) = \frac{1}{2p \cdot j} \oint Y(z) \cdot z^{k-1} dz.$$

Для вычисления интеграла обращения используют теорему о вычетах, в соответствии с которой для простого полюса

$$f(z) = \lim_{z \to z_i} (z - z_i) \cdot f(z).$$

Для полюса порядка *m:*

$$f(z) = \lim_{z \to z_i} \left[\frac{1}{(m-1)!} \frac{d^{m-1}}{dz^{m-1}} (z - z_i)^m \cdot f(z) \right].$$

Для определения установившегося значения величины используют теорему о предельном значении оригинала:

$$y(kt) = \lim_{z \to 1}(z-1)Y(z).$$

В некоторых случаях можно использовать таблицы, если выражение, определяющее z-изображение, простое, или разложить его на простые слагаемые и затем использовать таблицы.

Для определения реакции системы на детерминированное воздействие можно также использовать разностное уравнение. При высоком порядке разностного уравнения для его решения применяют вычислительные средства.

2.3.8. Анализ случайных процессов дискретных систем

Наиболее часто используемой характеристикой является дисперсия случайного процесса, в частности, дисперсия ошибки слежения. Дисперсия выходного процесса в тактовых точках ($t = kT$) и стационарном случайном воздействии $u(t)$ на входе с известной корреляционной функцией и спектральной плотностью $S(w)$ определяется выражением

$$s^2 = \frac{1}{2p}\int_{-\infty}^{\infty} S(z)\cdot\left|H(z)\right|^2 \times \left[2\cdot\frac{1}{1+u^2}\right]\cdot du. \Bigg|_{z = \frac{1+\ ju}{1\ -\ ju}}$$

Подынтегральное выражение является дробно-рациональной функцией переменной jw. Вычисление интеграла производится по методике, используемой при расчете дисперсии в линейных непрерывных системах.

2.4. Модели типичных дискретных следящих систем

2.4.1. Статическая система

В качестве структурной схемы статической системы рассмотрим схему, изображенную на рис.11.

Определим передаточную функцию $H_{lx}(z)$ дискретной системы, приведенная непрерывная часть которой состоит из формирующего фильтра и апериодического звена первого порядка. Передаточная функция приведенной непрерывной части рассматриваемой системы равна

$$W_{ПН}(s) = \frac{1-e^{-sT}}{s}\frac{k}{1+sT}. \qquad (13)$$

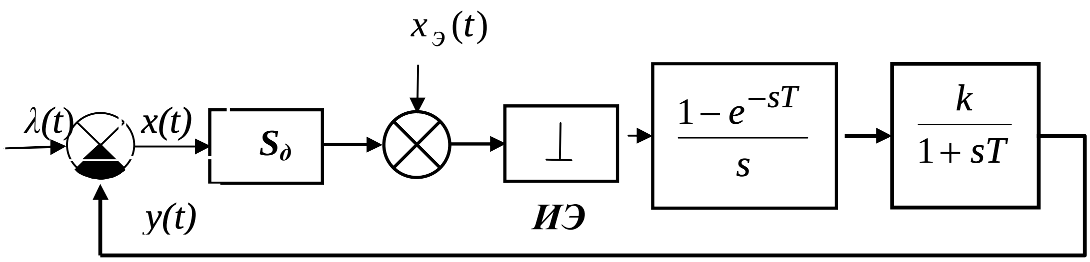

Рис. 11. Структурная схема дискретной статической системы

Для определения ее z-изображения воспользуемся соотношениями (6), (7). Обращаясь к таблицам z-изображений, запишем

$$K(z) = Z\{W_ф(s)/s\} = Z\left\{\frac{k}{(1+sT)s}\right\} = k\frac{(1-d)z}{(z-1)(z-d)},$$

где $d = e^{-aT}$, $a = \frac{1}{T}$.

Отсюда с учетом (7)

$$W_{ПН}(z) = k(1-d)/(z-d), \qquad (14)$$

где $d = e^{-\frac{T}{T_ф}}$.

Подставляя (14) в (4), находим передаточную функцию $H_{lx}(z)$ дискретной системы:

$$H_{lx}(z) = \frac{z-d}{z-d+S_д k(1-d)}. \qquad (15)$$

2.4.2. Астатическая система с астатизмом первого порядка

Структурная схема дискретной системы с астатизмом первого порядка представлена на рис.12.

Найдем передаточную функцию $H_{lx}(z)$ дискретной системы, приведенная непрерывная часть которой состоит из формирующего фильтра и одного интегратора.

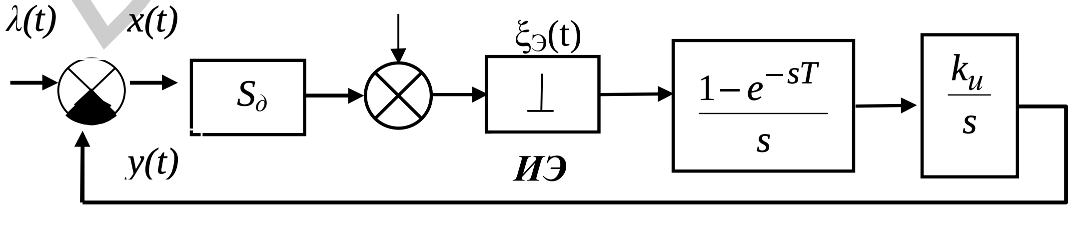

Рис. 12. Структурная схема дискретной системы с астатизмом первого порядка

Передаточная функция приведенной непрерывной части рассматриваемой системы равна

$$W_{ПН}(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{s} \frac{k_u}{s}. \tag{16}$$

Определим ее z-изображение $W_{ПН}(z)$. Обращаясь к таблицам z-изображений, запишем

$$K(z) = Z\{W_ф(s)/s\} = Z\{k_u / s^2\} = Tzk_u /(z-1)^2.$$

Отсюда

$$W_{ПН}(z) = k_u T /(z-1). \tag{17}$$

Находим передаточную функцию $H_{lx}(z)$ дискретной системы

$$H_{lx}(z) = \frac{z-1}{z - 1 + S_∂ k_u T}. \tag{18}$$

2.4.3. Астатическая система с астатизмом второго порядка

Структурная схема дискретной системы с астатизмом второго порядка представлена на рис.13.

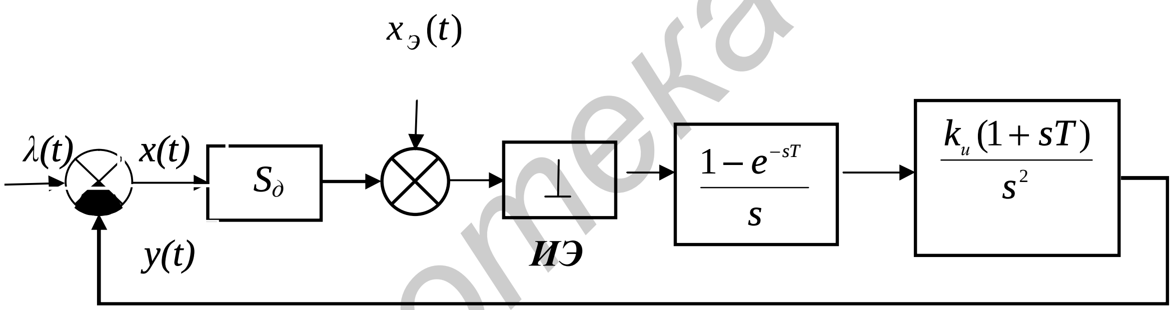

Рис. 13. Структурная схема дискретной системы с астатизмом второго порядка

Найдем передаточную функцию $H_{lx}(z)$ дискретной системы, приведенная непрерывная часть которой состоит из формирующего фильтра и интегратора. Передаточная функция приведенной непрерывной части рассматриваемой системы равна

$$W_{ПН}(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{s} \frac{k_u(1 + sT_ф)}{s^2}\ . \tag{19}$$

Определим ее z-изображение $W_{ПН}(z)$. Обращаясь к таблицам z-изображений, запишем

$$K(z) = Z\{W_ф(s)/s\} = Z\{k_u(1 + sT_ф)/s^2\} = \frac{zT^2(z+1)k_u + 2zT_ф T k_u (z-1)}{2(z-1)^3}.$$

Отсюда

$$W_{ПН}(z) = \frac{S_\partial T^2 (z+1) k_u + 2 S_\partial T_Ф T k_u (z-1)}{2(z-1)^2}. \tag{20}$$

Находим передаточную функцию $H_{lx}(z)$ замкнутой дискретной системы:

$$H_{lx}(z) = \frac{2(z-1)^2}{2(z-1)^2 + k_u S_\partial T [T(z+1) + 2T_Ф (z-1)]}. \tag{21}$$

3. ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМЫХ МОДЕЛЕЙ

3.1. Структурные схемы исследуемых дискретных систем

В качестве моделей дискретных систем в лабораторной работе используются модели статической системы (системы частотной автоподстройки) и астатической с астатизмом первого и второго порядков (системы фазовой автоподстройки частоты). Структурная схема статической системы приведена на рис. 14.

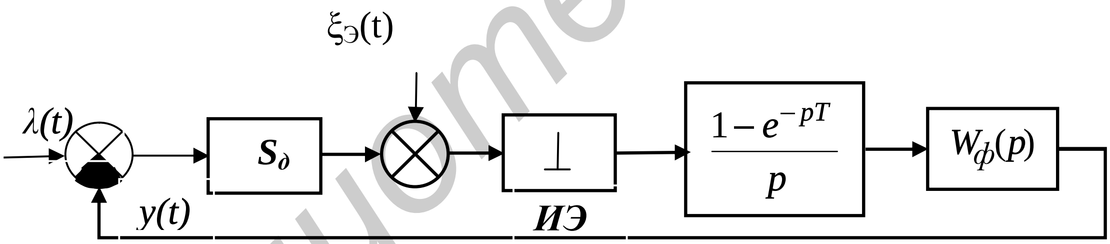

Рис. 14. Структурная схема системы частотной автоподстройки (ЧАП)

Коэффициент передачи (усиления) системы ЧАП:

$$K = S_\partial k_ф S_p,$$

где S_∂ – крутизна дискриминационной характеристики;

$k_ф$ – коэффициент передачи (усиления) фильтра;

S_p – крутизна регулировочной характеристики подстраиваемого генератора.

Структурная схема астатической системы приведена на рис.15.

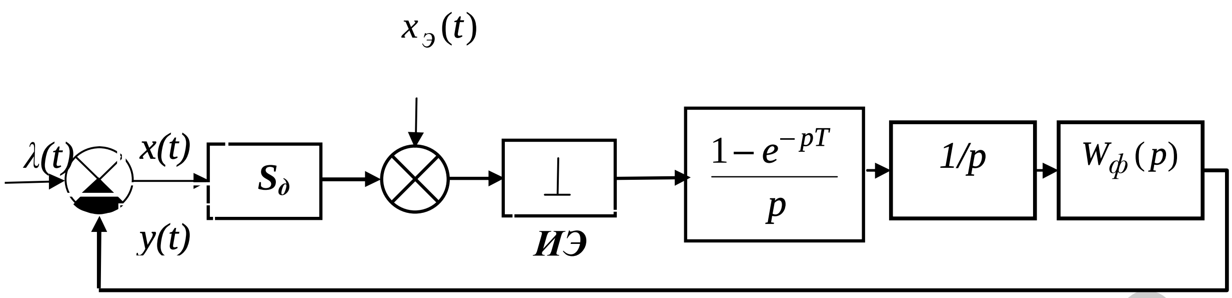

Рис. 15. Структурная схема астатической системы

В качестве фильтров используются типовые динамические звенья, представленные в пользовательском интерфейсе передаточными функциями.

4. ПОРЯДОК РАБОТЫ С ПРОГРАММОЙ

Для работы с программой используется система MATLAB.

Для запуска программы:

- загрузите систему MATLAB;
- в окне команд CURRENT DIRECTORY выберите соответствующий адрес расположения командных файлов: D:\RA\ДСС;
- если адрес отсутствует, то, нажав кнопку обзора, выберите директорию, в которую были помещены файлы программы;
- наберите в командном окне MATLAB Command Window название программы – «Discretsyst» и нажмите ввод, после чего появится окно интерфейса программы.

Для исследования систем:

- выберите типовое звено фильтра исследуемой системы;
- выберите исследуемую систему;
- установите параметры фильтра и системы.

При исследовании переходных характеристик наведите курсор на график переходного процесса и нажмите правую кнопку мыши, после чего высветится меню:

- система (Systems);
- характеристика (characteristics);
- сетка;
- нормаль (normalise);
- полный просмотр (full view);
- свойства (property).

В строке «Система» отображается выбранная система (wr) или (wz).

Строка « Характеристика»:

- peak response – отображает на графике точку, в которой амплитуда максимальна $Y_{\max}$;
- settling time – отображает на графике точку, в которой происходит установление системы - быстродействие системы ($t_{уст}$);
- rise time – время достижения максимума;
- steady state – отображает точку установившегося значения амплитуды $Y(\infty)$;
- сетка – отображает сетку на графике;
- normalise – нормализует значение (подгоняет под единицу);
- full view – полный просмотр.

Property (свойства):

- labels – метки к графику (заголовок, X – ярлык, Y – ярлык);
- limits – пределы отображения характеристики (автоматический, пределы от … до …);
- units – единицы измерения (недоступны);
- style – стиль (grid –сетка, fonts – шрифты, colors – цвета);
- characteristics – характеристики .

При исследовании годографа:

- show →negative frequencies (показать/отключить отрицательные частоты)
- characteristics – пиковый ответ;
- стабильность (пересечение минимума);
- стабильность (все пересечения).

При исследовании АЧХ, ФЧХ:

- show – показать АЧХ, показать ФЧХ.

Точность слежения оценивается величиной коэффициентов ошибки.

Коэффициенты ошибки вычисляются только при выборе исследуемого параметра – «Коэффициенты ошибки». При нажатии кнопки «Рассчитать/построить» рассчитываются коэффициенты по положению, скорости и ускорению и отображаются в верхнем правом углу.

Карта нулей и полюсов отображает значение нулей и полюсов системы.

Щелкнув мышью на любую точку графика, можно получить информацию об этой точке.

5. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Исследование зависимостей показателей качества системы от параметров звеньев

Переходная характеристика:

- выберите типовое звено фильтра;
- выберите исследуемую систему;
- исследуемая зависимость – « Переходная характеристика»;
- установите параметры системы;
- нажмите кнопку «Рассчитать/построить»;
- зарисуйте переходную характеристику системы.

Для устойчивых состояний:

- на графике, нажав правую кнопку мыши, выберите:

/Characteristics/Peak Response,после чего на графике должна отобразиться точка максимума амплитуды Y_{max}*, затем запишите значение* Y_{max}*; наведя мышь на точку и нажав левую кнопку, запишите время установления первого максимума;*

- на графике, нажав правую кнопку мыши, выберите:

/Characteristics/Settling Time, после чего отобразится точка времени установления системы $t_{уст}$*, характеризующего быстродействие системы; запишите результат;*

- на графике, нажав правую кнопку мыши, выберите:

/Characteristics/Steady State, после чего отобразится точка установившегося значения амплитуды Y(∞); запишите результат.

Рассчитайте перерегулирование:

$$d = \frac{Y_{max} - Y(\infty)}{Y(\infty)} \ 100\,\%.$$

Изменяя параметры системы, исследуйте зависимость параметров переходного процесса от параметров системы. Полученные результаты сведите в таблицу.

Импульсная характеристика:

- выберите исследуемую зависимость – «Импульсная характеристика»;
- установите параметры системы;
- нажмите кнопку «Рассчитать/построить»;
- зарисуйте импульсную характеристику системы.

Изменяя параметры системы, исследуйте зависимость импульсной характеристики от параметров системы.

Годограф Найквиста:

- выберите исследуемую зависимость – «Годограф Найквиста»;
- установите параметры системы;
- нажмите кнопку «Рассчитать/построить»;
- зарисуйте годограф Найквиста для положительной полосы частот (ветвь годографа для отрицательных частот можно исключить, выключив на графике SHOW→NEGATIVE FREQUENCES);
- запишите значения запасов устойчивости и соответствующие им частоты.

Изменяя параметры системы, исследуйте зависимость показателей от параметров системы. Полученные результаты сведите в таблицу.

Логарифмические АЧХ и ФЧХ:

- выберите исследуемую зависимость – «Логарифмические АЧХ и ФЧХ»;
- установите параметры системы;
- нажмите кнопку «Рассчитать/построить»;
- зарисуйте логарифмические АЧХ и ФЧХ;
- определите значения частот $w_{ср}$, $w_{кр}$ и запасы устойчивости по фазе и амплитуде.

Изменяя параметры системы, исследуйте зависимость исследуемых параметров от параметров системы. Полученные результаты сведите в таблицу.

Точность слежения:

- выберите исследуемую зависимость – «Коэффициенты ошибки»;
- установите параметры системы;
- зафиксируйте значения коэффициентов ошибки системы по положению, скорости и ускорению.

Изменяя параметры системы, исследуйте зависимость величин коэффициентов ошибки от параметров системы. Полученные результаты сведите в таблицу.

6. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6.1. Исследование статической линейной системы (ЧАП)

6.1.1. Исследовать зависимость показателей качества статической дискретной следящей системы от коэффициента усиления разомкнутого контура и периода дискретизации *T*:

- параметров переходного процесса;
- устойчивости и запасов устойчивости по фазе и амплитуде;
- точности слежения.

Тип фильтра и параметры задаются преподавателем.

6.2. Исследование системы ФАПЧ с астатизмом 1-го порядка

6.2.1. Исследовать зависимость показателей качества дискретной следящей системы с астатизмом 1-го порядка от коэффициента усиления разомкнутого контура, периода дискретизации T и постоянных времени фильтра:

- параметров переходного процесса;
- устойчивости и запасов устойчивости по фазе и амплитуде;
- точности слежения.

Тип фильтра и параметры задаются преподавателем.

6.3. Исследование системы ФАПЧ с астатизмом 2-го порядка

6.3.1. Исследовать зависимость показателей качества дискретной следящей системы с астатизмом 2-го порядка от коэффициента усиления разомкнутого контура, периода дискретизации T и постоянных времени фильтра:

- параметров переходного процесса;
- устойчивости и запасов устойчивости по фазе и амплитуде;
- точности слежения.

Тип фильтра и параметры задаются преподавателем.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Модели исследуемых систем.
3. Результаты исследований (характеристики, таблицы, графики зависимостей):
   - статической линейной системы (ЧАП);
   - системы ФАПЧ с астатизмом 1-го порядка;
   - системы ФАПЧ с астатизмом 2-го порядка.
4. Выводы.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните принцип работы следящей системы с прерывистым входным сигналом и назначение элементов функциональной и структурной схем.

2. Составьте структурную схему замкнутой дискретной системы.

3. Дайте определение передаточной функции приведенной непрерывной части дискретной системы, укажите методику ее нахождения.

4. Дайте определение передаточной функции дискретной системы. Как связаны передаточные функции замкнутой и разомкнутой систем?

5. Что такое z-преобразование сигнала? Перечислите основные свойства z-преобразования.

6. Что понимается под разностным уравнением и чем оно отличается от дифференциального уравнения?

7. Поясните физический смысл комплексного коэффициента передачи дискретной системы.

8. Сформулируйте алгебраический и частотный критерии устойчивости дискретных систем.

9. В чем отличие критерия Найквиста, используемого при оценке устойчивости дискретных систем по сравнению с критерием для непрерывных систем?

10. Можно ли при оценке устойчивости дискретных систем использовать логарифмические частотные характеристики и как это сделать?

11. Как влияет величина коэффициента усиления разомкнутой системы на устойчивость, точность слежения, характеристики переходного процесса?

12. Как влияет величина периода дискретизации разомкнутой системы на устойчивость, точность слежения, характеристики переходного процесса?

13. Поясните методы вычисления динамической и флюктуационной ошибок в дискретных системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов Г.Ф. Радиоавтоматика: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1990.

2. Первачев С.В. Радиоавтоматика: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1982.

3. Радиоавтоматика: Учеб. пособие для студ. вузов спец. Радиотехника»/Под ред. В.А. Бесекерского .– М.: Высш. шк., 1985.

4. Бесекерский В.А., Попов Е.Г. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975.

5. Артемьев В.М. Справочное пособие по методам исследования радиоэлектронных следящх систем. – Мн.: Выш. шк., 1984.

6. Яшугин Е.А. Теория линейных непрерывных систем автоматического управления в вопросах и ответах : Справ. пособие. – Мн.: Выш. шк., 1986.

7. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления / Под ред. В.А. Бесекерского. – М.: Наука, 1978.

Св. план 2006, поз. 73

Учебное издание

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСКРЕТНОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ

Методические указания
к лабораторной работе по курсу «Радиоавтоматика» для студентов специальностей 1-39 01 01 «Радиотехника», 1-39 01 02 «Радиоэлектронные системы» и курсу «Автоматика информационных систем» для студентов специальности 1-39 01 03 «Радиоинформатика»
всех форм обучения

Составитель
Ганкевич Сергей Антонович

Редактор Н.В. Гриневич
Корректор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать	Формат 60х84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 200 экз.	Заказ 12.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131518 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6