

АНАЛИЗ РАБОТЫ СХЕМЫ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Е. Ю. Валковская, Г. Ю. Кострова, А. А. Брадул, В.А. Запорожец

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Украина, 61166, Харьков, пр. Науки 14

E-mail: yelyzaveta.valkivska@nure.ua, hanna.kostrova@nure.ua, anastasiia.bradul@nure.ua

Аннотация: В работе рассматривается локационное устройство измерения дальности и скорости перемещения деталей для сборочного промышленного робота, ставится задача разработки программного обеспечения локационного устройства измерения дальности и скорости перемещения деталей для сборочного промышленного робота.

Ключевые слова: автоматизация, робот, локационная система, управление, исполнительная система

ANALYSIS OF THE WORK OF THE DIAGRAM OF THE LOCATION SYSTEM OF THE INDUSTRIAL ROBOT

Ye. Valkivska, H. Kostrova, A. Bradul, V. Zaporozhets

Kharkiv National University of Radioelectronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

E-mail: yelyzaveta.valkivska@nure.ua, hanna.kostrova@nure.ua, anastasiia.bradul@nure.ua

Abstract: The work considers a location-based device for measuring the range and speed of parts for an assembly industrial robot; the task is to develop software for a location-based device for measuring the range and speed of parts for an assembly industrial robot.

Key words: automation, robot, location system, control, executive system

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В современной индустрии широко используется автоматизация и роботизация производства. Благодаря этим тенденциям можно добиться увеличения производительности труда и более высокого качества выпускаемой продукции.

Применение роботов начинает выходить за рамки обрабатывающих отраслей промышленности и распространяться на смежные виды производства, а также в непромышленных отраслях [1]. Развита методы управления роботами на основе хорошо сформулированных моделей и алгоритмов. Учитывая растущее применение роботов во всех областях деятельности человека, интерес к локационным системам будет постоянно повышаться, что и обуславливает актуальность и своевременность данной работы.

Локационные системы являются бесконтактными средствами и предназначены, посредством датчиков локации, обеспечивать дистанционное измерение характеристик объектов и их параметров, таких как размеры и расстояние до объектов, скорость их движения, обнаружение препятствий, а также исследование механических, электрофизических, акустических и других параметров объектов.

В качестве дополнительных параметров измерения могут выступать зазоры, перекосы, проскальзывание, наличие внутренних дефектов, толщина материала или покрытия, твердость, напряжения, площадь, ориентация: относительно реперной точки или осей и многие другие.

В общем случае, под термином «локационный датчик» понимают устройство, состоящего из первичного преобразователя, измеряющего путем излучения и приема сигналов некоторые физические параметры объектов среды, усилителя, аналого-цифрового преобразователя, индикатора, а также в случае необходимости - микропроцессора, цифроаналогового преобразователя и специализированной ЭВМ для обработки и

представления информации, передаваемой в систему управления робота или роботизированного технического комплекса.

В качестве аналогово-цифрового преобразователя, может быть использован АЦП ЭВМ или системы управления.

ПОКОЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ. В настоящее время промышленные роботы делят на 3 основные группы (поколения):

Роботы первого поколения. К ним относятся неперепрограммируемые роботы, работающие по жесткой программе: механические руки и роботы с ЧПУ. Эти роботы характеризуются неспособностью адаптироваться к изменяющимся условиям работы и имеют постоянную программу движения не зависимо от наличия объекта манипулирования. Применяются для решения простых производственных задач, требуют жесткого порядка входа в систему (ориентации детали или инструмента в пространстве, заданного времени срабатывания, наличия защитных блокировок и т.п.). Это автооператоры и механические руки.

Роботы второго поколения. Это адаптивные, работающие по гибкой программе, оснащенные датчиками внешней среды и визуальными системами роботы. Для управления ими применяют микроЭВМ, микропроцессоры, а в последнее время – контроллеры. Эти роботы используются для решения более сложных задач, ПР 1-го поколения.

Роботы третьего поколения. К ним относятся интегральные, или интеллектуальные (интеллектуальные роботы), которые способны полностью адаптироваться к условиям работы и производства, обладают возможностью автоматического сбора и обработки информации. Управление осуществляется с промышленной ЭВМ с эвристической программой, где оператор программирует только конечную цель, а сами действия и их порядок определяет программа.

Важно отметить, что поколения ПР не сменяют друг друга, а дополняют и работают там, где это наиболее целесообразно.

ПР 1-го поколения способны заменить порядка 2% рабочих;

ПР 2-го поколения – 25-30%;

ПР 3-го поколения еще до 30%.

Функциональная схема ПР (рис. 1):

В состав ПР входят следующие основные части:

- манипулятор, или иначе механическая система робота;
- информационная система (ИС);
- система программного управления (СПУ), или иначе устройство управления;

УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ. В совокупности информационная система и система программного управления образуют устройство автоматического управления (УАУ).

Манипуляторы ПР содержат рабочий орган в виде захватного устройства (УЗ), сварочной головки, краскораспылителя и т.п. и механизмы, необходимые для выполнения всех его двигательных функций:

- передаточные механизмы;
- исполнительные механизмы [2];
- приводы;
- несущие элементы.

Исполнительный механизм ПР с приводом и захватным устройством называют рукой манипулятора (Р). Для перемещения М относительно технологического оборудования (ТО) используются устройства передвижения (УП).

Все манипуляционные устройства характеризуются маневренностью и коэффициентом сервиса (КС), под которым понимают возможность подхода РО к заданной точке с разных направлений. КС дает представление о двигательных возможностях М, т.е. о его маневренности. Маневренность М – это число степеней подвижности при фиксированном положении РО,

которая определяет возможность обхода манипулятором препятствий в рабочем объеме и способность к выполнению сложных операций.

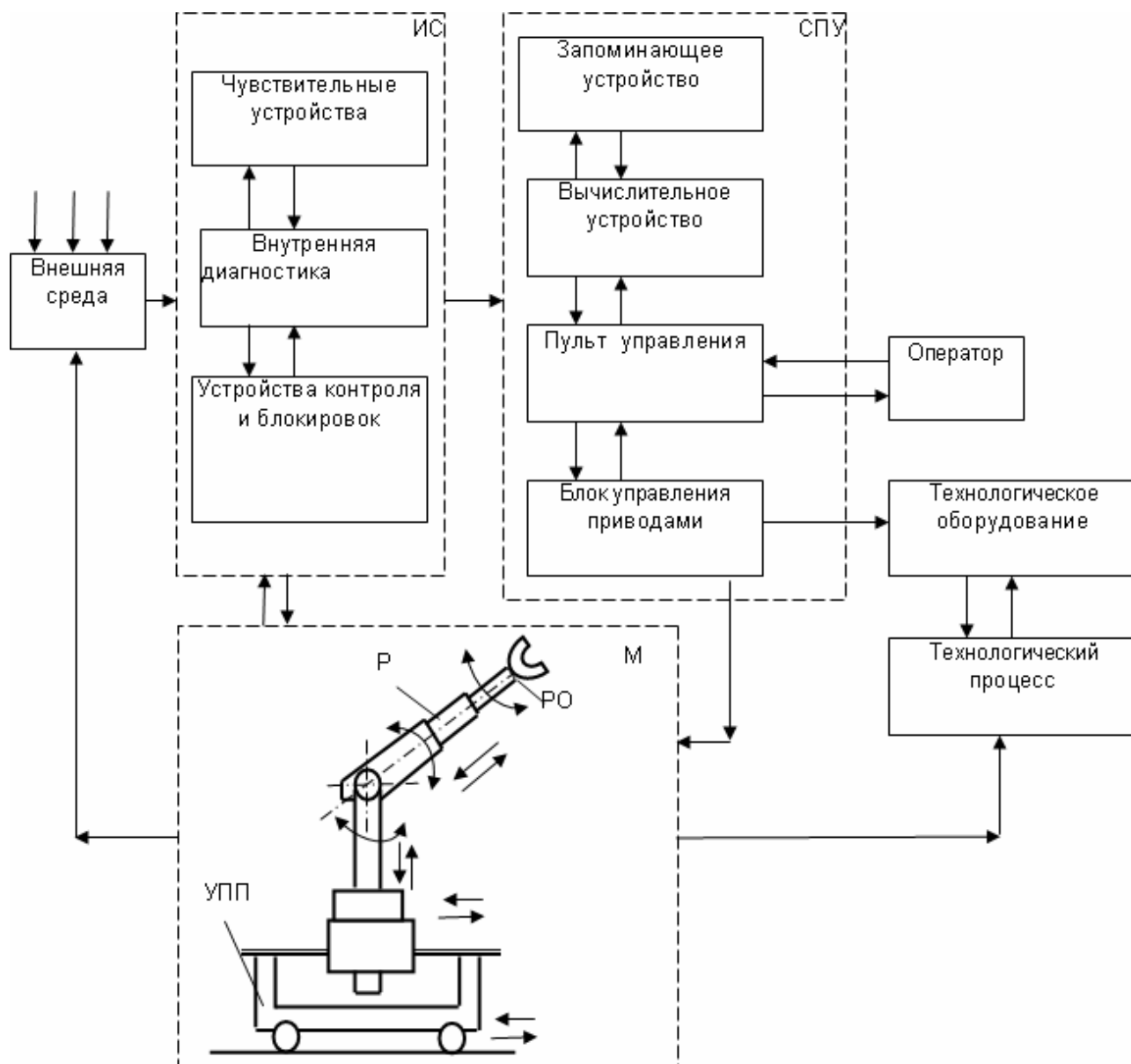


Рисунок 1 – Функциональная схема РР

Движения М подразделяются на группы. Так, например, движения М, снабженного наиболее распространенным в РР РО в виде УЗ бывают следующих видов:

- ориентирующие перемещения УЗ, соизмеримые с его размерами;
- транспортирующие перемещения, определяемые размерами звеньев руки и соизмеримые с размерами рабочего объема;
- координатные перемещения на расстояния, превышающие размеры ПР и размеры рабочего объема.

В состав ИС входят чувствительные (сенсорные) устройства внешней среды, система внутренней диагностики и устройства контроля и блокировок. ИС обеспечивает сбор, первичную обработку и перевод в СПУ данных о функционировании механизмов М робота и о состоянии внешней среды.

СПУ содержит: пульт управления (ПУ), с помощью которого оператор осуществляет ввод и контроль задания; запоминающее устройство (ЗУ), в котором хранится вся необходимая информация, включая программы работ; вычислительное устройство (ВУ), реализующее

алгоритм управления манипулятором; блок управления приводами (БУП) механизмов манипулятора.

Из схемы видно, что ПР и ТО включены в единый цикл работы и содержат общий пульт управления всем ТП. Возможны два варианта режима работы ПР: режим программирования (режим обучения), при котором в запоминающее устройство вводится управляющая программа, и режим выполнения технологических операций (режим работы).

К локационным системам относятся технические средства, предназначенные для автоматического дистанционного измерения координат объектов манипулирования. Из этого определения следует, что для описания работы таких систем необходимы сведения, как из области теории автоматического управления, так и теории измерений. Все это требует, прежде всего, создания адекватных математических моделей, удовлетворяющих определенным условиям. Прежде всего, это требования общего характера, необходимые при составлении моделей в любой отрасли науки: с одной стороны, модель должна быть достаточно подробной, чтобы описывать существенные явления, протекающие в реальном объекте; с другой – возможно более простой для упрощения методики исследований и уменьшения объема конечных результатов. Специфические требования к моделям локационных систем вытекают из их принципов действия и особенностей функционирования. Для более полного учета этих факторов требуется предварительная классификация систем по ряду признаков.

По принципу действия локационные системы роботов не отличаются от соответствующих измерительных систем, используемых в радио-, звуко- и гидролокации, при физических измерениях и других исследованиях. Особенность заключается в том, что в робототехнике применяется почти весь арсенал средств из перечисленных выше областей, что приводит к более сложной процедуре классификации.

Для дистанционного измерения координат объектов должно быть физическое поле, взаимодействующее как с объектом, так и с приемником локационного устройства. В зависимости от пространственно-временных свойств поля могут быть волновыми и потенциальными. К волновым полям, например, относятся электромагнитные, акустические и некоторые другие, к потенциальным – магнитные, электростатические и т.д. Использование того или иного поля существенно влияет на характеристики локационных систем. Волновые поля более информативны, так как содержат больше временных и пространственных параметров, пригодных к использованию при измерениях. В некоторых средах условия распространения этих полей значительно лучше, чем у потенциальных. Однако имеются среды, непригодные для распространения волновых полей, в то время как потенциальные поля здесь могут с успехом применяться. Кроме того, для измерения на малых расстояниях потенциальные поля часто имеют преимущества перед волновыми при длинах волн последних, сравнимых с расстояниями до объектов.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ. Модель носит весьма общий характер, и в этом ее основное достоинство, так как только наличие общих моделей позволяет начать разработку теории систем определенного класса. Это не значит, что в каждом конкретном случае не надо вносить в модель уточняющих ее деталей. Однако все принципиальные особенности, присущие локационным системам как своеобразному классу автоматических систем, эта модель отражает и уже на этапе ее оценки позволяет сформулировать те задачи теории управления и измерений, которые надо решать для создания теории. Справедливость полученных ниже общих соотношений в последующем подтверждается рассмотрением конкретных элементов и систем.

В связи с тем что системы с обратной связью предпочтительнее, начнем рассмотрение математической модели именно этого класса локационных систем, функциональная схема которых изображена на рис. 2. Наиболее сложным и ответственным элементом системы является дискриминатор, поэтому его математическая модель определяет структуру и сложность модели в целом. Дискриминатор замкнутой' локационной системы предназначен

для выработки сигнала (обычно напряжения), пропорционального рассогласованию $e(t)$. Принцип действия дискриминатора основан на демодуляции сигнала $U_c(t, x)$ с помощью опорного сигнала $U_0(t, y)$. В результате выходной сигнал дискриминатора должен зависеть от рассогласования, поэтому обозначим его $U_d(t, x)$. Подчеркнем главные свойства дискриминатора. Во-первых, демодуляция сигнала - это операция нелинейная, поэтому дискриминатор является элементом нелинейным. Во-вторых, полоса пропускания дискриминатора должна быть больше ширины спектра сигнала и (t, x) , иначе он будет искажать полезный сигнал и тем самым вносить ошибки в результаты измерений. Следует различать ширину спектра полезного сигнала $U_c(t, x)$ и ширину спектра измеряемых координат $x(t)$. Чтобы сигнал являлся носителем полезной информации, его спектр должен быть шире спектра передаваемого сообщения. В то же время исполнительная часть системы (рис. 2), преобразующая информацию об измеряемых координатах, должна иметь полосу пропускания, согласованную с шириной спектра $x(t)$. Отсюда следует второе свойство дискриминатора: его полоса пропускания намного больше полосы пропускания исполнительной части системы.

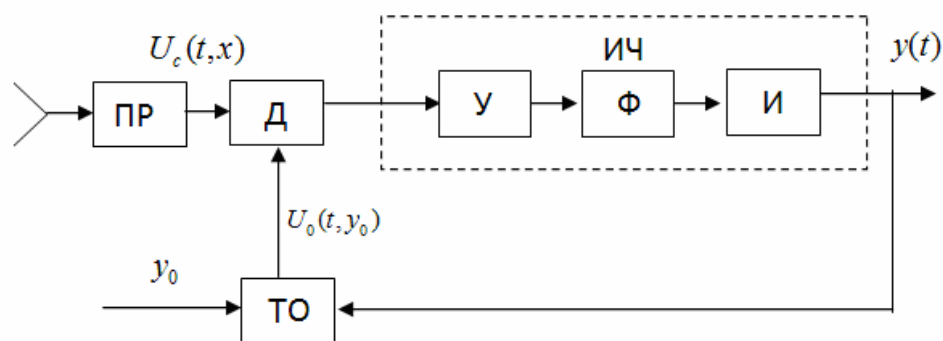


Рисунок 2 – Схема исполнительной системы

Отмеченные свойства дискриминатора позволяют сделать следующий важный вывод: по сравнению с исполнительной частью системы дискриминатор можно считать безинерционным нелинейным элементом. Слово "безинерционный" здесь следует понимать в том смысле, что все процессы в дискриминаторе протекают намного быстрее, чем в исполнительной части системы. Сделанный вывод говорит о том, что дискриминатор в математической модели системы может быть отображен нелинейным звеном со своей характеристикой. Прежде чем найти эту характеристику, отметим одну особенность.

Так как на входе дискриминатора действуют полезный сигнал и шум, то и его выходной сигнал будет иметь случайную составляющую. Представим его в виде суммы (1):

$$U_d(t, e) = K_d(e) + \xi(t), \quad (1)$$

где $K_d(e)$ – математическое ожидание выходного сигнала дискриминатора,
 $\xi(t)$ – случайная составляющая.

Если бы на входе дискриминатора не было шумов, то и случайная составляющая $\xi(t)$ равнялась бы нулю. Носителем полезной информации о рассогласовании e является математическое ожидание $K_d(e)$. Математическое ожидание выходного сигнала дискриминатора как функция рассогласования e называется дискриминационной характеристикой $K_d(e)$. Это определение остается справедливым как для непрерывных, так и для импульсных сигналов. При рассмотрении узкополосных импульсных систем вместо

импульсного надо брать среднее значение этого сигнала за период следования. Поэтому при импульсных сигналах под дискриминационной характеристикой (ДХ) понимается зависимость среднего значения выходного сигнала дискриминатора за период следования от величины рассогласования e . Рассмотрим, какой вид должна иметь дискриминационная характеристика.

Чтобы локационная система работала как следящая, ее ДХ должна иметь вполне определенную форму. Исходя из принципа действия следящих систем, в районе малых рассогласований e ДХ должна быть линейной функцией: $K_{\partial}(e) = K_e(\partial)$. Прежде чем говорить о поведении ДХ при больших рассогласованиях, введем понятие разрешающей способности локационной системы. Разрешающей способностью 2Δ называется минимальная разность координат между объектами, при которой на выходе дискриминатора появляется сигнал только от одного из объектов [3]. Исходя из необходимости обеспечения разрешающей способности, при рассогласованиях $e > \Delta$ дискриминационная характеристика $K_{\partial}e$ должна равняться нулю. В итоге форма ДХ должна быть такой, как показано на рис. 3, где выделен линейный участок ЛУ, обеспечивающий режим слежения, и отмечена ширина ДХ 2Δ , определяющая разрешающую способность. Величина Δ называется полушириной ДХ. Крутизна ДХ на линейном участке носит название коэффициента преобразования дискриминатора:

$$K_{\partial} = \partial K_{\partial}(e) / \partial e \times e = 0 \quad (2)$$

Коэффициент преобразования K_{∂} и полуширина Δ являются важнейшими параметрами дискриминатора.

Функцию $K_{\partial}e$ можно выразить в виде произведения:

$$K_{\partial}(e) = K_{\partial} K_{\partial\partial}(e) \quad (3)$$

где $K_{\partial\partial}e$ – нормированная ДХ, имеющая крутизну, равную единице.

Функция $K_{\partial\partial}e$ определяет форму дискриминационной характеристики, Величина K_{∂} зависит от амплитуды сигнала и растет с ее увеличением. В первом приближении можно полагать, что полуширина Δ от амплитуды не зависит.

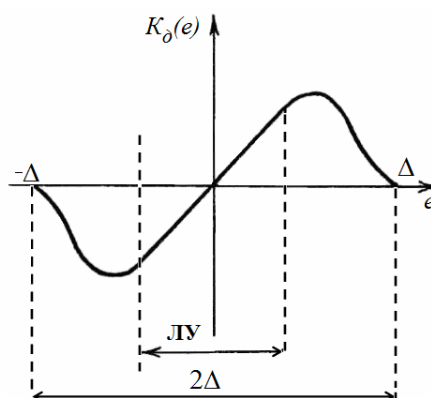


Рисунок 3 – Амплитуда сигнала

Шумовая составляющая сигнала $\xi(t)$ на выходе дискриминатора называется флюктуационным процессом и является случайным возмущающим воздействием. Основная доля случайных ошибок измерений обусловлена наличием флюктуационного процесса. Так как шумовой сигнал на входе дискриминатора образуется внутри приемника или вне его, то ширина спектра шума сравнима с шириной спектра сигнала, поэтому и ширина спектра флюктуационного процесса $\xi(t)$ будет сравнима с шириной спектра полезного сигнала намного шире полосы пропускания исполнительной части. Отсюда

следует вывод о том, что флюктуационный процесс $\xi(t)$, действующий на входе исполнительской части, по своим свойствам близок к белому шуму. Спектральную плотность флюктуационного процесса $\xi(t)$ обозначим буквой N . Эта величина является третьим параметром дискриминатора.

Исполнительскую часть системы (рис. 1), как правило, стремятся сделать линейкой, за исключением некоторых специальных случаев. Обозначим передаточную функцию этой части через $K(p)$. Тогда с учетом сказанного выше о характеристике дискриминатора можно получить математическую модель замкнутой локационной системы в виде структурной схемы, изображенной на рисунке 4. Левая часть этого рисунка отображает структурную схему дискриминатора, а правая — исполнительской части.

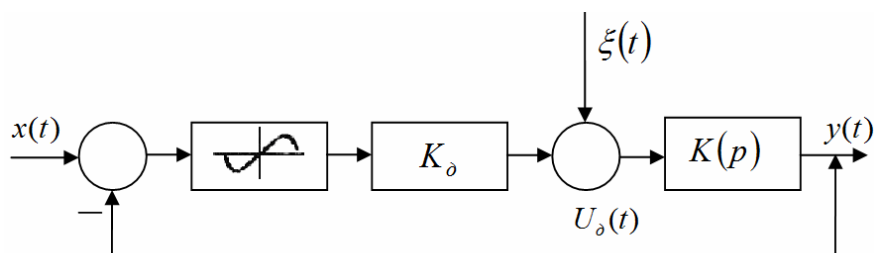


Рисунок 4 – Схема замкнутой локационной системы

Теперь рассмотрим локационную систему без обратной связи, изображенную на рис. 5.

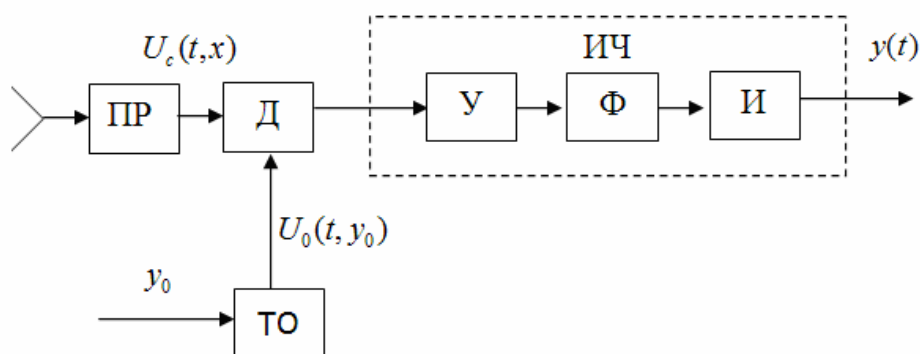


Рисунок 5 – Схема локационной системы без обратной связи

Дискриминатор в такой системе предназначен для измерения координаты $x(t)$, а исполнительная часть играет роль фильтра, выделяющего полезный выходной сигнал дискриминатора на фоне шумовой составляющей. Выходной сигнал дискриминатора можно вновь представить в виде суммы (4)

$$U_1(t, x) = K_0(x) + \xi(t), \quad (4)$$

где $K_0(x)$ – дискриминационная характеристика, или среднее значение выходного сигнала;

$\xi(t)$ – флюктуационный процесс.

При тех же свойствах дискриминатора его вновь можно рассматривать как безынерционное нелинейное звено, однако требование к форме ДХ здесь иное. Так как измеряется не рассогласование, а само значение координаты x , линейный участок ДХ должен лежать в пределах $-x_m < x < x_m$, где x_m – максимальное по модулю значение координаты. Обычно вне этого предела ДХ либо имеет ограничение, либо изменяется периодически. Требуемая форма ДХ локационной системы без обратной связи показана на рисунке 6.

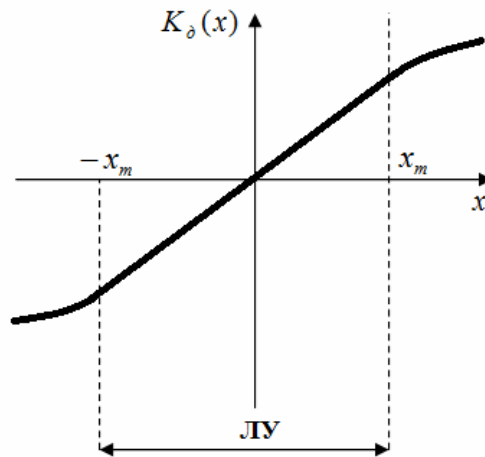


Рисунок 6 – График локационной системы без обратной связи

Крутизна ЛУ $k_d = k_d(x)|_{x=0}$ определяет коэффициент преобразования дискриминатора, а ее ширина - диапазон работы системы.

О флюктуационном процессе можно высказать те же соображения, что и в случае системы с обратной связью. Исполнительная часть системы играет роль фильтра низких частот для выделения полезной составляющей $K_d(x)$ на фоне шумовой $\xi(t)$. Математическая модель системы без обратной связи в виде структурной схемы изображена на рис.7.

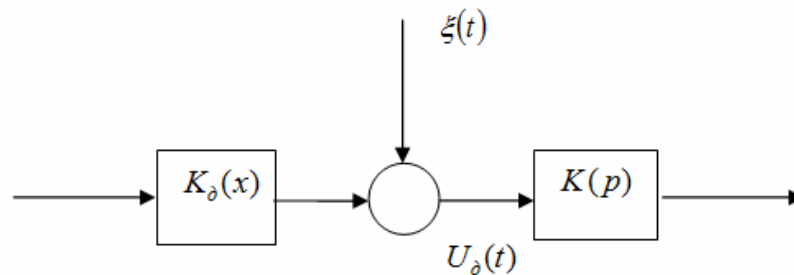


Рисунок 7 – Структурная схема математической модели без обратной связи

Сравнение принципов действия структурных схем систем с обратной связью (рис.4) и без обратной связи (рис.7) позволяет сделать некоторые выводы. Во-первых, требования к диапазону линейности статических характеристик дискриминаторов существенно различны. Если в замкнутой системе линейный диапазон имеет порядок величины ошибки слежения, в системе без обратной связи он должен быть не меньше всего диапазона изменения координаты и обычно на несколько порядков больше, чем у систем с обратной связью. Например, если дальномерное устройство работает в диапазоне дальностей от 0 до 1 м с ошибкой измерения в 1 мм, требуемый диапазон линейности в системе без обратной связи будет примерно в 10^3 раз больше, чем в системе замкнутой. Более того, в таких системах звено с дискриминационной характеристикой находится внутри контура обратной связи, поэтому нестабильность коэффициента преобразования мало сказывается на точности слежения.

В системах без обратной связи изменение k_d непосредственно повлияет на величину выходного сигнала, Одной из причин нестабильности k_d является наличие флюктуаций амплитуды сигнала, поэтому в системах без обратной связи для стабилизации амплитуды применяют ограничители, а это исключает возможность использования измерителей с

амплитудной модуляцией полезного сигнала. Нелинейность статической характеристики дискриминатора в системах без обратной связи может быть в какой-то степени скомпенсирована калибровкой системы, т.е. предварительным нахождением зависимости $k_{\phi}(x)$ и учетом этой функции при дальнейшей обработке сигнала. Однако калибровка - операция трудоемкая, и, как правило, ее требуется вести для каждого экземпляра системы в отдельности. Во-вторых, сравнительная оценка показывает, что в системах без обратной связи обеспечить разрешающую способность значительно труднее, чем в замкнутых, где она достигается специальной формой ДХ.

ВЫВОДЫ. Локационные системы без обратной связи, как правило, целесообразно использовать там, где требуемые точности измерений невысокие и в зоне локации находится не более одного объекта. Приведенные математические модели позволяют с общих позиций приступить к изложению методов исследования локационных систем, а детализация и уточнение структур осуществляются в процессе изучения принципов действия и свойств конкретных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Невлюдов І.Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева. – Київ: НАУ, 2018. – 200 с.
2. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.
3. Nevliudov, Igor, Oleksandr Tsybmal, and Artem Bronnikov. "Intelligent means in the system of managing a manufacturing agent." *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries* 1 (3) (2018): 33-47.

Научный руководитель: Токарева Елена Витальевна, к.т.н., доцент кафедры КИТАМ Харьковского национального университета радиоэлектроники

УДК 621.3.019; 539.5

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ГНУЧКИХ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Ю.М. Піцур, В. К. Матюшенко, А. А. Скрипкин
Харківський національний університет радіоелектроніки
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14
E-mail: ITZR-18-1@nure.ua

В роботі досліджено переваги гнучких комутаційних структур над традиційними жорсткими та гнучко-жорсткими друкованими платами, розглянуті передумови їх створення та застосування в існуючих та нових пристроях, які можуть бути зігнутими, прокатаними, складеними і розтягнутими при збереженні функціональної цілісності

Ключові слова: технічні засоби автоматизації, гнучкі комутаційні структури, сфера застосування