

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Имени АБУ РАЙХАНА БЕРУНИЙ

УДК 681.518.5

На правах рукописи

ЭРГАШЕВ Бахтиёр Исмаилович

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И
УПРАВЛЕНИЯ

Специальность: 5А521811 - «Техническая диагностика и надежность систем
управления»

Диссертация на соискание академической степени
магистра технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук
доцент Арифжанов А.Ш.

Ташкент - 2012

Введение

Актуальность работы.

Техническая диагностика изучает методы получения и оценки диагностической информации, диагностические модели и алгоритмы принятия решений. Целью технической диагностики является повышение надежности и ресурса технических систем. Как известно, наиболее важным показателем надежности является отсутствие отказов во время функционирования (работы) технической системы. Отказ авиационного двигателя в полетных условиях, судовых механизмов во время плавания корабля, энергетических установок в работе под нагрузкой может привести к тяжелым последствиям.

Техническая диагностика благодаря раннему обнаружению дефектов и неисправностей позволяет устранить подобные отказы в процессе технического обслуживания, что повышает надежность и эффективность эксплуатации, а также дает возможность эксплуатации технических систем ответственного назначения по состоянию.

Проектирование систем диагностирования технических объектов включает в себя решение всех вопросов, составляющих проблему технической диагностики для систем и устройств, отличающихся определенным назначением, технически специфичных. Такими объектами являются автоматические и автоматизированные системы управления. Идеологию проектирования в связи с изложенным рассмотрим с позиций анализа задач, доставляющих, проблему диагностирования для указанных систем. Это анализ объектов диагностирования, методы определения работоспособности и поиска неисправности, методика нахождения оптимальных структурных и технических решений комплекса аппаратура диагностирования — объект диагностирования.

Рост степени автоматизации привел к тому, что требования к условиям эксплуатации систем (автономность, ремонтпригодность) стали более жесткими. Повысилась и роль (ответственность) систем, поскольку

подавляющее большинство ответственных функций: сбор информации, обработка информации, управление техническими средствами — возлагается на автоматические и автоматизированные системы управления. Автоматические и автоматизированные системы перешли в категорию сложных систем.

Для сложных систем требования по обеспечению надежности наиболее важны. С другой стороны, усложнение систем и рост степени автоматизации затрудняют выполнение этих требований, поскольку конструктивные, схемные и технологические возможности повышения надежности принципиально ограничены. Очевидный путь устранения этих противоречий — это установление принципов, разработка методов и выбор средств контроля работоспособности и поиска дефекта, т. е. решение задач технической диагностики.

Объект исследования.

В качестве объекта исследования рассматривается состояния, изменения параметров и работы узлов системы контроля и управления насосных станций, и других объектов контроля и управления.

Цель диссертационной работы.

Разработка технических средств диагностирования электронных схем автоматического контроля и управления.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

- Классификация методов диагностики состояния узлов технических средств систем контроля и управления;
- Анализ методов, средств контроля и технической диагностики узлов, электронных схем АСУ ТП;
- Разработка структурной схемы системы диагностики и визуализации состояния узлов систем контроля и управления;
- Разработка структурной схемы дистанционной системы визуализации информации параметров сосредоточенных и рассредоточенных объектов контроля и управления;

- Выбор программных средств визуализации информации;
- Выбор технических средств (датчиков, преобразователей) системы диагностики АСУ ТП;
- Анализ погрешностей преобразования информации;
- Исследование и расчет основных характеристик охранной следящей системы;

Методы исследований.

В данной магистерской диссертации использованы следующие методы: метод системного анализа; инженерные методы выбора и проектирования технических систем контроля и управления; теория расчета погрешностей измерения и методы исследования динамических характеристик узлов системы контроля и управления.

Научная новизна.

Проведенная классификация методов технической диагностики и визуализации информации объектов контроля и управления;

- Структурные схемы системы технической диагностики работы узлов АСУ ТП ;

- Структурная схема дистанционной системы технической диагностики изменении параметров (состояния) работы узлов для сосредоточенных и рассредоточенных объектов контроля и управления;

- Выбранные программные средства визуализации информации;

- Передаточные функции звеньев охваченной обратной связью и характеристическое уравнение системы, дающий возможность оценить устойчивость работы системы визуализации.

На защиту выносятся:

- Структурная схема системы технической диагностики и визуализации состояния блоков, узлов АСУ ТП;

- Структурная схема дистанционной системы технической диагностики и визуализации изменения параметров (состояния) узлов АСУ ТП для сосредоточенных и рассредоточенных объектов контроля и управления;
- Методы и средства технической диагностики работы узлов АСУ ТП;
- Методы уменьшения погрешностей преобразования информации;
- Характеристические уравнение системы для исследования устойчивости работы системы визуализации.

Практическая ценность.

Практическая ценность заключается в выборе и разработке структурных схем систем местного и дистанционного контроля и диагностики состояния технических средств узлов АСУ ТП для сосредоточенных и рассредоточенных объектов контроля и управления. Предложенную систему технической диагностики изменения параметров и состояния узлов АСУ ТП можно успешно использовать для визуализации состояния цехов ОАО “АГМК”, насосных станций, территории или объектов охранной службы.

Публикации.

По результатам выполненных разработок и исследований опубликованы две статьи и сделан один доклад.

Объем и структура работы.

Данная диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы и приложения.

Во введении обоснована актуальность темы магистерской диссертации, перечислены цели и задачи исследования.

В первой главе диссертационной работы проведен классификация методов визуализации работы технических средств АСУ ТП и объектов контроля и управления. При этом установлено, что методы визуализации информации разделены на две большие группы: визуализация состояния узлов, блоков АСУ ТП и визуализация изменения технологических параметров объектов. Кроме этих, системы визуализации состояния узлов, блоков АСУ ТП

и изменении параметров технологических процессов может быть разделены на сосредоточенные и рассредоточенные объекты с дистанционной передачей видеоизображений и сигналов.

На основе анализа проведенных классификаций методов диагностики сформулированы цели и задачи исследования.

Вторая глава магистерской диссертации посвящена разработке и описанию принципов построения и работы структурных и принципиальных схем устройств диагностики узлов АСУ ТП, для местной и дистанционной системы визуализации состояния и изменении параметров сосредоточенных и рассредоточенных объектов контроля и управления. В этой главе приведена алгоритм работы диагностического устройства.

Структурная схема системы контроля и диагностики состоит из группы бесконтактных датчиков, преобразователей, микроконтроллера, запоминающих устройств и других блоков.

Третья глава магистерской диссертации посвящена выбору, анализу и исследованию бесконтактных преобразователей для диагностики изменении состояния параметров электронных схем, блоков, узлов АСУ ТП. В этой главе изучены характеристики преобразователя индукционных магниточувствительных элементов, а также проведен анализ и исследования коэффициента преобразования индукционных магниточувствительных элементов. Для преобразования параметров электронных схем выбраны магниточувствительные элементы с разомкнутым и замкнутыми сердечниками. В этой главе диссертационной работы для дистанционного визуального контроля и диагностики технического состояния узлов АСУ ТП выбрана видеокамера сетевого наблюдения для охранной сигнализации, описаны возможности выборной высокоскоростной купельной камеры STC – 3905, обладающая 4 – тревожные входы с датчиков, релейные контакты и управляющий вход с возможностью дистанционной передачи видеоинформации.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена практическому применению логических функций для контроля и диагностики надежности работы узлов АСУ ТП. При этом для диагностики изменения состояния узлов, блоков АСУ ТП использован Булева функция, основанная на логических элементах «1», «0». При этом диагностика по расстоянию в пространстве признаков основано на распознавании изменения состояния параметров узлов, блоков АСУ ТП по методу эталонов. В этой главе проведен анализ методических погрешностей бесконтактного измерения электрических напряжений. В связи с этим исследованы вопросы погрешности, обусловленные изменением расстояния до проводника, погрешность измерения от влияния потенциалов соседних проводников и т.д.

В приложении диссертационной работы проведена исследования и расчет основных характеристик охранной следящей системы на базе выбранной видеокамеры STC – 3905. Для исследования устойчивости охранной следящей системы, согласно построенной структурной схемы была построена передаточная функция звеньев охваченной обратной связью. Далее была построена характеристическое уравнение системы, определены коэффициенты характеристического уравнения. По полученным расчетным данным построены кривые Михайлова, в результате которого установлено, что система находится на границе устойчивости.

В заключении диссертационной работы приведены основные полученные результаты.

Глава 1. МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ РАБОТЫ УЗЛОВ АСУ ТП

1.1. Взаимосвязь диагностики с надежностью и качеством функционирования средств автоматизации

Качество системы автоматизации есть совокупность ее свойств, обуславливающих пригодность системы удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением [32, 37, 41]. Одним из показателей качества является показатель надежности как безотказности, долговечности, сохраняемости, ремонтпригодности. Наиболее важными принципами, методами и средствами обеспечения надежности являются:

- выбор, совершенствование и создание новых материалов;
- поиск и реализация новых физических принципов работы систем автоматизации;
- реализация новых видов энергии и способов ее преобразования;
- создание защитных условий применения систем в условиях тяжелых внешних воздействий;
- совершенствование технологий производства;
- применение различных видов резервирования и избыточности;
- реализация мероприятий, повышающих эффективность получения, обработки и использования информации (применение защитных и помехозащищенных кодов, разработка качественного математического обеспечения).

Необходимо отметить, что мероприятия аппаратурного и информационного направления по повышению надежности имеют своей целью устранение дефектов, которые приводят к неправильной работе. Такие мероприятия «маскируют» дефекты из-за аппаратурной и информационной избыточности. Обнаружить дефекты при этом весьма трудно. По мере увеличения количества дефектов возможно проявление различного вида отказов системы. При этом безотказность системы будет ниже, чем безотказность при

отсутствии избыточности. Вместе с тем необходимо осуществлять поиск неисправностей в условиях резервирования системы с целью поддержания ее защитных свойств.

Резервирование (от лат. *reservo* — сберегаю, сохраняю) — метод повышения надежности системы путем применения структурной, функциональной, информационной и временной избыточности по отношению к минимально необходимой и достаточной для выполнения системой заданных функций.

Избыточность — наличие у системы возможностей сверх минимально необходимых для нормального функционирования. При диагностике систем должны решаться вопросы определения технического состояния объекта за счет определения исправности, работоспособности, правильности функционирования и поиска дефектов на всех этапах производства и эксплуатации систем.

Диагностическое обеспечение должно закладываться на стадии проектирования, обеспечиваться на стадии производства и поддерживаться на стадии эксплуатации. Идеальная полнота обнаружения и глубина поиска дефектов систем не всегда достижимы из-за невозможности получения необходимой информации, либо по технико-экономическим соображениям. Особенно нежелательна бесконтрольная неполнота обнаружения дефектов, когда неизвестно, какие возможные дефекты не обнаруживаются.

Современным средством проверки является моделирование поведения системы как в исправном состоянии, так и при наличии в ней дефектов. Такое моделирование называется диагностическим.

1.2. Тестовое диагностирование [37].

Тест (англ. *test* — проба, испытание, исследование) — задание с известным решением, предназначенное для проверки качества системы. Задача построения теста состоит в том, чтобы найти такую совокупность и последовательность входных воздействий, при подаче которой на объект диагностирования получаемые ответы объекта в заданных контрольных точках позволяют делать

заключение о его техническом состоянии. Проверяющие тесты предназначены для проверки исправности или работоспособности объекта, а тесты поиска дефектов — для указания места и, возможно, причин дефектов, нарушающих исправность и работоспособность объекта диагностирования. Для дискретных объектов тесты (их алгоритмы) строятся либо по структурным, либо по функциональным моделям. Тесты могут быть как строго определенными (детерминированными) так и вероятностными (псевдослучайные входные воздействия также относятся к последним). В качестве тестовых могут быть использованы входные воздействия, являющиеся рабочими при применении системы по назначению. Такие тесты называют функциональными. Однако необходимо помнить, что функциональные тесты пригодны только для проверки работоспособности объектов, так как обеспечиваемая ими полнота обнаружения и глубина поиска дефектов явно недостаточны для проверки исправности и поиска дефектов. Другой стороной тестового диагностирования являются задачи выбора и разработки средств реализации тестов. Средства тестового диагностирования содержат две основные части — генератор тестовых воздействий и анализатор ответов объекта на тестовые воздействия. Чаще всего генератор и анализатор функционально и конструктивно выполняют отдельно друг от друга. Генератор хранит и создает (генерирует) тесты и подает их на объект диагностирования. Анализатор хранит полученные ответы, сравнивает фактические ответы с ожидаемыми и выдает результат — диагноз. Часто анализатор представляет собой совокупность эталона (исправная копия объекта) и схему сравнения. Также часто часть функций генератора и анализатора возлагается на человека.

1.3. Функциональное диагностирование [37].

Функциональное диагностирование может осуществляться как непрерывно, так и периодически или эпизодически. При функциональном диагностировании необходимо четко определить:

- понятия исправности, работоспособности, правильности

функционирования по отношению к конкретным функциям и условия применения объекта;

- типы и перечни дефектов, подлежащих обнаружению и поиску при диагностировании;
- распределение задач диагностики по периодам жизненного цикла объекта;
- алгоритм функционального диагностирования и его виды;
- глубину функционального диагностирования;
- средства (аппаратурные, программные, автоматические или ручные, специализированные или универсальные, внешние или встроенные) функциональной диагностики.

Для формирования алгоритмов систем функционального диагностирования (СДФ) используются математические модели, как самого объекта, так и его неисправностей. Устанавливается связь между степенью развития неисправностей и дефектов и поведением измеряемых нужных параметров. Как правило математические модели (ММ) элементов системы — это совокупность дифференциальных и алгебраических уравнений, эмпирические формулы, таблицы, графики, описывающие элемент, а также связи между внутренними и внешними управляющими и возмущающими параметрами. Различают ММ с заложенной в них информацией об неисправности, так и без нее.

1.4. Технические средства диагностики

Средства, с помощью которых осуществляется диагностирование технического состояния объекта, называются техническими средствами диагностирования [31, 32, 37, 38, 39, 40, 41]. Средства могут быть аппаратными или программными, внешними или встроенными, ручными, автоматизированными или автоматическими, специализированными или универсальными и т.д. В качестве средств диагностирования может выступать оператор — человек, контролер, наладчик. Выбор и разработка средств тестового

диагностирования должны осуществляться с учетом многих факторов: наличия серийного выпуска требуемых средств, наличия подходящих средств на заводе-изготовителе, массовости выпуска объекта и его сложности, требуемых качеств средства (точности, производительности, надежности и т.д.).

Средства функциональной диагностики являются, как правило, встроенными и создаются одновременно с объектом. Для сложных объектов существенными становятся проблемы повышения контролепригодности. Контролепригодность — свойство объекта, характеризующее его приспособленность к проведению контроля заданными средствами (ГОСТ 19919—74). Уровень контролепригодности объектов определяет степень эффективности решения задач тестового диагностирования их технического состояния, влияет на производительность процесса их производства и качество. При эксплуатации уровень контролепригодности определяет их коэффициент готовности и затраты, связанные с ремонтом. Коэффициент готовности — показатель надежности ремонтируемых объектов, характеризующий вероятность того, что объект будет работоспособен в произвольно выбранный момент времени в промежутках между выполнениями планового технического обслуживания.

$$K_G = T / (T + T_B),$$

где T — наработка на отказ; T_B — среднее время восстановления работоспособности.

Вместе с тем дополнительные технические средства диагностирования делают объект более дорогим и менее надежным и тоже должны диагностироваться. Контролепригодность обеспечивается преобразованием структуры проверяемого объекта к виду, удобному для проведения диагностирования. Для этого в объект еще на этапе его проектирования и конструирования вводят дополнительные элементы (аппаратуру) — встроенные средства тестового диагностирования. К встроенным средствам тестового диагностирования можно отнести:

- дополнительные контрольные точки;
- дополнительные входы для блокировки сигналов и задания требуемых значений сигналов;
- аппаратные средства, которые при диагностике изменяют структуру объекта;
- аппаратные средства, которые генерируют тесты и анализируют результаты.

Технические средства для диагностики сложного автоматизированного технологического оборудования в зависимости от назначения подразделяются на строенные и внешние. Внешние системы (средства) диагностики в свою очередь могут быть мобильными и стационарными. Мобильные средства предназначены для контроля параметров и диагностирования объектов при приемосдаточных испытаниях, при эксплуатации и ремонте. Стационарные (стенды) используются в основном для исследования и испытания объектов в процессе их создания.

При разработке и использовании технических средств диагностики (ТСД) важнейшее значение имеет метрологическая подготовка и обеспечение метрологического обслуживания средств, включающие проверки (атестацию), юстировку и ремонт этих средств. Юстировка (от нем. *justieren* — выверять, регулировать; от дат. *Justus* — правильный) — совокупность операций по доведению погрешностей средств измерений, приборов, механизмов до значений, соответствующих техническим требованиям. Таким образом, основная цель применения ТСД — обеспечение качества оборудования систем автоматизации при его выпуске и эксплуатации путем своевременного и достоверного контроля технического состояния, качества сборки, наладки и регулировки, качества выполнения основных функций при эксплуатации, а также обнаружение, локализация и последующее исправление дефектных состояний агрегатов, модулей, узлов и элементов изделия и установления причин их появления. Назначение ТСД — определение с заданной достоверностью, регистрация и принятие решения о соответствии или несоответствии текущего технического состояния контролируемого оборудования номинальному.

Наиболее часто ТСД используются для реализации следующих методов диагностирования:

- метод временных интервалов;
- метод контрольных осциллограмм;
- метод контроля параметров.

Метод временных интервалов направлен на контроль времени цикла работы системы автоматизации, а также его отдельных составляющих. Для диагностирования сложных систем автоматизации применяют метод контрольных (эталонных) осциллограмм. Метод основан на использовании графиков функций различных параметров во времени, на основании анализа которых делается заключение о работоспособности и техническом состоянии системы и ее отдельных элементов. Метод контроля параметров сводится к определению (измерению) тех или иных параметров, нахождение которых в установленных границах определяет работоспособность системы или ее отдельных элементов.

1.5 Алгоритм задачи и структура технической диагностики

1.5.1. Основные задачи технической диагностики.

Техническая диагностика решает обширный круг задач, многие из которых являются смежными с задачами других научных дисциплин. Основной задачей технической диагностики является распознавание состояния технической системы в условиях ограниченной информации [37, 48, 49].

Техническую диагностику иногда называют безразборной диагностикой, т. е. диагностикой, осуществляемой без разборки изделия. Анализ состояния проводится в условиях эксплуатации, при которых получение информации крайне затруднено. Часто не представляется возможным по имеющейся информации сделать однозначное заключение и приходится использовать статистические методы.

Теоретическим фундаментом для решения основной задачи технической диагностики следует считать общую теорию распознавания образцов. Эта

теория, составляющая важный раздел технической кибернетики, занимается распознаванием образов любой природы (геометрических, звуковых и т. п.), машинным распознаванием речи, печатного и рукописного текстов и т. д. Техническая диагностика изучает алгоритмы рассматривания применительно к задачам диагностики, которые обычно могут рассматриваться как задачи классификации.

Алгоритмы распознавания в технической диагностике частично основываются на диагностических моделях, устанавливающих связь между состояниями технической системы и их отображениями в пространстве диагностических сигналов. Важной частью проблемы распознавания являются правила принятия решений. Решение диагностической задачи всегда связано с риском ложной тревоги или пропуска цели. Для принятия обоснованного решения целесообразно привлекать методы теории статистических решений, разработанные впервые в радиолокации.

Решение задач технической диагностики всегда связано с прогнозированием надежности на ближайший период эксплуатации (до следующего технического осмотра). Здесь решения должны основываться на моделях отказов, изучаемых в теории надежности.

Вторым важным направлением технической диагностики является теория контролеспособности. Контролеспособностью называется свойство изделия обеспечивать достоверную оценку его технического состояния и раннее обнаружение неисправностей и отказов. Контролеспособность создается конструкцией изделия и принятой системой технической диагностики.

Крупной задачей теории контролеспособности является изучение средств и методов получения диагностической информации.

В сложных технических системах используется автоматизированный контроль состояния, которым предусматривается обработка диагностической информации и формирование управляющих сигналов. Методы проектирования

автоматизированных систем контроля составляют одно из направлений теории контролеспособности. Наконец, очень важные задачи теории контролеспособности связаны с разработкой алгоритмов поиска неисправностей, разработкой диагностических тестов, минимизацией процесса установления диагноза.

1.5.2. Структура технической диагностики.

На рис. 1.1. показана структура технической диагностики. Она характеризуется двумя взаимопроникающими и взаимосвязанными направлениями: теорией распознавания и теорией контролеспособности. Теория распознавания содержит разделы, связанные с построением алгоритмов распознавания, решающих правил и диагностических моделей. Теория контролеспособности включает разработку средств и методов получения диагностической информации, автоматизированный контроль и поиск неисправностей. Техническую диагностику следует рассматривать как раздел общей теории надежности [37, 49].

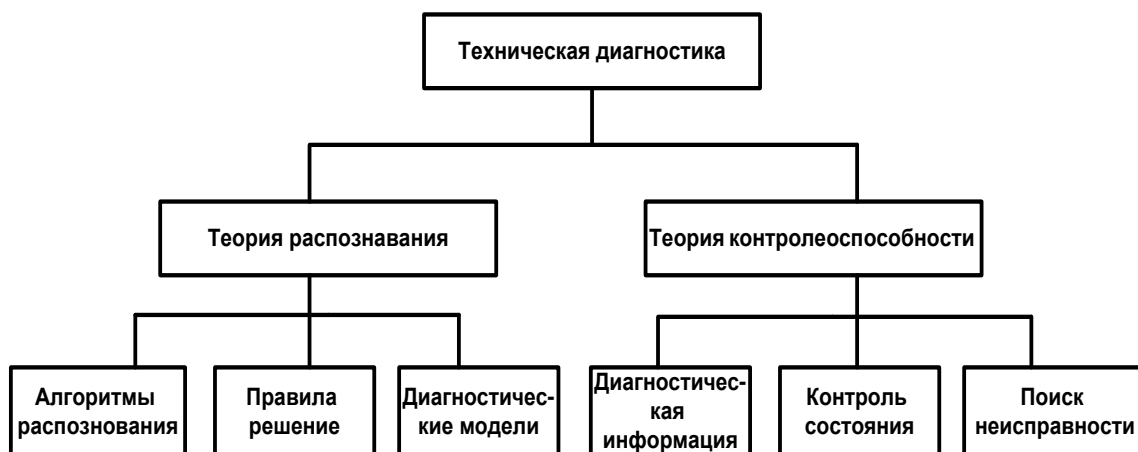


Рис. 1.1. Структура технической диагностики

1.6. Классификация методов и параметров визуализации информации объектов контроля и управления

1.6.1. Классификация методов визуализации информации объектов контроля и управления

Систему визуализации информации и диагностики состояния объектов можно классифицировать по различным признакам, способам контроля,

методами визуализации, по используемым элементным базам и т.д. На рис. 1.2. приведена общая классификация методов визуализации информации контролируемых объектов [49]. Как видно из рис. 1.2. методы визуализации информации делятся на: визуализацию общего состояния системы контроля и регулирования параметров технологических процессов и на методы визуализации режимов работы, параметров характеристик узлов систем контроля регулирования параметров, технологических процессов. В свою очередь визуализация информации может быть местным и дистанционными, визуализации информации можно осуществить в статическом и динамическом режимах работы систем контроля и регулирования.

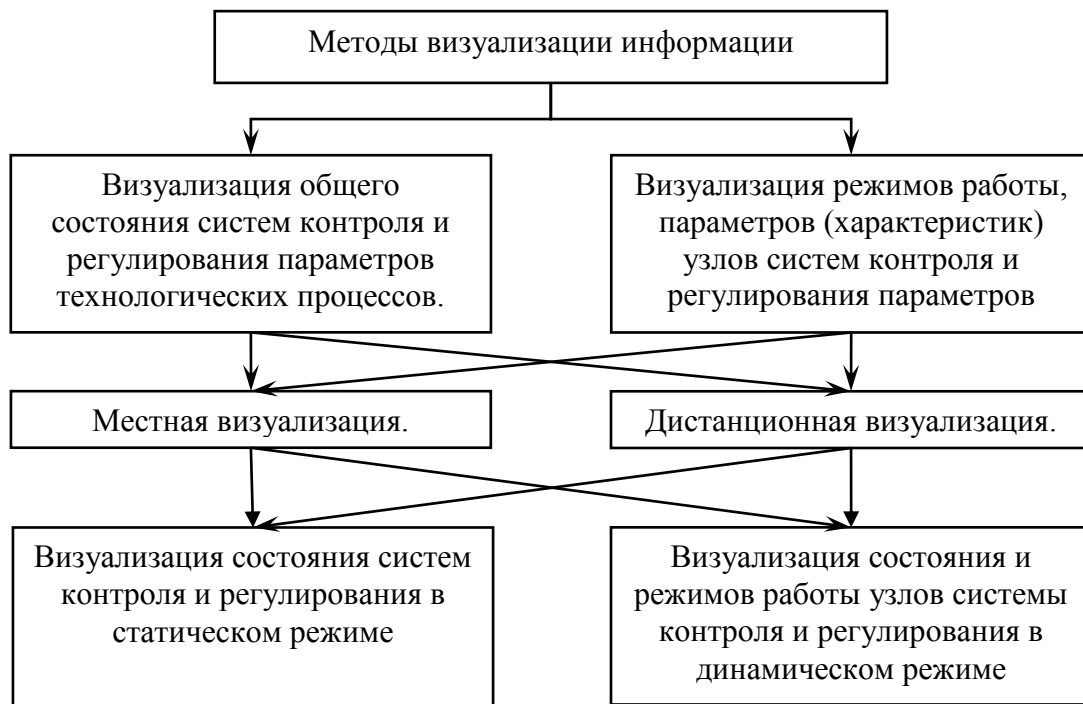


Рис. 1.2. Общая классификация методов визуализации информации контролируемых объектов.

На рис.1.3. приведена классификация методов визуализации параметров контролируемых объектов. При этом визуализацию в динамическом виде можно осуществить в виде световой индикации (дискретная визуализация); в табличном и в графическом видах (аналоговая визуализация).



Рис. 1.3. Классификация методов визуализации параметров контролируемых объектов.

На рис. 1.4. приведена классификация системы визуализации состояния объектов контроля и управления.



Рис. 1.4. Классификация систем визуализации состояния автоматизированных устройств, систем контроля и регулирования параметров технологических процессов.

1.7. Цели и задачи исследования

Визуальный контроль состояния исследуемых объектов несут богатую информацию относительно дистанционного контроля состояния как систем контроля и регулирования так и работоспособности узлов контролируемых и управляемых объектов. Визуальный контроль даёт возможность оперативно оценить общее состояние контролируемого и управляемого объекта, оперативно обнаружить неисправностей механических частей, изменении режимов работы, работоспособности наиболее ответственных узлов оборудования, например: двигателей, движущихся частей механизмов, транспортеров, текстильных оборудований и т.п.

Системы визуализации информации очень полезны и даёт большой экономический эффект в охранной службе для оперативного обнаружения и предотвращения пожаров; хищении государственных или собственных имущества; угона машин; нарушении Государственных границ; исследовании надземных ископаемых и т.д.

С другой стороны дистанционный визуальный контроль: изменения режимов работы, изменения параметров системы контроля и регулирования, необходимость наблюдения процессов протекающих в наиболее ответственных узлах самой системы контроля и управления является первоочередной задачей.

Анализ методов наблюдения, визуализация информации и визуальное наблюдение состояние объектов показали о необходимости усовершенствования известных методов, разработки и исследования новых средств и систем визуального контроля и диагностики работоспособности технических средств контроля и регулирования параметров технологических процессов.

Таким образом преимущества которыми должна обладать измерительная часть.

- Универсальность. Возможность определять изменения параметров без замены чувствительных элементов и настройки прибора на эти параметры.
- Чувствительность прибора на уровне до единиц объемных процентов.
- Необходимость обработки результатов измерения на месте и передачи в центральный блок только готовых результатов.
- Возможность работы как в составе системы так и автономно.
- Совместимость информационных протоколов прибора со стандартом RS-232.
- Модульное построение.
- Малые габариты.
- Низкое энергопотребление.

Основными направлениями в разработке и использовании состоянии датчиков являются разработки (применение):

- Датчиков ёмкости между соединительными печатными проводниками;
- Датчиков индуктивности между соединительными печатными проводниками;
- Датчиков напряжённости магнитного поля печатных плат электронных схем;
- Датчиков органических газов;
- Датчиков измерение температуры на поверхностях плат электронных схем, блоков и т.;
- Датчиков искры между соединительными проводами и контактами;
- Датчиков дымности.

В отличие от остальных комплектующих приборов, при выборе датчиков состояния следует принимать во внимание соображения доступности тех или иных приборов(цена, возможность приобретения).

Основные требования, предъявляемые к датчику:

1. Повторяемость результатов измерений, контроля при замене датчика.
2. Низкая тепловая инерционность;
3. Малая реакция на случайных помех.

Преимущества которыми должна обладать микроконтроллерная измерительная часть:

- * Совместимость уровней и длительностей сигналов с остальными блоками системы экологического мониторинга.
- * Возможность прямой адресации не менее 64 К Байт внешней памяти.
- * Удобство при программировании.
- * Минимальное количество периферийных элементов.
- * Невысокая стоимость.
- * Большая информационная емкость.

В связи с этим перед нами была поставлена задача: выбрать, разработать систему и технические средства обеспечения визуализации информации как с ближнего действия так и дистанционного расстояния. При этом выбираемая или разрабатываемая система визуализации информации должна нормально функционировать при следующих условиях эксплуатации:

- температура окружающей среды, °Сот 5 до 70;
- влажность окружающей среды, % от 20 до 80;
- режимы работы:
- циклическая передача информации;
- спорадическая передача информации т.е. согласно заданного интервала времени;
- устройства должны быть защищены от проникновения пыли и влаги; а также от влияния электромагнитных или других помех;
- надежность работы системы должна быть выше0,95.

Разрабатываемая система (устройство) видеонаблюдения должна обладать:

- повышенной разрешающей способностью;
- легкую конструкцию;
- малыми габаритами;
- высокой надежностью;
- формировать изображения с наименьшими искажениями;
- малой потребляемой мощностью;
- дистанционной передачи информации;
- четкость изображения и т.д.

Разрабатываемая система визуализации контроля и диагностики параметров технологических процессов, а также изменения параметров узлов системы контроля и визуализации должна обеспечить:

- оперативного контроля и диагностики изменения динамических характеристик режимов работы систем контроля и регулирования параметров технологических процессов,

- контроль изменении электрических параметров системы контроля и регулирования; изменении тока; напряжении; мощности в электрических цепях и по этим параметрам производить диагностику надежности работы системы контроля и регулирования.

В разрабатываемой системе контроля, диагностики информации должны применяться современные видеокамеры, датчики и преобразователи информации, обладающие высокой чувствительностью, надежностью работ и т.д.

Выводы

1. В результате изучения известных методов и систем контроля и управления работы технологических процессов и других объектов проведена классификация методов контроля и диагностики объектов контроля и управления.

2. Установлено, что способы визуализации информации разделяются на две большие группы: визуализация состояния объектов и визуализация изменения технологических параметров объектов (технологических процессов). В свою очередь эти группы разделяются на местные и дистанционные системы визуализации. Кроме этого, визуализация состояния и изменения параметров объектов бывает для сосредоточенных и рассредоточенных объектов.

3. Приведены конкретные электрические и неэлектрические параметры и состояния объектов, подлежащие дистанционному контролю и управлению например: состояния; насосных станций; параметров железнодорожного тоннеля; нефтеперекачивающей; станции; тепловой электростанции и т.д.

4. На основе проведенных работ разработана постановка задачи исследования, приведены технические требования разрабатываемой системе визуализации информации.

5. Установлено взаимосвязь диагностики, надежностью и качеством функционирования средств автоматизации. Предсказание изменение параметров, режимов работы узлов систем контроля и регулирования даёт

возможность своевременно принять меры по устранению неисправностей и повысить надежность работы узлов АСУ ТП.

6. В результате изучения известных методов контроля и диагностики режимов работы а также изменения состояния блоков, узлов, систем контроля и управления установлено, что основными методами диагностики являются: тестовое диагностирование; функциональное диагностирование технические средства диагностики.

Глава 2. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ И АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИИ УЗЛОВ АСУ ТП.

2.1. Структурная схема устройство диагностики узлов АСУ ТП (КИП).

Один из вариантов обобщенной структурной схемы дистанционной системы контроля и диагностики изменение состояния узлов, блоков появления неисправности в работе узлов системы контроля и управления электронных схем приведена на рис. 2.1.

Система содержит: группы датчиков контроля изменении состояния контролируемых узлов, блоков или всей системы АСУ ТП; группа пороговых – сравнивающих блоков (компараторов), выявления изменения состояния, режимов работы контролируемых узлов, блоков, электронных схем или всей системы АСУ ТП; мультиплексор, поочередно коммутирующий выходов компараторов к входу (входам) микроконтроллера; Микроконтроллер, микроконтроллер предназначен для приема, обработки и выдачи обработанных данных на дисплей в удобном виде для оценки состоянии контролируемых объектов, микроконтроллер работает согласно заранее заложенной программы и управляет работы всей системы; Оперативного запоминающего устройства (ОЗУ). ОЗУ предназначен для временного хранения рабочих управляющих программ, обработанных данных и т.п.; Постоянное запоминающей устройство (ПЗУ). ПЗУ предназначен для хранения заданных значений управляющих программ, а также подпрограмм для организации сравнения заданных значений с измеренными данными; Дешифратор адреса периферийных устройств (ДШАПУ). Дешифратор адреса периферийных устройств предназначен для облегчения работы программы (разгрузки программы). Упрощает определить видов датчиков, подключенные к входу мультиплексора, а также делать селекции (во время выдачи обработанных данных на дисплей) обработанных данных по выдам (номерам) контролируемых узлов (объектов). Кроме этих блоков обобщенная система контроля работы узлов АСУ ТП или КИП

содержит многоцветный дисплей; блок клавиатуры; интерфейс связи RS-232 для дистанционной передачи информации на диспетчерский пункт (центральный пункт).

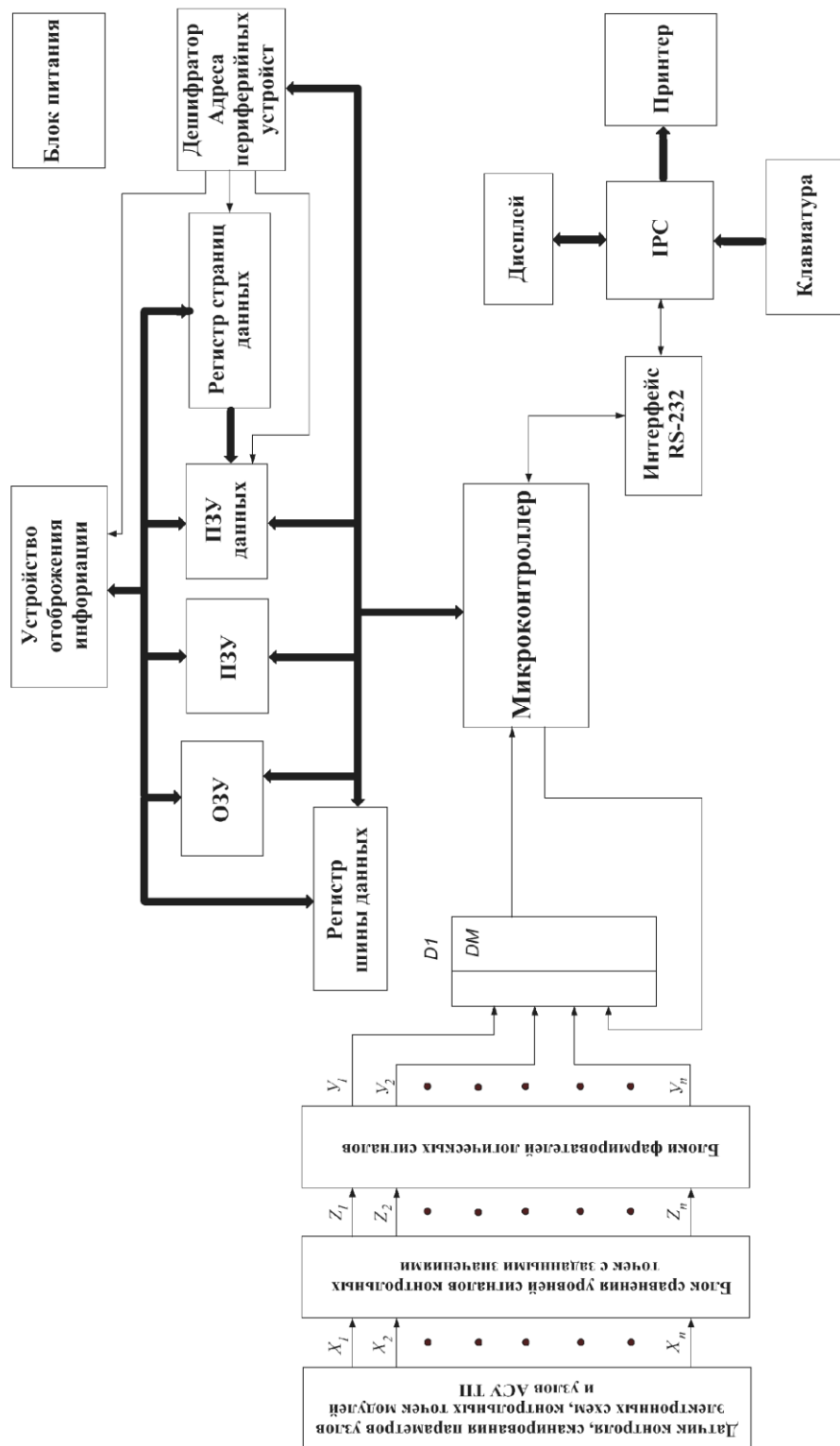


Рис. 2.1. Структурная схема системы контроля и диагностики надежности работы блоков, электронных схем.

В качестве датчиков можно использовать первичных преобразователей, преобразующие изменения ёмкости между проводами и соединительными линиями участках электронных схем; появления искри на печатных проводниках или на выходе электронных блоков; появления сбоев блоках вычисления или обрывов и коротких замыканий блоков АСУ ТП или блоков системы контрольно-измерительных приборов.

Процессорная часть прибора. Основу процессорной части прибора составляет микроконтроллер AT89C51(D) [22, 38, 39, 29, 58, 59]. Шина данных микропроцессора 8 битная, коммутируемая т.е. адрес и данные передаются по одной шине. Для выделения младшего байта адреса используется регистр D2. Программа работы прибора храниться в ПЗУ программ D5. регистр D2 фиксирует состояние шины адрес-данные по переходу сигнала ALE из высокого в низкий логический уровень. Считывание из ПЗУ слова программы происходит по переходу сигнала PSEN из высокого в низкий логический уровень. При разработке измерительной части в качестве микросхем АЦП и усилителя были выбраны микросхемы AD7896 и AD820 соответственно подбор элементной базы измерительной части прибора проводится по линейности работы измерительной части, состоящий из АЦП AD7896 и различных типов ОУ. Лучший линейностью среди проверенных наборов обладает набор ОУ AD820. АЦП поддерживает последовательный протокол обмена данными, что позволила сократить размеры схемы и ограничит число интерфейсных соединений. Уровни выходных сигналов этой микросхемы совпадают со стандартными уровнями сигналов ТТЛ, что избавляет от применения согласующих цепей.

В зависимости от видов контролируемых параметров датчики - первичные преобразователи устанавливаются (размещаются) на местах контроля. Например, для контроля изменения ёмкости между соединительными проводниками печатных платах или изменения магнитного поля на этих или других печатных платах, первичные преобразователи размещаются вблизи

контролируемых участках и отдельными экранированными проводами соединяется с соответствующими пороговыми сравнительными блоками.

Принцип работы предложенной системы контроля и диагностики заключается в следующем.

В исходном состоянии, т.е. когда контролируемые блоки, узлы автоматизированной системы контроля и управления работают нормально на входах первичных преобразователей – датчиков будут отсутствовать сигнал, или будет сигнал, уровень которого будет соответствовать нормальному значению. Тогда на соответствующем выходе порогового – сравнивающего узла будет логический сигнал «0».

В случае появления дефектов на электронных схемах печатных платах или блоках обработки сигналов на соответствующих выходах первичных преобразователей появляются сигналы, токи, напряжения, уровни которых превышают, заданные значение. Эти сигналы поступают на выходы соответствующих пороговых – сравнительных узлов, сравниваются с заданными значениями. Если уровень контролируемых сигналов окажется больше заданного то на выходе порогового – сравнительного узла появится логический сигнал «1», который поступает на соответствующий вход мультиплексора. Количество входов мультиплексора соответствует количеству датчиков контролируемых объектов. Работа мультиплексора управляется программно от микроконтроллера.

Например, при подачи управляющего сигнала (кода) 001 на управляющие входы мультиплексора коммутируется первый выход датчика (первый вход мультиплексора) к выходу мультиплексора (к входу микроконтроллера). Поступающий логические сигналы «0» или «1» принимаются микроконтроллером и записываются на соответствующие регистры массива памяти ОЗУ.

Для проведения диагностики блока или систему контроля и регулирования необходима иметь данные (логические сигналы) по нескольким параметром (точкам) контролируемого узлов, блоков или системы.

Диагностика надежности работы узлов удобно оценить на базе логических сигналов «0» и «1». Поэтому для диагностики работы узлов электронных схем или всей системы удобно применить теории булевой алгебры.

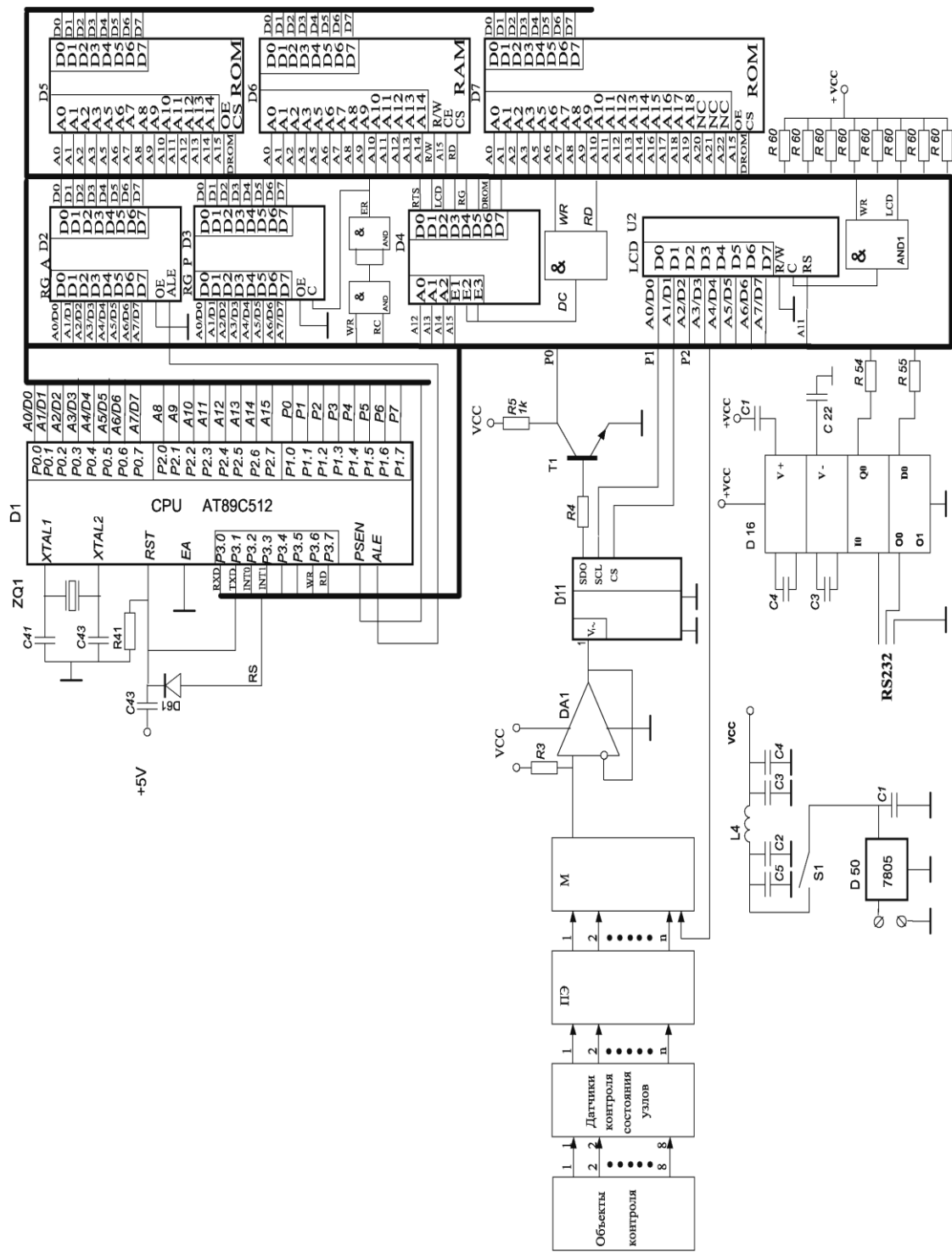


Рис.2.2. Принципиальная схема блока приёма и обработки информации диагностического устройства.

Настройка и калибровка системы диагностики

Процесс настройки диагностического прибора сводится к отладке процессорной части и программы работы, а так же к проверке работы измерительного блока. Подготовка измерительной части к работе заключается в проверке уровней сигналов контролируемых точек. Кроме того, необходимо проведение проверки длительности и равномерности интервалов между измерениями при снятии данных [9, 10, 18, 21].

Процесс калибровки проводится путем снятия (ввода) уровней заданных параметров на сенсоре, (датчиках) который затем будет установлен в приборе. Задание уровни сигналов снимаются сенсором, подключенным к ПЭВМ IBM PC и записываются в файл. В дальнейшем такие файлы можно использовать либо для проверки взаимозаменяемости сенсоров, либо для их метрологической проверки. Содержимое эталонных файлов записывается в ПЗУ данных прибора.

При изменении типа сенсора необходимо определить оптимальные для данного датчика длительностей снятия его показаний.

2.2. Алгоритм работы диагностического устройства

Алгоритм работы диагностического устройства, реализованный в помещенной в ПЗУ прибора программе работы прибора, состоит из трех основных блоков – блока снятия результатов измерений, блока обработки результатов и определения уровней сигналов и блока сравнения с заданными значениями [8, 9, 11, 30].

При разработке программы работы прибора большое внимание необходимо уделить сохранению одинаковых условий снятия данных на протяжении всего времени работы прибора. Для обеспечения воспроизводимости данных необходимо сохранение постоянной частоты снятия результатов измерений с АЦП. В алгоритме работы прибора снятие показаний АЦП происходят по прерыванию от внутреннего таймера микропроцессора.

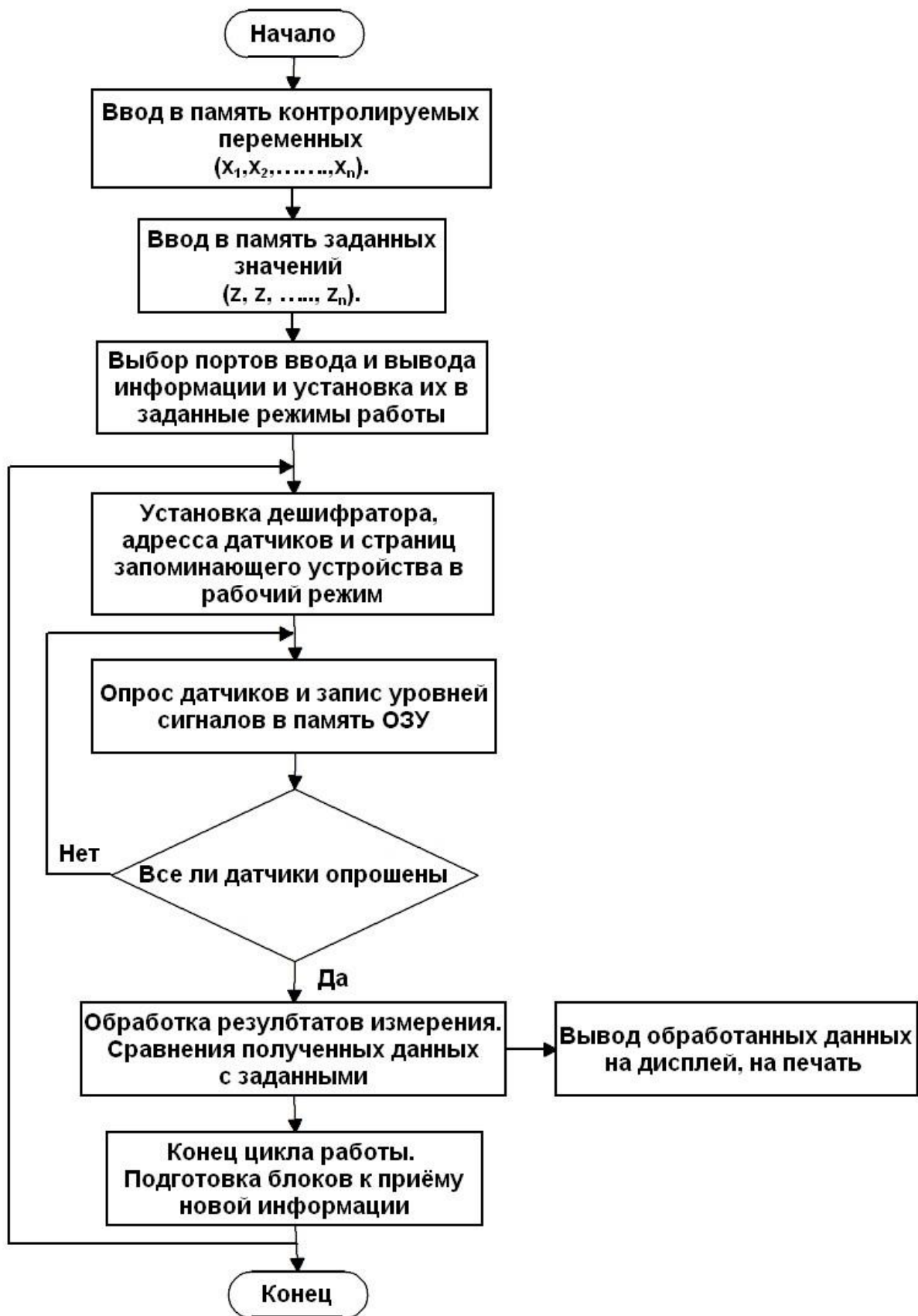


Рис. 2.3. Обобщенный алгоритм работы диагностического устройства.

Через строго определенные промежутки времени происходит сохранение данных с АЦП во внешней переменной. После того, как данные в этой переменной были обновлены, выставляется флаг “Новое измерение”.

Работа прибора начинается с предварительного прогревочного цикла датчиков. Во время снятия данных результаты измерений, полученные с АЦП, записываются в элементы массива в ОЗУ прибора. После записи очередного результата значение адреса в массиве увеличивается и сбрасывается флаг “Новое измерение”.

После того, как запись результатов в массив завершена, управление передается блоку обработки результатов. Первоначально снятые данные, полученные с АЦП, пересчитываются в проводимости сенсоров. Затем проводимости сенсоров и заданные данные пересчитываются в матрицу **М** и столбец свободных членов **В**.

Полученная система уравнений для каждого датчика решается методом прогонки. Полученные решения сравниваются с заданными. Если все решения положительны, то полученное решение пересчитывается в концентрации примесей. Задача в этом случае считается решенной. Если некоторые из полученных решений отрицательны – из матрицы **М** изымаются соответствующие строки и столбцы и процесс определения концентраций повторяется.

В третьем блоке (этапе) обработки информации вычисленные данные, поступающие из соответствующих датчиков сравниваются с их заданными (нормальными - рабочими) значениями. Если уровни полученных данных окажется больше с установленных то эти данные выводятся на дисплей или на печать в виде диагностических таблиц. По этим таблицам легко определить изменения уровней сигналов (емкости, магнитного поля, напряженности) на поверхности электронных схем, блоков по которым можно осуществить диагностику работы узлов, блоков АСУ ТП.

2.3. Структурные схемы и технические средства системы визуализации состояния работы узлов, систем контроля и управления

2.3.1. Структурные схемы местной системы визуализации состояния работы узлов, систем контроля и управления

Один из вариантов структурной схемы местного способа визуализации состояния сосредоточенных работы узлов, блоков, систем контроля и управления приведена на рис.2.4. Структурная схема состоит из: объектов контроля (ОК), камерной головки (Кг); микро ЭВМ; блок клавиатуры и управления (БКУ); Дисплей (Дисп). Схема имеет вывод для интерфейсной связи RS – 232 с вышестоящим пунктом контроля и управления. В качестве объектов контроля может быть любой объект, например: системы контроля и управления насосной станции; двигателей; цехов масложировых комбинатов или сахарного завода, водоемов; станки с числовым программным управлением и т.д. Посредством камерной головки осуществляется видео наблюдения изменения общего состояния и положения систем контроля и управления. При этом функцией камерной головки является копирования (экспозиция) состояния контролируемого объекта, преобразования видеоинформации на параллельные цифровые коды и передача их на вход микро ЭВМ. Микро ЭВМ согласно заложенной программы обрабатывает эти информации и выдает их на дисплей. Оператор, посредством дисплея имеет возможность полностью наблюдать изменения состояния объекта контроля. Блок клавиатуры и управления предназначен для изменения режима работы системы контроля и диагностики, регулированием положения камерной головки.

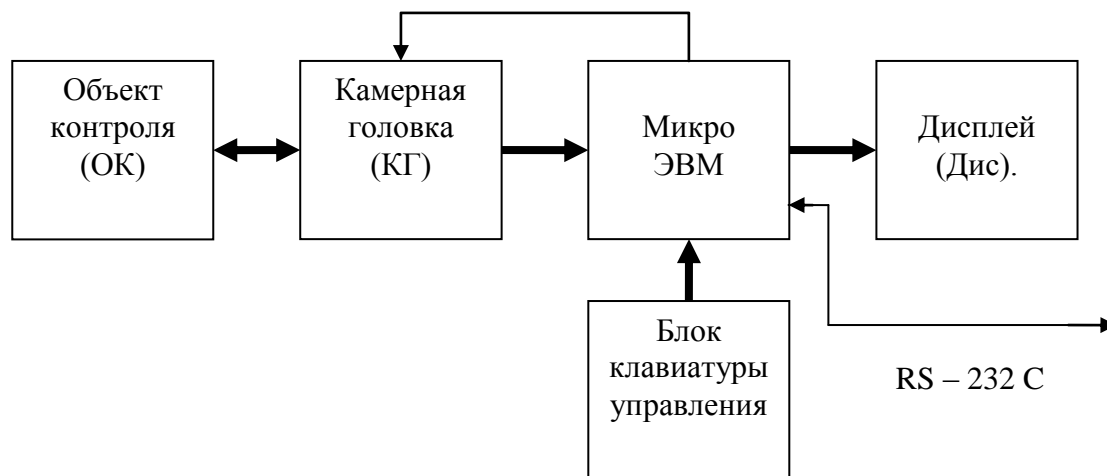


Рис.2.4. Структурная схема местного способа визуализации состояния сосредоточенных узлов, блоков, систем контроля и управления.

2.3.2. Структурная схема дистанционной системы визуализации состояния объектов контроля и управления

Дистанционная система визуализации состояния объектов контроля и управления может быть построена для сосредоточенных и рассредоточенных объектов.

На рис.2.5. приведена структурная схема дистанционной системы визуализации состояния работы узлов, блоков, систем контроля для сосредоточенных объектов. Система состоит из следующих блоков: ОК – объект контроля; КГ – камерная головка; У1, У2 – широкополосные усилители; ПФ – полосовой фильтр; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; микро ЭВМ; БКУ – блок клавиатуры и управления; ДИС – дисплей; ЭК – электронный ключ; БУ – блок управления камерной головкой.

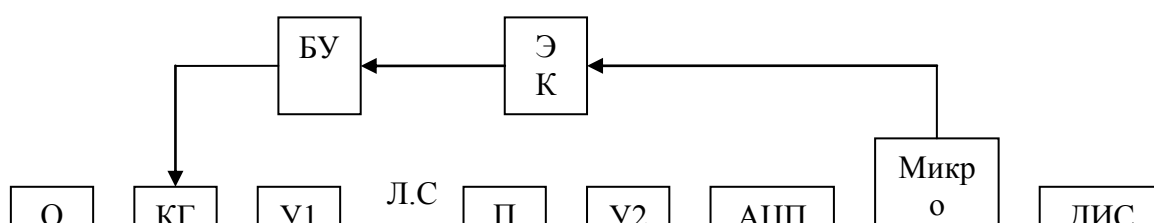


Рис. 2.5. Структурная схема дистанционной системы визуализации состояния сосредоточенных объектов контроля и управления.

Принцип работы системы дистанционной системы визуализации состояния для сосредоточенных узлов, блоков систем контроля и управления заключается в следующем:

Изменения состояния объекта контроля копируется камерной головкой и после преобразования на аналоговый сигнал усиливается усилителем У1 и передается по линии связи (ЛС) на приемного пункта после которого усилитель У2 усиливает принятый сигнал отображающий состояние контролируемого объекта и передает его на вход АЦП. АЦП преобразует полученный сигнал на параллельные двоичные коды, которые далее будут обрабатывается на микро ЭВМ согласно установленной программы. Полученная информация будет отображаться в виде изображения на дисплее. Согласно этого изображения оператора будет анализировать состояние контролируемого объекта и будет принимать соответствующее решение. При необходимости оператор блоком клавиатуры управления изменяет режим работы системы контроля, может регулировать направления объектива камерной головки.

2.3.3. Структурная схема дистанционной системы визуализации состояния рассредоточенных систем контроля и управления.

На рис.2.6. приведена структурная схема дистанционной системы визуализации состояния рассредоточенных объектов. Здесь: ОК, ОК2, ..., ОК_n – объекты контроля; КГ1, КГ2, ..., КГ_n камерные головки; М1, М2, ..., М_n – модуляторы; $f_{n1}, f_{n2}, \dots, f_{nn}$ – несущие частоты; АК – аналоговый коммутатор; ШУ – широкополосный; ШПФ – широкополосный фильтр. У1, У2, ..., У_n – усилители; ПФ1, ПФ2, ..., ПФ_n – полосовые фильтры; D1, D2, ..., D_n – детекторы; АЦП – аналого – цифровой преобразователь; микро ЭВМ; БКУ – блок клавиатуры и управления; Дис – дисплей. Назначения и принцип работы этой системы заключается в следующем: объекты контроля ОК, ОК2, ..., ОК_n находятся на разных точках контроля, поэтому для визуализации состояния соответствующих объектов на каждый объект установлены отдельные камерные головки, работающие независимо друг от друга, поэтому, камерные головки, независимо друг от друга, копирует состояние контролируемых объектов и после их преобразования на сигналы передает на соответствующие каналные модуляторы частоты (М1, М2, ..., М_n). При этом каждая информация поступающая на вход модуляторов модулируется отдельной несущей частотой, отличающиеся на 40 – 50 кГц. Модулированные частотные сигналы. Через каналные полосовые фильтры поступают на входы широкополосного полосового фильтра, где они объединяются и после усиления широкополосными усилителями модулирования сигналов поступают на меню связи (ЛС) и передаются на приемном пункте системы визуализации и контроля тоже имеются полосовые фильтры аналогичные контролируемому пункту. Каждый полосовой фильтр пропускает полосу частот соответствующий конкретному объекту контроля. Например, ПФ1 – пропускает только сигналов ОК1, ПФ2 – пропускает только сигналов ОК2 и т.д. Таким образом на приемном пункте осуществляется разделения сигналов по каналом.

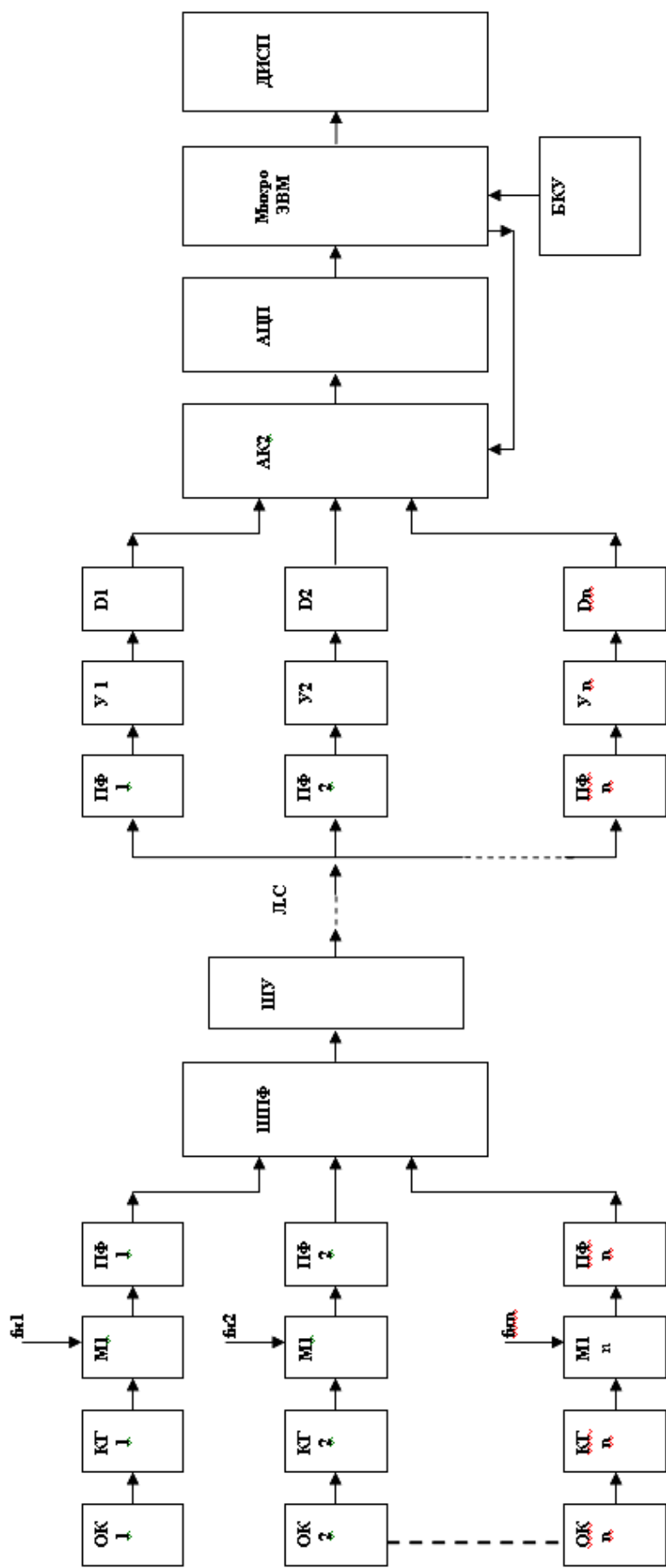


Рис.2.6. Структурная схема дистанционной системы визуализации состояния параметров для рассредоточенных объектов (систем контроля и управления).

С выходов полосовых фильтров частотные сигнала усиливаются соответствующими канальными усилителями $У1, У2 \dots, Уn$ и передаются на входы соответствующих канальных детекторов и после детектирования демодуляции поступают на соответствующие входы управляемого аналогового коммутатора. Аналоговый коммутатор может управляться оператором или автоматически программно т.е. выборка каналов и время их наблюдения устанавливается блоком клавиатуры и управления (БКУ). Если для контроля выбран первый объект контроля (ОК) от сигнала соответствующие состояния узлов контролируемого объекта через первый вход АК поступает на вход АЦП и преобразуется на 12 – разрядный цифровой параллельный двоичный код и посредством согласно заложенной программы обрабатывается т.е. состояния контролируемого объекта восстанавливается и отображается на дисплее.

Выводы

1. Разработаны структурные схемы для местной и дистанционной системы визуализации состояния и изменения параметров сосредоточенных и рассредоточенных объектов контроля и управления.

2. Структурная схема местного способа визуализации состояния сосредоточенных узлов, блоков, систем контроля и управления содержит: камерную головку, микро ЭВМ, блок клавиатуры управления дисплей.

3. Структурная схема дистанционной системы визуализации состояния сосредоточенных узлов, блоков, систем контроля и управления состоит из: камерной головки, усилителей, полосового фильтра, АЦП, микро ЭВМ, дисплея, блока управления и кабельной линии связи.

4. Структурная схема дистанционной системы контроля и управления состояния параметров для рассредоточенных блоков состоит из канальных преобразователей, широкополосного фильтра и усилителя, разделителей сигналов, аналогового коммутатора, микро ЭВМ и дисплея.

Глава 3. ВЫБОР, АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЯ БЕСКОНТАКТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ИЗМЕНЕНИИ СОСТОЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ АСУ ТП.

3.1. Характеристики преобразования индукционных магниточувствительных элементов

Специфика и трудности проектирования бесконтактных преобразователей для измерения тока в электронной аппаратуре обусловлены целым комплексом предъявляемых к ним противоречивых требований. Такие преобразователи должны при относительно малых размерах порядка 0,1—1,0 мм³ обеспечивать достаточно высокую чувствительность, необходимую для измерения слабых токов менее 1 мА в широком диапазоне частот до 10⁷ Гц и выше. При этом длительности импульсных измеряемых сигналов Могут изменяться в широких пределах от 10⁻⁸ до 1 с, а длительности фронтов от 10⁻⁹ до 10⁻⁵ с [44, 45, 46].

Очень важными характеристиками бесконтактных преобразователей являются линейная разрешающая способность или степень ослабления помех, создаваемых токами в соседних, близко расположенных элементах, а также технологичность изготовления преобразователей в условиях серийного производства, надежность, простота и удобство применения в условиях эксплуатации.

С учетом предъявляемых требований при контроле и диагностике электронной аппаратуры наибольшее применение находят бесконтактные преобразователи с индукционными МЧ -элементами, что подтверждает успешный опыт их использования у нас в стране и за рубежом.

Индукционные МЧ -элементы, применяемые для измерения изменяющихся во времени токов, работают на принципе электромагнитной индукции, согласно которому наведенная измеряемым током ЭДС пропорциональна скорости изменения тока во времени. Поэтому применение индукционных МЧ -элементов является предпочтительным для измерения

импульсных токов с высокой скоростью нарастания или при измерении токов высокой частоты.

3.2. Анализ и исследования коэффициента преобразования индукционных МЧ-элементов.

При бесконтактном измерении МЧ-элемент преобразует созданный током магнитный поток в наведенную ЭДС обмотки. В простейшем МЧ-элементе в виде одновитковой рамки с размерами $S = a \times b$, установленной около провода с током I (рис. 3.1, а), пронизывающий рамку магнитный поток [45]

$$\Phi = \int_{r_1}^{r_2} B_x b dr = \int_{r_1}^{r_2} [\mu_0 / (2\pi r)] dr = [\mu_0 / (2\pi)] I b \ln(r_1 / r_2)$$

Учитывая, что $\ln(r_1 / r_2) \approx 2(r_1 - r_2) / (r_1 + r_2) = a / r_{cp}$, полученное выражение представим в виде

$$\Phi \approx \mu_0 I a b / (2\pi r_{cp}) = \mu_0 I S / (2\pi r_{cp}).$$

Электродвижущая сила, наведенная в рамке переменным измеряемым током $i(t) I_m \cos 2\pi f t$,

$$e(t) = \mu_0 S dH / dt = (\mu_0 I_m S f \sin 2\pi f t) / r_{cp} = E_m \sin 2\pi f t. \quad (3.1)$$

Например, в рамке с размерами $S = a \times b = 1 \text{ мм}^2$, $r_{cp} = 1 \text{ мм}$ амплитуда ЭДС сигнала, наведенного измеряемым током $I_m = 1 \text{ мА}$ на частоте f МГц, составляет примерно 1 мкВ.

Даже для таких относительно больших размеров; рамки чувствительность оказывается недостаточной для измерения тока порядка 10^{-3} А, тем более, что с понижением частоты полезный сигнал пропорционально уменьшается. При этом коэффициент преобразования измеряемого тока $k_i = E_m / I_m = \mu_0 S f / r_{cp}$ зависит как от геометрических размеров рамки, так и от расстояния r_{cp} от ее центра до проводника с током.

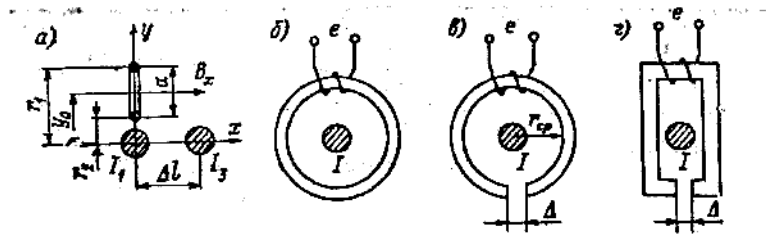


Рис. 3.1. Индукционные МЧ-элементы

Эти недостатки, как было показано ранее, могут быть устранены при использовании замкнутого магнитопровода, охватывающего проводник с измеряемым током (рис. 3.1, б). Из закона полного тока следует, что для такого МЧ-элемента с числом витков m при наличии магнитопровода с проницаемостью μ , коэффициент преобразования возрастает в $\mu\omega$ раз, т. е.

$$k_i = E_m / I_m = \mu_o \mu S \omega f / r_{cp} \quad (3.2)$$

Эта формула справедлива также при использовании сердечника с малым зазором Δ (рис. 3.1, б), магнитная проницаемость которого может быть определена как $\mu = 2\pi r_{cp} / \Delta$.

Коэффициент преобразования в данном случае

$$k_i = 2\pi\mu_o S \omega f / \Delta \quad (3.3)$$

не зависит от геометрических размеров магнитопровода, а определяется в основном воздушным зазором Δ , что справедливо также для других конфигураций сердечников, например прямоугольной (рис. 3.1, г). При больших размерах воздушного зазора, соизмеримых с диаметром (рис. 3.2, а), формула дает значительное занижение магнитной проницаемости, так как не учитывает рассеяния магнитного потока на концах сердечника. Для конфигурации сердечника, расположенного вдоль силовых линий магнитного поля проводника, магнитную проницаемость можно определять как для стержневого сердечника с размерами $l_c \times a \times b$ в плоскопараллельном магнитном поле [37, 38]:

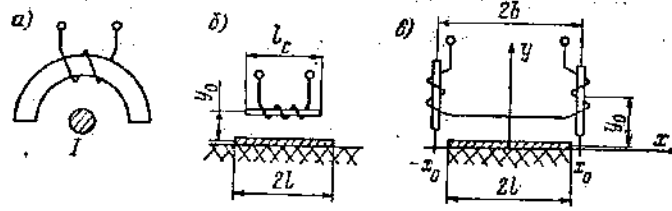


Рис. 3.2. Магниточувствительный элемент с разомкнутыми сердечниками

$$\mu = \left[\frac{\pi l_c^2}{4S} \right] / \left\{ \ln \left[\frac{3l_c}{a+b} \right] - 1 \right\} \quad (3.4)$$

С учетом этого коэффициент преобразования

$$k_i = \left[\frac{\pi \mu_0 \omega f l_c^2}{4r} \right] / \left\{ \ln \left[\frac{3l_c}{a+b} \right] - 1 \right\}$$

Например, при использовании сердечника с размерами $l_c \times a \times b = 1 \times 0,5 \times 0,1$ мм и значениях параметров $r = 0,5$ мм, $\omega = 10$ коэффициент преобразования на частоте $f = 10^6$ Гц достигает значения $k_i \approx 30$ мкВ/мА.

Таким образом, применение сердечника позволяет увеличивать чувствительность и одновременно за счет уменьшения расстояния до проводника и размеров МЧ-элемента по сравнению с рамкой без сердечника улучшается линейная разрешающая способность МЧ-элемента.

При измерении тока в печатных проводниках также целесообразно применение МЧ-элемента с сердечником, устанавливаемым над поверхностью проводника параллельно магнитным силовым линиям (рис.3.2, б).

В этом случае согласно $B_{x \max} = \left[\frac{\mu_0 I}{(2\pi) \arctg l / y_0} \right]$ и $\mu = \left[\frac{\pi l_c^2}{4S} \right] / \left\{ \ln \left[\frac{3l_c}{a+b} \right] - 1 \right\}$ максимальный коэффициент преобразования при установке МЧ-элемента над центром печатного проводника на расстоянии y_0 от него можно представить следующим образом:

$$k_i = \frac{1}{b} \mu_0 \mu \omega S f \arctg \frac{b}{y_0} = \frac{\pi \mu_0 \omega S f l_c^2 \arctg (b / y_0)}{4b \left\{ \ln \left[\frac{3l_c}{a+b} \right] - 1 \right\}} \quad (3.5)$$

Естественно, что как при изменении расстояния y_0 до проводника, так и при боковом смещении МЧ-элемента коэффициент преобразования изменяется в соответствии с законом распределения индукции над поверхностью проводника.

При измерении импульсов тока с конечной длительностью фронтов нарастание импульсов тока и соответствующего ему магнитного поля можно аппроксимировать экспонентой $H(t) = H[1 - \exp(-t/\tau_\phi)]$ с постоянной времени τ_ϕ . Тогда выходной сигнал и обмотке МЧ-элемента и коэффициент преобразования импульсного тока можно представить так:

$$\begin{aligned} e(t) &= \mu_0 \omega S H e^{-t/\tau_\phi} / \tau_\phi = E_m e^{-t/\tau_\phi}; \\ k_i &= E_m / I = \omega S \mu_0 \mu H / \tau_\phi = k' / \tau_\phi. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Для МЧ-элемента с сердечником, установленным: параллельно поверхности печатного проводника (рис. 3.2, б), реагирующим на горизонтальную составляющую магнитного поля H_x , получим коэффициент преобразования импульсного тока

$$k_x = \frac{\omega S \mu_0 \mu \operatorname{arctg}(l/y_0)}{2\pi l \tau_\phi} = \frac{\omega \mu_0 l_c^2 \operatorname{arctg}(l/y_0)}{8b \tau_\phi \{\ln[3,6l_c/(a+b)] - 1\}} \quad (3.7)$$

Из полученного выражения следует, что коэффициент преобразования МЧ-элемента в сильной степени зависит от длины магнитного сердечника и практически не зависит от его сечения.

При измерении вертикальной составляющей индукции магнитного поля B_y целесообразно использовать дифференциальный преобразователь с двумя одинаковыми МЧ-элементами, разнесенными на некоторое расстояние x_0 симметрично от оси проводника (рис. 3.2, в). Коэффициент преобразования согласно $B_{y\max} = [\mu_0 I / (4\pi l)] \times \ln \sqrt{(l^2 + y_0^2 + l\sqrt{y_0^2 + l^2}) / (l^2 + y_0^2 + l^2)}$ достигает максимального значения при установке МЧ-элемента в точки с координатами $x_0 = \pm \sqrt{l^2 + e^2}$, в которых составляющие индукции B_y максимальны:

$$k_{ym} = \frac{\omega S \mu_0 \mu}{2\pi l \tau_\phi} \ln \sqrt{\frac{l^2 + 2y_0^2 + 2l\sqrt{y_0^2 + l^2}}{l^2 + 2y_0^2 - 2l\sqrt{y_0^2 + l^2}}} \quad (3.8)$$

Из выражений (3.8) и (3.7) следует, что при одинаковом удалении y_0 от поверхности проводника и одинаковых параметрах обмоток и сердечников дифференциальный МЧ-элемент, измеряющий составляющую индукции B_y ,

имеет примерно такой же коэффициент преобразования, как однокомпонентный МЧ-элемент, измеряющий индукцию B_x . Например, при $\mu = 20$, $\omega = 10$, $S = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$, $l - y_0 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и $\tau_\phi = 10^{-7} \text{ с}$ значения k_{xm} и k_{ym} лежат в пределах 20-40 мкВ/мА.

Необходимость повышения коэффициента преобразования МЧ-элемента связана, главным образом, с расширением диапазона измерений в сторону слабых токов, что весьма важно для практики, поскольку в микроэлектронике наблюдается устойчивая тенденция к снижению мощности и токов потребления ИС и БИС.

Одновременно растет плотность монтажа печатных плат и микросборок, что ужесточает требования к размерам МЧ-элементов, от которых существенно зависит коэффициент преобразования. Уровень полезного сигнала и коэффициент преобразования могут быть увеличены за счет максимального приближения МЧ-элемента к проводнику, насколько это допустимо по конструктивным соображениям. Однако при измерении тока в печатных проводниках это увеличение коэффициента преобразования относительно невелико. При $y_0 \rightarrow 0$ и $\text{arctg}(l/y_0)$ коэффициент преобразования стремится к предельному значению зависящему только от ширины проводника.

$$k_{xnp} = \omega S \mu_0 \mu / (4\pi / \tau_\phi) = \frac{\omega \mu_0 l_0^2}{16l \tau_\phi \{\ln[3,6l_c / (a+b)] - 1\}} \quad (3.9)$$

Расчеты показывают, что по сравнению с предыдущим случаем, соответствующим расстоянию до проводника $y_0 = 0,5 \text{ мм}$, предельное значение коэффициента преобразования при $y_0 = 0$ увеличивается примерно в два раза.

Поскольку коэффициент преобразования пропорционален квадрату длины сердечника, то ее значение целесообразно выбирать максимально возможным. Основные ограничения здесь связаны с необходимостью обеспечения линейной разрешающей способности, зависящей от плотности монтажа контролируемой схемы. Исходя из этого, предельную длину сердечника можно принять равной удвоенной ширине печатного проводника (l_c

= $4l$), учитывая, что расстояния между соседними печатными проводниками или выводами ИС, как правило, равны или превышают ширину проводников.

При этом условии зависимость предельного коэффициента преобразования от плотности монтажа на основании (3.9) можно представить в виде

$$k_{xnp} = (\mu\omega l_c / \tau_\phi) / \{\ln[3,6l_c / (a + b)] - 1\} \quad (3.10)$$

Таким образом, с увеличением плотности монтажа, т. е. уменьшением ширины проводников $2l$ и расстояния между ними, обеспечение необходимой линейной разрешающей способности сопряжено с пропорциональным снижением коэффициента преобразования. Зависимость предельного коэффициента преобразования k_{xnp} от ширины проводника и длины сердечника в данном случае не квадратичная, а линейная, так как при неизменном токе уменьшение ширины проводника ведет к пропорциональному росту плотности тока в нем и напряженности магнитного поля на его поверхности, что компенсирует снижение коэффициента преобразования, при уменьшении длины сердечника.

Рассмотренные зависимости, характеризующие предельный коэффициент преобразования МЧ-элемента в режиме холостого хода, позволяют оценить минимальные уровни полезного сигнала на входе измерительного тракта и порог чувствительности при бесконтактном измерении слабых токов при различной плотности монтажа печатных проводников.

3.3. Уменьшение коэффициента преобразование методом интегрирования сигналов.

Реальные импульсные сигналы в цифровой аппаратуре характеризуются широким диапазоном изменения частоты, скважности, длительности импульсов и их фронтов. Изменение частотно-временных параметров импульсов служит источником погрешностей при бесконтактных измерениях, так как сигнал на вы

ходе индукционных преобразователей зависит от частоты и скорости нарастания тока в момент прохождения фронтов импульсов. В частности, как следует из выражения (3.6) для коэффициента преобразования МЧ-элемента, погрешность измерения может быть обусловлена изменением длительности фронта измеряемых импульсов τ_ϕ .

Для уменьшения этой погрешности целесообразно осуществлять интегрирование сигнала. Простейший способ пассивного интегрирования можно обеспечивать за счет использования режима нагрузки индукционного преобразователя на активное сопротивление. В этом случае выходное напряжение на нагрузке [40, 42].

$$u(t) = kI_m (e^{-t/\tau_H} - e^{-t/\tau_\phi}) / (\tau_H - \tau_\phi) \quad (3.11)$$

где $\tau_H = L/r$ — постоянная времени нагрузки; L — индуктивность обмотки преобразователя.

В момент времени $t_m = [(\tau_H / \tau_\phi) \ln(\tau_H / \tau_\phi)] / (\tau_H + \tau_\phi)$ напряжение $\underline{u(t)}$ достигает максимального значения, которое при $\tau_H / \tau_\phi = n$ можно представить в виде

$$U_m = kI_m n [n^{1/(1-n)} - n^{n/(1-n)}] / [(n-1)\tau_n] \quad (3.12)$$

На практике нормируемую длительность фронтов $\tau_{\phi,n}$ импульсов принято отсчитывать между уровнями 0,1 и 0,9 амплитуды, поэтому для принятых экспоненциально нарастающих фронтов можно получить зависимость $\tau_\phi = \tau_{\phi,n}$ в виде $\tau_{\phi,n} \approx \tau_\phi \ln 9 \approx 2\tau_\phi$.

В частности, для реальных случаев при нормируемой длительности фронтов переключения логических схем $\tau_{\phi,n} = 20 \div 100$ нс постоянную времени аппроксимирующей экспоненты необходимо выбирать в пределах $\tau_\phi = 10 \div 50$ нс.

Обычно калибровка бесконтактного преобразователя производится при некоторой средней длительности фронта τ_ϕ^0 , лежащей внутри рабочего

диапазона, поэтому при отклонении от этой длительности возникает погрешность измерения.

Если длительность фронта τ_ϕ измеряемых импульсов изменяется в m раз относительно τ_ϕ^0 , то возникающую при этом погрешность можно определить с учетом (3.16) следующим образом:

$$\delta_\tau = \frac{(n-1) \left[\left(\frac{n}{m} \right)^{m/(m-n)} - \left(\frac{n}{m} \right)^{n/(m-n)} \right]}{(n-m) \left[n^{1/(1-n)} - n^{n/(1-n)} \right]} \quad (3.13)$$

Естественно, что выбирать значение τ_ϕ^0 равным граничным значениям $\tau_\phi \min$ или $\tau_\phi \max$ диапазона изменения τ_ϕ нецелесообразно, так как значения m и погрешности измерения будут при этом максимальны.

Для получения минимальной погрешности в за данном диапазоне изменения τ_ϕ от $\tau_\phi \min$ до $\tau_\phi \max$ калибровку преобразователя целесообразно производить при значении τ_ϕ^0 , равноотстоящем от граничных значений, т. е. при $\tau_\phi^0 = \sqrt{\tau_\phi \min \tau_\phi \max}$ или соответственно при $\tau_\phi^0 / \tau_\phi \min = \tau_\phi \max / \tau_\phi^0$. Полученная при этих условиях для диапазона $\tau_{\phi,n} = 20 \div 100$ нс зависимость погрешности δ_r от соотношения постоянных времени $n = \tau_n / \tau_\phi$ (рис. 3.3) показывает, что за счет увеличения постоянной интегрирующей цепи τ_n погрешность δ_r может быть снижена. В частности, для получения $\delta_r \leq 10\%$ при $\tau_\phi \min \tau_\phi \max = 5$ необходимо выбрать соотношение $n \geq 3$. Однако увеличению отношения τ_n / τ_ϕ препятствует снижение коэффициента преобразования индукционного МЧ-элемента в режиме нагрузки и, соответственно, ухудшение пороговой чувствительности преобразователя $n = \tau_n / \tau_\phi$.

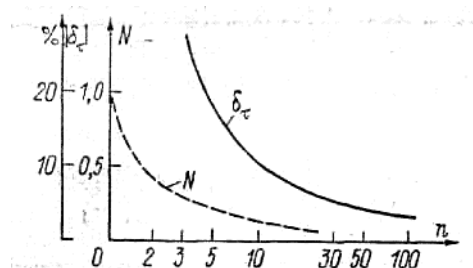


Рис. 3.3. Зависимость погрешности δ_x и относительного коэффициента преобразования N от соотношения постоянных времени

Относительное изменение выходного напряжения преобразователя в режимах холостого хода и активной нагрузки, полученное на основании формулы (3.12), характеризуется зависимостью

$$N = [n^{1/(1-n)} - n^{n/(1-n)}] / (n/1) \quad (3.14)$$

также приведенной на рис. 3.3.

Сравнение зависимостей δ_τ и N от n показывает, что снижение погрешности δ_τ сопряжено с примерно таким же уменьшением полезного сигнала на нагрузке. Чтобы такой способ снижения погрешности δ_τ не приводил к ухудшению отношения сигнал-шум во входной цепи преобразователя, интегрирование сигнала целесообразно производить после его предварительного усиления.

Другое ограничение при использовании способа интегрирования импульсов обусловлено увеличением погрешности измерения с ростом периода следования или длительности измеряемых импульсов. Как следует из диаграммы выходного напряжения на нагрузке, при измерении импульсов (рис. 3.4) за счет их конечной длительности τ_u появляется погрешность ΔU , зависящая от соотношения τ_u / τ_ϕ . Относительное значение этой погрешности δ_τ от частоты f и длительности τ_u импульсов при различных значениях τ_ϕ и τ_n может быть получена на основании выражений (3.12) и (3.13).

В частности, для скважности импульсов $\tau_u / T = \tau_u f = 1/2$

$$f = 1/(2\tau_u) = 1/(2\tau_u) / \ln \left\{ \tau_u / [\delta_2 (\tau_n - \tau_\phi)] \right\} \quad (3.15)$$

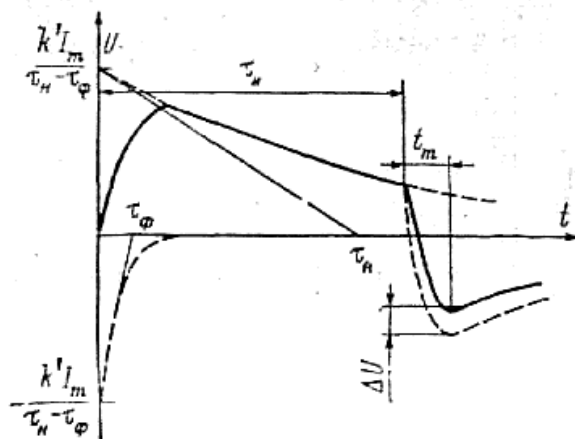


Рис. 3.4. Временная диаграмма напряжения на нагрузке

Полученные зависимости, приведенные на рис. 3.5 для $\tau_\phi = 20$ не и различных значений τ_n . показывают, что при заданном допускаемом значении погрешности δ_2 верхнее граничное значение частоты импульсов уменьшается пропорционально увеличению постоянной времени интегрирования τ_n . В частности, погрешность $\delta_2 \leq 10\%$ при $\tau_n = 250$ не можно получить в диапазоне частот $f < 830$ кГц, тогда как при $\tau_n = 1250$ не этот диапазон расширяется вдвое, что, однако, сопровождается некоторым увеличением составляющей погрешности δ_τ .

Для исключения указанного противоречия в бес контактных преобразователях импульсов целесообразно использовать интеграторы со сбросом, в которых после прохождения фронта или спада импульса постоянная времени интегратора резко уменьшается.

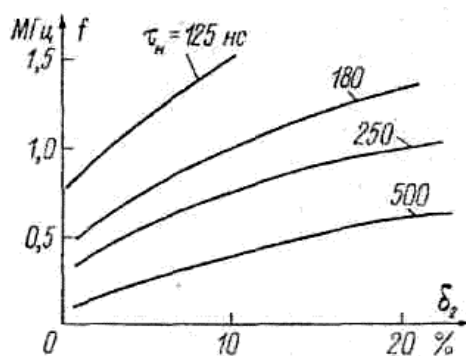


Рис. 3.5. Зависимость граничной частоты преобразования от погрешности δ_2

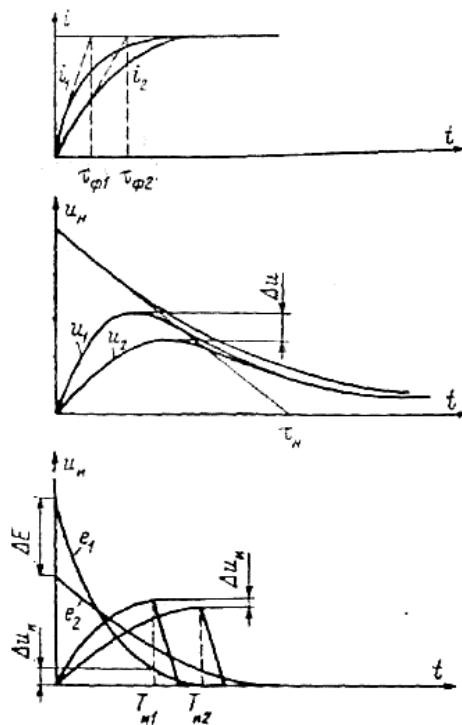


Рис. 3.6. Изменение выходного сигнала бесконтактного преобразователя

Сигналы на выходе МЧ-элемента при различной длительности фронтов $(\tau_{\phi 1}, \tau_{\phi 2})$ измеряемых импульсов i_1 и i_2 (рис. 3.6) имеют амплитуды e_1 и e_2 , обратно пропорциональные этим значениям, однако площади импульсов должны быть одинаковыми. Поскольку напряжение u_n на интеграторе пропорционально не амплитуде, а площади импульсов e_1 и e_2 , то его максимальное значение практически не зависит от длительности фронта τ_ϕ :

$$u_u(t) = \int_0^{T_u} e(t) dt = k(1 - e^{-T_u/\tau_\phi}) \quad (3.16)$$

Минимальную погрешность при изменении длительности фронта в диапазоне от $\tau_\phi \min$ до $\tau_\phi \max$ можно получить, как было показано, если осуществлять калибровку преобразователя импульсами с длительностью фронта

$$\tau_\phi^0 = \tau_{\phi \min} \sqrt{\tau_{\phi \max} / \tau_{\phi \min}} = \tau_{\phi \min} \sqrt{m} \quad (3.17)$$

Эта погрешность для интегратора с конечным временем интегрирования T_u будет

$$\delta = \left[e^{-T_u/\tau_\phi^0} - e^{-T_u/(\tau_\phi^0\sqrt{m})} \right] / \left[1 - e^{-T_u/(\tau_\phi^0\sqrt{m})} \right] \quad (3.18)$$

Сравнение полученной зависимости погрешности измерения с аналогичной погрешностью для режима интегрирования на нагрузке U_H показывает, что применение интегратора существенно повышает точность и быстродействие по сравнению с режимом интегрирующей нагрузки. Так, для обеспечения погрешности измерения менее 5 % время интегрирования может быть уменьшено почти в 10 раз, что позволяет значительно расширить частотный диапазон измеряемых сигналов. Период наибольшей частоты следования измеряемых импульсов определяется суммарным временем интегрирования T_u и сброса $t_{сбр}$ интегратора: $T_{\min} = T_u + t_{сбр}$, а минимальное время интегрирования для получения погрешности менее 5 % должно выбираться из условия $T_{u\min} \geq \tau_{\phi\max}$. Например, при $\tau_{\phi\max} = 100$ нс и $t_{сбр} \leq 0,1 T_u$ получим $f_{\max} \geq 0,3/\tau_\phi \approx 3 \cdot 10^6$ Гц, тогда как в режиме интегрирования на нагрузке максимальная частота следования для заданных условий была на порядок ниже.

В практических схемах для задания необходимого времени интегрирования T_u интегратора может быть использован амплитудный компаратор, формирующий интервалы интегрирования T_{u1} или T_{u2} (рис. 3.6) при превышении сигналами e_1 и e_2 некоторого уровня компарирования Δu_k .

В этом случае время интегрирования будет изменяться вместе с изменением длительности фронта импульса:

$$T_e = \tau_\phi \ln(\Delta E_{\max} / \Delta u_k) = \tau_\phi \ln[k / (\tau_\phi \Delta u_k)] \quad (3.19)$$

С учетом конечного порога компарирования Δu_k погрешность измерения может быть представлена в виде

$$\delta = (\Delta u_k / E_m) (-\sqrt{m}) / (1 - \Delta u_k / E_m) \quad (3.20)$$

Зависимость погрешности $\delta = f(\Delta u_k / E_m)$ от величины порога компарирования (рис. 3.7) показывает,

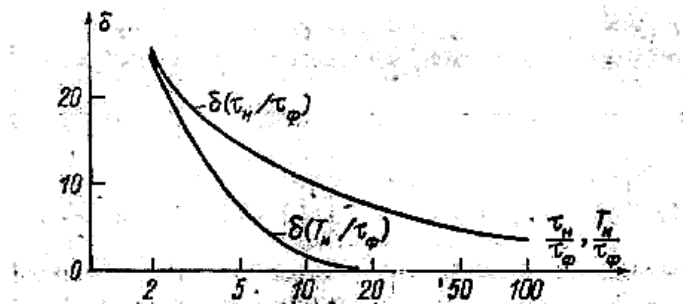


Рис. 3.7. Зависимости погрешности измерения от изменения длительности фронта импульса

что для обеспечения погрешности измерения менее некоторого значения δ_0 уровень компарирования должен выбираться из условия $\Delta u_k \approx E_m \delta_0$ которое труднее всего выполнить при минимальной амплитуде сигнала. С увеличением сигнала погрешность пропорционально снижается.

3.4. Анализ и исследования линейной разрешающей способности бесконтактного измерения тока.

Линейная разрешающая способность при бесконтактном измерении тока в проводниках может характеризоваться минимальным расстоянием Δl между соседними параллельными проводниками с одинаковыми токами, при котором становятся различимыми сигналы от каждого проводника. Это минимальное расстояние определяется полушириной максимума пространственного распределения сигнала при сканировании МЧ-элементов над проводниками параллельно плоскости, в которой они расположены. При использовании МЧ-элементов без сердечника (рис. 3.1, а), который не вносит искажений в магнитное поле проводника, распределение сигнала при сканировании совпадает с распределением из меряемой составляющей магнитного поля [45, 46]. В частности, при измерении горизонтальной составляющей индукции B_x над параллельными цилиндрическими проводниками из зависимости B_x от координат точки, в которой осуществляются измерения $B_x = B \sin \alpha = \mu_0 I y_0 / (2\pi r^2) = \mu I [2\pi y_0 (1 + x_0^2 / y_0^2)]$, следует, что соотношение $B_x = 0,5 B_{xmax}$ выполняется, когда горизонтальное смещение $x = \Delta l$ от оси проводника равно

минимальному расстоянию y_0 от центра проводника до точки измерения, в которой установлен МЧ-элемент, т. е. $\Delta l = y_0$ (рис. 3.1, а). Поэтому для улучшения линейной разрешающей способности расстояние между центрами проводника; и МЧ-элемента необходимо устанавливать минимально возможным. Для МЧ-элемента в виде одно- или многовитковой катушки (рис. 3.1, а) это расстояние всегда больше радиуса катушки, а уменьшение радиуса катушки не допускается из-за снижения коэффициента Преобразования МЧ-элемента. Эти противоречивые требования значительно легче удовлетворяются благодаря применению в МЧ-элементе магнитного сердечника с малым поперечным сечением концентрирующего энергию измеряемого магнитного поля. В этом случае размеры обмотки МЧ-элемента практически не влияют на чувствительность и позволяют уменьшить расстояние между МЧ-элементом и проводником, улучшая одновременно линейную разрешающую способность и чувствительность.

Для бесконтактного измерения тока с нормированной погрешностью более важны количественные оценки погрешности δ , вносимой соседним проводником с током, удаленным на некоторое расстояние Δl , или степени ослабления $G = 1/\delta$ сигнала, вносимого соседним проводником. Эти зависимости подробно рассмотрены ранее, при анализе методических погрешностей бесконтактного измерения тока в проводниках различного сечения.

В частности, согласно $B_{x\max} = \mu_0 I / (2\pi y)$ может быть определено минимальное расстояние между МЧ-элементом и центром проводника с измеренным током I_1 , при котором удаленный на заданное расстояние Δl параллельный проводник с током вносит погрешность измерения, не превышающую некоторого допустимого значения δ_D :

$$y_0 \leq \Delta l (I_3 / I_1) \sqrt{\delta_D / (1 - \delta_D)} \quad (3.21)$$

Соответственно согласно $B_{y\max} = \mu_0 I / (4\pi y) = B_{x\max} / 2$ может быть найдено также минимальное расстояние y_0 , необходимое для получения заданного ослабления

G индукции, созданной в точке измерения удаленным на расстояние Δl параллельным проводником с током:

$$y_0 \leq \sqrt{(\Delta l)^2} / (1 + L) \quad (3.22)$$

Например, если обеспечить на расстоянии $\Delta l = 1,25$ мм от соседнего проводника с током ослабление сигнала на 20 дБ, созданного им в точке измерения магнитного поля, необходимо установить МЧ-элемент на оси проводника на расстоянии не более 0,4 мм. При этом обусловленная соседним проводником погрешность измерения может достигать $\delta = 10\%$. Полученные соотношения позволяют дать качественную и количественную оценку метрологических возможностей, условий измерения и требований к проектированию. МЧ-элементов для бесконтактного измерения тока без охвата проводника измерительным контуром при произвольных соотношениях расстояний между проводниками и между МЧ-элементом и проводником.

При этом необходимо иметь в виду, что анализ линейной разрешающей способности индукционного МЧ-элемента при бесконтактном измерении тока не имеет полной аналогии с линейной разрешающей способностью индукционных магнитных головок, применяемых для считывания информации с магнитных носителей, где линейная разрешающая способность определяется шириной воздушного зазора магнитопровода и может составлять единицы микрометра. Это достигается благодаря высокой концентрации магнитной энергии в очень малых, соизмеримых с зазором головки, локальных областях при записи сигналов на магнитный носитель. Поэтому считывание; информации из зоны записи происходит тогда, когда к ней подходит узкий воздушный зазор магнитопровода считывающей головки, определяющий ее линейную разрешающую способность.

В отличие от этого распределение энергии магнитного поля, создаваемого измеряемым током и токами в соседних проводниках, имеет существенно большую пространственную протяженность как

перпендикулярно, так и параллельно осям проводников, что затрудняет концентрацию магнитной энергии считываемого сигнала в малой локальной области и исключает влияние магнитного поля соседних проводников.

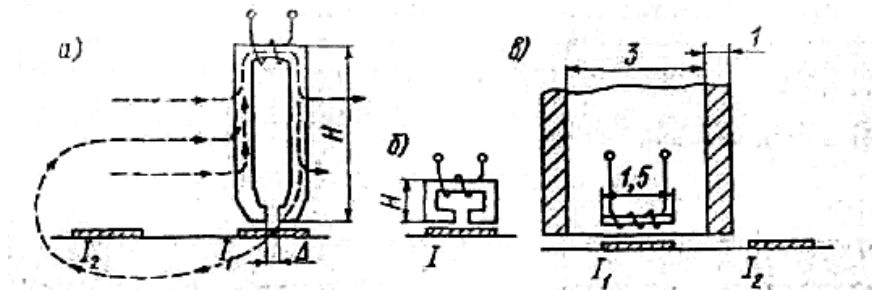


Рис. 3.8. Варианты конструктивного выполнения МЧ-элемента

Например, для МЧ-элемента, выполненного по типу магнитной головки с воздушным зазором (рис. 3.8, а), влияние магнитного поля соседнего проводника с током I_2 мало зависит от размеров зазора, а определяется в основном длиной магнитопровода $Я$ или расстоянием от рабочего зазора до обмотки. Чем больше это расстояние, тем больше силовых линий магнитного поля соседнего проводника замыкаются через боковую поверхность магнитопровода, индуцируя в измерительной обмотке помеху, которая может создаваться также внешним однородным магнитным полем, перпендикулярным боковой поверхности магнитопровода. Поэтому длина боковой поверхности магнитопровода, обращенная к соседнему проводнику, должна быть минимальной, как по казано на рис. 3.8, б, или сердечник должен быть выполнен плоским с максимальным приближением к проводнику (рис. 3.2, б) [5]. Возможности дополнительного ослабления помех от соседних проводников за счет применения внешних магнитных экранов здесь также ограничены, так как одновременно с ослаблением магнитного поля соседнего проводника экран существенно ослабляет индукцию, созданную в месте установки МЧ-элемента измеряемым током. Это происходит из-за большой протяженности проводника, при приближении к которому открытого с торца магнитного экрана его поперечные стенки концентрируют силовые линии магнитного поля, ослабляя его в центре экрана, где установлен МЧ-элемент. Кроме того, экран

существенно увеличивает размеры МЧ-элемента и усложняет его конструкцию и технологию изготовления. Экспериментальная проверка влияния экранирования проводилась для МЧ-элемента с плоским магнитным сердечником длиной $l=1,5$ мм, устанавливаемым в открытую с торца трубку (рис. 3.8, в) с внутренним диаметром 3 мм и толщиной стенок 1 мм, выполненную из феррита с магнитной проницаемостью $\mu=1000$. Введение такого экрана позволило примерно в 6 раз снизить помеху от соседнего проводника, установленного с шагом 2,5мм, однако коэффициент преобразования МЧ-элемента при измерении полезного сигнала снизился в 4 раза.

Поэтому для обеспечения высокой линейной разрешающей способности и чувствительности при измерении токов в проводниках с планарным печатным монтажом наиболее предпочтительны, МЧ-элементы без экранов с минимальной высотой H магнитопровода (рис. 3.8, б) или с плоским сердечником (рис. 3.8, в), обеспечивающим минимальное расстояние до проводника с измеряемым током. При измерении токов в проводниках объемного монтажа или многослойных печатных плат проводники с токами могут располагаться в разных плоскостях, что может изменять степень и характер их взаимного влияния. В этих случаях, как было показано, более предпочтительно применение дифференциальных преобразователей (рис. 3.2, в), которые обеспечивают меньшую погрешность от влияния тока в соседнем параллельном проводнике по сравнению с однокомпонентными преобразователями.

Эффективное снижение влияния импульсных сигналов, обусловленных токами в соседних проводниках, может быть достигнуто за счет временной селекции при стробировании измеряемого сигнала. Выделение импульса полезного сигнала в строго определенный момент времени, совпадающий с фронтом измеряемого импульса, позволяет отстроиться от помех создаваемых импульсами в других проводниках, фронты которых не совпадают по времени

с фронтом измеряемого импульса. Режим временного стробирования эффективен при совместном применении бесконтактного преобразователя с логическим анализатором последовательностей импульсов, что позволяет совместить решение задач точной локализации адресно-временной и пространственной области отказов при диагностировании логических устройств.

3.5. Видеокамеры для визуального наблюдения

Высококонтрастный 19 – дюймовый TFT-монитор Smartec STM-193 может работать в составе аналоговых или цифровых систем видео наблюдения. Как и STM-190, этот монитор имеет рабочую область экрана 386 x 280 мм, разрешение – 1280 x 1024 пикселей, время отклика – 8-12мс, но отмечается более привлекательным соотношением «цена качество» Благодаря высокой яркости TFT-матрицы (от 300 до 450 км/м²) и коэффициенту контрастности изображения 500:1, монитор обеспечивает четкую детализацию любого объекта наблюдения [2, 3, 4].

В STM-193 предусмотрены видеовыходы BNC и S-Video, а также аудио вход/выход и 15 – контактный D - Sub разъём для подключения к компьютеру. Он выпускается в пластическом корпусе чёрного цвета и комплектуется подставной для настольного использования.

TFT – монитор поддерживает компьютерную графику формата SxGA и воспроизводит 16,7 миллионов оттенков в цветовом пространстве RGB, что соответствует естественному цвету восприятию человека.

3.5.1. Мегапиксельная IP - камеры AXIS 211 М с микрофоном и PoE

Цветная мегапиксельная IP - камеры AXIS 211 М предназначена для работы в составе охранных систем IP – видео наблюдения и может применяться везде, где важна каждая деталь изображения. Эта камера использует 1/3 дюймовую [6].

КМОП - матрицу с прогрессивной разверткой и имеет чувствительность 1 лк. Она формирует и передаёт по сети видео в форматах M-UREG и MPEG – 4 с

разрешением до 1280 x 1024 пикс. и частотой 30 кад/с AXIS оснащена верно объективом, микрофоном, аудиовходом и аудиовыходом, входом для подключение охранного датчика и релейным выходом, а также гибко настраиваемым детекторам движения. Кроме того, IP - камера поддерживает технологию PoE и может получать питание по витой паре.

3.6. Программное обеспечения IP CONTROL для многоканальной системы видео наблюдения



Рис.3.9. Пример видеонаблюдения на базе программного обеспечение IP CONTROL.

Данное по рис.3.9. позволяет просматривать одновременно “живое” видео с синхронным аудиосопровождением по всем каналам, а также записывать и воспроизводить видео и аудио в формате MPEG-4 на подключенном к сети компьютере. IP Control Center поддерживает различные режимы записи: по расписанию, постоянную, по детектору движения, по тревоге, а также сохраняет в видеобуфере претревожные кадры до 30 секунд.

Таблица 3.1.

Основные технические характеристики ПО IP Control Center Smartec

1	2
Мин конфиг. ПК:	ЦП: Pentium 4, 2,8 ГГц память: 1 Гб HDD: 80 Гб
Веб – браузер	Microsoft Internet Explorer v 6.0+

Операционная система:	Windows 2000, XP, 2003 с Microsoft Direct X v 9.0c
Просмотр:	
Максимальное кол-во видеоканалов:	16 (до 64 – для программы видеонаблюдения версии NVR 2.0)
Веб – клиент:	удаленный просмотр
Мультиэкран	1, 4, 6, 8, 9, 10, 16
Расширенные возможности просмотра	Одновременный просмотр 16 видеоканалов с разной автоматически настраиваемой скоростью
запись:	
Режимы записи:	Ручная, циклическая, по расписанию, по тревоге, по движению претревожная (до 30с), посттревожная
Формат сжатия:	(видео+аудио), совместим
«Водяные знаки»:	ISO-14496-2 MPEG -4 (видео-аудио), совместим FFMPEG, Xvid, Divx
Воспроизведение:	Digital time code
режимы просмотра:	Воспроизведение, Пауза, Стоп, Быстрая прокрутка вперед и назад
Многооконное воспроизведение:	Воспроизведение нескольких каналов одновременно в нескольких окнах
1	2
Расширенные возможности воспроизведения:	Реверсивное воспроизведение, покадровый просмотр
Экспорт видео:	AVI
Управление поворотными камерами:	
Протоколы телеметрии:	Pelco-D, Pelco-P, Lilin, Dynacolor, TOA, Samsung, Kampro, Eye View, Video Trec и др.
PTZ- команды:	Панорамирование, наклон, увеличение, изменение скорости

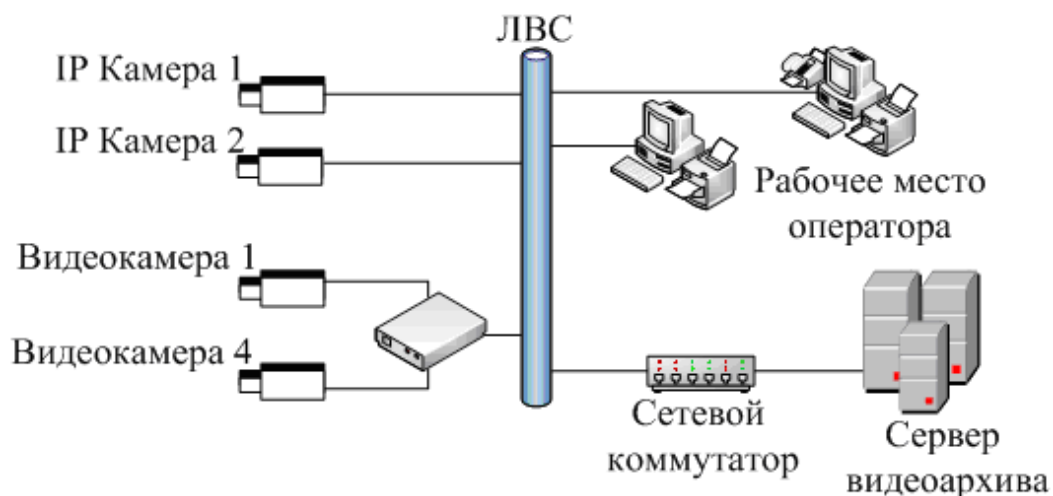


Рис. 3.10. Схема системы видеонаблюдения для средних объектов (от 4 до 16 IP камеры)

Аппаратная часть системы:

- до 16 IP – камер и/или аналоговых камер;
- сетевой коммутатор (TCP/IP);
- локальная сеть (10/100 Base Ethernет);
- сервер для видеоархива;
- ПК – оператор (устанавливается или используется существующий).

Если используется существующая АВС, то для IP видеонаблюдения резервируется канал, пропускная способность которого рассчитывается по Таблице 3.2. Расчёт объема жесткого диска для сервера видеоархива производится по таблице 3.3.

Минимальные системные требования для ПК приведены в Таблицах № 3 и 4.

Таблица № 3.2

Таблица № 3.3

Таблица минимального системного требования для ПК

Наименование	ПК «клиент»	ПК «сервер видеоархива»
Процессор	Intel Pentium 4 - 3,0 ГГц	Intel Pentium 4 3,0 ГГц
Объем оперативной памяти	1024 Мб	1024 Мб
Объем жесткого диска	10 Гб	100 Гб
Объем памяти видеокарты	256 Мб	128 Мб
Разрешение монитора	X G A 1024x788	X O A 1024x788
Сетевая карта	100 Мбит	100/1000 Мбит
Операционная система	Microsoft Window XP Pro	Microsoft Server 2003 или Microsoft Window 2000 SP4
Дополнительно	Microsoft NET 1.1	Microsoft NET 1.1 СУБД Microsoft MSDE 1.1 или SOL

Таблица № 3.4

Таблица для расчета пропускной способности каналов.

Параметры настройки			Количество IP-камер/Пропускная способность ЛВС					
Разрешение	Кадр/с	Кбит/с	1	4	9	16	32	64
D1 720x576	25	1500	1,5 М	6,0 М	13,5 М	24,0 М	48,0 М	96,0 М
	12	750	750 К	3,0 М	6,8 М	12,0 М	24,0 М	48,5 М
	8	512	512 К	2,0 М	4,6 М	8,2 М	16,4 М	32,8 М
	5	256	256 К	1,0 М	2,3 М	4,1 М	8,2 М	16,4 М
	1	56	56 К	0,2 М	0,5 М	0,9 М	1,8 М	3,6 М
С1Р 352x288	25	750	750 К	3,0 М	6,8 М	12,0 М	24,0 М	48,0 М
	12	384	384 К	1,5 М	3,5 М	6,1 М	12,3 М	24,6 М
	8	256	256 К	1,0 М	2,3 М	4,1 М	8,2 М	16,4 М
	5	128	128 К	0,5 М	1,2 М	2,0 М	4,1 М	8,2 М
	1	28	28 К	0,1 М	0,3 М	0,4 М	0,9 М	1,8 М

Таблица для расчета объема жесткого диска

11,5			Продолжительность записи / Объём жёсткого диска					
Разрешение	Кадр/с	Кбит/с	1 сек.	1 час	1 день	14 дней	30 дней	60 дней
D1 720x576	25	1500	185,5 К	667,8 М	16,2 G	226,8 G	486,0 G	972,0 G
	12	750	93,8 К	337,7 М	8,1 G	113,5 G	243,1 G	486,0 G
	8	512	64,0 К	230,4 М	5,5 G	77,4 G	165,9 G	331,8 G
	5	256	32,0 К	115,2 М	2,8 G	38,7 G	82,9 G	165,9 G
	1	56	7,0 К	25,2 М	0,6 G	8,5 G	18,1 G	36,3 G
CIF 352x288	25	750	93,8 К	337,7 М	8,1 G	113,5 G	243,1 G	486,3 G
	12	384	48,0 К	172,8 М	4,1 G	58,1 G	124,4 G	248,8 G
	8	256	32,0 К	115,2 М	2,8 G	38,7 G	82,9 G	165,9 G
	5	128	16,0 К	57,6 М	1,4 G	19,4 G	41,3 G	82,9 G
	1	28	3,5 К	12,6 М	0,3 G	4,2 G	9,1 G	18,1 G

Videoscad программа для профессионального проектирования систем видео наблюдения имеет следующие возможности:

- Производит автоматический расчет параметров и размеров зон обзора видеокамер, выводит их результаты в цифровой, графической или текстовой форме.
- С помощью Cad – интерфейс можно разместить видеокамеры непосредственно на планах объекта, выбрать их оптимальное расположение, высоту и место установки.
- Проводит анализ возможностей видеокамеры, позволяющий использовать её с максимальной эффективностью, т.е. одной камерой решать одновременно несколько задач и таким образом оптимизировать всего систему видеонаблюдения.
- Автоматически рассчитывать длину и электрические параметры кабелей и многое другое

Выводы

1. Установлено, что основными характеристиками преобразователей, построенные на базе магниточувствительных элементов являются: относительно малые размеры 0,1-1,0 мм³; высокая чувствительность; позволяющие измерить токов менее 1 мА; широкий диапазон частот 10⁷ Гц; высокая коэффициент преобразования.

2. Для контроля изменения напряженности магнитного поля, ёмкости или индуктивности на поверхностях печатных плат можно успешно использовать индукционные магниточувствительные элементы, имеющие коаксиальную форму с замкнутыми и разомкнутыми контурами, и прямоугольную форму.

3. Установлено, что коэффициент преобразования магниточувствительного элемента зависит от: расстояния магниточувствительного элемента и поверхности проводников; сечения-площади проводника; уровня и частоты сигналов и т.д.

4. Приведена структурная схема системы сетевого IP - видеонаблюдения, которая состоит из аналоговых камер, IP камеры, IP видеосервера, IP декодера с IP видеорегистратором, из охранного монитора, подключенные к единой сети ETHERNET / INTERNET.

5. Установлено, что для обеспечения качественной многоканальной визуализации видеоизображения целесообразно использовать программное средство IP control. Данное программное средство позволяет просматривать одновременно “живое” видео с синхронным аудио сопровождением по всем каналам, а также записывать и воспроизводить видео информации в формате MPEG – L на подключенном к сети компьютера.

Глава 4. ДИАГНОСТИКА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ, БЛОКОВ АСУ ТП И АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ.

4.1. Применения логических элементов для контроля и диагностики надежности работы узлов АСУ ТП.

Логические методы основаны на установлении логических связей между признаками и состояниями объектов, поэтому будем рассматривать только простые (качественные) признаки, для которых возможны лишь два значения (например 0 и 1). Точно также и состояния диагностической системы (диагнозы) в рассматриваемых методах могут иметь только два значения (наличие и отсутствие). Два значения признака или состояния системы могут быть выражены любыми двумя символами («да» — «нет», «ложь» — «истина», 0—1) [50].

Переменные величины или функции, принимающие только два значения (0 и 1), называются логическими или булевскими. Исследованием таких переменных и функций занимается математическая логика, имеющая обширные приложения в оценке надёжности работы во многих технических проблемах (релейные системы, теория ЭВМ и автоматов и др.).

Детерминистское описание с помощью двоичных переменных, характерное для логических методов распознавания, является приближенной моделью реальной ситуации. Однако во многих задачах логические методы пригодны для начальных этапов распознавания. Весьма перспективны методы математической логики для второго направления технической диагностики — поиска и локализации неисправностей узлов, блоков АСУ ТП.

Пример. Составить булевскую функцию для следующих технических сведений о признаке и состояниях системы блоков, узлов АСУ ТП.

1. При диагнозе D_2 появляется признак k_1 (максимальная напряженность магнитного поля);
2. Если имеется диагноз D_1 и отсутствует диагноз D_2 , то должен обнаруживаться признак k_2 (минимальная напряженность магнитного

поля);

3. Если появляется признак k_1 или k_2 или оба вместе, то может быть диагноз D_1 или D_2 , или оба вместе.

Первое условие записывается в виде $D_2 \rightarrow k_1$, второе — $D_1 \wedge D_2 \rightarrow k_2$, третье — $k_1 \vee k_2 \rightarrow D_1 \vee D_2$.

Так как эти условия справедливы одновременно, то булевская функция высказываний записывается в следующем виде

$$F = (D_2 \rightarrow k_1) \wedge (D_1 \wedge D_2 \rightarrow k_2) \wedge (k_1 \vee k_2 \rightarrow D_1 \vee D_2). \quad (4.1)$$

Использование булевских функций для построения диагностических устройств [50].

Диагностические устройства представляют собой приборы, моделирующие связи признаков и состояний. Они позволяют автоматически вводить двоичные признаки включением тумблеров и получать сведения о возможных состояниях системы, например, с помощью световых сигналов (загорания лампочек). Связь признаков и состояний систем выражается булевской функцией, которую будем называть булевской диагностической функцией.

Диагностические устройства можно рассматривать как реализацию условий истинности булевской диагностической функции. Разберем этот вопрос подробнее,

Пусть имеются простые (двоичные) признаки $k_1, k_2, k_3) \dots$, с помощью которых различаются состояния системы. Наличие признака обозначается числом 1, отсутствие признака числом 0.

Таким образом,

$$k_i = \begin{cases} 1 - \text{наличие признака (максимальная напряженность магнитного поля)} \\ 0 - \text{отсутствие признака (минимальная напряженность магнитного поля)} \end{cases}$$

Часто наличие или отсутствие признака k_j будем обозначать следующим образом: наличие признака k_j ($k_j = 1$); отсутствие признака k_j ($k_j = 0$). Состояния

системы обозначаются D_1, D_2, D_3, \dots причем наличие состояния соответствует числу 1 и отсутствие числу 0:

$$D_i = \begin{cases} 1 - \text{наличие } i\text{-го состояния} \\ 0 - \text{отсутствие } i\text{-го состояния} \end{cases}$$

Рассмотрим в качестве примера систему, имеющую два состояния: исправное D_1 и неисправное D_2 . Пусть состояние системы в рассматриваемом случае описывается четырьмя признаками k_1, k_2, k_3 и k_4 , причем неисправное состояние возникает при наборе признаков, указанных в табл. 4.1.

Во всех остальных случаях система находится в исправном состоянии ($D_1 \equiv 1$). Булевская диагностическая функция

$$F = (\bar{k}_1 \vee k_2 \vee k_3 \vee k_4) \vee (\bar{k}_1 \vee \bar{k}_2 \vee k_3 \vee k_4) \wedge (k_1 \vee k_2 \vee k_3 \vee \bar{k}_4) \equiv D_1 \wedge \bar{D}_2. \quad (4.2)$$

Выражение в первой скобке соответствует первой строке таблицы. Оно составлено в виде логической суммы событий, противоположных тем, которые указаны в первой строке. Естественно, что скобка обращается в нуль только в том случае, когда появляется набор признаков, содержащихся в первой строке таблицы.

Но неисправность возникает в случае, если реализуется любой из трех наборов признаков, т. е. любая из строк таблицы. Поэтому выражения, соответствующие трем наборам признаков, соединены знаком логического умножения (конъюнкции). Так как любая часть равенства обращается в нуль при указанных в таблице наборах признаков, а во всех остальных случаях равна 1, то условие истинности F ($F=1$) соответствует исправному состоянию системы и отсутствию неисправного состояния ($D_1 \wedge \bar{D}_2$) преимуществом Булевской диагностической функции является, то что она легко реализуется в диагностических устройствах с помощью логических элементов типа «или» и «и».

Таблица: 4.1

Пример таблицы неисправностей

k_1	k_2	k_3	k_4
1	0	0	0
1	1	0	0
0	0	0	1

Пример. Рассмотрим распознавание в пространстве простых признаков, кодируемых двоичными числами. Пусть имеется три эталона диагнозов в десятимерном пространстве $a_1 = (1011100011)$, $a_2 = (0100110100)$, $a_3 = (1011011111)$.

Для распознавания предъявлен объект $x = (0100010100)$. В качестве меры расстояния примем сначала расстояние первого порядка при $\nu = 1$ (расстояние по Хеммингу). Это расстояние равно числу несовпадающих разрядов в двоичном коде.

$$l_1 = l_{(1)}(x, a_1) = 9; \quad l_2 = l_{(1)}(x, a_2) = 1; \quad l_3 = l_{(1)}(x, a_3) = 7. \quad (4.3)$$

Коэффициенты распознавания

$$\xi_1 = \frac{\frac{1}{9}}{\frac{1}{9} + 1 + \frac{1}{7}} = 0,09; \quad \xi_2 = \frac{1}{\frac{1}{9} + 1 + \frac{1}{7}} = 0,80; \quad \xi_3 = \frac{\frac{1}{7}}{\frac{1}{9} + 1 + \frac{1}{7}} = 0,11.$$

Предъявленный объект следует отнести к диагнозу D2 при уровне распознавания $\xi_0 = 0,8$.

Для сравнения используем теперь квадратичную меру расстояния, т. е. величины l_1^2, l_2^2, l_3^2 . Тогда получим

$$\xi_1 = \frac{\frac{1}{9}}{\frac{1}{9^2} + 1 + \frac{1}{7^2}} = 0,01; \quad \xi_2 = \frac{1}{\frac{1}{9^2} + 1 + \frac{1}{7^2}} = 0,97; \quad \xi_3 = \frac{\frac{1}{7}}{\frac{1}{9^2} + 1 + \frac{1}{7^2}} = 0,02. \quad (4.4)$$

Из приведенного примера вытекает, что использование квадратичной меры расстояния более резко подчеркивает диагноз с наименьшим расстоянием. Выбор меры расстояния зависит от особенностей задачи и устанавливается в процессе обучения.

4.2. Диагностика по расстоянию в пространстве признаков

Рост степени автоматизации привел к тому, что требования к условиям эксплуатации систем (автономность, ремонтпригодность) стали более жесткими. Повысилась и роль систем, поскольку подавляющее большинство ответственных функций: сбор информации, обработка информации, управление техническими средствами возлагается на автоматические и автоматизированные системы управления. Автоматические и автоматизированные системы управления перешли в категорию сложных систем.

Для сложных систем требования по обеспечению надежности наиболее важны. С другой стороны, усложнение систем и рост степени автоматизации затрудняют выполнение этих требований, поскольку конструктивные, схемные и технологические возможности повышения этих противоречий это установление принципов, разработка методов и выбор средств контроля работоспособности и поиска дефекта, т. е. решение задач технической диагностики. В состав системы технического диагностирования входят совокупность аппаратуры технического диагностирования и самого объекта диагностирования, так как объекты диагностирования представляет собой автоматические системы, их модели специфичны. Эта специфика ставит ряд конкретных задач при проектировании [48].

Разнообразных автоматических и автоматизированных системы, их функциональные, структурные и конструктивные особенности требуют аналитического описания, учитывающего особенности систем и специфику их диагностирования. Указанные особенности вносят специфику в решение задач технического диагностирования автоматических систем управления как по форме (последовательности), так и по содержанию.

Взаимосвязанные задачи, подлежащие рассмотрению при проектировании систем диагностирования, сводятся к аналитической формулировке моделей объекта диагностирования, разработке методов анализа

для определения работоспособности и выбора контролируемых параметров, к определению условий и особенностей инженерной реализации методов проектирования систем диагностирования.

Наиболее ответственным этапом в разработке теории и практики технического диагностирования САУ является построение математической модели объектов диагностирования. Основным содержанием данного этапа следует считать разработки исходных предпосылок и ограничений для выбора аппарата исследований и непосредственно выбор аналитической формы его. Из [48] известно, что разработка методов определения работоспособности и поиска дефекта требует: аналитической формировки модели объекта диагностирования; обоснования соображений по управлению соответствующих моделей; формировка предположений, которые делаются в процессе формирования математической модели объекта диагностирования.

Рассматривая проблемы диагностики автоматических систем в свете изложенных соображений, можно заключит, что проектирование систем диагностирования предполагает решение следующих вопросов: формулировку принципов определения работоспособности и выбор критериев ее оценки в соответствии со спецификой диагностируемых систем; анализ и оценку математических моделей систем различной структуры и назначения как объектов диагностирования; разработку методов определения контролируемых параметров, учитывающих специфику проявления неисправностей, характер их влияния на работоспособность автоматических систем управления; разработку методов алгоритмизации поиска дефекта в системе учетом их основных особенностей в условиях гранитной достоверности вероятностных характеристик при ординарном и неординарном потоках проявления неисправностей; разработку способов оптимизации алгоритмов поиска дефекта, отвечающих требованиям диагностирования системе в конкретных условиях; оценку эффективности систем диагностирования с позиций ее информационных свойств; анализ режимов функционирования систем

диагностирования; определение критериев их эффективности; формулировку принципов и разработку методов проектирование систем диагностирования, отвечающих требованиям высокой надежности; минимального объема аппаратуры диагностирования при надлежащей степени ее унификации, а также разработку методов определения рациональной организации систем диагностирования при заданной степени готовности автоматической системы.

Все перечисленное составляет проблему проектирования систем технического диагностирования. Каждый из перечисленных вопросов, естественно, содержит ряд самостоятельных конкретных задач.

Для проведения диагностики надежности работы узлов АСУТП можно использовать различные методы: логические методы распознавание; диагностика по расстоянию в пространстве признаков и т.д.

Целью данной работы является, проведение диагностики надежности работы узлов систем контроля и управления применением метода расстояния в пространства признаков.

Для применение данного метода для диагностики надежности работы автоматизированных систем управления технологических процессов (АСУТП) вводим ясность место его применения.

В настоящее время все электронные схемы узлов, блоков АСУТП построены на базе функционально законченной модульный основе. Для бесконтактной оценки надежности работы этих блоков можно применит следующих параметров или изменения состояние на распределенных участках поверхностей монтажных плат этих модулей:

- Изменение (состояние) температуры;
- Изменение ёмкости;
- Изменение магнитного поля;
- Изменение дымности;
- Изменение цветности элементов;
- Изменение напряженности магнитного поля и т. д.

При этом причинами неисправностей электронных схем может быть следующие:

- Обрывы, плохие контакты на выводах элементов модулей на ножках микросхем, резисторов и т.д;
- Короткие замыкания в цепях электронных схем блоках питания и т.д;
- Изменение режимов работы электронных схем, за счет старение элементов или из-за изменения уровней питающих напряжений;
- Изменения режимов работы электронных схем, за счет изменения условия окружающей среды (температура, влажность, магнитного поля и т.д).

Изменения выше указанных параметров или величин приводят к следующему:

- Изменения состояния температуры на соответствующих участках платы модулей;
- Изменения состояния ёмкости между проводниками монтажных схем;
- Изменения магнитного поля на поверхностях печатных плат и т.д.

По тем или иным приведенным параметрам можно осуществить диагностики надежности работы электронных схем блоков АСУТП.

Таким образом, в данной работе для диагностики работы узлов АСУТП применим метод диагностики по расстоянию в пространстве признаков.

Рассматриваемые методы подразделяются на две группы: диагностика по расстоянию до эталона и по расстоянию до множества [1].

Разберем сначала распознавание по методу эталонов.

Выбор эталона. В методе эталонов отнесение предъявленного для распознавания объекта к одному из n диагнозов (состояний) совершается по наименьшему расстоянию до эталона. В качестве эталона для диагноза D_i принимается типичный объект, имеющий диагноз D_i (рис.4.1.). Наиболее естественный выбор эталона состоит в использовании средних значений

параметров в области диагноза. Если известны M_i объектов с диагнозом D_i , то в качестве эталона диагноза D_i можно принять

$$a_i^* - \bar{a}_i = \frac{1}{M_i} \sum_{s=1}^{M_i} a_i^{(s)}, \quad (4.5)$$

где $a_i^{(s)}$ — объект с диагнозом D_i (объект с верифицированным диагнозом). Равенство (4.5) определяет эталон как центр тяжести области диагноза. Координаты вектора a_i^*

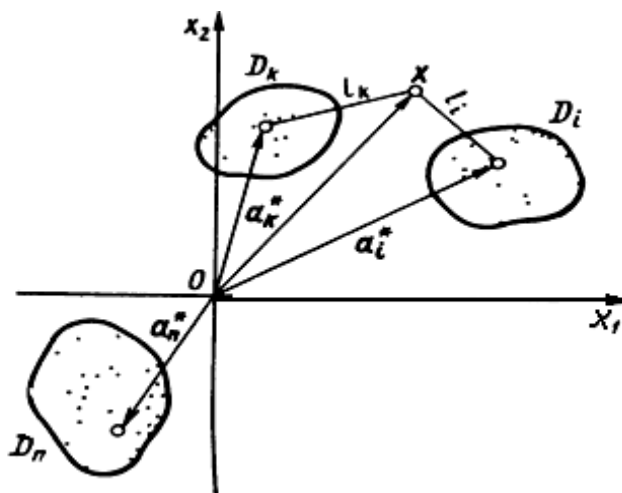


Рис.4.1. Диагностика по угловому расстоянию

Диагностика по расстоянию до эталона равны средним значениям координат векторов, входящих в обучающую последовательность.

Алгоритм распознавания. Допустим, что в пространстве признаков используется диагностическая мера расстояния L и предъявлен для диагностики объект x . Для отнесения объекта x к одному из n диагнозов определяются расстояния L до эталонных точек $a_1^*, a_2^* \dots a_n^*$. Объект x относят к диагнозу D_i , если мера расстояния между точками x, a_i^* минимальна:

$$L_i = \min, \text{ o = to } x \in D_i \quad (4.6)$$

или в другой форме

$$x \in_i, \text{ если } L_i < L_k (k = 1, 2, \dots, n; k \neq i). \quad (4.7)$$

В некоторых случаях условие (4.7) принимается в более строгой форме

$$L_k - L_i > \varepsilon, \quad (4.8)$$

где ε — порог распознавания ($\varepsilon > 0$).

Например, если в качестве диагностической меры принимается квадрат расстояния, $L_i = l_i^2 = \sum_{j=1}^N \lambda_i^2 (x_j - a_j^*)^2$ то объект x относят к диагнозу $D_i (x \in D_i)$ при условии

$$l_i^2 < l_k^2 (k = 1, 2, \dots, n; k \neq i). \quad (4.9)$$

Если вводится дополнительный порог распознавания в виде некоторой области, окружающей точку эталона, то условия (4.6), (4.7), (4.8) являются только необходимыми.

Дополнительным необходимым условием принимается следующее:

$$x \in D_i, \text{ если } |x - a_i^*| < \rho_i, \quad (4.10)$$

где ρ_i , — радиус сферы, в которую должна входить точка для отнесения этой точки к диагнозу. Это условие используется для изотропного, однородного пространства признаков.

Для неизотропного и неоднородного пространства признаков соответствующее ограничение

$$\delta_{ij}^{(1)} < x_j - a_{ij}^* < \delta_{ij}^{(2)}, \quad (4.11)$$

где $\delta_{ij}^{(1)}, < \delta_{ij}^{(2)}$ — границы области принятия решения для диагноза D_i и координаты x_j . Условие (4.11) определяет N -мерный параллелепипед, внутри которого должна находиться точка x для принятия решения $x \in D_i$. Эти области для различных диагнозов могут перекрываться. Их введение позволяет исключить случаи, когда расстояние L_i минимально, но точка x настолько удалена от области D_i , что решение $x \in D_i$ неправдоподобно.

Если точка x выходит из области (4.11), то происходит отказ от распознавания, что нежелательно. В связи с этим границы (4.11) не следует выбирать слишком узкими, однако расширение области диагноза уменьшает надежность распознавания. В практических задачах область (4.11) принимается такой, чтобы она с некоторым запасом включала все точки обучающей последовательности, принадлежащие диагнозу D_i .

4.3. Анализ методических погрешностей бесконтактного измерения электрических напряжений

Наличие методических погрешностей при бесконтактном измерении электрических напряжений обусловлено спецификой их преобразования в соответствующие параметры электрического поля и пропорциональный выходной электрический сигнал. Физическая природа и механизм возникновения методических погрешностей при бесконтактном измерении напряжения, так же как и при измерении тока, обусловлены главным образом влиянием формы, размеров проводников с контролируемым сигналом, их положением и ориентацией относительно бесконтактного преобразователя, а также изменением диэлектрической проницаемости и толщины диэлектрических защитных покрытий и влиянием соседних заряженных элементов.

Наибольшее влияние на результат бесконтактных измерений напряжения в элементах РЭА с малыми размерами оказывают, как правило, неточности установки и взаимной ориентации преобразователя относительно проводников, которые нельзя охватить замкнутым измерительным электродом. Поэтому рассмотрим сначала методические погрешности, связанные с изменением расстояния между преобразователями и проводником, размерами и угловой ориентацией проводника.

Погрешности, обусловленные изменением расстояния до проводника. Эти погрешности зависят также от электрических свойств и параметров диэлектриков, расположенных между измерительным электродом и поверхностью проводника, а их расчет может производиться в соответствии со следующей общей формулой (4.12) [43, 46].

$$\delta_{см} = \frac{(A_c - A_0)}{A_0} = \frac{A_c}{A_0} - 1, \quad (4.12)$$

где A_0 – обобщенный выходной параметр сигнала бесконтактного преобразователя при его калибровке образцовым сигналом, когда калиброванный проводник заданной формы и размеров сечения установлен в номинальном рабочем положении по отношению к преобразователю без смещений, изгибов и наклонов; A_c – обобщенный выходной параметр сигнала при изменении положения или ориентации проводника с током, а также изменении формы и размеров сечения проводника по сравнению с калибровочным проводником.

При однородном диэлектрике, например воздушном зазоре шириной h между электродом и проводником, погрешность, обусловленную изменением зазора: на некоторое значение Δh , можно определить на основании формулы $C \approx \varepsilon S / h = \pi r^2 \varepsilon / h$ следующим образом:

$$\delta_h = \Delta C / C = 1 / (h / \Delta h) \approx \Delta h / h . \quad (4.13)$$

Таким образом, при перемещении электрода перпендикулярно поверхности проводника погрешность максимальна и равна относительной нестабильности изменения зазора.

Соответственно можно определить погрешность от изменения расстояния при наличии защитных изоляционных покрытий на поверхности электрода и проводника.

Пользуясь формулой $C = S / \sum_{m=1}^n [(h_m - h_{m-1}) / \varepsilon_m]$ для расчета ёмкости плоского конденсатора с многослойным диэлектриком, получим

$$\delta_h = [h_0 / \Delta h + h_1 / (\Delta h_1 \varepsilon_1) + h_2 / (\Delta h_2 \varepsilon_2) - 1]^{-1} , \quad (4.14)$$

где h_0, h_1 и h_2 - толщина слоя воздуха, изоляционного слоя электрода и проводника соответственно; Δh - изменение толщины слоя воздуха, изоляции электрода и проводника; ε_1 и ε_2 — относительная диэлектрическая проницаемость изоляции электрода и проводника.

Если параметры защитных диэлектрических слоев остаются неизменными, то для снижения погрешности измерения, обусловленной нестабильностью воздушного зазора Δh_0 , необходимо увеличивать: относительную толщину защитных покрытий $(h_1/\varepsilon_1 + h_2/\varepsilon_2)$ по сравнению с воздушным зазором h_0 . Поэтому воздушный зазор целесообразно обеспечивать минимальным чтобы погрешность зависела только от нестабильности толщины изоляционного покрытия проводника.

Это способствует одновременно увеличению коэффициента передачи преобразователя.

Для оценки погрешности от изменения зазора при использовании плоского электрода для измерения напряжения цилиндрического проводника можно воспользоваться формулой для расчета рабочей емкости электрода. Проводник с измеряемым сигналом и электродом является, как правило, цилиндрическими или плоскими, емкость между ними может быть определена в этом случае в соответствии

$$C_1 \approx \varepsilon 2\pi \varepsilon l \left\{ \ln \left[2h^2 / (rb) \right] \right\}^{-1} . \quad (4.15)$$

Эта формула справедлива для бесконечно длинных проводников с соотношением поперечных размеров $b/h < 10$ и $h/r < 10$.

и получить

$$\delta = 1 - \frac{\ln \left[2h^2 / (rb) \right]}{\ln \left[2(h + \Delta h)^2 / (rb) \right]} . \quad (4.16)$$

Полученная зависимость может быть применена также для оценки погрешности при измерении напряжения на плоском проводнике шириной $2b$ с помощью выпуклого цилиндрического электрода радиуса r . Применение электродов с такой формой рабочей поверхности имеет преимущества из-за меньшей зависимости выходного сигнала от углового положения электрода относительно поверхности проводника. Измерение электрических напряжений на платах печатного монтажа "показывает, что изменение взаимного углового

положения электрода и проводника наиболее сильно влияет на результаты измерения, особенно при ручной установке бесконтактного преобразователя. Чтобы оценить эту погрешность, необходимо определить зависимость рабочей емкости электрода от его углового положения α относительно поверхности проводника (рис. 4.2, а).

Строгое аналитическое решение этой задачи сопряжено с серьезными математическими трудностями и для инженерных расчетов практически непригодно. Поэтому для малых углов поворота электрода α используется обычно приближенная оценка емкости между пластинами в предположении, что электрическое поле между ними остается плоскопараллельным.

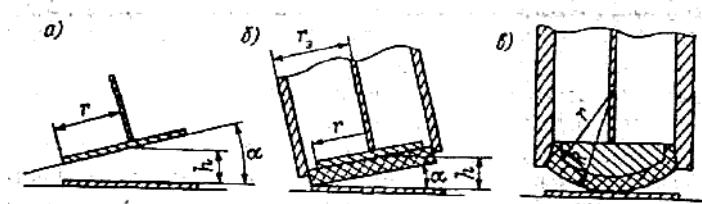


Рис. 4.2. К определению погрешности от изменения углового положения электрода

Полученная с учетом этого допущения приближенная зависимость емкости дискового электрода радиуса α от угла поворота α (рис. 4.2, а) имеет вид

$$C_{\alpha} = 2\epsilon\pi r^2 / (h + \sqrt{h^2 - r^2 \sin^2 \alpha}) \quad (4.17)$$

Поскольку в реальных конструкциях бесконтактных преобразователей диаметр $2r_0$ наружного электростатического экрана может существенно превышать диаметр $2r$ электрода, то при наклоне оси преобразователя на угол α от исходного состояния происходит увеличение зазора h между электродом и проводником (рис. 4.2, б). В этом случае зависимость емкости от угла α более сильная и характеризуется соотношением

$$C'_{\alpha} \approx \frac{2\pi\epsilon r^2}{(h \cos \alpha + r_0 \sin \alpha) \sqrt{(h \cos \alpha + r_0 \sin \alpha)^2 - r^2 \sin^2 \alpha}} \quad (4.18)$$

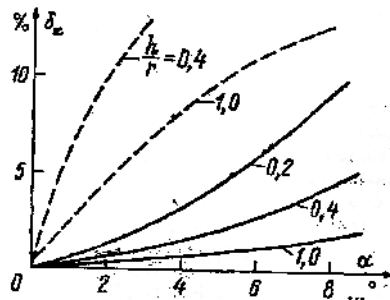


Рис. 4.3. Зависимости погрешности измерения от изменения угла между электродом и проводником без учета радиуса (сплошные кривые), и с учетом радиуса экрана при $r_{\text{э}} = 1,2r$ (штриховые кривые)

Представленные на рис. 4.3 графики зависимостей погрешности δ_{α} , обусловленной изменением углового положения плоского электрода, показывают, что уменьшение указанной погрешности сопряжено с необходимостью увеличения расстояния h между электродом и проводником и приближения диаметра наружного экрана к диаметру электрода.

Однако оба указанных фактора ведут к снижению коэффициента преобразования, поскольку рабочая емкость электрода уменьшается, а входная емкость между электродом и экраном растет, увеличивая коэффициент деления полезного сигнала на входе преобразователя.

Для уменьшения погрешностей измерения, обусловленных угловым отклонением электрода, целесообразно использовать электрод и его защитное изоляционное покрытие с выпуклой цилиндрической или сферической поверхностью (рис. 4.2, в). При сферической поверхности электрода его рабочую емкость можно рассчитать по формуле (4.19).

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_1(r/h)\ln[(2r/h)\operatorname{tg}^2(\varphi/2)-1] \quad (4.19).$$

При такой форме поверхности электрода изменение его углового положения не приводит к изменению расстояния до проводника и снижает влияние краевого эффекта.

Хотя рассматриваемому варианту конструктивного исполнения тоже присущи недостатки, обусловленные снижением коэффициента преобразования и ухудшением технологичности изготовления, однако здесь

имеется значительный выигрыш в снижении погрешности от изменения углового положения, что особенно важно при ручной установке и ориентации корпуса бесконтактного преобразователя.

Погрешность измерения от влияния потенциалов соседних проводников. Для печатных компланарных проводников, ширина которых значительно превышает размеры измерительного электрода, приближенная оценка погрешности, вносимой потенциалами соседних проводников, может быть сделана на основании геометрических построений (рис. 4.4, б) и выражения (4.20).

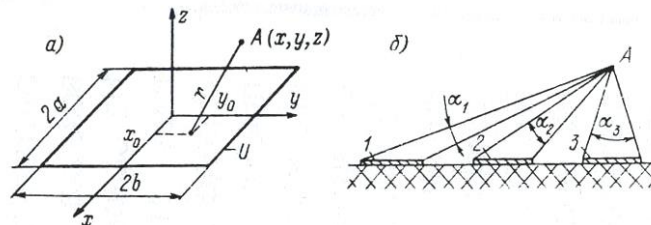


Рис. 4.4. К определению потенциала, создаваемого плоскими зараженными проводниками

$$U_A = (U / \pi) \{ \arctg [(x+a)/z] - \arctg [(x-a)/z] \} . \quad (4.20)$$

В этом случае электрод рассматривается как точечный и для определения погрешности от изменения расстояния до проводника и его размеров могут быть использованы соотношения (4.21) и (4.23), полученные для бесконтактного измерения тока в печатных проводниках.

$$\delta_{cm} = 1 - \{ \arctg [l/(r-\Delta)] + \arctg [l/(r+\Delta)] \} / [2 \arctg (l/r)] . \quad (4.21)$$

При расстояниях $l > r$ полученное выражение можно упростить, воспользовавшись разложением функции \arctg в ряд, в результате чего, ограничиваясь линейными членами разложения, получим

$$\delta_{cm} \approx 1 - (1 + \Delta^2 / r^2)^{-1} \approx \Delta^2 / r^2 = \delta_r^2 . \quad (4.22)$$

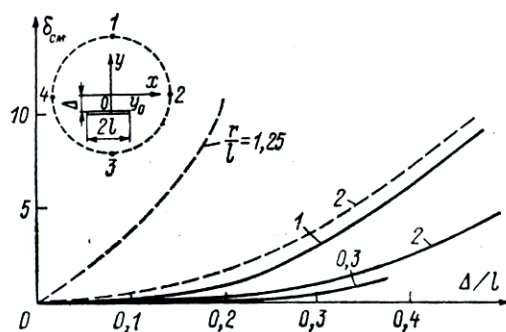


Рис. 4.5. Зависимости погрешности, обусловленной смещением ленточного проводника по оси y , для МЧ-элемента в точках 1 и 3 (сплошные кривые) и для МЧ-элемента точках 2 и 4 (штриховые кривые).

Зависимости погрешности смещения δ_{cm} для различных относительных расстояний r/l до МЧ-элемента показывают (на рис. 4.5 – для МЧ-элемента в точках 1 и 3), что при одинаковых смещениях Δ/l погрешность δ_{cm} максимально при $r/l=1$.

Для снижения погрешности δ_{cm} необходимо либо удалять МЧ-элемент от проводника, либо приближать к его поверхности на расстояния, меньшие ширины l . Второй вариант является, естественно, более предпочтительным, поскольку одновременно с уменьшением расстояния до МЧ-элемента, увеличивается его полезный выходной сигнал и только конструктивные ограничения, малыми размерами проводников и размерами МЧ-элемента, является основным препятствием для уменьшения его расстояния.

Рассмотрим теперь погрешность, обусловленную смещением проводника относительно МЧ-элемента в точках 1 и 3 параллельно его плоскости, т. е. вдоль оси x . При смещении проводника на расстояние x суммарный выходной сигнал МЧ-элемента в точках 1 и 3 согласно формуле

$$U_{вых} = [\mu_0 I k / (2\pi l)] \arctg[(l + \Delta x) / r] .$$

Тогда погрешность смещения будет

$$\delta_{cm} = 1 - \arctg[(l + \Delta x) / r] / \arctg(l / r) . \quad (4.23)$$

Разложив функцию arctg в степенной ряд, можно получить следующие приближенные значения погрешности смещения для больших и малых расстояний до МЧ-элемента:

$$\text{для } r > l \quad \delta_{\text{см}} \approx \Delta x / l; \quad (4.24)$$

$$\text{для } r < l \quad \delta_{\text{см}} \approx (\Delta x / l) / [\pi l / (2r) - 1] \quad (4.25)$$

Более точное определение погрешности с учетом конечных размеров электрода может быть сделано на основе анализа его емкостных связей с измеряемым и соседним проводниками. Принимая потенциалы этих проводников, одинаковыми, при расчете их емкостных связей с электродом можно воспользоваться соотношениями, полученными для расчета емкости между параллельными пластинами различной ширины (рис. 4.6), где одна из пластин, например верхняя, выполняет роль электрода. Зная емкости C_1 и C_2 между электродом 1 и проводником 2 с измеряемыми

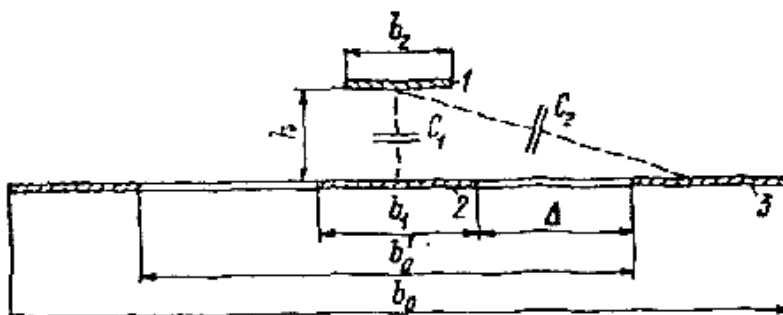


Рис. 4.6. К расчету погрешности от влияния соседних компланарных проводников

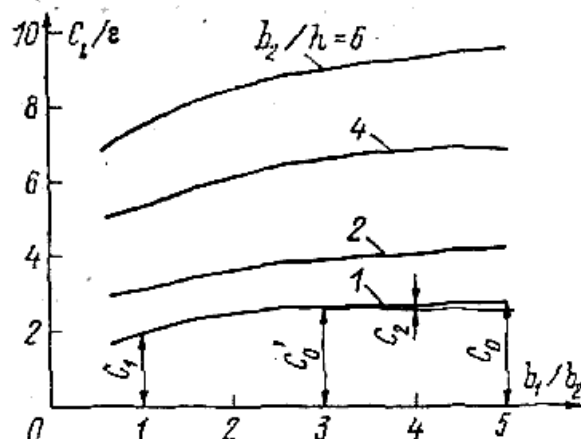


Рис. 4.7. Зависимости емкости между электродом и компланарными печатными проводниками от соотношений их размеров

сигналом и соседним проводником 3 (рис. 4.6); погрешность можно определить как отношение этих емкостей

$$\delta = C_2 / C_1$$

При этом рабочая емкость C_1 определяется как емкость между параллельными пластинами 1 и 2 разной ширины с общей осью симметрии на основе графических зависимостей или полученных на их основе более удобных для использования зависимостей рис. 4.8. Емкость между электродом и соседним проводником можно определить в соответствии с рис. 4.7 следующим образом:

$$\delta = (C_0 - C'_0) / 2$$

где C_0 — емкость между электродом и пластиной шириной b_0 ; C'_0 — емкость между электродом и пластиной шириной b'_0 . Здесь емкости C_0 и C'_0 , так же как и C_1 , могут определяться по графическим зависимостям рис. 4.7. Если, например, ширина электрода равна ширине проводника, т. е. $b_1 - b_2 = b$, то значения емкости C_1 при различных соотношениях b_2/h на графиках рис. 4.7 будут соответствовать абсциссе $b_1/b_2 = 1$. Значения емкостей C_0 и C'_0 для такого же соседнего проводника, расположенного параллельно на расстоянии $2b$, будут соответствовать точкам на оси абсцисс $b_1/b_2 = 3$ и $b_1/b_2 = 5$ (рис. 4.7). Поскольку между указанными точками закон изменения емкости близок к линейному, то емкость C_2 можно определить как приращение ординаты в точке $b_1/b_2 = 4$, соответствующей центру соседнего проводника.

Зависимости погрешности от влияния потенциала соседнего проводника можно определить, таким образом, для разных расстояний h до электрода из графиков (рис. 4.7). Из них следует, что погрешность наиболее сильно зависит от изменения зазора h между электродом и поверхностью проводника, а

зависимость погрешности от расстояния Δ между проводниками при одном и том же зазоре h значительно более слабая (рис. 4.8).

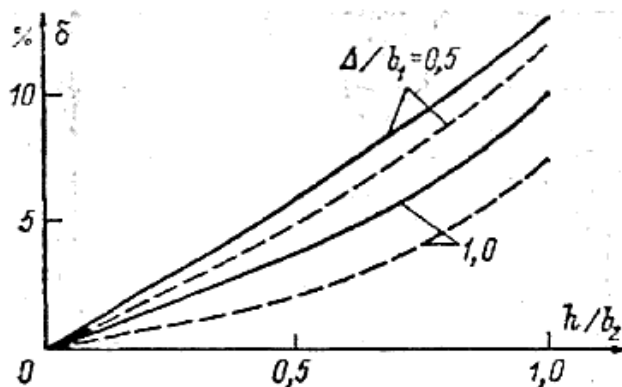


Рис. 4.8. Зависимости погрешности, обусловленной потенциалом соседнего компланарного проводника, от изменения зазора h между электродом и проводником (сплошные кривые — экспериментальные, штриховые кривые — расчетные)

Погрешности при охвате проводника измерительным электродом.

При возможности охвата проводника, например, цилиндрическим замкнутым электродом (рис. 4.9) рабочую емкость между электродом и проводником с изоляцией можно определить по формуле для расчета емкости цилиндрического конденсатора с многослойным диэлектриком:

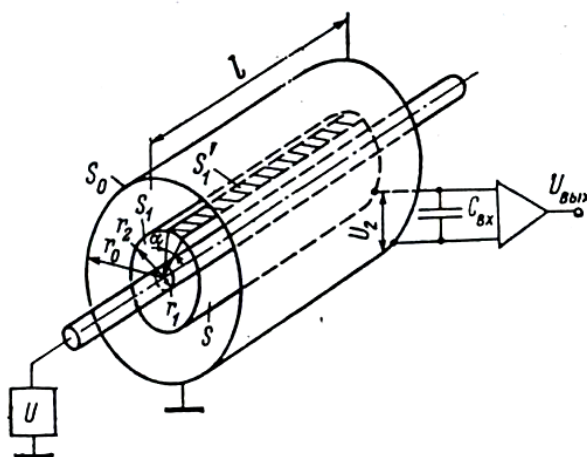


Рис. 4.9. К Расчету электростатического поля заряженного цилиндрического проводника.

$$C_p = 2\pi\varepsilon_0 l / [\varepsilon^{-1} \ln(d_2/d_1) - \varepsilon_1^{-1} \ln(d_3/d_2)] \quad (4-26)$$

где d_1 и $(d_2$ — диаметры провода без изоляции и с изоляцией; l и d_3 — длинами диаметр электрода; ε и ε_1 — относительная диэлектрическая проницаемость изоляции провода и электрода.

Приведенные на (рис. 4.10, а) зависимости изменения рабочей емкости от изменения диаметра провода и диэлектрической проницаемости его изоляции показывают, что для снижения погрешности, обусловленной этими факторами, необходимо увеличивать диаметр измерительного электрода по сравнению с диаметром провода и применять изоляцию электрода с возможно низкой диэлектрической проницаемостью.

Погрешность, обусловленную смещением провода относительно центра цилиндрического электрода на некоторое расстояние Δ , можно на

основании $C = 2\pi\varepsilon l \left[\text{Arch} \frac{R^2 + r^2 - \Delta^2}{2rR} \right]^{-1}$ определить следующим образом:

$$\delta = 1 \frac{\text{Arch} \left[\frac{(R^2 + r^2 - \Delta^2)}{(2rR)} \right]}{\text{Arch} \left[\frac{(R^2 + r^2)}{(2rR)} \right]} \quad (4.27)$$

Как следует из приведенной на (рис. 4.10, б) зависимости рассматриваемой погрешности, ее значение составляет примерно 1 % при относительно небольших смещениях проводника, соизмеримых с его диаметром. С увеличением смещения погрешность быстро растет по закону, близкому к квадратичному.

Применение замкнутого измерительного электрода, охватывающего проводник с измеряемым напряжением, позволяет существенно снизить зависимость результатов бесконтактного измерения от смещения электрода относительно проводника. За счет конструктивного ограничения зоны перемещения проводника вблизи центра электрода можно обеспечивать погрешность измерения не выше допустимого значения. Кроме того, конструкция бесконтактного преобразователя с замкнутым цилиндрическим

электродом является наиболее защищенной от влияния потенциалов соседних заряженных проводников.

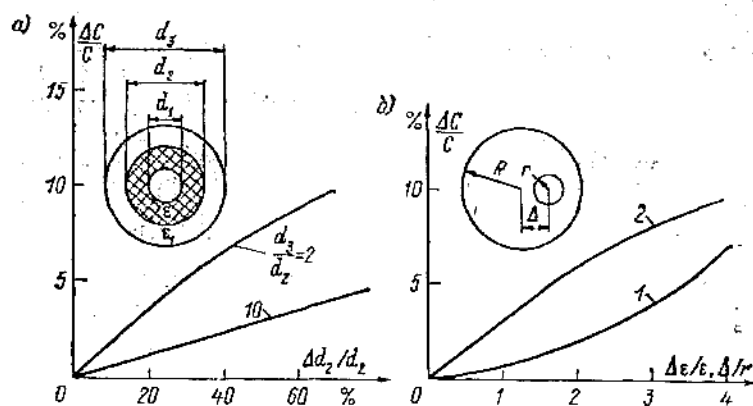


Рис. 4.10. Зависимости рабочей емкости между проводником и цилиндрическим электродом: *а* — от изменения диаметра провода при $\varepsilon_1/\varepsilon_2 = 4$; *б* — от смещения Δ провода от центра при $R/r = 10$ (кривая 1) и ют разброса проницаемости $\Delta\varepsilon/\varepsilon$ изоляции провода (кривая 2)

Основные недостатки такого типа преобразователей обусловлены конструктивными ограничениями, не позволяющими применять их для измерения напряжений в платах печатного монтажа, а также объемного монтажа высокой плотности. Целесообразно применять дифференциальные преобразователи с двумя идентичными электродами, менее критичные к перемещению относительно проводника с измеряемым сигналом. Electrodes are reasonably installed symmetrically at a distance d_1 from the conductor on both sides (fig. 4.11). In this case the working capacitance is determined by the sum of capacitances ($C_P = C_1 + C_2$) and in the central position of the conductor ($d_1 = d_2 = d$) it will be $C_{P0} = 4\pi\varepsilon S/d$.

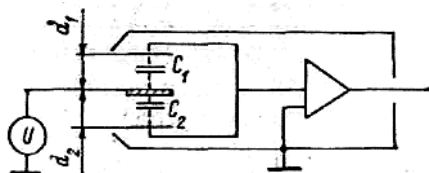


Рис. 4.11. Емкостной преобразователь дифференциального типа

Изменение рабочей емкости при смещении проводника относительно центрального положения на расстояние Δd и погрешность, обусловленную таким смещением, можно представить в виде

$$C_p = 2\pi\epsilon S [1/(d + \Delta d) + 1/(d - \Delta d)] = (4\pi\epsilon S / d) / [1 + (\Delta d / d)^2]; \quad (4.28)$$

$$\delta = C_p / C_{po} - 1 = (\Delta d / d) \quad (4.29)$$

Таким образом, погрешность дифференциального преобразователя пропорциональна квадрату линейного перемещения, тогда как у обычного преобразователя с одним плоским электродом она пропорциональна первой степени относительного перемещения. Это позволяет при малых относительных перемещениях проводников $\Delta d / d \ll 1$ снизить практически на порядок указанную погрешность за счет дифференциального способа преобразования сигнала.

Выводы

1. Для оценки надежности работы узлов электронных схем целесообразно использовать логические методы, основанные на основе Булевой алгебры. При этом нормальное рабочее состояние платы оценивается признаком «0» а ненормальное состоянием признаком «1».

2. Установлено, что физическая природа и механизм возникновения методических погрешностей при бесконтактном измерении напряжения, и при измерении тока, обусловлены главным образом влиянием формы, размеров проводников с контролируемым сигналом, их положением и ориентацией относительно бесконтактного преобразователя, а также изменением диэлектрической проницаемости и толщины диэлектрических защитных покрытий и влиянием соседних заряженных элементов.

3. Установлено, что погрешность, обусловленные изменением расстояния до проводника зависит от электрических свойств и параметров диэлектриков, расположенных между измерительными элементами и поверхностью проводника.

4. Установлено, что если параметры защитных диэлектрических слоев постоянны, то для снижения погрешности измерения, обусловленной нестабильностью воздушного зазора необходимо увеличивать относительную

толщину защитных покрытий по сравнению с воздушным зазором. Поэтому воздушный зазор целесообразно обеспечивать минимальным чтобы погрешность зависела только от нестабильности толщины изоляционного покрытия проводника.

5. Погрешности, обусловленные угловым отклонением электрода значительно можно уменьшить в случае использования электрода и его защитное изоляционное покрытие с выпуклой цилиндрической или сферической поверхностью, в этом случае снижается краевого эффекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате изучения известных способов и систем контроля и управления работой узлов, блоков АСУТП, а также технологических процессов и других объектов проведена классификация способов визуализации объектов контроля и управления, при этом установлено, что способы визуализации информации разделяются на две большие группы: визуализация состояния объектов узлов, блоков, АСУТП и визуализация изменения параметров этих блоков, узлов (объектов).

2. Разработаны структурные схемы для местной и дистанционной системы визуализации состояния и изменения параметров сосредоточенных и рассредоточенных блоков, узлов систем контроля и управления. Приведены и описаны структурные схемы, принципы работы, основные технические характеристики системы визуализации состояния контролируемых узлов АСУТП. При этом основными элементами и блоками системы визуализации состояния объектов являются камерная головка, линия связи, система обработки информации и дисплей.

3. Для сбора данных, о состоянии работы блоков, узлов АСУТП и технологических процессов, а также для графического представления об изменении параметров узлов и технологического процесса, принятой охранной информации в удобной для восприятия виде предложен использовать программное средство “SCADA – системы” и программное обеспечение SCADA TRAGE MODE 6 а также программные средства интеграции “SCADA-Softlogie”.

4. Установлено, что для обеспечения качественной многоканальной визуализации видеоизображения целесообразно использовать программное средство IP control. Данное ПО позволяет просматривать одновременно “живое” видео с синхронным аудиосопровждением по всем каналам, а также записывать и воспроизводить видео и аудио информации в формате MPEG – L на подключенные к сети компьютеры.

5. Установлено, что основными характеристиками преобразователей, построенные на базе магниточувствительных элементов являются: относительно малые размеры 0,1-1,0 мм³; высокая чувствительность; позволяющие измерить токов менее 1 мА; широкий диапазон частот 10⁷ Гц; высокая коэффициент преобразования.

6. Для контроля изменении напряженности магнитного поля, ёмкости или индуктивности на поверхностях печатных плат можно успешно использовать индукционные магниточувствительные элементы, имеющие коаксиальную форму с замкнутыми и разомкнутыми контрами, и прямоугольную форму.

7. Установлено, что коэффициент преобразования магнито-чувствительного элемента зависит от: расстоянии магниточувствительного элемента и поверхности проводников; сечении-площади проводника; уровни и частоты сигналов и т.д.

8. Установлено, что физическая природа и механизм возникновения методических погрешностей при бесконтактном измерении напряжения, и при измерении тока, обусловлены главным образом влиянием формы, размеров проводников с контролируемым сигналом, их положением и ориентацией относительно бесконтактного преобразователя, а также изменением диэлектрической проницаемости и толщины диэлектрических защитных покрытий и влиянием соседних заряженных элементов.

9. Установлено, что если параметры защитных диэлектрических слоев постоянны, то для снижения погрешности измерения, обусловленной нестабильностью воздушного зазора необходимо увеличивать относительную толщину защитных покрытий по сравнению с воздушным зазором. Поэтому воздушный зазор целесообразно обеспечивать минимальным чтобы погрешность зависела только от нестабильности толщины изоляционного покрытия проводника.

10. Погрешности, обусловленные угловым отклонением электрода значительно можно уменьшит в случаи использование электрода и его защитное

изоляционное покрытие с выпуклой цилиндрической или сферической поверхностью, в этом случае снижается и погрешность краевого эффекта.

11. Для оценки надежности работы узлов электронных схем целесообразно использовать логические методы, основанные на основе Булевой алгебры. При этом нормальное рабочее состояние платы оценивается признаком «0» а ненормальное состояние признаком «1»

12. Построена передаточная функция звеньев охваченной обратной связью и уравнение годографа Михайлова, определены коэффициенты характеристического уравнения. По полученным расчетным данным построены Кривые Михайлова, в результате которого установлено, что система находится на границе устойчивости при значении параметров $\alpha \geq 0,08$, а при $\alpha \leq 0,08$ система является неустойчивой.

Приложение

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОХРАННОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ВИДЕОКАМЕР
STC – 3905**

П.1. Расчёт устойчивости охранной следящей системы на базе видеокамеры
STC-3905

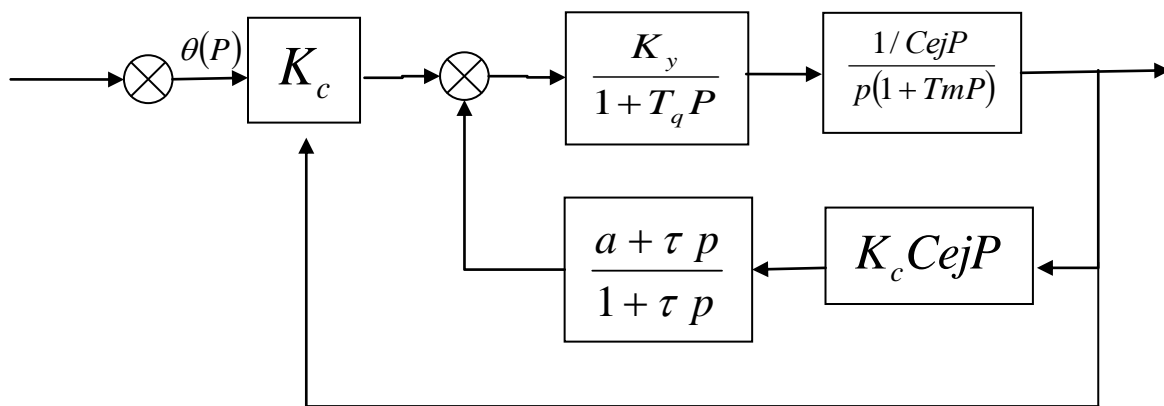


Рис. П.1. Структурная схема следящей системы. Расчет устойчивости системы проведем согласно.

Параметры системы:

$$R_c = 0,87 \text{ в / град}, R_y = 100;$$

$$C_c = 0,0106 \text{ в / град / сек}; j_p = 165; T_q = 0,12 \text{ сек};$$

$$T_m = 0,25 \text{ сек}; r = 0,01 \text{ сек}; R_0 = 0,2; \alpha = 0,02 \div 0,4.$$

Передаточная функция разомкнутой системы:

$$W(p) = R_c W_1(p), \quad (\text{П.1})$$

где $W_1(p)$ - передаточная функция звеньев, охваченных обратной связью.

$$W_1(p) = \frac{R_y (1 + \tau p)}{C_e j p [1 + T_q p + \tau p + \tau T_q p^2] (1 + T_m p) + R_y R_0 (\alpha + \tau p)} \quad . \quad (\text{П.2})$$

Передаточная функция разомкнутой системы:

$$W(p) = \frac{A(p)}{B(p)}, \quad (\text{П.3})$$

где

$$A(p) = R_y R_c (1 + \tau p).$$

$$B(p) = C_e j_p P [\tau T_q T_m p^3 (\tau T_q + T_q T_m + \tau T_m) p^2 + (T_q + \tau + T_m + R_o \tau) p + (1 + R_o \alpha)]$$

Передаточная функция замкнутой системы:

$$\frac{\theta_{вых}(p)}{\theta_{вх}(p)} = \frac{1}{1 + \frac{1}{wp}} = \frac{A(p)}{H(p)} \quad (\text{П.4})$$

где

$$H(p) = A(p) + B(p) = c_e j_p \tau T_q T_m p^4 + c_e j_p (\tau T_q + T_q T_m + \tau T_m) p^3 + (T_q + \tau + T_m + R_y R_o \tau) c_e j_p p^2 + (c_e j_p + c_e j_p R_y R_o \alpha + R_y R_c \tau) p + R_y R_c$$

Характеристическое уравнение системы:

$$H(p) = 0 \quad (\text{П.5})$$

Обозначим

$$a_0 = c_e j_p \cdot (\tau T_q + T_q T_m + \tau T_m) = 0,0166 \cdot 165 (0,01 \cdot 0,12 + 0,25 + 0,01 \cdot 0,25) = 0,0586;$$

$$a_2 = (T_q + \tau + T_m + R_y R_o \tau) c_e j_p = (0,12 + 0,01 + 0,25 + 100 \cdot 0,2 \cdot 0,01) \cdot 0,0106 \cdot 165 = 1,014;$$

$$a_3 = c_e j_p + c_e j_p R_y R_o \alpha + R_y R_c \tau = 0,0106 \cdot 165 + 0,0106 \cdot 165 \cdot 100 \cdot 0,2 \alpha + 100 \cdot 0,87 \cdot a \cdot 0,01 = 2,619 + 35 \alpha;$$

$$a_4 = R_y R_c = 100 \cdot 0,87 = 87.$$

$$\text{Тогда} \quad H(p) = a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0 \quad (\text{П.6})$$

Уравнение годографа Михайлова

$$H(j\omega) = a_0 (j\omega)^4 + a_1 (j\omega)^3 + a_2 (j\omega)^2 + a_3 (j\omega) + a_4 = a_0 \omega^4 - j a_1 \omega^3 - a_2 \omega^2 + j a_3 \omega + a_4 = x + jy, \quad (\text{П.7})$$

$$\text{где } x = a_0 \omega^4 - a_2 \omega^2 + a_4, \quad y = -a_1 \omega^3 + a_3 \omega$$

Подставив значение коэффициентов, получим

$$\begin{aligned} x &= 0,000524\omega^4 - 1,014\omega^2 - 87; \\ y &= -0,0589\omega^3 + (2,62 + 35\alpha)\omega. \end{aligned} \quad (\text{П.8})$$

При этом исследование влияние коэффициента α на устойчивость системы сводится к построению только двух характеристических кривых, соответствующим двум предельным значениям варьируемого параметра. [35, 37, 38].

Так как при фиксированных значениях ω то приращение $H(j\omega)$ при изменении α для фиксированного ω будет пропорционально $\Delta\alpha$:

$$\Delta H(j\omega) = \left(\frac{\partial x}{\partial \alpha} + j \frac{\partial y}{\partial \alpha} \right) \Delta \alpha = C \Delta \alpha, \quad (\text{П.9})$$

где C – постоянная для каждого значения ω .

Таблица П.1.

Расчёт характеристических кривых Михайлова

ω	0	2	5	6	8	9	12	15	18	20	22
ω^4	0	16	625	1296	4096	6561	20736	50625	104976	160000	234256
$0,000524\omega^4$	0	0,008395	0,3279	0,68	2,149	3,443	10,88	26,56	55,08	84	122,9
$1,014\omega^4$	0	4	25	36	64	81	144	225	324	400	484
x при $\alpha=0,02$ и $0,4$	0	4,056	25,35	36,50	64,9	82,13	146	228	328,5	406	490,8
	0	82,95	01,93	51,15	21,25	8,31	-58,12	-114,4	-185,6	-235	-280,9
ω^3	0	8	125	216	512	729	1728	3375	5832	8000	10648
$0,0589\omega^3$	0	0,4717	7,37	12,5	30,19	42,3	100	202	332	472	628
$3,32\omega$	0	0,638	16,6	19,8	26,55	29,9	39,8	49,75	59,7	66,38	73
$16,6\omega$	0	33,22	83,05	99,5	132,88	149,5	192	249,1	299	332	366
y при $\alpha=0,02$	0	6,17	9,23	7,3	-3,63	-12,4	-60,2	-153,25	-272,3	-405,6	-555
y при $\alpha=0,4$	0	32,75	75,68	87,0	102,69	107,2	92	47	-33	-140	-262

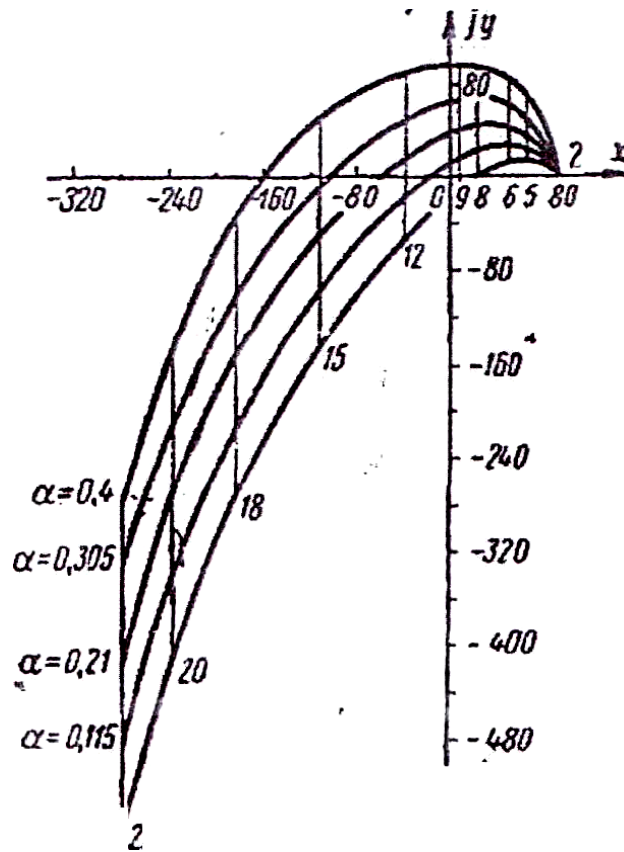


Рис П.2. Кривые Михайлова

Отсюда следует, что для построения семейства характеристических кривых по параметру α достаточно построить две кривые этого семейства для двух произвольных значений α , а затем разметить отрезки, соединяющие точки обеих кривых с одинаковыми значениями ω , в соответствии с выбранным интервалом изменения приращения 1α .

Построим предельные кривые для значений $\alpha = 0,02$ и $\alpha = 0,4$:

при $\alpha = 0,02$ и $0,4$

$$x = 0,000524 \omega^4$$

$$x = 0,000524 \text{ см}^4 - 1,014 \text{ см}^2 + 87.$$

при $\alpha = 0,02$

$$y = -0,0589 \text{ см}^3 + (2,62 + 35 \cdot 0,02) \text{ см} = -0,0589 \text{ см}^3 + 3,32 \text{ см};$$

$$y = -0,0589 \text{ см}^3 + (2,62 + 35 \cdot 0,04) \text{ см} =$$

$$= -0,0589 \text{ см}^3 + 16,6 \text{ см}.$$

(при $\alpha = 0,4$)

$$y = - 0,0589 \text{ см}^3 + (2,62 + 35 \cdot 0,02) \text{ см} = - 0,0589 \text{ см}^3 + 3,32 \text{ см};$$

Расчёт характеристических кривых Михайлова для $\alpha=0,02$ и $0,4$ приведён в таблице П.1. Графическое построение кривых Михайлова с интервалом $\Delta\alpha = 0,055$ выполнено на рис. П.2.

Из рисунка видно, что система находится на границе устойчивости при значении параметра α , примерно равном $0,08$.

При $\alpha > 0,08$ система устойчива. При $\alpha < 0,08$ имеет место неустойчивой работы системы.

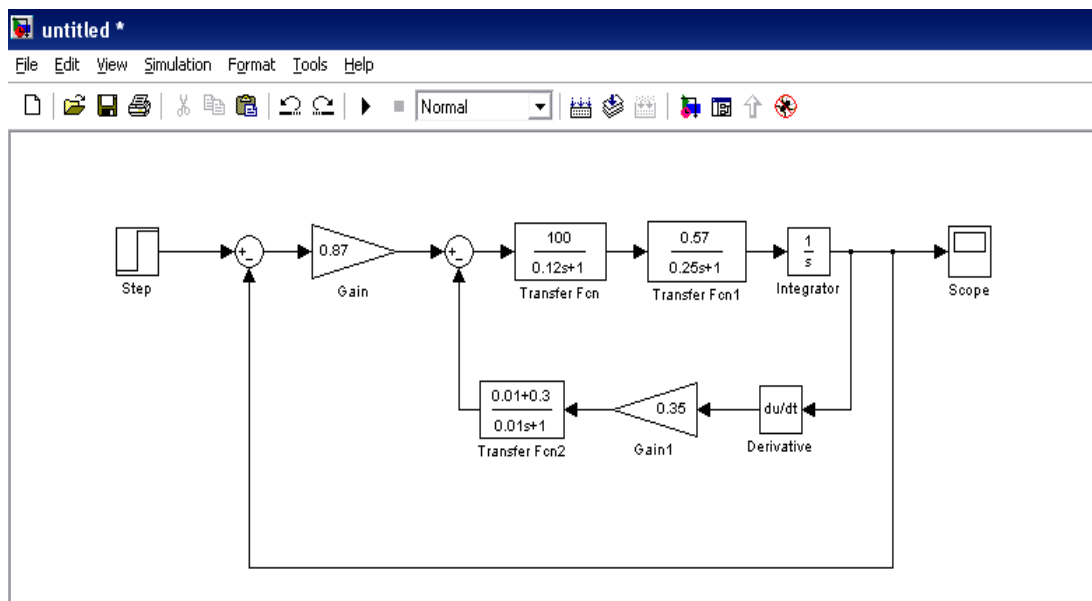


Рис. П.3. Структурная схема следящей системы с жесткой и гибкой обратными связями по скорости

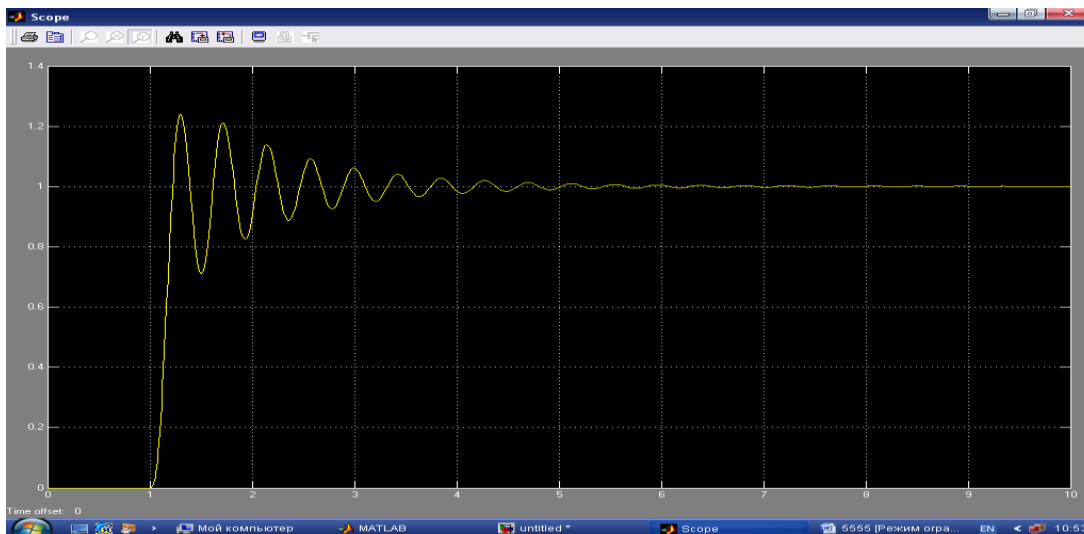


Рис. П.4. Переходной процесс следящей системы с жесткой и гибкой обратными связями по скорости

Выводы

1. Проведены исследования и расчет основных характеристик охранной следящей системы на базе видеокамеры STC – 3905. Для оценки устойчивости системы выбран критерии Михайлова.
2. Для исследования устойчивости охранной следящей системы на базе видеокамеры STC – 3905 была построена передаточная функция звеньев охваченной обратной связью. Построена уравнение Михайлова и определены коэффициенты характеристического уравнения.
3. По полученным расчетным данным построены кривые Михайлова, в результате которого установлено, что система находится на границе устойчивости при значении параметра $\alpha \geq 0,08$, а при $\alpha \leq 0,08$ система является неустойчивой.
4. Построена структурная схема следящей системы с жесткой и гибкой обратными связями по скорости. В результате программного расчета построен переходной процесс следящей системы показывающий устойчивость системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каримов И.А. Мировой финансово - экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана. Т.: Узбекистан. 2009. 48 с.
2. Самохин В. Цифровые видеокамеры – салон AUDIO/VIDEO, 1998, май – июнь. – 55 с.
3. Петропавловский Ю. Видеотехник формата VIDEO–8.–Радио 1998.– 42 с.
4. Шишигин И.В., Шульман М.Г., Колесниченко О.В., Золотарёв С.А. Как выбрать видеокамеру -Санкт - Петербург: Аянь - Полигон. 1996. – 76 с.
5. Новиков С. Открытые системы # 9/2003. – 89 с.
6. et al. TCP – Friendly Internet Video Streaming Employing Variable Frame – Rate Encoding and Interpolation. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, video 10, no 7, October 2000. – 152 с.
7. Конструкторско – технологическое проектирование электронной аппаратуры. Учебник для ВУЗов. Под.ред.В.А Шахнова, М: Изд-во ИГТУ им. А.Э. Баумана. 2002 – 528 с.
8. Г.С. Иванова Технология программирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 201 с.
9. Справочник программиста персональных компьютеров типа IBM PC/ AT и AT P. Дгиардейн. Москва “Финансы и статистика” 1992. – 78 с.
10. Уильямс Г.Б. Отладка микропроцессорных систем. Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 145 с.
11. Бочков С.О., Субботин Д.М. “Язык программирования для персонального компьютера”. – 82 с.
12. Абрамов С.А. и др. “Задачи по программированию”. М. : Григорьев В.П. Программное обеспечение микропроцесерных систем. – М. : “Энергоатомиздат”,1983. – 172 с.
13. А. Локтев. Что должна уметь система SCADA Программное обеспечение, инструментальные системы. 1998. –38 с.<http://www.cta.ru>.

14. Комплексная система управления оборудованием добычи нефти методом “Газлифт” на базе ПТК “Торнадо - S” . 1997. – 107 с.
15. COROS LS – В Powerful Process Visualization – From Compact. Single User up to Redundant Multi–User System. System Description. 1996. – 98с.
16. Журналы. “Приборы и системы управления”, “Микропроцессорные средства и системы”, “Автоматика, телемеханика и связь”. – 54 с.
17. Журналы. Приборы и системы управления. Издание 1999 года, все выпуски. – 97 с.
18. Погорелый С.Д., Слободенюк Т.Ф. Программное обеспечение микропроцессорных систем. К., Техника, 1985. – 78 с.
19. Приборы и системы управления (Журнал). 2001. №5. – 39 с.
20. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника.-СПБ. :БХВ-Санкт-Петербург, 2000.-528 с. : ил.
21. Мюллер. Скотт. Модернизация и ремонт ПК, 13 изд. Перс англ. М.: Издат. Дом “Вильямс”, 2002г. – 108 с.
22. Ремидович Т.В. Современные программы логические контроллеры. Прикладная техника. – М.: 1999. – 106 с.
23. Михаил Гук. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия. – СПб: Изд-во “Питер”, 2003. – 234 с.
24. Колосов В.Г., Мелихов Х.Х. “Проектирование узлов и систем автоматики и вычислительной техники”. Л: 1983. – 275 с.
25. “Конструкторского – технологическое проектирование электронной аппаратуры” под редакцией В.А Шаханова М.: Изд-во МГТУ, 2002.-198 с.
26. “Системы автоматизированного проектирования”. В 9 книгах. Под ред. Норенкова И.П. М.: Высш. Шк. 1986. – 185 с.
27. И.П. Норенков “Основы автоматизированного проектирования ”. Учебник для вузов. – М.: Изд – во МГТУ им Н.Э Баумана, 2002 – 360 с.
28. Шенброт И.М. и др. Распределенные АСУТП – М: Энергоиздат, 1985. – 207 с.

29. Н.Г. Фарзани Технологические измерения и приборы. Москва “высшая школа” 1989. – 256 с.
30. Гуртовцев А.Л. Программы для микропроцессоров – М. Радио и связь. 1989. – 175 с.
31. А.В. Мозгалеvский и др. Автоматический поиск неисправностей.: Машиностроение, 1967.
32. И.Н Блинов и др. Автоматический контроль систем управления. – Л.: Энергия, 1968
33. Г.Ф. Верзаков и др. Введение в техническую диагностику - М.: Энергия, 1968.
34. Техническая документация на микропроцессоры и микроконтроллеры. <http://www.atmel.com>
35. Техническая документация на АЦП. Протоколы информационного обмена с АЦП. <http://www.agrussoft.ru/>
36. Техническая документация на АЦП и операционные усилители. <http://www.analog.com/>
37. Л.П. Глазунов, А.Н.Смирнов. Проектирование технических систем диагностирования. –Л.: Энергоатомиздат, Ленинград отд-е, 1982.
38. Ю.В. Афанасьев. Феррозондовые приборы. –Л.: Энергоатомиздат, 1986.
39. Ю.Я. Иоссель, Э.С. Кочанов, М.Г. Струнский. Расчет электрической ёмкости. –Л.: Энергоатомиздат, 1981.
40. С.Х. Карпенко. Тонкопленочные магнитные преобразователи. – М.: Радио и связь, 1985.
41. Комбинированный цифровое прибор для диагностирования неисправностей микропроцессорных систем/С.А. Соколовский, Н.И. Яковлев, А.Т. Смолин, М.Г. Сыткин// Микропроцессорные средства и системы.-1987.-№ 1.
42. Р. Коэн. Миниатюрные полупроводниковые магнитные датчики Холла// Электроника.-1979.-№ 2.

43. М. Нагасе. Система для анализа интегральных схем методом лазерного сканирования //Микроэлектроника.-1968-Т. 5.
44. С.Н. Попов. Система диагностики неисправностей микропроцессорной аппаратуры на базе персонального компьютера//Микропроцессорные средства и системы.-1985.-№ 1.
45. Г.И. Разин, А.П. Щелкин. Бесконтактное измерение электрических токов. - М.:Атомиздат, 1974.
46. А.С. Соколовский, А.Т. Смолин, Н.И. Яковлев. Возможности и проблемы развития систем для бесконтактного неразрушающего контроля и диагностики интегральных схем электромагнитными методами//Труды ВНИИЭП Состояние и перспективы развития средств электроизмерительной техники. –Л., 1973.
47. В.Е. Хавкин, Б.В. Барашенков, В.О. Вершинин. Контроль и диагностика микро-ЭВМ. –М.: ЦНИИ Электроника, 1979.
48. **Биргер Техническая диагностика**
49. Э.Улжаев, Б.И.Эргашев. Классификация методов и средств контроля и диагностики состояния и режимов работы узлов систем контроля и регулирования параметров технологических процессов – Химическая технология контроль и управления, № 5, 2011.
50. Э. Улжаев, Б.И. Эргашев, Д.Н. Исамухамедов. Описаны основные моменты и вопросы, которые необходимо обращать внимания при формировании постановки задачи для проведения диагностики электронных схем автоматизация систем управления технологических процессов Асу Тп – Вестник ТашГТУ № 2, 2012.
51. www.manturbo.com
52. www.cecglobal.com
53. www.erudition.ru/referat/printref/46361.html
54. <http://www.microchip.ru>
55. www.library.by/shpargalka/contents/tes.html

56. www.dresser-rand.com
57. www.vniigas.com
58. www.texaco.com.
59. www.microchip.ru
60. [http: // www.amd.ru/All](http://www.amd.ru/All) Computers Info.
61. www.tup.km.ua/alex/book30/glava9.html
62. [Korolov@ argussoft.ru](mailto:Korolov@argussoft.ru)
63. <http://octavia> – studio. Com
64. [http:// rus. /625 - net. ru / arch. htm](http://rus./625-net.ru/arch.htm)
65. [www. pssl. com](http://www.pssl.com)
66. [www. cctv cad. com / rus](http://www.cctv.cad.com/rus)
67. E-mail: prived-kvban@mail.ru Журналы контрольно- измерительная и техника.