

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Робототехнические системы»

ДАТЧИКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-53 01 06 «Промышленные роботы
и робототехнические комплексы»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области автоматизации технологических процессов,
производств и управления*

Минск
БНТУ
2019

УДК 681.586.8 (076.5)(075.8)

ББК 32.96-04я7

Д20

Составители:

Г. Н. Здор, Ю. Е. Лившиц

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
«Материаловедение и проектирование технологических систем» БГТУ

Д. В. Куис;

кандидат технических наук, заведующий кафедрой
«Автоматизированные системы управления производством» БГАТУ

А. Г. Сеньков

Датчики систем автоматизации : лабораторный практикум для
Д20 студентов специальности 1-53 01 06 «Промышленные роботы и робототехнические комплексы» / сост. : Г. Н. Здор, Ю. Е. Лившиц. – Минск : БНТУ, 2019. – 178 с.

ISBN 978-985-583-017-8.

Излагаются принципы работы датчиков, систем и устройств, широко используемых при автоматизации с применением промышленных роботов и робототехнических комплексов в различных отраслях промышленности.

Выполнение лабораторных работ позволяет закрепить теоретические знания и освоить на практике навыки по использованию, настройке, обработке информации с индуктивных, емкостных, лазерных, тензометрических, контактных датчиков и систем технического зрения, цифроаналоговых преобразователей.

УДК 681.586.8 (076.5)(075.8)

ББК 32.96-04я7

ISBN 978-985-583-017-8

© Белорусский национальный
технический университет, 2019

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перед началом выполнения лабораторных работ необходимо убедиться, что ручки измерительных приборов находятся в нужных для работы положениях.

Выполняя лабораторную работу, четко следуйте методике ее выполнения.

При выполнении лабораторной работы:

соблюдайте правила включения и выключения вычислительной техники;

не подключайте кабели, разъемы и другую аппаратуру к компьютерам, не относящимся к лабораторной установке;

при включенном напряжении сети не отключайте и не подключайте кабели, соединяющие различные устройства лабораторных установок;

в случае возникновения неисправности в работе оборудования отключите лабораторную установку и сообщить преподавателю;

не пытайтесь самостоятельно устранить неисправности в работе аппаратуры;

по окончании работы выключите аппаратуру, сообщите об этом преподавателю и приведите в порядок рабочее место.

Лабораторная работа № 1

СВЕТОВАЯ ЗАВЕСА БЕЗОПАСНОСТИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Цели работы

1. Изучить принципы работы устройств и комплексов обеспечения безопасности в рабочих зонах автоматизированных систем, построенных на базе оптических датчиков.
2. Экспериментально исследовать характеристики и режимы работы световой завесы безопасности типа AS1.
3. В соответствии с характеристиками определить оптимальное назначение световой завесы.

Теоретические сведения

Сейчас существуют различные автоматизированные системы и робототехнические комплексы, ход работы которых небезопасен для человека. В связи с этим возникает проблема обеспечения безопасности работников при нахождении его в среде автоматизированных систем, а также защиты этих систем от попадания посторонних объектов. Эту задачу решают промышленные датчики и системы безопасности.

Обеспечение зоны безопасности на производстве

Современная система стандартов безопасности труда и требования безопасности, относящаяся к оборудованию, предусматривает применение предохранительных устройств, включающих активные оптоэлектронные защитные приборы. К таким приборам относятся световые завесы (фотобарьеры) и лазерные сканеры безопасности производства компании ReeR S.p.a. (Италия).

С помощью оптоэлектронных приборов, соответствующих преобразователей сигналов, интерфейсных блоков и соединительных элементов могут быть построены различные системы безопасности для решения многих задач защиты. Оптоэлектронные устройства, интегрированные в систему управления, создают зоны контроля,

способные обнаружить появление человека в этих зонах и произвести надежное отключение оборудования.

Эффективность защиты зависит, главным образом, от расположения световой завесы по отношению к опасному объекту.

Фотобарьер должен быть расположен на расстоянии большем или равном минимальному расстоянию безопасности (S) так, чтобы при достижении оператором опасного места движение механизмов было гарантированно остановлено (рис. 1.1).

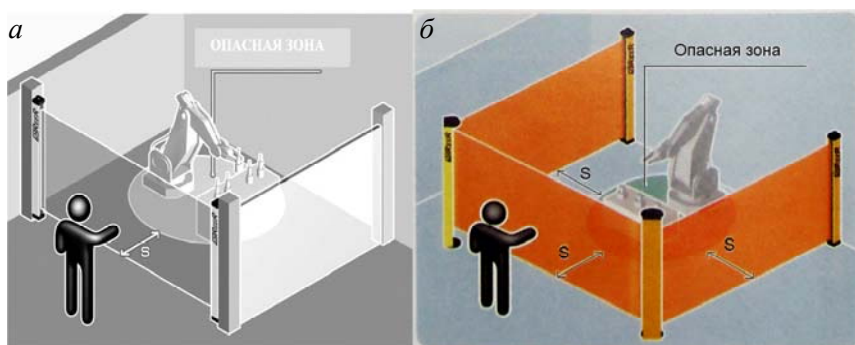


Рис. 1.1. *а* – односторонняя защита; *б* – трехсторонняя защита

Световая завеса должна быть расположена так, чтобы исключить возможность достижения опасной точки без пересечения пространства, контролируемого световой завесой, и чтобы человек не смог находиться в опасной зоне, не будучи обнаруженным. В этой связи, возможно, понадобятся дополнительные защитные устройства (например, фотобарьеры, расположенные горизонтально).

Основная формула для расчета безопасного расстояния

$$S = K(t_1 + t_2) + C,$$

где S – минимальное расстояние безопасности (мм);

K – скорость достижения оператором опасной зоны (в большинстве случаев 1600 мм/сек);

t_1 – общее время срабатывания световой завесы (им можно пренебречь, если оно порядка миллисекунд);

t_2 – время, необходимое для остановки опасного движения станка с момента получения сигнала об остановке (в среднем от трех до пяти секунд);

C – дополнительное расстояние, учитывающее возможность проникновения части тела в защищенную область перед тем, как быть обнаруженным (мм).

В этом случае если d (разрешение световой завесы равно $h_{\text{пр.ср.}}$, как на рис. 1.2) ≤ 40 мм, то $C = 8(d - 14)$ мм;

если $d > 40$ мм, то $C = 850$ мм.

Разрешение световой завесы – это минимальный размер объекта, гарантированно прерывающий хотя бы один луч.

Для завес, имеющих горизонтальное расположение,

$C = 1200 - (0,4 H)$ мм, где H – высота установки завесы, мм.

Если существует возможность достижения опасной точки через верхний край защищенной области, как показано на рис. 1.2, то расстояние C берется из табл. 1.1.



Рис. 1.2. Схема обозначения расстояний:

a – высота опасной зоны (мм); b – высота верхнего края световой завесы (мм);
 S – минимальное расстояние безопасности (мм); C – дополнительное расстояние с возможностью проникновения части тела в защищенную область (мм)

Расстояние $K \times T$ учитывает инерционность движущейся части опасного для оператора объекта, где K – скорость движущейся части, T – время останова движущейся части.

Таблица 1.1

Значения альтернативного расстояния C

Высота опасной зоны a (мм)	b (мм) – высота верхнего края области, защищенной световой завесой												
	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	
	Альтернативное расстояние C (мм)												
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	–	
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	–	
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	–	–	
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	–	–	–	
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	–	–	–	–	
1600	1150	1150	1100	1000	900	800	750	450	–	–	–	–	
1400	1200	1200	1100	1000	900	850	650	–	–	–	–	–	
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	–	–	–	–	–	–	
1000	1200	1150	1050	950	750	700	–	–	–	–	–	–	
800	1150	1050	950	800	500	450	–	–	–	–	–	–	
600	1050	950	750	550	–	–	–	–	–	–	–	–	
400	900	700	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
200	600	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Если расстояния a , b и C попадают между табличных величин, нужно использовать наибольшую													

Общие сведения об оптических датчиках безопасности

Датчики являются элементом технических систем, предназначенных для измерения, сигнализации, регулирования, управления устройствами или процессами. Датчики преобразуют контролируемую величину (давление, температура, расход, концентрация, частота, скорость, перемещение, напряжение, электрический ток и т. п.) в сигнал (электрический, оптический, пневматический), удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации информации о состоянии объекта измерений.

По виду выходных величин оптические датчики подразделяются на активные (генераторные, обычно имеющие дополнительное пи-

тание) и *пассивные* (параметрические, которые не нуждаются в дополнительном источнике энергии).

По характеру выходного сигнала оптические датчики бывают *дискретные* (выдают строго определенные уровни напряжения, в которые переходят при изменении внешнего воздействия), *аналоговые* (выдают аналоговый сигнал), *цифровые* (выдают цифровой сигнал) и *импульсные* (выдают импульсный сигнал на выход либо за определенный промежуток времени, либо по прохождении определенного минимального расстояния, называемого дискретностью датчика).

По среде передачи сигналов оптические датчики делятся на *проводные* и *беспроводные*.

По технологии изготовления оптические датчики классифицируются на *элементные* (сейчас не выпускаются) и *интегральные* (на интегральных схемах).

Оптические датчики – небольшие по размерам электронные устройства, способные под воздействием светового излучения в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах подавать единственный сигнал или их совокупность на вход регистрирующей или управляющей системы. Оптические датчики реагируют на непрозрачные и полупрозрачные предметы, водяной пар, дым, аэрозоли.

Оптические датчики – это разновидность бесконтактных датчиков, так как механический контакт между чувствительной областью датчика (сенсором) и воздействующим объектом отсутствует. Такое свойство оптических датчиков обуславливает их широкое применение в автоматических системах управления. Дальность действия оптических датчиков намного больше, чем у других типов бесконтактных датчиков.

Оптические датчики называют еще оптическими бесконтактными выключателями, фотодатчиками, фотоэлектрическими датчиками.

Разновидности оптических датчиков безопасности

В связи с существующими типами производства и необходимостью его высокой гибкости изготавливают датчики различных типов.

Примеры некоторых из них, выпускаемых компанией ReeR S.p.a. (Италия), показаны на рис. 1.3.

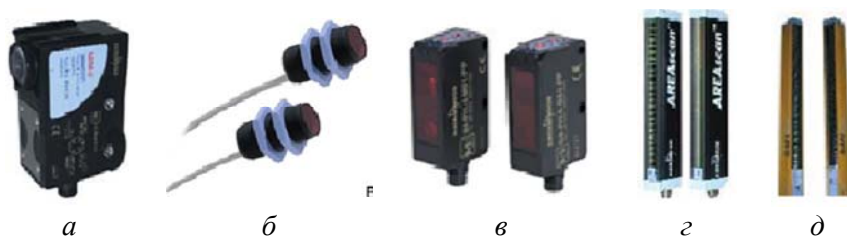


Рис. 1.3. Типы некоторых световых датчиков безопасности

На рис. 1.3, *а* – S15 series. Для них характерны небольшие корпуса (всего 40 мм в высоту), отсутствие регулировки чувствительности подстроечным элементом, механическая защита (амортизирующие крепления, герметичность корпуса). Благодаря механической защите эти датчики могут быть установлены в самых ответственных местах с неблагоприятными условиями окружающей среды.

На рис. 1.3, *б* – S8 series (расширенная линейка миниатюрных оптических датчиков). У этих датчиков компактные размеры (14×42×25 мм), частота коммутации 10 kHz (поддерживает 10 тысяч срабатываний в секунду), максимально сфокусированный луч (лазерная версия), очень высокое разрешение.

На рис. 1.3, *в* – LD50 series (линейка люминесцентных датчиков). Особенности этой серии датчиков заключаются в том, что у них высокая мощность ультрафиолетовых (УФ) светодиодов, частота коммутации 2 kHz. LD50 обычно используются в фармацевтической и косметической промышленности для обнаружения этикетки на бутылке, в автоматической упаковке – для обнаружения белой бумаги или люминесцентного клея.

На рис. 1.3, *г* – DS1 series (измерительные световые завесы с аналоговым выходом). Характеристики датчиков позволяют определять размер и положение объектов, разрешение 4 мм, время отклика 1 мс (время появления сигнала на выходе датчика от момента прерывания световых лучей завесы), от 100 до 300 мм высота контроля, рабочее расстояние до 4 м, *p-n-p* цифровые выходы и 0-10В аналоговые. Малое время отклика от 1 до менее 3 мс (в зависимости от высоты и разрешения) позволяет использовать датчик на быстродействующих машинах. Измеренный сигнал подается через аналоговый выход 0-10В, уровень которого пропорционален количеству прерванных лучей.

На рис. 1.3, δ – SG2 series (световые завесы безопасности). Особенности этих датчиков в том, что у них разрешение 30, 50 и 90 мм, рабочее расстояние до 19 м, контролируемая высота от 150 до 1800 мм.

Некоторые модификации датчиков имеют функции приглушения и бланкирования.

Функция приглушения предназначена для автоматического отключения функции безопасности световой завесы в определенные стадии машинного цикла. Приглушение может быть только при условии безопасности.

Предусмотрено два их случая:

- 1) разрешение доступа персонала внутрь опасной зоны во время неопасной части машинного цикла, когда оператору необходимо произвести загрузку-выгрузку заготовки;

- 2) разрешение прохождения материалов и запрет доступа персонала, когда, например, световая завеса безопасности включает в набор датчики приглушения, способные различать персонал и материалы.

Функция «бланкирования» – это вспомогательная функция световых завес безопасности, которая разрешает нахождение непрозрачного объекта внутри части защищенной области, не вызывая остановки машины. Бланкирование работает в соответствии с конфигурируемой операционной логикой, и оно возможно только при соблюдении условий безопасности.

Благодаря этой функции можно сохранять выходы световой завесы в активном состоянии и не прерывать работу машины при пересечении установленного числа лучей внутри защищенной области.

Бланкирование может быть фиксированным и плавающим. Во время фиксированного бланкирования занимается фиксированный участок защищенной области при нормальной работе всех остальных лучей. А плавающее бланкирование позволяет движение объекта внутри защищенной области с пересечением определенного количества лучей при условии, что пересекаемые лучи смежные и их число не превышает установленного значения (в лабораторной работе функции бланкирования и приглушения отсутствуют).

Общий принцип работы датчиков безопасности

По принципу работы выделяют три группы оптических датчиков безопасности:

тип Т – датчики барьерного типа (прием луча от отдельно стоящего излучателя);

тип R – датчики рефлекторного типа (прием луча, отраженного катафотом);

тип D – датчики диффузионного типа (прием луча, рассеянно отраженного объектом).

У датчиков барьерного типа излучатель и приемник находятся в отдельных корпусах, которые устанавливаются друг напротив друга на одной оси. Дальность разнесения корпусов может достигать 100 м. Предмет, попавший в активную зону оптического датчика, прерывает прохождение луча. Изменение фиксируется приемником. Появившийся сигнал после обработки подается на управляющее устройство.

Датчики рефлекторного типа содержат в одном корпусе передатчик оптического сигнала и его приемник. Для отражения луча используется рефлектор (катафот). Такие датчики активно используются на конвейере для подсчета количества продукции. Дальность действия датчиков рефлекторного типа может достигать 8 метров.

В датчиках диффузионного отражения источник оптического сигнала и его приемник находятся в одном корпусе. Приемник учитывает интенсивность луча, отраженного контролируемым объектом. Дальность действия зависит от отражательных свойств объекта и при использовании стандартной мишени может достигать двух метров.

Оптические датчики имеют индикатор рабочего состояния и, как правило, регулятор чувствительности, который дает возможность настроить срабатывание на объект, находящийся на неблагоприятном фоне.

Передача данных производится в инфракрасном спектре. Длина волны в большинстве реализованных систем варьируется в пределах 800–950 нм. В момент передачи сигнала присутствует фоновый шум, от которого можно избавиться с помощью модуляции: заполнить сигнал при передаче одной из стандартных частот (30, 33, 36, 37, 38, 40, 56 кГц). Многие современные интегральные приемники настроены именно на эти частоты.

Для обеспечения достаточной дальности при передаче необходимо сформировать мощный сигнал. Ток через ИК-светодиод может достигать 1 А. Такие токи вполне допустимы в импульсном режиме.

Помимо этого, сигнал следует закодировать. Разработано большое количество специализированных микросхем, генерирующих готовую кодовую последовательность и потребляющих минимальный ток в ждущем режиме, что немаловажно при питании от батарей. Эти микросхемы существенно упрощают схему ПДУ. Когда мы нажимаем кнопку пульта, микросхема передатчика активизируется и генерирует кодовую последовательность с заданным заполнением. В завесах безопасности кодирования не требуется, что существенно облегчает выбор необходимых микросхем. Эти импульсы усиливаются и демодулируются микросхемой приемника (излученный и принятый сигнал сдвоенные, что обеспечивает надежность срабатывания реле). В случае с ПДУ этот сигнал еще требуется декодировать с помощью микроконтроллера, так как в его сигнале присутствует определенный код, соответствующий нажатой кнопке. Далее импульс поступает на реле, которое в этот же момент размыкает электрическую цепь.

Принцип работы ИК-излучателя

Инфракрасный (ИК) излучатель – это электрический прибор, излучающий свет в инфракрасном диапазоне. В лабораторной работе в составе световой завесы используется линейка таких излучателей.

Основные составные элементы излучателя датчика показаны на рис. 1.4.

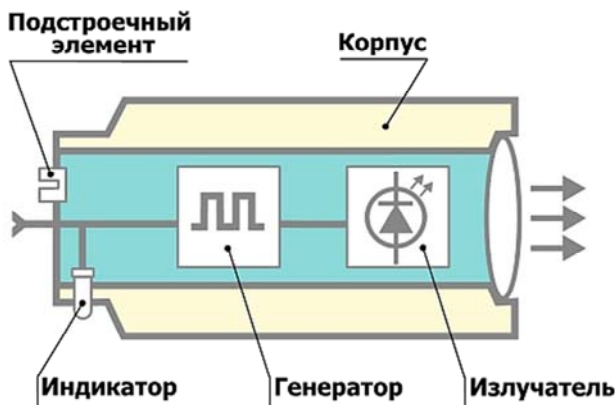


Рис. 1.4. Основные составные элементы излучателя

В основе работы светодиода лежит принцип электролюминесценции полупроводникового перехода. При пропускании электрического тока через p - n переход в прямом направлении носители заряда, электроны и дырки рекомбинируют с излучением фотонов из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой. Варьируя состав полупроводников, можно создавать светодиоды для всевозможных длин волн от ультрафиолета (нитрид галлия) до инфракрасного диапазона (сульфид свинца). Не все полупроводниковые материалы эффективно испускают свет при рекомбинации.

Инфракрасное излучение – электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между красным концом видимого света (с длиной волны $\lambda = 0,74$ мкм) и микроволновым излучением ($\lambda \sim 1\text{--}2$ мкм).

Оптические свойства веществ в инфракрасном излучении значительно отличаются от их свойств в видимом излучении. Например, слой воды в несколько сантиметров непрозрачен для инфракрасного излучения с $\lambda = 1$ мкм. Инфракрасное излучение составляет большую часть излучения ламп накаливания, газоразрядных ламп, около 50 % излучения Солнца. Инфракрасное излучение испускают некоторые лазеры.

Весь диапазон инфракрасного излучения делят на три составляющих: коротковолновая область ($\lambda = 0,74\text{--}2,5$ мкм, используется в световой завесе), средневолновая область ($\lambda = 2,5\text{--}50$ мкм) и длинноволновая область ($\lambda = 50\text{--}2000$ мкм).

Инфракрасное излучение также называют тепловым излучением, так как инфракрасное излучение от нагретых предметов воспринимается кожей человека как ощущение тепла.

Принцип работы ИК-приемника

ИК-приемник световой завесы – это линейка фотодиодов, которые преобразуют свет, попавший на их фоточувствительную область, в электрический заряд за счет фотоэффекта. При воздействии квантов излучения в базе происходит генерация свободных носителей, которые устремляются к границе p - n -перехода. Ширина базы (n -область) делается такой, чтобы дырки не успевали рекомбинировать до перехода в p -область.

Ток фотодиода определяется током неосновных носителей – дрейфовым током.

Быстродействие фотодиода определяется скоростью разделения носителей полем p - n -перехода и емкостью p - n -перехода C_{p-n} .

На рис. 1.5 показано устройство ИК приемника.

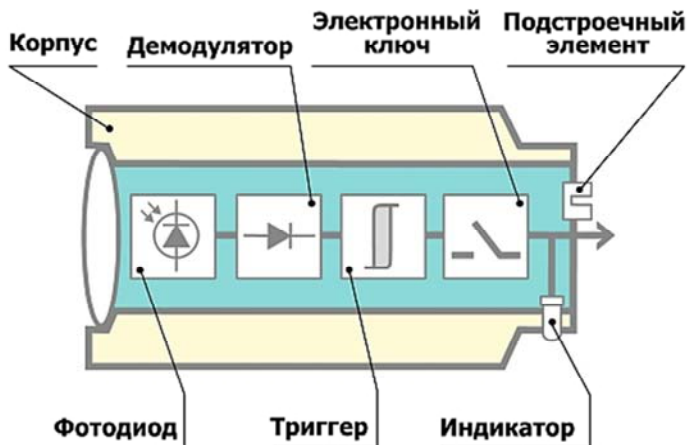


Рис. 1.5. ИК-приемник завесы безопасности

Фотодиод может работать в двух режимах: фотогальваническом – без внешнего напряжения; фотодиодном – с внешним обратным напряжением.

Особенности фотодиода в отличие от остальных фотоприборов заключаются в сочетании высокой фоточувствительности и быстродействия, малом сопротивлении базы, малой инерционности.

Примеры установки световых завес безопасности на производстве

Защита рук на формовочной машине

Цель состоит в том, чтобы предотвратить попадание рук оператора под пресс во время операций укладки деталей: это не должно влиять на производственный процесс (рис. 1.6).

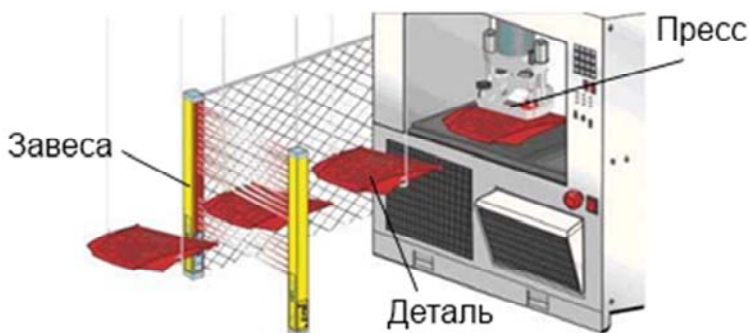


Рис. 1.6. Установка световой завесы в формовочной машине

Отключение перезагрузки автооператора

Манипулятор имеет движущиеся части, что увеличивает опасность для операторов. Даже если эти устройства очень эффективны, в их работе нельзя избежать человеческих ошибок: коллега может перезапустить производственный цикл, не видя оператора и посчитав остановку машины случайной (рис. 1.7).

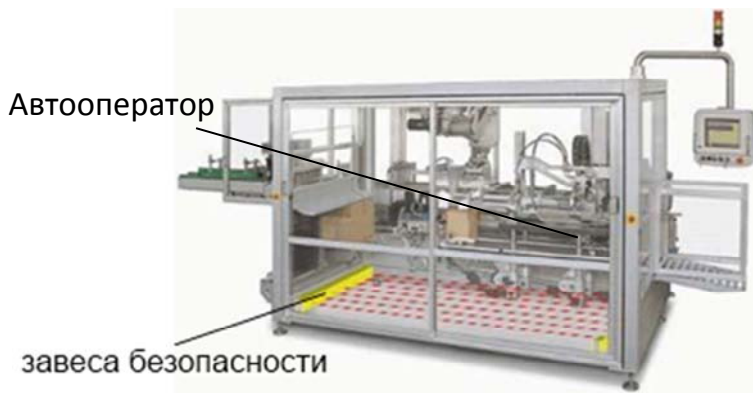


Рис. 1.7. Установка световой завесы в автооператоре

Световой экран останавливает машину, как только оператор входит в опасную зону (с целью технического обслуживания) и руководству необходимо перезапустить производственный цикл.

Экран расположен в областях машины, скрытых от оператора. Цикл перезагрузки, следовательно, избегается, и тем самым машина останавливается в результате случайного поступления материала или нахождения оператора в опасной зоне. Применение световых экранов гарантирует снижение затрат, отказ от использования механических средств защиты.

Островные роботы

Завесы безопасности – хорошее решение для защиты оператора от опасности быть травмированным движущимся манипулятором.

Выход – в блокировании робота, если оператор входит в опасную зону и прерывает оптические сетки на полу (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Установка световой завесы в островных роботах

Автоматический склад

Световая завеса предназначена для защиты оператора от столкновений с движущимся краном штабелером. Для этого она устанавливается в горизонтальном положении в опасной зоне с целью выявления наличия оператора и блокировки крана штабелера (рис. 1.9).

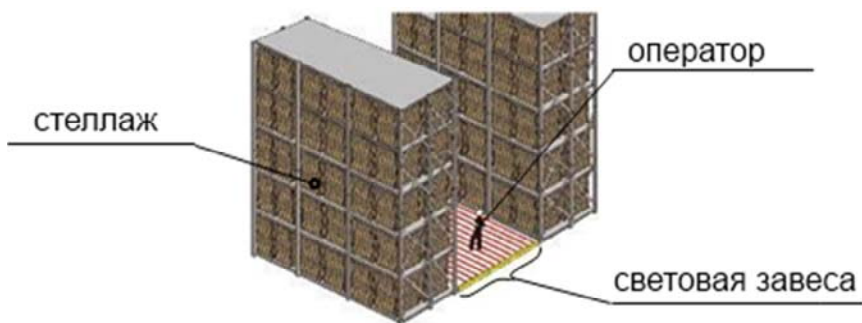


Рис. 1.9. Установка световой завесы в автоматических складских системах

Безопасность оператора обеспечивается автоматически, пока он находится в пределах рабочей зоны крана штабелера.

Описание лабораторного стенда

В состав лабораторного стенда входят:

- 1) датчик AS1 (см. рис. 1.3, з);
- 2) блок питания (питание: 100–240 В, 50/60 Гц, 1,2–0,5 А; выход 24 В, 2 А постоянного тока).

Основной элемент стенда – световая завеса безопасности AS1, состоящая из инфракрасных излучателей и приемников (рис. 1.10).

Сигнал о том, что инфракрасные лучи датчика были прерваны, поступает на вывод 4 приемника (этот вывод в лабораторной работе не задействован, однако он предназначен для передачи сигнала на промышленный компьютер или на реле).

После включения прибора в розетку и переключения тумблера К1 в положение «он», питание 24 В поступает на выводы 1, 3 приемника и излучателя соответственно и загораются светодиоды VD2 и VD3.

Для изменения режимов работы световой завесы безопасности служат переключатели К2 и К3. Для выбора режима *а* К2 и К3 должны быть разомкнуты. Для входа в режим *б* необходимо, чтобы К2 замкнул 4-й вывод излучателя с минусом 24 В.

Режим *в* включается при замыкании тумблером К3 контактов 2 излучателя и приемника с плюсом 24 В, а также тумблером К2 4-го контакта излучателя и минуса 24 В.

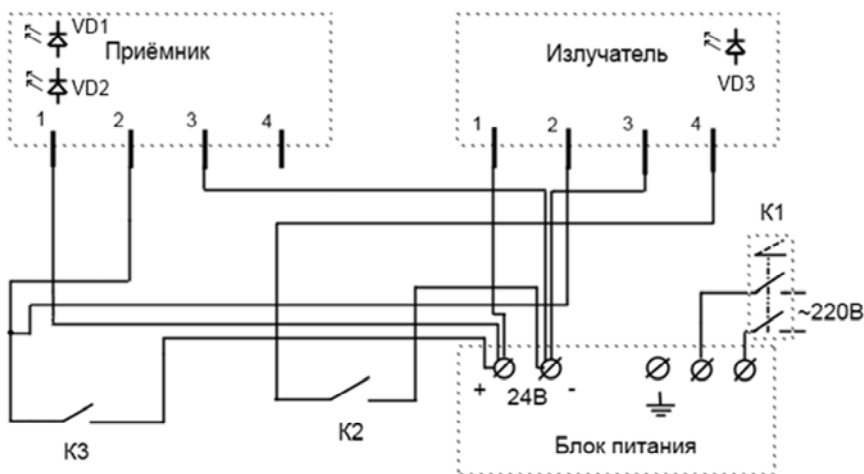


Рис. 1.10. Принципиальная схема лабораторной установки

Основные технические данные системы световой защиты приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Основные технические данные АS1

Питание	24 В ± 20 %
Потребляемый ток излучателя	150 мА max
Потребляемый ток приемника	40 мА (без нагрузки)
Выходы	1 р-п-р
Защита от короткого замыкания	1,4 А max
Выходной ток	0,5 А max на каждый выход
Выходное напряжение – ON	1 В min
Выходное напряжение – OFF	0,2 В max
Контролируемая высота	150...1800 мм
Максимальное рабочее расстояние	0,2...19 м
Угол раскрытия луча	±5°
Рабочие температуры	0... +55 °С
Температура хранения	-25... +70 °С
Влажность	15...95 % (без конденсата)
Вибрации	0,35 мм по амплитуде
	10...55 Гц частота

Показатели и параметры



Рис. 1.11. Световая индикация датчика AS1

Состояния датчика

1. Загорается VD1 – световой луч прерван, то есть сигнал пошел на выход 4 (см. рис. 1.10).

2. Загорается VD2 – питание приемника включено, то есть приемник готов для работы.

3. Загорается VD3 – питание излучателя включено, то есть излучатель готов для работы.

Режимы работы световой завесы безопасности изображены на рис. 1.12. Каждая линия – это луч, который пускает излучатель.

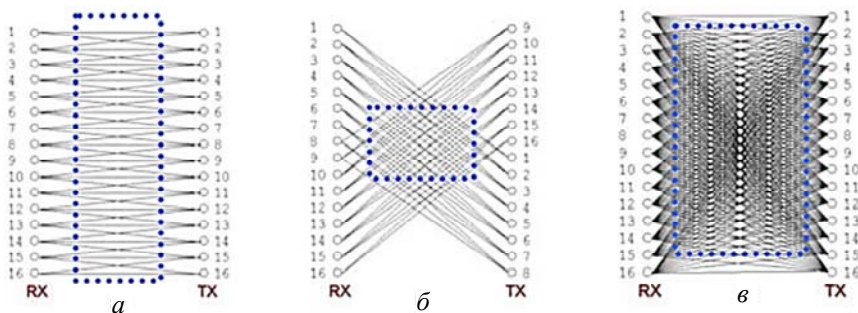


Рис. 1.12. Режимы работы датчика, где RX – приемник, а TX – излучатель

а) K2 и K3 в верхнем положении – режим работы, использующий тогда, когда не требуется высокое разрешение;

б) K2 вниз, K3 вверх – режим работы, обладающий постоянным разрешением в определенной области;

в) К2 вверх, К3 вниз – высокое, но непостоянное разрешение в определенной области.

Порядок выполнения работы

1. Вставить вилку питания прибора в розетку (220 В).
 2. Включить блок питания (тумблер К1).
 3. Определить его готовность к работе по светодиодным индикаторам (см. рис. 1.11), находящимся на излучающей и принимающей гранях (загорание происходит с небольшим запаздыванием).
 4. Закрыв рукой предполагаемый путь протекания потока световых лучей, убедиться в том, что VD1 загорается, что будет свидетельствовать о нормальной работе датчика.
 5. С помощью металлического прутка ($d = 3\text{--}4$ мм), выданного преподавателем, определить параметры световой завесы в режиме a (n – количество лучей проходящих через середину световой завесы, $d_{\text{л.ср}}$ – их диаметр и $h_{\text{пр.ср}}$ – промежуточное расстояние в этой же области) в соответствии со схемой (см. рис. 1.10); для каждого режима работы очертить рабочую область, область наибольшего разрешения с помощью рис. 1.12.
 6. Необходимо поставить прутки вертикально по центру световой завесы и вести его сверху вниз, при этом считая количество лучей (по количеству загораний VD1).
 7. Выполнить для первых шести лучей следующие действия.
 - 7.1. Ведя прутки, как описано в п. 6, фиксировать на кальке момент загорания VD1, отметив чертой нижнюю границу прутка, и потухание VD1, отметив чертой верхнюю границу прутка.
 - 7.2. Замерить расстояние между двумя чертами и записать данные в таблицу.
 - 7.3. Взять общее расстояние (от загорания VD1 на первом луче до загорания VD1 на 6-м), прибавить $d_{\text{л.ср}}$ и записать это значение в табл. 1.3 (L_6 – расстояние от начала первого луча до конца шестого).
 - 7.4. $\Sigma h_{\text{пр}} = L_6 - \Sigma d_{\text{л}}$ – сумма шести промежуточных расстояний.
 - 7.5. $d_{\text{л.ср}} = \Sigma d_{\text{л}}/6$ – диаметр лучей световой завесы.
 - 7.6. $h_{\text{пр.ср}} = \Sigma h_{\text{пр}}/6$ – расстояние между лучами световой завесы.
- В отчете должны быть отражены:
- цель работы;
 - краткие сведения о датчике и принципе его работы;

принципиальная схема лабораторного стенда;
 табл. 1.3;
 расчеты;
 схема параметров световой завесы (рис. 1.13);
 выводы.

Таблица 1.3

Результаты измерений

№	1	2	3	4	5	6	$\Sigma d_{\text{л}}$	L_6
$d_{\text{л}}$								

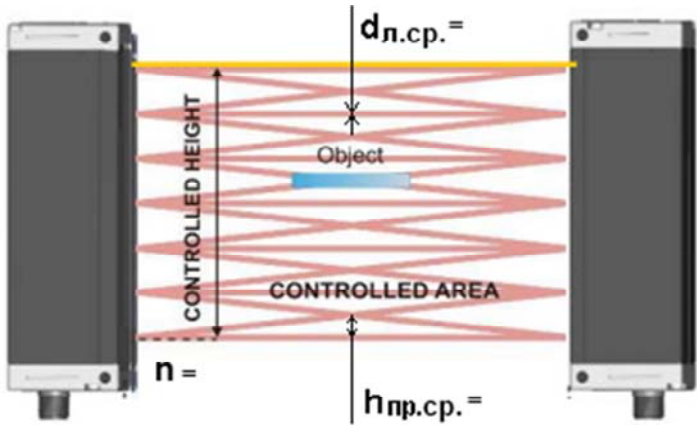


Рис. 1.13. Схема параметров световой завесы

Контрольные вопросы

1. От чего зависит эффективность защиты световой завесы безопасности?
2. Как определяется безопасное расстояние?
3. Виды оптических датчиков по характеру выходного сигнала.
4. Способы объединения датчиков безопасности.
5. Что такое функция приглушения?

6. Что такое функция бланкирования?
7. Поясните принцип работы световой завесы безопасности.
8. Принцип работы инфракрасного излучателя.
9. Принцип работы инфракрасного приёмника.
10. Основные примеры и способы установки световых завес безопасности на производстве.
11. Опишите режимы работы датчика AS1.
12. Поясните методику измерения параметров завесы безопасности.
13. Поясните методику определения рабочей зоны завесы.
14. Поясните принципиальную схему установки (рис. 1.10).

Лабораторная работа № 2

КООРДИНАТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Цели работы

1. Ознакомиться с принципом работы и использованием координатных измерительных машин (КИМ).
2. Изучить принцип работы и конструкцию датчика касания, установленного на модели.
3. Провести измерения детали на модели координатной измерительной машины.

Теоретические сведения

Использование координатных измерительных машин

В лабораторной работе используется модель координатной измерительной машины. Модель дает наглядное представление о назначении и функциях КИМ, позволяет получить практические навыки работы с измерительными головками, используемыми в КИМ.

Автоматический контроль геометрических параметров деталей имеет огромное значение. Надежность правильно сконструированной машины, функционирование ее узлов в расчетном режиме, а значит, и ресурс, в определяющей степени зависят от геометрической точности изготовления деталей по сопрягаемым поверхностям. Повышение требований к качеству машин влечет за собой ужесточение допусков. Одновременно повышается и доля трудоемкости операций контроля в технологическом процессе изготовления деталей и изделий, совершенствуются измерительные средства. В машиностроении контроль занимает около 15 % общей трудоемкости продукции, а в капитальных вложениях доля измерительных средств и контрольного оборудования достигает 20 % объема средств, расходуемых на технологическое оборудование.

Для контроля размеров деталей промышленность выпускает широкоуниверсальные, автоматические, достаточно гибкие средства контроля – КИМ, укомплектованные ЭВМ для управления и обработки результатов измерения.

На современной КИМ можно измерить практически любые сложные поверхности и детали, что до появления КИМ не всегда было возможно. Наиболее совершенные КИМ могут измерять детали со специальными сложными криволинейными поверхностями: зубчатые колеса, лопатки турбин, распределительные валы и т. п., а также произвольные криволинейные поверхности, не описываемые аналитически.

Одно из основных достоинств КИМ заключается в том, что на ней концентрируются операции контроля. На современных КИМ с одной установки детали можно измерить все контролируемые размеры. Это свойство значительно повышает производительность и оперативность контроля, так как исключается время на транспортирование детали, выжидание между контрольными операциями, переустановку и выверку на разных приборах.

Использование КИМ на производстве повышает уровень метрологического обеспечения предприятия. С применением КИМ отпадает необходимость изготовления значительного количества специальной измерительной оснастки.

Например, КИМ применяются на предприятиях автомобильной промышленности в подразделениях, создающих новые конструкции автомобилей и их узлов, в подразделениях подготовки производства, экспериментальных цехах. Для контроля деталей на потоке крупносерийного и массового производства КИМ практически не применяются, а используются специальные средства контроля – автоматы, измеряющие сразу много точек, по своей производительности соответствующие производительности потока.

В большинстве случаев КИМ используются как универсальное измерительное средство, установленное в лабораторном помещении для обслуживания небольшого предприятия или цеха крупного предприятия. На КИМ контролируется определенная группа ответственных и довольно сложных деталей.

КИМ удобно использовать при наладке станков с ЧПУ, обрабатывающих центров и модулей, автоматических линий. На КИМ оперативно определяются фактические размеры детали после выполненной технологической операции или обработанной полностью детали. Полученные результаты измерения используются для подналадки инструментов или корректировки управляющей программы. Для более рационального использования возможностей автомати-

зированной КИМ автоматизируются также операции погрузки-разгрузки и хранения измеряемых деталей. Создаются роботизированные измерительные комплексы, измерительные модули и др.

Принцип работы и структурная схема КИМ

Работа КИМ основана на координатных измерениях – поочередном измерении координат определенного числа точек поверхности детали и последующих расчетах линейных и угловых размеров, отклонений размера, формы и расположения в соответствующих системах координат.

Используются три основные системы координат: абсолютная система координат машины (СКМ), относительная система координат машины (СКО) и система координат детали (СКД).

Координатные измерения реализуются комплексом аппаратных и программных средств. КИМ условно можно разделить на базовую часть, содержащую узлы координатных перемещений, измерительные преобразователи (ИП) измерительную головку (ИГ) для непосредственного измерения координат точек и управляющий вычислительный комплекс (УВК) на основе ЭВМ, предназначенный для управления процессом измерения, обработки и представления данных измерения. Габариты, конструкция, точность базовой части в основном определяются параметрами измеряемых деталей и условиями эксплуатации.

Для определения структуры УВК решающими являются тип ИП и ИГ базовой части КИМ.

Структурная схема КИМ представлена на рис. 2.1. Координаты точек детали измеряются в СКМ, реализуемой прецизионными линейными перемещениями ИГ (1) относительно измеряемой детали.

Деталь или ИГ 1 перемещаются с помощью узлов 2 координатных перемещений базовой части КИМ. Перемещения отсчитываются посредством ИП 3 в направлении всех координатных осей СКМ. Перемещения ИГ или детали механизированных и автоматических КИМ производятся электромеханическими приводами 4 или вручную.

Для обеспечения доступа к измеряемым поверхностям определенного класса деталей и упрощения расчетных операций при измерении в полярной, цилиндрической и сферической системах координат базовая часть КИМ снабжается поворотными столами 5, предостав-

ляющими возможность поворачивать детали относительно одной или нескольких осей, расположенных под различными углами в пространстве.

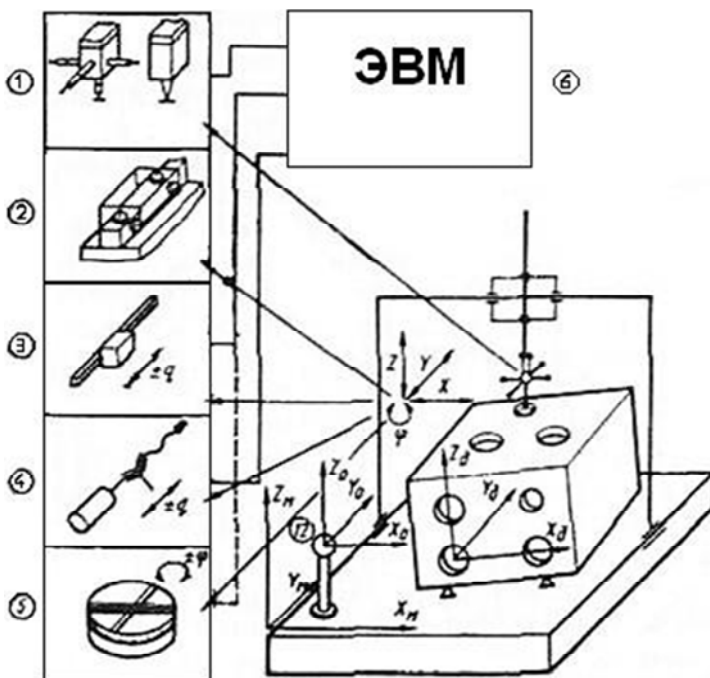


Рис. 2.1. Структурная схема КИМ

Координаты точек могут считываться при движении узлов КИМ или в состоянии их покоя. Первый режим реализуется применением нулевых измерительных головок (головок касания) или измерительных головок отклонения (ИГО). В головках касания в момент соприкосновения измерительного наконечника с измеряемой поверхностью происходит дискретное изменение электрического сигнала, являющегося командным сигналом на останов и реверс приводов. Головки данного типа не дают информации о значении и направлении смещения их измерительных наконечников. При взаимодействии наконечника ИГО с измеряемой поверхностью представляется информация о значении, а иногда и направлении смещения измери-

тельного наконечника из исходного положения. Отсчет координат точек проводится после достижения нулевых показаний встроенных в ИГО измерительных преобразователей или по команде от системы управления. Во втором случае координаты точек определяются суммированием показаний измерительных преобразователей ИГО и КИМ. Измерения в динамическом режиме обладают высоким быстродействием и универсальностью, однако несколько меньшей точностью (главным образом, из-за колебаний подвижных узлов КИМ).

Обработку электрических сигналов ИГ и ИП, управление электроприводами, обработку и представление данных измерений осуществляет УВК на основе ЭВМ. Кроме управления измерительными органами КИМ, ЭВМ выполняет обработку данных измерения.

Информация об измеряемой поверхности может быть собрана путем дискретных измерений каждой точки отдельно или непрерывным слежением по поверхности. В первом случае при измерении в каждой точке измерительный наконечник вводится в соприкосновение с измеряемой деталью и выводится из него после снятия показаний измерительных систем. Таков основной способ при измерении линейных и угловых размеров, отклонений взаимного расположения. Он особенно удобен при измерении деталей с указанными типовыми поверхностями. Для его реализации используются оба типа ИГ. При измерении слежением измерительный наконечник вводится в контакт с измеряемой поверхностью и без отрыва перемещается по контуру в определенных сечениях. Во время движения считываются значения координат необходимого для расчетов числа точек. Данный способ измерения является основным для определения размеров и отклонений формы криволинейных поверхностей и реализуется только с применением измерительных головок отклонения.

Конструкция базовой части КИМ

На базовой части КИМ непосредственно осуществляется процесс измерения: производится отсчет координат точек поверхности детали. В состав базовой части входят механическая часть КИМ, материализующая систему координат КИМ и включающая прецизионные узлы координатных перемещений, устройства для установки измеряемой детали, узлы для поддержания горизонтального положения, узлы виброизоляции, ИГ, электромеханические приводы, измери-

тельные преобразователи линейных (круговых) перемещений, калибраторы и т. д. Один из возможных вариантов базовой части КИМ представлен на рис. 2.2.

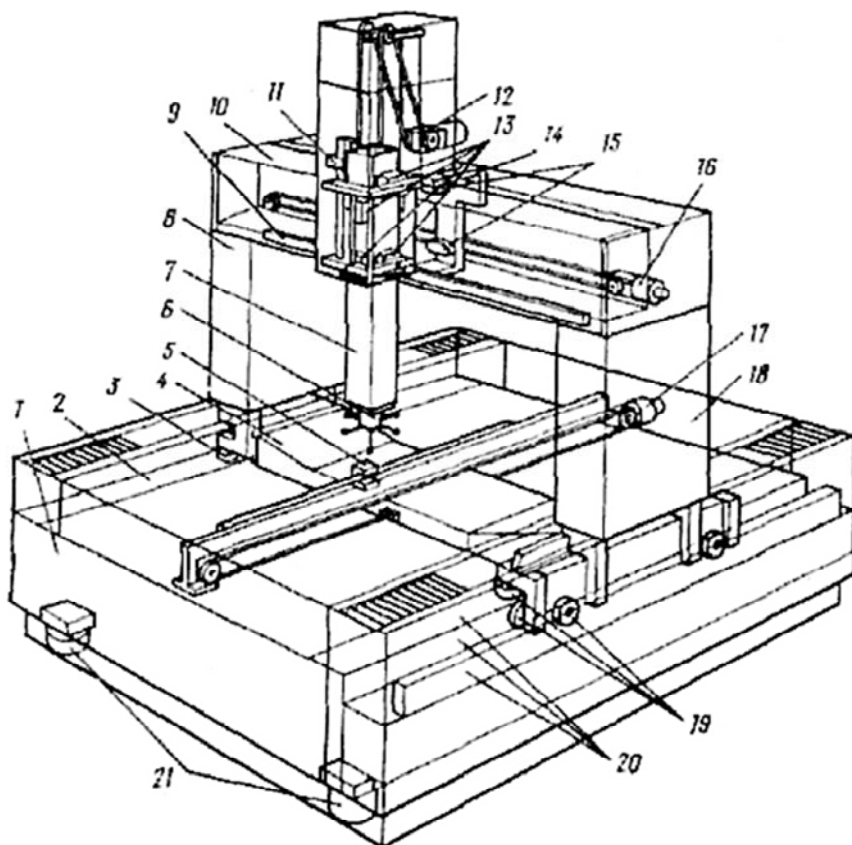


Рис. 2.2. Схема базовой части КИМ:

1 – основание; 2, 20 – направляющие основания; 3, 19 – подшипники портала; 4, 8, 10, 18 – замыкающий мостик, стойки и балка портала; 5, 9, 11 – ИП портала, каретки, пиноли; 6 – ИГ; 7 – пиноль; 12, 16, 17 – приводы пиноли, каретки, портала; 13, 15 – подшипники пиноли и каретки; 14 – каретка; 21 – виброизолирующие опоры

На рис. 2.3 представлен пример общего вида измерительных головок, рис. 2.4 – образец КИМ.

а*б*

Рис. 2.3. Измерительные головки:
а – измерительная головка касания; *б* – измерительная головка касания с изменяемым углом наклона щупа



Рис. 2.4. Образец КИМ

Краткое описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд состоит из базового блока и ПЛК.

Конструкция базового блока модели КИМ показана на рис. 2.5.

Модель представляет собой однокоординатную КИМ, выполненную на базе индикатора контакта БВ-4271. Индикатор контакта 9 закреплен на каретке 7, поступательно перемещающейся по направляющим 10, 16. Линейное перемещение каретки происходит за счет передачи винта-гайки. Винт 11 приводится в движение электродвигателем 13. Направляющие и винт закреплены между стенками 3, 12. Стенки и опора двигателя 14 установлены на плите 4, которая является основанием, придающим жесткость модели. На торце винта закреплен диск с прорезями 1. Диск вращается в пазу индуктивного датчика ПИЩ 2. На стенках установлены два конечных выключателя 15, 17 для задания конечных положений каретки 7. На стенке 3 закреплен патрон 5, в который устанавливается измеряемая деталь 6.

Измерение детали происходит следующим образом.

Из своего начального положения (концевой выключатель 15 замкнут) каретка движется к детали. Как только контакты выключателя 15 размыкаются, начинается подсчет пройденного расстояния, которое осуществляется следующим образом. За один оборот винта каретка перемещается на 4 мм (шаг винта).

В диске 1 имеется 8 прорезей. Соответственно датчик ПИЩ генерирует 8 импульсов за один оборот винта.

Значит, ПЛК может отследить 1/8 оборота винта, что соответствует пройденному расстоянию в 1/8 шага (0,5 мм). Это максимальная достижимая точность для данной модели. ПЛК подсчитывает пройденное кареткой и, соответственно, индикатором контакта расстояние.

Вначале происходит калибровочный проход до момента касания щупом 8 торца патрона. ПЛК вычисляет базовую длину (полную длину рабочей зоны модели). Затем, когда в патрон установлена измеряемая деталь, происходит второй проход. ПЛК снова вычисляет пройденное расстояние. После этого находится разность полученных величин. Полученная разность является длиной измеряемой детали. Так как ПЛК не может показывать числа с плавающей запятой, длина пройденного пути в мм будет округляться в большую сторону.

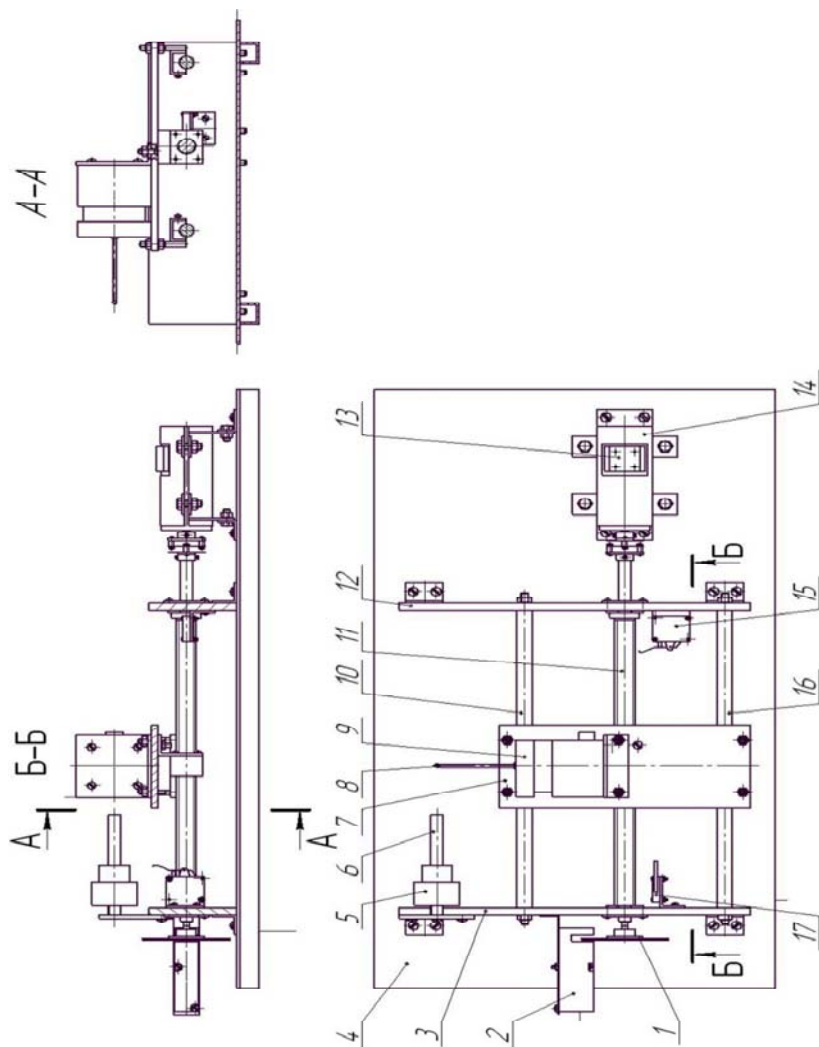


Рис. 2.5. Конструкция базового блока модели

Датчики, установленные на модели

Преобразователь положения индуктивный щелевой (ПИЩ)

Преобразователи положения индуктивные щелевые предназначены для преобразования информации о местонахождении объекта, перемещающегося относительно чувствительного элемента преобразователя в дискретный (бинарный) электрический сигнал. Преобразователи выдают сигнал о том, что контролируемый объект занял или покинул положение, определенное местом установки преобразователя на оборудовании.

Технические характеристики датчика приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Технические характеристики датчика ПИЩ

Номинальное напряжение питания, В	12
Диапазон питающих напряжений, В	10,2...13,2
Максимальная частота срабатывания, Гц, не менее	1000
Величина дифференциала хода, не более, мм	0,2...1,5
Номинальное сопротивление нагрузки, Ом	330
Потребляемая мощность, не более, Вт	0,1
Габаритные размеры, мм	81 × 19,5 × 28,5
Масса, кг	0,075

Общий вид датчика и схема подключения приведены на рис. 2.6.

Конструктивно преобразователи выполнены в виде коробки из ударопрочного полистирола и герметизированы компаундом холодного отверждения. Корпус датчика имеет щель шириной 6 мм и глубиной 18,5 мм для прохода металлической пластины.

Датчик состоит из LC-генератора, детектора, триггера и выходного ключа. При введении в щель металлической пластины происходит уменьшение коэффициента обратной связи LC-генератора, вызывающее срыв генерации и спад напряжения на выходе детектора. При этом срабатывает триггер и замыкается выходной ключ. В результате срабатывает реле или логический элемент, подключенный к выходу преобразователя.

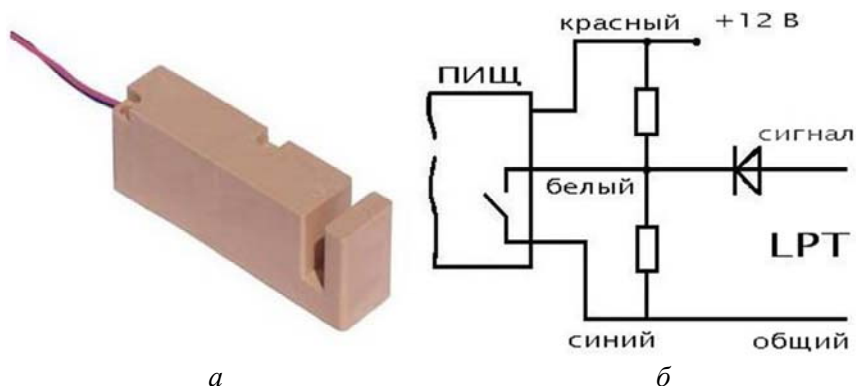


Рис. 2.6. Преобразователь положения индуктивный щелевой:
а – общий вид; *б* – схема подключения

На выходе, в зависимости от положения диска с прорезями, имеется либо низкий уровень напряжения, либо высокий уровень, задаваемый делителем. Делитель подобран так, чтобы при высоком уровне напряжения на выходе датчика диод был бы заперт и на входе LPT порта компьютера, к которому подключен датчик, таким образом получалось бы высокоимпедансное состояние (логическая 1). Уровень напряжения при этом на аноде диода 7 вольт, на катоде – 5 вольт. При низком уровне происходит открытие диодного ключа и на входе порта получается низкоимпедансное состояние – логический ноль.

Индикатор контакта БВ-4271

Индикатор контакта модели БВ-4271 предназначен для выдачи информации в систему ЧПУ о контакте наконечника его щуповой головки с поверхностью детали или инструмента и используется в станках с ЧПУ для определения размеров деталей, положения или состояния инструмента.

Направление ощупывания для щуповых головок индикатора контакта – по трем ортогональным осям: $\pm X$; $\pm Y$; $\pm Z$. Индикатор имеет ряд исполнений, определяемых набором щуповых головок, конструкцией приемо-передающих устройств и способом крепления на различных станках.

Технические характеристики датчика приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Основные технические характеристики индикатор контакта модели БВ-4271

Принцип действия	Электроконтактный
Связь щуповых головок с электронным блоком головка для инструмента головка для детали	Кабельная бескабельная, оптическая в инфракрасном диапазоне волн
Питание щуповой головки для детали	через воздушный трансформатор с зазором
Свободный ход щупа от среднего положения, мм, не менее:	
вдоль оси щупа (Z)	8
в направлении перпендикулярном оси щупа (XY) при длине щупа 50 мм	15
Ход щупа до получения аварийного сигнала, мм, вдоль оси щупа	$2,5^{+0,3}$
Расстояние между подвижной и неподвижной частями приемо-передающего устройства, мм, не более	2
Напряжение, выдаваемое выходным устройством блока БВ-4271.04.000 при токе не более 50 мА (логическая единица), В	$24 \pm 2,4$
Остаточное напряжение (логический ноль), В, не более	2,4
Рабочее положение щуповых головок	любое
Масса головки щуповой БВ-4271.07.000, кг	0,75
Длина кабелей.	
От щуповой головки к электронному блоку (БВ-4271.00.200-02), м	От 1 до 20
От электронного блока к стойке ЧПУ, м	От 1 до 15
Средняя наработка на отказ срабатываний, не менее	
по управляющему сигналу	560000
по аварийному сигналу	70000
Питающее напряжение	220^{+22}_{-33} В, 50 ± 1 Гц
Потребляемая мощность, ВА, не более	20

Головка щуповая БВ-4271.06.000 (рис. 2.7) имеет герметичный корпус 8, к которому с помощью накидной гайки 7 крепится механизм головки. На базовом фланце 6 механизма через 120° закреплены три пары шаров 9, образующих базовые призмы. В этих призмах базируется грибовый рычаг 4, на одном конце которого закреплены три разнесенных через 120° электрически изолированных друг от друга цилиндрических штифта 5, а на другом – щуповой наконечник 1. Пружина 12 создает силовое замыкание.

Все шары электрически изолированы от корпуса и соединены последовательно друг с другом при нейтральном положении грибка через штифты грибка. При приложении любого усилия в плоскости, перпендикулярной оси наконечника, или вдоль оси в направлении отрыва штифтов последовательная электрическая цепь разрывается хотя бы в одной из шести точек контакта, что и служит первичным электрическим сигналом. С центром грибка связана нить 13, второй конец которой закреплен на плоской пружине 16. Эта пружина предварительно настроена, и на свободном конце ее закреплен электрический контакт 14. При перемещении центра грибка выше рабочей нормы происходит замыкание подвижного контакта плоской пружины с установленным на фланце неподвижным контактом 15 и выдается второй электрический сигнал, соответствующий аварийной ситуации и используемый для останова станка.

На фланце корпуса имеется четыре затяжных 18 и четыре установочных винта 11, что обеспечивает возможность регулировки положения наконечника головки. Уплотнительный чехол 3, кольца 10 и 17 обеспечивают герметизацию головки, а экран 2 обеспечивает защиту чехла от повреждения стружкой.

Головка щуповая БВ-4271.07.000, установленная на стенде, аналогична описанной головке щуповой БВ-4271.06.000 и отличается только корпусом, имеющим разъем для кабельной связи и добавочную плату, обеспечивающую преобразование первичного электрического сигнала. Элементы головки щуповой БВ-4271.07.000 показаны на рис. 2.8.

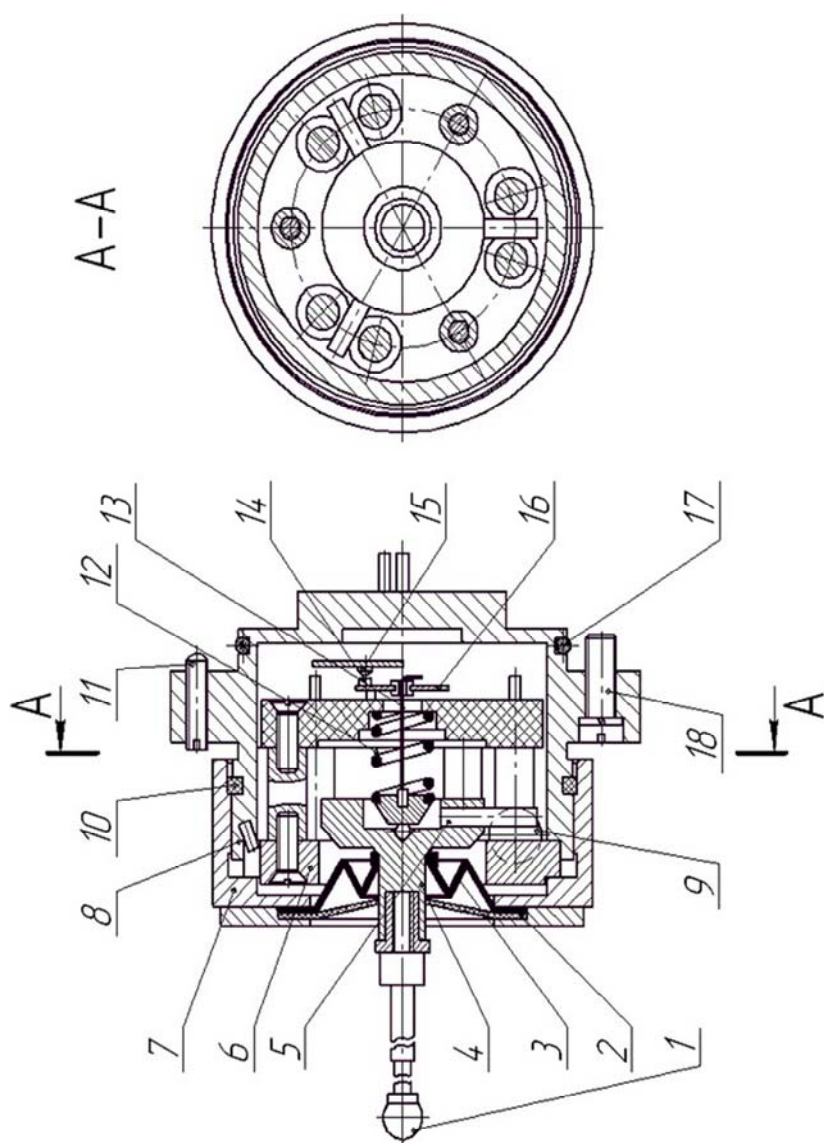


Рис. 2.7. Конструкция головки щуповой БВ-4271.06.000



Рис. 2.8. Элементы головки щуповой БВ-4271.07.000:

1 – корпус; 2 – кольцо; 3 – накидная гайка; 4 – грибовый рычаг; 5 – уплотнительный чехол; 6 – пружина; 7 – нить; 8 – неподвижный контакт; 9 – плоская пружина; 10 – шар базовой призмы; 11 – базовый фланец; 12 – штифт

Индикатор контакта функционирует следующим образом.

При касании наконечником щуповой головки ощупываемой поверхности происходит разрыв электрической цепи электроконтактного датчика головки, механически связанного с наконечником. При отрыве наконечника от ощупываемой поверхности происходит замыкание электрической цепи электроконтактного датчика голов-

ки. Электроконтактный датчик выполнен так, что отклонение накопчика по любой из трех координат вызывает размыкание его электрической цепи, а возвращение в исходное положение – ее замыкание. В момент перехода от одного состояния к другому электронная схема формирует сигналы, которые затем подаются на ПЛК.

ПЛК Siemens LOGO! 0BA8



LOGO! 0BA8 – универсальный логический модуль компании Siemens включает следующие компоненты.

1. Органы управления.
2. Панель оператора и дисплей с фоновой подсветкой.
3. Источник питания.
4. Интерфейс для модулей расширения.
5. Интерфейс для карт памяти micro SD.
6. Интерфейс для дополнительного модуля текстового дисплея (TDE).
7. Предварительно настроенные стандартные функции (например, задержка включения и выключения, импульсное реле и программируемая клавиша).
8. Таймеры.
9. Цифровые и аналоговые флаги.
10. Входы и выходы в соответствии с типом устройства.
11. Интерфейс для подключения по Ethernet.
12. FE клемма для соединения с шиной защитного заземления.
13. Один светодиод для индикации состояния Ethernet подключения.

Модуль LOGO! предоставляет решения для различных бытовых и производственных задач, таких как лестничное освещение, внешнее освещение, солнцезащитные жалюзи, шторы, освещение витрин магазинов и другие. Модули LOGO! могут быть использованы при проектировании распределительных шкафов, а также для управления механическими устройствами и аппаратами: например, систе-

мами управления, воротами, системами кондиционирования воздуха или насосами дренажных систем и систем водоснабжения.

Модули LOGO! также могут применяться в специализированных системах управления, работающих в оранжереях и теплицах; для обработки сигналов управления и при подключении коммуникационного модуля (например, модуля AS-i); распределенного местного управления машинами и процессами: для применения в серийно выпускаемых изделиях малого машиностроения, аппаратах, распределительных шкафах и электроустановках выпускаются специальные версии без панели оператора и модуля индикации.

Модули LOGO! Base поставляются для двух классов напряжений:

- 1) класс $1 \leq 24$ В, то есть 12 В постоянного тока, 24 В постоянного тока, 24 В переменного тока;
- 2) класс $2 > 24$ В, то есть 115...240 В переменного или постоянного тока.

Поставляются две версии модулей LOGO! Base:

1. LOGO! Basic (версия с дисплеем): восемь входов и четыре выхода.
2. LOGO! Pure (версия без дисплея): восемь входов и четыре выхода.

Для LOGO! доступны следующие модули (в данной работе они не используются):

1) дискретные модули LOGO! DM8... поставляются для работы при напряжениях 12 В постоянного тока, 24 В переменного и постоянного тока или 115–240 В переменного и постоянного тока; модули имеют четыре входа и четыре выхода;

2) дискретные модули LOGO! DM16... поставляются для работы при напряжениях 24 В постоянного тока и 115–240 В переменного и постоянного тока; модули имеют восемь входов и восемь выходов;

3) аналоговые модули LOGO! поставляются для работы при напряжении 24 В постоянного тока; некоторые типы модулей поставляются для работы при напряжении 12 В постоянного тока. Каждый модуль имеет два аналоговых входа, два входа PT100, два входа PT100/PT1000 (PT100 или PT1000 или два разных) или два аналоговых выхода;

4) цифровые и аналоговые модули выполнены в виде двух или четырех субблоков. Каждый из них оборудован двумя интерфейсами расширения для подключения дополнительных модулей.

Для LOGO! доступны следующие коммуникационные модули (в данной работе они не используются).

1. Коммуникационный модуль (CM) LOGO! AS-Interface.

Коммуникационный модуль имеет четыре виртуальных входа и выхода и служит интерфейсом между системой с интерфейсом AS и системой LOGO!. Этот модуль обеспечивает передачу четырех битов данных от модуля LOGO! Base в систему с интерфейсом AS и в обратном направлении.

2. Коммуникационный модуль (CM) LOGO! EIB/KNX.

Коммуникационный модуль EIB/KNX представляет собой модуль для подключения модулей LOGO! к шине EIB.

Обеспечивая интерфейс для подключения к шине EIB, коммуникационный модуль EIB/KNX дает возможность обмена информацией с другими устройствами шины EIB. Для этого в коммуникационном модуле EIB/KNX необходимо сохранить информацию о входах и выходах модуля LOGO!, назначенных для обмена данными с шиной EIB. Для подключения соответствующих входов и выходов используются функции модуля LOGO!

Устройство ПЛК LOGO! представлено на рис. 2.9.

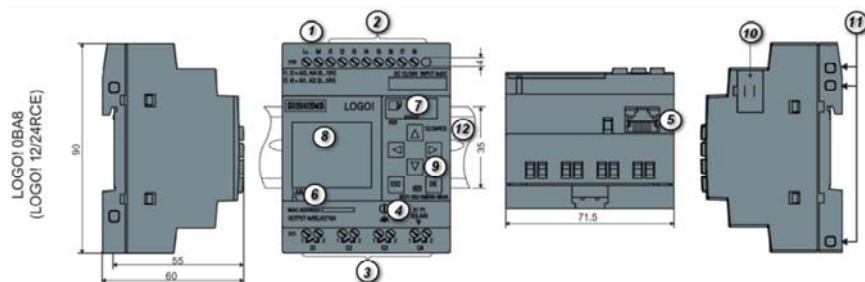


Рис. 2.9. Устройство ПЛК LOGO! 0BA8

1. Источник питания.
2. Входы.
3. Выходы.
4. FE-терминал для подключения шины защитного заземления.
5. RJ45 гнездо для подключения к Ethernet (10/100 Мб/с).
6. Светодиод статуса Ethernet подключения.
7. Слот для micro SD карт памяти.

8. ЖК дисплей.
9. Панель управления.
10. Интерфейс расширения.
11. Гнезда механического кодирования.
12. Стандартная DIN-рейка.

Схема подключения датчиков и двигателя к ПЛК

Схема подключения датчиков и двигателя к ПЛК показана на рис. 2.10.

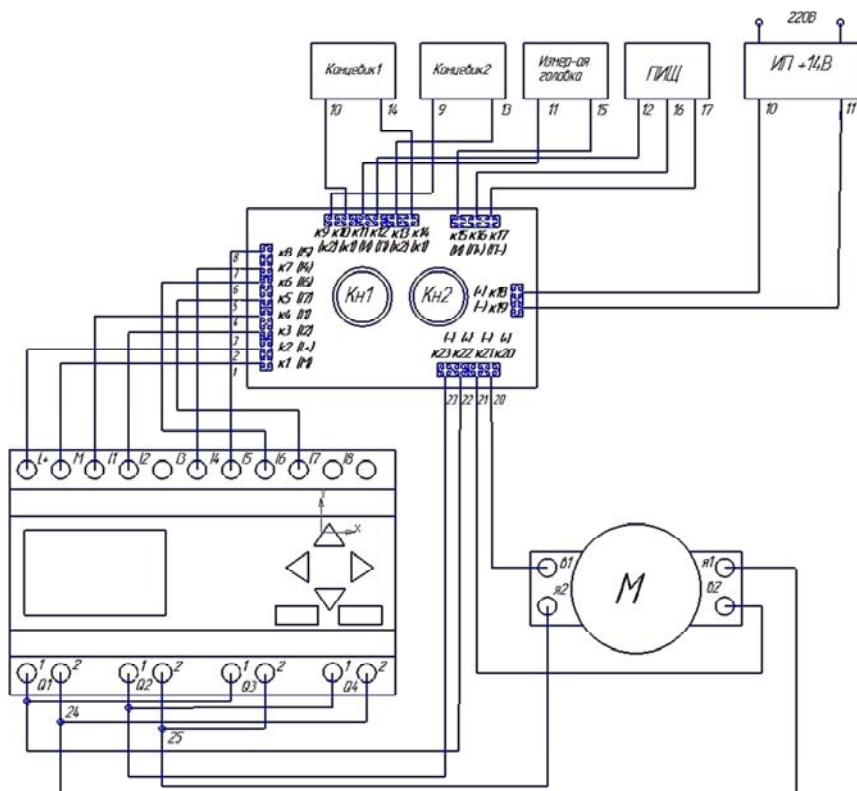


Рис. 2.10. Схема подключения датчиков и двигателя к ПЛК

Источник питания ИП питает плату с помощью проводов 10, 11 подключаемых к колодкам κ18(+), κ19(-).

Концевик 2 через провода 9, 13 подключается к κ9, κ13.

Концевик 1 через провода 10, 14 подключается к κ10, κ14.

Измерительная головка через провода 11, 15 подключается κ11, κ15.

ПИЩ через провода 12, 16, 17 подключается к κ12, κ16, κ17.

Ко входу ПЛК L+, M подключаются провода 2, 1 соответственно (колодки κ2, κ1). Ко входам ПЛК I1, I2, I4, I5, I6, I7 подключаются провода 4, 3, 7, 8, 6, 5 соответственно (колодки κ4, κ3, κ7, κ8, κ6, κ5).

Провода 23(-), 22(+) от колодок κ23, κ22 подключаются к Q2(1), Q1(1) соответственно. Провод с Q1(1) идет на Q3(1), а провод с Q2(1) идет на Q4(1). Провод 21(-), 20(+) от колодок κ21, κ20 подключаются к фазам двигателя B2, B1 соответственно.

Провода от Q1(2), Q2(2) подключаются к фазам Я1, Я2 двигателя соответственно.

Провода 24, 25 от Q1(2), Q2(2) подключаются к Q4(2), Q3(2).

Порядок выполнения работы

1. Выставить 14 В на источнике питания.
2. Получить у преподавателя измеряемую деталь, щуп, штангенциркуль.
3. Подключить стенд к источнику питания. Включить питание. После этого включится ПЛК и на его дисплее будут следующие пункты: Direct (двигатель работает в прямом направлении), Reverse (двигатель работает в обратном направлении), SwitchM (количество нажатий кнопки 1), Counter (счетчик импульсов ПИЩ), Path mm (путь, пройденный кареткой в обоих направлениях в мм), Path/2mm (путь, пройденный кареткой в одном направлении в мм).
4. Нажать кнопку 2 (см. рис. 2.10).
5. Нажать кнопку 1. После этого запустится двигатель и каретка начнет движение в прямом направлении.
6. После полного прохода каретки записать значение пунктов Path mm, Path/2mm, Counter и сбросить значения счетчиков кнопкой 2.
7. Установить измеряемую деталь между кулачками в патроне и нажать кнопку 1.

8. После полного прохода каретки записать значение пунктов Path mm, Path/2mm, Counter и сбросить значения счетчиков кнопкой 2.

9. Измерить длину измеряемой детали штангенциркулем и определить разницу между полученными значениями с помощью ПЛК и штангенциркуля.

10. Повторить измерения еще два раза. Сравнить полученные данные, вычислить погрешность измерений ПЛК и сделать выводы.

11. После завершения работы нажать кнопку 2 и выключить ИПС.

Примечание. В случае непредвиденной ситуации два раза нажать кнопку 1 (в этом случае каретка вернется в исходное положение) либо нажать кнопку 2, и каретка остановится.

Контрольные вопросы

1. Область применения КИМ.
2. Принцип работы КИМ.
3. Из каких основных узлов и блоков состоит КИМ?
4. Чем отличаются головки касания от головок отклонения?
5. Принцип работы индуктивного датчика.
6. Конструкция щуповой головки индикатора контакта.
7. Принцип работы индикатора контакта БВ-4271.

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ДАТЧИКОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цели работы

1. Изучить принцип действия и конструкцию индуктивного, емкостного датчика и датчика контраста.
2. Экспериментально определить основные технические характеристики предложенных датчиков.

Теоретические сведения

Индуктивные бесконтактные датчики

Индуктивный датчик – бесконтактный датчик, предназначенный для контроля положения объектов из металла (к другим материалам не чувствителен).

Принцип действия основан на изменении параметров магнитного поля, создаваемого катушкой индуктивности датчика.

Индуктивные бесконтактные датчики имеют четко очерченную активную зону. При попадании в активную зону датчика любого металлического предмета происходит изменение логического состояния выходного коммутирующего элемента датчика, в качестве которого может использоваться PNP, NPN транзистор или тиристор (при работе датчика на переменном токе).

Индуктивные датчики находят широкое применение в машиностроении, пищевой, текстильной и других отраслях. Согласно статистике 90 % дискретных датчиков положения – индуктивные датчики. Это объясняется высокими эксплуатационными характеристиками, надежностью и низкой стоимостью индуктивных датчиков по сравнению с другими типами датчиков. Индуктивные датчики наиболее эффективно используются в качестве конечных выключателей в автоматических линиях и станках, так как индуктивные датчики срабатывают только на металлы. Это увеличивает защищенность индуктивных датчиков от помех. Например, введение в зону чувствительности выключателя рук оператора, эмульсии, воды, смазки и т. д.

не приведет к ложному срабатыванию. Объектом воздействия для индуктивных бесконтактных выключателей (БВИ) являются металлические детали: зубья шестерен, кулачки, ползуны. Часто это металлическая пластина, прикрепленная к соответствующей детали оборудования.

Принцип действия и область применения БВИ

Принцип действия БВИ основан на изменении или срыве колебаний генератора при внесении в активную зону датчика металлического, магнитного, ферро-магнитного или аморфного материала определенных размеров. При подаче питания на конечный выключатель в области его чувствительной поверхности образуется изменяющееся магнитное поле, наводящее во внесенном в зону материала вихревые токи, которые приводят к изменению амплитуды колебаний генератора. В результате вырабатывается аналоговый выходной сигнал, величина которого изменяется от расстояния между датчиком и контролируемым предметом. Триггер Шмитта преобразует аналоговый сигнал в логический.

Структурная схема БВИ показана на рис. 3.1.

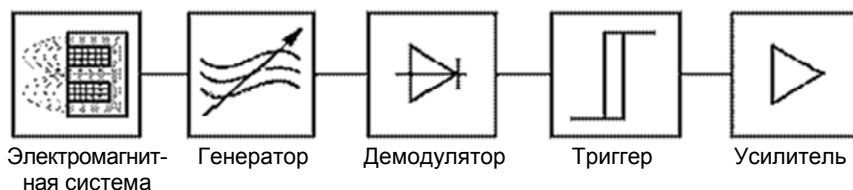


Рис. 3.1 Структурная схема индуктивного датчика

Генератор создает электромагнитное поле взаимодействия с объектом. Триггер Шмитта обеспечивает гистерезис при переключении. Усилитель увеличивает амплитуду сигнала до необходимого значения.

В датчике часто имеется светодиодный индикатор, который показывает состояние выключателя, обеспечивает контроль работоспособности, оперативность настройки. Корпус, в котором установлен датчик, обеспечивает его монтаж, защищает от механических

воздействий, выполняется из латуни или полиамида, комплектуется метизными изделиями. Датчик в корпусе заливается компаундом для обеспечения необходимой степени защиты от проникновения твердых частиц и воды.

Активная зона БВИ – та область перед его чувствительной поверхностью, где более всего сконцентрировано магнитное поле чувствительного элемента датчика. Диаметр этой поверхности приблизительно равен диаметру датчика.

Номинальное расстояние переключения – теоретическая величина, не учитывающая разброс производственных параметров датчика, изменения температуры и напряжения питания.

Рабочий зазор – это расстояние, обеспечивающее надежную работу бесконтактного выключателя в допустимых пределах температуры и напряжения.

Поправочный коэффициент дает возможность определить рабочий зазор, зависящий от металла, из которого изготовлен объект воздействия (табл. 3.1).

Таблица 3.1

**Зависимость поправочного коэффициента
от типа материала**

Материал	Поправочный коэффициент
Сталь 40	1,00
Чугун	0,93...1,05
Нержавеющая сталь	0,60...1,00
Алюминий	0,30...0,45
Латунь	0,35...0,50
Медь	0,25...0,45

Информативная способность индуктивного датчика в значительной мере определяется его погрешностью преобразования измеряемого параметра. Суммарная погрешность индуктивного датчика складывается из большого числа составляющих погрешностей.

Можно выделить следующие погрешности индуктивного датчика.

1. Погрешность от нелинейности характеристики. Является существенной и в большинстве случаев определяет диапазон измерения датчика.

2. Температурная погрешность – случайная составляющая; ввиду большого числа зависимых от температуры параметров составных частей датчика может достичь больших величин и является существенной.

3. Погрешность от влияния внешних электромагнитных полей – случайная составляющая общей погрешности; возникает из-за индуцирования ЭДС в обмотке датчика внешними полями и из-за изменения магнитных характеристик магнитопровода под действием внешних полей. В большинстве случаев эта составляющая погрешности не является существенной.

4. Погрешность от соединительного кабеля. Возникает из-за нестабильности электрического сопротивления кабеля под действием температуры или деформаций и из-за наводок ЭДС в кабеле под действием внешних полей. Является случайной составляющей погрешности. Для датчиков, имеющих малое сопротивление в рабочем режиме, погрешность следует оценивать. В остальных случаях она не является существенной.

5. Конструктивные погрешности. Конструктивные погрешности определяются недостатками в конструкции механических элементов датчика и не являются специфическими для индуктивных датчиков.

6. Погрешность от старения датчика. Эта составляющая погрешности вызывается, во-первых, износом подвижных элементов конструкции датчика и, во-вторых, изменением во времени электромагнитных характеристик магнитопровода датчика. Погрешность следует рассматривать как случайную.

Рассмотрение составляющих погрешности индуктивного датчика дает возможность оценить их роль в формировании общей погрешности датчика. В большинстве случаев определяющими являются погрешность от нелинейности характеристики и температурная погрешность индуктивного преобразователя.

Некоторые особенности работы индуктивных датчиков:

1) для питания индуктивных датчиков (DC типа) необходимо использовать постоянное отфильтрованное напряжение с допустимой пульсацией не более 20 %;

2) оптимальные размеры объекта (пластины) не менее величины диаметра датчика;

3) для всех коммутирующих датчиков необходим гистерезис для устранения дребезга выходов. У индуктивных выключателей гистерезис получается от разности рабочих расстояний до объекта при приближении и удалении измерительной пластины и составляет около 10 % от номинального расстояния срабатывания (рис. 3.2);

4) время включения должно быть в два раза меньше времени выключения.

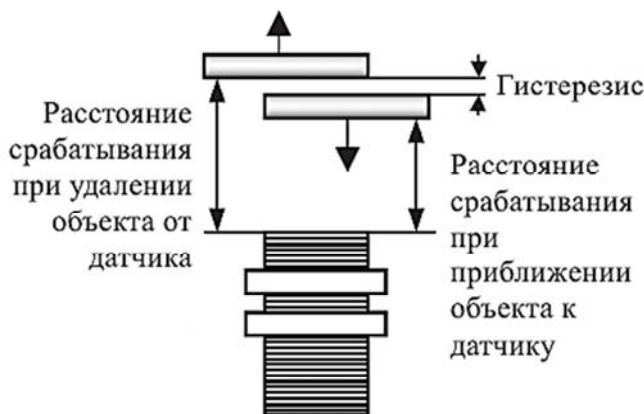


Рис. 3.2. Гистерезис индуктивного датчика

Устройство и технические характеристики используемого индуктивного датчика

В лабораторной работе используется индуктивный датчик типа РМ30-10РВ.

Диаметр – 30 мм, расстояние срабатывания – 10 мм; тип – экранированный, частота срабатывания – 500 Гц; напряжение питания – 10–15 В постоянного тока; материал корпуса – никелированная латунь; состояние выхода – rnr; тип выхода – нормально закрытый. Общий вид датчика и схема подключений показана на рис. 3.3.

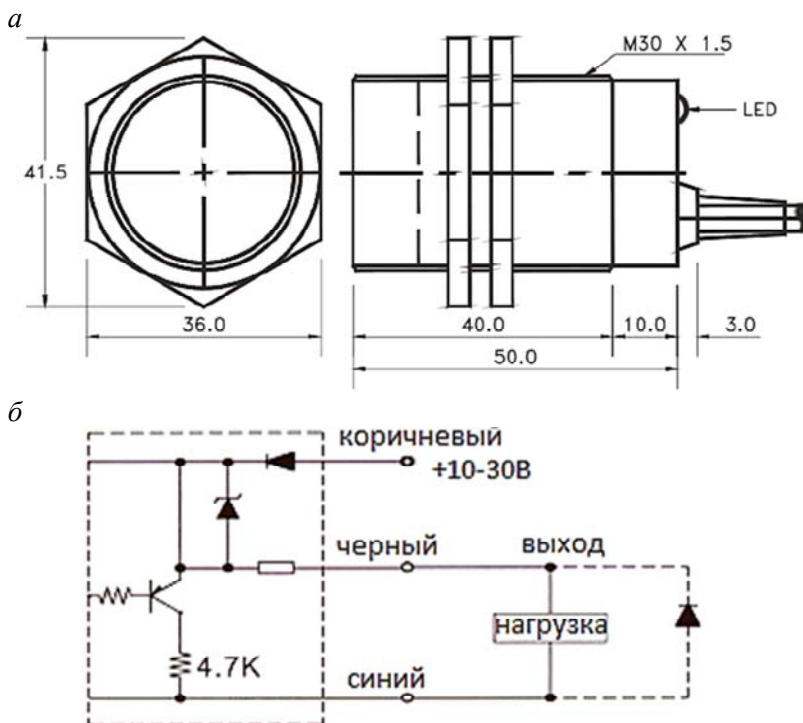


Рис. 3.3. Общий вид (а) и схема подключения (б)
индуктивного датчика РМ30-10Р

Емкостные датчики

Емкостный датчик – преобразователь параметрического типа, в котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение емкости конденсатора датчика.

Возможные области применения емкостных датчиков чрезвычайно разнообразны. Они используются в системах регулирования и управления производственными процессами почти во всех отраслях промышленности. Емкостные датчики применяются для контроля заполнения резервуаров жидким, порошкообразным или зернистым веществом, как конечные выключатели на автоматизированных линиях, конвейерах, роботах, обрабатывающих центрах, станках, в системах сигнализации, для позиционирования различных механизмов и т. д.

Обычно в емкостных датчиках используется плоский или цилиндрический конденсатор, одна из обкладок которого испытывает под-вергаемое контролю перемещение, вызывая изменение емкости. Пренебрегая краевыми эффектами, можно выразить емкость для плоского конденсатора зависимостью

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}, \quad (3.1)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заключенной между обкладками,

S и d – площадь поверхности рассматриваемых обкладок и расстояние между ними соответственно.

Емкостные датчики обладают рядом преимуществ по сравнению с датчиками других типов.

К их достоинствам относят простоту изготовления, использование недорогих материалов для производства, малые габариты и вес, низкое потребление энергии, высокую чувствительность.

Параметры конденсатора датчика зависят только от геометрических характеристик и не зависят от свойств используемых материалов, если эти материалы правильно подобраны. Следовательно, можно сделать пренебрежимым влияние температуры на изменения площади поверхности и расстояния между обкладками, правильно подбирая марку металла для обкладок и изоляцию для их крепления. Остается лишь защищать датчик от тех факторов окружающей среды, которые могут ухудшить изоляцию между обкладками: от пыли, коррозии, влажности, ионизирующей радиации.

Емкостные преобразователи могут быть использованы при измерении различных величин по трем направлениям в зависимости от функциональной связи, измеряемой неэлектрической величины со следующими параметрами:

переменной диэлектрической проницаемостью среды ε ;

площадью перекрытия обкладок S ;

изменяющимся расстоянием между обкладками d .

В первом случае емкостные преобразователи можно применять для анализа состава вещества, поскольку диэлектрическая проницаемость является функцией свойств вещества. При этом естествен-

ной входной величиной преобразователя будет состав вещества, заполняющего пространство между пластинами.

Емкостные преобразователи этого типа применяются преимущественно при измерении влажности твердых и жидких тел, уровня жидкости, а также определении геометрических размеров небольших объектов. В большинстве случаев практического использования емкостных преобразователей их естественной входной величиной является геометрическое перемещение электродов относительно друг друга. На основе этого принципа построены датчики линейных и угловых перемещений, приборы измерений усилий, вибраций, скорости и ускорения, датчики приближения, давления и деформации (экстензометры).

Емкостные датчики линейных и угловых перемещений – это наиболее распространенные приборы, широко используемые в машиностроении и на транспорте, строительстве и энергетике, в различных измерительных комплексах.

Сравнительно новыми приборами, доведенными до широкого промышленного применения в последние годы, стали малогабаритные емкостные инклинометры с электрическим выходным сигналом, пропорциональным углу наклона датчика.

В качестве основных можно считать следующие области использования инклинометров: системы горизонтирования платформ; определение величины прогибов и деформаций различного рода опор и балок; контроль углов наклона автомобильных и железных дорог при их строительстве, ремонте и эксплуатации; определение крена автомобилей, кораблей и подводных роботов, подъемников и кранов, экскаваторов, сельскохозяйственных машин; определение углового перемещения различного рода вращающихся объектов (валов, колес, механизмов редукторов как на стационарных, так и на подвижных объектах).

Емкостные датчики уровня находят применение в системах контроля, регулирования и управления производственными процессами в пищевой, фармацевтической, химической, нефтеперерабатывающей промышленности. Они эффективны при работе с жидкостями, сыпучими материалами, пульпой, вязкими веществами (проводящими и непроводящими), а также в условиях образования конденсата, запыленности.

Емкостные датчики широко распространены там, где необходимо контролировать появление слабопроводящих жидкостей, например воды. Это датчики уровня жидкости, датчики дождя в автомобилях, датчики в сенсорных кнопках на бытовой технике и т. п.

Принцип действия и область применения емкостных бесконтактных выключателей (БВЕ)

Специальная схема преобразует изменение емкости в пороговый сигнал датчика. В простейших датчиках это обычно мультивибратор, преобразователь «частота (или скважность) – напряжение» и компаратор. Иногда, если изменение емкости в ответ на воздействие невелико, приходится ставить схемы на микроконтроллерах, которые занимаются автоподстройкой чувствительности и нуля датчика.

Структурная схема БВЕ представлена на рис. 3.4.

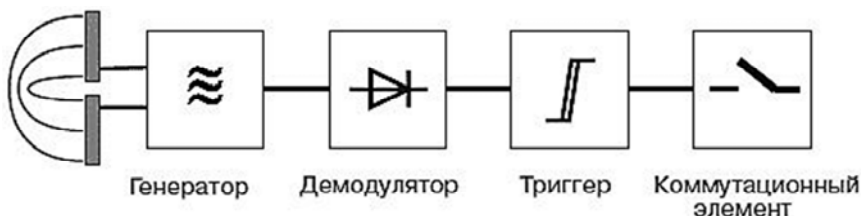


Рис. 3.4. Структурная схема емкостного бесконтактного выключателя

Расстояние срабатывания у емкостного датчика больше, чем у индуктивного. Объекты из металла или из диэлектрика с большей диэлектрической постоянной ϵ_r (например, вода) воздействуют на БВЕ в большей степени. Мелкие или тонкие объекты слабо воздействуют на БВЕ.

При работе с объектами из различных материалов расстояния срабатывания могут изменяться и для предварительных расчетов нужно пользоваться графиком корректировки S_r в зависимости от ϵ_r материала, представленном на рис. 3.5 и табл. 3.2.

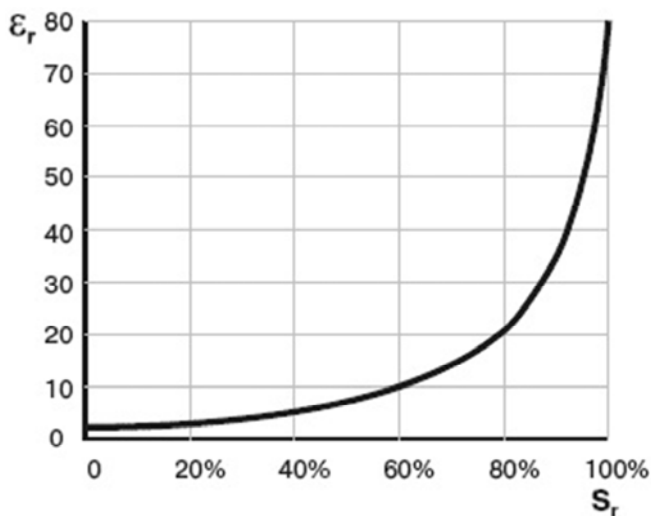


Рис. 3.5. График коррективы расстояния срабатывания в зависимости от диэлектрической постоянной ϵ_r материала

Таблица 3.2

**Значение диэлектрической постоянной ϵ_r
для отдельных материалов**

Материал	ϵ_r	Материал	ϵ_r
Аммиак	16,5	Оргстекло	3,2
Бензол	2,3	Песок кварцевый	3–5
Бумага	1,6–2,6	Поливинилхлорид	2,9
Вода	48–88	Полистирол	2,4–2,7
Воздух	1	Полиэтилен	2,3
Дерево сухое	2–7	Резина	2,5–35
Зерно	5–10	Сахар	3
Масло трансформаторное	2,3	Спирт этиловый	16–31
Мрамор	8,3	Стекло	4–10
Нефть	2,2	Стеклотекстолит	5,5
Песок кварцевый	3–5	Текстолит	7,5
Дерево сухое	2–7	Толуол	2,4

Бесконтактные емкостные датчики могут эксплуатироваться в широком диапазоне температур, имеют устойчивость к воздействию электромагнитных полей и обладают высокой степенью пылевлагозащиты, что позволяет использовать их в тяжелых условиях. Емкостные датчики приближения с успехом применяются в деревообрабатывающей, химической, пищевой и целлюлозно-бумажной отраслях промышленности.

Особенности емкостных датчиков: реагируют на металлические и неметаллические объекты, жидкость в неметаллическом резервуаре; с помощью регулировки чувствительности можно настраивать для разных условий при различных материалах объектов; их наивысшая функциональность достигается при малой коммутационной частоте.

Сейчас широко распространены датчики приближения (присутствия), которые, помимо своей надежности, имеют широкий ряд преимуществ. Имея сравнительно низкую стоимость, датчики приближения охватывают огромный спектр направленности по своему применению во всех отраслях промышленности. Типичными сферами использования емкостных датчиков этого типа являются сигнализация заполнения емкостей из пластика или стекла; контроль уровня заполнения прозрачных упаковок; сигнализация обрыва обмоточного провода; регулирование натяжения ленты; поштучный счет любого вида и др.

Устройство и технические характеристики используемого датчика

В лабораторной работе использован емкостный датчик CP30-50C.

Диаметр – 30 мм, расстояние срабатывания – 50 мм, тип выхода – npn и pnp, состояние выхода – нормально открытый контакт.

Имеется плавная регулировка чувствительности переменным резистором на 14 оборотов. Общий вид датчика представлен на рис. 3.6, *а* и схема подключения на рис. 3.6, *б*.

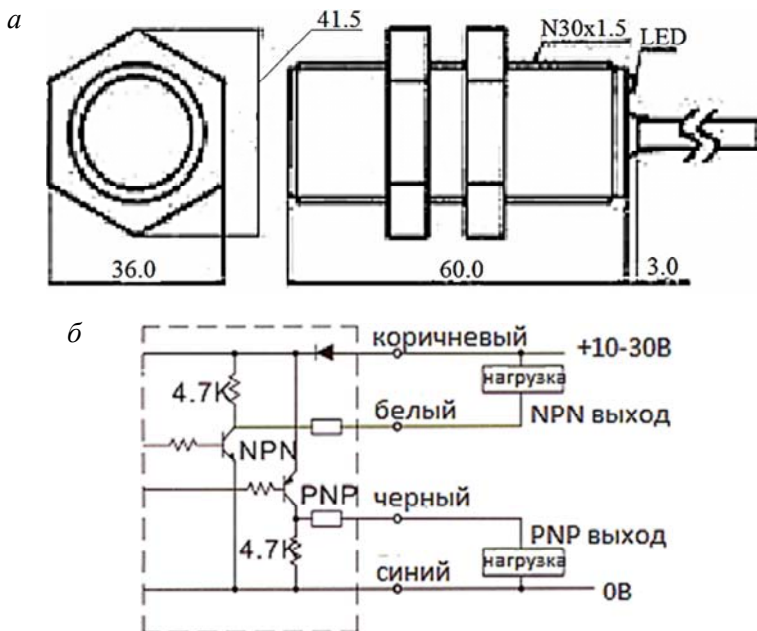


Рис. 3.6. Общий вид (а) и схема подключения (б) емкостного датчика CP30-50C

Датчики контроля контрастных меток: принцип действия и область применения

Датчики контроля контрастных меток (или датчики контраста) относят к оптическим бесконтактным датчикам.

Оптические датчики – электронные устройства, способные под воздействием электромагнитного излучения в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах подавать единичный или совокупность сигналов на вход регистрирующей или управляющей системы.

Структурная схема оптического датчика показана на рис. 3.7. В датчиках определения контрастных меток источник оптического сигнала и его приемник находятся в одном корпусе. В рабочем диапазоне измерений датчики различают до 30 градаций серого.

Порог срабатывания может быть установлен в ручном режиме, в статическом или динамическом режиме конфигурирования teach-in. Качество материала не влияет на результаты измерений. Если необ-

ходимо, при измерении кодов на блестящих поверхностях можно использовать наклонный монтаж датчика.

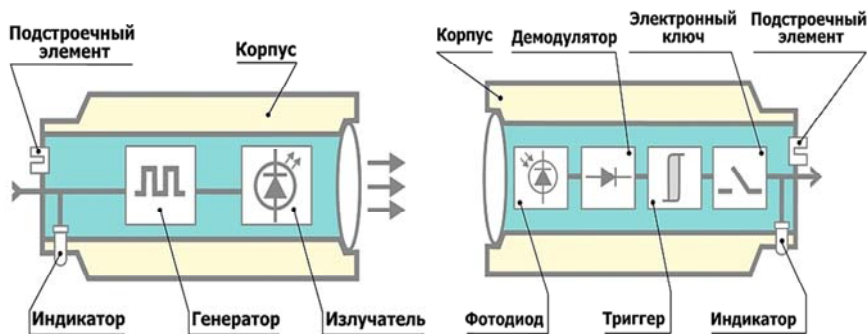


Рис. 3.7. Излучатель и приемник оптического датчика

Ниже приведены некоторые примеры применения датчиков контраста в промышленности.

Измерения контраста необходимы при определении контрастных маркеров – таких, как штриховые коды, широко используемые для автоматизации различных промышленных процессов. Разница контраста между полосами и фоном является основополагающим фактором считываемости штрих-кода. Измеряют эту разницу датчики контраста.

На химическом, фармацевтическом и косметическом производствах торговая марка (или специальная штрих-полоса) часто размещается на месте сгиба ламинатных труб (например, тюбики зубной пасты или кремов). Технологический процесс штамповки проходит при высокой скорости в условиях ограниченной рабочей площади. Торговая марка размещается в специально отведенном месте упаковки. Как правило, дизайн торговой марки выгодно выделяется на общем фоне упаковочного тюбика.

Для решения данной технологической задачи используются *датчики контраста*. Датчик автоматически выбирает лучшее разрешение для красного, зеленого и синего цветов и затем определяет разницу в контрасте.

Некоторые медицинские препараты имеют индивидуальную упаковку: например, запечатанная фольга с определенным рисунком. В полностью автоматизированном процессе положение отреза фольги определяется по рисунку. Большое значение при решении подобной

технологической задачи имеет высокая частота срабатывания, высокое разрешение при измерении контраста и нечувствительность к отражающим свойствам фольги.

Для решения данной технологической задачи предлагается использовать фольгу со специально нанесенными метками, которые будут фиксировать сканером контраста. Датчик обеспечивает гарантированное срабатывание даже при высокой скорости движения ленты конвейера. Датчик имеет встроенный трехцветный светодиод (красный, зеленый, синий), благодаря чему чувствителен даже к небольшим изменениям контраста печатных меток на общем цветовом фоне фольги.

Технические характеристики и настройка используемого датчика контрастных меток

В лабораторном стенде используется датчик контраста фирмы DATALOGIC модели TL 46 NPN/PNP. Расстояние срабатывания датчика – 6–60 мм; тип излучения – красный/зеленый/синий (RGB) LED; напряжение питания – 10–30 В постоянного тока, материал корпуса – алюминий.

Настройка датчика контраста DATALOGICTL 46.

1. *Установка метки и фона.* Расположив метку в световой области датчика, нажмите и удерживайте кнопку MARK до тех пор, пока индикатор готовности RDY не погаснет. Во время этой процедуры следует избегать перемещения метки. Используя красный, зеленый и синий спектр светового излучения датчик зафиксирует контрастность метки.

Расположив фон в световой области датчика, нажмите на кнопку BKGD. Обнаружение фона произойдет аналогично обнаружению метки.

Если индикатор готовности RDY светится постоянно, то операция обнаружения прошла успешно. Если же индикатор RDY медленно мерцает, то при установке метки/фона произошла ошибка (возможно, из-за недостаточной контрастности детектируемых поверхностей). В этом случае операцию установки метки/фона следует повторить сначала.

По результатам установки датчик автоматически выбирает темный/светлый режим работы. Темный режим работы – это темная метка и светлый фон. Светлый режим – наоборот, светлая метка и темный фон.

2. *Настройка цифрового выхода PNP-NPN.* Цифровой выход может быть PNP либо NPN типа (PNP по умолчанию). Чтобы изменить тип выхода, одновременно нажмите кнопки MARK и BKGD и удерживайте две секунды. Если индикатор RDY гаснет после первой секунды нажатия кнопок, то кнопки следует отпускать только после повторного включения индикатора RDY.

Изменение настройки типа выхода отображает индикатор готовности RDY. Если установлен PNP выход, то, отпустив кнопки, индикатор RDY моргнет один раз. Если же установлен NPN выход – моргнет дважды.

3. *Перегрузка выхода.* Частое мерцание RDY-индикатора сигнализирует о перегрузке цифрового выхода.

4. *Аналоговый выход.* Аналоговый выход подает напряжение, пропорциональное сигналу, получаемому от датчика. Выдаваемое напряжение – от 0 В до 5,5 В. Максимальное отражение получается с отражающих объектов, на 90 % белом цвете напряжение равно 2,5 В.

5. *Настройка задержки.* Задержка увеличивает длительность времени активности выхода, позволяя медленным системам обнаруживать короткие импульсы. Включение задержки: подключить серый провод датчика к минусовому выводу источника питания. Отключение – подключить серый провод на 0В или оставить неподключенным.

Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд позволяет ознакомиться с современными примерами бесконтактных датчиков и с организацией систем, которые занимаются обработкой информации, поступающей с датчиков. В ходе выполнения лабораторной работы студенты изучат принцип работы представленных датчиков и познакомятся с примерами использования таких систем в промышленности.

В лабораторном стенде используется ПЛК (программируемый логический контроллер), микроконтроллер ATmega8, асинхронный двигатель с редуктором, образцы материалов, оптический щелевой датчик, бесконтактные датчики: емкостный, индуктивный и датчик контрастных меток. Щелевой оптический датчик используется для определения поворота диска во время вращения и его остановки в нужном положении.

Лабораторная работа заключается в следующем.

Студент помещает образец материала на специальные направляющие на диске и нажимает на кнопку Кн1. Диск совершает полный оборот. ПЛК получает информацию с датчиков, организывает битовую передачу кода на микроконтроллер, который затем выводит информацию на дисплей. На дисплее отображается состояние датчиков (сработал / не сработал) и материал, из которого сделан образец. Материал определяется датчиком контрастных меток при считывании специального штрих-кода, наклеенного на образцы.

Также в лабораторной работе имеется возможность работать напрямую с каждым датчиком. При нажатии кнопки Кн2 или Кн3 диск придет в движение и остановится так, что образец на направляющих будет располагаться напротив соответственно емкостного или индуктивного датчиков. Далее студенты, перемещая образцы по направляющим, определяют расстояние срабатывания датчиков для разных материалов.

При нажатии на кнопки Кн1–Кн4 сигнал от них поступает на информационные входы Х0–Х3 соответственно программируемого логического контроллера. После нажатия одной из кнопок ПЛК подает переменное напряжение на релейный выход У0, что приводит в движение асинхронный двигатель. При этом ПЛК опрашивает информационные входы Х7, Х8, Х10, Х11, к которым подключены емкостный и индуктивный датчики, датчик контраста и оптический щелевой датчик соответственно.

К валу двигателя прикреплен диск с вырезами. На диске сделан 1 вырез, который в несколько раз больше остальных. При прохождении диска через щелевой датчик ПЛК определяет угол поворота вала двигателя.

Принцип определения угла поворота заключается в следующем. Когда вырез диска проходит через щелевой датчик, на выходе датчика появляется сигнал высокого уровня. ПЛК подсчитывает длительность высокого уровня, поступающего от оптического датчика. Оптический датчик подключен к цифровому входу Х11. Длительность импульса, поступающего на вход Х11, сравнивается с длительностью предыдущего импульса. Если длительность поступающего импульса в два раза больше длительности предыдущего, то ПЛК начинает подсчет количества импульсов, поступающих от оптического датчика на вход Х11. После достижения заданного числа количества импульсов, соответствующих некоторому углу поворота вала в зависимости от нажатой кнопки, двигатель останавливается.

С помощью датчика контрастных меток реализовано считывание штрих-кода, нанесенного на образцы материалов. Принцип его считывания заключается в следующем. При попадании черной полосы штрих-кода под луч излучателя датчика контраста на выходе датчика появляется сигнал высокого уровня, который передается на цифровой вход $X10$ ПЛК. Для ПЛК штрих-код представляется в виде двоичного кода, где первая полоса штрих кода соответствует младшему разряду двоичного кода, а ширина полосы штрих-кода означает цифру, записываемую в каждый разряд двоичного кода (широкая полоса – 1, узкая – 0). В память ПЛК записаны эталонные двоичные коды, каждый из которых соответствует одному из штрих-кодов, нанесенных на материалы. При совпадении полученного кода с одним из эталонов ПЛК отправляет команду на микроконтроллер ATmega 8 через выходы $X3$, $X4$, $X5$, $X6$, $X7$. В соответствии с полученной командой микроконтроллер отображает соответствующую информацию.

Последовательность выполнения работы

1. Внимательно изучить методические указания к лабораторной работе.
2. Ознакомиться с лабораторным стендом.
3. Изучить работу индуктивного датчика, емкостного датчика, датчика контрастных меток.
4. Проанализировать полученные экспериментальные данные.

Методика выполнения работы

1. Включите стенд (тумблер 1 в положение «1»).
2. Изучите работу емкостного датчика:
нажмите кнопку «Кн1»;
установите исследуемый материал между направляющими;
перемещая материал вдоль направляющих, определите максимальное расстояние срабатывания датчика для данного образца. Полученные данные запишите в табл. 3.3;
замените исследуемый материал и повторите п. 2.
3. Изучите работу индуктивного датчика:
нажмите кнопку «Кн2»;
повторите пункты предыдущего опыта.

Таблица 3.3

Исследуемый датчик

Исследуемый материал	Номер измерения	Максимальное расстояние срабатывания, мм

4. Перейдите к изучению датчика контрастных меток:
 установите образец между направляющими вплотную к ограничителю;
 нажмите кнопку «Кн4»;
 дождитесь остановки диска. Определите соответствие информации на дисплее и расшифровки битового штрих-кода;
 заполните табл. 3.4.

Таблица 3.4

Материал	Количество битовых штрихов	Показания на дисплее

5. Пользуясь материалами лабораторной работы, предложите технологический процесс, в котором могут быть задействованы изучаемые датчики.

Контрольные вопросы

1. Индуктивный датчик. Структура, принцип работы, основные параметры.
2. Достоинства и недостатки индуктивных датчиков. Области применения.
3. Емкостный датчик. Структура, принцип работы, основные параметры.
4. Достоинства и недостатки емкостных датчиков. Области применения.
5. Датчик контроля контрастных меток. Принцип работы, основные параметры.
6. Примеры использования датчиков контраста в промышленности.

Лабораторная работа № 4

СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Цели работы

1. Ознакомиться с основными понятиями и принципом работы систем технического зрения.
2. Изучить устройство лабораторного стенда, программного обеспечения к нему.
3. Освоить методику программирования системы технического зрения на базе датчика DataSensor VS2 для конкретных технических задач.

Теоретические сведения

Основные задачи систем технического зрения

Системы технического зрения (СТЗ) решают задачи получения цифрового изображения, обработки изображения с целью выделения значимой информации на изображении и математического анализа полученных данных для решения поставленных задач. Эти задачи можно разделить на следующие четыре группы.

1. Распознавание положения.

Цель СТЗ в данном применении – определение пространственного местоположения (местоположения объекта относительно внешней системы координат) или статического положения объекта (в каком положении находится объект относительно системы координат с началом отсчета в пределах самого объекта) и передача информации о положении и ориентации объекта в систему управления или контроллер.

Примером такого приложения может служить погрузочно-разгрузочный робот, перед которым стоит задача перемещения объектов различной формы из бункера. Интеллектуальная задача машинного зрения заключается, например, в определении оптимальной базовой системы координат и ее центра для локализации центра тяжести детали. Полученная информация позволяет роботу захватить деталь должным образом и переместить ее в надлежащее место.

2. Измерение.

В приложениях данного типа основная задача видеокамеры заключается в измерении различных физических параметров объекта.

Примером физических параметров может служить линейный размер, диаметр, кривизна, площадь, высота и количество. Пример реализации данной задачи – измерение различных параметров заготовки или готовой детали.

3. Инспекция.

В приложениях, связанных с инспекцией, цель СТЗ – подтвердить определенные свойства: например, наличие или отсутствие этикетки на бутылке, болтов для проведения операции сборки, шоколадных конфет в коробке или наличие различных дефектов.

4. Идентификация.

В задачах идентификации основное назначение видеокамеры – считывание различных кодов (штрих-кодов, 2D-кодов и т. п.) с целью их распознавания средствами камеры или системным контроллером, а также определение различных буквенно-цифровых обозначений. Кроме того, к задачам данной группы можно отнести системы, выполняющие задачи безопасности, такие как идентификация личности и техники, детекторы движения.

Основные области применения технического зрения

Можно выделить следующие приоритетные области, в которых востребованы системы технического зрения.

1. Системы виртуальной реальности имеют небольшой процент рынка; они предлагают качественно новый интерфейс «человек – компьютер», основанный на распознавании лиц и жестов; системы, обеспечивающие выполнение задач безопасности, смысловой анализ мультимедийных данных и т. д.

2. В робототехнике технологии технического зрения – один из простых способов научить аппараты автономным действиям в естественном мире.

3. Со стороны сельскохозяйственных организаций наблюдается существенный спрос, так как необходима автоматизация деятельности по визуальному контролю и сортировке продуктов.

4. Интерес к СТЗ растет со стороны нанотехнологических фирм, биотехнологических компаний и в сфере медицины (автоматический анализ медицинских изображений – рентген, томография, УЗИ).

5. Охранные системы заинтересованы в идентификации личности, детекторах движения, распознавании и отслеживании движущихся объектов, распознавании автомобильных номеров и т. д.).

6. СТЗ востребованы в области контроля качества и инспекции продуктов питания (оценка качества бисквитов на кондитерской линии осуществляется со скоростью 60 пирожных в секунду), а также в области визуального контроля и управления (учет, считывание штрих-кодов).

7. Техническое зрение применяется в системах распознавания рукописного и печатного текста.

Методы обработки изображения

В системах технического зрения для решения перечисленных задач используются разные технологии и методы. Для обработки изображения служат различные фильтры. Ниже перечислены наиболее известные и используемые в цифровой обработке пространственные фильтры.

Градационные: преобразование изображения в негатив; логарифмические преобразования; степенные преобразования; кусочно-линейные функции преобразований.

Арифметико-логические: вычитание изображений; усреднение изображений.

Сглаживающие пространственные фильтры (линейные сглаживающие фильтры; основанные на порядковых статистиках).

Фильтры повышения резкости.

Восстанавливающие фильтры.

Изменение яркости, контраста и пр.

При помощи этих фильтров можно выполнять различные операции с изображением. Ниже перечислены некоторые из них.

Подсчет пикселей. Подсчитывается количество светлых или темных пикселей и на основе результата делаются необходимые выводы об изображении.

Выделение связанных областей. Связная область изображения – это, с одной стороны, тип объекта, все еще очень близко связанный

с растровым изображением, и в то же время – это уже некая самостоятельная семантическая единица, позволяющая вести дальнейший геометрический, логический, топологический и любой другой анализ изображения.

Бинаризация. Преобразование изображения в серых тонах в бинарное (белые и черные пиксели).

Гистограмма и гистограммная обработка. Гистограмма характеризует частоту встречаемости на изображении пикселей одинаковой яркости.

Сегментация. Сегментацией изображения называется разбиение изображения на непохожие по некоторому признаку области. Предполагается, что области соответствуют реальным объектам или их частям, а границы областей соответствуют границам объектов. Используется для поиска и/или подсчета деталей.

В большинстве случаев СТЗ используют последовательное сочетание этих методов обработки для выполнения полного инспектирования. Например, система, которая считывает штрих-код, может также проверить поверхность на наличие царапин или повреждения и измерить длину и ширину обрабатываемых компонентов.

Компоненты СТЗ

Типовая СТЗ состоит из одной или нескольких цифровых или аналоговых камер (черно-белые или цветные) с подходящей оптикой для получения изображений, подсветки и объекта, оборудования ввода/вывода или каналы связи для доклада о полученных результатах. Кроме того, важна и программная составляющая СТЗ, а именно программное обеспечение для подготовки изображений к обработке (для аналоговых камер это оцифровщик изображений), специфичные приложения программного обеспечения для обработки изображений и обнаружения соответствующих свойств. Типовой состав СТЗ представлен на рис. 4.1.

Матрица чувствительных элементов, входящих в состав видеокамеры, предназначена для получения цифрового изображения. В состав матрицы чувствительного элемента входит множество аналого-цифровых преобразователей, предназначенных для преобразования информации о световой интенсивности в цифровое значение.

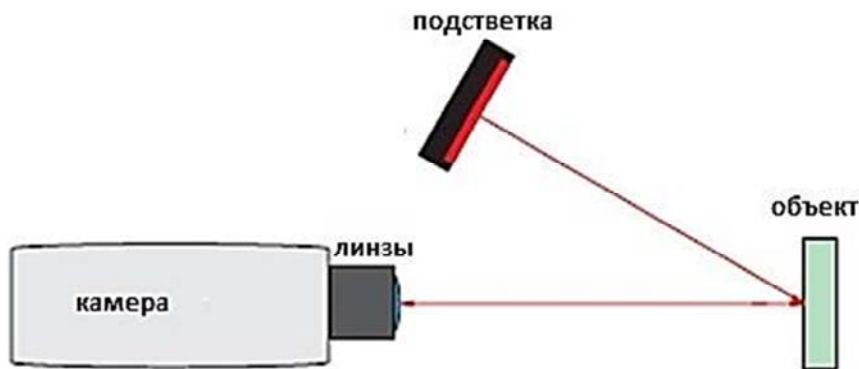


Рис. 4.1. Типовой состав СТЗ

Объектив позволяет камере фокусироваться на определенном расстоянии и получать четкое изображение объекта. В случае, когда объект находится вне фокусного расстояния, изображение получается нерезким (размытым, с нечеткими краями), что ухудшает возможность обработки видеоряда. В отличие от обычных цифровых фотоаппаратов с объективами, поддерживающими функции автофокусировки, в техническом зрении применяется оптика с фиксированным фокусным расстоянием или ручной настройкой фокуса. Существуют различные типы объективов для самых разных задач (стандартные, телескопические, с широким углом обзора, с увеличением и другие), и выбор правильного типа оптики – важный этап при проектировании системы машинного зрения.

Подсветка – еще один важный элемент в техническом зрении. Благодаря использованию различных типов освещения можно расширить круг задач, решаемых машинным зрением. Существуют различные типы подсветок, но наиболее популярным является светодиодная (в связи с ее высокой яркостью). При этом современный уровень развития светодиодной техники обеспечивает большой срок службы устройства и малое энергопотребление.

Алгоритм функционирования систем машинного зрения

Последовательность действий, выполняемых СТЗ, отражает алгоритм (рис. 4.2).

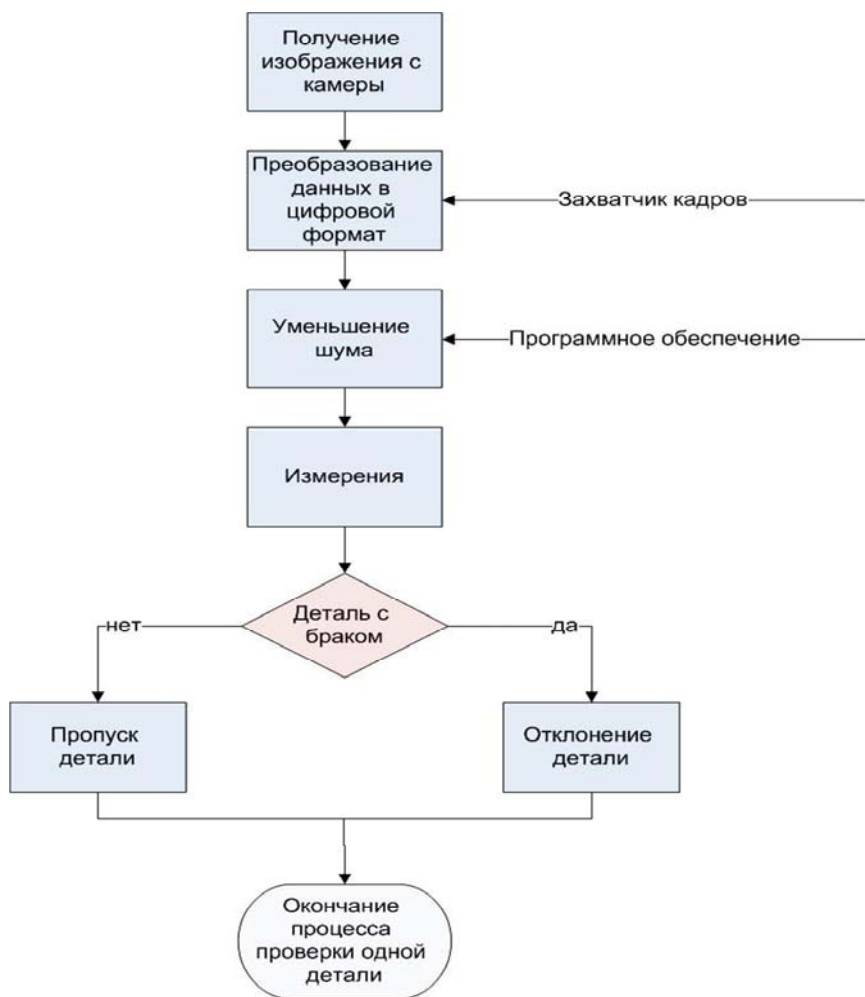


Рис. 4.2. Последовательность действий СТЗ
на примере контроля детали

Изображение, полученное с камеры, попадает в захватчик кадров или в память компьютера. Захватчик кадров – это устройство, которое преобразует выходные данные с камеры в цифровой формат (как правило, это двумерный массива чисел) и размещает изобра-

жения в памяти компьютера так, чтобы оно могло быть обработано с помощью программного обеспечения для машинного зрения.

Программное обеспечение совершает, как правило, несколько шагов для обработки изображений.

Часто изображение для начала обрабатывается с целью уменьшения шума или конвертации множества оттенков серого в простое сочетание черного и белого (бинаризации). После первоначальной обработки программа будет считать, производить измерения и/или определять объекты, размеры, дефекты и другие характеристики изображения. В качестве последнего шага программа пропускает или забраковывает деталь в соответствии с заданными критериями. Если деталь идет с браком, программное обеспечение подает сигнал механическому устройству для отклонения детали. Также система может остановить производственную линию и предупредить человека, что нужно сделать для решения этой проблемы и что привело к неудаче. Хотя большинство СТЗ полагается на «черно-белые» камеры, использование цветных камер становится все более распространенным явлением. Кроме того, все чаще СТЗ используют цифровые камеры прямого подключения, а не камеры с отдельным захватчиком кадров, что сокращает расходы и упрощает систему.

Описание лабораторного стенда

Структура. Основные технические характеристики

Процесс обучения в техническом вузе должен учитывать появление новинок в различных областях знаний. Поэтому создание лабораторного комплекса на базе современной системы технического зрения DataVisionVS2, позволяющей понять и использовать современные методы обработки визуальной информации, весьма актуально.

Были разработаны методологические указания для освоения системы технического зрения DataVisionVS2. Ниже приводятся основные материалы разработанной лабораторной работы.

Основные технические характеристики СТЗ представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Технические характеристики датчика

Напряжение питания	24 В постоянного напряжения $\pm 10\%$
Потребляемый ток: без подсветки с подсветкой	100 мА при 24 В постоянного тока 200 мА при 24 В постоянного тока
Выходы	4 PNP
Выходной ток	100 мА
Выходное напряжение	$< 2\text{ В}$
Разрешение	$640 \times 480(\text{VGA})$

Структура, общая схема подключения системы технического зрения приведены на рис. 4.3.

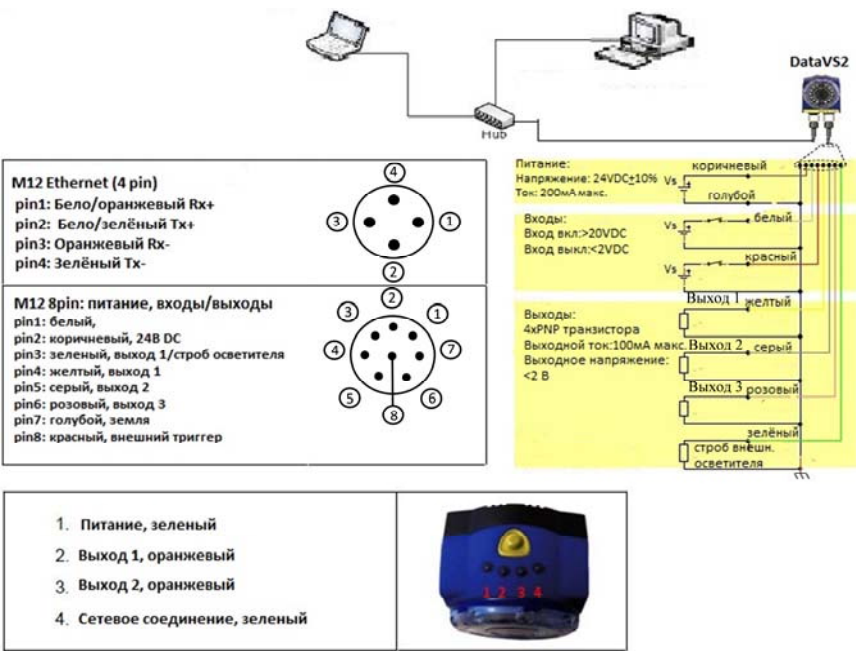


Рис. 4.3. Схема подключения DataVisionVS2

DataVS2 – сенсор, который принимает изображения объекта. Эти изображения проверяются по средством «Visioncontrols» – «Контроллеры изображения», с помощью которых вы можете провести проверку на определенные атрибуты, такие как контраст поверхности объекта по сравнению с фоном или ширину объекта. Они накладываются на «мастер изображения» и сравнивают с ним остальные. Контроллеры ориентируются на контраст – грань между черными и белыми пикселями, и сравнивают положение контраста на «мастер изображения» с положением контраста на рабочем изображении.

Система технического зрения может использоваться при решении различных задач – например, в отделе технического контроля (ОТК). Для этой задачи и был сделан данный лабораторный стенд. Он состоит из трех основных компонентов: камера, контроллер, компьютер.

Камера подключена к контроллеру через дискретные входы, используется для анализа и обработки информации о текущем объекте. Она выдает сигналы о том, годна деталь (объект) или нет.

Контроллер используется для управления камерой и подсчета результатов смены (партии); он подключен к компьютеру через физический стандарт связи RS-232.

Компьютер служит для визуализации процесса контроля при помощи SCADA системы. Имеет возможность управлять процессом контроля в автоматическом и ручном режимах.

SCADA (аббр. от англ. supervisory control and data acquisition, диспетчерское управление и сбор данных) – программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

В лабораторной работе используется программный продукт Citect SCADA. На рис. 4.4 представлена одна страница, на которую выводится вся информация, являющаяся ключевой при работе стенда. Эту страницу можно разделить на три блока: статистики, управления и визуализации.

Блок статистики выполнен в виде индикаторов состояния различных параметров тары; позволяет отображать текущее состояние контролируемого объекта: в частности, в лабораторной работе выявляется, закручена ли крышка, в норме ли уровень и т. д.

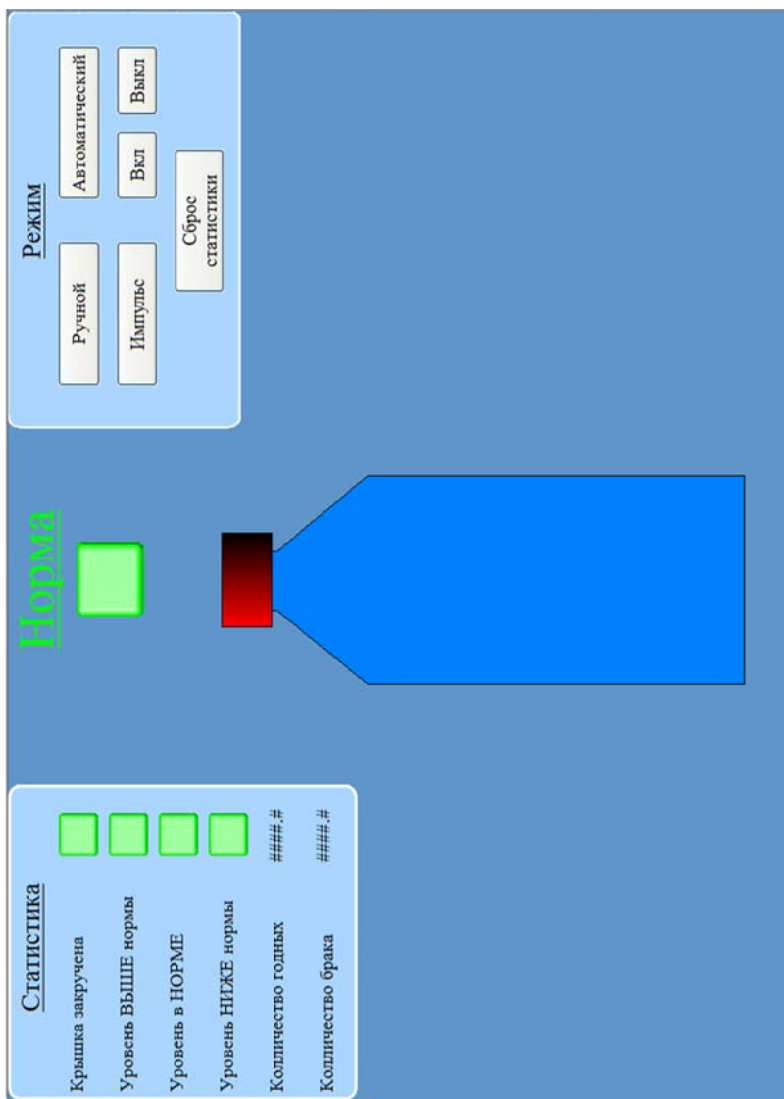


Рис. 4.4. Рабочая страница SCADA системы

Блок управления выполнен в виде набора кнопок, при помощи которых можно запустить систему в автоматическом или ручном режиме. В ручном режиме съемкой управляет пользователь. Этот режим может использоваться для настройки системы. В этом блоке также можно сбросить статистику годных и бракованных изделий.

Блок визуализации схематично отображает контролируемое изделие (в данном случае бутылку).

При помощи SCADA системы можно управлять системой дистанционно, например, из диспетчерской, куда также будут приходить данные о текущем состоянии тары.

Описание программного обеспечения

Графический интерфейс пользователя DataVS2 необходим для конфигурации контроллеров изображения и настроек.

В табл. 4.2 приведены описания и примеры использования различных контроллеров изображения.

Таблица 4.2

Описание различных контроллеров изображения

Тип контроля	Назначение	Пример использования
 Pattern Match (Сопоставление)	Поиск объекта в заданной области	Контроль наличия этикетки
 Contour Match (Сравнение контура)	Контроль формы	Проверка целостности контура детали
 Position (Позиция)	Обнаружение граничного положения объекта (обнаружение граней)	Контроль уровня жидкости в бутылке
 Width (Ширина)	Измерение расстояния между двумя точками	Контроль сборки
 Edge Count (Подсчет)	Обнаружение и подсчет всех граней, объектов в любом направлении	Контроль наличия таблеток в форме (фармацевтика)
 Contrast (Контраст)	Обнаружение контрастов в области поиска	Контроль качества печати этикетки
 Brightness (Яркость)	Обнаружение ярких точек, зон в области поиска	Контроль правильности установки, наличия крышек на флаконе

При установке каждого контроллера необходимо настроить условия его срабатывания. На рис. 4.5 представлен пример настройки уровня срабатывания контроллера яркости.



Рис. 4.5. Пример настройки уровня срабатывания контроллера яркости

На рисунке отображены следующие настройки:

Expected min – минимальный уровень освещенности, контраста (в зависимости от типа контроллера), при котором он сработает;

Calculated – реальный уровень освещенности, контраста и т. д.

Expected max – максимальный уровень освещенности, контраста, до которого будет срабатывать контроллер, и т. д.

Датчик DataVS2 требует предварительной настройки. Это делается в три этапа с помощью графического интерфейса, представленного на рис. 4.6.

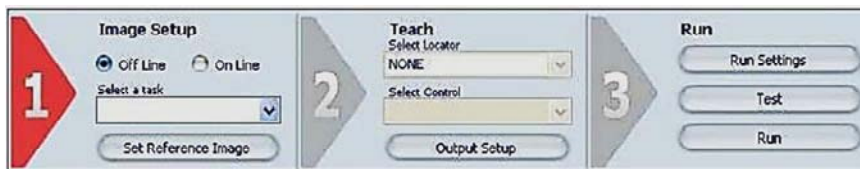


Рис. 4.6. Этапы настройки датчика в графическом интерфейсе

После запуска приложения пользователю предлагается установить соединение с датчиком (рис. 4.7).

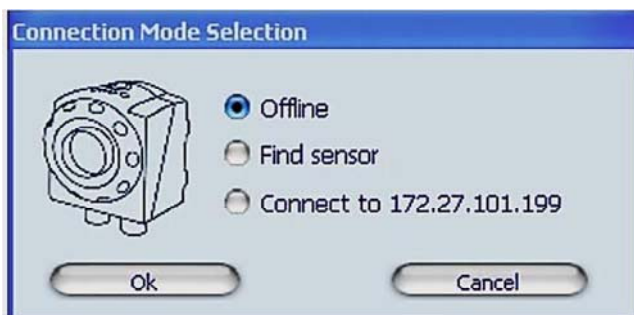


Рис. 4.7. Окно установки соединения с датчиком

В этом окне показаны следующие настройки.

Off-line – работа в offline-режиме, когда пользователь может создать новую проверку на основе имеющихся изображений без подключения датчика;

Find sensor – поиск датчика;

Connect to... – подключение к датчику, используя стандартный ip-адрес.

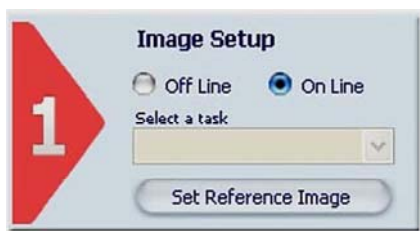
При успешном установлении соединения появится сообщение об удачном установлении соединения и версии прошивки датчика.

1. Если соединение установить не удалось, то перезапустите программный продукт DataVS2GUI v. 1.4.1.

2. Если пункт 1 не помог в решении проблемы, выключите датчик. Подождите 30 секунд, включите датчик, запустите графический интерфейс и установите соединение.

Первый шаг позволяет обрабатывать подключения к датчику и установить параметры, связанные с качеством изображения. Как только желаемый результат будет достигнут, изображение может быть сохранено и установлено в качестве эталонного «мастера изображения» для дальнейших операций.

На рис. 4.8 представлены основные пункты меню первого этапа и меню настройки качества изображения.



a



б

Рис. 4.8. Основные пункты меню первого этапа настройки СТЗ

На рис. 4.8, *a*:

On-line/Off-line – выбор между онлайн и оффлайн режимами работы;

Select a task – создание новой проверки или открытие уже имеющейся на компьютере или памяти датчика;

Set Reference Image – установка эталонного «мастера изображения».

На рис. 4.8, *б* приведены основные пункты меню для настройки качества изображения.

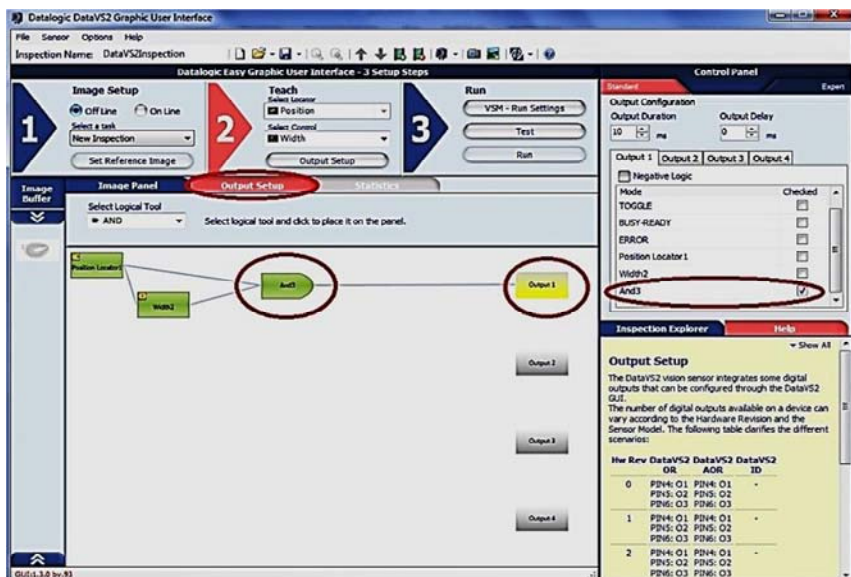
Регулируя значения Exposure time, Gain и осуществляя ручную фокусировку, добейтесь хорошего качества изображения. Когда качество изображения Вас удовлетворит, нажмите кнопку Set Reference Image и переходите ко второму шагу настройки.

На этой стадии необходимо установить и настроить контроллеры изображения, а также сконфигурировать условия подачи сигналов на дискретные выходы 1 и 2 (см. рис. 4.3).

На рис. 4.9 представлены пункты меню второго этапа (рис. 4.9, *a*) и окно настройки выходов датчика.



a



б

Рис. 4.9. Рабочие области второго этапа настройки

Select locator – Локатор. Это специальный инструмент, предназначенный для поиска объекта контроля в поле зрения датчика (на изображении). Для контроля можно установить только один локатор.

Select control – Выбор контроллеров изображения. Контроллеров может быть несколько. О назначении локаторов и контроллеров см. табл. 4.2.

Output Setup – Конфигурация цифровых выходов. В этом подменю вы можете настроить условия срабатывания цифровых выходов, используя логические константы. Это окно показано на рис. 4.9, б.

На рисунке видно, что при контроле используется 1 локатор и 1 контроллер. Сигнал на выход 1 будет подан только в том случае, если корректно сработают оба контроллера. Подменю «control panel» позволяет выбирать условия подачи сигнала на выход 1 (Position locator 1, Width 2, And 3).

На рис. 4.10 представлены пункты меню третьего этапа настройки.



Рис. 4.10. Пункты меню третьего этапа

В этом меню отображены следующие варианты продолжения работы:

VSM – Run Settings – Настройки;

Test – Проверка на компьютере;

Run – Старт проверки.

Методика выполнения работы

Будьте внимательны при работе с лабораторным стендом. Перед началом работы необходимо проверить соединения и провода. В случае обнаружения оголенных участков проводов или повреждения изоляции следует обратиться к преподавателю. Пренебрежение правилами техники безопасности может повлечь за собой тяжелые последствия.

При работе с лабораторным стендом бережно относитесь к оборудованию. Все манипуляции с кнопками, тумблерами и элементами системы наладки лабораторного стенда следует производить плавно и без усилия. При выявлении каких-либо трудностей не надо пытаться устранить проблему самостоятельно – следует обратиться за помощью к преподавателю.

По окончании работы студент в обязательном порядке должен привести рабочее место к первоначальному виду и сдать его руководителю.

Настройка соединения с компьютером

1. Перед началом работы необходимо визуально убедиться в наличии соединения датчика с компьютером. Также необходимо проверить подключение источника питания к сети переменного тока (220 В).

2. Включить датчик с помощью кнопки Кн1, находящейся на правой грани блока питания. Характерной особенностью работы датчика на этой стадии является его мерцание красным цветом.

3. Установить соединение датчика с компьютером.

3.1. Запустить ярлык программы DataVS2GUIv1.4.1 (либо меню Пуск → Все программы → Datalogic → DataVS2GUIv1.4.1).

3.2. При запуске программы появится окно, изображенное на рис. 4.11.

3.3. Выбрать пункт Find sensor и нажать ОК – появится окно, представленное на рис. 4.12.



Рис. 4.11. Стартовое окно программы

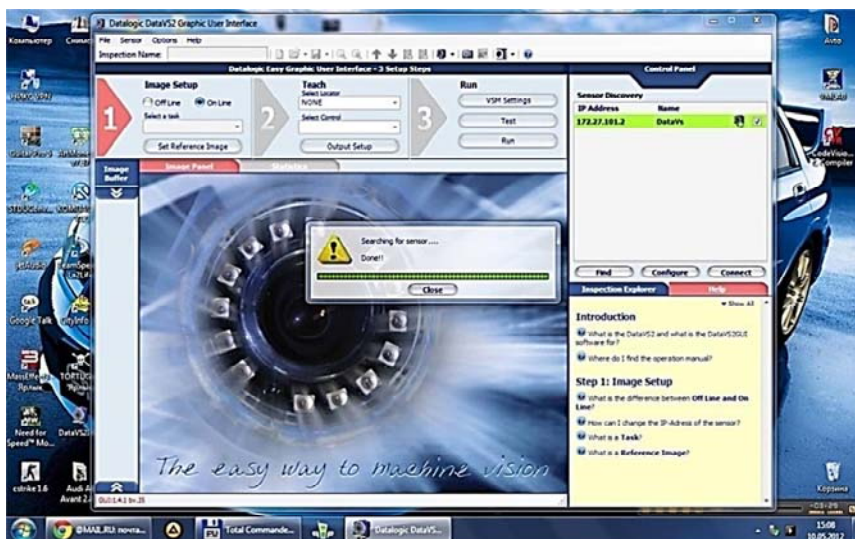


Рис. 4.12. Завершение поиска датчика

Обратите внимание на панель Control Panel (правый верхний угол программы). Датчик найден в сети с определенным IP-адресом (в данном случае 172.27.101.2) и выделен зеленым цветом. В этом меню нажимаем на кнопку Connect. Соединение установлено (проверить можно по светодиоду LED4 на датчике).

В том случае, если датчик будет не найден, появится окно, показанное на рис. 4.13.

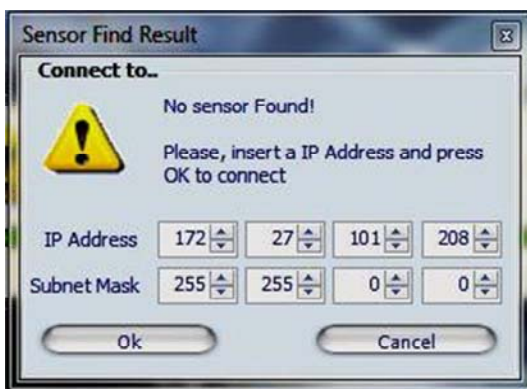


Рис. 4.13. Окно результата поиска

Для решения этой проблемы следует воспользоваться следующим алгоритмом (настройка свойств сети TCP/IP на компьютере):

- 1) Пуск → Панель управления → Настройка сети. Нажать на значок локальной сети правой кнопкой мыши, выбрать «Свойства»;
- 2) в появившемся окне выбрать пункт «Интернет Протокол TCP/IP» и нажать «Свойства»;
- 3) ввести следующие данные:
IP адрес: 172.27.101.1;
Маска подсети: 255.255.0.0;
- 4) нажать на кнопку, применить изменения и повторить п. 3.1–3.3.

Шаг 1. Получение мастер-изображения

1. Выбираем пункт New Inspection в пошаговой панели 1 (Image Setup) (рис. 4.14).



Рис. 4.14. Меню первого шага настройки СТЗ

2. На этой стадии датчик начнет делать фото. Для настройки качества изображения можно воспользоваться двумя инструментами: фокусировочное кольцо и панель Control Panel (правый верхний угол) (рис. 4.15).

3. После настройки изображения нужно нажать на кнопку Set Referents Image в пошаговой панели 1 (рис. 4.11). В результате получим Мастер-изображение.



Рис. 4.15. Панель Control Panel и фокусирующее кольцо камеры

Шаг 2. Обучение

Обучение датчика с помощью двух групп инструментов: Select locator – локатор это специальный инструмент, предназначенный для поиска объекта контроля в поле зрения датчика (на изображении). Для контроля можно установить только один локатор и Select control – выбор контроллеров изображения (рис. 4.16). Контроллеров может быть несколько.

Рассмотрим обучение системы технического зрения на примере контроллера Edge Count (обнаружение и подсчет всех граней в любом направлении). В данном случае контролируется наличие батарейки для наручных часов в упаковке. Было сделано мастер-изображение (рис. 4.17) упаковки, у которого только в одной ячейке лежит батарейка.



Рис. 4.16. Меню второго шага настройки СТЗ

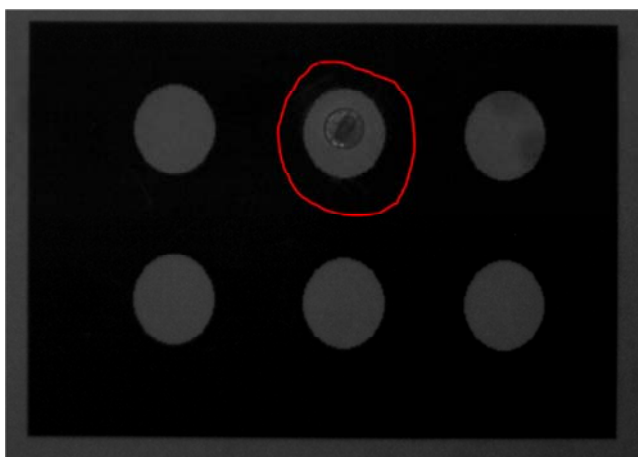


Рис. 4.17. Мастер-изображение

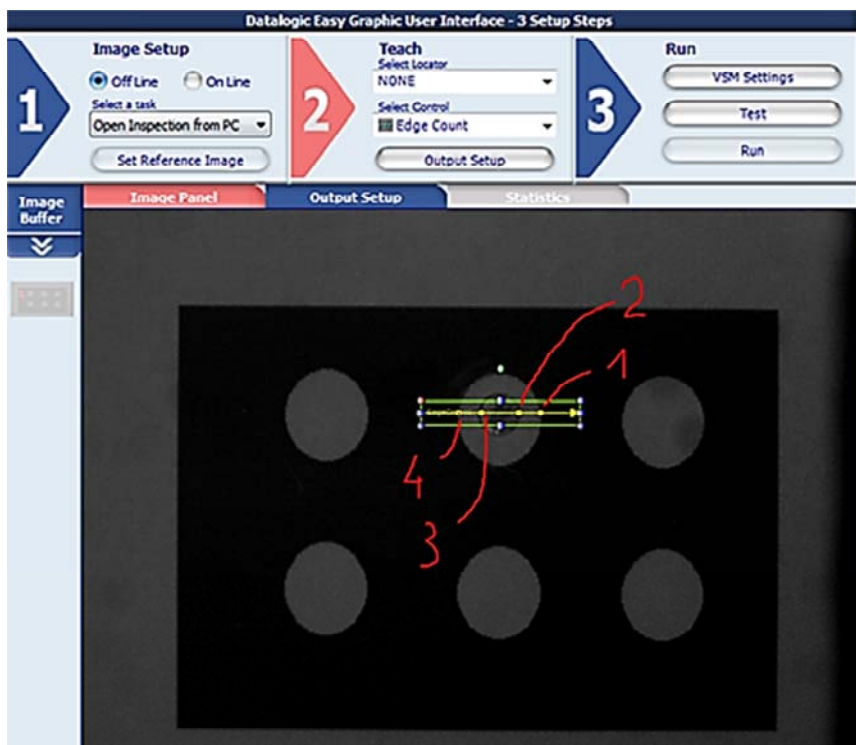


Рис. 4.18. Контроллер Edge Count

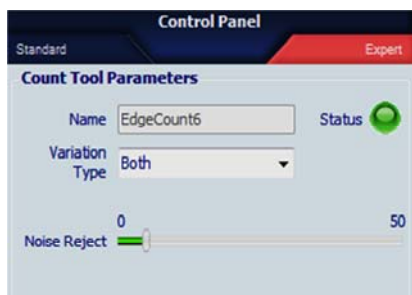
Необходимо обратить внимание на количество обнаруженных переходов. Здесь следует учитывать несколько факторов.

Во-первых, направление, в сторону которого идет пересчет темных и светлых областей. Это направление показывает центральная стрелочка.

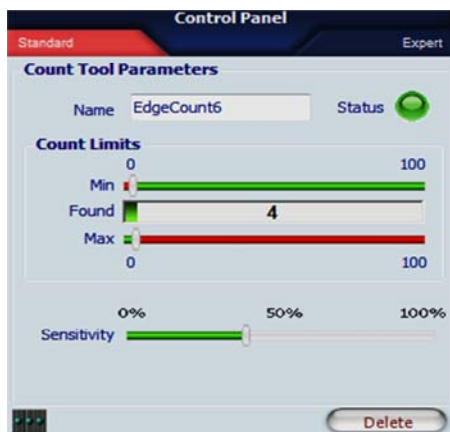
Во-вторых, какие переходы считает датчик. Есть три варианта: с черного на белый, с белого на черный и оба эти варианта сразу.

В-третьих, ширину поля контроллера, так как переходы считаются по средней линии. В данном случае датчик учитывает все переходы, направление счета слева направо; количество переходов равно четырем.

Рассмотрим подробнее окно настройки контроллера. Оно состоит из двух зон – Standard и Expert (рис. 4.19).



a



б

Рис. 4.19. Поля Standard и Expert

Поле Standard (рис. 4.19, *a*) содержит следующие данные: название контроллера, лимит счета и чувствительность.

В данном случае с четырьмя переходами можно установить минимальный лимит срабатывания датчика на уровне три: это минимальное достаточное количество переходов для определения наличия объекта в ячейке (в случае отсутствия объекта будет два перехода: черный – белый – черный). Максимальное же количество переходов для определения одного объекта в ячейке – четыре. Чувствительность в данном случае характеризует в первую очередь градации цвета. Чем больше чувствительность, тем меньше градаций серого и тем большие требования предъявляются к освещению объекта.

Поле Expert (рис. 4.19, *б*) содержит следующие данные:

название контроллера;

вариант перехода (три варианта);

фильтр шума (определяет, что считать объектом, а что шумом).

Далее производится конфигурация выходов системы (рис. 4.20).

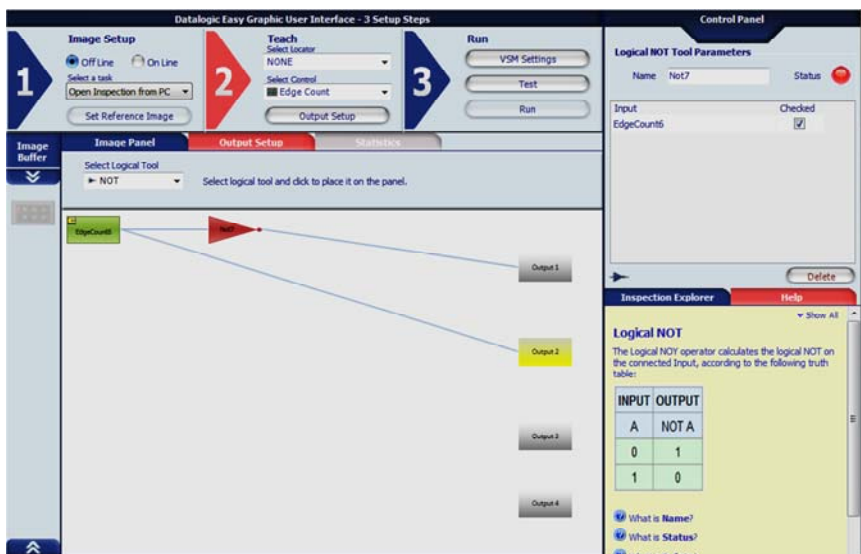


Рис. 4.20. Окно конфигурации выходов СТЗ

Для этого необходимо перейти в панель Output Setup в центральном окне программы. В распоряжении пользователя здесь имеются элементы булевой алгебры для реализации алгоритмов выходов (в правом нижем углу, в закладке Help, имеется таблица истинности для каждого из элементов). В нашем случае с определением батарейки в упаковке сконфигурируем два выхода: батарейка есть и батарейки нет. Для этого:

- 1) в меню Select Logical Tools выбираем элемент NOT;
- 2) после его появления в поле программирования нажимаем на значок элемента. В правом верхнем углу появится список элементов, с которыми он может быть соединен. В рассматриваемом примере только один элемент Edge Count, ставим напротив него галочку. В поле программирования это отобразится в виде линии соединения двух блоков;
- 3) нажмем в поле программирования на блок Output. В верхнем правом углу появится меню с четырьмя закладками (выход 1, выход 2, выход 3, выход 4). Каждая закладка содержит информацию о каждом выходе, а именно: список элементов, с которыми он может быть соединен. Также в этом меню можно указать продолжительность импульса и его задержку в миллисекундах;

4) ставим галочку в закладке Output 1 напротив элемента NOT, в закладке Output 2 – напротив элемента Edge Count.

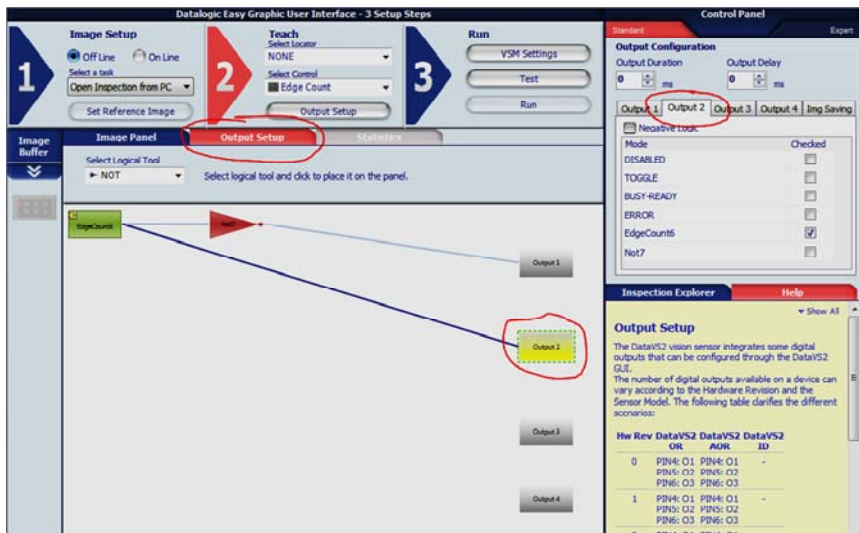


Рис. 4.21. Вид окна Output Setup при сработавшем выходе 2

В итоге получилась система с двумя выходными сигналами. Output 1 – батарейки нет, Output 2 – батарейка есть (рис. 4.21).

Шаг 3. Тестирование и запуск системы

Для начала тестирования и запуска системы нужно перейти в третье пошаговое меню.



Рис. 4.22. Меню третьего шага настройки СТЗ

Нажимаем на цифру 3 в пошаговой панели (рис. 4.22).

Для тестирования системы нажимаем кнопку Test.

В этом режиме в панели Control Panel (рис. 4.23) отобразятся состояния выходов и мастер-изображение. В данном случае активен выход 2 (батарейка есть). Для проверки активации выхода 1 (батарейки нет), можно вернуться в шаг 2. В окне программирования перетянуть поле Edge Count на соседнюю ячейку (где батареек нет, рис. 4.24) и повторить пункт 2.

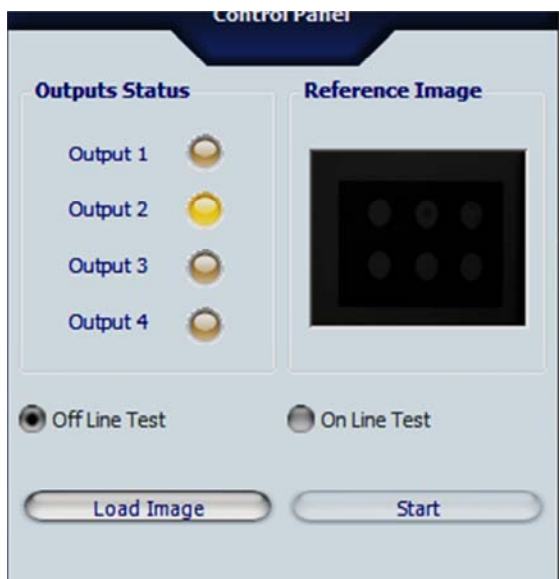


Рис. 4.23. Вид Control Panel в режиме Test

После того, как работоспособность системы проверена в режиме Test, нажимаем кнопку Run, – появится окно, изображенное на рис. 4.25.

Выделяем первый слот и сохраняем свою программу нажатием кнопки Save Inspection.

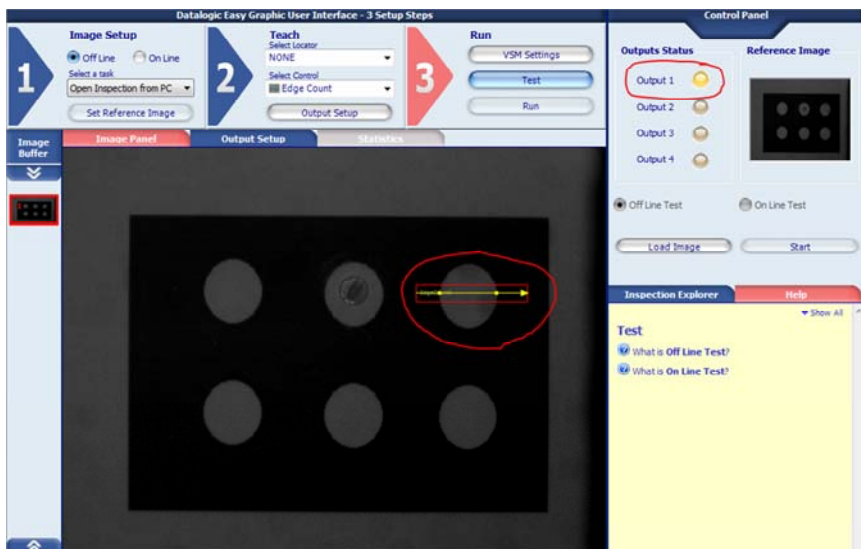


Рис. 4.24. Окно конфигурации выходов СТЗ с активным выходом 1

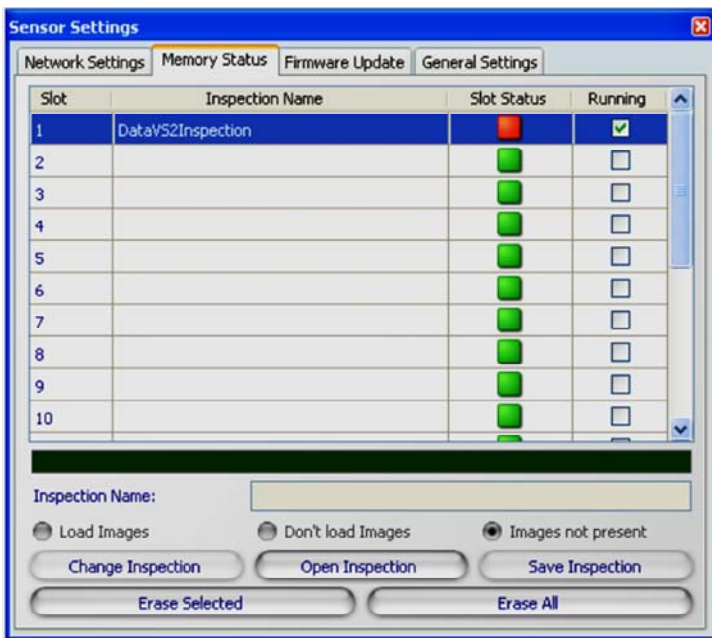


Рис. 4.25. Выбор слота памяти

Для самостоятельного изучения предлагается два задания.

1. Разработать программу для контроля формы упаковки и контроля количества таблеток, учитывая, что конвейер не позиционирует упаковки. Совпадение формы упаковки должно быть не меньше 99 %, контроль количества таблеток 100 %. При конфигурации выходов учесть, что есть два вида брака, которые сортируются по-разному.

2. Разработать программу для контроля уровня жидкости в бутылке и контроля плотности закрытия крышки. Произвести настройку камеры следующим образом:

а) выход 1 настроить на контроль крышки (если крышка не закручена до конца, выход *активен*);

б) выход 2 настроить на контроль уровня (при избыточном наполнении бутылки выход *активен*);

в) выход 3 настроить на контроль уровня (при недостаточном наполнении бутылки выход *активен*);

г) съемка производится при нарастающем фронте сигнала на триггере. Настройка представлена на рис. 4.26.

д) протестировать систему в ручном режиме, а затем запустить ее в автоматическом режиме. Частота съемки изменяется потенциометром Frequency на стенде контроллера.

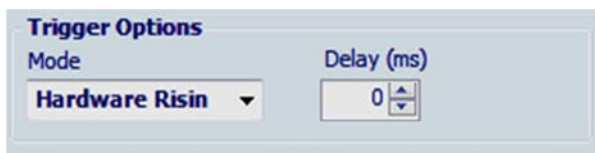


Рис. 4.26. Настройка триггера

При настройке триггера учитывать, что изменять условия срабатывания можно, только если камера не активна (то есть не ведет съемку).

Примеры использования некоторых контроллеров

Контроллер «Position»

В данном примере с помощью технического зрения контролируется процесс сборки фляжки для воды велосипедистов. Примечателен в процессе контроля контроль всех этапов сборки одним датчиком сис-

темы технического зрения и с помощью одного мастер-изображения. Последовательность сборки фляжки изображена на рис. 4.27.

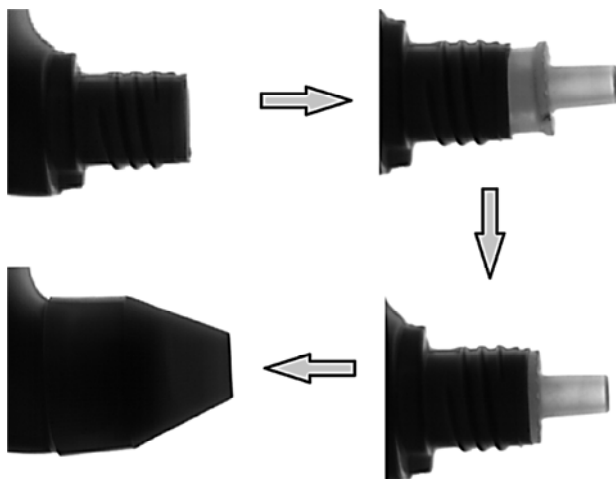


Рис. 4.27. Последовательность сборки

Важным этапом в программировании датчика для контроля сборки фляжки для воды является правильный выбор мастер-изображения.

Получение мастер-изображения

Для правильного выбора мастер-изображения нужна четкая постановка задачи. В данном случае необходимо контролировать правильное положение дозатора и колпачка. Следовательно, для этой задачи логично выбрать мастер-изображение, который на первой стадии контроля фиксирует первый параметр в цепочке последовательности сборки, потом второй.

В цепи последовательности сборки фляжки для воды первым контролируемым параметром является правильное положение дозатора – его и следует брать за мастер-изображение. Для выделения наиболее важных критериев изображения нужно правильно настроить параметры, характеризующие качество изображения. Для этого среда программирования имеет определенный набор инструментов, показанных на рис. 4.28.

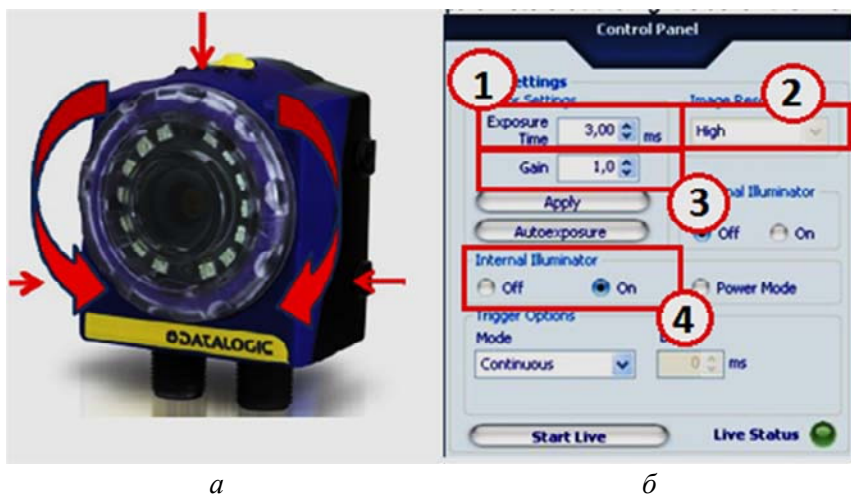


Рис. 4.28. Набор инструментов для получения мастер-изображения

Настройка изображения проводится в два этапа. Первый – это настройка четкости изображения с помощью фокусировочного кольца. Второй этап – настройка изображения программными средствами. Он включает четыре основных параметра:

- 1) время экспозиции (рис. 4.28, б-1);
- 2) разрешение изображения (рис. 4.28, б-2);
- 3) коэффициент усиления (рис. 4.28, б-3);
- 4) наличие подсветки (рис. 4.28, б-4).

Мастер-изображение получается нажатием кнопки «Set Reference Image» (рис. 4.28, а) на пошаговой панели «1» (рис. 4.18, б). Мастер-изображение для задачи, решаемой в данном примере, показан на рис. 4.29.



Рис. 4.29. Мастер-изображение

Обучение системы технического зрения

Обучение системы технического зрения осуществляется путем наложения контроллеров и настройки их свойств, изображенных на рис. 4.30.

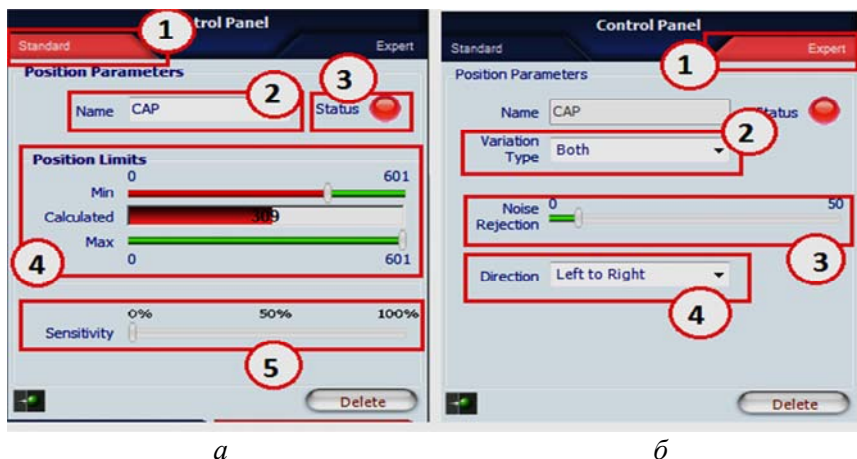


Рис. 4.30. Панель настройки свойств контроллеров

Панель настройки свойств контроллеров состоит из двух вкладок.

Первая закладка «Standart» (рис. 4.30, а-1) содержит общие сведения о контроллере, такие как имя контроллера и его статус (рис. 4.30, а-2 и а-3 соответственно). Имя контроллера вводится для удобства: для решения определенных задач может потребоваться много контроллеров, и если они не имеют имени, это может затруднить конфигурацию выходов. Также имя контроллера облегчает процесс составления сопроводительной документации к проекту.

Статус носит вспомогательный характер и служит удобным индикатором состояния контроллера при его наложении на мастер-изображение.

Вторая группа сведений о контроллере во вкладке «Standart» (рис. 4.30, а-4 и рис. 4.30, а-5) служит для непосредственной настройки контроллера. Инструмент 5 (рис. 4.30, а) является общим для всех контроллеров и характеризует чувствительность датчика к световым переходам на изображении. Инструмент 4 (рис. 4.30, а)

является индивидуальным для каждого типа контроллера и главной характеристикой срабатывания контроллера.

Вкладка «Expert» (рис. 4.30, б) также индивидуальна для каждого контроллера. В нем для удобства дублируются поля имени и состояния контроллера. Важными параметрами срабатывания контроллера являются поля 2, 3, 4 (рис. 4.30, б). В них уточняются условия срабатывания, настроенные во вкладке «Standart» (рис. 4.30, а поле 4,5).

В случае контроля качества сборки фляжки для воды будет использовано два контроллера «Position».

Этот тип контроллера характеризуется определением уровня (в случае с фляжкой расстоянием) от одного перепада яркостей (граница горлышка фляжки и дозатора) до второго (граница горлышка дозатора и фона). Контроллер сработает только при условии соответствия фактического уровня (расстояния) и уставки (рис. 4.30, а поле 4). Зная длину дозатора и его посадочный размер, можно высчитать значение уставки. При правильной посадке дозатора (дозатор на всю посадочную длину вошел в горлышко фляжки) датчик подает сигнал технологическому оборудованию о том, что операция завершена корректно, технологический цикл продолжается в рабочем режиме. В противном случае датчик подает сигнал о том, что операция завершена некорректно, технологический цикл работает в аварийном режиме (сбрасывает фляжку с конвейера и ожидает сигнала от следующей операции).

Для полноценного контроля процесса сборки фляжки еще нужно фиксировать правильное положение крышки для дальнейшей упаковки товара. Так как обе операции происходят на одном технологическом участке, логично фиксировать качество сборки одним датчиком. Проблема состоит в том, что датчик DataVS2 позволяет работать с одним мастер-изображением, тогда как на самом деле фактически приходится иметь дело с двумя контрольными изображениями (фляжка с дозатором и фляжка с крышкой). Эту задачу можно решить программно с помощью доступного пользователю буфера изображений, показанного на рис. 4.31.

Буфер изображений содержит пятнадцать последних изображений, сделанных датчиком. Как видно из рис. 4.31, изображение 1 соответствует мастер-изображению, а изображение 2 соответствует «недостающему» мастер-изображению.

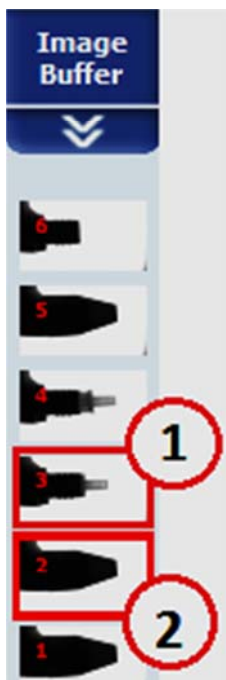


Рис. 4.31. Буфер изображений

Решение состоит в том, что при наложении на контрольное изображение контроллера «Position» в окне настроек контроллера (рис. 4.30, *a* поле 4) отобразится искомый уровень (расстояние) на мастер-изображении.

Однако при выборе изображения из буфера (рис. 4.30, изображение 2) поле 4 (рис. 4.30, *a*) будет отображать уровень (расстояние) для этого изображения. Полученное значение уровня нужно запомнить, вернуться к мастер-изображению и наложить на него второй контроллер, только в поле 4 (рис. 4.30, *a*) надо ввести данные, полученные на предыдущем этапе.

Также задачу можно решить аналитически, рассчитав значение уровня (зная высоту крышки и посадочную глубину) и затем экспериментально добиться требуемой точности. В лабораторной работе рассмотрен первый вариант.

Методика программирования СТЗ для контроля сборки фляжки

Выше рассматривалось создание мастер-изображения, поэтому в методике программирования будет рассмотрена работа с контроллерами «Position» и буфером изображений.

Для работы с контроллерами нужно перейти в меню 2 в пошаговой панели программирования (см. рис. 4.13). При наложении контроллера на изображение получим результат, показанный на рис. 4.32.

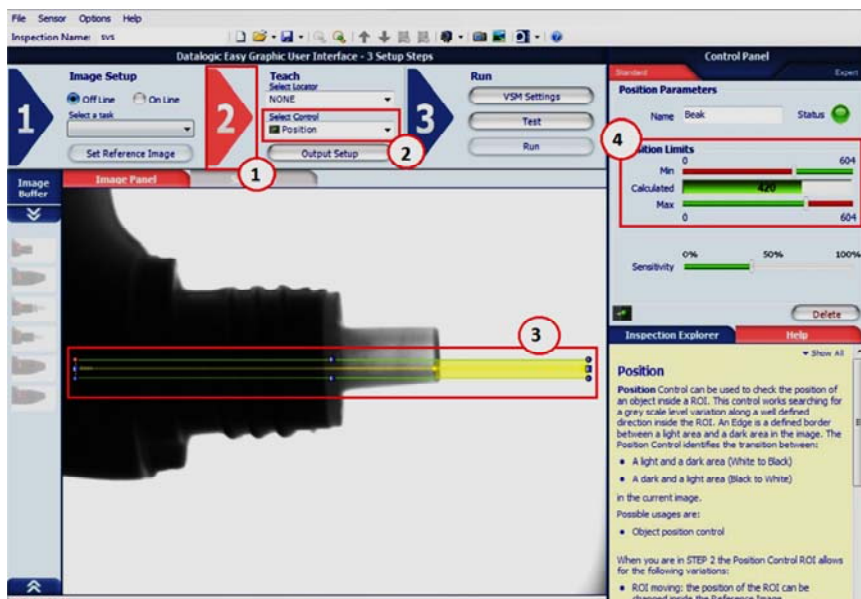


Рис. 4.32. Контроллер «Position»

На рис. 4.32 цифрами показана последовательность работы с контроллером. В настройках контроллера были изменены чувствительность и характеристики срабатывания. В данном случае чувствительность была настроена таким образом, чтобы контроллер обнаружил только один переход (край дозатора и фон). Характеристика срабатывания настроена таким образом, что уровень (расстояние) имело допустимый коридор значений. Это сделано для того,

чтобы точка перехода (точка расположенная между краем дозатора и фона) при каждом новом кадре могла сместиться на небольшую величину, в силу не зависящих от пользователя обстоятельств (например, позиция следующей фляжки будет отличаться от предыдущей позиции. Это приведет к тому, что свет на дозатор будет падать несколько по-другому и это повлияет на положение точки перехода).

Итак, помимо контроля положения дозатора, нужно контролировать положение колпачка. Для этого следует работать с буфером изображений (см. рис. 4.31). Перейдя обратно в меню 1 пошагового меню программирования (см. рис. 4.32), выбираем в буфере изображение с правильно надетым колпачком и делаем его мастер-изображением. Последовательность действий показана на рис. 4.33.

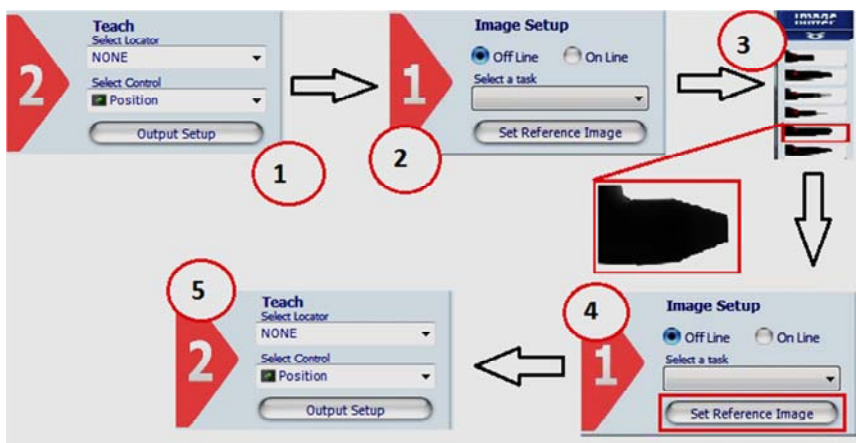


Рис. 4.33. Последовательность действий при создании второго мастер-изображения

После выполненных действий получится результат, показанный на рис. 4.34.

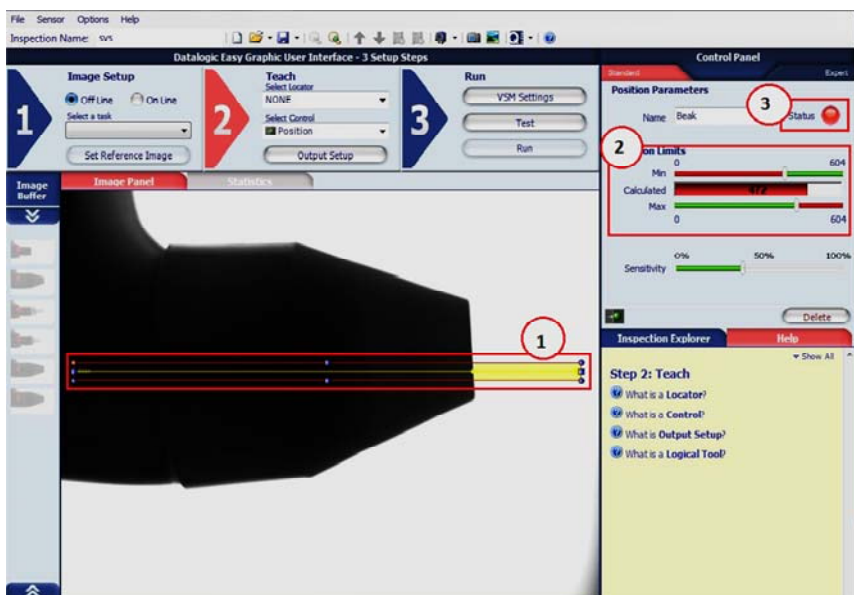


Рис. 4.34. Новое мастер-изображение

Следует обратить внимание на то, что контроллер, созданный на первом мастер-изображении, присутствует и на новом изображении (рис. 4.35, 1). Контроллер сохранил все свои настройки и местоположение. Статус контроллера в данный момент времени говорит о том, что он не активен (рис. 4.35, 3), поскольку настройки срабатывания настроены на уровень дозатора, а текущее показание контроллера показывает уровень колпачка.

В меню настроек контроллера (рис. 4.35, 2) видно, что максимальный уровень срабатывания меньше фактического уровня. Значение поля «Calculated» меню настройки контроллера отображает текущее значение уровня, которое можно использовать для настройки нового контроллера, отвечающего за правильное положение колпачка.

При настройке нового контроллера нужно предусмотреть коридор значений уровня (см. выше) и его местоположение. После настройки нового контроллера его статус должен быть активным и его положение должно полностью совпадать с положением первого контроллера, только сдвинутым по оси Y. Результат показан на рис. 4.35.

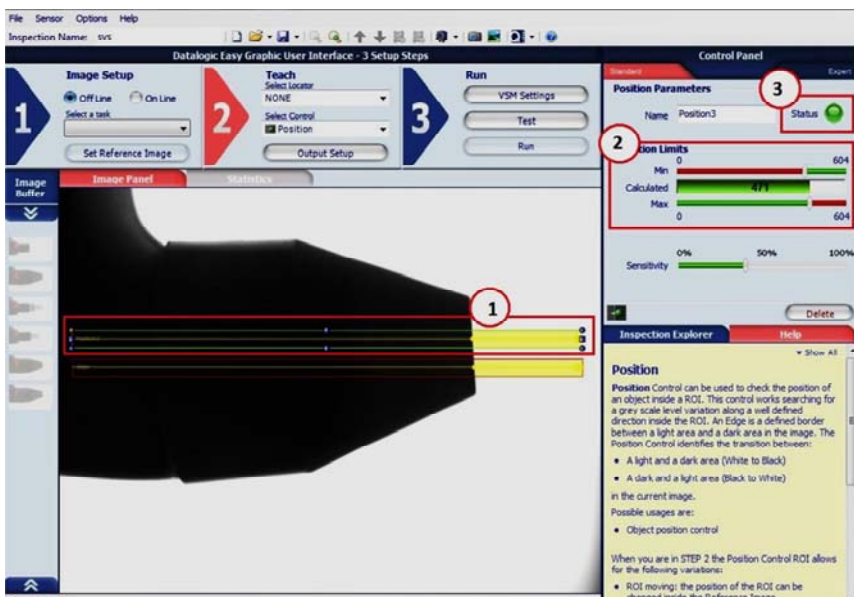


Рис. 4.35. Настройка контроллера, срабатывающего на правильное положение колпачка

На новом мастер-изображении есть два контроллера, однако один из них настроен на другом изображении. Таким образом, система будет реагировать не только на правильное положение колпачка, но и на правильное положение дозатора, которое фиксируется на предыдущем технологическом этапе.

Следующим этапом программирования является программирование выходов системы. Пошаговое выполнение конфигурации выходов представлено на рис. 4.36. Тестирование системы в этом примере опущено, так как мы рассматривали ее в предыдущем разделе.

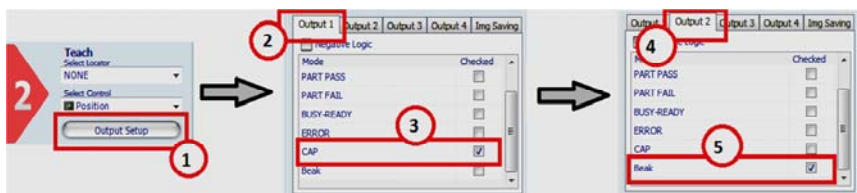


Рис. 4.36. Последовательность конфигурации выходов

Контроллер «Pattern Match»

Контроллер «Pattern Match» ищет объект в заданной области. Рассмотрим его более подробно на примере определения положения бутылки от шампуня на этапе упаковки.

Для производителя важно, чтобы упакованный товар был этикеткой наружу, в связи с этим необходимо следить за правильным положением бутылки на упаковочном конвейере.

Процесс получения мастер-изображения был рассмотрен выше, поэтому в этом подразделе эта операция будет опущена. Окончательный вариант мастер-изображения представлен на рис. 4.37.

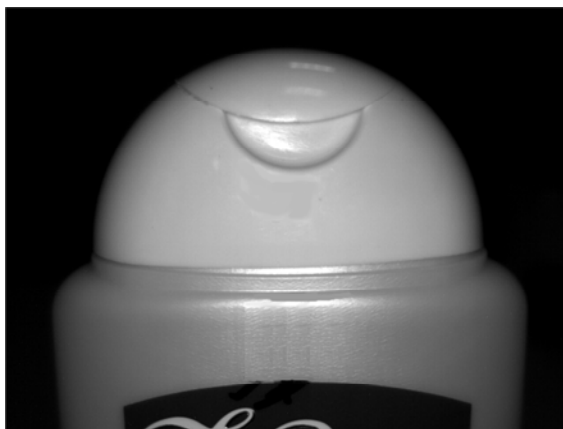


Рис. 4.37. Мастер-изображение

Особенность этого контроллера – в том, что он состоит из двух полей. Первое поле выделяет область изображения, в которой будет идти поиск нужного объекта. Второе поле выделяет непосредственно объект, который нужно контролировать.

При наложении контроллера на изображения поле выделения области не следует делать на весь кадр или слишком большим: это сказывается на быстродействии системы. Дело в том, что контроллер работает по принципу заполнения первого поля контроллера вторым и сравнивает результаты. Этот процесс довольно ресурсоемкий, поэтому не следует загружать систему, если в этом нет необходимости.

На рис. 4.38 и 4.39 показаны контроллер, принципы заполнения и сравнения соответственно.



Рис. 4.38. Контроллер «Pattern Match»

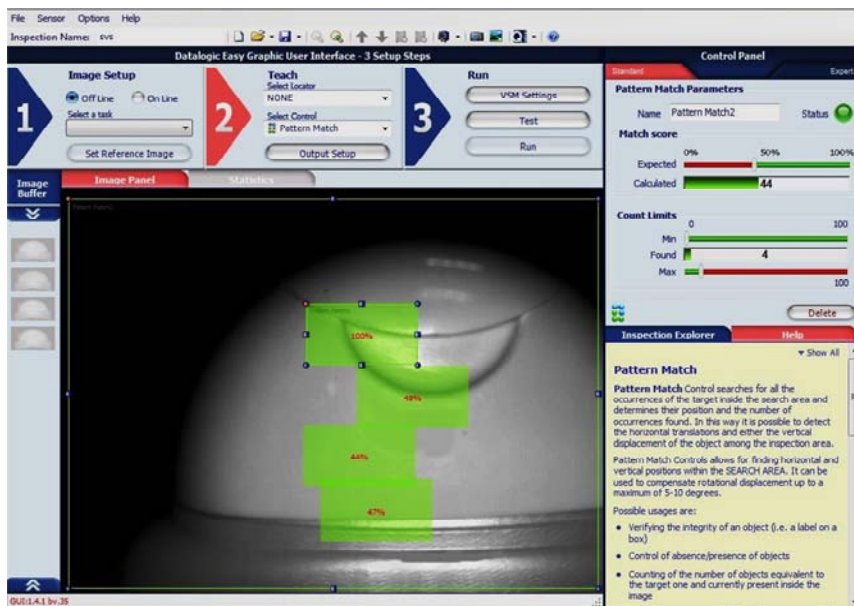


Рис. 4.39. Принцип заполнения и сравнения областей

Панель настройки контроллера также содержит две области настроек. Первая поле «Standard» содержит следующие элементы настройки:

- счет полей;
- процент совпадений;
- количество найденных полей и настройка необходимого количества полей для срабатывания контроллера.

Настройка счета полей имеет два инструмента настройки. Первый инструмент – это процент ожидаемого совпадения между выделенным полем и потенциально найденными полями. Второй инструмент показывает минимальное фактическое значение совпадения в процентах среди найденных полей.

Данные настройки представлены на рис. 4.40.



Рис. 4.40. Поле «Standard»

Поле «Expert» панели настройки содержит блок настройки соотношения «скорость – точность». Данная настройка представлена на рис. 4.41.



Рис. 4.41. Поле «Expert»

Для решения задачи по определению правильного положения бутылки настроим контроллер на определение одного поля. Вид запрограммированной системы представлен на рис. 4.42.

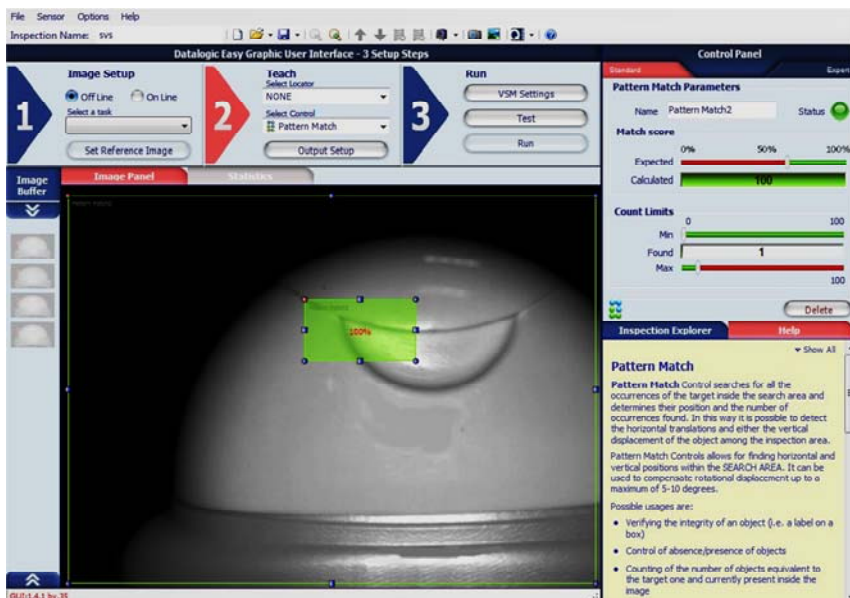


Рис. 4.42. Запрограммированная система для определения одного поля

Следующим этапом программирования является конфигурирование выходов системы и ее тестирование, что было рассмотрено выше, поэтому приведем лишь конечный результат тестирования системы, который показан на рис. 4.43.



Рис. 4.43. Тестирование системы СТЗ

Контроллер «Contour Match»

Контроллер предназначен для определения формы объекта.

Для примера рассмотрим задачу определения деформированной банки кофе на конвейере. Процессы получения мастер-изображения, конфигурирования выходов и тестирования системы не рассматриваются, поскольку они аналогичны предыдущему примеру. В этом подпункте приведена последовательность настройки контроллера.

Мастер-изображение для этой задачи показан на рис. 4.44.

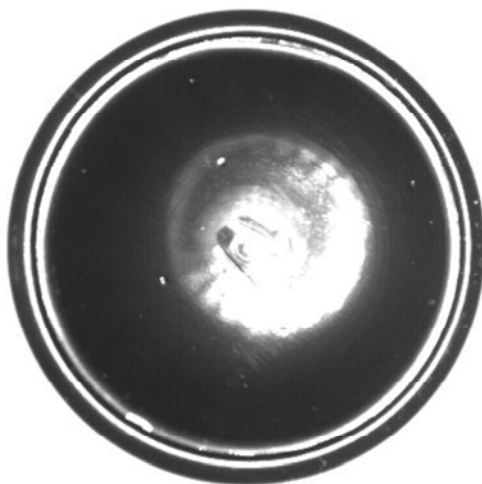


Рис. 4.44. Мастер-изображение

При наложении контроллера «Contour Match» на изображение среда разработки примет вид, представленный на рис. 4.45.

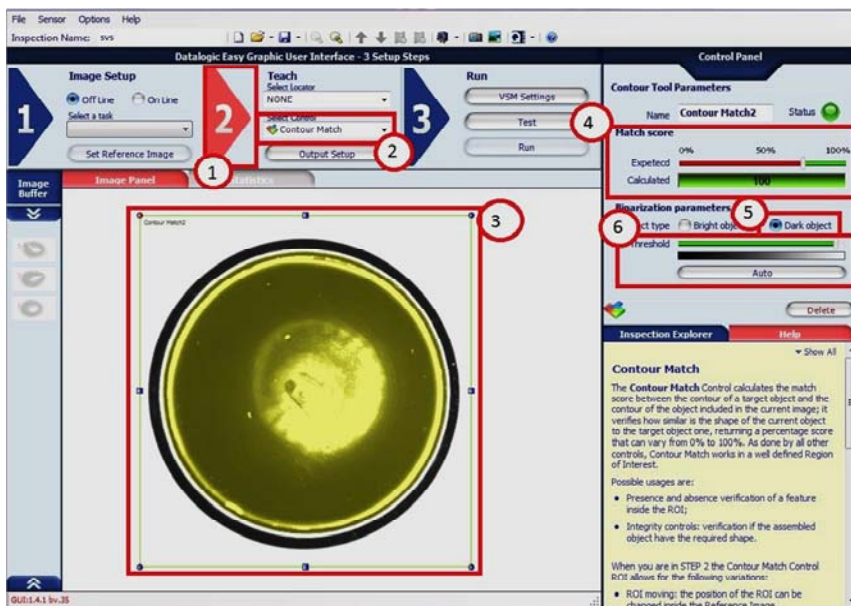


Рис. 4.45. Контроллер «Contour Match»

Контроллер имеет одну панель настройки и характеризуется следующим набором настроек:

1) процентное соотношение совпадения, определенного системой, области на мастер-изображении и областями, которые будут найдены в процессе работы датчика (рис. 4.45, 4);

2) определение области контроля по фону (рис. 4.45, 5). При выборе «dark» система будет искать темные области и интерпретировать их как форму. При выборе «bright» система будет искать светлые области;

3) для удобства пользователя разработчиками добавлены инструменты управления, с помощью которых пользователь может сам выбрать оттенок серого для определения областей. Есть также возможность настроить контроллер в автоматическом режиме (рис. 4.45, 6).

Результат работы контролера представлен на рис. 4.46.



Рис. 4.46. Результат настройки контроллера «Contour Match»

Контрольные вопросы

1. Каковы задачи, решаемые с помощью СТЗ?
2. Основные области применения СТЗ.
3. Основные компоненты СТЗ лабораторной работы и их функции.
4. Алгоритм функционирования СТЗ.
5. Назначение SCADA системы в лабораторном стенде.
6. Какая информация выводится SCADA системой в лабораторной работе?
7. Как предварительно настроить датчик Data VS2?
8. Контроллеры Data VS2 и способы их настройки.
9. Как настраивать качество изображения?
10. Назначение контроллеров и локаторов.
11. Порядок получения мастер-изображения.
12. Порядок настройки системы в примере контроля батареек в упаковке.
13. Порядок настройки системы в примере контроля наполнения бутылки.
14. Пояснить пример настройки системы контроля процесса сборки фляжки для воды.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Основные теоретические данные.
3. Алгоритм работы разработанной Вами программы.
4. Скриншот мастер-изображения.
5. Скриншоты окна программирования после настройки всех контроллеров, скриншоты Control Panel всех контроллеров.
6. Скриншот окна конфигурации выходов.
7. Выводы.

Лабораторная работа № 5

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Цели работы

1. Изучить принцип действия и характеристики тензорезистивных преобразователей.
2. Ознакомиться с принципом действия, схемой и работой автоматизированных электронных весов.
3. Провести измерения параметров весоизмерительной системы в соответствии с приведенными методическими указаниями.

Теоретические сведения

Весоизмерительная система построена на базе тензорезистивных преобразователей, в основе которых лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении их активного сопротивления при механической деформации.

Характеристикой тензоэффекта материала является коэффициент относительной тензочувствительности k , определяемый как отношение изменения сопротивления к изменению длины проводника:

$$k = E_R / E_l, \quad (5.1)$$

где $E_R = \Delta R / R$ – относительное изменение сопротивления проводника;

$E_l = \Delta l / l$ – относительное изменение длины проводника.

Для жидких материалов, практически не меняющих своего объема в процессе деформации (ртути, электролитов), коэффициент тензочувствительности $k = 2$. Это становится понятным, если вспомнить, что сопротивление проводника при постоянном объеме зависит от квадрата его длины. Откуда

$$\begin{aligned} R &= \rho l / S = \rho l^2 / V; \\ \Delta R &= (\rho / V) 2l \Delta l; \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$k = E_R / E_l = (\Delta R / R) / (\Delta l / l) = 2,$$

где S – площадь поперечного сечения проводника;

V – объем проводника;

ρ – удельное сопротивление материала проводника.

При деформации твердых тел изменение их длины связано с изменением объема, причем величина изменения объема в зоне упругих деформаций для каждого материала постоянна и характеризуется коэффициентом Пуассона

$$\mu = -E_b/E_l, \quad (5.3)$$

где $E_b = \Delta b/b$ – относительная величина поперечной деформации;

b – поперечный размер проводника квадратного сечения (или радиус для круглого).

В этом случае $\Delta R = \rho \Delta l/S = -\rho l \Delta S/S^2$ и $\Delta R/R = \Delta l/l - \Delta S/S = = \Delta l/l - 2\Delta b/b$.

Учитывая, что $\Delta b/b = -\mu \Delta l/l$, получаем $\Delta R/R = (1 + 2\mu) \Delta l/l$, а коэффициент тензочувствительности

$$k = E_R/E_l = (1 + 2\mu). \quad (5.4)$$

Коэффициент Пуассона для металлов имеет значения 0,24–0,4.

Следовательно, значение коэффициента тензочувствительности k для большинства металлов не должно выходить за пределы 1,48–1,8. Однако значения k для различных материалов, которые определены экспериментально, выходят за указанные пределы как в ту, так и другую сторону. Это свидетельствует о том, что при деформации проводника, помимо изменения его геометрических размеров, изменяются и его свойства (в частности, величина его удельного сопротивления ρ). Поэтому значение коэффициента тензочувствительности в общем случае должно быть выражено как $k = (1 + 2\mu) + m$. Здесь величина $(1 + 2\mu)$ характеризует изменение сопротивления, связанное с изменением геометрических размеров (длины и сечения) проводника, а $m = (\Delta \rho/\rho)/(\Delta l/l)$ – изменение удельного сопротивления материала, связанное с изменением его физических свойств.

Материалы тензосопротивлений

Основным требованием к материалу тензосопротивлений является возможно большее значение коэффициента относительной тензочувствительности k .

Это объясняется тем, что относительное изменение сопротивления E_R у большинства тензосопротивлений весьма мало и, как правило, в пределах упругих деформаций не превышает $(5-7) 10^{-3}$. При подобных обстоятельствах нагрев преобразователя может вызвать изменение его сопротивления, соизмеримое с рабочим изменением. Поэтому не менее важное требование к материалу тензопреобразователя – возможно меньшая величина температурного коэффициента сопротивления материала, то есть стабильность параметров.

Конструкции тензорезисторов

В технике измерения неэлектрических величин тензорезисторы используются по двум направлениям.

Первое направление – использование тензоэффекта проводника, находящегося в состоянии объемного сжатия, когда естественной входной величиной преобразователя является давление окружающего его газа или жидкости. На этом принципе строятся манометры для измерения высоких и сверхвысоких давлений, преобразователи которых представляют собой катушку провода (обычно манганинового) или полупроводниковый элемент (чаще всего германиевый или кремниевый), помещенные в область измеряемого давления (жидкости или газа).

Выходная величина преобразователя – это изменение его активного сопротивления.

Второе направление – использование тензоэффекта растягиваемого или сжимаемого тензочувствительного материала. При этом тензорезисторы применяются в виде свободных преобразователей и в виде наклеиваемых преобразователей.

Фольговые тензорезисторы

Наличие поперечной чувствительности, малая величина допустимого тока, ограничивающая чувствительность измерительной

схемы, трудности, связанные с изготовлением тензочувствительных решеток сложной конфигурации, и ряд других недостатков проводочных тензорезисторов послужили причиной создания так называемых *фольговых* тензорезисторов.

У фольгового тензорезистора чувствительная решетка изготовлена из очень тонкой (толщиной 2–10 мкм) константовой фольги. Технология изготовления таких тензорезисторов заключается в том, что на одну сторону фольги наносят слой светочувствительной эмульсии, на которой контактным методом печатают изображение решетки, предварительно заснятой на негативе с рисунка больших размеров. Скрытое изображение решетки проявляют, окрашивают и придают ему стойкость к травильной кислоте обработкой в дубящем растворе.

После этого на обратную сторону фольги наносят тонкий слой электроизоляционного лака с последующей полимеризацией его при повышенной температуре. Подготовленную таким образом фольгу погружают в травильную кислоту, с помощью которой часть металла, не покрытая кислотоупорной краской, удаляется. Это позволяет, с одной стороны, сравнительно простыми средствами создавать тензорезисторы с любой конфигурацией чувствительной решетки (рис. 5.1), а с другой, применяя типографские методы, автоматизировать процесс их производства.

Рассмотрим основные преимущества фольговых тензорезисторов.

1. Прямоугольная форма сечения нитей чувствительной решетки при малой толщине позволяет:

увеличить площадь сцепления с поверхностью исследуемой детали, что делает более прочным соединение тензорезистора с деталью, улучшает передачу деформации к чувствительной решетке, повышает стабильность и надежность производимых измерений;

улучшить теплоотдачу, что позволяет несколько расширить диапазон рабочих температур, а также значительно увеличить питающий мостовую схему ток и тем самым повысить ее чувствительность (последнее обстоятельство позволяет в ряде случаев производить измерения без применения усилителя);

применять в качестве основы тонкий слой лака с хорошими механическими, диэлектрическими и адгезионными свойствами, что также улучшает восприимчивость деформации от детали и обеспечивает более надежную электроизоляцию тензорезистора от массы

детали. Тонкая решетка на основе из эластичного лака делает тензорезисторы достаточно гибкими для того, чтобы их можно было наклеивать на детали с самой различной конфигурацией.

2. Наличие широких перемычек, соединяющих прямоугольные элементы решетки, делает тензорезисторы практически нечувствительными к поперечным деформациям. Благодаря этому фольговые тензорезисторы с различной базой имеют одинаковую чувствительность.

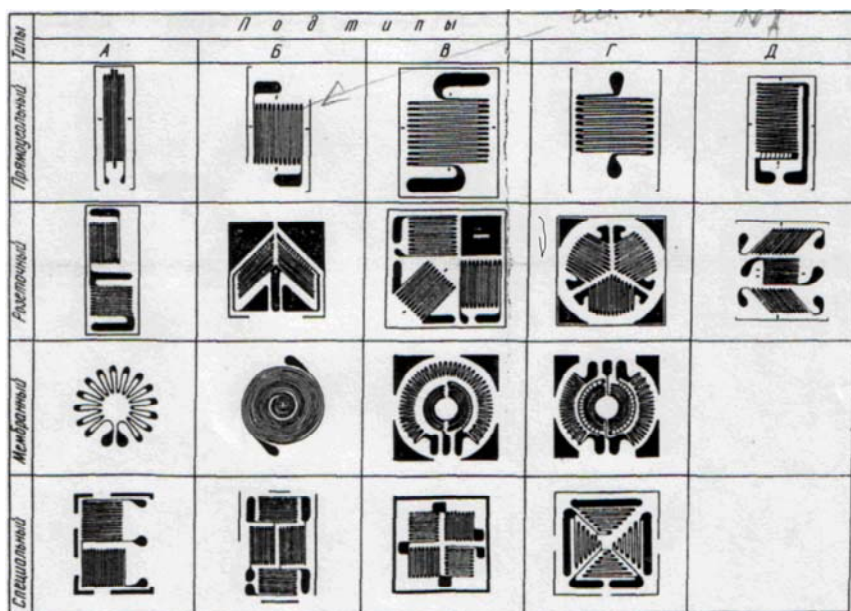


Рис. 5.1. Конструкция решеток фольговых тензорезисторов

Измерительные цепи тензорезисторов

Из всех методов измерения сопротивлений наиболее точен *мостовой метод*. Простейший тензомост имеет одно рабочее плечо, состоящее из одного тензорезистора.

Наиболее распространена схема, основанная на использовании четырехплечего измерительного моста, называемого мостом Уитстона (Витстона). Он представляет собой сочетание замкнутого

контура, составленного из четырех последовательно соединенных элементов, обладающих электрическим сопротивлением, источника питания и измерителя.

Измерительный мост принято изображать в виде ромба (рис. 5.2), стороны которого называют плечами, а точки соединения плеч – вершинами или узлами моста. В одну из диагоналей моста, например между вершинами *A* и *Б*, включают источник постоянного или переменного тока и называют ее диагональю питания или входом моста; в другую диагональ (между вершинами *B* и *Г*) включают измеритель и называют ее измерительной диагональю или выходом моста.

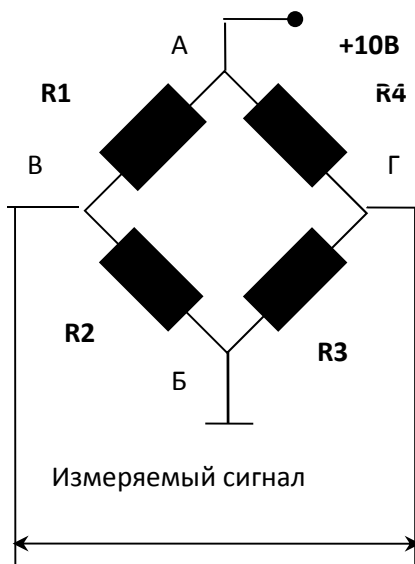


Рис. 5.2. Тензомост

В зависимости от тока, которым питается мост, различают мосты постоянного и переменного тока. Каждое плечо моста может состоять из одного или нескольких сопротивлений, соединенных между собой последовательно, параллельно или смешанно. Плечи моста переменного тока могут состоять как из активных, так и реактивных сопротивлений (емкостей или индуктивностей) или представлять собой комплексные элементы, обладающие одновременно активным и реактивным сопротивлениями.

Для измерения электрических сопротивлений используют очень важное свойство моста: при определенном соотношении сопротивлений плеч (когда $R_1 R_3 = R_2 R_4$) напряжение на его выходе между вершинами B и Γ становится равным нулю, несмотря на наличие напряжения на входе. Состояние электрического равновесия очень легко нарушается при незначительном изменении указанного соотношения.

О величине относительного изменения сопротивления в активном плече моста, характеризующей степень разбаланса схемы, судят по величине тока. Необходимые расчетные соотношения для определения величины тока разбаланса i_p можно вывести на основании законов Кирхгофа.

Электроизмерительный мост может находиться в одном из двух состояний – равновесном или неравновесном. Если разность потенциалов на выходе моста равна нулю (ток в измерительной диагонали отсутствует), то такой мост называют уравновешенным (или сбалансированным). В том случае, когда разность потенциалов на выходе моста не равна нулю и через измерительную цепь проходит ток, мост называют неуравновешенным (или несбалансированным).

Схема должна быть спроектирована и рассчитана таким образом, чтобы обеспечить наибольшую чувствительность моста при достаточной линейности и стабильности характеристики преобразования. Для этого необходимо выполнить три главных условия:

- 1) подобрать определенное соотношение сопротивлений плеч;
- 2) согласовать сопротивление выхода моста с сопротивлением измерителя;

- 3) правильно выбрать величину питающего мост напряжения.

Выполнение этих условий связано с выбором типа моста.

По виду симметрии плеч различают:

- а) мосты несимметричные, когда $R_1 \neq R_2 \neq R_3 \neq R_4$ (плечи имеют разные сопротивления);

- б) мосты, симметричные относительно измерительной диагонали (I вид симметрии), когда $R_1 = R_3 = R$ и $R_2 = R_4 = R_n$ (рис. 5.3, а);

- в) мосты, симметричные относительно питающей диагонали (II вид симметрии), когда $R_1 = R_2 = R$ и $R_3 = R_4 = R_m$ (рис. 5.3, б);

- г) мосты с взаимной симметрией (равноплечие мосты, III вид симметрии), когда $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ (рис. 5.3, в).

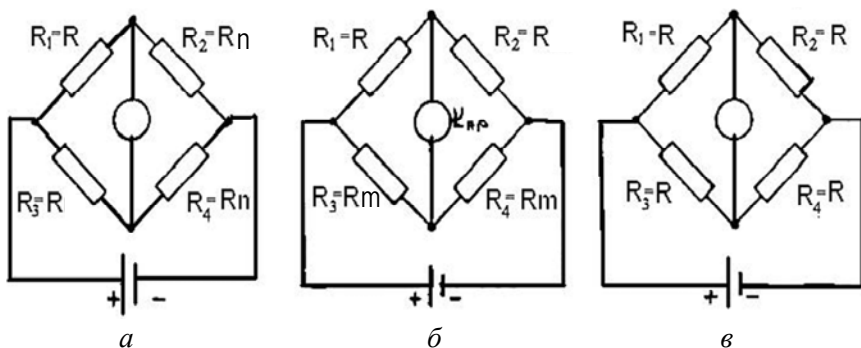


Рис. 5.3. Виды мостовых схем:
а – симметрия 1-го вида; *б* – симметрия второго вида;
в – взаимная симметрия

В электротензометрии используют только симметричные мосты.

Если в качестве измерителя используется прибор, чувствительный к току, то наилучшее согласование достигается при равенстве внутреннего сопротивления прибора выходному сопротивлению моста ($R_{\text{пр}} = R_{\text{вых}}$). Выходное сопротивление моста зависит от сопротивления плеч и внутреннего сопротивления источника питания.

Чтобы иметь представление о величинах токов и напряжений, которые можно получить на выходе тензомоста, обратимся к конкретным примерам.

Относительные деформации, измеряемые с помощью тензорезисторов, лежат обычно в диапазоне $10 - 10\,000$ мкм/м ($10^{-5} \div 10^{-2}$ относительных единиц или $0,001 - 1\%$).

Если для измерения таких деформаций применить равноплечий мост с оптимальными параметрами, используя для него тензорезисторы различных типов, то, сравнивая самый неблагоприятный случай с наиболее благоприятным, получим следующие результаты.

При одном активном плече из тензорезистора МПТ-200 с допустимым рабочим током 4 мА при относительной деформации 10 мкм/м ток на выходе тензомоста составит примерно $0,4\text{ мкА}$. На высокоомную нагрузку (например, усилитель) этот тензомост выдаст напряжение $0,07\text{ мВ}$.

Описание схемы установки

Структурная схема установки включает в себя четыре основных узла (рис. 5.4): тензомост, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), микроконтроллер, устройство индикации.



Рис. 5.4. Структурная схема установки

Тензомост

Тензомост весоизмерительной системы имеет четыре плеча.

Тензорезисторы R_1 и R_3 воспринимают деформацию на растяжение, R_2 и R_4 воспринимают деформацию на сжатие (рис. 5.5).

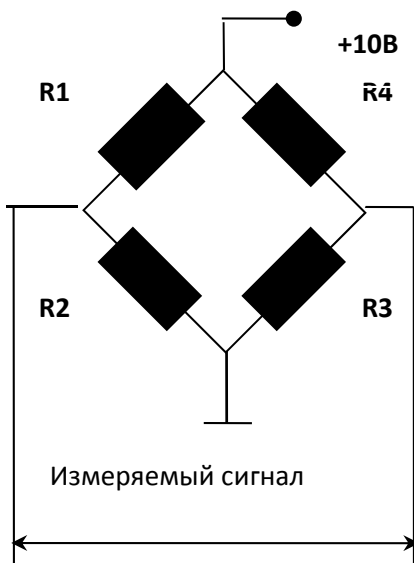


Рис. 5.5. Тензомост

АЦП

АЦП – это модуль, где происходит преобразование аналоговой величины в дискретную (цифровую). Его работа основана на промежуточном преобразовании аналоговой величины во временной интервал, длительность которого определяется путем заполнения его импульсами опорной частоты и подсчета этих импульсов счетчиком, который находится в блоке управления.

Аналого-цифровой преобразователь представляет собой схему, собранную на базе коммутатора КР561КП1, усилителей К140УД17А и КР140УД20А и компаратора КР140УД20А.

Блок-схема АЦП приведена на рис. 5.6.

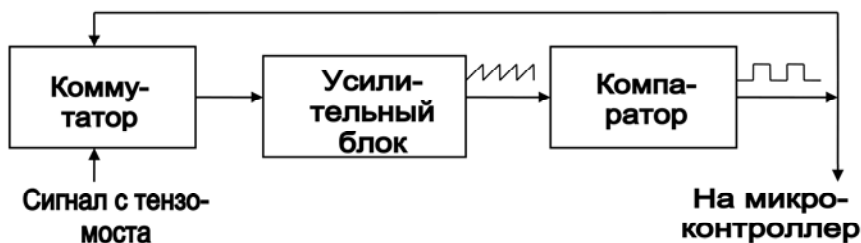


Рис. 5.6. Блок-схема АЦП

Принципиальная схема АЦП изображена на рис. 5.7.

Измеряемый сигнал $U_{\text{изм}}$, снимаемый с мостовой схемы, поступает на коммутатор $D4$, выполненный на базе интегральной микросхемы КР61КП1, который переключается под действием управляющего сигнала, поступающего с выхода компаратора.

Выходной сигнал коммутатора изменяется в пределах 7–8 мВ при изменении нагрузки на 15 кг. Так как выходной сигнал коммутатора является очень слабым, этот сигнал усиливается, проходя через два усилителя $D5$ и $D7$, собранных на базе интегральных микросхем КР140УД17А и КР140УД20А. Коэффициент усиления регулируется настроечным резистором R41.

Усиленный сигнал поступает на компаратор $D8$, собранный на базе интегральной микросхемы КР140УД20А, где сравниваются измеряемое напряжение и опорное (в данном случае напряжение питания равное +10 В).

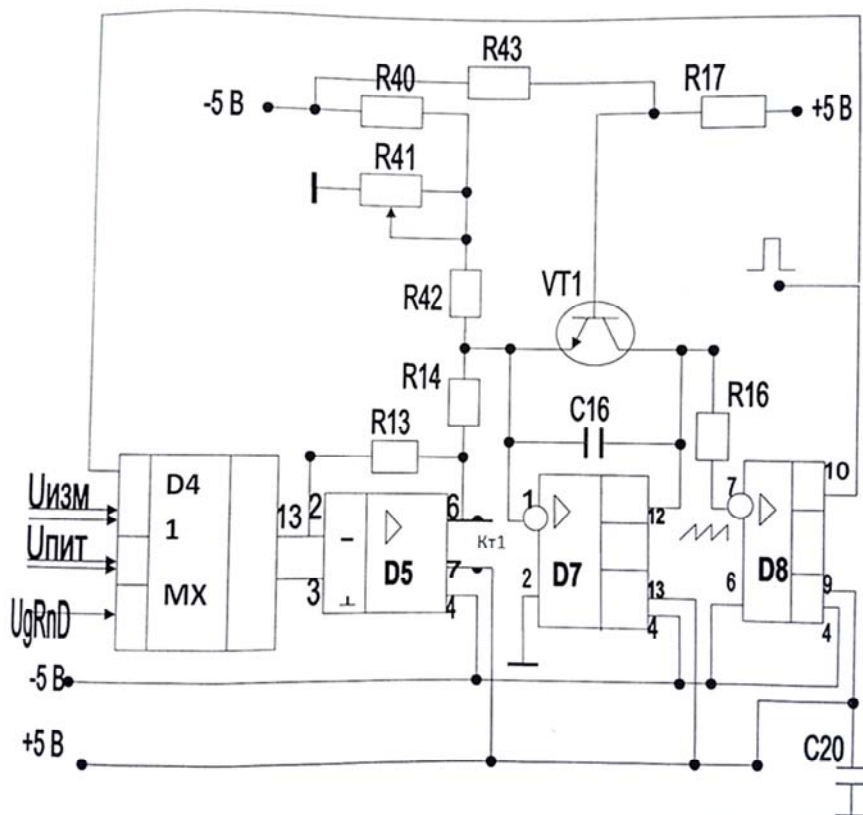


Рис. 5.7. Принципиальная схема АЦП

На выходе усилителя $D7$ вырабатывается пилообразное напряжение. Заряд конденсатора $C16$ будет продолжаться до тех пор, пока напряжение на обкладке конденсатора не откроет транзистор $VT1$. Далее происходит разряд конденсатора. Формирование следующего импульса происходит аналогично. Самый большой интервал времени при $U = 0$ длительностью порядка 55 мс при $U_{\max} = 10$ В равен 0.

Схема получения пилообразного сигнала изображена на рис. 5.8.

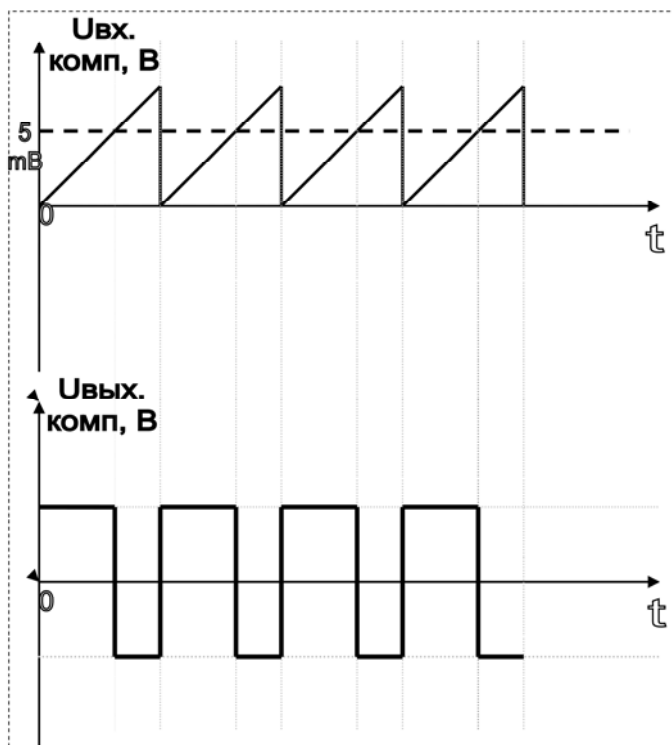


Рис. 5.8. Схема получения пилообразного сигнала

Микроконтроллер

Микроконтроллер в установке является блоком управления. Микроконтроллеры представляют собой управляющую специализированную микро-ЭВМ, которая по сравнению с обычной микро-ЭВМ имеет следующие отличительные признаки.

1. Микроконтроллеры выполняют преимущественно логические операции. Арифметические операции отсутствуют, из их числа выполняется только счет импульсов. Логические операции направлены, как правило, на осуществление логических связей между состояниями входных элементов (кнопок управления, путевых выключателей и т. п.) с выходными элементами схемы (силовыми контактами, электромагнитами и т. п.).

2. Программирование осуществляется на языке символического кодирования по принципиальной схеме или по логическим выражениям.

3. Микроконтроллеры допускают возможность использования непосредственно благодаря большой помехозащищенности, развязке с внешними устройствами при помощи оптронов и других устройств.

Кроме основных логических функций, микроконтроллеры выполняют дополнительные функции, недоступные традиционным релейным схемам электроавтоматики: например, автоматический поиск и обнаружение неисправностей, статистический анализ работы оборудования. К контроллеру может быть подключен дисплей или устройство индикации. В ряде случаев он может работать совместно с управляющей ЭВМ, что обеспечивает создание комплексных систем автоматизации.

На рис. 5.9 показана блок-схема типичного микроконтроллера, ядром которого является центральный процессор, состоящий из АЛУ, счетчика команд, регистра оперативной памяти и нескольких регистров общего назначения.

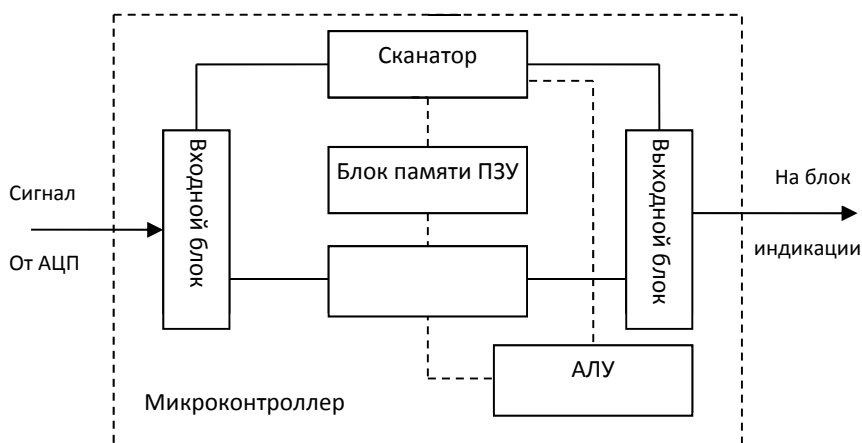


Рис. 5.9. Блок-схема микроконтроллера

АЛУ процессора выполняет необходимые логические операции, а также операции сдвига счета и передачи информации. Особенность процессора – побитовая обработка информации.

Блок памяти представляет собой ПЗУ – постоянное запоминающее устройство.

Записанная в ПЗУ программа определяет алгоритмы обработки входной информации и последовательность съема сигналов с выходных устройств.

Сканатор – сканирующее устройство, которое поочередно подключает к центральному процессору разряды входного регистра, где по программе, записанной в ПЗУ, над ними производятся логические операции, в результате которых в выходных регистрах формируются выходные команды.

Таким образом, состояния выходов формируются из состояний входов по программе, которая предварительно заносится в блок памяти микроконтроллера.

Сопряжение микроконтроллера с АЦП

АЦП делятся на параллельные и последовательные.

Параллельные АЦП после преобразования аналоговой величины в дискретную передают все биты результата одновременно, каждый по своей индивидуальной линии. То есть если АЦП 12-разрядный, то микроконтроллер должен быть связан как минимум восемью проводниками (но в реальности их оказывается на два-три больше).

Последовательные АЦП связаны с микроконтроллерами всего тремя-четырьмя проводниками, независимо от их разрядности. Биты результата оцифровки они передают последовательно по одному проводнику, один за другим. Управление передачей микроконтроллер осуществляет по второму проводнику. Третий проводник, как правило, дает АЦП команду на начало преобразования. Последовательные АЦП работают медленнее параллельных, но достигнутые ими предельные скорости преобразования и передачи информации достаточно высоки (многим 12- и 14-разрядным АЦП требуется менее 10 мкс на весь цикл преобразования – передачи данных).

АЦП могут содержать некоторые регистры (ячейки памяти разрядностью от 4 до 24 бит), в которые микроконтроллер предварительно должен занести информацию. При работе с такими микросхемами микроконтроллер не только читает информацию, но и записывает ее в АЦП при помощи соответствующих сигналов.

В исследованной установке АЦП последовательно сопряжено с микроконтроллером.

Схема сопряжения АЦП с микроконтроллером изображена на рис. 5.10.

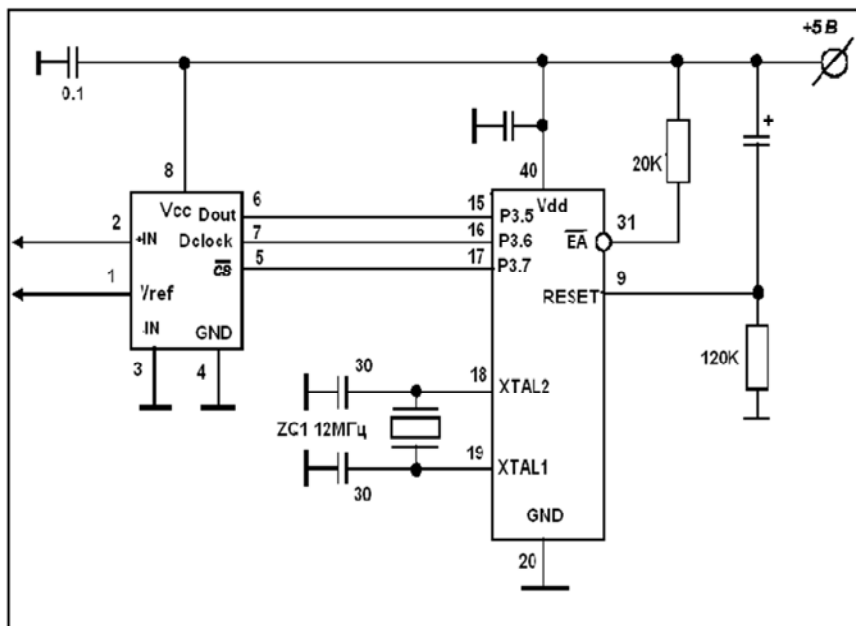


Рис. 5.10. Схема сопряжения АЦП с микроконтроллером:
+IN, –IN – аналоговые входы микросхемы; Vcc и GND – соответственно питание и «земля»; 5, 6, 7 – выводы для обмена с микроконтроллером

Сигнал старта микроконтроллер подает на вход CS, по входу Dclock он тактирует АЦП, а с входа Dout принимает результат преобразования (бит за битом).

Временные диаграммы сигналов на ножках CS, Dclock, Dout изображены на рис. 5.11.

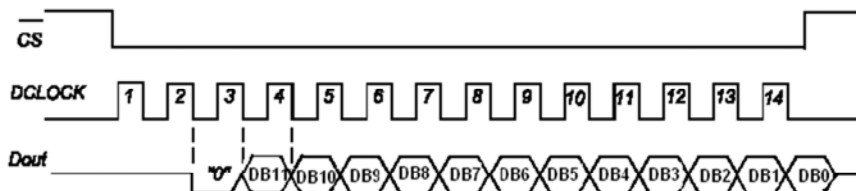


Рис. 5.11. Временная диаграмма сигналов на ножках CS, Dclock, Dout

Микроконтроллер при включении должен установить на выходах **CS** и **Dout** единичные уровни сигналов, а на выводе **Dclock** – нулевой уровень сигнала. Запуск преобразования осуществляется установкой нулевого уровня на ножке **CS**. После этого микроконтроллер должен сформировать на **Dclock** три положительных импульса. По спаду последнего из них на выходе **Dout** появится старший бит результата преобразования (**DB11**). Считав его, микроконтроллер формирует на выходе **Dclock** следующий положительный импульс. По спаду его на выходе **Dout** появится следующий бит результата преобразования (**DB10**). Считав и его, микроконтроллер формирует на **Dclock** следующий положительный импульс, по спаду которого на выходе **Dout** появляется следующий результата преобразования бит (**DB9**), и так далее, вплоть до (**DB0**). Считав последний бит, микроконтроллер останавливает **Dclock** (на нем устанавливается нулевой уровень), а **CS** устанавливает в единицу.

Сопряжение микроконтроллера с устройством индикации

Для индикации результатов измерения деформации использована схема сопряжения МК с индикатором АЛС318 (рис. 5.12). Она включает в себя два дешифратора DD3 (КР514ИД1) и DD4 (К555ИД7) и половинку микросхемы с открытым коллектором DD2 (КР155ЛЛ2). Последняя из них управляет десятичной запятой.

Для работы с индикатором используется порт P1. Четыре его младшие линии (P1.0 – P1.3) выводят на дешифратор DD3 код отображаемой цифры: 0000В – 0; 0001В – 1; входами индикатора соответствующими анодами сегментов.

Катоды сегментов каждого разряда объединены внутри индикатора и управляются выходами второго дешифратора DD4. На информационные входы последнего поступают сигналы с трех старших линий порта P1 – P1.5, P1.6 и P1.7. Они позволяют управлять индикатором, имеющим до восьми индицируемых разрядов.

Оставшаяся линия (P1.4) используется для управления десятичной запятой – разрядом h индикатора. Установка этой линии в 1 зажигает запятую в том разряде, катодный вывод которого установлен в 0 соответствующим выходом дешифратора DD4.

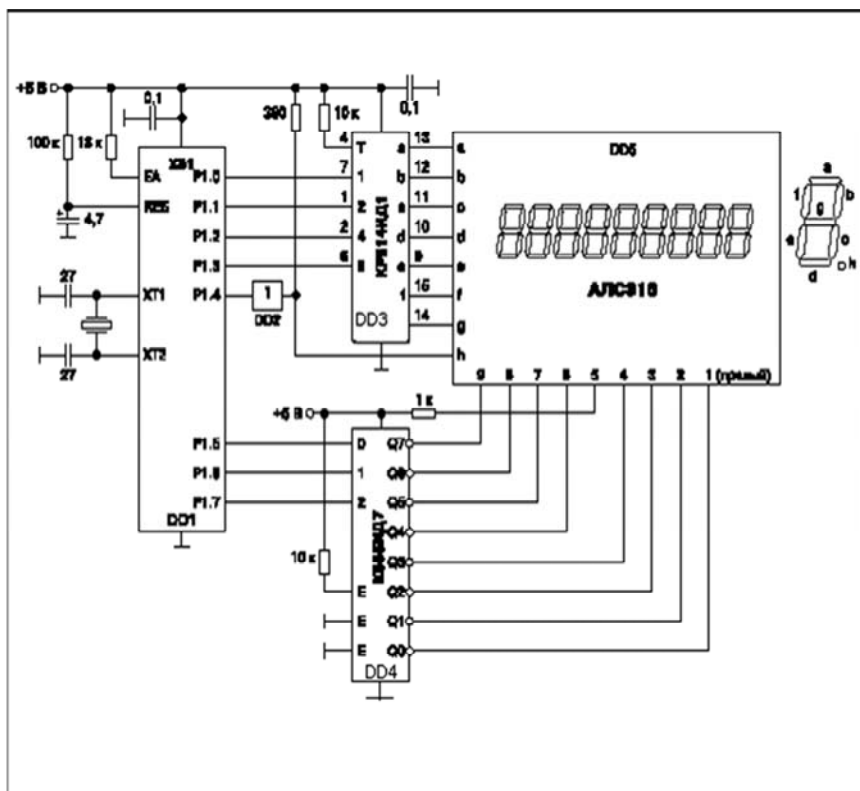


Рис. 5.12. Схема сопряжения микроконтроллера с индикатором АЛС318

Конструкция и схема лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 5.13) состоит из: корпуса 1, блока питания 2, который запитывает микросхему 5 (изображенную на рис. 5.14), микроконтроллер (не изображенный на рисунке) и пульт управления, если он присоединен к весоизмерительному устройству.

На платформе 3 наклеены тензодатчики 4, от них идет сигнал на схему 5.

Из точек КТ1 и КТ2 сделаны выводы на переднюю панель для снятия исследуемого прямоугольного сигнала (рис. 5.14).

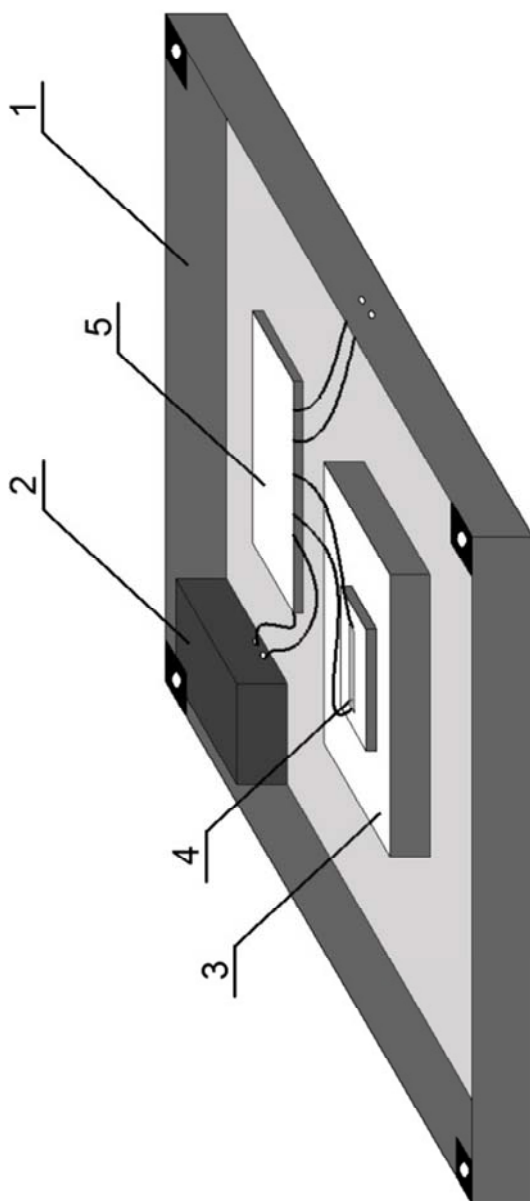
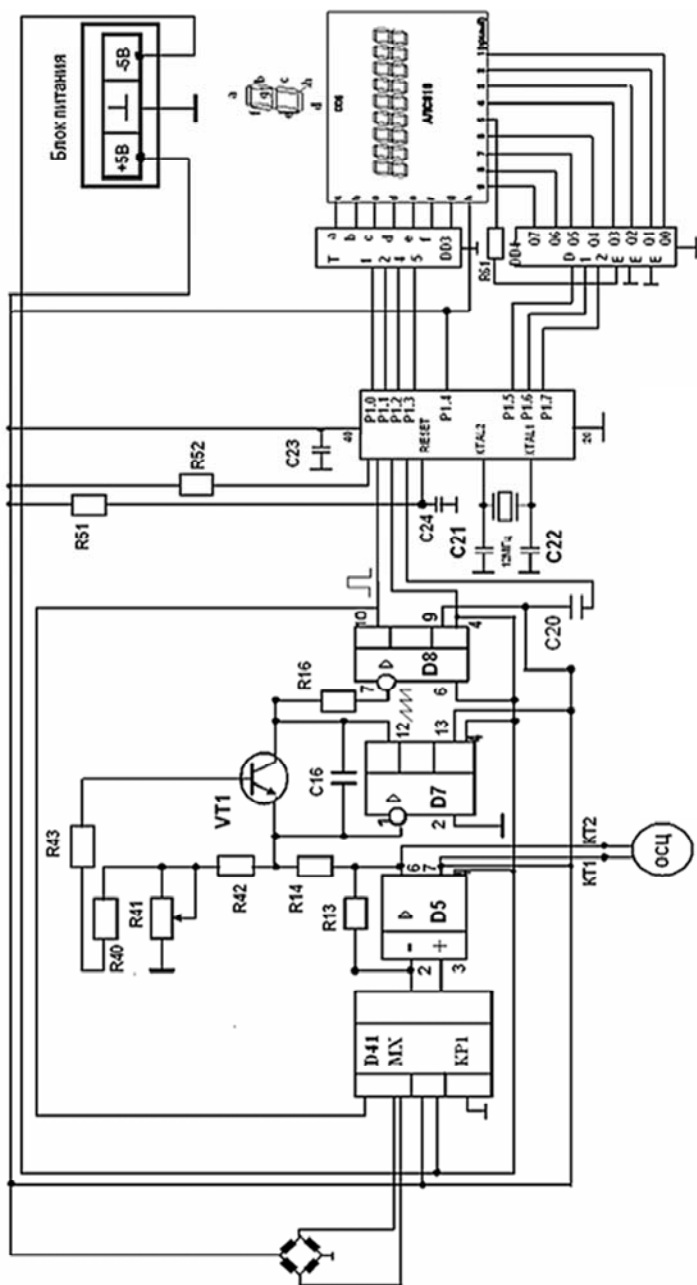


Рис. 5.13. Лабораторная установка



Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией весоизмерительной системы электронных бункерных весов.
2. Ознакомиться с режимами работы весов.
3. Установить схему для исследования весов в режиме статического взвешивания в подрежиме индикации массы и измерить несколько значений массы.
4. Произвести взвешивание шести-семи грузов и с помощью осциллографа снять амплитудное значение напряжения прямоугольного сигнала для каждого груза.
5. Построить зависимость $U = f(m)$ выходного напряжения тензоста U от массы груза m .
6. По графику зависимости напряжения от массы найти коэффициент тензочувствительности тензорезистора.
7. Изучить практически работу весов на различных режимах.

Порядок работы режимов

Весы имеют следующие режимы:
статического взвешивания;
ручной работы;
автоматической работы.

1. Режим статического взвешивания.

В режиме статического взвешивания система имеет следующие подрежимы:

индикация массы;
обнуление;
просмотр накопленных сумм;
просмотр количества отгруженных доз.

1.1. Индикация массы.

При работе весов на индикаторе контроллера отображается информация о массе груза, находящегося в бункере:

$N \text{---} X.X$, где X – цифровая информация, а --- – «погашенные» разряды на индикаторе.

Статическое состояние фиксируется по наличию устойчивых показаний массы и появлению точки.

Примечание. Переход во все остальные режимы работы осуществляется только из режима статического взвешивания.

1.2. Обнуление.

Для обнуления надо нажать клавишу >0<.

При обнулении текущее значение массы принимается за нулевое и на индикаторе отображаются нулевые показания массы.

H_0.0

Примечание.

1. В весах используется относительное взвешивание. Это означает, что при включении и во время работы любое значение груза, находящегося в бункере, может быть принято за нулевое значение. Поэтому перед обнулением надо обязательно очистить бункер.

2. При использовании абсолютного взвешивания в контроллере весов сохраняется значение массы, принятой за нулевое значение (масса бункера). В этом случае на индикаторе контроллера весов отображается разность между измеренным значением массы и запомненным. Нажатие на клавишу >0< не приводит к обнулению показаний массы.

1.3. Просмотр накопленных сумм.

В режиме просмотра накопленных сумм можно просмотреть суммарную массу отгруженных компонентов по каждому наименованию с заданной степенью точности вывода на индикатор и при необходимости можно обнулить.

Для просмотра надо:

нажать клавишу F2. На индикаторе отобразится: CS__0;

набрать на цифровом поле клавиатуры номер компонента, присвоенный в соответствии с наименованием и нажать клавишу ◇.

На индикаторе отобразится накопленная сумма по заданному компоненту: ____0.0;

при необходимости для обнуления накопленной суммы нажать клавишу >0<.

Примечание. При включении контроллера накопленные суммы обнуляются автоматически.

1) Нажатием на клавишу ⏶ можно вернуться в предыдущее состояние и набрать номер другого компонента;

2) для выхода из режима нажать клавишу ⏵.

1.4. Просмотр отгруженных доз.

В режиме просмотра отгруженных доз можно просмотреть и при необходимости обнулить количество отгруженных доз.

Для просмотра надо:

- 1) нажать клавишу \uparrow . На индикаторе отобразится: d ____ 0;
- 2) при необходимости для обнуления накопленной суммы нажать клавишу >0<.

Примечание. Режим просмотра работает и в автоматическом режиме работы.

Нажатием на клавишу \uparrow можно вернуться в предыдущее состояние.

2. Режим ручной работы.

- 1) Для ручной загрузки требуемого компонента надо нажать цифровую клавишу, соответствующую номеру выбранного компонента;
- 2) для ручной выгрузки надо нажать клавишу 0;
- 3) остановка загрузки/выгрузки происходит автоматически при отпускании клавиши.

3. Режим автоматической работы.

Для работы в автоматическом режиме работы надо:

3.1. Задать рецепт.

Нажать на клавишу F1. На индикаторе отобразится C1_X.X;

задать требуемое для дозирования количество материала (норму).

Набрать на цифровом поле клавиатуры норму дозирования и нажать клавишу \diamond .

Примечание.

1. Требуемая норма не должна превышать наибольший предел взвешивания как по каждому компоненту, так и по сумме всех компонентов.

2. Задавать норму надо больше, чем недосып:

для перехода к следующему компоненту нажать клавишу \uparrow ;

для выхода из подрежима задания рецепта нажать клавишу \odot .

3.2. Задать требуемое количество отгружаемых доз:

нажать на клавишу F3. На индикаторе отобразится dn ____ X;

задать требуемое количество отгружаемых доз.

Набрать на цифровом поле клавиатуры количество доз и нажать клавишу \diamond .

Для выхода из подрежима нажать клавишу \odot .

3.3. Автоматическое дозирование.


Нажать клавишу \diamond , при этом начинает мигать светодиод L1 и «загорается» светодиод на модуле дискретных каналов (МДК), сигнализирующий о том, на какой канал поступил сигнал управления;

при достижении заданной нормы по каждому компоненту происходит переход к дозированию следующего компонента;

если норма какого-либо компонента не задана, то сигнал на его загрузку не поступает;

после того как все заданные компоненты загружены, на выходы подается сигнал готовности дозы, загорается светодиод L2 и контроллер ожидает, когда масса материала в бункере станет меньше допустимого остатка материала в бункере;

если масса материала в бункере меньше допустимого остатка в бункере и количество отгруженных доз меньше заданных, то цикл дозирования повторяется;

остановка дозирования. Процесс дозирования прекратится автоматически после отработки рецепта или при нажатии клавиши , при этом светодиод L1 и L2 гаснут;

дозирование можно продолжить в автоматическом или ручном режиме.

Примечание.

1. В автоматическом режиме имеется возможность просмотра количества отгруженных доз.

2. Если требуемое количество отгружаемых доз не задано, то происходит однократное дозирование рецепта.

3. Установив весы в режим автоматического дозирования, ввести пять различных значений отгруженных доз и задать количество отгруженных доз равное 4. На основе опыта записать поведение блока индикации.

4. Определение коэффициента тензочувствительности из графика зависимости $U = f(m)$, построенного по данным, снятым в лабораторной работе и занесенным в табл. 5.1.

Таблица 5.1

№ п/п							
m , кг							
U , В							

Контрольные вопросы

1. Что такое коэффициент относительной тензочувствительности и от чего он зависит?
2. Основные типы и принцип действия тензорезистивных преобразователей (тензосопротивлений).
3. Основные конструкции тензодатчиков и области их применения.
4. Мостовая измерительная схема и ее особенности.
5. Схема АЦП весоизмерительной установки.
6. Основные блоки измерительной установки и их назначение.
7. Объясните, как формируется дискретный сигнал с выхода тензомоста.
8. Поясните работу измерительной установки.
9. Опишите схему сопряжения АЦП с микроконтроллером (рис. 5.13) и временную диаграмму (рис. 5.11).

Лабораторная работа № 6

АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (АЦП)

Цели работы

1. Изучение принципов преобразования аналоговых сигналов в код.
2. Изучение схемы и работы АЦП на основе микроконтроллера.

Теоретические сведения

Аналого-цифровое преобразование – это процесс преобразования входной физической величины в ее числовое представление.

Аналого-цифровой преобразователь – устройство, выполняющее такое преобразование. Формально входной величиной АЦП может быть любая физическая величина – напряжение, ток, сопротивление, емкость, частота следования импульсов, угол поворота вала и т. п. Однако для определенности под АЦП мы будем понимать в дальнейшем исключительно преобразователи «напряжение – код».

Сущность преобразования

Под преобразователем «напряжение – код» понимают получение по определенной системе правил числового значения дискретизацией величины напряжения в виде комбинации чисел.

Дискретизация – это преобразование непрерывной во времени величины (рис. 6.1) в дискретизированную (рис. 6.2) путем сохранения ее мгновенных значений в детерминированные моменты времени. Промежуток времени Δt между двумя ближайшими моментами дискретизации называется *шагом дискретизации*.

При квантовании весь диапазон изменения непрерывной величины разбивается на некоторое количество интервалов и значение непрерывного сигнала в дискретные моменты времени заменится ближайшим уровнем.

Понятие аналого-цифрового преобразования тесно связано с понятием измерения.

При аналого-цифровом преобразовании происходит сравнение входной величины с некоторой опорной величиной (как правило,

с опорным напряжением). Таким образом, аналого-цифровое преобразование может рассматриваться как измерение значения входного сигнала, и к нему применимы такие понятия метрологии, как погрешности измерения.

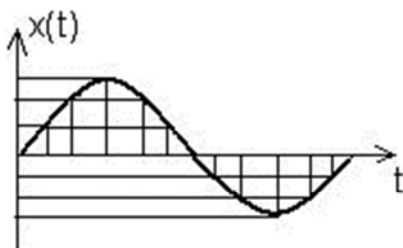


Рис. 6.1. График величины, непрерывной во времени

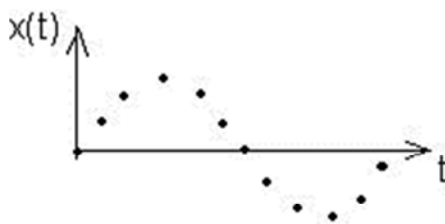


Рис. 6.2. Дискретизация величины во времени

Принципиальная возможность замен непрерывной величины ее дискретными значениями доказана теоремой В.А. Котельникова в 1933 г. Смысл теоремы состоит в том, что непрерывный сигнал может быть воспроизведен без искажения, если он представлен дискретными значениями, отстоящими друг от друга на интервал, не превышающий

$$\Delta t \leq \frac{1}{2f_B}, \quad (6.1)$$

где Δt – временной интервал между отдельными дискретными значениями преобразуемого сигнала;

f_B – частота высшей гармоники в спектре сигнала.

Непосредственное применение теоремы Котельникова возможно только при периодически изменяющихся величинах. По теореме Котельникова в случае ограниченной длительности требуется бесконечно большая частота дискретизации. На практике, если известен характер изменения измеряемой величины, используют линейно-ломаную аппроксимацию функции (рис. 6.3), время дискретизации определяют по допустимой погрешности аппроксимации.

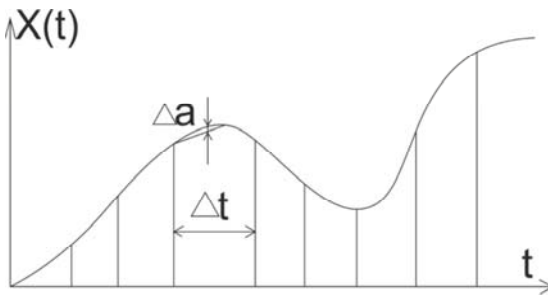


Рис. 6.3. Линейно-ломаная аппроксимация функции

В этом случае

$$\Delta a = \left[\frac{d^2 x(t)}{dt^2} \right]_{\max} ; \quad (6.2)$$

$$\frac{(dt)^2}{g} = \&_{X_{\max}} \frac{dt^2}{8}, \quad (6.3)$$

тогда время дискретизации или шаг квантования по времени

$$\Delta t = \frac{1}{\sqrt{\frac{\&_{X_{\max}}}{8\Delta a}}}. \quad (6.4)$$

Максимальное значение i -й производной случайного процесса $X(t)$ характеризуется неравенством Берштейна, которое справедливо для функций, ограниченных по модулю и имеющих спектр с верхней частотой $\omega_B = 2\pi f_B$:

$$|X_{\max}(t)| \leq \omega_B^i |X_{\max}(t)|. \quad (6.5)$$

Тогда время дискретизации можно записать в виде

$$\Delta t = \frac{1}{\frac{\omega_B}{2} \sqrt{\frac{X_{\max}}{2\Delta a}}}. \quad (6.6)$$

При квантовании сигнала по уровню любому значению входного аналогового сигнала X , изменяющемуся в диапазоне $|X_{\min}, X_{\max}|$, ставится в соответствие дискретное значение N , которое изменяется в диапазоне от нуля до N_{\max} , то есть АЦП реализует функцию $N = k \cdot X$.

Коэффициент k может быть определен как

$$k = \frac{N_{\max}}{X_{\max} - X_{\min}}. \quad (6.7)$$

Величина $\Delta x = \frac{1}{k}$ представляет собой шаг квантования по уровню или некоторое аналоговое значение, которому соответствует единица младшего разряда кода. Реальные АЦП обеспечивают в общем случае преобразование входной величины с некоторой отличной от нуля погрешностью. Учитывая это, можно записать

$$X = \Delta x N \pm \Delta, \quad (6.8)$$

где Δ – погрешность квантования.

В свою очередь Δ можно представить в виде суммы двух составляющих: Δ_m – методической и $\Delta_{\text{и}}$ – инструментальной погрешностей.

Методическая погрешность связана с переходом при преобразовании от аналоговой величины X , принимающей бесконечное множество значений в диапазоне изменений, к дискретной величине, которая представляет собой конечное множество. Методическая ошибка пропорциональна Δx и может быть записана как $\Delta_m = P \cdot \Delta x$, где $0 \leq P \leq 1$.

Основные характеристики АЦП

АЦП имеет множество характеристик, из которых основными можно назвать частоту преобразования и разрядность. Частота преобразования обычно выражается в отсчетах в секунду (samples per second, SPS), разрядность – в битах.

Современные АЦП могут иметь разрядность до 24 бит и скорость преобразования до единиц GSPS. Чем выше скорость и разрядность, тем труднее получить требуемые характеристики, тем дороже и сложнее преобразователь. Скорость преобразования и разрядность связаны друг с другом определенным образом, и мы можем повысить разрядность преобразования, пожертвовав скоростью.

Типы АЦП

Существует множество типов АЦП, однако в рамках данного практикума мы ограничимся рассмотрением только следующих типов:

АЦП параллельного преобразования (прямого преобразования, flash ADC);

АЦП последовательного приближения (SAR ADC);

дельта-сигма АЦП (АЦП с балансировкой заряда).

Существуют также и другие типы АЦП, в том числе конвейерные и комбинированные типы, состоящие из нескольких АЦП с (в общем случае) различной архитектурой. Однако приведенные выше архитектуры АЦП наиболее показательны в силу того, что каждая архитектура занимает определенную нишу в общем диапазоне скорость-разрядность.

Наибольшим быстродействием и самой низкой разрядностью обладают АЦП прямого (параллельного) преобразования.

Например, АЦП параллельного преобразования TLC5540 фирмы Texas Instruments обладает быстродействием 40MSPS при разрядности всего восемь бит. АЦП данного типа могут иметь скорость преобразования до 1 GSPS.

Еще большим быстродействием обладают конвейерные АЦП (pipelined ADC), однако они являются комбинацией нескольких АЦП с меньшим быстродействием и их рассмотрение выходит за рамки данного практикума.

Среднюю нишу в ряду разрядность-скорость занимают АЦП последовательного приближения. Типичными значениями является разрядность 12–18 бит при частоте преобразования 100KSPS–1MSPS.

Наибольшей точности достигают сигма-дельта АЦП, имеющие разрядность до 24 бит включительно и скорость от единиц SPS до единиц KSPS.

Еще одним типом АЦП, который находил применение в недавнем прошлом, является *интегрирующий* АЦП. Интегрирующие АЦП сейчас практически полностью вытеснены другими типами АЦП, но могут встречаться в старых измерительных приборах.

АЦП прямого преобразования

Большинство высокоскоростных осциллографов и некоторые высокочастотные измерительные приборы используют параллельные АЦП в силу их высокой скорости преобразования, которая может достигать 5Г ($5 \cdot 10^9$) отсчетов/сек для стандартных устройств и 20Г отсчетов/сек для оригинальных разработок. Обычно параллельные АЦП имеют разрешение до восьми разрядов, но встречаются также 10-разрядные версии.

Рис. 6.4 показывает упрощенную блок-схему трехразрядного параллельного АЦП (для преобразователей с большим разрешением принцип работы сохраняется).

Принцип действия АЦП предельно прост: используется массив компараторов, каждый из которых сравнивает входное напряжение с индивидуальным опорным напряжением. Такое опорное напряжение для каждого компаратора формируется на встроенном прецизионном резистивном делителе. Значения опорных напряжений начинаются со значения, равного половине младшего значащего разряда (LSB), и увеличиваются при переходе к каждому следующему компаратору с шагом, равным $V_{REF} / 2$ (V_{REF} – опорное напряжение). В результате для трехразрядного АЦП требуется $2^3 - 1$ или семь компараторов. А, например, для восьмиразрядного параллельного АЦП потребуется уже 255 (или $(2^8 - 1)$) компараторов.

С увеличением входного напряжения компараторы последовательно устанавливают свои выходы в логическую единицу вместо логического нуля, начиная с компаратора, отвечающего за младший значащий разряд. Можно представить преобразователь как ртутный термометр: с ростом температуры столбик ртути поднимается. На рис. 6.4 входное напряжение попадает в интервал между V_3 и V_4 , таким образом четыре нижних компаратора имеют на выходе «1», а верхние три компаратора – «0». Дешифратор преобразует $(2^3 - 1)$ – разрядное цифровое слово с выходов компараторов в двоичный трехразрядный код.

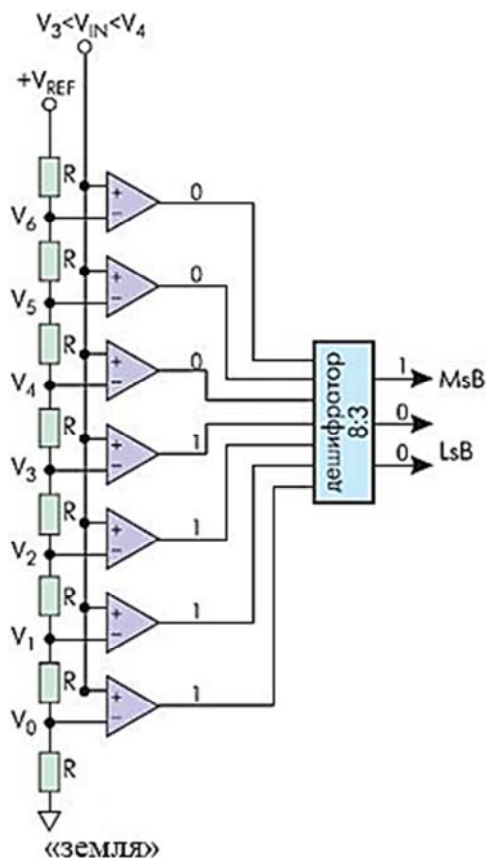


Рис. 6.4. Структурная схема АЦП прямого преобразования

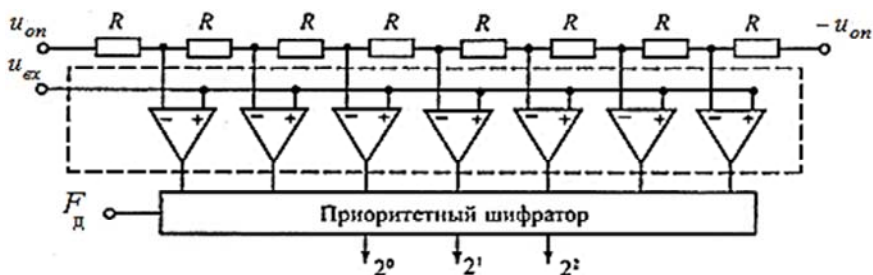


Рис. 6.5. Структурная схема параллельного биполярного АЦП с синхронизацией шифратора

Состояния компараторов и выходной сигнал в зависимости от уровня входного напряжения можно увидеть в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Состояние компараторов и выходные сигналы АЦП

Входное напряжение	Входы дешифраторов (Д)							Выходы Д		
$U_{вх}/Q$	K ₇	K ₆	K ₅	K ₄	K ₃	K ₂	K ₁	Q ₃	Q ₂	Q ₁
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
3	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
4	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
5	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Способ параллельного кодирования обеспечивает наибольшую скорость преобразования, из-за чего его иногда называют способом мгновенного кодирования. И действительно: время преобразования здесь – всего один такт и ограничено оно лишь быстродействием компараторов и задержкой на шифраторе.

Для того чтобы схема могла работать с биполярным сигналом, в месте подключения «земли» (рис. 6.5) подключается отрицательное опорное напряжение – $U_{оп}$. В состав параллельных АЦП входит большое число компараторов с разным быстродействием; для синхронизации моментов формирования выходного кода шифратор стробируют сигналом частоты дискретизации (рис. 6.2).

Двухкаскадный последовательно-параллельный АЦП

Последовательно-параллельные АЦП являются тем классом преобразователей, который позволяет использовать быстродействие и простоту параллельных АЦП для создания многоразрядных преобразователей последовательного типа с высокой разрешающей способностью.

Структурная схема двухкаскадного последовательно-параллельного АЦП приведена на рис. 6.6. Как видно из рисунка, все устройство в целом осуществляет преобразование входного аналогового сигнала $U_{вх}$ с шестьюразрядным разрешением. Однако преобразование осуществляется в два приема с помощью двух 3-разрядных АЦП. Оба они, и АЦП1, и АЦП2 – параллельного типа, то есть являются однотактными. Но алгоритм работы данной схемы предполагает их последовательное действие, и общее количество тактов равно трем.

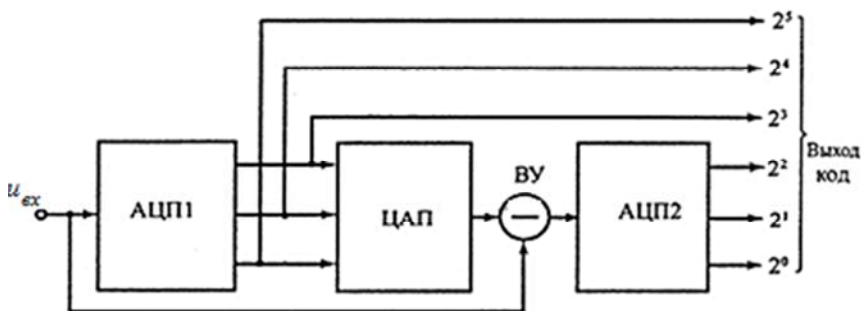


Рис. 6.6. Структурная схема двухкаскадного последовательно-параллельного АЦП

В течение первого такта осуществляется грубое квантование входного сигнала $U_{вх}$ с трехразрядной точностью при помощи АЦП1. Результат этого квантования подается на выход АЦП в качестве старших разрядов выходного кода ($2^3 - 2^5$) и одновременно поступает на вход трехразрядного ЦАП. Во втором такте аналоговое напряжение, которое формируется на выходе ЦАП и отражает результат грубого квантования в первом такте, сравнивается с истинным значением входного сигнала $U_{вх}$. Разница, полученная на выходе вычитающего устройства ВУ, поступает на вход второго трехразрядного АЦП (АЦП2), который в третьем такте осуществляет ее преобразование в три младших разряда выходного кода ($2^0 - 2^2$). Таким образом, быстродействие представленного на рис. 6.7 шестиразрядного АЦП в три раза ниже, чем то, которым обладал бы шестиразрядный параллельный АЦП. Но если для создания параллельного потребовалось бы $2^6 - 1 = 63$ компаратора, то для создания двухкаскадного последовательно-параллельного – всего $2 \cdot (2^3 - 1)$, $2 \cdot 7 = 14$ компараторов. Выигрыш более чем в четыре раза.

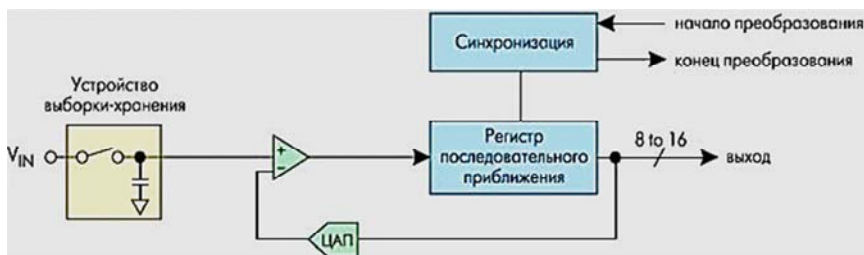


Рис. 6.7. АЦП последовательного приближения

Количество каскадов в АЦП с подобной структурой может быть больше двух, поэтому их иногда называют многокаскадными. В этом случае на входе каждого АЦП следует размещать устройство выборки и хранения (УВХ).

Несмотря на свою быстроту, параллельные АЦП имеют свои недостатки. Из-за необходимости использовать большое количество компараторов параллельные АЦП потребляют значительную мощность и их нецелесообразно использовать в приложениях с батарейным питанием.

АЦП последовательного приближения

Когда необходимо разрешение 12, 14 или 16 разрядов и не требуется высокая скорость преобразования, а определяющими факторами являются невысокая цена и низкое энергопотребление, то обычно применяют АЦП последовательного приближения. Этот тип АЦП чаще всего используется в разнообразных измерительных приборах и в системах сбора данных.

Сейчас АЦП последовательного приближения позволяют измерять напряжение с точностью до 16 разрядов с частотой дискретизации от (2^{10}) до (2^{20}) отсчетов/сек.

На рис. 6.8 показана упрощенная блок-схема АЦП последовательного приближения. В основе АЦП данного типа лежит специальный регистр последовательного приближения. В начале цикла преобразования все выходы этого регистра устанавливаются в логический 0, за исключением первого (старшего) разряда. Это формирует на выходе внутреннего цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) сигнал, значение которого равно половине входного диапа-

зона АЦП. А выход компаратора переключается в состояние, определяющее разницу между сигналом на выходе ЦАП и измеряемым входным напряжением.

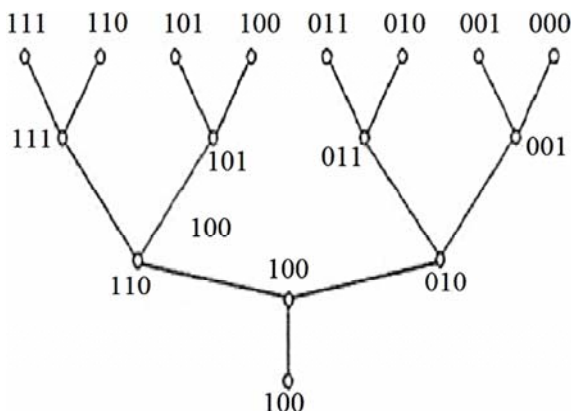


Рис. 6.8. Дерево аналого-цифрового преобразования

Приближение к аналоговому сигналу происходит не «лесенкой», то есть начиная с младшего разряда, а скачками: вначале большими ступенями, так как заполнение регистра последовательного приближения начинается со старшего разряда кода, затем ступени уменьшаются в соответствии с «весом» разряда.

Дерево, иллюстрирующее работу трехразрядного АЦП с регистром последовательных приближений, изображено на рис. 6.8. Например, для восьмиразрядного АЦП последовательного приближения (рис. 6.7) выходы регистра при этом устанавливаются в «10000000».

Если входное напряжение меньше половины входного диапазона АЦП, тогда выход компаратора примет значение логического 0. Это дает регистру последовательного приближения команду переключить свои выходы в состояние «01000000», что приведет к изменению выходного напряжения с ЦАП, подаваемого на компаратор. Если при этом выход компаратора по-прежнему оставался бы в «0», то выходы регистра переключились бы в состояние «00100000». Но на этом такте преобразования выходное напряжение ЦАП меньше, чем входное напряжение, и компаратор переключается в состояние логической 1 (рис. 6.9).

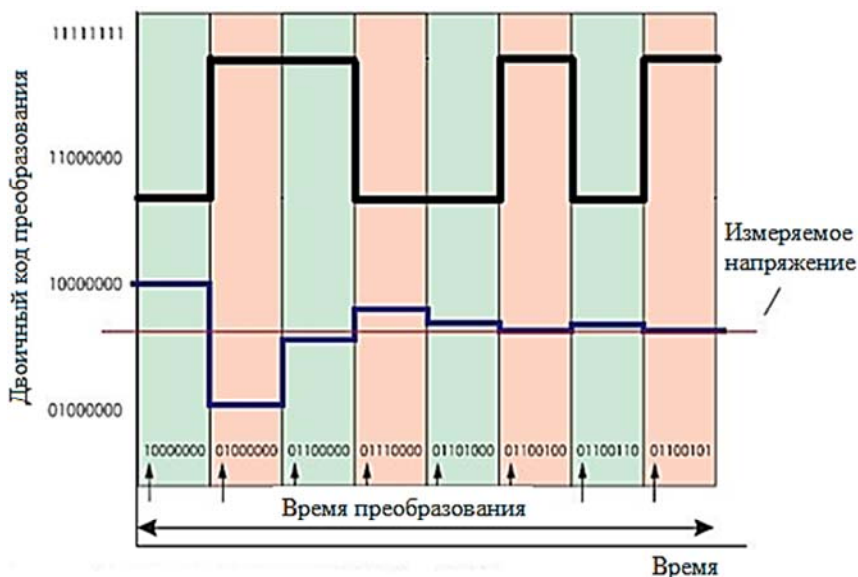


Рис. 6.9. Состояние компаратора и выходной код АЦП

Это предписывает регистру последовательного приближения сохранить «1» во втором разряде и подать «1» на третий разряд. Описанный алгоритм работы затем вновь повторяется до последнего разряда. Таким образом, для АЦП последовательного приближения требуется один внутренний такт преобразования для каждого разряда или N тактов для N -разрядного преобразования.

Тем не менее работа АЦП последовательного приближения имеет особенность, связанную с переходными процессами во внутреннем ЦАП. Теоретически напряжение на выходе ЦАП для каждого из N внутренних тактов преобразования должно устанавливаться за одинаковый промежуток времени. Но на самом деле этот промежуток в первых тактах значительно больше, чем в последних. Поэтому время преобразования 16-разрядного АЦП последовательного приближения более чем в два раза превышает время преобразования восьмиразрядного АЦП данного типа.

АЦП последовательного приближения позволяют кратчайшим путем приблизиться к измеряемой величине и завершить процесс преобразования всего за m последовательных приближений (m –

разрядность выходного кода) вместо 2^{m-1} , которые потребовались бы в случае использования метода одностороннего приближения. Выигрыш в быстродействии будет тем большим, чем больше разрядность m . При $m = 6$ такой выигрыш будет более чем десятикратным (6 против $2^6 = 64$), то при $m = 10$ он достигнет более двух порядков (10 против $2^{10} = 1024$).

С помощью таких АЦП, в зависимости от числа используемых разрядов, можно получить до $10^5 - 10^6$ преобразований в секунду. К тому же статическая погрешность преобразователей данного типа весьма незначительна и определяется в основном используемым ЦАП. Это позволяет реализовать разрешающую способность до 16 двоичных разрядов и более.

Данный класс АЦП, представляя собой разумный технический компромисс между точностью и быстродействием, применяется как при построении цифровых измерительных приборов, так и в различных системах цифровой обработки быстро меняющихся сигналов совместно с УВХ или без последних.

Дельта-сигма АЦП

Для проведения большинства измерений не требуется АЦП со скоростью преобразования, которую дает АЦП последовательного приближения, зато необходима большая разрешающая способность.

Дельта-сигма АЦП могут обеспечивать разрешающую способность до 24 разрядов, но при этом уступают в скорости преобразования. Так, в дельта-сигма АЦП при 16 разрядах можно получить частоту дискретизации до 10^5 отсчетов/сек, а при 24 разрядах эта частота падает до 10^3 отсчетов/сек в зависимости от устройства.

Обычно дельта-сигма АЦП применяются в разнообразных системах сбора данных и в измерительном оборудовании (измерение давления, температуры, веса и т. п.), когда не требуется высокая частота дискретизации и необходимо разрешение более 16 разрядов.

Принцип работы дельта-сигма АЦП сложнее для понимания. Эта структура относится к классу интегрирующих АЦП. Но основная особенность дельта-сигма АЦП состоит в том, что частота следования выборок, при которых собственно и происходит анализ уровня напряжения измеряемого сигнала, существенно превышает частоту появления отсчетов на выходе АЦП (частоту дискретизации). Эта час-

тота следования выборок называется *частотой передискретизации*. Так, дельта-сигма АЦП со скоростью преобразования 100К отсчетов/сек, в котором используется частота передискретизации в 128 раз больше, будет производить выборку значений входного аналогового сигнала с частотой 12,8М отсчетов/сек.

Порядок модулятора определяется численностью интеграторов и сумматоров в его схеме. Дельта-сигма модуляторы N -го порядка содержат N сумматоров и N интеграторов и обеспечивают большее соотношение сигнал/шум при той же частоте отсчетов, чем модуляторы первого порядка. Примерами дельта-сигма модуляторов высокого порядка являются одноканальный AD7720 седьмого порядка и двухканальный ADMOD79 пятого порядка.

Наиболее широко в составе ИМС используются однобитные дельта-сигма модуляторы, в которых в качестве АЦП используется компаратор, а в качестве ЦАП – аналоговый коммутатор (рис. 6.10).

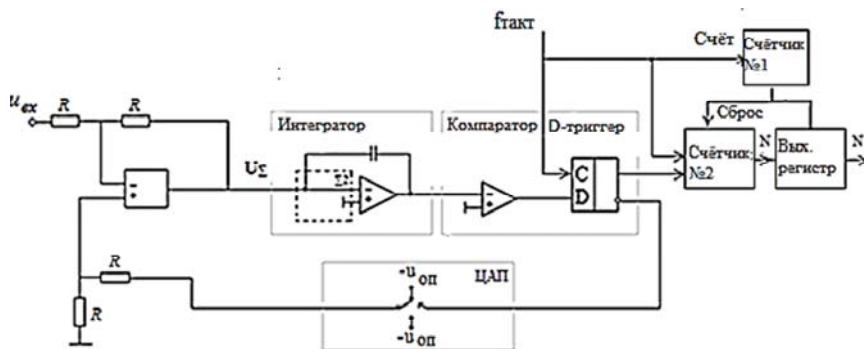


Рис. 6.10. Структурная схема дельта-сигма АЦП первого порядка

Принцип действия пояснен в табл. 6.2 на примере преобразования входного сигнала, равного 0,6 В, при $U_{оп} = +1В$ и $-1В$.

Пусть постоянная времени интегрирования интегратора численно равна периоду тактовых импульсов. В нулевом периоде выходное напряжение интегратора сбрасывается в нуль. На выходе ЦАП также устанавливается нулевое напряжение. Затем схема проходит через последовательность состояний (табл. 6.2, U_K – состояние компаратора в битах).

Таблица 6.2

Иллюстрация работы дельта-сигма АЦП

$U_{\text{вх}} = 0,6 \text{ В}$					$U_{\text{вх}} = 0 \text{ В}$				
№ такта	$U_{\Sigma}, \text{ В}$	$U_{\text{и}}, \text{ В}$	$U_{\text{к}}, \text{ бит}$	$U_{\text{ЦАП}}, \text{ В}$	№ такта	$U_{\Sigma}, \text{ В}$	$U_{\text{и}}, \text{ В}$	$U_{\text{к}}, \text{ бит}$	$U_{\text{ЦАП}}, \text{ В}$
1	0,6	0,6	1	1	1	1	1	1	1
2	-0,4	0,2	1	1	2	-1	0	0	-1
3	-0,4	-0,2	0	-1	3	1	1	1	1
4	1,6	1,4	1	1	4	-1	0	0	-1
5	-0,4	1,0	1	1	5	1	1	1	1
6	-0,4	0,6	1	1	6	-1	0	0	-1
7	-0,4	0,2	1	1	7	1	1	1	1
8	-0,4	-0,2	0	-1	8	-1	0	0	-1
9	1,6	1,4	1	1	9	1	1	1	1
10	-0,4	1,0	1	1	10	-1	0	0	-1
11	-0,4	0,6	1	1	11	1	1	1	1
12	-0,4	0,2	1	1	12	-1	0	0	-1
13	-0,4	-0,2	0	-1	13	1	1	1	1
14	1,6	1,4	1	1	14	-1	0	0	-1
15	-0,4	1,0	1	1	15	1	1	1	1
16	-0,4	0,6	1	1	16	-1	0	0	-1

В тактовые периоды 2 и 7 состояния системы идентичны, так как при неизменном входном сигнале $U_{\text{вх}} = 0,6 \text{ В}$ цикл работы занимает пять тактовых периодов. Усреднение выходного сигнала ЦАП за цикл действительно дает величину напряжения 0,6 В

$$(1 - 1 + 1 + 1 + 1)/5 = 0,6.$$

Это доказывает корректность работы дельта-сигма модулятора. Входной сигнал поступает на инвертирующий вход дифференциального усилителя, а на неинвертирующий – выход одноразрядного ЦАП. Таким образом, дифференциальный усилитель служит элементом сравнения (вычитающим устройством).

Интегратор – это активный аналоговый ФНЧ с высоким усилением в полосе частот входного сигнала и подавлением частотных составляющих, лежащих вне этой полосы.

Квантователь – это в первом приближении компаратор с порогом срабатывания равным «0», выход которого может переключаться из состояния « $-U_{оп}$ » в состояние « $+U_{оп}$ », и который подключен ко входу синхронизируемого тактовой частотой (частотой дискретизации) элемента памяти, сохраняющего это состояние в течение тактового интервала. Если предположить, что на выходе этого элемента памяти, который одновременно является и выходом с уровнями модулятора, должен формироваться цифровой сигнал соответствующий уровням логического «нуля» и «единицы» (АЦП), то таким элементом памяти может служить обычный D-триггер. Правда, в петле обратной связи при этом понадобится отдельное переключающее устройство, выполняющее функции ЦАП (на рис. 6.10 показано штриховой линией), который управляется цифровым сигналом, а на выходе формирует либо « $-U_{оп}$ », либо « $+U_{оп}$ ».

Дополнительным и очень важным достоинством дельта-сигма АЦП является то, что все его внутренние узлы могут быть выполнены интегральным способом на площади одного кремниевого кристалла. Это заметно снижает стоимость конечных устройств и повышает стабильность характеристик АЦП.

Способ формирования многоразрядных отсчетов на выходе сигма-дельта модулятора зависит от того, какова требуется разрядность этих отсчетов и с какой скоростью они должны следовать. Повышение разрядности и скорости следования отсчетов (частоты дискретизации F_d) усложняет задачу и ограничивает выбор средств, с помощью которых эта задача может быть решена.

Наиболее простым способом получения многоразрядных отсчетов на выходе дельта-сигма модулятора является подсчет количества «единиц» в цифровом потоке, формируемом одноконтурным дельта-сигма модулятором первого порядка, за период дискретизации $T_d = 1 / F_d$.

Если заданы частота дискретизации F_d и разрядность выходного кода m , то тактовая частота F_T , на которой работает дельта-сигма модулятор, должна быть выше частоты дискретизации в k раз

$$F_T = k \cdot F_d,$$

где $k = 2^m$ (при максимальном $U_{вх}$ все разряды счетчика 2 должны быть установлены в «единицы»). Тогда интервал времени равный

периоду дискретизации, можно сформировать путем деления тактовой частоты F_T на число k с помощью обычного счетчика (счетчик 1).

Подсчет «единиц» в цифровом потоке также осуществляется с помощью счетчика 2, причем на его счетный вход подается та же тактовая частота F_T , а на вход разрешения счета поступают «единицы» кода. Когда на входе разрешения присутствует «единица», счетчик увеличивает свое содержание, а когда «0» – состояние остается прежним. В конце каждого периода дискретизации сигналом со счетчика 1 содержимое счетчика 2 переписывается в N -разрядный выходной регистр, а сам счетчик 2 обнуляется. Таким образом, на выходе АЦП формируется код отсчета, численно равный количеству «единиц» в цифровом потоке на выходе D-триггера за период дискретизации.

Описанный метод чрезвычайно прост, но обладает невысокой точностью и применим только для квантования медленно меняющихся процессов или в случае, когда высокой точности не требуется. Если же сигнал на входе преобразователя меняется быстро (следовательно, частота дискретизации должна быть велика) и необходимо получить высокое разрешение, то использование данного метода становится невозможным. В подобных случаях пользуются другими методами построения дельта-сигма АЦП: применением модуляторов второго и более высоких порядков, каскадным соединением таких модуляторов, использованием многоразрядных квантователей и многоразрядных ЦАП в петле обратной связи, а на выходе размещают сложные цифровые фильтры высоких порядков, выполняющие операцию децимации (прореживания) одноразрядного цифрового потока вместе с увеличением разрядности выходного кода.

Интегрирующие АЦП

Последний тип АЦП, о котором пойдет здесь речь, – АЦП двухтактного интегрирования.

В цифровых мультиметрах, как правило, используются именно такие АЦП, так как в этих измерительных приборах необходимо сочетание высокого разрешения и высокого помехоподавления. Идея преобразования в таком интегрирующем АЦП гораздо менее сложна, чем в сигма-дельта АЦП.

На рис. 6.11 показан принцип работы АЦП двухтактного интегрирования. Входной сигнал заряжает конденсатор в течение фиксированного периода времени, который обычно составляет один период частоты питающей сети (50 или 60 Гц) или кратен ему. При интегрировании входного сигнала в течение промежутка времени такой длительности высокочастотные помехи подавляются. Одновременно исключается влияние нестабильности напряжения сетевого источника питания на точность преобразования. Это происходит потому, что значение интеграла от синусоидального сигнала равно нулю, если интегрирование осуществляется во временном интервале, кратном периоду изменения синусоиды.

По окончании времени заряда АЦП разряжает конденсатор с фиксированной скоростью, в то время как внутренний счетчик подсчитывает количество тактовых импульсов за время разряда конденсатора. Большее время разряда, таким образом, соответствует большему значению показаний счетчика и большему измеряемому напряжению (рис. 6.11).

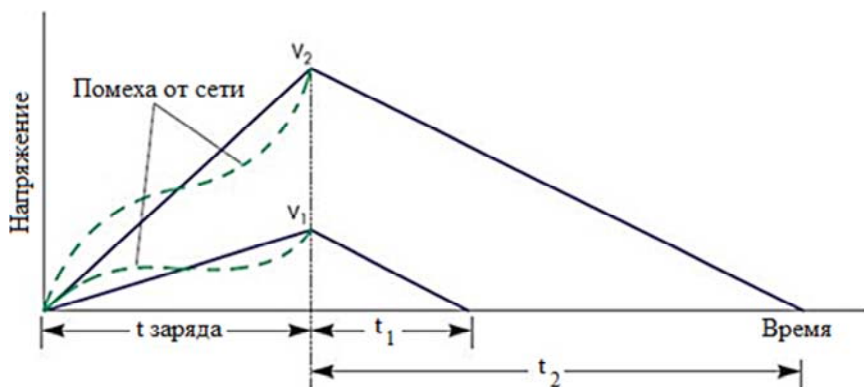


Рис. 6.11. Интегрирующий АЦП (пунктиром выделена помеха от сети)

АЦП двухтактного интегрирования имеют высокую точность и высокую разрешающую способность, а также сравнительно простую структуру. Это дает возможность выполнять их в виде интегральных микросхем.

Основной недостаток таких АЦП – большое время преобразования, обусловленное привязкой периода интегрирования к длительности

ности периода питающей сети. Например, для оборудования в 50 Гц – частота дискретизации АЦП двухтактного интегрирования не превышает 25 отсчетов/сек. Конечно, такие АЦП могут работать и большей частотой дискретизации, но при увеличении последней помехозащищенность падает.

Общие сведения о микроконтроллере Atmega8

Стенд ADC1 выполнен на решении Atmega8. МК Atmega8 обладает следующими характеристиками:

- память для программ составляет 8 Кб с возможностью перезаписи 10 000 раз;

- 512 байт флеш-памяти для хранения переменных (100 000 циклов перезаписи);

- 1 Кб ОЗУ и 32 регистра общего назначения;

- два восьмиразрядных таймера/счетчика с отдельным прескалером, режим сравнения;

- 16-разрядный таймер/счетчик с отдельным прескалером, режим сравнения, режим захвата;

- таймер реального времени с независимым генератором;

- три канала ШИМ;

- шесть каналов 10-разрядного АЦП;

- двухпроводный последовательный интерфейс;

- программируемый последовательный USART;

- интерфейс SPI с режимами Master/Slave;

- программируемый сторожевой таймер с отдельным независимым генератором;

- встроенный аналоговый компаратор;

- сброс при включении питания, программируемая защита от провалов питания;

- встроенный калиброванный RC-генератор;

- обработка внутренних и внешних прерываний;

- пять режимов с пониженным энергопотреблением: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, и Standby;

- напряжение питания 4,5–5,5 В;

- тактовая частота 0–16 МГц.

АЦП микроконтроллера. Принцип работы АЦП

Процесс преобразования аналогового сигнала в цифровые выборки поясняет рис. 6.12.

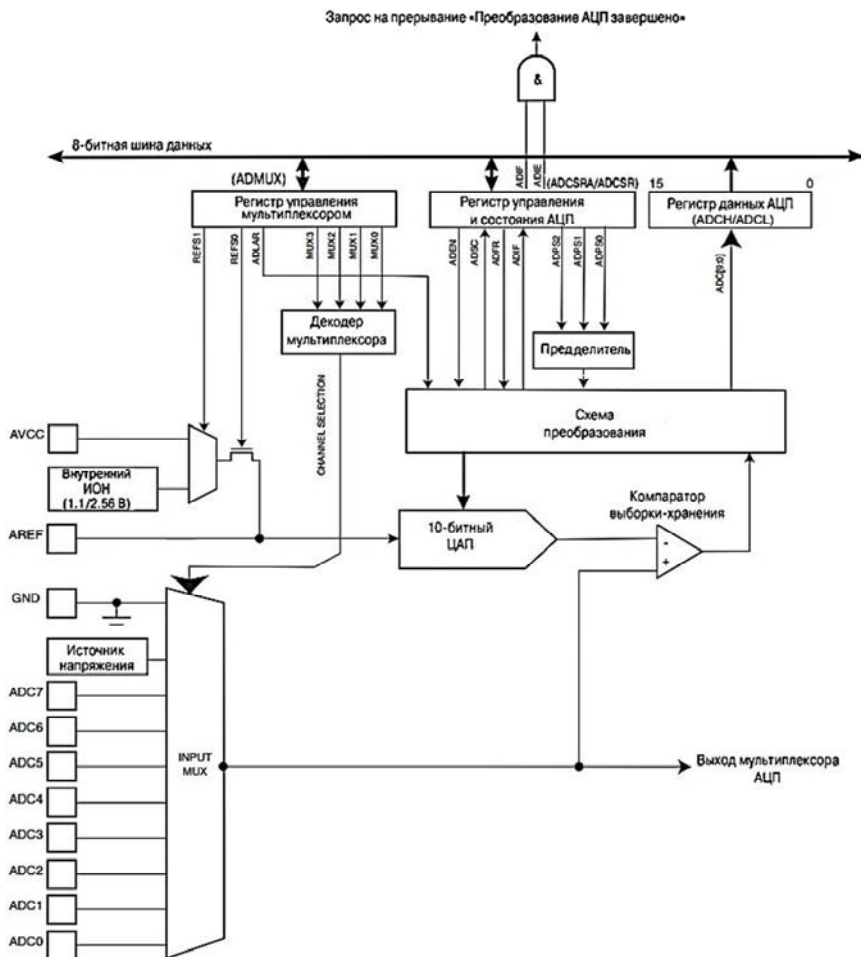


Рис. 6.12. Структурная схема АЦП

Вертикальная шкала разбивается на 1024 полки, что соответствует разрешению 10 бит (число «два в десятой степени»). В момент времени T1 запоминается текущая амплитуда сигнала. В промежу-

ке T1-T2 методом последовательных приближений вычисляется ближайший по уровню цифровой код. Результат помещается в регистры ADCH, ADCL, после чего в момент времени T2 АЦП готов к новому измерению.

Входное напряжение V_{in} рассчитывается по формуле

$$V_{in} = (ADCH * 256 + ADCL) V_{ref} / 1024.$$

Напряжение V_{ref} подается от внешнего источника 4 В. Из регистров ADCH, ADCL считываются коды 0x02, 0x11.

Следовательно, $V_{in} = (2 * 256 + 17) 4 / 1024 = 2,066$ В.

АЦП в ATmega8 имеет еще один режим преобразования, условно называемый 8/10-бит, когда измерение производится в 10 разрядов, но индицируются только восемь старших из них. Результат помещается в регистр ADCH, а напряжение V_{in} рассчитывается по формуле

$$V_{in} = ADCH * V_{ref} / 256.$$

Пример.

Напряжение V_{ref} подается от внешнего источника 2,5 В. Из регистра ADCH считывается код 0xAF. Следовательно, $V_{in} = 175 * 2,5 / 256 = 1,71$ В.

Расстояние между выборками $T_{выб}$ является величиной, обратно пропорциональной частоте дискретизации F_d . Значение $T_{выб}$ рассчитывает сам пользователь, исходя из определенных критериев. Главный из них – это максимальная частота F_{max} в спектре исследуемого сигнала. Например, телефонный канал сужает спектр человеческого голоса до 3,4 кГц, следовательно, по теореме Котельникова $F_d [кГц] > 2 * F_{max} [кГц] = 2 * 3,4 = 6,8$ кГц, откуда $T_{выб} [мкс] < 1000 / F_d [кГц] = 1000 / 6,8 = 147$ мкс.

На практике чаще всего приходится иметь дело с различными датчиками, обрабатываемыми АЦП. Здесь основным критерием служит время, в течение которого состояние датчика может стать аварийным и вернуться обратно. Если АЦП не замечает подобных «просадок», то время выборки надо уменьшить.

В Atmega8 можно программно задать минимальные значения $T_{выб} = 15...260$ мкс, что соответствует частотам дискретизации $F_d = 4...66$ кГц. Разумеется, максимальные значения $T_{выб}$ могут быть

сколь угодно большими. Для уменьшения погрешностей АЦП рекомендуется более узкий диапазон $T_{\text{выб}} = 65 \dots 260$ мкс ($f_d = 4 \dots 15$ кГц).

Для любительских конструкций 10-разрядная точность (0,1 %) может оказаться даже излишней. В частности, нет смысла измерять напряжение 5 В на выходе интегрального стабилизатора с точностью 5 мВ (10 бит), если напряжение пульсаций равно 10–20 мВ.

С другой стороны, суммарная системная погрешность АЦП в ATmega8 составляет $\pm 1,5$ –2 младшие единицы (гарантированно точными во всем диапазоне температур и напряжений являются 8 разрядов из 10 (то есть 0,4 %)). Если добавить к этому разброс напряжений внутренних ИОН 2,56 В (2,3...2,7 В) и 1,23 В (1,15...1,4 В), а также нестабильность питания AVCC 0,5–1 %, то реальная точность абсолютных измерений понизится до 5–6 разрядов (1–3 %).

Описание лабораторного стенда

Стенд ADC выполнен на основе AVR atmega8. Разбит на три модуля (рис. 6.13–6.15).

1. Вычислительный модуль, печатная плата (Т1), на которой размещены Atmega8, блок питания, логические элементы, интерпретатор.
2. Вычислительный модуль и визуализации, дисплей (D1).
3. Управляющий коммутирующий модуль (все управляющие кнопки, разъемы входа и выхода).

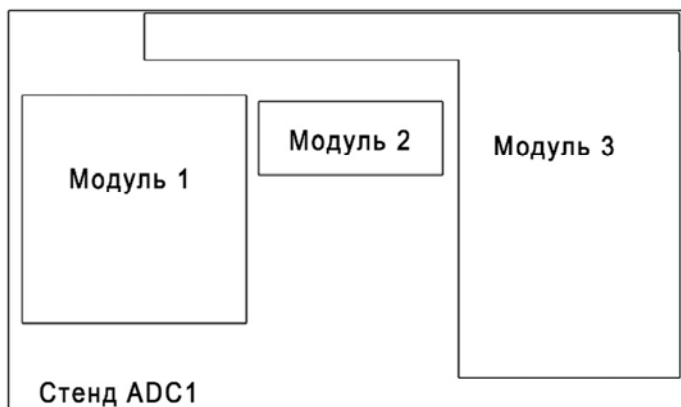


Рис. 6.13. Модули стенда ADC1

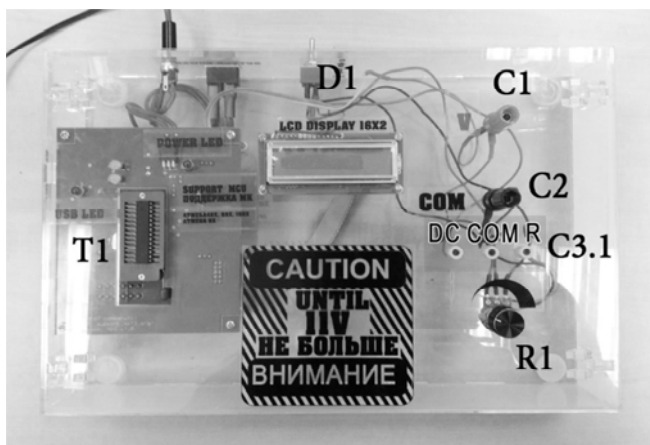


Рис. 6.14. Вид стенда ACD1 сверху:

D1 – дисплей двухстрочный 16-символьный; C1 – разъем для подключения внешнего напряжения (AVCC); C2 – разъем для подключения внешнего напряжения (GND);
C3.1 – выход для подключения измерительных приборов;
R1 – ручка переменного резистора

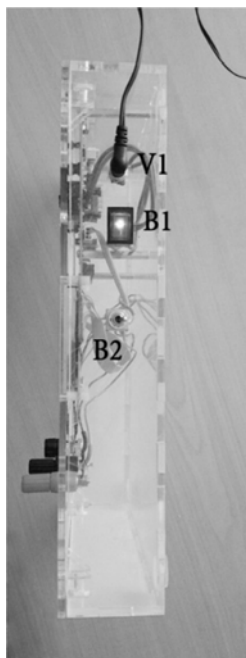


Рис. 6.15. Вид стенда ADC1 сбоку:

V1 – разъем питания для стенда (12v);
B1 – кнопка питания (Button Power);
B2 – кнопка переключения позиции (R/N/DC)

Последовательность выполнения работы

1. Включить блок питания в сеть, затем подключить его к АЦП.
2. Нажать кнопку Button Power для подачи питания.
- 2.1. О включении стенда будет свидетельствовать индикатор – светодиод POWER LED (красный).
- 2.2. На LCD-дисплее появится надпись VOLTMETER $U=0.00V$ (при условии, что трехпозиционная кнопка B2 (R/N/DC) находится в положении N (нейтральное положение)).
3. Переключить трехпозиционную кнопку B2 в положение R (резистор).
- 3.1. Провернуть поворотный регулятор R1 сопротивления против часовой стрелки до упора.
- 3.2. Произвести замер напряжения по нескольким положениям регулятора сопротивления. Необходимо использовать осциллограф, подключенный к C3.1 (R и Com) для снятия входной величины и дисплей для снятия значения напряжения после преобразования АЦП.
- 3.3. Занести данные в табл. 6.3. По формуле $|1-U_{\text{ацп}}/U_{\text{вх}}|*100\%$ рассчитать погрешность при преобразовании для каждого измерения.
4. Установить положение трехпозиционного переключателя B2 в положение DC (источник постоянного тока). Подключить щупы соответствующих цветов к C1 и C2.
- 4.1. Замерить напряжение на пяти различных предложенных источниках питания. Подключить осциллограф к C3.1 (DC и Com). Для измерений использовать щупы. Записать в табл. 6.4 напряжение на источнике питания $U_{\text{ип}}$ ($U_{\text{вх}}$) (при помощи осциллографа) и напряжение после преобразования АЦП $U_{\text{ацп}}$ (при помощи дисплея).
- 4.2. По формуле $|1-U_{\text{ацп}}/U_{\text{ип}}|*100\%$ рассчитать погрешность при преобразовании для каждого источника питания.
5. Выключить стенд при помощи кнопки Button Power, вынуть блок питания из розетки, отключить его провод от стенда.

Таблица 6.3

№	$U_{вх}, В$	$U_{АЦП}, В$	$ 1-U_{АЦП}/U_{вх} *100\%$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

По результатам опытов (табл. 6.3) вычислить среднее значение погрешности преобразователя.

Таблица 6.4

№	$U_{вх}, В$	$U_{АЦП}, В$	$ 1-U_{АЦП}/U_{вх} *100\%$
1			
2			
3			
4			
5			

Контрольные вопросы

1. АЦП и его назначение.
2. Как определить цену младшего разряда АЦП, зная число разрядов и динамический диапазон входного сигнала? Проиллюстрировать на примере.
3. На что влияет разрядность АЦП?
4. Что характеризует частота дискретизации АЦП?
5. Чем определяется точность, разрешающая способность и быстродействие АЦП?

6. Назовите все схемы построения АЦП, их достоинства и недостатки.
7. Назовите максимальные и минимальные частоты, с какими данный АЦП может производить оцифровку аналогового сигнала.
8. Какие типы АЦП существуют?
9. Области применения АЦП.
10. Что измеряет АЦП – ток, напряжение или сопротивление?
11. Разрядность и разрешение АЦП, их взаимосвязь.
12. Краткая техническая характеристика принципа функционирования параллельных АЦП и модификации параллельных АЦП.

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ УГЛА ПОВОРОТА (ЭНКОДЕРОВ)

Цели работы

1. Изучить принцип действия, устройство и применение в системах автоматизации абсолютных и инкрементальных энкодеров.
2. Провести экспериментальное исследование энкодеров и их сравнение.

Теоретические сведения

Энкодер – устройство, предназначенное для преобразования угла поворота вращающегося объекта (вала) в электрические сигналы пропорциональные углу поворота. Это устройство широко применяется в оборудовании, требующем для работы точной регистрации движения объекта (положения, скорости, ускорения).

Типы энкодеров

Энкодеры подразделяются по *способу выдачи информации* на накапливающие (инкрементные) и абсолютные (позиционные); по *принципу действия* на оптические, магнитные, индуктивные; по *допустимому углу поворота* вала на энкодеры с ограниченным и неограниченным поворотом.

Оптические энкодеры имеют жестко закрепленный на валу стеклянный диск с прецизионной оптической шкалой. При вращении объекта оптопара считывает информацию, а электроника преобразовывает ее в последовательность дискретных электрических импульсов.

Магнитные энкодеры с высокой точностью регистрируют прохождение магнитных полюсов вращающегося магнитного элемента непосредственно вблизи чувствительного элемента, преобразуя эти данные в соответствующий цифровой код.

Однооборотными энкодерами называются датчики, которые выдают абсолютные значения угла поворота в пределах одного оборота (рис. 7.1). После одного оборота код является полностью пройденным и начинается опять с его начального значения. Эти датчики служат

преимущественно для измерения угла поворота и применяются в антенных системах, эксцентричных коленчатых прессах и т. д.

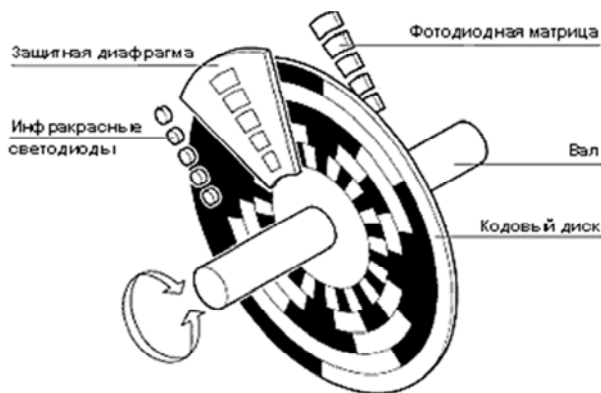


Рис. 7.1. Устройство однооборотного энкодера

При линейных перемещениях применяют измерительную систему с большим количеством оборотов. В этом случае используются датчики, где дополнительно к измерению угла поворота в пределах одного оборота также происходит регистрация количества оборотов с помощью дополнительно встроенного передаточного механизма (рис. 7.2), то есть своего рода редуктора из нескольких кодовых оптических дисков, образуя, таким образом, многооборотный энкодер.

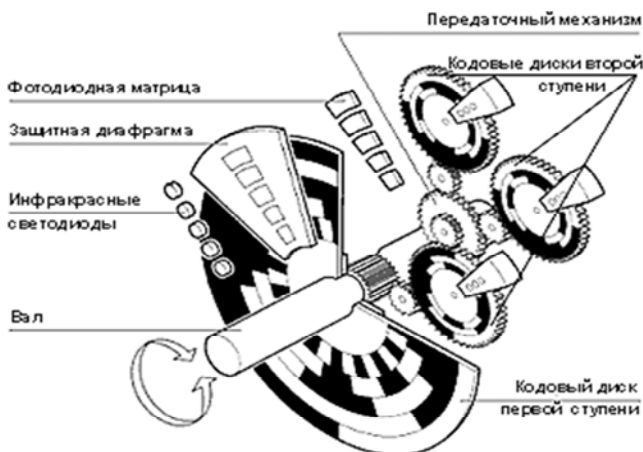


Рис. 7.2. Устройство многооборотного энкодера

Примеры применения энкодеров

Энкодеры широко используются в промышленности. Основная цель, с которой применяется энкодер, – это измерение угла поворота объекта во время вращения.

Энкодеры используют в станках для точного позиционирования, а также в робототехнических комплексах. Ниже приведены примеры использования энкодеров.

Обеспечение обратной связи для двигателей

Наиболее распространено применение энкодеров в управлении скоростью и направлением вращения электродвигателей. Современные сложные приводы и системы управления могут использовать обратную связь от одного датчика положения двигателя для управления несколькими осями движения.

Энкодеры соединяются с валом двигателя через гибкую муфту, цепную или ременную передачу. В последние годы большинство производителей двигателей выбирают сквозные или полые датчики (энкодеры с отверстием под вал) из-за компактного дизайна и снижения нагрузки на подшипники.

Намотка катушек

В процессах наматывания кабеля или рулонного материала на бобины очень важно поддерживать связь по скорости между приемной и подающей катушками, поскольку на обеих катушках изменяется диаметр намотки. Кроме того, для большинства операций требуется контроль длины материала. Наконец, во многих случаях необходимо поддерживать надлежащее натяжение материала, чтобы избежать разной плотности при намотке. Энкодеры могут обеспечить необходимую обратную связь для всех этих функций.

Заполнение тары

Во многих процессах заполнения тары энкодеры используются для позиционирования стола. Обратная связь, обеспечиваемая с помощью энкодера, позволяет убедиться, что тара находится в нужной позиции для начала процесса заполнения. Например, бутылки, банки, трубы транспортируются к накопителю через конвейер, поворотный

стол или другую систему доставки. Когда ПЛК получает нужное количество импульсов от датчика, он отправляет команду активировать систему заполнения. Во многих проектах процесс заполнения прекращается пока тара еще движется. Энкодеры могут также использоваться для управления движением наполняющего сопла или раздаточного устройства, которое необходимо опустить и извлечь из тары.

Абсолютный энкодер

Абсолютные энкодеры имеют на своем выходе цифровые коды, которые соответствуют значению угла поворота относительно положения, принятого за нуль. Принцип действия абсолютного энкодера, рассчитанного на один оборот, поясняется в рис. 7.3, а.

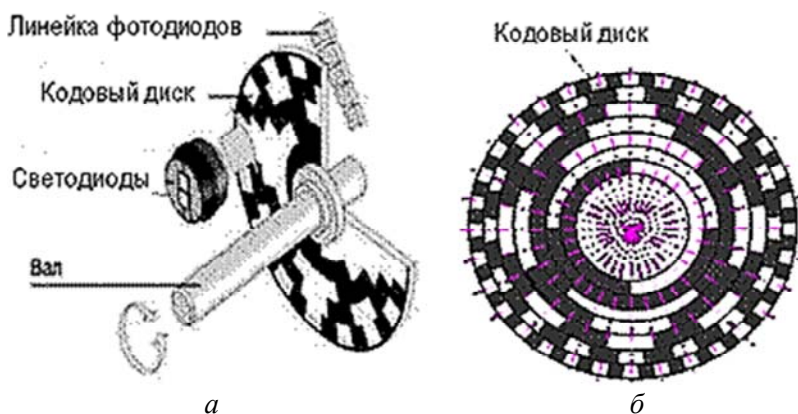


Рис. 7.3. Конструкция абсолютного энкодера и кодовый диск

На вал, закрепленный на двух прецизионных подшипниках и кинематически соединенный с узлом, вращение которого контролируется, насажен кодовый диск. На последнем выделены кольцевые дорожки с прозрачными и непрозрачными участками. Напротив дорожек с одной стороны диска установлены светодиоды с цилиндрической линзой, а с другой стороны – линейка фотодетекторов, по одному на каждую дорожку. Прозрачный и непрозрачный участки на дорожках подобраны так, чтобы каждому угловому положению кодового диска соответствовал свой двоичный код на выходах линейки фотодетекторов.

Один из возможных вариантов кодирования диска показан на рис. 7.3, б. Сфокусированный цилиндрической линзой в радиальную черточку свет от светодиодов проецируется на кодový диск. Свет свободно проходит сквозь прозрачные участки дорожек и, попав на соответствующие фотодетекторы, вызывает появление сигнала «1» на выходах усилителей. Сквозь непрозрачные участки дорожек свет не проходит, и на выходах соответствующих усилителей формируются сигналы «0».

Общее число возможных n -разрядных двоичных кодов составляет 2^n , поэтому точность определения углового положения диска равняется $(360^\circ / 2^n + 1)$. В случае использования 10 кольцевых дорожек и 10 фотодетекторов в линейке точность определения угла составляет $0,4^\circ$, а при использовании 20 дорожек и 20 фотодетекторов – $0,0004^\circ$.

Имеется много практических задач, когда, кроме знания углового положения в пределах одного оборота, надо регистрировать также количество полных оборотов и их направление. Для этого используют многооборотные энкодеры.

Абсолютный энкодер сохраняет значение выходных сигналов при исчезновении питания и не требует возвращения в начальную позицию перед каждым циклом измерения. Кроме того, даже если кодированный сигнал не может быть прочитан энкодером (например, при слишком быстром вращении вала) правильный угол вращения будет зарегистрирован, когда скорость вращения уменьшится.

Код Грея

Для кодирования угла поворота вала используется код Грея, который предпочтительнее обычного двоичного тем, что обладает свойством непрерывности бинарной комбинации: изменение кодируемого числа на единицу соответствует изменению кодовой комбинации только в одном разряде. Он строится на базе двоичного по следующему правилу: старший разряд остается без изменения; каждый последующий разряд инвертируется, если предыдущий разряд исходного двоичного кода равен единице. Этот алгоритм построения может быть формально представлен как результат сложения по модулю два исходной комбинации двоичного кода с такой же комбинацией, но сдвинутой на один разряд вправо. При этом крайний правый разряд сдвинутой комбинации отбрасывается.

Младший разряд в последовательности чисел в коде Грея принимает значения 0 и 1, затем следующий старший разряд становится единичным, и младший разряд принимает свои значения уже в обратном порядке (1, 0). Этим и объясняется название кода «отраженный». Соответственно, два младших разряда принимают значения 00, 01, 11, 10, а затем, при единичном следующем старшем разряде, те же значения в обратном порядке (10, 11, 01, 00). В табл. 7.1 приведены первые восемь чисел в двоичном коде и в коде Грея.

Таблица 7.1

Числа в двоичном коде и коде Грея

№	Двоичный код	Код Грея	№	Двоичный код	Код Грея
0	000	000	4	100	110
1	001	001	5	101	111
2	010	011	6	110	101
3	011	010	7	111	100

Таким образом, код Грея является так называемым одношаговым кодом, так как при переходе от одного числа к другому всегда меняется лишь какой-то один бит. Погрешность при считывании информации с механического кодового диска при переходе от одного числа к другому приведет лишь к тому, что переход от одного положения к другому будет лишь несколько смещен по времени, однако выдача совершенно неверного значения углового положения при переходе от одного положения к другому полностью исключается.

Преимуществом кода Грея является также его способность зеркального отображения информации. Выдаваемое значение может быть возрастающим или спадающим при одном и том же физическом направлении вращения оси. Поскольку информация, выраженная в коде Грея, имеет чисто кодированный характер, не несущий реальной числовой информации; он должен быть перед дальнейшей обработкой преобразован в стандартный бинарный код. Осуществляется это при помощи преобразователя кода, который легко реализуется с помощью цепи из логических элементов «исключающее или» как программным, так и аппаратным способом. При переходе от одного числа к другому (соседнему) лишь один бит информации

меняет свое состояние, если число представлено кодом Грея, в то время как в двоичном коде могут поменять свое состояние несколько бит одновременно. Код Грея не имеет ошибки считывания и применяется во многих абсолютных энкодерах.

Инкрементальный энкодер

В инкрементальных энкодерах счетный диск имеет, как правило, лишь одну дорожку, на которой прозрачные и непрозрачные участки чередуются (рис. 7.4). Соответственно, вместо линейки фотодетекторов используют один или два фотодетектора – в зависимости от того, происходит ли вращение диска в одном или в обоих направлениях.

На рис. 7.4 показано взаимное расположение счетного диска 1, блока фотодетекторов 2 и светового зонда 3, работающего от светодиода. Если диск 1 может вращаться лишь в одном направлении, то достаточно одного фотодетектора. На выходе датчика будет формироваться последовательность импульсов с периодом, обратно пропорциональным скорости вращения диска. Появление следующего импульса свидетельствует о повороте диска на угол $360^\circ/n$, где n – количество пар непрозрачных и прозрачных участков на диске.

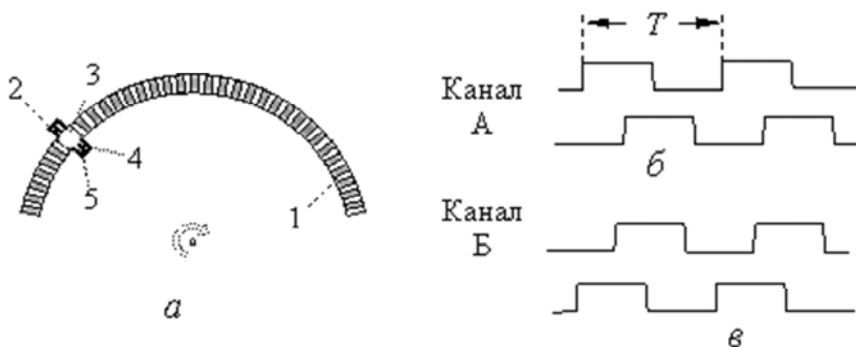


Рис. 7.4. Схема действия инкрементального энкодера (а, б, в).

Выходные сигналы каналов А и Б

Если диск вращается в обоих направлениях и информация об этом необходима, то блок 2 состоит из двух фотодетекторов 4 и 5, размещенных вдоль дорожки на расстоянии меньше, чем ширина прозрач-

ного или непрозрачного участка. Выход датчика в этом случае является двухканальным. На выходе канала А формируются импульсы от фотодетектора 4, а на выходе канала Б – от фотодетектора 5. Если диск 1 вращается против часовой стрелки, то импульсы на выходе А появляются раньше, чем импульсы на выходе Б. При вращении диска по часовой стрелке порядок появления импульсов обратный.

Для механического соединения вала углового энкодера с контролируемым механизмом используют специальные соединители, которые, с одной стороны, точно передают поворот практически без люфта и вместе с тем благодаря гибкости гасят биения валов как поперек, так и вдоль оси вращения. Также используют цепные и ременные передачи либо крепят непосредственно. Это требуется для защиты прецизионных подшипников и оптоэлектронных деталей.

Энкодеры с синусным выходом

Энкодеры с синусным выходом, как и инкрементальные энкодеры, имеют два периодических выходных сигнала, сдвинутых по фазе на 90° – в отличие от инкрементальных энкодеров, выходные сигналы которых имеют прямоугольную форму. У таких энкодеров форма выходного сигнала синусоидальная. Одному обороту вала может соответствовать выходной сигнал с одним периодом синусоиды.

Таким образом, по количеству периодов можно выполнить приближенную оценку положения вала, а по амплитуде в момент останова – более точную. Необходимыми условиями для достижения высокой точности являются малое число гармоник в выходном сигнале; одинаковая амплитуда синусоидального сигнала в каждом периоде; отсутствие постоянной составляющей на выходе и как можно более близкий к 90° сдвиг фаз по каналам.

Необходимые параметры при выборе энкодеров для систем автоматизации

При выборе энкодера следует обратить внимание на следующие параметры.

1. Число импульсов на оборот (число бит у абсолютных энкодеров), от которого зависит точность системы: чем больше импульсов, тем выше точность.

2. Вал, отверстие под вал, от которого зависит, каким образом на энкодер будет передаваться вращение: либо объект будет подсоединяться к отверстию энкодера, либо на вал энкодера будет передаваться вращение с помощью, например, зубчатой передачи или ремня.

3. Тип выходного сигнала энкодера влияет на снятие сигнала энкодера и дальнейшую его передачу.

4. Напряжение питания обуславливает работу системы и точность снятия сигнала.

5. Длина соединительного кабеля, его тип и тип разъема влияют на возможности установки рабочей системы.

6. Другие требования по крепежу (необходимость муфты, монтажного фланца, крепежной штанги и др.), влияющие на устойчивость установки и тем самым на точность системы.

7. Степень защиты энкодера от проникновения пыли и влаги (стоит учитывать условия работы и, исходя из этого, выбирать нужную степень защиты IP).

Описание лабораторного стенда

Структурная схема лабораторного стенда приведена на рис. 7.5, конструкция стенда изображена на рис. 7.6, 7.7.

В лабораторном стенде используются следующие приборы: энкодер Mitsubishi OSE 1024-3-15, энкодер SICK SFS60, ПЛК FATEK FBS-20MAR2-AC, панель управления FATEK FT-056ST-T11, блоки питания БП1 (FATEK ADP-24V-4A), БП2 (MEAN WELL DR-4512), плата усиления сигнала, преобразователь напряжения DCBK3035.

Питание стенда осуществляется двумя блоками питания.

БП 1 служит для питания панели управления, напряжением 24V.

БП 2 имеет выходное напряжение 12V и подключен к абсолютному энкодеру. Преобразователь напряжения подключен к БП 1, имеет выходное напряжение 5V, и подключен к Mitsubishi OSE 1024-3-15.

При повороте энкодер SICK выдает аналоговые синусные и косинусные сигналы. Программируемый контроллер FATEK FBS-20MAR2-AC имеет встроенный блок питания, поэтому подключен напрямую в сеть 220 V. Выходы энкодера OSE 1024-3-15 подключены к цифровым входам ПЛК. Панель управления связывается через интерфейс RS 232 с ПЛК и выводит данные об угловых перемещениях энкодеров.

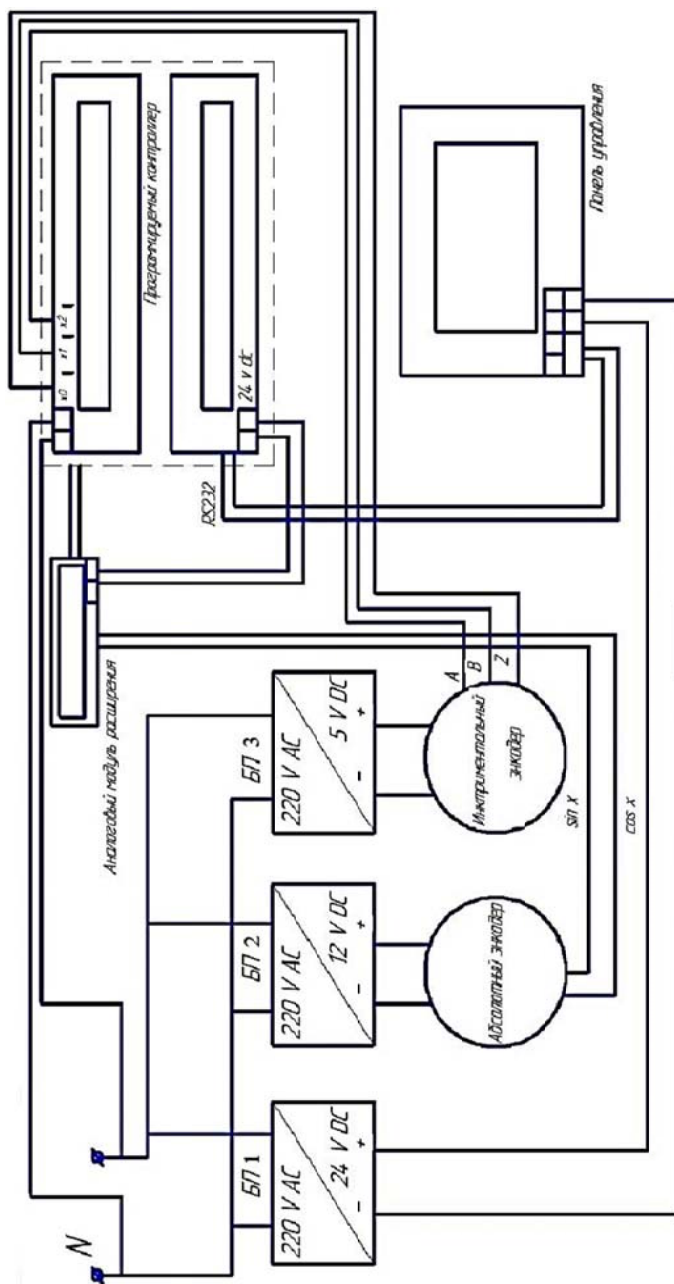


Рис. 7.5. Принципиальная схема лабораторного стенда

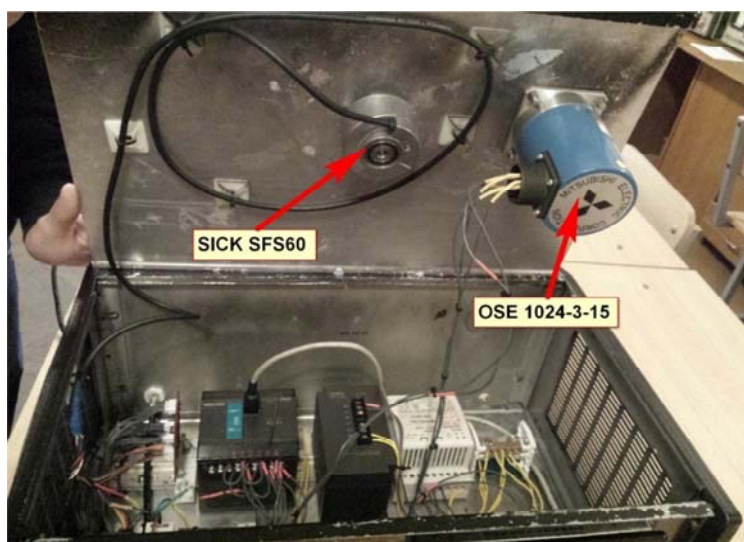
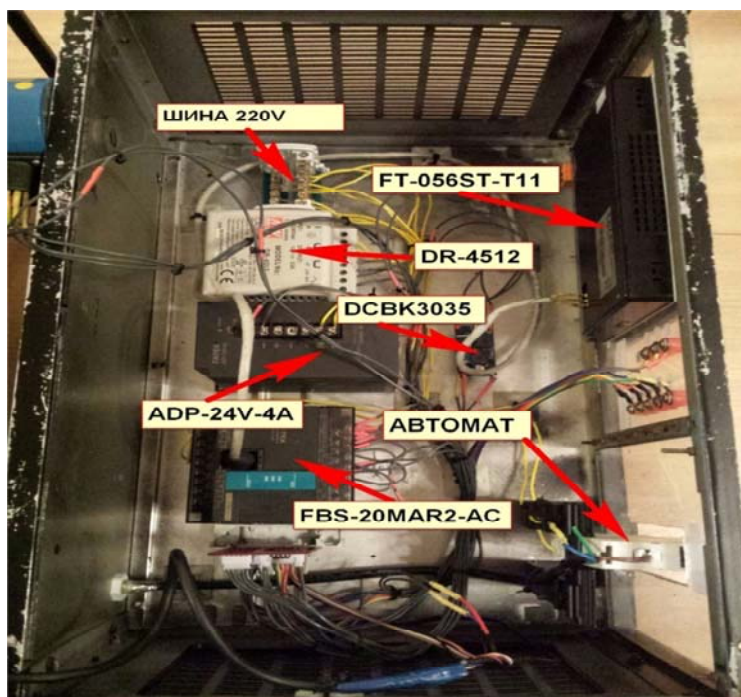


Рис. 7.6. Конструкция стэнда

ПЛК FATEK Fbs-20MAR2-AC

Основные технические характеристики ПЛК FATEK FBS-20MAR2-AC:

двенадцать точек цифрового входа 24В (до 10 кГц);

восемь точек цифровых выходов (R/T/S) (Т имеет 4 точки 10 кГц);

один Com-порт RS232 (может быть расширен до трех).

В лабораторной работе используется для определения скорости, направления, угла поворота вала энкодера и количества импульсов на выходе, соответствующих углу поворота.

Графическая панель FATEK FT-056ST-T11

Графическая панель управления FATEK FT-056ST-T11 оснащена сенсорным экраном, предназначенным для задания рабочих параметров системы и при необходимости контроля процесса работы. Интуитивно понятный интерфейс не требует профессиональных знаний для работы с панелью. В свою очередь, это позволяет быстро и эффективно проводить настройку системы в целом.

Технические характеристики панели управления FATEK FT-056ST-T11:

питание – 24 В, постоянный ток;

управляющие входы/выходы – интерфейсы RS-422 и RS-485;

условия эксплуатации – температура окружающей среды от 1 до 40°C, относительная влажность воздуха 80 % при температуре 25 °C.

Энкодер SICK SFM60

Системы обратной связи SFS/SFM60 компании SICK AG являются однооборотным/многооборотным устройством, совместимыми с электроприводами ведущих мировых производителей. Они обеспечивают 1024 синусно-косинусных периодов на оборот. SICK SFS/SFM60 поддерживают программирование значений положения и электронных идентификаторов (интерфейс HIPERFACE®), отличаются механической гибкостью за счет возможности использования различных полых валов и валов разного диаметра (от 8 мм до 15 мм).

Технические характеристики:

- 1) количество sin/cos периодов на оборот 1.024;
 - 2) тип кода для абсолютного значения двоичный;
 - 3) выходная частота для sin/cos сигналов от 0 до 200 кГц;
 - 4) рабочая скорость, до которой может быть надежно произведено абсолютное положение 6000 мин⁻¹;
 - 5) диапазон рабочих температур от –30 до +115 °С;
 - 6) диапазон температур хранения (без упаковки) от –30 до +115 °С;
 - 7) интерфейсные сигналы Канал обработки данных = SIN, REFSIN, COS, REFCOS аналоговый, дифференциальный.
 - 8) канал параметров = RS485 цифровой.
- Выходные сигналы представлены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Выходные сигналы

Цвет кабеля	Тип сигнала	Описание
Коричневый	REFSIN	Канал данных
Белый	+SIN	Канал данных
Черный	REFCOS	Канал данных
Розовый	+COS	Канал данных
Серый или желтый	Data +	Параметр канала RS485
Зеленый или фиолетовый	Data –	Параметр канала RS485
Синий	GND	Земля
Красный	+Us	Напряжение питания 12 V
Экран		Защитный экран

Энкодер MITSUBISHI TAMAGAWA OSE 1024-3-15-68

Система обратной связи OSE 1024-3-15-68 компании MITSUBISHI – это многооборотное устройство, совместимое с электроприводами ведущих мировых производителей. Оно обеспечивает 1024 прямо-угольных импульсов на оборот.

Технические характеристики:

- 1) количество импульсов на оборот 1024;
- 2) рабочая скорость, до которой может быть надежно произведено абсолютное положение 6000 мин⁻¹;
- 3) диапазон рабочих температур от –5 до +55 °С;

- 4) диапазон температур хранения (без упаковки) от -20 до $+85$ °C;
- 5) момент трения вала 0,98 Nm;
- 6) угловое ускорение вала 10 в 4 рад/с в 2;
- 7) максимальная нагрузка вала 10 кг;
- 8) амплитуда вала 0,02 мм.

Выходные сигналы представлены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Выходные сигналы

Пин	Назначение
A	Фаза A
B	Фаза Z
C	Фаза B
D	—
E	Земля
F	—
G	—
H	+5 V
J	—

Последовательность выполнения лабораторной работы

1. Включить автомат на лицевой панели стенда. В результате включится экран (рис. 7.7).



Рис. 7.7. Начальный экран

2. Нажать на «утку» на начальном экране. В результате появится меню выбора страниц (рис. 7.8). В этом меню присутствуют следующие пункты:

Mitsubishi, SICK (страница, в которой можно посмотреть обороты, количество импульсов, угол поворота, направление вращения энкодера Mitsubishi и SICK), заполнение 1, 2 (страница, в которой можно посмотреть количество импульсов, выдаваемых энкодером Mitsubishi и SICK процесс заполнения бара скорость (страница, в которой можно наблюдать изменение скорости вращения об/мин и индикацию скорости).



Рис. 7.8. Меню выбора страниц

3. Выберите Mitsubishi. Появится страница (рис. 7.9). Установите вал энкодера Mitsubishi в положение 0 градусов в соответствии со шкалой лимба и нажмите сброс (с помощью данной кнопки мы сбрасываем значение оборотов и количество импульсов, а также устанавливаем 0 градусов в желаемой позиции, то есть можем изменить начало отсчета). Вращая вал энкодера, определите, сколько импульсов приходится на один оборот (в результате полного оборота угол будет равен 0). Повторите измерения три раза и вычислите среднюю арифметическую погрешность.



Рис. 7.9. «Mitsubishi»

4. Выберите SICK. Появится страница (рис. 7.10). Вращайте вал энкодера и сравните угол положения вала показываемого панелью, с углом отсчитанным по лимбу на верхней крышке стенда. Проведите измерения три раза, результаты занесите в табл. 7.4.

Таблица 7.4

№ измерения	Угол на панели	Угол на лимбе

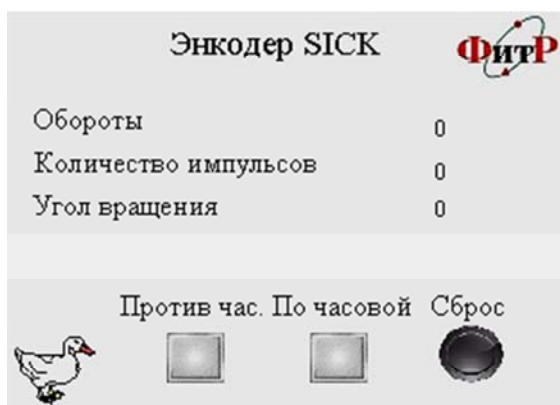


Рис. 7.10. Страница «SICK»

5. Выберите «Скорость вращения». Появится страница (рис. 7.11). При вращении валов энкодеров происходит индикация скорости вращения.



Рис. 7.11. Страница «Скорость вращения об/мин»

6. Выберите экраны заполнение 1, 2 и зафиксируйте процессы заполнения бара («накопителя») (рис. 7.12 и 7.13).



Рис. 7.12. Страница «Заполнение бара1»



Рис. 7.13. Страница «Заполнение бара2»

Для этого вернитесь на начальный экран.

7. Произведите исследование формы выходных сигналов энкодеров при помощи осциллографа. Для этого подключите входы осциллографа к соответствующим гнездам на лицевой панели стенда. Проанализируйте выходные сигналы с синусного и косинусного канала энкодера SICK и выходные сигналы с фаз А и В энкодера Mitsubishi.

8. По результатам эксперимента сделайте выводы.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема лабораторного стенда.
3. Результаты опытов, таблицы, графики.
4. Выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое энкодер?
2. Какова область применения энкодеров?
3. Классификация энкодеров.
4. Что является выходными сигналами энкодеров?
5. Чем определяется выбор типа энкодера?
6. Что такое инкрементальный и абсолютный энкодер?
7. Основные технические характеристики энкодеров.

Список рекомендуемых источников

1. Специальное конструкторское бюро измерительных систем [Электронный ресурс] // СКБ ИС. – Режим доступа: <http://www.skbis.ru>. – Дата доступа: 21.02.17.
2. Техническая документация к Mitsubishi OSE 1024-3-15.
3. Техническая документация к SICK SFM60-НККТ2К02.
4. Kester, W. ADC Architectures I: The Flash Converter. Analog Devices, MT-020 Tutorial. [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-020.pdf. – Дата доступа: 12.08.2017.
5. Kester, W. ADC Architectures II: Successive Approximation ADC. Analog Devices, MT-021 Tutorial. [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-021.pdf. – Дата доступа: 12.08.2017.
6. Atmega8 Datasheet: [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_1_datasheet.pdf. – Дата доступа: 12.08.2017.
7. Kester, W. ADC Architectures III: Sigma-Delta ADC Basics. Analog Devices, MT-022 Tutorial. [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-022.pdf. – Дата доступа: 12.08.2017.
8. Kester, W. ADC Architectures IV: Sigma-Delta ADC Advanced Concepts and Applications. Analog Devices, MT-023 Tutorial. [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-023.pdf. – Дата доступа: 12.08.2017.

Оглавление

Лабораторная работа № 1 Световая завеса безопасности робототехнического комплекса	4
Лабораторная работа № 2 Координатные измерительные машины	23
Лабораторная работа № 3 Изучение бесконтактных датчиков робототехнических систем	44
Лабораторная работа № 4 Системы технического зрения	63
Лабораторная работа № 5 Автоматизированная весоизмерительная система на базе тензорезистивных преобразователей	108
Лабораторная работа № 6 Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)	132
Лабораторная работа № 7 Исследование датчиков угла поворота (энкодеры)	158
Список рекомендуемой литературы	176

Учебное издание

ДАТЧИКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-53 01 06 «Промышленные роботы
и робототехнические комплексы»

Составители:

ЗДОР Геннадий Николаевич
ЛИВШИЦ Юрий Евгеньевич

Редактор *Т. В. Мейкшане*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 28.02.2019. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 10,35. Уч.-изд. л. 8,09. Тираж 100. Заказ 287.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.