

Программа BAS. Вычисляет набор базисных функций (16) для метода наименьших квадратов (метод наименьших квадратов), как и программа FIT).

Указанные программы находятся в активной эксплуатации более двух лет и успешно применяются для решения ряда задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спектроскопия оптического смещения и корреляция фотонов/Под ред. Х. Камминса и Э. Пайка.— М.: Мир, 1978.
2. Chu B., Gulari Es., Gulari Er. Photon correlation measurements of colloidal size distributions // Phys. Scr.— 1979.— V. 19, N 4.— P. 476—485.
3. Layer H. P. Acoustooptic modulator intensity servo // Appl. Opt.— 1979.— V. 18, N 17.— P. 2964—2967.
4. Одноэлектронные фотоприемники/Под ред. А. Н. Перцева.— М.: Атомиздат, 1979.
5. Chen S. H., Veldkamp W. B., Lai C. C. Simple digital clipped correlator for photon correlation spectroscopy // Rev. Sci. Instr.— 1979.— V. 46, N 10.— P. 1356—1367.
6. Ерш И. Г., Яковин Д. В. Быстродействующий коррелятор фотонов // Автоматрия.— 1985.— № 2.
7. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач.— М.: Наука, 1979.
8. Koppel D. E. Analysis of macromolecular polydispersity in intensity correlation spectroscopy: the method of cumulants // J. Chem. Phys.— 1972.— V. 57, N 11.— P. 4814.
9. Zimmerman K., Delaye M., Licinio P. Analysis of multiexponential decay by linear programming method: application to light scattering spectroscopy // J. Chem. Phys.— 1985.— V. 82, N 5.— P. 2228—2235.
10. Braginskaya T. G., Dobichin P. D., Ivanova M. A. e. a. Analysis of the polydispersity by photon correlation spectroscopy // Phys. Scr.— 1983.— V. 26, N 3.— P. 309—315.
11. Ерш И. Г., Муратов Л. С., Новожилов С. Ю. и др. Кинетика иммунологической реакции агглютинации и экспрессное определение бактерий с помощью автоматизированного лазерного фотон-корреляционного спектрометра // ДАН СССР.— 1986.— № 5.

Поступила в редакцию 13 мая 1986 г.

УДК 621.397 : 621.385

Ю. В. БОНДАРЕНКО, В. Я. БУДЦЕВ, А. Н. КАСПЕРОВИЧ,
В. И. ПРОКОПЕНКО
(Новосибирск)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МНОГОКАНАЛЬНЫЙ РЕГИСТРАТОР ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ

Для регистрации оптических изображений малой интенсивности и длительности перспективными представляются системы на основе телевизионных передающих ЭЛТ [1—4]. Включение в такие системы мини-ЭВМ позволяет получить эффективные комплексы для регистрации и обработки изображений [5—7].

Испытания регистратора одномерных изображений [4] показали перспективность использования в качестве приемника изображения супервидикона ЛИ-702 (суперкремникона) и позволили определить направление дальнейших работ. Было решено разработать специализированную телевизионную передающую камеру (КТП), повысить разряд-

ность аналого-цифрового преобразователя (АЦП), используемого для преобразования видеосигнала в цифровую форму, обеспечить возможность одновременной регистрации нескольких спектров и включить в состав системы мини-ЭВМ для управления работой регистратора и предварительной обработки регистрограмм. Запись информации, поступающей с КТП, предполагалось производить непосредственно в ОЗУ мини-ЭВМ через стандартное устройство прямого доступа к памяти (ПДП). При относительно высокой производительности канал ПДП позволяет обойтись без дополнительной памяти для записи экспериментальных данных.

Общая структура системы регистрации. Основными узлами системы являются специализированная телевизионная передающая камера на базе супервизикона ЛИ-702 и блок управления, а также стандартная аппаратура — ЭВМ «Электроника 60», имеющая память емкостью 28 К 16-разрядных слов, и устройство прямого доступа к памяти (ИЗ). Общая структура системы приведена на рис. 1.

Изображение исследуемого процесса подается на вход передающей телевизионной камеры. Видеосигнал с КТП поступает на контрольный телевизионный монитор и на вход АЦП, входящего в состав блока управления. В заданные моменты времени видеосигнал преобразуется в цифровую форму и через устройство ПДП записывается в память ЭВМ. Для записи информации, поступающей от КТП, используется до 20 К слов, оставшаяся часть памяти может быть занята под программы, рассчитанные на управление регистратором, обработку данных и их визуализацию. Для контроля и визуализации записанной информации массивы данных из памяти ЭВМ через устройство ПДП и цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) блока управления могут выводиться на визуализатор спектра (в нашем случае в качестве визуализатора спектра использовался осциллограф).

Запуск и работа системы регистрации могут осуществляться как по командам от ЭВМ «Электроника 60», так и по внешним синхронимпульсам, связанным с исследуемым процессом.

Конструктивно регистратор выполнен следующим образом. КТП изготовлена в отдельном корпусе, к которому легко пристраивается объектив либо спектральный прибор. Блок управления изготовлен в виде отдельного модуля КАМАК шириной 4 М. Он соединен по передней панели линиями связи с КТП и устройством ПДП. Используемое стандартное устройство ПДП представляет собой отдельную плату двойной ширины, которая вставляется в гнезда монтажной панели ЭВМ «Электроника 60».

Специализированная телевизионная передающая камера. К телекамерам, предназначенным для регистрации данных, предъявляются существенно более жесткие требования, нежели к камерам, используемым для телевизионного вещания и в промышленных телевизионных установках, поскольку последние предназначены лишь для визуального контроля. Для данной системы регистрации было решено обеспечить разрешение по полю 512×512 элементов, так как телекамеру предполагается

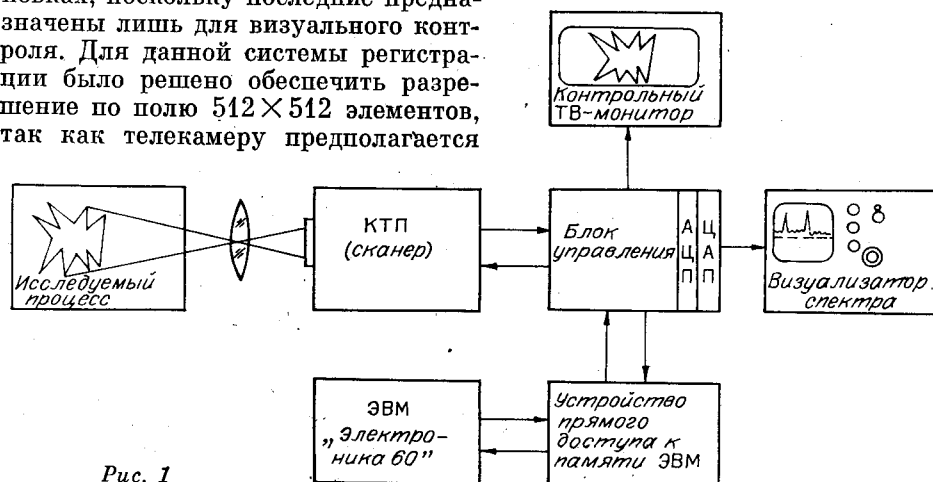


Рис. 1

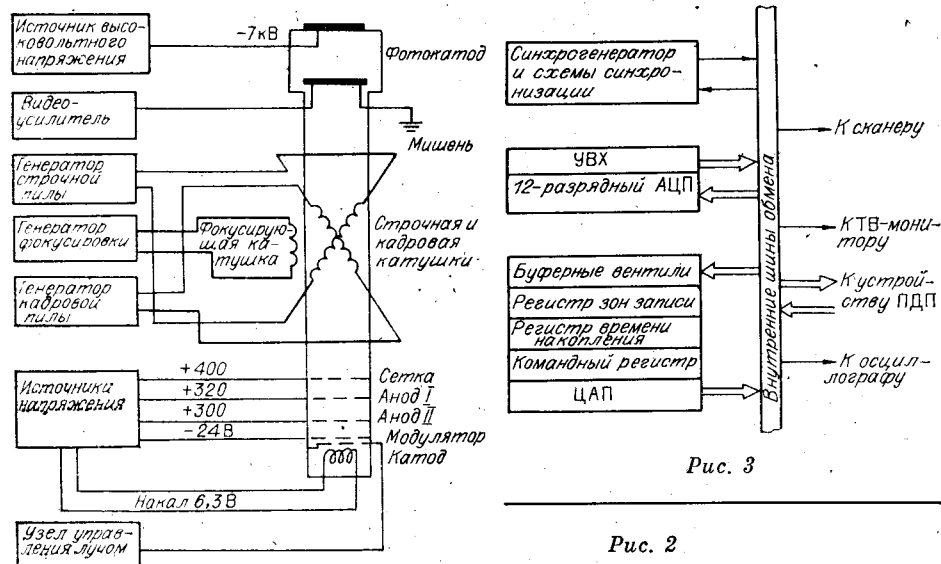


Рис. 3

Рис. 2

в дальнейшем использовать без существенных переделок в системах регистрации двумерных изображений. Формирование кадра считывания с такими параметрами требует стабильности геометрических размеров раstra и нелинейности развертывающих напряжений порядка 0,2%. Для лучшего разрешения в направлении кадровой развертки предпочтительно построичное разложение изображения. Камера должна сохранять работоспособность в условиях сильных помех, что может быть достигнуто лишь тщательным экранированием и рациональным размещением узлов камеры.

Использование прикладных КТП нам представилось нецелесообразным из-за необходимости значительной переделки последних. Поэтому была разработана и изготовлена специализированная передающая телевизионная камера (сканер), ориентированная на работу с супервидиконном ЛИ-702. Камера по сути представляет собой детекторную головку с минимальным набором оборудования для управления ЭЛТ.

Управляющие сигналы, а также сигналы, вырабатываемые камерой, имеют достаточно большой уровень и передаются по коаксиальным кабелям, что важно в условиях больших помех.

Блок-схема сканера приведена на рис. 2. Основой сканера служит супервидикон ЛИ-702, встроенный в стандартную отклоняющую систему ФОС-10, в которой для улучшения фокусировки постоянные фокусирующие магниты заменены электромагнитной катушкой.

Электрические сигналы построичного телевизионного раstra в виде прямоугольных импульсов строк и кадров, вырабатываемые блоком управления, запускают интеграторы, формирующие развертывающие напряжения пилообразной формы. Развертки подаются на строчную и кадрную катушки ФОС через токовые усилители. Предусмотрены подстройка амплитуды разверток и коррекция нелинейностей. Разрешение в центре кадра не хуже 500 телевизионных линий. Считывающим зарядочувствительным усилителем ток мишени каждой строки преобразуется в напряжение порядка 1 В и передается в блок управления. Узел управления лучом контролирует нормальную работу ЭЛТ и вырабатывает сигналы о состоянии наиболее важных ее блоков. Он определяет последовательность подачи питающих напряжений при включении камеры, осуществляет защиту мишени от прожигания в случае неисправности разверток, формирует на катоде ЭЛТ сигналы гашения, по команде от блока управления запирает считывающий луч на время накопления изображения на мишени.

Два преобразователя напряжения, встроенные в камеру, вырабатывают соответственно высоковольтное напряжение для секции электронно-

оптического переноса изображения и анодные напряжения для фокусировки считывающего луча.

Стабильность геометрических размеров изображения достигается жесткой стабилизацией токов и напряжений, питающих соответствующие схемы.

Все узлы камеры размещены в закрытом контейнере, соединенном длинным многожильным кабелем с блоком управления. По этому кабелю поступают управляющие сигналы и напряжения, необходимые для работы камеры. На передней панели контейнера есть резьбовое окно для объектива. Подвижная консоль, на которой укреплен супервидикон, обеспечивает продольное перемещение ЭЛТ в пределах 20 мм, что удобно при наводке на резкость. Считывающий усилитель расположен вблизи мишени ЭЛТ и помещен в отдельный экран.

Регистрируемая спектральная картинка располагается относительно фотокатода суперкремникона так, чтобы при считывании телевизионного кадра с кремниевой мишени изменение длины волны спектра происходило в направлении кадровой развертки. При таком способе считывания спектра есть возможность увеличить время, отводимое на преобразование единичного отсчета на видеосигнале в цифровую форму.

В направлении строчной развертки полный кадр разделен на 16 зон. В пределах части строки, относящейся к одной зоне, сигнал, захваченный устройством выборки — хранения (УВХ), преобразуется в цифровую форму, представляя тем самым один отсчет в зоне по данной строке. Номера записываемых в память отсчетов задаются программно. Это обеспечивает возможность регистрировать до 16 различных профилей спектра с разрешением 512 отсчетов. Отметим, что в системах для регистрации спектров типа ОМА [2, 6], ОSA [3] можно регистрировать только один спектр с разрешением 500 отсчетов, что связано с интегрированием видеосигнала в пределах строки. В описываемой системе интегрирование можно осуществлять программно, суммируя отсчеты по строке, или при вводе подряд нескольких кадров. Как и в [2, 3, 6], в данной системе предусмотрен режим накопления изображения на мишени супервидикона. При этом считывающий луч запирается на заданное время, а затем осуществляется считывание накопленного сигнала.

Блок управления и устройство прямого доступа к памяти ЭВМ. Выбор оператором режимов работы камеры и передача команд от ЭВМ к регистратору происходят через блок управления и устройство ПДП. В блоке управления производится также преобразование данных из аналоговой формы в цифровую и обратно. Структура блока управления приведена на рис. 3. В его составе есть три регистра: регистр зон записи в память, регистр времени накопления и командный регистр.

Регистр зон записи указывает номера отсчетов по строке для последующей записи в память ЭВМ. Максимальное число отсчетов по строке равно 16. Это определяется максимальной скоростью передачи данных, которую обеспечивает данный тип устройства ПДП, — 250 К слов в секунду.

Регистр времени накопления задает промежуток времени (в кадровых интервалах), на который производится запираение считывающего луча перед началом сканирования, т. е. считывания информации с кремниевой мишени. Максимальная задержка равна 255 кадрам (около 10 с).

Командный регистр служит для дешифрации команд, поступающих от ЭВМ через регистр состояния устройства ПДП в блок управления. Три разряда регистра состояния устройства ПДП предназначены для связи с устройством пользователя. Они использованы для записи и чтения регистров блока управления, запуска КТП и визуализатора.

Рассмотрим более подробно АЦП, входящий в состав блока управления. Требования к каналу кодирования видеосигнала формулировались с учетом необходимой разрядности преобразования и архитектуры системы, в которой ввод данных в ЭВМ должен быть выполнен через канал ПДП.

Каналы ПДП современных мини- и микро-ЭВМ характеризуются минимальными временами доступа к памяти 1—2 мкс. Однако серийных устройств преобразования аналоговой информации с производительностью канала ПДП и приемлемой разрядностью (12 бит) промышленность не выпускает. Микроэлектронные АЦП разрядности 12 бит имеют время преобразования 40—50 мкс,

а лучшие ЦАП такой же точности характеризуются временем установления порядка 0,5 мкс. Очевидно, что АЦП, построенный по классической схеме поразрядного уравнивания с применением подобного ЦАП, будет иметь цикл преобразования более 10 мкс. Современный технологический уровень производства аналого-цифровых интегральных схем позволяет выпускать пока АЦП телевизионного сигнала с разрядностью не более 8 бит. Поэтому разработка АЦП разрядностью 12 бит с временем преобразования 1—2 мкс представлялась актуальной. При работе с изображением малой интенсивности важно обеспечить малый уровень собственных шумов регистратора. Этого можно достигнуть, например, охлаждением фотокатода и мишени суперкремникона [2]. При этом динамический диапазон регистратора повышается. Разрядность применяемого АЦП достаточна и для этого случая работы системы.

Наша задача состояла в создании реального устройства, пригодного для тиражирования и базирующегося на современной и доступной микроэлектронной базе. На рис. 4 показана структурная схема разработанного параллельно-последовательного двухступенчатого АЦП. Для грубого квантования во время первого такта используется 6-разрядная быстродействующая секция АЦП1 (1107ПВ1). Результат преобразования заносится в регистр $RG1$, связанный с ЦАП 1108ПА1, и подается на сумматор. Цифровой результат грубой оценки входного сигнала преобразуется точным ЦАП в аналоговую форму и вычитается из входного сигнала. Получаемая разность усиливается и подвергается второму циклу кодирования. Поскольку разность может быть разнополярной, а секция АЦП2 имеет однополярную шкалу, в архитектуре преобразователя предусмотрен блок амплитудной свертки, выпрямляющий сигнал. Одновременно с помощью компаратора 2 устанавливается знак разности. Второй отсчет, представленный словом в 7 бит, подается на сумматор со сдвигом в 5 бит относительно первого отсчета. Для того чтобы преобразовывать двухполярный входной сигнал, аналогичными блоками свертки 1 и компарирования 1 снабжена и первая секция АЦП. Анализ показывает, что при двух отсчетах по 7 бит и сдвиге разрядной сетки второго отсчета 5 бит необходимый коэффициент усиления разности равен 32. При этом за счет двухбитного перекрытия разрядных сеток грубого и точного отсчетов на втором такте будет исправляться ошибка дифференциальной и интегральной нелинейности первого такта, достигающая 100% от номинала. Единственным узлом системы, имеющим точность, соответствующую 12 разрядам, является ЦАП 1108ПА1. Экспериментальные исследования макета преобразователя с указанными типами АЦП, ЦАП и операционными усилителями 554УД2 в качестве активных элементов свертки и усиления показали, что при точности 12 бит уверенно достигается быстродействие 2 мкс. При этом наиболее узким местом, лимитирующим дальнейшее повышение производительности, является усилитель разностного сигнала. Для исключения динамических искажений и однозначной

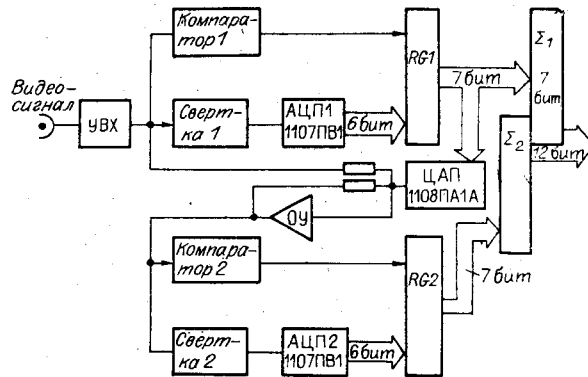


Рис. 4

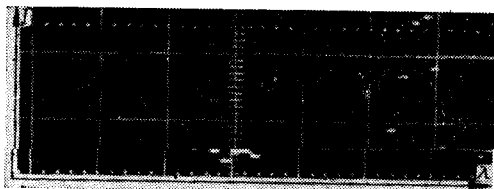


Рис. 5

привязки результата измерений ко времени на входе преобразователя установлено УВХ компенсационного типа, выполненное на операционном усилителе 140УД5А

Испытание системы регистрации. Для проверки работоспособности системы регистрации и проведения тестовых испытаний было составлено несколько простых

программ, позволяющих осуществлять запуск регистратора, проводить накопление изображения на мишени суперкремникона и в памяти ЭВМ, выводить записанные в память ЭВМ спектры на экран осциллографа.

На рис. 5 в качестве примера приведен фрагмент спектра излучения неоновой лампы. На фотокатод проецировался участок спектра от 600 до 700 нм (512 отсчетов), выведенный на экран осциллографа фрагмент имеет протяженность по λ около 10 нм.

Следующие снимки характеризуют работу системы при накоплении изображения малой интенсивности. На рис. 6, а показан участок спектра светодиода (λ от 600 до 700 нм), полученный при непрерывном сканировании мишени, на рис. 6, б — накопление изображения на мишени суперкремникона в течение 12 кадров. На рис. 7 приведена зависимость амплитуды сигнала U_c от времени накопления T_n на мишени при стационарной картинке на фотокатод (кривые 1 и 2 соответствуют различной интенсивности входного сигнала, горизонтальный участок кривой 1 показывает уровень сигнала, соответствующий насыщению мишени). Линейный характер приведенной зависимости позволяет предположить, что накопление изображения на мишени можно проводить в течение нескольких секунд. Заметим, что в регистраторе [4], где использовался один из первых образцов супервидикона, мишень допускала накопление только в течение 200—250 мс.

Работа с импульсным источником света позволила получить информацию о времени хранения изображения на мишени и о том, какая часть сигнала остается на мишени после считывания. Изображение подавалось на фотокатод суперкремникона перед началом считывания в течение ста микросекунд, т. е. времени, много меньшего длительности телевизионного кадра. Задержка считывания на время, равное нескольким десяткам кадровых интервалов, не влияла на величину сигнала с мишени, что подтверждает предыдущие соображения о возможности накопления изобра-

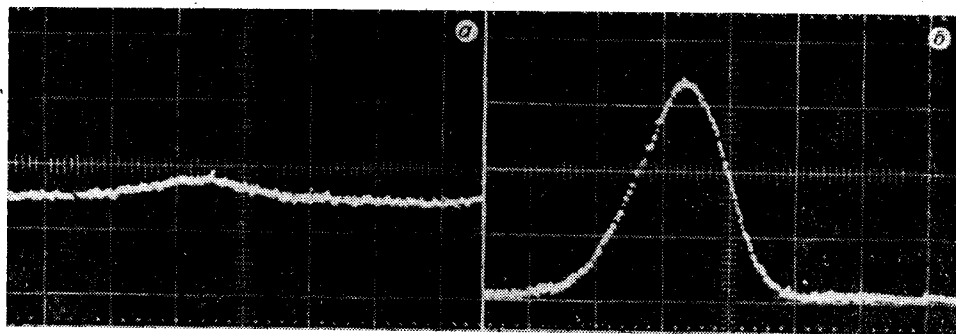


Рис. 6

жения на мишени в течение нескольких при первом считывании. Сильная световая перегрузка, приводящая к насыщению значительной части мишени, несколько изменяет это соотношение.

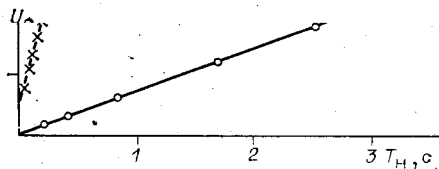


Рис. 7

Таким образом, предварительные испытания показали пригодность разработанной системы в качестве многоканального регистратора оптических спектров слабосветящихся объектов. Приближенная оценка показывает, что без накопления изображения на мишени суперкремникова система уверенно регистрирует сигнал порядка 10^{-9} Вт/см². Накопление позволяет уменьшить эту величину на полтора — два порядка. Учитывая свойство кремниевой мишени накапливать изображение и хранить его в течение некоторого времени, подобную систему в сочетании с разверткой изображения на входе можно использовать для изучения динамики спектров (например, 16 точек по времени для одного спектра из 512 отсчетов по длине волны).

ЛИТЕРАТУРА

1. Петраков А. В., Харитонов В. М. Высокоточные телевизионные комплексы для измерения быстропротекающих процессов. — М.: Атомиздат, 1979.
2. OMA Catalogue: Проспект фирмы «Princeton Applied Research» Corporation, 1975.
3. Optical Spectra Analysis: Проспект фирмы V&M Spectronik, 1976.
4. Бондаренко Ю. В., Будцев В. Я., Касперович А. Н. Система для регистрации и ввода в ЭВМ одномерных изображений слабосветящихся объектов и быстропротекающих процессов // Автометрия. — 1983. — № 4.
5. Гончарик С. В., Григоренко А. М., Ершов-Павлов Е. А. и др. Автоматизированный спектрометрический комплекс АСК-4 для оптических исследований быстропротекающих процессов // ПТЭ. — 1985. — № 5.
6. Хейдер С. М. Машинный интерфейс с прямым доступом к памяти для оптического многоканального анализатора // Приборы для науч. исслед. — 1983. — № 2.
7. Малявкин Л. П., Силькис Э. Г., Титов В. Д. Автоматизированная многоканальная фотоэлектрическая система регистрации слабых спектров // ПТЭ. — 1985. — № 5.

Поступила в редакцию 8 октября 1986 г.

УДК 687.7 : 621.3.019.3 : 681.3

Е. Н. БОГОМОЛОВ, Ю. Г. ВАСИЛЕНКО, Н. В. ВАСИЛЕЦ,
В. В. ВЕРТОПРАХОВ, Б. И. СПЕКТОР, Ю. В. ЧУГУЙ,
С. Ф. ШУЛЬЖЕНКО, А. М. ЩЕРБАЧЕНКО, В. П. ЮНОШЕВ
(Новосибирск)

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ РАЗМЕРОВ «КОНТУР-2»

Разработка и создание высокоэффективных средств автоматического контроля геометрии деталей, в частности тел вращения, — одна из насущных задач приборостроения. Ее решение особенно актуально для крупносерийного и массового производства на базе конвейерных линий, в условиях которых контрольно-измерительные приборы, кроме высокой