

пенсационного воздействия и вычисляется значение $R_{ж}$, выбрано отношение амплитуд резонансных колебаний при встречном и согласном включении $L1$ и $L2$, соответствующая состоянию, когда проводимость жидкости равна нулю.

Условие согласования резонансной частоты колебаний с диапазоном измерений УЭП для обеспечения максимальной чувствительности, для двухстержневого индукционного ПИП соответствует зависимости (5), поскольку условия взаимодействия с жидкостью не изменились.

Стоит отметить, что в применяемых ранее компенсационных схемах измерений индукционного ПИП, неинформативное воздействие температуры определялось также добротностью колебательной системы, которая в свою очередь зависит от УЭП жидкости. Иными словами, температурную коррекцию результатов измерений необходимо было производить с учётом текущего значения УЭП жидкости, или мириться с большой дополнительной погрешностью измерений. В разработанном варианте добротность колебательной системы, при выполнении условия (7), остается постоянной во всем диапазоне УЭП жидкости. Соответственно, погрешность измерений остаётся постоянной во всём температурном рабочем диапазоне ПИП. В результате серийно, выпускаемые образцы индукционных штыревых кондуктометров имеют диапазон измерений удельной электропроводности от 0,1 до 200 См/м, при температуре от 0 до 150 °C (сохраняют работоспособ-

ность до 200 °C) с относительной погрешностью измерений не более 1% во всём температурном диапазоне.

Дальнейшее совершенствование прибора связано с реализацией адаптивной автоматической калибровкой с целью уменьшения влияния внешних магнито- и электропроводящих элементов конструкции технологического оборудования (трубопроводом, стенок бака и т.д.), а также оптимизацией выполнения обмоток катушек индуктивности для снижения влияния распределенной электрической емкости на эффективность измерительных преобразований.

Выводы В результате применения предложенного компенсационного варианта индукционного ПИП удалось уменьшить чувствительность измерительных преобразований к нестабильности электронных схем возбуждения колебаний, а также снизить и стабилизировать результат влияния температуры ПИП на измерение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 2299426 Российская Федерация С1 G01N 27/02. Устройство для измерения электропроводности жидких сред [Текст] / Д. Е. Кривобоков; заявитель и патентообладатель Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. - № 2005133600/28, заявл. 31.10.2005; опубл. 20.05.2007 Бюл.№14 от 20.05.2007.
К.т.н., доц. **Кривобоков Д.Е.**, тел. (3852) 26-04-92, krivobok@ab.ru - Алтайский гостехуниверситет.

УДК: 621.389.93

ВЫДЕЛЕНИЕ ВИДЕОСИГНАЛА С МУЛЬТИСКАНА МОДУЛЯЦИЕЙ РАЗВЕРТЫВАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ю.К. Шелковников

В статье рассмотрены вопросы формирования видеосигнала с многоэлементного фотоприемника мультискана посредством применения модулированного напряжения развертки. Показано, что за счет модуляции напряжения опроса дифференцирование тока мультискана происходит внутри сканисторной структуры, и для выделения видеосигнала не требуется специальных дифференцирующих устройств, ухудшающих точность его выделения. Выявлено, что выделение переменной составляющей выходного тока мультискана целесообразно производить суммированием выходного тока с его задержанной на четверть периода модуляционной частоты и инвертированной «копией».

Ключевые слова: Мультискан, сканисторная структура, видеосигнал, развертывающее напряжение, модуляция, синхронное детектирование

Введение

Многоэлементный фотоприемник мультискан обладает широкими функциональ-

ми возможностями и применяется в прецизионных бесконтактных измерителях перемещений, скоростей, взаимного положения объ-

РАЗДЕЛ II. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

ектов [1-5]. Мультискан [6], в отличие от других сканисторных структур, конструктивно выполнен в виде интегральной схемы и имеет три линейки точечных р-п – переходов $D1_j$, $D2_j$, $D3_j$ (рисунок 1) и два продольно распределенных резистивных делителя $R1$, $R2$. Диоды $D1_j$, $D2_j$ крайних линеек являются коммутационными, диоды $D3_j$ средней линейки – фоточувствительными. Делители имеют сопротивление 5...20 кОм и снабжены выводами 1-2, 3-4; «аноды» фотодиодов соединены с общей низкоомной выходной шиной (вывод 5). Коммутационные диоды могут быть как фоточувствительными, так и экранированными от воздействия света, а также иметь меньшую площадь, чем фотодиоды.

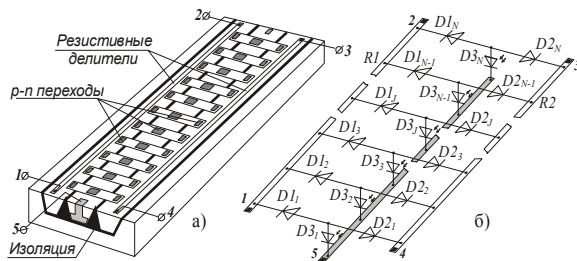


Рисунок 1 – Общий вид мультискана и его эквивалентная схема

Мультискан, в отличие от дискретного сканистора, имеет более сложную структуру и большее количество выводов, в связи с этим возможны различные схемы его коммутации. Известны несколько основных схем включения мультискана: «бабочка», «слепое пятно», «фотопотенциометр», «сканисторное» включение.

Анализ режимов и схем включения мультискана показывает, что схема включения «сканистор» (рисунок 2) при наиболее простой коммутации мультискана и невысоком напряжении опроса во время-импульсном режиме работы обеспечивает измерение распределения освещенности вдоль фоточувствительной поверхности и одновременно формирует сигнал о текущем значении суммарного светового потока.

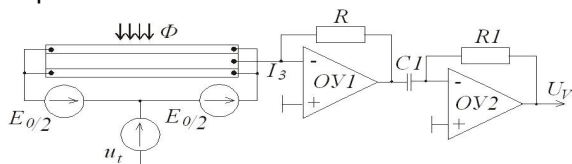


Рисунок 2 – Включение мультискана по схеме «сканистор»

В схеме включения «сканистор» на резистивные делители, включенные параллельно,

подается постоянное напряжение смещения E_0 , к средней точке источника смещения E_0 подключается генератор двухполярного пилообразного напряжения (ГПН) с размахом амплитуды от $-E_0/2$ до $+E_0/2$. Коммутация очередной элементарной ячейки происходит в момент достижения напряжением u_t с ГПН уровня напряжения на ячейке от источника постоянного смещения E_0 . При этом фотодиод ячейки переключается из закрытого состояния в открытое, а коммутационные диоды – из открытого состояния в закрытое. Если очередная опрашиваемая ячейка освещена, то её фотодиод и коммутационные диоды формируют соответствующий освещенности выходной ток. В процессе опроса на вход ОУ1 с общей шины фотодиодов поступает ток:

$$I(t) = k \int_0^{x(t)} \Phi'''(x) \cdot dx + k \int_{x(t)}^l [\Phi'(x) + \Phi''(x)] \cdot dx, \quad (1)$$

где $x(t)$ – координата опрашиваемой ячейки; l – длина фоточувствительной линейки; $\Phi'(x)$, $\Phi''(x)$ и $\Phi'''(x)$ – освещенность коммутационных диодов и фотодиода опрашиваемой ячейки; k – коэффициент. После дифференцирования этого тока формируется напряжение видеосигнала, пропорциональное распределению освещенности вдоль фоточувствительной линейки:

$$U_v = B \cdot \frac{dI}{dt} = B \cdot \Phi(x),$$

$$\Phi(x) = -\Phi'(x) + \Phi''(x) + \Phi'''(x) \quad (2)$$

Недостатком данной схемы является увеличение величины апертуры в случае неидентичности градиентов сопротивления вдоль делительных шин мультискана.

Выделение видеосигнала с мультискана модуляцией развертывающего напряжения

В условиях световых помех постоянного или медленно изменяющегося уровня для их исключения применяют амплитудную модуляцию светового сигнала. Сигналы управления положением нулевой эквипотенциали при этом формируются посредством высокочастотной фильтрации, синхронного детектирования и сглаживания выходных сигналов мультискана.

При невозможности модулировать источник излучения для улучшения помехоустойчивости мультискана можно применить модуляцию развертывающего напряжения синусоидальным напряжением [7].

Модуляция развертывающего напряже-

ния [8] $E_k = E_0 \cdot t / T + E_m \cdot \cos 2\pi\nu_0 \cdot t$, (где $\nu_0 \approx 1/T$) опроса (МРНО) используется в информационно-измерительных системах (ИИС) на основе мультискана для уменьшения погрешности преобразования посредством более точного выделения видеосигнала и повышения отношения сигнал/шум. Применение МРНО с последующим использованием синхронного детектирования аналогично дифференцированию тока сканистора по схеме встроенного трансверсального фильтра верхних частот (рисунок 3), где функции линии задержки ЛЗ и вычитающего сумматора СМ выполняет мультискан при воздействии на него модулирующего напряжения $E_m \cdot \cos 2\pi\nu_0 \cdot t / T$.

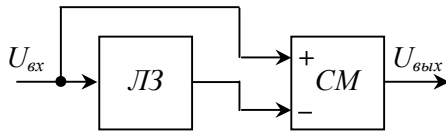


Рисунок 3 – Структурная схема трансверсального фильтра верхних частот первого порядка

При этом на коллекторе мультискана возникают высокочастотные изменения тока во времени, последовательно соответствующие опросу $(n+1)$, n ; $(n+2)$, $(n+1)$; $(n+3)$, $(n+2)$... фотодиодных ячеек мультискана, а на выходе фильтра нижних частот (ФНЧ) выделяется низкочастотная огибающая видеосигнала. Амплитуда E_m модулирующего напряжения выбирается достаточно малой из условия $I_m \cdot dI_{ck} / dt \ll (I_m^2 / 2) \cdot d^2 I_{ck} / dt^2$ разложения тока I_{ck} мультискана в окрестностях точки t_0 / T в ряд Тейлора, ограниченный членом с его первой производной:

$$I_{ck}(t_0 / T + \Delta t / T) = I_{ck} \cdot t_0 / T + I_m \cdot (dI_{ck} / dt) \cdot \cos 2\pi\nu_0 \cdot t / T \quad (3)$$

При синхронном детектировании модулированного тока его низкочастотная огибающая является производной тока мультискана, т.е. видеосигналом.

Применение МРНО при построении ИИС на основе мультискана обладает следующими преимуществами:

- за счет модуляции напряжения опроса дифференцирование тока мультискана происходит внутри сканисторной структуры, и для выделения видеосигнала не требуется специальных дифференцирующих устройств, ухудшающих, согласно [9], точность выделения видеосигнала;

- дифференцирование тока мультиска-

на, т.е. выделение видеосигнала, производится более точно, так как разность между двумя соседними значениями тока мультискана выявляется не в результате «оцифровки», измерения и сравнения их полных значений, а внутри сканисторной структуры в процессе ее опроса;

- использование встроенного дифференцирования с амплитудно-частотной характеристикой трансверсального фильтра верхних частот позволяет отфильтровать видеосигнал от низкочастотных помех;

- применение синхронного детектирования при выделении видеосигнала повышает помехоустойчивость ИИС на основе мультискана и улучшает отношение сигнал/флуктуационный шум в $\sqrt{4B\tau}$ раз (где τ – постоянная цепи интегрирования ФНЧ, $\pm B$ – спектральный интервал шума) [8].

Рассмотрим процесс выделения и формирования видеосигнала мультискана, включенного по схеме «сканистор» (рисунок 4).

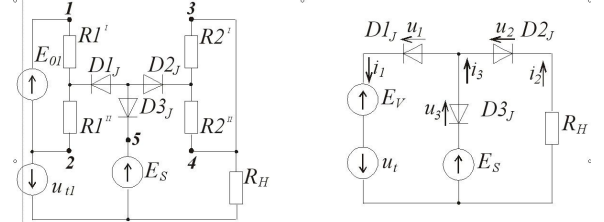


Рисунок 4 – Эквивалентные схемы выделения видеосигнала с мультискана при его включении по схеме «сканистор»

При амплитудной модуляции развертывающего напряжения, напряжение генератора опроса описывается выражением:

$$u_l(t) = E_0 \left(\frac{1}{T} + k_m \sin(2\pi f_m t) \right), \quad (4)$$

где k_m – коэффициент модуляции; f_m – частота модуляции. При этом токи диодов освещенной ячейки с координатой x определяются в виде:

$$i_1 = 3 \left[\frac{\exp \left[-\lambda E_0 \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} - k_m \sin(2\pi f_m t) \right) \right]}{\exp \left[-\lambda E_0 \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} - k_m \sin(2\pi f_m t) \right) \right] + 1} - 1 \right] (i_s + i_f) \quad (5)$$

$$i_2 = 1 - \left[\frac{3}{\exp \left[-\lambda E_0 \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} - k_m \sin(2\pi f_m t) \right) \right] + 1} \right] (i_s + i_f) \quad (6)$$

$$i_3 = i_s + i_f \quad (7)$$

Введём обозначения $\rho = \lambda E_0 / l$, $\tau = \lambda E_0 / T$, $\omega = 2\pi f_m$, $\mu = \lambda E_0 k_m$, тогда:

РАЗДЕЛ II. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

$$i_1 = \left(3 \frac{\exp(-px + t\tau + \mu \sin(\omega \cdot t))}{\exp(-px + t\tau + \mu \sin(\omega \cdot t)) + 1} - 1 \right) (i_s + i_f) \quad (8)$$

$$i_2 = \left(1 - 3 \frac{1}{\exp(-px + t\tau + \mu \sin(2\pi f_m t)) + 1} \right) (i_s + i_f) \quad (9)$$

$$i_3 = i_s + i_f \quad (7)$$

Характер изменения выходного тока i_2 ячейки от времени при её коммутации модулированным напряжением опроса (кривая 1) приведен на рисунке 5, кривая 2 на этом же рисунке отображает изменение тока i_2 при отсутствии модуляции опрашивающего напряжения. По оси абсцисс отмечено линейно изменяющееся во времени напряжение коммутации ячейки в диапазоне от $-0,2B$ до $+0,2B$. Сравнение кривых 1 и 2 показывает, что амплитуда переменной составляющей выходного тока ячейки пропорциональна тангенсу угла наклона кривой 2, т.е. первой производной тока по времени.

Определим интегральные токи, протекающие через источник пилообразного напряжения опроса, выходную шину и общую шину фотодиодов (через источник смещения E_s) при освещении мультискана световой зоной постоянной освещенности с граничными координатами $x_1 - x_2$:

$$I_1(t) = \int_0^1 i_1(x, t) dx = \int_0^1 i_{1s}(x, t) dx + \int_{x_1}^{x_2} i_{1f}(x, t) dx \quad (10)$$

$$I_2(t) = \int_0^1 i_2(x, t) dx = \int_0^1 i_{2s}(x, t) dx + \int_{x_1}^{x_2} i_{2f}(x, t) dx \quad (11)$$

$$I_3(t) = \int_0^1 i_3(x, t) dx = \int_0^1 i_{3s}(x, t) dx + \int_{x_1}^{x_2} i_{3f}(x, t) dx \quad (12)$$

После интегрирования получим:

$$I_{1f}(t) = \left(\frac{3}{p} \ln \left(\frac{\exp(-px_1 + t\tau + \mu \sin(\omega t)) + 1}{\exp(-px_2 + t\tau + \mu \sin(\omega t)) + 1} \right) + x_1 - x_2 \right) i_f + \left(\frac{3}{p} \ln \left(\frac{\exp(t\tau + \mu \sin(\omega t)) + 1}{\exp(-pL + t\tau + \mu \sin(\omega t)) + 1} \right) - L \right) i_s \quad (13)$$

$$I_{2f}(t) = \left(\frac{3}{p} \ln \left(\frac{\exp(-px_1) \exp(t\tau) \exp(\mu \sin(\omega t)) + 1}{\exp(-px_2) \exp(t\tau) \exp(\mu \sin(\omega t)) + 1} \right) - 2(x_2 - x_1) \right) + \left(\frac{3}{p} \ln \left(\frac{\exp(t\tau) \exp(\mu \sin(\omega t)) + 1}{\exp(-pL) \exp(t\tau) \exp(\mu \sin(\omega t)) + 1} \right) - 2L \right) i_s \quad (14)$$

$$I_{3f}(t) = (x_2 - x_1) i_f + L i_s \quad (15)$$

На рисунках 6,7 приведены эюры выходного тока мультискана при опросе модулированным напряжением развертки u_i . При модуляции синусоидальным напряжением малой амплитуды в выходном токе мультискана появляется переменная составляющая с частотой модуляции. Амплитуда $A_{\sim}$ пере-

менной составляющей выходного тока в момент времени t определяется средней скоростью его изменения во времени, которая соответствует плотности распределения светового потока (рисунки 8,9). Амплитуда модулирующего напряжения Δu_i для напряжения развертки должна выбираться достаточно малой, соответствующей периоду высшей частоты в спектре интенсивности полезного светового сигнала, а частота модуляции – максимально высокой, при которой надежно выявляется переменная составляющая выходного тока.

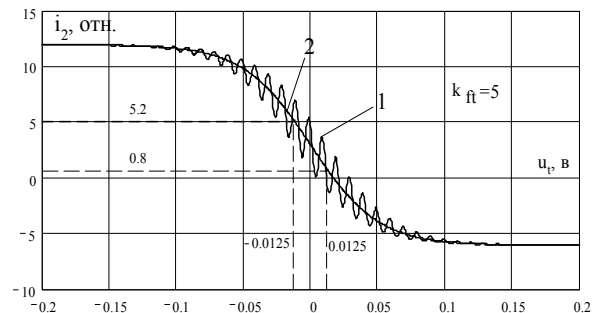


Рисунок 5 – Ток i_2 ячейки мультискана при опросе напряжением развертки: 1 – модулированным; 2 – без модуляции

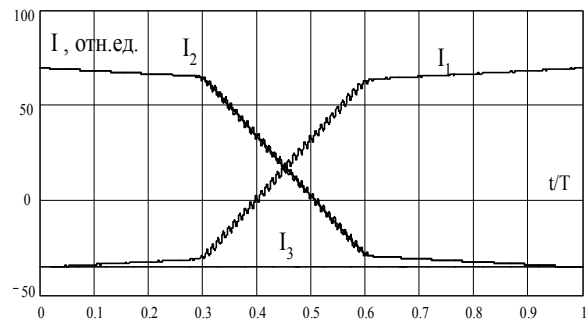


Рисунок 6 – Интегральные токи i_1 , i_2 , i_3 мультискана при опросе модулированным напряжением развертки

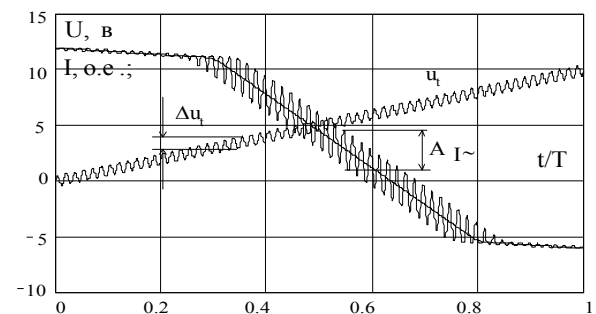


Рисунок 7 – Выходной ток i_2 мультискана при опросе модулированным напряжением развертки

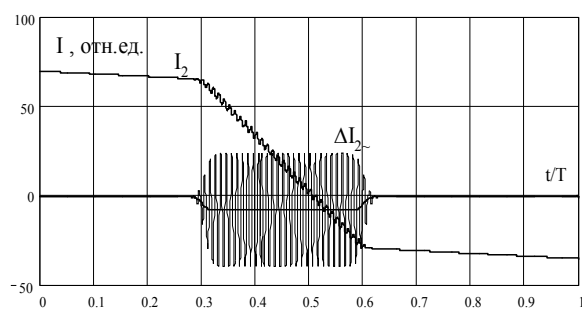


Рисунок 8 – Интегральный ток i_2 мультискана при опросе модулированным напряжением развертки

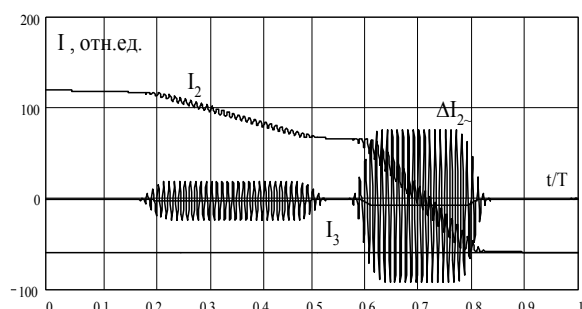


Рисунок 9 – Интегральные токи I_2 , I_3 мультискана при опросе модулированным напряжением развертки двух световых зон с разной освещенностью

Результаты и их обсуждение

На рисунке 10 приведена структурная схема формирования видеосигнала с использованием модулированного напряжения развертки, где ИИ – источник излучения; О – объект; ОС – оптическая система; ГР – генератор развертки; ФП – фотоприемник мультискана; Г – генератор модулирующего напряжения; ФВ – фазовращатель; ПТН – преобразователь ток–напряжение; ПФ – полосовой фильтр; СД – синхронный детектор; ФНЧ – фильтр низких частот; ФИИ – формирователь измерительных импульсов.

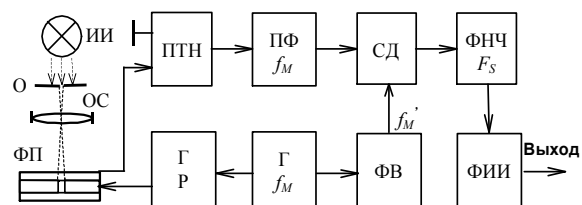


Рисунок 10 – Структурная схема формирования видеосигнала с использованием модулированного напряжения развертки

Сравнение схем выделения видеосигнала при модуляции светового потока и при модуляции напряжения развертки показывает, что они содержат одинаковые функциональные элементы и структуру, однако сравни-

тельный анализ особенностей формирования видеосигнала показал следующие отличия.

Если при амплитудной модуляции светового потока форма сигнала на выходе ФНЧ эквивалентна постоянной составляющей выходного тока СС, и для получения видеосигнала (информации о распределении и интенсивности светового потока вдоль СС) этот сигнал нужно продифференцировать, то при модуляции напряжения развертки видеосигнал формируется непосредственно на выходе ФНЧ. При модуляции развертывающего напряжения могут быть применены частоты более низкие (десятки кГц), чем при модуляции светового сигнала – это объясняется большим временем перезаряда емкостей диодов ячеек по сравнению с временем жизни неосновных носителей (генерируемых светом), в основном определяющих фотоэлектрическое быстродействие фотодиодов.

Экспериментально проверено использование режима амплитудной модуляции пилообразного напряжения развертки для выделения импульсов фототока от отдельных освещенных ячеек мультискана. Установлено, что оптимальная величина амплитуды модулирующего напряжения составляет (0,25–0,5) шагового напряжения между ячейками структуры.

В режиме модуляции развертывающего напряжения имеет место прямое прохождение переменной составляющей на частоте модуляции через емкости диодов структуры на выходную шину, переменная составляющая мультискана ограничивает работу при малых уровнях световых сигналов или частоту модуляции сверху. Выделение переменной составляющей выходного тока мультискана при модуляции напряжения развертки целесообразно производить посредством суммирования выходного тока с его задержанной на четверть периода модулирующей частоты и инвертированной «копией».

Схема включения «сканистор» при сравнительно простой коммутации мультискана обеспечивает измерение необходимых как геометрических параметров – координат, размеров или перемещений, так и световых параметров световых зон.

При модуляции напряжения развертки синусоидальным напряжением амплитуда переменной составляющей выходного тока мультискана пропорциональна распределению освещенности вдоль фоточувствительной поверхности мультискана. Амплитуда модулирующего напряжения не должна превышать половины шагового напряжения между ячейками структуры. При демодуляции

РАЗДЕЛ II. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

переменной составляющей выходного тока и ее низкочастотной фильтрации формируется видеосигнал. Определение координаты или размера световых зон производится по видеосигналу обычным способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелковников, Ю.К. Теоретические основы и технология изготовления телевизионных сканиstorных структур [Текст] / Ю.К. Шелковников, А.М. Липанов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 142с.
2. Липанов, А.М. Разработка и применение оптико-электронных систем на основе сканистора [Текст] / А.М. Липанов, Ю.К. Шелковников // Проблемы механики и материаловедения. – Сб. научных трудов. – Екатеринбург: УрО РАН, 1994.-Вып.1. – С.134-149.
3. Липанов, А.М. Применение мультискана для измерения геометрических характеристик изделий [Текст] / А.М. Липанов, Ю.К. Шелковников, Н.И. Осипов // Проблемы конверсии и экологии энергетических материалов (ISOC-96): Сб. докл. международной конф. по внутрикамерным процессам и горению. – Ижевск: ИПМ УрО РАН, 1997. – С.531-536.
4. Липанов, А.М. Формирование видеосигнала с мультискана модулированным напряжением опроса [Текст] / А.М. Липанов, Ю.К. Шелковников, Н.И. Осипов // Современные проблемы внутренней баллистики РДТТ. – Ижевск: ИПМ УрО РАН, 1996. – С.268-275.
5. Подласкин, В.Г. Фильтрация медианы оптического сигнала на фоне мощных посторонних засветок с помощью фотоприемника мультискан [Текст] / В.Г. Подласкин [и др.] // ЖТФ. – Т.65, В.9, 1995. – С.104-110.
6. Берковская, К.Ф. Особенности конструкции многоэлементного фотоприемника мультискана [Текст] / К.Ф. Берковская, Н.В. Кириллова, Б.Г. Подласкин // Оптическая и цифровая обработка изображений. – Л.: Наука, 1988. – С.155-160.
7. Шелковников, Ю.К. Проектирование оптико-электронных устройств для измерения геометрических размеров на основе мультискана [Текст] / Ю.К. Шелковников, Н.И. Осипов // Моделирование технических объектов и систем. Избранные ученые записки ИжГТУ. – Ижевск: изд-во ИжГТУ, 1998. – Т.2. – С.83-94.
8. Макс, Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях [Текст] / Ж. Харт. – М.: Мир, 1983. – Т. 2. – 216с.

Госьков, П.И. Метрология и технология полупроводниковых сканиstorов [Текст] / П.И. Госьков. – Томск: ТГУ, 1977. – 190с

Д.т.н., зав. отд. Шелковников Ю.К., - (3412) 59-58-04, evshelk@mail.ru - Институт прикладной механики УрО РАН.