

07;12

Построение синтезированной апертуры на фотоприемниках Мультискан

© Б.Г. Подласкин, А.В. Васильев, Е.Г. Гук, Н.А. Токранова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Поступило в Редакцию 27 декабря 1999 г.)

Предложен метод двухапертурного синтеза на координаточувствительном фотоприемнике Мультискан, который позволяет снизить ошибку координатоуказания, возникающую при воздействии мощных фоновых засветок, повысить чувствительность и точность координатных измерений. Проанализированы различные способы построения синтезированной апертуры, осуществляющей преобразование светового сигнала вблизи зоны насыщения вольт-амперной характеристики мультискана.

В современных методах прецизионных измерений для оценки координат светового сигнала часто используют положение медианы входного светового распределения. Значение медианы определяют путем сравнения взвешенных значений фототоков с двух участков фотоприемника — справа и слева от искомой координаты.

Потенциальная точность таких методов (до 10^{-5} от поля зрения) может быть реализована только при высокой равномерности чувствительности по площади фотоприемника в широком динамическом диапазоне интенсивностей света, что связано с возможностью одновременного воздействия на фотоприемник слабого переменного сигнала, координаты которого подлежат определению, и мощной концентрированной посторонней засветки.

Для реализации такого интегрального метода слежения за положением одиночного модулированного светового сигнала успешно используется линейный фотоприемник Мультискан [1], позволяющий в реальном времени определить координату медианы светового распределения с точностью до 10^{-4} – 10^{-5} от длины фотоприемной площадки, т.е. до 2 – $0.2 \mu\text{m}$ в отсутствие фоновой засветки. Однако эксперименты показали, что при определенных взаимных пространственных положениях модулированного сигнала и фоновой пятна возникают резкие нарушения в точности определения медианы сигнала.

Целью данной работы является исследование возможности синтезирования на фотоприемнике Мультискан сложной апертуры, позволяющей снизить влияние мощной концентрированной фоновой засветки на точность координатоуказания медианы модулированного светового сигнала.

Как известно [1], Мультискан представляет собой кремниевую структуру, содержащую набор встречно включенных фотодиодов, одни концы которых подключены к распределенному делителю напряжения, а другие — к низкоомной сигнальной шине. При приложении к резистивному делителю постоянного напряжения (рис. 1) пары встречно включенных p – n -переходов оказываются под воздействием линейно распределенного напряжения. Направление и величина их фототоков при этом соответствует вольт-амперной характеристике прибора,

которая имеет положительную и отрицательную области насыщения и переходную зону, пространственная ширина зоны (апертура) зависит от величины напряжения, приложенного к резистивному слою, а положение нуля определяется координатой нулевого потенциала на ре-

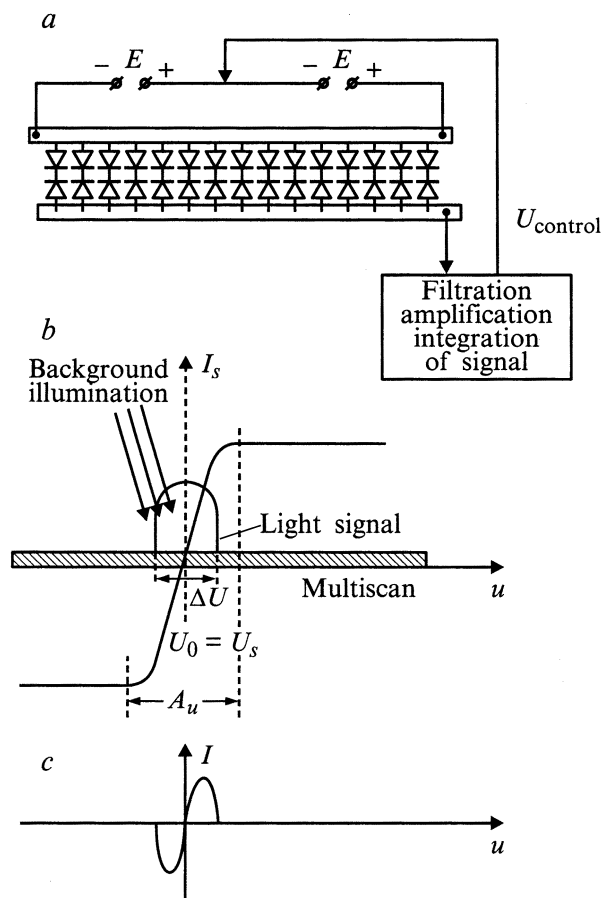


Рис. 1. К пояснению принципа работы Мультискана: *a* — включение фотоприемника Мультискан в режиме координатоуказания модулированного сигнала; *b* — взаимное расположение светового сигнала и вольт-амперной характеристики Мультискана; *c* — положительные и отрицательные составляющие фототоков, генерируемых модулированным сигналом.

зистивной шине. За счет схемы с обратной связью происходит управление напряжением на резистивном слое так, что суммарный ток сигнала на выходе Мультискана устанавливается равным нулю $\sum I_s = 0$.

Величина напряжения обратной связи U_{control} , сдвигающая положение нуля вольт-амперной характеристики, с высокой точностью соответствует координате медианы светового распределения в масштабе напряжения, распределенного на резистивном делителе, и является выходным сигналом измерительной системы.

На рис. 1, *a*, условно показаны структуры Мультискана и блок-схема устройства, в котором производится фильтрация, выпрямление и интегрирование сигнала с формированием напряжения U_{control} , соответствующего положению медианы светового сигнала U_s . К резистивному слою Мультискана приложено напряжение $2E$. На рис. 1, *b* показаны положение светового модулированного сигнала с медианой в точке U_s и вольт-амперная характеристика, положение нуля которой U_0 в масштабе приложенного напряжения $2E$ (ξ_0 — в пространстве координат x) соответствует координате U_s (ξ_s — в пространстве координат x). Соответствие положения нуля вольт-амперной характеристики медиане светового распределения видно из решения уравнения баланса токов как в пространстве координат, так и в пространстве напряжений

$$I_s = \alpha \int_0^L f(x) \text{th} \frac{x - \xi_0}{A_x} dx = 0$$

и

$$I_s = \beta \int_{-E}^E f(u) \text{th} \frac{u - U_0}{A_u} du = 0, \quad (1)$$

где L — длина Мультискана (μm); E — напряжение, приложенное к резистивному слою (V); A_x — пространственная ширина апертуры (μm); A_u — ширина апертуры в масштабе напряжений (V); α и β — коэффициенты пропорциональности (здесь и далее принято: $\alpha = \beta = 1$).

Будем считать сигнал $f(x)$ близким к прямоугольному, т. е.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \xi_1 \leq x \leq \xi_2, \\ 0 & \xi_2 < x < \xi_1, \end{cases}$$

$$f(u) = \begin{cases} 1 & U_{\xi_1} \leq u \leq U_{\xi_2}, \\ 0 & U_{\xi_2} < u < U_{\xi_1}, \end{cases} \quad (2)$$

где ξ_1, ξ_2 и U_{ξ_1}, U_{ξ_2} — границы прямоугольного оптического сигнала в пространственном масштабе координаты x и в масштабе напряжений соответственно.

В дальнейшем будем обозначать ширину этого оптического сигнала $\delta\xi$ и ΔU . Тогда уравнение баланса токов сводится к

$$\int_{U_{\xi_1}}^{U_{\xi_2}} \text{th} \frac{u - U_0}{A_u} du = 0,$$

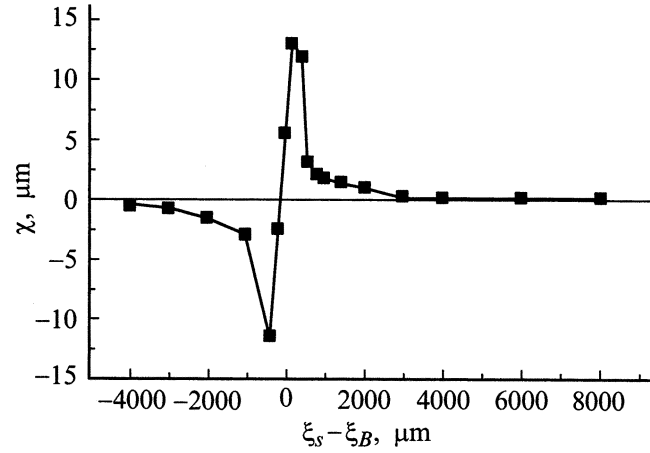


Рис. 2. Экспериментальная зависимость ошибки координаты сигнала от взаимного расположения сигнала и фона.

откуда $U_0 = U_{\xi_1} + U_{\xi_2}/2 = U_s$, т. е. при воздействии U_{control} , равного U_0 , положение нуля вольт-амперной характеристики совпадает с медианой U_s распределения $f(u)$.¹

В случае, когда на фотоприемник одновременно воздействуют полезный модулированный сигнал и мощный концентрированный фон, обозначим положение медианы фонового распределения U_B в масштабе напряжений (ξ_B в масштабе координаты x). При этом взаимное расположение сигнала $f(u)$ и фона $B(u)$ может быть произвольным. Если при этом полезный сигнал и фоновая засветка проходят через общую диафрагму, можно считать, что ширины сигнала $\Delta\xi_s$ и фона $\Delta\xi_B$ равны между собой.

Экспериментальные исследования показали, что при общей высокой точности (порядка $2\mu\text{m}$) координатуоказания модулированного сигнала в присутствии мощной фоновой засветки существует особая область, в которой величина ошибки значительно увеличивается. Такое явление происходит в области, где сигнальное и фоновое распределение частично накладываются друг на друга. На рис. 2 приведена экспериментальная кривая зависимости ошибки измерения ($\chi = \xi_s - \xi_0, \mu\text{m}$) координаты неподвижного сигнала от взаимного расположения сигнала и фона. Сканирование фоточувствительного пространства Мультискана производилось фоновым пятном с интенсивностью, на 2 порядка превышающей интенсивность сигнала. Некоторое уширение этой кривой в областях непосредственного приближения фоновой засветки к зоне сигнала скорее всего связано с растеканием генерированных носителей в пределах диффузионной длины.

Форма кривой, ее переход через нуль в точке $\xi_B = \xi_s$, свидетельствуют о том, что причиной возникновения ошибки является нарушение симметрии распределения

¹ Здесь и далее решения, содержащие отрицательные значения $(U_{\xi_1} + U_{\xi_2})/2$, не учитываются, так как не удовлетворяют условиям отрицательной обратной связи и устойчивости системы.

фототока сигнала $f(x)$ при наложении на него фона $B(x)$, т. е. изменение чувствительности фотоприемника в области, где происходит сложение мощной посторонней засветки и малого модулированного сигнала.

Таким образом, причиной возникновения ошибки координирования слабого сигнала является нарушение линейности люкс-амперной характеристики, приводящее к искажению вольт-амперной характеристики фотоприемника при воздействии дополнительной мощной засветки.

Линейность люкс-амперной характеристики кремниевых фотодиодов в широком динамическом диапазоне является важной проблемой при проведении различных светометрических измерений. Известно, что фотодиоды с мелкими $p^+ - n$ -переходами имеют достаточно высокую линейность данной характеристики как в видимой, так и в ближней ультрафиолетовой (УФ) областях спектра [2,3]. Однако при работе с источниками красного и ближнего ИК спектральных диапазонов, которые используются, в частности, в рассматриваемой нами задаче, возникает нежелательный эффект нарушения линейности люкс-амперной характеристики. В работе [4] исследована нелинейность люкс-амперной характеристики фотодиодов в диапазоне изменения интенсивности света в пределах двух порядков. Показано, что величина нелинейности достигает 20%. Аналогичные измерения, проведенные нами для Мультиканов, показали сходные результаты, т. е. при увеличении мощности подсветки в 10^2 раз изменения тока модулированного света лежат в диапазоне от единиц до 15%.

Расчеты показывают, что для модулированного сигнала, аппроксимированного прямоугольным импульсом, ошибка измерения координаты за счет изменения тока сигнала в одной из половин освещенной зоны может быть приближенно оценена следующей формулой (имеется в виду, что формула не учитывает конечную ширину переходной зоны вольт-амперной характеристики и процессы преобразования света в фототок вблизи нулевого значения напряжения смещения):

$$\chi = \frac{\Delta\xi}{4} \left(1 - \frac{1}{k}\right), \quad (3)$$

где $\Delta\xi$ — ширина модулированного оптического сигнала, k — коэффициент увеличения фототока модулированного сигнала под действием фоновой засветки, $\chi = \xi_s - \xi_0$ — ошибка в измерении истинного положения сигнала.

Так, при размерах светового пятна 0.3 mm и $k = 1.1$ χ составляет величину $10 \text{ }\mu\text{m}$, что хорошо согласуется с измерениями, приведенными на рис. 2. При $k = 1.05$ эта величина составляет уже $4 \text{ }\mu\text{m}$. При использовании фокусирующей оптики и более острых распределений типа гауссовых оценки ошибок более благоприятны. Тем не менее требования высокой точности координатоуказания в присутствии мощных подсветок требуют изыскания способов снижения величины данной ошибки вплоть до $1\text{--}2 \text{ }\mu\text{m}$. При этом следует рассмотреть два возможных варианта: технологические возможности линеаризации

люкс-амперной характеристики прибора с достижением линейности в третьем порядке при работе в динамическом диапазоне изменения интенсивности излучения до 10^3 и использование схемно-методических вариантов компенсации нелинейности за счет использования многоапертурного синтеза. Каждый из этих путей имеет свои трудности и ограничения.

Нежелательный эффект нелинейности люкс-амперной характеристики обычно связывают с наличием рекомбинационных уровней в n -кремнии, играющих роль ловушек [3,5]. Как известно, ловушки представляют собой локализованные состояния в запрещенной зоне полупроводника, которые могут играть роль центров захвата свободных носителей тока. Исследование природы таких локализованных состояний показывает, что они могут быть обусловлены как присутствием примесей или дефектов структуры кристалла в объеме полупроводника, так и высокой плотностью поверхностных состояний на границе раздела Si–SiO₂. Существующий в настоящее время уровень полупроводниковой технологии позволяет изготавливать диоды с высокими электрофизическими параметрами, однако площадь этих приборов невелика. Получение фотоприемников большой площади с очень низким разбросом характеристик практически невозможно, так как концентрация ловушек и их пространственное распределение в объеме кремниевой пластины обусловлены "предысторией" — пластины и проведенными на ней технологическими операциями. Особенно важны эти обстоятельства для многоэлементного фотоприемника Мультикан, имеющего большой линейный размер. Авторы работы [4] предложили увеличить обратное смещение, прикладываемое к диоду, что позволяет обеспечить вклад в фототок всех генерируемых носителей и снизить тем самым нелинейность люкс-амперной характеристики до долей процента. Однако применение отрицательного смещения для линеаризации люкс-амперной характеристики в нашем случае невозможно, поскольку положение медианы оптического сигнала на Мультикане совмещено с положением нуля вольт-амперной характеристики, т. е. $U_0 = U_s$, и взаимодействие фонового и полезного сигналов происходит в зоне малых отрицательных смещений, что не позволяет использовать рекомбинации, приведенные в [4]. Тем не менее выбор материала, проведение ряда геттерирующих операций и специальных отжигов позволяют надеяться, что после дополнительного отбора возможно получение приборов с нелинейностью люкс-амперной характеристики менее 1%.

Идея двухапертурного синтеза, представляющая собой схемно-методическое решение проблемы, основана на следующем. В описанном выше методе формирования координатного отсчета путем сравнения фототоков Мультикана справа и слева от положения точки перегиба вольт-амперной характеристики U_0 образуются две зоны фототоков, которые могут несимметрично подвергаться воздействию фоновой засветки (рис. 1, *b, c*), что вследствие нелинейности люкс-амперной характеристики приводит к нарушению баланса токов.

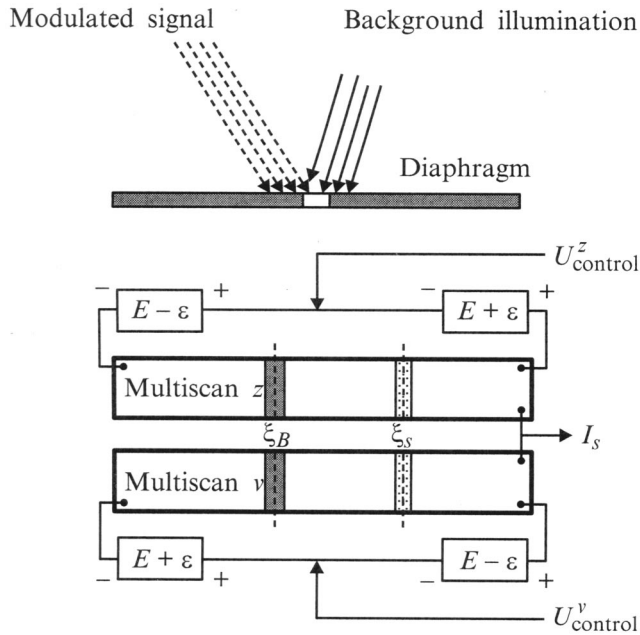


Рис. 3. Включение двух электрически связанных Мультисканов для создания синтезированной апертуры.

Поставим задачу создать ситуацию, при которой попадание фонового пятна на фоточувствительный слой Мультискана в области модулированного сигнала оказывалось бы симметричным как для положительной, так и для отрицательной частей фототока сигнала и не приводило бы к возникновению ошибки координирования. Покажем, что такая задача может быть решена при помощи синтезированной апертуры, использующей два параллельно расположенных Мультискана, освещенности которых модулированным сигналом и фоновой засветкой пространственно идентичны.

Представим себе схему из двух Мультисканов, к резистивным слоям которых приложены напряжения $2E$, а сигнальные шины соединены между собой. Введем малое смещение ε так, чтобы на одном Мультискане все потенциалы были смещены на $+\varepsilon$, а на другом Мультискане — на $-\varepsilon$ (рис. 3). Рассмотрим совместную работу такой системы как единого фотоприемника. В этом случае величина и направление фототоков, вытекающих из двух Мультисканов, определяются сложной апертурой, образованной двумя сдвинутыми относительно друг друга в масштабе потенциалов координат сигналов и соответствующим образом смещенными вольт-амперными характеристиками.

На каждом из Мультисканов при этом образуется своя смещенная ось напряжений, обозначим их ось z для одного из Мультисканов и ось ν для другого. Будем в дальнейшем в соответствии с этим называть один Мультискан — Мультискан- z , другой — Мультискан- ν . Положения потенциалов сигналов на этих осях связаны между собой как $z = \nu - 2\varepsilon$. Выражения для токов

Мультисканов z и ν записываются следующим образом:

$$I^z = \int_{z_1}^{z_2} f(z) \text{th} \frac{z - Z_0}{A_u} dz; \quad I^\nu = \int_{\nu_1}^{\nu_2} f(\nu) \text{th} \frac{\nu - V_0}{A_u} d\nu. \quad (4)$$

Для составления уравнения токового баланса введем ось u , относительно которой $z = u + \varepsilon$ и $\nu = u - \varepsilon$. Перенесем на нее координаты сигналов и вольт-амперных характеристик, расположенных на осях z и ν . Введем в уравнение (4) U^z_{control} и U^ν_{control} — напряжения обратной связи, действующие на Мультисканы со стороны схемы и устанавливающие баланс токов. Тогда

$$\int_{-E+\varepsilon}^{E+\varepsilon} f(U_{\xi_1 + \varepsilon}, U_{\xi_2 + \varepsilon}) \text{th} \frac{u + \varepsilon - U^z_{\text{control}}}{A_u} du + \int_{-E-\varepsilon}^{E-\varepsilon} f(U_{\xi_1 - \varepsilon}, U_{\xi_2 - \varepsilon}) \text{th} \frac{u - \varepsilon - U^\nu_{\text{control}}}{A_u} du = 0. \quad (5)$$

При прямоугольной форме сигналов (см. (2)) уравнение (5) принимает вид

$$\int_{U_{\xi_1 + \varepsilon}}^{U_{\xi_2 + \varepsilon}} \text{th} \frac{u + \varepsilon - U^z_{\text{control}}}{A_u} du + \int_{U_{\xi_1 - \varepsilon}}^{U_{\xi_2 - \varepsilon}} \text{th} \frac{u - \varepsilon - U^\nu_{\text{control}}}{A_u} du = 0. \quad (6)$$

После интегрирования имеем

$$\ln \frac{\text{ch}(U_{\xi_2} + 2\varepsilon - U^z_{\text{control}})}{\text{ch}(U_{\xi_1} + 2\varepsilon - U^z_{\text{control}})} \cdot \frac{\text{ch}(U_{\xi_2} - 2\varepsilon - U^\nu_{\text{control}})}{\text{ch}(U_{\xi_1} - 2\varepsilon - U^\nu_{\text{control}})} = 0,$$

т. е.

$$\frac{\text{ch}(U_{\xi_2} + 2\varepsilon - U^z_{\text{control}})}{\text{ch}(U_{\xi_1} + 2\varepsilon - U^z_{\text{control}})} \cdot \frac{\text{ch}(U_{\xi_2} - 2\varepsilon - U^\nu_{\text{control}})}{\text{ch}(U_{\xi_1} - 2\varepsilon - U^\nu_{\text{control}})} = 1. \quad (7)$$

Решения уравнения (7) могут быть найдены для двух случаев: 1) $U^z_{\text{control}} = U^\nu_{\text{control}}$ и 2) $U^z_{\text{control}} \neq U^\nu_{\text{control}}$. Для первого случая используются равенства

$$\text{ch}(U_{\xi_2} + 2\varepsilon - U^z_{\text{control}}) = \text{ch}(U_{\xi_1} - 2\varepsilon - U^\nu_{\text{control}})$$

или

$$\text{ch}(U_{\xi_1} + 2\varepsilon - U^z_{\text{control}}) = \text{ch}(U_{\xi_2} - 2\varepsilon - U^\nu_{\text{control}}).$$

Легко показать, что оба равенства при использовании четности гиперболического косинуса дают одинаковые решения

$$U^z_{\text{control}} = U^\nu_{\text{control}} = U_{\text{control}} = \frac{U_{\varepsilon_1} + U_{\varepsilon_2}}{2} = U_s. \quad (8)$$

После подстановки (8) в (6) имеем

$$\int_{\varepsilon - \frac{U_{\xi_2} - U_{\xi_1}}{2}}^{\varepsilon + \frac{U_{\xi_2} - U_{\xi_1}}{2}} \text{th} \frac{u + \varepsilon - U_s}{A_u} du + \int_{-\varepsilon + \frac{U_{\xi_2} - U_{\xi_1}}{2}}^{-\varepsilon - \frac{U_{\xi_2} - U_{\xi_1}}{2}} \text{th} \frac{u - \varepsilon - U_s}{A_u} du = 0. \quad (9)$$

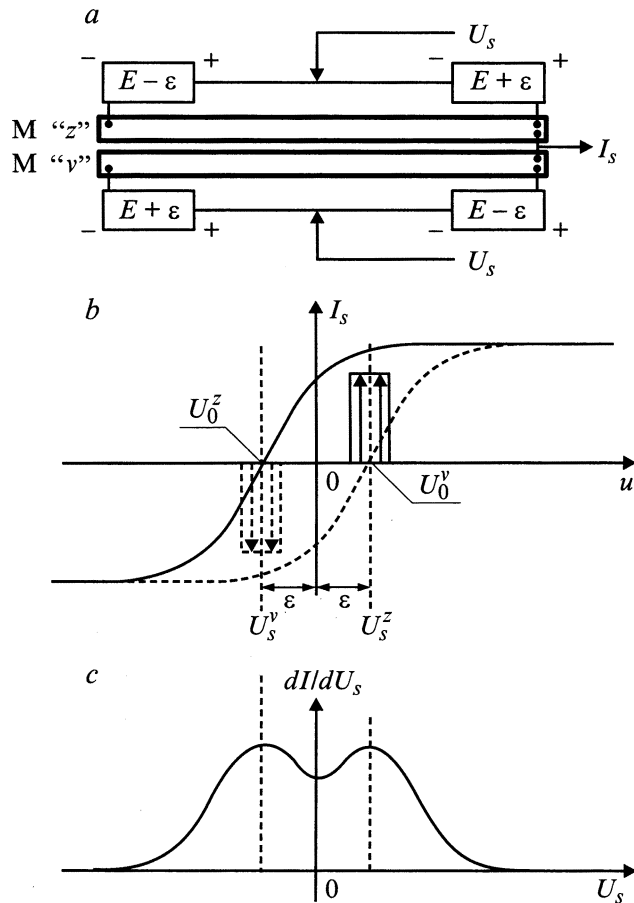


Рис. 4. Вариант построения синтезированной апертуры при $U_{\text{control}} = U_s$. *a* — схема включения Мультисканов; *b* — пространственное расположение вольт-амперных характеристик двух электрически связанных Мультисканов и токов, генерированных в них модулированным сигналом; *c* — производная суммарного тока по напряжению смещения сигнала.

Для второго варианта используются равенства

$$\text{ch}(U_{\xi 2} + 2\varepsilon - U_{\text{control}}^z) = -\text{ch}(U_{\xi 1} - 2\varepsilon - U_{\text{control}}^z)$$

или

$$\text{ch}(U_{\xi 1} + 2\varepsilon - U_{\text{control}}^y) = -\text{ch}(U_{\xi 2} - 2\varepsilon - U_{\text{control}}^y),$$

которые дают решения

$$U_{\text{control}}^z = U_s + 2\varepsilon \quad \text{и} \quad U_{\text{control}}^y = U_s - 2\varepsilon. \quad (10)$$

После подстановки имеем

$$-\varepsilon + \frac{U_{\xi 2} - U_{\xi 1}}{2} \int_{-\varepsilon - \frac{U_{\xi 2} - U_{\xi 1}}{2}}^{-\varepsilon + \frac{U_{\xi 2} - U_{\xi 1}}{2}} \text{th} \frac{u - \varepsilon - U_s}{A_u} du + \varepsilon + \frac{U_{\xi 2} - U_{\xi 1}}{2} \int_{\varepsilon - \frac{U_{\xi 2} - U_{\xi 1}}{2}}^{\varepsilon + \frac{U_{\xi 2} - U_{\xi 1}}{2}} \text{th} \frac{u + \varepsilon - U_s}{A_u} du = 0. \quad (11)$$

Таким образом, оба случая дают симметричные варианты решений, которые с позиции, поставленной в

работе, идентичны (рис. 4 и 5). Результаты решения варианта 2 подсказывают дополнительную возможность формирования различных модификаций синтезированной апертуры путем включения дополнительных напряжений последовательно с U_{control} .

Предположим, что последовательно с U_s включены источники $+\varepsilon$ и $-\varepsilon$, так что $U_{\text{control}}^z = U_s - \varepsilon$ и $U_{\text{control}}^y = U_s + \varepsilon$. Тогда после подстановки в (6) получим

$$2\varepsilon + \frac{U_{\xi 2} - U_{\xi 1}}{2} \int_{2\varepsilon - \frac{U_{\xi 2} - U_{\xi 1}}{2}}^{-2\varepsilon + \frac{U_{\xi 2} - U_{\xi 1}}{2}} \text{th} \frac{u - U_s}{A_u} du + \int_{-2\varepsilon - \frac{U_{\xi 2} - U_{\xi 1}}{2}}^{-2\varepsilon + \frac{U_{\xi 2} - U_{\xi 1}}{2}} \text{th} \frac{u - U_s}{A_u} du = 0, \quad (12)$$

что приводит к новой конфигурации апертуры (рис. 6).

Из рис. 4, *b*, 5, *b* и 6, *b* видно, что во всех приведенных вариантах синтезированной апертуры выполняется принцип, заложенный нами в основу идеи симметрирования влияния фоновой засветки на фототоки обоих Мультисканов, т.е. точки перегибов вольт-амперных характеристик Мультисканов сдвинуты относительно медиан падающих на фотоприемник световых сигналов так, что фототок одного из Мультисканов формируется с помощью только положительной ветви вольт-амперной характеристики, а другого — с помощью отрицательной. Поэтому

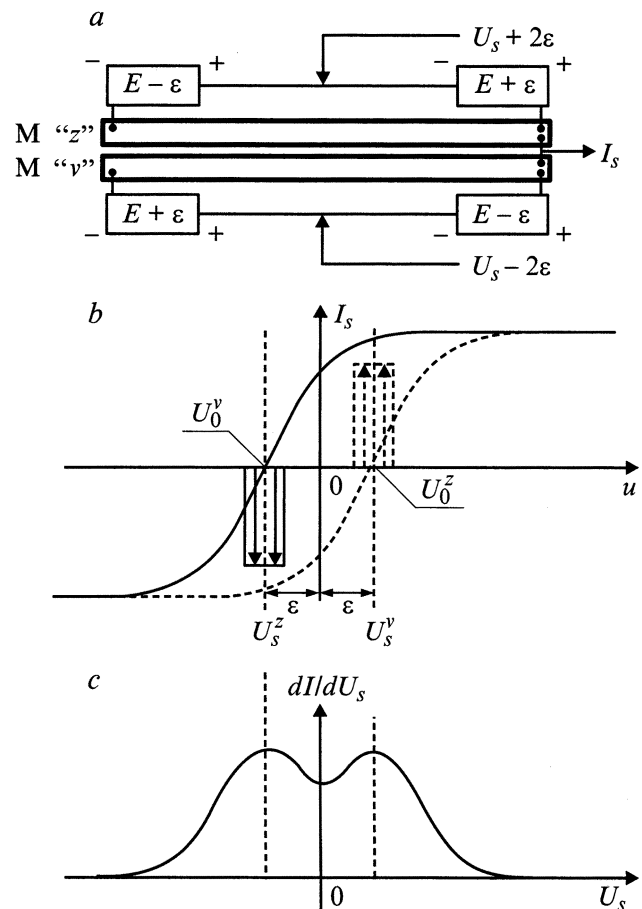


Рис. 5. Вариант построения синтезированной апертуры при $U_{\text{control}}^z = U_s + 2\varepsilon$ и $U_{\text{control}}^y = U_s - 2\varepsilon$. *a-c* — то же, что и на рис. 4.

при любом положении фоновой засветки изменения симметричности распределения фототоков происходят как в положительной, так и в отрицательной составляющей фототоков, входящих в уравнение токового баланса и в значительной мере компенсируют друг друга.

На рис. 4, с, 5, с и 6, с приведены производные суммарного выходного тока по напряжению смещения положения сигнала относительно положения синтезированной апертуры. Видно, что максимальные значения производных токов находятся в точках медиан сигналов U_s . Это указывает на то, что синтезированная апертура сохраняет свойство поддерживать положение максимумов dI/dU_s в точках расположения медиан сигналов.

Необходимо отметить, что такая синтезированная апертура является практически единственным возможным способом повысить величину отрицательного напряжения смещения $p-n$ -переходов в области полезного сигнала на каждом из Мультисканов, где происходит преобразование света в фототок, что само по себе, согласно [4], должно благоприятно сказаться на линейности люкс-амперной характеристики. Кроме того, в таком режиме значительно увеличивается эффектив-

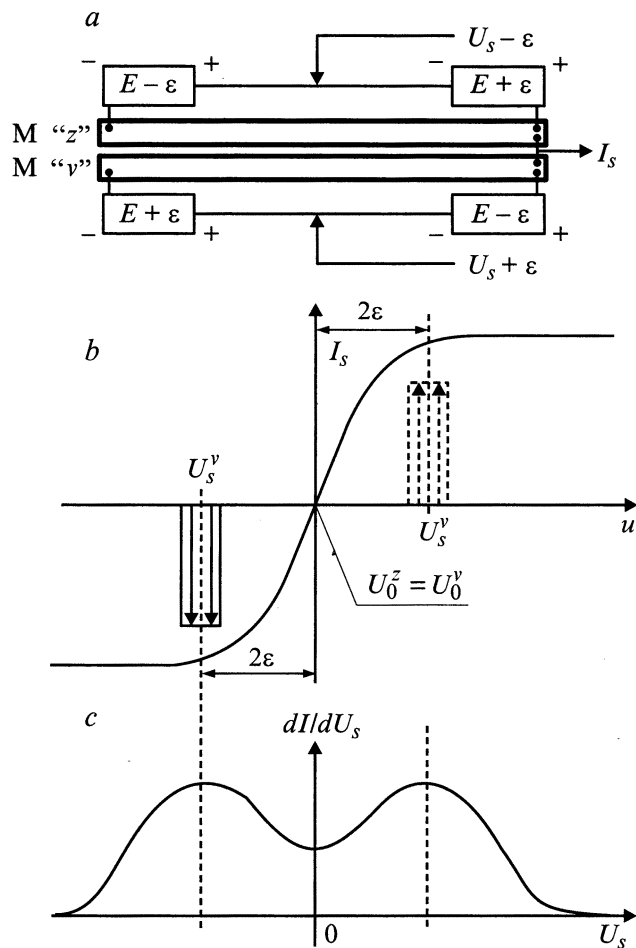


Рис. 6. Вариант построения синтезированной апертуры при $U_{control}^z = U_s - \epsilon$ и $U_{control}^v = U_s + \epsilon$. a-c — то же, что и на рис. 4.

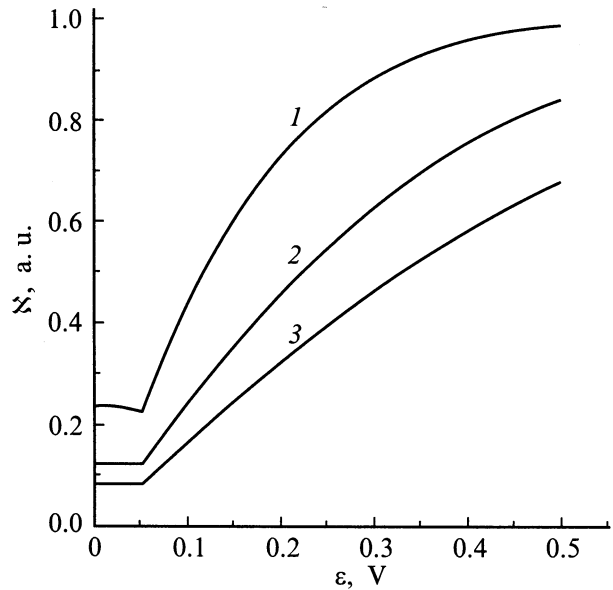


Рис. 7. Зависимость эффективности преобразования света в фототок. A_u, V : 1 — 0.1, 2 — 0.2, 3 — 0.3.

ность преобразования света в фототок, что эквивалентно увеличению чувствительности системы.

Эффективность преобразования света в фототок для данной системы можно выразить как

$$\aleph = \frac{\left| \int_{U_{\epsilon 1+\epsilon}}^{U_s+\epsilon} f(u) \operatorname{th} \frac{u-U_s-\epsilon}{A_u} du \right| + \left| \int_{U_s+\epsilon}^{U_{\epsilon 2+\epsilon}} f(u) \operatorname{th} \frac{u-U_s-\epsilon}{A_u} du \right|}{\int_{U_{\epsilon 1+\epsilon}}^{U_{\epsilon 2+\epsilon}} f(u) du}. \quad (13)$$

Кривые зависимости \aleph от ϵ для различных значений апертуры приведена на рис. 7.

1. Выводы

Таким образом, проведенный анализ подтвердил возможность создания на фотоприемнике Мультискан синтезированной апертуры, обладающей следующим свойством — фототоки каждого из Мультисканов формируются с помощью положительной или отрицательной ветвей вольт-амперных характеристик, и влияние фоновой засветки сказывается как на положительной, так и на отрицательной составляющих фототока, компенсируя друг друга в той мере, в какой выдерживается равенство чувствительности фотоприемников и изменяется крутизна вольт-амперных характеристик в интервале сигналов.

Однако следует отметить, что все варианты приведенных решений отличаются либо осью симметрии (вариант 1 и 2), либо масштабом смещения ϵ (в варианте 3 величина ϵ легко может быть заменена на $\epsilon/2$, что сведет решение к случаю 1 или 2). Таким образом, можно утверждать, что анализ величины ошибки χ , возникающей под воздействием фоновой засветки, может

проводиться по любой из построенных моделей. Целью этого анализа должно явиться изучение зависимости величины χ при воздействии фона от величины смещения ε , ширины апертуры A_u , ширины сигнала ΔU и степени изменения формы вольт-амперной характеристики под воздействием фона.

Эти вопросы будут проанализированы нами во второй части данной работы.

Список литературы

- [1] Берковская К.Ф., Кириллова Н.В., Подласкин Б.Г. Научно-технические достижения. М.: ВИМИ, 1992. Вып. 2. С. 22–25.
- [2] Buddle W. // Appl. Opt. 1979. Vol. 18. N 10. P. 1555–1558.
- [3] Shaefer A.R., Zalewski E.F., Lind M.A., Geist J. // Proc. Electro-Optics/Laser 77 Conf. Chicago, 1977. P. 459.
- [4] Shaefer A.R., Zalewski E.F., Geist J. // Appl. Opt. 1983. Vol. 22. N 8. P. 1232–1236.
- [5] Полупроводниковые формирователи сигналов изображения / Под ред. П. Йесперса, Ф. Ван-де-Виле, М. Уайта. М.: Мир, 1979.