

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ



О.В. Вовк,
канд. технических наук,
ООО «Аи-Видео»

В настоящее время на рынке систем видеонаблюдения постоянно появляются новые элементы и технологии, обнародуются результаты новых исследований. В частности, описывается влияние дестабилизирующих факторов на параметры видеокамер. В МиБ № 3/2009 подробно проанализировано влияние температур на параметры видеокамер. Некоторые фирмы пошли дальше и заявляют о создании кожухов, защищающих видеокамеры от ионизирующих излучений или радиационно-стойких видеокамер или СКУД. Так как случаи описания возможности защиты охранной аппаратуры от воздействия ионизирующих излучений уже не единичны, а активно рекламируются производителями, то можно говорить о появлении определенного направления на рынке охранных систем. Поскольку широкому чи-

В статье проанализировано влияние ионизирующего излучения на параметры видеокамер.

тателю, как правило, сложно оценить вид деградации параметров изделий, создаваемых ионизирующими излучениями, уровень ионизирующих излучений, обуславливающих значительное и незначительное ухудшение параметров аппаратуры, а также степень защиты, создаваемой различными рекламируемыми защитными средствами, мы решили в этой статье подробнее остановиться на этом вопросе. Одна широко известная компания объявляет о том, что их видеокамеры прошли испытания на радиационную стойкость. Однако ни методика проведения испытаний, ни виды излучений на стойкость к которым производились испытания, нигде не обнародованы. Конечно, такая недосказанность оставляет много вопросов у потребителей камер видеонаблюдения. А ведь радиационные испытания это серьезная и объемная отрасль техники.

Для того, чтобы говорить о существовании этого вопроса, обсудим параметры ионизирующих излучений и изменения, которые они вызывают в приборах.

Под действием проникающей радиации изменяются свойства практически всех материалов: менее прочными становятся металлы, теряют прозрачность стекла, ухудшаются электрические характеристики полупроводников. При

анализе радиационной стойкости полупроводниковых устройств основное внимание уделяют нейтронному, протонному, электронному и альфа-излучениям.

Источники ионизирующих излучений

Источниками ионизирующих излучений являются ядерно-энергетические установки, ускорители, гамма-установки, рентгеновские и другие установки, создающие потоки электронов, гамма-квантов, нейтронов, тяжелых заряженных частиц. В промышленных ядерных установках приборы в основном подвергаются нейтронному облучению и гамма-излучению. При этом поток нейтронов может составлять 10^{11} см⁻², доза гамма-квантов может составлять 10^4 рад.

Остаточное излучение связано с искусственной радиоактивностью, наведенной нейтронами в материале грунта, строений и других объектов, оказавшихся в зоне ядерной реакции, а также осколками деления ядер с большим периодом полураспада. К остаточному относят все гамма-излучение, существующее через 15 секунд после ядерной реакции. С этой точки зрения правомерно появление радиационно-стойкой видеокамеры КТА-Ј31 для

обследования подобных объектов. Такие видеокамеры, имеющие в качестве чувствительного элемента ПЗС-матрицу устойчивы к воздействию гамма-излучению 10^5 рад.

Кроме того, при бомбардировке металлического анода (металлической перегородки) пучком электронов, гамма-квантов, или ионов, происходит торможение последних внутри материала анода и генерация электромагнитного излучения, называемого тормозным. Поэтому экраны часто могут оказаться источниками вторичного излучения. При облучении многих материалов нейтронами и протонами могут происходить ядерные реакции, в результате облученное изделие становится источником гамма-квантов или электронов.

Испытания аппаратуры на устойчивость к воздействию радиации

Испытание изделий РЭА на радиационную стойкость — достаточно сложный и объемный комплекс процедур. Поэтому утверждение гражданских производителей, о том, что их видеокамеры прошли испытания на радиационную стойкость, разумеется, требуют расшифровки, как минимум, к какому виду излучений, какое изменение параметров при подобных воздействиях принималось за допустимое и пр.

Кроме того, все параметры существующих ионизирующих излучений, в условиях проведения испытаний промоделировать невозможно. Характеристики излучений, создаваемых испытательными моделирующими установками, отличаются от тех, которые могут реально воздействовать на аппаратуру. Поэтому при подаче реальной информации о проведенных испытаниях на радиационную устойчивость, необходимо оговаривать характеристики моделирующей установки, в основном, энергию и вид излучения, так как различные виды излучения взаимодействуют с веществом по-разному. Существуют достаточно подробно разработанные ГОСТы, которые весьма развернуто описывают методики испытания изделий на устойчивость к воздействию радиационных излучений.

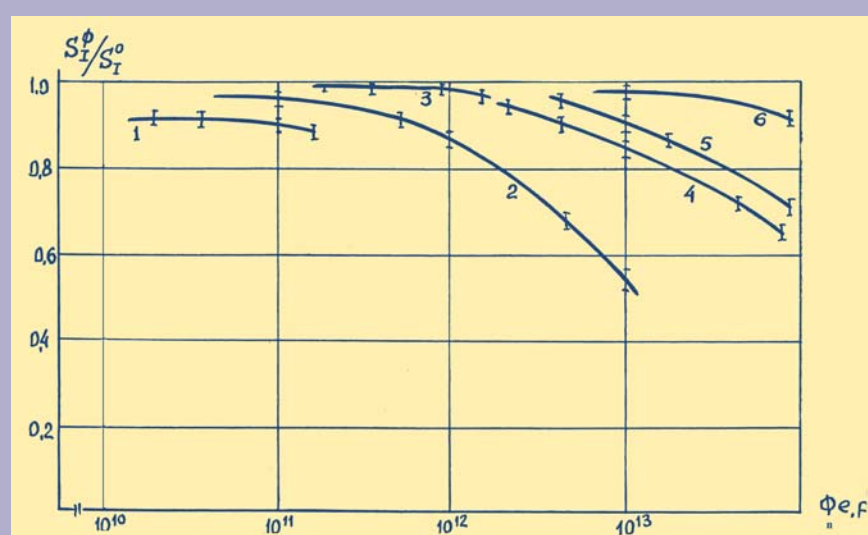


Рис. 1. Изменение относительной интегральной чувствительности фотодиодов (S_I^ϕ/S_I^0) после облучения различными потоками (Φ e, p, n) протонов, электронов, нейтронов:

- протонами с $E_p = 6$ МэВ — кр. 1
- с $E_p = 21$ МэВ — кр. 2
- с $E_p = 64$ МэВ — кр. 3
- с $E_p = 21$ МэВ + $E_e = 4,2$ МэВ — кр. 4
- реакторными нейтронами — кр. 5
- электронами с $E_e = 4,2$ МэВ — кр. 6 от потока частиц.

При этом отдельно проводятся испытания на устойчивость к воздействию ионизирующего излучения космического пространства и отдельно — излучений ядерных реакций.

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом

Проанализируем влияние различных видов излучений на материалы электронных изделий. В настоящее время фактически все электронные компоненты изготовлены на основе полупроводников. Упомянутые радиационные излучения в полупроводниковых материалах теряют свою энергию в основном за счет двух физических процессов: атомных столкновений и ионизации. При атомных столкновениях атомы полупроводника выбиваются из равновесных положений в кристаллической решетке, в результате чего образуются различного типа дефекты. Это необратимые изменения. При ионизации ядерные частицы выбивают электроны с атомных орбит, что увеличивает концентрацию ионов и свободных электронов в кристалле. В основном

это обратимые эффекты, т.е. с прекращением воздействия радиации, ионизационный ток исчезает. Относительная роль этих механизмов определяется характером радиационного воздействия. Электроны и гамма-кванты теряют свою энергию в полупроводниках за счет ионизации. Протоны также вызывают ионизацию вещества. Примерно 50% энергии быстрых нейтронов расходуется на упругие атомные столкновения, приводящие к смещению атомов из узлов кристаллической решетки. Протоны передают атомам облучаемого вещества меньшую энергию, идущую на их смещение, по сравнению с нейтронным облучением. На заключительной стадии пробега, когда протон обладает относительно невысокой кинетической энергией, он способен захватывать электрон с образованием атома водорода, обладающего достаточной кинетической энергией для генерации вторичных радиационных дефектов. После полного торможения атом водорода превращается в примесь. Поэтому одинаковые концентрации радиационных дефектов вводятся при облучении существенно меньшим потоком протонов, чем нейтронов.

Влияние радиационных излучений на различные полупроводниковые приборы

Чувствительность полупроводниковых приборов к воздействию различных типов радиационных воздействий зависит от того, по какому принципу работает прибор.

В приборах, которые работают на основе **объемных** эффектов, такие, как биполярные транзисторы, фотодиоды главным образом деградируют за счет объемных радиационных дефектов, создаваемых при смещении атомов их кристаллической решетки. Такие приборы испытывают значительную деградацию при облучении высокими уровнями потоков нейтронов (более 10^{13} см $^{-2}$) и протонов (более 10^{12} см $^{-2}$), что наглядно показано на Рис. 1 на стр. 5. Излучения, вызывающие в основном ионизационные эффекты, не приводят к значительной деградации параметров этих приборов. На Рис. 2 показано, что уменьшение чувствительности фотодиодов при облучении ионизирующими излучениями дозой 10^4 – 10^6 рад — всего около 10%. Как известно, в некоторых высококачественных камерах видеонаблюдения в качестве чувствительного элемента используются фотодиоды. Применение таких структур оправдано со многих точек зрения.

На работу приборов с зарядовой связью (ПЗС) и КМОП влияют как

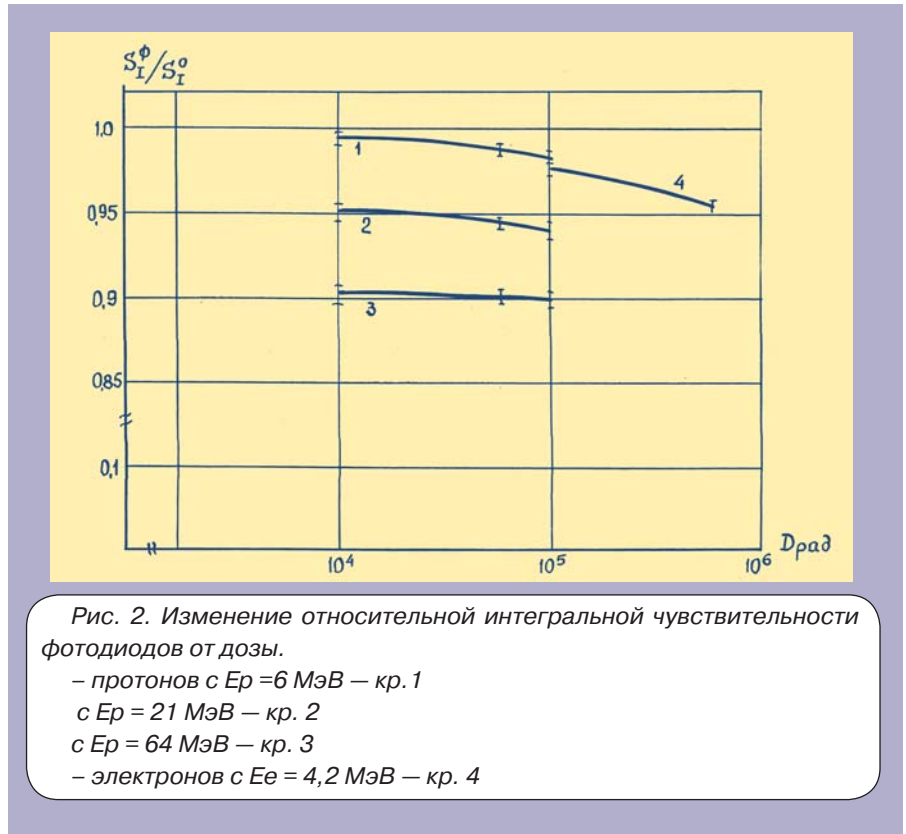


Рис. 2. Изменение относительной интегральной чувствительности фотодиодов от дозы.

- протонов с $E_p = 6$ МэВ — кр. 1
- с $E_p = 21$ МэВ — кр. 2
- с $E_p = 64$ МэВ — кр. 3
- электронов с $E_e = 4,2$ МэВ — кр. 4

объемные, так и поверхностные дефекты. Работу этих приборов в значительной степени определяют **поверхностные эффекты**. Как известно, в камерах видеонаблюдения наиболее часто применяются ПЗС и КМОП-матрицы. Кроме того, считывающая электроника видеокамер также построена на основе ПЗС и МДП — микросхем. В деградации этих приборов, характери-

ки которых определяются свойствами границы раздела полупроводник-диэлектрик, существенную роль играют процессы ионизации, изменяющие величину встроенного заряда в диэлектрике и увеличивающие плотность поверхностных дефектов. В настоящее время повышения стабильности и радиационной стойкости ПЗС применяются ПЗС не с поверхностным, а со встроенным каналом (Рис. 3). На Рис. 4, 5 (стр. 7) приведена зависимость деградации от радиации параметров ПЗС с поверхностным и встроенным каналом. Судя по всему для создания радиационно-стойкой камеры КТА-Ж31 применялся один из подобных способов.

Также для повышения радиационной стойкости приборов применяется окисел, изначально создающий минимальный уровень напряженности между полупроводником и окислом, нейтрализующий при ионизации поверхностные состояния. Радиационно-стойкий окисел в тандеме с электродами из специально подобранных материалов образует радиационно-устойчивую конструкцию МДП прибора. Так как структура МДП создается в едином технологическом процессе, то все ее элементы влияют друг на друга еще на этапе из-

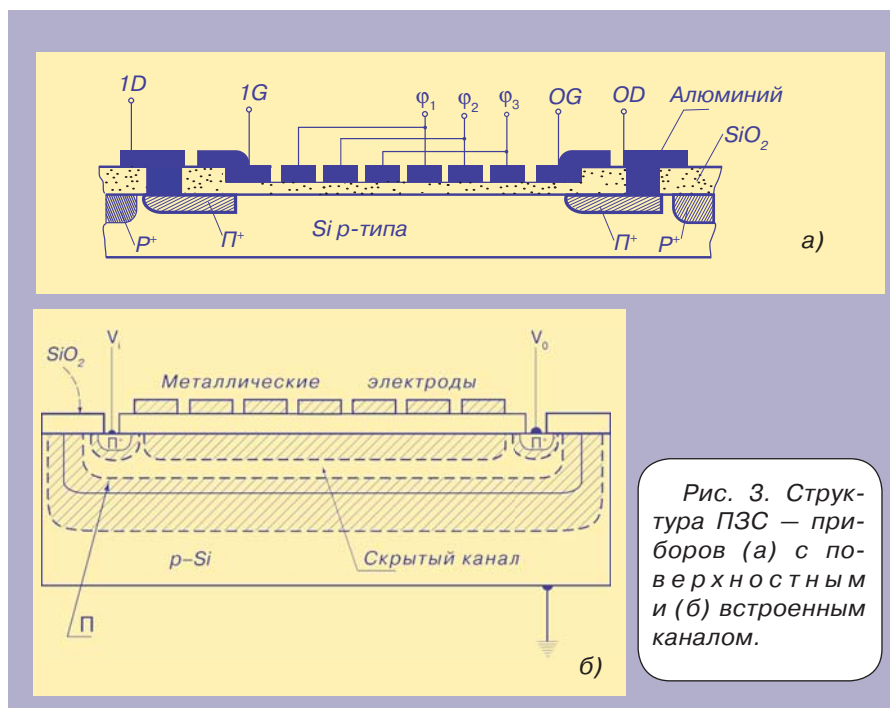


Рис. 3. Структура ПЗС — приборов (а) с поверхностным и (б) встроенным каналом.

готовления. Зависимость напряжений плоских зон под алюминиевым и поликремниевым электродами ПЗС от дозы радиации приведена на Рис. 6.

Надо отметить, что КМОП — электроника, в основном, обладает достаточной радиационной стабильностью. То есть, согласно Рис. 7 КМОП-ячейки не теряют работоспособности даже при воздействии дозы 10^6 рад. Передаточная характеристика только несколько сдвигается.

Если говорить о предлагаемых в настоящее время радиационно-стойких камерах видеонаблюдения, то надо отметить, что компания Funktel успешно поставляет подобную продукцию Teovis на немецком и международных рынках. Очевидно, что к воздействию излучения мощностью 10^3 рад/час при суммарной дозе за время эксплуатации 10^5 рад достигается, помимо применения описанных выше специально изготовленных радиационно-устойчивых ПЗС-матриц, вертикальном расположении видеокамер в свинцовых оболочках и исключением прямого попадания направленного радиоактивного излучения на ПЗС-датчик за счет излома оптической оси с помощью зеркала. Устойчивость к излучению мощностью 10^6 рад/час при суммарной дозе за время эксплуатации 10^8 рад достигается применением в качестве чувствительного элемента не ПЗС или КМОП-матриц, а ви-

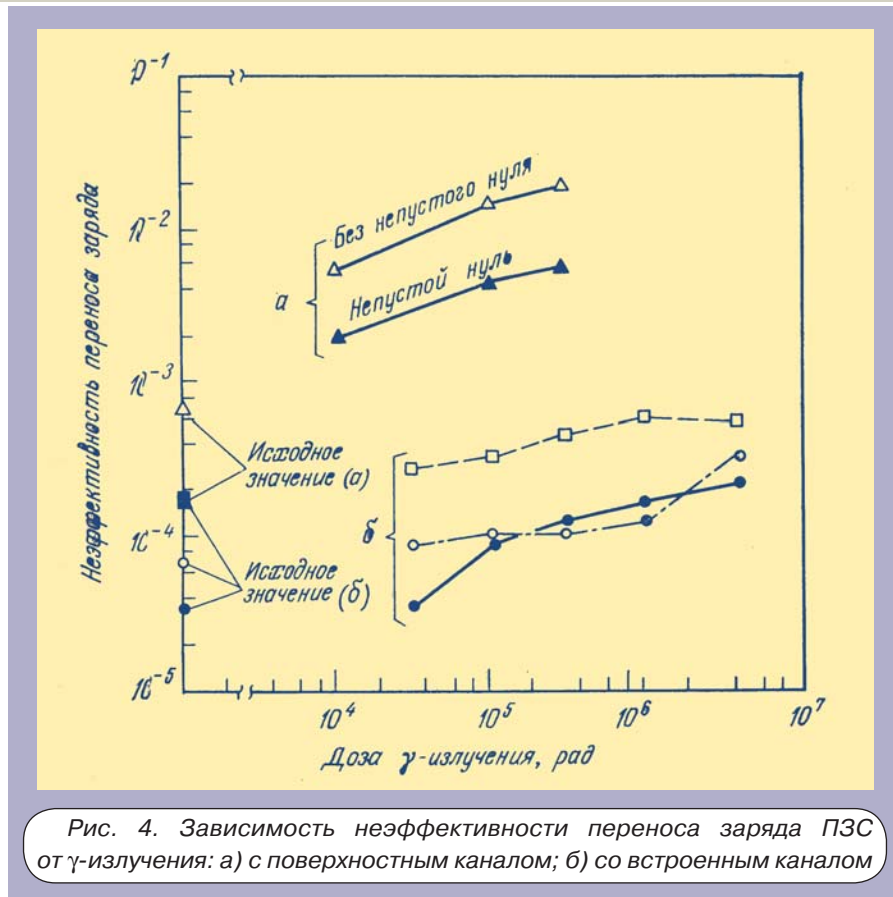


Рис. 4. Зависимость неэффективности переноса заряда ПЗС от γ -излучения: а) с поверхностным каналом; б) со встроенным каналом

дикона. Этот элемент содержит фотопроводящую мишень, которая состоит из прозрачной металлической пленки со стороны проецируемого изображения и расположенного на ней со стороны электронно-оптической системы фотопроводящего слоя. Кроме

того, конструктивное исполнение этих приборов позволяет проводить их дезактивацию и обеспечивает защиту от проникновения радиоактивной пыли внутрь приборов.

В связи с тенденцией к повышению степени интеграции электронных приборов, сопровождаемой миниатюризацией активного объема отдельных компонентов интегральных схем, возможно произвольное искажение информации и появление ошибок при ее обработке без устойчивого повреждения интегральных схем, которые возникают под действием ионизирующих излучений с чрезвычайно низкими интегральными потоками вплоть до воздействия отдельных частиц. Как оказалось, перемежающиеся отказы могут быть вызваны фоном естественной радиации, например, радиоактивными изотопами урана и тория, содержащимися в ничтожных концентрациях в корпусах приборах. Причем, защита от них путем увеличения толщины экранов неэффективна как раз в силу очень низкого порога их возникновения.

Вообще, в связи с вышеупомянутым, хотелось бы сказать несколько слов о защитных кожухах от проникающей радиации.

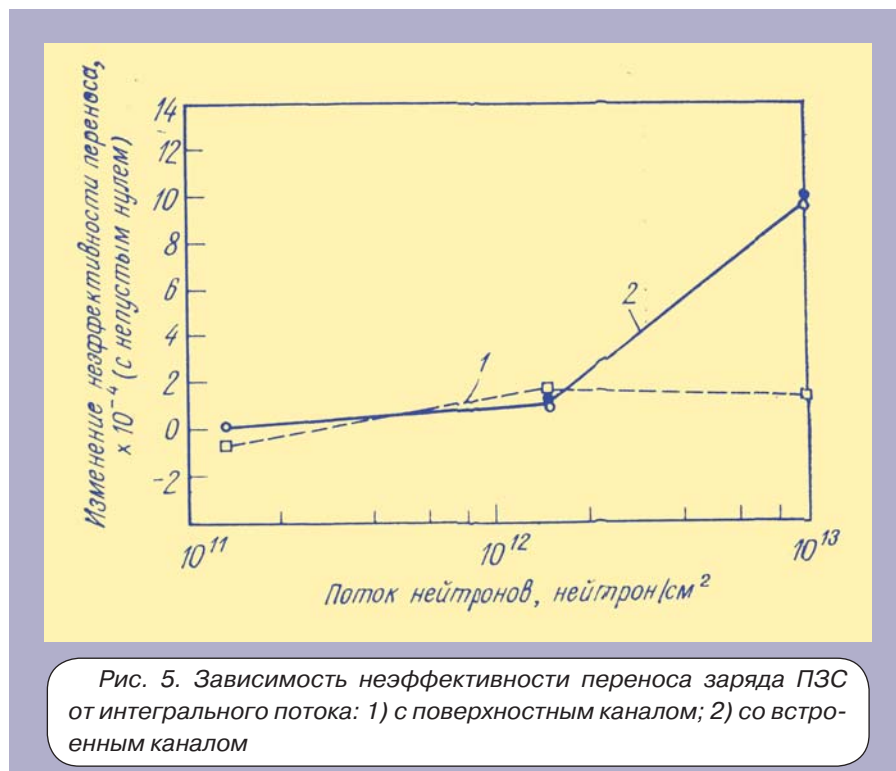


Рис. 5. Зависимость неэффективности переноса заряда ПЗС от интегрального потока: 1) с поверхностным каналом; 2) со встроенным каналом

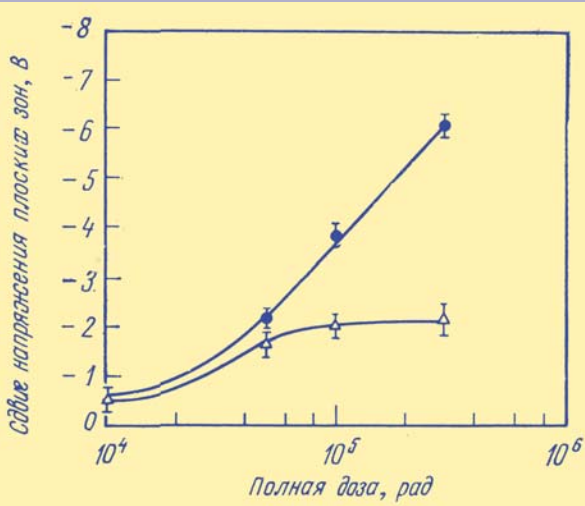


Рис. 6. Зависимость напряжений плоских зон под алюминиевым и поликремниевым электродами ПЗС от дозы радиации:

● — с поликремниевым электродом;
 ▲ — с алюминиевым электродом

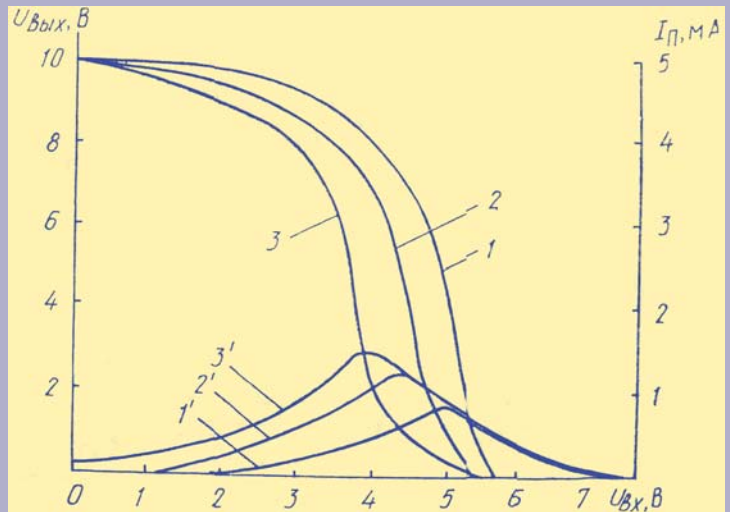


Рис. 7. Влияние гамма-излучения на передаточные характеристики (1–3) и ток потребления (1'–3') КМОП-инверторов

1, 1' — до облучения;
 2, 2' — после облучения 10^5 рад;
 3, 3' — после облучения 10^6 рад

Кожухи, защищающие от радиации

Компания Wizebox, специализирующаяся, в том числе, на развитии кожухов специального применения, заявила о создании кожуха, защищающего видеокamerу от излучения дозой мощностью до 10^3 рад/час 10^5 рад за весь период эксплуатации (рис. 8). Это, по меньшей мере, очень абстрактное заявление. Во-первых, не оговаривается какое изменение параметров камер при этом гарантируется. Как свидетельствуют приведенные материалы, при воздействии излучения дозой 10^5 рад электроника не теряет своей работоспособности. Во-вторых, различные виды радиационных излучений поглощаются на различной глубине, поэтому, чтобы подобрать защитный кожух, необходимо указать, от какого вида излучения и с какой энергией он обеспечивает защиту. Конечно, если поместить изделие в массивную свинцовую коробку, то все излучение поглотится внутри. Однако, с большой вероятностью, как описывалось выше, сам так называемый экран может уже служить источником излучения. Кроме того, в реальных условиях при единовременном воздействии доза ионизирующих излучений много меньше 10^5 рад. То есть, если только эта

видеокамера не предназначена для работы в космосе (а там функционируют изделия специально разработанные), то очень трудно в бытовых условиях найти место применения таким защитным кожухам. Кроме того, многие производители таких кожухов совершенно справедливо заявляют, что срок службы этих изделий значительно ниже, чем у обычных кожухов (от нескольких месяцев до полутора лет).

Вопросы радиационной устойчивости видеокamer и других охранных систем являются достаточно новым направлением для этой отрасли. Поэтому, проанализировав то, что представляет современный рынок средств охраны, хотелось бы обратить внимание на следующие аспекты.

Утверждение производителей и поставщиков видеокamer, о том, что их видеокamerы прошли испытания на радиационную стойкость, разумеется, требуют расшифровки, как минимум, на устойчивость к какому виду излучений проводились испытания, какое изменение параметров при подобных воздействиях принималось за допустимое, на каких моделирующих установках, создающих частицы с какой энергией производились испытания.

ПЗС- и КМОП-матрицы, широко применяемые для камер видеонаблюдения, больше чувствительны к воз-

действию ионизирующих излучений, чем дискретные приборы, такие как фотодиоды. Поэтому видеокamerы с чувствительным элементом в качестве фотодиодов обладают наибольшей радиационной стабильностью.

Существуют определенные способы для изготовления радиационно-стабильных ПЗС-матриц, которые, применяются для получения радиационно-стабильных матриц для камер видеонаблюдения, предназначенных для работы в полях ионизирующих излучений.



Рис. 8. Радиационно-стойкая камера RR26 фирмы Wizebox