

УДК 621.318.51

# СВЕТОВОЙ ЗАТВОР С БОЛЬШОЙ АПЕРТУРОЙ И МОДУЛЯТОР ИЗЛУЧЕНИЯ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

В.В.Коняшкин, М.К.Луцет, Б.С.Потапов

Ранее были описаны конструкции пленочных емкостных структур для индикационных устройств и модуляторов света [1]. Ниже приводятся описания устройств, которые используются в качестве световых затворов (фильтров) с большой апертурой и модуляторов потока излучения, а также некоторые результаты их исследований.

1. Пленочный электромеханический световой затвор (фильтр) с большой апертурой. Конструкция затвора показана на рис.1. В корпусе I, образующем две полости из изолирующего материала, размещены стекла 2,2', на поверхности которых нанесены прозрачные проводящие покрытия - электроды 5,6,8. На пластине 4 с помощью прижима 3 закреплена полимерная пленка 7, имеющая металлизацию на своей внутренней поверхности. На одном из торцов конструкции расположен разъем для присоединения к блоку питания. При подаче электрического напряжения на металлизацию пленки и один из электродов 8 (второй электрод 6 при этом находится под потенциалом ленты) лента накатывается на этот электрод, попадая в поле зрения оператора и закрывая при этом световое отверстие. При подаче напряжения на электрод 6 (электрод 8 - под потенциалом ленты) и металлизацию ленты, последняя перекачивается на него, уходя из поля зрения. Был изготовлен и испытан световой затвор, в котором ленточная петля толщиной  $6 \cdot 10^{-6}$  м (пленка полиэтилентерефталата) металлизирована алюминием. Заметим, что, изменяя толщину пленки алюминия, можно получать разные коэффициенты пропускания (от 90% до полностью непрозрачного). Пластина 4 выполнена из текстолита, фольгированного медью с двух сторон. Данная конструкция аналогична единичному элементу пленочного электростатического индикатора [1] и может ис -

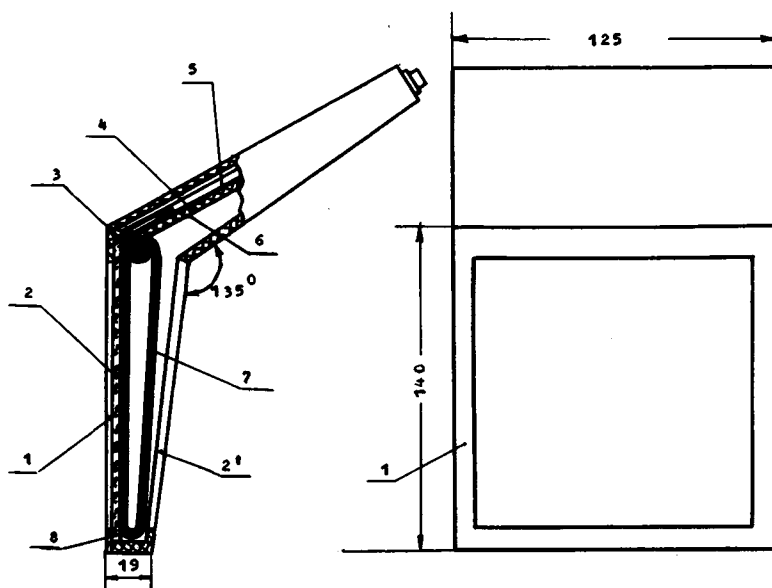


Рис. I

пользоваться как маска для защиты органов зрения [2] и противослепляющее устройство [3]. Габаритные размеры затвора указаны на рис. I. Перекрываемая площадь в данном образце составляла  $100 \times 100 \text{ мм}^2$ .

При напряжении управления 260 в время перекрытия светового отверстия не превышало  $\sim 100$  мсек. Расстояние между тянущими электродами и стенками корпуса выбиралось так, чтобы они были меньше высоты петли в состоянии, когда на электроде нет напряжения, но больше, когда напряжение подано. Такое конструктивное выполнение затвора позволяло использовать для управления импульсное напряжение, т.е. напряжение подавалось только для того, чтобы перебросить петлю из одной полости в другую. При снятии напряжения петля распрямлялась и удерживалась в полости за счет сил трения. Некоторые особенности, характерные для схемы управления затвором, описаны ниже.

2. Электромеханический модулятор излучения. Конструкция электромеханического модулятора излучения [4] приведена на рис.2, где 1 – основание (часть корпуса прибора). На основании установлены с зазором полосовые электроды 2 и 5, электроды-упоры 6 и 7, электрод – площадка 8 контактного узла металлизации полимерной ленты 4. Петля из односторонне металлизированной диэлектрической ленты уложена над отверстиями 3 и 3' в полосовом электроде 2 и основании. У электродов-упоров 6 и 7 металлизирована та часть их поверхности, которая может контактировать с петлей. Металлизированная часть упоров 6 и 7 гальванически соединена с полосовыми электродами 5 и 2, соответственно. Электроды-упоры 6 и 7 используются так же, как конструктивный элемент для прижима ленты к полосовым электродам. Сплошными линиями на рисунке изображены элементы модулятора, расположенного над плоскостью отверстия, электроды-упоры имеют выборки, совмещенные со световым отверстием в основании. Штриховыми и штрих-пунктирной (лента) линиями нанесены элементы второго модулятора, расположенного на противоположной стороне основания. Всем элементам этого модулятора присвоены цифровые индексы со штрихом. Гальванические соединения осуществлены между элементами с одинаковым цифровым обозначением (соединены электроды 2 и 2', 5 и 5' и т.д.). Электроды-упоры со сквозными выборками 7 и 7', находящиеся на разных сторонах основания, ограничивают отверстие, через которое проходит поток излучения. Проекция на плоскость расстояния  $\delta$  между электродами 7 и 7' составляет  $\delta = h_1 - h_2$ , где  $h_1$  – половина наибольшего характерного размера отверстия,  $h_2$  – глубина выборки. Петли движутся синфазно, навстречу друг другу, и надежность перекрытия отверстия обеспечивается тем, что каждая петля закрывает больше половины отверстия на величину  $\delta$ . Расстояние между электродами-упорами равно сумме  $D + d + \delta$ , где  $D$  – проекция диаметра петли на плоскость,  $d$  – диаметр светового отверстия. Очевидно, что наименьшая масса подвижного элемента может обеспечить наибольшую частоту работы. Поэтому если заранее заданы размеры диаметра светового отверстия, ширины ленты  $b$ , расстояния между противоположными концами ленты  $x$  и угла  $\alpha$  между электродами-упорами и осевой линией, вдоль которой расположена лента, то проекция минимального диаметра петли определяется по формуле  $D = (b+x)/\pi \cos \alpha$ , длина ленты, идущая на образование петли, – по формуле  $l = (b+x) \operatorname{tg} \alpha$ , а длина образующей петли  $b'$  – по формуле  $b' = b+x/\sin \alpha$ , причем  $b' \geq d$ . Нижний предел  $D$  ограничен допуски-



мыми изгибными напряжениями и должен быть, как показано в [5], не менее  $D \geq 220-260 \Delta$ , где  $\Delta$  – толщина ленты. Был изготовлен и исследован модулятор. В нем материалом ленты служил полиэтилентерефталат толщиной  $3 \cdot 10^{-6}$  м, односторонне металлизированный алюминием. Полосовые электроды и слои металлизации на электродах-упорах получены напылением алюминия (3000 Å) на пластине из оргстекла. Габаритные размеры корпуса модулятора –  $60 \times 40 \times 15$  мм<sup>3</sup>, он характеризуется следующими параметрами  $a = 2,0$  мм,  $\alpha = 23^\circ$ ,  $b = 4$  мм,  $x = 0,3$  мм,  $\delta = 0,1$  мм,  $D = 1,5$  мм и обеспечивает частоту модуляции не менее 200 гц. Схема управления и результаты испытаний приведены ниже.

### 3. Схемы управления трехэлектродными структурами с электростатическим приводом.

Одна из возможных схем управления рассматривалась нами ранее [1]. Однако в ней, использующей один ключ (коммутатор), трудно обеспечить одинаковые условия для работы ленточной петли на разных электродах. Кроме того, в ряде случаев предпочтительно иметь ленту в качестве общей электрической точки. Поэтому следует рассмотреть различные варианты устройств управления. Их общая блок-схема показана на рис.3.

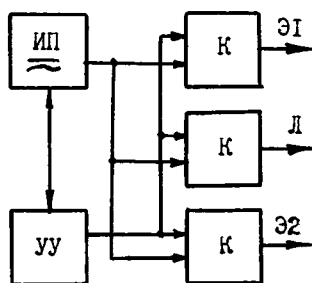


Рис. 3

Источник питания (ИП) обеспечивает номиналы напряжений для узла управления (УУ) и коммутаторов (К). Узел управления определяет работу ключей и может осуществлять обратную связь на источник питания, управляя подачей напряжения на коммутаторы. На блок-схеме каждый ключ связан с каким-либо одним электродом (Э1 или Э2) или лентой (Л). В конкретных схемах может быть использован любой из показанных на рис.4 вариантов подключения электродов. Общим для всех вариантов является то, что для обеспечения правильного функционирования модуляторов потенциал на ленту и один из электродов должен быть подан в противофазе. Коммутатором может служить любой ключевой элемент: транзистор, тиристор, оптро́н, реле и т.п. В схемах рис.4 коммутатор изображен как механический ключ в замкнутом или разомкнутом положении. Сопротивление ( $R_{ут}$ ) утечки разомкнутого ключа не показано, но его следует учитывать при выборе номинала зарядного сопротив -

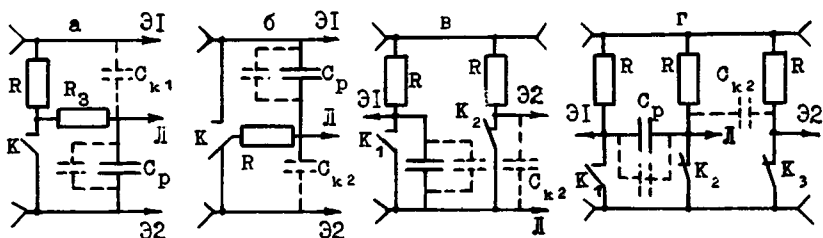


Рис. 4

ления,  $R \ll R_{\text{ут}}$ . Защитное сопротивление  $R_3$  может быть поставлено как в цепь ленты, так и в цепь любого из электродов. Его применение во многих случаях необязательно. Лента относительно электродов имеет конструктивные емкости  $C_{k1}$  и  $C_{k2}$  (на рис.4 показаны штрихами) и "рабочую" емкость  $C_p$ , которая образуется при накате ленточной петли на электрод. Постоянная времени  $\tau = R(C_p + C_k)$  может сказаться на частотных свойствах модулятора. Питание схем рис.4 может быть осуществлено как постоянным, так и переменным напряжением, но, как уже указывалось в работе [1], питание переменным напряжением позволяет избежать накопления заряда и повысить стабильность работы пленочных электромеханических модуляторов. О влиянии заряда на рабочие характеристики модуляторов будет говориться ниже, здесь же отметим, что питание переменным напряжением ограничивает в схемах рис.4, а-в выбор коммутаторов тиристорами и реле. При повышенных частотах переключения применение реле исключается и остаются исключительно тиристоры, например КУ103В, КУ201Д или КУ202Н. Выгодным отличием схемы рис.4, г является возможность получения знакопеременного напряжения на электродах при постоянном питании на транзисторных ключах. Для этого достаточно управлять коммутаторами этой схемы со сдвигом фаз  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $180^\circ$ . Но в схеме рис.4, г лента не является общей электрической точкой и велико количество радиокомпонентов. При низкой влажности накопление заряда происходит значительно медленнее [6]. В этих условиях возможно применение любой из указанных схем при питании их постоянным напряжением, но предпочтение следует отдать схеме рис.4, в с лентой в качестве общей электрической точки.

В блоке питания пленочного фильтра-затвора с большой площадью светового окна использовалось постоянное напряжение 260 в, а коммутация ленты осуществлялась реле РЭС10 по схеме рис.4,б. С целью уменьшить накопление заряда периодически, с частотой 0,05 гц, производилась переполусовка электродов Э1 и Э2. Для этого использовали реле РЭС9, возбуждаемое низкочастотным генератором [7]. Управление (см. [1]) реле РЭС10 осуществлялось через триггер состояния от кнопочного переключателя, дублировавшего схему автоматического фотозапуска.

Такое же постоянное входное напряжение использовалось в блоке питания пленочного электроомеханического модулятора света, но в нем коммутация электродов осуществлялась по схеме рис.4,в, а тиристорные ключи питались знакопеременными прямоугольными меандрами. Принципиальная электрическая схема блока питания-управления модулятором приведена на рис.5, а на рис.6,а показаны эпюры

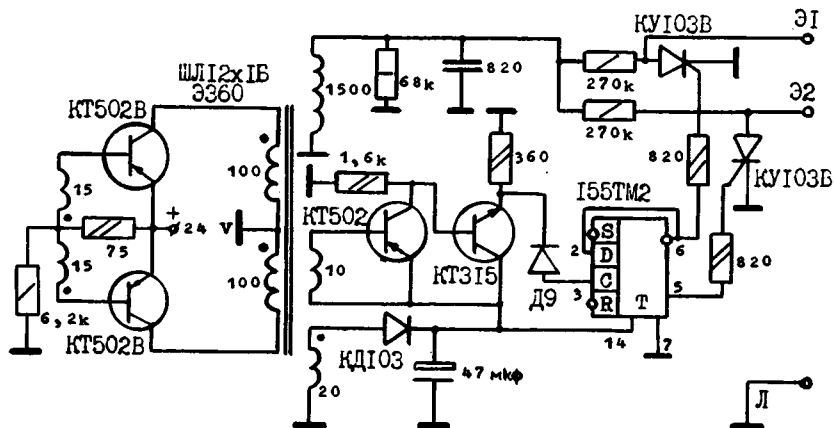


Рис. 5

напряжения (с периодом  $T = 5 \cdot 10^{-3}$  с и амплитудой  $A = 210$  в) на электроде с отверстием и выходной сигнал с фотодиода ФД-3, световой поток к которому модулируется пленочной петлей. Схема измерения сигнала фотоотклика аналогична описанной в [1]. В момент

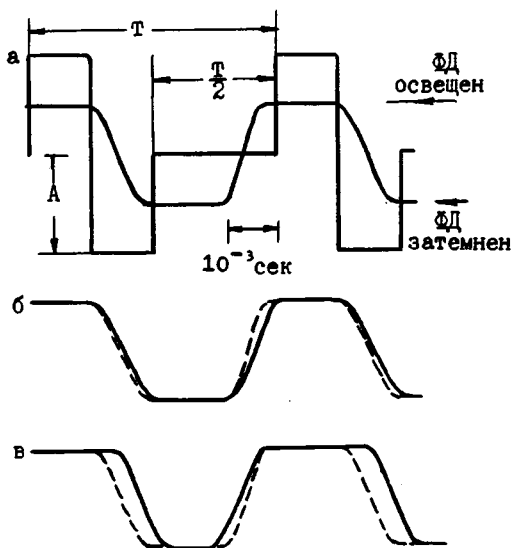


Рис. 6

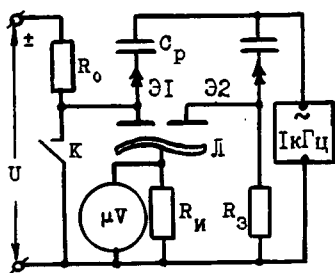


Рис. 7

появления положительного меандра напряжения фотодиод освещен. Когда появляется положительный скачок потенциала на втором электроде, фотодиод уже затемнен. Можно обратить внимание на некоторое неравенство фронтов закрытия и открытия фотодиода. В данном случае это связано с разницей в величинах рабочих емкостей (один электрод с отверстием).

Примененное схемное решение позволило обеспечить долговременную стабильность

частоты и глубины модуляции, а также фронтов переключения.

Модулятор испытывался в течение 4096 часов, из них 3328 часов (почти 139 суток) в непрерывном режиме. Период колебаний сигнала фотоотклика в течение суток изменялся не более чем на  $\pm 5 \cdot 10^{-5}$  сек, фронты переключения — не более чем на  $\pm 10^{-3}$  сек. Глубина модуляции постоянно сохранялась на уровне 100%.

#### 4. О влиянии заряда на работу электростатических модуляторов.

В работе [6] показано, что в пленочной емкостной структуре при определенных условиях появляется остаточный заряд, который искажает первоначальную форму ее вольт-фарадной характеристики  $C = f(U)$  и уменьшает диапазон изменения емкости при выбранных пределах вариации напряжения, причем эти процессы имеют сложную временную зави-



симость. Для оценки влияния заряда на работу пленочных электро - механических модуляторов (затворов) нами наблюдались их статиче - ские вольтфарадные характеристики, а также искажения формы импуль - сов фотототкика при работе модулятора на фиксированной частоте.

Зависимости  $C = f(U)$  определялись в схеме, изображенной на рис.7. На нем волнистой линией обозначен общий электрод - лента Л. Электроды Э1 и Э2 присоединены к коммутатору К, зарядному сопро - тивлению  $R_0 = 300$  ком и заземляющему сопротивлению  $R_3 = 100$  ком соответственно. На оба электрода через штыревые размыкатели и раз - делительные емкости  $0,25$  мкф х  $250$  в подается синусоидальное на - пряжение с частотой  $f = 1$  кгц. Выделяемый селективным микровольт - метром сигнал (на измерительном сопротивлении  $R_{и} = 1$  ком) позво - ляет измерять емкость. В целом схема рис.7, так же как и методика измерений в ней, аналогичны использованным в [6]. Однако в описы -ваемой схеме можно определить как суммарную емкость модулятора, так и изменение емкостей на каждом электроде. Для этого достаточ -но временно снимать синусоидальный тест-сигнал с нужного электро -да. В результате испытаний различных макетных образцов модулято -ров обнаружено, что C-V-характеристики бывают двух типов (рис.8, а, б). При постепенном увеличении напряжения на каком-либо электроде (пусть, для определенности, это будет электрод Э1 с от -верстием в нем) плавное изменение емкости происходит только до не -которого значения потенциала. При этом емкость ленты относительно

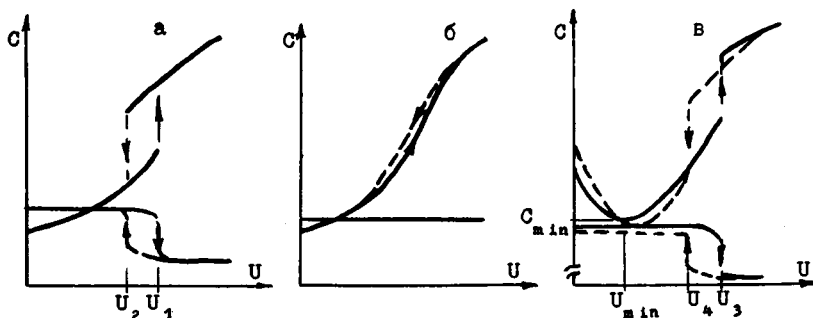


Рис. 8

второго электрода остается неизменной. Превышение порогового потенциала  $U_1$  вызывает скачкообразное изменение обеих емкостей, после чего, при дальнейшем увеличении напряжения, емкость ленты на электрод Э1 продолжает плавно возрастать, а емкость относительно электрода Э2 остается практически постоянной (рис.8,а).

При плавном уменьшении напряжения до значения  $U_2 < U_1$  происходит обратный скачок емкостей. Если заряда на ленте нет или он очень мал, то прямая и обратная ветви вольтфарадной характеристики совпадают. Такое совпадение наблюдается и во втором типе  $C-V$ -зависимостей (рис.8,б), в котором емкость ленты относительно электрода Э1 нигде не изменяется скачком, а только более круто возрастает (уменьшается) в некотором диапазоне напряжений. Для этого типа характеристик  $C = f(U)$  емкость ленты относительно электрода Э2 остается неизменной при всех вариациях потенциала.

Проявление того или иного типа  $C-V$ -зависимостей связано с конструктивными особенностями конкретного образца модулятора и не зависит от наличия заряда на ленте. Заряд же обнаруживается на статической вольтфарадной кривой (рис.8,в) по появлению характерного минимума емкости  $C_{min}$  [6] при некотором  $|U_{min}| > 0$ . Большой заряд проявляет себя большими абсолютными величинами  $U_{min}$  и  $C_{min}$ . Наличие заряда приводит к гистерезису между прямой и обратной ветвями  $C-V$ -характеристики и сдвигу значений  $U_1$  и  $U_2$  в сторону более высоких напряжений  $U_3$  и  $U_4$  соответственно (рис.8,в).

Обычно в пленочной емкостной структуре заряд локализован по площади [6]. Поэтому его наличие на ленте в районе электродов Э1 и Э2 может быть установлено только по кривой  $C = f(U)$ , измеренной при накате ленты на каждый из электродов. Так, по приведенным на рис.8 типовым зависимостям  $C = f(U)$  нельзя что-либо утверждать о заряде на ленте в районе электрода Э2. Необходимо снять характеристику  $C = f(U)$  ленты относительно этого электрода, и если на ней обнаружится минимум, значит, существует заряд  $q \approx C_{min} U_{min}$ .

Однако заряд на пленочной петле, в районе какого бы из электродов он ни был локализован, проявляет себя искажением формы эсперы фотоотклика (рис.6,б,в) при работе модулятора на определенной частоте.

Опыт ставился так. Модулятор работал от блока питания (рис.5). При этом были получены эсперы напряжения на электроде Э1 и сигнала фотоотклика с фотодиода ФД-3 (рис.6,а). Затем определялось наличие заряда на петле в районах электродов Э1 и Э2 по за-  
 $C = f(U)$  где на ленте не было.

Для его получения на электрод ЗІ на некоторое время подавалось постоянное положительное напряжение, равное значению амплитуды меандра блока питания. Относительная влажность воздуха при этих экспериментах колебалась от 65 до 70%. В зависимости от времени выдержки под постоянным напряжением на петле в районе электрода ЗІ обнаруживался меньший или больший заряд, а на электроде З2 заряда не было. После этого модулятор подключался к блоку питания и наблюдалась эюра фотоотклика (рис.6,б) относительно напряжения на электроде ЗІ. Форма сигнала фотоотклика искажалась по сравнению с исходным состоянием (рис.6,а). Было замечено, что по истечении некоторого времени искажения формы сигнала уменьшались и постепенно восстанавливалась первоначальная эюра. Проверка по статической вольт-фарадной характеристике обнаружила очень слабо выраженный минимум емкости при малом значении  $U_{\text{за}}^{\text{за}} = U_{\text{за}}^{\text{за}}$ .

Аналогичным образом были получены заряд на электроде З2 (при этом на электроде ЗІ обнаружить остаточный заряд уже не смогли) и сигнал с фотодиода (рис.6,в) относительно той же кривой потенциала на электроде ЗІ.

На рис.6,б,в штриховой линией проведена исходная (рис. 6,а) эюра фотоотклика. Сопоставление всех эюр между собой позволяет заключить, что

- 1) заряд на ленте в районе любого электрода ухудшает фронты сигнала фотоотклика;
- 2) заряд, локализованный в районе электрода с отверстием (электрод ЗІ), укорачивает время пребывания фотодиода в освещенном состоянии и немного продлевает состояние затемнения;
- 3) заряд, находящийся в области электрода З2, укорачивает время пребывания фотодиода в затемненном состоянии и существенно удлиняет время его пребывания в освещенном состоянии. Последнее происходит в основном за счет увеличения задержки перехода из освещенного в затемненное состояние.

Факт "стирания" ранее имевшегося заряда знакопеременным меандром отраден, но для объяснения истинных причин этого явления требуются дополнительные исследования. Предварительно можно предположить следующее.

В течение времени ( $\sim T/4$ ) действия отрицательной полуволны меандра между лентой и электродом оказывается напряжение большее, чем обеспечивает блок питания, на величину потенциала, создаваемое -

мого зарядом. Это напряжение и перезаряжает ленту, уменьшая первоначально имевшийся заряд. Однако при значительном первоначальном потенциале заряда и наперед заданной амплитуде напряжения в блоке питания суммарное значение действующего напряжения может превысить пробивной потенциал для пленочной структуры [5], и тогда вместо стабилизирующего работу прибора эффекта "стирания" будет испорчен модулятор.

Можно также предполагать, что при некоторых неизменных влажности и частоте работы модулятор с питанием от постоянного напряжения способен функционировать достаточно стабильно, если на петле в районе каждого из электродов будут близкие по величине заряды, а напряжение  $U_{\text{на}}$  будет относительно невелико.

Однако для негерметизированного пленочного электростатического затвора, предназначенного для длительного нахождения в каком-то одном состоянии, питание постоянным напряжением недопустимо.

#### Л и т е р а т у р а

1. КОНЯШКИН В.В., ЛУЦЕТ М.К., ПОТАПОВ Б.С. Пленочные емкостные структуры с электростатическим приводом для устройств отображения информации и модуляции света. - В кн.: Моделирование в пленочной электромеханике (Вычислительные системы, вып. 84). Новосибирск, 1981, с. 54-63.
2. А.с. 1042750 (СССР). Маска для защиты органов зрения /Дятлов В.Л., Коняшкин В.В., Луцет М.К., Потапов Б.С. - Оpubл. в Б.и., 1983, №5.
3. А.с. 1066595 (СССР). Противоослепляющее устройство /Дятлов В.Л., Коняшкин В.В., Луцет М.К., Потапов Б.С., Пьянков М.А. - Оpubл. в Б.и., 1984, №2.
4. А.с. 915094 (СССР). Индикатор /Дятлов В.Л., Коняшкин В.В., Луцет М.К., Потапов Б.С., Солдатенков И.С. - Оpubл. в Б.и., 1982, № 11.
5. ДЯТЛОВ В.Л., КОНЯШКИН В.В., ПОТАПОВ Б.С. Использование размерных физических эффектов в пленочной электромеханике. - Настоящий сборник, с. 18-34.
6. ПОТАПОВ Б.С. Вольтфарадные характеристики емкостных структур пленочной электромеханики. - В кн.: Моделирование в пленочной электромеханике (Вычислительные системы, вып. 95). Новосибирск, 1982, с. 24-53.
7. МИНДАЛЕВИЧ С. Генераторы импульсов на цифровых микросхемах. (Обзор.) - В помощь радиолюбителю, вып. 76, М., ДОСААФ, 1982, с. 79.

Поступила в ред.-изд.отд.  
26 августа 1985 года