

УДК 621.383.4/5:621.375

## СХЕМОТЕХНИКА МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ФОТОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДОВ СВИНЦА

*В. Д. Бочков, И. И. Воропаев, М. Л. Храпунов*

Государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение «Орион»»,  
Москва, Россия

*Ведутся работы по созданию многоканальных фотоприемных устройств, работающих в области спектра 3–5 мкм, выполненных на основе высокочувствительных охлаждаемых гибридных фотомодулей (ФМ), состоящих из многоэлементного фоточувствительного элемента (ФЧЭ), мультиплексоров и устройств охлаждения (например, ТЭО). Применение таких ФМ позволит улучшить массогабаритные показатели оптика-электронной аппаратуры, уменьшить потребляемую мощность, снизить стоимость и трудоемкость изготовления ФПУ. Коммутация сигналов в ФМ осуществляется при помощи бескорпусных БИС мультиплексоров с предусилителями на входах. Для достижения предельных пороговых характеристик таких фотомодулей параметры ФЧЭ и мультиплексоров должны быть взаимно согласованы. Рассмотрены вопросы разработки и исследования мультиплексоров с целью их оптимального сопряжения с фоторезистором из PbSe, определены требования к параметрам фоторезистора и характеристики мультиплексора, обеспечивающего реализацию обнаружительной способности фотомодуля.*

Фоторезисторы из халькогенидов свинца имеют ряд особенностей, которые проявляют себя при эксплуатации в виде фотоэлектрических характеристик и зависят от схемотехнических условий применения. Величины темновых сопротивлений фоторезисторов  $R_T$  имеют довольно значительный разброс не только в отдельных образцах, но и в одном многоэлементном фотоприемнике. Величина  $R_T$ , как правило, не является отбраковочным параметром.

В большинстве случаев фоторезисторы работают в широком диапазоне температур, а величина  $R_T$  существенно зависит от температуры. Общепринятая схема включения фоторезисторов предполагает подключение напряжения питания к фоторезистору через резистор нагрузки  $R_H$ . При этом вольтовая чувствительность  $S_V$  зависит от соотношения  $R_T$  и  $R_H$  следующим образом:

$$S_V = 4(SV)_{\max} R_T R_H (R_T + R_H)^{-2}, \quad (1)$$

где  $(S_V)_{\max}$  — максимальное значение вольтовой чувствительности, достигаемое при  $R_T = R_H$ .

В связи с тем, что подбор  $R_H$  в многоэлементных приемниках затруднен, существуют специальные схемотехнические решения, снимающие эту проблему. В нашей практике очень хорошо себя проявила схема с динамической нагрузкой, управляемой при помощи операционного усилителя (рис. 1). Здесь автоматически поддерживается режим, при котором динамическое сопротивление транзистора  $VT1$  ( $R_A)_{VT1} = 1/S_{VT1}$ ) примерно равно темновому сопротивлению фоторезистора в широком диапазоне  $R_T$ , а напряжение на фоторезисторе поддерживается постоянным, равным  $E1$  [1].

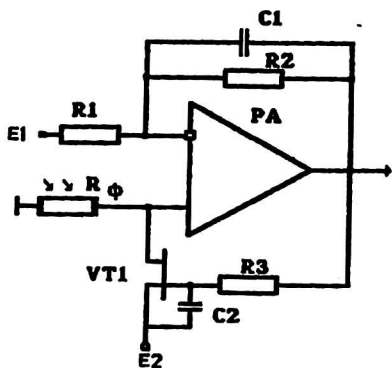


Рис. 1. Принципиальная схема предварительного усилителя с динамической нагрузкой

Вольтовая чувствительность такого ФПУ в максимуме АЧХ может быть представлена следующим образом:

$$(S_v)_{ФПУ} = 2(S_v)_{max}(R_A)_{VT1}[R_T + (R_A)_{VT1}]^{-1}(1 + R2 / R1). \quad (2)$$

Для многоэлементных ФПУ разработаны микросхемы ПЗС-мультиплексоров серии 1163, способные обеспечить предварительное усиление и коммутацию сигналов от фотоприемников из халькогенидов свинца.

Выходное устройство выполнено по схеме с плавающей диффузионной областью (ПД). Регистр считывания (РС) представляет собой 4-фазный 2-уровневый ПЗС на 128 бит, по 2 бита на один информационный вход. Устройство ввода заряда в РС мультиплексора (УВ) работает по методу "уравновешивания поверхностных потенциалов". На рис. 2 показана принципиальная схема одного предварительного усилителя (ПУ) 64-канального мультиплексора Б1163КН1-2 [2, 3].

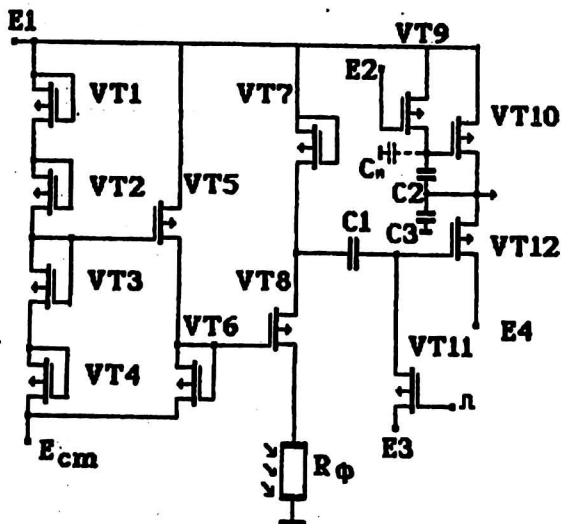


Рис. 2. Принципиальная схема предварительного усилителя мультиплексора Б1163КН1-2

Характерной особенностью схемотехнического сопряжения фотоприемника и предусилителя является режим, при котором напряжение на фоторезистор поступает с истока полевого транзистора VT8. Входное сопротивление ПУ при этом много меньше сопротивления фоторезистора. Приращение тока через цепочку-фоторезистор, транзистор VT8 и динамическую нагрузку (VT7) приводит к появлению на VT7 переменного напряжения.

Основным параметром, определяющим усилительные свойства микросхемы Б1163КН1-2 по аналогии с вариантом сопряжения фоторезистора с трансимпедансным усилителем, является коэффициент преобразования  $K_{пр}$ , величина которого в максимуме АЧХ (с учетом обозначений рис. 2) определяется как

$$K_{пр} = (R_A)_{VT7} (b_{VT12} / b_{VT10})^{1/2} m (\eta_{VT10} [1 - (1 - m) / \eta_{VT10}])^{-1} C_{ув} / C_{пд}, \quad (3)$$

где  $(R_A)_{VT7} = 1 / (2 b_{VT7} I_{ФР})^{1/2}$  — динамическое сопротивление VT7;

$b_{VT7}, b_{VT10}, b_{VT12}$  — удельные крутизны VT7, VT10, VT12;

$I_{ФР}$  — постоянная составляющая тока через ФР;

$m = C2 / (C_{п} + C2); C_{п} \ll C2;$

$\eta_{VT10}$  — коэффициент влияния подложки VT10;

$C_{ув}, C_{пд}$  — входная емкость УВ и емкость ПД ПЗС-регистра сдвига;

$C_{п}$  — паразитная емкость, образуемая емкостями затвора VT10, истока VT9 и верхней обкладки C2 относительно подложки.

По результатам измерений микросхемы Б1163КН1-2  $K_{пр}$  в максимуме АЧХ составил (22—30) В/мкА.

VT1, ..., VT6 входят в состав токового зеркала, с помощью которого на фоторезисторе задается напряжение смещения  $E_{см}$ .

На рис. 3 представлена зависимость верхней граничной частоты ( $f_B^{0,7}$ ) ПУ от тока ( $I_b$ ) через VT12, величина которого регулируется изменением напряжения  $E3$ . Измерения проводились при запараллельных через тестовые транзисторы входах МС. Одновременно были измерены коэффициенты преобразования по каналам и нижняя граничная частота  $f_H^{0,7}$ . Измерения показали, что неравномерность коэффициента преобразования по каналам не превышает 20 % при типичном значении 15 %, а  $f_H^{0,7}$  — 5 Гц.

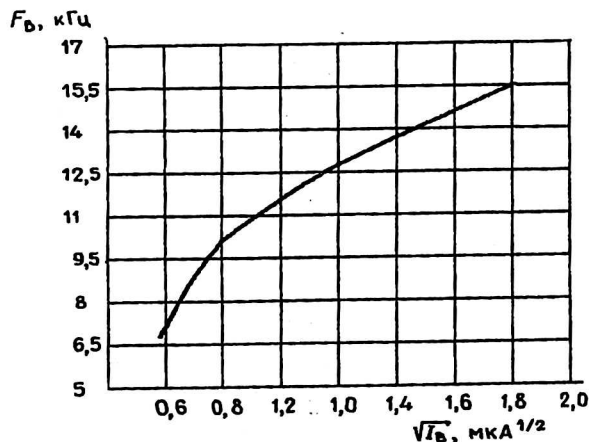


Рис. 3. Зависимость верхней граничной частоты  $f_B^{0,7}$  предварительного усилителя от тока  $I_b$  через VT12

На рис. 4 представлены результаты измерений спектральной плотности приведенного ко входу напряжения шума  $[(\epsilon_{ш}^2)_{ПЗСМ}]^{1/2}$  на частотах 130 и 1200 Гц. Сигнал подавался на попарно запараллельные входы через резисторы  $R_{ист} = 510$  кОм, иммитирующие фоторезистор, при  $E_{см} = 2,5$  В [4].

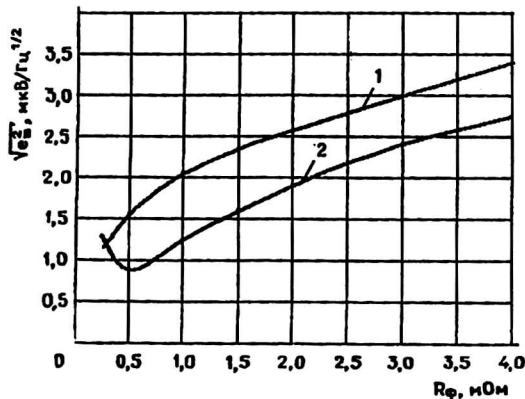


Рис. 4. Зависимость спектральной плотности приведенного ко входу напряжения шума от сопротивления фоторезистора:  
1 — 130 Гц; 2 — 1200 Гц

Микросхема находилась в режиме, аналогичном режиму при измерении коэффициента преобразования. Спектральная плотность напряжения шума, приведенного ко входу, для различных экземпляров МС изменялась в пределах (1,0—2,5) мкВ/Гц<sup>1/2</sup>.

Коэффициент взаимосвязи по соседним каналам не превышал (1,7—3) %, а по остальным — (0,5—0,8) %. Входное сопротивление каналов МС определяется удельной крутизной транзистора VT8 и составляет (0,8—0,25) мОм.

Обычно величина разброса напряжения смещения на фоторезисторах определяется разбросом пороговых напряжений транзисторов, который, в свою очередь, зависит от качества исходных кремниевых пластин и от уровня технологии. Схемотехнические решения, использованные при проектировании данной МС, позволили реализовать идею "вычитания" пороговых напряжений на двух близкорасположенных МОП-транзисторах (VT8, VT6). В результате разброс напряжений смещения не превышал 50 мВ при типичном значении (20—30) мВ.

Измерения электрических параметров МС в интервале температур (77—300) К показали, что они оставались практически неизменными. Несколько, в пределах (10—15) %, уменьшился коэффициент преобразования, увеличилась приведенная ко входу спектральная плотность шумового напряжения. В ходе работ проводились исследования с целью выявления факторов, влияющих на выходной "геометрический шум" МС. Экспериментально было получено, что неравномерность постоянной составляющей выходного сигнала зависит от амплитуды импульса, подаваемого на затвор второго режимозадающего транзистора VT11, и при ее увеличении неравномерность улучшается. Однако при этом из-за наводки от этого импульса на устройство ввода заряда в ПЗС-резистор сдвига ухудшаются шумовые характеристики МС. Поэтому чрезмерное увеличение амплитуды этого импульса нежелательно. Другим параметром, сильно влияющим на неравномерность постоянной составляющей выходного сигнала, является время перетекания  $t_{пр}$  заряда из устройства ввода в регистр сдвига. Наилучшие результаты были получены при  $t_{пр} = 1$  мкс.

Анализы результатов исследований ПЗСМ Б1163КН1-2 позволили выбрать оптимальные параметры управляющих напряжений (постоянных и импульсных) ПЗСМ, а следовательно, и фотомодуля в целом. Наилучшее сопряжение с ФЧЭ на основе фоторезисторов из PbSe достигается при темновых сопротивлениях (0,5—2,0) МОм.

Был разработан и исследован 128-элементный фотомодуль на основе ФР из PbSe и мультиплексоров Б1163КН1-2, который имел следующие параметры:

Температура охлаждения фоторезистора, °С .....	-5
Обнаружительная способность ( $D^*_{\lambda_{max}}$ ), Вт <sup>-1</sup> · см · Гц <sup>1/2</sup> .....	2 · 10 <sup>10</sup>
Период опроса каналов, мкс, не более: .....	65
$f_H^{0,7}$ , Гц .....	5
$f_B^{0,7}$ , кГц .....	8

Применение такого ФМ в тепловизионной аппаратуре позволит улучшить ее характеристики, снизить стоимость и трудоемкость изготовления.

#### Л и т е р а т у р а

1. Б о ч к о в В. Д., Л а в р о в а В. П. Схема включения фоторезистора с динамической нагрузкой, управляемой при помощи операционного усилителя // В О Т. Сер. 11. 1979. Вып. 64.
2. Б о ч к о в В. Д., Б и р ю к о в В. А. Многоканальный предварительный усилитель на полевых транзисторах с изолированным затвором // Там же, 1984. Вып. 3.
3. В е т о А. В., К у з н е ц о в Ю. А. ПЗС-мультиплексор для гибридных фотоприемников // Электронная промышленность. 1982. № 4. С. 21—25.
4. В о р о п а е в И. И., В и н е ц к и й Ю. Р., Т р и ш е н к о в М. А. Однокристалльный ПЗС-предусилитель-коммутатор // Спецэлектроника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. 1987. Вып. 2150. С. 57—61.

## CIRCUIT ENGINEERING OF MULTI-ELEMENT PHOTODETECTIVE ASSEMBLIES BASED ON LEAD CHALCOGENIDES

V. D. Bochkov, I. I. Voropayev, M. L. Khrapunov  
The State Unitary Enterprise «RD&P Centre "Orion"», Moscow, Russia

*At present works are carrying out making multichannel photodetective assemblies, operating in 3—5 μm spectral range made on the basis of high-sensitive cooled hybrid photomodules (PMs) including a multi-element photosensitive element (RSE), multiplexers and a cooler (e.g.) thermoelectric coolers (TECs). Application of such PMs allows to make better weight and size parameters of optoelectronic equipment, to decrease power consumption, to decrease cost and working hours of making photodetective assemblies (PDAs). Signals commutation in PMs is realized with the help of multiplexers-large integrated circuits without packages with input preamplifiers. For achievement of maximum detectivity of such photomodules parameters of PSEs and multiplexers must be mutually agreed. Subjects of developing and studying multiplexers for their optimal mating with PbSe photoresistor were discussed in this paper, requirements for photoresistor parameters and characteristics of the multiplexer providing realization of photomodule detectivity were determined.*