ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտություններ սերիա XXXIV, № 6, 1981 Серия технических наук

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

К. А. ГУЛГАЗАРЯН, С. Т. ОВАКИМЯН, М. А. КУЧУРЯН,
Р. Г. ХУРХУРОВ, Р. Б. ХОСРОВЯН

ДВУХКАНАЛЬНЫЕ ФЭУ С ОДНОЙ УМНОЖИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ

Двухканальные ФЭУ с одной умножительной системой предназначены для одновременной регистрации двух световых потоков, падающих на различные области фотокатода.

Известен весьма широкий класс задач, где могут найти применение двухканальные ФЭУ. К ним относятся: разработка фотоэлектрических газоанализаторов, мутномеров, поляриметров, рефрактометров, колориметров, пирометров, фотонилов, следящих систем астронавигации, приборов для кораблевождения и др.

В основе решения этих задач лежит сравнение мощностей двух световых потоков. В настоящее время в связи с отсутствием двухканальных ФЭУ эти задачи решаются с помощью двух отдельных приемников света.

Большой практический интерес представляет создание таких многоканальных ФЭУ с одной умножительной системой, изготовление которых не связано с решением каких-либо новых конструктивных и технологических задач. Такие приборы рассмотрены в данной работе.

На рис. 1 представлена схема двухканального ФЭУ, где фотоэлектронные потоки с различных участков фотокатодов модулируются электродами, установленными вне колбы прибора. Такой метод модуляции фотоэлектронного потока предложен в [1].

Фотоумножитель по рис. 1 отличается от промышленных ФЭУ тем, что фотокатод 1 имеет прямоугольную форму, а остальные части торца ФЭУ покрыты проводящей пленкой 2, которая соединена с манжетой 3. К торцу ФЭУ прикладываются два внешних электрода 4 и 5, на которые подаются управляющие потенциалы относительно электродов 2 и 3. Измеряемые световые потоки F_1 и F_2 создают фотоэлектронные потоки, которые модулируются напряжениями U_1 и U_2.

Расстояние световых пятен F_1 и F_2, ширина фотокатода, размеры внешних электродов подбираются таким образом, чтобы каждый из фотопотоков модулировался только полем своего внешнего электрода.

Экспериментальный ФЭУ с шириной фотокатода 4—5 *мм* выполнен на базе ФЭУ-85. Направление широкой стороны фотокатода совпало с

направлением широких сторон диводов. Подача последовательности прямоугольных импульсов с частотой 20 *кГц* и более, с амплитудой ~ 10 *В* на один из внешних электродов привела к уменьшению выходного тока от собственного светового потока в 8—10 раз, а от соседнего на 3—5%.

Для математического анализа процесса проникновения управляющих полей сквозь слой фотокатода система «внешний электрод-фотокатод» рассматривается как линия с распределенными параметрами. Комплексы напряжения $\dot{U}$ и тока $\dot{I}$ в любой точке линии связаны с комплексами напряжения и тока в начале линии $\dot{U}_1$ и $\dot{I}_1$ соотношениями:

$$\dot{U} = \dot{U}_1 \operatorname{ch} \gamma x - \dot{I}_1 Z_c \operatorname{sh} \gamma x;$$

$$\dot{I} = \dot{I}_1 \operatorname{ch} \gamma x - \frac{\dot{U}_1}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma x,$$

где $\gamma = \alpha + j\beta$ — постоянная распространения; Z_c — волновое сопротивление.

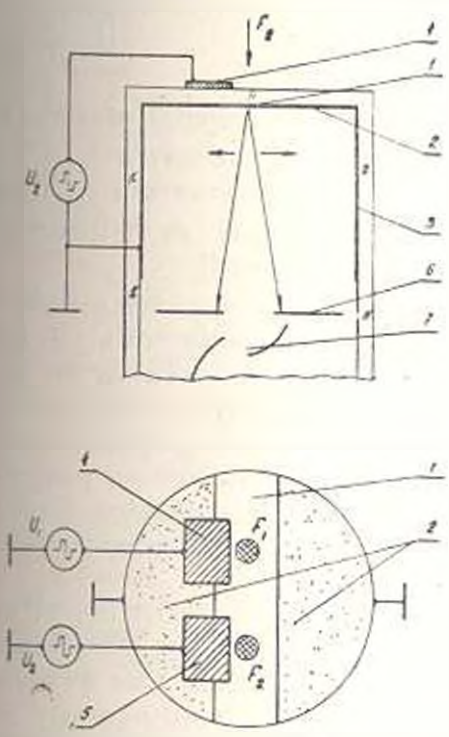

Рис. 1. Двухканальный ФЭУ с внешними управляющими электродами. *1* — фотокатод; *2—3* — проводящие покрытия; *4—5* — внешние управляющие электроды; *6* — диафрагма; *7* — умножительная система.

Из этих уравнений, с учетом того, что в конце линии ($x = l$) ток $\dot{I} = 0$, находим напряжение между фотокатодом и внешним электродом

$$\dot{U} = \dot{U}_1 \frac{\operatorname{ch} \gamma (l - x)}{\operatorname{ch} \gamma l}.$$

Напряжение между фотокатодом и электродом 2 $\dot{U}_\Phi$ является управляющим для фототока:

$$\dot{U}_\Phi = \dot{U}_1 - \dot{U} = \dot{U}_1 \left[1 - \frac{\operatorname{ch} \gamma (l - x)}{\operatorname{ch} \gamma l} \right], \qquad (1)$$

где $\gamma = \sqrt{j\omega R C_{01}}$; R — сопротивление квадрата слоя фотокатода; C_{01} — емкость между фотокатодом и внешним электродом, приходящаяся на единицу площадки фотокатода.

Определим напряжение, управляющее фототоком в конце внешнего электрода ($x = l$). Из (1) получим:

$$\dot{U}_\Phi = \dot{U}_1 \left(1 - \frac{1}{\operatorname{ch} \gamma l} \right). \qquad (2)$$

откуда находим

$$U_{\phi} = U_{y} \sqrt{1 - \frac{2 \operatorname{ch} x_0 \cos x_0 - 1}{(\operatorname{ch} x_0 \cos x_0)^2 - (\operatorname{sh} x_0 \cdot \sin x_0)^2}}, \qquad (3)$$

где

$$x_0 = \sqrt{\frac{1}{2} \omega R_{\square} C_{01}} l.$$

Из (3) можно определить, что при $x_0 \approx 0{,}75$ ($U_{\phi} = 0{,}5\, U_{y}$):

$$f_{н} \approx 1{,}5 R_{\square} C_{01} l^2, \qquad (3)$$

где $f_{н}$ — частота управляющего сигнала, при которой напряжение, проникающее через фотокатод, достигает значения $0{,}5\, U_{y}$.

Приведем пример, показывающий порядок величины $f_{н}$. Пусть $R_{\square} = 10^7$ *ом*, $C_{01} = 10$ *пф/см²*, $l = 2$ *мм*. Тогда из (4) получим $f_{н} = 50$ *кГц*.

На рис. 2 представлена другая конструкция двухканального ФЭУ, которая является частным случаем устройства, описанного в [2]. Под полупрозрачным фотокатодом 1 на торцевое стекло нанесены два проводящих электрода 2 и 3 с отверстиями для поступления световых потоков на соответствующие участки фотокатодов. Эти электроды соединены между собой узким слоем фотокатода, имеющим большое сопротивление. За фотокатодом на небольшом расстоянии установлена сетка 4. Катодный цилиндр 5 предназначен для фокусировки фотоэлектронов на первый динод умножительной системы 6.

Управляющие напряжения U_1 и U_2 подаются на электроды 2 и 3 относительно сетки 4. Поскольку внутренние сопротивления управляющих генераторов значительно меньше сопротивления узкого слоя фотокатода, расположенного между электродами 2 и 3, то каждый из электродов практически принимает только потенциал одного управляющего генератора — либо U_1, либо U_2.

Измеряемые световые потоки F_1 и F_2 поступают на различные участки фотокатода и вызывают фототоки i_1 и i_2, которые модулируются напряжениями U_1 и U_2.

Модулированные токи усиливаются умножительной системой. Если модулирующие сигналы U_1 и U_2 имеют различные частоты, то на выходе ФЭУ фильтрами можно выделить токи от F_1 и F_2.

Экспериментальный ФЭУ изготовлен на базе ФЭУ-85. Сетка 4 выполнена из сеточной ткани с размером ячейки 500×500 *мкм²*. Расстояние «сетка—фотокатод» — 2 *мм*, зазор между управляющими электродами 2 и 3 — 2 *мм*, ширина этих электродов — 1 *мм*. Прибор запирался при подаче на сетку напряжения величиной около — 1,5 *В* и отпирался при + 0,5 *В*.

В отличие от двухканального ФЭУ по рис. 1 токи данного ФЭУ хорошо управляются на низких частотах и хуже — с повышением часто-

ты. Это обусловлено большим сопротивлением слоя фотокатода и емкостью между сеткой и фотокатодом.

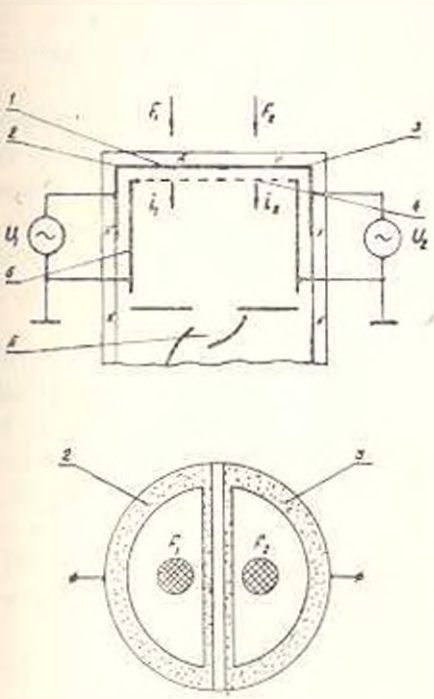

Рис. 2. Двухканальный ФЭУ с внутренними управляющими электродами. *1* — фотокатод; *2—3* — проводящие управляющие электроды; *4* — сетка; *5* — катодный цилиндр; *6* — умножительная система.

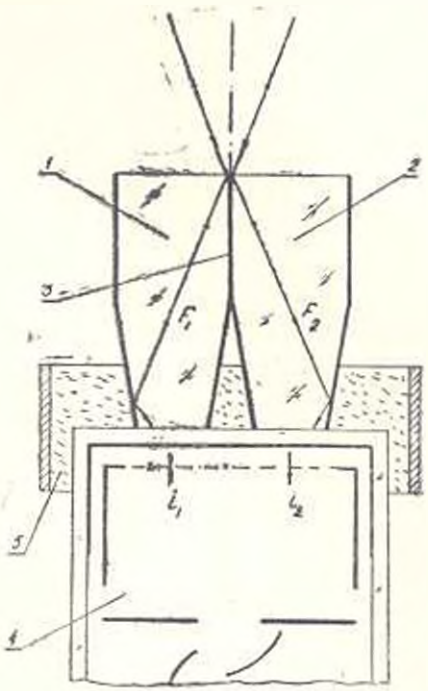

Рис. 3. Координатно-чувствительный ФЭУ. *1—2* — стеклянные призмы; *3* — слой оптического клея; *4* — двухканальный ФЭУ; *5* — компаунд.

Для определения граничной частоты модуляции производится расчет, аналогично вышеизложенному. Доказывается, что в случае прямоугольных электродов для их центральной части управляющее фототоком напряжение определяется выражением:

$$U_\Phi = \frac{U_y}{\sqrt{(\operatorname{ch} x \cdot \cos x)^2 + (\operatorname{sh} x \cdot \sin x)^2}}, \qquad (5)$$

где $x = \sqrt{\frac{1}{2}\omega R_\square C_{02}}\, l$; $2l$ — ширина фотокатода, ограниченная управляющими электродами 2 или 3; C_{02} — емкость между сеткой и фотокатодом, приходящаяся на единицу площадки фотокатода.

Из (5) при условии $U_\Phi = 0{,}5\,U_y$:

$$f_в \simeq 0{,}3/R_\square C_{02} l^2. \qquad (6)$$

При $2l = 10$ *мм*, $C_{02} = 0{,}5$ *нФ/см*^{2} (чему соответствует расстояние „сетка — фотокатод", равное 2 *мм*), $R_\square = 10^8$ *Ом*, из (6) получим $f_в \simeq 5{,}6$ *МГц*.

Двухканальные ФЭУ с одной умножительной системой могут быть использованы для создания координатно-чувствительных оптоэлектронных приборов. При этом ФЭУ сочетается со светоделительным оптическим блоком. Такая схема представлена на рис. 3.

Две идентичные стеклянные призмы 1 и 2 склеены оптическим клеем 3, коэффициент преломления которого меньше коэффициента преломления стекла. В этом случае световые лучи, падающие на переход «стекло-клей» под небольшими углами, отражаются (полное внутреннее отражение). Призмы со всех сторон также покрыты этим клеем и защитным слоем (алюминиевая пудра). Призмы приклеены к торцу ФЭУ 4. Часть призмы и ФЭУ залиты компаундом 5.

Приходящее от цели излучение собирается объективом и фокусируется на вершине стыковки призм. От обеих сторон клея происходит отражение лучей. Свет делится на две части F_1 и F_2, которые далее отражаясь от стенок призмы, поступают на фотокатоды двухканального ФЭУ и создают фототоки i_1 и i_2, которые сравниваются между собой. Равенство световых потоков F_1 и F_2 означает, что ось устройства направлена на цель. В противном случае вырабатывается сигнал рассогласования, под действием которого срабатывает следящая система. Последняя вращает ФЭУ до тех пор, пока ось системы не окажется направленной на цель. Зона нечувствительности данного устройства определяется толщиной клея и составляет в среднем 20 *мкм*.

Сравнивая данное устройство с известным квадрантным ФЭУ, разработанным в США [3], можно заметить, что разработанный прибор имеет ряд преимуществ, а именно: меньшая зона нечувствительности — 20 *мкм* (50—75 *мкм* в квадрантном ФЭУ); малые управляющие напряжения — 1,5 *В* (16 *В* в квадрантном ФЭУ); простота конструкции и легкость изготовления.

ЕрПИ им. К. Маркса Поступило 22 XII 1980

Կ. Ա. ԳԵՂԴԱՉԱՐՅԱՆ, Ս. Տ. ՀՈՎԱԿԻՄՅԱՆ, Մ. Հ. ԿՈՒՉՈՒԿՅԱՆ,
Ե. Գ. ԽՈՒՐԽՈՒՐՈՎ, Ռ. Բ. ԽՈՍՐՈՎՅԱՆ

ՄԵԿ ԲԱԶՄԱՊԱՏԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՎ ԵՐԿԿԱՆԱԼ ՖՈՏՈԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ԲԱԶՄԱՊԱՏԿԻՉ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Ներկայացված է մեկ բազմապատկման համակարգի երկկանալ ֆոտոէլեկտրոնային բազմապատկիչի երկու կոնստրուկցիա։ Առաջինում ֆոտոհոսանքները ղեկավարվում են արտաքին էլեկտրոդներով, իսկ երկրորդում՝ ներքին էլեկտրոդներով։ Տվյալ սարքին միացնելով հատուկ լուսաբաժանիչ օպտիկական էլեմենտ՝ ստանում ենք կոորդինատային զգայուն օպտոէլեկտրոնային սարք, որը իր ցուցանիշներով գերազանցում է նույն նպատակին ծառայող հայտնի սարքերին։ Սարքերի պատրաստման համար չի պահանջվում որևէ նոր կոնստրուկտորական կամ տեխնոլոգիական հարցի լուծում։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гулказарян К. А., Скибарко А. П.* ФЭУ для приема оптических сигналов. Патент США 4.555.281, 1971. Патент Англии 1.205.131, 1971.
2. *Гулказарян К. А.* Координатно-чувствительное фотоэлектрическое устройство. Авт. свид. № 331.450, Бюллетень № 9, 1972.
3. Квадрантный ФЭУ — новый вид следящей астрономической системы. «Электроника» (экспресс-информация), 1964, № 36.