

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

К. А. ГУЛГАЗАРЯН, М. А. КУЧУРЯН

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ФОТОЭЛЕМЕНТ В РЕЖИМЕ  
 ГЕТЕРОДИНИРОВАНИЯ

В настоящее время для приема весьма коротких импульсов лазеров широко применяются высокоскоростные вакуумные фотоэлементы. Быстродействие в них достигается за счет уменьшения зазора фотокаатод-анод.

В данной работе высокочастотный фотоэлемент используется для другой цели — приема световых сигналов, модулированных сверхвысокочастотными колебаниями, что весьма важно при решении различных задач, в частности, для построения высокоточных светодальномеров.

Малое расстояние фотокаатод-анод позволяет эффективно модулировать фототок весьма высокими частотами и осуществлять гетеродинный прием. До недавнего времени эта задача решалась с использованием ФЭУ [1]. Однако их применение необязательно, т. к. мощность света, модулированного сверхвысокочастотными колебаниями, достаточно большая. Это обусловлено тем, что для формирования каждого периода модулированного света необходимо определенное количество фотонов. С повышением частоты модуляции возрастает количество фотонов за одну секунду и, следовательно, мощность модулированного света.

На рис. 1 представлена схема гетеродинного фотоэлемента. Фотоэлемент типа Ф-28 [2] содержит анод 1, выполненный в виде сетки, которая расположена на торцовом стекле прибора, и фотокаатод 2. Анод и катод соединены с одним концом отрезка коаксиальной линии, имеющей внутренний 3 и внешний 4 проводники. Между этими проводниками на противоположном конце помещен диэлектрик 5. Образованный таким образом конденсатор практически обеспечивает короткое замыкание на сверхвысоких частотах на конце линии, а для сигнала разностной частоты — холостой ход.

Световой поток  $F_c$ , модулированный с частотой  $f_c$ , попадает на фотокаатод 2 и создает модулированный фотоэлектронный поток. Резонатор возбуждается сигналом гетеродина с частотой  $f_r$ . В емкостном зазоре резонатора возникает напряжение с частотой  $f_r$ , которым вторично модулируется электронный поток. В результате этого в спектре фототока возникает составляющая разностной частоты  $|f_r - f_c|$ , создающая падение напряжения на  $R_n$ , которое усиливается.

Для анализа гетеродинного приемника воспользуемся уравнением движения электронов в плоском межэлектродном зазоре фотоэлемента (рис. 2). При условии, что электроны из катода вылетают с нулевыми начальными скоростями, решение уравнения движения электронов имеет вид [3]:

$$x = 4,95 \cdot 10^{-8} \frac{U_{гг} \lambda^2}{d} [(\omega_r t - \omega_r t_0) \cos \omega_r t_0 + \sin \omega_r t_0 - \sin \omega_r t], \quad (1)$$

где  $x$  — текущая координата электрона, см;  $U_{гг}$  — амплитуда напряжения гетеродина, В;  $\lambda$  — длина волны колебаний гетеродина в свободном пространстве, см;  $d$  — расстояние между электродами, см;  $\omega_r$  — частота гетеродина, рад/с;  $t_0$  — момент вылета электрона из фотокатода;  $t$  — текущий момент времени.

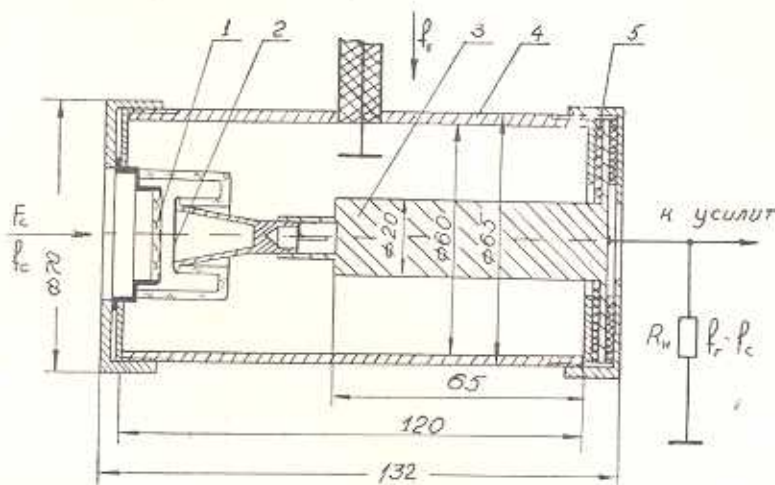


Рис. 1. Схема гетеродинного фотоэлемента. 1 — анод; 2 — фотокатод; 3, 4 — внутренний и внешний проводники резонатора; 5 — диэлектрик.

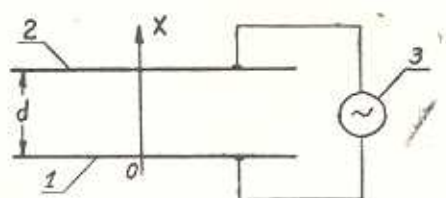


Рис. 2. Схема питания плоского фотоэлемента 1 — фотокатод; 2 — анод; 3 — гетеродин.

Множитель в квадратных скобках в выражении (1) является безразмерной величиной, обозначается через  $F$  [3] и называется безразмерной траекторией электронов. Графики функции  $F$  с шагом  $\Delta \omega_r t_0 = 5^\circ$  в зависимости от  $\omega_r t$  вычислены на ЭВМ и представлены на рис. 3. Кривые на рис. 3 универсальны и позволяют произвести самые разнообразные расчеты.

Представляет теоретический и практический интерес определение фазовых и амплитудных характеристик приемника, для чего вначале необходимо выяснить, как происходит модуляция фототока напряжением гетеродина  $U_r$ . Очевидно, что на низких частотах и больших значениях  $U_r$  в ускоряющих полупериодах все фотоэлектроны долетают до анода, а в тормозящих — нет. При этом модулирующая фототоком функция  $k$  представляет собой последовательность прямоугольных импульсов, где длительность импульса равна половине периода напряжения  $U_r$ , а его величина равна единице.

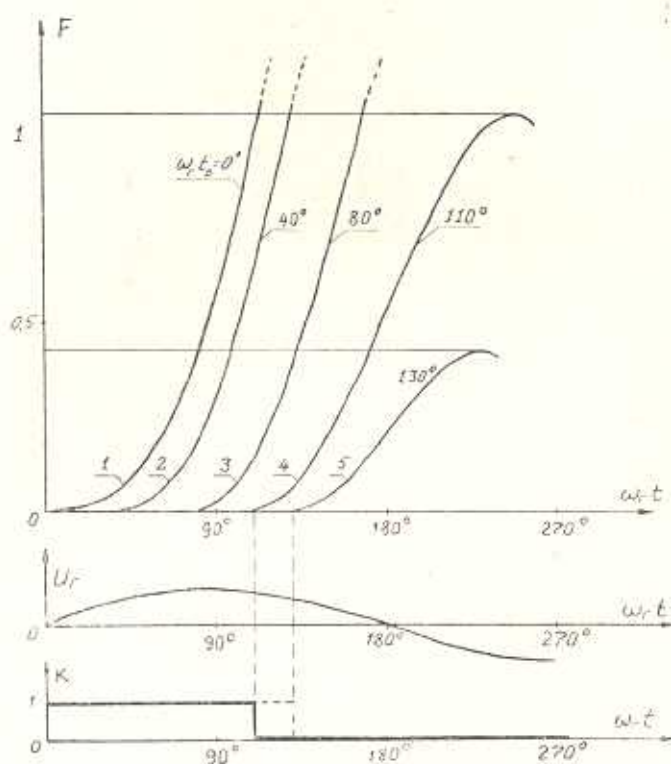


Рис. 3. Графики функций  $F$  и  $K$ .

В реальных условиях длительность импульса модулирующей функции  $k$  определяется следующим образом. Начало импульса  $k$  совпадает с фазой вылета из катода тех электронов, которые первыми долетают до анода, а конец импульса — которые последними долетают до анода под действием положительной полуволны напряжения гетеродина.

Проводя линию  $F = \text{const}$ , из рис. 3 можно определить, какие электроны долетают до анода и какие не долетают. Например, при  $F \approx 1$  электроны типа 1, 2, 3, 4 долетают до анода: типа 1 долетают первыми а типа 4 — последними. При этом функция  $k$  имеет вид последовательности прямоугольных импульсов с определенной длительностью, равной разности фаз вылета электронов типа 4 и 1. Очевидно для другого

значения  $F$  длительность импульсов функции  $k$  будет другая. Например, при  $F \approx 0,5$  последними являются электроны типа 5.

Вышеприведенные рассуждения связывают величину  $F$  с длительностью импульсов функции  $k$ . Но для практических целей необходимо перейти от величины  $F$  к напряжению  $U_{гг}$  и частоте  $f_r$  гетеродина. Этот переход осуществляется следующим образом: подставляя вместо  $x$  значение координаты анода  $d$  в (1), получим соотношение между значением  $F$  и напряжением гетеродина  $U_{гг}$ :

$$F = \frac{d^2}{4,95 \cdot 10^{-8} \lambda^2 U_{гг}} \quad (2)$$

При увеличении  $U_{гг}$  уменьшается значение  $F$ , увеличивается длительность импульсов функции  $k$  и их центр перемещается вправо, вследствие чего изменяется фаза первой гармоники функции  $k$ .

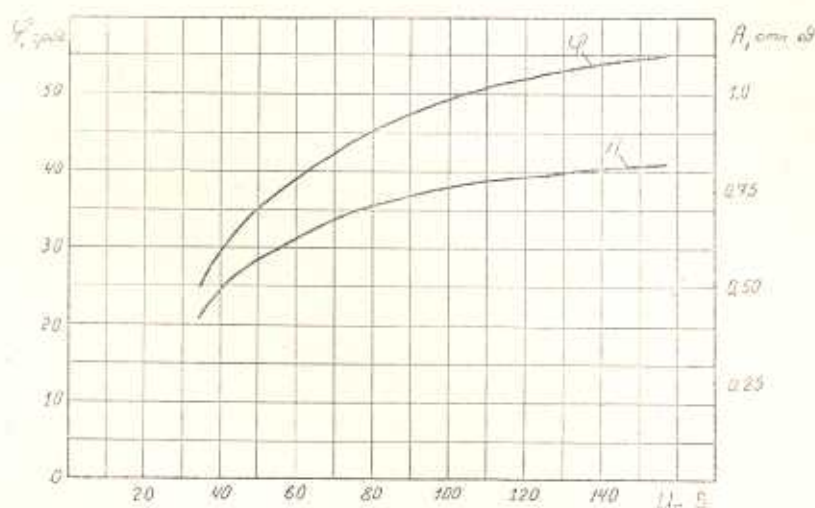


Рис. 4. Характеристики гетеродинного фотоэлемента.

Известно, что фаза разностной частоты при гетеродинировании совпадает с фазой первой гармоники  $k$ , а амплитуда сигнала разностной частоты  $A$  пропорциональна амплитуде первой гармоники  $k$ .

Используя эти рассуждения, был произведен расчет фотоэлемента Ф-28, у которого  $d = 2$  мм на частоте  $f_r = 500$  МГц, а напряжение между электродами фотоэлемента  $U_r$ , необходимое для глубокой модуляции фототока, составило  $\sim 30$  В. Результаты расчета представлены на рис. 4, где  $\varphi$  — фаза сигнала разностной частоты, а  $A$  — его амплитуда.

Измерения показали, что при перемещении светового пятна по фотокатоду на  $\pm 5$  мм фаза сигнала разностной частоты изменялась на величину менее  $1^\circ$ , а при изменении  $U_r$  на  $10\%$   $\sim 2^\circ$ .

ԲԱՐՁՐ ՀԱՃԱԽԱԿԱՆԱՅԻՆ ՖՈՏՈԷԼԵՄԵՆՏԸ ՀԵՏԵՐՈԳԻՆԱՑՄԱՆ  
ՌԵԺԻՄՈՒՄ

Ա մ ֆ ո ֆ ու մ

Ներկայացված լույսային ընդունիչով իրականացվում է գերբարձր հաճախականությամբ մոդուլացված լույսի ընդունում: Ընդունիչը կազմված է ֆոտոէլեմենտից և սեղոնատորից, որի դաշտով մոդուլացվում է ֆոտոհոսանք: Մտացված արտահայտությունները թույլ են տալիս որոշել օդառկար ազդանշանի մեծության և ֆազի կախումը հետերոզինի լարումից: Փորձնական հետազոտությունները կատարվել են 500 ՄՀց դիապազոնում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Գուլազարյան Կ. Ա. Высокочастотная модуляция фототока ФЭУ.—ИТЭ, 1970, № 5, с. 161—164.
2. Гаванин В. А. и др. Вакуумный фотозлемент с высоким временным разрешением.— В сб.: Импульсная фотометрия, вып. 4, Л., Машиностроение, с. 158—159.
3. Кацман Ю. А. Приборы сверхвысоких частот. Теория, основы расчета и проектирования электронных приборов.— М.: Высшая школа, 1973, т. 2, с. 48.