

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 фотокатод-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 фотокатод-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 фотокатод 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 фотокатод 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 $|f_c - f_r|$, 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; λ — длина волны колебаний гетеродина в свободном пространстве, см; d — расстояние между электродами, см; ω_r — частота гетеродина, рад/с; t_0 — момент вылета электрона из фотокатода; t — текущий момент времени.

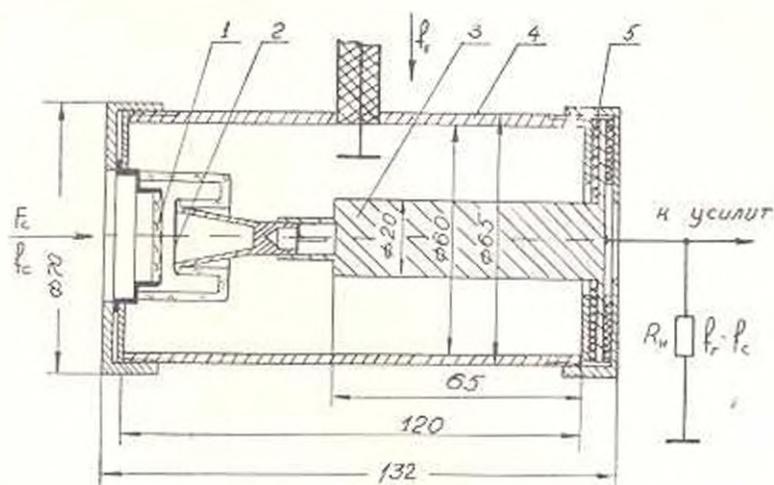


Рис. 1. Схема гетеродинного фотоэлемента. 1 — анод; 2 — фотокатод; 3, 4 — внутренние и внешние проводники резонатора; 5 — диэлектрик.

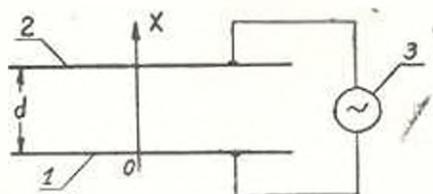


Рис. 2. Схема питания плоского фотоэлемента. 1 — фотокатод; 2 — анод; 3 — гетеродин.

Множитель в квадратных скобках в выражении (1) является безразмерной величиной, обозначается через F [3] и называется безразмерной траекторией электронов. Графики функции F с шагом $\Delta \omega_r t_0 = 5^\circ$ и 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.

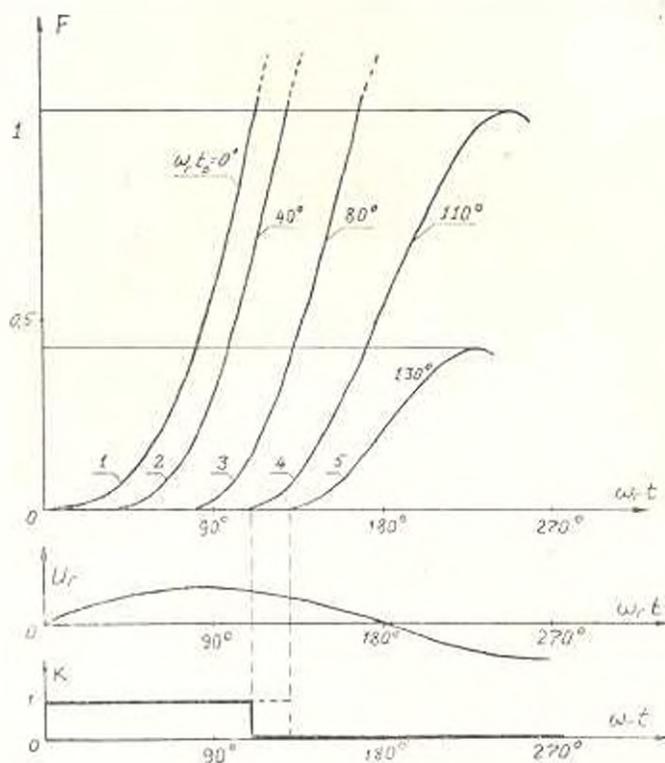


Рис. 3. Графики функций F и K .

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 при действии положительной полуволны напряжения гетеродина.

Проведя 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 $U_{г.м}$ и частоте f_g гетеродина. Этот переход осуществляется следующим образом: подставляя вместо x значение координаты анода d в (1), получим соотношение между значением F и напряжением гетеродина $U_{г.м}$:

$$F = \frac{d^2}{1,95 \cdot 10^{-3} f^2 U_{г.м}} \quad (2)$$

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

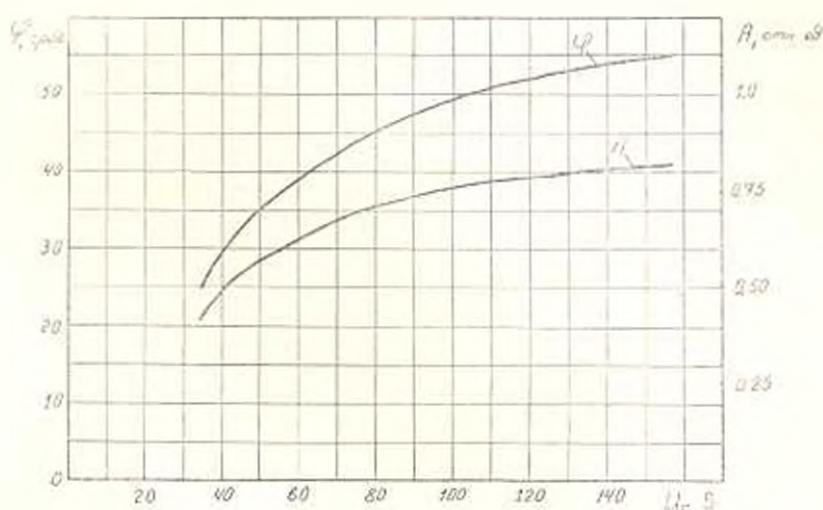


Рис. 4. Характеристики гетеродинного фотоэлемента.

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 $f_g = 500$ МГц, а напряжение между электродами фотоэлемента $U_{г.м}$, необходимое для глубокой модуляции фототока, составило ~ 30 В. Результаты расчета представлены на рис. 4, где ϕ — фаза сигнала разностной частоты, а A — его амплитуда.

Измерения показали, что при перемещении светового пятна по фототокагоду на ± 5 мм фаза сигнала разностной частоты изменялась на величину менее 1° , а при изменении $U_{г.м}$ на 10% $\sim 2^\circ$.

ՐԱՐՉՐ ՀԱՃԱՆԱԿԱՆԱՅԻՆ ՖՈՏՈԷԼԵՄԵՆՏԸ ՀԵՏԵՐՈՒԻՆԱՑՄԱՆ
ՌԵՓԻՄՈՒՄ

Ա մ ֆ ո փ ու մ

Ներկայացված լույսային ընդունիչով իրականացվում է գերբարձր հաճախականությամբ մոդուլացված լույսի ընդունում: Ընդունիչը կազմված է ֆոտոէլեմենտից և սեզոնատորից, որի դաշտով մոդուլացվում է ֆոտոհոսանք: Ստացված արտահայտությունները թույլ են տալիս որոշել օպտակար աղյանշանի մեծության և ֆազի կախումը հետերոգիների լարումից: Փորձնական հետազոտությունները կատարվել են 500 ՄՀ-ի դիապազոնում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гудашарян К. А. Высокочастотная модуляция фототока ФЭУ.—ИТЭ, 1970, № 5, с. 161—164.
2. Гапанян В. А. и др. Вакуумный фотоэлемент 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.