

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

К. А. ГУЛГАЗАРЯН

УПРАВЛЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРОННЫМ ПОТОКОМ В
ФОТОУМНОЖИТЕЛЯХ ВНЕШНИМ ЭЛЕКТРОДОМ

Освоение оптического диапазона открывает новые возможности в системах связи, локации, дальнометрии и т. д. Эти возможности могут быть полностью использованы, если в качестве модулирующих частот использовать сверхвысокочастотные колебания (СВЧ). При этом по одному лучу можно обеспечить одновременные телефонные переговоры населению всего земного шара, измерить расстояния и скорости движения объектов с высокой точностью и т. д. В связи с этим появилась проблема приема оптических сигналов, модулированных СВЧ колебаниями. В видимой и ближней инфракрасной областях спектра электромагнитных колебаний самым чувствительным приемником является фотоумножитель (ФЭУ). Однако частотный предел ФЭУ, выпускаемых промышленностью, ограничен частотой порядка нескольких десятков мегагерц. Более высокочастотные ФЭУ сложны по конструкции и пока не вышли из стадии лабораторных разработок. Поэтому повышение частотного предела ФЭУ, выпускаемых промышленностью, представляет определенный интерес. Решение данной задачи сводится к модуляции фотоэлектронного потока высокими и сверхвысокими частотами.

До недавних пор эта задача решалась путем подачи модулирующего сигнала на вакуумные электроды фотоумножителя. Так, например, фотоэлектронный поток, вышедший из фотокатода 2 (рис. 1), модулировался подачей напряжения на диафрагму 4 и фотокатод 2. Однако из-за большого расстояния между фотокатодом и диафрагмой, а также экранирующего влияния катодного цилиндра 3, напряженность поля на поверхности катода получается небольшой, что затрудняет модуляцию потока на высоких и сверхвысоких частотах. С

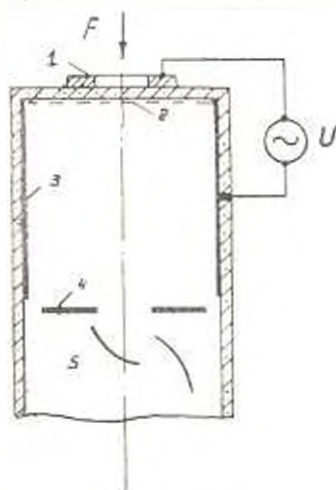


Рис. 1. ФЭУ с внешним электродом. 1—внешний кольцевой электрод; 2—полупрозрачный фотокатод; 3—катодный цилиндр; 4—диафрагма; 5—умножительная система; F—модулированный оптический поток.

другой стороны, из-за паразитных индуктивностей выводов электродов и паразитных емкостей между электродами управляющее напряжение, приложенное к ФЭУ, только частично доходит к электродам 1, 2 и уменьшается с повышением частоты. Поэтому для модуляции фотоэлектронного потока СВЧ колебаниями необходима большая мощность. Например, при частоте 3000 МГц необходимы сотни киловатт. На низких частотах для модуляции необходимо напряжение величиной порядка ста вольт.

Статья посвящена описанию ранее нами предложенного [1] способа повышения частотного предела ФЭУ.

1. Сущность предложенного метода. Сущность предложенного метода, лишенного указанных выше недостатков, заключается в том, что управление электронным потоком осуществляется электродами, находящимися вне вакуумного баллона прибора. При этом управляющее переменное напряжение U подается между внешним электродом 1 (рис. 1), выполненным в виде кольца, которое плотно прикладывается к торцевому стеклу ФЭУ, и полупрозрачным фотокатодом 2. Из-за конечной проводимости фотокатода во входной камере ФЭУ, состоящей из фотокатода, диафрагмы 4 и цилиндра 3, возникает электрическое поле, которое и управляет электронным потоком.

Качественное объяснение явления проникновения поля через фотокатод заключается в следующем. Между внешним электродом и фотокатодом имеется емкость, а фотокатод имеет большое активное сопротивление. Емкость и сопротивление включены последовательно и питаются напряжением U . Падение напряжения на сопротивлении фотокатода, которое увеличивается с повышением частоты, создает поле во входной камере ФЭУ. Расчет полей и поверочный эксперимент, проведенный автором, показывают, что напряженность поля у поверхности фотокатода, созданная данным способом (при существующих конструкциях входных камер ФЭУ) в сто и более раз превышает напряженность, которую можно получить путем подачи такого же напряжения между фотокатодом и диафрагмой. При этом способе практически исключается влияние указанных паразитных параметров системы. Благодаря этим преимуществам, данной способ уже нашел практическое применение; в частности, в отечественном светолокационном дальнометре ГД—314 [2].

2. Прием оптических сигналов, модулированных СВЧ колебаниями. Для повышения частотного предела ФЭУ, выпускаемых промышленностью, пользуются принципом гетеродинирования; фотоэлектронный поток модулируется колебаниями местного генератора, в результате чего появляется фототок с разностной частотой (разность между частотами модуляции оптического потока и местного генератора), который усиливается умножительной системой.

Для модуляции фотоэлектронного потока частотой до десятков и сотен мегагерц можно пользоваться схемой, представленной на

рис. 1, при этом, напряжение, необходимое для глубокой модуляции, имеет величину порядка в несколько вольт. С повышением частоты величина этого напряжения возрастает. Поэтому на более высоких частотах (сотни и тысячи мегагерц) целесообразнее использовать объемные и полосковые резонаторы, т. к. при вводе одинаковой мощности напряженность поля в резонаторе получается значительно большей, чем в обычной линии передачи. На рис. 2 представлены различные

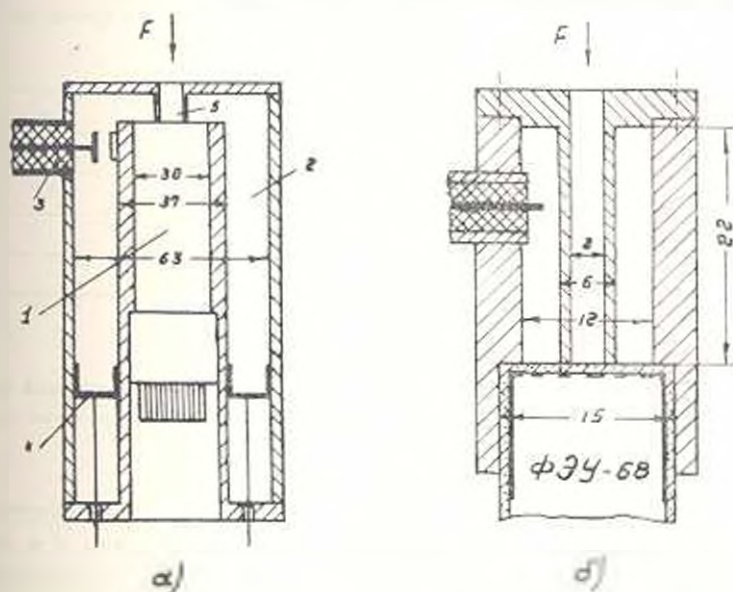


Рис. 2. Сочетание ФЭУ с коаксиальным резонатором. а—приемник оптических сигналов, модулированных частотами 400–1800 МГц; б—приемник оптических сигналов, модулированных частотой 10000 МГц. 1—ФЭУ—51; 2—коаксиальный резонатор; 3—линия для ввода энергии в резонатор; 4—настраиваемый поршень; 5—трубка; F—модулированный оптический поток.

конструктивные варианты сочетания коаксиальных резонаторов с ФЭУ [1]. Выбор той или иной конструкции зависит от частоты модуляции, оптико-механической системы устройства и т. д. При мощности местного генератора 1 Вт удалось модулировать фототок ФЭУ—51 частотой до 3000 МГц. Возможность использования резонансных и нерезонансных систем, в которых исключается влияние паразитных индуктивностей и емкостей, также является достоинством данного способа.

3. Электродинамическое управление фотоволновым потоком. В электронных приборах СВЧ широко применяется электродинамическое управление электронным потоком. В этих приборах электронный поток модулируется по скорости. Несмотря на известные преимущества данного способа по сравнению с электростатическим управлением (например, управление потоком в обычных электронных лампах, в рассмотренном устройстве и т. д.), электродинамическое управление до сих пор не применяется в фотоэлектронных приборах.

На рис. 3, а представлена схема экспериментального ФЭУ, в котором возможно осуществить электродинамическое управление. Рассмотрим движение одного электрона, вышедшего из фотокатода 1. В области, заключенной между фотокатодом и ускоряющим электродом 2, электрон ускоряется напряжением U_0 и приобретает энергию eU_0 . Между ускоряющим электродом и диафрагмой 3, соединенной с сеткой 4, приложено напряжение $-(U_0 - U_y)$, поэтому в этой области электрон тормозится, теряя энергию $e(U_0 - U_y)$. Энергия электрона на поверх-

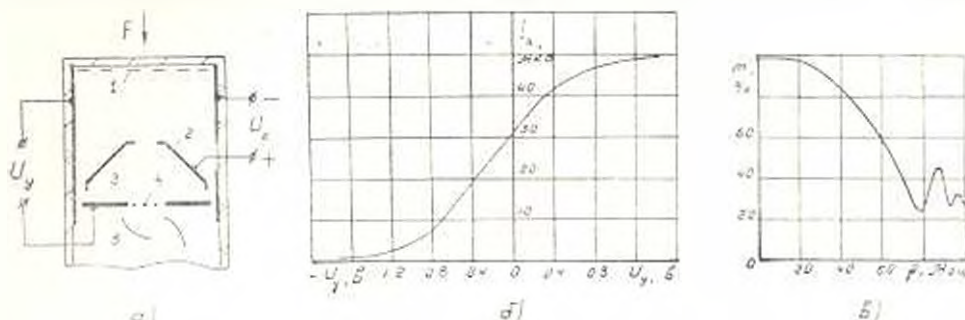


Рис. 3. Экспериментальный ФЭУ и его характеристики. 1—полупрозрачный фотокатод; 2—ускоряющий электрод; 3—диафрагма; 4—сетка; 5—умножительная система; F —оптический поток

ности сетки 4 будет $eU_0 - (eU_0 - U_y) = eU_y$. Если эта энергия больше нуля, то электрон проходит через отверстия сетки 4 и попадает в умножительную систему. Когда из катода выходит электронный поток, управляющее напряжение U_y синусоидальное, а время пролета между электродами 2 и 4 значительно меньше периода колебаний, то электроны попадут в умножительную систему при ускоряющих полупериодах и не попадут—при тормозящих полупериодах, т. е. фотоэлектронный поток на выходе оказывается модулированным. Присутствие объемного заряда и проникновения полей первых диодов через сетку 4 приводит к тому, что для управления потоком необходимо некоторое небольшое напряжение.

Для экспериментального ФЭУ была снята зависимость выходного тока I_a от управляющего напряжения U_y (рис. 3, б). Из рис. 3, б видно, что для полного управления током ФЭУ необходимо напряжение порядка 1 в. Была снята также частотно-модуляционная характеристика, т. е. зависимость глубины модуляции m фотоэлектронного потока от частоты управляющего сигнала f (рис. 3, в).

Анализ, проведенный нами, показывает, что спад и неравномерность характеристики обусловлены не пролетными явлениями, а влиянием паразитных индуктивностей и емкостей, и можно создать новые конструкции фотоумножителей, способные работать вплоть до миллиметрового диапазона управляющего сигнала.

4. Электродинамическое управление внешним электродом. Рассмотренные выше способы управления электронным потоком позволя-

ют создать фотоумножители, работающие в диапазоне СВЧ, без значительных изменений существующих конструкций. Для примера на рис. 4 представлена одна из возможных конструкций фотоумножителя, в которой исключается влияние паразитных параметров устройства, показанного на рис. 3, а. Разность потенциалов между фотокатодом 2 и отсекающей сеткой 7 является управляющей. Высокочастотный

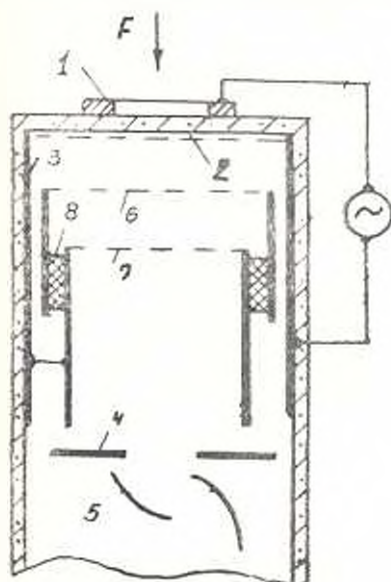


Рис. 4. ФЭУ с электродинамическим управлением. 1—внешний кольцевой электрод; 2—полупрозрачный фотокатод; 3—катодный цилиндр; 4—диафрагма; 5—умножительная система; 6—ускоряющий электрод; 7—отсекающая сетка; 8—диэлектрик; F—оптический поток.

потенциал подается на фотокатод через внешний электрод 1. Для исключения влияния паразитных параметров ускоряющего электрода 6 и его вывода, электрод 6 соединен с катодом через емкость, состоящей из диэлектрика 8 и электродов 6 и 7. Электростатическое поле между электродами 4 и 7 обеспечивает попадание фотоэлектронов на вужный участок первого диода умножительной системы 5.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 31.X.1969.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудазарян К. А., Скибарко А. П. Авторское свидетельство № 243086. Бюллетень № 16, 1969.
2. Гудазарян К. А., Калинин В. И., Попов Ю. В., Скибарко А. П., Утенков Б. И. Авторское свидетельство № 216054. Бюллетень № 14, 1968.