

*С.Н. ШОСТКО, д-р техн. наук, Ю.Ф. ЛОНИН, канд. физ.-мат. наук,
В.И. ЧУМАКОВ, канд. физ.-мат. наук, И.С. ШОСТКО, канд. техн. наук,
Е.А. АВЧИННИКОВ, О.С. ШОСТКО*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Оптико-электронные системы (ОЭС) и приборы находят широкое применение во многих областях техники. В ряде случаев работа этих средств может проходить в экстремальных условиях воздействия мощного помехового импульсного светового излучения на фоточувствительные элементы ОЭС. В результате такого воздействия возможно временное ослепление фотоприемников. Критериальные значения плотности энергии $W_{\text{Епор}}$ для различных типов ОЭС будут зависеть от коэффициента усиления оптической системы, ее полосы пропускания, типа фотоприемников [1; 2]. В связи с этим представляет интерес исследование количественных параметров воздействия, а именно определение времени ослепления различных типов фотоприемников от величины плотности мощности и энергии воздействующего импульсного светового излучения.

Описание экспериментальной установки

Для исследования эффектов светового воздействия на фотоприемные устройства разработан и создан экспериментальный стенд (рис. 1). В качестве источника излучения использован ступок ударно-сжатой плазмы, возникающей в атмосфере на выходе коаксиального магнитоплазменного компрессора (МПК) [3,4,5]. Конструктивно МПК выполнен в виде системы коаксиальных цилиндрических электродных узлов, разделенных диэлектрической втулкой.

На выходе ускорителя происходит схлопывание плазменного потока и его сжатие под действием электромагнитных сил (винч-эффект в выносных токах), что приводит к образованию за срезом МПК области повышенной плотности и температуры плазмы, называемой «плазменным фокусом». В области фокуса значительная доля кинетической энергии потока, связанная с радиальной компонентой скорости, трансформируется во внутреннюю энергию сжатой плазмы и излучается. Если распространение плазменного потока происходит в плотном газе (в атмосфере), то в ударной волне, возникающей при торможении плазмы, кинетическая энергия пото-

ка переходит в тепловую энергию ударно-сжатой плазмы и излучается. Интегральный световой выход разряда определяется суперпозицией излучения пространственно разделенных зон плазменного фокуса и ударно-волнового взаимодействия плазменного потока с газовой средой. Интегральный световой выход такого разряда в атмосфере составляет ~50 % от вкладываемой в плазму электрической энергии [5]. Спектр излучения — непрерывный, и аналогичен спектру абсолютно черного тела.

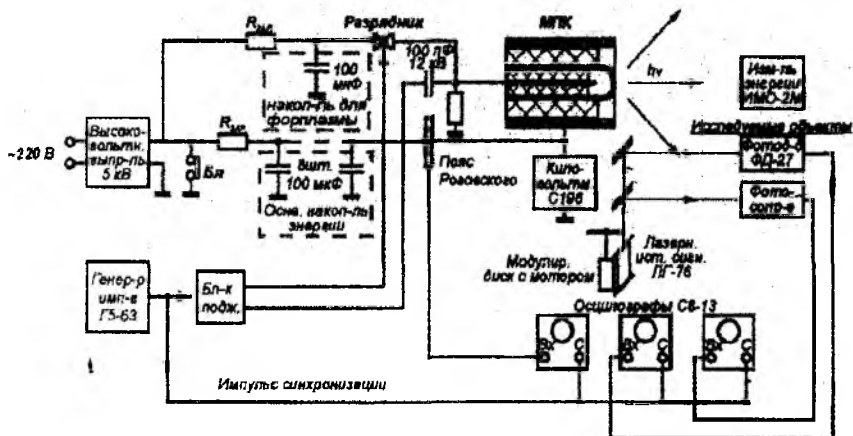


Рис. 1

Для работы МПК использовался емкостной накопитель энергии. Конструктивно секция накопителя и излучатель размещены в одном блоке. Использовано 8 импульсных конденсаторов К41-И7 ($C = 100$ мкФ, $U_p = 5$ кВ). Все конденсаторы подключены параллельно к медным шинам. Для уменьшения паразитной индуктивности цепи энергосъём с шин накопителя на МПК осуществлен короткими медными перемычками. Напряжение на конденсаторах варьировалось в диапазоне $2,5 \div 4,5$ кВ.

Диэлектрическая втулка изготовлена из фторопласта (C_2F_4). Иницирование разряда проводилось по поверхности диэлектрической втулки. С этой целью через внутренний электрод вводится в фторопластовом изоляторе дополнительный электрод. Конец этого электрода расположен в одной плоскости с поверхностью диэлектрической втулки. Для вывода плазмы (форплазмы) в катод сделаны направляющие отверстия. Поджиг осуществляется через разрядник высоковольтным импульсом ($U_n = 19$ кВ) от блока поджига.

Интегральная по спектру ($\Delta\lambda = 0,33 - 10,6$ мкм) энергия излучения плазмы измерялась радиационным калориметром ИМО-2Н. Калибровка

прибора осуществлялась электрическим методом, при этом погрешность показаний прибора составляет 0,5 %. Для измерения формы и длительности импульса излучения использовался фотоэлемент ФС20. Оба измерительных прибора (калориметр и фотоэлемент) устанавливались на расстоянии 1 м от МПК.

Токи разряда МПК измерялись с помощью пояса Роговского в режиме трансформатора тока и скомпенсированного RC-делителя. Разряд имел колебательный характер, типичная временная диаграмма тока приведена на рис. 2.

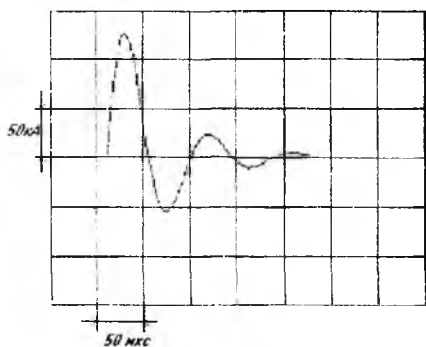


Рис. 2

Энергия излучения МПК в полосе $\Delta\lambda = 0,33 \div 10,6$ мкм при запасенной энергии 8,1 кДж составила ~ 800 Дж.

Полученные энергетические характеристики излучения не являются предельными и могут быть значительно повышены при увеличении плотности и температуры в зоне плазменного фокуса. Это, в частности, может быть достигнуто за счет увеличения энергии разряда.

Схема эксперимента и результаты исследований

Эксперименты проводились в соответствии со структурной схемой рис. 1. Для имитации принимаемого фотоприемником полезного (информационного) сигнала использовался лазер ЛГ-78. Излучение лазера ослаблялось нейтральными фильтрами до уровня, превышающего в 1,5—2 раза порог чувствительности испытываемого фотоприемника, т. е. отношение сигнал/шум обеспечивалось равным 1,5—2.

Испытываемые фотоприемники (фотодиод и ФЭУ) устанавливались на расстоянии 1 м от факела МПК, видикон — на расстоянии 4 м. Ниже приведены основные параметры фотоприемников:

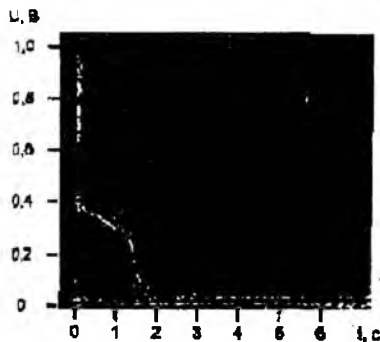
1) фотодиод ФД 27 К (кремниевый): интегральная чувствительность $S = 1,5 \div 10$ мкА/лк, диапазон рабочих длин волн $\Delta\lambda = 0,5 \div 1,12$ мкм;

2) фотоэлектронный умножитель ФЭУ-51 (фотокатод Sb-K-Na-Cs, интегральная чувствительность $S_n = 996$ мкА/Вт, диапазон рабочих длин волн $\Delta\lambda = 0,3—0,85$ мкм, напряжение питания $U_p = 2300$ В);

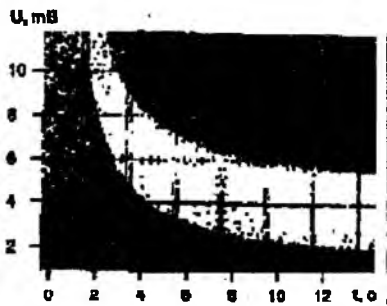
3) приемное телевизионное устройство ПТУ-42 на основе видикона с объективом «Гелиос-44-2».

Схема включения ФЭУ и режим его питания выбраны в соответствии с требованиями завода изготовителя. Для регистрации эффектов ослепления фотоприемников при воздействии излучения плазмы использовался осциллограф с запоминанием С8-13. На рис. 3 приведены осциллограммы напряжения на нагрузке ФЭУ $R_l = 50$ Ом при значениях плотности энергии на фотокакоде $W_E = 4,7 \cdot 10^2$ Дж/см², длительности импульса излучения МПК $t_u = 40$ мкс и диаметре диафрагмы на входе ФЭУ равном $d = 5$ мм.

На рис. 3, а приведена осциллограмма, полученная при малых значениях коэффициента усиления сигналов с выхода ФЭУ, что позволило наблюдать как импульс излучения МПК (острый пик с левой стороны осциллограммы), так и эффект последействия — «ступеньку» напряжения, обусловленную образованием пространственного заряда у катода ФЭУ. Время существования пространственного заряда, определяющее длительность «ступеньки», растет с увеличением плотности энергии (мощности) излучения и составляет при $W_E = 4,7 \cdot 10^2$ Дж/см² ($W_P = 117$ Вт/см²) величину $\sim 1,7$ с.



а



б

Рис. 3

На рис. 3, б приведена осциллограмма полученная при большом усилении, обеспечивающем наблюдение дорожки слабых полезных сигналов, наложенных на экспоненциально спадающую ветвь «ступеньки». По этой осциллограмме можно оценить время ослепления ФЭУ, которое определяется временным интервалом, на котором экспонента спадает до уровня принимаемых полезных сигналов. Время ослепления ФЭУ $\tau_{\text{осл}}$ растет с увеличением плотности энергии излучения МПК и при $W_E = 4,7 \cdot 10^2$ Дж/см² ($W_P = 117$ Вт/см²) достигает величины $\tau_{\text{осл}} = 10$ —12 с. При увеличении диаметра диафрагмы на входе ФЭУ площадь освещенной поверхности

фотокатада растет, при этом время ослепления ФЭУ возрастает пропорционально освещенной поверхности фотокатада.

Исследование воздействия излучения на неохлаждаемые фотодиоды проводилось для случая их работы в фотогальваническом режиме (сопротивление нагрузки $R_H = 1 \text{ МОм}$). Осциллограмма напряжения, приведенная на рис. 4, а получена для случая слабых полезных сигналов при плотности энергии помехового импульса $\sim 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/см}^2$.

На рис. 4, б приведена осциллограмма для случая сильных полезных сигналов (близких к уровню насыщения фотодиода). Как видно, восстановление приема полезного сигнала происходит в первом случае через время $\sim 1,2 \text{ с}$, а во втором $\sim 0,6 \text{ с}$ после окончания импульса воздействия.

Графики зависимости времени ослепления $\tau_{\text{осл}}$ фотодиода и ФЭУ от плотности мощности светового излучения при длительности импульса излучения МПК равной 40 мкс приведены на рис. 5. Как видно, переход в область энергетического насыщения, в которой время ослепления перестает зависеть от интенсивности воздействия при заданной длительности импульса, происходит, соответственно: у ФЭУ-51 при $W_{\text{кр}} \sim 80 \text{ Вт/см}^2$; у ФД-27К при $W_{\text{кр}} \sim 70 \text{ Вт/см}^2$. Величины отношения времени ослепления к длительности воздействия составляют для каждого прибора, соответственно $5 \cdot 10^4$ и $2,5 \cdot 10^4$.

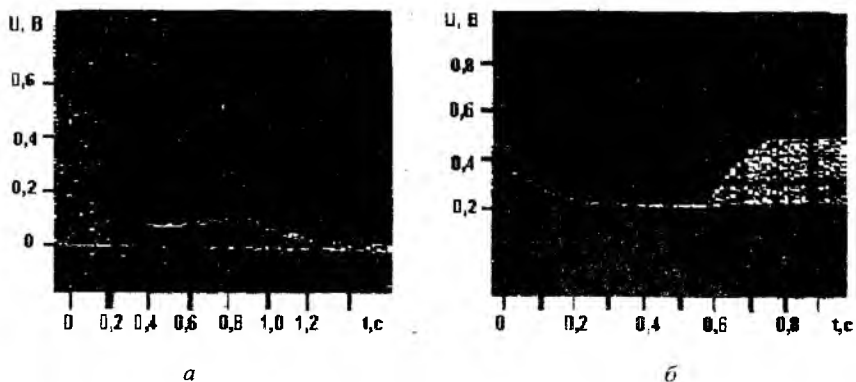


Рис. 4

Приведенные выше результаты по ослеплению фотоприемников получены при отсутствии фокусирующей оптики на их входе. С учетом коэффициентов усиления $K_{\text{ус}}$ оптики приведенные значения времени ослепления могут быть получены при существенно меньших уровнях плотности энергии (мощности) излучения МПК. Так, в случае ослепления высокочув-

ствительных приемников типа ФЭУ при условии, что на его входе используется фокусирующая оптика с коэффициентом усиления $K_{yc} \sim 10^3$, наблюдаемое в эксперименте время ослепления ~ 10 с (что соответствует отношению $\tau_{осл}/\tau_{вх} \sim 2,5 \cdot 10^5$) будет обеспечено при плотности энергии на входе оптики $\sim 10^{-6}$ Дж/см².

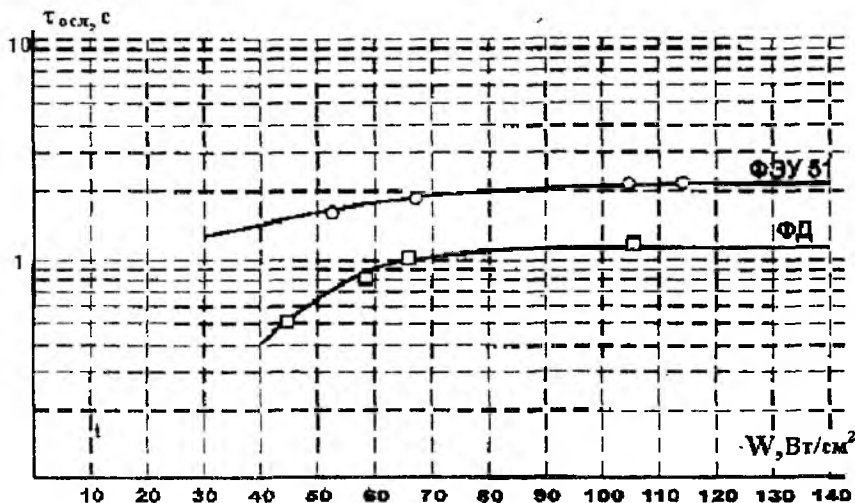


Рис. 5

Эффекты воздействия излучения МПК при использовании фокусирующей оптики проверялись на приемно-телевизионном устройстве ПТУ-42. ПТУ-42 устанавливался на расстоянии $R = 4$ м от МПК. Коэффициент усиления оптики можно определить из выражения

$$K_{yc} = \frac{\pi R^2 D_{вх} \tau_a \tau_{опт}}{4 F^2 S_{пл}}$$

где $D_{вх}$, F — диаметр и фокусное расстояние объектива; τ_a , $\tau_{опт}$ — коэффициенты пропускания атмосферы и оптики; $S_{пл}$ — излучающая поверхность области ударно-сжатой плазмы.

При $D_{вх} = 44$ мм, $F = 60$ мм, $R = 4$ м, $S_{пл} = 25$ см², $\tau_a = 1$, $\tau_{опт} = 0,95$ коэффициент усиления оптики равен $K_{yc} = 132,6$.

При плотности энергии на поверхности видикона равной $6,8 \cdot 10^{-4}$ Дж/см² имел место эффект полной засветки экрана телевизионного устройства на время $\sim 2-3$ с. Кроме того, имело место выгорание фотокатода видикона в тех местах, где фокусировалось изображение плазменного факела на фотокатоде.

Заключение

Результаты экспериментальных исследований показали, что время ослепления фотоприемника при $W_{\text{изл}} \geq W_{\text{Епор}}$ значительно превышает длительность $\tau_{\text{и}}$ светового воздействия. Время ослепления растет с ростом спектральной плотности энергии на входе ОЭС. Эффект ослепления фотоприемника можно охарактеризовать как временное снижение его чувствительности. Физический механизм эффекта ослепления как в случае вакуумных приборов типа ФЭУ, так и в случае твердотельных полупроводниковых диодов можно объяснить образованием области пространственного заряда электронов в прикатодной области, либо заряда носителей в объеме полупроводникового кристалла при сверхпороговых воздействиях. Время восстановления исходного состояния зависит как от типа фотоприемника, режима его работы, коэффициента усиления ОЭС, так и от плотности энергии излучения в полосе рабочих длин волн на входе ОЭС. Мощные оптические воздействия на видикон приводят к деградационным эффектам катода.

При разработке ОЭС с высокочувствительными входными фотоприемными элементами, а также при эксплуатации действующих квантово-оптических систем необходимо учитывать возможность работы устройства в экстремальных условиях воздействия мощного светового излучения.

Список литературы: 1 Реди Дж. Действие мощного лазерного излучения. М.: Мир, 1974. 470 с. 2. Справочник по лазерам: В 2 т. / Под ред. А.М. Прохорова. М.: Сов. радио, 1978. Т. 2. 400 с. 3. Хижняк Н.А. О возможных механизмах генерирования быстрых частиц в электродинамических ускорителях плазмы // ЖТФ. 1969. Т. 39. Вып. 1. С. 2040—2053. 4. Плазменные ускорители и ионные инжекторы. М.: Наука, 1984, 271 с. 5. Камруков А.С., Козлов Н.Л., Протасов Ю.С. и др. О возможности создания высокояркостных источников излучения на основе ударного торможения гиперзвуковых плазменных потоков в плотных газах // ЖТФ. 1982. Т. 52, № 11. С. 23—14.

Харьковский военный университет

*Харьковский государственный технический
университет радиозлектроники*

Поступила в редакцию 13.11.98