

УДК 621.383

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОКВАНТОВЫХ ЛАВИННЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ,  
ВКЛЮЧЕННЫХ ПО СХЕМЕ АКТИВНОГО ГАШЕНИЯ**

А.О. ЗЕНЕВИЧ, Е.В. НОВИКОВ

*Высший государственный колледж связи  
ул. Ф. Скорины, 8 к. 2, 220114, Минск, Беларусь**Поступила в редакцию 29 декабря 2005*

В статье представлен один из возможных способов реализации схемы активного гашения пробоя для лавинных фотоприемников, работающих в режиме одноквантовой регистрации. Проведено сравнение схем активного и пассивного гашения пробоя, показаны преимущества активного гашения.

*Ключевые слова:* лавинный фотоприемник, одноквантовая регистрация, активное гашение.

**Введение**

В настоящее время для регистрации слабых оптических потоков в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне излучений находят широкое применение лавинные фотоприемники (ЛФП), работающие в режиме одноквантовой регистрации [1]. Одноквантовая регистрация наиболее часто реализуется при напряжениях питания ЛФП  $U_{пит}$ , сравнимых и больших напряжения пробоя  $p-n$ -перехода  $U_{пр}$  лавинных фотоприемников [2]. Именно при таких значениях  $U_{пит}$  в  $p-n$ -переходе появляются области локального пробоя, в которых коэффициент умножения одного носителя заряда  $M \geq 10^4$ . Такие величины  $M$  на практике наиболее часто используют для реализации одноквантовой регистрации [1]. При более низких коэффициентах умножения одноквантовая регистрация в принципе возможна, но сопряжена со значительными техническими трудностями, обусловленными необходимостью выделения слабых сигналов на фоне шума регистрирующей аппаратуры.

Наиболее часто для реализации одноквантовой регистрации с использованием ЛФП применяется схема пассивного гашения пробоя [1]. В этом случае последовательно с ЛФП включается нагрузочный резистор  $R_n$ , сопротивление которого выбирают  $\geq 10$  кОм. Напряжение питания ЛФП устанавливается таким, чтобы падение напряжения на фотоприемнике было близким или превышало  $U_{пр}$ .

В этом случае через фотоприемник протекает малый ток до тех пор, пока в область локального пробоя не войдет термо- или фотогенерированный носитель заряда, который инициирует пробой. В состоянии пробоя ток через ЛФП резко увеличится. Из-за увеличения падения напряжения на  $R_n$  напряжение смещения ЛФП становится меньше  $U_{пр}$ , что приводит к прекращению пробоя.

В случае пассивного гашения пробоя для восстановления напряжения на фотоприемнике до допробойной величины требуется время до 1 мкс, т.е. после каждого зарегистрированного импульса возникает мертвое время, длительность которого достаточно велика. Поэтому для регистрации оптических процессов с временами протекания, меньшими 1 мкс, такая схема включения не может быть использована.

## Экспериментальная часть

Для увеличения быстродействия ЛФП нами была реализована схема активного гашения пробоя и исследованы характеристики лавинных фотоприемников, включенных по этой схеме, в режиме одноквантовой регистрации.

Включение ЛФП по схеме активного гашения лавинного пробоя позволяет максимально использовать быстродействие фотоприемников. Для ее реализации на ЛФП подается напряжение  $U_{пит}$  выше напряжения  $U_{пр}$ . Как только в область локального пробоя попадает термо- или фотогенерированный носитель заряда и инициирует лавинный пробой, напряжение, приложенное к фотоприемнику, падает ниже  $U_{пр}$  за счет подачи специального гасящего импульса. Таким образом, удается погасить лавинный процесс практически в момент его зарождения. Амплитуда гасящего импульса  $U_и$  при этом должна быть больше разности  $U_{пит}-U_{пр}$ , а его длительность — обеспечивать устранение из области локального пробоя свободных носителей заряда (электронов и дырок).

Структурная схема реализующего этот режим работы устройства представлена на рис. 1. В исходном состоянии на фотоприемник через сопротивление  $R1=500$  Ом подается напряжение, превышающее напряжение пробоя ЛФП. Импульс напряжения, вызванный током фото- или термогенерированного носителя заряда, с нагрузочного резистора  $R2$  поступает на вход широкополосного усилителя  $У$ , а с него — на вход быстродействующего компаратора  $M1$ . Выход компаратора соединен с входом ждущего мультивибратора  $M2$ . На выходе мультивибратора  $M2$  по переднему фронту входного импульса формируется стробирующий импульс длительностью  $t_1$ . Этот импульс одновременно поступает на вход второго ждущего мультивибратора  $M3$  и на стробирующий вход 2 компаратора  $M1$ . По переднему фронту входного импульса на выходе  $M3$  формируется импульс длительностью  $t_2$ . Этот импульс через транзистор  $Тр$  переводит ЛФП в допробойную область, за счет увеличения падения напряжения на резисторе  $R3$  и уменьшения — на ЛФП, гася тем самым лавинный процесс. Этот же импульс регистрируется частотомером.

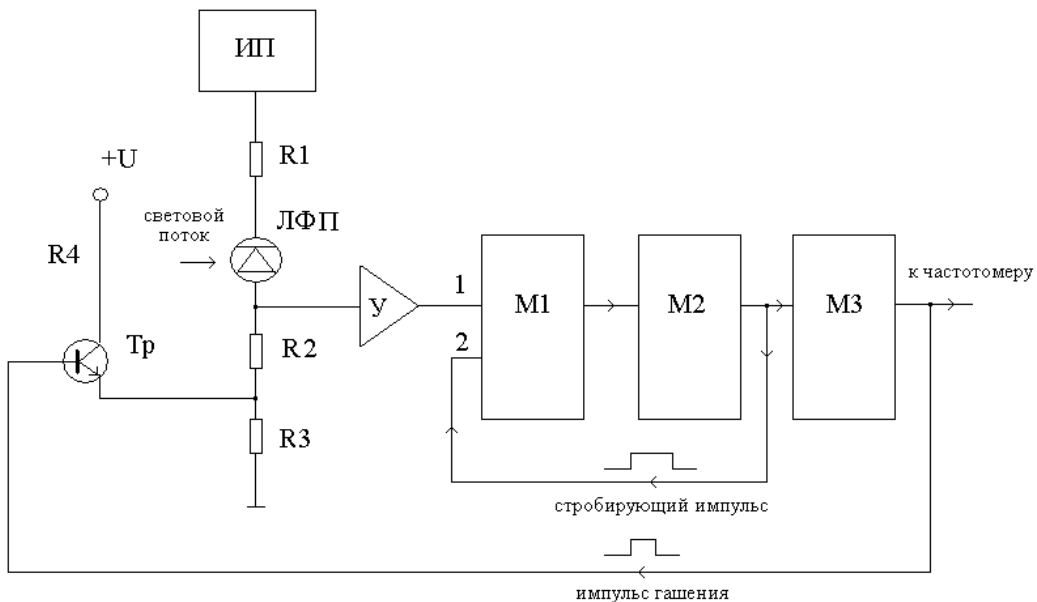


Рис. 1. Структурная схема активного гашения пробоя: ЛФП — лавинный фотоприемник; ИП — источник питания ЛФП; У — усилитель импульсов; M1 — компаратор со стробированием; M2, M3 — ждущие мультивибраторы

Длительность импульса гашения  $t_2$  меньше  $t_1$ . Отключение компаратора на время  $t_1$  необходимо для того, чтобы в электронной схеме не возникла генерация из-за наличия положительной обратной связи.

Минимальное мертвое время рассматриваемой регистрирующей системы определяется длительностью импульса  $t_1$  и в нашем случае составляет 0,1 мкс, а длительность импульса гашения  $t_2=0,08$  мкс.

Поскольку требуемая длительность импульса гашения определяется временем покидания носителями области пробоя, то величины  $t_1$  и  $t_2$  подбираются индивидуально для каждого типа исследуемых фотоприемников.

### Результаты и их обсуждение

Объектом проведенных исследований явились изготовленные Институтом электроники НАН Беларуси лавинные фотоприемники на основе КДБ-1 с использованием гетероперехода ZnO–Si с фоточувствительной площадкой площадью 7 мм<sup>2</sup>. Эти фотоприемники имеют достаточно большую площадь фоточувствительной поверхности и достаточно большую собственную емкость, а, следовательно, их мертвое время велико. Для этих ЛФП использование схемы активного гашения особенно эффективно и позволяет резко увеличить быстродействие в режиме одноквантовой регистрации.

Результаты проведенных исследований представлены в виде сопоставления характеристик фотоприемников при использовании схем пассивного и активного гашений. Измерения были выполнены при одинаковых значениях  $\Delta U=U_{\text{пит}}-U_{\text{пр}}$  и порогах регистрации сигналов, температура в процессе измерений стабилизировалась на уровне  $T=23^{\circ}\text{C}$ . Длина волны оптического излучения 0,68 мкм.

Зависимости скорости счета сигнальных импульсов  $N_c$  от интенсивности засветки (рис.2) имеют линейные участки, что свидетельствует о том, что ЛФП работали в режиме одноквантовой регистрации. При этом диапазоны линейности зависимостей скорости счета от интенсивности оптического излучения ограничивались снизу скоростью счета темновых импульсов  $N_t$ , а сверху — только мертвым временем ЛФП, так как мертвое время регистрирующей аппаратуры было пренебрежимо мало.

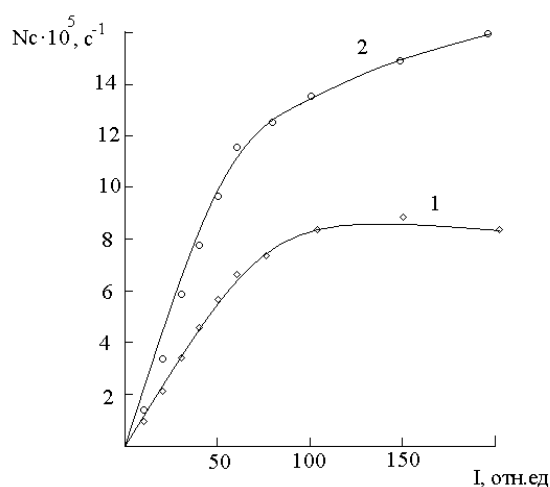


Рис. 2. Зависимости скорости счета сигнальных импульсов от интенсивности засветки для режимов пассивного (1) и активного (2) гашения лавинного процесса

Из полученных результатов видно, что использование активного гашения позволяет увеличить диапазон линейности зависимости  $N_c$  от интенсивности засветки более чем в два раза. Динамический диапазон по скорости счета сигнальных импульсов определялся отношением  $N_c/N_t$ , при этом значение  $N_c$  соответствовало 5 %-му отклонению зависимости скорости счета от линейной. Для активного гашения этот диапазон составил  $\sim 400$ , а для пассивного —  $\sim 190$ .

При активном гашении увеличивается угол наклона между линейным участком и осью интенсивности  $I$ , что указывает на увеличение квантовой эффективности регистрации. Такое

увеличение квантовой эффективности регистрации связано с уменьшением мертвого времени, поскольку при активном гашении за одно и то же время измерения может быть зарегистрировано большее число фотонов, чем при пассивном гашении.

Оценка мертвого времени ЛФП по зависимостям скорости счета сигнальных импульсов от интенсивности засветки показала, что для активного гашения оно составляет менее 0,4 мкс, в то время как для пассивного — в среднем 1 мкс.

Зависимости скорости счета темновых и сигнальных импульсов от величины  $\Delta U$  представлены на рис. 3. Скорость счета темновых импульсов непрерывно возрастает с увеличением  $\Delta U$ . В случае включения их по схеме активного гашения лавинного пробоя наблюдалось незначительное увеличение скорости счета темновых импульсов при напряжениях питания, близких и превышающих напряжения пробоя ЛФП

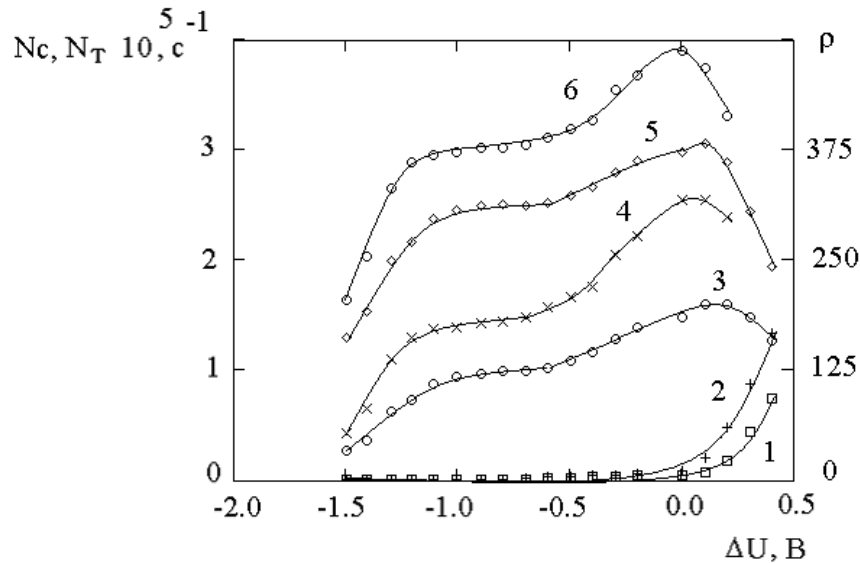


Рис. 3. Сравнение способов активного и пассивного гашения лавинного пробоя: 1, 2 — скорость счета темновых импульсов соответственно для режимов пассивного и активного гашения лавинного пробоя; 3, 4 — скорость счета сигнальных импульсов соответственно для режимов пассивного и активного гашения лавинного пробоя; 5, 6 — отношение сигнал/шум соответственно для режимов пассивного и активного гашения лавинного пробоя

Это обусловлено тем, что уменьшение мертвого времени фотоприемника увеличивает вероятность возникновения темновых импульсов. Так как за время измерения  $T$  существует возможность зарегистрировать  $N_0 T$  темновых импульсов, но, поскольку ЛФП имеет мертвое время  $\tau$ , то фактически регистрируется  $N_T = N_0 T / (1 + N_0 \tau T)$  импульсов. Уменьшение  $\tau$  ведет к увеличению числа темновых импульсов. Поэтому для одних и тех же значений  $\Delta U$  наблюдается увеличение  $N_T$  в режиме активного гашения лавины по сравнению с пассивным гашением и этот эффект проявляется сильнее при значительном увеличении скорости счета темновых импульсов, что соответствует  $U_{пит}$  близкому и превышающему  $U_{пр}$ .

Для напряжений питания ЛФП, меньших напряжения пробоя, наблюдается рост  $N_c$  скорости счета импульсов, обусловленных оптическим излучением (рис. 3). При  $U_{пит} \geq U_{пр}$  наблюдается плавное уменьшение  $N_c$ , обусловленное проявлением эффекта мертвого времени. Такое уменьшение характерно для всех типов фотоприемников независимо от схемы их включения.

Как видно из рис. 3, при одинаковых интенсивностях засветки и напряжениях питания для активного гашения лавинного процесса характерен рост регистрируемых сигнальных импульсов по сравнению с режимом пассивного гашения (кривые 3 и 4). Это подтверждает то, что при активном гашении лавинного процесса увеличивается квантовая эффективность регистрации.

Отношение сигнал/шум  $\rho = N_c \sqrt{T/N_c + 2N_T}$  имеет максимум при близких к нулю значениях  $\Delta U$ , т.е. когда напряжение питания совпадало с напряжением пробоя. Это связано с тем, что при  $U_{\text{пит}} > U_{\text{пр}}$  резко увеличивается скорость счета темновых импульсов и начинает падать скорость счета сигнальных импульсов.

### **Заключение**

Проведенные исследования показали, что использование схемы активного гашения лавинного процесса позволяет повысить квантовую эффективность регистрации счетчика фотонов и отношение сигнал/шум. При применении схемы активного гашения удастся расширить динамический диапазон работы лавинных фотоприемников в режиме счета фотонов за счет уменьшения мертвого времени фотоприемника.

## **THE STUDY OF SINGLE QUANTUM AVALANCHE PHOTODETECTORS CONNECTED OVER THE ACTIVE QUENCHING CIRCUIT**

A.O. ZENEVICH, E.V. NOVIKOV

### **Abstract**

One of the possible methods of the breakdown active quenching circuit for the avalanche photodetectors, operating in single quantum registration mode is presented in this article. The comparison of active and passive quenching breakdown circuits has been carried out. The advantages of active quenching have been shown.

### **Литература**

1. Гулаков И.Р., Холондырев С.В. Метод счета фотонов в оптико-физических измерениях. Мн., 1989, 256 с.
2. Brown R.G.W., Ridley K.D., Rarity J.G. // Appl. Optic. 1986. Vol. 25, № 22. P. 4122–4126.