

P13-2005-56

В. А. Калинин, Н. А. Кучинский,  
В. С. Смирнов, А. Г. Тихонов\*, Н. В. Хомутов

МАЛОМОЩНЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ  
ДЕЛИТЕЛЬ ДЛЯ ФЭУ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

---

\* НЦФЧВЭ БГУ, Минск

## Маломощный транзисторный делитель для ФЭУ

Разработан высоковольтный транзисторный делитель напряжения для фотоумножителей, состоящий из высокоомного линейного резисторного делителя, задающего распределение потенциалов между динодами, и эмиттерных повторителей, поддерживающих это распределение. Делитель характеризуется низким уровнем рассеиваемой мощности и стабильностью усиления фотоумножителя при изменении среднего анодного тока во всем диапазоне измерений.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзелепова ОИЯИ.

## Low-Powered Transistor Divider for PMT

A transistor high-voltage divider for photomultipliers is developed. The circuit contains a high-resistance linear resistive divider for setting potential distribution between dynodes and emitter followers to support this distribution. The divider is characterized by a low level of diffused power and stability of photomultiplier gain at change of average anode current in the whole range of measurements.

The investigation has been performed at the Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

В условиях больших импульсных нагрузок возможности применения сцинтилляционных счетчиков определяются в основном нагрузочными характеристиками фотоумножителей. Эти характеристики, в свою очередь, зависят от переходных процессов в самом фотоумножителе и высоковольтном делителе напряжения, обеспечивающем рабочее распределение потенциалов на динодах ФЭУ. При увеличении среднего анодного тока фотоумножителя, определяемого скоростью счета и амплитудой импульсов, происходит перераспределение потенциалов на динодах и, как следствие этого, изменение коэффициента усиления. Такое изменение может приводить к потере эффективности работы сцинтилляционных счетчиков, а в случае амплитудных измерений — к искажению спектра. Поэтому при работе в условиях больших импульсных нагрузок необходимо предусматривать специальные меры по стабилизации напряжения на динодах.

В настоящее время используется несколько схем высоковольтного питания фотоумножителей:

— Высокоомный резисторный делитель с конденсаторами большой емкости, шунтирующими последние диноды [1, 2]. Для стандартного резисторно-емкостного делителя (рис. 1, *a*) принято считать, что стабилизация коэффициента усиления обеспечивается десятикратным превышением тока делителя по отношению к среднему анодному току [1]. Но как показывают измерения, это превышение обеспечивает лишь относительную стабилизацию до определенного уровня нагрузок [2].

— Более эффективным способом стабилизации фотоумножителя является питание последних, особенно чувствительных к нагрузкам фотоумножителя, динодов с помощью отдельного источника [3, 4]. Этот широко распространенный способ не очень удобен в работе, поскольку требует использования относительно сильноточного дополнительного источника питания, соответствующих подводящих коммуникаций и на практике трудно реализуем для подпитки свыше двух динодов.

— Также для стабилизации напряжения последних динодов можно использовать стабилитроны. Это позволяет поднять нагрузку фотоумножителя [1, 3]. Однако такая схема имеет ряд недостатков. Это необходимость подбора стабилитронов для каждого междинодного промежутка, что не всегда возможно, а также непропорциональность изменения междинодных потенциалов при регулировке напряжения питания.

— Более широко распространено использование эмиттерных повторителей на *n-p-n*-транзисторах на последних динодах [2, 5]. Такая схема обеспечивает хорошие нагрузочные свойства фотоумножителя, но накладывает ограничение на минимальный начальный ток делителя.

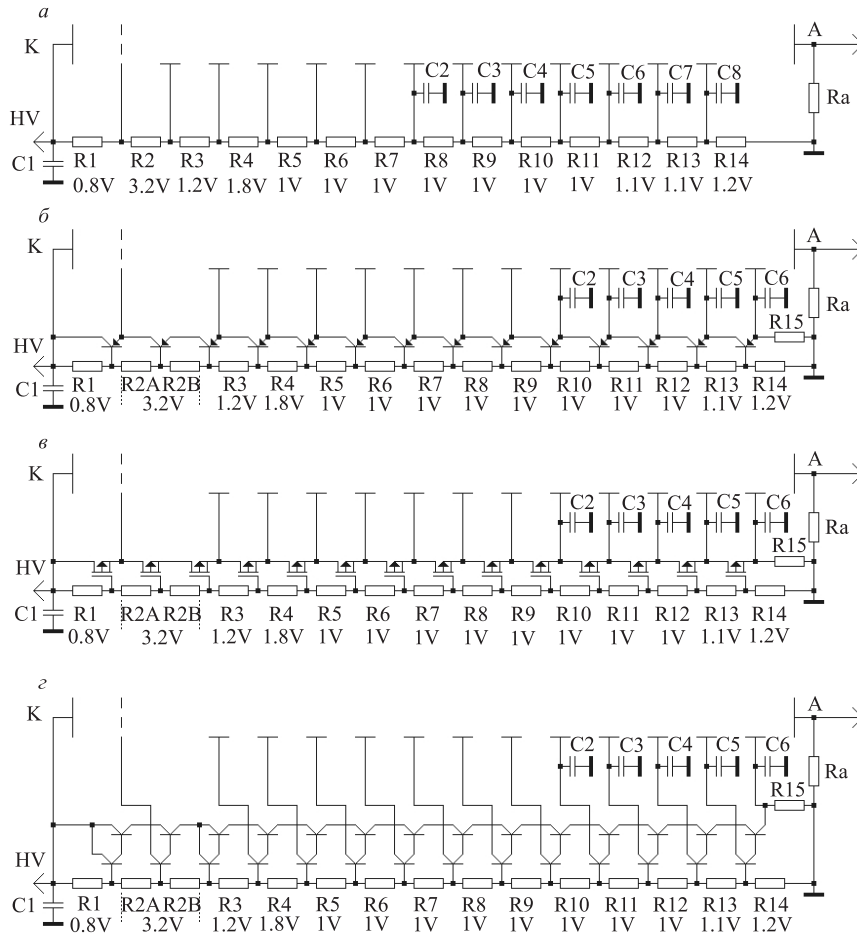


Рис. 1. Схемы высоковольтных делителей: а) резисторный; б) на биполярных транзисторах; в) на полевых транзисторах; г) на составных транзисторах

— В последнее время для больших систем с фотоумножителями, например в калориметрии, широко используется схема Кокрофта–Валтона [6], основанная на принципе умножения напряжения на диодах. К сожалению, эта схема при всех ее несомненных достоинствах не дает возможности провести прецизионную настройку ФЭУ, поскольку все междинодные напряжения кратны минимальному умножаемому напряжению.

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ разработана принципиально новая схема высоковольтного питания фотоумножителей в широком диапазоне импульсных нагрузок [7]. Она основана на стабилизации напряжения на всех диодах фотоумножителя с помощью цепочки эмиттерных повторителей на высоковольтных  $p-n-p$ -транзисторах. Само распределение потенциалов между диодами задается высокоомным линейным резисторным делителем, включенным между базами транзисторов (рис. 1, *a*). Полный ток делителя является суммой токов этого делителя и начального тока, протекающего через транзисторы. Нулевой ток, без нагрузки фотоумножителя, через транзисторы, определяется сопротивлением в эмиттере ближайшего к аноду транзистора (R15). Данный тип делителей нами был назван «активным», поскольку потребляемый ими ток зависит от среднего анодного тока фотоумножителя.

В настоящее время в ОИЯИ накоплен большой положительный опыт использования такого рода делителей в эксперименте. Основным недостатком первых «активных» делителей, выполненных на биполярных транзисторах КТ3157А [8], была зависимость распределения потенциалов в базовой линейной цепочке резисторов от среднего анодного тока фотоумножителя, что связано с влиянием базовых токов транзисторов. Для устранения этой зависимости нами были разработаны и изготовлены «активные» делители на полевых и составных транзисторах.

В данной работе исследовались несколько типов высоковольтных делителей с одним и тем же распределением потенциалов на диодах. Все исследования делителей проводились с использованием фотоумножителя ХР2020, чьи характеристики широко известны. Исследовались характеристики «активных» делителей на транзисторах биполярных КТ3157 (рис. 1, *b*) [8], полевых BSS92 (рис. 1, *в*) [9] и составных с использованием транзисторов ВF821 (рис. 1, *г*) [10]. Нулевые токи (при отсутствии тока в фотоумножителе), протекающие через транзисторы, во всех делителях составляли 30 мкА. Токи в высокоомных потенциалоадающих цепочках резисторов при этом были 0,15, 0,10 и 0,10 мА соответственно. Исходя из предельных значений транзисторов на втором междиодном промежутке используется два последовательно соединенных транзистора.

Для сравнения также измерялись характеристики резисторного делителя с током 1,30 мА.

Принципиальная схема проведения измерений приведена на рис. 2.

Два синхронизированных генератора G1 и G2 с рабочей частотой 0–200 кГц и около 1 кГц обеспечивают запуск двух светодиодов LED1 и LED2. Длительность световых импульсов первого светодиода 200 нс, и он задает необходимый для измерений средний анодный ток фотоумножителя путем изменения частоты генератора G1. Импульсы второго светодиода используются для измерения коэффициента усиления фотоумножителя. Их длительность 10 нс. Величина этих импульсов во время измерений была фикси-

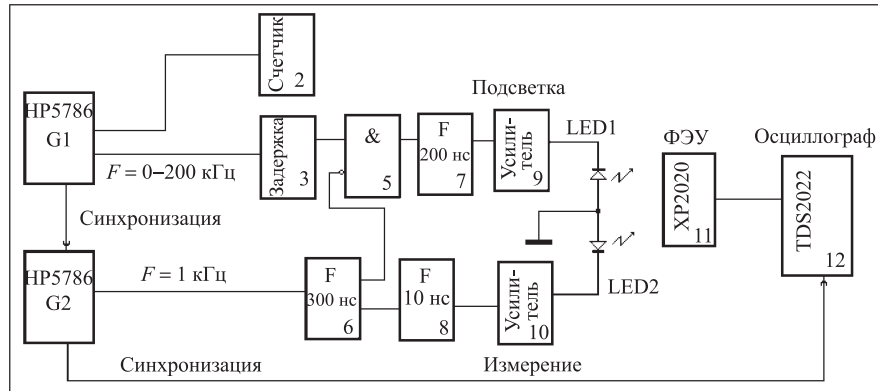


Рис. 2. Схема проведения измерений

рованной. При запуске генератора G2 импульсы генератора G1 блокируются. Измерение коэффициента усиления производилось с помощью цифрового осциллографа TDS2022, связанного с компьютером.

Полученные результаты измерения коэффициента усиления и среднего анодного тока фотоумножителя XR2020 в зависимости от частоты подсвечивающего светодиода для разных типов делителей приведены на рис. 3. Как и ожидалось, для резисторного делителя наблюдается сильная зависимость коэффициента усиления от интенсивности засветки и, как следствие, нелинейный характер изменения среднего анодного тока фотоумножителя (рис. 3, а). Надо отметить, что характер этой зависимости определяется задаваемым на последних диодах распределением потенциалов.

Аналогичная характеристика «активного» делителя на биполярных транзисторах имеет плавное падение усиления с ростом засветки фотоумножителя (рис. 3, б), что уже отмечалось ранее [7].

Как видно из рис. 3, в, характер зависимости коэффициента усиления фотоумножителя для «активных» делителей меняется при замене биполярных транзисторов на полевые и составные. Он остается стабильным во всем диапазоне измерения. Дополнительным следствием стабильности коэффициента усиления при использовании в «активных» делителях полевых и составных транзисторов является линейная зависимость величины среднего анодного тока фотоумножителя от частоты подсвечивающего светодиода. При этом характеристики фотоумножителя при использовании как составных, так и полевых транзисторов в делителях идентичны.

Необходимо отметить, что достигаемые при наших измерениях уровни засветки фотокатода и, соответственно, среднего анодного тока фотоумножи-

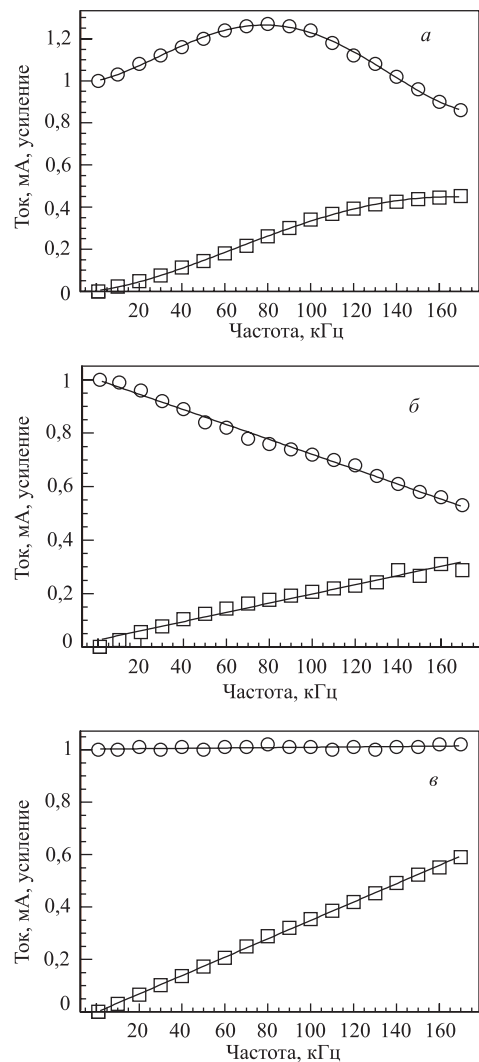


Рис. 3. Зависимость коэффициента усиления фотоумножителя и его среднего анодного тока от засветки для различных типов делителей: *a*) резисторный; *б*) «активный» на биполярных транзисторах; *в*) «активный» с использованием составных транзисторов. Кругами показан ток, квадратами — коэффициент усиления

теля XR2020 превышают рекомендуемые производителем предельные значения [10]. Так при испытаниях стабильность усиления сохранялась до вели-

чины среднего анодного тока 1,5 мА, когда уже начинают оказывать влияние эффекты в самом фотоумножителе.

Поскольку импульсный ток анода может превышать предельные параметры транзисторов, желательно использовать на последних динодах в «активных» делителях конденсаторы малой емкости. Это сглаживает импульсы тока, проходящие через транзисторы, давая возможность использовать транзисторы с меньшей мощностью рассеивания. При малых нагрузках фотоумножителя их наличие не является обязательным.

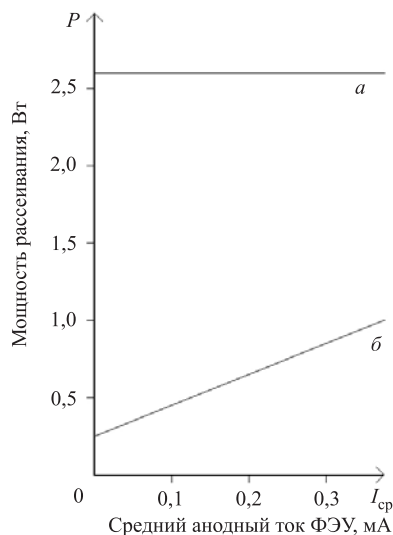


Рис. 4. Рассеиваемая мощность резисторного делителя с током 1,35 мА (а) и мало-мощного «активного» делителя (б) в зависимости от величины среднего анодного тока фотоумножителя

Таким образом, если стабильность коэффициента усиления фотоумножителя в зависимости от загрузки можно в той или иной степени обеспечить различными способами, то разработанный нами полностью транзисторный делитель кроме хороших нагрузочных характеристик обеспечивает:

- малую потребляемую мощность (рис. 4) (в 5–10 раз меньше резисторного делителя), что особенно важно для систем, состоящих из большого числа фотоумножителей, и случаев, когда отвод тепла затруднен;
- позволяет использовать менее мощные высоковольтные, а следовательно, более простые и надежные источники питания;
- низкий уровень потребляемой мощности дает возможность организовать производство делителей напряжения с использованием SMD-технологии;



— возможность подбора оптимального распределения потенциалов на электродах фотоумножителя.

На рис. 5 приведена фотография резисторного делителя с током 1,30 мА и «активного» делителя на составных транзисторах. «Активный» делитель на составных транзисторах смонтирован на одной плате с использованием SMD-технологии. Он может использоваться для любого типа фотоумножителя с

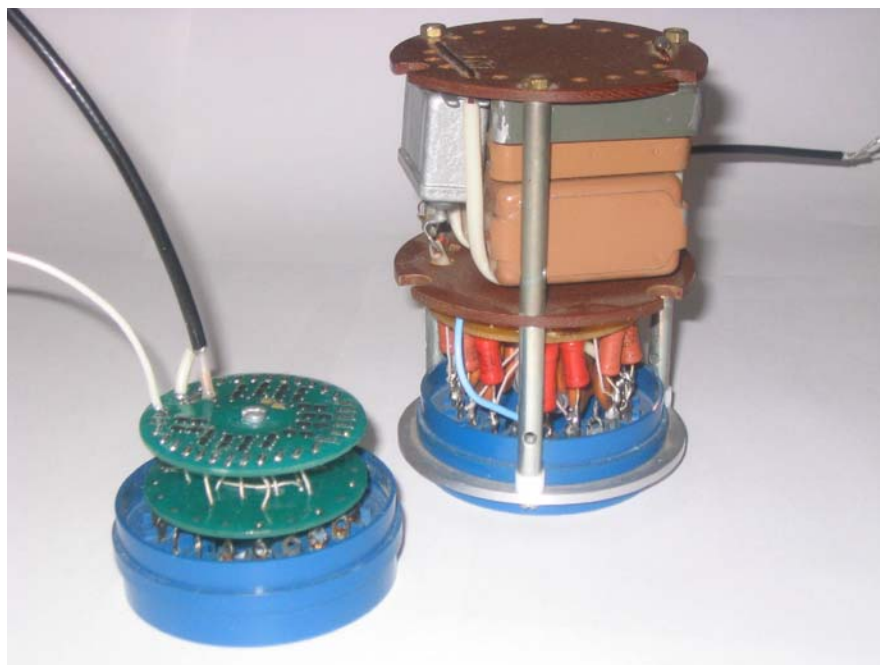


Рис. 5. Резисторный и «активный» маломощный (с использованием составных транзисторов) делители

числом динодов не более 13. Вторая плата является вспомогательной для адаптации делителя к конкретному виду разводки выводов фотоумножителя. При этом габариты делителя не выходят за пределы диаметра ФЭУ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создан новый простой тип малогабаритного делителя с низкой рассеиваемой мощностью, позволяющий создавать сцинтилляционные счетчики с

прецизионной настройкой фотоумножителя. Такие счетчики практически не имеют ограничения по загрузкам.

В заключение авторы выражают признательность В.Г. Зинову за плодотворные дискуссии и постоянную поддержку, а также А.А. Попову за помощь в подготовке работы.

Данная работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 04-02-17139).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Басиладзе С. Г., Иванов В. И.* // ПТЭ. 1976. № 3. С. 175.
2. *Zhao Cao, Zhegde H., Qun C.* // Nucl. Instr. Meth. 1989. V. 281. P. 384.
3. *Казаринов М. Ю., Ляйсте Р. и др.* // ПТЭ. 1973. № 1. С. 81.
4. *Балдин Б. Ю.* Сообщение ОИЯИ 13-7859. Дубна, 1974.
5. *Ohmori C., Horikawa N., Iwata T.* // Nucl. Instr. Meth. A. 1987. V. 256. P. 361.
6. *D'Antone I., Lotti M., Zanotti M.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2002. V. 480. P. 555.
7. *Кучинский Н. А., Смирнов В. С.* // ПТЭ. 1998. № 1. С. 106–108.
8. <http://www.elexpro.ru>
9. <http://www.semiconductors.philips.com>
10. <http://www.dapnia.cea.fr/Test2Sphn/Tr/xp2020.pdf>

Получено 13 мая 2005 г.

Корректор *Е. В. Сабеева*

Подписано в печать 28.06.2005.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,6. Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 305 экз. Заказ № 54935.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@pds.jinr.ru](mailto:publish@pds.jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)