

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЩНЫХ ЛАЗЕРОВ НЕПРЕРЫВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИТАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ

POSSIBILITIES OF USING HIGH-POWER LASERS OF CONTINUOUS RADIATION FOR ASSURING POWER SUPPLIED TO ELECTRONIC DEVICES UNDER RADIATION EXPOSURE

А. Н. Труфанов

A. N. Trufanov

Филиал ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ» «НИИС им. Ю. Е. Седакова

Branch of FSUE «RFNC VNIIEF» «NIIS named after Yu. Ye. Sedakov»

В работе рассмотрены возможности использования мощных лазеров непрерывного излучения для обеспечения энергией различных электронных устройств. В разработанной лазерной оптоволоконной системе энергопитания были использованы фотопреобразователи на основе гетеропереходов GaAs/AlGaAs. Макет системы был собран на дискретных элементах. При использовании лазера мощностью 1 Вт на выходе оптического волокна в непрерывном режиме система обеспечила напряжение на накопительной емкости до 2,5 кВ через 1 с. Показано, что с применением существующих в настоящее время лазеров можно обеспечить энергией практически любое электронное устройство. Показана высокая стойкость системы к воздействию радиации.

The study has highlighted the possibilities of using high-power lasers of continuous radiation for assuring power supplied to different electronic devices. The fiber-optic power supply system was designed to apply to photo-converters based on GaAs/AlGaAs n-p-junction. The system model was constructed by discrete elements. Applying to a laser with 1-W power at fiber-optic output under continuous operation mode the system supplied voltage to a storage capacitor up to 2,5 kV for 1 second. The experimental results of ionizing radiation effect on system components were given. A high system resistance to radiation exposure was proved.

Основным назначением оптической системы энергопитания является повышение надежности и безопасности работы электронных устройств в условиях воздействия электромагнитного излучения за счет замены металлических проводников и электрических сигналов на оптическое волокно и оптические сигналы соответственно. При этом обеспечивается полная электрическая изоляция устройств или систем, имеющих функционально самостоятельные блоки, и их гальваническая развязка от других частей системы. Данные меры гарантируют исключение воздействия электромагнитных помех (ЭМП) любого происхождения на приборы и устройства.

Помимо защиты от электромагнитного излучения по сравнению с аналогичными по функциональному назначению электрическими устройствами достигаются некоторые дополнительные преимущества. Так, качественными преимущест-

венными характеристиками волоконно-оптических (ВО) устройств в сравнении с электрическими аналогами являются:

1) малые масса и габариты линий передачи (диаметр ОВ в десятки раз, а масса до 10 раз меньше);

2) низкое значение затухания передаваемого сигнала (в десятки раз меньше);

3) скрытность передаваемого сигнала и стойкость оптоволоконна к несанкционированному доступу.

Применение оптического волокна в качестве линии передачи энергии необходимо в условиях, когда использование металлических проводников и источников тока в виде аккумуляторных батарей невозможно, например, при задействовании пиротехнических устройств или в условиях пожаро- и взрывоопасной обстановки.

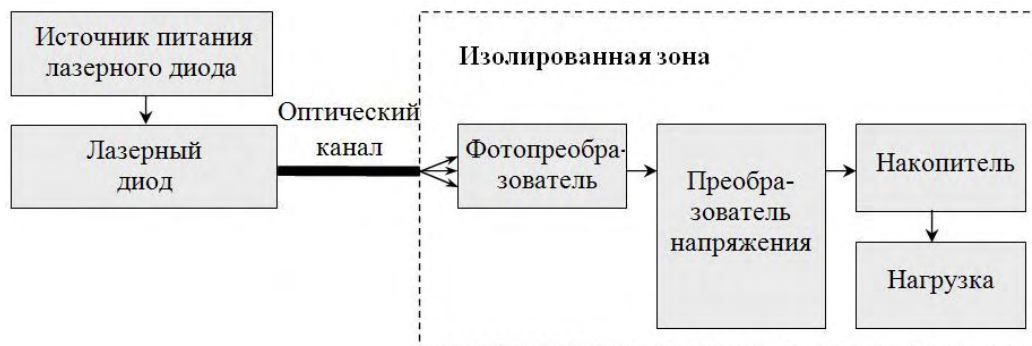


Рис. 1. Упрощенная блок-схема оптической системы энергопитания

В настоящее время существуют полупроводниковые лазерные диоды непрерывного излучения мощностью в десятки ватт. На их основе возможна реализация фотоэнергетического питания значительной части традиционных устройств, функционирующих на основе использования электрической энергии. Ниже рассмотрена возможность создания оптоволоконной системы энергопитания, позволяющей передавать в изолированную зону электрическую энергию.

В рассматриваемой концепции, в соответствии с блок-схемой рис. 1, электрическая энергия преобразовывалась в световую с помощью мощного лазерного диода [1]. Световую энергию лазера передавали в изолированную зону посредством оптического волокна. После попадания в изолированную зону оптический сигнал вновь преобразовывался в электрический с помощью оптического приемника-фотопреобразователя. Необходимый уровень напряжения получали при помощи преобразователя напряжения. Энергия накапливалась в емкости. Коммутация энергии, накопленной в конденсаторе, может быть осуществлена посредством триггерной схемы устройства управления, переключаемой с помощью оптического сигнала малой мощности.

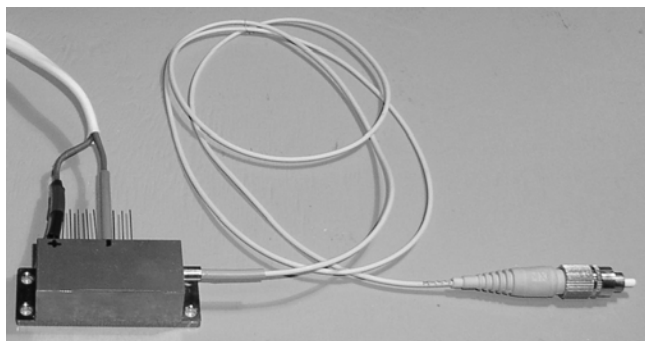


Рис. 2. Внешний вид лазерного диода ЛДН-20

В качестве лазерного диода непрерывного излучения был использован лазерный диод непрерывного излучения марки ЛДН-20 мощностью 1 Вт и длиной волны 820 ± 30 нм. Его внешний вид представлен на рис. 2.

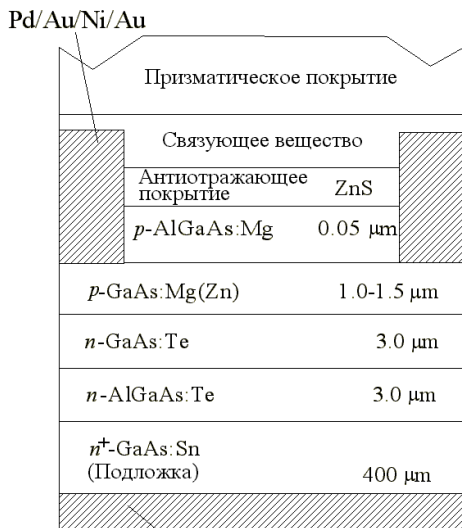
Самым технически сложным и ответственным элементом системы является полупроводниковый фотоэлектрический преобразователь. Он должен обладать максимальной эффективностью фотоэлектрического преобразования. Характеристики использованных фотопреобразователей, изготовленных в ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, представлены ниже [2]:

- площадь фоточувствительной поверхности $\sim 10 \text{ мм}^2$
- максимальный КПД преобразования на монохроматической длине волны (810–70 нм) до 60 %
- емкости при нулевом смещении $(1 \div 10) \text{ нФ}$
- допустимое обратное смещение 5 В

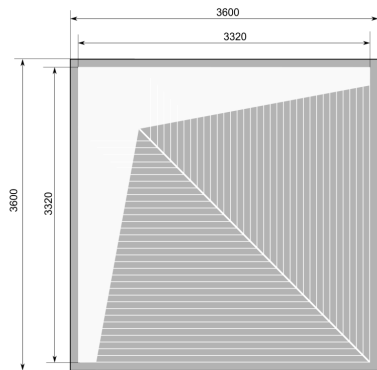
Их эффективность преобразования максимальна для длины волны используемого лазерного излучения.

Структура такого фотопреобразователя [2] и топология рисунка контактной сетки представлены на рис. 3, а и б. Напряжение, снимаемое с фотоэлектрического преобразователя зависит от подключаемой нагрузки и не превышает 0,9 В. Для нормальной работы преобразователя напряжения этого не достаточно. В связи с этим применяли четыре фотопреобразователя, которые подключали последовательно и компоновали, как показано на рис. 4. При этом все четыре элемента освещали одним лазерным диодом. Возможно также применение оптического разветвителя, однако, при этом накладываются жесткие ограничения на равно-

мерность распределения мощности излучения по каналам и минимизацию потерь в самом разветвителе.



а



б

Рис. 3. а – структура GaAs-фотопреобразователя; б – микрофотография фотопреобразователя

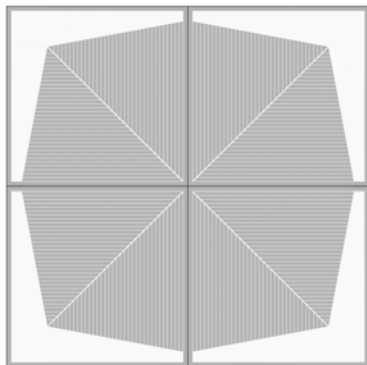


Рис. 4. Компоновка четырех фотопреобразователей при освещении одним лазерным диодом

Недостатком последовательного соединения фотопреобразователей является то, что общая эффективность определяется эффективностью наихудшего элемента. Габариты фотопреобразователя для используемой мощности излучения могли бы быть значительно меньше, однако, при этом точность юстировки будет хуже и, соответственно, увеличатся потери.

Преобразователь напряжения типа «DC-DC» должен повысить напряжение, снимаемое с фотоэлектрической батареи более чем в 700 раз за минимальное время. Его принципиальная схема приведена на рис. 5.

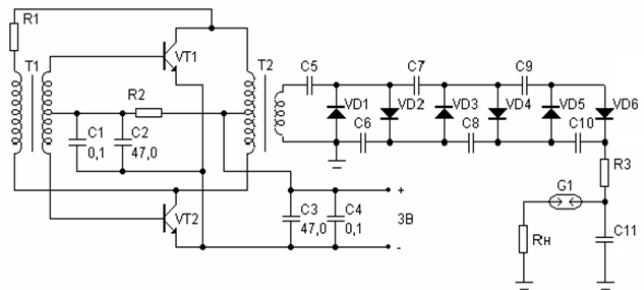


Рис. 5. Схема преобразователя напряжения типа «DC-DC»

В схеме используется генератор прямоугольных колебаний на двух трансформаторах [3], который является эффективным устройством питания высокого напряжения постоянного тока от источника постоянного тока с низким напряжением. Умножитель напряжения, выполненный по схеме Аркадьева – Маркса и собранный на конденсаторах C5-C10 и диодах VD1-VD6, служит для заряда емкости C11 через зарядное сопротивление R3.

Система была собрана на дискретных элементах. После настройки системы на выходе последовательного соединения фотопреобразователей получили напряжение порядка 2,7 В. При этом нагрузкой для них являлась схема преобразователя напряжения типа «DC-DC», описанная выше и собранная на дискретных элементах. КПД «DC-DC» преобразователя напряжения составил приблизительно 80 %. Процесс заряда накопительной емкости показан на рис. 6. При тщательной юстировке на выходе преобразователя через 1 с можно было получить напряжение до 2,5 кВ.

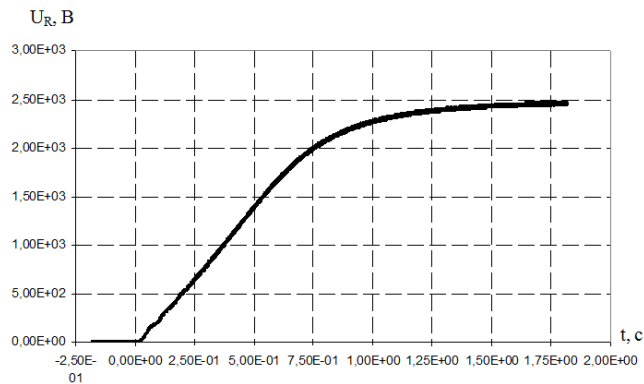


Рис. 6. Процесс заряда накопительной емкости

Элементы системы и система энергопитания в целом были исследованы на стойкость к воздействию ионизирующих излучений. Проведенные исследования [4] показали высокую радиационную стойкость лазеров и фотопреобразователей.

Следует отметить, что фотопреобразователи, находящиеся в процессе воздействия в активном (нагруженном) режиме, деградируют в значительно меньшей степени, чем фотопреобразователи в пассивном режиме. На рис. 7 показана осциллограмма изменения напряжения на нагрузке фотопреобразователей при воздействии импульса γ -излучения. После воздействия фотопреобразователи сохранили работоспособность. Их деградация составила по выходному напряжению 11 %.

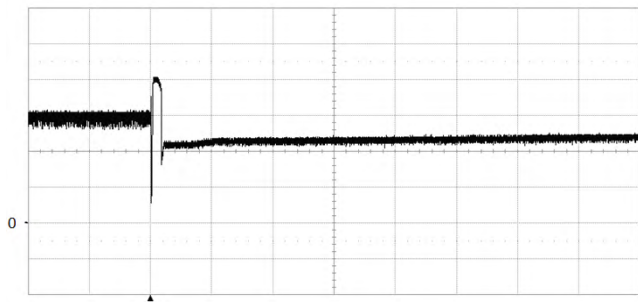


Рис. 7. Осциллограмма выходного напряжения фотопреобразователей при воздействии импульса комбинированного ионизирующего излучения (по вертикали — 1 В/дел., по горизонтали — 200 мс/дел.; стрелкой показан момент воздействия)

Система энергопитания в сборе была исследована на воздействие импульсного γ -излучения. В процессе измерений регистрировали напряжение на накопительной емкости. Под действием импульса излучения напряжение на накопительной емкости изменяется, как показано на рис. 8.

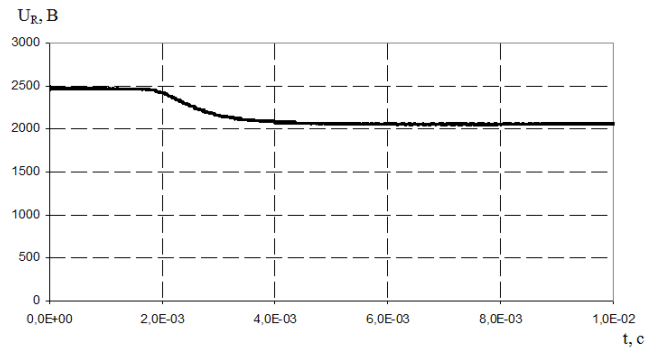


Рис. 8. Изменение напряжения на накопительной емкости под действием импульса излучения

Как видно из осциллограммы, напряжение снизилось приблизительно на 18 %, но осталось выше 2,0 кВ. Таким образом, оптоволоконная система энергопитания была собрана на основе дискретных элементов и показала свою стойкость к воздействию ионизирующих излучений.

Был проработан вариант системы, аналогичной рассмотренной выше, и позволяющей накопить электрическую энергию более 2 Дж за время 0,5 с, при напряжении на выходе более 1,5 кВ. В системе был использован полупроводниковый лазер непрерывной мощностью излучения 15 Вт. Процесс заряда накопительной емкости при использовании лазера с указанными выше характеристиками показан на рис. 9. Как видно из рисунка, напряжение 1,5 кВ на емкости достигается приблизительно через 0,5 с.

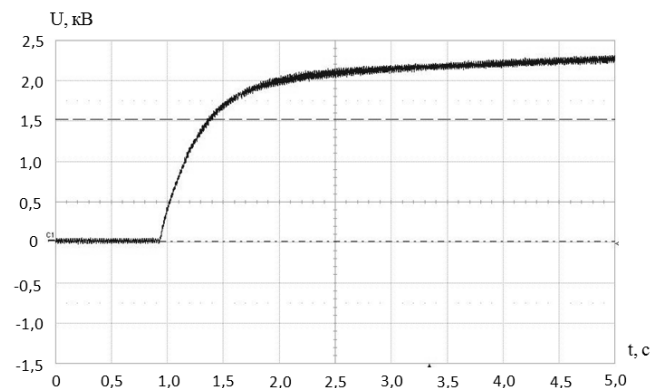


Рис. 9. Процесс заряда накопительной емкости 1,5 мкФ

Следует отметить, что с увеличением мощности лазера значительного увеличения передаваемой в нагрузку мощности добиться не удастся, что связано с особенностями работы фотопреобразователей. Так, для исследования эффективности преобразования светового излучения в электрическую энергию была снята зависимость мощности,

отдаваемой фотопреобразователями в нагрузку от мощности падающего на них светового излучения. Результаты измерений представлены на рис. 10.

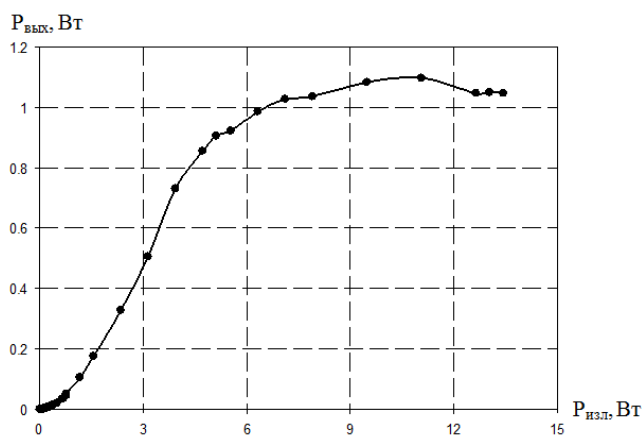


Рис. 10. Зависимость мощности, отдаваемой фотопреобразователями в нагрузку $P_{\text{вых}}$ от мощности падающего на них светового излучения $P_{\text{изл}}$

Из представленной зависимости видно, что на начальном участке мощность в нагрузке имеет квадратичную зависимость от мощности падающего светового потока. Это связано с тем, что максимальная выходная мощность реализуется лишь при определенных значениях тока и выходного напряжения фотопреобразователя. При увеличении мощности светового излучения начинают сказываться эффекты, связанные с влиянием внутреннего сопротивления фотопреобразователя, когда сопротивление рабочего слоя структуры и сопротивление контактной сетки оказываются сравнимыми с сопротивлением нагрузки. Снижение выходной мощности при $P_{\text{изл}} > 11$ Вт связано с влиянием нагрева элементов.

Таким образом, для дальнейшего увеличения передаваемой мощности необходимо использование фотопреобразователей с увеличенной площадью освещаемой поверхности, либо с применением специальных мер по уменьшению внутреннего сопротивления. Возможно также распараллеливание системы.

Заключение

Таким образом, показана принципиальная возможность осуществления питания электронных устройств через оптический кабель. На основе лазера мощностью 1 Вт на выходе оптического волокна в непрерывном режиме была построена система, позволяющая зарядить накопительную емкость до напряжения около 2,5 кВ за время менее 1 с. При использовании лазера мощностью 15 Вт была продемонстрирована возможность накопления электрической энергии более 2 Дж за время 0,5 с при напряжении более 1,5 кВ.

Проведенные исследования показали высокую радиационную стойкость полупроводниковых лазерных диодов и фотопреобразователей. Показано, что на основе существующей элементной базы возможно создание волоконно-оптической системы энергопитания, стойкой к воздействию ионизирующих излучений, а поскольку существуют лазеры с мощностью оптического излучения в десятки ватт, то на основе светового энергопитания можно обеспечить энергией практически любое электронное устройство.

Список литературы

1. Kachemtsev A. N., Kiselev V. K., Sem'in G. N., Trufanov A. N. The hybrid optical power supply system of electronic devices // Proc. NATO Project Sfp-973799 Semiconductors 2nd Workshop, Nizhni Novgorod, 2002.
2. Андреев В. М., Хвостиков В. П., Ларинов В. Р. и др. Высокоэффективные концентраторные (2500 солнц) AlGaAs/GaAs-солнечные элементы // Физика и техника полупроводников. 1999. Т. 33, № 9. С. 1070–1072.
3. Шварц С. Полупроводниковые схемы. Справочник: Пер. с англ. - М.: Издательство иностранной литературы, 1962.
4. Труфанов А. Н., Довбыш Л. Е., Иванова М. М. и др. Исследование влияния высокоинтенсивного ионизирующего излучения на характеристики оптоэлектронных приборов // Международная научная конференция по проблемам физики высоких плотностей энергии «XII Харитоновские чтения». – г. Саров Нижегородской обл., 2010. С. 125–127.