

Гибридная оптическая система питания электронных устройств

А.Н.Качемцев, В.К.Киселев¹, Г.Н.Семьин, А.Н.Труфанов

*НИИ Измерительных систем им. Ю.Е.Седакова
Нижний Новгород 603950, ГСП-486, Россия*

Предлагается специальная оптическая система, основанная на полной электрической изоляции выделенной зоны, за счет управления исполнительными устройствами и передачи им энергии по оптическим волокнам и оптическим жгутам. Система обеспечивает повышение надежности, электровзрывобезопасности, стойкости к специальным видам воздействия.

Введение

Создание и освоение в производстве лазерных источников мощного оптического излучения, а также каналов его передачи, сделало возможным разработку и применение устройств и систем, функционирующих на основе энергопитания от источника света. Целесообразность и актуальность использования фотоэнергетических систем обуславливаются целым рядом их преимуществ перед электрическими. К ним относятся: невосприимчивость к воздействию электромагнитных помех любой интенсивности, отсутствие собственного электромагнитного излучения в диапазоне радио- и промышленных частот, полная гальваническая развязка от электрических сетей и от электрических зарядов, отсутствие токов утечки, отсутствие необходимости заземления и т.п.

Появление мощных лазеров непрерывного излучения позволяет реализовать на основе фотоэнергетического питания значительную часть традиционных устройств, функционирующих на основе использования электрической энергии. Возможными областями применения устройств с использованием фотоэнергетических систем могут быть, например, оптоприводные устройства, генераторы звуковых волн, релейные элементы автоматики, технологические системы, инструмент, нагреватели, светопечатающие устройства, инициаторы физических процессов, медицинская аппаратура и т.д. Особый интерес такая технология представляет для производств с опасными и особо опасными условиями.

1. Гибридная оптическая система питания

В рассматриваемой концепции электрическая энергия преобразуется в световую с помощью мощного лазерного диода, находящегося вне изолированной зоны (рис.1). Световая энергия подается в изолированную зону через оптический жгут. После попадания в изолированную зону оптический сигнал вновь преобразуется в электрический с помощью оптического приемника. Необходимое напряжение получается при помощи преобразователя типа "DC-DC" и заряжает накопительную емкость.

¹ Тел.: +7-8312-666130

Коммутация энергии, накопленной в конденсаторе, может быть осуществлена посредством триггерной схемы устройства управления, переключаемой с помощью оптического сигнала малой мощности.

В настоящее время самой сложной проблемой является передача требуемой световой энергии к высоковольтному преобразователю напряжения в изолированной зоне.

2. Известные аналоги

До 1980 г. максимальная мощность полупроводниковых лазерных диодов ограничивалась 10 мВт. В 1980 г. в Сандийской Национальной Лаборатории была построена система, которая состояла из лазерного диода и световодов, подававших на поверхность однопереходной кремниевой солнечной батареи оптический сигнал мощностью 6,9 мВт. КПД батареи составлял 7%. При использовании специального низковольтного преобразователя напряжение на ячейке повышалось с 0,25 В до 2,89 В с коэффициентом передачи 54%. Общий КПД ячейки и преобразователя напряжения составлял 3,8%.

В 1985 г. была разработана и сконструирована демонстрационная схема, в которой использовались два мощных (100 мВт) лазерных диода и две фотовольтаические батареи из GaAs-ячеек для заряда конденсатора 0,05 мкФ до 2 кВ. Использование ЛД позволило запасти энергию до 75 мДж приблизительно за 5 с.

Ниже рассматривается вариант накопления необходимой электрической энергии на конденсаторе методом преобразования оптической энергии в электрическую с помощью полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей. Необходимая величина напряжения на накопительном конденсаторе обеспечивается с помощью преобразователя постоянного напряжения в постоянное (DC–DC).

3. Описание компонентов системы

В предлагаемой гибридной оптической системе (рис.1), электрическая энергия преобразуется в световую с помощью мощного лазерного диода, находящегося вне изолированной зоны.

В состав системы входят:

- лазерный диод;
- источник питания;
- генератор исполнительных команд;
- светодиод;
- оптические жгуты;
- фотоэлектрические преобразователи;
- преобразователь напряжения типа “DC-DC”;
- накопитель;
- устройство управления;
- нагрузка.

Основные компоненты, участвующие в процессе передачи и накопления необходимой электрической энергии в изолированной зоне, рассмотрены ниже.

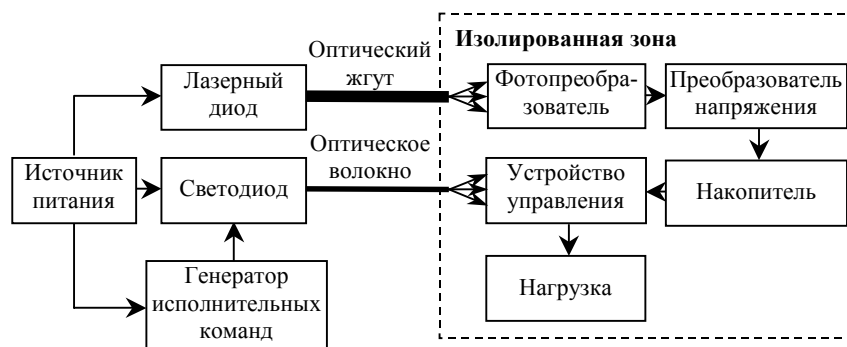


Рис. 1

Упрощенная блок-схема гибридной оптической системы питания

4. Лазерные диоды и их источники питания

Результаты проведенных исследований показали, что для обеспечения необходимой эффективности системы требуется лазер, который в непрерывном режиме выдает в оптический кабель мощность порядка 1 Вт. Характеристики одного из удовлетворяющих таким требованиям лазера приведены в Табл. 1.

Табл. 1

Характеристики лазерного диода ЛДН-20

Наименование параметра	Единица измер.	Номинал	Данные измерений
Выходная мощность с торца световода, мин.	мВт	1000	1000
Длина оптического световода, мин.	м	1,00	Min
Ток в рабочем режиме, макс.	А	2,5	1,87
Падение напряжения в рабочем режиме, макс.	В	2,5	Соотв.
Длина волны максимума спектра излучения при $25 \pm 10^0 \text{C}$, ном.	нм	820 ± 30	822
Ширина спектра излучения, мин.	нм	4	2,0
Диаметр сердцевинки оптического волокна, ном.	мкм	106	Соотв.
Числовая апертура		0,2	0,2
Режим работы		непрер.	Соотв.

В соответствии с проведенными исследованиями [1], источник питания может иметь крайне простую схему и при этом обеспечивать необходимую температурную стабилизацию.

5. Оптический жгут

В качестве оптической линии в системе используется оптический жгут.

Поскольку жгут должен быть рассчитан на воздействие неблагоприятных внешних факторов, на него накладываются определенные требования по стойкости к климатическим и механическим воздействиям, а также к действию специальных условий. В настоящее время существует достаточно типов оптических жгутов, устойчивых к воздействию перечисленных факторов [2].

6. Фотоэлектрические преобразователи

Самым технически сложным и ответственным элементом гибридной оптической системы питания, обеспечивающей передачу энергии в изолированную зону за минимальное время, является полупроводниковый фотоэлектрический преобразователь. Он должен обладать наибольшей эффективностью фотоэлектрического преобразования.

В соответствии с проведенными исследованиями были изготовлены фотоэлектрические ячейки на основе GaAs.

Структура и конструкция GaAs фотопреобразователя представлена на рис.2.

Конструкция одного элемента фотоэлектрического преобразователя представляет из себя чип GaAs структуры размером 3×3 мм (рис.2). На нижнюю поверхность подложки наносится электрод в виде слоя золота толщиной 0,2 мкм. Второй электрод выполняется в виде сетки, которая наносится на p⁺-слой. Сетка выполнена напылением золотых проводников шириной 20 мкм, толщиной 1 мкм. Расстояние между проводниками – 300 мкм.

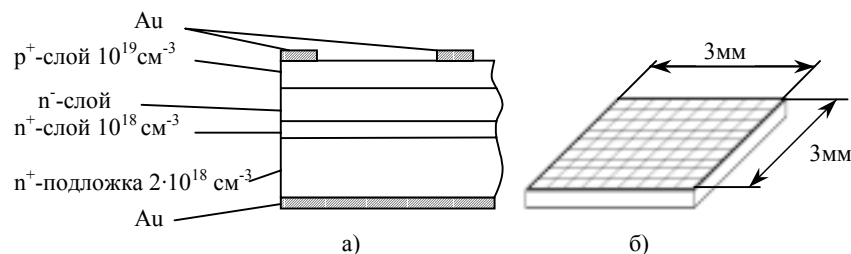


Рис.2

- а) Структура полупроводникового фотопреобразователя;
б) конструкция одного элемента фотоэлектрического преобразователя.

Теоретически максимально достижимый КПД фотопреобразования в такой структуре около 40%. Изготовленные фотопреобразователи с такой структурой имели КПД преобразования световой энергии в электрическую порядка 10%, что объясняется большими потерями, связанными с отражением света от поверхности образцов. Их можно уменьшить нанесением антиотражающих покрытий на поверх-

ность фотопреобразователей. Для нормального функционирования системы необходимо получить КПД порядка 20%, что вполне достижимо.

7. Преобразователь напряжения и накопитель

С помощью полупроводникового фотоэлектрического преобразователя оптическая энергия лазера преобразуется в электрическую, которая через преобразователь напряжения поступает на накопительную емкость. Если фотопреобразователь состоит из 4 элементов, то на его выходе можно получить напряжение порядка 2,8В.

Таким образом, для накопления энергии более 100 мДж за время менее 1 с (что соответствует заряду емкости 0,05 мкФ до напряжения более 2 кВ) преобразователь "DC-DC" должен повысить напряжение, снимаемое с фотоэлектрической батареи, более чем в 700 раз, и за минимальное время зарядить конденсатор.

В большинстве случаев для получения высокого постоянного напряжения применяются механические устройства. Генератор, приводимый в действие двигателем, создает трудности, которые обусловлены наличием контактных щеток или устройств коммутации при довольно низком КПД. Источники питания с вибропреобразователем имеют более высокий КПД, но вместе с тем, из-за износа контактов, они выдерживают сравнительно короткий срок службы. Еще одним недостатком источников питания этого типа является их большой размер и вес.

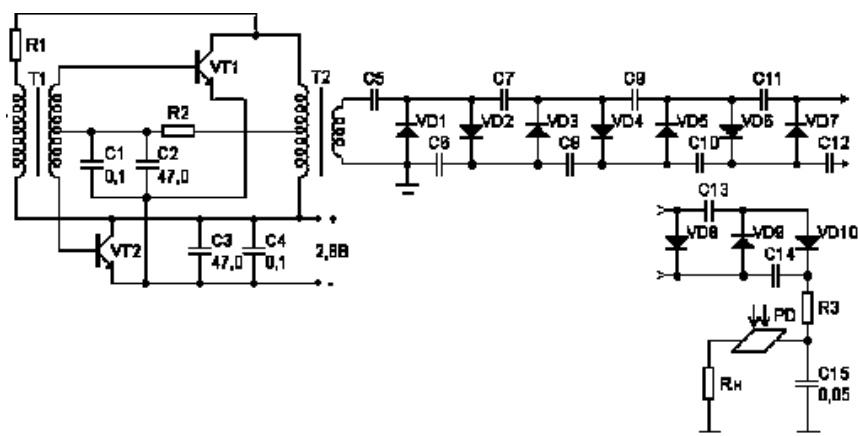


Рис.3
Преобразователь напряжения типа "DC-DC".
Схема электрическая принципиальная.

В связи с вышесказанным, для реализации преобразователя был применен генератор прямоугольных колебаний на двух трансформаторах [3], который является очень эффективным устройством получения высокого напряжения от источника постоянного тока с низким напряжением (рис.3). На выходе генерируется сигнал

прямоугольной формы с амплитудой около 300 В. С генератора сигнал поступает на вход умножителя напряжения, собранного на конденсаторах C5-C14 и диодах VD1-VD10. Умножитель позволяет получить на выходе преобразователя постоянное напряжение около 3 кВ.

Реально на выходе преобразователя через 1с было получено напряжение около 2,5 кВ, что при емкости C15=0,05 мкФ соответствует накопленной энергии 0,16 Дж. При этом КПД преобразователя напряжения составил приблизительно 60%.

Выводы

В настоящее время возможно создание гибридной оптической системы, обеспечивающей накопление электрической энергии более 100 мДж в изолированной зоне за время менее 1с на основе отечественной элементной базы.

Самым технически сложным и ответственным элементом оптической системы является полупроводниковый фотоэлектрический преобразователь. На данном этапе возможно получение фотопреобразователей на основе GaAs с КПД преобразования более 20%, что позволит реализовать необходимые характеристики системы.

Литература

- [1] Киселев В.К., Оболенский С.В., Семьин Г.Н., Труфанов А.Н. Лазер, устойчивый к изменению температуры окружающей среды и воздействию радиации // Научно-технический сборник "СТОЙКОСТЬ-2000". – М.: Паимс, 2000, 248с.
- [2] Гауэр Дж. Оптические системы связи: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989, 504с.
- [3] Шварц С. Полупроводниковые схемы. Справочник: Пер. с англ. – М.: Издательство иностранной литературы, 1962, 440 с.

The hybrid optical power supply system of electronic devices^{*)}

A.N.Kachemtsev, V.K.Kiselev¹⁾, G.N.Sem'in, and A.N.Trufanov

*Measuring Systems Research Institute named after Yu.Ye. Sedakov
Nizhni Novgorod, 603950, GSP-486, Russia*

For increase of reliability, electro-explosion safety, and stability to special kinds of influence the special optical system based on full electric isolation of a selected zone by control of the executive devices and transmit them energy by the optical fibers is offered.

^{*)} Proc. NATO Project SfP-973799 Semiconductors 2nd Workshop. Nizhni Novgorod, 2002

¹⁾ Phone: +7-8312-666130