



## СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

*А. Темников, А. Гайосо де лос Сантос, З. Павлова,  
А. Федоров, А. Колесников, ООО Федал*

Основные сферы применения мощных лазерных систем – фундаментальные и прикладные исследования в области инерциального термоядерного синтеза, взаимодействия мощного лазерного излучения с веществом. Анализ развития лазерных установок свидетельствует о взятом их производителями направлении в сторону дальнейшего увеличения мощности. В статье лаконично описаны основные принципы построения универсальной системы электропитания мощного многоканального лазерного комплекса с диодной накачкой.

**П**рогресс в области лазерной физики и техники, с точки зрения повышения эффективности лазерных систем, связывают с созданием мощных линеек и матриц лазерных диодов и на их основе – систем накачки мощных твердотельных лазеров, обладающих высокими удельными характеристиками и надежностью. Согласно данным журнала LaserFocusWorld [1], за 2013 год лазеры с диодной накачкой составляют 49% от общего числа лазеров.

Для электропитания и управления лазерными системами с мощностью накачки до 5 кВт, как правило, используют моноблочную конструкцию. Если мощность накачки лазерной системы превышает 5 кВт, эффективность применения моноблочного конструктива начинает уступать системам, основанным на модульном построении. Лазерные системы высокой мощности в основном являются многоканальными с мощностью накачки каждого канала не более 5 кВт. Таким образом, при применении модульного принципа каждая модульная единица питает свой канал накачки лазерной системы.

Основными преимуществами построения систем электропитания высокомошных лазеров по такому принципу являются:

- доступность элементной базы;
- возможность перестраивания системы под необходимое количество каналов накачки;
- простота транспортировки;

## ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEMS FOR MULTI-CHANNEL DIODE-PUMPED LASERS

*A. Temnikov, A. Gayoso de los Santos, Z. Pavlova,  
A. Fedorov, A. Kolesnikov, Fedal Ltd*

High-power laser systems are mainly applied during the fundamental and applied research activities in the area of inertial thermonuclear fusion, interaction of high-power laser radiation with the substance. Analysis of the development of laser devices indicates the orientation towards the further increase of capacity by their manufacturers. The article briefly describes the main principles of construction of the universal electrical power supply system for high-powerful multi-channel diode-pumped laser jet.

**F**rom the point of view of enhancement of laser systems efficiency, progress in the area of laser physics and engineering is connected with the creation of high-power rules and matrices of laser diodes as well pumping systems of high-power solid-state lasers which have high specific characteristics and reliability. According to the information of LaserFocusWorld magazine, diode-pumped lasers accounted for 49% in the total amount of lasers in 2013.

As a rule, for the electrical power supply and control of laser systems with the pump power up to 5 kW monoblock construction is used. If the pump power of laser system is more than 5 kW efficiency of monoblock construction application begins to be inferior to the systems based on module construction. High-power laser systems are mainly multi-channel systems with the pump power of every channel of not more than 5 kW. Thus, when applying the module principle every module unit feeds its pump channel of laser system.

The main advantages of construction of the electrical power supply systems for high-power lasers on the basis of such principle are:

- accessibility of element base;
- ability to rearrange system for the required amount of pump channels;
- easy transportation;
- repairability.

For the first time Fedal Ltd company faced the necessity to construct the power supply system using module principle when working with the solid-state

- ремонтпригодность.

Впервые компания ООО Федал столкнулась с необходимостью построения системы электропитания по модульному принципу еще при работе с твердотельными лазерами с ламповой накачкой. Лазер был предназначен для термораскола стекла, имел три канала накачки с лампами ИНП 16/250Э. Система питания для этого лазера включала три высоковольтных зарядных модуля с встроенной системой синхронизации, три блока поджига и три батареи конденсаторов. Впоследствии компания строила многоканальные системы питания для лазеров, накачиваемых лампами ИНП 16/250Э и ИНП 18/850Э.

Рост мощности лазеров с диодной накачкой позволил применить знания, полученные при проектировании систем с ламповой накачкой в области лазерных диодов (рис.1).

Для решения задач питания мощных лазерных систем с диодной накачкой был разработан источник питания SF308 со средней выходной мощностью 5 кВт (рис.2). На его основе сконструирована модификация SF308 для многоканальных лазеров, отличающаяся отсутствием дисплея и органов управления [2-4].

Источник питания SF308 является генератором импульсов тока, основанным на принципе частичного разряда емкостного накопителя энергии (ЕНЭ).

Для заряда ЕНЭ используется резонансный транзисторный инвертор. Система управления отслеживает уровень напряжения накопителя и включает инвертор, когда напряжение накопителя уменьшается ниже заданного. Для исключения сбоев в системе управления на время



**Рис.1.** Многоканальная система электропитания лазера с диодной накачкой

**Fig. 1.** Multichannel electric power supplied system for diode-pumped lasers

flashlamp-pumped lasers. Laser was intended for the glass thermal split, it had three pump channels with the lamps INP 16/250E. Power supply system for this laser included 3 high-voltage ordinary modules with built-in synchronization system, 3 ignition blocks and 3 condenser batteries. Afterwards, the company constructed multichannel power supply systems for the lasers pumped by the lamps INP 16/250E and INP 18/850E.



Рис.2. Импульсный источник питания лазера, модель SF308  
Fig. 2. Laser power supply SF 308

формирования импульса тока в нагрузке включение инвертора блокируется.

Форма импульсов тока, получаемых в генераторах с ЕНЭ, близка к прямоугольной, плоская часть импульса имеет экспоненциальный спад. Очевидно, что величина этого спада будет расти с увеличением длительности импульса. Конечно, повышая существенно емкость накопителя, можно добиться почти плоской вершины импульса, но такой подход нецелесообразен с экономической точки зрения. Кроме этого, избыточная энергия большого накопителя в аварийных режимах (пропуск размыкания ключа) может привести к разрушению нагрузки. В результате этого возникла необходимость коррекции формы импульса тока с целью уменьшения величины спада плоской части при приемлемой величине накопителя.

Решить эту задачу удалось с помощью полностью управляемого транзисторного ключа, который позволяет корректировать форму импульса тока, а также играет роль защиты от выбросов тока, способных вывести дорогостоящие лазерные диоды из строя [5].

Для объединения источников питания в единую многоканальную систему было разработано устройство синхронизации SF700. Устройство предназначено для одновременного или отдельного управления несколькими источниками питания лазеров производства ООО "Федал" (рис.3). Устройство содержит систему управления питанием для объединенных в стек источников, интерфейс управления источниками и систему генерации импульсов синхронизации. Связь между SF700 и источниками питания осуществляется по оптоволоконной сети либо по интерфейсу RS232. К одному устройству синхронизации возможно одновременное подключение до восьми источников питания. Для лазерных систем с количеством каналов более восьми

Power increase of the diode-pumped lasers made it possible to apply the knowledge obtained upon the design of flashlamp-pumped systems in the area of laser diodes.

In order to solve the tasks on the power supply of high-power diode-pumped laser systems the power source SF308 with the average output power of 5 kW was developed. Modification SF308 was designed on its basis for the multi-channel lasers; it differs by the absence of display and controls.

Power source SF308 is the current pulse generator based on the principle of the partial discharge of capacity energy storage (CES).

For CES charge the resonance transistor inverter is used. Control system tracks the voltage level of storage device and turns on the inverter when the voltage decreases below the given value. In order to exclude the control system failures during the period of formation of load current output pulse, turning on function of the inverter is blocked.

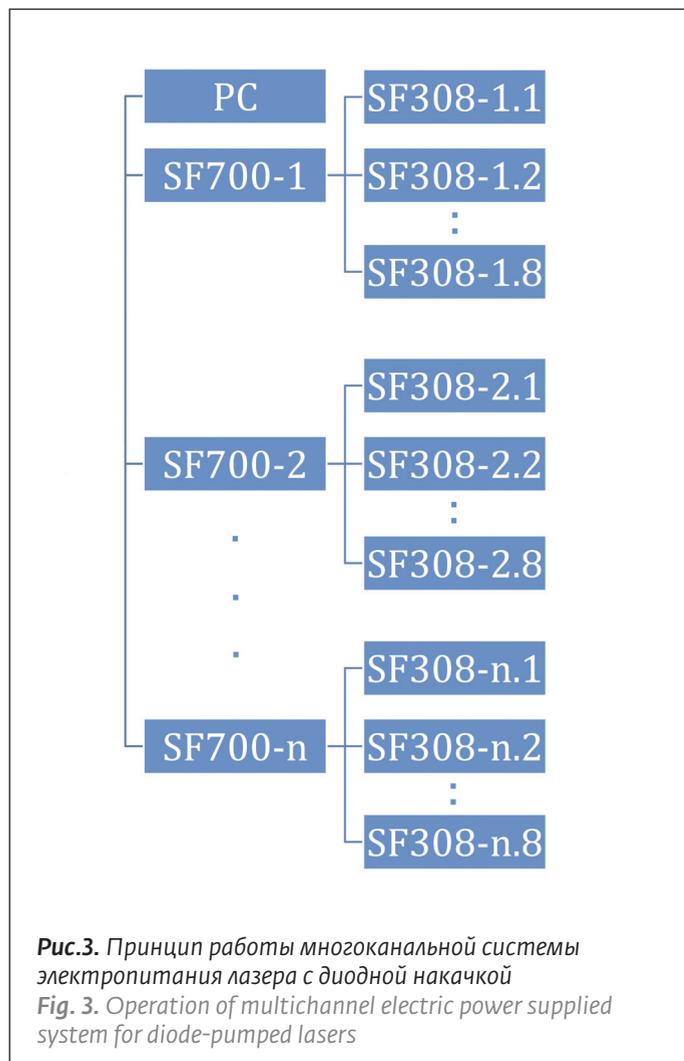


Рис.3. Принцип работы многоканальной системы электропитания лазера с диодной накачкой  
Fig. 3. Operation of multichannel electric power supplied system for diode-pumped lasers



предусмотрена возможность объединения SF700 в сеть по протоколу RS485 либо по оптоволокну. Гальваническая изоляция всех связей, а также возможность использования оптической связи обеспечивают высокую помехозащищенность комплекса в целом.

Источники питания SF308 и устройства синхронизации SF700 представляют заказчику возможность собрать универсальную систему электропитания мощного многоканального лазерного комплекса с диодной накачкой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Overton G., Noguee A., Holton G.** Lasers forge 21st century innovation. – Laser Focus World. January 2014, №1.
2. **Глухих И.В., Кубасов В.А., Курунов Р.Ф. и др.** Исследование спектральных характеристик импульсно-периодических линеек лазерных диодов. – Известия Академии наук. Серия физическая, 2001, Е.65, № 6, с. 870–875.
3. **Глухих И.В., Коваль Ю.П., Кубасов В.А. и др.** Мощные непрерывные 10 Вт лазерные линейки на основе гетероструктур InGaAsPh/GaAs с улучшенным теплоотводом. – Тезисы докладов 4-го Белорусско-Российского семинара "Полупроводниковые лазеры и системы на их основе" 20–25 мая, 2002, Минск, Беларусь, с. 34–36.
4. **Глухих И.В., Коваль Ю.П., Кубасов В.А. и др.** Мощные непрерывные линейки лазерных диодов с высокоэффективным теплоотводом для накачки твердотельных лазеров. – Вопросы атомной науки и техники. Серия электрофизическая аппаратура, 2002, вып.1 (27), с. 83–87.
5. **Глухих И.В., Курунов Р.Ф., Поликарпов С.С., Фролов С.В.** Разработка твердотельных лазеров с диодной накачкой в НИИЭФА им.Д.В.Ефремова. – Вопросы атомной науки и техники. Серия электрофизическая аппаратура, 2005, вып. 3 (29), с. 84–89.

The form of current pulses obtained in the generators with CES is similar to the squared shape, flat part of the pulse has exponential decay. It is obvious that the value of this decay will grow with the increase of pulse duration. Of course, practically flat pulse top can be achieved by increasing the storage capacity considerably, but such approach is not reasonable from the economical point of view. Besides, the excess energy of large storage device in emergency operation (omission of key break) can cause the load disturbing. Accordingly, the necessity to correct the current pulse form occurred for the purpose of decrease of the decay value of flat part upon the acceptable storage value.

This task was solved with the help of completely-controlled transistor key which allows correction of the current pulse form and plays the role of protection against current surges which can disable expensive laser diodes.

In order to combine the power sources into unified multi-channel system the synchronization device SF700 was designed. This device is intended for the simultaneous or discrete control of several laser power sources manufactured by Fedal Ltd. Device has the power supply control system for the sources unified into the stack, sources control interface and system of generation of synchronization pulses. Communication between SF700 and power sources is accomplished on the basis of fiber-optic network or interface RS232. Power supply sources in the amount up to 8 items can be connected simultaneously to one synchronization device. For the laser systems with more than 8 channels, the capability of SF700 combination with the network is provided on the basis of RS485 protocol or optical fiber. Galvanic insulation of all communications as well as capability of usage of optical communication ensures high interference protection of the jet in general.

Power sources SF308 and synchronization devices SF700 give the opportunity to assemble universal electrical power supply