



# ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

А.Темников, А.Гайосо де лос Сантос, А.Федоров, А.Колесников,  
ООО "ФЕДАЛ", [www.fedal.spb.ru](http://www.fedal.spb.ru)

Представлена разработка линейки продуктов – высокоэффективных источников питания твердотельных лазеров с диодной накачкой и контроллеров термостабилизации на основе элементов Пельтье. В конструкции использована передовая элементная база. Дан краткий анализ изменения структуры покупательского спроса на источники питания для твердотельных лазеров. Его несколько неожиданные результаты будут интересны исследователям лазерного рынка.

**П**ервым, кто использовал для накачки твердотельного YAG:Nd-лазера лазерный диод на основе GaAs, стал М. Росс [1], создавший в 1968 году квантовый генератор с диодной накачкой. До этого момента для накачки твердотельных лазеров (ТЛ) использовали газоразрядные лампы. Однако вскоре выяснилось, что их работа из-за физической природы используемого механизма накачки и конструкции самой лампы существенно влияет на качество генерируемого излучения.

В ТЛ с накачкой на основе газоразрядных ламп (ТЛЛН) был ограничен КПД. Причина – несогласованность, возникающая между физическими характеристиками активной среды лазера и спектром излучения газоразрядной лампы, и квантовый дефект. К тому же, работу ТЛЛН сопровождают высокое тепловыделение и энергопотребление. Также низкий рабочий ресурс газоразрядных ламп (500–1000 часов работы) снижает срок службы ТЛЛН. Это связано с проявлением эффекта распыления материала электродов в процессе работы лампы и последующим его оседанием на внутренних стенках колбы [2]. Поэтому необходима

регулярная замена газоразрядных ламп накачки. Кроме того, постепенное старение лампы в процессе работы требует подстройки выходных параметров излучателя ТЛЛН.

Использование полупроводниковых лазеров в качестве накачки активных твердотельных сред устранило ряд проблем, возникающих при работе ТЛЛН. Во-первых, за счет применения для возбуждения активной среды узкополосных полупроводниковых излучателей значительно вырос КПД излучателя. Во-вторых, новый вид монолитной или полумонолитной конструкции лазера способствует стабильности параметров выходного излучения. Конструкция объединяет в одном узле активную среду, оптический резонатор и элементы управления. В-третьих, за счет применения новых активных сред расширились функциональные возможности ТЛ.

Замена газоразрядных ламп полупроводниковыми лазерами в качестве накачки ТЛ обеспечила высокую надежность и увеличили сроки эксплуатации твердотельных лазеров. Благодаря тому, что рабочий ресурс полупроводниковых излучателей достигает 20 000 часов работы, ТЛ превратились в надежный



**Рис.1.** Непрерывный источник питания твердотельного лазера с ламповой накачкой SF200, используемый для замены устаревших источников питания в промышленных лазерных установках

рабочий инструмент. Плюс к этому, снизились массогабаритные показатели лазера, ведь низкое тепловыделение в активной среде лазера с полупроводниковой накачкой не требует водяного охлаждения. Снижение тепловыделения повлекло за собой снижение термического напряжения в активной среде. Это позволило формировать узконаправленный пучок излучения с высокой яркостью [3].

Но главное, замена газоразрядных ламп лазерными диодами снизило опасность поражения электрическим током обслуживающего персонала, так как для диодной накачки используют более низкое напряжение питания по сравнению с их аналогами для ламповой накачки. Это повлекло снижение массогабаритных показателей источника питания (ИП) лазера, что повысило удобство использования твердотельных лазеров с диодной накачкой (ТЛДН).

Благодаря компактности и надежности конструкции, стабильности параметров излучения, наблюдается стремительное расширение применений ТЛДН в промышленных и прикладных областях [4]. Российские компании наращивают производство ТЛДН для медицинских приборов и военной техники, а также технологических комплексов и приборов для научных исследований, космической аппаратуры и т.д.

На выставке "Фотоника-2008" компания ООО "ФУДАЛ" получила ряд заказов на разработку и производство источников питания для ТЛДН. К этому моменту компания уже имела шестилетний опыт разработки и производства ИП для твердотельных лазеров с диодной накачкой. Руководство компании приняло решение начать работу над ИП ТЛДН и занять, таким



**Рис.2.** Контроллер термостабилизации SPI00

образом, новую для себя нишу на рынке лазерного оборудования. К 2009 году в компании была разработана серия источников питания ТЛДН. В ходе проведенных экспериментов были отработаны технологии, приняты оптимальные решения после исследования диодных линеек и матриц на чувствительность к нестабильности напряжения на диодах и тока накачки. Результаты позволили доработать конструкции и схемотехнические решения и учесть особенности полупроводников при создании ИП.

Многие годы компания "ФЕДАЛ" производила для твердотельных лазеров с ламповой накачкой ИП (рис.1), выполненные в технологии частичного разряда емкостного накопителя. В производстве ИП для ТЛДН использована та же технология. Такое решение позволяет добиться правильной формы импульсов накачки, его отличает удобство регулирования выходных параметров ИП (напряжения, тока, длительности и частоты следования импульсов) в широком диапазоне. Коммутацию накопителя на нагрузку осуществляют MOSFET-транзисторы, работающие в активном режиме. Сигнал управления транзисторами генерирует микроконтроллер, это также обуславливает точность и удобство регулировки выходных сигналов. Использование цифрового управления предоставляет возможность регулировки параметров накачки с компьютера с помощью известных распространенных протоколов передачи данных (RS232, RS485, RS422, Ethernet, USB). Благодаря этому была решена задача синхронизации работы нескольких ИП, что требовалось при разработке мощных ИП для лабораторных стендов.

Для стабильной работы ТЛДН требовалось обеспечить стабильность оптимальной температуры диодов в узком диапазоне. Производители лазеров с диодной накачкой активно используют для этих целей термоэлектрические элементы на основе эффекта Пельтье. Такие элементы требуют отдельного блока управления термостабилизации,

## Параметры источников питания лазеров с диодной накачкой

Параметр	Модель ИП		
	SF304	SF306	SF308
Рабочее напряжение на диодах, В	0–160	0–30	0–100
Диапазон регулировки тока накачки, А	1–300	1–120	1–250
Дискретность изменения тока накачки, А	0,05	0,05	0,05
Частота следования импульсов, Гц	1–500	1–100	1–1000
Дискретность изменения частоты импульсов, Гц	0,05	0,025	0,05
Диапазон регулировки длительности импульсов, мкс	10–1000	10–1000	10–1000
Дискретность изменения длительности импульсов, мкс	1	1	1
Точность стабилизации тока накачки, %	0,3	0,3	0,3
Максимальная выходная импульсная мощность, кВт	18	4,5	15
Питание	Однофазная сеть ~220 В, 50Гц	Однофазная сеть ~220 В, 50Гц	Трехфазная сеть ~220/380 В, 50Гц
Максимальная мощность, потребляемая от сети, кВт	2,2	1,2	6,2
Габариты, мм	440×165×440	440×125×340	440×165×440

который целесообразно включать в конструкцию ИП лазера. По заказу ЗАО "Полупроводниковые приборы" ООО "ФЕДАЛ" разработало контролер SP100 (рис.2), который позволяет управлять термoeлектрическими элементами Пельтье с максимальным током до 9А. Контроллер работает по принципу широтно-импульсной модуляции выходного напряжения, что обеспечивает беступенчатую регулировку температуры. В конструкции контроллера предусмотрен сглаживающий фильтр, его назначение – обеспечить работу элемента в оптимальных условиях и исключить ускоренную деградацию и локальные отказы. Объединение ИП лазера и контроллера термостабилизации в одно изделие упростило управление лазерным комплексом. Совмещенное



**Рис.3.** Импульсный источник питания лазера с диодной накачкой SF306, предназначенный для работы в различных лазерных комплексах

программное обеспечение и единая панель управления позволяют устанавливать как характеристики накачки, так и параметры термостабилизации лазерного диода (рис.3).

Таким образом, ООО "ФЕДАЛ" проделана большая работа по созданию полного комплекса электроники для ТЛДН (см. таблицу). Анализ работы предприятия за последний год показал, что в 2012 году спрос на ИП ТЛДН вырос на 50%. Большинство новых заказчиков приобретали именно ИП ТЛДН. Необходимо отметить, что ИП ТЛДН приобретают в основном производители приборов для научных исследований, лабораторных стендов, технологических комплексов, прототипов и макетов военной техники. В то же время, покупателями ИП ТЛДН являются производственные компании, заинтересованные в модернизации лазерных установок типа КВАНТ 12, КВАНТ 15, КВАНТ-60, ТЕМП-50, лазеров ЛТН-101, ЛТН-102, ЛТН-103, ЛИТ-501, ЛИТ-502, ГОИ-16 и т.д. Спрос на ИП ТЛДН в 2012 году превысил спрос на ИП ТЛЛН. Однако наметилось повышение спроса на ИП ТЛДН, что говорит о вероятном вытеснении ими ТЛЛН в ближайшем будущем.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Ross M.** – Proc. IEEE, 1968, v.56, p.196.
2. **Борисов Б.Н., Демкин В.К., Дунин В.М. и др.** О работах предприятия по созданию лазеров с полупроводниковой накачкой. –



В кн.: Лазерно-оптические системы и технологии. – М.: ФГУП "НПО АСТРОФИЗИКА", 2009, с.8-17.

3. **Шестаков А.** Активные элементы твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой. – Фотоника, 2007, №5.
4. **Кравцов Н.В.** Основные тенденции развития твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой. – Квантовая электроника, 2001, 31, №8, с. 661- 667.



# POWER SUPPLY SOURCES FOR SOLID-STATE DIODE-PUMPED LASERS

A.Temnikov, A.Gayoso de los Santos, A.Fyodorov, A.Kolesnikov, LLC "FEDAL", www.fedal.spb.ru

There is presented the line of products – high-efficient power supply sources for solid-state diode-pumped lasers and controllers of thermostabilisation on the basis of Peltier elements. The advanced element base was used in construction. The short analysis of the structure of demand for power supply sources for solid-state lasers was provided. Its slightly unexpected results will be interesting for researches of laser market.

The first person who used laser diode on the basis of GaAs for pumping of solid-state laser YAG:Nd was M.Ross [1], which created in 1968 diode-pumped quantum generator. Until that moment for pumping of solid-state lasers (SSL) there were used gas discharge lamps. However it was soon determined that their operation influences significantly on quality of generated emission because of physical nature of used mechanism of pumping and construction of the lamp itself.

In SSL with pumping on the basis of gas discharging lamps (SSLLP) the efficiency coefficient was limited. The reason is inconsistency which appears between physical characteristics of dynamic environment of laser and spectrum of gas discharging lamp emission and quantum defect. Furthermore SSLLP support high heat release and energy consumption. Also the low operational resource of gas discharging lamps (500–1000 hours of operation) reduces the service life of SSLLP. This is related to appearance of the effect of diffusion of electrodes material in process of operation of the lamp and its further accumulation on internal walls of envelope [2]. That is why regular change of gas discharging pumping lamps is necessary. Also gradual ageing of the lamp during its operation requires adjustment of output parameters of SSLLP emitter.

Usage of semiconductor lasers for pumping of dynamic solid-state environments eliminated number of problems which arise during SSLLP operation. Firstly, for account of application for actuation of dynamic environment of narrow-bank semiconductor emitters the efficiency coefficient of emitter increased significantly. Secondly, new type of monolithic or semi-monolithic construction of laser facilitates the stability of parameters of output emission. Construction combines in one node the dynamic environment,

optical resonator and control elements. Thirdly, for account of application of new dynamic environments the functional capabilities of SSL were increased.

Change of gas discharging lamps to semiconductor lasers as SSL pumping lead to high reliability and increasing of operation periods of solid-state lasers. Because operational resource of semiconductor emitters achieves 20 000 operation hours SSL turned to be a reliable working instrument. Plus to this the mass and dimensional parameters of laser reduced, this is because low heat release in dynamic environment of laser with semiconductor pumping does not require water cooling. Decreasing of heat release lead to thermal stress reducing in dynamic environment. This allowed to form the focused emission beam with high brightness [3].

But the most important is that change of gas discharging lamps with laser diodes reduced the danger of injury with electric current of servicing personnel because the lower power supply voltage is used for diode pumping comparing to their analogues for lamp-pumping. This lead to reducing of mass and dimensional indexes of power supply (PS) of laser which increased the convenience of SSLLP usage.

Thanks to compactness and reliability of SSLLP construction, stability of parameters of emission the rapid widening of their application in industrial and applied spheres is observed [4]. Russian companies increase production of SSLLP for medicinal devices, military devices, technological complexes, devices for scientific researches, space equipment and etc.

At the exposition "Fotonika-2008" the company LLC "FEDAL" obtained a set of orders on development and production of power supply sources for SSLLP. At that moment company already had

Parameters of power supply sources for diode-pumped lasers

PSS Parameters	PSS Model		
	SF304	SF306	SF308
Working voltage on diodes, V	0–160	0–30	0–100
Range of pumping current regulation, A	1–300	1–120	1–250
Discreteness of pumping current changing, A	0,05	0,05	0,05
Frequency of impulse flow, Hz	1–500	1–100	1–1000
Discreteness of impulse frequency changing, Hz	0,05	0,025	0,05
Range of impulse duration regulation, micro-seconds	10–1000	10–1000	10–1000
Discreteness of impulse duration changing, micro-seconds	1	1	1
Accuracy of pumping current stabilization, %	0,3	0,3	0,3
Maximal output impulse power, kWt	18	4,5	15
Supply	Single-phase network ~220V 50Hz	Double-phase network ~220V 50Hz	Three-phase network ~220/380V 50Hz
Maximal power consumed from network, kWt	2,2	1,2	6,2
Dimensions, mm	440×165×440	440×125×340	440×165×440



six-year experience of development and production of PSS (power supply sources) for solid-state diode pumped lasers. Company management made a decision to start work on PSS SSLDP and take in such way a new niche at laser equipment market. By 2009 the series of power supply sources SSLDP were developed in the company. During conducted experiments there were completed the technologies, made optimal decisions after research of diode arrays and matrixes on the subject of sensitivity to unstable voltage on diodes and pumping current. The results made it possible to complete the constructions and schematic decisions and consider the peculiarities of semiconductors when creating PSS.

For many years production of company "Fedal" was oriented on solid-state lamp-pumped lasers PSS which were performed in technology of partial discharge of capacitive storage (Fig.1. Uninterrupted power supply of solid-state lamp-pumped laser SF200 which is used for change of old-fashioned power supply sources in industrial laser installations). In production of PSS for SSLDP the same technology was used. Such solution allows to achieve correct form of pumping impulses and it differs by the convenience of regulation of output parameters PSS (voltage, current, duration and frequency of impulse flow) in a wide range. Commutation of accumulator on load is performed by MOSFET-transistors which operate in active mode. Signal of controlling the transistors is generated by microcontroller. This also stipulates the accuracy and convenience of regulation of output signals. Usage of digital control provides opportunity of pumping parameters regulation from computer using well-known protocols of data transfer (RS232, RS485, RS422, Ethernet, USB). Thanks to that the issue of synchronization of several PSS operation was resolved which was necessary for development of powerful PSS for laboratory stands.

For stable operation of SSLDP it was necessary to ensure stability of optimal temperature of diodes in narrow range. Manufacturers

of diode-pumped lasers actively use for this purposes the thermal-electric elements based on Peltier effect. Such elements require a separate control block of thermal stabilization which is rational to include to laser PSS construction. On the order of CJSC "Poluprovodnikovye pribory" LLC "FEDAL" developed a controller SP100 which allows to control thermal-electric elements of Peltier with maximal current up to 9A. Controller operates based on principle of pulse-duration modulation of output voltage which ensures stepless thermal regulation. Controller construction provides smoothing circuit which is intended for ensuring of operation of the element in optimal conditions and to exclude accelerated degradation and local failures. Combining of PSS laser and controller of thermal stabilization in one product simplified the control of laser complex. Combined software and common control panel allow to preset both pumping characteristics and parameters of thermal stabilization of laser diode (Fig.2. Pulse power supply source of diode-pumped laser SF306 which is intended for operation in different laser complexes).

Thus LLC "FEDAL" performed huge work on creation of complete complex of electronics for SSLDP (see table). The analysis of work of enterprise for the last year showed that in 2012 demand for PSS SSLDP increased on 50%. Majority of new customers acquired exactly the PSS SSLDP. It should be noted that PSS SSLDP were purchased mainly by manufacturers of devices for scientific researches, laboratory stands, technological complexes, prototypes and dummies of military equipment. At the same time among the buyers of PSS SSLDP were production companies, interested in modernization of laser installations of types KVANT 12, KVANT 15, KVANT-60, TEMP-50, of lasers LTN-101, LTN-102, LTN-103, LIT-501, LIT-502, GOI-16 and etc. Demand for PSS SSLDP in 2012 exceeded demand on PSS SSLDP. However the increasing of demand for PSS SSLDP was observed which testifies on possible supersession by them of SSLDP in the near future. ■