



МОДУЛЬНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ ЛАЗЕРОВ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

З.С. Павлова¹, А.В. Фёдоров¹, В.В. Давыдов², А.В. Мороз²

¹ООО «Федал», г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург

Результаты исследования рынка лазеров с диодной накачкой выявили резкое отличие спроса на изделия блоков питания диодных матриц между российскими и зарубежными заказчиками. С учетом этих особенностей на базе принципа модульности был разработан малогабаритный импульсный источник питания для подвижных лазерных устройств. Источник питания удовлетворяет требованиям к лазерам: повышению мощности (свыше 5кВт), точности стабилизации тока, малому фронту и срезу импульса накачки (не более 15–20мкс), снижению массогабаритных характеристик, широкому диапазону рабочих температур. Новый модульный импульсный источник питания для лазеров с диодной накачкой существенно упрощает производителям лазеров решение вопросов питания лазерных диодов и настройки драйверов при сборке подвижных лазерных систем.

ВВЕДЕНИЕ

Для решения различных задач, связанных с проведением научных исследований, технических измерений, обработкой и получением новых материалов, передачей информации и т.д. во всем мире разработано и выпускается большое число моделей оптических квантовых генераторов (лазеров) [1–2]. Наиболее эффективным способом создания инверсии населенности в лазерах признана диодная накачка как для непрерывного, так и импульсного излучения [1–4]. В современных моделях лазеров диодную накачку осуществляют с помощью диодных матриц. Для них разработаны различные блоки питания как зарубежными, так и отечественными производителями. В зависимости от задач, для решения которых используются лазеры [5], блоки питания отличаются режимами

MODULAR SWITCHED MODE POWER SUPPLY FOR DIODE-PUMPED LASERS

Z. S. Pavlova¹, A. V. Fedorov¹, V. V. Davydov²,

A. V. Moroz²

¹ LLC "Fedal", St. Petersburg

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg

The results of the research of the market of diode-pumped lasers revealed a sharp difference in the demand for power supply products of diode arrays between Russian and foreign customers. Taking into account these features based on the modularity principle, a compact pulsed power supply for mobile laser devices was developed. The power supply meets the requirements for lasers: increased power (over 5 kW), accuracy of current stabilization, small front and cut-off pump pulses (no more than 15–20 μ s), reduced weight and size characteristics, and a wide range of operating temperatures. A new modular switched mode power supply for diode-pumped lasers greatly simplifies laser manufacturers to solve the problems of powering laser diodes and tuning drivers when assembling mobile laser systems.

INTRODUCTION

To solve various problems associated with conducting scientific research, technical measurements, processing and obtaining new materials, transferring information, etc., a large number of models of optical quantum generators (lasers) have been developed and are being produced globally [1–2]. The most effective way to create population inversion in lasers is diode pumping, for both continuous and pulsed radiation [1–4]. In modern models of lasers, diode pumping is performed using diode arrays. Various power supplies are developed by both foreign and domestic manufacturers for these purposes. Depending on the tasks for which lasers are used [5], power supplies differ in operating modes, technical characteristics, design and dimensions.

The greatest difficulties arise in the development of power supplies for pulsed diode-pumped lasers, which are used on moving objects in various technical devices. Such devices include, e.g., rangefinders or infrared night-vision devices installed on machines, ships or aircraft [2, 5], automated mobile complexes



Внешний вид устройства драйвера серии SF305M производства компании FEDAL
 Appearance of the driver device SF305M series manufactured by FEDAL

работы, техническими характеристиками, исполнением и габаритами.

Наибольшие сложности возникают при разработке блоков питания для импульсных лазеров с диодной накачкой, которые используются на подвижных объектах в различных технических устройствах. К таким устройствам относятся, например, дальнометры или приборы ночного видения ИК-диапазона, устанавливаемые на машинах, морских судах или летательных аппаратах [2, 5], автоматизированные подвижные комплексы для лазерной сварки в сложных условиях (внутри трубопровода или трюма корабля и т.д.). В этих случаях возникают существенные ограниче-

for laser welding in difficult conditions (inside the pipeline or ship hold, etc.) In these cases, there are significant limitations on the weight and size characteristics of the power supply and its cooling capabilities. The most accessible refrigerant, as a rule, in such conditions is only air.

It should be noted that the products of foreign companies (BWT, DILAS, Focuslight, etc.) are mainly designed for diode arrays that are powered by low voltage and large currents. For pumping these matrices, circuit solutions based on step-down converters operating in current stabilization mode (drivers) and ready-made commercially available AC/DC sources are used. Using this

approach and standard microcircuits, you can create supplies for maximum voltage up to 50 V and currents up to 100–200 A.

However, the most widespread in the Russian market were pulse matrices produced by "Inject", which is connected both with the specifics of the tasks being solved, and with their availability and the possibility of manufacturing the customized matrices with specified characteristics. At the same time, the electrical parameters of these matrices differ significantly from their western counterparts towards a higher operating voltage, lower currents and the need to supply several matrices from one source at once (as a rule, from 3 to 9 per quantron). This makes



ния по массогабаритным характеристикам блока питания и возможностям его охлаждения. Наиболее доступным хладогентом, как правило, в таких условиях является только воздух.

Стоит отметить, что продукция зарубежных фирм (BWT, DILAS, Focuslight и т.д.) в основном разработана под диодные матрицы, питающиеся малым напряжением и большими токами. Для накачки этих матриц используются схемные решения на базе понижающих преобразователей, работающих в режиме стабилизации тока (драйверов) и готовых покупных AC/DC источников. Используя данный подход и стандартные микросхемы, можно создавать источники на максимальное напряжение до 50 В и токи до 100–200 А.

Однако наибольшее распространение на российском рынке получили импульсные матрицы производства компании «Инжект», что связано как со спецификой решаемых задач, так и с их доступностью и возможностью изготовления матриц под заказ с заданными характеристиками. При этом электрические параметры этих матриц существенно отличаются от их западных аналогов в сторону большего рабочего напряжения, меньших токов и необходимостью питания от одного источника сразу нескольких матриц (как правило, от 3 до 9 на один квантрон). Это делает невозможным использование готовых западных источников без их существенных изменений и доработок.

До недавнего времени для решения данных задач компания FEDAL предлагала готовые законченные решения на базе серийно выпускаемых источников серии SF3XX с рабочим напряжением до 140–160 В и токами до 250–300 А. При этом матрицы подключались параллельно через дополнительную плату выравнивания тока. Преимуществом данного решения являлась простота и малая стоимость источника в пересчете на матрицу и принцип: «один источник – один лазер». Из недостатков можно выделить разброс тока между матрицами до 5%, что не позволяло их использовать на максимальных режимах, дополнительные потери мощности на плате выравнивания и большое количество проводов, идущих непосредственно к квантрон лазер.

Однако дальнейшее повышение мощности лазеров, требований к точности стабилизации тока, малому фронту и срезу импульса накачки (не более 15–20 мкс), габаритам и массе, диапазону рабочих температур и нецелесообразности дальнейшего повышения средней мощности источника питания свыше 5 кВт потребовали существенно переосмыслить подходы к построению данных систем.

it impossible to use ready-made western supplies without significant changes and modifications.

Until recently, to solve these problems, FEDAL offered ready-made complete solutions based on commercially available SF3XX series supplies with operating voltages up to 140–160 V and currents up to 250–300 A. In this case, the matrices were connected in parallel through an additional current equalization board. The advantage of this solution was the simplicity and low cost of the supply in terms of the matrix and the principle: "one supply one laser". Among the shortcomings, the current spread between the matrices up to 5% can be distinguished, which did not allow them to be used at maximum modes, additional power losses on the alignment board, and a large number of wires going directly to the laser quantum.

However, a further increase in laser power, accuracy requirements for current stabilization, small front and cut-off pump pulses (no more than 15–20 μ s), dimensions and weight, operating temperature range and inexpediency of further increasing the average power supply power over 5 kW required to significantly rethink approaches to data construction systems.

Therefore, in these cases it is more logical to use the sequential inclusion of diode arrays for the pumping. With this inclusion, the current in each matrix will be the same, but limited by the operating voltage, which currently is 500 V. At high voltages, the housing breakdown occurs within the matrix. In conditions of limited space in the laser design, e. g., for a range finder that is mounted on a movable carrier, it is very difficult to ensure the required insulation voltage of the matrix from the housing. At the same time, the average power of the diode array produced by "Inject" is relatively low. Therefore, 9 or more arrays are usually used for pumping in a high-power pulsed laser. Our studies have shown that the effective operation of the pumping system of the three series-connected diode arrays by "Inject" requires operating voltages from 400 to 500 V at currents from 30 to 50 A. The most appropriate solution to this problem is to develop a compact air-cooled switched mode power supply with a configuration allowing to assemble modules for pulsed lasers of different power (e. g., 100 W, 500 W, 1000 W, etc.). This circumstance will make this power supply versatile for various designs of laser systems on moving objects.

One of the variants of such a small-sized switched mode power supply is proposed by the FEDAL team in this article based on the conducted research. When interacting with manufacturers of laser systems as



Поэтому в этих случаях логичнее использовать для накачки последовательное включение диодных матриц. При таком включении ток в каждой матрице будет одинаков, но ограничен рабочим напряжением, которое на сегодняшний день составляет 500 В. При больших напряжениях происходит пробой внутри матрицы на корпус. В условиях ограниченности пространства в конструкции лазера, например, для дальномера, который установлен на подвижном носителе, очень тяжело обеспечить требуемое напряжение изоляции матрицы от корпуса. При этом средняя мощность диодной матрицы, выпускаемой компанией «Инжект», сравнительно невысокая. Поэтому для накачки в мощном импульсном лазере обычно используются 9 и более матриц. Проведенные нами исследования показали, что для эффективной работы системы накачки из трех последовательно включенных диодных матриц компании «Инжект» необходимо обеспечить рабочие напряжения от 400 до 500 В при токах от 30 до 50 А. Наиболее целесообразным вариантом решения данной задачи является разработка малогабаритного импульсного блока питания с воздушным охлаждением с конфигурацией, позволяющей собирать из них модули для импульсных лазеров различной мощности (например, 100 Вт, 500 Вт, 1000 Вт и т. д.). Это обстоятельство сделает данный источник питания универсальным для различных конструкций лазерных систем на подвижных объектах.

Один из вариантов такого малогабаритного импульсного источника питания предлагается коллективом компании FEDAL в данной статье на основе проведенных исследований. При взаимодействии с производителями лазерных систем как конечного продукта у производителей лазерной электроники появилась идея применения принципа модульности, который впервые был широко

the final product, manufacturers of laser electronics developed the idea of applying the principle of modularity, which was first widely and successfully applied by IPG Photonics in their products.

MODULAR SWITCHED MODE POWER SUPPLY AND ITS FEATURES

The construction of laser systems according to the modularity principle implies the presence of one spent general-purpose power supply unit of medium or low power (e.g., for a power of 500 W). In this case, the required power of the finished laser system is gained due to the number of power supplies. Each general-purpose power supply is optimized for a specific range of currents and voltages, which makes its parameters more qualitative in terms of the stability of the pump current pulse, pulse front and efficiency.

Thus, when building different laser systems for different power, one general-purpose solution is sufficient, covering a large power range (the boundary values of which may differ tenfold). Such general-purpose power supplies have a serial interface, this allows you to easily and conveniently integrate them into multichannel systems. Thus, a single quantron can be pumped with a single power supply or with several supplies depending on the required power.

Also, a necessary requirement, which is caused by the operation on the principle of modularity, is the constructive implementation of this unit in the form of an OEM (embedded) solution. This allows its simple integration into laser systems.

The second necessary feature of these power supplies, due to the need of the market, is its "completeness". Unlike half-finished solutions, like drivers that manufacturers sometimes use to equip their products, the power supply unit already constructively includes a diode driver, an AC/DC converter, storage capacities and a control system. Since the power supply is designed as an OEM solution



и успешно применен компанией IPG Photonics в их изделиях.

МОДУЛЬНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ И ЕГО ОСОБЕННОСТИ

Построение лазерных систем по принципу модульности подразумевает наличие одного отработанного универсального блока питания средней или малой мощности (например, на мощность 500 Вт). При этом требуемая мощность готовой лазерной системы набирается за счет количества источников питания. Каждый универсальный блок питания оптимизирован под конкретный диапазон токов и напряжений, что делает его параметры более качественными, с точки зрения стабильности импульса тока накачки, фронта импульса и КПД.

Таким образом, при построении различных лазерных систем на различную мощность достаточно одного универсального решения, перекрывающего большой диапазон мощностей (граничные значения величин которого могут отличаться в десятки раз). Такие универсальные источники питания имеют последовательный интерфейс, это позволяет легко и удобно соединять их в многоканальные системы. Таким образом, один квантрон может накачиваться как одним источником питания, так и несколькими источниками в зависимости от требуемой мощности.

Также необходимым требованием, которое обуславливается работой по принципу модульности, является конструктивное выполнение данного блока в виде OEM (встраиваемого) решения. Это позволяет осуществлять его простую интеграцию в лазерные системы.

Вторым необходимым свойством данных источников питания, обусловленным потребностью рынка, является его «законченность». В отличие от наполовину готовых решений – драйверов, которыми иногда производители оснащают свои изделия, блок питания уже конструктивно включает в себя диодный драйвер, AC/DC преобразователь, накопительные емкости и систему управления. Так как блок питания выполнен в виде OEM решения (как в корпусе, так и в виде открытых печатных плат), данный конструктив упрощает задачу по сборке лазерной системы и позволяет производителям лазеров существенно сократить габариты готового изделия, не вникая в вопросы питания лазерных диодов и настройки драйверов. В качестве примера в таблице приведены основные характеристики уже выпускаемого источника питания SF305M, удовлетворяющего всем выше перечисленным принципам.

Технические характеристики серии SF305M
SF305M Series Technical Specifications

Тип параметра Parameter type	Значение Value
Частота следования импульсов, Гц Pulse repetition rate, Hz	1–100, одиночный режим single mode
Рабочее напряжение на диодах, В Operating diode voltage, V	0–360
Диапазон регулировки тока накачки, А Pump current adjustment range, A	1–50
Диапазон регулировки длительности импульсов, мкс Pulse width adjustment range, μ s	50–250
Длительность фронта (среза) импульса, мкс Duration of the front (cut) pulse, ms	15–20
Средняя выходная мощность, Вт Average power output, W	500
Интерфейс связи Communication interface	RS485
Питание Supply	Однофазная сеть, 220 В, 50 Гц Single-phase network, 220 V, 50 Hz
Тип охлаждения Cooling	Воздушное Air-cooled
Рабочая температура, °С Operating temperature, °C	–40...50
Габаритные размеры, мм Overall dimensions, mm	250×175×70

(both in the housing and in the form of open printed circuit boards), this construction simplifies the task of assembling the laser system and allows laser manufacturers to significantly reduce the dimensions of the finished product, without delving into the power supply of laser diodes and tuning drivers. As an example, the table shows the main characteristics of the already released power supply SF305M, which satisfies all the principles listed above.

CONCLUSION

As a result of study of the market of diode-pumped lasers, it was found that the Russian and foreign manufacturers of laser systems have completely different requirements for the power supply units of the diode arrays. The products of foreign companies



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований рынка лазеров с диодной накачкой было обнаружено, что со стороны российских и зарубежных производителей лазерных систем к блокам питания диодных матриц предъявляются совершенно разные требования. Продукция зарубежных компаний в основном разработана под диодные матрицы, питающиеся малым напряжением и большими токами. Поэтому для накачки этих матриц используются схемные решения на базе понижающих преобразователей, работающих в режиме стабилизации тока (драйверов) и готовых покупных AC/DC источников. Российские производители, наоборот, потребляют матрицы, питающиеся большим рабочим напряжением и меньшими токами. Это создает для отечественных производителей условия невозможности использовать готовые западные источники без дополнительных существенных изменений и доработок.

Поэтому для решения задачи использования отечественных лазерных матриц разработан малогабаритный импульсный блок питания с воздушным охлаждением. Его конструкция позволяет собирать блоки питания для импульсных лазеров различной мощности (100, 500, 1000 Вт) по модульному принципу.

Источник питания работает с лазерами повышенной мощности, обладает высокой точностью стабилизации тока, малой длительностью фронта импульса (не более 15–20 мкс), пониженными массогабаритными характеристиками, функционирует в широком диапазоне температур. В дальнейшем компания FEDAL планирует расширить модельный ряд, выпустив аналогичные блоки питания с другими значениями параметров импульсов тока накачки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Davydov V. V., Kruzhalov S. V., Grebenikova N. M., Smirnov K. Ya.** Method for Determining Defects on the Inner Walls of Tubing from the Velocity Distribution of the Flowing Fluid. *Measurement Techniques*. 2018; 61(4): 365–372.
2. **Petrov, A. A., Davydov, V. V., Grebenikova, N. M.** Some Directions of Quantum Frequency Standard Modernization for Telecommunication Systems. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2018; 11118 LNCS: 641–648.
3. **Myazin N. S., Smirnov K. J., Davydov V. V., Logunov S. E.** Spectral characteristics of InP photocathode with a surface grid electrode. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017; 929 (1): 012080.
4. **Davydov R. V., Antonov V. I.** Equation of state for computer simulation of metal ablation by femtosecond laser pulses. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017; 929(1): 012040.
5. **Zharikov I. A., Davydov R. V., Lyapishev V. A., Rud' V. Yu., Rud' Yu. V., Glynushkin A. P.** Features of the induced photopleochroism oscillations in a photosensitive structures based on CuInSe₂. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017; 929(1): 052011.

are mainly designed for diode arrays that feed on low voltage and high currents. Therefore, for pumping these matrices, circuit solutions are used based on step-down converters operating in current stabilization mode (drivers) and ready-made commercially available AC/DC sources. The Russian manufacturers, on the contrary, consume matrices that feed on high operating voltages and lower currents. This creates conditions for domestic producers that it is impossible to use ready-made western supplies without additional significant changes and improvements.

Therefore, to solve the problem of using domestic laser arrays, a compact air-cooled switched mode power supply unit has been developed. Its design allows you to assemble power supplies for pulsed lasers of different power (100, 500, 1000 W) in a modular way.

The power supply operates with high-power lasers, has high accuracy of current stabilization, short pulse front duration (no more than 15–20 μs), low weight and size characteristics, and functions in a wide temperature range. In the future, FEDAL plans to expand the model series, releasing similar power supplies with different values of the parameters of the pump current pulses.