



Источник питания лазеров с диодной накачкой для бортового применения

З. С. Гайссер (Павлова), А. В. Прилуцкий, А. В. Фёдоров
ООО FEDAL, Санкт-Петербург, Россия

Лазерные дальномеры и высотомеры все чаще находят свое применение в авиационной технике. Их высокая точность измерений дальности или высоты, небольшие габариты и легкость встраивания в другие бортовые системы обеспечивают большой потенциал для их использования. Однако рынок испытывает потребность в серийно выпускаемых источниках питания лазеров, работающих стабильно от бортовой электрической сети, обеспечивающих питание до 200 А и напряжение до 140 В в импульсном режиме. Предложен источник питания лазеров с диодной накачкой для бортового применения, работающий от сети 27В.

Ключевые слова: лазеры, источники питания лазеров, бортовые лазерные системы, лазерные дальномеры, авиационная техника

Статья получена: 05.02.2021

Принята к публикации: 24.02.2021

ВВЕДЕНИЕ

Актуальными задачами бортовых лазерных систем являются наведение и целеуказание. Лазерные системы наведения и целеуказания используются на военных вертолетах, самолетах и беспилотных летательных аппаратах отечественного и зарубежного производства [1-4]. Однако при разработке лазерных локационных систем бортового применения при использовании возникает проблема выбора соответствующих лазерных источников и комплектующих. Ее появление связано с особенностями применения лазерных измерительных инструментов в бортовой аппаратуре. Ограниченность круга отечественных и иностранных производителей только усугубляет эту проблему.

Diode Pumped Laser Power Supply for On-Board Application

Z. S. Geisser (Pavlova), A. V. Prilutsky, A. V. Fedorov
FEDAL LLC, St. Petersburg, Russia

Laser rangefinders and altimeters are increasingly being used in aeronautical engineering. Their high accuracy of range or altitude measurements, small dimensions and ease of integration into other on-board systems provide great potential for their use. However, the market is in need of commercially available laser power supplies operating stably from the on-board electrical mains, providing power up to 200 A and voltage up to 140 V in a pulsed mode. A power source for diode-pumped lasers for on-board use, operating from 27V mains, is proposed.

Keywords: Laser, Laser power supplies, On-board laser systems? Laser rangefinders, Aeronautical engineering

Received on: 05.02.2021

Accepted on: 24.02.2021

INTRODUCTION

The actual tasks of on-board laser systems are guidance and target designation. Laser guidance and targeting systems are used on military helicopters, aircraft and unmanned aerial vehicles of domestic and foreign production [1-4]. However, when developing laser radar systems for on-board use, the problem arises of choosing the appropriate laser sources and components. Its appearance is associated with the peculiarities of the use of laser measuring instruments in on-board equipment. The limited range of domestic and foreign manufacturers only exacerbates this problem.

An analysis of the Russian market of manufacturers, carried out by FEDAL, showed that there is no production of power supplies in Russia that work stably and without interference from the on-board mains and provide power up to 200 A and voltage up to 140 V in a pulse mode, with a frequency and



Анализ российского рынка производителей, проведенный компанией FEDAL, показал отсутствие в России производства источников питания, стабильно и без помех работающих от бортовой сети и обеспечивающих питание до 200 А и напряжение до 140 В в импульсном режиме, при частоте и длительности импульса, схожей с аналогичными продуктами иностранного производства.

Обнаружен широкий разброс параметров изделий разных производителей по величине токов и напряжений. Это связано со стандартами производства диодных матриц каждого производителя: диодные матрицы производства BWT, DILAS, Focuslight или матрицы отечественного производства НПП «Инжект» [5-8]. Импортные матрицы наиболее часто предназначены для работы с малым напряжением и большими токами, тогда как отечественные – наоборот, работают с большими значениями напряжений и малыми токами.

Таким образом, в компании FEDAL возникла задача разработки универсального блока питания для бортового применения со схожими характеристиками частоты и длительности и расширенными диапазонами тока накачки и напряжения. Применение также обуславливает возникновение таких требований как малые массогабаритные характеристики, закрытое исполнение и работа в расширенном диапазоне рабочих температур от -40 до 50°C.

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ЛАЗЕРА: МОДИФИКАЦИЯ ДЛЯ БОРТОВОЙ СЕТИ

Отметим, что одним из основных отличий схемотехники бортовых источников питания от стандартных, питающихся от сети в 220 В (выпускаемых компанией FEDAL), является напряжение питания, используемое в летательных аппаратах. Если для лабораторных и промышленных источников стандартной сетью является сеть 220-240 В или трехфазная сеть 380 В, 50/60 Гц, то на борту летательных аппаратов источники должны питаться от сети постоянного тока напряжения 27 В +3/-4 В. Это в корне меняет подход к построению зарядной части источника питания, оставляет при этом его разрядную часть практически без изменений [9].

Столь низкое напряжение питания и в связи с этим большие коммутируемые токи не позволяют эффективно использовать зарядные устройства на базе резонансных или квазирезонансных преобразователей, построенные по полумостовой или мостовой схеме, которые хорошо зарекомендовали себя в источниках, питающихся от обычной сети [10].

pulse duration similar to similar products foreign production.

A wide scatter of parameters of products from different manufacturers in terms of currents and voltages was found. This is due to the production standards of diode matrices of each manufacturer: diode matrices manufactured by BWT, DILAS, Focuslight or matrices of domestic production by NPP «Inject» [5-8]. Imported matrices are most often designed to work with low voltage and high currents, while domestic ones, on the contrary, work with high voltages and low currents.

Thus, the FEDAL company faced the task of developing a universal power supply unit for onboard use with similar frequency and duration characteristics and extended pump current and voltage ranges. The application also determines the emergence of such requirements as small weight and size characteristics, closed design and operation in an extended operating temperature range from -40 to 50 °C.

LASER POWER SUPPLY: ON-BOARD MODIFICATION

Note that one of the main differences between the onboard power supply circuitry and the standard 220 V power supplies (by FEDAL) is the supply voltage used in aircraft. If the standard mains for laboratory and industrial sources is 220-240 V mains or a three-phase 380 V, 50/60 Hz mains, then on board the aircraft the sources must be powered from a 27 V +3/-4V DC mains. This radically changes the approach to constructing the charging part of the power supply, while leaving its discharge part practically unchanged [9].

Such a low supply voltage and, in connection with this, large switching currents do not allow efficient use of chargers based on resonant or quasi-resonant converters, built on a half-bridge or bridge circuit, which have proven themselves in sources powered by conventional mains [10].

In this regard, the most promising direction in our opinion is the use of charging topologies based on flyback or push-pull converters. The former have an indisputable advantage with an average power supply of <100 W, and the latter for an average power of up to 500 W. A further increase in power requires rejection of the aircraft's power supply and switching to power supplies powered by external high-voltage lithium-ion or LiFePO₄ batteries with a voltage of 310-320 V, which removes all power restrictions and allows lasers to be powered with laser output power up to 20-50 kW with a short operating mode.

В связи с этим наиболее перспективным направлением, на наш взгляд, является использование топологий зарядной части на базе обратноходовых или пушпульных (push-pull) преобразователей. Первые имеют неоспоримое преимущество при средней мощности источника питания <100 Вт, а вторые – для средней мощности до 500 Вт. Дальнейшее повышение мощности требует отказа от питающей сети летательного аппарата и перехода на источники питания с питанием от внешних высоковольтных литий-ионных или LiFePO4 батарей с напряжением 310–320 В, что снимает все ограничения по мощности и позволяет запитать лазеры с выходной мощностью лазерного излучения вплоть до 20–50 кВт при непродолжительном режиме их работы.

В качестве базовой модели для отработки схемных решений зарядного устройства от бортовой сети 27В компанией FEDAL был взят импульсный источник питания SF303M. Источник имеет малые габариты при средней мощности в 150 Вт, полностью закрытый корпус без вентилятора и вентиляционных отверстий и имеет модификации как для низковольтных диодных матриц с напряжением до 25 В и током до 100 А при длительности импульсов до 5мс (эрбиевый лазер), так и для питания нескольких (от 1 до 3 включенных последовательно) высоковольтных матриц типа СЛМ-2 с суммарным напряжением 120–360 В и током до 50А при длительности импульсов до 250 мкс. При этом максимальная частота ограничена мощностью зарядного устройства и не превышает 20–30 Гц.

При построении зарядного устройства была предложена оригинальная двухтактная схема, которая объединила в себе достоинства пушпульных и резонансных преобразователей (рис. 1.) Ее отличительная от привычных схем особенность – последовательное включение трансформатора с резонансным LC-контуром. При этом ток, протекающий через первичную обмотку трансформатора, и, следовательно, ток заряда конденсатора накопителя имеет синусоидальную форму и ограничен волновым сопротивлением LC-контура. Фактически получается идеальный источник тока, заряжающий конденсатор накопителя по линейному закону во всем диапазоне выходных напряжений (рис. 2).

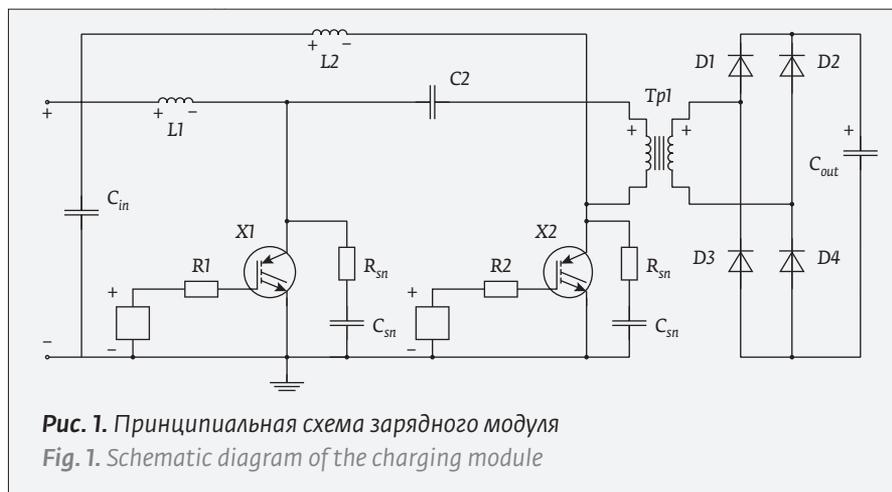


Рис. 1. Принципиальная схема зарядного модуля
Fig. 1. Schematic diagram of the charging module

FEDAL took the SF303M switching power supply as a basic model for testing circuit solutions of the charger from the 27 V on-board mains. The source has small dimensions with an average power of 150 W, a completely closed case without a fan and ventilation holes and has modifications for both low-voltage diode arrays with a voltage of up to 25 V and a current of up to 100 A with a pulse duration of up to 5 ms (erbium laser), and for powering several (from 1 to 3 connected in series) high-voltage matrices of the SLM-2 type with a total voltage of 120–360 V and a current of up to 50 A with a pulse duration of up to 250 μ s. In this case, the maximum frequency is limited by the power of the charger and does not exceed 20–30 Hz.

When building the charger, an original push-pull circuit was proposed, which combined the advantages of push-pull and resonant converters (Fig. 1.) Its distinguishing feature from the usual circuits is the

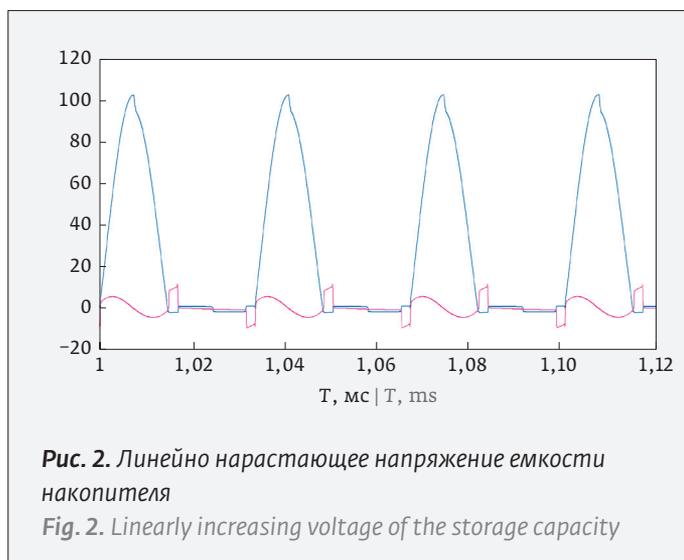


Рис. 2. Линейно нарастающее напряжение емкости накопителя

Fig. 2. Linearly increasing voltage of the storage capacity



Максимальная величина выходного напряжения определяется только коэффициентом трансформации трансформатора. При этом, как видно из рис. 3, включение и выключение транзисторов происходит при нулевом токе, что существенно снижает потери на переключении, а синусоидальная форма тока и напряжения – спектр излучаемых электромагнитных помех и упрощает построение входного сетевого фильтра. Так же к достоинствам схемы следует отнести временной закон управления транзисторами преобразователя, что не требует использования обратных связей и ШИМ-контроллеров, что повышает надежность источника питания в целом.

В результате проведенных изменений была разработана новая модель источника SF303MB, рассчитанная на работы от бортовой сети летательных аппаратов 27В в температурном диапазоне -40 до 50 °С в габаритных размерах стандартного блока SF303. Основные технические характеристики нового источника питания представлены в таблице.

Стандартная схемотехника при сохранении условия $F \cdot V \cdot I \cdot t \leq P$ и при duty cycle менее 20% позволяет производить различные модификации таких параметров как ток, напряжение, длительность и частота следования импульсов, несколько отличающихся от указанных в таблице в большую или меньшую сторону (при условии сохранения максимальной средней мощности не более 150 Вт).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований рынка компания FEDAL столкнулась с проблемой отсутствия данных о серийно выпускаемых источниках питания лазеров, работающих от сети 27 В. Предлагаемый источник питания для лазерных измерительных инструментов в авиационной технике является ответом на актуальные запросы рынка. Имеющиеся

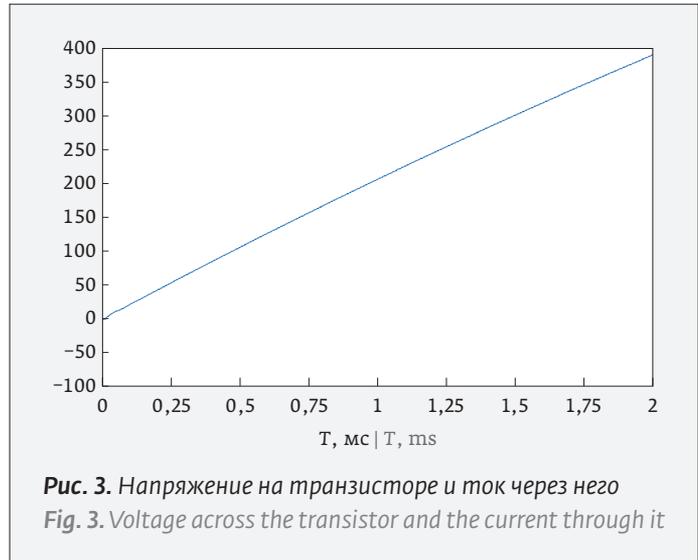


Рис. 3. Напряжение на транзисторе и ток через него
Fig. 3. Voltage across the transistor and the current through it

series connection of a transformer with a resonant LC circuit. In this case, the current flowing through the primary winding of the transformer, and therefore the charge current of the storage capacitor, has a sinusoidal shape and is limited by the characteristic impedance of the LC circuit. In fact, an ideal current source is obtained, charging the storage capacitor according to a linear law in the entire range of output voltages (Fig. 2).

The maximum value of the output voltage is determined only by the transformation ratio of the transformer. In this case, as can be seen from Fig. 3, the transistors switching on and off occurs at zero current, which significantly reduces switching losses, and the sinusoidal form of current and voltage – the spectrum of radiated electromagnetic interference and simplifies the construction of the input line filter. Also, the advantages of the circuit include the time law of controlling the transistors of the converter, which does not require the use of feedbacks and PWM controllers, which increases the reliability of the power supply as a whole.

FEDAL
WWW.FEDALEL.COM



QCW/CW Источники питания лазеров
QCW/CW Laser power supplies



Маломощные блоки питания лазера
Laser power supplies with low output power



Блоки питания для ламповых и диодных лазеров
Laser power supplies for diode and lamp-pumped



Модульные и многоканальные системы электропитания лазеров
Modular / Multichannel laser systems

**Таблица.** Технические характеристики Источника Питания SF303MB**Table.** Specifications of SF303MB Power Supply

| Параметры источника питания Power supply parameters | SF303MB Вариант 1 | SF303MB Вариант 1 |
|--|-------------------|-------------------|
| Частота следования импульсов, Гц Pulse repetition rate, Hz | 1–10, одиночный | 1–30, одиночный |
| Рабочее напряжение на диодах, В Working voltage across diodes, V | 0–25 | 0–360 |
| Диапазон регулировки тока накачки, А Pump current adjustment range, A | 1–100 | 1–50 |
| Диапазон регулировки длительности импульсов, мкс Pulse duration adjustment range, μ s | 50–5000 | 50–250 |
| Длительность фронта импульса тока накачки, мкс Duration of the front of the pump current pulse, μ s | 50 | 50 |
| Длительность среза импульса тока накачки, мкс Cutoff duration of the pump current pulse, μ s | 25 | 25 |
| Средняя мощность, Вт Average power, W | 150 | 150 |
| Номинальное напряжение питание, В Nominal supply voltage, V | 27 +3 / -4 В | 27 +3 / -4 В |
| Габаритные размеры, мм Overall dimensions, mm | 150×70×250 | 150×70×250 |

на рынке драйвера одиночных диодов не до конца решают поставленные задачи ввиду отсутствия гальванической развязки и невысоких рабочих напряжений до 20 В. Также драйвер не является законченным изделием, а только элементом более сложной конструкции, в отличие от источников питания.

Таким образом, данный источник питания является универсальным законченным решением с широкой сферой применения.

REFERENCES

1. Degnan J. J. Scanning, Multibeam, Single Photon Lidars for Rapid, Large Scale, High Resolution, Topographic and Bathymetric Mapping. *Remote Sens.* 2016; 8: 958. doi:10.3390/rs8110958.
2. Pearlman M. R., Noll C. E., Erricos C., Pavlis E. C., Lemoine F. G., Combrinck L., Degnan J. J., Schreiber K. U., Kirchner G. The IIRS: approaching 20 years and planning for the future. *J. Geodes.* 2019; 93 (9): 2161–2180. DOI: 10.1007/s00190-019-01241-1.
3. Tomlinson E., Westhoff R., Reynolds T., Saar S. Aircraft Laser Strike Geolocation System. Paper of 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. AIAA 2017–4389 Session: Operational Safety I. <https://doi.org/10.2514/6.2017-4389>.
4. Borejsho A. S. et al. *Военные применения лазеров.* – СПб: БГТУ. 2015. ISBN 978-5-85546-906-6. Бorejшo A. C. и др. Военные применения лазеров. – СПб: БГТУ. 2015. ISBN 978-5-85546-906-6.
5. URL [<http://www.bwt-laser.com>].
6. URL [<http://www.dilas.com>].
7. URL [<https://www.focuslight.com>].
8. URL [<https://nppinject.ru/about>].
9. Braun M. *Istochniki pitaniya. Raschet i konstruirovaniye.* [In Russ]. – Kiev.: MK-Press. 2007. 966-8806-01-8. 448 p. ISBN 978-5-91359-025-1. Браун М. *Источники питания. Расчет и конструирование.* Пер. с англ. – Киев.: МК-Пресс. 2007. 966-8806-01-8.
10. Gejtenko E. N. *Istochniki vtorichnogo elektropitaniya. Skhemitexnika i raschet.* – М.: Solon-Press. 2008. Gejtenko E. N. *Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет.* – М.: Солон-Пресс. 2008. 448 с. ISBN 978-5-91359-025-1.

АВТОРЫ

З. С. Гайссер (Павлова), А. В. Прилуцкий, А. В. Фёдоров, ООО FEDAL, Санкт-Петербург, Россия.

КОРРЕСПОНДИРУЮЩИЙ АВТОР

З. С. Гайссер (Павлова), Исполнительный директор ООО FEDAL, z.pavlova@fedalel.com, Санкт-Петербург, Россия.

As a result of the changes, a new model of the SF303MB power supply was developed, designed to operate from the on-board 27V mains of aircraft in the temperature range of -40 to 50 °C in the overall dimensions of the standard SF303 block. The main technical characteristics of the new power supply are presented in the table.

Standard circuitry, while maintaining the condition $F \cdot V \cdot I \cdot \tau \leq P$ and with a duty cycle of less than 20%, makes it possible to make various modifications of such parameters as current, voltage, duration and pulse repetition rate, slightly differing from those indicated in the table up or down (provided that the maximum average power is maintained no more than 150 W).

CONCLUSION

As a result of market research, FEDAL faced the problem of lack of data on commercially available power supplies for lasers operating from 27 V mains. The proposed power supply for laser measuring instruments in aviation technology is a response to current market demands. The single diode drivers available on the market do not fully solve the assigned tasks due to the lack of galvanic isolation and low operating voltages up to 20 V. Also, the driver is not a complete product, but only an element of a more complex design, in contrast to power supplies.

Thus, this power supply is a versatile complete solution with a wide range of applications.

AUTHORS

Z. S. Geisser (Pavlova), A. V. Prilutsky, A. V. Fedorov, FEDAL LLC, St. Petersburg, Russia.

CORRESPONDING AUTHOR

Zoia (Pavlova) Geisser, Chief Operating Officer FEDAL LLC, e-mail: z.pavlova@fedalel.com, St-Petersburg. Russia.

БЕЛОМО

ММЗ ВАВИЛОВА

ОАО «ММЗ имени С.И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО»

Оптический завод «Сфера»

«Оптический завод «Сфера» основан в 1994 году как филиал ОАО «Минский механический завод имени С.И. Вавилова – управляющая компания холдинга БелОМО» для производства оптических элементов. В настоящее время завод выпускает большое количество оптических элементов различной сложности по чертежам Заказчика. Оптические элементы, произведенные «Оптическим заводом «Сфера», успешно применяются во многих уникальных оптоэлектронных системах.

Для производства высокотехнологичной продукции проводится техническое переоснащение производства, проводится модернизация производственных мощностей с целью увеличения объемов производства. Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям версии ГОСТ ISO 9001:2015.

Многолетний опыт производства оптических элементов, высококвалифицированный персонал предприятия позволяют удовлетворить любую потребность Заказчика.



Республика Беларусь, 220114,
г. Минск, ул. Макаенка, 23
Тел.: (+375 17) 325-52-91
Тел./факс: (+375 17) 276-27-71
E-mail: sfera.ved@belomo.by; sfera@belomo.by

www.belomo.by