

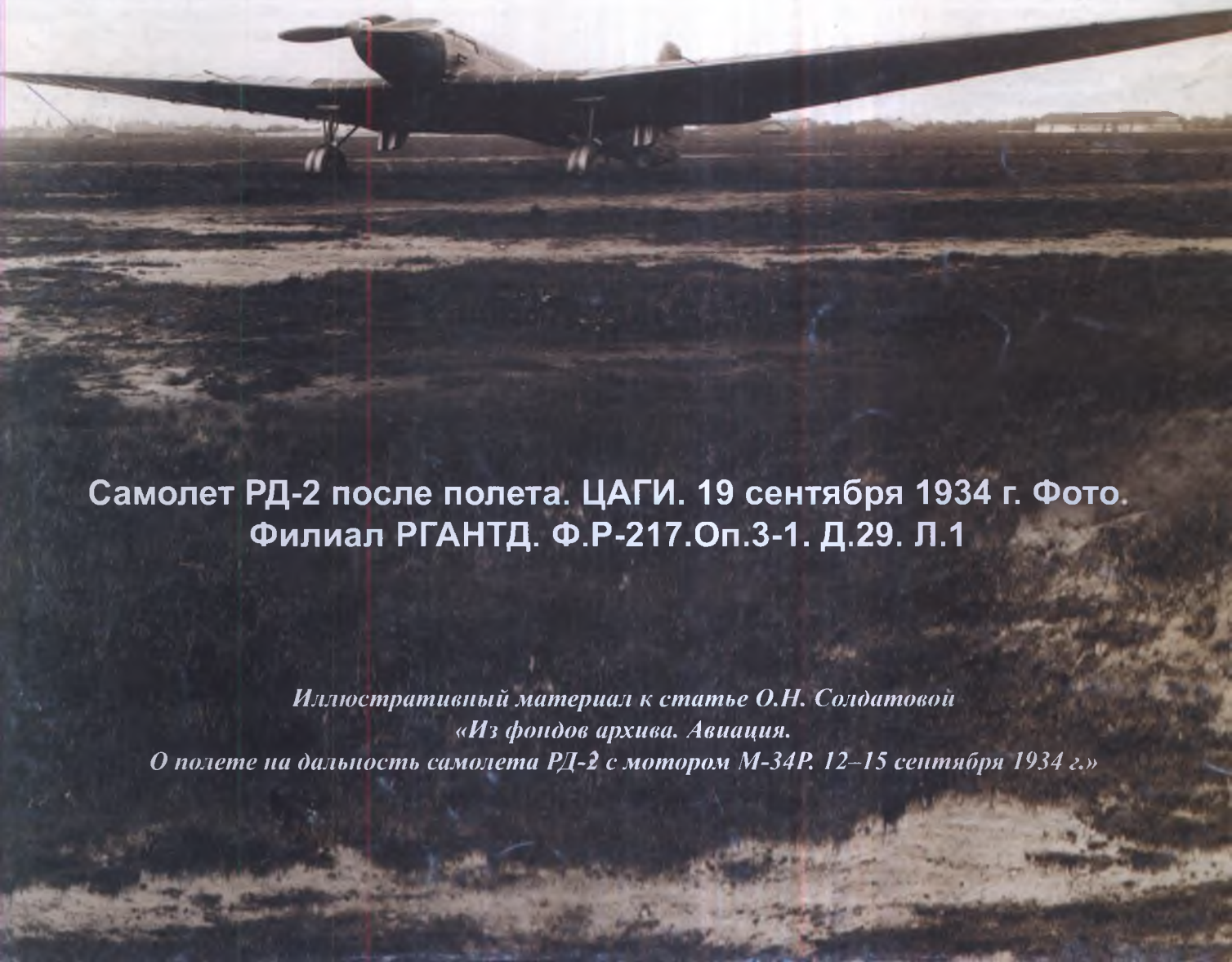


Авиакосмическое приборостроение

5•2016
ISSN: 2073-0020



Aerospace Instrument-Making



Самолет РД-2 после полета. ЦАГИ. 19 сентября 1934 г. Фото.
Филиал РГАНТД. Ф.Р-217. Оп.3-1. Д.29. Л.1

*Иллюстративный материал к статье О.Н. Солдатовой
«Из фондов архива. Авиация.*

О полете на дальность самолета РД-2 с мотором М-34Р. 12–15 сентября 1934 г.»

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	
Резников С.Б., Харченко И.А., Корнилов А.Б., Лавринович А.В. Повышение эксплуатационной эффективности источников питания аэронавигационных светосигнальных приборов бортового и аэродромного оборудования с непрерывно- газоразрядными лампами	3
БОРТОВАЯ И НАЗЕМНАЯ АППАРАТУРА КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ	
Русанов В.Н., Куликов С.В. Многофункциональная самодиагностируемая бортовая вычислительная система для ответственных применений	14
МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ	
Сафронов В.С. Аналитическое исследование несущей способности неоднородной цилиндрической оболочки типа отсека корпуса летательного аппарата с вырезом	22
СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ И ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ЭКИПАЖЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	
Кербер О.Б., Начинкина Г.Н., Солонников Ю.И., Шевченко А.М. Методы улучшения ситуационной осведомленности экипажа воздушного судна на взлетно-посадочных режимах	33
ИЗ ИСТОРИИ АВИАЦИИ	
Солдатова О.Н. О полете на дальность самолета РД-2 с мотором М-34Р. 12–15 сентября 1934 г. (из фондов архива)	48
Правила оформления статей	65

Учредители и издатели журнала:
ООО Издательство «НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ»
ООО «САТАГЕ»

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ
по делам печати, телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-9355
Подписной индекс ОАО «Роспечать» 81187
Подписной индекс «Пресса России» 44038

Главный редактор:

д-р техн. наук, проф. **Т.Г. Самхарадзе**

РЕДАКЦИЯ: **Е.А. Боброва, В.Б. Гончарова**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бабиченко А.В. – д-р техн. наук, проф.

Галиев А.Л. – д-р техн. наук, проф.

Громов Ю.Ю. – д-р техн. наук, проф.

Джанджгава Г.И. – д-р техн. наук, проф.

Дидрих В.Е. – д-р техн. наук, проф.

Зольников В.К. – д-р техн. наук, проф.

Коновалов С.Ф. – д-р техн. наук, проф.

Матвеев В.А. – д-р техн. наук, проф.

Михайлов Ю.Б. – д-р техн. наук

Нартов Б.К. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Небылов А.В. – д-р техн. наук, проф.

Орехов М.И. – д-р техн. наук, проф.

Охтилев М.Ю. – д-р техн. наук, проф.

Пешехонов В.Г. – д-р техн. наук, проф., акад. РАН

Пиралишвили Ш.А. – д-р техн. наук, проф.

Реутов В.Г. – д-р техн. наук, проф.

Романов А.А. – д-р техн. наук

Рыбин В.М. – д-р техн. наук, проф.

Скрыль С.В. – д-р техн. наук, проф.

Сыров А.С. – д-р техн. наук, проф.

Хачумов В.М. – д-р техн. наук, проф.

Щербаков Н.С. – д-р техн. наук, проф.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

Публикация статей бесплатная. Правом внеочередной
публикации пользуются аспиранты и докторанты

Материалы, опубликованные в настоящем журнале,
не могут быть полностью или частично воспроизведены,
тиражированы и распространены без письменного
разрешения редакции.

При перепечатке отдельных частей статей ссылка обязательна.

Подписано в печать 26.04.2016 г.

Формат 66×88 1/8, бумага офсетная.

Печать офсетная.

Усл.-печ. л. 9. Уч.-изд. л. 10.8. Заказ № 1065.

Тираж 1 200 экз.

Адрес редакции:

107258, Москва, Алымов пер., д. 17, корп. 2.

Тел.: 8 (499) 168-21-28, 8 (499) 168-04-95, 8 (916) 008-20-70

Факс: 8 (499) 168-23-58. Бухгалтерия: 8 (499) 168-24-28.

E-mail: aviakosmos@mail.ru,

http://www.tgizd.ru/aviakos.html

Оригинал-макет, электронная версия подготовлены

ООО Издательство «Научтехлитиздат»

Отпечатано в ООО Издательство «Научтехлитиздат»

107258, Москва, Алымов пер., д. 17, стр. 2

AEROSPACE INSTRUMENT-MAKING

№ 5/2016

ISSN: 2073-0020

MONTHLY SCIENTIFIC JOURNAL

CONTENTS

DESIGN AND MANUFACTURING PROCESSES IN AEROSPACE INSTRUMENT

- Reznikov S.B., Kharchenko I.A.,
Kornilov A.B., Lavrinovich A.V.**
Increase operational efficiency power supplies
aeronautical light signaling devices onboard
and airport equipment to continuously
discharge lamps 3

AIRBORNE AND GROUND EQUIPMENT CONTROL COMPLEXES

- Rusanov V.N., Kulikov S.V.**
Multifunctional self-diagnosable on-board computation
system for responsible applications 14

METHODS OF DESIGN OF COMPLEXES MANAGERMENTS

- Safronov V.S.**
Analytical study of carrying capacity of non-uniform
cylindrical shell type room airframe with cutouts 22

LIFE SUPPORT SYSTEMS AND INFORMATION DISPLAY FOR CREWS OF AIRCRAFT

- Kerber O.B., Nachinkina G.N.,
Solonnikov Ju.I., Shevchenko A.M.**
Methods to improve the situational awareness
of the aircraft crew on runway modes 33

FROM THE HISTORY OF AVIATION

- Soldatova O.N.**
About flight at a distance aircraft RD-2 with engine
M-34P. 12–15 September 1934
(from the funds of the archive) 48
- Rules of the Reviewing
and Publication of Papers** 65

Founder and Publisher:

**Ltd. the Publishing House «Nauchtehlitizdat»
LLC «SATAGE»**

*The journal is registered with the Ministry of Press, Television,
Radio and Mass Communication of the Russian Federation
Certificate of print media registration № 77-9355
Subscription numbers the public corporation «Rospechat» 81187
Subscription numbers «Pressa Rossii» 44038*

**Editor-in-chief, Doctor of Technical Science, Professor
T.G. SAMKHARADZE**

**Editorial staff: E.A. Bobrova,
V.B. Goncharova**

EDITORIAL BOARD:

Babichenko A.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Galiev A.L. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Gromov Yu.Yu. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Dzhandzhgava G.I. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Didrikh V.E. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Zolnikov V.K. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Konovalov S.F. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Matveev V.A. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Mihaylov Yu.B. – Doctor of Technical Sciences
Nartov B.K. – Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor
Nebylov A.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Orehov M.I. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Okhtilev M.Iu. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Peshonov V.G. – Doctor of Technical Sciences, Professor,
Academician of the RAS
Piralishvili Sh.A. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Reutov V.G. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Romanov A.A. – Doctor of Technical Sciences
Rybin V.M. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Skril' S.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Syrov A.S. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Khachumov V.M. – Doctor of Technical Sciences, Professor
Shcherbakov N.S. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Sent to the press 26.04.16.

Format: 60×88 1/8. Text magazine paper. Offset printing.
14,3 conventional printer's sheets, 32,1 conventional ink mileages
19,2 conventional publisher's signatures. The order № 1065.
Circulation: 2 700 copies.

✉ Editorial office address:

107258, Moscow, Alymov pereulok, 17, bldg 2.

☎ Phone: (916) 008-20-70; (499) 168-04-95,

Fax: (499) 168-23-58.

The accounting department: (499) 168-13-69.

✉ E-mail: aviakosmos_@mail.ru

<http://www.tgizd.ru>

The layout and the electronic version of the journal are made by Ltd. the
Publishing House «Nauchtehlitizdat»

Printed in Ltd. the Publishing House «Nauchtehlitizdat»

107258, Moscow, Alymov pereulok, 17, bldg. 2.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ АЭРОНАВИГАЦИОННЫХ СВЕТСИГНАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ БОРТОВОГО И АЭРОДРОМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С НЕПРЕРЫВНО- ГАЗОРАЗРЯДНЫМИ ЛАМПАМИ

С.Б. Резников, доктор техн. наук, профессор

И.А. Харченко, канд. техн. наук, доцент

А.Б. Корнилов, канд. техн. наук, доцент

E-mail: ab_kornilov@mail.ru

А.В. Лавринович, аспирант

Московский авиационный институт (Государственный технический университет)

Москва, Российская Федерация

Рассмотрены схемотехнические решения, позволяющие повысить эксплуатационную эффективность вторичных источников питания аэронавигационных светосигнальных приборов. Под указанной эффективностью подразумеваются: повышение надежности (термо-влажностойкости, безотказности, срока службы и ремонтпригодности), снижение массы, габаритов и стоимости, а также улучшение показателей ЭМС (снижение уровня помехоизлучений и электроэнергетическая совместимость с первичными – сетевыми источниками питания). Решения защищены приоритетами РФ и предназначены, в первую очередь, для разработчиков вторичных источников питания аэронавигационных светосигнальных приборов, а также представляют интерес для широкого круга специалистов в области силовой электроники и светотехнического оборудования.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость (ЭМС), корректор коэффициента мощности (ККМ), источники вторичного питания (ИВП), аэронавигационные светосигнальные приборы, газоразрядная лампа, светотехника.

INCREASE OPERATIONAL EFFICIENCY POWER SUPPLIES AERONAUTICAL LIGHT SIGNALING DEVICES ONBOARD AND AIRPORT EQUIPMENT TO CONTINUOUSLY DISCHARGE LAMPS

S.B. Reznikov, Doctor of Techn. Sciences, Professor

I.A. Kharchenko, Cand of Techn. Sciences, Associate Professor

A.B. Kornilov, Cand of Techn. Sciences, Associate Professor

E-mail: ab_kornilov@mail.ru

A.V. Lavrinovich, Postgraduate Student

Moscow Aviation Institute (State Technical University)

Moscow, Russian Federation

Circuitry solutions to improve operational efficiency of the secondary power source of air navigation light signaling devices. Under the said efficiency means: increasing the reliability (thermal water resistance, reliability, durability and maintainability), reduction in weight, size and cost, and improved EMC performance (reduction pomehoizlucheny level and compatibility with primary electricity – a power source). Solutions are protected by RF priorities and are intended primarily for the development of the secondary power source of air navigation light signal devices, as well as of interest to a wide range of experts in the field of power electronics and lighting equipment.

Key words: electromagnetic compatibility (EMC), power factor correction (PFC), power supply, air navigation and warning devices, gas-discharge lamp, lighting technology.

Введение. Основные параметры непрерывных газоразрядных ламп

Среди непрерывных газоразрядных ламп световой сигнализации, применяющихся в бортовых и аэродромных аэронавигационных приборах, используются, в основном, шаровые ксеноновые лампы типа ДКсШ, т.к. они практически не имеют длительности разгорания [1, 2]. Лампы с разрядом в парах металлов с добавками иодидов используются в сигнализации благодаря высокой световой отдаче. Проблески можно получать с помощью механического модулятора или эксплуатировать лампы в режиме с дежурным маломощным дуговым разрядом (режиме «дежурной дуги»), на который накладываются импульсы высокой мощности. Лампы типа ДКсШ являются источниками высокой яркости с компактной разрядной зоной свечения, удобной для размещения в фокусе линз и отражателей. Кварцевая толстостенная колба имеет форму шара или эллипсоида вращения (в лампах типа ДКсЭл). В колбу введены массивный анод и более тонкий катод. В видимой области непрерывный спектр излучения ламп близок к солнечному. Так, например, длина дуги у короткодуговой лампы Х-500 составляет 2,5...3 мм, напряжение горения 25 В, мощность лампы 500 Вт (диапазон 150...650 Вт), световой поток 15 клм, яркость 350 Мкд/м², срок службы 2000 ч [1, 3].

Катод ксеноновой лампы высокого (или сверхвысокого) давления постоянного тока, расположенный внизу кварцевой колбы, изготавливают из вольфрама с 4...5 % двуокиси тория, присутствие которой в поверхностном

слое катода в три-четыре раза замедляет его разрушение. У таких ламп при питании переменным током катод выходит из строя очень быстро. Так при токах 45...50 А значительное разрушение катода наблюдается уже после нескольких часов горения лампы [4].

Напряжение, подаваемое на лампу постоянного тока, распределяется на три составляющие:

$$U_{л} = U_{СТ} + U_{а,к} + U_{в}, \quad (1)$$

где $U_{в}$ – напряжение на вводах (им обычно пренебрегают); $U_{СТ}$ – напряжение в положительном столбе; $U_{а,к}$ – напряжение в анодной и катодной частях разряда, которое мало изменяется и составляет 9...10 В.

Для токов лампы от 20 до 200 А Р.Е. Ровинский предлагает следующее выражение для вольт-амперной характеристики ксеноновой лампы СВД постоянного тока [4].

$$U_{л} = Б \cdot I_{л} + Д, \quad (2)$$

где Б и Д – коэффициенты, зависящие от расстояния между электродами (v_3) и давления в «холодной» лампе ($P_{хол}$). Эти коэффициенты выражаются следующими эмпирическими уравнениями [4]:

$$\begin{aligned} Б &= 0,03 \cdot 10^{-5} P_{хол} v_3 + 0,05; \\ Д &= 2,33 \cdot 10^{-5} P_{хол} v_3 + 8,6, \end{aligned} \quad (3)$$

где $P_{хол}$ – в Па; v_3 – в см.

Приближенный расчет параметров ксеноновых ламп СВД постоянного тока по методике Р.Е. Ровинского [4] производится следующим образом.

Исходя из заданной мощности лампы $P_{л}$, кВт, и расстояния между электродами v_3 , мм, определяем:

1) давление ксенона в холодной лампе, учитывая, что в работающей оно повышается в 2,5...3 раза ($P_{\text{хол}}$ выбирается по аналогии с давлением в изготовленных близких по мощности шаровых лампах с кварцевыми колбами);

2) коэффициенты Б и Д из выражения (3);

3) ток лампы: $I_{\text{л}} = P_{\text{л}} / U_{\text{л}} = \frac{P_{\text{л}}}{Б \cdot I_{\text{л}} + Д}$, от-

куда имеем:

$$Б \cdot I_{\text{л}}^2 + Д \cdot I_{\text{л}} - P_{\text{л}} = 0, \text{ т.е.}$$

$$I_{\text{л}} = \frac{-Д + \sqrt{Д^2 + 4P_{\text{л}}Б}}{2Б}; \quad (4)$$

4) мощность столба разряда:

$$P_{\text{ст}} = P_{\text{л}} - 10I_{\text{л}};$$

5) яркость в центре разряда из выражения Г.Н. Рохлина:

$$L_{\text{ц}} = A \cdot 10^7 P_{\text{ст}} / v_3^2,$$

где $P_{\text{ст}}$ – в кВт; $L_{\text{ц}}$ – в кд·м⁻²; v_3 – в см; A – коэффициент, который для ксеноновых ламп с короткой дугой по данным Р.Е. Ровинского: $A = 5,7$; при этом:

$$L_{\text{ц}} = 5,7 \cdot 10^7 P_{\text{ст}} / v_3^2. \quad (5)$$

Силу света в направлении, перпендикулярном оси разряда, легко получить из (5), умножив обе его части на проекцию светящейся части разряда на плоскость, перпендикулярную этому направлению, $\sigma = v_3^2$:

$$I_{\perp} \approx 5,7 \cdot 10^3 P_{\text{ст}}, \quad (6)$$

где I_{\perp} – в кд; $P_{\text{ст}}$ – в кВт;

б) распределение яркости вдоль оси разряда определяется выражением:

$$L_x / L_0 \approx 0,38(x / v_3)^{-0,8}, \quad (7)$$

где L_x – яркость участка дуги, лежащего на оси разряда на расстоянии x от катода; L_0 – яркость участка дуги на той же оси на расстоянии $v_0 = 0,3v_3$, v_3 – расстояние между электродами; x – текущее расстояние от катода, определяющее положение на оси элементарного участка разряда, яркость которого определяем;

7) полуширину дуги и распределение яркости в поперечном сечении разряда определяем из выражений:

$$\left. \begin{aligned} L_y / L_{\text{ц}} &= 1 - 0,5(2v/v_{0,5})^2 \\ v_{0,5} &\approx 0,37P_{\text{ст}} + m \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где L_y – яркость дуги в исследуемой точке сечения; $L_{\text{ц}}$ – яркость участка дуги на оси разряда в выбранном поперечном сечении, v – расстояние от дуги и разряда до выбранной точки поперечного сечения, $v_{0,5}$ – полуширина дуги в выбранном поперечном сечении;

8) силу света в направлении, перпендикулярном оси разряда:

$$I_{\perp} \approx 5,7 \cdot 10^3 P_{\text{ст}};$$

9) световой поток и световую отдачу:

$$\Phi_{(\text{лм})} \approx 10I_{\perp}; \quad \eta_{\text{л}} = \Phi / P_{\text{л}}.$$

В таблицах 1 и 2 приведены основные параметры некоторых короткодуговых шаровых ксеноновых ламп типа ДКсШ [4] и ламп типа ДКсЭл [1].

Схемы включения сетевых балластов

Принципиальные схемы включения пускорегулирующих аппаратов (ПРА) или иначе сетевых индуктивных балластов (СИБ) для шаровых ксеноновых ламп постоянного тока и трубчатых ксеноновых ламп с питанием от сети переменного тока.

Таблица 1

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение, В	Средняя продолжительность горения, ч
ДКсШ 200	200	22	500
200-1	200	18	200
500	500	25	400
1000-2	1000	22±3	750
1000-3	1000	25	1500
2000	2000	27,5	1000
3000-3	3000	32,5	650
5000-1	5000	36	300

Таблица 2

Тип лампы	Напряжение питания, В	Световая отдача, лм/Вт	Расстояние между электродами, мм	Яркость в центре разряда, Мкд/м ²	Средний срок службы, ч
ДКсШ-180	25	15	1,0	1500	70
200	70	15	2,2	90	500
200-2	70	15	2,2	–	500
300	70	20	2,2	–	750
500	50	24	2,5	200	400
1000-2	50	30	3,4	250	750
2000	60	32,5	3,9	400	1000
3000-3	60	37	5,5	600	1250
3000-5*	60	37	5,5	600	650
РБ 3000-1	70	33	3,7	750	500
РБ 5000-1	70	40	5,5	600	500
РБ 10000-1	70	40	7,5	1100	125
ДКсЭл-250	25	20	1,0	1800	70
1000	60	35	4,0	–	1000
2000	60	32,5	4,8	–	1200
3000	95	38	5,7	–	–
6500	40	40	10	600	100
10000	40	40	11	700	100

На рисунке 1 приведены схемы сетевых балластов постоянного тока с электронными блоками поджига (ЭБП). Первый вариант (рис. 1а) можно считать давно и широко известным (классическим) [4]. Лампа (Л) подключена к выходу вторичного регулятора постоянного напряжения (РН), например, регулируемого трансформаторно-выпрямительного устройства (ТВУ) или регулятора низковольтного постоянного напряжения – транзисторного конвертора, преобразующего напряжение $\pm 12...48$ В в напряжение $\pm 25...70$ В.

Для зажигания лампы замыкается контакт K_1 и на первичную обмотку трансформатора высокого напряжения (ТВН) подается напряжение от источника переменного тока (магистральной бортовой или аэродромной сети). Со вторичной обмотки ТВН переменное напряжение до 5 кВ подается на разрядный конденсатор C_p , который разряжается через газовый разрядник Р на состоящую из нескольких витков первичную обмотку импульсного автотрансформатора поджига (ИАТП), при этом падение напряжения на разряднике составляет около 0,5 кВ. Со вторичной (полной) обмотки ИАТП импульс напряжения в 30...35 кВ через шунтирующий конденсатор C_2 попадает на лампу (Л), частично заземляясь через помехоподавительный конденсатор C_3 . Таким образом реализуется «искровой генератор», подающий

на лампу периодические высоковольтные импульсы до момента выключения ключа K_1 . Блокировочные конденсаторы C_1 , C_2 и обмотка балластного дросселя (L_B) защищают выходную цепь РН от высоковольтных импульсов напряжения и высокочастотных помех. Аналогичную роль по отношению к сети переменного тока играет блокировочный конденсатор C_4 . В рабочем режиме дугового разряда лампы роль L_B и ИАТП сводится к сглаживанию пульсаций тока лампы, т.е. к обеспечению рабочей зоны динамической внешней характеристики сетевого балласта со стабилизацией тока (режиму «источника тока», независимо от хаотических осцилляций напряжения лампы).

К основному недостатку рассмотренной схемы поджига относится совмещение в ИАТП функций поджига (с изоляции обмотки, рассчитанной на 30...35 кВ и выше) и индуктивного балласта (с сечением провода, рассчитанным на рабочий ток лампы в десятки и сотни ампер), что приводит к утяжелению, удорожанию и снижению надежности устройства. Другим недостатком является наличие дополнительного первичного источника переменного тока, промежуточного трансформатора высокого напряжения (ТВН) и газового разрядника (Р) с низкой надежностью. Оценка характеристик регулятора напряжения (РН) в этом варианте была бы

некорректна в силу отсутствия его схемы. Однако, как правило, в выходных каскадах трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ) устанавливают РН с понижающим транзисторным конвертером, не позволяющим использовать для питания лампы резервные низковольтные аккумуляторы (на 12, 24 и 27 ± 5 В).

Авторами предлагается модернизированный вариант сетевого балласта постоянного тока с электронным блоком поджига, свободный от перечисленных недостатков. Схема варианта с универсальным (понижающе-повышающим регулятором напряжения (РН) и параллельным импульсным трансформатором поджига (ИТП) приведена на рисунке 1б. В качестве отдельного (выносного) ЭБП

использован импульсный трансформатор поджига (ИТП на 30...35 кВ) с разрядной конденсаторно-тиристорной цепью (C_p - VS_p). При незажженной лампе (Л) периодическое включение разрядного тиристора (VS_p) обеспечивается включением динистора (VD_d) после прохождения стабилитрона ($VD_{ст}$) в зону стабилизации своего напряжения в цепи питания резистора R_2 от разрядного конденсатора C_p . Период следования поджигающих импульсов определяется постоянной времени цепи зарядки C_p : $R_1 C_p$. Конденсатор между РН и высоковольтной обмотки ИТП. Для защиты РН от высоковольтного импульса поджига используются индуктивность балластного дросселя L_B и емкость выходного фильтрового конденсатора $C_{\Phi 2}$ РН.

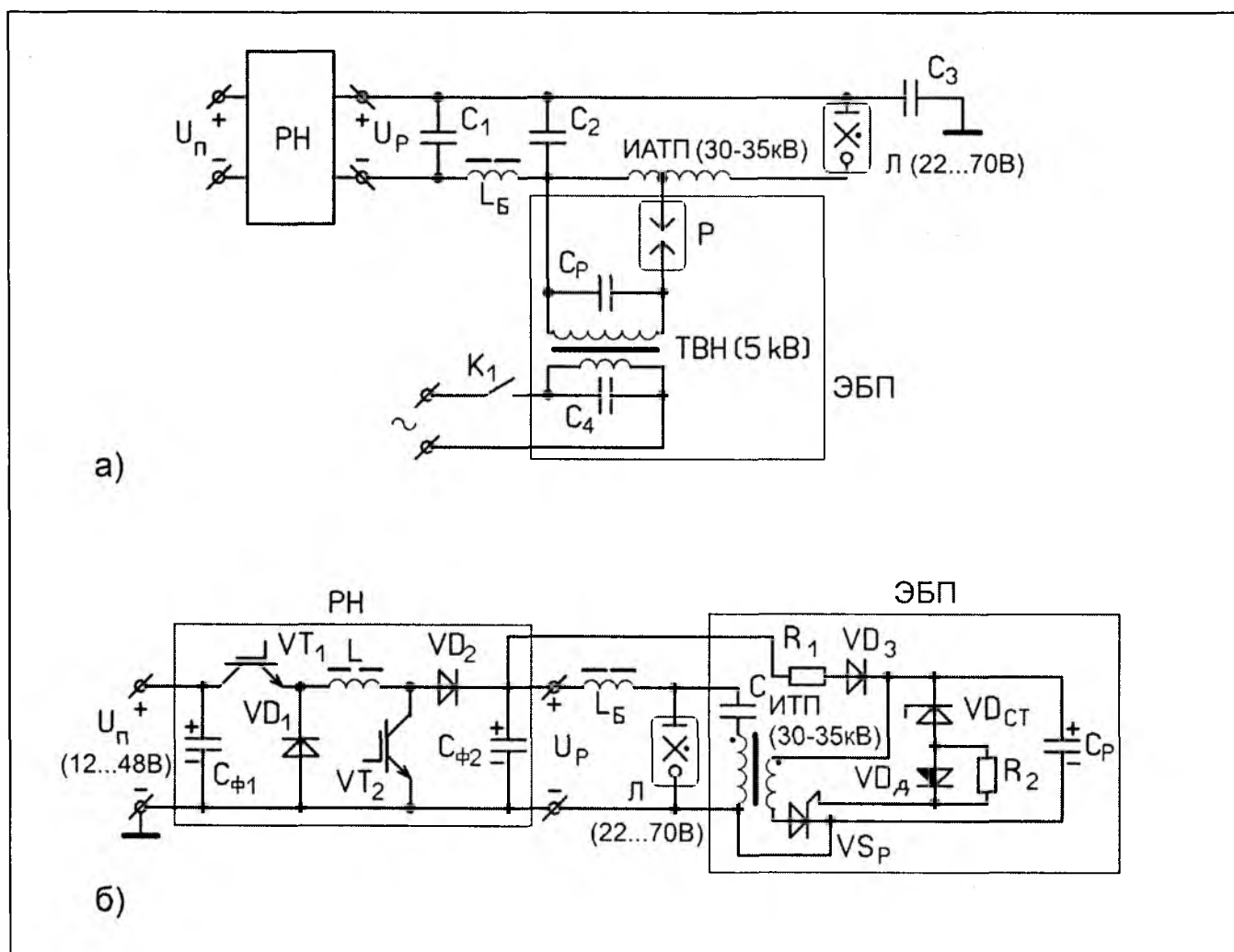


Рис. 1. Схема сетевых балластов постоянного тока с электронными блоками поджига (ЭБП): а) – вариант с последовательным импульсным автотрансформатором поджига (ИАТП) и предварительным трансформатором высокого напряжения; б) – вариант с универсальным понижающе-повышающим регулятором напряжения (РН) и параллельным импульсным трансформатором поджига (ИТП).

Регулятор напряжения (РН) представляет собой двухключевой комбинированный импульсно-модуляторный конвертер, способный работать в трех режимах:

а) режиме «понижения» напряжения (с модуляцией VT_1 при выключенном VT_2);

б) режиме «повышения» напряжения (с модуляцией VT_2 при включенном VT_1);

в) режиме «понижения–повышения» напряжения (режиме «дозатора» энергии с синхронной модуляцией VT_1 и VT_2).

Условие непрерывности тока реактора (L) определяется передаточными соотношениями:

$$U_{\text{вых}} = \gamma U_{\text{п}} \quad (\text{а}); \quad U_{\text{вых}} = \frac{1}{1-\gamma} U_{\text{п}} \quad (\text{б});$$

$U_{\text{вых}} = \frac{\gamma}{1-\gamma} U_{\text{п}}$ (в), соответственно, где γ – относительная длительность (коэффициент заполнения) импульса $t_{\text{и}}$ широтно-импульсной модуляции с периодом $T_{\text{шим}}$: $\gamma = t_{\text{и}}/T_{\text{шим}}$.

Для питания трубчатых ксеноновых ламп можно использовать переменный ток, как низкой частоты сети переменного напряжения, через сетевой индуктивный балласт (СИБ), так и высокой частота – через сетевой электронный балласт (СЭБ). При этом могут использоваться промежуточные или выносные блоки поджига (ПБП и ВБП) подобные вышеописанным. Следует отметить пригодность таких СИБ и СЭБ ЭПРА для питания газоразрядных ламп высокого давления (ЛВД), в частности ртутных и натриевых ЛВД светильников уличного, дорожного и промышленного применения [5...9].

На рисунке 2 приведены схемы балластов переменного тока с электронными блоками поджига:

а) исходный прототип – трехполюсный сетевой индуктивный балласт – СИБ (3-х п.) с низковольтным балластным дросселем (Н/В $L_{\text{Б}}$), промежуточным (последовательным) блоком поджига (ПБП) и общим выводом входа/выхода [1];

б) четырехполюсный сетевой индуктивный балласт – СИБ (4-х п.) с низковольтным балластным дросселем (Н/В $L_{\text{Б}}$), высоковольтным ограничительным дросселем (в/в $L_{\text{огр}}$) и выносным (параллельным) блоком поджига (ВБП) на базе разрядного конденсатора ($C_{\text{р}}$);

в) четырехполюсный сетевой индуктивный или электронный балласт – СИБ или СЭБ (4-х п.) с ВБП на базе индуктивно-ёмкостного фильтра-«пробки» ($C_{\text{р-ф}}-L_{\text{ф-п}}$).

К основным недостаткам исходного прототипа (рис. 2а) относятся следующие:

1) высоковольтная обмотка ИТП включена в цепь рабочего тока лампы, т.е. при высоковольтной изоляции имеет большое сечение провода, а следовательно большую массу и габариты и сниженную надежность;

2) наличие газового высоковольтного разрядника с нестабильным уровнем разрядного напряжения в качестве порогово-разрядного вентиля снижает надежность зажигания лампы и вызывает произвольное изменение (нестабильность) периода следования импульсов поджига (при запуске);

3) неблагоприятная полярность импульсного напряжения поджига при подключении катода к общему выводу входа/выхода; снижающая надежность процесса зажигания лампы;

4) резистор (R), установленный для исключения колебательности процесса зарядки разрядного конденсатора ($C_{\text{р}}$), подавляет также колебательность процесса разрядки $C_{\text{р}}$ через лампу (Л), чем снижает надежность поджига.

К общим достоинствам второй и третьей схемы (рис. 2б,в), соответственно, можно отнести исключение вышеперечисленных недостатков первой схемы. К этому можно добавить специфические достоинства последней схемы (рис. 2в) в варианте исполненного с электронным балластом на базе преобразователя частоты (ПЧ) с корректором коэффициента мощности (ККМ):

1) многократно сниженные массу, габариты и стоимость за счет замены низковольтного балластного дросселя ($L_{\text{Б}}$) и компенсирующего (последовательного или параллельного конденсатора ($C_{\text{ком}}$) на транзисторный преобразователь частоты с малоиндуктивными дозирующими реакторами;

2) возможность гальванической развязки входа и выхода за счет малогабаритного высокочастотного трансформатора или трансреактора;

3) простота регулирования потребляемой мощности (в том числе и с сенсорным управлением);

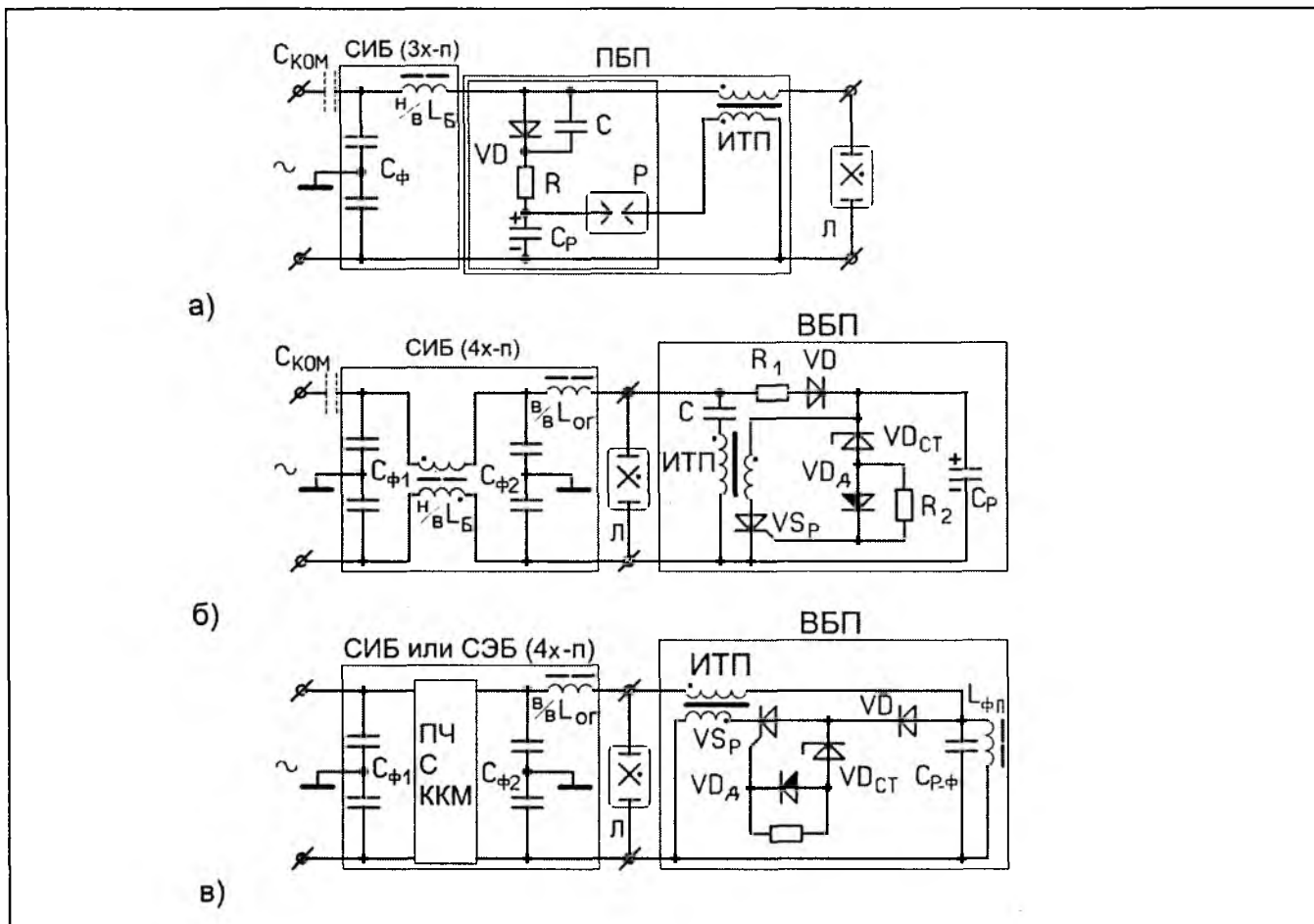


Рис. 2. Схема сетевых балластов переменного тока с электронными блоками поджига: а) – исходный прототип – трехполюсный сетевой индуктивный балласт-СИБ (3x-n) с низковольтным балластным дросселем (n/v L_B), промежуточным (последовательным) блоком поджига (ПБП) и общим выводом входа/выхода [1]; б) – четырехполюсный сетевой индуктивный балласт-СИБ (4x-n) с низковольтным балластным дросселем (n/v L_B), высоковольтным ограничительным дросселем (v/v $L_{ог}$) и выносным (параллельным) блоком поджига (ВБП) на базе разрядного конденсатора (C_p); в) – четырехполюсный сетевой индуктивный или электронный балласт-СИБ или СЭБ (4x-n) с ВБП на базе индуктивно-емкостного фильтра-«пробки» ($C_{p-ф} - L_{ф-n}$).

4) улучшение характеристик спектра и яркости и повышение срока службы ламп за счёт высокой частоты питающего тока и снижение напряжения перезажигания.

Рациональные схемы сетевых электронных балластов (СЭБ) для трубчатых ксеноновых и других газоразрядных ламп переменного тока высокого давления

На рисунке 3 приведена схема СЭБ с входным ПЧ на базе Виенна-выпрямителя с ККМ (В-В-ККМ), активного делителя напряжения (АДН), полумостового инвертора напряжения (п/м ИН) и ВБП с индуктивно-емкостным фильтром-«пробкой» ($C_p - L_{ф-n}$).

На рисунке 4 показана схема СЭБ с входным ПЧ на базе В-В-ККМ и инвертора тока (ИТ) с цепью рекуперации энергии

дросселя (ЦР).

К недостатку первой схемы (рис. 3) относится сложность обеспечения антинасыщающего симметрирования вольт-секундных характеристик импульсов питания трансформатора напряжения (ТН), необходимого для исключения короткоимпульсных сверхтоков и перенапряжений в цепях транзисторов п/м ИН. Это приводит к снижению надежности схемы или к существенному завышению массы и габаритов п/м ИН (в случае использования для симметрирования отдельного конденсатора C_p с большой реактивной установочной мощностью).

Во второй схеме (рис. 4) указанный недостаток исключен.

Кроме того, схема позволяет использовать балластный дроссель (L_B) инвертора тока

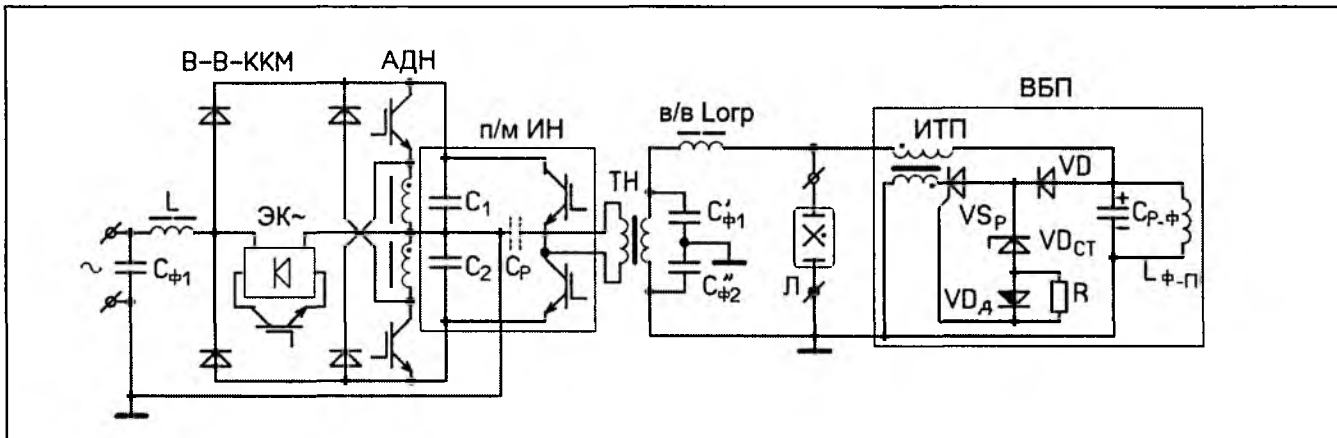


Рис. 3. Схема сетевого электронного балласта с входным преобразователем частоты на базе Виенна-выпрямителя с корректором коэффициента мощности (В-В-ККМ), активного делителя напряжения (АДН), полумостового инвертора напряжения (п/м ИН) и ВБП с индуктивно-емкостным фильтром-«пробкой» (C_{ϕ} - $L_{\phi-п}$).

(ИТ) в качестве накопительного звена (путем его шунтирования с помощью $VT_{ш}$ и $VS_{1,2}$). Это в свою очередь, позволяет снизить требуемую суммарную энергоемкость выходного емкостного фильтра C_1 - C_2 В-В-ККМ, исключив из его состава электролитические конденсаторы с низкой надежностью (термостойкостью, безотказностью и долговечностью).

К недостаткам последней схемы относится увеличенная реактивная установочная мощность фильтрового конденсатора $C_{\phi ш}$, шунтирующего выход ИТ для компенсации индуктивного сопротивления высоковольтного ограничительного дросселя $L_{огр}$, и защищающего ИТ от высоковольтного импульса поджига.

Таким образом обе рассматриваемые схемы СЭБ могут считаться конкурентноспособными и рациональными для применения

с конкретными заданными техническими условиями и эксплуатационными требованиями.

Рациональные схемы сетевых электронных балластов (СЭБ)

для ксеноновых ламп постоянного тока высокого (сверхвысокого) давления от однофазной сети переменного тока с резервно-аккумуляторными источниками бесперебойного питания (ИБП)

Один из вариантов схемы (СЭБ) с промежуточным инверторным звеном высокой частоты (на базе инвертора тока ИТ) и выносным ЭБП приведена на рисунке 5. Благодаря наличию входного выпрямителя с корректором коэффициента мощности (В-ККМ) и трансформаторной развязки между входом и выходом (ТТ) она с успехом может применяться в широком диапазоне мощностей, указанном

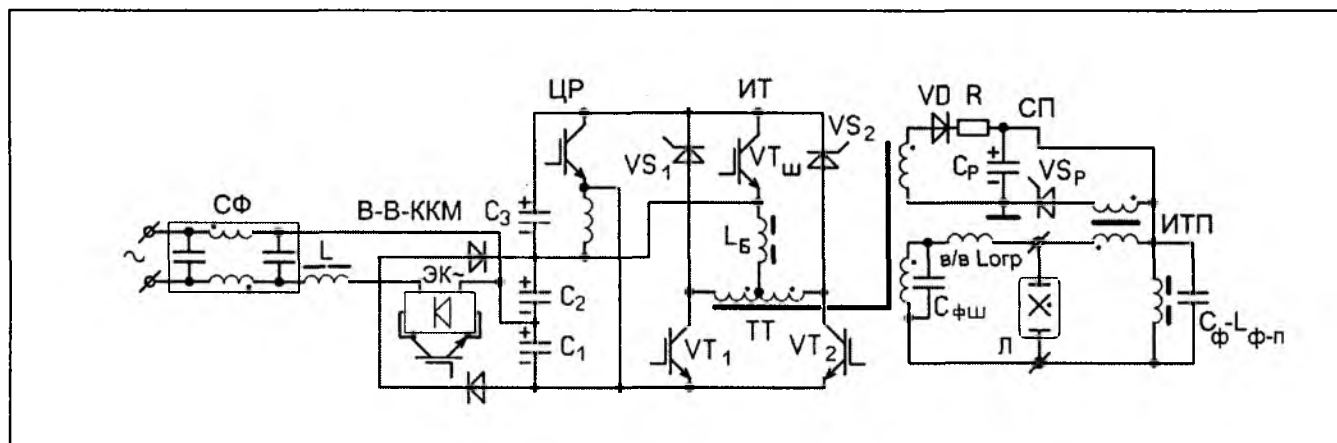


Рис. 4. Схема сетевого электронного балласта (пускорегулирующего аппарата) для газоразрядных ламп с входным преобразователем частоты на базе Виенна-выпрямителя с ККМ (В-В-ККМ) и инвертора тока (ИТ) с целью рекуперации энергии рассеяния (ЦР)

в таблицах 1 и 2, обеспечивая высокую эксплуатационную эффективность.

Примечание

В связи с бурным развитием светодиодных сигнальных приборов и вполне обоснованным ожиданием в перспективе заменой рассмотренных ламп на светодиодные модули аналогичной силы света (яркости и светового потока) при существенно меньшей потребляемой мощности (большей светоотдачей) следует особо отметить полную пригодность последней схемы (рис. 5) для питания светодиодных модулей (с соответствующим отключением ЭБП и ИТП).

На рисунке 6 показаны силовые схемы сетевых электронных балластов (СЭБ) с резервно-аккумуляторными источниками бесперебойного питания (ИБП), выпрямителями с корректорами коэффициента мощности (В-ККМ) и электронными блоками поджига (ЭБП): а) на базе 2х-тактного обратно-ходового импульсного модулятора (О/ХИМ_{1,2}) с фильтровыми трансреакторами (Т- $L_{1,2}$); б) на базе трансформаторного инвертора прямоугольного тока (ТИПТ) с фильтровым реактором (L) и трансформатором тока (ТТ). Первая схема показана в варианте индивидуального СЭБ для двух (возможно и более) ламп. Схемы приведены в усеченном виде – без нерассеивающих демпферно-снабберных цепочек (ДСЦ) для обеспечения «мягкой» коммутации (с нулевыми токами и напряжениями), позволяющей существенно снизить коммутационные тепловые потери и помехоизлучения. Следует особо отметить, что помимо

узла рекуперации энергии рассеяния обмоток (УРЭР) схемы снабжены шунтирующим ключом (VT_ш), обеспечивающим токозамыкающую паузу для регулирования среднеимпульсной величин потокосцепления фильтрового реактора L (трансреакторов Т- $L_{1,2}$). Это позволяет не только обеспечить внешнюю вольтамперную характеристику «источника тока», но и демпфировать низкочастотные пульсации выпрямленного напряжения без использования электролитических конденсаторов с низкой надежностью (термостойкостью, безотказностью и сроком службы). Во второй схеме указанное шунтирование производится по цепи VT_ш цепям VD_{ш1,2} одновременно.

По массо-энергетическим показателям, приведенным к одной лампе, схемы приблизительно идентичны. Однако для применения в качестве группового СЭБ вторая схема имеет значительный выигрыш в качестве полупроводниковых ключей и соответственно – в надежности.

Заключение

Рассмотрены новые схемотехнические решения для сетевых электронных балластов, резервно-аккумуляторных источников бесперебойного питания и электронных блоков поджига (СЭБ, ИБП и ЭБП), позволяющие повысить эксплуатационную эффективность вторичных источников питания аэронавигационных светосигнальных приборов с ксеноновыми непрерывно-разрядными лампами высокого и сверхвысокого давления. Решения защищены приоритетами РФ и предназначены

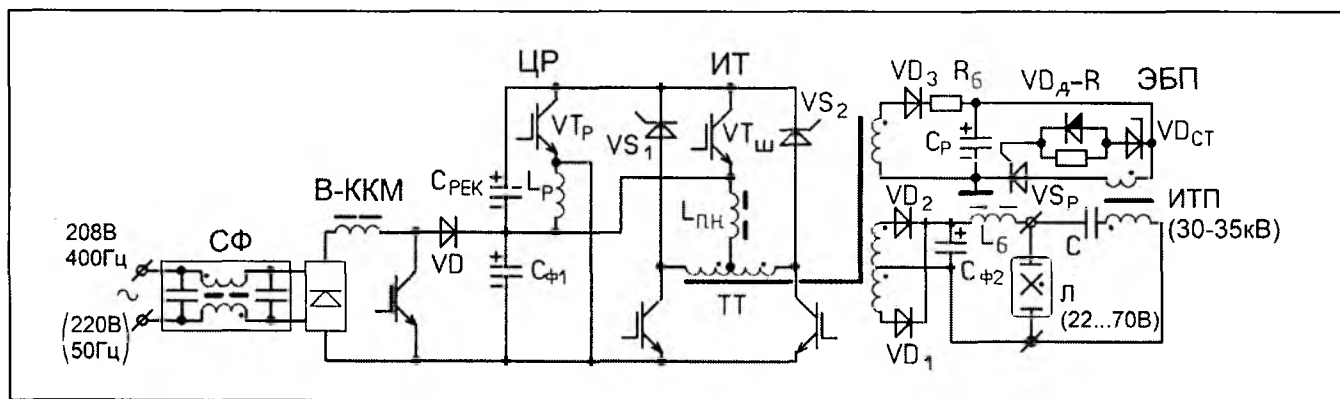


Рис. 5. Схема сетевого электронного балласта для питания ксеноновой лампы постоянного тока высокого (сверхвысокого) давления от однофазной сети переменного тока с промежуточным инверторным звеном высокой частоты (ИТ) и выносным ЭБП

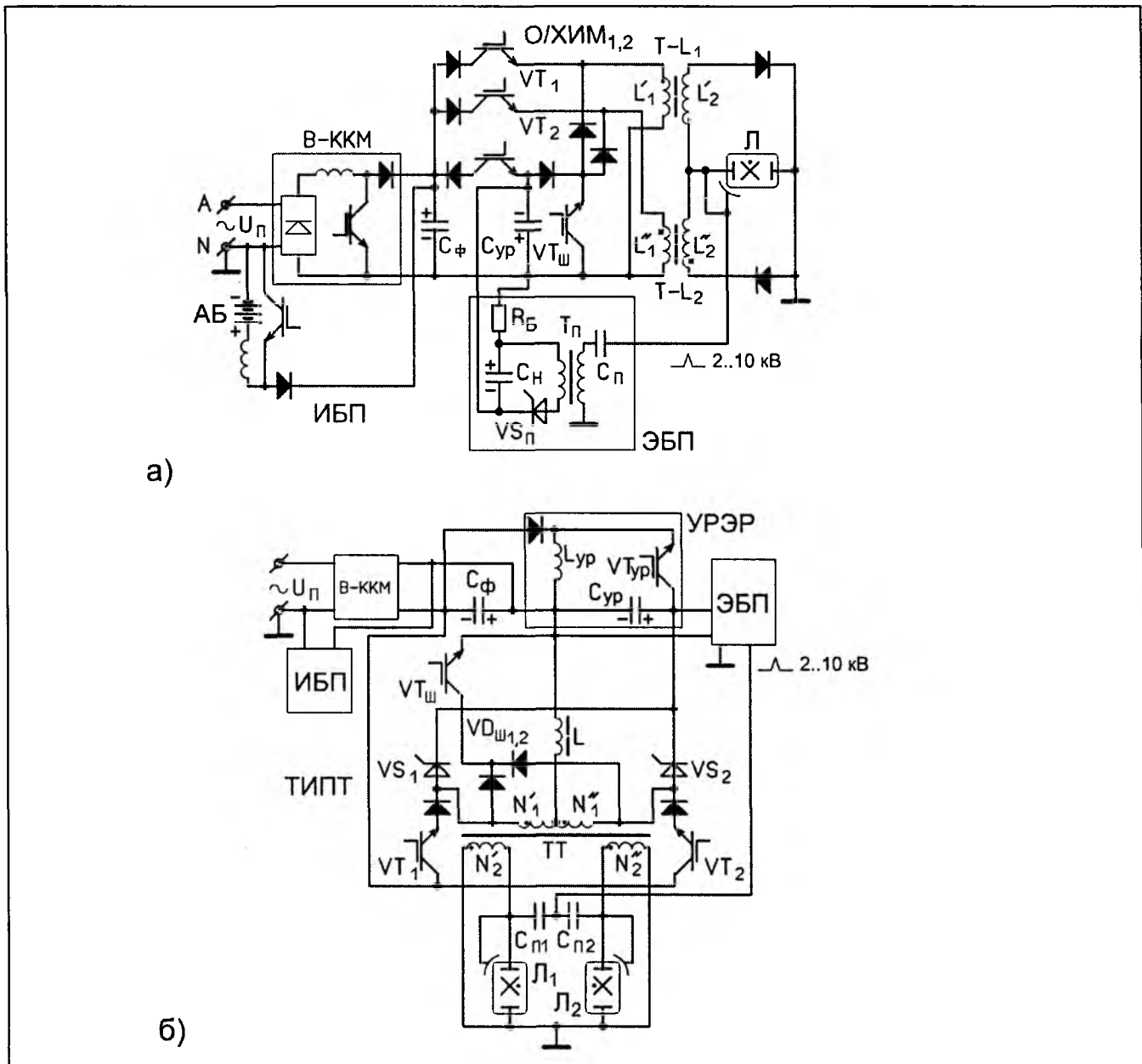


Рис. 6. Силовые схемы сетевых электронных балластов (СЭБ) с резервно-аккумуляторным источником бесперебойного питания (ИБП), выпрямителями с корректорами коэффициента мощности (В-ККМ) и электронными блоками поджига (ЭБП): а) – на базе 2х-тактного обратно-ходового импульсного модулятора с фильтровыми трасреакторами; б) – на базе трансформаторного инвертора прямоугольного тока с фильтровым реактором и трансформатором тока.

для разработчиков вторичных источников питания аэронавигационных светосигнальных приборов, а также представляют интерес для широкого круга специалистов в области силовой электроники и светотехнического оборудования, включая светодиодные и люминесцентные светильники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басов Ю.Г. Светосигнальные устройства. М.: Транспорт, 1993. 309 с.
2. Уэймаус Д. Газоразрядные лампы. Пер. с англ. под ред. Г.Н. Рохлина и Фугенфирова. М.: Энергия, 1977. 344 с.
3. Рохлин Г.Н. Разрядные лампы. М.: Энергоатомиздат, 1990. 720 с.
4. Гуторов М.М. Основы светотехники и источники света: Учебное пособие для ВУЗов. 2-е изд. доп. и переработ. М.: Энергоатомиздат, 1983. 384 с.
5. Болдырев В.Г., Бочаров В.В., Дубенский Г.А., Резников С.Б., Татьяна В.И. Электронные устройства для питания и зажигания газоразрядных ламп. Патент 2101886. Бюл. № 1 от 10.01.1998 г.
6. Болдырев В.Г., Бочаров В.В., Дубенский Г.А., Резников С.Б., Татьяна В.И. Устройство для

питания и зажигания газоразрядных ламп. Патент 2103845. Бюл. № 3 от 27.01.1998 г.

7. Резников С.Б., Бочаров В.В., Дубенский Г.А., Кабелев Б.В., Парфенов Е.В. *Электронный пускорегулирующий аппарат для газоразрядных ламп*. Патент 83166. Бюл. № 14 от 20.05.2009 г.
8. Резников С.Б., Бочаров В.В., Дубенский Г.А., Кабелев Б.В., Парфенов Е.В., Корнилов А.Б., Гуренков Н.В. *Электронный пускорегулирующий аппарат для питания газоразрядных ламп*. Патент 89909. Бюл. № 35 от 20.12.2009 г.
9. Резников С.Б., Бочаров В.В., Дубенский Г.А., Кабелев Б.В., Коняхин С.Ф., Савенкова Н.В. *Преобразователь переменного тока*. Патент 106811. Бюл. № 20 от 20.07.2011 г.

REFERENCES

1. Basov Yu.G.. *Cvetosignalnye ustroystva* [Lighting devices]. M.: Transport [Moscow: Publishing house «Transport»]. 1993. - 309 p.
2. Ueymaus D. *Gazorazryadnye lampy* [Discharge lamps]. Trans. from English. ed. G.N. Rokhlina and Fugenfirova. M.: «Energiya» [Moscow: Publishing house «Energy»], 1977. 344 p.
3. Rokhlin G.N. *Razryadnye lampy* [Discharge lamps]. M.: Energoatomizdat [Moscow: Publishing house «Energoatomizdat»], 1990. 720 p.
4. Gutorov M.M. *Osnovy svetotekhniki i istochniki sveta*: Uchebnoe posobie dlya VUZov [Basics of lighting and light sources: Textbook for High

Schools]. 2nd ed. ext. and recycled. M.: Energoatomisdat [Moscow: Publishing house «Energoatomisdat»], 1983. 384 p.

5. Boldyrev V.G., Bocharov V.V., Dubenskiy G.A., Reznikov S.B., Tatyani V.I. *Elektronnye ustroystva dlya pitaniya i zazhiganiya gazorazryadnykh lamp* [Electronic devices for power supply and the ignition of gas discharge lamps]. Patent 2101886. Bul. № 1 from 01.10.1998.
6. Boldyrev V.G., Bocharov V.V., Dubenskiy G.A., Reznikov S.B., Tatyani V.I. *Ustroystvo dlya pitaniya i zazhiganiya gazorazryadnykh lamp* [A device for supply and ignition of gas discharge lamps]. Patent 2103845. Bul. № 3 from 27.01.1998.
7. Reznikov S.B., Bocharov V.V., Dubenskiy G.A., Kabelev B.V., Parfenov Ye.V. *Elektronnyy puskoreguliruyushchiy apparat dlya gazorazryadnykh lamp* [Electronic control gear for discharge lamps]. Patent 83166. Bul. № 14 from 20.05.2009.
8. Reznikov S.B., Bocharov V.V., Dubenskiy G.A., Kabelev B.V., Parfenov Ye.V., Kornilov A.B., Gurenkov N.V. *Elektronnyy puskoreguliruyushchiy apparat dlya pitaniya gazorazryadnykh lamp* [The electronic ballast for powering discharge lamps]. Patent 89909. Bul. № 35 from 20.12.2009
9. Reznikov S.B., Bocharov V.V., Dubenskiy G.A., Kabelev B.V., Konyakhin S.F., Savenkova N.V. *Preobrazovatel peremennogo toka* [AC converter]. Patent 106811. Bul. № 20 from 20.07.2011.

Сведения об авторе

Резников Станислав Борисович, доктор техн. наук, профессор

Харченко Игорь Александрович, канд. техн. наук, доцент

Корнилов Александр Борисович, канд. техн. наук, доцент

E-mail: ab_kornilov@mail.ru

Лавринович Андрей Вячеславович, аспирант

Московский авиационный институт (Государственный технический университет)

125993, Москва, Российская Федерация, Волоколамское ш., 4

Information about author

Reznikov Stanislav B., Doctor of Techn. Sciences, Professor

Kharchenko Igor A., Cand. of Techn. Sciences, Associate Professor

Kornilov Aleksandr B., Cand. of Techn. Sciences, Associate Professor

E-mail: ab_kornilov@mail.ru

Lavrinovich Andrey V., Postgraduate Student

Moscow Aviation Institute (State Technical University)

125993, Moscow, Russian Federation, Volokolamskoe highway, 4