



**LUMEN&EXPERTUNION**

WWW.LUMEN2B.RU #01(9) февраль 2015

LUMEN

# СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА





----- **РИС. 1.** Источник постоянного тока ИПТ-035-0350-40-3 LEDInGRAD

## ИСТОЧНИК ПОСТОЯННОГО ТОКА ИПТ-035-0350-40-3 LEDINGRAD КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ

Аркадий Камчатов, к.т.н.,  
[ledingrad@yahoo.com](mailto:ledingrad@yahoo.com)

Александр Пашков,  
[dir@transet-spb.ru](mailto:dir@transet-spb.ru)

Александр Цуриков, к.т.н.,  
[a.tsurikov@ledingrad.ru](mailto:a.tsurikov@ledingrad.ru)

Источник постоянного тока (ИПТ) для светодиодов ИПТ-035-0350-40-3 LEDInGRAD (рис. 1) разрабатывался для применения, прежде всего, в светильниках типа «Армстронг», для чего в качестве первоначальных требований к его конструкции были выдвинуты ограничения по массо-габаритным показателям (ДхШхВ 115х29х23 мм, 80 г), а также неразличимость под светорассеивателем в корпусах толщиной от 30 мм. В процессе доработки источник питания (он же — драйвер) нашёл широкое применение и в других типах светодиодных светильников.

Современные светотехнические устройства на базе светодиодных матриц отличаются высоким качеством производимого света при небольших энергетических затратах. Во многом это определяется параметрами источника питания светодиодов. Значение источника питания в составе светильника трудно переоценить. Это — буферное устройство между электрической сетью и источником света. С одной стороны, оно должно быть незаметным в конструкции светильника, иметь малое собственное потребление и тепловыделение,

гасить высокочастотные колебания сети и не излучать помех. С другой стороны, оно обязано обеспечить стабильное питание светодиодов в различных типах светильников, работая при этом в широком диапазоне колебаний сети.

Поэтому при формировании требований к создаваемому ИПТ рассматривалась задача оптимального сочетания его характеристик как экономичного и надёжного источника постоянного тока сравнительно небольших габаритов, так и высокоэффективного LED-драйвера светодиодов с минимальным уровнем пульсаций параметров на выходе, соответствующего требованиям стандартов по ЭМС и гармоническим составляющим потребляемого тока. Учитывались также актуальные рыночные требования уменьшить себестоимость ИПТ, но при этом обеспечить возможность его применения в светодиодных светильниках высокого качества.

### НАДЁЖНОСТЬ ИПТ-035-0350-40-3 LEDINGRAD

В настоящем разделе статьи приведены основные принципы обеспечения надёжности ИПТ-035-0350-40-3 LEDinGRAD, базирующиеся на более чем 30-летнем опыте разработки, производства и эксплуатации источников питания (в том числе, для изделий оборонного и космического назначения) и реализованные при его создании.

Ресурс современного светодиодного светильника определяется, в основном, надёжностью и продолжительностью бесперебойной работы его источника питания, которые, в свою очередь, зависят как от внешних граничных условий — например, оптимального размещения ИПТ в корпусе светильника с целью обеспечения требуемого температурного режима работы его компонентов, соответствия характеристик нагрузки (светодиодов) выходным параметрам ИПТ и др., так и от реализации корректного подхода к выбору принципиальной схемы ИПТ с учётом характеристик светильника и к подбору компонентов источника питания.

Источник питания светодиодов постоянным током рассматривается как высокочастотный преобразователь электроэнергии, в связи с чем при разработке схемы ИПТ большое внимание уделено вопросам как статических, так и динамических режимов работы силовых узлов. На основе комплексного анализа переходных режимов высокочастотного преобразования энергии производится расчёт схемы с целью выбора оптимальных режимов переключения силовых полупроводниковых компонентов (прежде всего, транзисторов, диодов). В качестве критерия оптимизации принят минимальный уровень сочетания динамических потерь энергии и электромагнитных излучений.

Источник питания, как система узлов и компонентов, на каждом этапе его создания, начиная с разработки схемы и экспериментальной отработки узлов и опытного образца, проверяется с позиций его устойчивости к внутренним (например, ток, напряжение) и внешним (температура эксплуатации, механические нагрузки и др.) воздействиям, причём как статического, так и динамического характера. Оптимизация параметров и характеристик изделия в целом производится на основе того, что «сумма глобального оптимума не равна сумме локальных оптимумов», т.е. расчёт параметров компонентов и узлов драйвера производится с учётом их взаимодействия между собой, исходя из экономической и надёжной работы ИПТ как на расчётном режиме, так и в условиях возможных переменных внутренних и внешних воздействий.

Применительно к работе компонентов в составе изделия анализируется не только их нагрузка в сравнении с предельно допустимой (и, соответственно, определяется необходимый запас по нагрузочной способности), но и условия их эксплуатации в корпусе сравнительно небольшого объёма при изменениях параметров внешней сети и температуры эксплуатации. Рассчитываются, измеряются и соответствующим образом корректируются значения характерных показателей, включая допустимую мощность для резисторов, напряжение для конденсаторов, ток для диодов и дроссе-

лей. По результатам измерения температурного состояния, электромагнитных и эмиссионных характеристик опытного образца производятся необходимые изменения в его схеме и конструкции.

Особое внимание уделено высокочастотному трансформатору собственного производства, причём не только расчёту его необходимых параметров, но и контролю качества его изготовления. В частности, предварительная тщательная разработка и организация необходимого технологического процесса послойной намотки трансформатора в существенной степени обеспечивает требуемую эффективность преобразования энергии. Применены современные ферритовые материалы, отличительной особенностью которых является минимальный уровень потерь, особенно, в высокочастотной области рабочего спектра.

Пульсации выходного тока источника питания определяют уровень (коэффициент) пульсаций светового потока, относящийся, наряду с показателями электромагнитной совместимости, коэффициента полезного действия и коэффициента мощности, к основным характеристикам качества светодиодного светильника. Комплексный подход к снижению рассматриваемых пульсаций включает не только подбор необходимых параметров электролитического конденсатора в выходной цепи источника, но и применение в ИПТ узла активного подавления пульсаций.

Все источники питания ИПТ-035-0350-40-3 LEDinGRAD проходят многоступенчатый контроль в процессе изготовления. К основным этапам относятся промежуточное измерение характеристик и параметров внутренних цепей и узлов по мере их сборки, а также «прогон» на нагрузочном стенде каждого из изготовленных драйверов при номинальной нагрузке.

При разработке ИПТ-035-0350-40-3 LEDinGRAD во внимание был принят и такой показатель, как удельная мощность источника питания - полезная мощность драйвера, отнесённая к его объёму. Для большинства современ-

ных высокоэффективных драйверов известных нам отечественных и зарубежных производителей он составляет величину, превышающую 300 Вт на один кубический дециметр, и имеет тенденцию к увеличению. Для разрабатываемого источника питания исходно требуемый показатель удельной мощности был принят выше 400 Вт/дм<sup>3</sup>. Числовое значение рассматриваемого показателя характеризует, с одной стороны, энергетическую эффективность драйвера, т.е. чем больше этот показатель, тем выше полезная мощность, «производимая» каждой единицей его объема. С другой стороны, уровень этого показателя для применяемого в светодиодных светильниках источника питания отражает в прямой зависимости реализованное качество разработки, совершенствования и освоения производства изделия и, соответственно, его надёжность.

### ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ ИПТ-035-0350-40-3 LEDINGRAD

Согласно предъявляемым требованиям новый драйвер должен обеспечить светодиодам мощность до 35 Вт с диапазоном выходного напряжения 75 ... 96 В, что является оптимальным для последовательного (во избежание «быстрой» деградации светоизлучающих диодов) соединения светодиодных линеек в светильниках типа «Армстронг». Ток питания 350 мА, ставший практически стандартным в полупроводниковой офисной светотехнике, позволяет использовать светодиодные линейки и модули всех основных производителей.

Для применения в других сферах светотехники и возможности использования мощных светодиодов предусмотрены варианты модификации драйвера, в том числе с током питания 700 мА и выходным напряжением соответственно 36 - 48 В.

Таким образом, в начале процесса проектирования драйвера нами были проанализированы и сформулированы основные требования к изделию, значения электрических параметров которого должны соответствовать типовым построениям современных

светодиодных матриц:

- мощность ...30...40 Вт;
- выходной ток ...350/700 мА;
- диапазон рабочих напряжений ...74 ...110 В / 36 ... 48 В;
- коэффициент пульсаций светового потока...менее 0,5 % ;
- коэффициент мощности...более 0,95;
- коэффициент полезного действия... более 90 %.

Основные требования к источнику питания при его разработке также включали:

- компактность;
- активную коррекцию коэффициента мощности;
- гальваническую развязку;
- схему обратной связи со светодиодами;
- высокие показатели электромагнитной совместимости;
- соответствие требованиям по величинам гармоник сетевого тока;
- набор требуемых защит (в том числе при возможных «бросках» напряжения на входе, защита при перегрузке);
- требуемые ограничения по выдаваемой мощности;
- надёжность;
- I-ый класс защиты от поражения электрическим током;
- минимально достижимую себестоимость при обеспечении высокого качества комплектующих изделий.

Схема драйвера также должна включать различные виды защит, в т. ч. от перегрузок по току и короткому замыканию, от превышения выходного напряжения, от воздействия импульсных помех и др. Наряду с требованиями минимизации массо-габаритных характеристик источника питания должно быть обеспечено удобство его размещения в светодиодных светильниках различной конструкции и назначения.

Особое внимание при разработке ИПТ уделено и устойчивости к различным видам помех:

- электростатическому разряду по ГОСТ 30804.4.2;
- электромагнитному полю частотой

80-1000 МГц по ГОСТ 30804.4.3;

- наносекундным импульсным помехам по ГОСТ 30804.4.4;
- микросекундным импульсным помехам по ГОСТ Р 51317.4.5;
- кондуктивным помехам, наведенных радиочастотными электромагнитными полями по ГОСТ Р 51317.4.6;
- динамическим изменениям напряжения электропитания по ГОСТ 30804.4.11.

Также ИПТ должен обеспечить соответствие требованиям по электромагнитной совместимости (ЭМС) - как по эмиссии кондуктивных радиопомех по ГОСТ Р 51318.15, так и по гармоническим составляющим тока и фликера по ГОСТ Р 51317.3.2, ГОСТ Р 51317.3.3.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ИПТ-035-0350-40-3 LEDINGRAD

Технические характеристики первого из разработанных и освоенных в производстве ИПТ приведены в табл.1.

При разработке ИПТ-035-0350-40-3 LEDinGRAD, реализован подход, основанный на функциональной взаимосвязи основных его показателей и, как следствие, соответствующем подборе компонентов высокого качества.

В частности, к разрабатываемому ИПТ на начальном этапе предъявлялись жесткие требования по уровню коэффициента пульсаций светового потока - не более 5 % (при использовании в выпускаемых нами серийных светильниках соответствующих светодиодных линеек и модулей). Вследствие малых габаритов корпуса и значительного выходного напряжения не удавалось разместить электролитические конденсаторы требуемой ёмкости (и размеров), но после тщательного анализа и корректировки схемы и подбора компонентов удалось достичь не только снижения амплитуды пульсаций выходного тока, но и за счёт схемных решений обеспечить значение коэффициента пульсаций светового потока в светильнике менее 0,5 % (фактически, 0,1 — 0,2 %) при тех же габаритах корпуса драйвера. Важно отметить, что

этот результат достигнут не только без значительного изменения компоновочных решений источника, но и, что существенно, без увеличения его себестоимости.

Драйвер ИПТ-035-0350-40-3 LEDinGRAD успешно прошёл лабораторно-производственные испытания в составе серийно выпускаемого светодиодного светильника типа «Армстронг» при изменении входного напряжения в диапазоне от 176 до 264 В. В частности, источник питания подтвердил свою работоспособность при многократном включении светильника при граничных значениях входного напряжения указанного диапазона, а также при резком и неоднократном изменении подаваемого на его вход напряжения в диапазоне от 80 до 300 В (посредством автотрансформатора с регулятором напряжения плавного типа, подключённого к входным клеммам источника) при работе светодиодного светильника. Показания малоинерционного амперметра оставались при этом неизменными, регистрируя заданное значение выходного тока 350 мА, в том числе в условиях резкого изменения входного напряжения в диапазоне 110 - 264 В.

### ИСПЫТАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ИПТ 035-0350-40-3 LEDINGRAD К ПОМЕХАМ

Первоначальные результаты испытаний на ЭМС образцов пробной партии ИПТ позволили определить соответствующие направления в корректировке его схемы и в подборе комплектующих компонентов. В результате последующих исследований и испытаний источников ИПТ-035-0350-40-3 LEDinGRAD отмечено отсутствие изменений в их работе после воздействия на них регламентированным стандартами уровнем различных помех максимальной интенсивности. Обеспечение требуемых показателей ЭМС также произведено путём корректировки схемных решений и соответствующего подбора компонентов.

Результаты испытаний источника питания на устойчивость к электромагнитным помехам приведены в табл.2

ТАБЛ. 1. Технические характеристики ИПТ-035-0350-40-3 LEDinGRAD

ВХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	Диапазон напряжений, В	176 - 264
	Частота питающей сети, Гц	48 - 52
	Коэффициент мощности при 220 В, не менее	0,96
	КПД, %, не менее	90
ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	Диапазон напряжений, В	75 - 96
	Ток, мА	350
	Мощность максимальная, Вт	33,6
	Коэффициент пульсаций, %, не более	0,5
КОМПЛЕКС ЗАЩИТ	Защита от перенапряжения	есть
	Защита от перегрузки	есть
	Степень защиты оболочки (IP)	40
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ХРАНЕНИЯ	Диапазон рекомендуемых рабочих температур, °С	- 40...+ 45
	Диапазон температур хранения, °С	- 45...+ 50
	Тип подключения	к выведенным монтажным проводам
	Допустимый уровень влажности (при 25 °С), %	95
СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТАМ	Электростатические разряды	ГОСТ 30804.4.2
	Электромагнитное поле частотой 80-1000 МГц	ГОСТ 30804.4.3
	Наносекундные импульсные помехи	ГОСТ 30804.4.4
	Микросекундные импульсные помехи	ГОСТ Р 51317.4.5
	Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями	ГОСТ Р 51317.4.6
	Динамические изменения напряжения электропитания	ГОСТ 30804.4.11
	Требования по эмиссии кондуктивных радиопомех	ГОСТ Р 51318.15
	Требования по гармоническим составляющим тока и фликера	ГОСТ Р 30804.3.2 ГОСТ Р 30804.3.3
БЕЗОПАСНОСТЬ	Гальваническая развязка	есть
	Электрическая прочность изоляции (вход-выход), Вэфф	3000
ПРОЧИЕ	Плавный пуск	есть
	Габаритный размер пластикового корпуса (ДхШхВ), мм	115 x 29 x 23
	Масса, кг	0,08

График наибольших зарегистрированных пиковых, квазипиковых и средних значений напряжения радиопомех U, создаваемых изделием в порту электропитания переменного тока 220 В, 50 Гц, и нормы квазипиковых и средних значений напряжения радиопомех U<sub>max</sub> по ГОСТ Р 51318.15 представлены на рис. 2.

ИПТ соответствует требованиям по эмиссии кондуктивных радиопомех по ГОСТ Р 51318.15.

### ОТКЛОНЕНИЯ НАПЯЖЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ ИЗДЕЛИЯ ПО ГОСТ 30804.3.3

Отклонения напряжения переменного тока 220 В, 50 Гц при работе изделия:

- характеристика относительного изменения напряжения  $d(t)$  для интервала времени изменения напряжения

500 мс: 1 % , что менее допустимого значения 3,3%;

- установившееся относительное изменение напряжение  $d_c$ : 1,03 % , что менее допустимого значения 3,3%;

- максимальное изменение напряжения  $d_{max}$ : 1,27 % , что менее допустимого значения 4 %;

- кратковременная доза фликера  $P_{st}=0,99$ , что менее допустимого значения 1,0.

Изделие соответствует требованиям ГОСТ 30804.3.3.

Гармоники потребляемого тока, создаваемые изделием, не превышают допустимые значения по ГОСТ 30804.3.2. Гармонический состав потребляемого тока по цепи электропитания переменного тока 220 В, 50 Гц представлен на рисунке 3.

Изделие соответствует требованиям ГОСТ 30804.3.2.

Источник питания ИПТ-035-0350-40-3 LEDinGRAD соответствует требованиям по эмиссии кондуктивных радиопомех по ГОСТ Р 51318.15 и требованиям по гармоническим составляющим тока и фликера по ГОСТ Р 51317.3.2, ГОСТ Р 51317.3.3.

Исследования проведены испытательной лабораторией технических средств по требованиям электромагнитной совместимости Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ), действующий аттестат аккредитации № РОСС.RU.0001.21МЭ56 выдан Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии.

В ИПТ предусмотрен и «плавный» пуск светильника, когда питание на светодиоды от источника подаётся не мгновенно, а с возрастанием до номинального значения в течение, приблизительно, 0,3 - 0,5 с, что для надёжной работы светодиодов играет положительную роль.

В разработанной и подготавливаемой

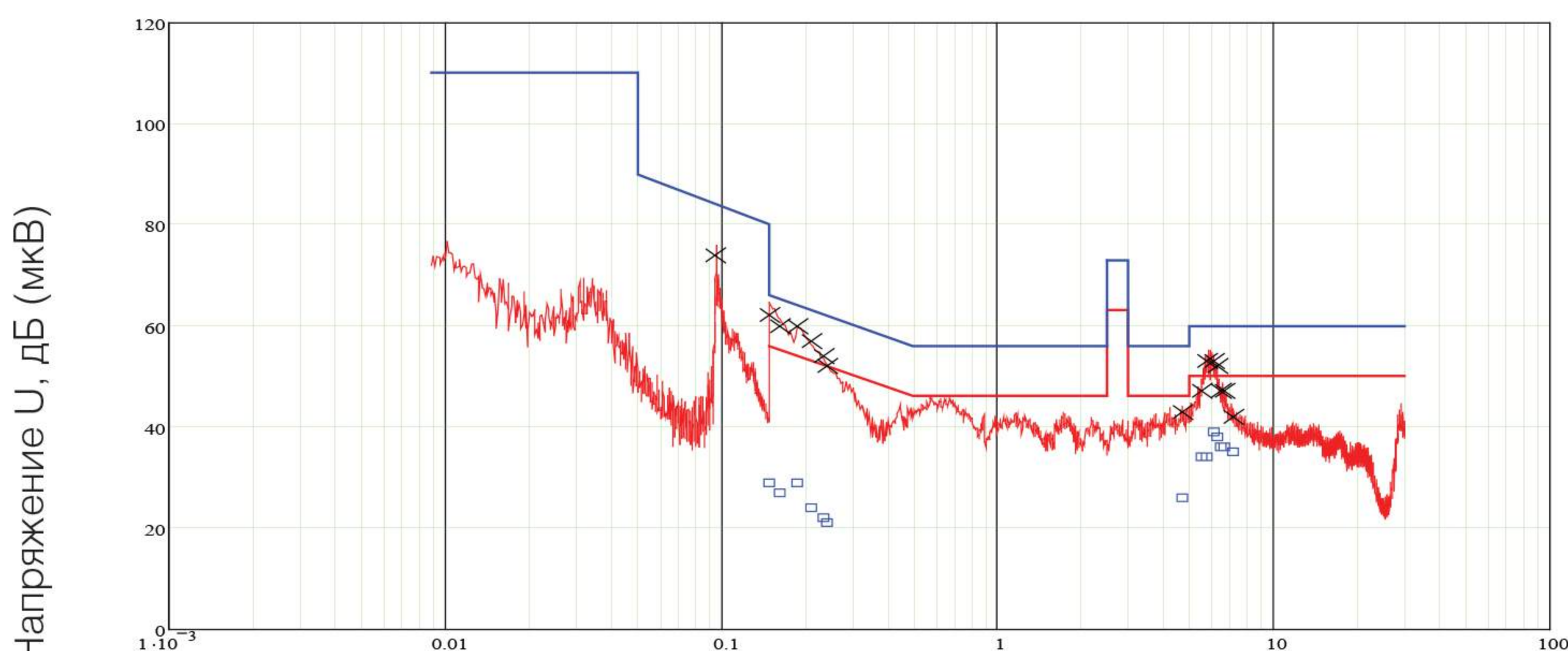
**ТАБЛ. 2.** Результаты испытаний ИПТ на устойчивость к электромагнитным помехам

Вид испытательного воздействия	Значение параметров испытательного воздействия	Соответствие требованиям ГОСТ (критерий качества функционирования)
1	2	3
1. Электростатический разряд по ГОСТ 30804.4.2	Контактный $\pm 6$ кВ	Соответствует (A**)
	Воздушный $\pm 8$ кВ	
	Степень жесткости 3*	
2. Электромагнитное поле по ГОСТ 30804.4.3	10 В/м, 80-3000 МГц	Соответствует (A)
	Степень жесткости 3	
3. Наносекундные импульсные помехи по ГОСТ 30804.4.4	Порт электропитания переменного тока 220 В, 50 Гц через устройство связи-развязки амплитудой $\pm 2$ кВ	Соответствует (A)
	Степень жесткости 3	
4. Микросекундные импульсные помехи по ГОСТ Р 51317.4.5	Порт электропитания переменного тока 220 В, 50 Гц:	Соответствует (A)
	«провод-земля» $\pm 2$ кВ.	
	Степень жесткости 3;	
	«провод-провод» $\pm 1$ кВ.	
5. Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями по ГОСТ Р 51317.4.6	Порт электропитания переменного тока 220 В, 50 Гц напряжением 10 В, частотой 0,15-80 МГц.	Соответствует (A)
	Степень жесткости 3	
6. Динамические изменения напряжения электропитания по ГОСТ 30804.4.11	-30%, 500 мс	Соответствует (A)
	-100%, 10 с	

\* Степень жёсткости 3 соответствует максимальной интенсивности испытательного воздействия (помехи) со стандартными (регламентированными в нормативной документации) параметрами

\*\* Критерий качества функционирования А означает отсутствие изменений в работе изделия при воздействии помехи со стандартными параметрами.

**РИС. 2.** Наибольшие зарегистрированные пиковые, квазипиковые и средние значения напряжения радиопомех  $U$  в дБ (мкВ), создаваемые изделием в цепи электропитания переменного тока 220 В, 50 Гц, и норма квазипиковых и средних значений по ГОСТ Р 51318.15.



Измеренные пиковые значения

x x x Измеренные квазипиковые значения

□ □ □ Измеренные средние значения

— Максимально допустимые квазипиковые значения напряжения радиопомех по ГОСТ Р 51318.15

— Максимально допустимые средние значения напряжения радиопомех по ГОСТ Р 51318.15

к реализации в ближайшее время версии ИПТ LEDinGRAD максимальной полезной мощностью 40 Вт (в том же корпусе, что и ИПТ-035-0350-40-3 LEDinGRAD) реализована защита от короткого замыкания на выходе источника питания как при наличии необходимого для работы напряжения на входе, так и после отключения от сети. Актуальность этой меры в корректировке схемы драйвера обусловлена тем, что в ряде случаев источник питания выходил из строя по причине технологических ошибок со стороны заказчиков изделия — предприятий по сборке светильников (вследствие неправильного монтажа светодиодных модулей).

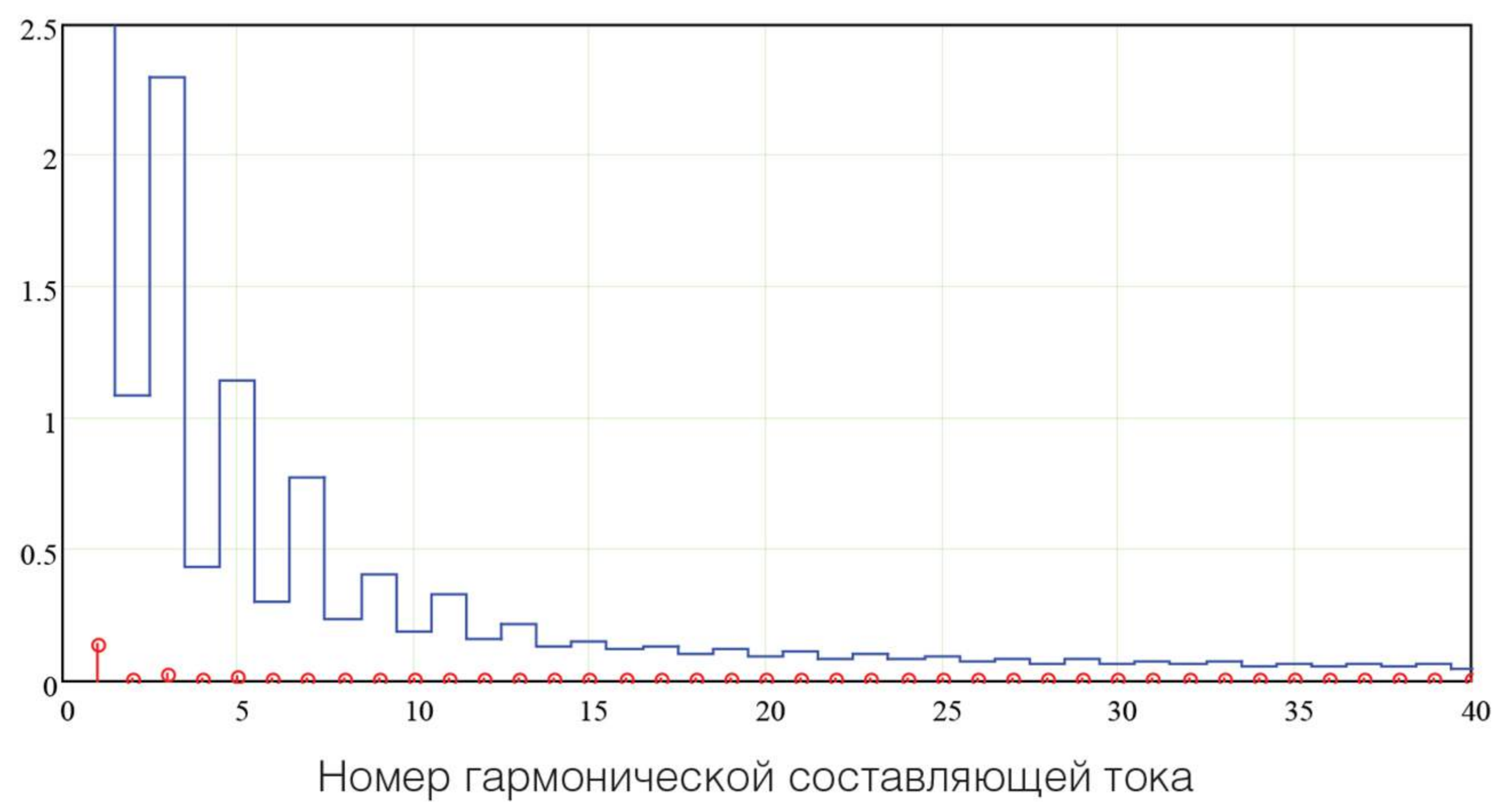
## ВЫВОДЫ

Высокий уровень показателей экономичности (КПД, коэффициент мощности), стойкость к нежелательным внешним электрическим воздействиям, соответствие требованиям по ЭМС, сравнительно низкая себестоимость изготовления ИПТ в сочетании с большим ресурсом светодиодных светильников позволяют существенно сэкономить на оплате потребленной электроэнергии. Выгода применения светодиодных светильников определяется в значительной степени снижением себестоимости комплектующих, прежде всего, источников питания.

Высокий КПД, наличие гальванической развязки, активная коррекция коэффициента мощности (при его высоком уровне), низкий коэффициент пульсаций, соответствие требованиям отечественных стандартов, в том числе по показателям электромагнитной совместимости, сравнительно небольшие габариты — основные отличительные особенности разработанного и освоенного в производстве источника постоянного тока ИПТ-035-0350-40-3 торговой марки LEDinGRAD.

Испытания ИПТ подтвердили реализацию указанных выше основных исходных требований к изделию с точки зрения его показателей экономичности и эффективности, отсутствие вредных электромагнитных взаимодействий с электроприборами и излучений в окружающую среду, а также наличие защит от внешних

**РИС. 3.** Гармонические составляющие тока, потребляемого изделием, и норма гармонических составляющих тока  $I_{max}$  по ГОСТ 30804.3.2.



○ ○ ○ Измеренные значения гармонической составляющей тока  
 — Макс. допустимые значения гармонической составляющей тока

электромагнитных и электрических воздействий (включая броски входного напряжения). ИПТ соответствует требованиям по величинам гармоник сетевого тока, излучаемым в эфир помехам, имеет высокий показатель ЭМС, а также отвечает действующим нормативным документам применительно к этому классу продукции.

Подход, основанный на многолетнем опыте разработки и создания источников питания, позволил найти решение, при котором удалось в одном изделии обеспечить, наряду с высокими КПД и коэффициентом мощности, практически нулевой уровень пульсаций выходного напряжения и соответствие требованиям по ЭМС. При этом воздействие на присущие таким источникам питания нежелательные характеристики произведено путем контроля параметров тока питания светодиодов при активном подавлении пульсационно-эмиссионных помех, прежде всего, за счёт схемных решений. В результате разработчиком схемы успешно решена задача общей оптимизации технических и стоимостных показателей изделия и достигнута поставленная цель - вывести важнейшие показатели ИПТ-035-0350-40-3 LEDinGRAD на высокий уровень при его низкой себестоимости.

В свою очередь, в организационном плане успешно реализован проект создания и освоения выпуска качест-

венного ИПТ в рамках сотрудничества отечественных разработчиков и производителей электронных устройств.

Выпускаемый источник постоянного тока ИПТ-035-0350-40-3 LEDinGRAD имеет показатель удельной мощности свыше 450 Вт/дм<sup>3</sup>, что выше соответствующих значений для источников питания известных российских и зарубежных производителей. Для планируемого к выпуску в ближайшее время драйвера мощностью 40 Вт этот показатель превышает 520 Вт/дм<sup>3</sup>.

Источник постоянного тока для питания светодиодов ИПТ-035-0350-40-3 LEDinGRAD — это базовая модель для разрабатываемых в настоящее время драйверов мощностного ряда 10...100 Вт с необходимыми техническими (включая различные значения выходного тока) и стоимостными показателями



# Источник питания постоянного тока для светодиодов 350 мА 35 Вт



**LEDingRAD®**  
до яркости солнечного света

+7 812 5-777-909  
[www.ledingrad.ru](http://www.ledingrad.ru)



+7 812 5-777-609  
[driver@ledingrad.ru](mailto:driver@ledingrad.ru)