



## СИСТЕМА ИНТЕЛИГЕНТНИ ТЕЛА ЗА АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕНО ОСВЕТЛЕНИЕ

### INTELLIGENT LIGHTING FIXTURES SYSTEM, DESIGNED FOR ARCHITECTURAL AND STAGE LIGHTING

Борислав Ганев  
ТУ-София

#### Abstract

Nowadays light sources development has particularly led to revolution in the design of LED lighting fixtures. The fixtures are becoming more integrated and energy efficient as well as the number of possible additional functions is increasing. This article describes the design of a series of LED fixtures for lighting effects and their system control. The selecting criteria of specific LED elements and their power supply design are presented as well as the description of their firmware.

Keywords: DMX; LED lighting; LED driver; RGB driver; RGBAW driver;

#### ОСНОВНИ ПРОТОКОЛИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ

Съществуват много протоколи за управление на осветлението, като основно те могат да се разделят на аналогови и цифрови. От аналоговите най-често използвани са 0-10V, D54 и AMX192 [1]. Наложилите се протоколи с цифрово предаване на информацията са DALI и DMX-512. Все повече започват да се използват устройства с инфрачервено и радио управление, но за момента употребата им се ограничава основно до системи за домашно ползване, предназначени да регулират до няколко осветителни тела.

Масово използвани са три протокола за управление на осветлението: 0-10V, DALI и DMX. Останалите обикновено са предаване на данните по друг протокол (artnet), като изходът е един от тези три протокола или използване на захранващата линия за пренос и на данни X10 [2].

Аналоговото регулиране (Analog Lighting Control) най-често използва постоянно напрежение в интервала от 0 до 10 V (положително или отрицателно) и се означава като 0-10 V Lighting Control. Напрежението по управляващата линия трябва да е в границите  $-0,5 \div 10,5$  V (съответно  $-10,5 \div 0,5$  V). Осветителните тела обикновено се изключват при 0 V. При напрежения, по-високи от 0,2 V са включени без да излъчват светлина. При напрежения над 9,8 V имат максимална интензивност. Двата проводника за управление може да са тънки, поради малкия ток през тях (около 1 mA). Този вид регулиране на интензитета на осветлението се използва обикновено за къси разстояния, до 10-15 метра, като за по-големи разстояния се налага използване на някой от цифровите протоколи. Основните недостатъци на аналоговото регулиране са:

- Прекалено сложното окабеляване при повече осветителни тела. До всяко тяло трябва да има отделен сигналния кабел.

- Трудно добавяне на ново осветително тяло при вече изградена система.
- Ниската шумозащитеност. При наличие на големи товари в близост, а понякога и самите осветителни тела могат да индуцират големи смущения в сигналния кабел. Тези смущения се приемат като промяна на интензитета.
- По-сложната обработка на повече аналогови канали.

Стандартът DALI [3] е разработен специално за мониторинг и контрол на осветителните системи. Предлага опростен начин за комуникация, съобразен напълно с нуждите на съвременните осветителни системи. Системи за управление на осветлението, базирани на стандарта, могат лесно да се интегрират в системите за сграден мениджмънт (Building Management Systems - BMS).

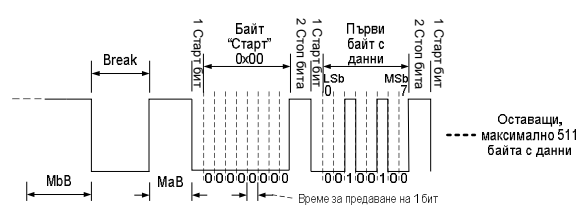
По една DALI линия могат да се свържат до 64 устройства, разделени в до 16 групи. Връзката между всички устройства и контролера се осъществява по двупроводна линия. В токовия източник има захранване и модул за ограничение по ток до 250 mA. Всяко едно от устройствата е галванично разделено от линията. Връзката е двупосочна, което позволява контролера в управляващият блок да получава информация за състоянието на управляваните осветителни тела. Скоростта на обмен е 1,2 kbps. Обикновено DALI се използва за контрол на осветлението в офис сгради. Основният му недостатък е ниската скорост на предаване на данните, поради което не е възможно обновяване на информацията за състоянието на всяко осветително тяло над 20 пъти в секунда.

DMX512 [4] е сериен протокол, използван основно за управление на сценично осветление и специални ефекти. Разработен е от Engineering Commission на USITT през 1986 г., като има редакция през 1990 г., известна като USITT DMX512/1990. През 1998г. започва преразглеждане процеса на разработка на стандарта като ANSI стандарт, която е окончателно одобрена през ноември 2004г.

Стандартът е известен като „Развлекателна технология USITT DMX512-A: асинхронен сериен предаващ цифрови данни стандарт за управление на осветителна техника и аксесоари“ или като „E1.11 USITT DMX512-A“, или просто като „DMX512-A“. Преди появата на DMX512 повечето производители на димиращи устройства са имали свои собствени управляващи протоколи, които били патентовани и несъвместими с устройства на други производители. Чрез създаването през 1986 г. на DMX512 протокола, той става основният стандарт за връзка между контролери, димери, интелигентни осветителни тела и устройства за специални ефекти.

DMX512 е постоянно предаващ пакети протокол, който е опростен, няма включена функция за автоматична проверка за грешки и корекцията им. Използването на DMX512 не е подходящо при критични приложения, от които може да зависи живота или безопасността на публиката или изпълнителите. В приложения, при които е необходима максимална прецизност, откриване и коригиране на грешки, е препоръчително да се използва стандарта MIDI. Първоначалният замисъл на DMX512 е да се използва за регулиране интензитета на халогенни лампи и лампи с нажежаема жичка, широко използвани в театралната индустрия по време на създаването му. Той осъществява еднопосочна връзка от управляващото устройство към осветителното тяло, като използва логическите нива и опроводяването на интерфейса EIA RS-485. Скоростта на предаване на данните е 250 kbps и по двупроводна линия могат да се управляват до 512 осветителни тела. Самите импулси са в пакети от 513 байта и един пакет се предава за 23 ms, т.е. смяната на интензивността на светлината може да се прави максимално до около 44 пъти в секунда.

Групата от 512 канала (димера) се означава в стандарта като „вселена“ (universe). Стандартът не поставя ограничения към броя на използваните „вселени“. Това ограничение идва от бързодействието на контролера. Съществуват системи, които позволяват разширение до 256 „вселени“, което прави 131072 независими канала за регулиране на интензитета. Устройствата във всяка „вселена“ имат свой адрес, като е допустимо да има няколко устройства с еднакви адреси. Обикновено това са осветителни тела от един и същи тип, които трябва да се управляват по еднакъв начин. Много често някои от тези канали се използват за управление на двигатели или други актуаторни модули, променящи положението на осветителното тяло, фокусирането му и др. Адресът на устройството представлява номера на фрейма, от който това устройство ще изпълнява команди т.е при положение, че дадено устройство заема 3 канала и има начален адрес 2, то ще следи данните от фреймове 2, 3 и 4. На фиг. 1 е показана диаграмата на сигнала и наименованията на някои основни времена. Съществуват и контролери, които не предават всички 513 байта. Всяко устройство, приемащо този сигнал, трябва да може да „разпознае“ последователността Break, MaB и „Байт Старт“, да използва байтовете с данни, след което да чака отново за Break. Поради факта, че протоколът използва EIA RS-485, който определя електрическите характеристики на устройствата, свързани в балансираната система, към всеки изход могат да се свържат до 32 входа на други устройства.



Фигура 1. Времедиаграма на DMX сигнал

Таблица 1. Основни времена на DMX сигнал

Описание	min	typ	max	
Break	88	88	1000000	μs
MaB	-	8	-	μs
старт/данни/стоп битове	3,8	4	4,2	μs
MbB	-	-	1000000	μs

При необходимост от повече устройства, към системата се добавя сплитер. В повечето случаи той развързва галванично входа и изходите. Трябва да се има предвид, че сплитерът също натоварва системата като едно устройство. Някои производители залагат в своите устройства и DMX повторители. В този случай не е необходимо използване на сплитер.

На края на всяка линия се поставя резистор (терминатор) 120Ω между линиите Data+ и Data-. Ролята му е да погаси отразените вълни от сигнала, които може да смущават нормалната работа на устройствата в мрежата. Този интерфейс е най-подходящ за ползване при осветителни тела, предназначени за ефектно осветление, където е необходима бърза промяна на посоката, интензитета или цвета на излъчвания светлинен поток.

Предимствата му са:

- Достатъчно бърз пренос на данните. Всеки канал се обновява над 40 пъти в секунда.
- Много добра шумозащитеност, благодарение на стандарта EIA RS-485.
- Сравнително лесен и евтин за реализация.

Съществен недостатък на протокола, отстранен в по-късните му ревизии (след 2006г.), е липсата на обратна връзка, т.е липсва информация за изпълнението на командите и за наличие на повреди.

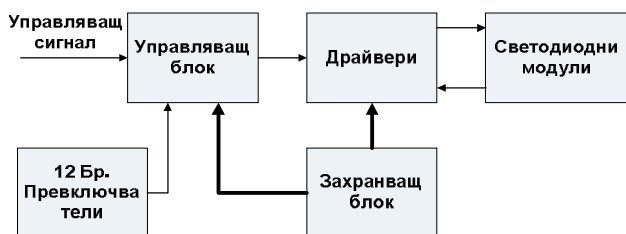
В настоящата статия е разгледано проектирането и реализацията на няколко вида интелигентни светодиодни осветителни тела, управлявани по интерфейса DMX и предназначени за архитектурно-художествено осветление.

## ПРОЕКТИРАНЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НА ИНТЕЛИГЕНТНИТЕ ОСВЕТИТЕЛНИ ТЕЛА

Първото, от разглежданите осветителни тела, е съставено от 20 броя червени, 15 броя зелени, 15 броя сини, 15 броя кехлибарени и 15 броя студено бели светодиода, всеки с мощност 1 W. Те ще бъдат групирани в 5 светодиодни модула, съответно с по 4 броя червени, 3 броя зелени, 3 броя сини, 3 броя кехлибарени и 3 броя бели. Тези модули се захранват от 25 драйвера, реализирани с ZXLD1350/1360, и групирани по 5 броя за всеки светодиоден модул - RGBAW. Всеки драйвер се управлява

с отделен сигнал (PWM) от микроконтролера в управляващия блок. На фиг. 2 е показана обобщената блок схема на осветителното тяло. Управлението е по DMX, като началният адрес се задава с 10 позиционен DIP превключвател (за 512 адреса са необходими 9 позиции), десетият превключвател се използва за определяне режима на работа на осветителното тяло: Като едно цяло - петте светодиодни модула светят по един и същ начин, и тялото заема 5 DMX канала; Или всеки светодиоден модул може да свети по различен начин и устройството заема 25 DMX канала.

Добавени са и още два превключвателя за режима на работа на осветителното тяло: за включване и изключване на Master и Strob (в този случай осветителното тяло заема съответно 7 или 27 DMX канала), и за включване на терминаращ резистор. Осветителното тяло има и 2 светодиода за индикация на състоянието му. Един за наличие на захранване (зелен), и един, който показва приемане на DMX сигнал (червен). На фиг. 2 е показана блоквата схема на осветителното тяло с връзките между отделните блокове. Сигналите Data A и Data B са с нива  $\pm 12 V$ . 25-те PWM изхода са с нива  $0 \div 5 V$ , а изходите на драйверите са с нива  $0 \div$  захранващото напрежение. Захранващият блок осигурява галванично разделяне от мрежата и необходимите напрежения за работата на останалите блокове. С цел опростяването му, а и за да може да се използва стандартен захранващ блок, е желателно използването само на едно захранващо напрежение. Неговата стойност трябва да е по-голяма поне с 2 V от максималното за всеки цвят, но трябва да е по-ниско от максималното захранващо напрежение за драйверите – 30V. Мощността на захранващия блок, в случая, е около 100 W.



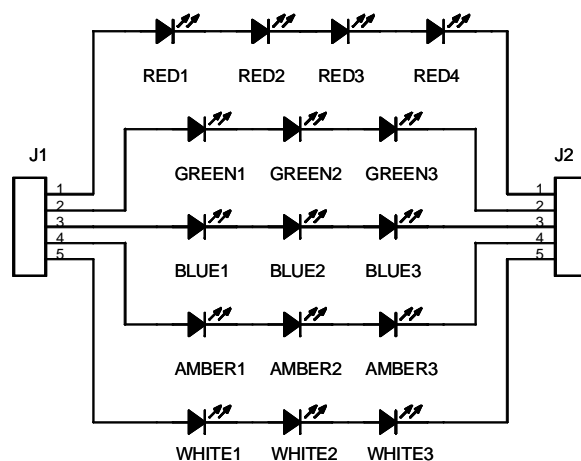
Фигура 2. Блоквата схема на осветително тяло

## СВЕТОДИОДНИ МОДУЛИ

Изискванията към светодиодите са: да имат характеристика на излъчване тип Lambertian (за да могат да се ползват вторични оптики) и минималния им светлинен интензитет, да е по-голям от зададения. Използвани са съответно:

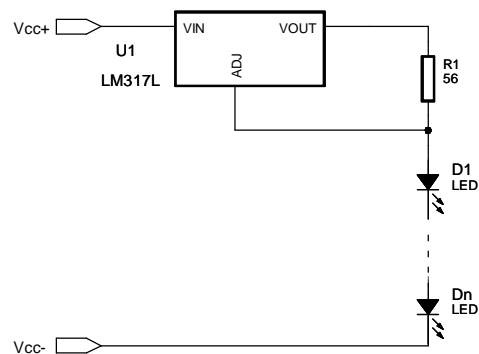
Червен - LXHL-PD01, Зелен - LXHL-PM01, Син LXHL-PB01, Кехлибарен- LXHL-PL01 и Бял - LXHL-PW01.

Схемата на светодиодните модули е показана на фиг.3. Начинът на групиране на светодиодите определя минималното захранващо напрежение.



Фигура 3. Схема на светодиоден модул

Те трябва да са разпределени симетрично по цвят върху печатната платка. Минималното разстояние между тях е съобразено с размерите на вторичната оптика – 19,7mm. С цел по-добро охлаждане, производителя на светодиодите препоръчва печатната платка да е с алуминиева основа (Metal core PCB или MPCB). Това създава определени неудобства (печатната платка е едностранна и без преходни отвори, а всички елементи, включително и съединителите да са SMD). Монтажа на светодиодите трябва да се извърши съгласно указанията на производителя.



Фигура 4. Схема за захранване на светодиоди с мощност до 0,1W

За захранване с константен ток на светодиоди с мощност до 0,1 W, е удачно да се използва схемата от фиг. 4. В светодиодния модул е вграден и драйверът за константен ток. Когато няма необходимост от управление, модулт може да работи и самостоятелно. В случай, че е необходимо управление,  $V_{CC+}$  на всички модули се свързва към захранващия източник, а  $V_{CC-}$  към някой изход на драйверите реализирани по схемите от фиг. 6 или фиг. 7.

На базата на тази схема са реализирани два светодиодни модула:

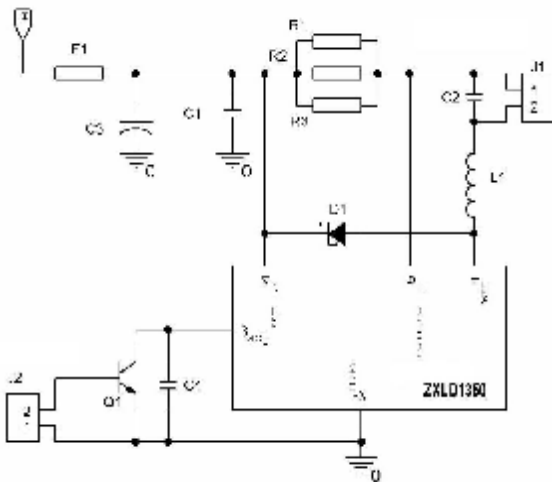
Първият е предназначен за заместване на лампи тип MR16. Използват се 14 бр. светодиоди тип ET-5050W-3F1W (бели) или HT61-23SURUBUBGC (RGB вариант). Захранващото напрежение е 24V.

Вторият е за светодиоди тип OSR5RU5B64A-LM, свързани по 7 последователно, пак със захранване 24V.

## ДРАЙВЕРЕН БЛОК

Драйверният блок е съставен от 25 еднотипни драйвера, реализирани със ZXLD1350. Схемата на един драйвер е показана на фиг. 5.

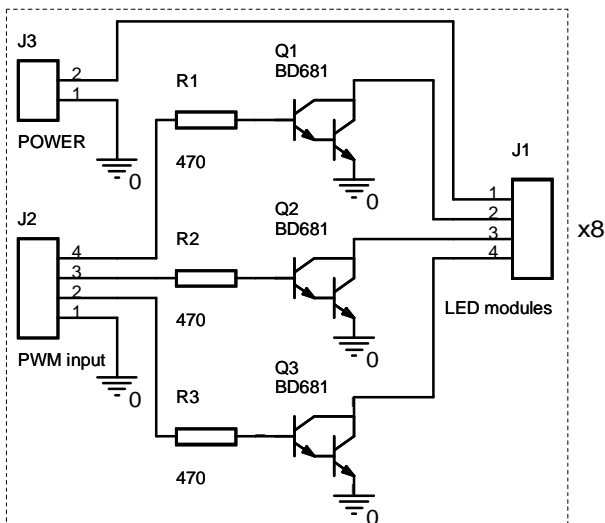
Повечето производители на светодиоди препоръчват регулирането на осветеността да се осъществява чрез PWM, с ток близък до максималния, т.е. светодиодът работи с максимален ток, като осветеността се определя от коефициента на запълване. Транзисторът включва и изключва интегралната схема с честотата на PWM-а. Особеността тук е, че на базата на транзистора трябва да се подаде инвертиран PWM (т.е. при  $D = 100\%$ , ИС ще е изключена). Препоръчва се честотата на PWM сигнала да е ниска  $50 \div 300 \text{ Hz}$  [5, 6, 7] заради по-големия динамичен обхват 1:100. ZXLD1350 има вграден филтър на adj входа, който при по-високи честоти преобразува PWM сигнала в напрежение.



Фигура 5. Драйверен блок реализиран с ZXLD1350/ZXLD1360

Резисторът  $R_S$  е заменен с три паралелни резистора R1, R2 и R3, с цел по-точно установяване на изходния ток. И трите резистора трябва да са с толеранс поне 1%.

Кондензаторът C1 е със стойност  $1 \mu\text{F} \div 4,7 \mu\text{F}$ , с X7R диелектрик. Той се разполага възможно най-близо до



Фигура 6. Схема с биполярни транзистори

интегралната схема. Работното му напрежение трябва да е по-голямо от захранващото поне с 20%. Избран е

GCM31CR71E475KA55L на фирмата Murata, със стойност  $4,7 \mu\text{F} / 25\text{V}$ .

Кондензаторът C2 се използва в случай, че максималният импулсен ток е по-голям от този на светодиодите (в случая 0,5A). Стойност от  $1 \mu\text{F}$  ще намали пулсациите на изходния ток 3 пъти. Изискванията към него са същите като към C1 – X7R диелектрик и работно напрежение поне с 20% по-високо от захранващото. Използван е GCM31MR71H105KA55L,  $1 \mu\text{F}/50\text{V}$  също на Murata. Кондензаторът C3 е филтриращ. Стойността му е  $220 \mu\text{F}$ , а работното напрежение също е с поне 20% по-високо от захранващото. Целта на F1 е да прекъсне веригата на захранването, при дефект в интегралната схема, при който да не спира работата на цялото осветително тяло, а само дефектния драйвер. Консумацията на схемата при нормална работа не надвишава 250mA. Номинален ток от 1A за F1 ще осигури достатъчен запас, необходим при първоначално включване за зареждане на C1 и C3. C4 е предвиден като опция, в случай, че не се ползва Q1, за да филтрира напрежението на извод adj. За диода D1 е използван ZLLS1000. Препоръчва се от производителя на ИС, с ток в права посока  $I_F = 1,1\text{A}$ , и максимално обратно напрежение 40V. За Q1 е удачно да се ползва транзистор с вградено съпротивление последователно на базата. Използван е DTC143TKAT146. Неговото напрежение  $V_{CEmax} = 50\text{V}$  а  $h_{femin} = 100$ .

Бобината L1 е със стойност  $100 \mu\text{H}$ , тип CW68-813313NP-101K. C rL  $0,26 \Omega$ ;  $Q_{min} = 20$ ;  $I_{dcmax} = 640\text{mA}$ ; и максимална работна честота 7,7Mhz.

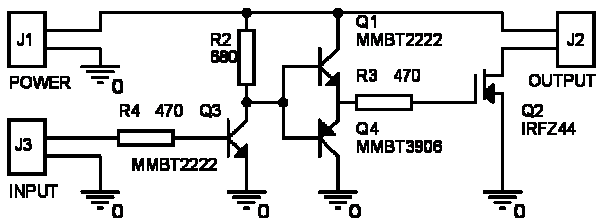
R1 и R2 са CRCW08051R00FKEA по  $1 \Omega / 0,125\text{W}$ , а R3-RL1220S-R68-F, със стойност  $0,68 \Omega / 0,25\text{W}$ . Общото им съпротивление ( $R_S$ ) е:  $0,288 \Omega$ .

При прекъсване на веригата със светодиодите се прекъсва изходната верига, при което не могат да се индуцират опасно високи напрежения [8,9].

На базата на разгледания драйверен блок са разработени няколко различни модификации, използващи едни и същи печатни платки. С използване на ZXLD1356, може да се увеличи захранващото напрежение до 60 V. ZXLD1360 е за изходен ток до 1A. ZXLD1366 е с изходен ток до 1A и 60V захранващо напрежение. Това позволява постигането на изходна мощност на едно осветително тяло от няколко десетки вата до около 1000W. Коефициентът на полезно действие на драйверите е около 0,9, като в зависимост от използваната интегрална схема и конкретните елементи (за различните модификации, разликите са в използваната индуктивност и трите резистора), е в обхвата  $0,84 \div 0,95$ .

За приложения, изискващи по-малко управляващи канали, е разработен и драйвер с 3 интегрални схеми ZXLD1350. Използва се отново схемата от фиг.5.

На фиг.6 е показан вариант на драйверния блок, предназначен за управление на модули, които могат да се включат направо към захранващо напрежение. Такива са гъвкавите светодиодни ленти, все по-често използвани в последно време, както и модулят, показан на фиг.4. Схемата е подходяща за изходен ток до 3,5A на канал. При необходимост от по-голям изходен ток, е удачно използването на драйвер, реализиран на базата на MOSFET транзистор (фиг.7).



Фигура 7. Схема с MOSFET транзистор

## УПРАВЛЯВАЩ БЛОК

Основен елемент на управляващия блок е микроконтролерът. Той приема управляващия DMX сигнал и го преобразува в 25 отделни PWM сигнала с ниска честота (~100 Hz). Изискванията към него са:

- Поне 537 байта RAM -512 за DMX сигнал + 25 за PWM и още няколко байта за помощни променливи и др.
- Тактова честота поне 16 MHz. За PWM изходите ще трябва обновяване на всеки 40µS, приемане на DMX (250KHz/ 4 µS) и още няколко µS за обработката му.
- Достатъчно входове/изходи - 25 изхода ще са необходими за PWM-и, 1 вход на UART, за приемане на управляващия сигнал, 3 входа от превключватели за начален адрес, останалите 8 ще бъдат мултиплексирани с 8 PWM изхода.

За микроконтролер е използван PIC18F4520-IP, работещ на 10 MHz в режим на умножение на тактовата честота x 4, с цел по-голяма електромагнитна съвместимост. С Timer 2

е реализиран генератор на 25-те PWM сигнала. UART модула е конфигуриран за приемане на 9 битови данни. Следи се дали началото на всеки байт започва с нулев бит.

С помощта на две интегрални схеми 74HC541, 8 от PWM изходите (порт B), се изключват при първоначална инициализация и се включват към DIP превключвателите, за да се прочете началния адрес. При нормална работа, той повече не се променя. В случай, че е необходима неговата промяна (при настройка или тестване), след промените осветителното тяло трябва да се рестартира. С SN75176 е реализиран преобразувател от EIA RS-485 ниво към TTL ниво. Добавен е и терминиращ резистор 120Ω / 0,25W, който може да се изключва чрез DIP превключвател.

LM7805 е използван за стабилизатор на напрежение, който понижава захранващото напрежение от 18V на 5V.

За приложения, изискващи по-малко управляващи канали, е разработена „умалена“ версия на управляващия блок. За микроконтролер е използван PIC2420-IP, като възможните PWM изходи са 9.

Изискванията към захранващия блок, по отношение на стабилност и пулсации на изхода, не са големи (18V ± 20%,  $V_{Pmax} = 1V$ ), защото и двете схеми, които се захранват представляват стабилизатор на ток (25-те драйвера, или схемата от фиг.4) или има стабилизатор на напрежение (управляващия блок). От захранването в голяма степен зависи безопасната и надеждна работа на осветителното тяло. S-150-18 на MeanWell е подходящ за използване.



Фигура 8.Практическа реализация на осветително тяло

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата работа са предложени няколко варианта за реализиране на светодиодни тела, предназначени за архитектурно-художествено осветление. Основните им предимства пред конвенционално използваните осветителни тела за тази цел са:

- Липса на подвижни механични и бързо износващи се елементи.

- Получаване на ясно изразени и наситени цветове, без използването на цветни филтри.
- По-ниска консумация. Спрямо лампите с належаема нишка, все още използвани в много осветителни тела, разликата в консумацията може да достигне няколко пъти.
- Висок експлоатационен срок. В зависимост от използваните светодиоди, и конкретните условия на работа, може да достигне до 50 000 часа.

Всяко едно, от разгледаните осветителни тела е реализирано на практика. Тестовите в реални условия потвърждават предполагаемия потенциал за пестене на електроенергия и удачния избор на използваните технологии.

Част от представените изследвания са осъществени в рамките на проекта "132ПД 0057-03", който е финансово подпомаган от НИС при ТУ-София.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] <http://www.pathwayconnect.com/content/view/12/26>
- [2] <http://x10modules.com/pages.php?page=505>
- [3] "Digital Addressable Lighting Interface," [Online]. Available: <http://www.dali-ag.org>.
- [4] [http://tsp.plasa.org/tsp/documents/published\\_docs.php](http://tsp.plasa.org/tsp/documents/published_docs.php).
- [5] Todorov D., A. Grigorov. Digital regulated parallel power and current sources for laser diodes driving. Proceedings of conference Electronics ET'2006.
- [6] Yankov P., Todorov D. Saramov E; "Drivers for High Power Laser Diodes"; OME INFORMATION 2006 China; Vol.23; No.6; p.23-27.

- [7] Ott M. Capabilities and reliability of LEDs and laser diodes.1997.
- [8] Huang B. J., M. S. Wu, C. W. Tang, J. W. Cheng. Reliability test of LED driven by PWM technique.
- [9] Cree LED Lamp Reliability Test Standard. [www.cree.com/ledlamps](http://www.cree.com/ledlamps)
- [10] Smedly, K. M., "Control art of switching converters", California Institute of Technology, Pasadena, California, 1991.
- [11] Tongsheng M., The latest developments of LED measurement techniques and standards, [www.sensing.net.cn](http://www.sensing.net.cn)
- [12] Chang, W. S. C., "Principles of lasers and optics", Cambridge University Press, 2005, pp. 212-245.
- [13] <http://teslaco.com/circuits.htm>

Маг.инж. Борислав Тодоров Ганев, e-mail: [b\\_ganev@tu-sofia.bg](mailto:b_ganev@tu-sofia.bg) Редовен докторант, Технически Университет-София, 1000, бул. „Климент Охридски“ 8, Факултет Електронна техника и технологии, катедра Електронна Техника.