

ОСОБЕНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ВЪТРЕШНИ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ С LED ЛАМПИ И ОСВЕТИТЕЛИ

Георги Димитров
dimitrov_gd@mail.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
1574 София, ул. „Гео Милев” 158
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** Светодиодно осветление; Проектиране на осветителни уредби със светодиоди /LED/; Изчисляване на електрическите инсталации.*

***Резюме:** Развитието на светодиодните /LED/ технологии през последното десетилетие създаде предпоставки за широкото приложение на LED лампи и осветители при изграждането на вътрешни осветителните уредби в жилищни, офисни и производствени сгради, а също така в железопътни гари и метростанции. Специфичният начин на хранване и управление на светодиодите с използване специализирана за целта пусково-регулираща апаратура, изисква и нов подход при проектирането на електрическите инсталации за хранване на осветителните уредби, изградени с тези светлинни източници.*

В доклада е представена кратка практико-приложна методика за проектиране на вътрешно осветление със светодиодни светлинни източници, чиято цел е да се подпомогне работата на проектантите при избора на: фотометрични и енергийни параметри на LED лампите и/или осветителите; сечение на проводниците на хранващите линии; защитни комутационни апарати (автоматични предпазители и дефектнотокови защити) за хранващите осветлението токови кръгове. Основно внимание е отделено на проектирането на електрическите инсталации за хранване на LED осветителните уредби по отношение правилния избор на броя лампи и/или осветители, присъединени към един токов кръг с отчитане влиянието на пусковите токове, хармоничните изкривявания и общия фактор на мощността λ .

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните години светодиодите /LED/ намират все по-широко приложение в изкуственото осветление. Светодиодните лампи и осветители вече имат значителен дял на световния пазар поради множество предимства, които те притежават. По-основните от тях са висока светлинна ефективност (светлинен добив най-малко 90-100 lm/W, като вече масово се произвеждат и LED осветители с ефективен светлинен добив от 120-140 lm/W) и дълъг експлоатационен живот (при правилно управление на светодиодите, до 50-60 хил. часа).

В доклада е представена кратка базова методика, с практическа насоченост, за проектиране на електрически инсталации за вътрешно осветление с LED светлинни източници. Основната цел на разработката е да се систематизира и обобщи

специализирана информация от множество източници, която да подпомогне работата на проектантите при правилното оразмеряване на захранващите електрически линии за осветление и избора на защитни апарати за тях, както и при определяне на допустимия брой LED лампи и осветители към даден токов кръг или командна секция, включително избор на апарати за управление на осветлението.

АНАЛИЗ НА ПРОБЛЕМА

Масовото използване след 2000 г. на електронни захранващи преобразуватели за флуоресцентни лампи, а след 2010 г. и такива за LED светлинни източници, доведоха до основни промени в традиционните методи при проектиране на електрически инсталации за осветление. В същото време в България няма издадена актуална техническа литература по проектиране на осветителна и инсталационна техника, която да отразява особеностите на енергоспестяващото осветление и в частност светодиодно такова. Действащата у нас нормативна уредба, свързана с проектирането на вътрешни електрически инсталации, в т.ч. и такива за осветление, дава само най-общи указания без да посочва спецификите при различните видове светлинни източници. Основните особености при електрическото проектиране на осветителни уредби /ОУ/ с LED са свързани с отчитане на несинусоидалната форма и капацитивния характер на входния ток, както и на специфичните режимни параметри на захранващите преобразуватели.

В общия случай захранващите преобразуватели (драйверите) за LED лампи и осветители емитират в захранващата мрежа висши хармоници на тока. В стандарта за електромагнитна съвместимост БДС EN 61000-3-2:2014 [1] лампите и осветителното оборудване се отнасят към технически средства от клас С. За тях са дефинирани гранични стойности на хармоничните съставлящи на тока, които за лампи и осветители с мощност > 25 W са посочени в таблица 1.

Таблица 1

Гранични стойности на хармоничните съставлящи на тока за лампи и осветители с мощност > 25 W

Пореден номер на хармоника n	Максимално допустима стойност на хармоничната съставляща на тока, изразена в проценти от входния ток за основната честота
2	2
3	$30.\lambda^*$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (само за нечетни хармоници)	3

* λ е фактора на мощност на лампата или осветителя.

Таблица 2

Граничните максимални стойности на хармоничните съставлящи на тока, зависими от мощността, за лампи и осветители с мощност $\leq 25 W$

Пореден номер на хармоника n	Максимално допустима стойност на хармонична съставляща на тока за 1 ват мощност, mA/W
3	3,4
5	1,9
7	1,0
9	0,5
11	0,35
$13 \leq n \leq 39$ (само за нечетни хармоници)	$3,85/n$

Съгласно стандарта [1] за лампите и осветителите изискващи ПРА (вградена или външна) и с мощност $\leq 25 \text{ W}$ се изисква да бъде изпълнено едно от следните две условия за съдържанието на висши хармоници във входния ток:

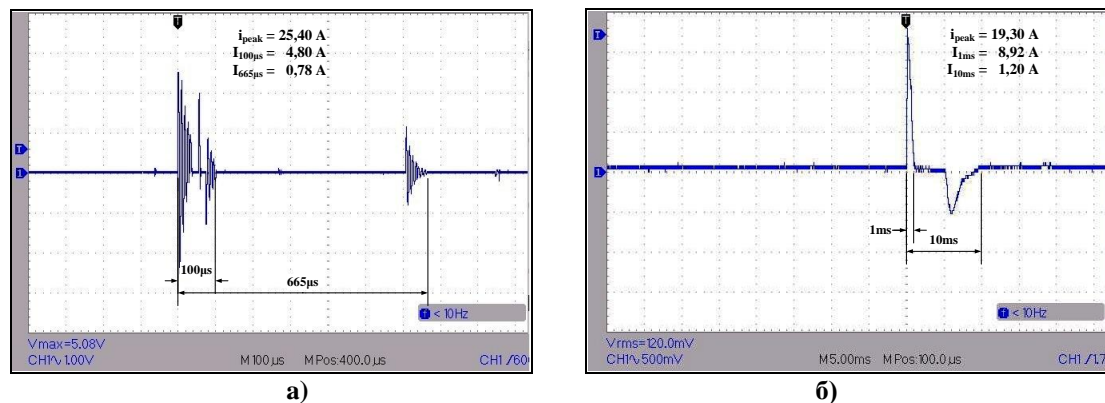
1) хармоничните съставлящи на тока не трябва да превишават граничните максимални стойности, зависими от мощността, посочени в таблица 2;

2) съдържанието на трети хармоник трябва да бъде $\leq 86\%$ от относителната стойност на тока с основна честота (50 Hz) приет за 100%, а пети хармоник $\leq 61\%$ (за висшите хармоници след пети не са посочени конкретни ограничения).

Стандартът [1] дефинира и гранична форма на кривата на входния ток по отношение фазовите ъгли на характерни моментни стойности на тока, спрямо нулевото начало на напрежението.

Проведени изследвания публикувани в [2] показват, че на практика всички LED лампи и осветители с активна мощност $\leq 15 \text{ W}$, предназначени основно за жилищно приложение, се произвеждат съгласно условие 2). Само една малка част от фирмите производителки предлагат LED лампи и осветители с мощност $15 \div 25 \text{ W}$, основно предназначени за нежилищно приложение, съответстващи на нормите в таблица 2.

Като втори проблем може да се посочи значителните по стойност пускови токове при LED лампите и осветителите (с пикова стойност до 250 пъти номиналния работен ток), следствие наличието на значителен по стойност капацитет във входната верига на драйверите. Тези краткотрайни свръх токове могат да предизвикат изключване на защитните апарати. На фигура 1 [3] са показани осцилограми на пускови токове на два LED осветителя с различни мощности, заснети в Научноизследователска лаборатория „Осветителна техника” към МГУ „Св. Иван Рилски”.



Фиг. 1. Осцилограми на пускови токове на LED осветители

а) LED осветител с мощност 20 W , $I_{\text{ном.}} = 0,091 \text{ A}$; б) LED осветител с мощност 60 W , $I_{\text{ном.}} = 0,290 \text{ A}$

Основните специфики при електротехническото проектиране на вътрешни ОУ с LED светлинни източници се свеждат до правилно оразмеряване на захранващите линии (токовите кръгове), определяне броя на лампите и/или лампените излази към един токов кръг или командна секция, избор на параметри на защитните апарати и избор на управляващи апарати за включване и изключване на осветлението.

ОСОБЕНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИНСТАЛАЦИИ ЗА ВЪРЕШНО LED ОСВЕТЛЕНИЕ

Реализирането на качествено осветление и надеждността на функциониране на осветителните уредби е свързано с правилен избор на фотометрични параметри на светлинните източници, както и с коректното оразмеряване на всички елементите във веригите за електрозахранване и управление на осветлението.

1. Избор на цветна температура и базови фотометрични параметри на LED лампи и осветители

За осигуряване на необходимия зрителен комфорт при извършване на различни по характер задачи е необходимо поддържането на съответни нива на осветеност, а също така и подходящ цвят на светлината. Съществуват известни зависимости между комфортния цвят на светлината и нормираните нива на осветеност, които са показани в таблица 3 [4].

Таблица 3

Група светлинни източници	Цвят на светлината	Цветна температура CCT	Нормена осветеност
1	топло-бяла	под 3300 К	≤ 200 lx
2	неутрално-бяла	от 3300 К до 5300 К	200÷500 lx
3	дневно-бяла	над 5300 К	> 500 lx

Индексът на цветопрераждане **CRI** (или **R_a**) на LED лампите и/или осветителите трябва да бъде най-малко 80, а коефициентът на пулсации на светлинния поток да бъде до 5%. Наред с това следва да се следи и за допустимите стойности на вредни некохерентни оптични лъчения основно с дължини на вълната 300÷700 nm.

Общият брой на осветителите в дадена сграда се определя чрез светлотехнически изчисления за всяко помещение, а тяхното разпределение по токови кръгове и командни секции се извършва на база оптимална работна мощност според фактора на мощност λ и след оценка на максималния пусков ток.

2. Избор на сечение на проводниците на захранващите линии

Изборът на сечение на проводниците на захранващите линии (токовите кръгове) за осветление се извършва по максимално допустимо токово натоварване (според изолацията на проводниците, обичайната околна температура, броя натоварени провод и начина им на полагане) и обща допустима загуба на напрежение (за захранваща система 220/380 V се препоръчва тя да бъде до 2,5%, а за система 230/400 V – до 4%).

Обичайно в практиката токовите кръгове за вътрешно осветление се изграждат с проводници или кабели с PVC изолация и медни жила. В жилищни, административни и офисни сгради, а също така в ж.п. гари и метростанции те се изграждат основно като еднофазни със сечение на проводниците 1,5-2,5 mm². Вътрешните електрически инсталации за осветление в тези обекти се изпълняват скрито положени в стените и таваните, както и над невентилирани окачени тавани. За вътрешно осветление на индустриални обекти (производствени цехове, складове, ремонтни халета и др.) обикновено се използват LED осветители с единична мощност от 50 W до няколкокостотин вата, като често се използва трифазна схема на захранване със сечение на проводниците 1,5-4,0 mm², а инсталациите се изпълняват открито (окачени на скоби по стените и таваните или положени върху перфорирани кабелни скари). Важно е да се отбележи, че методът на изпълнение на инсталациите оказва пряко влияние върху допустимото токово натоварване на проводниците и кабелите [5, 6].

Основната особеност при осветителните уредби с LED е точното определяне на ефективната стойност на номиналния работен ток **I_{eff}** във всички натоварени проводници, с отчитане съдържанието на висши хармоници на тока. При трифазно захранване на осветителите с 4-ри и 5-проводни линии, хармониците оказват пряко влияние върху избора на сечение както на фазните, така и на неутралния проводници чрез специфични корекционни коефициенти [5, 6].

Сечението на проводниците се определя за най-натоварения участък на токовите кръгове за осветление, като при такива с дължина 35÷50 m и множество паралелни отклонения от тях, е целесъобразно сечението на проводниците в цялата им дължина да

бъде едно и също. Допуска се еднофазни отклонения към 2÷4 лампени излаза с обща мощност до 250 W и дължина до 10 m да се проектират със сечение 1,0 mm².

За определяне сечението на проводниците на токови кръгове, захранващи LED лампи и осветители е препоръчително да се спазва следната последователност:

– **Изчисляване на ефективната стойност на работния ток в натоварените проводници на токовия кръг.**

Изчисленията се провеждат според фазността на токовете кръгове с използване на следните формули:

$$(1) \text{ при еднофазен } - I_{eff L,N} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{Li}}{U_{L-N} \cdot \lambda}; \text{ при трифазен } - I_{eff L} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{Li}}{\sqrt{3} \cdot U_{L-L} \cdot \lambda} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{Li}}{3 \cdot U_{L-N} \cdot \lambda},$$

където:

$I_{eff L,N}$ е ефективната стойност на работния ток в двата натоварени проводника (фазен и неутрален) на еднофазен токов кръг, A;

$I_{eff L}$ – ефективната стойност на работния ток във фазните проводници на трифазен симетричен (балансиран) токов кръг, A;

P_{Li} – номинална активна мощност на i -тата лампа или осветител, W;

U_{L-L}, U_{L-N} – съответно линейното и фазното напрежение в трифазен токов кръг, V;

λ – общ фактор на мощността.

Ако факторът на мощност не е известен, се препоръчва за токови кръгове захранващи ОУ с LED лампи и осветители с единична мощност до 25 W изчисленията да се извършат с $\lambda = 0,5$, а за такива мощност над 25 W – $\lambda = 0,85$.

– **Коригиране на ефективната стойност на тока, според температурата на околната среда и методът на изпълнение на инсталациите.**

Корекцията е необходима за да се отчете реалното прегряване на проводниците, следствие на протичащия електрически ток, както и разсейването на топлина от близко положени проводници или кабели.

$$(2) I'_{eff} = \frac{I_{eff}}{k_1 \cdot k_2},$$

където:

I'_{eff} е коригираната ефективна стойност на тока в най-натоварения проводник, A;

k_1 – корекционен коефициент за температура на околната среда, различна от 30°C;

k_2 – корекционен коефициент според метода на изпълнение на електрическите инсталации и броя на прилепените или близко разположените снопове проводници или кабели.

Стойността на корекционните коефициенти се избира от специализираната справочна литература [5, 6] или фирмени каталози за проводници и кабели.

– **Изчисляване на тока в неутралния проводник N при трифазен симетричен токов кръг.**

Когато токовият кръг, захранващ еднотипни LED осветители, е изпълнен трифазно и съдържанието на хармоници кратни на три е по-голямо от 15% е необходимо да се изчисли и токът в неутралния проводник, който може да се яви определящ при избора на сечение на захранващата линия [5, 6]. При трифазните токови кръгове е необходимо да се следи за равномерното разпределение на мощността между

отделните фази. Допустимата несиметрия е до 15%. Изчислителните формули за симетричен (балансиран) трифазен токов кръг са:

$$(3) I'_{eff N} = \frac{I_{eff L}}{k_1 \cdot k_2} \cdot 3 \cdot k_{3h}, \quad I'_{eff N} = \frac{I_{eff L}}{\sqrt{1 + THD_I^2} \cdot k_1 \cdot k_2} \cdot 3 \cdot \frac{I_{3h} \%}{100},$$

където:

$I'_{eff N}$ е изчислителна стойност на тока в неутралния проводник на симетричен (балансиран) трифазен токов кръг вследствие хармоници кратни на три, А;

k_{3h} – коефициент на хармониците кратни на три в $I_{eff L}$ - $k_{3h} = (\sum I_{3k}^2)^{0,5} / I_{eff L}$ (I_{3k} , А);

$I_{3h} \%$ – общо относително съдържание хармоници кратни на 3, % - $I_{3h} \% = (\sum I_{3k} \%^2)^{0,5} \cdot 100$;

THD_I – общи хармонични изкривявания на тока - $THD_I = THD_I \% / 100$.

Тъй като в общия случай за използваните LED лампи и осветители не са известни стойностите на общите хармонични изкривявания на тока и/или относителното съдържание на хармониците кратни на три, за изчисляване на тока в неутралния проводник при трифазни симетрични токови кръгове се препоръчва да бъдат използвани стойностите посочени в таблица 4.

Таблица 4

Мощност на една LED лампа или осветител	Фактор на мощността	Коефициент на хармониците кратни на три	Общи хармонични изкривявания	Общо относит. съдърж. на харм. кратни на три	Критерий за избор на сечение
$P_l \leq 20$	$\lambda = 0,5$	$k_{3h} = 0,58$	$THD_I = 1,30$	$I_{3h} = 0,95$	$I_{C,S} \geq I'_{eff N}$
$20 < P_l \leq 25$	$\lambda = 0,7$	$k_{3h} = 0,47$	$THD_I = 0,80$	$I_{3h} = 0,60$	$I_{C,S} \geq I'_{eff N}$
$25 < P_l \leq 50$	$\lambda = 0,85 \div 0,90$	$k_{3h} = 0,31$	$THD_I = 0,40$	$I_{3h} = 0,33$	$I_{C,S} \geq 1,163 \cdot I'_{eff L}$
$P_l > 50$	$\lambda > 0,9$	$k_{3h} = 0,19$	$THD_I = 0,2 \div 0,3$	$I_{3h} = 0,20$	$I_{C,S} \geq 1,163 \cdot I'_{eff L}$

Посочените изчислителни изрази и стойностите на параметрите в таблица 4 дават препоръки само при избор на сечение на проводниците или кабелите по допустимо трайно токово натоварване. В общият случай при LED осветление са налице и значителни краткотрайни пускови токове, които ограничават общия брой осветители към даден токов кръг и работната мощност. Обичайно токовете кръгове захранващи LED лампи и осветители, работят при натоварване $0,25 \div 0,67$ от допустимия траен ток.

– Избор на сечение на проводниците и кабелите.

Изборът на сечението на проводниците и кабелите става на база допустимо трайно токово натоварване на токопроводящите жила, според материала им и вида на изолацията. За избор на сечение и определяне на действителното допустимо токово натоварване $I_{z th}$ на захранващите линии се използват следните изрази:

$$(3) I_{C,S} \geq k \cdot I'_{eff}, \quad I_{z th} = I_{C,S} \cdot k_1 \cdot k_2$$

където:

$I_{C,S}$ е ефективната стойност на допустимия траен ток на проводник със сечение S , А;

I'_{eff} е коригираната ефективна стойност на тока в най-натоварения проводник, А;

k – коефициент, отчитащ взаимното влияние между натоварените проводници – $k = 1$ за всяка 1-фазна, както и за 3-фазна верига с $THD_I \geq 0,7$; $k = 1,163$ за 3-фазна верига с $0,7 \geq THD_I \geq 0,2$ (виж табл. 4).

3. Избор на защитни и управляващи апарати за токовете кръгове

Правилният избор на защитни апарати (автоматични предпазители /АП/ и дефектнотокови защиты /ДТЗ/) за токовете кръгове е от съществено значение за

надеждната и безопасна работа на ОУ. Основните параметри оказващи влияние върху избора на защитни апарати са номиналният работен ток и максималният пусков ток, а при ДТЗ и сумарният утечен ток на електронните захранващи преобразуватели.

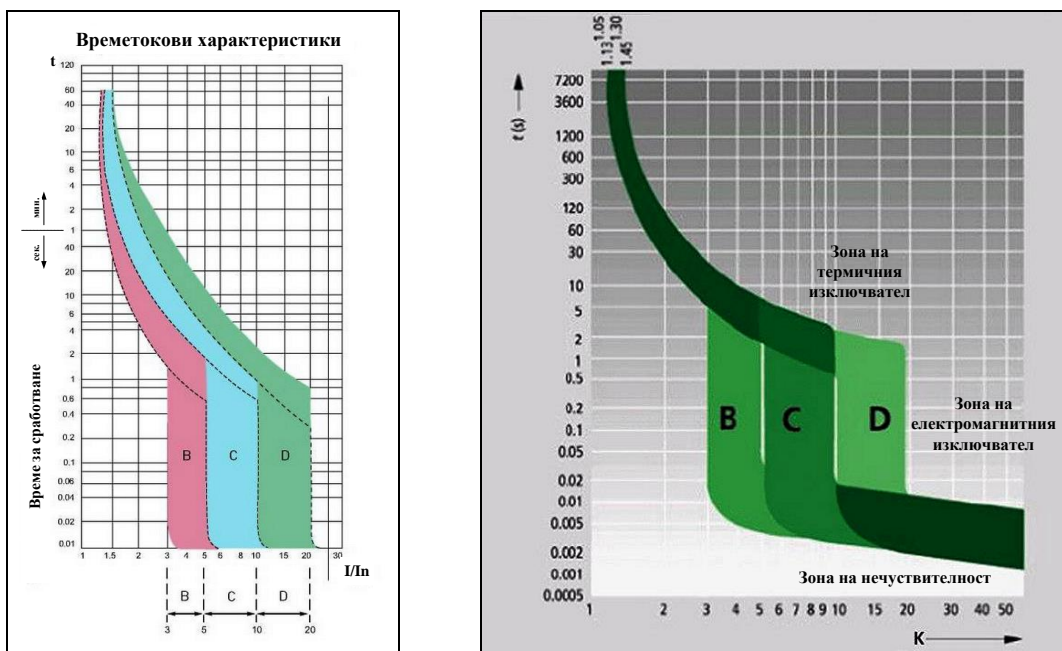
– **Избор на номинален ток на автоматичните предпазители.**

Защитата на токовите кръгове за осветление се свежда до защита по токово претоварване на проводници. Изборът на номинален ток на автоматичните предпазители I_n се извършва на база допустим траен ток $I_{z.th}$ за избраното сечение на захранващата линия, според метода на полагане и околната температура, при спазване на условието $I_{eff} \leq I_n \leq I_{z.th}$.

При трифазни токови кръгове, автоматичните предпазители трябва да бъдат четириполюсни (3P+N), т.е. да изключват електрическата верига и при претоварване на неутралния N проводник или протичане на свръхток през него [7, 8].

– **Избор на крива на изключване на автоматичните предпазители.**

Кривата на изключване определя граничните стойности на сработване на електромагнитния изключвател (фиг. 2). Препоръчва се за ОУ с едновременно директно включване на 10 и повече LED лампи и осветители с мощност $\geq 20\text{ W}$ да се използват АП с крива на изключване **C** или **D** (крива **C** се препоръчва при пусков процес с продължителност до 1 ms, а крива **D** се препоръчва при наличие на пусков процес с продължителност по-голяма от 1 ms и сумарен пиков ток $\sum I_{peak} \leq 10 \cdot I_n$). И при двете криви на изключване се гарантира термичната устойчивост на проводниците или кабелите при изключване на къси съединения според посочените стойности в [5, 6].

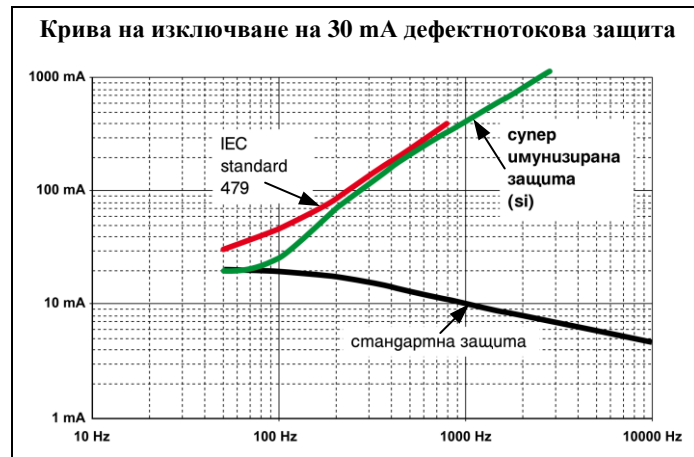


Източник: Internet

Фиг. 2. Времетокови характеристики на автоматични предпазители с криви на изключване **B**, **C**, **D**

– **Избор на дефектнотокова защита.**

Дефектнотоковите защиты /ДТЗ/ се избират по номинален ток I_n и ток на чувствителност I_{Δ} , mA. Драйверите за LED генерират утечени токове с висока честота, които обикновено са в границите 0,2÷2 mA. Затова кривата на изключване на ДТЗ трябва да е нечувствителна към високи честоти, т.н. „супер имунизирани защиты (si)” (фиг. 3). Препоръчва се когато са налице обективни фактори, изискващи използването на ДТЗ в ОУ с LED осветители, към една защита да има свързани до 25 драйвера за LED.



Източник: Schneider Electric

Фиг. 3. Криви на изключване на стандартна и супер имунизирана ДТЗ във функция от честотата

– Избор на управляващи апарати за LED осветителни уредби.

Обичайно осветлението на помещенията в жилищни, административни и офисни сгради се управлява чрез използване на стандартни ключове – единични, серийни и девиаторни, с номинален ток на контактните системи 10 А. Особеността при тях е, че посоченият ток е при честота на мрежата 50/60 Hz и фактор на мощността $\lambda \geq 0,9$. Специфичните проблеми при тяхното използване са свързани от една страна с комутирането при включване на свръх токове с продължителност $1 \div 2$ ms, а от друга – наличието на значителен по стойност входен капацитет на драйверите, предизвиква при изключване появата на пренапрежения (до 2 пъти напрежението на мрежата), които увеличават мощността на появилата се между контактите електрическа дъга. Наред с това значителното съдържание на висши хармоници във входния ток, предизвиква допълнително загряване на контактните системи. Поради всички тези особености се препоръчва стандартни ключове за осветление да се използват за едновременно командване на ретрофит LED лампи и LED осветители с обща мощност до 250 W при $\lambda = 0,5 \div 0,6$ и до 500 W при $\lambda \geq 0,85$, като максималната стойност на пусковия ток за $t < 1$ ms следва да бъде до 100 А.

Когато се налага едновременно да се включват LED осветители с обща работна мощност превишаваща 250 W при $0,6 \geq \lambda \geq 0,5$ или 500 W при $\lambda \geq 0,85$ е необходимо използването на контактори с номинален ток 4÷5 пъти по-голям от работния ток I_{eff} на съответния токов кръг или секция от него. Когато и броят на включваните LED осветители е по-голям от 15, се препоръчва контакторите да бъдат с функция „включване при нулева моментна стойност на напрежението” [7, 10], чрез което ще се ограничи от 4 до 5 пъти пусковия ток, а номиналният им ток следва да е 2÷2,5 пъти по-голям от работния ток I_{eff} . Последното позволява да се увеличи управляваната осветителна мощност до 2 пъти. При необходимост от командване на осветлението от 3 и повече места вместо контактори е целесъобразно да се използват импулсни релета, също с функция „включване при нулева моментна стойност на напрежението” [7, 10].

ОСНОВНИ ПРЕПОРЪКИ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ С LED СВЕТЛИННИ ИЗТОЧНИЦИ

Въз основа на изложеното до тук, могат да се направят следните по-основни препоръки при проектиране на осветителни уредби с LED лампи и осветители:

- За защита на токови кръгове със сечение на проводниците $1,5 \text{ mm}^2$ да се използват автоматични предпазители с номинален ток 10 А, при токови кръгове със

сечение на проводниците $2,5 \text{ mm}^2 - 16 \text{ A}$, а при токови кръгове със сечение на проводниците $4 \text{ mm}^2 - 25 \text{ A}$. Кривите на изключване на всички АП да бъдат **C** или **D**.

- При директно командване на LED лампи и осветители с единични, серийни и девиаторни ключове е препоръчително мощността на един контур да не превишава 250 W при фактор на мощността $0,60 \geq \lambda \geq 0,50$, а при $\lambda \geq 0,85 - 500 \text{ W}$.

- Когато за осветление на индустриални обекти, ж.п. гари и метростанции се използват еднофазни LED осветители, да се избягва трифазно изпълнение на токовите кръгове с цел повишаване сигурността на функциониране на ОУ.

- В токовите кръгове захранващи LED осветители, дефектнотокови защиты с чувствителност 30 mA да се използват само тогава, когато са налице реални условия за директен допир до тоководещи части. Всички използвани ДТЗ и/или прекъсвачи с вградени ДТЗ във веригите за LED осветление трябва да бъдат от тип **si (супер имунизирани)** с цел избягване на погрешни сработвания.

След проведен анализ на техническите данни за светодиодни лампи и осветители, а също и за електронни входни захранващи преобразуватели (драйвери за LED), посочени от множество производители, както и на препоръките посочени в [5, 6, 7, 8, 10], в таблица 5 са показани основни базови параметри за еднофазни токови кръгове с едновременно командване на осветлението, които е целесъобразно да се вземат под внимание при проектиране на LED осветление, когато не са известни точните характеристики на осветителното оборудване.

Таблица 5

Мощност на една LED лампа или осветител	Пусков ток, $t \leq 1 \text{ ms}$	Фактор на мощността	Максимален брой лампи/осветители*	Максимална едновременна мощност	Автоматичен предпазител, крива C	Сечение на проводниците на токов кръг
W	A	-	бр.	W	A	mm ²
$5 < P_l \leq 20$	2÷10	$\lambda = 0,5 \div 0,6$	12	≤ 250	10	1,5
$20 < P_l \leq 25$	8÷15	$\lambda = 0,6 \div 0,7$	15	≤ 350	10	1,5
$25 < P_l \leq 50$	10÷20	$\lambda = 0,85 \div 0,90$	10/16	$\leq 500 / \leq 900$	10/16	1,5/2,5
$50 < P_l \leq 100$	15÷30	$\lambda > 0,9$	9/13	$\leq 900 / \leq 1250$	10/16	1,5/2,5
$P_l > 100$	20÷40	$\lambda > 0,92$	≤ 10	$\leq 1250 / \leq 2500$	16/25	2,5/4

* Максималния брой лампи/осветители е посочен за горните граници на мощността.

При трифазни токови кръгове, посочените в табл. 5 стойности се отнасят за една фаза. Броят на осветителите и максималните мощности могат да се увеличат с $50 \div 75\%$ (до 100% при $\lambda < 0,7$), когато осветлението се командва с контактори или импулсни релета, с функция „включване при нулева моментна стойност на напрежението”.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представените в настоящата разработка изчислителни формули и базови стойности на основни параметри, както и препоръките относно броя на осветителите, работните мощности и избора на защитни и управляващи апарати за токовите кръгове, могат да се използват както при проектиране на вътрешни ОУ с LED светлинни източници, така и в обучението по осветителна и инсталационна техника.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] БДС EN 61000-3-2:2014, Електромагнитна съвместимост (EMC). Част 3-2: Гранични стойности. Гранични стойности за излъчвания на хармонични съставлящи на тока (входен ток на устройства/съоръжения $\leq 16 \text{ A}$ за фаза) (IEC 61000-3-2:2014). Български институт за стандартизация, 2015. (Действащ от 19.09.2014 г.).

- [2] Dimitrov G., R. Stefanov, V. Hristova, Research of the energy characteristics of retrofit LED lamps with rated power up to 25 W, VII Balkan Conference of Lighting – Proceedings, Sofia, 2018
- [3] Стефанов Р., В. Войводов, К. Велинов, Изследване на пусковите токове при светодиодни осветители, VII Балканска конференция по осветление – Сборник доклади, София, 2018
- [4] Пачаманов А., Електроснабдяване и осветителна техника (учебно помагало), Част II - Проектиране на осветителни уредби и електрически инсталации, София, 2004 г.
- [5] АББ България ЕООД, Ръководство по електрически инсталации, пето издание, АBB SACE, 2007 г.
- [6] Legrand France, Sizing conductors and selecting protection devices, Power Guide 2009, Book 4, 2009
- [7] Шнайдер Електрик България ЕООД, Модулна апаратура НН, Акти 9 Ефективността която заслужавате – Каталог, 2011
- [8] Legrand France, Breaking and protection devices, Power Guide 2012, Book 5, 2012
- [9] Legrand France, Electrical hazards and protecting persons, Power Guide 2009, Book 6, 2009
- [10] Шнайдер Електрик България ЕООД, Ръководство за управление на осветителни вериги, 2008

SPECIFICS IN DESIGNING INDOOR LIGHTING SYSTEMS WITH LED LAMPS AND LUMINAIRES

Georgi Dimitrov
dimitrov_gd@mail.bg

***Todor Kableshkov University of Transport, 1574 Sofia, 158 Geo Milev Str,
BULGARIA***

Key words: LED Lighting; Design of lighting systems with LEDs; Calculation of electrical installations.

Abstract: The evolution of LED technologies in the last 10 years has created prerequisites for the widespread use of LED lamps and luminaires for indoor lighting in residential, office and industrial buildings, as well in railway stations and metro stations. The specific mode of powering and controlling LEDs by using specialized lamp control gear, also requires a new approach to the design of electrical installations for powering the lighting systems built with these light sources.

The report presents a brief practice methodology for designing indoor lighting with LED lamps and luminaires, whose purpose is to support the work of the designers in the selection of: Photometric and energy parameters of LED light sources; conductor cross-section of the supply lines; Protective switchgear (automatic circuit breakers and earth leakage protection devices) for the power circuits of lighting.

Major attention is paid to the design of electrical installations for powering LED lighting systems in terms of the correct choice of the number of lamps and/or luminaires connected to one electrical circuit, taking into account the influences of starting (inrush) currents, harmonic distortions and total power factor λ .