

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПУЛСАЦИИТЕ НА СВЕТОДИОДНИ ОСВЕТИТЕЛИ ЗА ВЪТРЕШНО ПРИЛОЖЕНИЕ

Милко Йовчев¹

¹Технически университет – Габрово

STUDY OF THE LED LIGHTING FLICKER FOR INDOOR APPLICATION

Milko Yovchev¹

¹ Technical University of Gabrovo

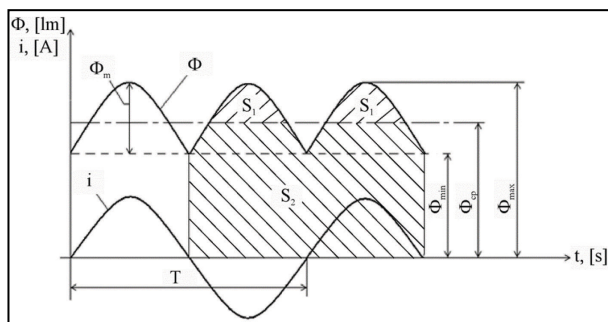
Abstract

Comparative study of the LED luminaires flickering is done in this paper. The tested LED luminaires have different applications for indoor lighting. The influence of the different type of a LED luminaire, secondary optical system and the dimming level of the luminous flux on the degree flickering of the tested LED luminaires are study. An analysis and conclusion of the obtained results are done.

Keywords: flicker, LED luminaire, modulated light, dimmable LED lamps, photodetector, photometry integrating sphere, luminous flux.

ВЪВЕДЕНИЕ

Всички светлинни източници, които се захранват с променливо напрежение, имат модулиран във времето светлинен поток, наричан пулсации на светлинния поток. Лампите, работещи с честота на електрическата мрежа $f = 50$ Hz, излъчват светлинен поток Φ , който пулсира с удвоена честота - $f = 100$ Hz - фиг. 1 [1,2]. Пулсациите на светлинния поток с такава честота предизвикват неблагоприятни зрителни и неврофизиологични въздействия [1,2,3,4,5].



Фиг. 1. Пулсации на светлинния поток

Основните показатели за количествена оценка на пулсациите на светлинния поток са коефициент на пулсации на светлинния поток $k_{\text{п}}$, индекс на пулсациите J и равномерност на пулсациите G [1,2,6,7,8]. Коефициентът на пулсации на светлинния поток се определя с израза:

$$k_{\text{п}} = \frac{\Phi_{\text{max}} - \Phi_{\text{min}}}{2\Phi_{\text{cp}}}, \quad (1)$$

където: $\Phi_{\text{cp}} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \Phi(t) dt$ - средната

стойност на светлинния поток за период $T = 0,02$ s при честота на захранващата мрежа $f = 50$ Hz; Φ_{max} - максимална моментна стойност на светлинния поток; Φ_{min} - минимална моментна стойност на светлинния поток [1,2,4,5]. Максималната допустима граница на $k_{\text{п}}$ е , за която се счита, че пулсациите на светлинния поток няма да причинят вредни въздействия, е 20% [5].

Равномерността на пулсациите се определя със следния израз:

$$G = \frac{\Phi_{\min}}{\Phi_{\max}}. \quad (2)$$

След 2008 г. в луминесцентните осветители се използват високочестотни електронни пусково-регулиращи апаратури с работна честота $f \approx 30$ kHz - толкова висока, че не се проявяват неблагоприятни зрителни и неврофизиологични въздействия и се предполага, че проблемът с пулсациите на светлинния поток е решен. В резултат на това, през 2011 г. се възприе идеята в нормативните документи на повечето европейски страни, включително и у нас, коефициентът на пулсациите на светлинния поток да не се нормира, но в някои държави k_p продължава да бъде нормиран [9]. В актуалния БДС EN 12464-1:2021 се дефинира качественият показател „фликер“ P_{st}^{LM} , представляващ периодични и неперидични колебания, причинени от светлинен източник, от източника на захранването или от други фактори на въздействие [10,11,12].

Повишените изисквания към енергийната ефективност в осветлението са причина да се използват осветители със светодиодни (LED) източници. Управлението на тока и напрежението към LED източниците се осъществява с драйвери. Съществуват различен тип драйвери, част от които работят на по-ниски честоти или съдържат компоненти с по-ниска работна честота, като причиняват забележими пулсации на светлинния поток и проблемът с пулсациите отново е актуален. Възниква необходимостта от измерване и нормиране на пулсациите на светлинния поток на LED осветителите [1].

В настоящия доклад се представят резултати от изследване на пулсациите на светлинния поток на LED осветители за вътрешно приложение при различно ниво на димиране и с отчитане на влиянието на елементите на вторичната оптична система.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Изследват се пулсациите на светлинния поток на 15 типа LED осветители за вътрешно приложение с отчитане както на влиянието на елементите на вторичната оптична система - матов разсейвател и ле-

ща, така и степента на димиране (намаляване) на светлинния поток.

В зависимост от наличието или без вторична оптична система и възможността за димиране, изследваните LED осветители се разделят на три групи:

- *първа група* - недимируеми LED осветители с вторична оптична система с матов разсейвател от дифузен полистирен (PS) (осветители № 1÷4), леща от поликарбонат (PC) (№5) и стъкло (№ 6 и 7), част от тях са показани на фиг. 2;

- *втора група* - недимируеми LED осветители без и с вторична оптична система с матов разсейвател (№ 8÷11) и леща (№ 13), част от тях са показани на фиг. 3;

- *трета група* - димируеми LED осветители с вторична оптична система, тип E27 (№ 12), плафон (№ 14) и линеен промишлен (№ 15), част от тях са показани на фиг. 4.



а) №1 - 8 W, 640 lm б) №2 - 3,5W, 155 lm в) №6 - 6 W, 480 lm г) №7 - 5,5W, 470lm

Фиг. 2. Недимируеми LED осветители, тип E27, с вторична оптична система (първа група)



а) №8 - 7 W, 470 lm б) №10 - 5 W, 470 lm в) №11 - 9 W, 850 lm г) №13-15 W, 1000 lm

Фиг. 3. Недимируеми LED осветители, тип E14 и E27, без и с вторична оптична система (втора група)



а) №14 - Плафон, 20 W, 2000 lm б) №15 - Линеен индустриален, 40 W, 40000 lm

Фиг. 4. Димируеми промишлени LED осветители с вторична оптична система (трета група)

Техническите характеристики на изследваните за пулсации на светлинния поток 15 типа LED осветители са представени в табл. 1. Значението на величините е следното: P_n - номинална активна мощност; Φ_n - номинален светлинен поток; $0,5I_{max}$ - ъгъл на лъча в светлоразпределението от максималния интензитет на светлината I_{max} до фотометричния ъгъл, в който интензитетът се понижава до 50% от I_{max} ; T_c – корелирана цветна температура. Номиналното захранващо напрежение на изследваните LED осветителите е $U_n = 230 \text{ V}$ с $f = 50 \text{ Hz}$.

Табл. 1. Технически характеристики на изследваните LED осветители

| LED осветител №-тип | P_n [W] | Φ_n [lm] | $0,5I_{max}$ [°] | T_c [K] | Оптика | Димирание |
|---------------------|-----------|---------------|------------------|-----------|------------------------|------------------------|
| 1-E27, V-Tac | 8 | 640 | 120 | 4000 | матов разсейвател (PS) | не |
| 2-E27, Toshiba | 3,5 | 155 | 200 | 2700 | | |
| 3-E27, Toshiba | 5,5 | 290 | 200 | 4000 | | |
| 4-E27, Livarno | 5,5 | 470 | 200 | 2700 | | |
| 5-E27, Toshiba | 7,9 | 670 | 60 | 2700 | леща (PC) | не |
| 6-E27, Viaki | 6 | 480 | 200 | 4000 | стъкло | |
| 7-E27, Philips | 5,5 | 470 | 200 | 2700 | | матов разсейвател (PS) |
| 8-E27, V-Tac | 7 | 470 | 200 | 4500 | | |
| 9-E27, V-Tac | 9 | 725 | 200 | 3000 | | |
| 10-E14, Osram | 5 | 470 | 200 | 2700 | | |
| 11-E27, Tungsram | 9 | 850 | 240 | 4000 | | |
| 12-E27, V-Tac | 6 | 470 | 200 | 6400 | леща (PC) | да |
| 13-E27, V-Tac | 15 | 1000 | 40 | 4500 | | |
| 14-плафон, АТРА | 20 | 2000 | 115 | 4000 | | |
| 15-линеен, АТРА | 40 | 4000 | 110 | 4000 | | |

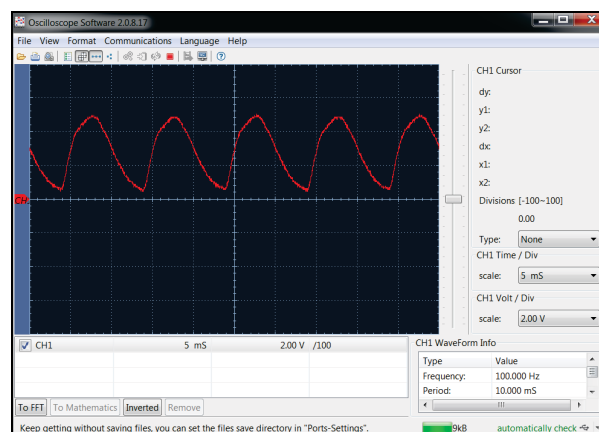
Лабораторната постановка за изследване на пулсациите на светлинния поток, разположена в лаборатория „Осветителна техника“ в Технически университет - Габрово, съдържащ следните модули: кълбов фотометър, в който се поставят изследваните LED осветителите; фотоприемник, реализиран с фотодиод, разположен от вътрешната страна на фотометъра; цифров осцилоскоп

и компютърна конфигурация. Лабораторната постановка е показана на фиг. 5.



Фиг. 5. Лабораторна постановка за измерване на пулсации на светлинния поток

Връзката между цифровия осцилоскоп и компютъра за мониторинг и съхраняване на графичните визуализации на пулсациите се осъществява със софтуер *Oscilloscope Software 2.0.8.17* през USB порт - фиг. 6.



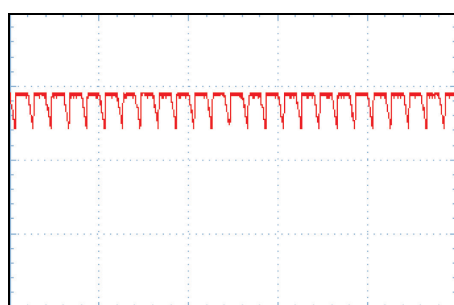
Фиг. 6. Лабораторна постановка за измерване на пулсации на светлинния поток

Показателите на пулсациите на светлинния поток - коефициент на пулсациите k_p и равномерност на пулсациите G - на първата група LED осветители - недимируеми, с вторична оптична система (№ 1÷7), са представени в табл. 2.

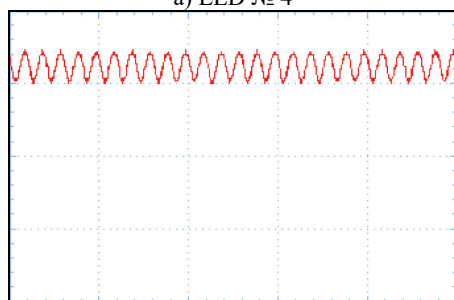
Табл. 2. Показатели на пулсации на светлинния поток на първа група LED осветители - недимируеми, с вторична оптична система

| LED осветител - №, тип | k_p [%] | G [-] |
|---------------------------|-----------|---------|
| 1-E27, V-Tac (фиг. 2-а) | 2,32 | 0,95 |
| 2-E27, Toshiba (фиг. 2-б) | 4,19 | 0,92 |
| 3-E27, Toshiba | 3,77 | 0,93 |
| 4-E27, Livarno | 9,18 | 0,82 |
| 5-E27, Toshiba | 8,71 | 0,84 |
| 6-E27, Viaki (фиг. 2-в) | 77,39 | 0,10 |
| 7-E27, Philips (фиг. 2-г) | 0,33 | 0,99 |

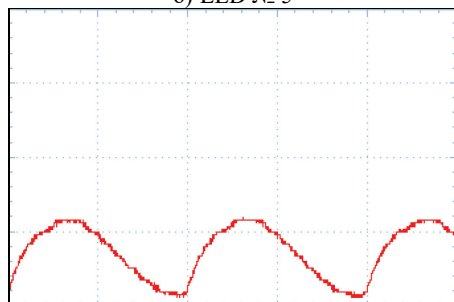
На фиг. 7 е показана графична визуализация на пулсациите на светлинния поток за част от първа група LED осветители - № 4÷7 (фиг. 2-в,г, табл. 2).



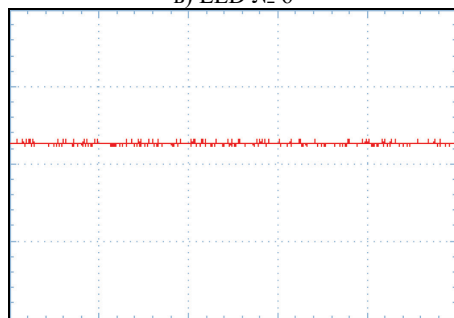
а) LED № 4



б) LED № 5



в) LED № 6



г) LED № 7

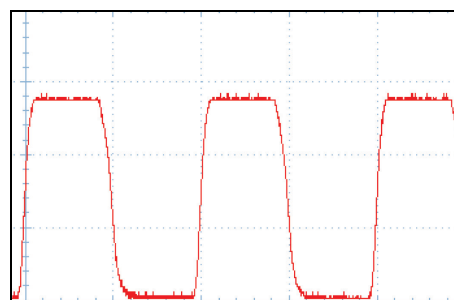
Фиг. 7. Пулсации на светлинния поток за част от LED осветителите от първа група

Коефициентът на пулсациите на светлинния поток k_p и равномерността на пулсациите G на втората група LED осветители - недимируеми, без и с вторична оптична система (№ 8÷11 и 13), са представени в табл. 3.

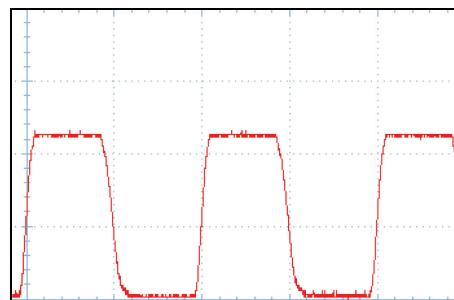
Табл. 3. Показатели на пулсации на светлинния поток на втора група LED осветители - недимируеми, без и с вторична оптична система

| LED осветител - №, тип | Без вторична оптика | | С вторична оптика | |
|-----------------------------|---------------------|---------|-------------------|---------|
| | k_p [%] | G [-] | k_p [%] | G [-] |
| 8-E27, V-Tac (фиг. 3-а) | 98,53 | 0,01 | 85,33 | 0,02 |
| 9-E27, V-Tac | 8,23 | 0,85 | 4,17 | 0,92 |
| 10-E14, Osram (фиг. 3-б) | 3,15 | 0,94 | 2,53 | 0,91 |
| 11-E27, Tungsram (фиг. 3-в) | 5,11 | 0,90 | 2,34 | 0,95 |
| 13-E27, V-Tac (фиг. 3-г) | 2,22 | 0,96 | 2,08 | 0,96 |

На фиг. 8 е показана графична визуализация на пулсациите на светлинния поток на LED осветител № 8, тип E27, без и с поставена вторична оптична система, реализирана с матов разсейвател (фиг. 3-а).



а) LED № 8-без разсейвател



б) LED № 8-с разсейвател

Фиг. 8. Пулсации на светлинния поток на LED осветител от втора група (недимируеми)

Коефициентът на пулсациите на светлинния поток и равномерността на пулсациите на третата група - димируеми LED осветители - № 12, 14 и 15, са представени съответно в табл. 4÷6.

Табл. 4. Показатели на пулсации на светлинния поток при димиране на LED осветител №12- E27, 6W, 470lm

| Димиране на светлинния поток - % от номиналния Φ_n | $k_{п}$ [%] | G [-] |
|---|-------------|---------|
| $\Phi = \Phi_n$ (без димиране) | 3,65 | 0,93 |
| $\Phi = 0,75\Phi_n$ | 4,44 | 0,92 |
| $\Phi = 0,50\Phi_n$ | 6,69 | 0,88 |
| $\Phi = 0,35\Phi_n$ | 12,76 | 0,77 |

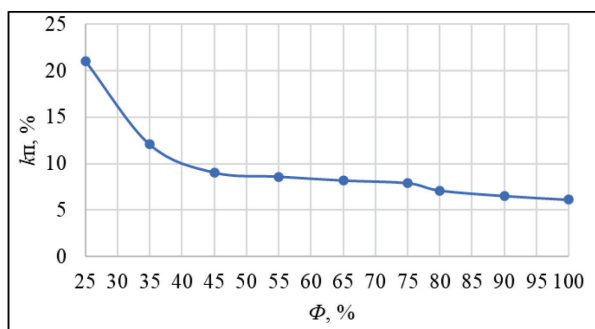
Табл. 5. Показатели на пулсации на светлинния поток при димиране на LED осветител №14- прафон, 20W, 2000lm

| Димиране на светлинния поток - % от номиналния Φ_n | $k_{п}$ [%] | G [-] |
|---|-------------|---------|
| $\Phi = \Phi_n$ (без димиране) | 10,07 | 0,95 |
| $\Phi = 0,90\Phi_n$ | 10,24 | 0,81 |
| $\Phi = 0,80\Phi_n$ | 12,03 | 0,79 |
| $\Phi = 0,65\Phi_n$ | 12,85 | 0,77 |
| $\Phi = 0,50\Phi_n$ | 13,56 | 0,76 |
| $\Phi = 0,35\Phi_n$ | 15,32 | 0,72 |
| $\Phi = 0,20\Phi_n$ | 19,08 | 0,68 |

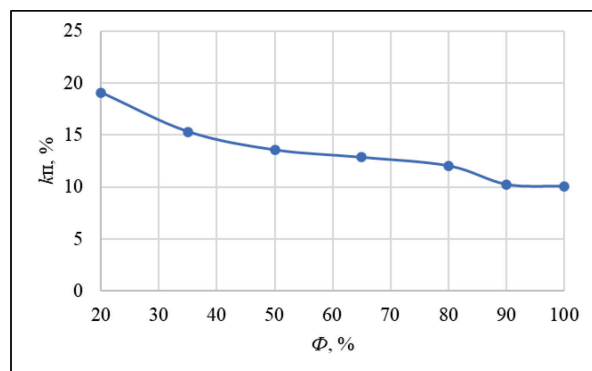
Табл. 6. Показатели на пулсации на светлинния поток при димиране на LED осветител №15- 40W, 4000lm

| Димиране на светлинния поток - % от номиналния Φ_n | $k_{п}$ [%] | G [-] |
|---|-------------|---------|
| $\Phi = \Phi_n$ (без димиране) | 6,13 | 0,88 |
| $\Phi = 0,90\Phi_n$ | 6,54 | 0,88 |
| $\Phi = 0,80\Phi_n$ | 7,12 | 0,87 |
| $\Phi = 0,75\Phi_n$ | 7,92 | 0,85 |
| $\Phi = 0,65\Phi_n$ | 8,21 | 0,82 |
| $\Phi = 0,55\Phi_n$ | 8,62 | 0,84 |
| $\Phi = 0,45\Phi_n$ | 9,06 | 0,83 |
| $\Phi = 0,35\Phi_n$ | 12,07 | 0,79 |
| $\Phi = 0,25\Phi_n$ | 21,07 | 0,65 |

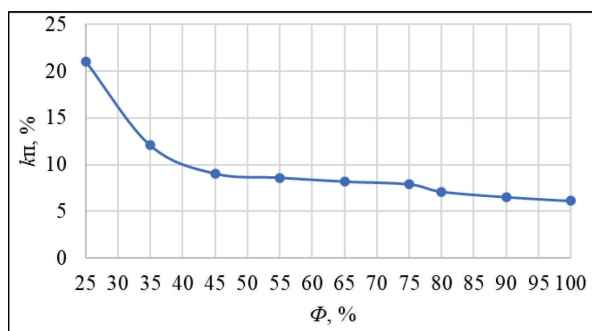
Зависимостта на коефициента на пулсации на светлинния поток $k_{п}$ във функция от степента на димиране на светлинния поток Φ (като процент от номиналния, приет за 100%) за изследваните димируеми LED осветители № 12, 14 и 15 е представена в графичен вид на фиг. 9÷11.



Фиг. 9. Зависимост на $k_{п} = f(\Phi)$ при димиране на LED осветител №12 - E27, 6 W, 470 lm



Фиг. 10. Графична зависимост на $k_{п} = f(\Phi)$ при димиране на LED осветител №14 - прафон, 20 W, 2000 lm



Фиг. 11. Графична зависимост на $k_{п} = f(\Phi)$ при димиране на LED осветител №15 - линеен, 40 W, 4000 lm

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От извършените изследвания на пулсациите на светлинния поток на LED осветители от различен тип и мощност, предназначени за вътрешно приложение, могат да се направят следните изводи:

1. Показателят за количествена оценка на пулсациите на светлинния поток - коефициент на пулсации $k_{п}$ - за 13 от общо 15 броя изследвани LED осветители е по-нисък от 10% при захранване с номинално напрежение от електрическата мрежа и без димиране. За два LED осветителя - № 6 и 8, коефициентът на пулсации е недопустимо висок за вътрешно осветление - над 75% (табл. 2 и 3).

2. Установява се, че поставянето на вторична оптична система с матов разсейвател и оптична леща в LED осветителите оказва благоприятно влияние върху степента на пулсации на светлинния поток, увеличавайки неговата инертност и коефициентът на пулсации намалява между 1% и 13% за различните осветители, като по-съществена е разликата при осветители с по-голяма активна мощност - табл. 3.

3. Регулирането на светлинния поток чрез димиране при димируемите LED осветители оказва съществено влияние върху степента на пулсации на светлинния поток. С увеличаване на степента на димиране, равномерността на пулсациите намалява, а коефициентът на пулсации се увеличава: за LED осветител № 12 увеличението на $k_{п}$ е с 9,11%; за LED осветител № 14 увеличението е с 9,01%; за LED осветител № 15 увеличението е с 14,94% - табл. 3 и фиг. 9÷11.

Обобщението на анализа на резултатите показва, че пулсациите на светлинния поток при различните LED осветители се различават съществено и зависят както от конструктивното им изпълнение, така и от наличието и вида на вторична оптична система и степента на димиране. Получените резултати доказват необходимостта от изследване на пулсациите на светлинния поток и актуалността на проблема.

REFERENCE

- [1] Bommel, W. Interior Lighting - Fundamentals, Technology and Application. Springer, 2019, pp. 234-236, ISBN 978-3-030-17195-7.
- [2] Tsankov, P., S. Platikanov. Guide for Laboratory Exercises in Lighting and Installation Technology. Gabrovo, "Vasil Aprilov", 2013, pp. 42-43, ISBN 978-954-683-506-2. (in Bulgarian)
- [3] Wilkins, A., J. Veitch, B. Lehman. LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns: IEEE Standard PAR1789 Update. IEEE Xplore, 2010, DOI: 10.1109/ECCE.2010.5618050.
- [4] Batra, S., C. Pandav, S. Ahuja. Light Emitting Diode Lighting Flicker, its Impact on Health and the Need to Minimise it. Journal of Clinical and Diagnostic Research 2019/Ophthalmology Section, Vol-13(5), DOI: 10.7860/JCDR/2019/41491.12880.
- [5] LightingEurope Position Paper on Flicker and Stroboscopic Effect - LightingEurope - Industry lighting association, 2016.
- [6] Platikanov, S., P. Tsankov. Measuring the Pulsations of Light Sources with Computerized DAQ System. Balkan Light'99, Varna, Bulgaria, 1999.
- [7] CIE TN 006:2016 - Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems - Definitions and Measurement Models, CIE Technical Notes.
- [8] Vasilev, N. Industrial Lighting. Sofia, Technika, 1973, pp. 235-236.
- [9] GOST EN 12464-1:2011 Light and lighting - Lighting of work places –Part 1: Indoor work places (in Russian).
- [10] Tsankov, P. Electric Power Distribution. Gabrovo, "Vasil Aprilov", 2014, pp. 151-152, ISBN 978-954-683-514-7. (in Bulgarian)
- [11] COMMISSION REGULATION (EU) 2019/2020 of 01.10.2019 laying down ecodesign requirements for light sources and separate control gears pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulations (EC) No 244/2009, (EC) No 245/2009 and (EU) No 1194/2012.
- [12] BDS EN 12464-1:2021 - Light and lighting - Lighting of work places. Part 1: Indoor work places.
- [13] EldoLED - Flicker performance in LED lighting (White paper). Learning Center, 2019.