

## АНАЛИЗ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ ПРИ РАБОТА НА СОНДАЖНИ ПОМПИ С ЧЕСТОТНО УПРАВЛЕНИЕ

Любомир Димитров

### ANALYSIS OF THE ELECTRICAL ENERGY QUALITY IN THE OPERATION OF FREQUENCY CONTROLLED BOREHOLE PUMPS

Lyubomir Dimitrov

**Abstract.** The paper has an applied orientation and concerns the results of research carried out on the indicators of the quality of electrical energy in the operation of borehole pumps. The performance of submersible centrifugal pumps has been investigated. A METREL MI 2292 measuring instrument has been used to perform the measurements and analyze the quality of electrical energy. The results obtained are presented in tabular and graphic form and relevant conclusions are drawn.

#### ВЪВЕДЕНИЕ

Помпите и помпените агрегати са широко разпространени в нашето съвремие. Те намират приложение в редица сфери на живота и бита. Едни от най-често срещаните помпени системи са тези, използвани за водоснабдяване (например на жилищни сгради, напоителни системи в селското стопанство и др.). Затова повишаването на ефективността на работата им е важно от икономическа и екологична гледна точка. За осигуряване на висока ефективност на тези системи се изисква добро познаване на взаимодействието между всички техни елементи, което е от значение при проектирането и експлоатацията им.

В промишлените предприятия помпените станции са разделени за производствено-техническо и противопожарно водоснабдяване и за питейно водоснабдяване. Освен за прехвърляне и пренасяне на чисти води помпите и помпените агрегати се използват и за мръсни води – канализационни,

оборотни, дренажни и др. Използват се за транспорт и на други течности-например мазут в енергийните стопанства, течни химикали и др.

Прогресът в областта на съвременните технологии води до завишаване на броя и мощността на електрическите уредби с непрекъснат режим на работа, като една значителна част от тях се явяват нелинейни и несиметрични в електрическо отношение или електрически уредби, характеризиращи се с бързо изменящо се натоварване във времето. Подобни електрически потребители притежават способността да генерират електромагнитни смущения, които влошават показателите за качество на електрическата енергия на електроснабдителните системи. Това влияние се изразява най-общо с появата на несиметрия на токовете и напреженията, появата на несинусоидална форма на токовете и захранващите напрежения, поява на колебания в напрежението и други смущения. Всичко това предизвиква съществено усложнение в процесите, протичащи в електроснабдителните системи и електрическите потребители. В тези случаи се засилва взаимното влияние, предизвикващо влошаване на показателите за качество на електрическата енергия, увеличаване на електрическите загуби, намаляване на надеждността на електрическите уредби, снижаване на пропускателната способност по активна мощност на електроснабдителните системи и др.

## **НЯКОИ СЪОБРАЖЕНИЯ ОТНОСНО КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ**

Само до преди 15 години хармониците не се разглеждат като реален проблем, тъй като тяхното влияние в разпределителните мрежи, като цяло беше незначително, но масовото въвеждане на силова електроника в обзавеждането доведе до това, че присъствието на хармоници започна сериозно да влияе върху всички сектори на икономическата дейност [1].

Поддържането на показателите за качество на електрическата енергия в определени граници води до ефективна експлоатация на електрическите уредби. При превишаването на тези показатели в редица случаи е необходимо да се вземат организационни или технически мерки, за да се поддържат в нормално установените граници. Ограничаване на диапазона на изменение на пределните стойности на показателите за качество на електрическата енергия на клемите на потребителите е напълно оправдано действие, тъй като тяхното влошаване над

нормите има негативни и с нищо неоправдани технико-икономически последици [2].

Осигуряването и поддържането на качеството на електрическата енергия е основно задължение на електроснабдителните предприятия. От друга страна, потребителите са в правото си да изискват и получават качествена електрическа енергия, като имат задължението чрез своите консуматори и режимите им на работа да не влошават показателите за качество на електрическата енергия в електроснабдителните системи [3].

Хармониците на тока причиняват спадове на напрежение в съпротивленията на електрическите вериги, които се наслаgват върху синусоидата на захранващото напрежение и деформират синусоидалната му форма [4].

По своята същност електроенергията е търговски продукт, който трябва да има необходимото качество. Масово използваното понятие "качество на електроенергията" (*Power Quality*) означава доставяне без прекъсване на електроенергия на потребителите, като параметрите на мрежовото напрежение са в определени граници, позволяващи нормалното функциониране на свързаните към мрежата електрически товари. Идеално електрозахранване означава мрежовото напрежение никога да не се прекъсва, неговата стойност и честота да са в допустимите от действащия стандарт граници и да има чисто синусоидална форма без насложени шумове. На понятието качество на електрическата енергия се обръща сериозно внимание още от самото създаване на електрическите мрежи, но днес то е още по-важно по две основни причини.

Те са свързани с наличието на множество съвременни типове товари, които от една страна се нуждаят от добро качество на електрическата енергия, а от друга го влошават поради естеството на своето действие. Като пример е достатъчно да се споменат импулсните захранвания, използвани в голяма част от компютърните, комуникационните и други електронни устройства, и управляващите блокове на постояннотоковите и променливотоковите електродвигатели с променлива честота на въртене. Многобройни са областите на човешката дейност, където влошаването на качеството на електрическата енергия е свързано със значителни финансови загуби, най-вече в непрекъснатите производства. Например, краткотрайни прекъсвания на мрежовото напрежение могат да доведат до значителни загуби в стъкларската и стоманодобивната промишленост, както и в телекомуникациите.

Качеството на електроенергията се определя от стандарти, прилагани в нашата страна – БДС EN 50160:2006, IEC 61000-3-1, IEC 61000-3-4.

Например, европейският EN 50160 се отнася за качеството на електроенергията в мрежи ниско и средно напрежение и задава допустимите граници на всички параметри на напрежението. Според него допустимите бавни промени на напрежението се оценяват чрез средноквадратичната стойност за интервал от 10 min, чиито относителни промени около номиналната стойност трябва да са до  $\pm 10\%$  през 95% от седмицата. Честотата се измерва като средна стойност за интервал от 10 s и трябва да е 49.5-50.5 Hz през 99.5% от седмицата и между 47 и 52 Hz през останалото време [8].

Широкото приложение на устройствата с нелинеен характер на товара налага необходимостта за установяване на изменението на показателите за качеството на електрическата енергия в електрическата мрежа на различни присъединени обекти.

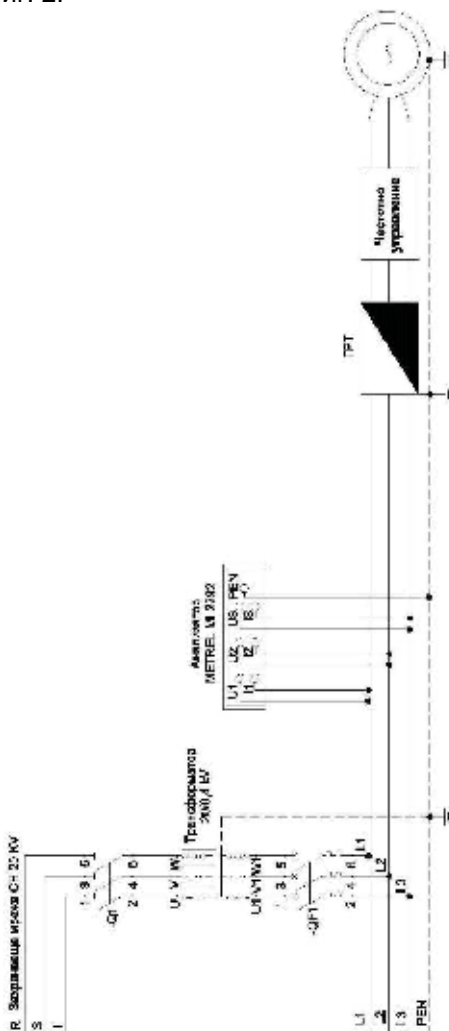
## ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ

За реализиране на измерванията и анализ на качеството на електрическата енергия е използван измервателен уред METREL, модел MI 2292 – фиг. 1. Измервателният уред разполага с редица функционални възможности, като измерване на ефективната стойност на електрическите величини (true RMS) и възможност за анализ на качеството на електрическата енергия (измерване по стандарт 50160). Притежава висок клас на точност, както и графично и таблично представяне на резултатите [5]. Измерванията са извършени за период от една седмица.



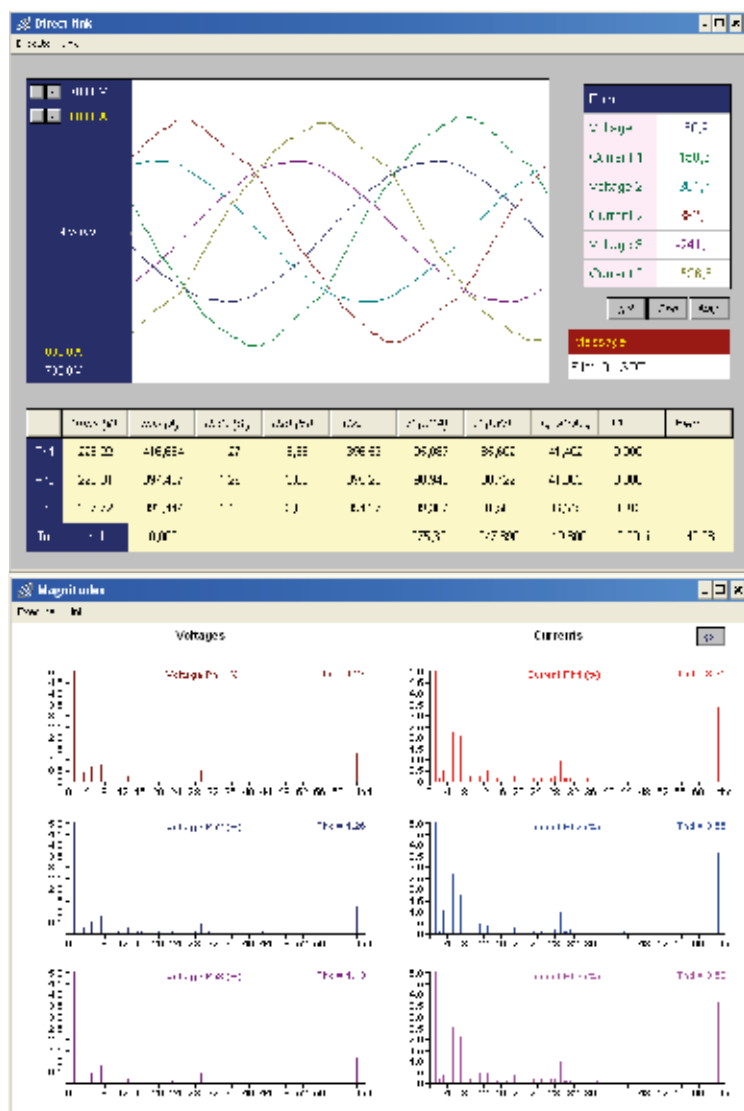
**Фиг. 1.** Анализатор на качеството на електрическата енергия METREL MI 2292

Резултатите от проведените измервания са представени във вид на таблични и графични данни получени от софтуерния продукт PowerLink\_5.5 на анализатора за качество на електрическата енергия "METREL". Извършените измервания са при работа на различен брой помпени агрегати при номинална честота на въртене. Принципна електрическа схема на свързване е дадена на фиг. 2.

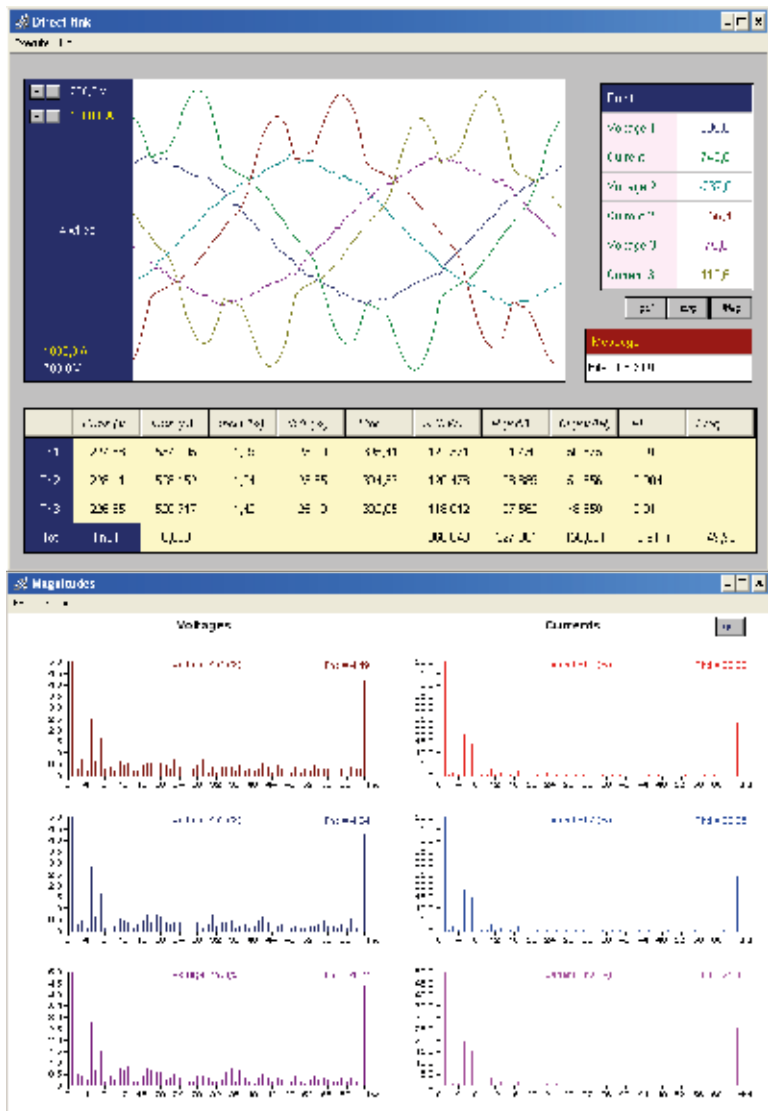


Фиг. 2. Електрическа схема на свързване

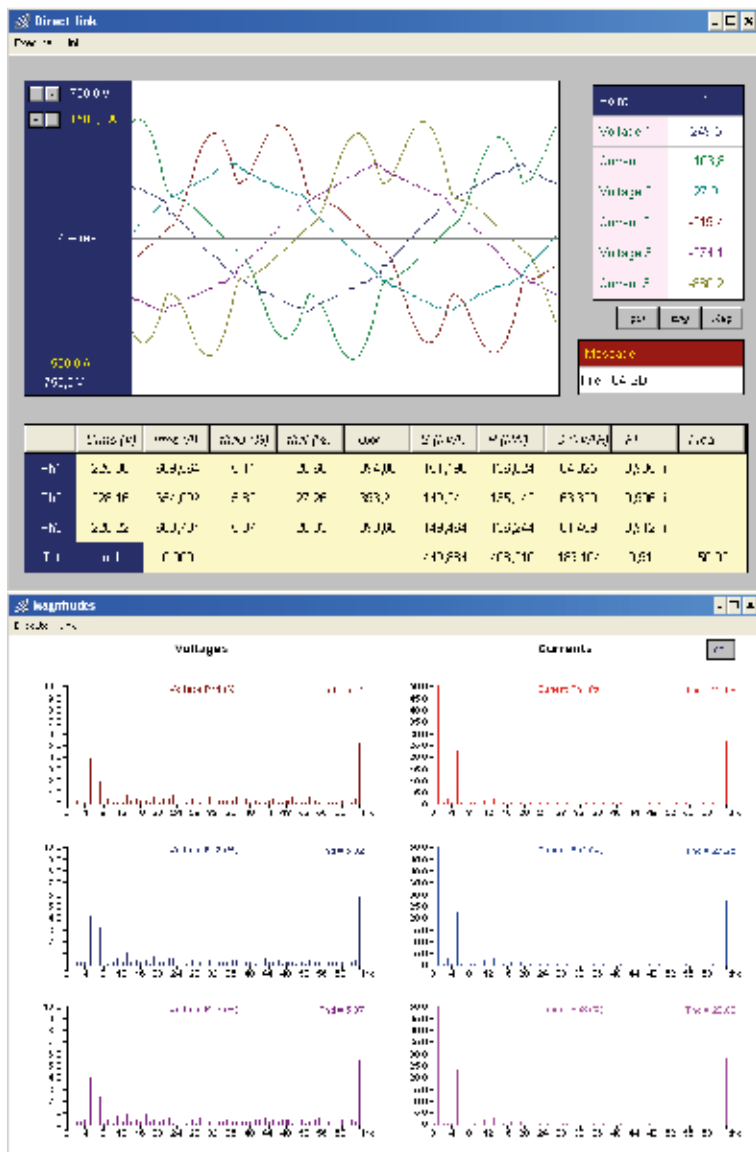
Измервателният уред се свързва в ГРТ, след главен прекъсвач на страна ниско напрежение, като по този начин може да се извърши измерване на електрическите величини и качеството на електрическата енергия на всеки един консуматор.



Фиг. 3. Резултати от проведени измервания при работа на три помпи



Фиг. 4. Резултати от проведени измервания  
при работа на четири помпи



Фиг. 5. Резултати от проведени измервания при работа на пет помпи



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

След провеждане на измерванията са получени резултати за ефективните стойности на електрическите величини.

Резултатите от проведените измервания са представени във вид на таблични и графични данни, получени от софтуерния продукт PowerLink\_5.5 на анализатора за качество на електрическата енергия "METREL" MI2292. Извършените измервания са при работа на различен брой помпени агрегати, при номинална честота на въртене.

След извършен анализ на резултатите за показателите за качество на електрическата енергия се установи следното:

- отклонение на честотата, представляващо разликата между действителната стойност на честотата  $f_{\text{ном.}}$ , която в нашата страна е 50 Hz. Получените резултати за честотата на захранващото напрежение са: максималната стойност на честотата на захранващото напрежение за периода на измерване е 50.02 Hz, минималната стойност е 49.98 Hz и средна стойност 50.00 Hz. В 100% от случаите честотата на захранващото напрежение е в допустимите норми от 49.5÷50.5 Hz за 99,5% от годишен период или 47÷52 Hz целогодишно, регламентирани в стандарта БДС EN 50160 [6], чрез който регулаторните органи следят за качеството на електрическата енергия;

- отклонение на напрежението: отклонение на напрежението характеризира бавните, продължителни изменения на напрежението. Отклонението на напрежението представлява разликата между действителната стойност на напрежението  $U_{\text{действ.}}$  и неговата номинална стойност  $U_{\text{ном.}}$ . Получените резултати за захранващото напрежение са: максималното отклонение на фазното напрежение е: L1=2.35% (225,8 V), L2=2.32% (227,79 V), L3=2.34%, (226.22 V) и линейното напрежение – L12=4.06% (394.06 V), L23=4.06% (393.21 V), L13=4.10 (390.60 V)%.

От данните се вижда, че стойностите на фазовите и линейните напрежения за 100% от периода на измерване са в допустимия диапазон от  $\pm 10\%U_n$  (от 207 до 253 V и от 360 до 440 V), регламентирани в БДС EN 50160 [6];

- краткотрайни спадания и пренапрежения на захранващото напрежение не се наблюдават. За оценка на краткотрайните изменения се използва стойността на фликера (усещане за неустойчивост на зрителното възприятие, предизвикано от светлинен дразнител, на който яркостта или спектралното раздразнение се променят с течение на времето);

- флукуации на напрежението, както и внезапни пренапрежения с промишлена честота също не се наблюдават;

- несиметрия на напрежението: за несиметрията на напрежението е изчислена максимална стойност от 2.27%. Изчислената максималната стойност от 2.27% е малко над допустимите 2% в 100% от времето на измерване. Тази изчислена стойност не оказва влияние върху качеството на електрическата енергия;

- несиметрията на токовете: за несиметрия на токовете е изчислена максимална стойност от 6.85%, при най-голямото натоварване на системата (включени пет сондажни помпени агрегата и три помпени агрегата за отвеждане на водата към полето за напояване). Несиметрията на токовете се дължи на работата на честотните управления и софтверите, което е нормално за тези задвижвания;

- хармонични съставлящи на напрежението: хармоничните съставлящи на захранващото напрежение се дължат главно на нелинейните товари на потребителите, свързани на всички нива на захранващото напрежение. Максималните стойности на общото хармонично изкривяване, както на фазните напрежения за L1 е 5.23%, за L2 е 6.08% и за L3 е 6.27%, отговарят на нормите дадени в БДС EN 50160 [6], който регламентира големината на общото хармонично изкривяване на захранващото напрежение да не превишава 8%;

- хармонични съставлящи на тока: в 100% измерените стойности на общото хармонично изкривяване на токовете са повисоки от допустимата стойност от 25% дадена в БДС IEC 61000-3-4 [7]. Общото хармонично изкривяване на тока в първа фаза достига максимална стойност:  $thdI1 = 69.17\%$ , във втора фаза:  $thdI2 = 65.79\%$  и в трета фаза:  $thdI3 = 68.85\%$ . Най-силно изразени са хармониците с пореден номер 5 и 7, като достигат максимални стойности в първа, втора и трета фаза:  $I_{1h5} = 65.9\text{ A}$ ,  $I_{2h5} = 62.1\text{ A}$ ,  $I_{3h5} = 93.2\text{ A}$  и  $I_{1h7} = 36.6\text{ A}$ ,  $I_{2h7} = 64.2\text{ A}$ ,  $I_{3h7} = 81.8\text{ A}$ .

Визуализация е представена и на останалите: 3, 9, 11, 13, 15, 17, 19 хармоник на тока.

- коефициент на мощност (фактор на мощността  $\cos\phi$ ): измерени са стойности на коефициента на мощност, като най-ниските стойности за трите фази са: L1 – 0.801, за L2 – 0.814, за L3 – 0.796. Максималните стойности за трите фази са: L1 – 0.911, за L2 – 0.906, за L3 – 0.913.

Получените стойности са близки до така наречения желан фактор на мощността:  $\cos\phi = 0.90-0.95$ , като е желателно да се вземат мерки за повишаване (подобряване) стойностите на  $\cos\phi$ , т.к. през дневните и върховите тарифни зони стойността на  $\cos\phi$  трябва да се поддържа от 0.90 до 1.00.

От извършения анализ на получените резултати, може да се направят следните изводи:

- по отношение на показателите за качество на електрическата енергия, може да се каже, че те са в нормите и стойностите отговарят на заложените в стандартите изисквания. Изключение правят хармоничните съставлящи на тока, както и общото хармонично изкривяване на тока. Техните стойности превишават многократно заложените в стандарта БДС IEC 61000-3-4 [7]. Причините за тези превишения до голяма степен се дължат на наличието на честотни управления, с които се управляват сондажните помпи. Тези устройства са с така наречената нелинейна волт-амперна характеристика. Независимо от това, че се захранват със синусоидално напрежение, са източници на електромагнитна енергия с периодичен несинусоидален характер и се разглеждат като източници на висши хармоници на тока в електрическата система.

Висшите хармоници на тока предизвикват допълнителни загуби на активна мощност и електрическа енергия в елементите на електрическата система. Увеличават многократно температурата на тоководещите части (кабели, шинопроводи), комутационни и защитни апарати. Нагриват намотките на електрическите машини, което е съпроводено с допълнителни загуби на електрическа енергия в тях. Тяжното ограничаване води до нормализиране на работа на тоководещите части, електрическите машини и комутационните и защитни апарати.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ivanov K., C. Naumov. Current harmonic distortion in low voltage electrical power networks. HIGH TECHNOLOGIES. BUSINESS. SOCIETY. 2017, 13-16.03.2017, Borovetz, Bulgaria, vol I, pp. 141-144.
2. Ivanov Kr., G. Velev, P. Yankov, E. Kartselin, N. Minekov. Parameters of current harmonic components in the industrial company. International Scientific Conference, Gabrovo, 2018, 16-17 November, Gabrovo, vol. I, pp .98-104.
3. Цанев Ц., Св. Цветкова. Качество на електриеската енергия. Авангард Прима, София, 2011.
4. Tzvetkova S., A. Petleshkov, G. Zhegov, V. Petrova. Study of the Electrical Energy Quality in Electrical Supply System Low Voltage. Proceedings of Technical University of Sofia, Vol. 66, Issue 1, 2016, pp. 145-153.

5. Dimitrov L., D. Koeva, D. Slavov. Analysis of the Variations of Electrical Quantities During the Operation of an Rope Electric Hoist. International scientific conference Gabrovo 2021, 19-20 November, Gabrovo, vol. I, pp. 25-30.
6. БДС EN 50160:2003. Характеристики на напрежението на електрическата енергия, доставяна до обществените разпределителни системи, 2010.
7. БДС IEC 61000-3-4. Електромагнитна съвместимост, 2021.
8. Списание Енерджи ревю, TLL Media, бр. 1, 2017.

## **БЛАГОДАРНОСТИ**

Реализацията на този доклад е с поддръжката на:

- Проект към Технически университет - Габрово 2404С 'Приложни математически изследвания за енергийна и икономическа ефективност на електрообзавеждането в условията на енергиен преход', финансиран целево от Министерство на образованието и науката на Република България.

- Проект BG05M2OP001-1.002-0023 Център за компетентност „Интелигентни, мехатронни, еко-и енергоспестяващи системи и технологии“, финансиран от Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж“ на Европейския фонд за регионално развитие.

## **АВТОР**

гл. ас. д-р инж. Любомир Диянов Димитров, Технически университет - Габрово, +359886773234, e-mail: [eng.l.dimitrov@abv.bg](mailto:eng.l.dimitrov@abv.bg)