

Vplyv vyšších harmonických na prúd cez nulový pracovný vodič

Influence of higher harmonics on current flowing through the neutral operating wire

Ján Kaňuch

jan.kanuch@tuke.sk

Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská Republika

Abstrakt — V tomto príspevku je popísaný nepriaznivý vplyv úsporných kompaktných žiaroviek na elektrickú sieť. Na kvalitu elektrickej energie sa v poslednom čase kladie čoraz väčší dôraz. Je snaha používať zariadenia s čo najväčšou účinnosťou (teda aj lepšou reguláciou). To má čoraz väčší vplyv na výskyt vyšších harmonických v elektrických rozvodoch. K zvýšeniu výskytu vyšších harmonických napätí a prúdov v elektrických rozvodoch v nemalej miere prispieva aj používanie kompaktných úsporných žiaroviek.

V príspevku sú popísané výhody a nevýhody kompaktných žiaroviek a princíp ich činnosti. V praktickej časti je urobené meranie vplyvu úsporných žiaroviek na elektrickú sieť. Cieľom meraní bolo urobiť harmonickú analýzu priebehu prúdu, ktorý kompaktné žiarivky odoberajú z napájacej siete a určiť prúd pretekajúci nulovým vodičom pri použití úsporných kompaktných žiaroviek ako náhrady klasických žiaroviek.

Kľúčové slová — úsporná kompaktná žiarivka, vyššie harmonické, elektromagnetická kompatibilita, meranie.

Abstract — This paper describes the adverse effect of the compact fluorescent lamps to the power supply. The quality of electricity has recently higher and higher importance. The aim is to use the device with the highest effectiveness and therefore with better regulation. The result of these requests is the presence of the higher harmonics in the power supply. This increase of higher harmonic in voltage and current in the electrical wiring in no small measure causes to the use of energy-saving light bulbs.

In this paper are presents the advantages and disadvantages of the compact fluorescent lamps, as well as the principles of their operation. In the practical part of this article it is described the measurement of the impact of energy-saving fluorescent lamps to the power supply. The aim of the realized measurements was to do harmonic analysis of the current, which took the compact fluorescent lamps from the power supply and determine the current flowing through the neutral wire while using the energy-saving compact fluorescent lamps as a substitute for the classical bulbs.

Keywords — energy-saving compact fluorescent lamp, higher harmonics, electromagnetic compatibility, measurement.

I. ÚVOD

Kvalita elektrickej siete sa vo všeobecnosti posudzuje podľa kvality elektrického napätia. Väčšina ľudí si neuvedomuje, že vyššie harmonické zložky boli stále, teda už od doby, keď bol vyrobený prvý generátor striedavého napätia. Avšak vyššie

harmonické v tej dobe boli minimálne a nemali v podstate žiadne škodlivé účinky.

Ideálne sínusové napätie (bez vyšších harmonických) je možné vyrobiť len ideálnym generátorom striedavého napätia vyrobeného s čo najjemnejšie rozloženým vinutím statora na ktoré pôsobí homogénne magnetické pole. Vzhľadom k tomu, že ani rozloženie vinutia statora nie je ideálne a ani magnetické pole nie je homogénne, tak skreslenie napätia sa odchyľuje od čisto sínusovej funkcie. Skreslenie v mieste výroby je síce veľmi malé (asi 1% až 2%), ale napriek tomu existuje. Je to teda odchyľka od periodickej funkcie a napätie obsahuje aj vyššie harmonické. Ale na výskyt vyšších harmonických v napájacej sústave má podstatnejší vplyv typ jej zaťaženia. V súčasnosti je snaha používať elektrické zariadenia s čo najväčšou účinnosťou (teda aj úsporou elektrickej energie) a s tým spojenou aj lepšou reguláciou odoberaného výkonu. A toto má čoraz väčší vplyv na výskyt vyšších harmonických v elektrických rozvodoch a teda aj v celej elektrizačnej sústave.

Kým neharmonické napätia a prúdy sú samy o sebe nepostrehnuteľné, tak fyzikálne javy, ktoré ich sprevádzajú sú vnímateľné. Nežiaduce účinky vyšších harmonických v elektrických napájacích systémoch sú veľmi reálne a čoraz častejšie poruchy, súvisiace s harmonickými prúdmi a napätiami, sa veľmi často objavujú bez varovania.

Z dôvodu, že elektrická energia sa stáva stále viac drahším produktom, tak sa zavádzajú rôzne úsporné opatrenia, či už v rámci domácnosti, výrobných podnikov alebo aj dokonca celých štátov. Jednou z oblastí, kde sa dá ušetriť pomerne veľa elektrickej energie, je osvetlenie. Obyčajné klasické žiarovky sú nahradzované úspornejšími svetelnými zdrojmi. Rozhodla o tom dokonca aj Rada Európskej únie pre energetiku, ktorá chce odľahčiť rozvodnú sieť a znížiť emisiu skleníkových plynov. Konečný spotrebiteľ síce zaplatí viac za modernejšie náhrady žiaroviek, ale mali by sa mu podstatne znížiť účty za spotrebovanú elektrickú energiu.

Klasické žiarovky premenia na svetlo iba niekoľko percent energie (cca 8%), ktorú spotrebujú. Preto sa najčastejšie nahradzujú kompaktnými žiarivkami, resp. halogénovými žiarovkami a LED diódovými svietidlami. Energetické úspory v porovnaní s klasickou žiarovkou sú nasledovné: pre žiarivky 80%, halogény 30% a LED svietidlá 80%. K dispozícii sú však aj iné alternatívne náhrady žiaroviek: nízkotlakové sodíkové výbojky, vysokotlakové ortuťové výbojky, halogenidové výbojky, vysokotlakové sodíkové výbojky a indukčné výbojky. Ale v širo-

kom sortimente svetelných zdrojov v podstate len kompaktné žiarivky sa svetelným tokom a kvalitou podania farieb blížia k obyčajným žiarovkám a zároveň v porovnaní s nimi majú podstatne väčšiu účinnosť. Fyzikálny princíp ich činnosti je síce podobný ako pri lineárnych žiarivkách, ale geometrické rozmery sú porovnateľné s klasickou žiarovkou. Hlavnou výhodou úsporných žiaroviek s elektronickým predradníkom je teda vyššia účinnosť. Nevýhodou je vyššia cena a tiež nesmieme zabudnúť na to, že sú tu aj nepriaznivé vplyvy na napájaciu sieť, ktoré sa u klasických žiaroviek nevyskytujú.

II. KVALITA ELEKTRICKEJ ENERGIE A MOŽNÉ PROBLÉMY

Vo všeobecnosti sa kvalita elektrickej energie posudzuje podľa kvality elektrického napätia. V zmysle čo najefektívnejšieho využitia elektrickej energie je možné zhrnúť požiadavky na elektrické napätie do niekoľkých bodov [1]:

- konštantná frekvencia,
- sínusový priebeh,
- konštantná efektívna hodnota,
- symetria v troch fázach,
- žiadne výpadky,
- vysoká spoľahlivosť.

Všetky vlastnosti elektrického napätia v sieťach nízkeho a vysokého napätia nám popisuje Európska norma EN50160.

Problémy elektrickej siete sa dajú zjednodušene rozdeliť na dve skupiny. Prvá skupina, sú problémy, ktoré síce nespôsobujú problém v prevádzke, ale sú penalizované zo strany dodávateľa – napr. jalová energia. Problémy z druhej skupiny, ktoré nie sú bežne penalizované, môžu ale zákazníčkovi spôsobiť rozsiahle škody, resp. znefunkčnenie zariadení [1].

Druhá skupina problémov sa javí ako vážnejšia. Neriešenie, týchto problémov môže viesť až k nemožnosti prevádzkovať niektoré výrobné technológie. Medzi problémy takéhoto významu možno zaradiť:

- rýchle zmeny napätia elektrickej siete,
- komunikačné prekmity na napätí,
- vysokofrekvenčné riadiace signály v elektrickej sieti,
- rezonancie,
- vyššie harmonické napätia a prúdy,
- nesymetrická sieť.

Všetky zmeny vlastností elektrickej energie zvyšujú, či už straty alebo spotrebu zariadení a tým zvyšujú aj náklady na elektrickú sieť. Avšak zo skúsenosti vyplýva, že problémy s kvalitou elektrickej siete sú hlavne spôsobované zákazníkmi a nie dodávateľmi.[1]

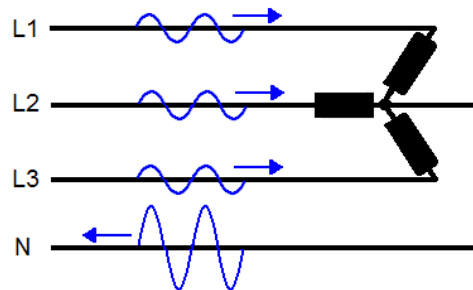
Problémy s kvalitou elektrickej siete sú hlavne spôsobované zariadeniami s nelineárnou VA charakteristikou, kde priebeh prúdu v elektrickej sieti nemá ideálny tvar „sínusovky“. Pri analýze spektra vyšších harmonických sa dá zistiť, že aj úsporné žiarivky s elektronickým predradníkom spôsobujú problémy a prúd odoberaný úspornou žiarovkou nemá len zložku 1. harmonickej, ale aj celý súbor vyšších harmonických prúdov, teda odoberaný prúd je silne neharmonický. Vyššie harmonické

prúdy generujú pri prechode impedanciami tiež vyššie harmonické napätia, čiže opäť pri analýze spektra harmonických napätí by sme zistili, že v sieti sa okrem 50 Hz-ového nominálneho napätia vyskytujú aj rôzne hodnoty vyšších harmonických napätí [1].

Je všeobecne známe, že pri vyšších frekvenciách prúdu sa významne prejavuje tzv. „skinefekt“ – to znamená vytláčanie prúdu na povrch vodiča. Vplyvom tohto efektu sa znižuje aktívny prierez vodiča, a tým sa zvyšuje jeho odpor. S rastúcim odporom vodičov sa samozrejme zvyšuje ich oteplenie a teda s tým súvisiace Joulové straty.

Pri zariadeniach, ktoré sú zjavným zdrojom vyšších harmonických (spínané zdroje, frekvenčné meniče, úsporné žiarivky s elektronickým predradníkom a pod.) je často napájací vodič viac zaťažovaný prúdom vyšších harmonických ako prúdom 1. harmonickej. V súčasnosti je aj veľmi ťažké nájsť moderné elektronické zariadenie, ktoré nespôsobuje nárast vyšších harmonických prúdov v elektrických sieťach.

V moderných zariadeniach sú v súčasnosti nasadzované najmä spínané zdroje jednosmerného napätia (bez transformátora), ktoré generujú predovšetkým tretiu harmonickej (prúd o frekvencii 150 Hz, resp. nepárneho násobku tretej harmonickej) a z tohto dôvodu vzniká v trojfázovej štvorvodičovej sústave problém s preťažovaním nulového vodiča. Za bežných okolností (pri symetrickej záťaži) sú fázové napätia posunuté o 120°, čiže nulovým (neutrálnym) vodičom netečie prúd. Pri tretej harmonickej (a jej násobkoch) vďaka tomu, že sú vo fáze dochádza k algebraickému súčtu ich hodnôt, a tým aj k riziku preťaženia nulového vodiča ako to vidíme na obrázku 1.



Obr. 1. Prúdové preťaženia nulového vodiča

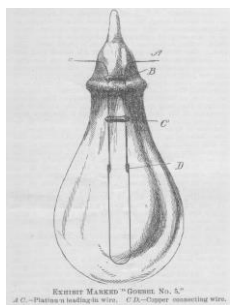
Tu je dôležité si uvedomiť, že jedno zariadenie problém nespôsobí, no niekoľko stoviek (napr. počítačov a žiaroviek vo veľkých kancelárskych budovách, priemyselných halách a pod.) však už problém predstavovať môže. Z doteraz realizovaných meraní je zrejmé, že v kancelárskych budovách môže tiecť nulovým vodičom až 200% prúdu fázového vodiča (a to aj pri správne vyváženej sieti). Hrozí teda reálne riziko preťaženia nulového vodiča a tým aj následná tepelná deštrukcia izolácie nulového vodiča a dokonca aj fázových vodičov, keď sú v jednom kábli. Hrozí tu teda veľké riziko skratu a následne aj možného vzniku požiaru takto preťaženej elektroinštalácie.

III. VÝVOJ ELEKTRICKÝCH SVETELNÝCH ZDROJOV

Svetelný zdroj je v podstate zdroj elektromagnetického žiarenia v rozsahu vlnových dĺžok približne 360-800 nm, čo je žiarenie, ktoré môžeme pozorovať ľudským okom ako viditeľné svetlo. Rozlišujeme svetelné zdroje prírodné a zdroje umelé. Prvé pokusy vytvoriť umelé viditeľné svetlo uskutočnil Angličan Humphry Davy ešte v roku 1802. Davy (tiež vynálezca oblúkovvej lampy) v podstate vynášiel prvú žiarovku, kde sa

pokúsil pôsobením elektrického prúdu rozžeraviť platinový pás vďaka výkonnej elektrickej batérii. Avšak vytvorené svetlo nebolo príliš jasné a trvalo len krátko.

Prvý odporový zdroj svetla, teda žiarovku, vytvoril nemecký hodinár Henrich Göbel ešte v roku 1854 (Obr. 2) a používal ju na osvetlenie výkladu svojho obchodu.



Obr. 2. Žiarovka Henricha Göbela [2]

Hlavným dôvodom, prečo sa táto žiarovka nezačala vyrábať a predávať je pravdepodobne to, že hodinár nemal peniaze zaregistrovať patent objavu. Pritom Göbelova žiarovka vydržala svietiť dlhšie, ako prvé Edisonove pokusy o štvrtstoročie neskôr [3].

Odporovú elektrickú žiarovku (v dnešnom ponímaní) vynasli nezávisle na sebe Joseph Swan z Newcastle vo Veľkej Británii v r. 1878 a Thomas Edison v USA v r. 1879. Práve Thomasa Edisona považujeme za prvého výrobcu, ktorý žiarovku s uhlíkovým vláknom uviedol aj na trh (Obr. 3).



Obr. 3. Replika žiarovky Thomasa Edisona [3]

V roku 1898 Carl Auer von Welsbach (rakúsky chemik, podnikateľ a autor značky OSRAM.) uhlíkové vlákno v žiarovke nahradil kovovým - z osmia. Pokusy s tantalovým vláknom sa začali v roku 1903. V roku 1905 sa začal používať volfrám. Nezvinuté (rovné) vlákno sa vyrábalo od roku 1906. Americký chemik a fyzik Irving Langmuir, ktorý sa zaoberal výskumom žiarovkových hlavičiek, zaviedol v roku 1913 plnenie banky žiaroviek chemicky neaktívnym (inertným) plynom (spočiatku sa používal dusík, neskôr argón), čím klesla rýchlosť vyparovania volfrámu a životnosť volfrámového vlákna bola viacnásobne predĺžená. Taktiež zistil, že prekručením vlákna do tesnej cievky sa podstatne zvýši aj jeho efektívnosť [4].

Prvé pokusy so žiarivkovými svietidlami sa začali na konci roka 1920. Albert W. Hull z General Electric Co v Spojených štátoch požiadal o patent na tento vynález v roku 1927, ktorý bola vydaný v roku 1931. V tom istom roku podal patent na žiarivkové svietidlo aj Nemeck Edmund Germer spolu so svojimi kolegami Friedrichom Meyerom a Hansom Spannerom. Pri výrobe a uvádzaní žiaroviek na vznikajúcom trhu mal poprednú

pozíciu General Electric. Predaj tzv. fluorescenčných lúčok bol zahájený v roku 1938. Žiarivkové osvetľovacie systémy sa rozširovali veľmi rýchlo v priebehu druhej svetovej vojny pre potreby intenzívnejšieho a silnejšieho osvetlenia. Okolo roku 1951 sa v Spojených štátoch vyrobilo viac svetla žiarivkovými svietidlami než klasickým žiarivkovým osvetlením.

Elmer Fridrich a Emmet Wiley vyvinuli v General Electric v roku 1955 v Nela Parku v štáte Ohio halogénové žiarovky. Urobiť halogénové žiarovky sa snažili aj iní, ale až Fridrich prišiel na to, ako odstrániť černenie sklenenej banky (je nutné použiť malé množstvo jódu okolo volfrámového vlákna). Halogénová žiarovka (Obr. 4) je plnená halogénovým plynom, napr. jódom či brómom. Vďaka tomu môže halogénová žiarovka pracovať na vyšších teplotách, čo vedie k vyššiemu jas a účinnosti než u klasických žiaroviek. Pretože banka žiarovky je veľmi horúca, vyrába sa z kremičitého skla.



Obr. 4. Halogénová žiarovka

V roku 1985 bola na priemyselnom veľtrhu v Hannoveri predstavená spoločnosťou OSRAM prvá úsporná žiarivka s integrovaným elektronickým predradníkom priamo v päťici žiarivky (Obr. 5). Bol to prelom nielen v oblasti výskumu, ale aj pre spotrebiteľov, keďže vďaka úsporným žiarivkám môže spotrebiteľ ušetriť až 80 percent energie.



Obr. 5. Žiarivka OSRAM s integrovaným elektronickým predradníkom [4]

Nový smer v osvetlení je použitie svetelnej diódy (LED). Na obrázku 6 je zobrazená prvá LED žiarovka s Edisonovým závitom.



Obr. 6. Prvá LED žiarovka s Edisonovým závitom [5]

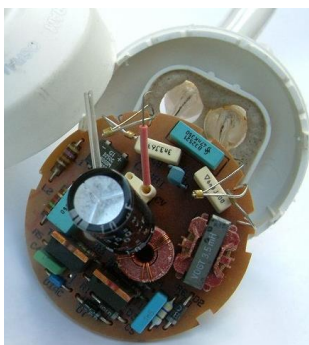
Výhody osvetlenia svetelnými diódami sú: nízka spotreba energie, svetlo neobsahuje ultrafialovú zložku, len minimálna časť príkonu sa spotrebuje na teplo, veľmi dlhá životnosť a LED žiarovka je ekologicky šetrný výrobok.

IV. NEPRIAZNIVÉ VPLYVY KOMPAKTNÝCH ŽIARIVIEK NA ELEKTRICKÚ SIŤ

A. Stručný popis princípu činnosti kompaktnej žiarivky

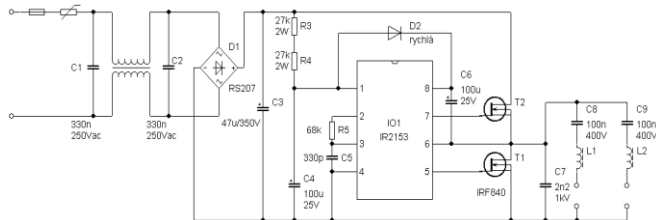
Žiarivka na premenu elektrickej energie na svetelnú energiu využíva žiarenie tlejivého elektrického výboja v parách ortuť. Výboj vyžaruje ultrafialové žiarenie, ktorým je ožarovaná vrstva luminoforu, ktorá sa nachádza na vnútornej strane banky. Žiarenie excituje molekuly luminoforu, ktoré potom pri návrate do pôvodného stavu emitujú fotóny viditeľného svetla.

Klasické žiarivky potrebovali k svojej činnosti štartér, kompenzačný kondenzátor a tlmivku a v kompaktných žiarivkách sa používa elektronický predradník (Obr. 7).



Obr. 7. Elektronický predradník OSRAM [4]

Je to samostatný diel umiestnený v plastovom kryte, na ktorú je nasadená žiarovková päťica so závitom a žiarovková trubica. Slúži na rozsvietenie žiarivky a po rozsvietení ju napája striedavým prúdom s frekvenciou 30 až 50 Hz. Nahrádza nám štartér, kompenzačný kondenzátor a tlmivku, ktoré sa používajú najčastejšie v lineárnych žiarivkách. Elektrotechnická schéma bežného elektronického predradníka je zobrazená na obrázku 8.



Obr. 8. Elektrotechnická schéma elektronického predradníka [6]

Elektronický predradník ma viacero výhod. Medzi hlavné výhody patrí okamžité rozsvietenie, menšia spotreba a nulová hlučnosť. Najnovšie elektronické predradníky sú kombinované s meničom pre dobíjanie akumulátora a striedačom pre napájanie žiaroviek z akumulátora, ktoré zároveň slúžia aj pre núdzové osvetlenie. Modernjšie, ale drahšie kompaktné žiarivky a elektronické predradníky obsahujú aktívny usmerňovač, vďaka ktorému sa dosiahne lepší účinník, ale zároveň môžu byť zdrojom vysokofrekvenčného rušenia.

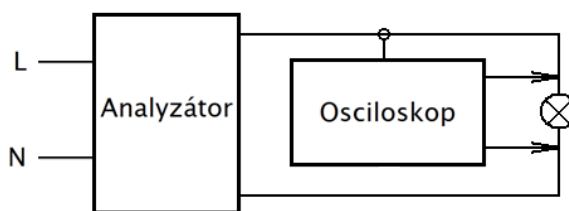
B. Spätný vplyv kompaktných žiaroviek na elektrickú sieť

Súčasne kompaktné žiarivky pracujú pri frekvencii niekoľko desiatok kHz. Integrovaný elektronický predradník slúži nie

len pre zapálenie a udržiavanie výboja, ale mal by aj obmedziť spätný vplyv kompaktných žiaroviek na elektrickú sieť. Drahšie kompaktné žiarivky s elektronickými predradníkmi obsahujú aktívny usmerňovač, vďaka ktorému odoberajú zo siete takmer sínusový prúd. Lacnejšie kompaktné žiarivky majú na vstupe len diódový usmerňovač s filtračným kondenzátorom a preto odoberajú so siete silne neharmonický prúd a ich celkový účinník je veľmi malý. S ohľadom na zníženie výrobných nákladov a teda aj konečnej ceny pre spotrebiteľa, predradník má pomerne jednoduchú konštrukciu, čo síce nemá zásadný vplyv na funkčnosť žiarivky, ale jeho zapojenie podstatne ovplyvňuje spätný vplyv na sieť a životnosť kompaktnej žiarivky.

Rastúce zaťaženie rozvodných sietí hlavne nepárny vyššími harmonickými je dôsledkom rozširujúceho sa používania rôznych elektronických prístrojov nielen v priemysle, ale aj v domácnostiach. V domácnostiach sú dnes veľmi často používané úsporné žiarivky.

Pre zistenie spätného vplyvu kompaktných žiaroviek na elektrickú sieť bolo zrealizované najprv meranie na jednotlivých úsporných kompaktných žiarivkách. Meranie bolo zrealizované podľa elektrotechnickej schémy na obrázku 9.



Obr. 9. Schéma zapojenia pri meraní

Pri meraní boli použité bežne dostupné úsporné žiarivky s rôznymi elektrickými príkonmi. Boli merané úsporné žiarivky s príkonom 9, 11, 14, 18 a 23 W. Namerané hodnoty napätia, prúdu a výkonu sme získali z výkonového analyzátoru Fluke Norma 4000 a grafické priebehy prúdu a napätia boli zaznamenané osciloskopom.

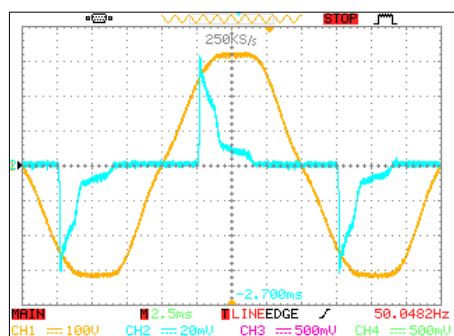
Namerané hodnoty z výkonového analyzátoru a grafické priebehy prúdu a napätia boli podobné a záviseli od príkonu žiarivky. Pre porovnanie sú v Tabuľke 1 namerané hodnoty pre žiarivku s najmenším príkonom 9 W (žiarivka má svietivosť 440 lm a mala by nahrádzať 40 W klasickú žiarovku) a s najväčším príkonom 23 W (svietivosť 1450 lm, náhrada 110 W klasickej žiarovky).

TABUĽKA I NAMERANÉ HODNOTY 9 A 23 W ÚSPORNEJ ŽIARIVKY

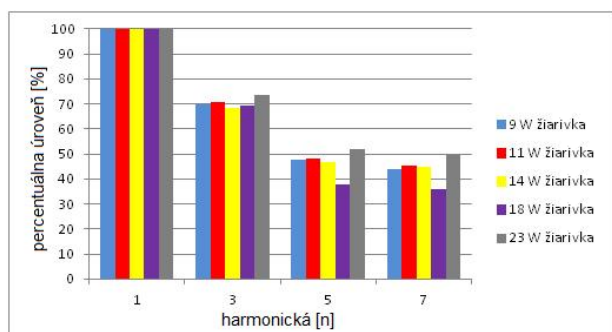
Veličina	Úsporná žiarivka 9 W	Úsporná žiarivka 23 W
U [V]	236,8	240
I [A]	0,0704	0,01631
P[W]	10,086	23,005
S [VA]	10,086	39,26
Q [Var]	-13,28	-31,81
λ [cap]	0,6	0,586

Napájacie napätie bolo sieťové (sínusové) ale priebeh prúdu bol silne zdeformovaný, teda obsahoval vyššie harmonické zložky. Na obrázku 10 vidieť časový priebeh napätia a typický priebeh prúdu úspornej žiarivky (konkrétne s elektrickým príkonom 23 W).

V nasledujúcom grafe na obrázku 11 je porovnanie percentuálnych úrovní vyšších harmonických prúdov jednotlivých meraných úsporných žiariviek.



Obr. 10. Priebeh prúdu a napätia – 23 W úsporná žiarivka



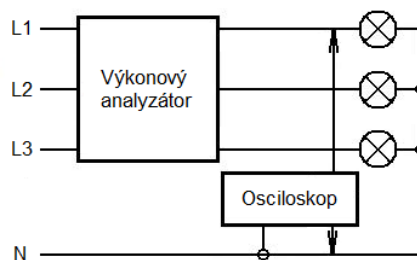
Obr. 11. Percentuálne úrovne harmonických prúdov pre jednotlivé úsporné žiarivky

Na obrázku 11 je vidieť, že žiarivky do príkonu 14 W majú približne rovnakú percentuálnu úroveň vyšších harmonických. Zaujímavý je pokles percentuálnej úrovne vyšších harmonických pri 18 W žiarivke a ďalej si môžeme všimnúť, že pri 23 W úspornej žiarivke je percentuálna úroveň vyšších harmonických najväčšia.

C. Meranie prúdu v nulovom vodiči v trojfázovej sústave zaťaženej tromi rovnakými žiarivkami

Ako už bolo spomenuté, ak v trojfázovej sústave, ktorá je zaťažená aspoň približne súmernou záťažou a odoberaný prúd je harmonický, tak nulovým vodičom tečie takmer nulový prúd. V prípade, keď jednotlivé záťažné prúdy (aj keď sú súmerné) obsahujú tretiu harmonickú (prípadne aj ďalšie vyššie nepárne harmonické), tak v nulovom vodiči už tečie neharmonický prúd.

V nasledujúcich meraniach bolo zistené, aký prúd bude pretekať v nulovom vodiči, ak zapojíme tri rovnaké úsporné žiarivky s elektronickým predradníkom do trojfázovej sústavy (jedna žiarivka do každej fázy) v zapojení do hviezdy (obrázok 12).



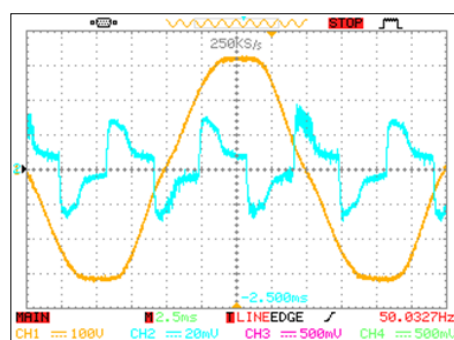
Obr. 12. Zapojenie troch žiariviek žiarivky

Pri meraní boli použité tri rovnaké 14 W úsporné žiarivky. V tomto prípade fázovými vodičmi tečú silne neharmonické prúdy, čo má za následok, že aj v nulovom vodiči potečie prúd. Namerané hodnoty prúdov a príkonov v jednotlivých fázových vodičoch sú uvedené v Tabuľke 2.

TABUĽKA II NAMERANÉ HODNOTY ÚSPORNÝCH 14 W ŽIARIVIEK ZAPOJENÝCH DO HVIEZDY

Veličina	Žiarivka č. 1	Žiarivka č. 2	Žiarivka č. 3
U [V]	237,15	237,37	237,17
I [A]	0,10486	0,09819	0,099
P[W]	15,836	14,669	14,565

Efektívna hodnota prúdu v nulovom vodiči bola až **0,155 A**. Ak porovnáme prúd v nulovom vodiči s prúdmi v tabuľke 2, tak vidíme, že v nulovom vodiči potečie väčší prúd, ako je prúd tečúci fázovými vodičmi. Na obrázku 13 môžeme vidieť časový priebeh prúdu v nulovom vodiči a fázové napätie.



Obr. 13. Priebeh prúdu v nulovom vodiči a fázového napätia – 3 x 14 W úsporná žiarivka

Pri meraní boli použité len 3 kusy úsporných žiariviek. Pri väčšom množstve úsporných žiariviek by prúd v nulovom vodiči by mnohonásobne vzrástol. Napr. vo veľkých administratívnych budovách, podnikoch, bytovkách a pod. V starých svetelných obvodoch sa vo väčšine prípadov používal nulový vodič rovnakého prierezu ako fázové vodiče, ale pri navrhovaní nových rozvodov je potrebné počítať s tým, že v takýchto prípadoch bude v nulovom vodiči väčší prúd ako vo fázových vodičoch a tomuto prispôbiť aj jeho prierez.

D. Meranie prúdu v nulovom vodiči v trojfázovej sústave zaťaženej tromi rôznymi žiarivkami

Pri ďalšom meraní boli do trojfázovej sústavy zapojené do hviezdy 3 úsporné žiarivky s rôznymi elektrickými príkonmi. Príkonov týchto žiariviek mali hodnoty 9, 14 a 23 W. Namerané hodnoty prúdov a príkonov v jednotlivých fázových vodičoch sú uvedené v Tabuľke 3.

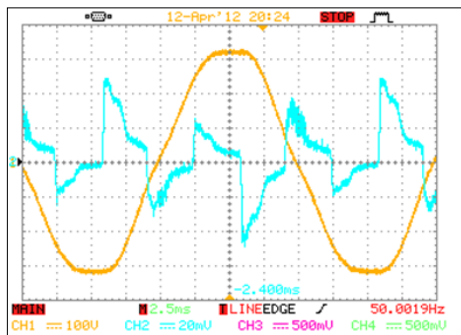
TABUĽKA III NAMERANÉ HODNOTY TROCH RÔZNYCH ÚSPORNÝCH ŽIARIVIEK ZAPOJENÝCH DO HVIEZDY

Veličina	Žiarivka 9 W	Žiarivka 23 W	Žiarivka 14 W
U [V]	237,53	237,41	237,32
I [A]	0,06825	0,1532	0,101
P[W]	10,023	22,179	14,775

V tomto prípade prúd v nulovom vodiči dosahoval efektívnu hodnotu **0,160 A**. Táto hodnota je tiež vyššia ako efektívne hodnoty prúdov tečúcich v jednotlivých fázových vodičoch. Je

zaujímavé aj to, že efektívna hodnota prúdu v nulovom vodiči v tomto prípade (nesúmerná trojfázová záťaž) je tiež vyššia ako hodnota prúdu pri meraní, kde boli použité tri úsporne žiarovky s rovnakým príkonom (teda bola relatívne súmerná trojfázová záťaž). Z toho vyplýva, že s nesúmerným zaťažením narastá aj prúd v nulovom vodiči.

Na obrázku 14 je zobrazený časový priebeh prúdu tečúceho nulovým vodičom a napätia v prvej fáze.



Obr. 14. Priebeh prúdu v nulovom vodiči a fázového napätia – 3 rôzne úsporne žiarovky (9, 23 a 14 W)

V. ZÁVER

V tomto článku sú uvedené výsledky meraní nepriaznivých vplyvov kompaktných žiaroviek na elektrickú sieť.

Pretože kvalita elektrickej siete sa posudzuje podľa kvality elektrického napätia, platí európska norma EN50160, ktorá popisuje vlastnosti elektrického napätia v sieťach nízkeho a vysokého napätia. Normy, ktoré hovoria o kvalite elektrickej siete teda popisujú vlastnosti elektrickej siete, ktoré by mali zaručiť funkčnosť zariadení napájaných z tejto siete. V týchto normách sa ale nehovorí nič o tom, aké vlastnosti musí spĺňať zdroj elektrickej energie alebo spotrebič [1].

Neharmonické prúdy spôsobujú nárast nie len špičkovej, ale aj efektívnej hodnoty prúdu. Nárast týchto veličín nevieme zistiť pri použití jednoduchých meracích zariadení, pretože nie všetky meracie prístroje (hlavne tie lacnejšie) totiž umožňujú meranie tzv. „True RMS“ hodnoty – to znamená meranie prúdu, resp. napätia postupnou integráciou a nie výpočtom zo strednej hodnoty. Ale zvýšenie efektívnej a rovnako aj špičkovej hodnoty prúdu spôsobuje zvýšenie strát spotrebičov a tým aj nárast ich tepelného namáhania a zníženie životnosti [9].

Z meraní je zrejmé, že vyššie harmonické prúdy generujú neharmonický prúd nulovým vodičom. Tento prúd je niekedy podstatne väčší, na ktorý bol nulový vodič dimenzovaný (hlavne pri starších rozvodných sieťach). Tu hrozí reálne riziko preťaženia nulového vodiča, čo môže spôsobiť aj následnú

tepelnú deštrukciu jeho izolácie. Tiež je dôležité si uvedomiť, že jedno zariadenie problém nespôsobí, no niekoľko stoviek však už môže predstavovať veľmi vážny problém.

Pred inštaláciou zariadení by malo byť vždy všeobecnou zásadou informovať sa o ich vplyve na elektrickú sieť a z tohto dôvodu by mali byť vždy preferované zariadenia, ktorých negatívny vplyv je čo najmenší, aj keď sa dá očakávať, že ich cena bude vyššia. Tiež by sa nemala podceňovať aj priebežná analýza elektrickej siete, pretože tá dokáže upozorniť na blížiacu sa problémy a tým zabrániť nežiaducemu poškodeniu zariadení alebo ich výpadkom [1].

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená projektom vedeckej grantovej agentúry podľa zmluvy č.: VEGA 1/0121/15.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Materiály firmy Power Grid, s.r.o., 2016, dostupné: <http://www.power-grid.eu>
- [2] Electric World, April 22, 1893, dostupné: <http://vintageephemera.blogspot.sk/2010/06/light-bulb-electric-world-april-22-1893.html>
- [3] Žiarovka, 2016, dostupné: <http://encyklopedia.sme.sk/c/5172514/ziarovka.html>
- [4] Materiály firmy OSRAM, 2016, dostupné: <http://www.osram.com>
- [5] First LED bulb, dostupné: <http://flickr.com/photo/82365211@N00/>
- [6] Elektrotechnické schémy, dostupné: http://www.pavouk.org/hw/lamp/index.html#elektricka_konstrukce
- [7] Materiály firmy Profimedia, 2016, dostupné: <http://www.profimedia.cz/fotografie/replika-zarovsky-edisona/0006781528/>
- [8] História vzniku žiarovky, dostupné: <http://www.ziarovky.weblahko.sk/21-Historia-vzniku-ziarovky.html>
- [9] M. Pástor, J. Dudrik, M. Bodor, M. Lacko, „Kaskádový mostikový striedač pre fotovoltaický systém“, *EE Časopis pre elektrotechniku a energetiku*, ročník 17, číslo 1 (2011), str. 24-25, 2011, ISSN 1335-2547

J. Kaňuch - je absolvent Vysoké školy technickej v Košiciach, Elektrotechnická fakulta, Katedra elektrických pohonov v odbore Silnoprúdová elektrotechnika so zameraním na elektrické stroje a prístroje (Ing. 1986). Odvtedy pracuje na danej katedre (v súčasnosti Katedra elektrotechniky a mechatroniky na Fakulte elektrotechniky a informatiky Technickej Univerzity v Košiciach) ako odborný asistent. V roku 2006 získal titul PhD. v odbore Silnoprúdová elektrotechnika.

Oblasti profesijného a odborného záujmu: Elektrické stroje a prístroje, Grafické CAD systémy, Elektrické pohony, Automobilová elektrotechnika a mechatronika, EMC, Priemyselná elektronika a Technická dokumentácia.