

# KOMPLEXNÉ HODNOTENIE KVALITY ELEKTRICKEJ ENERGIE V ELEKTRICKÝCH SIEŤACH

## COMPLEX POWER QUALITY EVALUATION OF ELECTRICAL ENERGY IN ELECTRIC NETWORKS

Juraj Altus, Milan Novák, Alena Otčenášová, Michal Pokorný,

*Katedra výkonových elektrotechnických systémov, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita  
Veľký diel, 010 26 Žilina, Slovensko*

**Abstrakt** Problematiku komplexného hodnotenia kvality elektrickej energie v elektrických sieťach skúmajú pracovníci Katedry výkonových elektrotechnických systémov (KVES) už niekoľko rokov a preto závery uvedené v tomto článku sú zhrnutím vykonaných meraní a analýz. Poukazujú na dôležitosť overovania elektromagnetickej kompatibility v spoločných napájacích bodoch v elektrických sieťach.

**Summary** Power quality evaluation is in the scope of research activities carried out by the members of Department of Power Electrical Systems (KVES) for many years. Results presented in the paper are the outcomes of number of accomplished measurements and analyses. They point out the importance of EMC assessment in the points of common coupling in electric networks.

### 1. ÚVOD

Problematike kvality elektrickej energie sa na Slovensku venuje trvalá pozornosť, ktorá sa stupňuje s nástupom liberalizácie trhu a jej realizáciou od januára 2002. Je snaha zahrnúť do zmlúv medzi prevádzkovateľom sietí a ich partnerov ukazovatele kvality, kde sa v súčasnosti kladie dôraz predovšetkým na kontinuitu napájania.

Elektrická energia v stave v akom sa dodáva odberateľom má viaceré premenlivé charakteristiky, ktoré ovplyvňujú jej užitočnosť pre zákazníka. S ohľadom na použitie elektrickej energie je žiadúce, aby napájacie napätie malo konštantnú frekvenciu, s dokonalou sínusovou vlnou a konštantnou veľkosťou. V praxi existujú mnohé činitele, ktoré spôsobujú odchýlky od tohto ideálneho stavu. Na rozdiel od normálnych výrobkov je v tomto prípade používanie zariadení jedným z hlavných činiteľov, ktoré ovplyvňujú zmenu charakteristík.

Serióznym sledovaním parametrov kvality napätia získava výrobca a predajca elektrickej energie informácie o kvalite siete. Tým môže nadobudnúť istotu, že napätie siete zodpovedá minimálne norme STN EN 50160 [6] pre napäťovú úroveň nn a vn. Vďaka pravidelným meraniam tak obdrží včas informácie o možnom poklese kvality. Tým sa môže predchádzať reklamáciám a včas plánovať rozšírenie siete. Totálny výpadok siete nemôže byť však zmysluplne popísaný hraničnými hodnotami. Norma udáva len hraničné hodnoty, ktoré nesmú byť prekročené počas 95 % času sledovania.

Na katedre VES sa už niekoľko rokov zaoberáme komplexným hodnotením kvality elektrickej energie v elektrických sieťach v spolupráci s výrobcami a distribútormi elektrickej energie. Množstvo vykonaných meraní a analýz nás vedie k záverom, ktoré sú opísané v tomto článku.

### 2. OVEROVANIE ELEKTROMAGNETICKEJ KOMPATIBILITY

Základným predpokladom zaistenia elektromagnetickej kompatibility prevádzky elektrotechnických zariadení je overenie, či sú splnené požiadavky elektromagnetickej kompatibility u vyvíjaných, vyrábaných a prevádzkovaných elektrotechnických súčiastok, výrobkov a systémov. Skúšky, ktorými sa overuje elektromagnetická kompatibilita výrobkov, musia byť vykonávané v štandardných, reprodukovateľných podmienkach. Jedná o zistenie, či sú tieto výrobky schopné v elektromagnetickom prostredí, pre ktoré sú určené, vyhovujúcim spôsobom fungovať a nevytvárať pritom neprípustné elektromagnetické rušenie. Je teda potrebné určiť, či:

- úroveň vyžarovania rušenia je u skúšaného zariadenia nižšia ako predpísaná úroveň vyžarovania – skúšky vyžarovania,
- úroveň odolnosti overovaného zariadenia je vyššia než predpísaná úroveň odolnosti - skúšky odolnosti.

V obidvoch prípadoch sú príslušné predpísané medze stanovené s ohľadom na elektromagnetické prostredie, pre ktoré je overované zariadenie určené, t. j. kde má byť prevádzkované. Z tohoto hľadiska sa rozlišujú spravidla dva základné typy prostredí:

1. Prostredie obytné, kancelárske a ľahkého priemyslu, t. j. objekty, ktoré sú napájané z toho istého verejného rozvodu ako obytné budovy a nie sú od týchto budov dostatočne priestorovo oddelené. V tomto prostredí sa nepredpokladá prevádzkovanie zariadení predstavujúcich výraznejšie zdroje elektromagnetického rušenia, takže medze vyžarovania i odolnosti sú na nižších hladinách úrovne elektromagnetického rušenia. Z toho vyplýva, že na odolnosť overovaného zariadenia sú kladené nižšie nároky, ale naopak, tým náročnejšie

je obmedzenie vyžarovania elektromagnetického rušenia.

- Prostredie priemyslové, kde sú prevádzkované priemyslové zariadenia predstavujúce obvykle zdroje intenzívneho elektromagnetického rušenia, s oddeleným rozvodným systémom a aj priestorovo dostatočne oddelené od obytných súborov. Obe medze sú na vyšších hladinách rušenia. Na odolnosť overovaných zariadení sú teda kladené vyššie požiadavky, na obmedzenie vyžarovania naopak požiadavky nižšie.

Okrem týchto dvoch základných typov prostredí môžu byť vo zvláštnych prípadoch uvažované i špeciálne prostredia, kde sa predpokladá extrémne vysoká úroveň elektromagnetického rušenia (napr. elektrické stanice vn a vvn), alebo naopak, kde sú na úroveň rušenia požiadavky extrémne prísne (špeciálne priestory pre spracovanie dát a pod.).

### 3. SLEDOVANÉ KVALITATÍVNE PARAMETRE – MERANÉ VELIČINY

Pri meraniach sú sledované predovšetkým parametre, ktoré súvisia s bežným prevádzkovým stavom zariadení:

- veľkosť napájacieho napätia a jeho odchýlky,
- závažnosť blikania (flicker efekt),
- nesymetria napätia,
- obsah harmonických zložiek napätí a prúdov.

Veľkosť a nesymetria napájacieho napätia sa vyhodnocuje na základe 95 % 10 minútových stredných efektívnych hodnôt získaných z merania počas 1 týždňa, závažnosť blikania 95 % hodnotou týždňového merania. Obsah harmonických napätia je posudzovaný maximálnymi a 95 % hodnotami a súhrnne pomocou koeficienta celkového harmonického skreslenia harmonickej frekvencie  $THD_U$ , opäť z týždňového merania.

Aj keď takmer všetky nami vykonané merania boli realizované z dôvodu podozrenia, že v danej časti siete dochádza k prekročeniu medzných úrovní kvalitatívnych parametrov elektrickej energie, je možné vysloviť nasledovné závery:

- Závažnosť blikania** spôsobená kolísaním napätia je jedným z najproblematickejších parametrov kvality elektrickej energie. Maximálne nami namerané hodnoty krátkodobej ako aj dlhodobej závažnosti blikania sú vysoké, vyskytli sa vo viacerých meraniach a prakticky na všetkých napäťových úrovniach. Hodnoty kolísania napätia sú dosť častým regionálnym problémom a vyskytujú sa predovšetkým v miestach napájania veľkých kolísavých odberov zo sietí vvn a vn, napr. oblúkových pecí, odporových zväračiek, odberov s rýchlou reguláciou výkonu, kde rozsah postihnutej oblasti závisí od veľkosti a spôsobu pripojenia rušiaceho zdroja. V sieťach nn sú špecifické iné kolísavé odbery spôsobené výraznými zmenami záťaží, napr. pohony gátrov, zväracie agregáty, napájanie

veľkých tepelných spotrebičov, koncentrácia úsporných svetelných zdrojov, rušivé signály a pod.

Rozsah postihnutej oblasti závisí od veľkosti a spôsobu pripojenia rušiaceho zdroja. Uplatňuje sa prenos medzi jednotlivými napäťovými úrovňami. Smerom k vyšším skratovým výkonom sa utlmí, smerom k nižším sa šíri prakticky nezmenený. Minimálny je útlm pri prenose zo siete vyššieho napätia do siete nižšieho napätia. Napr. od oblúkových pecí sa kolísanie napätia dostáva do siete 110 kV, ďalej sa šíri a transformáciou sa dostáva do siete vn a nižšie. Od odporových zväračiek napájaných obyčajne zo siete vn sa kolísanie tiež šíri po sieti vn a prenáša sa do siete nn. Pri blikaní – kolísaniach napätí spôsobenými viacerými zdrojmi sa tiež uplatňuje princíp superpozície.

Otázky blikania sú teda veľmi aktuálne. V súčasnosti sú hodnoty pre hodnotenie blikania na úrovni hraničných hodnôt stanovených normou STN EN 50160 [6] a niekedy sú aj prekročené. Už teraz je nutné zavádzať doplnkové technické riešenia na odstránenie uvažovaného nepriaznivého vplyvu.

- Nesymetria napätia** v bežnom prevádzkovom stave nepredstavuje v súčasnosti významný problém, nakoľko je to problematika dostatočne známa a už samotné zariadenia, o ktorých sa vie, že ju spôsobujú, sú pripájané takým spôsobom, aby bola zabezpečená dostatočná kvalita odoberanej elektrickej energie. Napr. transformovne striedavej elektrickej trakcie sú a boli pripájané do miest s dostatočne veľkým skratovým výkonom. Hodnoty napäťovej nesymetrie sú v súčasnosti v sieti vn a nn veľmi priaznivé a s rezervou spĺňajú požiadavky normy STN EN 50160 [6] ( $\leq 2\%$ ). Miesta kde sa napäťová nesymetria pohybuje okolo hodnoty 1 % sú skôr výnimočné a sú prevažne v miestach siete 110 kV, z ktorých je napájaná striedavá elektrická trakcia. Preto ani nie je predpoklad prekročenia uvedenej hodnoty, pokiaľ už pri pripájaní ďalších nových zariadení bude zohľadnené toto kritérium.
- Koeficient celkového skreslenia harmonickej frekvencie  $THD_U$**  vo všetkých nami uskutočnených meraniach vyhovoval normovanej hodnote 8 % a vo väčšine prípadov bol hlboko pod ňou. Merania boli vykonané v napájacích bodoch odberov s polovodičovými meničmi, striedavej elektrickej trakcii, s úspornými svetelnými zdrojmi atď.
- Harmonické zložky napätia.** Výsledky našich meraní a analýz ukazujú, že momentálne je vo verejných rozvodných sieťach nízkeho a vysokého napätia dominantných prvých päť nepárnych harmonických, ale opäť vo väčšine prípadov spĺňajú požiadavky STN EN 50160. Prekročenie hraničných hodnôt bolo zaznamenané u striedavej elektrickej trakcie a aj to pre harmonické rádu 15 a vyššie.

Prvých päť nepárnych harmonických v sieťach nn

je spôsobené predovšetkým využívaním veľkého množstva výkonovo malých domácich aj jednofázových spotrebičov s nelineárnou charakteristikou. Tiež platí, že pre 3. a 7. harmonickú je odstup od kompatibilných úrovní ešte s dostatočnou rezervou. Obsah 5. harmonickej napätia sa blíži k povoleným 6 %. Pre každú harmonickú platí, že je daná fázorovým súčtom harmonických napätia v danom mieste siete od všetkých zdrojov harmonických napätia. Pritom amplitúdy nepárnych harmonických nižších rádov zostávajú v energetických sieťach stabilné po dlhú dobu a fázové uhly sa menia len v relatívne úzkom pásme. Preto sa sčítavajú takmer aritmeticky.

Z tohoto dôvodu sa dá očakávať v blízkej budúcnosti ďalší nárast harmonických napätia a predovšetkým spomínanej piatej. V rade lokalít môže dôjsť k prekročeniu kompatibilných úrovní, pokiaľ nebudú prijaté zodpovedajúce technické opatrenia. Toto tvrdenie korešponduje s informáciami zo zahraničia, kde sa objavili informácie o rastúcej úrovni rušivých vplyvov vo verejných rozvodných sieťach, ktoré sa približujú kompatibilným úrovniam.

Z analýzy spektier harmonických u jednotlivých domácich spotrebičov a z početnosti ich výskytov je potom možné posúdiť zdroje harmonických, čo môže zjednodušiť realizáciu prípadných technických opatrení na obmedzenie harmonického skreslenia.

#### 4. ZÁVER

Riešenie úloh v danej oblasti nie je ukončené. Nie je vyjasnená otázka trvalého merania kvalitatívnych parametrov a penalizácie odberateľov, ktorí dlhodobo nedodržiavajú vybrané parametre.

S tým súvisí snaha o systematizáciu sledovania vyššie uvedených kvalitatívnych parametrov. V prvom priblížení je venovaná pozornosť problematike výberu a kategorizácie kritických meracích bodov pre zisťovanie kvality elektrickej energie v distribučných sieťach Slovenska, s nasledovným rozšírením na všetky spoločné napájacie body sústavy. Je nutné vypracovať návrh metodiky merania kvality elektrickej energie vo vybraných meracích bodoch, potrebný na ich ohodnotenie a následné monitorovanie. Merania pri poruchových stavoch a jednorazové merania, ktoré sú dôležité najmä pri pripájaní nových odberateľov sa už vykonávajú.

S tým súvisí aj otázka vzájomného ovplyvňovania sa rôznych napäťových hladín – prenosu a šírenia jednotlivých parametrov pri prechode z jednej napäťovej úrovne na druhú. Niektoré teoretické úvahy by bolo vhodné doplniť meraniami, s použitím väčšieho počtu prístrojov.

Na našom trhu je dosť veľká ponuka prístrojov vhodných na kontrolu kvality elektrickej energie. Nie všetky však spĺňajú prísne požiadavky noriem z hľadiska presnosti, množstva meraných údajov a ich dlhodobého zaznamenávania. Preto je potrebné z ponuky prístrojov vybrať ten, ktorý je pre danú aplikáciu najvhodnejší. Vychádza sa najmä z toho, či sa požaduje základné, kontrolné alebo prevádzkové meranie. Vzhľadom na veľkú investičnú náročnosť nie sú pre väčšinu odberateľov elektriny tieto prístroje bežne dostupné.

#### LITERATÚRA

- [1] Altus, J. – Novák, M. – Otčenášová, A. – Pokorný, M.: Nepriaznivé vplyvy na elektrizačnú sústavu, Edičné stredisko ŽU v Žiline, 1997
- [2] Altus, J. – Novák, M. – Otčenášová, A. – Pokorný, M.: Vplyv nesymetrických odberov na analýzu parametrov elektrickej energie, Energetika, ročník 53, 2003, č. 1, str. 17-21
- [3] Altus, J. – Novák, M. – Otčenášová, A. – Pokorný, M.: Rýchle zmeny napätia – blikanie (flicker), Časopis EE, 8, 2002, č. 3, str. 9-11
- [4] Komplexné hodnotenie kvality elektrickej energie v elektrických sieťach, záverečná správa o riešení výskumnej úlohy č. 039/603/2001
- [5] Pokorný, M. – Altus, J. – Novák, M. – Otčenášová, A.: Analýza a dôsledky nesymetrického zaťaženia trojfázovej siete, Advances in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 1/2002, No. 1-2, str. 21-27
- [6] STN EN 50160 (33 0121) „Charakteristiky napätia elektrickej energie dodávanej z verejnej distribučnej siete“. Vydaná 7.2002
- [7] STN EN 61000-4-7 (33 3432) Elektromagnetická kompatibilita (EMC). 4 časť : Skúšobné meracie techniky. 7 oddiel: „Všeobecný návod na meranie harmonických a medziharmonických a na prístrojové vybavenie pre rozvodné siete a zariadenia v nich zapojené“. Vydaná 11.1995