

Bystrík Dolník

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

Analýza kolísania napájacieho napätia v sieti nízkeho napätia

Abstrakt. Nепretržitá dodávka elektrickej energie je vo vyspelých štátoch už samozrejmosťou pričom veľký dôraz je v súčasnosti kladený na dodržanie jej kvality. Jedným zo sledovaných parametrov, ktorý musí dodávateľ elektrickej energie zabezpečiť, sú napätové charakteristiky. Kolísanie napájacieho napätia môže mať výrazný vplyv na životnosť a prevádzku niektorých elektrických zariadení. V článku sú uvedené niektoré možnosti na opísanie charakteristiky odberného miesta z hľadiska napätových charakteristík. Na vyjadrenie napätových charakteristík sú aplikované nástroje matematickej štatistiky.

Abstract. Uninterrupted power supply is in the developed countries already a matter of course with great emphasis is today laid to meet its quality. One of the monitored parameters which must ensure the electricity supplier are the voltage characteristics. Supply voltage fluctuations may have a significant impact on the life and operation of certain equipments. The article presents some possibilities to describe the characteristics of the point of delivery in terms of voltage characteristics. To reflect the voltage characteristics tools of mathematical statistics are applied. (**Analysis of supply voltage fluctuation in low voltage networks**).

Kľúčové slová: kolísanie napätia, kvalita elektrickej energie, štatistika.
Keywords: voltage fluctuation, power quality, statistics.

Úvod

V súčasnosti, keď sa nepřetržitá dodávka elektrickej energie stáva samozrejmosťou vo vyspelých štátoch, je kladená vysoká požiadavka na jej kvalitu. Malí odberatelia elektrickej energie používajú v domácnostiach množstvo rozličných elektrických spotrebičov s malým výkonom. Ako samostatní odberatelia výrazne neovplyvňujú kvalitu elektrickej energie, avšak celkovo môžu výrazne pôsobiť na sledované parametre kvality dodávanej elektriny. Na druhej strane, veľkoodberatelia musia zabezpečiť požiadavky EMC aj na strane vlastného odberu, aby výrazným spôsobom neovplyvnili charakteristiky napájacieho napätia [1], [2], [3]. Medzi napájacie charakteristiky nízkeho napätia patria:

- frekvencia siete,
- veľkosť napájacieho napätia,
- kolísanie napájacieho napätia,
- poklesy napájacieho napätia,
- krátkodobé prerušenia napájacieho napätia,
- dlhodobé prerušenia napájacieho napätia,
- dočasné prepätia sieťovej frekvencie,
- prechodné prepätia,
- nesymetria napájacieho napätia,
- napätia harmonických frekvencií,
- napätie medziharmonických frekvencií a
- napätie sieťovej signalizácie na napájacom napätí.

Je zrejmé, že vymenované napájacie charakteristiky definujú napájacie napätie s ohľadom na frekvenciu, veľkosť, tvar vlny a súmernosť trojfázových napätí. Tieto charakteristiky sú podmienené zmenám počas normálnej prevádzky napájacej sústavy v dôsledku zmien zaťaženia, porúch spôsobených určitými zariadeniami a výskytu porúch, ktoré zvyčajne spôsobujú vonkajšie činitele. Čo sa týka zmien charakteristík, tieto sa menia náhodným spôsobom z hľadiska času a z hľadiska miesta. Niektoré javy, ktoré ovplyvňujú napätie, nemožno vo výraznej miere predpovedať. Jednou z vymenovaných napájacích charakteristík je kolísanie napájacieho napätia. Jedná sa o zvýšenie alebo zníženie napätia spôsobené obvykle zmenou celkového zaťaženia rozvodnej sústavy alebo jej časti. Za normálneho prevádzkového stavu, ktorý vylučuje prerušenie napätia, má byť počas každého obdobia jedného týždňa 95 % 10-minútových stredných efektívnych hodnôt napájacieho napätia v rozsahu $U_n \pm 10\%$, pričom U_n je menovité napätie sústavy [4]. Poznamenajme, že všetky

priemerné efektívne hodnoty napájacieho napätia v 10-minútových meracích intervaloch musia byť zasa v rozsahu $U_n +10\% -15\%$. Závažnosť kolísania napájacieho napätia je v tom, že má výrazný vplyv na životnosť a/alebo prevádzku niektorých spotrebičov [5].

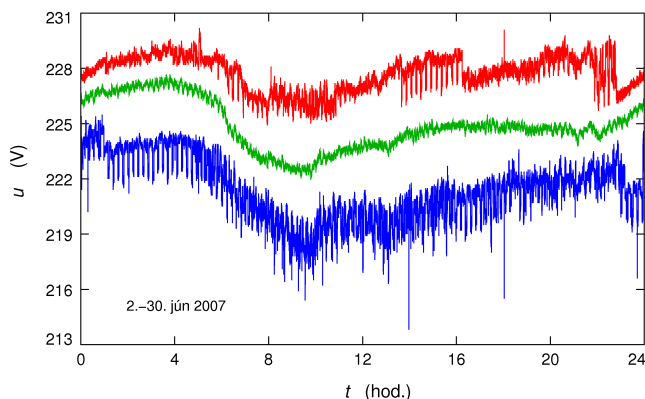
Návrh a príprava experimentu

Dlhodobé monitorovanie napájacieho napätia možno použiť na charakterizovanie, resp. klasifikáciu odberného miesta. Dodávateľ elektrickej energie musí dodať elektrinu v požadovanej kvalite, pričom príslušné normy pripúšťajú definovanú toleranciu pre jednotlivé charakteristiky napätia. Ako už bolo spomenuté, charakteristiky napätia menia sa náhodným spôsobom, preto kontinuálny monitoring napätia možno považovať za nástroj, ktorý napomáha jednak dodávateľovi elektriny, jednak odberateľovi.

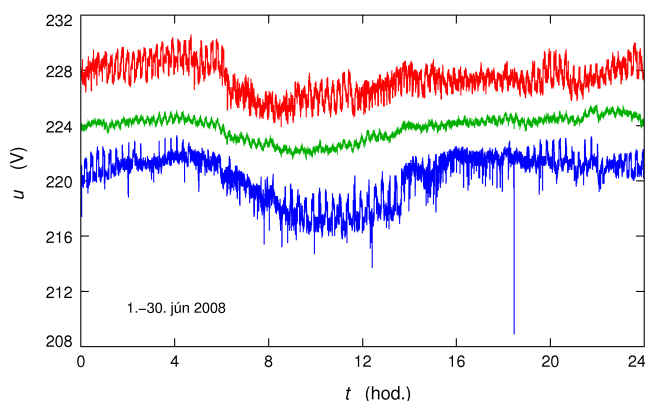
Experiment bol navrhnutý tak, aby sa odberné miesto dalo charakterizovať z dlhodobého hľadiska podľa kolísania napájacieho napätia. Pre tento účel realizoval sa kontinuálny záznam efektívnej hodnoty napájacieho napätia. Prípadné prerušenia dodávky elektrickej energie z dôvodu plánovanej údržby neboli brané do úvahy. Na získanie optimálneho počtu dát zvolil sa najprv 60 s interval záznamu, po čiastkovej analýze trendu zaznamenaného napätia v sledovanom odbernom mieste bol interval záznamu skrátený na 10 sekúnd, neskôr na 1 sekundu. Experiment sa začal v zimnom období v roku 1999 do roku 2000, potom v rokoch 2002–2003 a nakoniec pokračoval od roku 2007 a trvá až doteraz. Prehľad celkového počtu nameraných dát za sledované obdobie je uvedený v Tab. 1. Namerané dáta možno vyhodnocovať podľa zvoleného časového úseku. Ako základ pre analýzu kolísania napätia použil sa denný cyklus, ktorý začína o 12. hodine v noci a trvá 24 hodín. Na analýzu možno použiť napr. časový úsek týždenný, mesačný alebo trojmesačný v rámci ročného obdobia (jar, leto, jeseň a zima) a pod. Ako porovnávací šablóna napätia bol použitý mesačný priemer. Za obdobie podľa Tab. 1 získalo sa spolu 74 960 514 dát.

Tabuľka 1. Počet nameraných dát za sledované obdobie v tisícoch

Obdobie	1999	2000	2002	2003	2007	2008	2009	2010
Jarné							6 739,2	7 862,4
Letné		92,16		431,94	4 147,2	2 678,4	6 739,2	6 048,0
Jesenné						7 689,6	6 912,0	6 652,8
Zimné	10,08		18,72	449,214	950,4	3 369,6	7 084,8	7 084,8



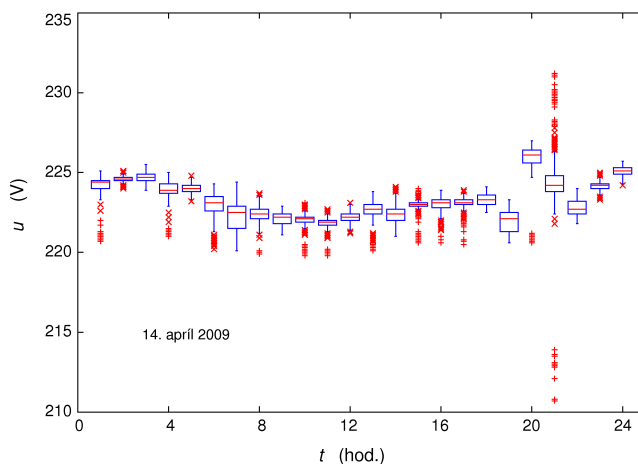
Obr. 1 Časový priebeh vypočítanej mesačnej šablóny napätia (zelená farba) pre mesačné obdobie: minimálne hodnoty napätia – modrá farba, maximálne hodnoty napätia – červená farba.



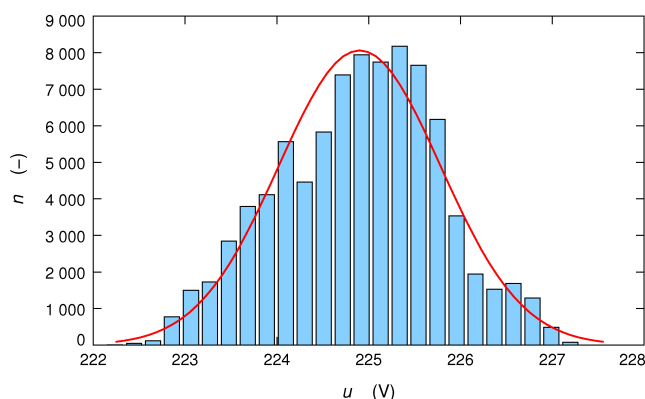
Obr. 2 Časový priebeh vypočítanej mesačnej šablóny napätia (zelená farba) pre mesačné obdobie: minimálne hodnoty napätia – modrá farba, maximálne hodnoty napätia – červená farba.

Vyhodnotenie experimentu

Na obr. 1 je zobrazený časový priebeh vypočítanej šablóny napätia (efektívne hodnoty) pre sledované obdobie od 2. do 30. júna 2007. Priebeh porovnávacej šablóny napätia sa nachádza v pásme limitov, ktoré sú dané minimálnou a maximálnou hodnotou v danom časovom okamihu. Z obrázku vidieť, že časový záznam možno rozdeliť do určitých časových intervalov, ktoré sú charakteristické z pohľadu sledovaného kolísania napätia. Na obr. 2 je zobrazený časový priebeh vypočítanej šablóny napätia pre obdobie 1.–30. júna 2008. Podľa trendov časových šablón napätia boli zvolené štyri charakteristické časové úseky. Prvý úsek začína polnocou a končí okolo 6. hodiny ráno a vyznačuje sa vyrovnaným trendom, t. z. nenachádzajú sa extrémne výkyvy napätia. Druhý úsek trvá od 6. hodiny do 10. hodiny dopoludnia. Napätie má klesajúci trend s poklesom niekoľkých jednotiek voltov voči prvému úseku. Od 10. hodiny do 16. hodiny napätie má narastajúci trend, pričom v niektorých prípadoch prevyší priemernú úroveň prvého úseku (porov. priebehy na obr. 1 a obr. 2). Posledný, štvrtý časový úsek je charakteristický pomerne vyrovnaným trendom s možným miernym nárastom. Uvedené príklady na obrázkoch porovnávajú trendy letného obdobia v dvoch za sebou idúcich rokoch. Podobným spôsobom možno porovnávať zimné resp. jarné a jesenné obdobie. Možno využívať aj ročnú napäťovú šablónu s aplikovaním faktorovej analýzy kvôli získaniu prehľadu o extrémnych výkyvoch voči napäťovej šablóne. Faktorová analýza je štatistická metóda, kde za pomoci korelačného faktora, alebo pre prípady názornej prezentácie pomocou korelačného diagramu, možno vyjadriť vzájomnú súvislosť medzi nameranými efektívnymi hodnotami napätia siete.



Obr. 3 Krabicový graf časového priebehu napätia pre 24-hodinové obdobie zo dňa 14. apríla 2009 s 1 hodinovými dátovými súbormi.



Obr. 4 Histogram časového priebehu napätia pre 24-hodinové obdobie zo dňa 11. apríla 2009.

Na obr. 3 je zobrazený príklad názornej prezentácie nameraných dát (efektívna hodnota napätia siete) pomocou tzv. krabicového (box-plot) grafu, ktorý ponúka zobrazenie základných štatistík: medián Q_2 (50. percentil, vodorovná úsečka vo vnútri obdĺžnika), dolný kvartil Q_1 (25. percentil), horný kvartil Q_3 (75. percentil), minimum a maximum. Dolná a horná hranica obdĺžnika je určená dolným a horným kvartilom, t. z. že výška obdĺžnika je rovná rozdielu $Q_3 - Q_1$, čo je kvartilové rozpätie (interkvartilový interval) a nachádza sa v ňom 50 % dát. Medzi mediánom a kvartilom Q_1 resp. Q_3 sa nachádza 25 % dát. Vertikálne úsečky vymedzujú hranicu začiatku stredne odklonených dát (na obr. 3 označené „x“), pričom hranica je rovná $1,5(Q_3 - Q_1)$ so začiatkom v Q_2 . Hranica začiatku silne odklonených dát je vymedzená vzdialenosťou $3(Q_3 - Q_1)$ od Q_2 (na obr. 3 označené „+“).

Ako možno z obr. 3 vidieť, extrémne zmeny (kolísanie napätia) sa stali okolo 21. hodiny. Medián má hodnotu 223,1 V a priemerná hodnota je 223,30 V. Kvartilové rozpätie $Q_3 - Q_1$ je 1,8 V.

Na obr. 4 je zobrazený histogram zo záznamu kolísania napätia pre 24-hodinové obdobie zo dňa 11. apríla 2007. Záznam napätia bol urobený s 1 sekundovým vzorkovacím intervalom. Počet tried pre zostrojenie histogramu je 30, pričom pre 1 sekundový záznam vychádza spolu za 24 hodín 86 400 nameraných dát. Krivka v tvare zvona reprezentuje graf hustoty normálneho rozdelenia. Vypočítané štatistiky sú pre deň 11. apríl 2007 nasledovné: medián má hodnotu 225 V, priemerná hodnota je 224,9 V a kvartilové rozpätie je 1,2 V.

Záver

V experimente sa realizoval dlhodobý záznam efektívnej hodnoty napätia s cieľom klasifikovať odborné miesto. Na analýzu dát a možnú klasifikáciu odborného miesta sa použili nástroje matematickej štatistiky, pričom analyzoval sa jeden parameter z napájacích charakteristík, ktorým bolo kolísanie napätia. Po nameraní dostatočného množstva dát bola vypočítaná porovnávací 24-hodinová napäťová šablóna z mesačného záznamu, pomocou ktorej možno ďalšími výpočtami vyjadriť alebo graficky znázorniť vzájomné súvislosti medzi nameranými napätiami.

Podľa trendov časových šablón napätia boli navrhnuté štyri charakteristické časové úseky, typické pre monitorované odborné miesto. Trend časových úsekov možno použiť na klasifikáciu (resp. zaradenie) určitého úseku napájania z hľadiska kvality dodávky elektriny a na spätnú kontrolu (rekapituláciu) dohodnutých parametrov s možnosťou spätnej finančnej kompenzácie.

Literatúra

- [1] D. L. Brooks, R. C. Dugan, M. Wacławski, A. Sundaram. Indices for Assessing Utility Distribution System RMS Variation Performance. In: *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 13, no. 1, 1998, pp. 254–259.
- [2] N. G. Hingorani, Introducing custom power. In: *IEEE Spectrum*, vol. 32, no. 6, Jun 1995, pp. 41–48.
- [3] C. J. Melhom, M. F. McGranaghan, Interpretation and Analysis of Power Quality Measurements. In: *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. 31, no. 6, Nov/Dec 1995, pp. 1363–1370.
- [4] STN EN 50160, Napäťové charakteristiky elektrickej energie dodávanej verejnými rozvodnými sústavami. August 1998. © Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR. ICS: 29.020.
- [5] H. Markiewicz, A. Klajn, Voltage Disturbances. In: *Power Quality Application Guide*, Standard EN 50160 - Voltage Characteristics in Public Distribution Systems. Copper Development Association, IEE Endorsed Provider. July 2004; pp. 1–16. [online] <http://www.leonardo-energy.org/webfm_send/2703>.
- [6] M. H. J. Bollen, I. Yu-Hua Gu, ORIGIN OF POWER QUALITY VARIATIONS. In: *Signal Processing of Power Quality Disturbances*, pp. 41–161, (2006). USA: Wiley-IEEE Press. ISBN 0-471-73168-4.



Európska únia

Operačný program
VÝSKUM a VÝVOJ

Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ. Tento článok bol vypracovaný v rámci projektu „Centrum excelentnosti integrovaného výskumu a využitia progresívnych materiálov a technológií v oblasti automobilovej elektroniky“, ITMS 26220120055.

Autori: Bystrík Dolník, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: Bystrik.Dolnik@tuke.sk