

Michal Kolcun, Dušan Medveď

## Skúmanie prechodných javov v elektrizačnej sústave

Tento príspevok sa zaoberá analýzou prechodných javov spôsobených prevádzkou elektrickej oblúkovej pece v sieti 22 kV, popisuje príčiny ich vzniku a navrhuje možnosti ich zníženia s ohľadom na kvalitatívne ukazovatele elektrickej energie. Zameriava sa najmä na posúdenie krátkodobej miery blikania a používanie zariadenia STATCOM na jej zníženie. Analýza a následné zníženie vplyvu prechodných javov boli realizované simuláciami s použitím nástroja Matlab / Simscape Power Systems. Získané výsledky boli vyhodnotené v súlade s platnými európskymi normami a legislatívou Slovenskej republiky.

Kľúčové slová: prechodné javy, distribučný elektrický systém, elektrická oblúková pec, blikanie, STATCOM

This paper deals with the analysis of transients caused by the operation of an electric arc furnace in the 22 kV network, describes the causes of their occurrence and suggests ways to reduce them with respect to qualitative indicators of electricity. It focuses in particular on assessing the short-term rate of flicker and using the STATCOM device to reduce it. The analysis and subsequent reduction of the influence of transients was performed by simulations using the Matlab / Simscape Power Systems tool. The obtained results were evaluated in accordance with valid European standards and legislation of the Slovak Republic. (**Transient phenomena investigation in power network**)

Keywords: transients, electrical distribution system, electric arc furnace, flashing, STATCOM

### I. ÚVOD

Jednotlivé druhy prechodných javov neovplyvňujú len činnosť elektrizačnej sústavy, ale ovplyvňujú aj ich účinky priamo na ľudí. Takýto prechodný jav je blikanie, ktoré spôsobuje dynamické blikanie svetelných zdrojov, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú pohodu ľudí. Silným zdrojom takýchto prechodových operácií je prevádzka elektrickej oblúkovej pece (EOP), pretože prípustná miera blikania nie je splnená skôr ako ostatné podmienky umožňujúce prevádzku v danom bode siete. Problém tiež nahráva skutočnosť, že vývoj výkonových polovodičových prvkov nedávno umožnil v systéme uplatniť FACTS (flexibilné prenosové systémy striedavého prúdu). Tieto vlastnosti splňajú predpoklady spoľahlivej kompenzácie prechodových procesov spôsobených EOP bez rozsiahleho rušenia v zložení siete.

Problém bol skúmaný na príklade fiktívneho pripojenia elektrickej oblúkovej pece so zdanlivým výkonom 2 MVA na distribučnú sieť 22 kV pre elektrické vedenie V-281 napojené na bardejovskú elektrárňu.

### II. PRECHODNÉ JAVY SPÔSOBENÉ PREVÁDZKOU EOP

Tento článok skúmal prechodové procesy, ktoré vznikajú počas prevádzky EOP, ktoré patria do kategórie elektromagnetických prechodových udalostí. EOP svojou činnosťou predstavuje nepravidelné prúdové zaťaženie v sieti, ktoré spôsobuje pokles napätia na impedancii siete, čo má za následok kolísanie napätia v systéme. Vzhľadom na [1], [2] sú uvedené fluktuácie dôsledkom 2 typov prúdového zaťaženia pochádzajúceho z EOP, označených ako 1. a 2. typ zmien [3].

#### A) Prvý typ zmeny súčasného zaťaženia

Vyskytuje sa najmä v prvých 30 minútach tavenia s frekvenciou 0,5 až 1-krát za sekundu a predstavuje skratový prúd pri zapálení oblúka medzi elektródou a vsádzkou. V EOP sa jeho výskyt neustále opakuje, kým vsádzka nie je studená. Ďalšou možnosťou zmeny tohto

typu je náhodný kontakt vsádzky s elektródou (napríklad posunutím vsádzky počas procesu tavenia).

#### B) Druhý typ zmeny súčasného zaťaženia

Predstavuje zmenu intenzity prúdu v rozsahu  $\pm 15$  až  $\pm 50$  % nominálnej hodnoty s frekvenciou výskytu  $2 \div 20$ -krát za sekundu. „Zdá sa, že tieto súčasné fluktuácie nepodliehajú jednoznačnej pravidelnosti, pretože sa stále menia tak vo svojej amplitúde, ako aj vo svojej multiplicitate“ [2], [4]. Aktuálne zmeny a ich výkyvy majú tri príčiny:

Zmeny intenzity prúdu bez výrazných zmien v dĺžke elektrického oblúka, keď prúd prechádza z jednej polvlny na ďalšiu. V dôsledku teploty sa materiál vystavený oblúku roztaví a čiastočne odparí, pri silnom lokálnom prehriatí môže odparovanie prísad v oceli explodovať [5], [6], [7]. Výsledné pary stúpajú a v blízkosti oblúka sú ionizované vplyvom vysokých teplôt, čím sa zvyšuje koncentrácia voľných nosičov a umožňuje sa, aby oblúk prenášal vyšší prúd.

Kolísanie spôsobené prebleskovaním oblúka z jedného vyčnievajúceho kusu vsádzky na druhý. K skoku (flash-over) dôjde s periódou 0,1 až 0,4 sekundy (2 až 10 skokov za sekundu), pričom k skoku dôjde vždy, keď vyčnievajúci kus vsádzky sa zaokrúhli elektrickým oblúkom. Zmeny v amplitúde prúdu spôsobené oblúkovými zábleskami sú hlavnou príčinou efektu blikania [8], [9].

Predĺženie oblúka v dôsledku pohybu slučky. Vychýlenie oblúka je spôsobené zosilnením magnetického poľa susednej fázy, ktorá z niektorých z vyššie uvedených dôvodov začala pretekať väčším prúdom.

### III. METÓDY ANALÝZY PRECHODNÝCH JAVOV

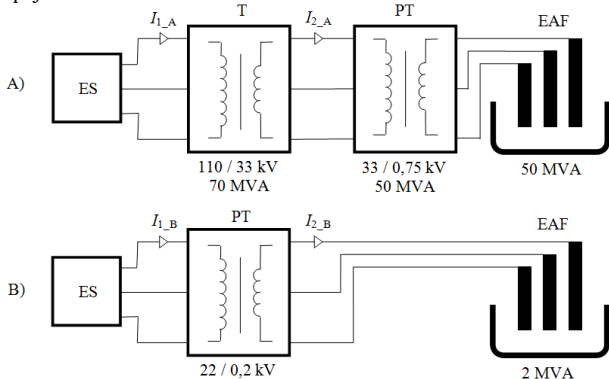
Eliminácia, ako aj simulácia nevyváženého zaťaženia vo forme samotnej EOP bola vykonaná prostredníctvom programu Matlab v grafickom prostredí Simulink. Na simuláciu prvkov energetického systému bol pre knižnice týchto prvkov použitý nástroj Simscape Power Systems Simulink. S vyššie uvedenými knižnicami boli vytvorené modely nadradenej siete, transformátorov, externých a káblových vedení, kompenzačných tlmiviek a modelov symetrických záťaží na strane nízkeho napätia.

Elektrická sieť bola modelovaná podľa 22 kV vedenia V-281 napájaného z bardejovskej elektrárne. Do siete v uzloch boli pridané meracie prvky, aby poskytovali informácie o napätiach a prúdoch v sieti, a v uzle AV sa uvažovalo o pripojení fiktívnej oblúkovej pece s nominálnym zdanlivým výkonom 2 MVA [10], [11], [12]. Prepojenia s okolitými vedeniami sa uvažovali v odpojenom stave a celé elektrické vedenie bolo možné považovať za radiálne.

A) Model elektrickej oblúkovej pece

Model oblúkovej pece pozostáva z „krátkej siete“ a elektród. Tieto prvky so svojimi elektrickými parametrami sú v modeli nahradené ekvivalentnou hodnotou prúdu, ktorá by bola odobratá zo svoriek na strane sekundárneho transformátora [13], [14]. V tomto prípade je prúd určený prúdmi meranými skutočnou prevádzkou elektrickej oblúkovej pece s výkonom 50 MVA, pripojenej k elektrickej sieti prostredníctvom pecného transformátora 110/33 kV. Prúdy boli merané na sekundárnej strane transformátora, pričom hodnoty boli odčítané pre každú polovičnú periódu počas 1-minútového merania. Tieto prúdové hodnoty boli prispôbené tak, aby zodpovedali prevádzke 2 MVA oblúkovej pece spojenej cez 22/0,2 kV pecný transformátor.

Aby sa odvodilo ekvivalentné správanie oblúkovej pece v sieti 22 kV (obr. 1, B), predpokladalo sa, že sieť odoberá rovnaký prúd  $I_2$  vo vzťahu k nominálnej hodnote ako oblúčová pec (obr. 1, A) napájaná sieťou 110 kV.



Obr. 1. Hlavné zobrazenie EOP s pecným transformátorom a ich hlavné parametre

Rovnosť týchto pomerov by sa dala formulovať ako:

$$\frac{I_{2\_A}}{I_{2n\_A}} = \frac{I_{2\_B}}{I_{2n\_B}} \quad (1)$$

odkiaľ získame formuláciu:

$$I_{2\_B} = \frac{I_{2\_A}}{I_{2n\_A}} \cdot I_{2n\_B} = \frac{I_{2n\_B}}{I_{2n\_A}} \cdot I_{2\_A} \quad (2)$$

Keďže:

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_{2n} \cdot I_{2n} \quad (3)$$

potom:

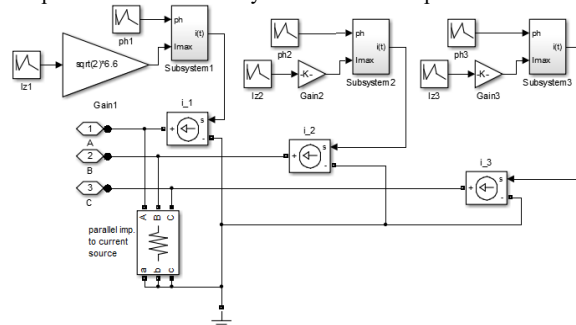
$$I_{2n\_A} = \frac{S_{n\_A}}{\sqrt{3} \cdot U_{2n\_A}} ; I_{2n\_B} = \frac{S_{n\_B}}{\sqrt{3} \cdot U_{2n\_B}} \quad (4)$$

Substitúciou výrazu (4) do (2) dostaneme formuláciu:

$$I_{2\_B} = \frac{S_{n\_B} \cdot U_{2n\_A}}{S_{n\_A} \cdot U_{2n\_B}} \cdot I_{2\_A} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 33 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 10^3} \cdot I_{2\_A} = 6,6 \cdot I_{2\_A} \quad (5)$$

Výsledkom je konštanta, pri ktorej by sa prúd získaný meraním oblúkovej pece 50 MVA mal vynásobiť tak, aby zodpovedal zaťaženiu pece 2 MVA.

Základom pre model oblúkovej pece je teda zdroj riadeného prúdu (obr. 2, i 1 až i 3), ktorý pôsobí proti prúdu, ktorý tečie po sieti. „Riadené“ znamená, že aktuálna hodnota sa môže počas simulácie meniť pomocou hodnôt zadaných na riadiaci vstup.



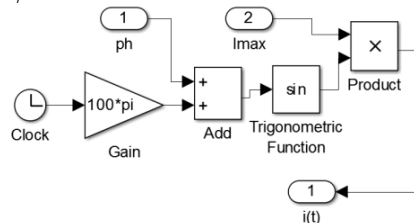
Obr. 2. Blokový diagram modelu oblúkovej pece

Pretože prúd nastavený v tomto zdroji energie musí byť rovnaký ako prúd v energetickej sieti, riadiaci vstup je definovaný nasledovne:

$$i_n = I_{mn} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_n) \quad (6)$$

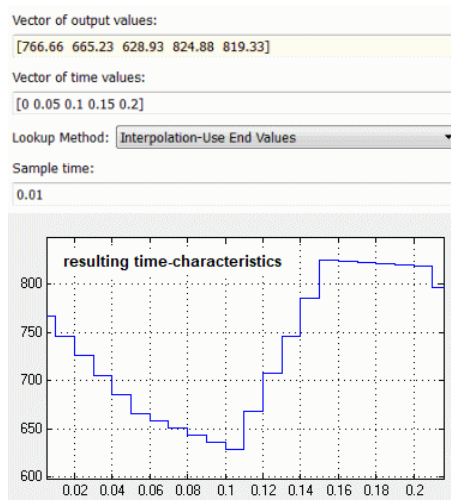
kde  $n$  predstavuje označenie fázy [15].

Tieto formulácie sú v schéme na obr. 2 reprezentované vytvorenými blokmi Subsystemy 1, 2, 3 a ich vnútorné spojenie je znázornené na obr. 3. Vstupy do týchto blokov predstavujú hodnoty hodnôt  $I_{mn}$  a  $\varphi_n$ .



Obr. 3. Blokový diagram na vytváranie signálu sínusovej vlny

Interpolovaný blok s opakujúcou sa sekvenciou bol vybraný ako zdroj signálu s hodnotami  $I_n$  a  $\varphi_n$  a jeho pôsobenie je znázornené na obr. 4.



Obr. 4. Príklad akcie opakovaného bloku s opakovaním sekvencie

Signál z tohto bloku preto mení svoju hodnotu zakaždým po vzorkovacej perióde, pričom požadovaná hodnota sa získa v požadovanom čase pre jednu periódu vzorkovania. Postupné čiastkové zmeny medzi dvoma požadovanými hodnotami sú lineárne. Frekvencia týchto súčasných zmien bola stanovená pre oblúkovú pec vzhľadom na teoretické znalosti uvedené v podkapitole II.B, a má hodnotu 20 Hz. Preto zmena v odoberanom prúde z oblúkovej pece prebieha kontinuálne, pričom maximálna zmena prúdu sa dosiahne s periódou 0,05 sekundy.

#### B) Model flickermetra

Flickermetrový model nie je vytvorený v prostredí Simscape Power Systems, ale je vytvorený medzi ukázkovými príkladmi, ktoré obsahujú knižnice Matlab. Model flickermetra vyhovuje IEC 6100-4-15 a jeho charakteristiky sú popísané v [1]. Tento model umožňuje užívateľovi vybrať frekvenciu siete, ktorá sa bude analyzovať. V niektorých blokoch však má stále prednastavenú frekvenciu 60 Hz, ktorú musí používateľ prepísať.

Vyššie uvedený model umožňuje meranie okamžitého blikania (IFS) iba v jednej fáze, čo nestačí na vyhodnotenie asymetrického zaťaženia vo forme oblúkovej pece. Z tohto dôvodu bol model ďalej upravený tak, aby mohol vyhodnotiť rýchlosť blikania vo všetkých troch fázach v určenom bode systému.

Okamžité hodnoty blikania nie sú v norme uvedené, takže hodnoty získané flickermetrom sa musia ďalej vyhodnotiť na hodnotu krátkodobého blikania  $P_{st}$ . Krátkodobá miera blikania bola stanovená podľa [1], [10].

#### C) Model STATCOM

Knižnica prostredia Simscape Power Systems obsahuje niekoľko blokov FACTS, ale všetky sú navrhnuté na simulácie pomocou metódy fázového výpočtu, ktorých použitie pri posudzovanom probléme nespĺňa požiadavky. Ako model, napríklad ako model flickermetra, bolo v tomto prípade modelované vybrané použitie zariadenia STATCOM. Jedná sa o diskretný model STATCOM s menovitým napätím 25 kV a reguláciou výkonu v rozmedzí  $\pm 3$  MVar vo frekvenčnom rozsahu 60 Hz [16], [17]. Na skúmanie jeho použitia v energetickej sieti bolo potrebné zmeniť nastavenie frekvencie regulátorov na 50 Hz otvorením subblokov, ktoré obsahuje. Podrobnejší popis modelu je popísaný v [18], [19].

#### D) Simulácia siete

Simulácie bleskového blikania (okamžité a krátkodobé) boli analyzované v sieťových simuláciách na rôzne usporiadania na ich zníženie. Čas simulácie bol vo všetkých prípadoch 60 sekúnd. Tento čas bol zvolený preto, že 10-minútové simulácie potrebné na stanovenie krátkodobej veľkosti blikania podľa STN EN 50160 boli z hľadiska výpočtového času používaných počítačov prakticky nereálne. Flickermeter bol vždy pripojený k pripájaciemu uzlu V-281 EOP za predpokladu, že ak bola v tomto uzle splnená kvalita elektriny, bola splnená aj pre zvyšok siete. Pre výpočtové ťažkosti bol flickermeter umiestnený iba na uvedenom uzle a ostatné uzly merali iba napätie. Údaje získané meraním boli exportované do súborov a spracované pomocou programu MS Excel.

## IV. VÝSLEDKY SIMULÁCIÍ

Prvá simulácia s kompenzáciou bola vykonaná výlučne pomocou kompenzačnej indukčnej tlmivky, zatiaľ čo EOP bola pripojená k uzlu siete AV. Vzhľadom na nedodržanie povolenej krátkodobej rýchlosti blikania (tab. 1) bol STATCOM kompenzovaný a pri trvalo prekračovanej hodnote  $P_{st}$  bola ďalšou možnosťou eliminácie efektu blikania zvolená možnosť zvýšenia skratového výkonu v elektrárni.

TABULKA I  
Porovnanie hodnôt  $P_{st}$  pri použití jednotlivých úprav v sieti

Bod pripojenia / spôsob kompenzácie	$P_{st}$		
	fáza A	fáza B	fáza C
Uzol AV / Tlmivka (TL)	9,217	19,187	23,554
Uzol AV / Tlmivka + STATCOM (S)	4,372	9,384	12,611
Uzol AV / Tlmivka + $3 * S_{k3}''$	9,080	19,051	23,417
Uzol AV / TL + S + $3 * S_{k3}''$	4,340	9,289	12,512
Uzol AV / TL ( $3 * L$ ) + S + $3 * S_{k3}''$	3,878	5,088	5,946
El. stanica (22 kV) / TL + S <sup>(1)</sup>	1,204	1,427	1,332
El. stanica (22 kV) / TL + S <sup>(2)</sup>	5,123	11,301	14,772
El. stanica (22 kV) / TL + S + $3 * S_{k3}''$	1,179	1,381	1,278
El. stanica (22 kV) / TL ( $3 * L$ ) + S + $3 * S_{k3}''$	1,177	1,360	1,238
El. stanica (110 kV) / TL + S	1,122	1,289	1,160
El. stanica (110 kV) / TL	1,115	1,289	1,150
El. stanica (110 kV) / TL - meranie na 22 kV	1,105	1,273	1,136
El. stanica (110 kV) / TL + $3 * S_{k3}''$	1,098	1,260	1,121
El. stanica (110 kV) / TL + $3 * S_{k3}''$ - mer. 22 kV	1,088	1,245	1,109

<sup>(1)</sup> - merané na strane pripojenia vývodu k sieti

<sup>(2)</sup> - merané na strane ukončenia vývodu pri EOP

TL - pripojená kompenzačná tlmivka

S - pripojené zariadenie STATCOM

$3 * S_{k3}''$  - 3-násobné zvýšenie skratového výkonu v elektrickej stanici

TL ( $3 * L$ ) - použitie tlmivky s 3-násobnou hodnotou indukčnosti

Porovnaním skratových výkonov elektrických staníc na východnom Slovensku je možné povedať, že ak by sme v danej elektrickej stanici Bardejov predpokladali inštaláciu transformátora 400/110 kV, zvýšil by sa jej skratový výkon približne trojnásobne, teda sme uvažovali  $S_{k3}'' = 3891$  MVA. Ani toto opatrenie neprineslo žiadane zníženie hodnoty  $P_{st}$ , teda došlo následne k zvýšeniu indukčnosti kompenzačnej tlmivky na trojnásobok pôvodnej hodnoty.

Krátkodobá miera blikania však bola na úrovni 5-násobku dovolenej hodnoty, preto sa ako ďalšie riešenie uvažovalo pripojenie EOP s elektrickou stanicou pomocou vlastného vn vývodu. Týmto riešením došlo k výraznému zníženiu miery blikania v sieti, pričom je nutné poznamenať, že miera blikania poklesla vďaka zvýšeniu skratového výkonu v mieste merania flickra na začiatku vývodu a tlmiacim účinkom samotného vedenia napájajúceho EOP. Na konci spomínaného vedenia na strane EOP však miera blikania kvôli menšiemu podielu symetrickej záťaže narastla. Tento problém by sa však dal v pomocných inštaláciách EOP vyriešiť ich napojením z uzla AV vedenia V-281. Ani takéto riešenie kombinované spolu so všetkými predošlými nezabezpečilo splnenie legislatívou dovolenej hodnoty. Posledné realizované riešenie bolo pripojenie EOP

s elektrickou stanicou pomocou samostatného vývodu zo strany 110 kV.

## V. ZÁVER

Zo získaných výsledkov v kapitole IV. vyplýva, že pripojením oblúkovkej pece do uzla siete AV, s použitím kompenzačnej tlmivky ako prvku zabezpečujúceho elimináciu prechodných dejov, dochádzalo k výraznému (24-násobnému) prekročeniu dovolenej krátkodobej miery blikania. Táto pomerne vysoká hodnota  $P_{st}$  bola spôsobená výberom vzorky nameraných prúdov pri prevádzke pece, kde bolo zvolené meranie s čo najvyššími prúdovými špičkami a zároveň veľkým rozdielom medzi maximálnym a minimálnym odoberaným prúdom. Krátkodobá miera blikania teda bola vyhodnocovaná pre najnepriaznivejší prípad prevádzky EOP na začiatku tavby.

Ani jedno zo skúmaných riešení nedokázalo eliminovať krátkodobú mieru blikania zapríčinenú prechodnými javmi, na úroveň dovolenú v norme STN EN 50160. Uvažovaná 2 MVA oblúková pec by teda na skúmanom vedení V-281 nemohla byť prevádzkovaná bez toho, aby nedošlo k nedodržaniu kvality napätia.

Z toho dôvodu je nutné dodať, že dlhodobá miera blikania, vyhodnocovaná v reálnych meraniach, by mala oproti získaným výsledkom nižšie hodnoty. Tento fakt je zapríčinený tým, že dlhodobá miera blikania je vyhodnocovaná z dvanástich 10-minútových meraní a musí byť dodržaná 95% z doby jedného týždňa. Väčšina dejov spôsobujúcich veľké výkyvy odoberaných prúdov sa však odohráva iba v prvých 15 minútach každej tavby. V simuláciách bola ale miera blikania skúmaná iba po dobu jednej – najhoršej minúty prevádzky.

### Podakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu APVV-19-0576 „Sebestačnosť elektroenergetiky v podmienkach liberalizovaného trhu s elektrinou“.

## POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu APVV-19-0576 „Sebestačnosť elektroenergetiky v podmienkach liberalizovaného trhu s elektrinou“.

## LITERATÚRA

- [1] STN EN 60909-0, "Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents", October 2016.
- [2] K. Srinivasan, C. Lafond, R. Jutras, "Short-Circuit Current Estimation from Measurements of Voltage and Current During Disturbances", IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. 33, No. 4, pp. 1061-1064, July/August 1997.
- [3] M. Kanálik, M. Kolcun, "Computation of harmonic flows in three-phase systems", In: Acta Electrotechnica et Informatica. Vol. 7, No. 3 (2007), p. 41-45. ISSN 1335-8243.
- [4] M. Kanálik, J. Buša, J. Kyncl, "Analysis of voltage transients caused by single-line to ground fault in medium voltage distribution networks", In: Elektroenergetika 2015. Košice: TU, 2015 p. 380-383. ISBN 978-80-553-2187-5.
- [5] J. Zbojovský, M. Pavlík, "The propagation of electromagnetic fields through the various materials", In: Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. Vol. 4, No. 6A (2016), p. 107-109. ISSN 1338-9432.

Tento príspevok je monitorovaný v rámci dopadov projektu "ITMS:NFP313010T565), operačného programu Výskum a inovácie.

- [6] M Pavlík, et al., "The impact of electromagnetic radiation on the degradation of magnetic ferrofluids", In: Archives of Electrical Engineering. Vol. 66, no. 2 (2017), p. 361-369. - ISSN 1427-4221.
- [7] M. Pavlík, et. al., "The mapping of electromagnetic fields in the environment", In: Acta Technica Corviniensis: Bulletin of Engineering. Vol. 10, no. 2 (2017), p. 107-110. - ISSN 2067-3809.
- [8] Ž. Eleschová, A. Beláň, B. Cintula, B. Bendík, "Smart grids analysis - View of the transmission systems voltage stability", In EPE 2018. Brno: University of Technology, 2018, p. 37-42. ISBN 978-1-5386-4612-0.
- [9] D. Kaprál, P. Braciník, M. Roch, M. Höger, "Optimization of distribution network operation based on data from smart metering systems", Electrical Engineering, Vol. 99, Issue 4, Springer, New York, USA, 2017, December, pp: 1417-1428, ISSN 0948-7921.
- [10] J. Zbojovský, M. Pavlík, Z. Čonka, L. Kruželák, M. Kosterec: "Influence of shielding paint on the combination of building materials for evaluation of shielding effectiveness". In: EPE 2018. - Brno : University of Technology, 2018 P. 324-327. - ISBN 978-1-5386-4611-3
- [11] V. Volokhin, I. Diahovchenko, V. Kurochkina, M. Kanálik, "The influence of nonsinusoidal supply voltage on the amount of power consumption and electricity meter readings", In: Energetika. Vol. 63, no. 1 (2017), p. 1-7. ISSN 0235-7208.
- [12] M. Kmec, L. Beňa, L. Lisoň, "Influence of parallel line mutual coupling on distance relay operation", In: Acta Electrotechnica et Informatica. Vol. 14, No. 4 (2014), p. 35-41. ISSN 1335-8243.
- [13] T. Košícký, L. Beňa, "Optimizing deployment of battery storage systems", 2014. In: Current Problems of Maintenance of Electrical Equipment and Management. Košice: TU, 2014 p. 131-141. ISBN 978-80-553-1818-9.
- [14] J. Mezera, Z. Martínek, "Continuous supply of electricity from biogas and wind power plant - proposal of the system components, system dynamic and economic calculation", Proceedings of the 12th International Scientific Conference EPE 2011, Electric Power Engineering 2011, 17.-19.5.2011 Dlouhé Stráně, Kouty nad Desnou, Czech Republic, VSB-Technical University of Ostrava, IEEE, ISBN 978-80-248-2393-5.
- [15] V. Královcová, Z. Martínek, "Evaluation of photovoltaic power plan", Proceedings of the 13th International Scientific Conference EPE 2012, Electric Power Engineering 2012, 23.-25.5.2012 hotel SANTON - Brno, Czech Republic, University of Technology Brno. IEEE, ISBN 978-80-214-4514-7.
- [16] J. Kyncl, M. Novotný, "Education of Digital and Analog Circuits supported by computer algebra system", (ISCAS) 2011 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, p. 341 - 344, DOI: 10.1109/ISCAS.2011.5937572, ISBN: 978-1-4244-9473-6.
- [17] M. Tesařová, R. Vykuka, "Impact of Distributed Generation on Power Flows Along Parallely Operated MV Feeders", Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEE/ICPS Europe 2018, DOI: 10.1109/EEEIC.2018.8493640.
- [18] K. Nohac, M. Tesarova, L. Nohacova, J. Veleba, V. Majer, "Utilization of Events Measured by WAMS-BIOZE-Detector for System Voltage Stability Evaluation", IFAC-PapersOnLine, Volume 49, Issue 27, 2016, Pages 364-369, DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.10.747.
- [19] P. Giroux, et. al., "Modeling and simulation of a distribution STATCOM using simulink's power system blockset", DOI: 10.1109/IECON.2001.975905.
- [20] A.G. Kasembe, Z. Muller, J. Svec, J. Tlustý, "Synchronous phasors monitoring system application possibilities", 2012 IEEE 27th Convention of Electrical & Electronics Engineers in Israel (IEEEI), p. 1 - 3, DOI: 10.1109/EEEL.2012.6376936, ISBN: 978-1-4673-4682-5.

## ADRESY AUTOROV

Dr.h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [Michal.Kolcun@tuke.sk](mailto:Michal.Kolcun@tuke.sk)  
 doc. Ing. Dušan Medved', PhD., Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [Dusan.Medved@tuke.sk](mailto:Dusan.Medved@tuke.sk)