

Náhradná schéma priemyselného podniku využívajúceho alternatívne zdroje na zníženie dodávky elektrickej energie

Jozef DZIAK

Katedra teoretickej a priemyselnej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

jozef.dziak@tuke.sk

Abstrakt — Tento článok obsahuje zhrnutie problémov spojených s využitím alternatívnych zdrojov pre účel zníženia dodávky el. energie do priemyselného podniku. Následne sú definované základné požiadavky pre takúto prevádzku podniku a sústavu alternatívnych zdrojov. Na základe predpokladov o takejto prevádzke, problémoch a požiadavkách je vytvorená náhradná schéma priemyselného podniku s alternatívnymi zdrojmi. Náhradná schéma je vytvorená pre analýzu problémov spojených s prevádzkou podniku s alternatívnymi zdrojmi využívanými na zníženie dodávky elektrickej energie do podniku a je určená pre ustálené stavy.

Kľúčové slová — alternatívne zdroje, decentralizácia elektrizačnej sústavy, náhradná schéma priemyselného podniku, ustálený stav

Equivalent circuit of industrial factory with alternative sources used to reduce power supply

Abstract — This paper contains a summary of the problems associated with alternative sources using for the purpose of reducing the supply of el. energy to an industrial factory. Consequently, the basic requirements for such a factory operation and for alternative sources are defined. Based on assumptions about such operation, problems and requirements an equivalent circuit of industrial factory with alternative resources are designed. The equivalent circuit is designed to analyze factory operation problems with alternative sources used to reduce electricity supply to the enterprise and has been designed for steady state.

Keywords — Alternate sources, power system decentralization, equivalent circuit of industrial factory, steady state

I. ÚVOD

Základnou myšlienkou pretrvávajúcou z minulosti je budovanie väčších výrobní a teda sústredenie veľkých inštalovaných výkonov do napájacích bodov sústavy. Tento spôsob zabezpečenia výroby el. energie je ekonomicky výhodný, a preto je považovaný za najvodnejší. Používanie iba tohto prístupu k zabezpečeniu dodávky el. energie sa zdá byť do budúcnosti neudržateľným. Hlavnými dôvodmi sú problémy súvisiace s neustálym rastom dopytu po energiách a súčasne so sústredením spotreby do veľkých miest, priemyselných oblastí a väčších podnikov. Sústredenie výroby a spotreby do miest sústavy s veľkými dodávanými alebo odoberanými výkonmi spoločne s neustálym dopytom po el. energie spôsobuje okrem iného aj problémy so zabezpečením jej dodávky a distribúcie.

Pri súčasnom stave a dostupných technológiách, existujú principiálne dva postupy riešenia problémov so zabezpečením dodávky el. energie, resp. ich kombinácia. Prvým spôsobom je zvyšovanie prenosovej kapacity existujúcej prenosovej infraštruktúry. To je možné dosiahnuť budovaním nových alebo efektívnejším využívaním už vybudovaných prenosových a distribučných vedení. Keďže budovanie nových vedení začína byť ekonomicky nevýhodné a esteticky a ekologicky nevhodné, prevláda v súčasnosti spôsob riešenia spomenutých problémov pomocou hľadania efektívnejšieho využitia vybudovanej prenosovej infraštruktúry. Druhou možnosťou je pokúsiť sa znížiť zaťaženie prenosovej sústavy budovaním väčšieho počtu menších zdrojov elektrickej energie, a to čo najbližšie alebo priamo v miestach ich spotreby. Na tento účel sa v súčasnosti javí veľmi vhodné využiť alternatívne (tiež známe ako obnoviteľné) zdroje el. energie.

Myšlienka budovať zdroje v miestach ich spotreby, a tým zabezpečiť zníženie zaťaženie prenosovej sústavy, nie je nová. V súčasnosti sa už aj na tieto účely využívajú alternatívne zdroje, ale presnejšie by bolo konštatovanie, že ich využívanie má aj túto výhodu. Najrozšírenejším je použitie v rodinných domoch na výrobu elektrickej energie, alebo čiastočné pokrytie výroby tepla a pod. Rovnako sa u nás aj vo svete uvažuje so samostatne fungujúcimi objektmi, ktoré nepotrebujú byť pripojené k elektrizačnej sústave. Takáto prevádzka je možné v prípade, ak by objekt nepotreboval nepretržitú dodávku el. energie a obsahoval by spotrebiče, ktoré by neutrpeľi nenávratné škody alebo procesy, ktoré spotrebiče zabezpečujú svojim fungovaním by nespôsobili nenávratné škody pri odstavení dodávky. Takýmito objektmi rozhodne nie sú priemyselné podniky, ktorých zariadenia musia byť neustále v prevádzke, alebo potrebujú neustále napájanie a ich odstavenie od napájania by spôsobilo veľké ekonomické škody, príp. ohrozenie zdravia a života.

II. FORMULÁCIA PROBLÉMOV

Všetky problémy by sme mohli rozdeliť do 4 základných skupín, a to technické, ekonomické, politické (zákony a nariadenia ale tiež aj politika výrobcov a dodávateľov el. energie) a ostatné. Z hľadiska aplikácie navrhovaného riešenia sú prvé tri spomenuté zásadné. Ďalej sa preto budeme zaoberať problémami spojenými s týmito oblasťami s vysokým dôrazom na najdôležitejšie technické problémy pri realizácii.

A. Politické problémy

Nebudeme sa venovať problémom spojeným s využívaním alternatívnych zdrojov a to či už ako politicko-spoločenskej otázke, ekologickej alebo inej. Na tomto mieste postačí konštatovanie, že je v súčasnosti spoločnosť naklonená používaniu týchto zdrojov el. energie. Viac nás bude zaujímať zákony a politika firiem súvisiace s prevádzkovaním elektrizačnej sústavy výrobní elektrickej energie. Vyriešiť tento problém tak, že vybudujeme solárnu, veternú alebo inú elektrárňu, príp. použiť iný alternatívny zdroj, by bolo spojené s obrovskou agendou ohľadom splnenia podmienok pre pripojenie a prevádzkovanie elektrárne.

Rozumnejšou voľbou sa zdá zabudovať tieto výrobné priamo do infraštruktúry priemyselného podniku. To stále nestačí, pretože je potrebné zabezpečiť, aby sa priemyselný podnik nikdy nestal dodávateľom el. energie. V takomto prípade budú alternatívne zdroje využívané výhradne pre účely zníženia dodávky elektrickej energie do podniku. Táto podmienka vyvoláva ďalšie potrebu riešenia niekoľkých ďalších technických problémov, ktorým sa budeme venovať neskôr.

B. Ekonomické problémy

Tieto by sme mohli rozdeliť opäť na niekoľko skupín. Táto téma úzko súvisí s problémami, ktoré by mohli byť považované za spoločenské, alebo politicko-spoločenské, ako aj s ekologickými a podobnými otázkami o budúcnosti využívania el. energie. Článok nemá ambíciu rozoberať tieto náročné otázky. Veríme, že príspevom k pochopeniu a navrhnutím riešení pre oblasť decentralizácie výroby el. energie, je možné prispieť aspoň malým dielom k budúcej aj súčasnej diskusii.

Základnou otázkou z pohľadu riadenia podniku je rentabilita takéhoto riešenia. Keďže v súčasnosti neexistuje systematická (či už finančná alebo iná) podpora takéhoto spôsobu riešenia problémov, všetky ekonomické otázky sa pre manažment podniku zúžia len na tento jediný problém. Slovenská republika má niekoľko podporných programov pre poskytovanie finančnej pomoci pri inštalácii alternatívnych zdrojov. Nejde však o systematické riešenia spojené s dlhodobou stratégiou zabezpečenia dodávky el. energie, skôr o plnenie záväzkov plynúcich z medzištátnych dohôd.

Ekonomická analýza pre konkrétny podnik je výrazne závislá od aktuálnych a presných informácií o výrobe, spotrebe, nákupe, cenách zariadení a iných otázkach spojených s realizáciou a prevádzkovaním spomenutého riešenia. Takéto informácie podniky nezverejňujú a všeobecné spracovanie ekonomických otázok bez poznatkov o uvažovaných vstupoch a výstupoch pri ekonomických analýzach je náročná úloha, pri ktorej by boli použité len odhady a dohady.

C. *Technické problémy*

O technických problémoch nebudeme uvažovať ako o úlohe pre oblasť prevádzky elektrizačnej sústavy, prevádzky prenosových a distribučných vedení a pod., ale o úlohe pre vytvorenie algoritmov pre riadiace automatizované systémy. Preto bude analýza z pohľadu teoretickej elektrotechniky, doplnená o elektroenergetické zásady prevádzkovania elektrizačnej sústavy, použitá iba pre definovanie všeobecných podmienok pre prevádzkovanie podniku s alternatívnymi zdrojmi.

Ako už bolo uvedené priemyselné podniky musia byť neustále pripojené k sústave, pretože by ich odstavenie od napájania spôsobilo veľké ekonomické škody, príp. ohrozenie zdravia a života. Nebudeme preto uvažovať o tom, že bude podnik prevádzkovaný výhradne z alternatívnych zdrojov. Dôvodom je to, že takáto prevádzka by zväčšila riziko úplného výpadku dodávky el. energie.

Budeme predpokladať, že bude existovať viacero alternatívnych zdrojov a jednotlivé zdroje rovnakého typu bude pozostávať z viacerých samostatne spínateľných častí. To zabezpečí takejto prevádzke lepšie regulačné možnosti, zlepši spoľahlivosť celého alternatívneho napájacieho systému, príp. neohrozí stabilitu časti sústavy v oblasti pripojenia podniku do siete.

III. NÁHRADNÁ SCHÉMA PODNIKU S ALTERNATÍVNymi ZDROJMI

Pred vytvorením modelu musíme uviesť obmedzenia jeho použitia. Najdôležitejšie obmedzenia modelu definujú podmienky prevádzky podniku s alternatívnymi zdrojmi. V krátkosti zhrnieme všetky požiadavky na prevádzku priemyselného podniku, v ktorom bude použité alternatívne zdroje energie za účelom zníženia dodávky el. energie do tohto podniku:

- Priemyselný podnik bude neustále pripojený k elektrizačnej sústave. Neuvažuje sa s ostrovnou prevádzkou, pri ktorej by bol podnik napájaný len z alternatívnych zdrojov.
- Alternatívne zdroje budú využívané iba na pokrytie čiastočnej alebo úplnej prevádzky podniku. Neuvažuje sa s dodávaním el. energie do elektrizačnej sústavy a využitie alternatívnych zdrojov ako zdrojov energie pre iné objekty ako objekty v podniku.
- Bude existovať viacero alternatívnych zdrojov a jednotlivé zdroje rovnakého typu bude pozostávať z viacerých samostatne spínateľných častí.

Ďalšie požiadavky a obmedzenia používania tohto modelu závisia výrazne od spôsobu jeho predpokladaného použitia. Predpokladáme využitie modelu pre analýzu ustálených stavov prevádzkových podmienok pre riadiace algoritmy. Ide o tieto podmienky a obmedzenia:

- Model je určený pre analýzu ustálených stavov. Predpokladáme využitie pre riadiace algoritmy, u ktorých bude potrebné poznať všetky potenciálne aktuálne prevádzkové podmienky, nie ich vývoj v čase.
- Model by mal byť určený pre analýzu normálnych prevádzkových stavov, nie pre analýzu porúch, príp. iných špeciálnych stavov prevádzky. Zaujímame sa o popis prevádzky pre riadiace algoritmy, nie o popis prevádzky podniku ako súčasť elektrizačnej sústavy.

A. *Modely jednotlivých aktívnych a pasívnych prvkov v podniku*

Ideálne aktívne prvky budú použité pre model uzla elektrizačnej sústavy, v ktorej je podnik pripojený a všetkých alternatívnych zdrojov el. energie. Ideálne pasívne prvky budú použité pre modely spotrebičov, t. j. vlastnej spotreby podniku, pracovných hál, veľkých zariadení a pod. Nebudeme uvažovať straty spôsobené prenosom el. energie elektroinštaláciou v podniku. Pri vytvorení modelu pre spínacie sústavy každého prvku, ktorý bude možné v normálnej prevádzke spínať, sa kládol dôraz len na základnú funkčnosť.

Napájací uzol ES pre podniku. Podľa uvedených podmienok by mal byť podnik napájaný zo sústavy neustále a stav, pri ktorom podnik nie je k sústave pripojený bude považovaný za poruchový. Takýto stav je mimo oblasť záujmu pre model určený pre analýzu normálnych prevádzkových stavov. Preto ako model uzla, v ktorom je podnik pripojený, bude použitý ideálny neharmonický napäťový

zdroj s nekonečným výkonom.

Alternatívne zdroje el. energie. Na spomenuté účely predpokladáme použitie predovšetkým fotovoltaických článkov, veterných turbín, príp. chemických akumulátorových batérií alebo iného spôsobu ukladania el. energie. Keďže alternatívne zdroje nebudú pracovať samostatne bez pripojenia podniku k sústave, použijeme na ich modelovanie závislé prúdové zdroje. Prúd týchto zdrojov nie je závislý od elektrických veličín, ale od intenzity dopadajúceho svetla, teploty, rýchlosti vetra, atď. Taktiež musíme uvažovať zariadenia slúžiace na premenu el. energiu vyprodukovanej panelmi, turbínami alebo uložené v batériách.

Pre časový priebeh neharmonického prúdu dodávaného z fotovoltaických panelov bude platiť (1), kde x_1 až x_z sú parametre vplývajúce na hodnotu prúdu resp. výkonu panela (napr.: intenzita svetla dopadajúceho na panely, teplota vzduchu, účinnosť sústavy zariadení na premenu el. energie, atď. Pre konečný počet harmonických zložiek tohto prúdu bude platiť (2), kde $g+1$ je počet uvažovaných harmonických zložiek.

$$i_{FP}(t) = f(x_1, \dots, x_z) \quad (1)$$

$$I_{FP}^{(0)} = f_0(x_1, \dots, x_z) \quad i_{FP}^{(1)} = f_1(x_1, \dots, x_z) \quad \dots \quad i_{FP}^{(g)} = f_g(x_1, \dots, x_z) \quad (2)$$

Pre časový priebeh neharmonického prúdu dodávaného z veterných turbín obdobne platí (3), kde x_1 až x_z sú parametre vplývajúce na hodnotu prúdu resp. výkonu turbíny (napr.: rýchlosť vetra, účinnosť sústavy zariadení na premenu el. energie a pod.). Podobne pre konečný počet harmonických zložiek priebehu prúdu bude platiť (4).

$$i_{WT}(t) = f(x_1, \dots, x_z) \quad (3)$$

$$I_{WT}^{(0)} = f_0(x_1, \dots, x_z) \quad i_{WT}^{(1)} = f_1(x_1, \dots, x_z) \quad \dots \quad i_{WT}^{(g)} = f_g(x_1, \dots, x_z) \quad (4)$$

Pre časový priebeh neharmonického prúdu dodávaného sústavou chemických článkov platí (5), kde x_1 až x_z sú parametre vplývajúce na hodnotu prúdu resp. výkonu chemického článku (napr.: napätie sústavy batérií, účinnosť sústavy, premenu el. energie a iné). Pre konečný počet zložiek priebehu neharmonického prúdu bude platiť (6).

$$i_{BAT}(t) = f(x_1, \dots, x_z) \quad (5)$$

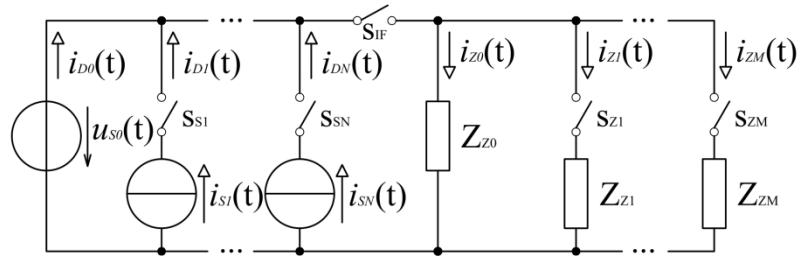
$$I_{BAT}^{(0)} = f_0(x_1, \dots, x_z) \quad i_{BAT}^{(1)} = f_1(x_1, \dots, x_z) \quad \dots \quad i_{BAT}^{(g)} = f_g(x_1, \dots, x_z) \quad (6)$$

Ak závislosť prúdov alternatívnych zdrojov od jedného alebo viacerých parametrov bude nelineárna, je možné vytvoriť linearizovaný model pomocou aproximačných funkcií podobným postupom ako sa postupuje pri linearizácii nelineárnych prvkov pomocou aproximácie. To je možné urobiť len v prípade, ak zjednodušenie funkcie nebude mať významný vplyv na výsledok výpočtu [1]. Proces aproximácie funkcie pozostáva z dvoch krokov a to z výberu vhodnej aproximačnej funkcie a zistenia koeficientov zvolenej funkcie. Tento proces nie je exaktný, preto zvolená funkcia nemusí byť vždy vhodná. V takomto prípade je možné proces aproximácie opakovať s inou funkciou alebo aproximovať len časť závislosti (t. zv. pracovnú oblasť), príp. funkciu rozdeliť na viacero oblastí a každú nahrádzať oddelene [2].

Spotrebiče, spínacie sústavy a elektroinštalácia. Pre modely väčších zariadení, hál a pod. bude použitá vhodná sériová, paralelná alebo sériovo-paralelná kombinácia lineárnych ideálnych rezistorov, kapacitorov a induktorov, príp. ideálna lineárna impedancia, t. j. prvok odpovedajúci impedancii spotrebiča. Ako model spínacích sústav spínaných zariadení a väčších častí podniku budú použité dvojpolohové ideálne spínače, ktoré budú slúžiť pre principiálne naznačenia stavu spínacej sústavy. Vplyv prvkov tejto sústavy bude zanedbaný. Vplyv prvkov elektrickej inštalácie bude taktiež zanedbaný a tieto budú modelované pomocou prepojení obvodu s nulovou impedanciou.

B. Náhradná schéma podniku s alternatívnymi zdrojmi pre ustálený stav

Ako sme už naznačili, pre matematický model podniku s alternatívnymi zdrojmi bude použitá náhradná schéma s obvodom s lineárnymi prvkami napájaným neharmonickými zdrojmi. Budú použité modely jednotlivých prvkov podľa popisu v predchádzajúcej kapitole. Navrhnutá náhradná schéma pre podnik s alternatívnymi zdrojmi pre analýzu v ustálenom stave je zobrazená na Obr. 1.



Obr. 1 Náhradná schéma pre podnik s alternatívnymi zdrojmi pre analýzu v ustálenom stave.

V náhradnej schéme predstavuje neharmonický zdroj s napätím $u_{s0}(t)$ napájací uzol podniku. Zdroj má prevrátenú orientáciu napätia kvôli matematickému popisu pomocou metódy STA. Prúdové zdroje s prúdmi $i_{S1}(t)$ až $i_{SN}(t)$ predstavujú alternatívne zdroje so spínačmi sústavami modelovanými spínačmi s_{S1} až s_{SN} , pričom N je počet inštalovaných samostatne spínateľných častí jednotlivých zdrojov. Spínač s_{IF} predstavuje stav pripojenia priemyselného podniku k elektrizačnej sústave (indikátor poruchy dodávky el. energie). Prvok Z_{Z0} odpovedá celkovej impedancii vlastnej spotreby podniku. Prvky Z_{Z1} až Z_{ZM} predstavujú spínateľné spotrebiče podniku (haly, veľké zariadenia, ...), pričom M je počet spínateľných spotrebičov. Ideálne spínače s_{Z1} až s_{ZM} odpovedajú spínačím sústavám spotrebičov s rovnakým indexom.

Pri napájaní pomocou alternatívnych zdrojov nás budú pravdepodobne najviac zaujímať dodávané a odoberané výkony. Pri popise modelu preto začneme tak, že popíšeme výkonové pomery na jednom prvku. Pre okamžitý výkon napäťového zdroja s napätím $u_{s0}(t)$ platí (7) [3].

$$p_{D0}(t) = u_{s0}(t) \cdot i_{D0}(t) \quad (7)$$

Ak napätie a prúd na tomto prvku rozložíme na nekonečný počet vyšších harmonických zložiek, potom môžeme okamžitý výkon na tomto prvku vyjadriť ako (8).

$$p_{D0}(t) = \left[U_{s0}^{(0)} + \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} U_{s0}^{(n)} \cdot \sin(n\omega t + \varphi_U^{(n)}) \right] \cdot \left[I_{D0}^{(0)} + \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_{D0}^{(n)} \cdot \sin(n\omega t + \varphi_I^{(n)}) \right] \quad (8)$$

Následne vyjadríme napätie a prúd na prvku pomocou konečného počtu vyšších harmonických zložiek, pričom obe veličiny budú vyjadrené rovnakými zložkami. Výkon vyjadríme pre každú zložku samostatne a časový priebeh napätia a prúdu harmonických zložiek (okrem nultej, pre ktorú použijeme jednosmerné veličiny) vyjadríme pomocou im odpovedajúcich fázorov. Ak $g+1$ je počet použitých neharmonických zložiek, pre jednosmerný, resp. komplexné výkony zložiek napätia ideálneho napäťového zdroja potom bude platiť (9).

$$\begin{aligned} P_{D0}^{(0)} &= U_{D0}^{(0)} \cdot I_{D0}^{(0)} \\ \mathbf{S}_{D0}^{(1)} &= \mathbf{U}_{D0}^{(1)} \cdot \mathbf{I}_{D0}^{*(1)} = P_{D0}^{(1)} + jQ_{D0}^{(1)} \\ &\vdots \\ \mathbf{S}_{D0}^{(g)} &= \mathbf{U}_{D0}^{(g)} \cdot \mathbf{I}_{D0}^{*(g)} = P_{D0}^{(g)} + jQ_{D0}^{(g)} \end{aligned} \quad (9)$$

Pre náhradnú schému na Obr. 1 pre výkony jednotlivých prvkov pri použití konečného počtu vyšších harmonických zložiek platí pre každú zložku, že jednosmerný resp. komplexný výkon aktívnych prvkov (dodávaný) sa musí rovnať jednosmernému resp. komplexnému výkonu spotrebičov (odoberanému) a teda platí (10).

$$\begin{aligned} \sum_{a=0}^N P_{Da}^{(0)} - \sum_{b=0}^M P_{Zb}^{(0)} &= 0 \\ \sum_{a=0}^N P_{Da}^{(1)} + jQ_{Da}^{(1)} - \sum_{b=0}^M P_{Zb}^{(1)} + jQ_{Zb}^{(1)} &= 0 \\ &\vdots \\ \sum_{a=0}^N P_{Da}^{(g)} + jQ_{Da}^{(g)} - \sum_{b=0}^M P_{Zb}^{(g)} + jQ_{Zb}^{(g)} &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

V prípade potreby vytvárania simulačných matematických modelov pre ďalšie analýzy ustálených stavov podniku v takejto prevádzke je vhodnejšie nahradenie výkonov prúdmi a napätiami na jednotlivých prvkoch náhradnej schémy. Dôvodom je to, že tradične používané metódy pre simuláciu elektrických obvodov ako sú napr. metóda STA (Sparse Tableau Analysis) [4] a metóda MNA (Modified Nodal Analysis) [5] používajú prúdy a napätia.

Ak v náhradnej schéme existuje len jeden napäťový zdroj a všetky prvky sú k nemu pripojené paralelne, potom na každom prvku pripojenom spínacou sústavou s napájaním bude rovnaká hodnota napätia pre 0. harmonickú, resp. rovnaká efektívna hodnota a fázový posun napätia pre každú inú vyššiu harmonickú zložku a bude platiť (11).

$$\begin{aligned} U_{S0}^{(0)} \left(\sum_{a=0}^N I_{Da}^{(0)} - \sum_{b=0}^M I_{Zb}^{(0)} \right) &= 0 \\ U_{S0}^{(1)} \left(\sum_{a=0}^N I_{Da}^{*(1)} - \sum_{b=0}^M I_{Zb}^{*(1)} \right) &= 0 \\ &\vdots \\ U_{S0}^{(g)} \left(\sum_{a=0}^N I_{Da}^{*(g)} - \sum_{b=0}^M I_{Zb}^{*(g)} \right) &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Harmonické zložky priebehov prúdov $i_{DI}(t)$ až $i_{DN}(t)$, ktoré odpovedajú častiam alternatívnych zdrojov, nahradíme závislosťami (1) až (6). Potom je možné vzťahy medzi prúdmi 0. harmonickej a fázormi prúdov ostatných harmonických zložiek je možné vyjadriť ako (12).

$$\begin{aligned} I_{D0}^{(0)} + \sum_{a=1}^N [f_{Da}^{(0)}(x_1, \dots, x_z)] - \sum_{b=0}^M I_{Zb}^{(0)} &= 0 \\ I_{D0}^{(1)} + \sum_{a=1}^N [f_{Da}^{(1)}(x_1, \dots, x_z)] - \sum_{b=0}^M I_{Zb}^{(1)} &= 0 \\ &\vdots \\ I_{D0}^{(g)} + \sum_{a=1}^N [f_{Da}^{(g)}(x_1, \dots, x_z)] - \sum_{b=0}^M I_{Zb}^{(g)} &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

IV. ZÁVER

Za jeden z najdôležitejších aspektov analýzy prevádzky pri použití regulačných prvkov k zabezpečeniu fungovania takto prevádzkovaného podniku patrí analýza výkonových pomerov. Výkonové pomery v podniku môžeme analyzovať pomocou náhradnej schémy dvoma spôsobmi. Prvým je analýza pomocou jednosmerných výkonov 0. harmonickej zložky a porovnaním zdanlivých výkonov alebo činných a súčasne jalových výkonov ostatných zložiek. Ďalšou možnosťou je zisťovanie výkonových pomerov analýzou jednosmerných prúdov 0. harmonickej zložky a fázorov prúdov ostatných harmonických zložiek jednotlivých prvkov náhradnej schémy.

POĎAKOVANIE

Tento článok bol vytvorený s podporou Grant FEI projektu FEI-2018-50.

LITERATÚRA

- [1] CHUA Leon O. : Device modeling via nonlinear circuit elements. IEEE Transactions on Circuits and Systems (Volume: 27, Issue: 1), 2003. ISSN 0098-4094
- [2] MEINARDUS Gunter : Aproximace funkcí teorie a numerické metody. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury n.p., 1968. 258 s. ISBN 04-012-68
- [3] ŠPALDONOVÁ, Darina – TOMČÍKOVÁ, Iveta : Elektrotechnika. Košice : Technická univerzita Košice, 2009. 140 s. ISBN: 978-80-553-0171-6
- [4] HACHTEL, Gary. D. – BRAYTON, Robert K., GUSTAFSON, Fred G. : The Sparse Tableau Approach to Network Analysis and Design. IEEE Transactions on circuit theory (Volume: 18, Issue: 1), 1971. ISSN 0098-4094
- [5] CHUNG-WEN, Ho – RUEHLI, Albert E. – BRENNAN, P. A. : The Modified Nodal Approach to Network Analysis. IEEE Transactions on circuit theory (Volume: 22, Issue: 6), 1975. ISSN 0098-4094