

NOVÉ PRÍSTUPY K VÝBERU PILOTNÝCH UZLOV PRE SEKUNDÁRNU REGULÁCIU ES

NEW ALGORITHMS FOR PILOT BUS SELECTION IN SVC OF A POWER SYSTEM

Stanislav KUNÍK, Dušan MUDRONČÍK, Michal KOPČEK

Autori: **Ing. Stanislav Kuník, Prof. Ing. Dušan Mudrončík, PhD., Ing. Michal Kopček**
Pracovisko: **Ústav aplikovanej informatiky, automatizácie a matematiky**
Materiálovotechnologická fakulta v Trnave
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Adresa: **Hajdóczyho 1, 917 24 Trnava**
Tel.: **+421 33 544 77 34**
E-mail: **stanislav.kunik@stuba.sk, dusan.mudroncik@stuba.sk,**
michal.kopcek@stuba.sk

Abstract

Problematika optimálneho výberu pilotných uzlov pre potreby sekundárnej regulácie elektrizačnej sústavy a jej fyzikálna a matematická podstata je podrobne opísaná v [2]. Príspevok sa bude venovať tejto téme hlavne z pohľadu stručnej prezentácie novo vyvinutých algoritmov v rámci riešenia [2].

The area of the optimal pilot bus selection for the needs of the secondary voltage control in a large – scale power system and its mathematical and physical fundamentals are described in detail in [2]. This contribution will pay attention especially to the newly developed algorithms, which were invented during the solving of [2].

Key words

sekundárna regulácia, elektrizačná sústava, výber pilotných uzlov

secondary voltage control, power system, pilot bus selection

Úvod

Ako vyplýva z [1] a [2], doterajšie dostupné riešenia optimálneho výberu pilotných uzlov neplnili potreby práce v reálnom čase, zvlášť pre vyšší počet pilotných uzlov v elektrizačnej

sústave. Existovala nutnosť vyriešiť tento stav. Jednotlivé nové prístupy sú popísané v predložennom príspevku, konkrétne:

- návrh a použitie multikriteriálnej účelovej funkcie na základe úpravy možných jednokriteriálnych účelových funkcií,
- analýza vplyvu prahovej hodnoty citlivostného koeficienta pri redukcii počtu kandidátov metódou prahového koeficienta, z hľadiska získania čo najbližšieho riešenia ku globálnemu extrému
- návrh pôvodného prístupu výberu pilotných uzlov – Metóda spätného výberu,
- pôvodný návrh štruktúry vstupných súborov do všetkých použitých metód výberu pilotných uzlov – návrh tzv. kandidátskych súborov,
- využitie greedy algoritmu na dosiahnutie vyššej efektívnosti genetických algoritmov,
- návrh pôvodnej štruktúry a parametrov genetického algoritmu na riešenie nosného problému práce, vrátane pôvodného návrhu chromozómu,
- prešetrenie vplyvu rádu n -tice pilotných uzlov,
- komplexné vyhodnotenie výpočtovej náročnosti jednotlivých prístupov k výberu pilotných uzlov,
- návrh a realizácia podporného softvéru zastrešujúceho všetky predchádzajúce body, ktorý spĺňa požiadavku jeho prevádzky v reálnom čase.

Multikriteriálna účelová funkcia

Súčasnú riešenie výberu pilotných uzlov [1] berie do úvahy len jednu účelovú funkciu, a to minimum kvadrátu odchýlky napätia. Kvôli objektívnejšiemu ohodnocovaniu pilotných uzlov je vhodné použiť viackriteriálnu účelovú funkciu.

Na základe experimentov [2] možno povedať, že výber účelovej funkcie nemá zásadný vplyv na výber optimálneho pilotného uzla, resp. n -tice uzlov. Isté rozdiely v poradí najlepších pilotných uzlov však môžu vzniknúť, preto je vhodné pracovať namiesto jednej účelovej funkcie s viacúčelovou. Navrhnutá pôvodná multikriteriálna účelová funkcia zohľadňuje:

- minimum kvadrátu odchýlky napätia $f_{Ukv} = \sum_{i=1}^{n_Z} \Delta U_i^2$,
- minimum prenášaného jalového výkonu $f_{Qp} = \sum_{i=1}^{n_G} |Q_{dod i}|$,
- minimum maximálnej relatívnej odchýlky napätia $f_{\Delta U_r} = \max \left(\frac{\Delta U_{Z i}}{U_{nom Z i}} \right)$,

kde

ΔU_i – odchýlka napätia v odberovom uzle pri zvýšení odberu jalového výkonu,

n_Z – počet záťažových uzlov,

n_G – počet generátorických uzlov pri daných minimálnych a maximálnych hodnotách dodávaného jalového výkonu $Q_{dod i} \in \langle Q_{min i}, Q_{max i} \rangle$,

$\Delta U_{Z i}$ – odchýlka napätia v odberovom uzle po zvýšení odberu jalového výkonu,

$U_{nom Z i}$ – nominálna hodnota napätia záťažového uzla.

Funkcia váhuje samostatné zložky a následne ich sčítava. Koeficienty sú navrhnuté na základe skúseností tak, aby boli jednotlivé účelové funkcie porovnateľne zohľadnené a kompenzovali rád ich typických výstupných hodnôt.

$$f_K = f_{Ukv} + 0,01 \cdot f_{Qp} + 1000 \cdot f_{\Delta U_r} \quad (1)$$

Výsledkom je funkcia, ktorá síce spravidla dodržiava poradie najlepších pilotných uzlov získaných podľa minima kvadrátu odchýlky napätia, ale zohľadňuje i zásadné výkyvy prenášaného jalového výkonu v sústave, popr. podstatné zmeny odchýlok napätia pri relatívne nízkej hodnote prenášaného jalového výkonu. Zohľadnenie viacerých kritériálnych funkcií taktiež reaguje napr. na obavu, že použitie pilotného uzla s relatívne malou hodnotou citlivostného koeficienta medzi ním a zvoleným generátorickým uzlom pri sekundárnej regulácii môže za určitých okolností viesť k zvýšeniu odberu, resp. toku jalového výkonu v sústave.

Prahová hodnota citlivostného koeficienta

Metóda prahovej hodnoty koeficienta citlivosti so súčasnými parametrami [1] nemusí mnohokrát poskytnúť optimálne riešenie výberu pilotných uzlov, lebo slúži na oddelenie vhodných od nevhodných kandidátskych dvojíc na pilotné uzly v oblasti častého výskytu vhodných kandidátov. Pritom voľba prahového koeficienta má podstatný vplyv na veľkosť oboch skupín a oddeľuje kandidátov ostrou hranicou. Pri inej, nie príliš odlišnej prahovej hodnote je však vytvorená skupina predpokladaných vhodných kandidátov, ktorá poskytuje po výpočte účelových funkcií (pre n -tice pilotných uzlov s rozdielnym n) niekedy podstatne iné výsledky. Inými slovami, prahová hodnota je volená v oblasti, kde mení výsledky výberu pilotných uzlov, a teda nemusí zabezpečiť optimálny výber.

Nová, pôvodná myšlienka je: na základe experimentov zistiť hranicu oddeľujúcu vhodných kandidátov od vyslovene nevhodných. Stále sa pritom vychádza z predpokladu, že dvojice generátorický-záťažový uzol s nízkym koeficientom citlivosti nie sú vhodnými kandidátskymi dvojicami na pilotné uzly. Avšak prahová hodnota citlivostného koeficienta nebude volená za účelom redukcie počtu kandidátov na prijateľný počet, ale za účelom vylúčenia zásadne nevhodných kandidátov z výslednej kandidátskej skupiny. Síce sa tým zväčší kandidátsky súbor, ale na rozdiel od aplikácie metódy podľa súčasných odporúčaní bude zaručený postup všetkých sľubných kandidátskych dvojíc do skupiny potenciálnych pilotných uzlov, teda do kandidátskeho súboru. Ako nevhodné budú označené kandidátske dvojice, ktoré majú podstatne nižšiu hodnotu koeficienta citlivosti v porovnaní s vhodnými kandidátskymi dvojicami.

Ako dokazujú experimenty [2], na redukcii počtu kandidátov na pilotné uzly nie je vhodné používať metódu prahovej hodnoty koeficienta citlivosti podľa terajších dostupných odporúčaní. Je potrebné rádovo znížiť prahový koeficient citlivosti σ z navrhovanej hodnoty 0,2-0,3 na približne 0,01, čím bude zaručený postup aj záťažových uzlov s nízkymi hodnotami citlivostného koeficienta do kandidátskej množiny na pilotné uzly. Zároveň sa však rádovo zväčší súbor kandidátov a tým rapidne zníži rýchlosť výpočtov na získanie optimálnej n -tice pilotných uzlov.

Metóda spätného výberu

Na základe výsledkov [2] možno povedať, že vhodnosť kandidáta na pilotný uzol nezávisí priamo (od určitej veľkosti) od hodnoty jeho citlivostného koeficienta medzi záťažovým

a generátorickým uzlom. Inými slovami, od určitej hraničnej hodnoty koeficienta citlivosti (experimentálne zistená hodnota cca 0,01) nemá zmysel znižovať túto prahovú hodnotu, lebo vhodný kandidáti na pilotné uzly sa nenájdu. Zároveň platí, že medzi vhodnosťou kandidátskej dvojice („vhodnosť“ bude posudzovaná hodnotou multikriteriálnej účelovej funkcie vyčíslenej pre jeden hľadaný pilotný uzol na celú elektrizačnú sústavu) a veľkosťou citlivostného koeficienta neexistuje žiadna priama pozorovateľná súvislosť. Nie je teda možné akési zoradenie podľa hodnoty koeficientu, ktoré by predstavovalo prvotné zoradenie vhodných kandidátov a teda nie je možná jednoduchá redukcia menej vhodných kandidátskych dvojíc. Obdobná redukcia je však nutná ak má byť splnený cieľ predloženého problému – optimálny výber pilotných uzlov pre potreby dispečerského riadenia.

Ako reakcia na túto potrebu bola vyslovená hypotéza o spätnom výbere kandidátskych dvojíc:

Pôvodná myšlienka je zoradiť kandidátov na pilotné uzly podľa hodnoty účelovej funkcie vyčíslenej pre každú kandidátsku dvojicu generátorický-záťažový uzol pri hľadaní jedného pilotného uzla v elektrizačnej sústave. Očakávanie je, že každá hľadaná vyššia n -tica pilotných uzlov bude pozostávať hlavne z kandidátov s malou hodnotou účelovej funkcie pre jeden pilotný uzol.

V praxi to znamená prvotné vyčíslenie účelovej funkcie pre každú kandidátsku dvojicu (teda jeden pilotný uzol pre celú elektrizačnú sústavu), čo predstavuje niekoľko stoviek možností. Toto vyčíslenie je bez problémov zvládnuteľné v reálnom čase. Na základe ohodnotenia všetkých riešení bude možné ich zoradenie, a vychádzajúc z vyslovenej hypotézy aj následná eliminácia najmenej vhodných riešení. Tak ostane len niekoľko desiatok potenciálne najlepších kandidátskych dvojíc na pilotné n -tice.

Pôvodná metóda spätného výberu bude teda pozostávať z dvoch krokov:

1. Vyčíslenie účelovej funkcie pre každú dvojicu generátorický-záťažový uzol s prahovou hodnotou citlivostného koeficienta $\sigma = 0,01$ pri hľadaní jedného pilotného uzla.
2. Zoradenie kandidátskych dvojíc podľa hodnoty účelovej funkcie a výber tých najlepších, ktoré budú figurovať medzi kandidátmi na n -tice pilotných uzlov.

Výberom určitého počtu najlepších kandidátov takto spätne vznikne nový kandidátsky súbor používaný pri hľadaní n -tice pilotných uzlov, kde $n > 1$. Ako dostatočný počet kandidátov pre spätný výber sa javí 50. Je zrejmé, že pre rozdielne sústavy môže byť toto číslo iné. Napriek nízko zvolenej hodnote počtu kandidátov je však predpoklad nájdenia n -tice pilotných uzlov s hodnotou účelovej funkcie blízkej globálnemu optimu.

Počet kandidátov 50 je určený na základe experimentov, kde bolo v druhom kroku algoritmu spätného výberu použitých 100 kandidátov. Pritom pri žiadnej hľadanej n -tici pilotných uzlov pre sústavu (kde $n = \langle 2, 10 \rangle$) nefiguroval ako žiaden z pilotných uzlov kandidát s poradovým číslom blízky alebo vyšší ako 50. Všetky kandidátske dvojice mali lepšie poradie. Výsledky hľadania optimálnej n -tice pilotných uzlov pre sústavu (kde $n = \langle 1, 10 \rangle$) sú teda rovnaké pre 50 aj pre 100 kandidátov. Možno teda predpokladať, že žiadne ďalšie zvýšenie počtu najlepších kandidátov by neprinieslo iné výsledky pri výbere pilotných uzlov.

Metóda spätného výberu sa osvedčila pri podstatnej redukcii počtu kandidátov na pilotné uzly, avšak nie je sama o sebe vhodná na hľadanie optimálnej n -tice pilotných uzlov pomocou vyčíslenia celého zvyškového stavového priestoru v reálnom čase kvôli stále relatívne vysokej

výpočtovej náročnosti, i keď dáva lepšie výsledky ako metóda prahovej hodnoty koeficienta citlivosti s príliš vysokou hodnotou σ , a podstatne rýchlejšie ako s dostatočnou veľkosťou σ .

Kandidátske súbory

Pri vyčísl'ovaní stavového priestoru (celého či redukovaného) sa pri súčasných riešeniach vyskytol problém, keď pri vyšších kandidátskych n -ticiach pilotných uzlov, konkrétne pri ich návrhu spomaľovala práca s maticou citlivostných koeficientov celkový postup hľadania optimálnych pilotných uzlov. Vznikali veľké kandidátske súbory a časy výpočtu kombinácií sa pohybovali v rádoch desiatok hodín už pre 5-tice pilotných uzlov. Problém bol do istej miery vyriešený použitím tzv. metódy riedkej matice.

Analýza tohto problému viedla k návrhu nového prístupu pre prácu s kandidátskymi n -ticami. Tento nový prístup k zápisu urýchľuje prácu s maticou citlivostných koeficientov, a hlavne je univerzálne použiteľný na všetky metódy spomínané v predloženej práci. Metóda slúži totiž na vytvorenie tzv. kandidátskych súborov na vyčíslenie celého, resp. zvyškového stavového priestoru (teda na vytvorenie všetkých možných kombinácií hľadanej n -tice pilotných uzlov) a rovnako ako vstupný súbor vhodných kandidátov do genetických algoritmov, ktorým sa venuje ďalšia časť práce.

Nová myšlienka je, že tzv. kandidátsky súbor musí obsahovať len tri informácie o každej kandidátskej dvojici, a to názov generátorického uzla, názov záťažového uzla a hodnotu ich koeficienta citlivosti. Zároveň je každá dvojica jednoznačne identifikovateľná poradovým číslom riadku v ktorom je zapísaná. Prvé tri údaje sú postačujúce na nastavenie parametrov a výpočet ustáleného stavu elektrizačnej sústavy.

Na základe kandidátskeho súboru, ktorý vznikne metódou spätného výberu je možné vygenerovať kandidátske súbory pre vyššie n -tice pilotných uzlov (za účelom hľadania optimálnej n -tice pilotných uzlov pomocou vyčíslenia celého zvyškového stavového priestoru), pričom každá n -tica obsahuje rovnaké údaje pre každý z n prvkov ako pôvodný kandidátsky súbor. Prakticky teda stačí pracovať s n -ticou celých čísel, kde každé číslo reprezentuje riadok v kandidátskom súbore.

Genetické algoritmy budú ďalej pracovať s pôvodným kandidátskym súborom, teda so súborom, ktorého každý riadok predstavuje jednu kandidátsku dvojicu generátorický-záťažový uzol spolu s jeho hodnotou koeficienta citlivosti.

Algoritmus tvorby kandidátskych súborov pre vyššie n -tice pilotných uzlov ($n > 1$) predstavuje matematicky hľadanie kombinácií n -tej triedy z k prvkov bez opakovania.

Greedy algoritmus

Greedy algoritmu sa podrobnejšie venuje [1]. Jeho využitie v nových prístupoch výberu pilotných uzlov je ako podpora genetických algoritmov, kde poskytuje inicializačnú populáciu.

Z povahy greedy algoritmu vyplýva, že nemusí zaručiť dosiahnutie globálneho extrému riešeného problému, avšak pri vhodnom nasadení môže poskytnúť suboptimálne riešenie. Práve toto riešenie je použité v [2] ako prvotná populácia GA.

Genetické algoritmy

Ďalší pôvodný prístup k riešeniu výberu optimálnych pilotných uzlov predstavuje využitie genetických algoritmov. Svojou povahou sú predurčené na nájdenie globálneho extrému, alebo aspoň priblíženie sa k nemu.

Hľadaná je n -tica dvojíc generátorický-zát'azový uzol. Každý uzol je identifikovateľný svojim menom. Nie je však nutné pracovať s dvojicou textových názvov, ktorá predstavuje jednu položku z hľadanej n -tice, nakoľko je k dispozícii reprezentácia pomocou tzv. kandidátskych súborov. Tá nahrádza každú dvojicu generátorický-zát'azový uzol za jedno celé číslo, ktoré zastupuje číslo riadku (resp. poradie) v kandidátskom súbore obsahujúcom všetky vhodné dvojice generátorický-zát'azový uzol.

Chromozóm reprezentujúci hľadanú n -ticu pilotných uzlov bude teda pozostávať z n génov, pričom každý gén je celé číslo vyjadrujúce pozíciu reprezentovanej dvojice generátorický-zát'azový uzol a hodnotu ich citlivostného koeficienta v kandidátskom súbore.

Samotný kandidátsky súbor môže obsahovať buď všetky kandidátske dvojice, alebo selektované dvojice, vybrané pomocou metódy prahovej hodnoty citlivostného koeficienta, resp. pomocou metódy spätného výberu. Od veľkosti kandidátskeho súboru bude samozrejme podstatne závisieť rýchlosť konvergencie genetického algoritmu k optimálnemu riešeniu.

Návrh použitého genetického algoritmu bude vychádzať zo štandardnej schémy algoritmu [2], bude však prispôbený špecifickým potrebám riešeného problému.

- 1) Prvým krokom je inicializácia populácie. Spravidla sa prvá generácia chromozómov generuje náhodne v rámci daných ohraničení. Na vygenerovanie celej populácie okrem jedného reťazca bude slúžiť funkcia GenIPop. Posledný chromozóm vznikne reprezentáciou výstupu z greedy algoritmu a predstavuje riešenie v blízkosti globálneho optima. Tento chromozóm bude s najväčšou pravdepodobnosťou predstavovať najlepšie riešenie v populácii. Každý chromozóm bude obsahovať n celočíselných génov, podľa rádu hľadanej n -tice pilotných uzlov.
- 2) Po inicializácii, resp. kompletizácii populácie nasleduje kontrola regulárnosti chromozómov. Z povahy výberu n -tice pilotných uzlov vyplýva, že každá n -tica musí obsahovať práve n rozdielnych pilotných uzlov. Populácia bude teda skontrolovaná na výskyt duplicitných génov v chromozóme znamenajúci viacnásobný výskyt pilotného uzla, pričom prípadné neregulárne chromozómy budú nahradené novými, náhodne vygenerovanými. Kontrola by mala byť rekurzívna.
- 3) Vyhodnotí sa fitness všetkých n chromozómov. Tento krok pozostáva pre každý reťazec z troch úkonov:
 - a) dekodovanie chromozómu – číselná reprezentácia sa dekoduje na názvy uzlov a ich prislúchajúci koeficient citlivosti pomocou kandidátskeho súboru,
 - b) prebehne simulácia, teda výpočet ustáleného chodu elektrizačnej sústavy s vybranými pilotnými uzlami,
 - c) vyhodnotí sa hodnota účelovej funkcie, ktorá predstavuje fitness daného chromozómu.
- 4) Z podstaty problému vyplýva, že ako ukončovacie kritérium nemôže slúžiť hodnota dosiahnutej fitness najlepšieho z chromozómov, nakoľko pri asymetrickej a časovo sa meniacej záťaži sústavy odberom jalového výkonu budú ako pilotné uzly figurovať rozdielne záťažové uzly, a teda sa bude meniť i hodnota účelovej funkcie najlepšej n -tice pilotných uzlov. Ukončovacie kritérium bude počet generácií, ktorý priamo súvisí s výpočtovým časom genetického algoritmu. Bude teda možné na základe maximálneho

dostupného času na výber pilotných uzlov určiť počet generácií v genetickom algoritme. Tento nový prístup k ukončeniu umožní maximálne efektívne využiť voľný výpočtový čas na konvergenciu riešenia ku globálnemu minimu účelovej funkcie, i keď pôvodná populácia obsahuje s najväčšou pravdepodobnosťou už riešenie blízke globálnemu minimu, resp. optimálny výber pilotných uzlov.

- a) Ak nie je dosiahnuté ukončovacie kritérium, algoritmus pokračuje výberom rodičov.
 - i) Všetky jedince sa navzájom porovnajú a vyberie sa skupina najlepších chromozómov, ktorá prejde do ďalšej generácie bez zmeny.
 - ii) Do novej generácie prejde bez zmeny i ďalšia skupina chromozómov, úspešných v turnajovom výbere.
- b) Pracovná skupina určená na reprodukciu bude získaná spojením dvoch podskupín.
 - i) V jednej podskupine budú chromozómy starej generácie vybrané pomocou výberu najlepších jedincov,
 - ii) a v druhej pomocou turnajového výberu.
- 5) V reprodukčnej skupine sa reťazce spárujú za účelom kríženia. Po krížení nasleduje obyčajná a aditívna mutácia.
- 6) Pri kompletizácii populácie sa spojí nezmenená časť chromozómov so zvyškom populácie. Nasleduje krok 2.

Podporný softvér

Ďalší podstatný prínos predloženej práce je návrh a implementácia komplexnej softvérovej podpory výberu pilotných uzlov v sekundárnej regulácii elektrizačnej sústavy. Vytvorený softvér zahŕňa nasledujúce funkcie:

- Kompletná podpora práce so súbormi definujúcimi ustálený chod elektrizačnej sústavy pod systémom MODES – každý model elektrizačnej sústavy uložený v súbore „ust.dat“ je možné načítať, vykonať zmeny jednotlivých parametrov na záťažových, resp. pilotných uzloch a uložiť nové nastavenia. Je umožnené priame spustenie externej aplikácie „UST.exe“, ktorá vypočíta na základe súboru ust.dat ustálený chod elektrizačnej sústavy. Taktiež je poskytnutý prehľad prípadných chýb, ktoré zistí program UST.exe.
- Práca s maticami citlivostných koeficientov – vo zvolenom modeli elektrizačnej sústavy je vypočítaná matica koeficientov citlivosti.
- Prahová hodnota koeficientov citlivosti – na základe matice citlivostných koeficientov je možné vylúčiť nevhodné kandidátske dvojice generátorický-záťažový uzol podľa prahovej hodnoty koeficienta citlivosti.
- Práca s kandidátskymi súbormi – automatizovaná tvorba kandidátskych súborov podporujúca metódy GlobEx, prahová hodnota koeficientov citlivosti, greedy algoritmus, genetické algoritmy.
- Nájdenie optimálnej n -tice pilotných uzlov metódou GlobEx, resp. kompletným prehľadom určeného stavového priestoru, greedy algoritmom a pomocou genetických algoritmov.

Záver

Dizertačná práca [2] podáva riešenie optimálneho výberu pilotných uzlov v sekundárnej regulácii zložitej elektrizačnej sústavy. Ako sa spomína vyššie, problematika regulácie elektrizačnej sústavy je veľmi zložitý proces, pretože ide o regulačnú sústavu, ktorej jednotlivé prvky sú rozložené na veľkom území. Jej činnosť je ovplyvňovaná veľkým množstvom faktorov. Za kľúčový faktor priamo ovplyvňujúci kvalitu sekundárnej regulácie možno označiť výber pilotných uzlov. Kvôli rozmernosti stavového priestoru pri výbere n -tice pilotných uzlov a zložitých väzbách v sústave sa dá považovať najlepší výber pilotných uzlov za veľký optimalizačný problém.

Výsledok práce predstavuje kombinácia navrhnutých metód s niektorými dostupnými. Konkrétne riešenie optimálneho výberu pilotných uzlov bude pozostávať z nasledujúcich krokov:

- výpočet matice citlivostných koeficientov,
- redukcia počtu kombinácií na základe novo navrhnutých parametrov,
- vytvorenie kandidátskeho súboru greedy algoritmu metódou spätného výberu na základe multikriteriálnej účelovej funkcie,
- nájdenie suboptimálneho riešenia zvoleného rádu n -tice pilotných uzlov greedy algoritmom, a použite výstupu na inicializáciu populácie GA,
- počas zvyšného disponibilného výpočtového času hľadanie lepšieho riešenia pomocou GA.

Na základe vykonaných experimentov a analýzy získaných poznatkov je možné načrtnúť ďalšie smerovanie vývoja výskumu v oblasti optimálneho výberu pilotných uzlov pre sekundárnu reguláciu:

- Optimalizácia parametrov GA, prípadne úprava štruktúry. Je zrejmé, že i malé zmeny niektorých parametrov môžu mať významný vplyv na rýchlosť konvergencie GA ku globálnemu optimu.
- Zohľadnenie strát pri výrobe a prenose jalového výkonu. Vychádzajúc z dostupného modelu elektrizačnej sústavy je možné za týmto účelom navrhnúť jednokriteriálnu účelovú funkciu na rozšírenie multikriteriálnej účelovej funkcie.
- Riešenie optimálneho využitia zariadení FACTS. Tieto pružné systémy na prenos striedavého prúdu ovplyvňujú viacero kvalitatívnych parametrov prenosu elektrickej energie. Zavedenie FACTS do elektrizačnej sústavy z pohľadu sekundárnej regulácie napätia a tokov jalového výkonu môže znamenať radikálnu zmenu vo filozofii výberu pilotných uzlov.
- Využitie elektrického ťažiska jalového výkonu. Pri lokálnom zaťažení jalovým výkonom, dôjde k zmene optimálnych pilotných uzlov oproti uzlom, ktoré boli vybrané pri rovnomernom zaťažení sústavy. Optimálnymi sa stanú prevažne tie, ktoré sa nachádzajú v ťažisku odberu jalového výkonu.
- Uplatnenie umelej inteligencie pri hľadaní analogických situácií v elektrizačnej sústave v danom okamihu.

Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] KUNÍK, S., MUDRONČÍK, D., KOPČEK, M. Dostupné metódy výberu pilotných uzlov pre sekundárnu reguláciu ES. In *Materials Science and Technology*, 6/2008 [online]. ISSN 1335-9053 <<http://mtf.stuba.sk/>>
- [2] KUNÍK, S. *Optimálny výber pilotných uzlov v sekundárnej regulácii zložitej ES*. Doktorandská dizertačná práca. Trnava: ÚIAM MfF STU, 2008. 116 s.