

C4 04

POREĐENJE PERFORMANSI PSO I GA METODA PRI ODREĐIVANJU OPTIMALNOG RASPOREDA PROVODNIKA DVOSTRUKIH NADZEMNIH VODOVA

Aleksandar RANKOVIĆ *, Vladica MIJAILOVIĆ
Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku

Čačak

Republika Srbija

Kratak sadržaj:

U radu su predstavljeni rezultati problema optimizacije rasporeda provodnika dvostrukih nadzemnih vodova, pri čemu se smanjuju maksimalne vrednosti električnog polja i magnetske indukcije. Jedinstvena funkcija cilja dobijena je normalizacijom vrednosti električnog polja i magnetske indukcije u odnosu na odgovarajuće propisane granične vrednosti u Republici Srbiji. Uticaj ugiba provodnika i raspodela naelektrisanja duž faznih provodnika su uvaženi pri proračunu. Ovaj nelinearni optimizacioni problem rešavan je primenom dve metaheuristička metoda: genetski algoritam (Genetic Algorithm) i optimizacioni algoritam roja čestica (Particle Swarm Optimization). Predloženi optimizacioni metode su primenjeni na 400 kV dvostruki nadzemni vod, pri čemu je razmatran uticaj različite dužine izolatorskih lanaca.

Kako bi se procenila efikasnost oba optimizaciona metoda rezultati su upoređeni sa rezultatima dobijenim za standardni 400 kV dvostruki nadzemni vod.

Ključne reči: Magnetska indukcija – Električno polje – PSO – GA – Dvostruki nadzemni vodovi.

1. UVOD

Sve veća potražnja za električnom energijom uslovlila je i potrebu za prenosom značajne količine energije na velike udaljenosti. Ovo zahteva izgradnju novih nadzemnih vodova, viših naponskih nivoa i strujnog opterećenja. Jedna od posledica je da su u blizini visokonaponskih vodova visoke vrednosti elektromagnetskog polja koje mogu uticati na zdravlje ljudi. Istraživanja vezana za biološke efekte elektromagnetskih polja industrijske frekvencije počela su krajem 1970-ih, dok se poslednjoj deceniji sve više istražuje odnos između emisije elektromagnetskog polja i zdravlja.

Iz tog razloga teži se da trase nadzemnih vodova zaobilaze urbana područja, ali je u nekim slučajevima to ne moguće izbeći. Kada je trasa nadzemnog voda u blizini urbanih područja obično je

* Svetog Save 65, 32000 Čačak; E-mail: aleksandar.rankovic@ftn.kg.ac.rs;

potrebno izvršiti redukciju elektromagnetskog polja. Do vrednosti električnog i magnetskog polja u fazi planiranja i projektovanja nadzemnih vodova može se doći samo na osnovu simulacija.

Elektromagnetsko polje industrijske učestanosti može se smatrati kvazistatičkim, odnosno za vrlo niske učestanosti moguće ih je analizirati kao dva raspregnuta polja: vremenski sporo promenljivo (kvazistatičko) električno polje i vremenski sporo promenljivo (kvazistatičko) magnetsko polje. Može se smatrati da je intenzitet električnog polja funkcija napona, a intenzitet magnetnog polja funkcija struje. Takođe, oba razmatrana polja zavise i od faznog redosleda, položaja provodnika, ugiba, uslova terena...

Metodologija izbora optimalnog rasporeda provodnika zasniva se na optimizaciji funkcije cilja koja može imati različite forme. Cilj optimizacije može biti minimizacija samo električnog ili samo magnetskog polja, ali i jedinstvene funkcije cilja dobijena sabiranjem normalizovanih (ponderisanih) vrednosti električnog i magnetskog polja ([1] - [4]). Pritom moraju biti zadovoljena sva ograničenja minimalnih dozvoljenih rastojanja faznih provodnika, kao i visine zaštitnih užadi koja obezbeđuju propisanu zaštitnu zonu od direktnog udara groma. Kako se radi o nelinearnom optimizacionom problem, sa uvaženim ograničenjima tipa nejednakosti, najefikasniji način rešavanja ovog problema je primenom neke od metaheurističkih metoda. U radu su predložene dva najčešće korišćena metaheuristička metoda: Genetski algoritam (*Genetic Algorithm* - GA) i Optimizacioni algoritam roja čestica (*Particle Swarm Optimization* - PSO).

Koncept primene metaheurističkih metoda nije nov. Prvi GA razvijen je 1975. godine [5], dok je PSO metoda prvi put predstavljena 1995. godine [6]. Ovi metodi obično se koriste za rešavanje nelinearnih problema, kod kojih je potrebno pretraživanje velikog prostora stanja, a koje je teško ili gotovo nemoguće rešavati klasičnim matematičkim metodama.

I GA i PSO su metaheurističke tehnike zasnovane na populaciji jedinki, radeći sa grupom kandidatskih rešenja za dati problem, vodeći ih ka optimalnom. GA simulira prirodnu evoluciju vrsta, pri čemu se vrši postepena promena genetičke strukture populacije koristeći mehanizme bioevolucije kao što su ukrštanje, mutacija i selekcija. PSO se zasniva na društvenom ponašanju velikih populacija jedinki u prirodi, poput jata ptica ili riba.

U rada će biti predloženi algoritmi za optimizaciju električnog i magnetskog polja 400 kV dvostrukih nadzemnih vodova, uzimajući u obzir ugib provodnika, fazni redosled i raspodelu naelektrisanja duž faznih provodnika. Efikasnost oba predložena algoritma, bazirana na GA ili PSO, biće proverena, a dobijeni rezultati optimizacije upoređena sa standardnom konfiguracijom 400 kV dvostrukog nadzemnog voda.

Ostatak rada organizovan je na sledeći način. U poglavlju 2 definisana je jedinstvena funkcija cilja koja istovremeno minimizira maksimalnu jačinu električnog polja i magnetsku indukciju. Predloženi metaheuristički metodi za prethodno definisan optimizacioni problem, prikazane su u poglavlju 3, dok su u poglavlju 4 dati rezultati proračuna. Komentari i najvažniji zaključci dati su u poglavlju 5.

2. DEFINISANJE OPTIMIZACIONOG PROBLEMA

U razmatranom optimizacionom problemu jedinstvena funkcija cilja definisana je da istovremeno minimizira dve kriterijumske funkcije: maksimalnu jačinu električnog polja i magnetsku indukciju. Da bi nezavisne kriterijumske funkcije, koje se značajno razlikuju u redu veličine, imale podjednak uticaj u jedinstvenoj funkciji cilja, njihove vrednosti su normalizovane u odnosu na odgovarajuće dozvoljene vrednosti jačine električnog polja E_{doz} i magnetske indukcije B_{doz} ([7] - [9]). U radu je predložena jedinstvena funkcija cilja formulisana kao:

$$\text{Minimizirati: } f_{B,E}(\mathbf{y}, \mathbf{z}) = \frac{E_{\max}(\mathbf{y}, \mathbf{z})}{E_{doz}} + \frac{B_{\max}(\mathbf{y}, \mathbf{z})}{B_{doz}}, \quad (1)$$

uz uvažavanje ograničenja:

$$g_m(\mathbf{y}, \mathbf{z}) \leq 0; \quad m = 1, 2, \dots, M, \quad (2)$$

$$y_n^{(L)} \leq y_n \leq y_n^{(U)}, \quad z_n^{(L)} \leq z_n \leq z_n^{(U)}; \quad n = 1, 2, \dots, N_{fp}, \quad (3)$$

gde su:

$\mathbf{y}, \mathbf{z}$ – vektori promenljivih odlučivanja: visina tački vešanja provodnika i rastojanje provodnika od uzdužne ose voda, respektivno;

$E_{\max}(\mathbf{y}, \mathbf{z}), B_{\max}(\mathbf{y}, \mathbf{z})$ – kriterijumske funkcije: maksimalne jačine električnog polja i magnetske indukcije, respektivno;

$g_m(\mathbf{y}, \mathbf{z})$ – ograničenja tipa nejednakosti;

$y_n^{(L)}, y_n^{(U)}, z_n^{(L)}, z_n^{(U)}$ – donja i gornja granica promenljivih odlučivanja, respektivno.

Ograničenja tipa nejednakosti $g_m(\mathbf{y}, \mathbf{z})$ definisana su da zadovolje minimalnu visinu zaštitnih užadi koja obezbeđuje zaštitnu zonu od direktnog udara groma, kao i unapred zadate granične vrednosti minimalnog rastojanja između faznih provodnika [10]:

$$C_{pp} = k\sqrt{f_c + l_k} + K_1 D_{pp}, \quad (4)$$

i minimalnog rastojanje između faznih provodnika i objekta na potencijalu zemlje:

$$C_{el} = k\sqrt{f_c + l_k} + K_1 D_{el}, \quad (5)$$

gde su:

k – koeficijent koji zavisi od međusobnog položaja dva posmatrana provodnika;

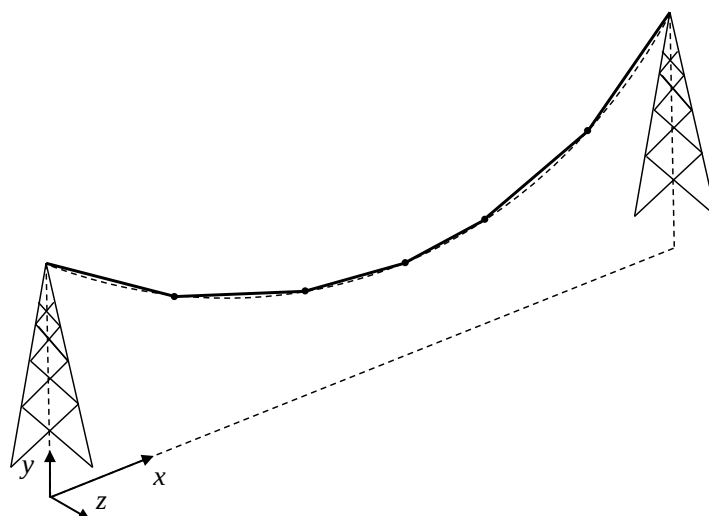
f_c – ugib provodnika;

l_k – dužina izolatorskog lanca;

K_1 – redukcionni faktor za električni razmak,

D_{pp}, D_{el} – sigurnosni razmak između faznih provodnika, i faznih provodnika i stuba, respektivno.

Kriterijumske funkcije $E_{\max}(\mathbf{y}, \mathbf{z}), B_{\max}(\mathbf{y}, \mathbf{z})$ se u slučaju sporo promenljivih (kvazistacionarnih) polja mogu nezavisno proračunavati. Ako se uvaži ugib provodnika i provodnik izdela na prave segmente, kao što je prikazano na **Slici 1**, jačina magnetske indukcije određuje se primenom Bio – Savarovog zakona i principa superpozicije [3], a električno polje metod fiktivnih naelektrisanja (*Charge simulation method* – CSM) [11].



Slika 1. Modelovanje jednog raspona sa uvaženim ugibom provodnika

3. REŠAVANJE OPTIMIZACIONOG PROBLEMA

U radu su primenjene dva metaheuristička metoda optimizacije:

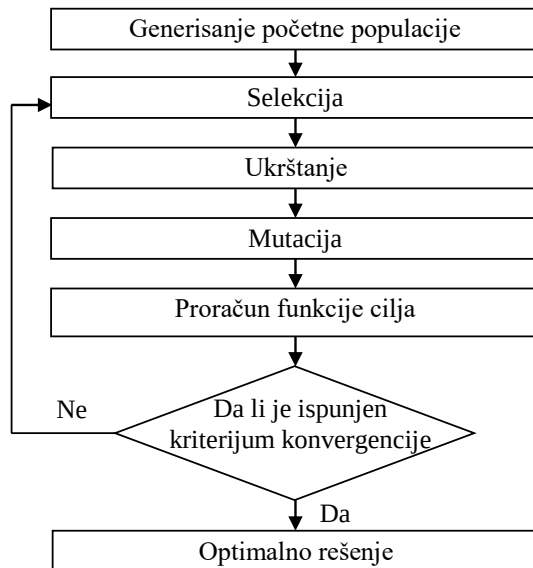
- Genetski algoritam (*Genetic Algorithm* - GA),
- Optimizacioni algoritam roja čestica (*Particle Swarm Optimization* - PSO).

Oba predložena metoda će biti detaljnije objašnjene u nastavku poglavlja.

3.1 Optimizacija električnog polja i magnetske indukcije primenom GA

Genetski algoritam je adaptivna i robusna metoda bazirana na principima prirodne selekcije, ukrštanja i mutacija. Optimizacija se izvodi na populaciji jedinki, koje se nazivaju hromozomi. Cilj optimizacije je pronaći najbolji hromozom. Svaki hromozom predstavlja jedan skup vrednosti promenljivih stanja. Početna populacija hromozoma najčešće se dobija postupkom uniformnog generisanja, a povećanje početne populacije omogućava veću genetsku raznolikost. Ovim se može postići tačnije rešenje optimizacionog problem, ali se i usporava proces konvergencije. Hromozomi su najčešće predstavljeni kao binarni niz, ali mogu biti i bilo koji drugi niz podataka. U slučaju određivanja optimalnog rasporeda provodnika hromozom sadrži podatke o položaju provodnika (visina i rastojanje od uzdužne ose voda).

Svaki hromozom predstavlja moguće rešenje problema i dodeljuje mu se određena vrednost funkcije prilagođenosti (*fitness function*) koja ocenjuje njegov kvalitet. Selekcijom se odabire skup boljih hromozoma iz trenutne populacije (parovi roditelja), kako bi se iz njih primenom ukrštanja i mutacijama stvorila nova generacija hromozoma (deca). Ovim se postiže da su hromozomi u svakoj generaciji sve bolji, odnosno da se vrednosti promenljivih stanja približavaju optimalnim vrednostima. Nakon unapred definisanog broja izvršenih generacija ili ako je zadovoljen kriterijum konvergencije GA, postupak se zaustavlja, a trenutno najbolje rešenje je najbliže optimumu. Blok dijagram algoritma za optimizaciju primenom metode GA prikazan je na **Slici 2**.



Slika 2. Blok dijagram algoritma za optimizaciju primenom GA

3.2 Optimizacija električnog polja i magnetske indukcije primenom PSO

Optimizacioni algoritam roja čestica (*Particle Swarm Optimization* - PSO) je jedna od metaheurističkih metoda optimizacije zasnovana na pravilima ponašanja jata ptica ili riba u potrazi za hranom. Početna populacija se sastoji od grupe jedinki (agenata), pri čemu je svaka jedinka opisana svojom pozicijom u prostoru stanja, brzinom i pravcem kretanja. Modifikovanje početne populacije simulira kretanja jata u prostoru. U svakoj iteraciji agenti se kreću ka novoj poziciji, uzimajući u obzir svoju prethodnu poziciju, brzinu i pravac kretanja, kao i komunikaciju sa drugim agentima u jatu.

Svaki agent nastavlja svoje kretanje na osnovu najboljeg rešenja koji je pronašao u optimizacionom prostoru $\mathbf{p}_{best}$, sa najvećom količinom hrane, ali prati i najbolju globalnu poziciju celog jata, $\mathbf{g}_{best}$, koju su pronašli svi agenti zajedno. Vektor brzine svakog agenta može se odrediti kao:

$$\mathbf{v}_k(t+1) = w\mathbf{v}_k(t) + c_1r_1(\mathbf{p}_{best} - \mathbf{x}_k(t)) + c_2r_2(\mathbf{g}_{best} - \mathbf{x}_k(t)); \quad k=1, 2, \dots, K, \quad (6)$$

gde su:

$\mathbf{v}_k(t+1)$ – vektor brzine kretanja k -tog agenta u novoj iteraciji $t+1$;

w – koeficijent inercije;

$\mathbf{v}_k(t)$ – vektor brzine kretanja k -tog agenta u prethodnoj iteraciji t ;

c_1, c_2 – koeficijenti spoznaje i uticaja grupe (*cognitive and social rate coefficient*) koji kontrolišu težnju ka najboljoj ličnoj poziciji i unutar jata, respektivno;

r_1, r_2 – funkcije koje generišu slučajne brojeve u opsegu $[0, 1]$, respektivno;

$\mathbf{x}_k(t)$ – vektor poziciji k -tog agenta u prethodnoj iteraciji t ;

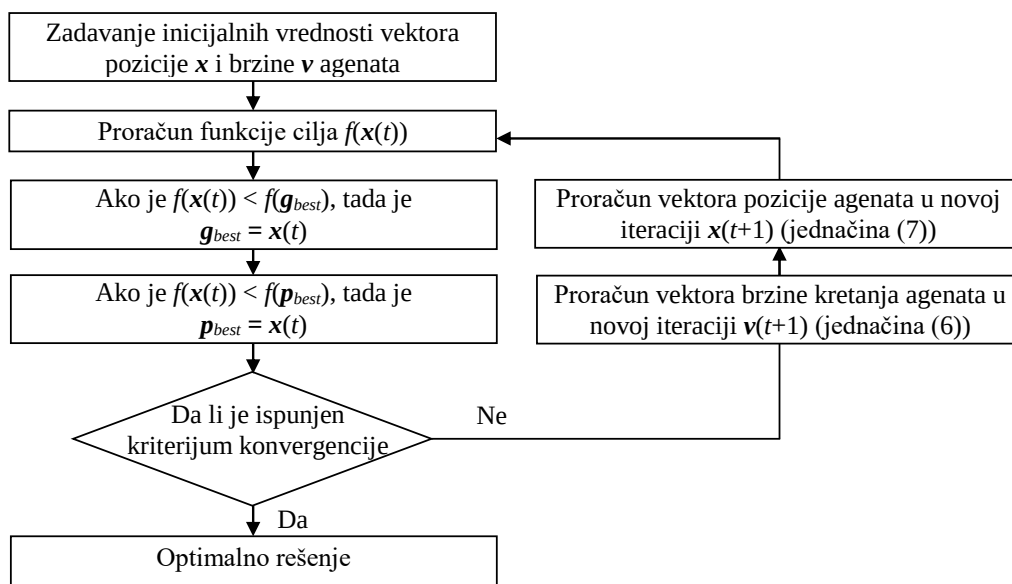
K – ukupan broj agenata.

Pozicija agenta u novoj iteraciji je:

$$\mathbf{x}_k(t+1) = \mathbf{x}_k(t) + \mathbf{v}_k(t+1); \quad k=1, 2, \dots, K. \quad (7)$$

Na ovaj način se postiže da svaka naredna generacija jedinki u populaciji bude bliža većem izvoru hrane, odnosno bliže optimalnom rešenju, pri čemu se smanjuje vrednost jedinstvene funkcije cilja.

Blok dijagram algoritma za optimizaciju primenom PSO metoda prikazan je na **Slici 3**.

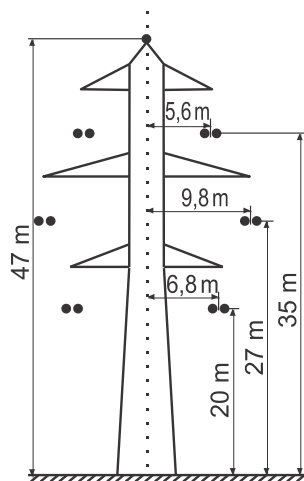


Slika 3. Blok dijagram algoritma za optimizaciju primenom PSO metoda

4. REZULTATI

Primena predloženih optimizacionih metoda biće analizirana za slučaj dvostrukog 400 kV nadzemnog voda sa jednim zaštitnim užetom. Raspored provodnika pre optimizacije prikazan je na **Slici 4**. Faze voda izvedene su sa po dva provodnika u snopu. Fazni provodnici su nazivnog preseka

490/65 mm², a zaštitno uže 70 mm². Pretpostavljeno je da su dužine svih raspona iste i iznose 300 m, a da su ugibi faznih provodnika i zaštitnog užeta 7 m i 3,5 m, respektivno. Nadzemni vod je priključen na simetrični sistem napona, a usvojeno je maksimalno strujno opterećenje faznih provodnika od 1500 A.



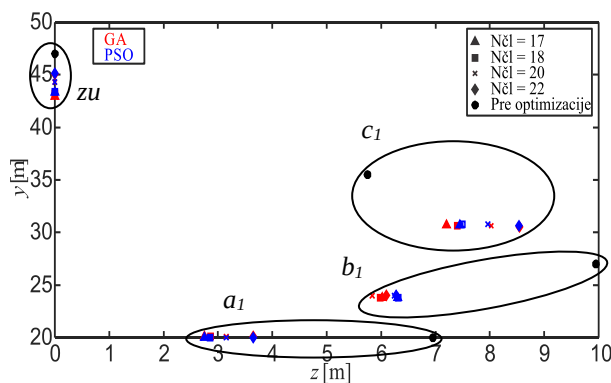
Slika 4. Raspored provodnika dvostrukog 400 kV nadzemnog voda pre optimizacije

Proračun električnog i magnetskog polja izvršen je na visini 1,0 m od površine zemlje, koja je zakonski propisana za određivanje biološkog uticaja električnog i magnetskog polja na čoveka. Usvojen je fazni redosled provodnika ($a_1b_1c_1$ $c_2b_2a_2$), za koji se dobijaju najniže vrednosti jačine električnog polja i magnetske indukcije [9].

Postupak optimizacije je sproveden za različite dužine izolatorskih lanaca, odnosno broj izolatorskih članaka N_{cl} u lancu ($N_{cl} = 17, 18, 20, 22$), kojima odgovaraju različita minimalna rastojanje između faznih provodnika, kao i faznih provodnika i objekta na potencijalu zemlje [2].

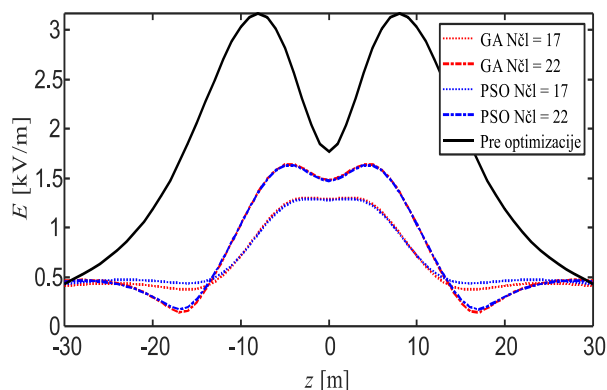
Za dozvoljene vrednosti jačine električnog polja i magnetske indukcije usvojene su referentni granični nivoi izloženosti stanovništva električnim i magnetskim poljima iz Pravilnika o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima u Republici Srbiji [12]: $E_{doz} = 2$ kV/m, $B_{doz} = 40$ μ T. Za razmatrani slučaj dvostrukog nadzemnog voda sa **Slike 4**, broj promenljivih odlučivanja u postupku optimizacije je sedam. Ove promenljive definišu položaj tački vešanja provodnika ($y_{a1}, y_{b1}, y_{c1}, y_{ew}, z_{a1}, z_{b1}$ i z_{c1}). Ovih sedam promenljivih, grupisanih u dva vektora odlučivanja (y, z), predstavljaju sedam hromozoma u GA, odnosno sedam agenata u PSO algoritmu. Za rešavanje ovog optimizacionog problema korišćen je *Global Optimization Toolbox* iz softverskog paketa Matlab.

Raspored jedne „trojke“ provodnika dvostrukog 400 kV nadzemnog voda pre i posle optimizacije, primenom GA i PSO metoda, za različite dužine izolatorskih lanaca prikazan je na **Slici 5**. Treba napomenuti da je zbog jasnijeg prikaza svaki snop, koji se sastoji od dva provodnika, prikazan jednim simbolom postavljenim u sredini snopa. Takođe, raspored provodnika druge „trojke“, koja je simetrično postavljena u odnosu na osu stuba, izostavljen je sa **Slike 5**.

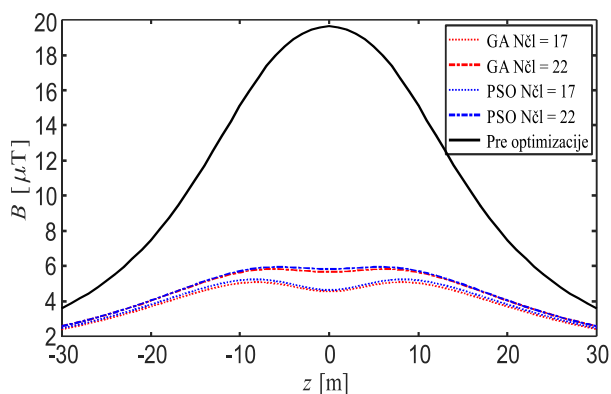


Slika 5. Raspored jedne „trojke“ provodnika dvostrukog 400 kV nadzemnog voda pre i posle optimizacije primenom GA i PSO metoda za različite dužine izolatorskih lanaca

Na **Slikama 6 i 7** prikazana je raspodela električnog polja i magnetske indukcije na mestu maksimalnog ugiba provodnika, normalno na osu voda i visinu 1,0 m od površine zemlje, za različite dužine izolatorskih lanaca pre i posle optimizacije primenom GA i PSO metoda.



Slika 6. Raspodela električnog polja na sredini raspona pre i posle optimizacije primenom GA i PSO metoda za različite dužine izolatorskih lanaca



Slika 7. Raspodela magnetske indukcije na sredini raspona pre i posle optimizacije primenom GA i PSO metoda za različite dužine izolatorskih lanaca

Poređenje dobijenih rezultata maksimalne vrednosti električnog polja i magnetske indukcije, kao i vreme trajanja proračuna, za oba optimizaciona metoda prikazano je u **Tabeli I**.

Tabela I. Poređenje rezultata proračuna dobijenih primenom GA i PSO metoda

Fazni redosled provodnika ($a_1b_1c_1 \ c_2b_2a_2$)								
Broj članaka $N_{\check{C}L}$	17		18		20		22	
Metod	GA	PSO	GA	PSO	GA	PSO	GA	PSO
$f_{B,E}$	0,756	0,754	0,775	0,771	0,856	0,851	0,936	0,935
$E_{\max}$ [kV/m]	1,268	1,255	1,306	1,287	1,459	1,438	1,592	1,585
$B_{\max}$ [μT]	4,85	5,050	4,882	5,093	5,063	5,296	5,599	5,715
Vreme [s]	502	40	464	41	495	42	489	49

Iz rezultata optimizacije prikazanih na **Slikama 6 i 7**, i u Tabeli I vidi se da je maksimalna vrednost električnog polja, koja je pre optimizacije imala vrednost 3,08 kV/m, redukovana od 50% do 60% u zavisnosti od dužine izolatorskih lanaca. Takođe, i vrednost magnetske indukcije redukovana je od 70% do 75%.

Kako je za oba metoda optimizacije definisan isti kriterijum konvergencije, vrednosti jedinstvena funkcija cilja $f_{B,E}$ prikazanih u **Tabeli I**, su gotovo identične. Neznatne razlike u rezultatima kriterijumske funkcije $E_{\max}$, $B_{\max}$, ukazuju da GA više „favorizuje“ uticaj magnetske indukcije (vrednost $B_{\max}$ je malo manja primenom GA u odnosu na PSO metod za sve dužine izolatorskih lanaca), a PSO veći značaj pridaje električnom polju.

Značajna razlika je u vremenu trajanja proračuna. Vreme trajanja optimizacije primenom PSO metoda je oko deset puta kraće u poređenju sa GA.

4 ZAKLJUČAK

U radu je ispitana mogućnost primene PSO i GA metoda za rešavanje problema optimalnog rasporeda provodnika dvostrukih nadzemnih vodova, u cilju smanjenje jačine električnog polja i magnetske indukcije. Jedinstvena funkcija cilja dobijena je normalizacijom vrednosti električnog polja i magnetske indukcije u odnosu na odgovarajuće propisane granične vrednosti u Republici Srbiji.

Oba primenjena metaheuristička metoda imaju sličnosti i koriste populacioni pristup za rešavanje problema. Pokazano je da oba algoritma efikasno rešavaju problem optimalnog rasporeda provodnika dvostrukih nadzemnih vodova. Efikasnost oba metoda potvrđena je značajnom redukcijom jačine električnog polja i magnetske indukcije u poređenju sa rezultatima dobijenim za standardni 400 kV dvostruki nadzemni vod. Pored redukcije električnog i magnetskog polja optimizacijom su smanjene i dimenzije stubova (visina stuba i dužina konzola).

Kako su rezultati optimizacije primenom obe metoda praktično identični, algoritmi se mogu porediti po svojoj brzini. Analiza rezultata pokazuje da je predanost PSO metoda u poređenju sa GA značajna razlika u brzini proračuna, odnosno brzini konvergencije.

LITERATURA

- [1] M.S.H. Al Salameh, M.A.S. Hassouna, "Arranging Overhead Power Transmission Line Conductors Using Swarm Intelligence Technique to Minimize Electromagnetic Fields", Progress in Electromagnetics Research B, Vol. 26, pp 213-236, 2010.
- [2] K. Deželak, F. Jakl, G. Štumberger, "Arrangements of Overhead Power Line Phase Conductors Obtained by Differential Evolution", Electric Power Systems Research, Vol. 81, pp 2164-2170, 2011.
- [3] A. Ranković, "Proračun prostorne raspodele električnog i magnetnog polja na mestu ukrštanja dva dalekovoda", 31. Savetovanje JUKO CIGRE, Zlatibor, 2013, Referat C4□7.
- [4] K. Król, W. Machczyński, "Optimization of Electric and Magnetic Field Intensities in Proximity of Power Lines Using Genetic and Particle Swarm Algorithms", Archives of Electrical Engineering, Vol. 67, pp 829-843, 2018.
- [5] J.H. Holland, "Adaptation in Natural and Artificial Systems" University of Michigan Press, 1975.
- [6] J. Kennedy, R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.
- [7] A.Z. El Dein, "Optimal Arrangement of Egyptian Overhead Transmission Lines' Conductors Using Genetic Algorithm", Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 39, pp 1049-1059, 2014.
- [8] K. Deželak, F. Jakl, G. Štumberger, "Arrangements of Overhead Power Line Phase Conductors Obtained by Differential Evolution", Electric Power Systems Research, Vol. 81, 2164-2170, 2011.
- [9] A. Ranković, V. Mijailović, D. Rozgić, D. Četenović, "Optimization of Electric and Magnetic Field Emissions Produced by Independent Parallel Overhead Power Lines", Serbian Journal of Electrical Engineering, Vol. 14, 199-216, 2017.
- [10] EN 50341-1. Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV. General requirements—common specifications, CENELEC: Brussels, 2001.
- [11] H. Singer, H. Steinbigler, P. Weiss, "A Charge Simulation Method for the Calculation of High Voltage Fields", IEEE Trans. on Power apparatus and systems, Vol. PAS-93, No. 5, pp 1660-1668, 1974.
- [12] Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima, Službeni glasnik RS, br. 104/09.

Comparison between the Performance of PSO and GA for Determining the Optimal Arrangements of Double-circuit Overhead Power Line Phase Conductors

Aleksandar RANKOVIĆ *, Vladica MIJAILOVIĆ
University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences Čačak

Čačak

REPUBLIC OF SERBIA

The paper presents the results of the double-circuit overhead power line phase conductors arrangement optimization, in order to reduce the maximum values of electric field and magnetic flux density. The unique fitness function was obtained by normalizing the values of the electric field and magnetic flux density in relation to the corresponding prescribed limit values in the Republic of Serbia. The influence of sagged conductor and the distribution of the electric charges along the conductor were taken into account in the calculations. The considered nonlinear optimization problem is solved by applying two metaheuristic methods: Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization. The proposed optimization methods were applied to the 400 kV double-circuit overhead power line. The influence of different length of insulator is considered. In order to evaluate the efficiency of both proposed optimization methods, the results were compared with the results obtained on the typical 400 kV double-circuit overhead power line.

* Svetog Save 65, 32000 Čačak; E-mail: aleksandar.rankovic@ftn.kg.ac.rs;

POREĐENJE PERFORMANSI PSO I GA METODA PRI ODREĐIVANJU OPTIMALNOG RASPOREDA PROVODNIKA DVOSTRUKIH NADZEMNIH VODOVA

Comparison between the Performance of PSO and GA for Determining the Optimal Arrangements of Double-circuit Overhead Power Line Phase Conductors

Aleksandar RANKOVIĆ *, Vladica MIJAILOVIĆ
Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku

Čačak

REPUBLIKA SRBIJA

Kratak sadržaj – U radu su predstavljeni rezultati problema optimizacije rasporeda provodnika dvostrukih nadzemnih vodova, pri čemu se smanjuju maksimalne vrednosti električnog polja i magnetske indukcije. Jedinstvena funkcija cilja dobijena je normalizacijom vrednosti električnog polja i magnetske indukcije u odnosu na odgovarajuće propisane granične vrednosti u Republici Srbiji.

Ovaj nelinearni optimizacioni problem rešavan je primenom dve metaheuristička metoda: genetski algoritam (Genetic Algorithm) i optimizacioni algoritam roja čestica (Particle Swarm Optimization), u cilju poređenja njihovih performansi. Predložene optimizacioni metodi su primenjene na 400 kV dvostruki nadzemni vod, pri čemu je razmatran uticaj različite dužine izolatorskih lanaca, kojima odgovaraju različita minimalna rastojanje između faznih provodnika, kao i faznih provodnika i objekta na potencijalu zemlje.

Usvojen je fazni redosled provodnika ($a_1b_1c_1$ $c_2b_2a_2$), za koji se dobijaju najniže vrednosti jačine električnog polja i magnetske indukcije, i minimalna visina zaštitnog užeta koja obezbeđuje zaštitnu zonu od direktnog udara groma.

Proračun je sproveden pod pretpostavkom da je nadzemni vod priključne na simetrični sistem napona. Uticaj ugiba provodnika i rasporeda naelektrisanja duž faznih provodnika su uvaženi pri proračunu. Razmatran je najkritičniji slučaj, sa stanovišta maksimalnih vrednosti jačine električnog polja i magnetske indukcije, kada je maksimalan ugib provodnika i maksimalno strujno opterećenje faznih provodnika.

Kako bi se procenila efikasnost oba optimizacione metoda rezultati su upoređeni sa rezultatima dobijenim za standardni 400 kV dvostruki nadzemni vod.

Ključne reči: Magnetska indukcija – Električno polje – PSO – GA – Dvostruki nadzemni vodovi.

* Svetog Save 65, 32000 Čačak; E-mail: aleksandar.rankovic@ftn.kg.ac.rs;