

Primena genetskog algoritma za određivanje parazitnih parametara udarnog naponskog generatora

Goran Dobrić, Milan Savić

Katedra za elektroenergetske sisteme
Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu
Beograd, Srbija
dobric@etf.rs

Sadržaj— Pored poznatih parametara udarnog naponskog generatora, kojima se definiše oblik udarnog napona, realni udarni naponski generator ima i nepoznate (parazitne) parametre koji takođe utiču na oblik udarnog napona. U ovom radu je prikazana primena genetskog algoritma (GA) za određivanje parazitnih parametara udarnog generatora. Algoritam se zasniva na minimizaciji sume kvadrata odstupanja talasnih oblika udarnog napona dobijenog eksperimentalnim putem na realnom udarnom naponskom generatoru i udarnog napona dobijenog numeričkom simulacijom. Korišćenjem računarske simulacije udarnog naponskog generatora, pronalaze se parazitni parametri za koje talasni oblik napona ovako modelovanog generatora u što boljoj meri odgovara talasnom obliku napona snimljenog na realnom udarnom generatoru. Prikazani algoritam je testiran na četvorostepenom udarnom naponskom generatoru u Laboratoriji za visoki napon na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu.

Ključne reči - udarni generator, genetski algoritam, parazitni parametri

I. UVOD

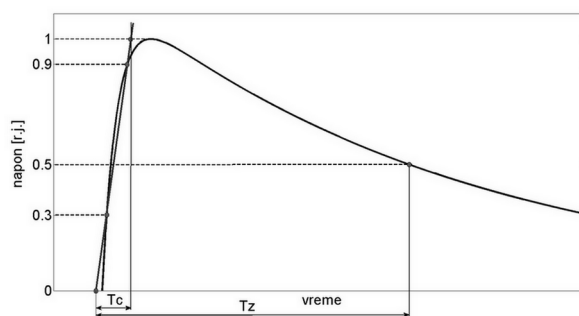
Da bi se ispitala sposobnost izolacije da podnese udarne naponske talase atmosferskog porekla ili sklopne prenapone, neophodno je izvršiti ispitivanje elektroenergetske opreme. Ispitivanje se vrši pomoću udarnih naponskih generatora koji moraju imati mogućnost da generišu udarne napone odgovarajućih talasnih oblika. Svaki udarni naponski generator mora da ispuni kriterijum generisanja standardnih talasnih oblika sa određenim dozvoljenim tolerancijama [1]. Standardni talas atmosferskog napona je oblika 1,2/50 sa dozvoljenim tolerancijama za vreme trajanja čela $\pm 0,30 \mu\text{s}$ i vreme trajanja začelja $\pm 10 \mu\text{s}$. Takođe se dozvoljava i previšenje usled oscilacije na vrhu talasa (*overshoot*) do 5%. Talasni oblik atmosferskog udarnog talasa sa definisanim vremenima čela i začelja, kao i definicija previšenja usled oscilacije na vrhu talasa su prikazani na Sl. 1 i 2.

Da bi se dobili standardni talasni oblici napona prilikom testiranja opreme udarnim generatorom, potrebno je podesiti parametre generatora na odgovarajuće vrednosti [2], [3]. Prilikom izgradnje udarnog generatora prave se grupe elemenata različitih vrednosti parametara. Najčešće su to grupe otpornika koji utiču na čelo talasa i otpornika koji utiču na začelje talasa, ali se ponekad mogu menjati i kondenzatori ili se može vršiti njihovo redno ili paralelno prespajanje. Međutim,

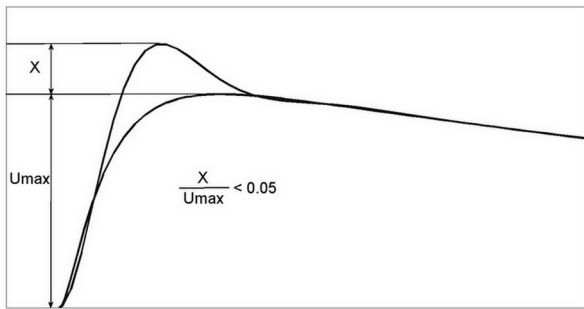
pored poznatih parametara elemenata koji se biraju prilikom ispitivanja različitih objekata, na oblik talasa utiču i parazitni parametri kao i parametri objekta koji se ispituje. U zavisnosti od karakteristika objekta koji se ispituje, parazitni parametri mogu više ili manje uticati na oblik talasa napona. Prilikom ispitivanja transformatora, koji kao objekat ispitivanja ima ne samo kapacitivnost, već i induktivitet koji se takođe može smatrati parazitnim parametrom koji remeti oblik talasa, potrebno je koristiti i uređaje za kompenzaciju [4]-[6].

Za svaki ispitivani objekat je potrebno podesiti parametre udarnog generatora kako bi se dobio željeni talasni oblik udarnog napona. Zbog velikih dimenzija višestepenih udarnih naponskih generatora, kod kojih je potrebno da se istovremeno zamene jedan ili više elemenata u svakom stepenu, primena računskog izbora optimalnih parametara generatora pre početka eksperimentalnog određivanja oblika talasa može značajno da skрати vreme pripreme generatora za dobijanje potrebnog oblika talasa.

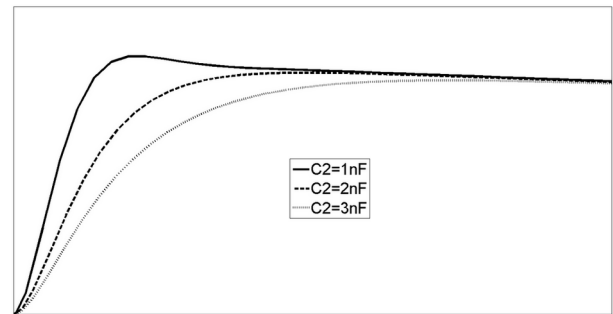
U ovom radu je predstavljena primena genetskog algoritma (GA) za pronalaženje parazitnih parametara udarnog generatora na osnovu poznatog talasa udarnog napona. Primenom Matlab-Simulinka modelovan je četvorostepeni udarni generator i određeni su parametri modela za koje talasni oblik udarnog napona modelovanog generatora najmanje odstupa od talasnog oblika udarnog napona dobijenog na realnom udarnom naponskom generatoru.



Slika 1. Definicija čela (T_c) i začelja (T_z) atmosferskog udarnog talasa



Slika 2. Definicija previšenja usled oscilacije na vrhu talasa



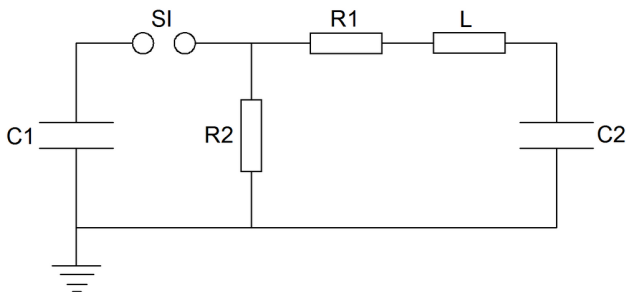
Slika 5. Uticaj promene kapacitivnosti C2 na talasni oblik napona

II. UDARNI GENERATOR

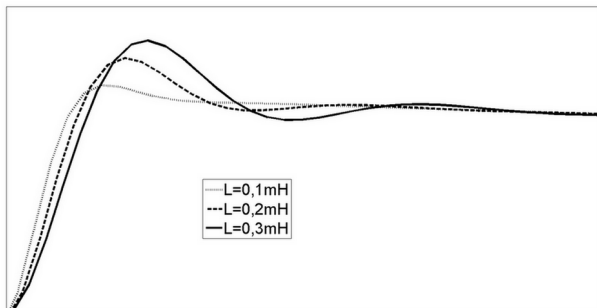
Najjednostavniji model udarnog naponskog generatora je jednostepeni generator koji je prikazan na Sl. 3 [1], [2]. Parametri generatora sa Sl. 3 su:

- C1 – kondenzator koji se puni jednosmernim naponom
- SI – iskrište
- R2 – paralelni otpornik (otpornik začelja)
- R1 – redni otpornik (otpornik čela)
- L – parazitna induktivnost (obuhvata i generator i veze sa ispitivanim objektom)
- C2 – ukupna kapacitivnost opterećenja (ispitivani objekat i eksterna kapacitivnost generatora)

U cilju analize uticaja na talasni oblik napona udarnog generatora prikazanog na Sl. 3, varirani su parametri parazitne induktivnosti (Sl. 4) i kapacitivnosti C2 (Sl. 5) uz zadržavanje ostalih parametara na konstantnim vrednostima. Parazitna induktivnost dominantno utiče na oscilaciju na vrhu talasa, dok kapacitivnost C2 dominantno utiče na vreme trajanja čela talasa.



Slika 3. Model jednostepenog naponskog udarnog generatora



Slika 4. Uticaj promene parazitne induktivnosti na talasni oblik napona

III. GENETSKI ALGORITAM

Od stohastičkih tehnika optimizacije najširu zastupljenost je pronašao genetski algoritam (GA) [7]-[9]. Genetski algoritam nije zahtevan sa matematičke tačke gledišta i njime se mogu rešiti optimizacioni problemi sa raznovrsnim objektivnim funkcijama i ograničenjima (i linearni i nelinearni problemi) bez obzira na to da li je dopuštena oblast kontinualna ili nije. GA se bazira na Darvinovom principu prirodne selekcije i prirodne genetike. U suštini, algoritam započinje sa jednim setom nasumičnih rešenja problema. Ovaj inicijalni set rešenja se naziva populacija. Svako rešenje u populaciji predstavlja moguće konačno rešenje i naziva se hromozom. Hromozom se predstavlja nizom simbola koji su binarni brojevi. Nakon toga se od inicijalne populacije, pomoću tri genetičke operacije, dobija nova populacija rešenja, sa poboljšanim vrednostima objektivne funkcije. Tri genetičke operacije koje se vrše su:

1. reprodukcija (*reproduction*)
2. ukrštanje (*crossover*)
3. mutacija (*mutation*)

Nakon jedne primene ovih operacija i dobijanja nove populacije, kaže se da je završena jedna generacija. Generacija u GA je ekvivalentna sa iteracijom konvencionalnih metoda optimizacije.

Princip rada GA se može objasniti na primeru evolucije u prirodi. Ako se od roditelja koji pripadaju jednoj populaciji dobiju potomci koji su „iznad proseka“ oni imaju veće šanse da prežive u prirodi nego „prosečni“ potomci. Isto tako, potomci koji su „ispod proseka“ nemaju velike šanse da prežive i bivaju eliminisani iz populacije. Da li je neki potomak iznad ili ispod proseka u GA se određuje na osnovu „podobnosti“ potomka (*fitness*) koja je srazmerna (direktno ili obrnuto) sa vrednošću objektivne funkcije u pretpostavljenom rešenju.

U daljem tekstu je objašnjeno kako se rešenja predstavljaju binarnim nizom (kodiranje) i kako se vrše navedene tri operacije GA.

A. Kodiranje

Svaka promenljiva se kodira binarnim nizom konstantne dužine, ali ne moraju sve promenljive imati istu dužinu niza. Primer jednog hromozoma (kodiranog rešenja) funkcije N promenljivih je prikazan na Sl. 6.

$$\underbrace{11010}_{x_1} \underbrace{1001001}_{x_2} \underbrace{010}_{x_3} \dots \underbrace{0010}_{x_N}$$

Slika 6. Hromozom N promenljivih

U daljem tekstu su sa x označene promenljive, a sa s odgovarajuće kodirane promenljive. Ako se neka promenljiva x_i kodira u promenljivu s_i dužine l_i (broj bita u kodu) onda je sa $s_i = 000\dots 0$ kodirano $x_{i \min}$, a sa $s_i = 111\dots 1$ $x_{i \max}$. Sve druge vrednosti promenljive x_i se mogu izračunati prema izrazu:

$$x_i = x_{i \min} + \frac{x_{i \max} - x_{i \min}}{2^{l_i} - 1} \cdot DV(s_i) \quad (1)$$

U izrazu (1) $DV(s_i)$ predstavlja dekodiranu vrednost promenljive s_i , odnosno dekadni zapis binarnog koda s_i .

Drugim rečima, promenljiva x_i se može predstaviti kodiranom promenljivom s_i koja predstavlja 2^{l_i} vrednosti promenljive između minimalne i maksimalne vrednosti. Broj bita promenljive (l_i) zavisi od potrebne tačnosti rešenja. Ako je potrebna tačnost ϵ_i , tada je potrebna dužina koda promenljive x_i :

$$l_i = \log_2 \left(\frac{x_{i \max} - x_{i \min}}{\epsilon_i} \right) \quad (2)$$

Ukupna dužina hromozoma je zbir dužina svih kodiranih promenljivih.

U GA, svakom hromozomu, bilo da je reč o inicijalnom rešenju ili hromozomu narednih generacija, dodeljuje se vrednost (*fitness*) koja je srazmerna vrednosti objektivne funkcije za pretpostavljeno rešenje u zadacima maksimizacije, odnosno recipročnoj vrednosti objektivne funkcije u zadacima minimizacije. Na ovaj način *fitness* definiše kvalitet dobijenog rešenja.

B. Reprodukција

Reprodukcija (selekcija) je obično prva operacija GA nad jednom populacijom. Suština reprodukcije je da se od pretpostavljenih rešenja (hromozoma) biraju ona koja su podobnija (imaju veću vrednost *fitness*-a) i njihovi klonovi (kopije) se zajedno sa njima stavljaju u „bazen za uparivanje“ (*mating pool*), a oni hromozomi sa malom vrednosti *fitness*-a ne ulaze u *mating pool*. Drugim rečima, od jedne populacije se formira *mating pool* u kome se najbolji hromozomi iz populacije javljaju dva puta, a najlošiji hromozomi iz populacije se ne javljaju u *mating pool*-u (eliminisu se). Na taj način se formira grupa „roditelja“ od kojih će se ukrštanjem i mutacijom dobiti nova populacija „dece“ sa hromozomima boljim od prethodne populacije. Broj hromozoma koji će se duplirati (odnosno eliminisati) zavisi od prirode problema koji se rešava i ukupnog broja hromozoma u populaciji, a uglavnom se kreće do 10%.

C. Ukrštanje

Ukrštanje je operacija koja se sprovodi nad parovima hromozoma koji su ušli u *mating pool*. Svrha ukrštanja je da se pretraži prostor oko pretpostavljenih rešenja u cilju dobijanja boljih rešenja. Ukrštanje se može izvoditi na više načina, ali je princip isti bez obzira na način ukrštanja. Najjednostavnije ukrštanje je ukrštanje u jednoj tački. Ono se sprovodi tako što se u paru hromozoma odabere jedna tačka na jednakom rastojanju od kraja hromozoma u kojoj se ti hromozomi podele na dva dela. Zatim se zamene desne strane podeljenih hromozoma i formiraju se dva nova hromozoma koji se razlikuju od prethodnih samo u tome što im je nekoliko poslednjih bita (u zavisnosti od toga gde je bila tačka podele) zamenjeno. Prvobitna dva hromozoma se nazivaju roditelji, a novodobijena dva hromozoma se nazivaju deca. Na Sl. 7 je prikazan princip ukrštanja u jednoj tački.

Ukrštanje u dve tačke se izvodi tako što se hromozomi podele na dva mesta pa im se zamene središnji delovi. Postoji i takozvano uniformno ukrštanje kada se nasumično izabere 50% bita koji se zamene u hromozomima. Iako ova operacija deluje prilično nasumično, činjenica da se na ovaj način može pretražiti maksimalno $2(l-1)$ rešenja od ukupno 2^l mogućih rešenja govori da to nije tako.

Ne mora se brinuti o tome da li će se operacijom ukrštanja dobiti rešenja koja su bolja ili lošija, jer će bolja rešenja dobiti svoje mesto u *mating pool*-u, a lošija će biti eliminisana.

Potrebno je napomenuti da ne moraju svi hromozomi učestvovati u ukrštanju. Verovanoća ukrštanja se uglavnom postavlja na visoke vrednosti, a u ovom radu je korišćena vrednost od 85%.

D. Mutacija

Mutacija je operacija koja se izvodi sa malom verovatnoćom, svega nekoliko procenata. Za razliku od ukrštanja u kome se operacija vrši nad dva hromozoma, mutacija se vrši nad jednim hromozomom. Suština je da se neki bit u hromozomu promeni sa 0 na 1 (ili obrnuto). Sl. 8 prikazuje princip mutacije.

Mutacija je korisna operacija kada svi hromozomi u populaciji imaju isti bit na istom mestu. Tada se ukrštanjem taj bit ne može promeniti. Mutacija omogućava promenu tog bita i eventualno poboljšanje populacije. Ako se, međutim, mutacijom dobije lošiji hromozom, on će biti eliminisan u procesu reprodukcije.

Nakon što su reprodukcija, ukrštanje i mutacija izvršeni nad jednom populacijom, završena je jedna generacija i formirana je nova populacija koja ulazi u narednu generaciju.

$$\begin{array}{l} \text{Roditelj 1: } 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \\ \text{Roditelj 2: } 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \end{array} \begin{array}{l} \text{Dete 1} \\ \text{Dete 2} \end{array}$$

Slika 7. Princip ukrštanja

$$00000 \Rightarrow 00010$$

Slika 8. Princip mutacije

E. Uvažavanje ograničenja

Pored ograničenja vrednosti promenljivih od minimalne do maksimalne vrednosti, kako je to definisano jednačinom (1), GA može uvažavati i druga ograničenja. Najčešći i najjednostavniji način uvažavanja ograničenja jeste primena penalizacionih faktora. Ovim faktorima se smanjuje vrednost *fitness-a* rešenjima koja narušavaju ograničenja i na taj način takva rešenja bivaju eliminisana u procesu reprodukcije.

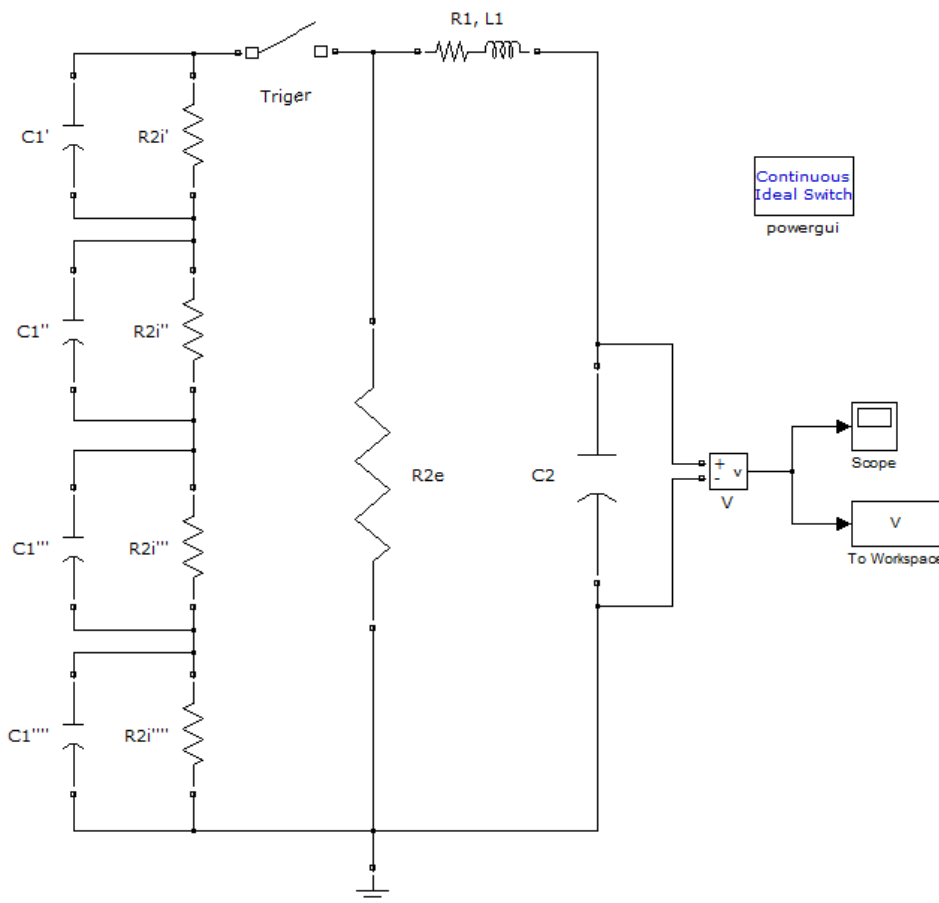
IV. ODREĐIVANJE PARAMETARA REALNOG UDARNOG NAPONSKOG GENERATORA

U Laboratoriji za visoki napon na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu je napravljen i testiran četvorostepeni udarni naponski generator. Simulink model tog generatora je prikazan na Sl. 9. U cilju dobijanja željenih talasnih oblika udarnog napona varirane su otpornosti otpornika čela i začelja ($R1$ i $R2e$), dok su kapacitivnosti kondenzatora $C1$ i $C2$, kao i otpornost otpornika $R2i$ bili konstantni. Vrednosti poznatih parametara su: $C1=0,4 \mu F$, $C2=0,78 nF$ i $R2i=30 M\Omega$. Kao nepoznati parametri su posmatrane otpornosti otpornika $R1$ i $R2e$ i parazitna induktivnost $L1$. Nepoznati parametri generatora su određeni primenom GA traženjem minimuma sume kvadrata odstupanja naponskog talasa snimljenog na realnom udarnom generatoru i naponskog talasa dobijenog simulacijom na prikazanom modelu.

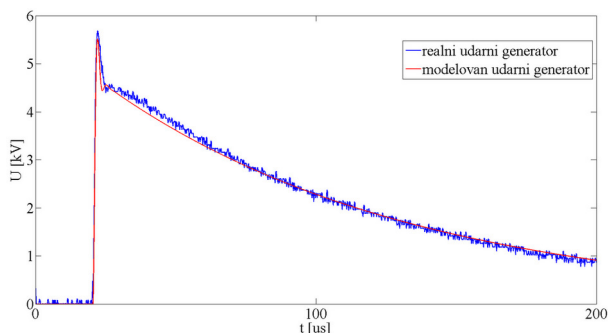
Od 1000 izmerenih tačaka talasnog oblika napona na realnom udarnom generatoru, interpolacijom je dobijeno 200000 tačaka u kojima su definisane diskretne vrednosti talasnih oblika. Suma kvadrata odstupanja svih tačaka za optimalno rešenje iznosi 1081,3 i uglavnom je posledica šuma koji se javlja na realnom talasu udarnog napona. Bolja rešenja se mogu očekivati povećavanjem broja hromozoma i broja generacija, a naravno i detaljnijim modelovanjem udarnog generatora. Parametri udarnog generatora koji su proračunati genetskim algoritmom su prikazani Tabelom I. Proračunate otpornosti otpornika $R1$ i $R2e$ se nalaze u odgovarajućem opsegu u kojem su ove vrednosti varirane prilikom eksperimenata. Na Sl. 10 su prikazani talasni oblici napona realnog udarnog generatora i modelovanog udarnog generatora sa zamenjenim parametrima proračunatim primenom genetskog algoritma.

TABELA I. REZULTATI PRORAČUNA

Parametri udarnog generatora	
R1 [Ω]	470
R2e [Ω]	1050
L1 [mH]	0,22



Slika 9. Simulink model četvorostepenog udarnog naponskog generatora



Slika 10. Talasni oblici udarnog napona realnog i modelovanog udarnog naponskog generatora

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana primena genetskog algoritma za proračune nepoznatih parametara udarnog naponskog generatora. Pokazano je da talasni oblik udarnog napona dobijenog računski, pomoću modela udarnog generatora sa parametrima proračunatim primenom genetskog algoritma, u velikoj meri odgovara talasnom obliku napona snimljenom na realnom udarnom naponskom generatoru. Algoritam se može sa uspehom primenjivati za određivanje parazitnih parametara generatora u procesu projektovanja, a uz određene modifikacije i za proračun optimalnih parametara udarnog generatora za koje se dobija talasni oblik napona koji zadovoljava kriterijume propisane standardima.

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete i nauke na finansijskoj podršci u okviru Inovacionog projekta izrade udarnog naponskog generatora.

LITERATURA

- [1] IEC 60-1, High-voltage test techniques, 1989.
- [2] Nils Hylten-Cavallius, High voltage laboratory planning, Haefely 1986.

- [3] E. Kuffel, W.S. Zaengl, J. Kuffel, High voltage engineering, Butterworth-Heinemann, 2000.
- [4] Klaus Schwenk, Michael Gamlin, Load range extension methods for lightning impulse testing with high voltage impulse generators, Haefely Test AG, Basel, Switzerland
- [5] K. Feser, Circuit design of impulse generators for the lightning impulse voltage testing of transformers, Haefely 1977.
- [6] J. Wolf, G. Voigt, A new solution for the extension of the load range of impulse voltage generators, Haefely Test AG, Switzerland.
- [7] Melanie Mitchell. An introduction to genetic algorithms. Massachusetts Institute of Technology (1996).
- [8] Mitsuo Gen, Runwei Cheng. Genetic algorithms and engineering design. John Wiley and Sons, Inc. (1997).
- [9] Randy Haupt, Sue Ellen Haupt. Practical genetic algorithms. John Wiley and Sons, Inc. (1998).

ABSTRACT

Apart from the known parameters of impulse voltage generator, which define the shape of impulse voltage, the real impulse generator has unknown (stray) parameters which also affect the shape of impulse voltage. This paper describes the use of genetic algorithm to determine these stray parameters. The algorithm is based on minimizing the sum of squared deviations of impulse voltages. Using computer simulation of impulse voltage generator, stray parameters are computed comparing impulse voltage shapes of real impulse voltage generator and simulated impulse voltage generator. The presented algorithm has been tested on four stage voltage generator in the High Voltage Laboratory at the Faculty of Electrical Engineering in Belgrade.

GENETIC ALGORITHM APPLICATION ON COMPUTATION OF IMPULSE VOLTAGE GENERATOR STRAY PARAMETERS

Goran Dobrić, Milan Savić