

# Automatizacija izbora metaloksidnih odvodnika prenapona

Dragan Đorđević

Centar za elektroenergetske sisteme  
Elektrotehnički institut Nikola Tesla  
Beograd, Srbija  
dragan.djordjevic@ieent.org

Zlatan Stojković

Katedra za elektroenergetske sisteme  
Elektrotehnički fakultet  
Beograd, Srbija  
zstojkovic@etf.rs

**Sadržaj**—U ovom radu je prikazan primer automatizacije izbora metaloksidnih odvodnika prenapona formiranjem odgovarajućeg programskog alata u *Microsoft Access*-u. Dat je prikaz postupka za pravilan izbor metaloksidnog odvodnika prenapona, na osnovu čega se stiče jasan uvid u karakteristike metaloksidnog odvodnika prenapona koje su relevantne za njegov izbor. Opisan je način formiranja programskog alata i odgovarajućih maski za komunikaciju sa korisnikom programskog alata. U radu su dati i primeri primene programskog alata u izboru metaloksidnih odvodnika prenapona za 35 kV, 110 kV, 220 kV i 400 kV naponski nivo.

**Ključne riječi** - izbor metaloksidnog odvodnika prenapona; programski alat; *Microsoft Access*; upit

## I. UVOD

Jedan od najvažnijih uzroka degradacije metaloksidnog odvodnika prenapona (MOP) predstavlja nepravilan izbor MOP-a, pogotovo nepravilan izbor naznačenog napona MOP-a. Pravilan izbor MOP-a je od izuzetne važnosti za projektovanje i eksploataciju visokonaponskih mreža i postrojenja. Postupak izbora MOP-a je moguće automatizovati tako da se izbor MOP-a zasigurno vrši na pravilan i efikasan način. Pod automatizacijom se ovde podrazumeva formiranje odgovarajućeg programskog alata za izbor MOP-a. Kako je sasvim dobar uvid u mogućnost automatizacije izbora MOP-a moguć na osnovu podataka datih u katalozima vodećih svetskih proizvođača, *Siemens*-a i *ABB*-a, ovi katalozi su upotrebljeni za izradu baze podataka koja čini sastavni deo programskog alata. U okviru ovih kataloga su objašnjeni postupci za pravilan izbor MOP-a. Iako svaki od proizvođača ima određene specifičnosti u postupku izbora svojih odvodnika, ipak se može primetiti sličan opšti pristup koji će biti prikazan u nastavku. Razlike u postupku izbora MOP-a su najviše izražene kod izbora naznačenog napona MOP-a, pa će ovaj korak biti prikazan nešto detaljnije. Pored prikaza pravilnog postupka izbora MOP-a, naredni deo rada ima za cilj i pregled karakteristika MOP-a koje figurišu u njegovom izboru, što će pojasniti formiranje ulazne maske za komunikaciju sa korisnikom programskog alata.

## II. POSTUPAK ZA PRAVILAN IZBOR MOP-A

Izbor MOP-a se sastoji od izbora dva osnovna dela MOP-a. To su: izbor aktivnog dela i izbor kućišta MOP-a.

### A. Izbor aktivnog dela MOP-a

Aktivni deo MOP-a predstavlja „stub” sačinjen od metaloksidnih varistora. Aktivni deo MOP-a se bira prema trajnom radnom naponu i naznačenom naponu, nazivnoj struji pražnjenja i klasi rasterećenja voda.

Trajni radni napon se definiše kao efektivna vrednost maksimalnog radnog napona industrijske učestanosti na koji se MOP može trajno priključiti. Prema tome, ovaj napon zavisi od najvišeg napona mreže i vrste uzemljenja neutralne tačke. Naznačen napon MOP-a opisuje sposobnost MOP-a da podnosi privremene prenapone. Ovaj napon se određuje paralelno na dva načina pri čemu se veća dobijena vrednost napona proglašava za naznačen napon. Prema *Siemens*-u [1], prvo se određuje minimalni trajni radni napon. Za efikasno uzemljene mreže minimalni trajni radni napon treba da bude veći ili jednak najvišem faznom naponu (uvećanom za 5%, čime se uzimaju u obzir viši harmonici koji mogu da uvećaju amplitudu napona):

$$U_{c,min} \geq 1.05 \cdot \frac{U_m}{\sqrt{3}}, \quad (1)$$

gde su:

$U_{c,min}$  – minimalni trajni radni napon,

$U_m$  – maksimalni linijski napon mreže.

Za neefikasno uzemljene mreže minimalni trajni radni napon treba da bude veći ili jednak najvišem linijskom naponu mreže (zbog toga što zemljospoj kod ovih mreža može da traje i više sati):

$$U_{c,min} \geq U_m. \quad (2)$$

*Siemens* [1] predlaže da se naznačen napon na prvi način određuje tako da se minimalni trajni radni napon množi sa koeficijentom koji iznosi 1.25 (bez obzira na vrstu uzemljenja mreže):

$$U_{r1} = 1.25 \cdot U_{c,min}, \quad (3)$$

gde je:

$U_{r1}$  – naznačen napon MOP-a određen na prvi način.

ABB [2], sa druge strane, polazi direktno od određivanja naznačenog napona MOP-a. Ovo se vrši pomoću tabele 1 iz koje se za poznato uzemljenje mreže, vreme trajanja kvara (pod ovim se podrazumeva jednofazni zemljospoj) i najviši napon mreže jednostavno izračunava minimalni naznačen napon (na prvi način).

TABELA 1. ODREĐIVANJE NAZNAČENOG NAPONA PREMA ABB-U

Uzemljenje mreže	Trajanje kvara	Napon mreže $U_m$ (kV)	Minimalni naznačen napon $U_{r1}$ (kV)
Efikasno	$\leq 1$ s	$\leq 100$	$\geq 0.8 \cdot U_m$
Efikasno	$\leq 1$ s	$\geq 123$	$\geq 0.72 \cdot U_m$
Neefikasno	$\leq 10$ s	$\leq 170$	$\geq 0.91 \cdot U_m$
Neefikasno	$\leq 2$ h	$\leq 170$	$\geq 1.11 \cdot U_m$
Neefikasno	$> 2$ h	$\leq 170$	$\geq 1.25 \cdot U_m$

Naznačen napon se na drugi način kod oba proizvođača određuje tako da odgovori na zahteve privremenih prenapona. To su najčešće prenaponi koji nastaju pri nesimetričnom pogonu (pri nesimetričnim kvarovima ili pri nesimetričnom prekidu napajanja u trofaznim mrežama). Dakle, za sve privremene prenapone za koje se smatra da se mogu javiti u pogonu na mestu ugradnje MOP-a, ako su poznati njihovi parametri (vrednost i vreme trajanja), određuju se potencijalni naznačeni naponi uz pomoć dijagrama čiji primer je prikazan na Sl. 1.

Dijagram na Sl. 1 prikazuje faktor prenapona u funkciji vremena. Faktor prenapona predstavlja odnos dozvoljenog napona MOP-a (za određeno vreme trajanja dejstva tog napona) i naznačenog napona MOP-a:

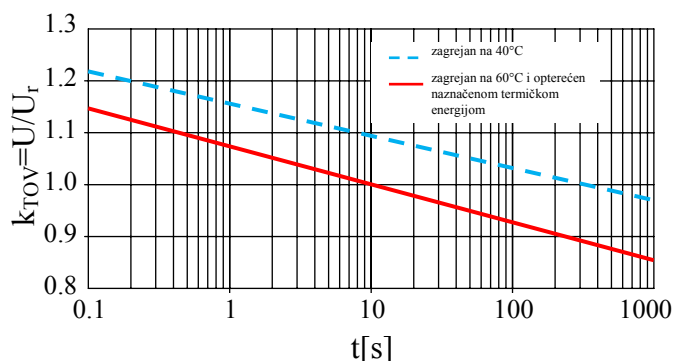
$$k_{TOV} = \frac{U}{U_r}, \quad (4)$$

gde su:

$k_{TOV}$  – faktor prenapona,

$U$  – napon na priključcima MOP-a,

$U_r$  – naznačen napon MOP-a.



Slika 1. Dijagram faktora prenapona u funkciji vremena

Ovi dijagrami se nazivaju i TOV dijagrami od engleskog izraza za privremene prenapone *Temporary Overvoltage* i proizvođači ih standardno daju u svojim katalogima. Prema tome, za poznato trajanje prenapona sa TOV dijagrama se očitava faktor prenapona, te se zatim za poznatu vrednost privremenog prenapona pomoću izraza (5) dobija vrednost naznačenog napona na drugi način:

$$U_{r2} = \frac{U_{TOV}}{k_{TOV}}, \quad (5)$$

gde su:

$U_{TOV}$  – poznata vrednost privremenog prenapona,

$U_{r2}$  – naznačen napon MOP-a određen na drugi način.

Po pravilu se  $k_{TOV}$  očitava sa krive koja predstavlja teži slučaj (MOP zagrejan do temperature od 60 °C uz apsorbovanje naznačene termičke energije). Nakon što se uporede vrednosti dobijenih potencijalnih naznačenih napona (na osnovu više privremenih prenapona), najveća vrednost od njih se zatim poredi sa vrednošću naznačenog napona koja je dobijena na prvi način i veća vrednost se uzima za konačan naznačen napon (naravno, ukoliko u katalogu proizvođača ne postoji takva standardna vrednost, uzima se prva veća). Trajni radni napon MOP-a postaje vrednost iz kataloga koja odgovara izabranom naznačenom naponu.

Nazivna struja pražnjenja se bira prema očekivanoj struji pražnjenja kroz MOP. Ova struja zavisi od više činilaca kao što su: složenost postrojenja, broj priključenih vodova na sabirnice postrojenja, snabdevenost prilaznih vodova zaštitnim užadima, vrednost udarne impedanse uzemljenja prilaznih stubova, vrednost podnosivog napona izolacije prilaznih vodova itd.

Klasa rasterećenja voda prema IEC standardu predstavlja merilo sposobnosti apsorpcije energije. Ovaj pojam se zasniva na pretpostavci da se na dugom vodu usled sklopnih operacija javlja sklopni prenapon, koji se u obliku putujućeg talasa rasterećuje kroz priključeni MOP. Zbog relativno dugog trajanja sklopnog prenapona ova vrsta prenapona je najopasnija u smislu energetskog naprezanja. IEC standard [3] definiše pet različitih klasa rasterećenja voda, koje se označavaju brojevima od 1 do 5. Pri ovome, veći broj označava bolju sposobnost apsorpcije energije. Koju klasu rasterećenja voda odabrati moguće je odlučiti na osnovu iskustva, odnosno, očekivane energije sklopnih prenapona. Ukoliko iskustvo izostaje, proizvođači daju preporuke u obliku tabela koje povezuju pojedine klase sa opsezima najvišeg napona mreže.

Nakon što je pomoću pomenutih kriterijuma određen aktivni deo MOP-a, potrebno je proveriti da li on ispunjava zaštitne karakteristike. Preciznije rečeno, potrebno je proveriti da li je preostali napon na krajevima MOP-a pri proticanju struje pražnjenja standardnog talasnog oblika (zaštitni nivo) dovoljno niži od standardnog podnosivog napona izolacije štićenog uređaja. Ovo se proverava pomoću sledećih izraza [1]:

$$U_{az} \leq \frac{U_{SPAUN}}{1.4}, \quad (6)$$

gde su:

$U_{az}$  – atmosferski zaštitni nivo,

$U_{SPAUN}$  – standardni podnosivi atmosferski udarni napon izolacije štitićenog uređaja,

$$U_{sz} \leq \frac{U_{SPSUN}}{1.15} \quad (7)$$

gde su:

$U_{sz}$  – sklopni zaštitni nivo,

$U_{SPSUN}$  – standardni podnosivi sklopni udarni napon izolacije štitićenog uređaja.

Veći sigurnosni koeficijent kod provere atmosferskog zaštitnog nivoa u odnosu na sklopni je potreban zbog toga što usled talasnih procesa i induktivnog pada napona na priključcima MOP-a napon na priključcima štitićenog uređaja može da dostigne veću vrednost od napona na samom MOP-u.

Ukoliko su zaštitne karakteristike zadovoljene aktivni deo je potpuno određen.

### B. Izbor kućišta MOP-a

Kućište MOP-a se bira prema dužini puzne staze, klasi zaštite od nadpritiska (naznačena struja kratkog spoja) i mehaničkom opterećenju koje može delovati na MOP u radu. Naravno, dimenzije aktivnog dela utiču na dimenzije kućišta.

Dužina puzne staze predstavlja dužinu kućišta MOP-a (izolatora) merenu po spoljašnjoj „naboranoj” površini (koja ima ulogu da veštački uveća dužinu MOP-a i tako oteža pojavu puzajućih pražnjenja koja predstavljaju početni stadijum preskoka po površini izolatora). Prema IEC standardu [4], dužina puzne staze se bira prema nivou zagađenja sredine u kojoj se planira ugradnja MOP-a. Navedeni standard definiše četiri nivoa zagađenja sredine prema kojima se bira specifična dužina puzne staze. To su lako zagađenje (16 mm/kV), srednje zagađenje (20 mm/kV), teško zagađenje (25 mm/kV) i vrlo teško zagađenje (31 mm/kV). Ovim nivoima su pridružene vrednosti specifične dužine puzne staze u mm/kV (u odnosu na najviši napon mreže  $U_m$ ).

Klasa zaštite od nadpritiska predstavlja merilo sposobnosti MOP-a da podnese struju kratkog spoja bez pojave štetnih posledica (npr. eksplozija kućišta). IEC standard [5] stoga klasifikuje MOP prema maksimalnoj podnosivoj struji kratkog spoja, odnosno naznačenoj struji kratkog spoja, i to na 5, 10, 16, 20, 31.5, 40, 50, 63, i 80 kA. Potrebno je odabrati prvu veću vrednost od one koja se očekuje na mestu ugradnje MOP-a.

Kako MOP u toku radnog veka biva izložen raznim mehaničkim opterećenjima, kao što su naleti jakog vetra, zemljotresi itd., pri izboru MOP-a je potrebno proveriti da li on zadovoljava kriterijume u pogledu podnosivih sila (momenata) koji mogu da deluju na MOP u toku radnog veka.

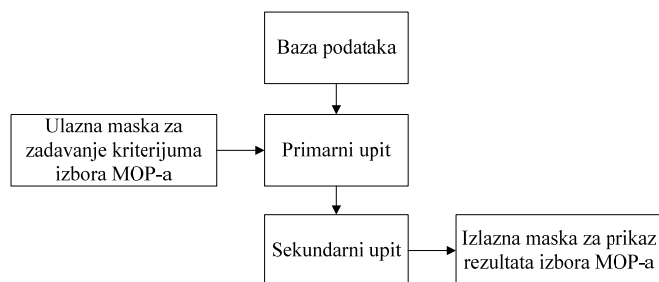
Nakon izbora kućišta potrebno je izabrati MOP koji odgovara postavljenim kriterijumima. Umesto klasičnog pretraživanja po katalogu, programski alat, čiji opis sledi, to radi automatski.

### III. OPIS FORMIRANJA PROGRAMSKOG ALATA

Da bi uopšte bilo govora o formiranju programskog alata za izbor nekog uređaja na osnovu kataloga koji izdaje proizvođač

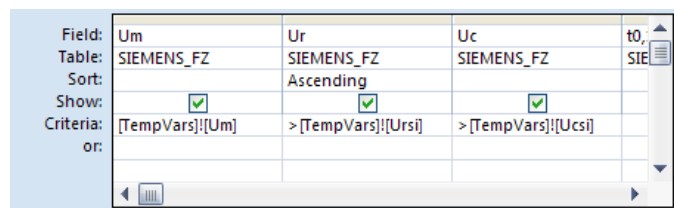
tog uređaja, neophodno je napraviti bazu podataka koja će zameniti katalog. Kako je aplikacija *Access* programskog paketa *Microsoft Office* namenjena upravo za rad sa bazama podataka, došlo se do ideje da se celokupan programski alat formira upravo u *Access*-u [6]. Ovome u prilog ide i to što *Access* ima mogućnost jednostavne izrade obrazaca (formi), koji mogu poslužiti za formiranje maski za komunikaciju sa korisnikom. Kao i većina *Office*-ovih aplikacija, i *Access* ima ugrađen programski jezik *Visual Basic for Applications (VBA)*. Upravo pomoću ovog programskog jezika se otvara mogućnost automatizacije u *Access*-u. Naime, pomoću *VBA* je moguće upravljati objektima u okviru *Access*-a (tabele, upiti, forme, kontrole itd.), i tako njihovom koordinacijom postići željeni cilj, što je ovde izdvajanje zapisa iz baze podataka na osnovu postavljenih kriterijuma.

Na Sl. 2 je prikazana blok šema koja ilustruje način na koji je ostvarena osnovna ideja automatizacije izbora MOP-a u okviru *Access*-a. Postupa se na taj način da se iz baze podataka primarnim upitom izdvajaju svi zapisi koji zadovoljavaju zadate kriterijume u okviru ulazne maske, pa se nakon toga sekundarnim upitom iz primarnog upita izdvajaju oni zapisi koji poseduju najniže vrednosti (koji najpre zadovoljavaju zadate kriterijume), čime se sprečava predimenzionisanje. Izlazna maska služi da korisniku prikaže karakteristike MOP-a koga je sekundarni upit izdvojio.



Slika 2. Blok šema organizacije objekata *Access*-a u okviru programskog alata za izbor MOP-a

Upitima se upravlja programskim kodom koji se nalazi u pozadini ulazne maske, pri čemu se izmena kriterijuma prema kojima upit vraća rezultat vrši pomoću određenih promenljivih. Za ovu svrhu je ovde primenjena posebna vrsta promenljive koja je globalna na nivou aplikacije *Access*-a, a naziva se *TempVar*. Sl. 3 prikazuje detalj rešetke upita u *Access*-u gde se mogu videti primeri upotrebe promenljive *TempVar*.



Slika 3. Izgled dela rešetke upita sa unesenim kriterijumima

Imajući u vidu prethodno prikazane korake postupka izbora MOP-a, jasno je da je neke kriterijume moguće direktno postaviti jednostavnim odabirom ili unošenjem željene vrednosti u neku za to predviđenu kontrolu u okviru ulazne maske, dok je za druge kriterijume neophodno više

podešavanja. Formiranje kriterijuma po naznačenom naponu spada u nešto komplikovaniji slučaj, te je rešenje pronađeno u sledećoj logici. Kriterijum naznačenog napona na prvi način se proračunava u okviru programskog koda i postavlja u upit preko *TempVar* promenljive. Međutim, kriterijum naznačenog napona na drugi način nije moguće jedinstveno postaviti zbog toga što se dijagram prikazan na Sl. 1, a time i  $k_{TOV}$ , razlikuje od tipa do tipa MOP-a. Pri tome je potrebno omogućiti izbor  $k_{TOV}$  za proizvoljno vreme trajanja privremenog prenapona. Postupljeno je tako što su sa TOV dijagrama (Sl. 1) očitane vrednosti  $k_{TOV}$  za vremena trajanja privremenog prenapona koja su celobrojni eksponenti broja 10, pa su nakon toga proračunate vrednosti privremenog prenapona koje MOP može da podnese za dato vreme trajanja tog prenapona, koristeći vrednosti naznačenog napona iz baze podataka:

$$U_{TOV\_Podnosivo} = k_{TOV} \cdot U_r, \quad (8)$$

gde su:

$U_{TOV\_Podnosivo}$  – podnosiva vrednost privremenog prenapona,

$K_{TOV}$  – faktor prenapona,

$U_r$  – naznačen napon iz baze podataka (kataloga).

Ove diskretne vrednosti podnosivih privremenih prenapona su sastavni deo baze podataka. Određivanje odgovarajućih vrednosti podnosivih privremenih prenapona za njihovo proizvoljno trajanje vrši se interpolacijom. Za ovu svrhu se koriste tzv. proračunata polja (*calculated fields*) u rešetki upita. Na Sl. 4 je prikazana rešetka upita gde se može videti proračunato polje koje se formira pomoću interpolacione funkcije *TOV1\_siemens*. Ova funkcija kao argumente koristi ostala polja koja se mogu videti na Sl. 4, gde ona predstavljaju vrednosti podnosivih privremenih prenapona za diskretne vrednosti trajanja ovih prenapona.

Kada se poznata vrednost privremenog prenapona postavi kao kriterijum u proračunato polje, dobija se isti efekat kao i da je korišćena relacija (5). Postavka upita je takva da vrši poređenje naznačenih napona na oba načina, tako da će upit dati rezultat prema strožijem kriterijumu.

Ulazna maska koja omogućava zadavanje svih relevantnih kriterijuma za izbor MOP-a je prikazana na Sl. 5 (podešenja su samo pokazna). Sastoji se od niza okvira koji predstavljaju korake izbora MOP-a. Unutar okvira *Izbor vrste odvodnika* se bira proizvođač, namena odvodnika (koju izolaciju treba da štiti) i materijal od kog je izrađeno kućište. Okvir *Naponski kriterijumi* sadrži kontrole pomoću kojih se u programskom kodu u pozadini određuju vrednosti trajnog radnog i naznačenog napona koje će se putem *TempVar* promenljivih postaviti kao kriterijum u upit. Kod okvira *Parametri zemljospoja* od korisnika se očekuje unošenje vremena trajanja zemljospoja (podrazumeva se jednofazni zemljospoj) preko tastature, dok faktor zemljospoja (odnos napona ispravne faze pri zemljospoju i napona te faze u normalnom radu) automatski nudi vrednosti u zavisnosti od vrste uzemljenja mreže. Kod efikasno uzemljene mreže korisniku se dopušta izmena vrednosti koja je podešena na 1.4, a kod neefikasno uzemljene mreže kontrola postaje „zaključana“ sa vrednošću 1.73. Pomoću pomenutih kontrola se ujedno uvažava i uticaj privremenog prenapona usled jednofaznog zemljospoja. Pošto

korisnik može da ima saznanja o parametrima privremenog prenapona druge vrste, omogućen je unos ovih vrednosti po želji pomoću kontrole i okvira *Dodatni privremeni prenapon*.

Field:	t0,1s	t1s	t10s	t100s	t1000s	Expr1: TOV1_siemens
Table:	SIEMENS	SIEMENS	SIEMENS	SIEMENS	SIEMENS	
Sort:						
Show:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Criteria:						>=[TempVars][Utov1]
or:						

Slika 4. Prikaz upotrebe proračunatog polja u rešetki upita

Okvir za pomoć sadrži kontrolu koja ispisuje napomenu pri unosu zahtevane vrednosti u neku od kontrola, čime se korisnik upoznaje sa opsegom dozvoljenih vrednosti i navodi na pravilan rad sa programskim alatom. Pored napomene ovde su prisutne i veze (*link*) ka uputstvima za izbor MOP-a, ukoliko korisnik želi da ih konsultuje.

Slede okviri za specifikaciju sposobnosti apsorpcije energije i specifikaciju mehaničkih kriterijuma. Ovde se vrednosti jednostavno biraju iz odgovarajućih padajućih menija, osim kod kontrole u koju se očekuje unos maksimalnog mehaničkog opterećenja vrha MOP-a. Ovde je za kriterijum mehaničkog opterećenja odabrana sila koja može u toku rada da deluje na vrh MOP-a (nije pogodno raditi sa momentima zbog različitih visina MOP-ova). Pošto su retko poznate vrednosti sila koje mogu da nastupe, postupa se tako što se za izdvajanje onih MOP-ova za teške uslove rada (u mehaničkom smislu) na ovom mestu unosi vrednost sile iz opsega od 5000 N do 10000 N. Za one MOP-ove od kojih se ne zahteva odolevanje većim mehaničkim opterećenjima unosi se vrednost sile od 400 N do 3000 N.

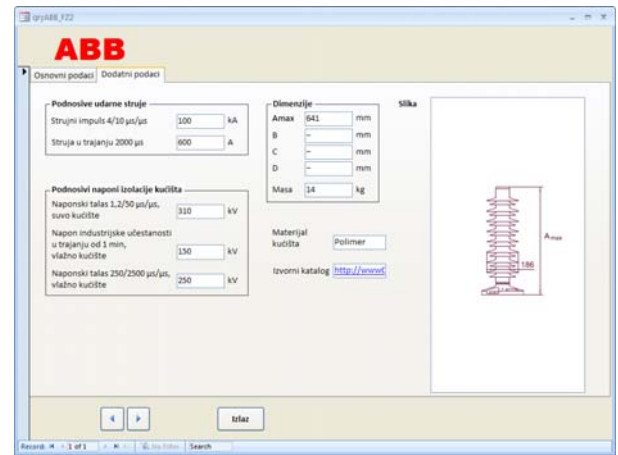
Treba reći da vrednosti određenih kontrola kao i stanje samih kontrola zavise od stanja i vrednosti drugih kontrola. Tako je na primer za dva različita naponska nivoa različiti mogući izbor vrednosti klase rasterećenja voda. Specifičan događaj ovog tipa je odabir neefikasnog uzemljenja pri izboru *Siemens*-ovog MOP-a, što rezultuje zaključavanjem kontrola za unošenje parametara zemljospoja i dodatnog privremenog prenapona, jer je kriterijum iskazan jednačinom (3) toliko strog da podrazumeva zemljospoj kod ove vrste uzemljenja.

Slika 5. Ulazna maska programskog alata za izbor MOP-a

#### IV. PRIMERI PRIMENE PROGRAMSKOG ALATA

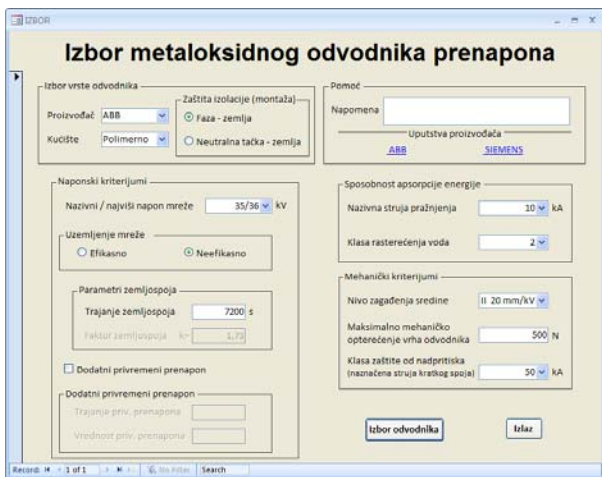
U ovom delu rada biće prikazani primeri primene razvijenog programskog alata. Posebno će se prikazati izbor *ABB*-ovih, a posebno izbor *Siemens*-ovih MOP-ova. Zbog razlika u prezentovanju pojedinih karakteristika MOP-a u katalozima dva proizvođača (a time i u bazi podataka), programski alat je formiran tako da pravi izlaznu masku posebno za svakog proizvođača.

Pretpostavimo da je potrebno izabrati MOP za 35 kV mrežu, pri čemu MOP treba da štiti faznu izolaciju transformatora (najčešći slučaj). Ove mreže tipično rade kao neefikasno uzemljene, te se bira neefikasno uzemljenje mreže. Usvojiće se vreme trajanja zemljospoja od dva sata. Kako se u poslednje vreme masovno koriste MOP-ovi sa polimernim kućištem, i ovde će biti birana takva vrsta. Sl. 6 prikazuje ulaznu masku sa podešenim kriterijumima za izbor *ABB*-ovog 35 kV MOP-a. Nakon klika na dugme *Izbor odvodnika*, programski alat otvara izlaznu masku sa podacima o izabranom MOP-u. Sl. 7 predstavlja izlaznu masku koja prikazuje osnovne podatke izabranog *ABB*-ovog MOP-a. Na Sl. 8 predstavljeni su dodatni podaci izabranog MOP-a, koji se prikazuju klikom na jezičak *Dodatni podaci* u okviru izlazne maske.

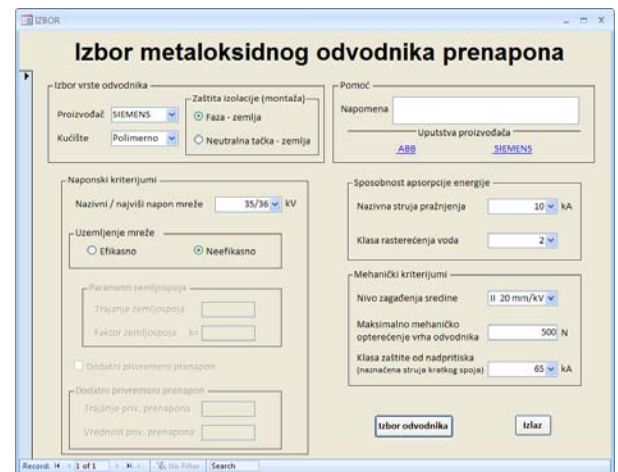


Slika 8. Izlazna maska sa dodatnim podacima o izabranom *ABB*-ovom odvodniku

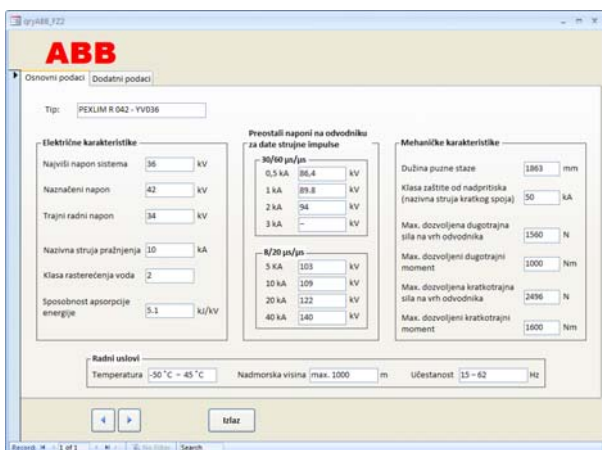
U nastavku će biti prikazan izbor *Siemens*-ovog odvodnika prema istim kriterijumima. Sl. 9 prikazuje ulaznu masku sa podešenim kriterijumima, dok Sl. 10 i Sl. 11 prikazuju izlaznu masku sa osnovnim i dodatnim podacima izabranog MOP-a, respektivno.



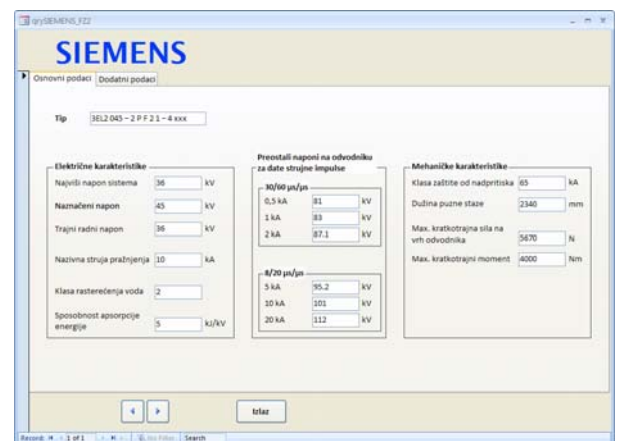
Slika 6. Ulazna maska sa podešenim kriterijumima za izbor *ABB*-ovog MOP-a za 35 kV naponski nivo



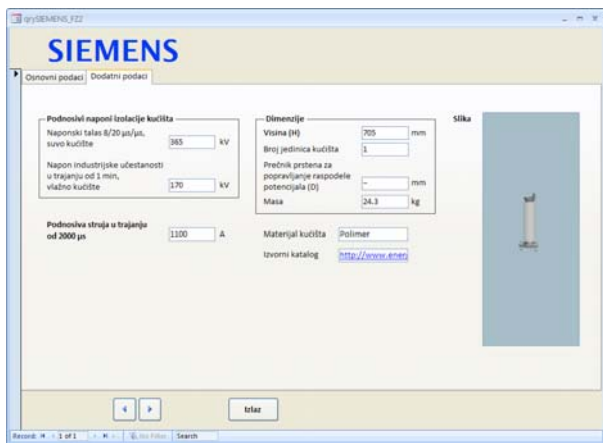
Slika 9. Ulazna maska sa podešenim kriterijumima za izbor *Siemens*-ovog MOP-a za 35 kV naponski nivo



Slika 7. Izlazna maska sa osnovnim podacima o izabranom *ABB*-ovom odvodniku



Slika 10. Izlazna maska sa osnovnim podacima o izabranom *Siemens*-ovom odvodniku



Slika 11. Izlazna maska sa dodatnim podacima o izabranom *Siemens*-ovom odvodniku

Budući da je za prikaz maski programskog alata potrebno dosta prostora, u nastavku su tabelarno dati primeri izbora MOP-a za 110 kV, 220 kV i 400 kV naponski nivo. U tabeli 2 su dati kriterijumi po kojima je vršen izbor MOP-a (podešenja ulazne maske), razvrstani po navedenim naponskim nivoima.

TABELA II. KRITERIJUMI U OKVIRU ULAZNE MASKE KORIŠĆENI PRI IZBORU MOP-OVA ZA 110 kV, 220 kV I 400 kV NAPONSKI NIVO

Kriterijumi u okviru ulazne maske za izbor MOP-a	Naponski nivo		
	110 kV	220 kV	400 kV
Uzemljenje mreže	efikasno	efikasno	efikasno
Trajanje zemljospoja	1 s	1 s	0.5 s
Nazivna struja pražnjenja	10 kA	20 kA	20 kA
Klasa rasterećenja voda	3	4	5
Nivo zagađenja sredine	II	II	II
Maksimalno mehaničko opterećenje vrha odvodnika	1000 N	3000 N	5000 N
Klasa zaštite od nadpritiska	50 kA	65 kA	65 kA
Materijal kućišta	polimer	polimer	polimer

Za kriterijume prikazane u tabeli 2, programski alat daje rezultate izbora koji su predstavljeni u okviru tabele 3 u obliku najosnovnijih karakteristika izabranih MOP-ova, odnosno, njihovog tipa, trajnog radnog napona ( $U_c$ ), naznačenog napona ( $U_r$ ) i sposobnosti apsorpcije energije.

TABELA III. NAJOSNOVNJE KARAKTERISTIKE IZABRANIH MOP-OVA RAZVRSTANE PO NAPONSKIM NIVOIMA I PROIZVOĐAČIMA

Naponski nivo (kV)	Proizvođač	Tip MOP-a	$U_c$ (kV)	$U_r$ (kV)	Sposobnost apsorpcije energije (kJ/kV)
110	ABB	PEXLIM Q 090 – XH123	72	90	7.8
	Siemens	3EQ1 096 – 2PJ31 – 4xxx	77	96	8
220	ABB	HS PEXLIM P–T 180 – TM245	144	180	10.5
	Siemens	3EL2 192 – 6PQ42 – 4xxx	154	192	18
400	ABB	HS PEXLIM T–T 330 – TH420	264	330	15.4
	Siemens	3EQ4 336 – 4PR52 – 4xxx	268	336	18

Oznake  $x$  u nazivu tipa *Siemens*-ovih MOP-ova predstavljaju simbole na čije se mesto postavljaju oznake delova za montažu MOP-a, kao što su postolje, stezaljke, zavrtnji itd. Konkretno oznake se mogu videti u izvornom katalogu, što je moguće učiniti klikom na vezu u okviru izlazne maske programskog alata.

## V. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana mogućnost automatizacije izbora metaloksidnih odvodnika prenapona. Pomoću opisanog programskog alata ostvaruje se osnovni cilj da se izbor metaloksidnih odvodnika prenapona vrši na pravilan i efikasan način. Primena programskog alata omogućava automatizaciju izbora važnog elementa visokonaponskih mreža i postrojenja i povećanje produktivnosti u izradi projektne dokumentacije.

## LITERATURA

- [1] V. Hinrichsen, Metal-Oxide Surge Arrester, Fundamentals, 1st ed. Siemens AG, Berlin, Germany, 2001.
- [2] IHSM 9543 12-00en, Surge Arresters Byuer's Guide, Edition 8, 2010-12, ABB AB, Ludvika, Sweden.
- [3] International Electrotechnical Commission, International Standard, IEC 60099-4, Second Edition 2004-05, Geneva, Switzerland.
- [4] International Electrotechnical Commission, IEC Report, Publication 815, First Edition, 1986, Geneva, Switzerland.
- [5] International Electrotechnical Commission, International Standard, IEC 60099-1, Ed. 3.1, 1999-12, Geneva, Switzerland.
- [6] D. Đorđević, „Automatizacija izbora metaloksidnih odvodnika prenapona“, master rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2011 (mentor prof. dr Zlatan Stojković).
- [7] Z. Stojković, „Projektovanje pomoću računara u elektroenergetici – primena programskih alata, Monografija, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Akademska misao, Beograd, 2009, str. 529.
- [8] Z. Stojković, „Computer-Aided Design in Power Engineering – Application of Software Tools“, Springer Berlin Heidelberg, Academic Mind, Belgrade, 2012, p. 436, DOI:10.1007/978-3-642-30206-0, Print ISBN 978-3-642-30205-3, e ISBN 978-3-642-30206-0.

## ABSTRACT

This paper presents the automation of metal-oxide surge arresters selection and forming of the corresponding software tool in Microsoft Access. Procedure for metal-oxide surge arresters selection is given, making it easier to acquire a clear insight into the metal-oxide surge arresters characteristics that are relevant to their choice. Method of forming software tool and corresponding graphical user interfaces are described. The paper also presents examples of the application of the software tool in metal-oxide surge arresters selection for 35 kV, 110 kV, 220 kV and 400 kV voltage levels.

## AUTOMATION OF METAL-OXIDE SURGE ARRESTERS SELECTION

Dragan Djordjević, Zlatan Stojković