

METODE MERENJA JAČINE ELEKTRIČNOG POLJA I MAGNETSKE INDUKCIJE

Momčilo Petrović, Dejan Hrvić, Vojin Kostić
Elektrotehnički institut "Nikola Tesla"

Kratak sadržaj: U radu su predstavljene metode za merenje jačine električnog polja i magnetske indukcije prema međunarodno priznatim standardima IEC 61786:1998, odnosno IEEE 644-1994 koji opisuje jedinstvene procedure za merenja električnog i magnetskog polja industrijske učestanosti (50Hz), koja potiču od nadzemnih elektro-energetskih vodova.

Ključne reči: električno polje, magnetsko polje, metode.

1. UVOD

Elektromagnetsko polje niske frekvencije spada u vremenski sporo promenljivo polje. U području niskih frekvencija moguće je analizirati elektromagnetsko polje kao dva raspregnuta polja, vremenski sporo promenljivo (kvazistatičko) električno polje i vremenski sporo promenljivo (kvazistatičko) magnetsko polje.

U okolini provodnika kroz koje protiče vremenski promenljiva električna struja javlja se vremenski promenljivo električno polje i vremenski promenljivo magnetsko polje.

Fizička veličina koja opisuje električno polje je \vec{E} - vektor jačine električnog polja.

U međunarodnom sistemu mernih jedinica (SI) jedinica za jačinu električnog polja je $\frac{V}{m}$ (volt po metru).

Uobičajeno je korišćenje veće jedinice $\frac{kV}{m} = 10^3 \frac{V}{m}$ (kilovolt po metru)

Fizička veličina koja opisuje magnetsko polje je vektor jačine magnetskog polja- \vec{H} .

U međunarodnom sistemu mernih jedinica (SI) jedinica za jačinu magnetskog polja je $\frac{A}{m}$ (amper po metru).

U standardima i preporukama je uobičajeno da se koristi druga fizička veličina koja opisuje magnetsko polje-vektor magnetske indukcije \vec{B} .

U međunarodnom sistemu mernih jedinica (SI) jedinica za magnetsku indukciju je T (tesla).

Uobičajeno je korišćenje manje jedinice $\mu T = 10^{-6} T$ (mikrotesla)

Između ove dve fizičke veličine u vakuumu (i u vazduhu) postoji odnos preko relacije:

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H} \quad (1)$$

gde je: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{H}{m} \right]$ -magnetska permeabilnost vakuumu (vazduha),

konstantna veličina.

Vektorske fizičke veličine su definisane svojim intenzitetom, pravcem i smerom.

Pravac i smer određuju položaj vektora u prostoru. Za potrebe analize bezbednosti pri izlaganju živih organizama električnom i magnetskom polju niskih frekvencija se ne uzima u obzir pravac i smer električnog i magnetskog polja.

U standardima i preporukama je uobičajeno da se koriste termini "jačina električnog polja" umesto "intenzitet vektora jačine električnog polja" i "magnetska indukcija" umesto "intenzitet vektora magnetske indukcije" jer vektorska priroda ovih fizičkih veličina nije bitna za procenu bioloških efekata.

Za ocenu biološkog efekta električnog i magnetskog polja niskih frekvencija potrebno je poznavati vrednosti intenziteta vektora jačine električnog polja i magnetske indukcije, kao i njihovu promenu u vremenu.

2. METODE MERENJA

2.1. Merne procedure za merenje magnetske indukcije prema standardu IEC 61786:1998

U većini slučajeva merenje magnetske indukcije sprovodi se uređajem koji poseduje mogućnost merenja u sve tri ose u prostoru, pri čemu se kao rezultat dobija rezultantno magnetsko polje. Razlozi za upotrebu uređaja sa mogućnošću merenja u samo jednoj osi u prostoru su da se utvrde pravac i maksimalna vrednost magnetskog polja i da se ispita orijentacija i izgled elipse magnetskog polja i u slučajevima u kojima je poznat pravac linearno polarizovanog magnetskog polja.

Pojedini uređaji, sa mogućnošću merenja u sve tri ose u prostoru, mogu odrediti gore navedene parametre.

Uređaji sa mogućnošću merenja u samo jednoj osi u prostoru mogu se iskoristiti za određivanje rezultantnog magnetskog polja pomoću sledeće jednačine:

$$B_R = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

gde su B_x , B_y i B_z efektivne vrednosti tri ortogonalne komponente polja, ili pomoću sledeće jednačine:

$$B_R = \sqrt{B_{\max}^2 + B_{\min}^2}$$

gde su Bmax i Bmin efektivne vrednosti veće i manje poluose elipse magnetskog polja, respektivno, samo za slučaj da nivo magnetskog polja ostane stabilan.

Veličina merne sonde ili osetljivih elemenata određena je prostornim varijacijama merenog polja. Preporučuje se da osetljivi elementi budu površine 0,01 m² ili manji.

Kada je magnetsko polje generisano od strane elektroenergetskog sistema, kao dominantna pojavljuje se industrijska učestanost (50 Hz za Evropu i 60 Hz za Ameriku), plus nekoliko prvih harmonika. Za merenje ovako generisanog magnetskog polja, propusni opseg uređaja kreće se u granicama od 50 Hz (60 Hz) do 500 Hz. Uži propusni opseg može se koristiti samo ukoliko se pokaže da je harmonijski sadržaj dovoljno mali i da neznatno utiče na rezultate merenja, npr. u blizini nadzemnih vodova.

Tokom merenja magnetskog polja potrebno je isključiti ili ukloniti prenosnu opremu koja je izvor elektromagnetskog zračenja (mobilni telefoni).

Ukoliko se kao izvor magnetskog polja pojavljuju drugi izvori (ne elektroenergetski sistem sa dominantnom industrijskom učestanošću), tada je prilikom merenja potrebno izabrati odgovarajući širi propusni opseg.

2.2. Merne procedure za merenje jačine električnog polja prema standardu IEC 61786:1998

Da bi se izbegli poremećaji, merenje polja potrebno je izvršiti uređajem koji jasno označava amplitudu i pravac električnog polja (free-body meter sa mogućnošću merenja u samo jednoj osi u prostoru), uređajem free-body meter-om sa mogućnošću merenja u sve tri ose u prostoru, koji jasno označava orijentaciju polja, elektro-optičkim merilom ili ground reference meter-om. Veličina merne sonde ili osetljivih elemenata mora biti u skladu sa prostornom raspodelom polja, kao i blizinom okolnih provodnih ravni.

Ukoliko je električno polje generisano od strane elektroenergetskog sistema (nadzemni vodovi, transformatori), kao dominantna pojavljuje se industrijska učestanost. Uređaj sa užim propusnim opsegom, centriranim oko industrijske frekvencije, pogodan je za merenje efektivne vrednosti električnog polja.

Tokom merenja električnog polja potrebno je isključiti ili ukloniti prenosnu opremu koja je izvor elektromagnetskog zračenja (mobilni telefoni).

Tokom merenja električnog polja potrebno je posebnu pažnju obratiti na uticaj blizine posmatrača, koji mogu značajnije deformisati linije električnog polja kada se nalaze u blizini merne sonde. Uticaj blizine posmatrača može dovesti do neočekivanih grešaka prilikom merenja.

2.3. Merne procedure za merenje jačine električnog polja ispod nadzemnih vodova prema zahtevima IEEE Std 644-1994

Jačina električnog polja ispod elektroenergetskih vodova se meri na visini 1m iznad tla. Sonda treba da bude orijentisana tako da očitava vertikalno električno polje, zato što se ova vrednost često koristi za opisivanje efekata polja na objekte koji se nalaze u blizini tla. Rastojanje između merila jačine električnog polja i operatora treba da bude najmanje 2.5 m. Ovo rastojanje će smanjiti efekat blizine uzemljenog 1.8 m visokog posmatrača na 1.5% do 3%. U slučajevima gde je dozvoljen veći uticaj efekta blizine, udaljenost posmatrača može biti smanjena. U ovakvim slučajevima udaljenost treba da bude posebno naznačena. 5% je efekat blizine posmatrača koji se javlja kada je

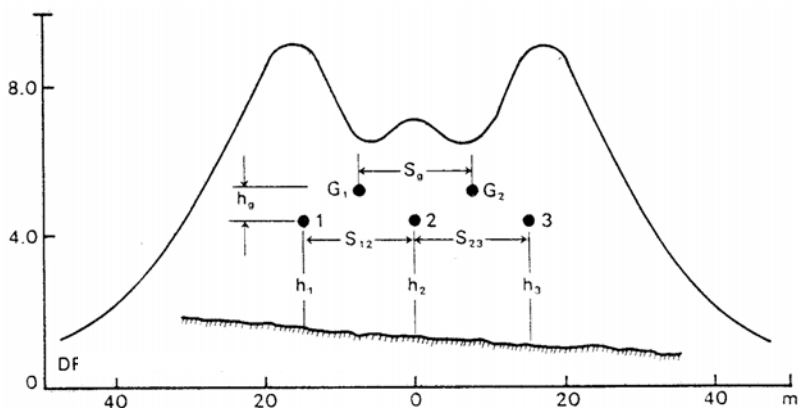
rastojanje posmatrača od merila između 1.8 m i 2.1 m. Ova vrednost zavisi od geometrije posmatrač-merilo-elektroenergetski vod.

Pod idealnim uslovima, horizontalnog nadzemnog voda i ravnog tla ispod voda, ravan kojom se prostire električno polje je normalna na pravac provodnika nadzemnog voda. Ovo je približno slučaj aktuelnih nadzemnih vodova uz nepostojanje obližnjih objekata i izrazito neravnog terena. Merenje u ravni polja se izvodi na taj način da pravac posmatrač-merilo treba da bude paralelan sa vodovima. Rotacija merila oko ovog pravca omogućava određivanje maksimalne i minimalne vrednosti komponente polja i njihovih pravaca. Određivanje pravca tokom merenja se mora izvoditi pažljivo ako se električna osa ne poklapa sa geometrijskom osom.

Udaljenost između merila i nestalnih objekata, u cilju merenja nenarušenog polja, treba biti najmanje tri puta visina objekta. Udaljenost između merila i stalnih objekata, treba da bude 1 m ili više da bi se obezbedila dovoljna preciznost u merenju neuniformnog polja.

Lateralni (poprečni) profil

Lateralni profil (slika 1) pri merenju električnog polja se izvodi u određenim intervalima, u pravcu koji je normalan na pravac dalekovoda i na visini 1 m iznad tla. Merenja prema lateralnom (polu) profilu treba početi od centralnog provodnika i udaljavati se do rastojanja od 30 m od spoljašnjeg provodnika. Najmanje 5 merenja, na jednakim rastojanjima, treba izvesti ispod dalekovoda. Merenja prema kompletnom lateralnom profilu treba otpočeti u oblasti od interesa (30m od spoljašnjeg provodnika) i kretati se postepeno ka suprotnoj strani. Neka merenja na pojedinim međutačkama treba ponoviti kako bi se dobile naznake o mogućoj promeni: visine provodnika, struje opterećenja, ili napona tokom izvođenja merenja. Lokalno vreme treba snimati tokom merenja kako bi uz izveštaj o strujama opterećenja i naponu dalekovoda, dobijen iz transformatorske stanice, imali podatke značajne za merenje tačno u trenutku merenja.

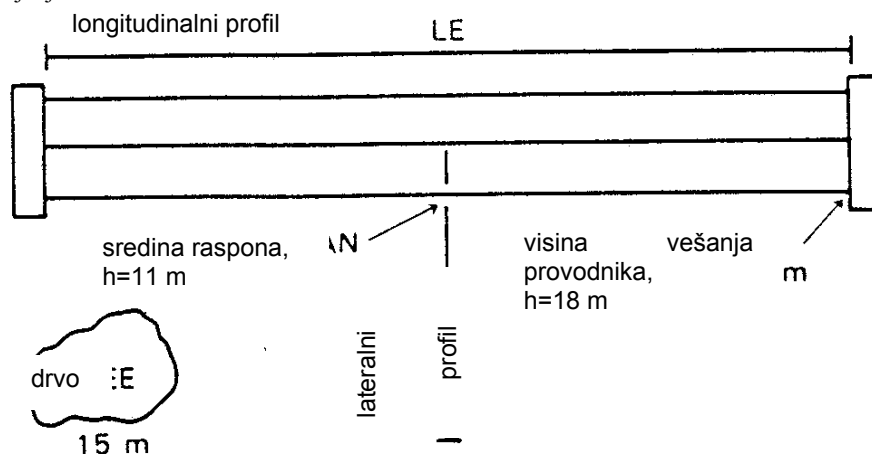


Slika 1. Primer merenja na lateralnom profilu, oznake h i S predstavljaju visine i međusobna rastojanja provodnik

Longitudinalni (uzdužni) profil

Longitudinalni profil (slika 2) pri merenju električnog polja se izvodi na mestu gde je vrednost polja najveća (na sredini raspona gde je najveći ugib provodnika) ili na drugim mestima od interesa, određenim merenjima prema lateralnom profilu, na pravcu paralelnom prostiranju dalekovoda i na visini 1 m iznad tla.

Merenja prema longitudinalnom profilu treba izvesti počev od tačke na sredini raspona (najveća vrednost polja) do kraja raspona, na najmanje 5 približno jednakih rastojanja, u oba smeru.



Slika 2. Primer merenja na longitudinalnom profilu sa ucrtanim bliskim, susednim objektima

2.4. Merne procedure za merenje magnetske indukcije ispod nadzemnih vodova prema zahtevima IEEE Std 644-1994

Magnetsko polje ispod elektroenergetskih vodova se meri na visini 1 m iznad tla. Merila sa sondom koja meri magnetsko polje u samo jednoj osi treba da budu orijentisana tako da imaju maksimalno očitavanje. Merila sa sondom koja meri magnetsko polje u sve tri ose istovremeno može se koristiti za merenje rezultantnog magnetskog polja. Horizontalna i vertikalna komponenta polja se mogu meriti kada se zahteva poređenje sa izračunatim vrednostima ili efektima indukcije u npr ogradama.

Operator može stajati u neposrednoj blizini sonde. Pokretni objekti koji sadrže magnetske materijale ili nemagnetske provodnike treba da budu udaljeni najmanje za tri najveće dimenzije objekta od tačke merenja, da bi se obezbedilo merenje polja bez smetnji. Rastojanje između sonde i nepokretnih magnetskih objekata ne treba da bude manje od 1 m da bi se obezbedilo precizno merenje polja koje ima stalnu smetnju.

Lateralni (poprečni) profil

Procedure su identične kao za merenja jačine električnog polja.

Longitudinalni (uzdužni) profil

Procedure su identične kao za merenja jačine električnog polja.

2.5. Mere opreza i provere tokom merenja električnog i magnetskog polja

U cilju merenja jačine električnog polja koje je nenarušeno (uniformno) na izabranoj lokaciji, prostor treba da bude koliko je to moguće slobodan, odnosno bez prisustva drugih nadzemnih vodova, stubova, drveća, visoke trave ili drugih nepravilnosti. Poželjno je da površina tla na kojoj se vrši merenje bude ravna. Povećanje polja se javlja u blizini vrhova izolovane vegetacije a opada u blizini bočnih strana. Narušavanje polja zavisi i od količine vode koja se nalazi u vegetaciji.

Da bi proverili postojanje struje curenja duž držača, merilo treba orijentisati tako da u njegovoj osi koja je normalna na ravan u kojoj se prostiru linije polja, pod idealnim uslovima, električno polje bude jednako nuli. Električno curenje kroz uzemljenog posmatrača tokom površinske kontaminacije držača može izazvati neko očitavanje merila. Pretpostavka je da je tokom provere struje curenja električna osa normalna na ravan. Ovo očitavanje, izraženo u procentima od maksimalnog polja, predstavlja grešku koja se može javiti zbog ove pojave.

Odziv pojedinih merila jačine električnog i magnetskog polja sadrži visok nivo harmonijskog sadržaja. Prema tome, količina harmonijskog sadržaja treba da bude utvrđena i procenjena za talasni oblik polja ili njenog izvoda (indukovana struja). Kvalitetno određivanje harmonijskog sadržaja se može izvesti osciloskopom povezanim na izlaz detektora sonde. Umesto osciloskopa može se koristiti analizator talasa koji omogućava merenja, u procentima, različitih harmonijskih komponenti.

Merna nesigurnost usled kalibracije, temperature, smetnji, efekta blizine posmatrača je jednaka kvadratnom korenu sume kvadrata pojedinih grešaka. Tako procenjena predstavlja ukupnu mernu nesigurnost i ne treba da pređe $\pm 10\%$.

3. MERILA JAČINE ELEKTRIČNOG POLJA

Za merenja električnih polja koja potiču od nadzemnih elektro-energetskih vodova naizmenične struje koriste se dva tipa merila i to:

Free-Body meter: meri indukovane struje u stacionarnom stanju ili naelektrisanje koje osciluje između dva dela izolovanog provodnog tela u električnom polju.

Ground-Reference-type meter: meri struju koja otiče prema zemlji sa ravne sonde koja se nalazi u električnom polju.

Free-Body meter je podesan za survey-type (terenska) merenja zato što je prenosiv, dozvoljava merenja iznad površine tla i ne zahteva poznatu vrednost uzemljenja tla. Prema tome, ovaj tip merila se preporučuje za merenja na otvorenom, u blizini elektro-energetskih nadzemnih vodova.

Merila za merenje jačine električnog polja se sastoje iz dva dela, sonde i detektora. Kod ovih uređaja, koji se nalaze u komercijalnoj upotrebi, detektor se obično nalazi u unutrašnjosti ili je integralni deo sonde. Sonda i detektor se unose u električno polje na izolovanom držaču. Detektor meri indukovane struje u stacionarnom stanju ili naelektrisanje koje osciluje između dve provodne elektrode sonde. Čovek koji izvodi merenje treba da je na dovoljnoj udaljenosti od sonde kako bi se izbeglo značajno narušavanje električnog polja u sondi. Veličina sonde treba da bude takva da distribucija naelektrisanja po graničnim površinama stvara električno polje koje je, uglavnom, slabo narušeno kada se sonda koristi za merenje. Električno polje treba da bude približno uniformno u oblasti gde se sonda koristi za merenje. Sonda može biti bilo kog oblika.

Merila u komercijalnoj upotrebi su uglavnom u obliku četvrtaste kutije sa stranama veličine 7 do 20 cm. Merila su etalonirana da očitavaju komponentu efektivne vrednosti jačine električnog polja pri industrijskoj učestanosti duž ose sa najvećom jačinom električnog polja.

Postoje Free-Body meter-i dizajnirani sa daljinskim displejem za očitavanje jačine električnog polja. U ovom slučaju deo signalnog kola se nalazi u sondi a memorija detektora je u odvojenom delu sa analognim ili digitalnim displejem. Povezivanje sonde sa displej jedinicom je izvedeno kablom sa optičkim vlaknima. Ovaj tip sonde se unosi u električno polje na izolovanom držaču.

4. MERILA JAČINE MAGNETSKOG POLJA

Merila za merenje magnetskog polja se sastoje od dva dela, sonde i detektora koji obrađuje signal iz sonde i pokazuje efektivnu vrednost magnetskog polja na analognom ili digitalnom displeju. Sonda za magnetsko polje se sastoji od električno oklopljenog namotaja (sonda za merenje u jednoj osi), koja se koristi u kombinaciji sa voltmetrom kao detektorom za merenja magnetskog polja industrijske učestanosti ispod elektroenergetskih vodova. Takođe koriste se i merila sa tri merna namotaja postavljena međusobno normalno u prostoru, koji mere odvojeno vrednosti magnetskog polja u sve tri ose i daju vrednost rezultatnog magnetskog polja.

5. ZAHTEVI STANDARDA KOJI SE ODOSE NA SPECIFIKACIJE MERILA

Za merenja kvazi-statičkog magnetskog i električnog polja postoje različiti tipovi uređaja. Sam uređaj, potrebno je, pored specifikacije da ima i jasno napisano uputstvo koje je u saglasnosti sa standardom IEC 61786:1998, kako bi se obezbedio njegov ispravan i pouzdan rad.

Uređaj za merenje naizmeničnog magnetskog polja treba da detektuje efektivnu vrednost homogenog magnetskog polja sa nesigurnošću manjom od $\pm(10\%$ pri očitavanju $+20\text{nT}$) sa uračunatim korekcionim faktorom.

Uređaj za merenje naizmeničnog električnog polja treba da detektuje efektivnu vrednost homogenog električnog polja sa nesigurnošću manjom od $\pm(10\%$ pri očitavanju $+2\text{ V/m}$) sa uračunatim korekcionim faktorom.

Nesigurnost uređaja određena je sa nekoliko komponenti kao što su : nesigurnost etaloniranja, temperaturno odstupanje elektronike i spoljašnji izvori buke. Navedena nesigurnost povezana je sa oblikom i funkcionisanjem merila magnetske indukcije i električnog polja u uslovima homogenog polja. 10% elemenata odnosi se na nesigurnost tokom etaloniranja iznad određenog frekventnog opsega (propusnog opsega) koja uključuje nesigurnost izmerene vrednosti magnetske indukcije i dodatne nesigurnosti etaloniranja. Faktor pokrivenosti je 2 (faktor pokrivenosti određuje nesigurnost tokom etaloniranja). Za električna polja između 1 V/m i 5 V/m , nesigurnost treba da bude manja od $\pm 40\%$ (faktor pokrivenosti 2), uračunavajući i korekcionni faktor.

Temperaturni opseg unutar koga instrument treba ispravno da funkcioniše (sa određenom nesigurnošću) je od 0°C - 45°C .

Opseg relativne vlažnosti vazduha unutar koga instrument treba ispravno da funkcioniše (sa određenom nesigurnošću) je od 5% - 95% .

Treba izbegavati nagle promene temperature koje mogu dovesti do kondenzacije unutar samog instrumenta. Da bi se izbegli štetni efekti uzrokovani vlažnošću vazduha, uređaj, po pravilu, ne treba koristiti kada temperatura dostigne tačku rošenja (kada se pojavi kondenzacija) ukoliko uređaj nije zaštićen od prodora vlage.

Kada se za napajanje uređaja koriste baterije, potrebno je da postoji indikator koji ukazuje da li je stanje baterije zadovoljavajuće za njegovo ispravno funkcionisanje. Uređaj treba da izdrži najmanje osam časova u radnom režimu pre zamene ili dopunjavanja baterija. Ukoliko se koriste baterije sa mogućnošću dopunjavanja, preporučuje se da uređaj bude isključen prilikom napajanja punjačem sa izvora 220 V.

Za jasno očitavanje izmerenih vrednosti i da bi se izbegli značajniji poremećaji električnog polja zbog efekta blizine, digitalni displej uređaja trebalo bi da bude dovoljno velik. Upotrebom free-body meter-a sa prenosnim displejem izbegavaju se poteškoće koje se javljaju prilikom očitavanja displeja sa veće udaljenosti. Ukoliko uređaj poseduje više mernih opsega, potrebno je sve vrednosti odabranog opsega jasno označiti, čime će se rezultati merenja biti dostupnim za brzu interpretaciju. U slučaju uređaja sa automatskim podešavanjem mernog opsega amplitudski opseg može biti naveden na drugom mestu, npr. u uputstvu za upotrebu. Merne jedinice koje se očitavaju na displeju uređaja trebaju biti jasno označene.

Veličina sondi ili elemenata detekcije mora biti prilagođena prostornim promenama merenog polja. Elementi detekcije (merne sonde) su veličine 0,01 m² ili manji. Kod uređaja sa mogućnošću merenja u sve tri ose u prostoru, elementi detekcije mogu biti koncentrični (npr. sistem kalemova ima zajedničku centralnu tačku), ili ukoliko elementi detekcije nisu veći od 0,05 m treba ih međusobno postaviti što je bliže moguće. Maksimalna dimenzija uređaja koji sadrži tri prostorno raspoređena kalemova iznosi 0,2 m. Sonde sa kalemovima mogu imati kružni ili četvrtasti oblik, mala odstupanja od ovih oblika nisu dozvoljena, npr. kada su koncentrični kalemovi postavljeni jedan preko drugog.

Dimenzije uređaja za merenje električnog polja navedene su u skladu sa tipom merila:

-free-body meter: dimenzije merne sonde i dužina stativa načinjenog od izolacionog materijala;

-ground reference meter: dimenzije merne sonde i detektora i dužina povezujućeg koaksijalnog kabla;

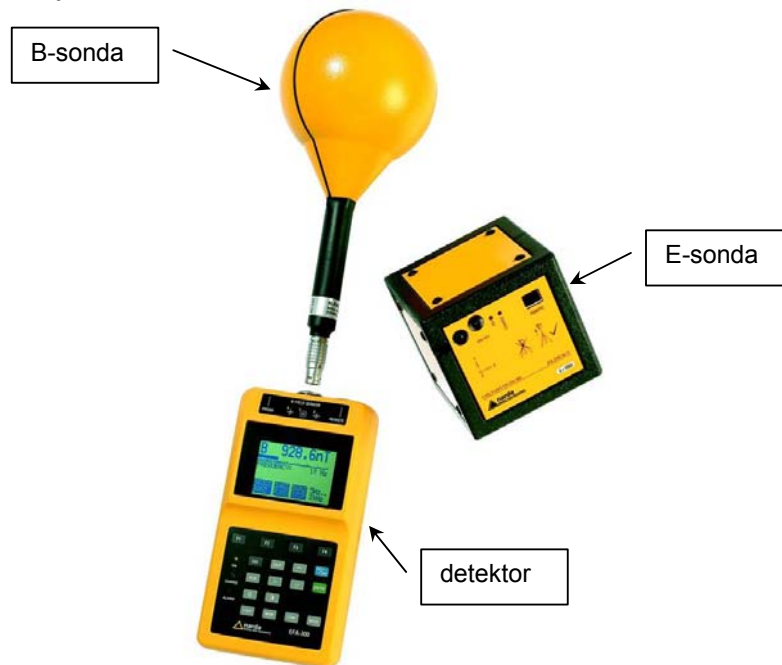
-elektro-optičko merilo: dimenzije merne sonde i detektora i dužina fiber optičke veze.

6. ANALIZATOR ELEKTROMAGNETSKOG POLJA MODEL EFA 300

Institut "Nikola Tesla" koristi za merenja jačine električnog polja i magnetske indukcije u opsegu niskih učestanosti merilo EFA 300 koje poseduje sledeće mogućnosti merenja E i B polja:

- izotropsko merenje (istovremeno u sve tri ose u prostoru) efektivnih (RMS) vrednosti;
- merenje prostornih komponenata (Ex, Ey, Ez, Bx, By, Bz);

- merenje vršnih (peak) vrednosti;
- merenje učestanosti (frekvencije).



Slika 3. Analizator elektromagnetskog polja model EFA 300

Na slici 3 je prikazan izgled merila sa komponentama koje čine merni sistem. Sonda za merenje jačine električnog polja je na slici 3 označena kao "E-sonda" a sonda za merenje magnetske indukcije kao "B-sonda".

Detektor služi za memorisanje i prikaz izmerene vrednosti jačine električnog polja ili magnetske indukcije na displeju i za izbor funkcije merenja (opseg, vrsta filtera, izbor ose merenja, RMS ili peak vrednost). U kućištu detektora integrisana je i interna sonda za merenje magnetskog polja (interna B-sonda). Interna B-sonda ne odgovara zahtevima standarda IEC 61786:1998 jer ima neodgovarajuće fizičke dimenzije i manju preciznost pa se ona ne koristi za merenja magnetske indukcije.

Za merenje jačine električnog polja koriste se E-sonda i detektor koji se povezuju preko optičkog kabla. E-sonda je oblika kocke, dimenzija 105 mm x 105 mm x 105mm i ima sopstveno napajanje tako da je omogućen njen autonoman rad i bez prisustva rukovaoca, ako je to potrebno. Konstrukcija i karakteristike zadovoljavaju zahteve standarda IEC 61786:1998.



Slika 4 Merenje ispod nadzemnog voda

E-sonda se unosi u električno polje na postolju od izolacionog materijala (sl. 4). U kućištu sonde je smešten senzor za merenje na kapacitivnom principu što omogućava merenje kapacitivne struje koja je srazmerna električnom polju. Senzor predstavljaju tri pločasta kondenzatora, postavljena normalno (ortogonalno) u prostoru sonde. Svaki kondenzator čine dve međusobno izolovane provodne ploče na određenom rastojanju. Ortogonalnim postavljanjem kondenzatora u sondi omogućeno je istovremeno merenje komponenta vektora električnog polja. Efektivna (srednja geometrijska) vrednost jačine električnog polja je jednaka geometrijskoj sredini svoje tri komponente.

Merenje magnetskog polja zasniva se na merenju indukovanog napona u namotajima B-sonde. B-sonda je sfernog oblika, površine 100 cm². U sondi se nalaze tri merna kalema postavljena međusobno normalno (ortogonalno) u prostoru, tako da omogućavaju izotropsko merenje efektivne (RMS) vrednosti magnetske indukcije istovremeno u sve tri ose u bilo kojoj tački u prostoru. Ovakvim rasporedom kalemova obezbeđuje se merenje koje je nezavisno od položaja sonde u odnosu na pravac i smer vektora magnetskog polja. Na osnovu napona indukovanog u mernim kalemovima sonde detektor izračunava efektivnu vrednost magnetske indukcije. Konstrukcija i karakteristike B-sonde zadovoljavaju zahteve standarda IEC 61786:1998.

Navedene karakteristike uređaja EFA 300 ga čine složenim merilom koje je primenljivo za detaljnu analizu elektromagnetskog polja.

7. ZAKLJUČAK

Za merenje električnog i magnetskog polja neophodno je pridržavati se metoda navedenih u tački 2, odnosno koristiti merila koja ispunjavaju zahteve navedene u tačkama 3, 4 i 5, sve u skladu sa standardima IEC 61786:1998 i IEEE Std 644-1994. Institut "Nikola Tesla" koristi opisana merila, čije su karakteristike detaljno opisane u poglavlju 6, i sa kojima je izvršio veliki broj merenja u okolini i unutrašnjosti svih transformatorskih stanica 400 kV, 220 kV i 110 kV koje pripadaju JP Elektromreža

Srbije, kao i u okolini nekoliko desetina elektroenergetskih objekata koji su u sastavu JP Elektroprivreda Srbije.

Merila su redovno etalonirana i kontrolisana u skladu sa zahtevima sistema kvaliteta Laboratorije za ispitivanje i etaloniranje Instituta.

Laboratorija za ispitivanje i etaloniranje u okviru Instituta je akreditovana od strane Akreditacionog tela Srbije čime je priznata kompetentnost u oblasti merenja i ispitivanja elektromagnetskog polja industrijske frekvencije.

LITERATURA

- [1] IEC 61786:1998, "Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings - Special requirements for instruments and guidance for measurements".
- [2] IEEE Std 644-1994, "IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines".
- [3] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", Health Physics, Volume 74, Number 4, April 1998.
- [4] Aleksandar Pavlović, "Uticaj električnog i magnetskog polja industrijske učestanosti objekata JP EPS na životnu sredinu, elektrodistribucije ", Studija urađena za JP EPS, Elektrotehnički Institut Nikola Tesla, decembar 2009.

Abstract: The paper presents electric and magnetic field measurement methods according to actual international standards IEC 61786:1998 and IEEE 644-1994 which describes uniform procedures for the measurement of power frequency electric and magnetic fields from alternating current overhead power lines.

Key words: *electric field, magnetic field, ...*

ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD STRENGTH MEASUREMENT METHODS

Momcilo Petrovic, Dejan Hrvic, Vojin Kostic
Electrical Engineering Institute Nikola Tesla, Belgrade