

Mjerenje EMI kućanskih uređaja

Tolić, Perica

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:244469>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni studij

MJERENJE EMI KUĆANSKIH UREĐAJA

Završni rad

Perica Tolić

Osijek, 2016.

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1 Opis zadatka seminarskog rada | 2 |
| 2. FIZIKALNE OSNOVE ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA | 2 |
| 2.1. Nastanak elektromagnetskog vala | 3 |
| 2.2 Radiovalovi | 5 |
| 2.3. Elektromagnetska interferencija..... | 5 |
| 3.LABORATORIJSKA MJERENJA..... | 7 |
| 3.1. Definiranje parametara uređaja | 8 |
| 3.1.1 Rad u laboratoriju..... | 10 |
| 4. OBRADA REZULTATA | 12 |
| 4.1. Prikaz signala na analizatoru spektra | 12 |
| 4.2. Analiza rezultata..... | 16 |
| 5. ZAKLJUČAK | 25 |
| 6. POPIS KORIŠTENE LITERATURE | 26 |
| SAŽETAK..... | 27 |
| ABSTRACT | 27 |
| ŽIVOTOPIS | 29 |
| PRILOZI..... | 30 |

1. UVOD

Naširoko je poznato kako svi električni odnosno elektronički uređaji emitiraju elektromagnetsku energiju. To je činjenica koja je predvidiva, te stoga svi proizvođači uređaja, koji u nekom od svojih procesa koriste električnu energiju, moraju obratiti posebnu pozornost na elektromagnetsko zračenje prilikom projektiranja samog uređaja. Ukoliko je EM (elektromagnetsko) zračenje prejako može se dogoditi da uređaj interferira odnosno onemogućuje rad drugih uređaja koji se nalazi u okolini promatranog uređaja a također može biti štetno i po zdravlje čovjeka. Možda i najpoznatija svjetska nesreća uslijed elektromagnetske interferencije je ona američkog ratnog nosača zrakoplova iz 1967. kada je uslijed problema s elektronikom ispaljena raketa unutar broda uz velike materijalne i ljudske žrtve. Isto tako često slušamo o štetnom utjecaju mobilnih uređaja na ljudsko zdravlje. Ovdje je spomenut jedan od ključnih pojmova ovog završnog rada: elektromagnetska interferencija. Definicija EM interferencije bi bila da je to bilo koji elektromagnetski poremećaj koji prekida, sprječava ili na neki drugi način degradira rad i parametre uređaja ili sustava (opreme) koji se nalazi u okruženju izvora EMI [1]. Može se pojaviti (inducirati) nenamjerno ili kao rezultat lažne emisije ili osjeljive emisije te se također može pojaviti (inducirati) namjerno u obliku nekog oblika elektroničkog ratovanja ili terorizma [1]. Da bi se spriječila EM interferencija uređaji moraju biti testirani prije puštanja u prodaju u odnosu na normativima propisane granice za siguran rad. Najčešći mehanizmi zaštite koji se primjenjuju na uređaj su oklapanje i uzemljenje.

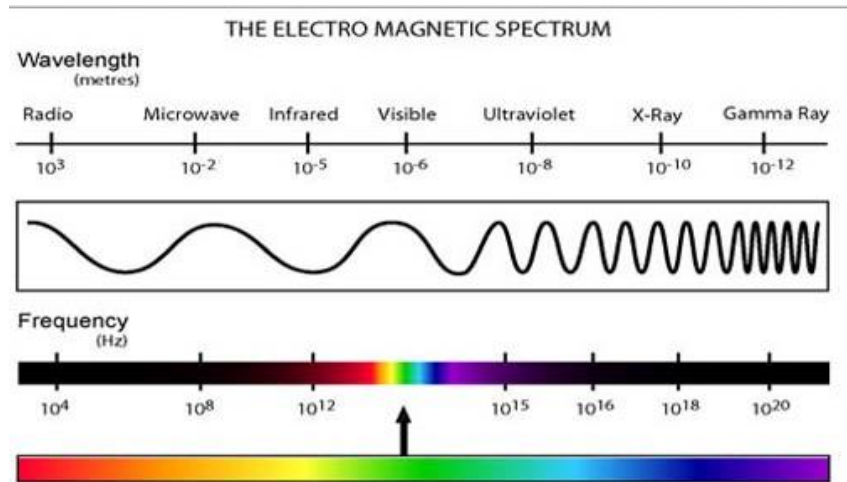
Upravo će testiranje kućanskih uređaja na EM interferenciju biti glavna tema završnog rada. Mjerenje će se provesti na dvije vrste po želji u dogovoru s mentorom odabranih kućanskih uređaja (za ovaj slučaj odabrani su električno kuhalo i sušilo za kosu), a obaviti će se u posebno opremljenom laboratoriju za visokofrekvencijska mjerenja budući da se radi o opsegu frekvencija 30 MHz-1GHz. Nakon uvodnog dijela u kojem je ukratko opisana problematika zadatka pozabavit ćemo se nekom teorijskom osnovom teme, opisat ćemo cijeli postupak mjerenja, prikazati rezultate i analizu, potkrijepiti rezultate slikama te na kraju zaključiti o uspješnosti izvedenog mjerenja kao i o karakteristikama samih uređaja. Detaljniju analizu teorije o nastanku elektromagnetskog vala proveo je moj mentor doc.dr.sc Slavko Rupčić u skriptama za potrebe predavanja.

1.1 Opis zadatka seminarskog rada

Kroz ovaj završni rad ispitat će se količine zračenja kojeg rasprušu kućanski uređaji odabrani u dogovoru s mentorom. Mjerenja trebaju biti izvršena prema odgovarajućoj normi a potom rezultati uspoređeni sa zadanim granicama, te prema analizi zaključiti da li je uređaj siguran za korištenje u okolini za koju je namijenjen. Analiza se treba provesti u računalnom alatu Microsoft Excelu, a mjerenja treba poduprijeti slikama mjernih signala s spektralnog analizatora budući da je taj uređaj korišten za prikaz signala.

2. FIZIKALNE OSNOVE ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA

U uvodu smo nešto rekli o problemima elektromagnetskog zračenja te načinima da se suzbiju negativni utjecaji međutim nismo pobliže pojasnili sam pojam zračenja. Elektromagnetsko zračenje je fizikalna pojava širenja električnih i magnetskih valova, ili da budemo precizniji fotona. Fotoni su čestice koje ne sadrže nikakvu masu međutim sadrže energiju a gibaju se brzinom svjetlosti. Elektromagnetski valovi se mogu svrstati u elektromagnetski spektar sve od područja najmanje frekvencije što bi odgovaralo području tehničke izmjenične struje pa sve do najveće frekvencije odnosno najmanje valne duljine i to bi odgovaralo veličini kozmičke zrake. Potrebno je naglasiti da je energija valova tim veća što je veća frekvencija titraja valova odnosno manja valna duljina. Dvije su osnovne podjele elektromagnetskog spektra: ionizirajući i neionizirajući dio. Svi valovi koji uslijed velike energije mogu izbaciti elektrone iz ljuske atoma i tako od električki neutralne čestice načiniti nabijenu nazivaju se ionizirajući. Tome dijelu spektra pripadaju rendgenske, gama te kozmičke zrake dok neionizirajućem pripadaju radiovalovi, mikrovalovi, vidljiva svjetlost, infracrvena te ultraljubičaste zrake (slika 2.1). Zbog mnogo manje energije koju posjeduju valovi neionizirajućeg spektra imaju mnogo manje štetan utjecaj na okolinu od ionizirajućih.[2]



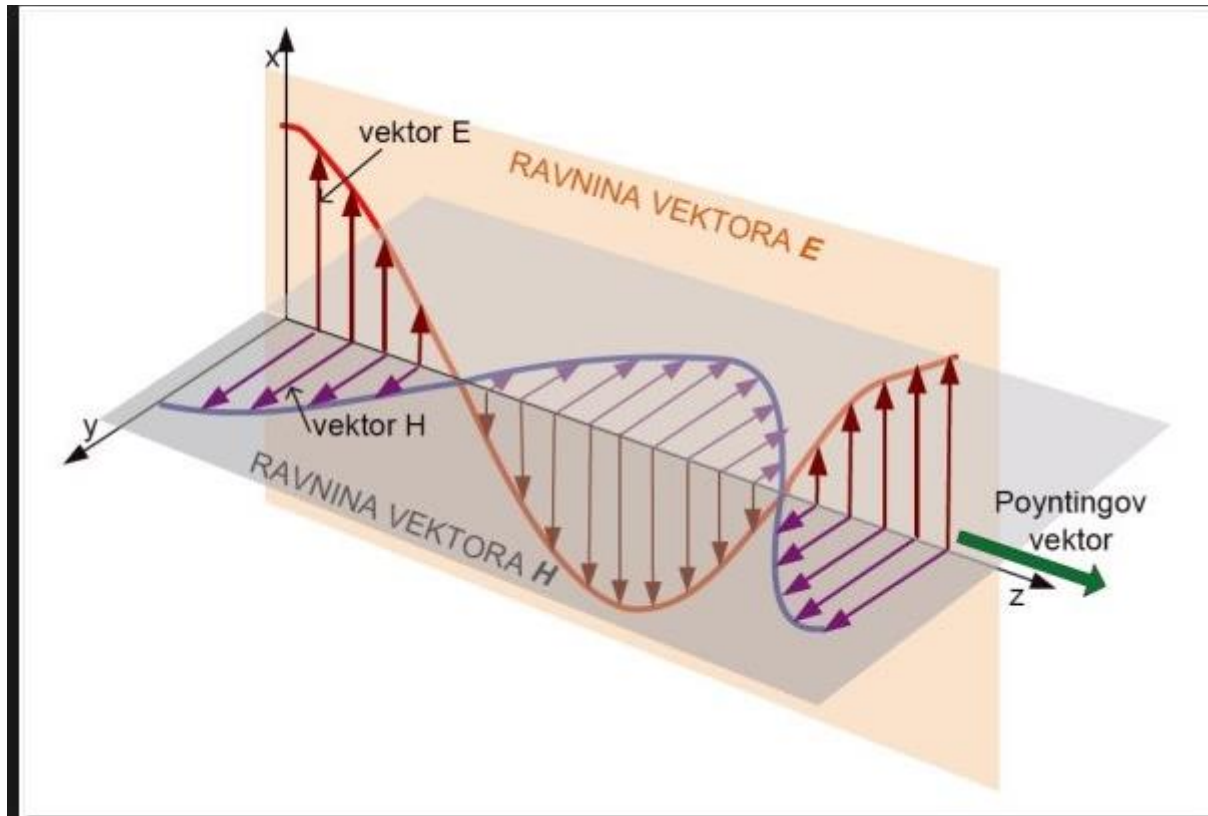
Slika 2.1. Dijelovi elektromagnetskog spektra [7]

U ovom završnom bit će obrađen samo dio neionizirajućeg spektra valova, točnije dio koji spada pod radiovalove. No prije nego što uđemo u neku dublju analizu radiovalova trebalo bi objasniti samo nastajanje elektromagnetskih valova.

2.1. Nastanak elektromagnetskog vala

Prirodni elektromagnetski valovi, odnosno njihovi utjecaji su vidljivi svuda oko nas. Najosnovniji primjer je dolazak Sunčeve svjetlosti na Zemlju budući da EM val ima mogućnost širenja kroz vakum, tj. prazan prostor. Kao što smo već naveli, u osnovi val je snop fotona koje se gibaju velikim brzinama. [3]

Međutim kakva je priča za umjetno stvoreni elektromagnetski val u uređajima? Kroz povijest je otkriveno da takav val nastaje uslijed stvaranja magnetskog polja kojim teče struja dok se na krajevima vodiča kojim teče struja stvara električni napon. Uslijed tih pojava dolazi do međusobnog prožimanja električnog i magnetskog polja te se dobije novo polje koje je zajedničkim imenom nazvano elektromagnetsko polje. [3] Prikaz nastajanja elektromagnetskog polja prikazan je na slici 2.2



Slika 2.2. Prikaz elektromagnetskog vala u 3D ravnini [8]

Na slici 2.2 vidimo prikaz trodimenzionalnog prostora kojeg čine međusobno okomiti jedan na drugog vektor magnetskog i električnog polja te njihov vektorski umnožak elektromagnetsko polje. Poyntingov vektor na slici predstavlja snagu elektromagnetskog polja po jedinici površine.

Pojave vezane uz elektromagnetsko polje najpotpunije od svih objasnio je Maxwell povezavši ih u četiri osnovne matematičke jednačbe, poznate kao Maxwellove jednačbe i slobodno se mogu zvati temeljima elektrotehnike. Ukratko, on je zaključio kako su silnice magnetskog polja zatvorene krivulje, kako silnice električnog polja imaju svoj početak i kraj u električnim nabojima, dok promjenjivo magnetsko i električno polje međusobno uzrokuju jedno drugo. Dakle, uklatko bi mogli rezimirati Maxwellovu teoriju o elektromagnetskom valu koji se sastoji od periodički promjenjivih električnog i magnetskog polja koji titraju u fazi sa što prikazuje slika 2.2 a međusobno su okomiti jedan na drugog, dok je njihov produkt okomit na smjer oba polja što govori o transverzalnosti vala. Brzina tog vala je ovisna o sredstvu kojim se širi (u vakumu iznosi $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$). [4]

2.2 Radiovalovi

Radiovalovi obuhvaćaju dio elektromagnetskog spektra koji se nalazi unutar valnih duljina od nekoliko kilometara pa sve do 0.3 metara, odnosno frekvencije 30kHz-30GHz. Ovim dijelom spektra se služe televizijski kao i radio odašiljači, međutim ono što će biti promatrano u završnom radu su radiovalovi čiji su izvor kućanski uređaji. Također najviše bežičnih mreža koristi upravo radio frekvencije kao i bluetooth tehnologija. Dakle vidimo da radiofrekvencijski spektar nalazi jako veliku primjenu u komunikacijskim mrežama kao i u kućanskim uređajima, aparatima, alatima. Ali zašto je to tako? Vjerojatno najbolji odgovor na ovo pitanje leži u činjenici da u odnosu na druge spektre, ponajprije infracrveni, radiovalovi mogu prolaziti kroz materijale, dakle nema ograničenja optičke vidljivosti, a to donosi prijenos energije na veće udaljenosti te veću brzinu komunikacije [5]. Iz ovoga se može zaključiti kako povećanje frekvencije smanjuje sposobnost prolaska signala kroz materijale.

2.3. Elektromagnetska interferencija

Kao što smo već u uvodu rekli elektromagnetska interferencija, odnosno skraćeno EMI, je poremećaj uzrokovan elektromagnetskim smetnjama koji utječe na rad drugih uređaja, prijenosnih kanala ili sustava. Čest je naziv i radiofrekvencijska interferencija (RFI) ukoliko su smetnje unutar dijela spektra obuhvaćenog radio valovima. EMI je česta pojava u svakidašnjem životu čovjeka. Neki najosnovniji primjeri elektromagnetske interferencije su smetnje prilikom prijena TV ili radio signala ili primjerice šum koji dopire sa zvučnika mobitela prilikom uspostavljanja poziva. Postoje dva načina nastajanja elektromagnetske interferencije: fizičkim kontaktom između izvora smetnji i uređaja obuhvaćenog smetnjama, te zračenjem gdje ne postoji mehanička veza između izvora i okoline. Izvori EMI-a mogu biti prirodni tipa munje ili umjetni (uglavnom izazvano zbog priključenja većih opterećenja na dio mreže). Uređaje koji se nalaze u njihovom okruženju sprečavaju u normalnom radu, a može se pojaviti slučajno ili kao uzrok nekog oblika elektroničkog ratovanja. EMI je najviše ovisna o načinu emitiranja EM zračenja, imunitetu sustava i uređaja koji su potencijalne „žrtve“ te stupnju povezivanja izvora i okoline. Kao što smo već rekli izvori interferencije su uglavnom veći potrošači tipa hladnjaci perilice, električni motori..., dok su „žrtve“ uglavnom osjetljivije komponente poput mikroporcesora, kućanskih uređaja, računala, pa i sam čovjek. Da bi se sprječila veća šteta na

2. Fizikalne osnove elektromagnetskog zračenja

osjetljivijim komponentama koriste se različite tehnike zaštite. Najčešće su u primjeni zemljenja te oklapanja (kojim se zračena energija potiskuje u uređaj). [3 }

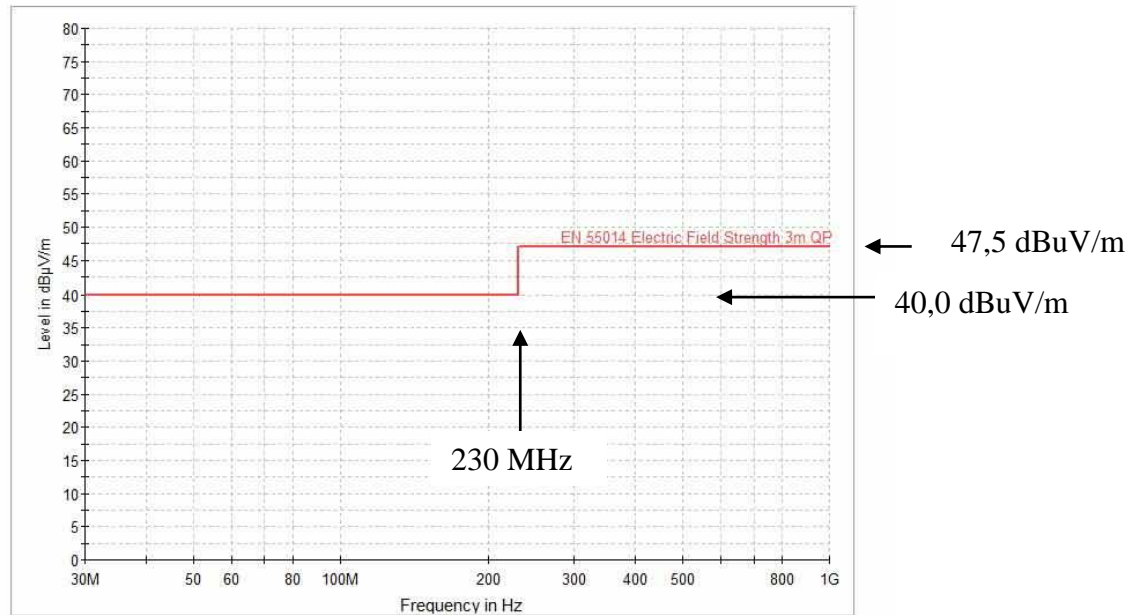
Da li neki uređaj unosi interferenciju u okoliš određuje se mjerenjem prema uputama iz nekog od normativa unutar kojeg su zadane i dopuštene granice. Za svaki uređaj koji zadovoljavajuće funkcionira u svom okruženju bez unošenja poremećaja, prema sebi ili drugom uređaju u okolini može se reći da je elektromagnetski kompatibilan. To je upravo ono što ćemo mi odrediti kroz mjerenja

3.LABORATORIJSKA MJERENJA

Budući da kod mjerenja EMI uređaja nikada nije poznato kakav ćemo signal dobiti, pristup je različit nego kod ostalih mjerenja u RF području. Svi uređaji su različiti a svaki zahtjeva posebne postupke i alate prilikom mjerenja te nam stoga za mjerenje treba dobra oprema.

Za prikaz signala odabran je uređaj koji se najčešće koristi u praksi za mjerenje EMI-a, spektralni analizator koji služi za mjerenje amplitude signala u frekvencijskoj domeni za zadani frekvencijski opseg. Osnovni parametri koje je potrebno unijeti u spektralni analizator prilikom izvođenja mjerenja su start i stop frekvencija, vrijeme pomaka, video širina opsega, rezolucijska širina opsega te tip filtra. [1]

Prije samog mjerenja treba potrebno je napraviti pripremu i to u obliku definiranja ulaza, aktivnosti i izlaza. Sada ćemo podrobnije objasniti što podrazumijeva pojedina stavka. Definiranje ulaza podrazumijeva definiranje zahtjeva na mjerenje, odnosno da budemo precizniji, to uključuje informacije kao što su definiranje grupe EMI uređaja u koju spada testirani uređaj, granične vrijednosti koje moraju biti zadovoljene za tu grupu uređaja, norme koje moraju biti zadovoljene i koje između ostaloga zadaju prethodno navedene granične vrijednosti, potom željeno mjerno okruženje te načine rada uređaja, predložene metode mjerenja, potom identifikacija nekih osnovnih podataka o uređaju kao što su dimenzija, težina, zahtjevi za sigurnost, rukovanje. Nakon određivanja gore navedenih zahtjeva posebno je odrediti normu prema čijim ćemo uputama mjerenje izvesti. Za ovaj slučaj odabrana je EUROPSKA NORMA: EN 55014 CISPR 14 – Electromagnetic compatibility – Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus – Part 1. Treba napomenuti da ovo nije jedina norma koja opisuje mjerenje elektromagnetske komaptibilnosti kućanskih uređaja, međutim za ovaj put odabrana je gore navedena. Unutar pravilnika propisane su upute za mjerenje unutar frekvencijskog opsega 150kHz do 1GHz. Granice s kojim ćemo uspoređivati dobivene rezultate vidljive su na slici 3.1.[1]



Slika 3.1. Prikaz granica mjernih rezultata prema
EUROPSKOJ NORMI EN 55014-1:2006 [1]

Na slici vidimo kako granica prema normi ne zauzima cijelo vrijeme jednu vrijednost. Budući da spektar radiovalova iznosi 30 MHz do 1 GHz to je dio koji ćemo mi promatrati. I sa slike 3.1 jasno vidimo kako do frekvencije 30MHz amplituda može imati maksimalnu dopušenu vrijednost u iznosu od 40,0 dBuV/m dok je od te frekvencija pa na dalje maksimalna dopuštena vrijednost amplitude 47,5 dBuV/m. Bitno je napomenuti kako norma propisuje da se za ovaj dio elektromagnetskog spektra mjerenja vrše na udaljenosti 3 metra antene od ispitivanog uređaja pa tako i ove granične vrijednosti odgovaraju toj udaljenosti. Promjena udaljenosti zahtjevala bi i promjenu granica. [5]

Uređaji na kojima su izvršena mjerenja su sušilo za kosu i električno kuhalo za vodu pa ćemo posebno jednog po jednog analizirati.

3.1. Definiranje parametara uređaja

Prvi uređaj koji će danas biti analiziran je sušilo za kosu tipa SalonDry Pro- Phillips, snage 2200 W, koje radi s 2 brzinska moda (0-isključeno, 1- prva brzina, 2- maksimalna brzina) te 3 grijaća moda gdje je prvi mod hlađenje a druga 2 grijanje. Maksimalna dimenzija uređaja je 27.5 cm.

Drugi uređaj na kojem će se vršiti analiza će biti električno kuhalo tipa WK 8276- Zanussi, snage 1850-2200 W s jednim radnim modom. Maksimalna dimenzija je 40 cm.

Kao što je gore navedeno potrebno je definirati stavke ulaza, aktivnosti i izlaza.

Ulaz

-Kako je definirano normom EN 55014-1:2006 mjerenje se izvodi u frekvencijskom mjernom opsegu 30 MHz- 1 GHz. Te dvije vrijednosti su ujedno start i stop frekvencija na spektralnom analizatoru. Mjerenje se izvodi na udaljenosti 3 metra od testiranog uređaja.

Aktivnosti

-Promatrani odnosno testirani uređaj se postavlja na nevodljivu ploču u laboratoriju u kojem postoji elektromagnetski odjek na visini 80 cm od tla. Antena se postavlja na visinu od 1.5 m od tla te se izvodi mjerenje pri kojem se antena zakreće za 120 stupnjeva i pohranjuju se rezultati za svaki pomak.

Izlaz

-Detaljno opisani plan mjerenja:

1. Ispitivani uređaj se postavlja na nevodljivu površinu na visini 80 cm od podloge u laboratoriju u kojem postoji elektomagnetski odjek*
2. Antena se postavlja na udaljenosti 3 metra od ispitivanog uređaja na rotator i tronožac na visini 1,5 metara od tla
3. Budući da se antena može rotirati u punom krugu, zabilježavaju se vrijednosti pri pomaku od 120 stupnjeva, a iz njih se po formuli određuje jedinstvena vrijednost.
4. Izvodi se mjerenje pri svim kombinacijama brzine i grijanja ukoliko takva kombinacija postoji.
5. Električno kuhalo je prilikom izvođenja mjerenja do pola napunjeno vodom kako i nalaže norma

Napomene prije samog izvođenja mjerenja:

U zadanom frekvencijskom opsegu imamo tri različite grupe signala: 88-108 MHz je područje FM radiofuzije, u dijelu 470-821 MHz imamo područje TV radiofuzije i LTE dok u području 880-915 MHz i 925-960 MHz imamo područje GSM900 i UMTS900. Mjerenje će se izvesti na način da se prvo izmjeri signal bez uključenog uređaja a potom s uključenim uređajem te je ona razlika koja se dobije zapravo utjecaj uređaja na okolinu*. Ukoliko to zračenje prelazi granice prema normi može se doći do zaključka kako uređaj nije siguran za korištenje.

*Nije prema normi EN 55014-1:2006

Druga napomena se odnosi na činjenicu kako spektralni analizator mjeriveličine u dB μ V dok su granice zadane u dB μ V/m. Ovo se rješava matematičkom jedndžbom:

$$V_{emi}(dB\mu V) = E(dB\mu V / m) - AF(dB / m) + Gain(dB) - Loss(dB) \quad (3.1.)$$

Ako uzmemo u obzir pretpostavku da je dobitak Gain jednak iznosu AF+Loss dobijemo pojednostavnjenje izraza:

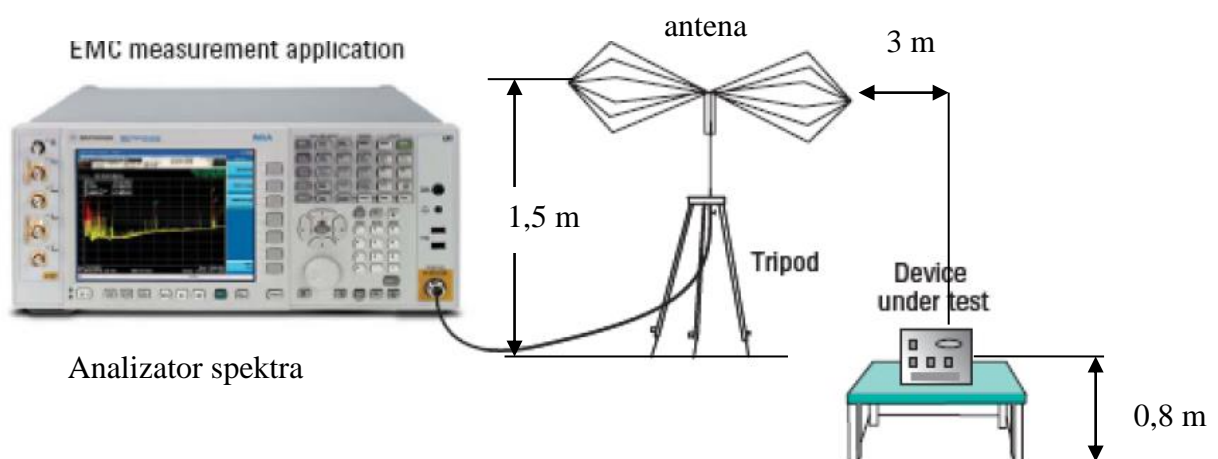
$$V_{emi}(dB\mu V) = E(dB\mu V / m) \quad (3.2.)$$

3.1.1 Rad u laboratoriju

Nakon što smo definirali sve bitne parametre, odnosno metode i uvjete mjerenja potrebno je navesti uređje kojim ćemo se služiti kroz mjerenje. Zbog lakše upotrebe uređaj koji je testiran ćemo pisati kraticom DUT (device under test). Shema spoja treba biti kao na slici 3.2.

Kroz ovu vježbu koristit ćemo sljedeću opremu:

- spektralni analizator HMS-X sa EMC opcijom, Rhode Schwarz (Hameg)
- precizna konusna dipol antena PCD 8250
- DUT – sušilo za kosu Salon Power, Grundig, 2000 W
- izolacijski transformator za napajanje osciloskopa
- koaxialni kabel za spoj antene i spektralnog analizatora.



Slika 3.2. Shema povezivanja antene i mjernog uređaja. [1]

Snimanje karakteristike prvog uređaja

1. Prije snimanja karakteristike potrebno je prema shemi na slici 3.2. spojiti svu mjernu opremu.
2. Na spektralnom analizatoru potrebno je postaviti početne uvjete rada:
 - Frekvencijski opseg: 30 MHz - 1GHz
 - Mod rada: Sweep Mod*
 - Rezolucija RBW i VBW: 100 kHz*
3. Korištenjem gore opisanog spektralnog analizatora potrebno je izmjeriti amplitudu signala kojoj odgovara vrijednost jakosti električnog polja pri stalnoj visini antene i DUT-a zakrećući antenu za 120 stupnjeva.
4. Mjerenja se izvode kombinacijama različitih modova grijanja i brzine ukoliko postoje, a potom se pohrane podaci dobiveni u .CSV i .BMP formatu.
5. Podaci se analiziraju prema uputama te se na njihovom temelju donosi zaključak.

4. OBRADA REZULTATA

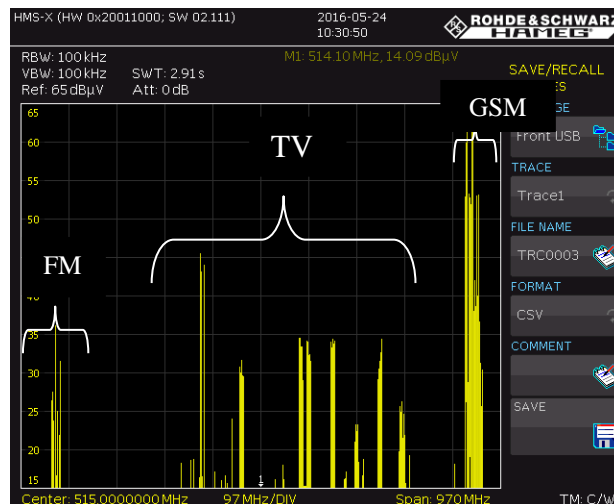
Odlomak koji obuhvaća obradu signala bit će podijeljen na dva dijela u kojem će prvi obuhvatiti slikovite prikaze signala dok će u drugom biti obrađeni podaci iz tablica

4.1. Prikaz signala na analizatoru spektra

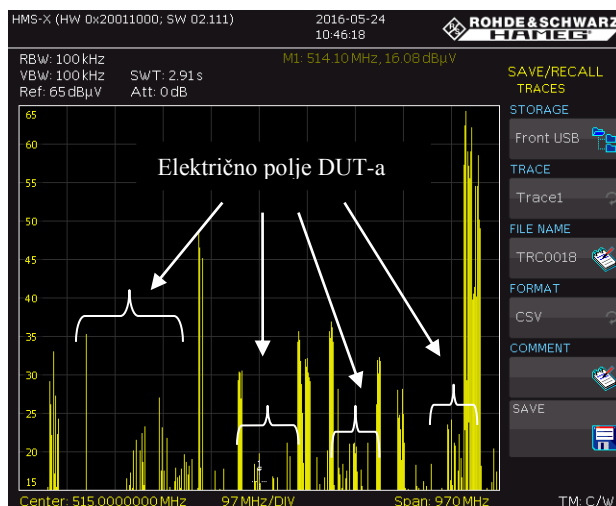
Prvo će biti prikazani signali dobiveni korištenjem sušila za kosu kao DUT-a. Budući da kod svakog mjerenja imamo 3 različite pozicije antene odlučili smo prikazati izgled osciloskopa samo za početnu poziciju (0°) dok su podaci preuzeti i obrađeni za sve 3 pozicije. Različitim kombinacijama došli smo do brojke od 6 različitih modova rada:

1. mod: brzina 1 grijanje 0
2. mod: brzina 2 grijanje 0
3. mod: brzina 1 grijanje 1
4. mod: brzina 2 grijanje 1
5. mod: brzina 1 grijanje 2
6. mod: brzina 2 grijanje 2

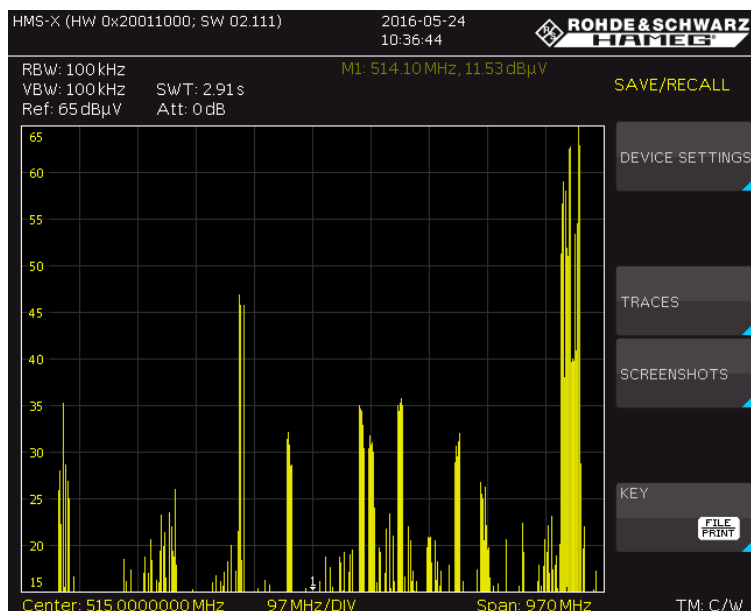
Uz navedenih 6 postoji i poseban mod rada koji zapravo predstavlja isključeni uređaj.



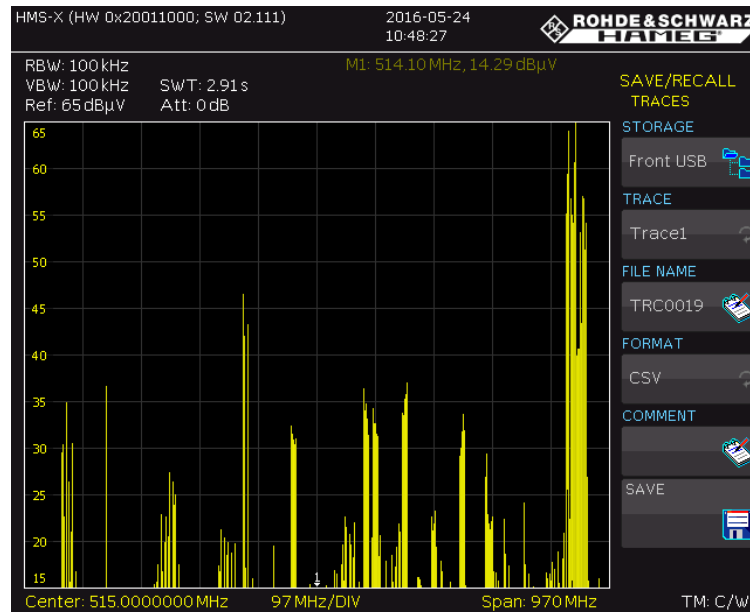
Slika 4.1. Frekvencijski spektar signala bez uključenog uređaja (sušila za kosu)



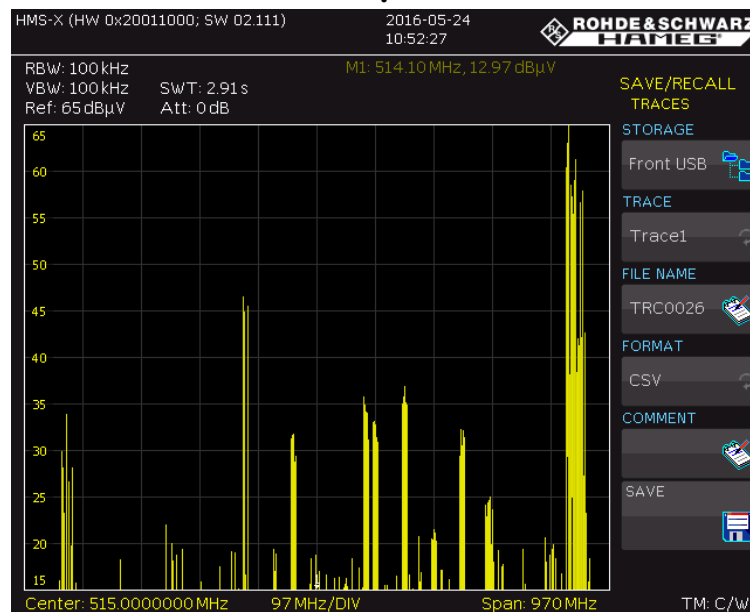
Slika 4.2. Frekvencijski spektar signala u modu 1 sušila za kosu



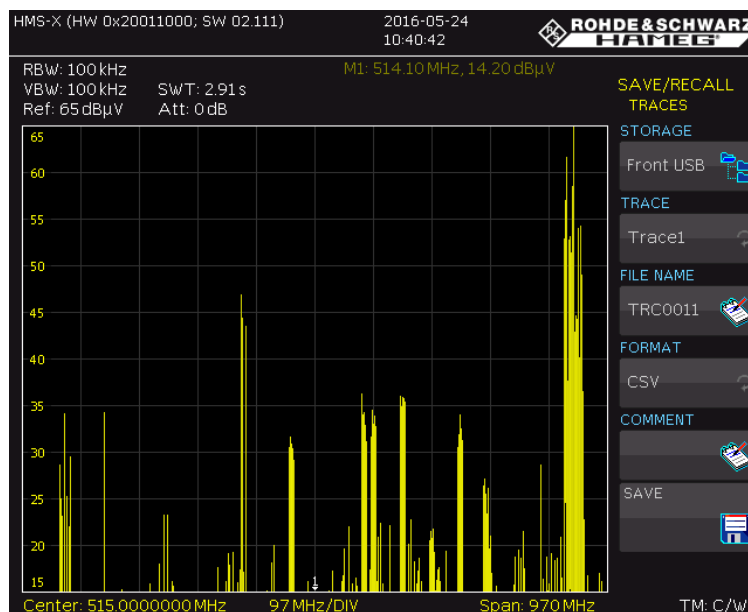
Slika 4.3. Frekvencijski spektar signala u modu 3 sušila za kosu



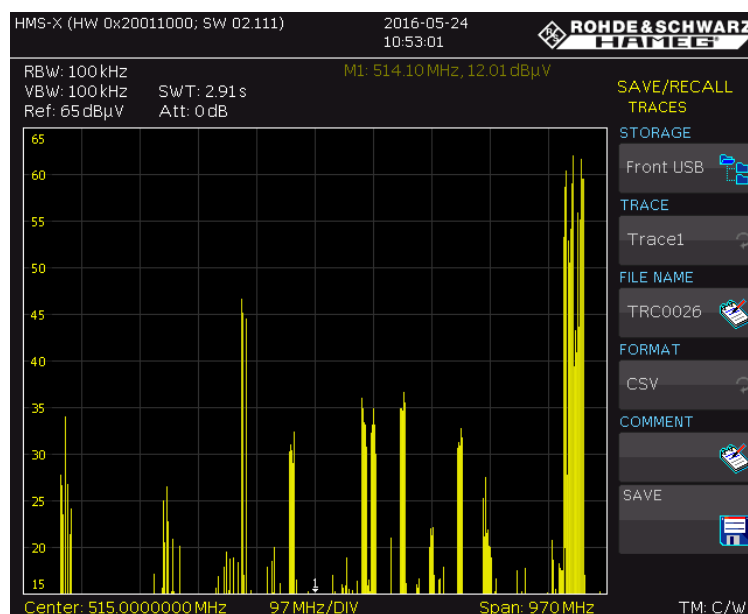
Slika 4.4 Frekvencijski spektar signala u modu 5 sušila za kosu



Slika 4.5. Frekvencijski spektar signala u modu 2 sušila za kosu

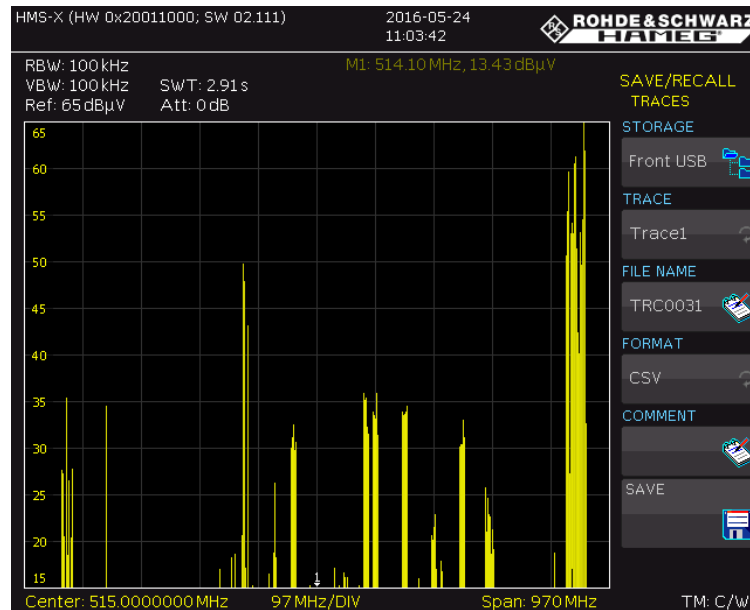


Slika 4.6. Frekvencijski spektar signala u modu 4 sušila za kosu



Slika 4.7. Frekvencijski spektar signala u modu 6 sušila za kosu

Sve gore naznačene slike odgovaraju mjerenjima sušila za kosu. Kod električnog kuhala snimljena je samo jedna slika budući da ima samo 2 moguća položaja preklopke od kojih je jedan već snimljen prilikom početnih uvjeta, tj. bez uključenog promatranog uređaja.



Slika 4.8. Prikaz signala na spektralnom analizatoru pri uključenom električnom kuhalu

4.2. Analiza rezultata

Amplitude signala su pohranjene u memoriji u obliku excel tablica. Budući da je mjerenje izvršeno za tri različita kuta antene potrebno je korištenjem formule 4.2. dobiti zajedničku amplitudu od ta 3 mjerenja. Međutim, budući da je očitavanje izvršeno u omjernoj jedinici odnosno dBuV potrebno je prethodno pretvoriti jedinice za jačinu signala iz dBuV u uV odnosno napon (u kraj volti predstavlja prefiks mikro). To radimo korštenjem formule 4.1.

$$E'_i = 10^{\frac{E_i}{20}} \rightarrow E'_i(uV), E_i(dBuV), i = x, y, z \quad (4.1)$$

$$E' = \sqrt{\sum_{i=x}^z (E'_i)^2} = \sqrt{(E'_x)^2 + (E'_y)^2 + (E'_z)^2} , (uV) \quad (4.2)$$

Nakon što je određena jedinstvena vrijednost amplitude svake frekvencije potrebno je iskazati vrijednost jakosti polja u dBuV kako bi se mogla izvršiti usporedba s graničnom vrijednosti te odrediti da li uređaj zadovoljava zadane granice. to se izvodi prema formuli 4.3. koja je zapravo inverz formule 4.1.

$$E = 20 \log(E') \rightarrow E'(uV), E (dBuV) \quad (4.3)$$

Unutar tablica 4.1. do 4.7. se unosi 10 amplituda za različite frekvencije izvan opsega frekvencija spomenutih u napomeni postojećih interferirajućih komunikacijskih sustava(FM, TV, GSM900-UMTS900)

Tablica 4.1. Izmjerene i izračunate vrijednosti amplituda signala pri mjerenju EMI (električnog polja, odnosno ekvivalentnog električnog napona) sušila za kosu u modu 1

| Redni broj | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Frekvencija (MHz) | 30,0 | 163,9 | 257,0 | 290,0 | 355,9 | 445,2 | 850,6 | 961,2 | 986,4 | 996,1 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) bez DUT | 11,2 | 10,2 | 13,3 | 9,7 | 10,4 | 9,7 | 9,6 | 10,7 | 9,4 | 9,7 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) bez DUT | 10,7 | 10,0 | 11,3 | 10,7 | 9,9 | 10,3 | 9,1 | 15,7 | 9,3 | 9,2 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) bez DUT | 10,8 | 11,0 | 12,5 | 10,2 | 10,5 | 10,8 | 9,7 | 20,3 | 8,4 | 8,8 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) bez DUT | 3,6 | 3,2 | 4,6 | 3,1 | 3,3 | 3,1 | 3,0 | 3,4 | 3,0 | 3,1 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) bez DUT | 3,4 | 3,2 | 3,7 | 3,4 | 3,1 | 3,3 | 2,8 | 6,1 | 2,9 | 2,9 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) bez DUT | 3,5 | 3,6 | 4,2 | 3,2 | 3,4 | 3,5 | 3,1 | 10,4 | 2,6 | 2,8 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) bez DUT | 6,1 | 5,8 | 7,2 | 5,6 | 5,7 | 5,7 | 5,2 | 12,6 | 4,9 | 5,0 |
| Iskazana vrijednost E (dBuV) bez DUT | 15,7 | 15,2 | 17,2 | 15,0 | 15,1 | 15,1 | 14,3 | 22,0 | 13,8 | 14,0 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) s DUT | 11,3 | 11,6 | 25,4 | 15,0 | 17,4 | 20,3 | 18,7 | 12,4 | 14,9 | 13,2 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) s DUT | 27,9 | 36,0 | 13,1 | 28,3 | 10,7 | 9,6 | 16,8 | 17,0 | 19,0 | 25,2 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) s DUT | 19,6 | 11,3 | 11,8 | 14,9 | 22,8 | 23,9 | 9,9 | 28,1 | 9,7 | 8,7 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) s DUT | 3,7 | 3,8 | 18,6 | 5,6 | 7,4 | 10,3 | 8,6 | 4,2 | 5,6 | 4,6 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) s DUT | 24,8 | 63,2 | 4,5 | 26,0 | 3,4 | 3,0 | 6,9 | 7,1 | 8,9 | 18,1 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) s DUT | 9,6 | 3,7 | 3,9 | 5,5 | 13,9 | 15,7 | 3,1 | 25,5 | 3,1 | 2,7 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) s DUT | 26,8 | 63,4 | 19,5 | 27,2 | 16,1 | 19,0 | 11,5 | 26,8 | 10,9 | 18,9 |
| Iskazana vrijednost E (dBuV) s DUT | 28,6 | 36,0 | 25,8 | 28,7 | 24,1 | 25,6 | 21,2 | 28,5 | 20,8 | 25,5 |
| Razlika $E_S - E_{BEZ}$ | 12,9 | 20,8 | 8,6 | 13,7 | 9,0 | 10,5 | 6,9 | 6,5 | 7,0 | 11,5 |
| Granična vrijednost prema EN 55014-1:2006 | 40,0 | 40,0 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 |
| Zadovoljava normu (da ili ne) | da | da | da | da | da | da | da | da | da | da |

Tablica 4.2. Izmjerene i izračunate vrijednosti amplituda signala pri mjerenju EMI (električnog polja, odnosno ekvivalentnog električnog napona) sušila za kosu u modu 2

| Redni broj | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Frekvencija (MHz) | 30,0 | 132,8 | 293,8 | 307,4 | 348,2 | 443,2 | 846,7 | 972,8 | 978,7 | 996,1 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) bez DUT | 11,2 | 10,2 | 10,2 | 10,1 | 9,2 | 15,9 | 9,6 | 9,0 | 10,1 | 9,7 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) bez DUT | 10,7 | 10,5 | 11,7 | 11,1 | 10,1 | 13,9 | 10,4 | 9,2 | 8,3 | 9,2 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) bez DUT | 10,8 | 10,5 | 10,6 | 10,7 | 10,3 | 16,2 | 9,4 | 10,0 | 10,6 | 8,8 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) bez DUT | 3,6 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 2,9 | 6,2 | 3,0 | 2,8 | 3,2 | 3,1 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) bez DUT | 3,4 | 3,3 | 3,9 | 3,6 | 3,2 | 5,0 | 3,3 | 2,9 | 2,6 | 2,9 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) bez DUT | 3,5 | 3,3 | 3,4 | 3,4 | 3,3 | 6,5 | 2,9 | 3,2 | 3,4 | 2,8 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) bez DUT | 6,1 | 5,7 | 6,1 | 5,9 | 5,4 | 10,3 | 5,4 | 5,1 | 5,3 | 5,0 |
| Iskazana vrijednost ukupne amplitude E (dBuV) bez DUT | 15,7 | 15,1 | 15,7 | 15,4 | 14,7 | 20,2 | 14,6 | 14,2 | 14,5 | 14,0 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) s DUT | 11,2 | 10,8 | 11,3 | 10,7 | 23,2 | 25,3 | 13,9 | 9,0 | 13,3 | 7,9 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) s DUT | 10,7 | 12,1 | 24,4 | 23,5 | 10,5 | 19,3 | 16,1 | 20,9 | 18,5 | 18,3 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) s DUT | 21,9 | 11,6 | 10,0 | 10,7 | 11,3 | 17,8 | 20,5 | 8,6 | 11,2 | 10,1 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) s DUT | 3,6 | 3,5 | 3,7 | 3,4 | 14,4 | 18,5 | 5,0 | 2,8 | 4,6 | 2,5 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) s DUT | 3,4 | 4,0 | 16,5 | 15,0 | 3,4 | 9,3 | 6,4 | 11,1 | 8,4 | 8,3 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) s DUT | 12,5 | 3,8 | 3,2 | 3,4 | 3,7 | 7,8 | 10,6 | 2,7 | 3,6 | 3,2 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) s DUT | 13,4 | 6,5 | 17,2 | 15,7 | 15,2 | 22,1 | 13,3 | 11,8 | 10,3 | 9,2 |
| Iskazana vrijednost ukupne amplitude E (dBuV) s DUT | 22,6 | 16,3 | 24,7 | 23,9 | 23,7 | 26,9 | 22,5 | 21,4 | 20,2 | 19,3 |
| Razlika $E_S - E_{BEZ}$ | 6,9 | 1,2 | 9,0 | 8,5 | 9,0 | 6,7 | 7,9 | 7,2 | 5,7 | 5,3 |
| Granična vrijednost prema EN 55014-1:2006 | 40,0 | 40,0 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 |
| Zadovoljava normu (da ili ne) | da | da | da | da | da | da | da | da | da | da |

Tablica 4.3. Izmjerene i izračunate vrijednosti amplituda signala pri mjerenju EMI (električnog polja, odnosno ekvivalentnog električnog napona) sušila za kosu u modu 3

| Redni broj | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Frekvencija (MHz) | 49,4 | 191,0 | 247,3 | 288,0 | 355,9 | 410,2 | 454,9 | 831,2 | 856,4 | 922,4 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) bez DUT | 10,2 | 10,4 | 9,9 | 9,7 | 10,4 | 10,0 | 9,7 | 8,6 | 9,1 | 9,5 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) bez DUT | 10,3 | 10,9 | 10,2 | 11,3 | 9,9 | 10,3 | 10,9 | 8,6 | 9,9 | 24,3 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) bez DUT | 15,4 | 11,1 | 11,5 | 11,5 | 10,5 | 9,3 | 9,9 | 9,6 | 9,7 | 23,3 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) bez DUT | 3,2 | 3,3 | 3,1 | 3,0 | 3,3 | 3,2 | 3,1 | 2,7 | 2,9 | 3,0 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) bez DUT | 3,3 | 3,5 | 3,2 | 3,7 | 3,1 | 3,3 | 3,5 | 2,7 | 3,1 | 16,4 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) bez DUT | 5,9 | 3,6 | 3,8 | 3,8 | 3,4 | 2,9 | 3,1 | 3,0 | 3,1 | 14,5 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) bez DUT | 7,4 | 6,0 | 5,9 | 6,1 | 5,7 | 5,4 | 5,6 | 4,9 | 5,2 | 22,1 |
| Iskazana vrijednost ukupne amplitude E (dBuV) bez DUT | 17,4 | 15,6 | 15,4 | 15,6 | 15,1 | 14,6 | 15,0 | 13,8 | 14,4 | 26,9 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) s DUT | 20,5 | 15,6 | 12,1 | 18,4 | 14,8 | 13,0 | 10,0 | 11,6 | 20,0 | 17,4 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) s DUT | 12,5 | 12,0 | 27,4 | 22,9 | 17,8 | 18,2 | 30,9 | 15,8 | 12,7 | 22,4 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) s DUT | 11,2 | 11,3 | 13,8 | 12,8 | 20,4 | 9,5 | 10,0 | 11,2 | 13,0 | 28,5 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) s DUT | 10,6 | 6,0 | 4,0 | 8,3 | 5,5 | 4,5 | 3,1 | 3,8 | 10,0 | 7,4 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) s DUT | 4,2 | 4,0 | 23,5 | 13,9 | 7,8 | 8,1 | 35,0 | 6,1 | 4,3 | 13,2 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) s DUT | 3,6 | 3,7 | 4,9 | 4,4 | 10,5 | 3,0 | 3,2 | 3,6 | 4,5 | 26,6 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) s DUT | 11,9 | 8,1 | 24,3 | 16,8 | 14,1 | 9,8 | 35,3 | 8,1 | 11,8 | 30,6 |
| Iskazana vrijednost ukupne amplitude E (dBuV) s DUT | 21,5 | 18,2 | 27,7 | 24,5 | 23,0 | 19,8 | 31,0 | 18,2 | 21,4 | 29,7 |
| Razlika $E_S - E_{BEZ}$ | 4,1 | 2,6 | 12,3 | 8,9 | 7,9 | 5,2 | 16,0 | 4,4 | 7,0 | 2,8 |
| Granična vrijednost prema EN 55014-1:2006 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 |
| Zadovoljava normu (da ili ne) | da | da | da | da | da | da | da | da | da | da |

Tablica 4.4. Izmjerene i izračunate vrijednosti amplituda signala pri mjerenju EMI (električnog polja, odnosno ekvivalentnog električnog napona) sušila za kosu u modu 4

| Redni broj | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Frekvencija (MHz) | 31,9 | 68,8 | 144,5 | 193,0 | 258,9 | 367,6 | 443,2 | 831,2 | 988,4 | 998,1 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) bez DUT | 11,0 | 10,6 | 10,3 | 10,2 | 11,3 | 10,2 | 15,9 | 8,6 | 9,1 | 8,2 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) bez DUT | 11,0 | 9,8 | 10,1 | 9,6 | 11,7 | 10,5 | 13,9 | 8,6 | 9,5 | 8,8 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) bez DUT | 12,4 | 10,7 | 9,9 | 11,1 | 10,1 | 10,0 | 16,2 | 9,6 | 8,3 | 9,9 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) bez DUT | 3,5 | 3,4 | 3,3 | 3,2 | 3,7 | 3,2 | 6,2 | 2,7 | 2,8 | 2,6 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) bez DUT | 3,5 | 3,1 | 3,2 | 3,0 | 3,9 | 3,3 | 5,0 | 2,7 | 3,0 | 2,8 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) bez DUT | 4,2 | 3,4 | 3,1 | 3,6 | 3,2 | 3,2 | 6,5 | 3,0 | 2,6 | 3,1 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) bez DUT | 6,5 | 5,7 | 5,6 | 5,7 | 6,2 | 5,6 | 10,3 | 4,9 | 4,9 | 4,9 |
| Iskazana vrijednost ukupne amplitude E (dBuV) bez DUT | 16,3 | 15,1 | 14,9 | 15,1 | 15,9 | 15,0 | 20,2 | 13,8 | 13,8 | 13,8 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) s DUT | 11,0 | 10,8 | 11,4 | 20,4 | 19,4 | 12,3 | 15,2 | 13,3 | 10,1 | 9,0 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) s DUT | 23,7 | 12,2 | 11,1 | 10,3 | 16,7 | 20,8 | 16,4 | 18,9 | 12,5 | 21,9 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) s DUT | 10,7 | 12,1 | 12,5 | 11,4 | 17,7 | 10,5 | 31,9 | 9,4 | 9,6 | 10,5 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) s DUT | 3,5 | 3,5 | 3,7 | 10,5 | 9,3 | 4,1 | 5,7 | 4,6 | 10,2 | 2,8 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) s DUT | 15,4 | 4,1 | 3,6 | 3,3 | 6,7 | 11,0 | 6,6 | 8,8 | 4,2 | 12,4 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) s DUT | 3,4 | 4,0 | 4,2 | 3,7 | 7,6 | 3,3 | 39,5 | 2,9 | 3,0 | 3,3 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) s DUT | 16,1 | 6,7 | 6,7 | 11,6 | 13,8 | 12,2 | 40,4 | 10,4 | 11,4 | 13,2 |
| Iskazana vrijednost ukupne amplitude E (dBuV) s DUT | 24,2 | 16,5 | 16,5 | 21,3 | 22,8 | 21,7 | 32,1 | 20,3 | 21,1 | 22,4 |
| Razlika $E_S - E_{BEZ}$ | 7,9 | 1,4 | 1,6 | 6,2 | 6,9 | 6,7 | 11,9 | 6,5 | 7,3 | 8,6 |
| Granična vrijednost prema EN 55014-1:2006 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 |
| Zadovoljava normu (da ili ne) | da | da | da | da | da | da | da | da | da | da |

Tablica 4.5. Izmjerene i izračunate vrijednosti amplituda signala pri mjerenju EMI (električnog polja, odnosno ekvivalentnog električnog napona) sušila za kosu u modu 5

| Redni broj | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Frekvencija (MHz) | 30,0 | 163,9 | 251,2 | 255,0 | 264,7 | 359,8 | 445,2 | 454,9 | 860,3 | 992,2 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) bez DUT | 11,2 | 10,2 | 11,0 | 10,2 | 10,3 | 9,7 | 9,7 | 9,7 | 8,9 | 9,5 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) bez DUT | 10,7 | 10,0 | 10,1 | 9,4 | 11,1 | 9,5 | 10,3 | 10,9 | 9,0 | 8,9 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) bez DUT | 10,8 | 11,0 | 10,0 | 12,9 | 11,4 | 11,2 | 10,8 | 9,9 | 9,3 | 9,2 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) bez DUT | 3,6 | 3,3 | 3,5 | 3,2 | 3,3 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 2,8 | 3,0 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) bez DUT | 3,4 | 3,2 | 3,2 | 3,0 | 3,6 | 3,0 | 3,3 | 3,5 | 2,8 | 2,8 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) bez DUT | 3,5 | 3,5 | 3,2 | 4,4 | 3,7 | 3,6 | 3,5 | 3,1 | 2,9 | 2,9 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) bez DUT | 6,1 | 5,8 | 5,7 | 6,2 | 6,1 | 5,6 | 5,7 | 5,6 | 4,9 | 5,0 |
| Iskazana vrijednost ukupne amplitude E (dBuV) bez DUT | 15,7 | 15,2 | 15,2 | 15,8 | 15,7 | 15,0 | 15,1 | 15,0 | 13,8 | 14,0 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) s DUT | 14,8 | 9,5 | 18,4 | 10,7 | 24,5 | 18,4 | 20,4 | 10,8 | 23,9 | 11,1 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) s DUT | 24,8 | 10,9 | 20,2 | 24,4 | 12,4 | 20,7 | 16,2 | 10,1 | 19,4 | 24,3 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) s DUT | 23,5 | 37,6 | 18,3 | 10,8 | 15,6 | 16,7 | 20,4 | 33,7 | 9,9 | 9,6 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) s DUT | 5,5 | 3,0 | 8,3 | 3,4 | 16,9 | 8,3 | 10,5 | 3,5 | 15,6 | 3,6 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) s DUT | 17,3 | 3,5 | 10,2 | 16,5 | 4,2 | 10,9 | 6,4 | 3,2 | 9,3 | 16,4 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) s DUT | 15,0 | 76,2 | 8,2 | 3,5 | 6,1 | 6,8 | 10,5 | 48,3 | 3,1 | 3,0 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) s DUT | 23,6 | 76,3 | 15,5 | 17,2 | 18,4 | 15,3 | 16,2 | 48,5 | 18,4 | 17,0 |
| Iskazana vrijednost ukupne amplitude E (dBuV) s DUT | 27,4 | 37,7 | 23,8 | 24,7 | 25,3 | 23,7 | 24,2 | 33,7 | 25,3 | 24,6 |
| Razlika $E_S - E_{BEZ}$ | 11,7 | 22,5 | 8,6 | 8,9 | 9,6 | 8,7 | 9,1 | 18,7 | 11,5 | 10,6 |
| Granična vrijednost prema EN 55014-1:2006 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 |
| Zadovoljava normu (da ili ne) | da | da | da | da | da | da | da | da | da | da |

Tablica 4.6. Izmjerene i izračunate vrijednosti amplituda signala pri mjerenju EMI (električnog polja, odnosno ekvivalentnog električnog napona) sušila za kosu u modu 6

| Redni broj | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Frekvencija (MHz) | 30,0 | 163,9 | 255,0 | 260,9 | 264,7 | 266,7 | 443,2 | 854,5 | 976,7 | 998,1 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) bez DUT | 11,2 | 10,2 | 10,2 | 10,2 | 10,3 | 11,2 | 15,9 | 8,6 | 8,2 | 8,2 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) bez DUT | 10,7 | 10,0 | 9,4 | 10,1 | 11,1 | 11,7 | 13,9 | 9,9 | 10,8 | 8,8 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) bez DUT | 10,8 | 11,0 | 12,9 | 11,6 | 11,4 | 10,9 | 16,2 | 10,1 | 9,4 | 9,9 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) bez DUT | 3,6 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 3,3 | 3,6 | 6,2 | 2,7 | 2,6 | 2,6 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) bez DUT | 3,4 | 3,2 | 3,0 | 3,2 | 3,6 | 3,9 | 5,0 | 3,1 | 3,5 | 2,8 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) bez DUT | 3,5 | 3,5 | 4,4 | 3,8 | 3,7 | 3,5 | 6,5 | 3,2 | 2,9 | 3,1 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) bez DUT | 6,1 | 5,8 | 6,2 | 5,9 | 6,1 | 6,4 | 10,3 | 5,2 | 5,2 | 4,9 |
| Iskazana vrijednost ukupne amplitude E (dBuV) bez DUT | 15,6 | 15,2 | 15,9 | 15,5 | 15,8 | 16,1 | 20,2 | 14,3 | 14,3 | 13,8 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) s DUT | 10,9 | 36,4 | 11,0 | 23,5 | 12,2 | 30,1 | 27,2 | 10,7 | 9,2 | 9,2 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) s DUT | 22,2 | 10,3 | 24,2 | 14,0 | 24,2 | 10,5 | 26,1 | 21,3 | 22,5 | 24,6 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) s DUT | 12,9 | 12,3 | 17,1 | 11,5 | 11,9 | 11,8 | 17,0 | 11,0 | 11,2 | 9,3 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) s DUT | 3,5 | 66,0 | 3,5 | 15,0 | 4,1 | 31,9 | 22,8 | 3,4 | 2,9 | 2,9 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) s DUT | 12,9 | 3,3 | 16,3 | 5,0 | 16,2 | 3,4 | 20,1 | 11,6 | 13,3 | 17,0 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) s DUT | 4,4 | 4,1 | 7,2 | 3,8 | 3,9 | 3,9 | 7,0 | 3,6 | 3,6 | 2,9 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) s DUT | 14,0 | 66,2 | 18,2 | 16,3 | 17,2 | 32,3 | 31,2 | 12,6 | 14,1 | 17,5 |
| Iskazana vrijednost ukupne amplitude E (dBuV) s DUT | 22,9 | 36,4 | 25,2 | 24,3 | 24,7 | 30,2 | 29,9 | 22,0 | 22,9 | 24,8 |
| Razlika $E_S - E_{BEZ}$ | 7,3 | 21,2 | 9,3 | 8,8 | 8,9 | 14,1 | 9,7 | 7,7 | 8,6 | 11,0 |
| Granična vrijednost prema EN 55014-1:2006 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 |
| Zadovoljava normu (da ili ne) | da | da | da | da | da | da | da | da | da | da |

Tablica 4.7. Izmjerene i izračunate vrijednosti amplituda signala pri mjerenju EMI (električnog polja, odnosno ekvivalentnog električnog napona) kuhala za vodu do pola napunjenog vodom.

| Redni broj | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Frekvencija (MHz) | 30,0 | 163,9 | 443,2 | 445,2 | 452,9 | 454,9 | 879,7 | 918,5 | 920,5 | 924,3 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) bez DUT | 11,4 | 10,2 | 15,4 | 18,8 | 9,1 | 10,3 | 10,5 | 8,6 | 9,1 | 9,4 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) bez DUT | 10,6 | 10,6 | 13,1 | 9,8 | 12,1 | 10,9 | 13,3 | 12,7 | 18,3 | 24,2 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) bez DUT | 21,7 | 10,9 | 17,0 | 9,5 | 9,9 | 10,7 | 14,6 | 19,7 | 21,2 | 25,6 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) bez DUT | 3,7 | 3,2 | 5,9 | 8,7 | 2,8 | 3,3 | 3,4 | 2,7 | 2,8 | 3,0 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) bez DUT | 3,4 | 3,4 | 4,5 | 3,1 | 4,0 | 3,5 | 4,6 | 4,3 | 8,2 | 16,1 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) bez DUT | 12,2 | 3,5 | 7,1 | 3,0 | 3,1 | 3,4 | 5,3 | 9,7 | 11,5 | 19,03 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) bez DUT | 13,2 | 5,9 | 10,3 | 9,7 | 5,8 | 5,9 | 7,8 | 11,0 | 14,4 | 25,1 |
| Iskazana vrijednost ukupne amplitude E (dBuV) bez DUT | 22,4 | 15,4 | 20,2 | 19,7 | 15,3 | 15,4 | 17,9 | 20,8 | 23,1 | 28,0 |
| Izmjerena amplituda E_x (dBuV) s DUT | 11,1 | 34,8 | 16,2 | 9,8 | 11,2 | 10,7 | 10,4 | 10,5 | 10,7 | 10,7 |
| Izmjerena amplituda E_y (dBuV) s DUT | 11,7 | 11,5 | 24,6 | 10,5 | 24,5 | 34,6 | 17,4 | 14,4 | 17,2 | 20,2 |
| Izmjerena amplituda E_z (dBuV) s DUT | 31,0 | 36,2 | 17,5 | 25,5 | 9,1 | 10,0 | 16,9 | 24,3 | 25,6 | 34,6 |
| Preračunata amplituda E'_x (uV) s DUT | 3,6 | 54,9 | 6,5 | 3,1 | 3,6 | 3,4 | 3,3 | 3,4 | 3,4 | 3,4 |
| Preračunata amplituda E'_y (uV) s DUT | 3,8 | 3,8 | 17,1 | 3,3 | 16,7 | 53,8 | 7,5 | 5,2 | 7,3 | 10,2 |
| Preračunata amplituda E'_z (uV) s DUT | 35,4 | 64,9 | 7,5 | 18,9 | 2,8 | 3,2 | 7,0 | 16,5 | 19,0 | 54,0 |
| Preračunata ukupna amplituda E' (uV) s DUT | 35,7 | 85,1 | 19,7 | 19,4 | 17,3 | 54,0 | 10,7 | 17,6 | 20,7 | 55,0 |
| Iskazana vrijednost ukupne amplitude E (dBuV) s DUT | 31,1 | 38,6 | 25,9 | 25,8 | 24,8 | 34,6 | 20,6 | 24,9 | 26,3 | 34,8 |
| Razlika $E_S - E_{BEZ}$ | 8,7 | 23,2 | 5,7 | 6,1 | 9,5 | 19,2 | 2,7 | 4,1 | 3,2 | 6,8 |
| Granična vrijednost prema EN 55014-1:2006 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 |
| Zadovoljava normu (da ili ne) | da | da | da | da | da | da | da | da | da | da |

Prvi stupac u svim tablicama prikazuje detaljan postupak mjerenja odnosno pretvaranja mjernih veličina. Nakon unošenja jačine polja signala u omjernoj jedinici tj dBuV za 3 pozicije, gdje je x početna, y pomak od 120 stupnjeva u odnosu na početnu dok je z pomak od 240 stupnjeva u odnosu na početnu poziciju, preračunavaju se vrijednosti u uV kako bi se dobila jedinstvena vrijednost od triju gore navedenih pozicija. Postupak se radi za uključen i isključen instrument u različitim modovima rada. Nakon toga se vrijednosti iz jedinica za jačinu polja, odnosno ekvivalentnog napona vraćaju u jedinice za omjer snaga po jedinici napona tj dBuV kako bi se moglo usporediti s graničnim vrijednostima. Iz podataka koje nude tablice vidljivo je kako ni u jednom trenutku vrijednosti zračenja ne prelaze dopuštene granice za siguran rad u namjenjenoj okolini.

5. ZAKLJUČAK

U završnom radu na temu elektromagnetskog zračenja kućanskih uređaja prvotno su teorijski opisani dijelovi spektra elektromagnetskog zračenja kao podloga glavnom dijelu rada. Opisana je u nekoliko riječi razlika između ionizirajućeg te neionizirajućeg dijela spektra te štetno djelovanje pojedinog na čovjeka. Dio spektra koji zahvaća kućanske uređaje u radu naziva se radiofrekvencijski spektar budući da ima najveću otpornost na smetnje a prostire u opsegu od otprilike 30 MHz do 1 GHz. Nakon kraćeg uvoda slijedilo je samo mjerenje koje se sastojalo od provjeravanja jačine signala pri isključenom uređaju u usporedbi sa signalom pri uključenom uređaju. Sva mjerenja su izvršena prema pravilima zapisanim u zadanim europskim normama. Prije samog mjerenja bilo je potrebno napraviti pripremu prema uputama. Nakon izvedenog mjerenja iz vrijednosti zapisanih u tablicama za pojedine frekvencije različitih uređaja u različitim modovima rada može se donijeti zaključak kako svaki uređaj u svakom modu zadovoljavajuće funkcionira, odnosno vrijednosti se nalaze unutar granica zadanih normom, brojevima iskazano unutar 40,0 dBuV/m do frekvencije 230 MHz te unutar 47,5 dBuV/m iznad 230 MHz . Prema tome možemo reći kako zadani uređaji ne interferiraju s okolinom, odnosno ne ometaju rad drugih uređaj te vrše nesmetano rad za koji su projektirani unutar svoje okoline, dakle u potpunosti su ispravni za korištenje kako je i odredio sam proizvođač.

6. POPIS KORIŠTENE LITERATURE

- [1] Uputa za izradu laboratorijske vježbe iz kolegija Elektromagnetska kompatibilnost, Mjerenje električnog polja (emi) kućanskog uređaja u opsegu frekvencija od 30 MHz – 1 GHz (16.5.2016)
- [2] Rizici pojave karcinoma uslijed izloženosti ionizirajućem zračenju, url: http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/uvod_em.htm (20.5.2016.)
- [3] Izv. prof. dr. sc. Slavko Rupčić: Predavanja iz kolegija Elektromagnetska kompatibilnost 8-11, ak. god. 2015/16.
- [4] Goran Matonićkin, Elektromagnetski valovi u nastavi fizike, url: http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/diplome/drad_gorna_matonickin.pdf (25.5.2016)
- [5] Tehnike bežične komunikacije, url: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2005/mijic/radioprijenos.html> (5.6.2016.)
- [6] Norma, EUROPSKA NORMA: EN 55014 CISPR 14 – Electromagnetic compatibility – Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus – Part 1 url: <http://www.ccqsuk.com/ccqszp/uploads/soft/130810/standard/EMC/EN%2055014-1%202006%EF%BC%88CISPR%2014-1%202005%EF%BC%89.pdf> (16.5.2016.)
- [7] Prikaz elektromagnetskog spektra, slika 2.1. url: <http://butane.chem.uiuc.edu/pshapley/GenChem2/A3/3.html> (20.5.2016.)
- [8] Prikaz elektromagnetskog vala u 3D ravnini, slika 2.2 url: <http://qrz.com.hr/planiranje-mobilnih-sustava/> (24.5.2016.)
- [9] Prikaz signala dobivenog na zaslonu analizatora spektra, slike 4.1-4.8.

SAŽETAK

U završnom radu opisani su utjecaji elektromagnetskog zračenja kućanskih uređaja na okolinu unutar koje se nalaze. Važno je znati da svaki električni uređaj zrači elektromagnetsku energiju a ukoliko je razina te energije previsoka može jako utjecati na zdravlje ljudi te siguran rad drugih uređaja unutar radne okoline ispitivanog uređaja. Pojava prevelikog zračenja koje bi ugrožavalo druge oko sebe se naziva elektromagnetska interferencija i to je ključna pojava koja je ispitana u radu. Naime bilo je potrebno korištenjem spektralnog analizatora i dipolne konusne antene odrediti razinu zračenja uključenog uređaja u usporedbi sa razinom zračenja isključenog uređaja. Mjerenje je izvršeno prema uputama zadanim u europskoj normi EN 55014 CISPR 14 – Electromagnetic compatibility – Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus – Part 1, u opsegu spektra nazvanom radiovalovi (30 MHz- 1 GHz). Dobiveni podaci su obrađeni u računalnom programu Microsoft Excel-u te je zaključeno kako ne dolazi do pojave interferencije kod odabranih uređaja, dakle možemo reći kako su odabrani uređaji elektromagnetski kompatibilni.

Ključne riječi: elektromagnetska interferencija, elektromagnetska kompatibilnost, električni kućanski uređaji, elektromagnetska energija, elektromagnetski val, elektromagnetski spektar, radiovalovi, spektralni analizator, antena, frekvencija, amplituda, elektromagnetsko polje.

ABSTRACT

This final paper describes the influence of electromagnetic radiation of household appliances on the environment they operate in. It is important to know that every electrical device emits electromagnetic radiation, and if the level of that radiation is too high, it can greatly impact people's health and a safe working environment of the device under testing. This phenomenon of excessive emission that would endanger everything around the device is called electromagnetic interference and it is the key phenomenon tested in this final paper. It was necessary to determine the emission level of the operating device and compare it with the emission level of the device that is switched off. This was done by using a spectrum analyser and a conical dipole antenna. Measurements were performed pursuant to guidelines specified in the European standard EN 55014 CISPR 14 – Electromagnetic compatibility – Requirements for household

appliances, electric tools and similar apparatus – Part 1, within the range of the spectrum called radio waves (30 MHz-1 GHz). The data collected were processed in Microsoft Excel. It was concluded that there is no interference in selected devices; hence it can be said that selected devices are electromagnetically compatible.

Key words: electromagnetic interference, electromagnetic compatibility, electrical household appliances, electromagnetic radiation, electromagnetic wave, electromagnetic spectrum, radio waves, spectrum analyser, antenna, frequency, amplitude, electromagnetic field

ŽIVOTOPIS

Perica Tolić rođen je 02.08.1993. u Slavonskom Brodu. Osnovnu školu Hugo Badalić završava 2008. s vrlo dobrim uspjehom nakon čega upisuje srednju strukovnu Tehničku školu Slavonski Brod, smjer elektrotehničar, koju završava s vrlo dobrim uspjehom 2012.

Nakon završene srednje škole upisuje Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, međutim nakon neuspjeha u 1. godini školovanje nastavlja na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku na sveučilišnom preddiplomskom smjeru elektrotehnike. Na drugoj godini se opredjeljuje na smjer elektroenergetike.

Posjeduje znanje engleskog jezika. Nakon završetka preddiplomskog studija namjera mu je upisati diplomski studij na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku.

U Osijeku, lipanj 2016.

Perica Tolić

Potpis:

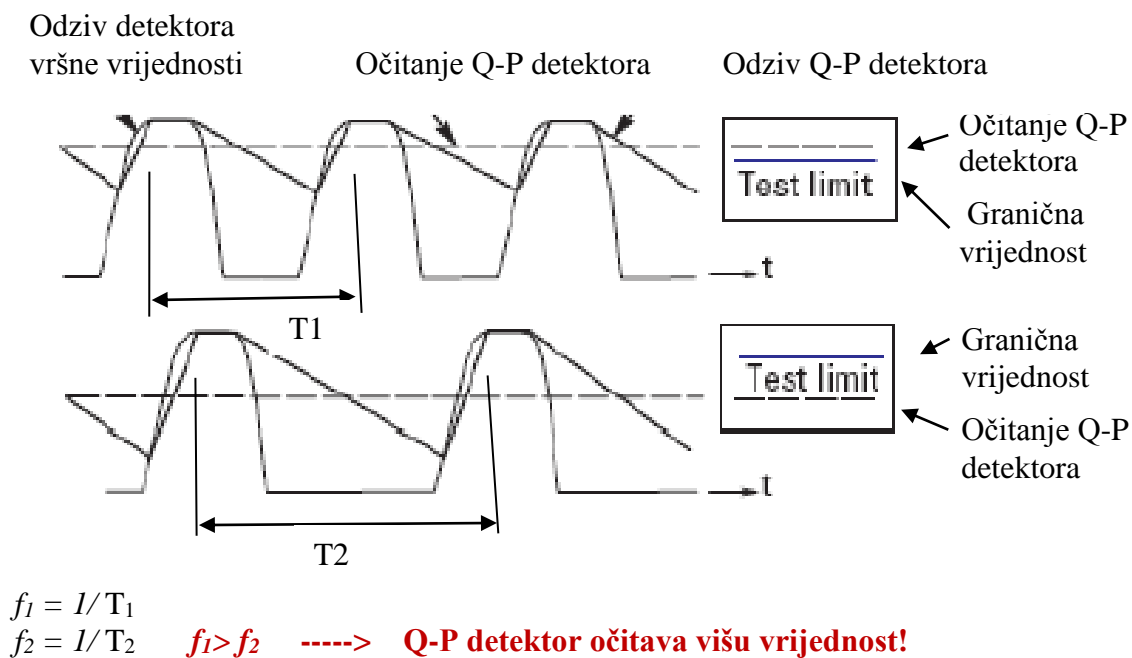
PRILOZI

U prilogama su postavljene fotografije iz laboratorija koje prikazuju pojedine dijelove mjerenja.

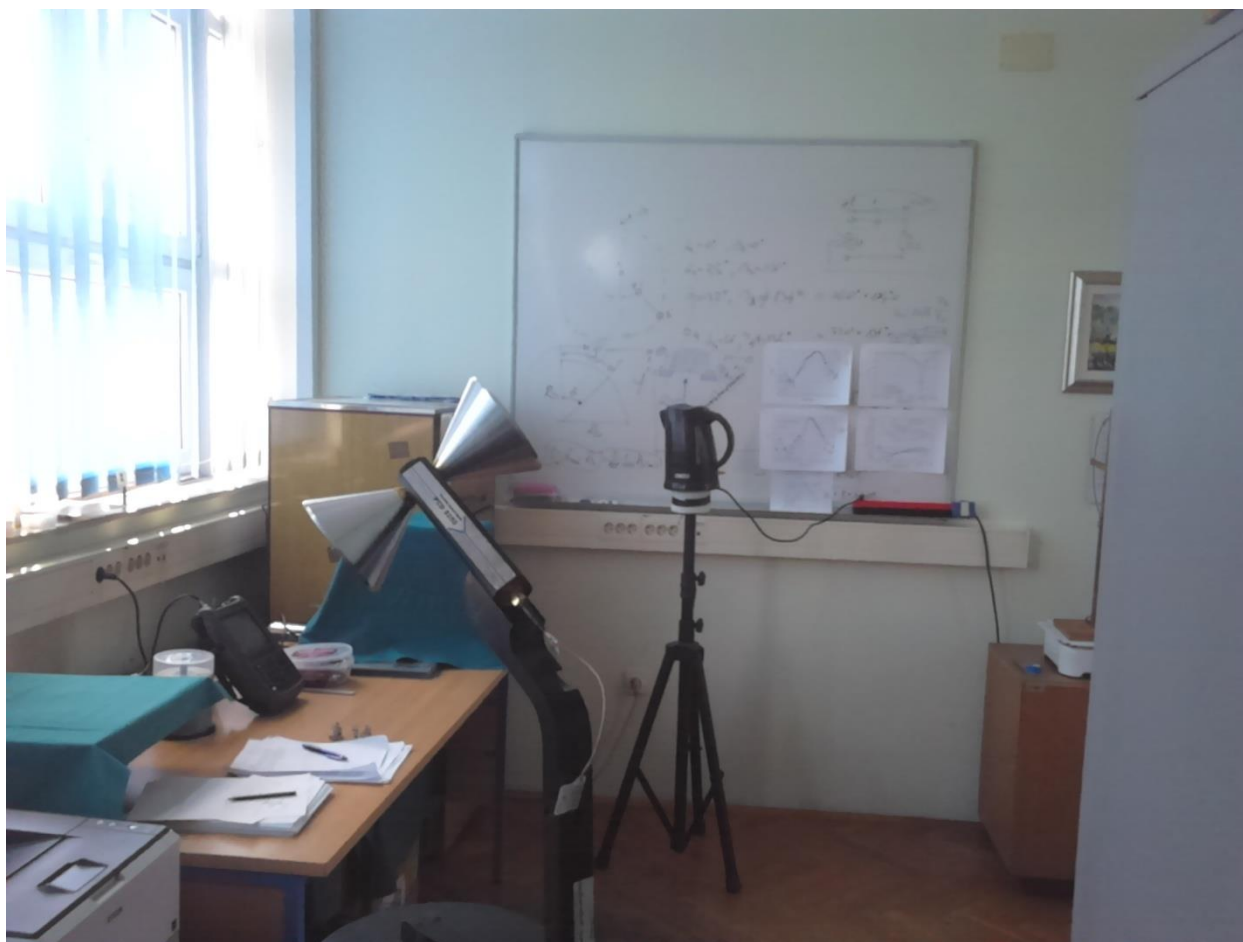
Mjerenje je izvedeno u utorak 24.5.2016. godine, i trajalo je između 11:00 i 12:30 sati u laboratoriju za visokofrekvencijska mjerenja, prostorija 3-15 na Elektrotehničkom fakultetu Osijek. Mjerenju su prisustovali mentor izv.prof.dr.sc Slavko Rupčić te student Perica Tolić. Prilikom mjerenja korištena je precizna konusna dipol antena, izolacijski transformator za napajanje osciloskopa, koaksijalni kabel, ispitivani uređaj te spektralni analizator sa Q-P detektorom.

Q-P detektor

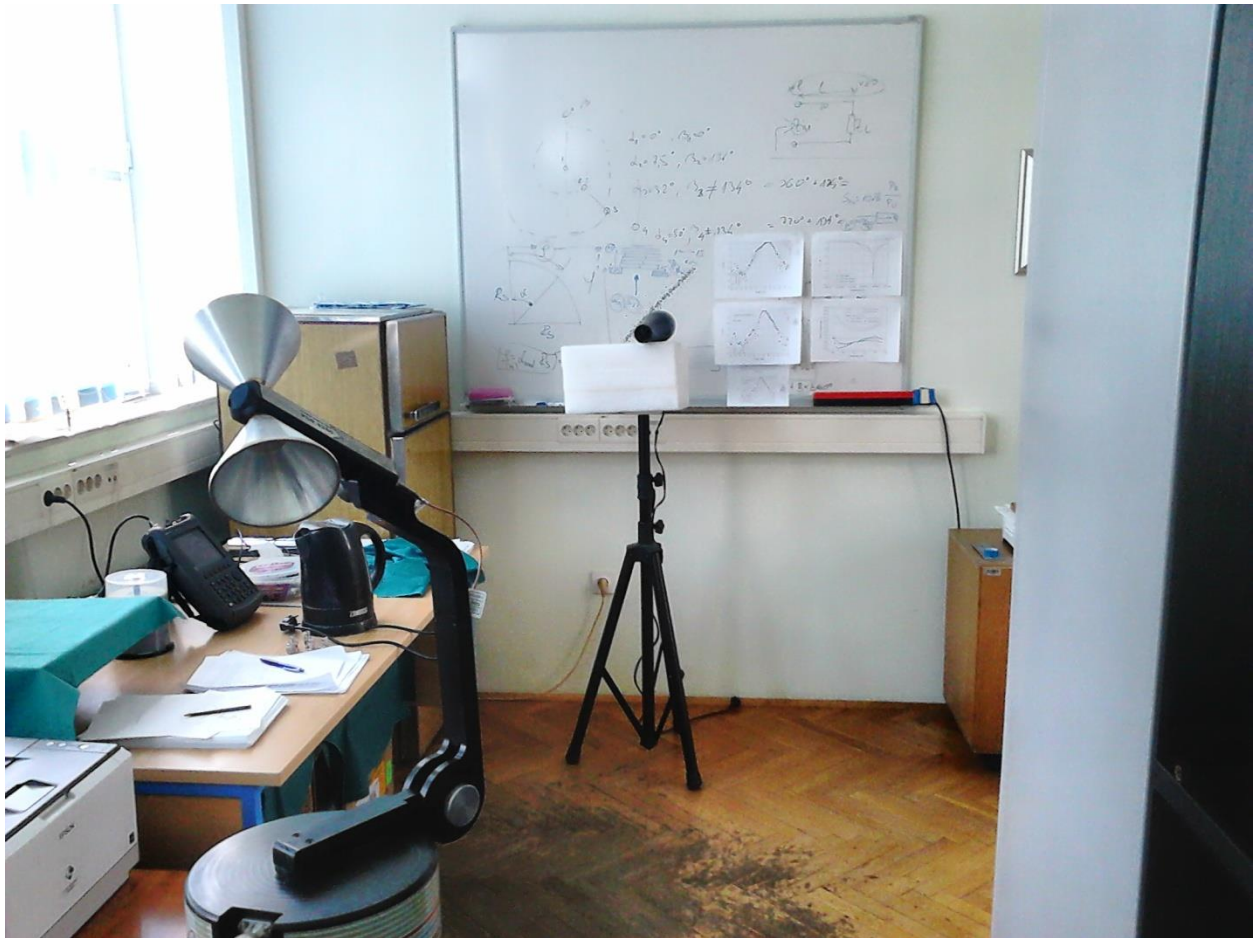
Mjeri signale u skladu s njihovom brzinom ponavljanja. Povećanjem brzine ponavljanja dobije se veći izlazni napon jer Q-P detektor nema vremena da se dovoljno isprazni. Ukoliko je signal u obliku kontinuiranog vala Q-P vrijednost jednaka je vršnoj vrijednosti. Quasi-peak detektor uvijek mjeri jednako ili manje očitavanje kao i detektor vršne vrijednosti, uz napomenu da je Q-P mjerenje dosta sporije zbog usporedbe dvije ili tri amplitude kao što prikazuje slika P.1. Budući da Q-P detektor odgovara na različite amplitude signala na linearan način moguć je slučaj da se uz nižu amplitudu i višu brzinu ponavljanja dobije jednak odziv kao na višu amplitudu i nižu brzinu ponavljanja signala. [1]



Slika P.1. Prikaz očitavanja Q-P detektora [1]



Slika P.2. Prikaz laboratorijskog mjerenja EMI električnog kuhala za vodu do pola napunjenog vodom na udaljenosti 3 m od antene



Slika P.3. Prikaz laboratorijskog mjerenja EMI električnog fena za kosu u različitim modovima rada na udaljenosti 3 m od antene