

# Smanjenje smetnji i šuma u mjernom krugu

---

Ahmeti, Borna

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*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:200:279536>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-12**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I**  
**INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Stručni studij**

**SMANJENJE SMETNJI I ŠUMA U MJERNOM KRUGU**

**Završni rad**

**Borna Ahmeti**

**Osijek, 2023.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 20.09.2023.

**Odboru za završne i diplomske ispite****Imenovanje Povjerenstva za završni ispit  
na preddiplomskom stručnom studiju**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Borna Ahmeti
<b>Studij, smjer:</b>	Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
<b>Mat. br. Pristupnika,</b>	A 4570, 19.07.2019.
<b>OIB Pristupnika:</b>	11022386918
<b>Mentor:</b>	mr. sc. Dražen Dorić
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	dr. sc. Željko Špoljarić
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	mr. sc. Dražen Dorić
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	Doc. dr. sc. Venco Ćorluka
<b>Naslov završnog rada:</b>	Smanjenje smetnji i šuma u mjernom krugu
<b>Znanstvena grana završnog rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rada</b>	Smetnje i šum su nepoželjni u mjernom krugu, pogotovo kada se radi o mjerenju signala niske razine. Različiti su načini njihova nastajanja odnosno unosa u mjerni krug te stoga i tehnike za njihovo smanjenje. U okviru završnog rada potrebno je sačiniti pregled najčešćih izvora smetnji, načina njihova prijenosa i prijema smetnje u mjernom krugu, tehnika za njihovo smanjenje, te dati ilustrativne primjere.
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog)</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	20.09.2023.
<i>Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:</i>	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 08.10.2023.

**Ime i prezime studenta:**

Borna Ahmeti

**Studij:**

Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

A 4570, 19.07.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

5

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Smanjenje smetnji i šuma u mjernom krugu**

izrađen pod vodstvom mentora mr. sc. Dražen Dorić

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ŠUM I SMETNJA</b> .....	<b>2</b>
2.1. Razlika EMI-a i EMC-a.....	3
2.2. Unutrašnji šum .....	4
2.3. Vanjski šum .....	5
<b>3. IZVORI SMETNJE I ŠUMA</b> .....	<b>6</b>
3.1. Kapacitivno sprezanje.....	7
3.2. Induktivno sprezanje .....	8
3.3. Sprezanje preko zajedničke mase- spoj zajedničke impedancije.....	9
3.4. Sprezanje radijacijom .....	9
<b>4. PROCES EMC-a</b> .....	<b>10</b>
<b>5. METODE SMANJENJA ŠUMA I SMETNJI</b> .....	<b>11</b>
5.1. Zaštita od vanjskih faktora .....	12
5.2. Uplitanje vodova.....	13
5.3. Oklapanje .....	14
5.4. Uzemljivanje .....	15
5.4.1. Sustav uzemljenja i njegov odnos s prijenosom signala .....	15
5.5. Filtriranje .....	17
5.6. Usrednjavanje.....	18
5.7. Primjena niskošumnih komponenti za kvalitetna mjerenja.....	19
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>21</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>22</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>24</b>
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	<b>25</b>

## 1. UVOD

Zadatak rada je prikazati što su šum i smetnja, definirati pojmove koji ih opisuju i prikazati kako dolazi do stvaranja i prijenosa smetnji u mjerni krug. Prikazati metode smanjena smetnji i objasniti kako se vrše i sve to prikazati i ilustrativno.

U svim granama elektrotehnike mjerenje veličina jako je važan čimbenik za što bolji rad sustava. Mjerenja moraju biti što točnija i da im je pogreška minimalna. Koliko god se pokušava biti točan i precizan u mjerenju uvijek postoje neki vanjski čimbenici. U ovom radu pričati će se o jednom o tih čimbenika, a to su šum i smetnje.

Na početku rada rečeno je o općenitim pojmovima vezanima za šum i smetnje i što su uopće to šum i smetnja. Kroz rad se prikazuje kako nastaju smetnje i kako se uspijevaju unijeti u mjerne krugove.

U okviru ovoga rada prikazane su metode smanjenja šuma i smetnji u mjernom krugu i prikazano je koje se sve metode koriste i kako se izvode.

## 2. ŠUM I SMETNJA

Pri mjerenju veličina važno je odabrati prikladna mjerila i mjerne metode kako bi mjerenja bila što točnija, ali nije samo to važno jer na rezultate mjerenja utječu i smetnje i šum. Šum je neželjeni signal koji može doći iznutra ili izvana. Smetnja ili skraćeno EMI od engleskog naziva "electromagnetic interference" je djelovanje šuma na mjerni signal, ona mijenja oblik signala koji se mjeri i tako povećava pogrešku mjerenja. Smetnje imaju posebno velik utjecaj na mjerenja signala niske razine odnosno napone amplitude manje od 100Mv.[4] Šumovi mogu biti unutrašnji i vanjski. [1]

Šum se može definirati pomoću više faktora kao što su širina frekvencijskog pojasa, temperatura šuma, maksimalna snaga šuma...

Širina frekvencijskog pojasa je razmjerno uski pojas frekvencija raspoređen oko svoje središnje frekvencije. Unutar tog pojasa snaga je šuma po jedinici frekvencije svagdje jednaka. Pojam širine frekvencijskog pojasa odnosi se uvijek na uređaj o kome je riječ, kojim se mjeri.

Temperatura šuma je ona temperatura pri kojoj bi na izlazu iz nekog uređaja snaga samo termičkog šuma bila jednaka snazi ukupnog stvarnog šuma na radnoj temperaturi. Ova veličina služi kao mjerilo šuma

Maksimalna snaga šuma je ona snaga koja se prenosi na opterećeni otpor pri pravilnom prilagođavanju, tj. kad je otpor izvora šuma jednak opterećenom otporu. Maksimalna snaga šuma pridružena otporu neovisna je o veličini otpora koji generira šum nego je ona jedino ovisna o širini frekvencijskog opsega i o apsolutnoj temperaturi.

Kada se govori o smetnjama vrlo važno je spomenuti i elektromagnetsku kompatibilnost ili skraćeno EMC koje odale od engleske riječi „electromagnetic compatibility“. EMC opisuje kako se uređaj ponaša ili djeluje u okolini elektromagnetskog šuma. EMC uključuje dva faktora, a to su toleranciju uređaja na šum, te koliko uređaj proizvodi šuma.[4] Uređaji moraju moći ispravno i sigurno funkcionirati u okruženju s određenim nivoom elektromagnetskog šuma i ne smiju proizvoditi šumove na razinama ili frekvencijama koje ometaju druge uređaje.

## 2.1. Razlika EMI-a i EMC-a

EMC je cilj koji treba postići, a EMI predstavlja ometajući signal koji narušava valjano prikupljanje podataka. Ukratko, cilj EMC-a je minimizirati EMI. To znači da EMI signali ne moraju biti potpuno eliminirani, već samo smanjeni na razinu koja omogućuje valjano prikupljanje željenih signala. Pokušaj daljnjeg smanjenja EMI signala često nije koristan jer ne donosi značajno poboljšanje u prikupljanju podataka, ali može rezultirati značajnim povećanjem troškova i vremena. Upravljanje EMC-om najučinkovitije je u fazi početnog dizajniranja stroja. Tada se mogu kontrolirati ključni elementi poput uzemljenja, smještaja instrumentacije, parametara kabela, rute kabela, parametara signalnih kabela, rute signalnih kabela, sustava za provođenje kabela i signala, te ostalih karakteristika objekta kako bi se smanjila smetnja. No, često je infrastruktura objekta već usmjerena prema glavnoj misiji i sustavi za instrumentaciju moraju funkcionirati unutar tog okruženja. U mnogim slučajevima, to uključuje implementaciju sustava za instrumentaciju u objekte i sustave koji su već dugo u uporabi, kao što su stari sustavi.

Kao primjer elektromagnetske interferencije (EMI) u mjernom krugu možemo navesti sljedeće: Npr. ako imamo osjetljivi mjerni uređaj, poput osciloskopa ili senzora temperature, koji se koristi za precizna mjerenja u laboratorijskom okruženju. Funkcija ovog uređaja je da detektira signale niske razine kako bi pružio točna mjerenja. U blizini tog mjernog uređaja nalazi se snažan izvor EMI, kao što je npr. električni motor koji pokreće veliku strojeve. Kada se motor pokrene, stvara se intenzivno elektromagnetsko polje. Ovo elektromagnetsko polje može zahvatiti uređaj i ometati njegova osjetljiva mjerenja. Rezultat može biti nepouzdana mjerenja na mjernom uređaju zbog EMI-a koja potječe od električnog motora.

Primjer elektromagnetske kompatibilnosti (EMC) u mjernom krugu može biti sljedeći: Npr. mjerni sustav za praćenje električnih signala bolničke opreme koja se koristi u prostorijama gdje se također nalaze uređaji velike snage, poput magnetske rezonancije (MRI) ili rendgenskih uređaja. MRI i rendgenski uređaji generiraju snažna elektromagnetska polja tijekom svog rada. U ovom slučaju, dobro napravljen mjerni sustav ima visoku elektromagnetsku kompatibilnost. To znači da je otporan na elektromagnetske smetnje koje dolaze iz okoline, kao što su MRI ili rendgenski uređaji. Sustav se može koristiti u istom prostoru bez međusobnih ometanja i smetnji. Ovaj primjer ilustrira važnost EMC-a u medicinskim uređajima, gdje se različita oprema može koristiti u istim prostorijama, ali mora biti dizajnirana tako da ne ometa niti ne bude ometana elektromagnetskim smetnjama drugih uređaja. Elektromagnetska kompatibilnost osigurava da se medicinski mjerni



sustav i MRI uređaj, na primjer, mogu koristiti u isto vrijeme bez negativnih utjecaja na njihov rad.

## 2.2. Unutrašnji šum

Unutrašnji šum se odnosi na električne smetnje koje se generiraju unutar samog mjernog uređaja ili mjernog kruga. Može potjecati iz različitih izvora unutar nekog uređaja uključujući električne komponente, termičke efekte... Unutrašnji šum može biti problem jer može uzrokovati netočnost rezultata pri mjerenju. Primjeri unutrašnjeg šuma su: termalni šum, kvantni šum, električni šum.[5]

Termalni šum javlja se u otpornicima zbog nepravilnog toplinskog gibanja elektrona a ovisan je o temperaturi. Još 1928 J. B. Johnson je objasnio neželjeni utjecaj termalnog šuma, te se ovaj šum zove i Johnsonov šum.[7]

Efektivna vrijednost takvog šuma određuje se izrazom:

$$E_{nR} = \sqrt{4 * k * T * R * \Delta f}$$

Formula 2.2: formula za izračunavanje efektivne vrijednosti termalnog šuma[4]

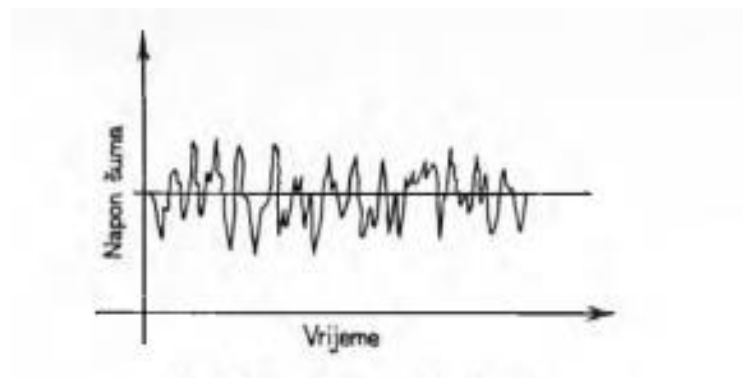
Gdje je:

k - Boltzmannova konstanta,  $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K;

R - otpor mjernog osjetila, [ $\Omega$ ];

$\Delta f$  - frekvencijsko područje mjernog člana, [Hz];

T - radna temperatura. [K]



Slika 1. Prikaz termalnog šuma[4]

Kvantni šum je posebno bitan u visokofrekventnim i niskonaponskim mjernim krugovima.

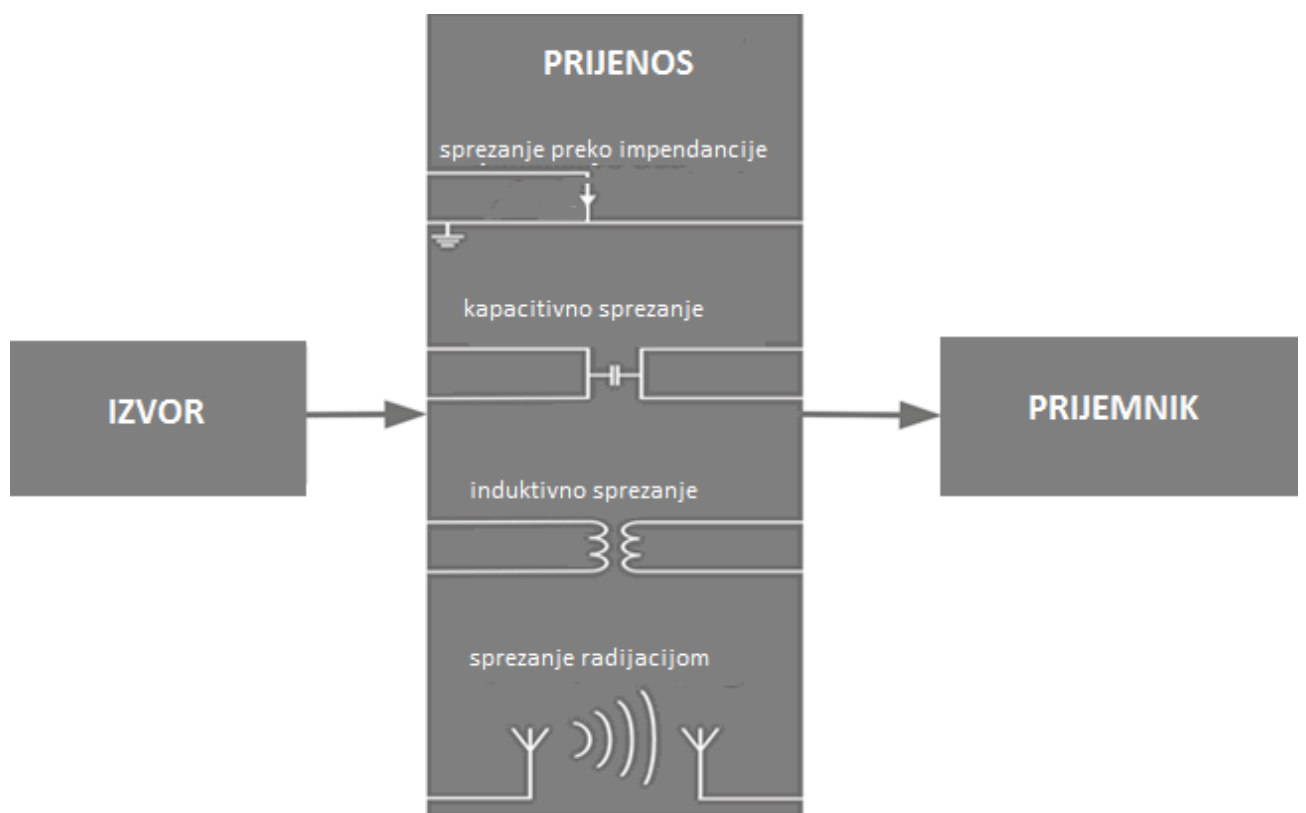
Elektronički šum stvaraju unutarnje elektronske komponente, kao što su operacijski pojačala ili tranzistori, mogu generirati šum u obliku slučajnih fluktuacija u struji i naponu. Mnogi mjerni uređaji imaju komponente za smanjenje unutarnjeg šuma kako bi osigurali preciznija mjerenja. To može uključivati korištenje posebnih filtera, pojačala s niskim šumom i temperaturno kontroliranih komponenti. Osim toga, kalibracija mjernih uređaja također može kompenzirati utjecaj unutarnjeg šuma kako bi se osigurala točnost mjerenja.[7]

### **2.3. Vanjski šum**

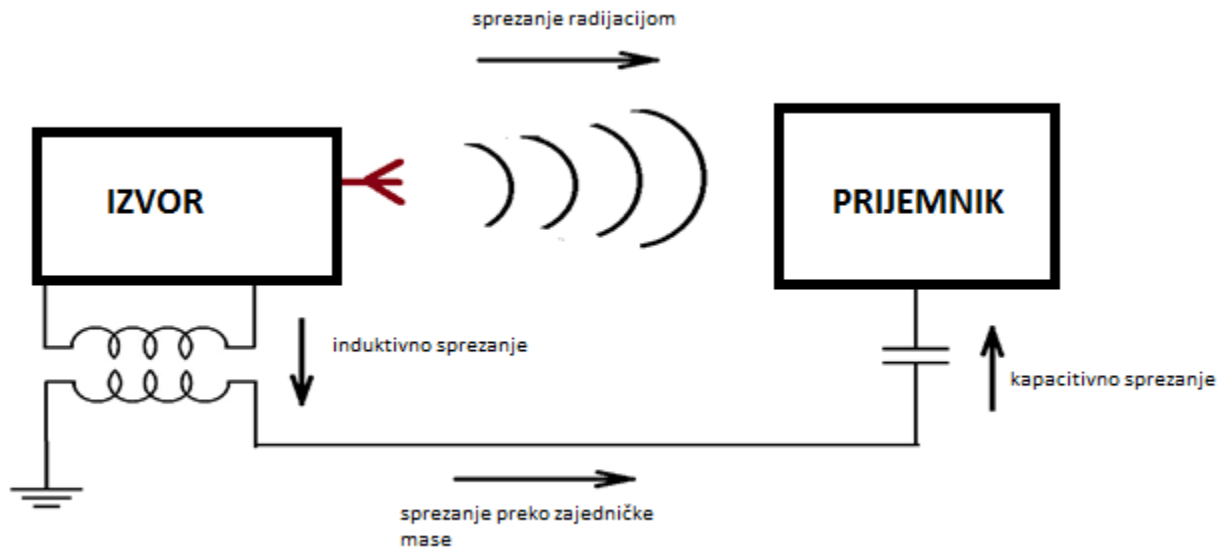
Šum koji na dolazi izvana može biti prirodni i umjetni. Prirodni šumovi su oni koje uzrokuju prirodne pojave, a umjetni šum uzrokuju uređaji koje je izradio čovjek.. Istosmjerna mreža ne unosi samo po sebi šum ali uklapanje i isklapanje sklopki može unijeti velike smetnje u mjerni krug. Izvor vanjskog šuma mogu biti i uređaji koji stvaraju napon šuma frekvencije od nekoliko MHz kao što su radio-frekvencijski prijenosnici. [3]

### 3. IZVORI SMETNJE I ŠUMA

Smetnje mogu doći iz puno izvora, već kao što je i prije spomenuto ti izvori mogu biti neki unutrašnji ili vanjski. Jedan od uobičajenih izvora napajanja je infrastrukturna oprema unutar samih objekata kao što su na primjer sklopni uređaji, promjenjivi pogoni motora i svi ostali uređaji koji se mogu naći u nekom takvom objektu.[4] Još jedan od mogućih izvora je sama buka na AC napajanju koja se preko spojeva prenosi na mjerni sustav. Jedan od izvora može biti i udar munje koji je posebno značajan ako se radi o bliskom udaru munje. Svi ovi izvori što su spomenuti spadaju u vanjske izvore, a unutrašnje smetnje dolaze od samih elemenata kao što su elementi digitalne elektronike, mikrokontroleri i razni senzori. Može se reći da gotovi svaki element može biti izvor barem neke minimalne smetnje. . Kod šuma i smetnje važno je spomenuti da ovise o tri dijela a to su: izvor, veza i prijemnik. Kao što je prikazano na slici 3. prijenos smetnje može se dogoditi na više načina: kapacitivno, induktivno sprezanje, spajanje preko zajedničke mase itd. Da bi se riješio problem, jedan ili više od ovih tri elementa moraju biti uklonjeni, smanjeni ili preusmjereni. Njihova uloga u problemu mora biti temeljito shvaćena prije nego što problem može biti riješen. Ako rješenje nije prikladno, može samo pogoršati problem šuma.



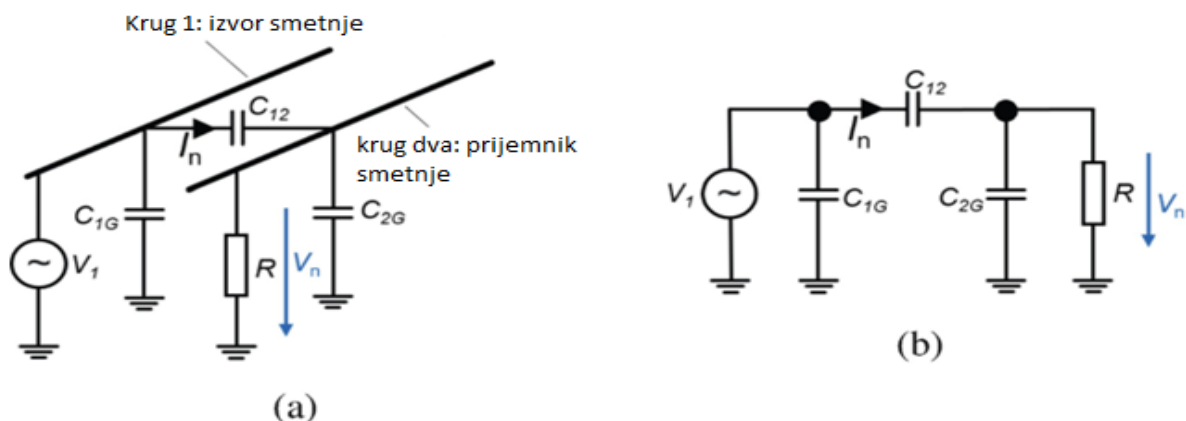
Slika 3. Prikaz veze, prijenosa i prijema smetnje[10]



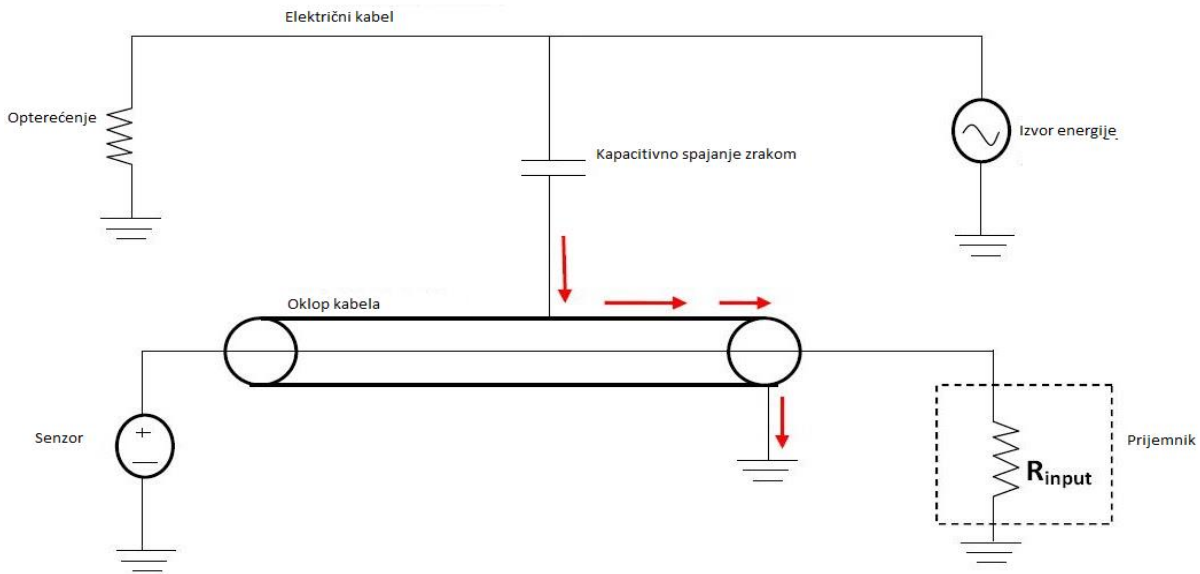
Slika 3,1 Načini prijenosa smetnje[10]

### 3.1. Kapacitivno sprezanje

U industrijskom okruženju velika većina opreme može razviti električni naboj. Ako se takav naboj mijenja generirati će se promjenjivo elektirično polje koje se može kapacitivno spajati s drugom opremom i stvarati smetnje u krugu. Ovakva smetnja je dominantan u krugu koji ima visoku impedanciju jer smetnja se generira kao produkt struje šuma i impedancije prijammnika. Ovakva vrsta spajanja može se riješiti stavljanjem oklopa oko kabela. Ispravno mjesto za povezivanje oplata je na referentnom potencijalu sklopova unutar oplata. Ta točka će varirati u ovisnosti jesu li izvor i prijammnik uzemljeni. Oklop je važno uzemljiti samo na jednom mjestu kako mi se osiguralo da struje ne teku kroz oplatu. Slika 3.1 Prikaz kapacitivnog sprezanja



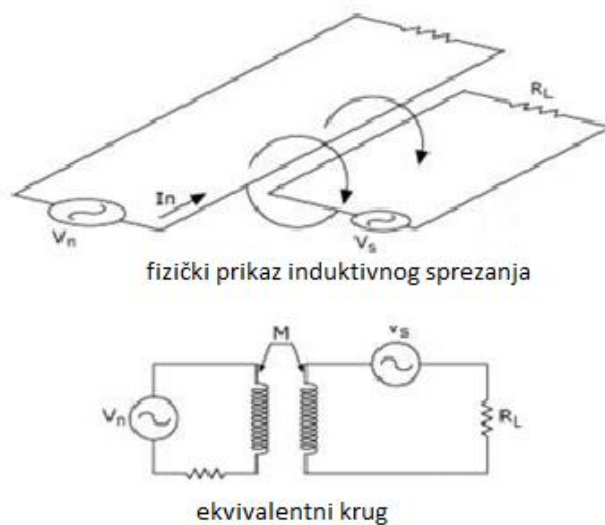
Slika 3.1. Prikaz kapacitivnog sprezanja[4]



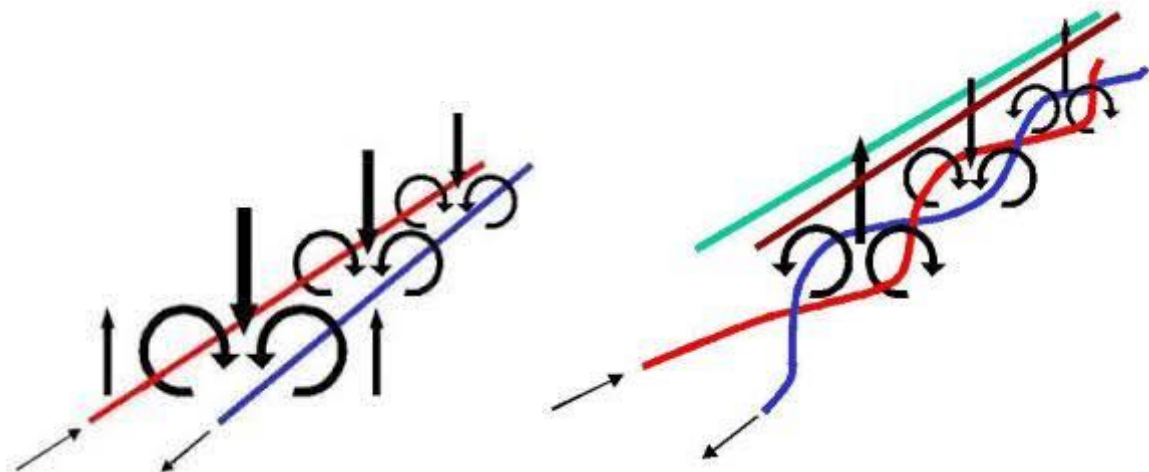
Slika 3.1,2 Prikaz oklopa kabela[4]

### 3.2. Induktivno sprezanje

Protjecanjem struje kroz kabele stvara se magnetsko polje oko njega. To se izražava u postrojenjima, sustavima gdje imamo puno kabela u blizini npr. više kabela u jednom zajedničkom kanalu. Promjenjivo magnetsko polje će u tom slučaju inducirati struju u stacionarnim vodičima.[8] Ovakva spajanja puno je teže smanjiti nego kapacitivna jer magnetska polja mogu prodrijeti i kroz oplata. S toga se ovakva spajanja vrše na druge načine kao što je uplitanje vodova o kojima će biti više rečeno kasnije.



Slika 3.2 Prikaz induktivnog sprezanja[8]



a) Prije uplitanja kabela

b) nakon uplitanja kabela

Slika 3.2,2 Metoda smanjenja induktivnog sprežanja[8]

### 3.3. Sprežanje preko zajedničke mase- spoj zajedničke impedancije

Ovakva vrsta spajanja se događa kod krugova koji imaju uzemljena u istoj zemlji. Struje koje su uzrokovane izvorima poput munja ili kvarova mogu putovati preko ovih zajedničkih linija i stvarati neželjene naponi koji utječu na ispravno funkcioniranje kruga. Zajedničke linije karakteriziraju impedancije koje stvaraju pad napona između dviju točaka koje su prethodno bile na ekvipotencijalu.

### 3.4. Sprežanje radijacijom

Kada su izvor i cilj fizički odvojeni jedan od drugog, smetnja putuje putem zraka ili vakuuma kako bi stigao do cilja.. Radijacijske smetnje većinom uključuje signale viših frekvencija u mikrovalnom frekvencijskom rasponu. Radijacijski spoj je najčešći i popularan oblik spoja s kojim se susrećemo. Budući da za radijacijski spoj nije potrebna fizička veza, vjerojatno će utjecati na većinu elektroničkih krugova.

#### **4. PROCES EMC-a**

Kada je riječ o primjeni EMC principa, ne postoji standardizirani postupak kako bi se smanjio utjecaj smetnje. Svaka situacija je posebna i različita od druge te zahtijeva neovisnu analizu temeljenu na specifičnim elementima sustava i zahtjevima. Usprkos tome, općeniti pristup dizajnu za osiguranje EMC-a, koji uključuje kontrolu emisija na izvoru, može se pronaći u puno referenca.

1. Analiza EMC zahtjeva: Prvo je važno utvrditi sve EMC zahtjeve i standarde koji se odnose na dizajnirani elektronički uređaj ili sustav.
2. Odabir komponenti: Nakon toga, potrebno je pažljivo odabrati komponente i materijale s odgovarajućim EMC karakteristikama kako bi se smanjile smetnje.
3. Štitovi i uzemljenje: Važno je primijeniti odgovarajuće metode zaštite kako bi se smanjile elektromagnetske emisije i zaštitile osjetljive komponente.
4. Filtriranje: Uporaba filtra i kondenzatora može pomoći u suzbijanju šuma i očuvanju ispravnosti napajanja.
5. Upravljanje kabelima: Pažljivo upravljanje kabelima smanjit će zračenje i osjetljivost na vanjske izvore smetnji.
6. Testiranje i provjera: Konačno, provesti opsežno EMC testiranje kako bi se osigurala usklađenost s relevantnim standardima i propisima.

## 5. METODE SMANJENJA ŠUMA I SMETNJI

Elektromagnetski šum u mjerenju može biti velik i izazovan problem, a posebno u osjetljivim aplikacijama gdje je preciznost neophodna. Za suočavanje s elektromagnetskim šumom primjenjuju se napredne tehnike koje uključuju nekoliko koraka koji se trebaju slijediti kako bi se šumovi smanjili ili u potpunosti uklonili. Ti koraci uključuju analizu šuma kao prvi dio tog procesa, sve do eliminacije šuma koji je završni korak. U tekstu koji slijedi će se objasniti koji su to koraci..

### 1. Analiza šuma

Prvi korak u suočavanju s elektromagnetskim šumom je analiza. To uključuje praćenje i mjerenje elektromagnetske okoline s ciljem utvrđivanja i identifikacije izvora smetnji. Analizom se utvrđuje frekvencija, amplituda i vremenski uzorci smetnji kako bi se razumjelo njihovo ponašanje, zbog čega i kad su nastali.

### 2. Oklapanje i uzemljivanje

Nakon identifikacije izvora šuma, slijedi korak u kojem se mjerni krugovi i komponente preoblikuju kako bi se smanjila izloženost elektromagnetskim smetnjama iz okoline. Također, osigurava se dobra zemljana veza kako bi se izbjegle zemljane petlje koje mogu uzrokovati dodatni šum.

#### Oklapanje

Oklapanje se odnosi na postavljanje provodnog materijala oko električnog kruga ili uređaja kako bi se stvorio "štit" koji sprječava elektromagnetske smetnje da ulaze u krug ili da iz njega izlaze. Oklop može biti izrađeno od metalnih materijala poput bakra ili aluminija, ili provodnih materijala s posebnim premazima. Primjeri oklopa uključuju metalne kućišta oko elektroničkih uređaja ili metalne omotače oko kablova

Uzemljivanje: Zemljane veze se odnose na povezivanje električnih uređaja i komponenata s "zemljom" ili referentnom točkom koja ima niski električni potencijal. Zemljane veze služe za sigurnu disipaciju električnog naboja i zaštitu od električnih udara. Osim toga, dobro postavljene zemljane veze pomažu u stabilizaciji napona i sprečavanju elektrostatičkog nakupljanja.

### 3. Upotreba niskošumnih komponenti

Korištenje niskošumnih komponenti ključno je za minimiziranje elektronskog šuma u mjernom krugu. Niskošumna pojačala, senzori i kabeli posebno su važni za očuvanje signala tijekom mjerenja. O niskošumnim komponentama ćemo govoriti u ovom radu, u naslovima koji slijede.



#### 4. Digitalna obrada signala (DSP)

Digitalna obrada signala može se koristiti za smanjenje šuma i poboljšanje kvalitete podataka. Filtriranje, interpolacija i glatkanje signala su tehnike koje se koriste kako bi se eliminirali šumovi.

#### 5. Kontrola okoline

Kontrola okoline ima važnu ulogu u smanjenju elektromagnetskog šuma. To uključuje izolaciju mjernog kruga od elektromagnetskih izvora, korištenje posebno dizajniranih laboratorijskih prostora i primjenu štitnika od elektromagnetskih smetnji.

#### 6. EMC Testiranje

Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) testiranje je bitan korak za osiguravanje kako bi mjerni uređaji ispunjavali regulatorne standarde te je bitno da su otporni na elektromagnetske smetnje. EMC testiranje pronalazi eventualne probleme i omogućuje njihovo rješavanje prije nego što uređaj uđe na tržište.

#### 7. Edukacija i Praksa

Kontinuirana edukacija i praksa ključni su za uspješno suočavanje s elektromagnetskim šumom. Mjerni inženjeri trebaju biti svjesni najnovijih tehnika i alata te ih primjenjivati u praksi. Puno je lakše prevenirati, nego kasnije ispravljati i pronalaziti greške.

Ovi koraci su posebno važni u situacijama gdje se mjere niske razine signala i gdje je točnost od velike važnosti.

### **5.1. Zaštita od vanjskih faktora**

Zaštita od vanjskih faktora u smanjenju smetnji i šuma u mjernom krugu je jako bitna. Upravljanje smetnjama koje dolaze izvana ima ključnu ulogu u osiguravanju pouzdanih i preciznih mjerenja u različitim okruženjima. Vanjski faktori mogu biti npr. elektromagnetske smetnje iz okoline, temperaturne promjene, mehaničke vibracije i mnogo drugih različitih utjecaja koji mogu ometati rad mjernog sustava. U daljnjem tekstu, istražiti ćemo kako se može postići dobra i učinkovita zaštita od vanjskih faktora kako bi se osigurao integritet mjernog kruga.

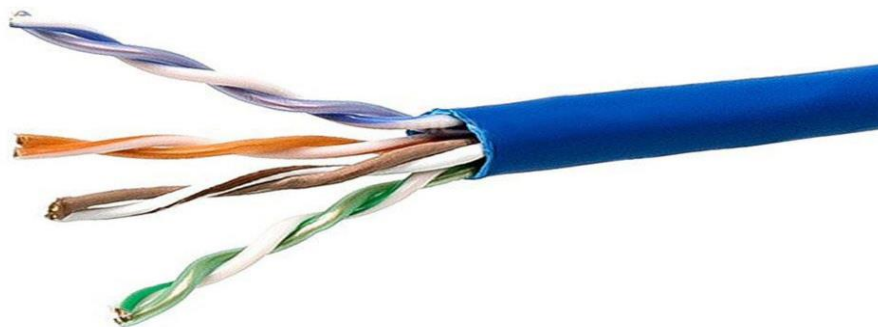
- Prvi i osnovni korak u zaštiti mjernog kruga od vanjskih faktora je pravilan dizajn kako bi se odmah na početku osiguralo da kasnije ne dođe do smetnji. Prevencija smetnji je vrlo bitna jer olakšava daljnje korake. Prvi korak u zaštiti mjernog kruga, odnosno pravilan dizajn uključuje odabir odgovarajućeg kućišta i zaključavanje mjernog uređaja kako bi se spriječila izloženost vanjskim utjecajima kao što su

prašina, vlage te druga mehanička oštećenja koja mogu prouzročiti štetu i smetnje. Također, potrebno je pažljivo smjestiti mjerni uređaj u okolinu kako bi se minimizirala izloženost elektromagnetskim smetnjama iz njegova okruženja.

- Drugi važan korak je primjena elektromagnetske kompatibilnosti. Primjena elektromagnetske kompatibilnosti korištenje oklopljavanja i uzemljivanja veza kako bi se zaštitili od elektromagnetskih smetnji iz drugih uređaja ili iz okoline. Također, upotreba feritnih prstena i filtera može pomoći u suzbijanju i otklanjanju elektromagnetskih smetnji koje bi mogle proći kroz kabelaške veze.
- Temperaturna kontrola je također jedan od ključnih aspekata. Fluktuacije temperature mogu uzrokovati termalni šum u elektroničkim komponentama. Zbog toga je važno osigurati stabilne temperature unutar mjernog kruga. Osiguravanje stabilne temperature postiže se koristeći termalnu izolaciju
- Mjerenja vibracija i udara također mogu biti štetna za precizna mjerenja. Stoga, mjerni uređaji često koriste mehaničke amortizere i zaštitu od vibracija kako bi se smanjila osjetljivost na mehaničke utjecaje.
- Nadalje, mjerni uređaji često koriste redundantne sustave i automatske alarme kako bi se brzo reagiralo na neželjene vanjske faktore. To može uključivati upotrebu rezervnih senzora ili automatskih prekidača kako bi se očuvali podaci u slučaju neplaniranih prekida.
- Stoga, zaštita od vanjskih faktora u mjernom krugu je jako bitna kako bi se osigurala preciznost i pouzdanost mjerenja. Pravilnim dizajnom, primjenom EMC principa, temperaturnom kontrolom, i zaštitom od mehaničkih utjecaja, mjerni uređaji mogu raditi pouzdano čak i u izazovnim okruženjima. To je ključno za mnoge industrije gdje netočna mjerenja često imaju značajne posljedice, stoga su točni podaci ključni.

## **5.2. Uplitanje vodova**

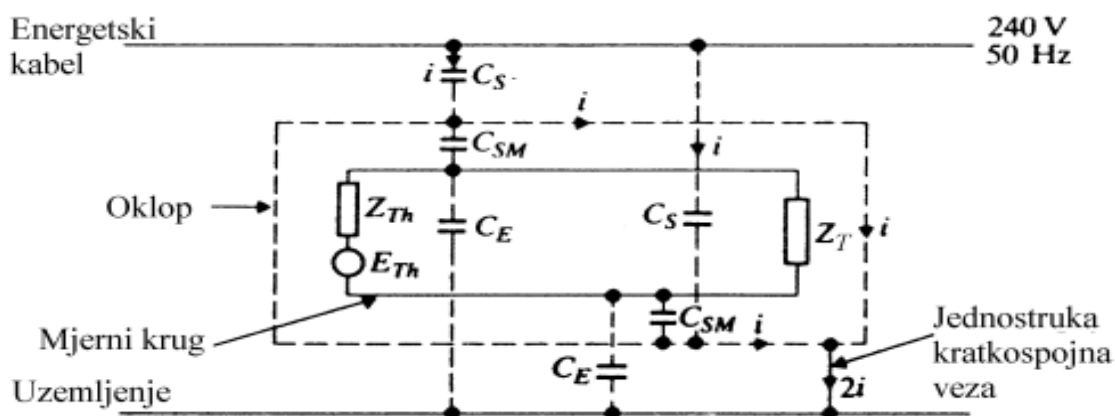
Ova metoda se koristi za smanjene induktivnog spajanja. Jako je efikasna kod induktivnog spajanja. Vršiti se tako da se dva vodiča međusobno isprepleću u spiralni uzorak, to pomaže u smanjenju elektromagnetskih smetnji.[9] Djeluju tako što dva vodiča vode jednaku struju suprotnog smjera i tako stvaraju magnetsko polje koje poništava međusobne učinke i tako smanjuje ukupno magnetsko sprezanje s vanjskim izvorima. Još jedna od prednosti ove metode je što osigurava da su žice tijekom cijele dulje u bliskom kontaktu što minimizira površinu petlje i učinke magnetskog sprezanja. Ova metoda pruža učinkovito i ekonomično za smanjenje smetnji.



Slika 5.2 Prikaz isprepletenih vodiča[9]

### 5.3. Oklapanje

Oklapanje je postupak koji služi za zaštitu od vanjskih elektromagnetskih smetnji. Vršiti se tako da se koriste materijali koji su magnetski nepropusni kako bi blokirali vanjska elektromagnetska polja. Primjenjuje se u sustavima kako bi se smanjio utjecaj magnetskog i kapacitivnog sprežanja.[11] Često se koriste materijali kao što su bakar i aluminij. Oklopi, štitnici se prave u obliku ovoja, mreža ili folija koji se postavljaju oko kabela ili nekih komponenti. Kod ove metode jako je važno pravilno uzemljivanje, jer ako ne uzemljimo pravilno štitovi mogu biti uništeni. Jako je važno da je taj put uzemljenja niske impedancije. Čvrsti štitovi pružaju najbolja rješenja za smanjene smetnji ali su teža za proizvodnju i primjenu pa se većinom koriste pleteni štitovi. Pleteni štitovi imaju manju učinkovitost i to je posebno izraženo pri visokim frekvencijama gdje su rupe u pletenici velike u usporedbi s valnom duljinom. U posebnim slučajevima moguća je i kombinacija čvrstog i pletenog štita.



Slika 5.3 Prikaz oklopa oko mjernog kruga[11]

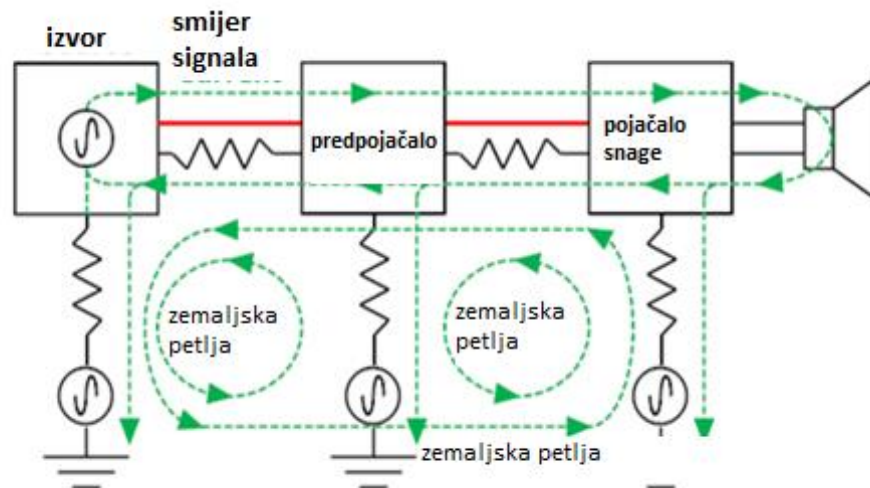
## **5.4. Uzemljivanje**

Ovakva vrsta zaštite služi da bi se spriječila mogućnost nastanka kvara i smanjile smetnje u sustavu koje mogu uzrokovati greške u radu. Sustav uzemljenja, kao način osiguranja, osigurava značajno smanjenje rizika i troškova povezanih s problemima ometanja ili oštećenjem opreme, kako direktnih troškova zamjene oštećene opreme, tako i, što je još važnije, indirektnih troškova povezanih sa zaustavljanjem ili neispravnim radom, čije posljedice mogu biti katastrofalne.

Uvijek treba obratiti pažnju na elektromagnetsku kompatibilnost (EMC) s obzirom na kompromis između različitih dijelova sustava, a ne ograničiti se samo na jedinstveni pojedinačni element - ako imate senzor s ugrađenom elektronikom za povezivanje s digitalnim sustavom autobusa, vjerojatno je malo važno koristite li element za mjerenje temperature ili otpornika. Zato je uzemljenje i povezivanje cijelog sustava ključni faktor za EMC.

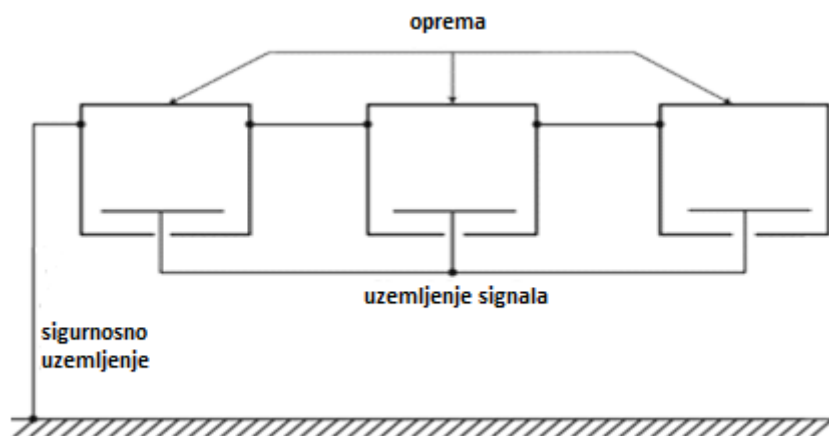
### **5.4.1. Sustav uzemljenja i njegov odnos s prijenosom signala**

Kada je riječ o distribuciji signala kroz postrojenje, cilj je postići kompromis između različitih izvora elektromagnetskog ometanja kako bi ukupna smetnja spojena u sklop ne uzrokovala ometanja, odnosno kako bi se informacije sačuvale iako signal može biti izobličen.[5] Za postizanje odgovarajuće konfiguracije, primjenjuju se odgovarajuće tehnike za kontrolu zračenja ili provodljivog ometanja na svakom signalnom putu, ali uvijek se očuvaju sigurnosni zahtjevi u vezi s distribucijom električne energije i zaštitom od munje. Kod ovakvog sustava jako je važno paziti na zemaljsku petlju ili kako se još naziva „ground loop“. Odnosno kada razmatramo dva vodiča u krugu možemo razlikovati dvije vrste toka struje: diferencijalni način odnosno željeni signal što znači da struja teče od izvora prema opterećenju jednim vodičem, a vraća se drugim vodičem. Drugi način je neželjeni signal gdje buka teče u istom smjeru na oba vodiča, a vraća se putem trećeg vodiča obično referentne uzemljenosti.



Slika 5.4.1. Prikaz „ground loop-a“[5]

Ovaj problem se događa u slučaju kada su izvor signala i opterećenje povezani s referencom tj. zemljom na različitim točkama. U takvim slučajevima vrlo je praktično napraviti da se samo izvor ili opterećenje uzemljuju na jednom kraju kruga. Instrumentacijski krugovi za prijenos signala iz senzora već puno godina koriste takav princip. Budući da su naponi i struje na frekvenciji električne energije (50/60 Hz) u postrojenju bili glavna prijetnja buke, često se koriste zaštićeni par kabela.



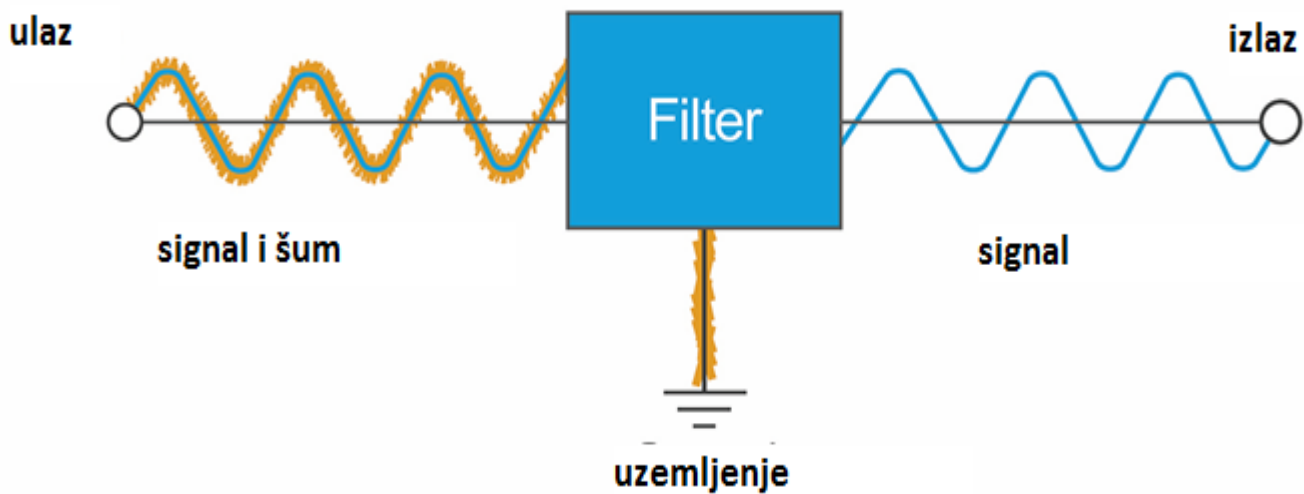
Slika 5.4.1,2: Prikaz uzemljenja u zajedničkoj točki[5]

Međutim ovakav način postaje sve manje učinkovit zbog sve većeg korištenja uređaja visoke frekvencije u industrijskim postrojenjima, poput mikroprocesora. Kada se uzmu u obzir veće frekvencije krug u kojem teče zajednički način struje možda neće imati vezu za zatvaranje svoje

petlje što obično vodi do referentne točke. To se može objasniti tako što se uzme u obzir da pri visokom frekvencijama slučajne kapacitivnosti na tom neuzemljenom kraju druga dovoljno niske impedancije da zatvore strujnu petlju. Visokofrekventna struja zajedničkog načina slobodno stvara zemaljske petlje tečeći zrakom, čime se narušava svrha uzemljivanja u jednoj točki. Posljedica toga su da će senzori uvijek patiti od buke visoke frekvencije koja proizlazi iz digitalne obrade, komunikacija, preoblikovanja snage u prekidačkom načinu rada, A/D pretvornika. Ova smetnja visoke frekvencije može biti vrlo značajna za mjerni sustav. Ovakve smetnje mogu se kontrolirati uz pomoć tehnika za ublažavanje povezane s uzemljenjem, kao što su prekidanje petlje zajedničkog načina pri visokim frekvencijama, . pomoću transformatora koji izoliraju visoke frekvencije, optičkih vlakana, CM prigušnica. Korištenjem zaštićenih kabela ili korištenje krugova koji su tolerantniji na zajednički način struje.

## **5.5. Filtriranje**

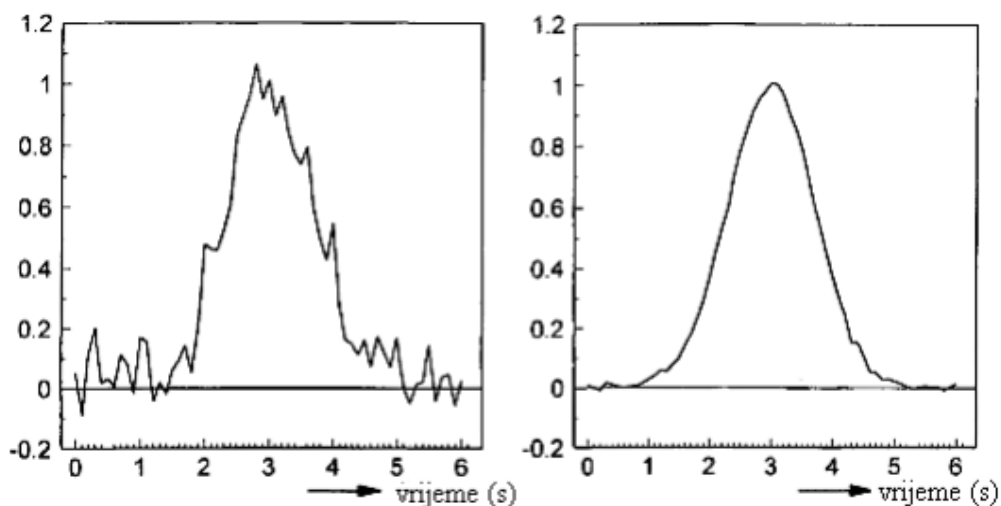
Filtriranje je vrlo učinkovit način pri smanjenju smetnji i šuma u mjernom krugu. Vršiti se tako da se u mjerni krug ugrađuju određeni filteri koji smanjuju šum. Šum se često javlja u višem frekvencijskom rasponu, stoga EMI filteri često djeluju kao niskopropusni filteri koji propuštaju niže frekvencije, dok odbacuju visoke frekvencije. Postoje različiti tipovi EMI filtera koji potiskuju određene frekvencije buke dok omogućavaju nesmetan protok drugih. Kada se elektromagnetska buka filtrira, usmjerava se dalje od uređaja i preusmjerava prema tlu. Neki EMI filteri također mogu preusmjeriti neželjene struje natrag prema izvoru buke ili ih apsorbirati. EMI filteri štite od provodljive EMI, stoga se često koriste u kombinaciji s oplatama koje blokiraju zračenje EMI. Bez oplate, EMI filter može još uvijek prenositi buku zrakom i oštetiti uređaj. Buka može biti emitirana iz žice na jednoj strani EMI filtra, a zatim se putem povratne spojnice prenijeti do uređaja putem žice na drugoj strani. Dodavanjem oplate na mjestu pričvršćivanja EMI filtra može se učinkovito blokirati sve oblike EMI. Međutim, ako postoji samo mala duljina vodiča između filtra i izvora EMI-ja, upotreba samo EMI filtra može biti dovoljna.



Slika 5.5 Pojednostavljeni prikaz filtera šuma[6]

## 5.6. Usrednjavanje

Jedna od najučinkovitijih tehnika izravnavanja signala jest njihovo usrednjavanje, usrednjavanje signala koristi njihovu korelaciju u određenom vremenu za brojna ponovljena mjerenja. Upravo je zbog tog razloga izdvojena kao zasebna tehnika obrade signala. Ako se signal može višestruko mjeriti, a da se pritom njegov oblik ponavlja u vremenskoj domeni, tada je tehnika usrednjavanja vrlo praktična pa se računaju prosjeci svih mjerenja u svakoj točki. Usrednjavanje ne iskrivljuje mjereni signal



Slika 5.6 primjer usrednjavanja[12]

## **5.7. Primjena niskošumnih komponenti za kvalitetna mjerenja**

Niskošumne komponente su ključan element u elektroničkim krugovima. One imaju presudnu ulogu u osiguravanju kvalitetnih mjerenja u različitim aplikacijama. Ove komponente su posebno dizajnirane kako bi se minimizirale različiti oblici šuma i smetnji u električnim signalima, a čime doprinose točnosti i pouzdanosti mjerenja. U daljnjem tekstu istražiti ćemo kako se koriste niskošumne komponente u svrhu postizanja visokokvalitetnih mjerenja.

### **1. Niskošumna pojačala**

Niskošumna pojačala imaju ključnu ulogu u mnogim primjenama. Važni su u situacijama kada je važno pojačati slab signal bez uvoda dodatnog šuma. Primjena niskošumnih pojačala posebno je važna u komunikacijama, radijskim sustavima, te senzorskim mrežama gdje se radi s izrazito niskim razinama signala. Niskošumna pojačala poboljšavaju osjetljivost i omjer signala i šuma, tj. mjernog sustava.

### **2. Niskošumni senzori**

U aplikacijama gdje se mjere fizičke veličine poput temperature, svjetline ili tlaka, niskošumni senzori omogućuju precizna i točna mjerenja. Oni su dizajnirani da generiraju minimalne električne smetnje tijekom mjerenja, što osigurava da signal ostane čist i pouzdan.

### **3. Niskošumni osciloskopi i analizatori signala**

U laboratorijskim postavkama, niskošumni osciloskopi i analizatori signala ključni su za analizu električnih signala. Oni minimiziraju dodatni šum tijekom mjerenja, što omogućuje precizno promatranje i analizu signala.

### **4. Niskošumni izvori napajanja**

Kvalitetan izvor napajanja s niskim šumom i preciznim regulacijama osigurava stabilno i čisto napajanje za mjerni uređaj. Ovo je posebno važno u laboratorijskim i industrijskim postavkama gdje su oscilacije napajanja nepoželjne i mogu negativno utjecati na mjerenja.

### **5. Niskošumni kabeli i priključci**



Upotreba visokokvalitetnih kabela i priključaka koji imaju niske gubitke i priključke s malom emisijom elektromagnetskih smetnji presudna je za očuvanje integriteta signala tijekom prijenosa podataka između komponenata mjernog sustava.

#### 6. Niskošumne komponente u optičkim sustavima

U optičkim sustavima, niskošumni fotodetektor i niskošumni optički pojačivači imaju ključnu ulogu u održavanju niskog optičkog šuma i visokog SNR-a, što osigurava pouzdane komunikacijske veze i precizna optičke mjerenja.

Primjena niskošumnih komponenti ključna je za postizanje visokokvalitetnih mjerenja u širokom spektru aplikacija. Njihova sposobnost smanjivanja šuma i smetnji doprinosi povećanoj preciznosti, pouzdanosti i osjetljivosti mjernih sustava. Niskošumne komponente imaju ključnu ulogu u mnogim industrijama, uključujući telekomunikacije, medicinu, znanstvena istraživanja i industrijsku automatizaciju, gdje su točna mjerenja od izuzetne važnosti.

## 6. ZAKLJUČAK

Pri izradi završnog rada detaljno je istraženo o smetnji i šumu, njihovom djelovanju i metodama smanjena istih. Smetnje i šum veliki su problemi pri mjerenjima jer dolazi do pogrešaka koje su posljedice smetnji. Kroz analizu različitih metoda i istraživanja pokazalo se da su pravilno dizajnirani filtri, dobro zaštićeni mjerni instrumenti i primjena digitalnih tehnika obrade signala ključni faktori u postizanju visokog nivoa točnosti i pouzdanosti u mjernom procesu. Važno je znati sami izvor šuma kako bi se odmah moglo djelovati na njega jer jednom kada šum uđe u sustav dalje ga se ne može riješiti. Smetnje se u mjerni krug mogu unijeti na više načina: induktivnim i kapacitivnim sprezanjem, preko zajedničke mase ili radijacijom. Sve ovo je važno znati jer da bi se smetnja uklonila, smanjila mora se ukloniti jedan od čimbenika same smetnje točnije ili na sam izvor smetnje ili na način na koji ulazi u krug. Uzimajući u obzir sve ovo, može se zaključiti da je smanjenje smetnji i šuma jedno od ključnih stvari za postizanje točnih mjernih rezultata. Kombinacija tehnoloških inovacija i stručnog održavanja može značajno doprinijeti poboljšanju performansi mjernog kruga i osigurati visok nivo preciznosti. Daljnje ulaganje u istraživanje i razvoj tehnika i tehnologija smanjenja smetnji i šuma od velikog je značaja za poboljšanje modernih mjernih sustava.

## LITERATURA

- [1] A.Šantić „Elektorinička instrumentacija“, Školska knjiga Zagreb, 1993.
- [2] V.Bego „Mjerenja u elektrotehnici“, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 1975.
- [3] D.Dorić „Mjerenja u elektrotehnici stručni studij predavanje“, Dodatak uz predavanje.
- [4] A.Rich „Understanding interference-Type noise“
- [5] Sustav uzemljenja i njegov odnos s prijenosom signala, dostupno na: <https://www.mddionline.com/news/using-grounding-control-emi>
- [6] Filtriranje, dostupno na: <https://www.astrodynetdi.com/blog/emi-filter-basics>
- [7] Tehnička enciklopedija- Elektronika, uređaji, šum
- [8] Induktivno sprezanje, dostupno na: <https://www.smar.com/en/technical-article/inductive-coupling-and-how-to-minimize-their-effects-in-industrial-installations>
- [9] Uplitanje vodova, dostupno na: <https://www.mirazon.com/network-cables-and-connectors-twisted-pair-cat5/>
- [10] Izvori smetnji i šuma, dostupno na: <https://www.electrical4u.com/electromagnetic-interference/>
- [11] Oklapanje, dostupno na: <https://slideplayer.gr/slide/14413356/>
- [12] Usrednjavanje, dostupno na: <https://www.edn.com/emi-emissions-testing-peak-quasi-peak-and-average-measurements/>

## **SAŽETAK**

Pri mjerenju veličina pojavljuju se greške koje nastaju od šuma i smetnji. Šum je neželjeni signal koji može doći izvana ili iznutra, a za smetnju možemo reći da je djelovanje tog šuma na mjerni krug. Smetnje je važno minimizirati, a to se vrši pomoću određenih metoda počevši od analize šuma pa do djelovanja metodama uzemljivanja, oklopanja, filtriranja itd.

## **ABSTRACT**

When measuring quantities, errors occur due to noise and interference. Noise is an unwanted signal that can come from external or internal sources, and interference can be described as the effect of that noise on the measurement circuit. It is important to minimize interference, and this is done through various methods starting with noise analysis and then implementing methods such as grounding, shielding, filtering, etc.

## **ŽIVOTOPIS**

Borna Ahmeti rođen 03.10.2000. godine u Osijeku. Osnovnu školu završava u Osnovnoj školi Ljudevita Gaja Sarvaš. 2015. godine upisuje srednju školu u Osijeku, smjer „elektrotehničar“ u Elektrotehničkoj i prometnoj školi Osijek. Nakon polaganja mature 2019. godine upisuje preddiplomski stručni studij, smjer elektroenergetika FERIT u Osijeku, Republika Hrvatska.