

PREGLED KARAKTERISTIKA ŠUMA NA PLC MEDIJU

Mr. sc. Dubravko S a b o l i ć, Zagreb

UDK 621.0.310:621.391.22
PREGLEDNI ČLANAK

U ovome članku daje se pregled dosadašnjih spoznaja o šumu prisutnom na PLC mediju, bilo na vanjskoj ili unutarnjoj mreži, baziran na literaturi [1 – 12]. Poznavanje svojstava šuma na prijenosnom mediju omogućuje teoretsku evaluaciju, simulaciju i eksperimentalno utvrđivanje otpornosti pojedinog komunikacijskog sustava na ukupni šum prisutan na mediju, a posjedovanje odgovarajućeg modela šuma omogućuje optimizaciju komunikacijskog sustava tijekom njegovog razvoja.

Ključne riječi: šum, PLC, distribucijska mreža.

1. UVOD – KLASIFIKACIJA ŠUMA NA DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

Za razliku od mnogih drugih, ali opet ne svih, prijenosnih medija, PLC (engl. Power Line Carrier) niti približno ne odgovara predodžbi AWGN kanala (engl. Additive White Gaussian Noise). Šum u PLC mrežu stiže s tri moguće strane: iz transformatorske stanice, s trošila priključenih na distribucijsku mrežu, te prijamom elektromagnetskih polja prisutnih u prostoru. Termički šum u nama interesantnom frekventijskom opsegu, od 3 kHz do 30-ak MHz, zanemariv je u odnosu na ostale vrste šuma proizvedene ljudskom aktivnošću, ili ponekad prirodnim procesima (npr. udari groma). Sveukupno, šum PLC medija može se klasificirati u šest glavnih vrsta:

- Pozadinski (engl. background) šum, koji nije bijeli, već je naglašeniji na nižim frekvencijama, a dolazi iz različitih izvora koje je teško identificirati, i na mreži je prisutan uvijek. Spektralna gustoća je relativno niska u odnosu na ostale vrste šuma, dok su njene promjene u vremenu polagane, i u značajnoj mjeri se događaju unutar intervala dugačkih više minuta ili sati. Do sada u literaturi nije precizno zabilježena eventualna korelacija spektralne gustoće, odnosno ukupne snage, pozadinskog šuma i dnevnog dijagrama opterećenja energetskog sustava, premda je logično očekivati da bi takva veza mogla postojati, s obzirom da pozadinski šum nastaje zajedničkim djelovanjem mnogo malih pojedinačnih izvora šuma, tj. trošila priključenih na mrežu, čija prisutnost je u razmjeri s opterećenjem mreže. Isto tako, dio pozadinskog šuma nastaje i prijamom elektromagnetskih signala prisutnih u okolini, čija ukupna gustoća snage na nekom mjestu također može biti u korelaciji s opterećenjem mreže, premda vjerojatno u manjoj. Obojeni pozadinski šum lako se modelira odgovarajućim filtriranjem izvora bijelog šuma, u

skladu s eksperimentalnim saznanjima, što nije problem učiniti niti doslovce, a niti kao računalnu simulaciju.

- Uskopojasni šum [10, 11] najznačajniji je na frekvencijama u području nekoliko MHz, a nastaje gotovo isključivo prijamom elektromagnetskih polja AM radijskih odašiljača, pa je prema tomu njegov spektralni sastav jednostavan. Riječ je, naime, o moduliranom sinusnom signalu, tipične spektralne širine od nekoliko kHz. Snaga šuma mijenja se tijekom dana u skladu s promjenama propagacijskih uvjeta za AM signale, i obično je veća tijekom noći. Uskopojasni šum lako se modelira sinusnim izvorom. Preliminarni statistički model u skladu s kojim se može izvršiti odabir takvih izvora dan je u [10, 11].
- Šum koji se proizvodi u sinkronizmu s frekvencijom napona elektroenergetske mreže, ili češće njenom dvostrukom vrijednošću, duguje se različitim napajackim i prekidačkim sklopovima koji koriste tiristorsku tehnologiju. Česti i jaki izvori smetnji su npr. tiristorski regulatori osvjetljenja. Impuls kojega generira svaki od prisutnih tiristora nastaje uvijek u istoj fazi periode ili poluperiode mrežnog napona. Stoga je spektar takvog šuma sastavljen od harmonika osnovne frekvencije, bilo to 50 ili 100 Hz, a snaga harmonika vrlo visokog reda (nekoliko stotina) još uvijek može višestruko nadvisivati pozadinski šum.
- Asinkroni periodički šum potječe od svih uređaja koji imaju tzv. switch-mode napajanje, a to je danas većina elektroničkih uređaja koji se spajaju na niskonaponsku mrežu. Razlog povećanju količine ovakvih trošila je u nižoj cijeni, manjoj disipaciji snage i manjim dimenzijama ovakvih napajanja u odnosu na klasične s transformatorom i diodnim mostovima, tako da se oni danas gotovo isključivo upotrebljavaju. Pošto switch-mode napajanja rade na frekvencijama između 20 i 200 kHz, čiji izvori

nemaju nikakve veze s frekvencijom napona mreže, impulsi koje oni proizvode su periodični, ali nisu u korelaciji s frekvencijom mreže. Spektar šuma sadrži harmonike osnovne radne frekvencije. Oscilatori ovakvih sklopova često nisu osobito stabilni niti u vremenu, niti temperaturno, niti po opterećenju. Tipični uređaji sa switch-mode napajajima su televizori i računala. Pored frekvencije napajaja, ova trošila još mogu emitirati spektralne linije harmonika frekvencije horizontalnog stupnja televizora, odnosno monitora.

- Šum s kontinuiranim spektrom, odnosno bez posebno istaknutih stacionarnih spektralnih linija, potječe od vrlo čestih trošila s univerzalnim elektromotorima i s četkicama. Tipični primjeri su bušilice, ventilatori, fenovi, i sl. Brzina njihova rada ne ovisi o mrežnoj frekvenciji, već o mehaničkom opterećenju, pa se spektralna gustoća šuma mijenja s time u skladu. Bez obzira na općenito glatki tijek spektralne gustoće ovakvih izvora smetnji, mogu postojati malo izdignute spektralne linije na harmonicima trenutne frekvencije preklapanja četkica, koja je u razmjeri s brzinom vrtnje stroja, a ta je vrlo promjenjiva u vremenu. Za komunikacijske sustave uske širine pojasa ova vrsta šuma može se aproksimirati bijelim Gausovim šumom.
- Pojedinačni impulsi nastaju npr. zbog udara groma, uključivanja i isključivanja kondenzatorskih baterija u trafostanicama, preklapanja termostata, različitih prekidača, itd, i posve su slučajnog karaktera, bilo po trenutku nastajanja, trajanju, valnom obliku i amplitudi. Trajanja impulsa kreću se od nekoliko mikrosekundi do više milisekundi, a spektralna gustoća može se popeti i do 50 dB iznad pozadinskog šuma u nekim frekvencijskim opsezima. PLC medij u usporedbi s drugima obiluje impulsnim smetnjama. Podrobnija analiza impulsnog šuma može se naći u [7, 8, 9], a u ovome članku neće biti riječi o njemu, jer po svome značenju on prelazi okvire preglednog članka, i traži podrobniju obradu.

Zanimljivo je da su istraživači kroz protekle godine znatno više pažnje posvetili definiranju modela kanala PLC medija, nego li određivanju modela šuma, premda je analiza komunikacijskog sustava nemoguća bez bilo koje od ovih komponenti. Naime, prijamni signal jednak je sumi odaslanog signala izobličenog djelovanjem kanala i šuma, pa je svakako potrebno definirati vjerodostojan model šuma. Posebno, vrlo rijetko se susreće analiza impulsnog šuma, bez čijeg modela se ne mogu proučavati komunikacijski sustavi s PLC-om kao prijenosnim medijem. Chan i Donaldson u [4] daju rezultate mjerenja statistike impulsnog šuma samo u frekvencijskom području do 200 kHz. Tek Zimmerman i Dostert u [7], 2000. godine, iznose jedan dobar model impulsnog šuma s Markovljevim lancima, baziran na stvarnim mjerenjima impulsnih pojava, primjenjiv u analizi komunikacijskih sustava velike širine pojasa.

2. PREGLED KARAKTERISTIKA POZADINSKOG ŠUMA U FREKVENCIJSKOM PODRUČJU DO 1 MHz

Podaci o izmjerenim karakteristikama šuma u frekvencijskom području do 1 MHz dostupni su iz više izvora. U [12] su prezentirani, među ostalim, rezultati mjerenja šuma prisutnog na vanjskoj PLC mreži, na frekvencijama od 20 do 450 kHz. U [3] je dana podrobna analiza šuma na unutarnjoj mreži u području od 0 do 100 kHz, s posebnim osvrtom na tipične uređaje široke potrošnje koji se vrlo često susreću u uporabi, a generiraju značajne razine šuma. U [5] se nalaze podaci o mjerenjima šuma vanjske mreže do 100 kHz. U [1] se nalazi prikaz tipičnih vrijednosti spektralne gustoće šuma unutarnjeg PLC medija u području nekih 15 kHz do preko 200 MHz u različitim uvjetima (ruralna, industrijska i uredska zgrada). U tome članku vidi se opći trend ovisnosti intenziteta šuma o frekvenciji, gdje se uočava da u području do 1 MHz logaritmom spektralne gustoće šuma pada otprilike linearno s logaritmom frekvencije, s nagibom od približno 25 dB po dekadi, te da se tipična razina šuma u tome području, između poslovnih zgrada u urbanim zonama i stambenih objekata u ruralnim sredinama, može razlikovati i za približno 25 dB. Prema tome, pozadinski šum PLC medija na niskim frekvencijama ima odlike obojenog šuma. Autori u [1] navode opisno i rezultate nekih svojih opažanja. Primjerice, srednje razine šuma u promatranoj stambenoj zgradi varirale su tijekom dana za oko 6 dB, pri čemu se maksimum događa oko 11 sati prije podne, a minimum u rano jutro. Sasvim je moguće da to ima neke veze s dnevnim dijagramom opterećenja elektroenergetskog sustava, a i maksimalna varijacija snage u rasponu od 6 dB odgovara tipičnom rasponu opterećenja sustava, od približno dva puta. Autori iznose i zapažanje da uključivanje pojedinih trošila malo doprinosi povećanju opće razine šuma, ali ne navode mjerne uvjete pod kojima su to opazili. Ovo je vjerojatno posljedica činjenice da šum na PLC mediju nastaje zajedničkim djelovanjem mnogih trošila, bilo vođenjem šuma preko mreže, bilo elektromagnetskim zračenjem, a opažena dnevna varijacija svakako govori tome u prilog.

Selander u [12] analizira šum u opsegu od 20 kHz do 450 kHz na vanjskoj podzemnoj mreži u jednom naselju. Analizirana mreža napaja 70 kućanstava, i predstavlja tipičnu europsku distribucijsku mrežu jedne niskonaponske trafostanice. Rezultati ukazuju na sljedeće:

- Spektralna gustoća šuma ima u osnovi isti frekvencijski tijek na različitim lokacijama i u različita vremena. Šum je najjači u području do 100 kHz. Na više lokacija spektralna gustoća u području od 20 do 100 kHz pada za približno 40 dB. Najveća je gustoća snage u najnižem dijelu spektra, gdje u pravilu iznosi oko – 100 dB (W/Hz). Čitavo područje od 20 do 450 kHz karakterizirano je izvanredno velikim brojem is-

taknutih uskih spektralnih linija, od kojih poneke nadvisuju pozadinski šum i za 25 dB.

- U području od 100 do 450 kHz pozadinski šum ima relativno ravnu frekvencijsku karakteristiku, negdje oko -150 dB (W/Hz), ali zbog prisutnosti brojnih uskopojasnih komponenti stvarne prilike su dosta lošije. Autor je opazio da one polako u vremenu mijenjaju položaj na frekvencijskoj osi i snagu. Zamjetan broj ovih smetnji premašuje -130 dB (W/Hz).
- Zanimljivo je da mjerenja praktički na svim lokacijama pokazuju veću razinu šuma tijekom vikenda, nego li tijekom radnog dana, a to se posebno odnosi na najniži frekvencijski opseg, do 100 kHz. S obzirom da je riječ o distribucijskoj mreži koja napaja stambeno naselje, to se ne čini nelogičnim. Vjerojatno je da stanovništvo tijekom tjednog odmora više koristi različite električne aparate nego li za vrijeme radnog tjedna.

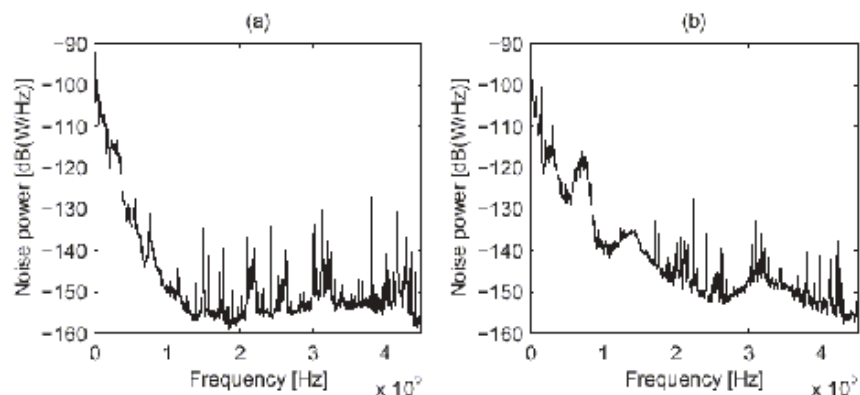
Samo ilustracije radi, na slici 1 dajemo usporedni prikaz karakteristike šuma snimljene na jednoj od razvodnih kutija promatranih u [12] tijekom radnog tjedna (a), odnosno tijekom vikenda (b). Slika 2, također prema [12], prikazuje jakost prijamnog signala u istoj ovoj kutiji, kada je odašiljač bio smješten u trafostanici, i kada je odašiljač signal linearno promjenjive frekvencije od 20 kHz do 450 kHz, amplitude 2.5 V, uz izlaznu impedanciju generatora od 50. Na žalost, autor ne daje podatak o amplitudi ovoga signala na samom ulazu u PLC mrežu, kao ni o međusobnoj udaljenosti trafostanice i razvodne kutije. U ovom primjeru se vidi tipična ovisnost odnosa signala i šuma o frekvenciji u promatranom opsegu frekvencija, od 20 do 450 kHz: on je najlošiji na najnižim frekvencijama, a u području iznad nekih 200 kHz može dostići i 70 dB.

Hooijen u [5] također vrši mjerenja na vanjskoj distribucijskoj elektroenergetskoj mreži i dolazi do vrlo sličnih prosječnih vrijednosti razina šuma, premda se njegov rad odnosi samo na područje frekvencija do 95 kHz. On zatim na bazi 700 izmjerenih spektralnih gustoća šuma, sakupljenih na četiri lokacije u istoj distribucijskoj mreži, kroz mjesec dana, definira parametre modela pozadinskog šuma za frekvencije između 9 kHz i 95 kHz, koji ne uključuje uskopojasne spektralne linije. U tom pojasu razinu šuma izraženu u dB (W/Hz) opisujemo formulom:

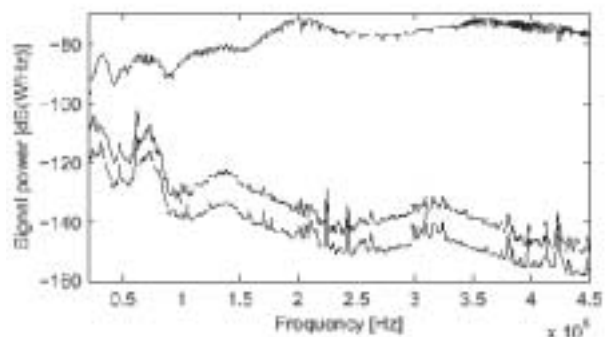
$$N(f) = -30 + 10(K - 3.95 \times 10^{-5} f / \text{Hz}) \quad [\text{dB}/(\text{W}/\text{Hz})] \quad (1)$$

Broj K ovisi o lokaciji opažanja, i može se modelirati gaussovski distribuiranom varijablom sa srednjom vrijednošću karakterističnom za Hooijenov skup mjerenja K_0 od -5.64 dB i standardnom devijacijom σ od 0.5 dB. Iz toga slijedi porodica padajućih pravaca koje karakterizira postotak vjerodostojnosti prema lokacijama promatranja. Kada se npr. u gornju formulu uvrsti upravo srednja vrijednost K_0 , vjerojatnost da na drugim lokacijama prosječne razine šuma neće prekoračivati predviđene iznosi 50%. Uvrsti li se $K_0 + \sigma$, ta vjerojatnost iznosi oko 84%, a za $K_0 - \sigma$ ona je približno 16%, itd... K ovisi i o vremenu, ali u pravilu dosta ili vrlo sporo. Kao što smo već spomenuli, pozadinski šum mijenja se znatno tek kroz minute i sate.

Prema podacima dostupnim u [3], [5], [12] i drugdje, čini se da se ovakav model srednje vrijednosti pozadinskog šuma može primijeniti na frekvencijama do malo iznad 100 kHz. Na višim frekvencijama spektralna gustoća snage pozadinskog šuma pokazuje značajno blaži pad. Što se tiče područja do 450 kHz, obrađenog u [12], može se računati s konstantnom razinom pozadinskog šuma od oko -140 do -150 dB (W/Hz), kada je riječ o frekvencijama između 100 i 450 kHz.



Slika 1. Ilustracija spektra šuma na jednom razvodnom ormaru vanjske PLC mreže iz [12]. Slika (a) snimljena je tijekom radnog tjedna, a slika (b) tijekom vikenda.



Slika 2. Ilustracija za krivulje prijamnog signala (gore), maksimalne razine šuma (sredina) i prosječne razine šuma (dolje) za istu razvodnu kutiju kao na prethodnoj slici, također iz [12]

3. PREGLED OSOBINA ŠUMA U PODRUČJU DO 1 MHz KOJEGA PROIZVODE RAZLIČITA TIPIČNA TROŠILA

Trošila priključena na niskonaponsku elektroenergetsku mrežu sudjeluju u stvaranju pozadinskog šuma, koji nastaje dijelom i kao suma mnogih malih doprinosa svih pojedinačnih uključenih potrošača, od kojih neki po tipičnoj snazi daleko nadmašuju ostale. Nadalje, neke vrste trošila proizvode šum sa istaknutim spektralnim linijama, ili pak šum impulsnog tipa, koji se i u našoj uvodnoj klasifikaciji, i, što je važnije, u pogledu prirode utjecaja na komunikacijski proces, bitno razlikuje od pozadinskog šuma. Stoga ćemo u ovom odjeljku sumirati podatke dostupne u literaturi o karakteristikama šuma kojega proizvode takva posebno šumna trošila.

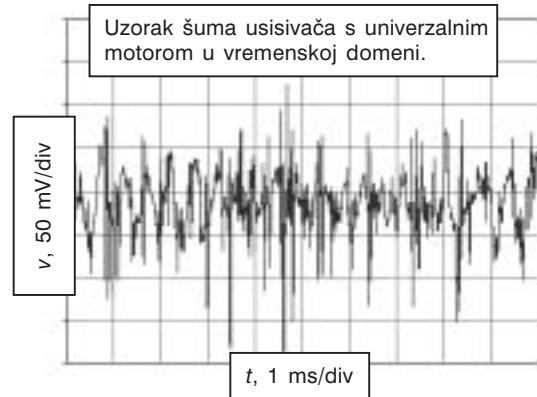
3.1. Univerzalni motori

Univerzalni električni motor koristi se zbog svoje jeftine i jednostavne izvedbe u mnogim aparatima pogonjenim istosmjernim ili izmjeničnim naponom. U smislu elektromagnetske kompatibilnosti njegove osobine u glavnome određuje kolektor s četkicama, koji u pravilu proizvodi šum zbog mehaničkog kontakta ostvarenog klizanjem ugljenih četkica po kolektoru i zbog neprestanog iskrenja prilikom preklapanja. Premda bi se na prvi pogled moglo učiniti da šum proizveden preklapanjem kolektora ima istaknute spektralne linije, jer je vremenska učestalost preklapanja cjelobrojno razmjerna trenutnoj brzini vrtnje stroja, opažanja pokazuju da te spektralne linije bivaju relativno slabo istaknute. Brzina vrtnje univerzalnog stroja ovisi o primijenjenom naponu i mehaničkom opterećenju na osovini stroja, i stoga nije u korelaciji s mrežnom frekvencijom. Sumarni učinak više univerzalnih motora na jednoj distribucijskoj mreži pokazuje se kao obojeni šum bez istaknutih spektralnih linija, jer on nastaje sumacijom doprinosa različitih strojeva s različitim snagama, momentalnim mehaničkim opterećenjima, itd. Zbog toga šum univerzalnih motora ima karakteristike tzv. šuma s glatkim spektrom.

Različiti proizvođači uređaja s univerzalnim motorima poduzimaju različite mjere smanjenja emisije smetnji u mrežu i u eter. Uobičajeno se električni dovod unutar samog uređaja blokira filtarskim kondenzatorom koji potiskuje visokofrekvencijski sadržaj šuma koji nastaje prilikom iskrenja. Međutim, količina nekvalitetnih proizvoda na masovnom tržištu je golema, tako da se, na primjer, vrlo često susreću uređaji s kolektorskim motorima koji proizvode jake smetnje čak i u UHF području televizijske difuzije.

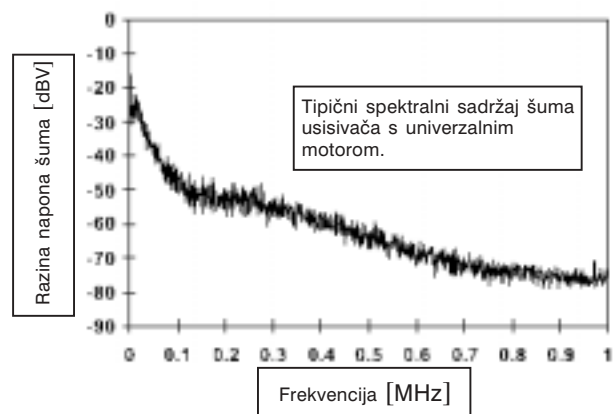
Spektar masovnih proizvoda koji generiraju ovu vrstu šuma neobično je velik. Navest ćemo samo neke najčešće, koji se susreću u svakom kućanstvu: usisivači, fenovi, mikseri, sokovnici, rezači i električni noževi, bušilice, brusilice, blanjalice i slični alati, šivaći strojevi, brijaći aparati, sobni ventilatori, rashladni ventilatori u

računalima, hi-fi uređaji, video rekorderi, pumpe u hladionicima, klima uređaji, dječje igračke, itd ... Na slici 3 dajemo primjera radi jedan tipičan uzorak napona na priključnicama kućnog usisivača u trajanju od jedne poluperiode mrežnog napona, s tim da je mrežni napon frekvencije 50 Hz uklonjen filtriranjem.



Slika 3. Uzorak napona šuma na priključnici usisivača u trajanju od 10 ms

Zanimljivo je da statistika prvoga reda šuma univerzalnih motora ima vrlo izražena obilježja Gaussove distribucije. Spektar ovoga šuma, prikazan u rasponu od 0 Hz do 1 MHz na linearnoj skali, dajemo kao primjer na slici 4. Na njoj je spektralna gustoća izražena u decibelima prema voltu. Značajke šuma na najnižim frekvencijama, do nekoliko kHz, na slici se ne vide zbog mjerila apscise osi. Naime, spektralne linije na frekvencijama proporcionalnim mehaničkoj brzini vrtnje stroja ističu se iznad okolne razine šuma na frekvencijama u svakom slučaju ispod 20 kHz, a značajno se ističe tek prvih nekoliko harmonika. Te spektralne linije u stvari su rasjeppljene u niz podlinija razmaknutih za dvostruku frekvenciju gradske mreže [3].



Slika 4. Spektar šuma sa slike 3 prikazan u području od 0 Hz do 1 MHz na linearnoj skali. Zbog mjerila apscise ne vide se spektralne linije na frekvencijama razmjernim mehaničkoj brzini vrtnje, koje su vidljive na frekvencijama do nekoliko kHz, a zatim nestaju u glatkom dijelu spektra.

U [3] je također pokazano da različiti kućni uređaji s univerzalnim motorima proizvode šum u osnovi s istim frekvencijskim tijekom, a stvarne amplitude napona šuma razmjerne su nazivnoj snazi uređaja. Zbog toga među kućnim uređajima ovakvog tipa najveće smetnje na PLC mreži pričinjavaju upravo usisivači.

Zaključno, karakteristike šuma kojega proizvode univerzalni elektromotori na PLC mreži su prema [3] sljedeće:

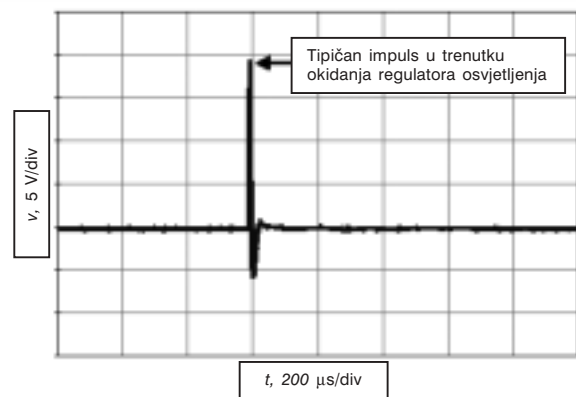
- Šum ima glatki spektar, a intenzitet mu opada s frekvencijom. Jedino u području najnižih frekvencija, ispod 20 kHz, postoje istaknute spektralne linije promjenjive frekvencije, razmjerne trenutnoj mehaničkoj brzini rada stroja, koje se izdižu iznad okolne razine šuma za tipično najviše 15 do 20 dBV.
- Tipične razine šuma univerzalnih motora najjačih kućanskih trošila na frekvencijama ispod 100 kHz, mjereno na priključnicama uređaja, kreću se oko -30 do -40 dBV, ne računajući eventualno istaknute spektralne linije na frekvencijama do 20 kHz.
- U području do 20 kHz, gdje su smetnje kolektorskih motora najjače, one se izdižu iznad pozadinskog šuma za prosječno 15-ak dBV, mjereno na priključnicama. U području od 20 do 100 kHz ta razlika iznosi 30 do 40 dB.
- Na frekvencijama od 100 kHz do 1 MHz šum kolektorskih strojeva opada s približno 30 dBV po dekadi.
- Statistika prvoga reda ove vrste šuma ima obilježja Gaussove razdiobe, a unutar uskih frekvencijskih područja on se može modelirati kao bijeli šum. Na frekvencijama do 100 kHz odgovarajući model dobiva se superpozicijom bijelog šuma i nekoliko istaknutih spektralnih linija, s osnovnom frekvencijom proporcionalnom trenutnoj brzini vrtnje i njenim višim harmonicima.

3.2. Tiristorski sklopovi

Ova grupa uređaja također je dosta prisutna u kućanstvu i u industriji. Dok u širokoj uporabi uglavnom susrećemo različite regulatore osvjetljenja, grijanja, ili eventualno brzine vrtnje uređaja s univerzalnim motorima, te izvore napajanja unutar nekih elektroničkih uređaja, u industriji se pomoću tiristorskih sklopova i postrojenja upravlja ponekad i vrlo velikim tokovima energije. S obzirom na prirodu rada ovih uređaja, šum koji oni proizvode manifestira se kao niz impulsa sinkroniziranih s frekvencijom energetske mreže, ili češće s njenom dvostrukom vrijednošću.

Načelo rada jednostavnih prigušivača svjetla je jednostavno. Kontrolni element, obično triac, okida se uvijek u istoj fazi svake poluperiode sinusnog napona energetske mreže. To osigurava okidni sklop, čije vremensko kašnjenje u odnosu na početak poluperiode namješta korisnik. U fiksnom položaju regulatora trenutak okidanja točno je sinkroniziran na frekvenciju poluperiode, dakle na 100 Hz. Kada dobije okidni sig-

nal, triac odjednom omogući porast trenutne vrijednosti struje s nule na vrijednost određenu naponom mreže i otporom trošila. Istodobno, napon na triacu naglo pada s trenutne vrijednosti mrežnog napona na neku malu vrijednost, tipično do 2 V. Zbog toga nastaje kratkotrajan naponski impuls na mreži. Zbog ublažavanja impulsa u prigušivače se ugrađuje niskopropusni LC filter, koji usporava porast struje pri uključanju. Međutim, niskopropusni filter kao rezonantna struktura, zajedno s impedancijom distribucijske mreže i samim upravljanim trošilom, određuje slobodni odziv mreže na nagli naponski propad, odnosno na porast struje, a taj odziv obično sadrži prigušeno istitavanje na prirodnoj frekvenciji sustava. Na slici 5 vidi se primjer jednog impulsa koji nastaje svakih 10 ms u mreži u kojoj radi prigušivač rasvjete.



Slika 5. Ilustracija tipičnog impulsa tiristorskog regulatora osvjetljenja. Obratiti pažnju na relativno kratko trajanje i visoku amplitudu. U ovome slučaju istitavanje je dobro prigušeno.

Spektralni sadržaj impulsne smetnje prigušivača rasvjete vrlo je bogat. U niskofrekventnom području, do 100 kHz, postoji veliki broj jakih spektralnih linija, gotovo jednake razine, razmaknutih za po 50 Hz. Harmonici reda većeg od 200 u imaju razine tipično 40 dBV više od pozadinskog šuma [3]. Amplituda pojedinačnih impulsa, a time i amplituda harmoničkih komponenti, u proporciji je s upravljanom snagom, premda faktor razmjernosti ovisi o konkretnom tiristorskom sklopu i impedantnim prilikama u mreži. Nije nikakva rijetkost da vršne vrijednosti impulsa prijeđu i nekoliko desetaka volti, a u većini slučajeva radi se o najmanje nekoliko volti.

Ipak, zbog prirode nastanka smetnji tiristorskih sklopova može se ustvrditi da za primjene u PLC komunikacijama spektralni sadržaj te pojave nije od primarnog značenja, s obzirom na njenu inherentnu predvidivost, kako po trenutku nastajanja, tako i po trajanju i intenzitetu. Međutim, osim ako je izvor smetnje u neposrednoj blizini PLC prijammika, atenuacijom i izobličjenjem kroz mrežu ova se vrsta impulsne smetnje utapa u šumi impulsa drugih izvora, odnosno drugačijeg podrijetla, a najvažnije mjere za ocjenu

impulsnog šuma i uspješno modeliranje kanala onečišćenog njime su statističke razdiobe trajanja, amplitude i trajanja intervala bez impulsa smetnji.

Ključna svojstva smetnji koje proizvode tiristorski regulatori su:

- Kratkotrajni i vrlo intenzivni periodički impulsi sinkronizirani s frekvencijom poluperiode mreže, trajanja nekoliko mikrosekundi, i amplituda od nekoliko volti naviše.
- Energija impulsa raspršena je na dosta veliku širinu spektra, u jasno definiranim spektralnim linijama razmaka jednakog mrežnoj frekvenciji.
- Visok stupanj predvidivosti pojave, zbog kojega ju je zapravo neispravno zvati šumom. Vrlo mali dio trajanja poluperiode zagađen je ovom vrstom smetnje.

3.3. Ostali izvori smetnji na frekvencijama do 1 MHz

Switch-mode pretvarači napona u posljednje vrijeme sve više zamjenjuju ostale izvore niskog istosmjernog napona za najrazličitije elektroničke uređaje i sustave, zahvaljujući svojoj niskoj cijeni, malim dimenzijama i malom zagrijavanju. Frekvencija rada takvih napajaača redovito je u ultrazvučnom području, najčešće između 20 i 200 kHz. Premda su oni očito izvori periodičkih smetnji, radna frekvencija im nije osobito stabilna, posebno kod uređaja lošije kvalitete. Njihova osnovna frekvencija nema nikakve veze s frekvencijom energetske mreže. Valni oblik struje koju crpe iz mreže u pravilu izgleda kao izobličena pilasta struja, karakterizirana bogatim sadržajem spektralnih linija na frekvencijama harmonika osnovne frekvencije. U literaturi nema detaljnije analize intenziteta smetnji od ovih uređaja. U svakom slučaju, s obzirom na relativno visoke osnovne frekvencije, smetnje switch mode napajaača tonu u pozadinski šum tek na frekvencijama iznad nekih 700 kHz.

Vrlo jaki izvori harmoničkih smetnji mogu biti najrazličitiji nelicencirani uređaji za komuniciranje PLC medijem, od kojih su najčešći dječji alarmi. Kao i kod sve robe široke potrošnje, kvaliteta ovih uređaja, a posebno briga većine proizvođača za elektromagnetsku kompatibilnost, u najmanju ruku je upitna. Premda bi se ti uređaji dali pažljivo izvesti tako da zaposjedaju pojas od samo nekoliko kHz, s frekvencijom nosioca u ultrazvučnom području, oni obično u mrežu emitiraju niz vrlo jakih i dosta širokih spektralnih linija. Do sada objavljena literatura ne omogućuje kvantitativnu evaluaciju doprinosa tih uređaja ukupnom šumu, što je i razumljivo s obzirom na nestandardiziranost i veliku raznolikost proizvoda.

Televizijski prijamnici generiraju spektralne linije smetnji zamjetne jakosti na harmonicima frekvencije horizontalnog oscilatora. Po svojoj pojavnosti one nalikuju smetnjama od switch mode ispravljača, s tom razlikom što su iznosi frekvencija vrlo stabilni, jer su sinkronizirani horizontalnom frekvencijom televizijskih odašiljača. Unatoč ugrađenom kondenzatoru

paralelno spojenom kabeu mrežnog napajanja, televizijski prijamnik na mjestu gdje je priključen podiže anvelopu spektra šuma za oko 20 dBV u odnosu na pozadinski šum, i pritom ima vrlo istaknute spektralne linije harmonika horizontalne frekvencije (tipično 50 dB iznad pozadinskog šuma). Osim ovih glavnih spektralnih linija, njihovi bočni pojasevi sadrže mnoštvo diskretnih spektralnih linija razmaknutih za iznos vertikalne frekvencije, odnosno frekvencije mreže, dakle za 50 Hz [3].

Selander u [12] konstatira postojanje uskopojasnih komponenti šuma, kao i da njihov intenzitet i, zanimljivo je, položaj na frekvencijskoj osi, ovisi o lokaciji promatranja, što se uostalom vidi i na slikama 1 i 2. On daje objašnjenje da je najvjerojatnije riječ o radiodifuziji, ali to ne mora biti u cijelosti istinito. Naime, ovisnost frekvencija istaknutih linija o mjestu promatranja ne govori tomu u prilog.

Ostali izvori šuma i smetnji na frekvencijama do 1 MHz imaju u osnovi zanemarivo djelovanje u usporedbi s do sada navedenima.

4. PREGLED KARAKTERISTIKA POZADINSKOG ŠUMA U FREKVENCIJSKOM PODRUČJU OD 1 DO 60 MHz

Ekperimentalni rezultati mjerenja pozadinskog šuma i šuma kojega proizvode različita trošila objavljeni su samo u nekoliko članaka i drugih publikacija. Općenito se može reći da su podaci o osobinama šuma PLC mreže na višim frekvencijama oskudni. Van der Gracht i Donaldson u [1] daju graf ovisnosti očekivane vrijednosti spektralne gustoće šuma u širokom rasponu frekvencija. Na tom se prikazu vidi da u najproblematičnijoj sredini, a to je, što se unutarne mreže tiče, uredska zgrada u visokourbaniziranoj zoni, očekivana razina gustoće šuma uranja u razinu termičkog šuma na otporu od 50 Ω na frekvencijama oko 70 MHz. Prije toga ona opada (s) približno 40 dB po dekadi. U ruralnim sredinama tipične vrijednosti šuma su za oko 25 dB niže. Te su zakonitosti približno zadovoljene na frekvencijama od 5 do 70 MHz, i one mogu biti upotrijebljene kao prva aproksimacija za iznos pozadinskog šuma. Iznos gustoće šuma na 5 MHz je oko -160 dB(W/MHz). Termički šum na radnom otporu od 50 Ω ima jednoliku spektralnu gustoću od -204 dB(W/Hz).

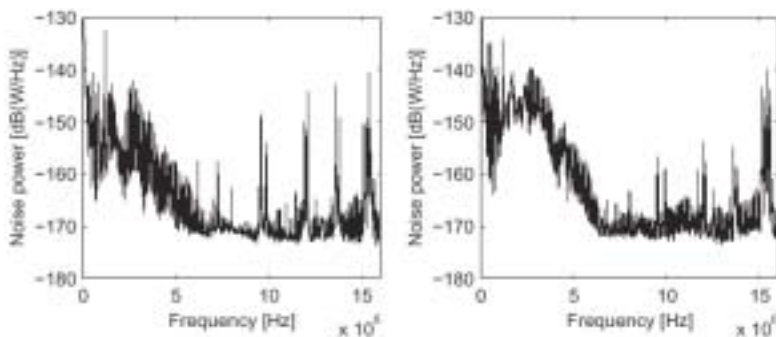
Kao i u području niskih frekvencija, osim pozadinskog šuma ukupnoj snazi šuma doprinose i drugi izvori. Najčešće su to trošila priključena na mrežu negdje u blizini komunikacijskog kanala. U tom slučaju pozadinskoj razini šuma treba dodati spektralnu gustoću šuma proizvedenog od strane predmetnog trošila u decibelima, te oduzeti odgovarajući broj decibela gušenja između izvora šuma i komunikacijskog prijamnika. Nadalje, potrebno je uračunati spektralne linije uskopojasnih izvora šuma (AM radiodifuzije, radio-

navigacije, fiksnih mobilnih servisa i sl., a na frekvencijama od 50-ak MHz nadalje, televizijske difuzije).

Selander u [12] daje rezultate mjerenja šuma na vanjskoj distribucijskoj mreži u pojasu od 1 do 16 MHz, gdje konstatira sljedeće:

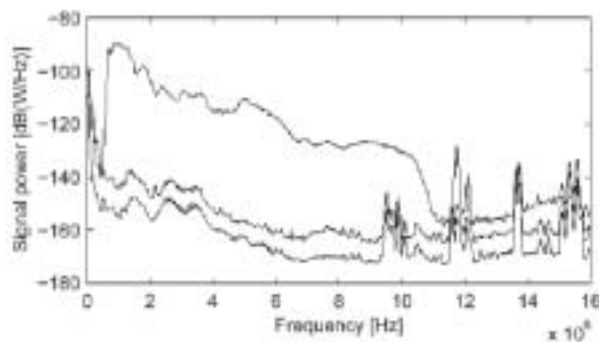
- Na frekvencijama između 1 i 7 MHz pozadinski šum se smanjuje s nekih -140 na -170 dB(W/Hz).
- Pozadinski šum na frekvencijama od 7 do 16 MHz ima spektralnu gustoću od približno -170 dB(W/Hz).
- Postoji veći broj istaknutih spektralnih linija uskopojasnih smetnji, koje se, posebno u višem frekventijskom području, mogu izdizati i do 30 dB iznad pozadinskog šuma.

Na slici 6 kao ilustraciju iz [12] prenosimo usporedne dijagrame šuma snimljene na dvije različite faze vanjske mreže.



Slika 6. Primjer snimljene ovisnosti šuma o frekvenciji na vanjskoj mreži iz [12], na dvije različite faze u istom razvodnom ormaru

Nadalje, autor u [12] analizira i odnos signala i šuma u ovisnosti o frekvenciji za promatrani vanjsku mrežu. Uz amplitudu signala u trafostanici od 2.5 V i impedanciju generatora signala od 50 Ω , odnosno uz jednoliku spektralnu gustoću izvora signala od -62 dB(W/Hz), snimljena je razina prijamnog signala i stavljena na isti graf s maksimalnim i očekivanim vrijednostima razine šuma. Ilustrativno ćemo to prikazati na slici 7 [12],



Slika 7. Ilustracija frekventijske ovisnosti odnosa signala i šuma na mjestu u vanjskoj mreži udaljenom oko 100 m od odašiljača, uz amplitudu signala odašiljača od 2.5 V na 50 Ω [12]

snimljenoj u razvodnom ormaru stotinjak metara udaljenom od trafostanice.

Na slici se vidi da je odnos signala i šuma povoljan, naime veći od 20 dB, u pojasu do oko 10 MHz. Nakon toga se prijamni signal gubi u šumu. To znači da je promatrana vanjska mreža pogodna za komuniciranje u frekventijskom području do 10 MHz. Postoje i druga opažanja koja daju slične rezultate, ili pak nešto povoljnije [2], ali čini se da područje povoljnog odnosa signala i šuma na vanjskoj mreži završava negdje između 10 i 15 MHz. Dostert u [2] iznosi da se očekuje primjena PLC komunikacija u distribucijskoj mreži do 10 MHz, a na instalacijskoj između 10 i 30 MHz.

Liu i drugi u [6] vrše parcijalna istraživanja šuma na instalaciji stambene kuće. Važno je uočiti da se razina pozadinskog šuma od oko -170 dB(W/Hz), zamijećena

kod Selandera na vanjskoj mreži, nastavlja i na frekvencijama do 60 MHz. Autori analiziraju ponašanje šuma kada se na prostorno bliske utičnice spoje neki tipični električki uređaji u kućanstvu. Tako npr. uključivanje usisivača podiže razinu šuma za prosječno 40 dB kroz čitav promatrani opseg, do 60 MHz. Pritom spektar ostaje gladak. Električna grijalica podiže razinu šuma na svim promatranim frekvencijama za približno 40 dB, također s glatkim spektrom. Električni mikser u neposrednoj blizini povećava razinu šuma za oko 60 dB. Televizijski prijamnik ne podiže znatno razinu

šuma na svim frekvencijama (srednja razina šuma diže se za samo oko 5 dB u području između 20 i 60 MHz), ali generira mnoštvo uskih spektralnih linija koje mogu nadvisivati okolnu razinu šuma i za 40 dB.

LITERATURA

- [1] P. K. VAN DER GRACHT, R. W. DONALDSON: "Communication Using Pseudonoise Modulation on Electric Power Distribution Circuits", IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-33, No. 9, Sept. 1985.
- [2] K. DOSTERT: "High Speed Data Transmission over Power Lines Using Multi-Carrier (OFDM) Techniques", Frequenz, Vol. 54 (2000), No. 11-12.
- [3] R. M. VINES et al: "Noise on Residential Power Circuits", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-26, No. 4, Nov. 1984.
- [4] M. H. L. CHAN, R. W. DONALDSON: "Amplitude, Width, and Interarrival Distribution for Noise Impulses on Intrabuilding Power Line Communication Networks", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 31, No. 3, Aug. 1989.
- [5] O. G. HOOIJEN: "A Channel Model for the Residential Power Circuit Used as a Digital Communications Medium", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 40, No. 4, Nov. 1998.

- [6] D. LIU et al: "Wide Band AC Power Line Characterization", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 45, No. 4, Nov. 1999.
- [7] M. ZIMMERMAN, K. DOSTERT: "An Analysis of the Broadband Noise Scenario in Powerline Networks", Proceedings of the 4th International Symposium on Powerline Communications and its Applications, Limerick, Ireland, April 5th-7th, 2000, <http://www-iiit.etec.uni-karlsruhe.de/~plc/>
- [8] M. ZIMMERMANN, K. DOSTERT: "Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broad-Band Powerline Communications", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 44, No. 1, February 2002.
- [9] K. DOSTERT: "Powerline Communications", Prentice Hall PTR, 2001.
- [10] D. SABOLIĆ: "O statističkim osobinama uskopojasnog šuma na niskonaponskim električnim instalacijama", Energija, Vol. 51, br. 3, Zagreb, lipanj 2002.
- [11] D. SABOLIĆ: "On The Distribution Network Narrow-band Noise Statistics", to be published in the IEEE Transactions on Power Delivery in 2002.
- [12] L. SELANDER: "Powerline Communications: Channel Properties and Communication Strategies, PhD Thesis", Lund University, Sweden, 1999, <http://www.enersearch.se/knowledgebase/publications/theses/pow-line.html>

INSPECTION OF NOISE CHARACTERISTICS ON PLC MEDIA

A review of current developments on PLC media noise characteristics, both on the outside and the inside network is given, based on references 1-12. Knowledge of noise char-

acteristics on transmission media enables theoretical evaluation, simulation and experimental determination of resistance of each communication system on the total noise found on the media, and the corresponding noise model enables communication system's optimization during its development.

ÜBERSICHT DER GERÄUSCHEIGENSCHAFTEN AN ENERGIELEITUNGEN

Auf Grund des Schrifttums [1-12] wird eine Übersicht bisheriger Erkenntnisse über das Geräusch an Energieleitungen, sowohl an Aussen- als auch an Innenleitungen, dargestellt. Das Wissen über Geräuscheigenschaften am Übertragungssystem macht eine theoretische Bewertung, eine Simulation und eine experimentelle Überprüfung der Widerstandsfähigkeit einzelner Fernmeldesysteme auf den Gesamtgeräusch in den Leitungen möglich. Ein Fernmeldesystem lässt sich im Laufe der Entwicklung optimieren, wenn man im Besitz eines bekannten Geräuschmodells ist.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.
HEP Prijenos d.o.o.**

**Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 07 – 23.