

Elektroenergetske instalacije kao telekomunikacioni transmisioni medijum

Jasmina Mandić Lukić, Nedžad Hadžiefendić, Nenad Simić

Sadržaj – Predmet ovog rada je prezentacija rezultata istraživanja karakteristika savremenih elektroenergetskih instalacija u funkciji prenosa signala u frekventijskom opsegu od 1 do 30 MHz. Prikazani su rezultati analiza i eksperimentalnih merenja transmisionih karakteristika u tipičnim instalacijama sa ukazivanjima na specifične fenomene koji se ispoljavaju pri prostiranju signala kroz njih. Takođe su prikazani i rezultati merenja nivoa šumova u karakterističnim okruženjima.

Ključne reči – Niskonaponske instalacije, prenos signala.

I. UVOD

Predmet ovog rada je prezentacija rezultata istraživanja karakteristika savremenih elektroenergetskih instalacija u funkciji prenosa signala u frekventijskom opsegu od 1 do 30 MHz, koji je, standardom ETSI TR 102 494, propisan za komunikacije unutar objekata, rezidencijalnih i poslovnih.

Elektroenergetske instalacije se projektuju i grade po kriterijumima optimizacije vršenja osnovne funkcije – prenosa električne energije do krajnjih potrošača - raznih uređaja u poslovnim i rezidencijalnim objektima. Zbog toga, u odnosu na standardne telekomunikacione i informatičke instalacije, tu postoje razlike među kojima su najvažnije konstruktivne i tehnološke karakteristike provodnika, topologije instalacija u poslovnim i rezidencijalnim objektima, kao i varijacije parametara instalacije usled promena stanja potrošača. Takođe treba ukazati i na visoke nivoe raznih smetnji i šumova, neizbežnih u instalacijama.

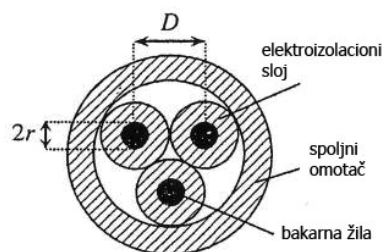
Prikazani su rezultati analiza i eksperimentalnih merenja transmisionih karakteristika u tipičnim instalacijama sa ukazivanjima na specifične fenomene koji se ispoljavaju pri prostiranju signala kroz njih. Takođe su prikazani i rezultati merenja nivoa šumova u karakterističnim okruženjima.

II. ELEKTROENERGETSKI INSTALACIONI PROVODNICI

Osnovni elementi instalacionih provodnika su bakarne žice koje sa izolacionim slojevima oko njih formiraju strukture, u daljem nazvane „žile“. Jedna ili više žila u zajedničkom plaštu formiraju provodnik. Standardne dimenzije provodnika izražavaju se površinama poprečnih preseka žica, datih u mm^2 . U većini rezidencijalnih i poslovnih objekata primenjuju se provodnici sa po tri ili pet žila, preseka 1.5, 2.5, 4 ili 6 mm^2 . U procesu formiranja žile se vode ravno i paralelno, za razliku od telekomunikacionih kablova, gde se vrši upredanje u parice ili četvorke.

Izolacioni slojevi oko žila izvode se od odgovarajućih dielektričnih materijala, prvenstveno od umreženog polietilena i polivinil-hlorida. U principu, za prenos signala visokih frekvencija (do 30 MHz) izrazito su superiorni provodnici sa polietilenskom izolacijom, jer su dielektrični gubici u tom materijalu za cca dva reda veličine manji nego u polivinil-hloridu. Međutim, kako su u instalacijama dužine provodnika male, reda oko 10 metara, provodnici sa polivinil-hlorid izolacijom u potpunosti zadovoljavaju.

Za ocenu funkcionalnosti instalacionih provodnika kao telekomunikacionog transmisionog medijuma potrebno je da se odrede njihovi karakteristični parametri u specificiranom opsegu frekvencija. Osnovni parametri su funkcija prenosa, karakteristična impedansa i brzina prostiranja signala. U daljim analizama, kao i u eksperimentalnim verifikacijama, provodnici su tretirani kao dvoprovodni homogeni vodovi, bez obzira na stvarni broj žila u njima. Proračuni su vršeni za provodnik $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$. Principijelni izgled poprečnog preseka takvog provodnika dat je na sl. 1.



Sl 1. Poprečni presek provodnika $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$

Primarni podužni parametri određeni su standardnim formulama 1 – 6.

Jasmina Mandić Lukić, Energoprojekt-Entel, Bulevar Mihaila Pupina 12, Beograd (telefon: 011-3101-230; e-mail: jmlukic@ep-entel.com)
 Nedžad Hadžiefendić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd (telefon: 011-3370-144; e-mail: nedžad@etf.rs)
 Nenad Simić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd (telefon: 011-3443-825; e-mail: nenad.simic@beotel.net)

$$R = \sqrt{\frac{2\mu_r\mu_0 f}{\pi\sigma r^2} \left[\frac{(D/2r)}{(D/2r)^2 - 1} \right]} \quad (\Omega/\text{m}) \quad (1)$$

$$L_{ex} = \frac{\mu_r\mu_0}{\pi} \cosh^{-1}(D/2r) \quad (\text{H/m}) \quad (2)$$

$$L_{in} = \frac{R}{2\pi f} \quad (\text{H/m}) \quad (3)$$

$$L = L_{in} + L_{ex} \quad (\text{H/m}) \quad (4)$$

$$C = \frac{\pi\epsilon_r\epsilon_0}{\cosh^{-1}(D/2r)} \quad (\text{F/m}) \quad (5)$$

$$G = 2\pi f C \tan\delta \quad (\text{S/m}) \quad (6)$$

Na osnovu primarnih parametara određeni su izrazi za: podužno slabljenje, brzinu prostiranja i karakterističnu impedansu, dati formulama 7 – 9.

$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} + \frac{GZ_0}{2} \quad (\text{dB/m}) \quad (7)$$

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{km/sec}) \quad (8)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\Omega) \quad (9)$$

Formula (7) može da se uzrazi u obliku:

$$\alpha(\text{dB/m}) = \alpha_1^{-5} \sqrt{f} + \alpha_2^{-9} f \quad (10)$$

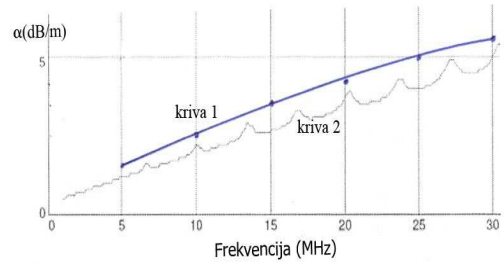
Kada se u formulu (10) uvedu vrednosti konstanti koje odgovaraju za standardni provodnik PP-Y 3 x 2,5 mm², dobije se

$$\alpha(\text{dB/m}) = 2,3 \cdot 10^{-5} \sqrt{f} + 3,3 \cdot 10^{-9} f \quad (11)$$

U formule 10 i 11 frekvencija se uvodi u Hz. Istim putem nalazi se da je vrednost karakteristične impedanse cca 90 oma a brzina prostiranja cca 53 % brzine prostiranja u slobodnom prostoru.

Eksperimentalna verifikacija proračuna prema formuli 11 izvršena je merenjima na standardnim instalacionim provodnicima PPY 3x1,5 mm², PPY 5x2,5 mm² i PPY 3x4 mm². Konstatovano je potpuno zadovoljavajuće slaganje rezultata proračuna i rezultata merenja, kao i odgovarajućih podataka iz citirane literature.

Na sl. 2 prikazani su dijagrami proračunske vrednosti zavisnosti podužnog slabljenja od frekvencije, kao i rezultata merenja na navedenim instalacionim provodnicima.



Sl 2. Dijagram proračunske vrednosti zavisnosti slabljenja od frekvencije za provodnik dužine 25m (kriva 1) i izmerene vrednosti zavisnosti slabljenja od frekvencije za provodnik 3x1,5 mm², dužine 25m (kriva 2)

III. TOPOLOGIJE ELEKTROENERGETSKIH INSTALACIJA

Standardne elektroenergetske instalacije u objektima imaju u osnovi strukture stabla sa dva nivoa grananja. Na ulazu u objekat (po pravilu) nalazi se glavni razvodni orman gde se vrši prvo grananje i odakle se provodnici vode do stambenih ili poslovnih jedinica. U svakoj toj jedinici postoje razvodne table gde se vrši drugo, lokalno grananje i odakle se provodnici vode do pojedinih potrošača. Dalje razmatranje ograničeno je na komunikacije unutar jedinica, stambenih ili poslovnih, tj. na lokalne komunikacione mreže.

Lokalne instalacije uvek imaju, više ili manje razgranate strukture sa više tačaka grananja pri čemu su dužine ogranaka najčešće samerljive sa talasnim dužinama signala.

Centralna tačka ovakve instalacije je razvodna tabla gde se susište veći broj, 15 – 20 pa i više posebnih strujnih kola, ostvarenih preko istog broja trožilnih ili petožilnih provodnika, a preko kojih se napajaju razni potrošači. I ovi provodnici se često dalje granaju do pojedinih potrošača, svetiljki ili utičnica.

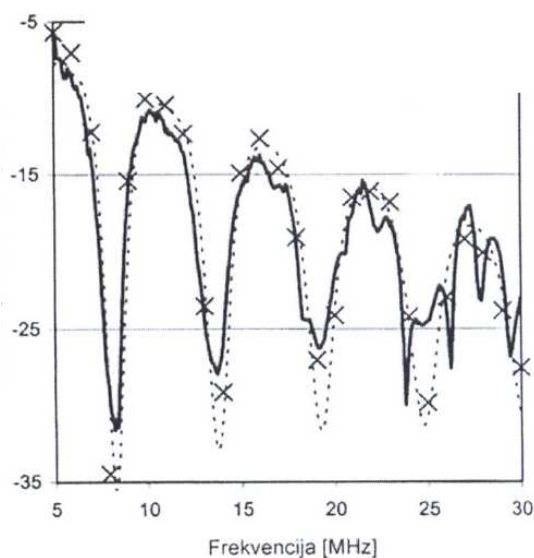
Generalno, pri prenosu između dve priključne tačke, signal prolazi kroz više raznih tačaka grananja, a svaka od njih je diskontinuitet koji degradira uslove prenosa. Posebno nepovoljan uticaj ispoljava se u slučajevima kada su provodnici, koji se usput odgranavaju, relativno kratki a krajevi su im u stanju otvorenog kola ili kratkog spoja. Na frekvencijama na kojima je dužina ogranaka bliska umnošcima četvrtina talasne dužine signala, ulazna impedansa ogranka postaje vrlo mala i za prenošeni signal predstavlja praktično kratak spoj.

Posebno značajno mesto u ovom razmatranju pripada razvodnoj tabli, koja je čvorište lokalne komunikacione mreže. Na regletama razvodne table susište se veliki broj (do 20 pa i više) provodnika koji pripadaju posebnim strujnim kolima. Sa aspekta komunikacione mreže to je paralelna veza istog tolikog broja vodova sa vrlo različitim prirodnama i vrednostima ulaznih impedansa. Izračunavanje resultantne vrednosti impedanse u toj tački je dosta složeno, a sama vrednost je podložna varijacijama usled promena stanja u instalaciji. Merenjima je utvrđeno da aktivna komponenta ima prosečnu vrednost cca 10 Ω , dok se reaktansa menja u granicama +/- nekoliko desetina oma.

Niske vrednosti impedansa u ovim tačkama, kao i varijacije u funkciji frekvencije, uslovljavaju da se upravo te tačke javljaju kao uzroci dodatnih slabljenja na vezama između tačaka instalacije koje su na različitim strujnim

kolima. Utvrđeno je da ta slabljenja iznose, u proseku, 15 – 20 dB, sa izrazitom zavisnošću od frekvencije.

U [1] su prikazani rezultati simulacije, proračuna i merenja na laboratorijskom modelu koji približno odgovara konfiguraciji manje stambene jedinice. Analize i merenja su vršeni u opsegu od 5 do 30 MHz. Grafički prikaz rezultata dat je na sl. 3. Evidentne su velike varijacije modula funkcije prenosa, u rasponu do cca 30 dB. Varijacije su kvazi-periodične sa periodom cca 5 MHz, a srednja vrednost ima tendenciju pada sa porastom frekvencije u rasponu od cca 5 dB.



Legenda: Puna linija – proračun na osnovu izmerenih vrednosti
Isprekidana linija – simulacija
Krstići – izmerene vrednosti

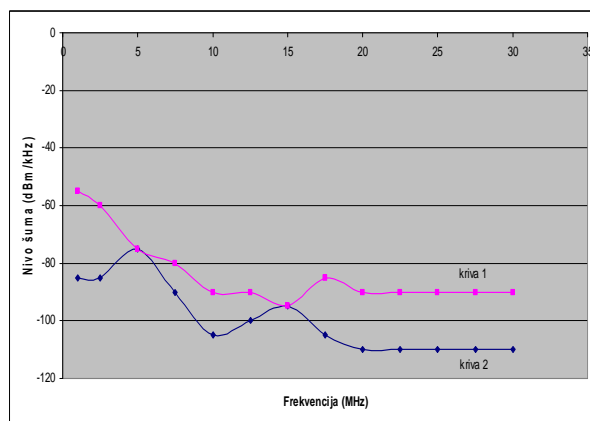
Sl 3. Funkcija prenosa simulacionog modela instalacije u stanu

Na osnovu rezultata analiza i merenja, konstatovano je da se isti pristup može primeniti i na stambenu zgradu u celini. U ovom slučaju čvorište mreže je glavni razvodni orman dok se kao terminalne tačke javljaju razvodne table u stanovima. Takođe je konstatovano da se isti pristup može primeniti i za standardne administrativno-poslovne objekte, gde su čvorišta, najčešće, u spratnim ormanima.

Niz rezultata proračuna i merenja daju osnov za zaključak da u najvećem broju instalacija u standardnim stambenim i poslovnim objektima, slabljenja unutar jedinica (stanova ili delova poslovnih prostora) ne prevazilaze vrednosti reda 40 dB.

IV. SMETNJE I ŠUMOMI U INSTALACIJAMA

Merenje spektara šumova i smetnji vršeno je u više raznih sredina, rezidencijalnih i poslovnih a unutar navedenog frekvencijskog opsega 1 – 30 MHz. Na dijagramima na sl. 4. prikazane su dve ekstremne krive koje pokazuju zavisnost spektralne gustine šuma od frekvencije.



Sl 4. Dijagrami zavisnosti nivoa šuma od frekvencije

Křiva 1 odgovara instalaciji sa većim brojem raznih izvora šuma, prvenstveno raznih računarskih uređaja. Na donjoj granici opsega, oko 1 MHz, nivo šuma dostiže cca -60 dBm/kHz i sa porastom frekvencije postepeno opada do cca -90 dBm/kHz na 10 MHz. Dalje, do gornje granice, 30 MHz, nivo ostaje, uz male varijacije oko -90 dBm/kHz.

Křiva 2 pokazuje stanje u instalaciji sa manjim brojem izvora šuma. U opsegu 1 – 5 MHz nivo šuma varira u granicama između -90 dBm/kHz i -70 dBm/kHz. Između 5 i 10 MHz nivo postepeno opada do cca -110 dBm/kHz i na toj vrednosti ostaje, uz male varijacije, do 30 MHz.

V. PROCENA KARAKTERISTIKA PRENOSA

Tipični uređaji za lokalne mreže koji služe za prenos raznih digitalnih signala imaju sledeće karakteristike:

- Spektralna gustina snage predajnika: 10 dBm/1 MHz.
- Radni frekvencijski opsezi: 10-20 MHz, 20-30 MHz , 10-30 MHz.
- Zahtevani odnos snaga signala i šuma: 26 dB.

Napomena: uređaji rade u sistemu OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) i prenos se vrši u celom opsegu 10 MHz, odnosno 20 MHz.

U slučaju rada u nepovoljnijoj instalaciji i u opsegu 10 – 20 MHz, nivo snage predajnika iznosi 20 dBm, a nivo snage šuma šuma - 50 dBm. Sa ovim vrednostima dobija se da je komunikacija moguća ako su slabljenja najviše jednaka 44 dB.

Dobijeni rezultati analiza i merenja se u velikoj meri slažu sa rezultatima prikazanim u [2] i [3].

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju kolegama iz poslovnog sistema TELEFONIJA A.D. za dragocenu saradnju pri izvođenju eksperimentalnih radova.

LITERATURA

- [1] D. Sabolić, „Model propagacije signala u razdjelnim elektroenergetskim mrežama u frekvencijskom području od 5 do 30 MHz“, *Energija 4*, Zagreb, 2005.
- [2] T. Esmailian, F.R. Kschischang, P.G. Gulak „In-building power lines as high-speed communication channels; channel characterization and a test channel ensemble“, *Powerline Communications and Applications*, vol. 16, no. 5, pp. 381 – 400, May 2003.
- [3] I.C. Papaleonidopoulos, C.G. Karagiannopoulos, N.J. Theodorou, „Evaluation of the two-conductor HF transmission-line model for symmetrical indoor triple-pole cables“, *Measurement*, vol. 39, pp. 719-728, 2006.

ABSTRACT

The topic of this paper are characteristics of low-voltage networks when they function as a signal transport medium within the frequency band from 1 to 30 MHz. Results of analyses and measurements of transmission characteristics of typical low-voltage networks with edict on specific phenomena which are present in signal propagation through them are shown. In addition, results of noise level measurements in specific environments are presented.

LOW-VOLTAGE INSTALLATIONS AS A COMMUNICATION TRANSMISSION MEDIUM

Jasmina Mandić Lukić, Nedžad Hadžiefendić, Nenad Simić