

UTJECAJ KVALITETE PLC MEDIJA NA KAPACITET SUSTAVA AUTOMATSKOG OČITAVANJA BROJILA

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

UDK 621.3.083.7:651.398.052
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Daje se analiza utjecaja kvalitete električne distribucijske mreže kao prijenosnog medija za komunikacijske signale (PLC, engl. Power Line Carrier) na kapacitet očitavanja u sustavu automatskog očitavanja brojila (AMR, engl. Automatic Meter Reading). Određuje se faktor vremenskog produljenja jednog prosječnog očitavanja brojila u ovisnosti o vjerojatnosti pogreške u prijenosu poruke, koja je najlakše mjerljiva veličina za opisivanje prijenosnih karakteristika PLC medija. U posljednjem dijelu članka daje se pregled drugih važnih klasičnih primjena s uskopojasnim komuniciranjem kroz PLC medij.

Ključne riječi: PLC, kvaliteta prijenosa, komunikacija, kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila.

Uvod

U zadnjih nekoliko godina intenzivno se radi na primjeni distribucijske mreže i kućnih električnih instalacija kao infrastrukture za širokopojasne komunikacijske usluge. Međutim, davno prije započela je primjena tih sustava za različite druge komunikacijske svrhe s daleko skromnijim zahtjevima u pogledu širine pojasa, ali s ne manje važnim namjenama. U ovome članku bit će riječi o tim područjima primjene komunikacijskih sustava koji u fizičkom sloju imaju elektroenergetsku razvodnu mrežu, PLC (engl. Power Line Carrier). Čitatelj se o njima, kao i o mnogim drugim aspektima komuniciranja PLC-om, može informirati u literaturi [1 – 17].

Automatsko očitavanje brojila je tehnika koja bi mogla dobiti veliku važnost na liberaliziranim tržištima električne energije. Iskustva u deregulaciji elektroenergetskog sektora govore, kao što se uostalom moglo i očekivati, da nije moguće liberalizirati tržište na veliko, i istodobno potpuno zaštititi male potrošače ograničavanjem cijena na malo [15]. Potrošači bi trebali plaćati cijenu električne energije koja odgovara njenoj trenutnoj tržišnoj vrijednosti, a ne stvarnim troškovima uvećanim za razumnu maržu. Trenutne cijene na kratkoročnim tržištima pokazuju iznimno velike fluktuacije tijekom dana, koje su uvjetovane odnosom trenutne ponude i potražnje. U satima vršnih opterećenja nedovoljne zalihe u proizvodnji mogu prouzročiti vrlo veliki porast cijena. Štoviše, na mnogim liberaliziranim tržištima i dugoročne prosječne cijene porasle su u odnosu na ranije regulirane monopolne cijene, što nije samo posljedica efekata ponude i potražnje, nego i manipulacije tržištem od strane pro-

izvođača električne energije. U situaciji znatnog porasta cijena na veliko i ograničenja cijena na malo, u nekim zemljama došlo je do kolapsa tržišta, jer su prodavači energije na malo dovedeni u propast, budući da su bili prisiljeni kupovati na kratkoročnom tržištu po visokim cijenama, a prodavati potrošačima po ograničenim cijenama. Najpoznatiji primjer dogodio se u Kaliforniji.

Jedan od načina stabilizacije tržišta je izlaganje potrošača tržišnim cijenama. Međutim, to ne može biti pravedno učinjeno ako potrošači nemaju mogućnost reagiranja na cjenovne signale. Ako se cijena mijenja u satnim ili polusatnim intervalima, potrošač mora moći dobiti informaciju o trenutnoj cijeni energije, kako bi, ako to želi, mogao prilagođavati svoju potrošnju. Isto tako, njegova potrošnja mora biti mjerena u realnom vremenu, a to znači barem toliko često, koliko iznosi vremenski interval u kojemu se cijena ne mijenja. Neki autori smatraju da bez mjerenja u realnom vremenu nije moguće ostvariti efikasnu konkurenciju na malo-prodajnom nivou [16]. Tu onda dolazimo do potrebe za automatskim očitavanjem brojila, AMR (engl. Automatic Meter Reading). Pitanje je do koje razine će se realizirati automatsko očitavanje. Ono što je zapravo važno je očitavanje čim veće količine isporučenih MWh u realnom vremenu, a ne očitavanje što većeg broja potrošača. Uspostava sustava za automatsko očitavanje brojila na čitavoj populaciji potrošača skup je i dugotrajan proces ulaganja u nadogradnju elektroenergetskog sustava [4]. No, ostaje činjenica da potrošač ne smije biti izložen tržišnim fluktuacijama cijena, ako nema načina reagirati na njih.

Mi ćemo se ovdje baviti jednim tehničkim aspektom velikih sustava za automatsko očitavanje brojila. Za

pretpostaviti je da će budući sustavi koji budu izgrađeni u zadnjem koraku koristiti distribucijsku mrežu kao pristupnu infrastrukturu za ostvarivanje veze s komunikacijskim uređajima pojedinačnih brojila. Prije toga, od centralnog računala do zadnje trafostanice, veza će se vjerojatno ostvarivati drugim telekomunikacijskim sustavima (radio, optika...). Naravno, moguća su odstupanja u ovom ili onom smislu. Premda je problematika kapaciteta očitavanja sustava baziranih upravo na PLC mediju kao zadnjem pristupnom mediju, na kojega je po prirodi stvari vezano svako brojilo, tretirana npr. u [5], tamošnja rasprava je manjkava zbog nedostatka analize utjecaja PLC medija na opće performancije sustava, koje se najbolje očitavaju kroz veličinu sposobnosti očitavanja čim većeg broja brojila u satu, a zbog čega su autori, ustvari, prema vlastitoj konstataciji, dobili "best case" procjenu općeg kapaciteta sustava. Doprinos ovoga rada sastoji se od uračunavanja stvarnog utjecaja transmisijske kvalitete PLC telekomunikacijskog medija i postavljanja fizikalnog ograničenja na opći kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila.

U zadnjem dijelu članaka daje se pregled ostalih najčešćih tradicionalnih primjena i pratećih tehnologija. Više tehničkih informacija o klasičnim i naprednijim sustavima za komuniciranje PLC medijem čitatelj može pronaći u knjizi [14].

1. KAPACITET SUSTAVA AUTOMATSKOG OČITAVANJA BROJILA

Već smo u uvodu napomenuli da provedba koncepta potpuno automatiziranog sustava očitavanja brojila nije jeftina, pogotovu ne ako se ima na umu zahvat do malih pojedinačnih potrošača. Primjerice, elektroenergetsko tržište Velike Britanije bilo je liberalizirano u tri kruga [4]:

- Krug 1: potrošači zahtjeva većeg ili jednakog od 1 MW – 1990.
- Krug 2: potrošači zahtjeva između 100 kW i 1 MW – 1994.
- Krug 3: potrošači zahtjeva manjeg od 100 kW – 1998./99.

Kvalifikacija potrošača u naznačene skupine značila je da oni mogu dobiti status povlaštenog potrošača, tj. da mogu na slobodnom tržištu odabirati dobavljača električne energije. Danas je tržište u Velikoj Britaniji barem teoretski potpuno liberalizirano, a model britanske deregulacije i reregulacije elektroenergetskog sektora preslikavan je s više ili manje varijacija u mnogim zemljama. Ipak, danas se izražavaju sumnje u stvarnu dobrobit od primjene britanskog koncepta [12, 15, 16]. Procjenjuje se da bi trošak po potrošaču iz kategorije drugog kruga u Velikoj Britaniji za uvođenje automatskog očitavanja brojila iznosio oko 2,500 Funti, ili oko jedan posto prosječnog godišnjeg računa za

električnu energiju potrošača sa zahtjevom od 1 MW [4]. Kod potrošača sa zahtjevom za snagom od 100 kW to onda iznosi 10% godišnjeg računa, a za kategoriju malih potrošača ovaj trošak, kada bi bio prevaljen na potrošača, bio bi definitivno prevelik.

Zbog tih, a i zbog tehnoloških razloga, problemu očitavanja brojila pristupat će se u budućnosti vjerojatno tako da će samo brojilo imati funkcije komunikacijskog uređaja tek utoliko što će imati jedinstvenu adresu, koja će ga označavati pojedinačno, i vezati ga za konkretnog davatelja usluge. S obzirom da je brojilo po prirodi stvari lokalni izolirani uređaj, sve ostale funkcije u komunikacijskoj mreži prebacit će se najvjerojatnije na posebna komunikacijska sučelja, što će cijenu i tehničku kompleksnost brojila održati niskom, dok će komunikacijska sučelja moći biti opremljena većom količinom memorije i računarske moći, kako bi mogla odgovoriti zahtjevima složenijih komunikacijskih protokola.

U nastavku dajemo analizu općeg kapaciteta očitavanja velikih sustava za očitavanje brojila, radenu pretežno na temelju [5], ali s dopunama u analizi koje omogućuju izvođenje općenitog modela i pronalaženje relacije za temeljno ograničenje kapaciteta takvih sustava.

Mak i Radford u [5] vrše analizu sustava u kojemu se veza između računala koje skuplja i obrađuje podatke i svakog pojedinačnog brojila ostvaruje najprije sustavom veza s radijskim repetitorima niske snage emisije, pa prema tomu i malog dometa, a zatim, u zadnjem koraku, PLC medijem. Uočivši jedan pojedinačni spoj između računala i brojila, može se uočiti da se u half-duplex modu dva puta prelazi spojni put koji obuhvaća redom: vezu od računala prema prvom radio repetitoru, eventualno još jednu ili više veza između samih radijskih repetitora, vezu posljednjeg repetitora u nizu i *prijenosnika* (engl. gateway) koji omogućuje komunikaciju preko PLC medija, te vezu prijenosnika i samog brojila, odnosno komunikacijskog sučelja brojila. Čvorovi koji u ovom lancu unose kašnjenja u pravilu znatno veća od same propagacije signala su:

- računalo, kojemu treba određeno vrijeme za dohvat potrebnih podataka iz memorije, njihovo formatiranje i obradu, te po prijemu odziva, vrijeme za obradu prihvaćenog signala, formatiranje i spremanje u bazu podataka
- radiorelejni čvorovi, kojima, ovisno o primijenjenoj tehnologiji i topologiji, treba izvjesno vrijeme da propuste podatkovni niz
- prijenosnik, čije kašnjenje ovisi među ostalim i od količine "inteligencije" prisutne u njemu, odnosno o kompleksnosti njegovih zadaća, a to znači da kašnjenje prijenosnika ovisi i o primijenjenoj filozofiji ostvarivanja pristupa do pojedinačnih brojila
- brojilo ili njegovo komunikacijsko sučelje, koje mora saslušati dolaznu poruku od prijenosnika i izvršiti instrukciju, tj. pripremiti i poslati odgovarajući podatak.

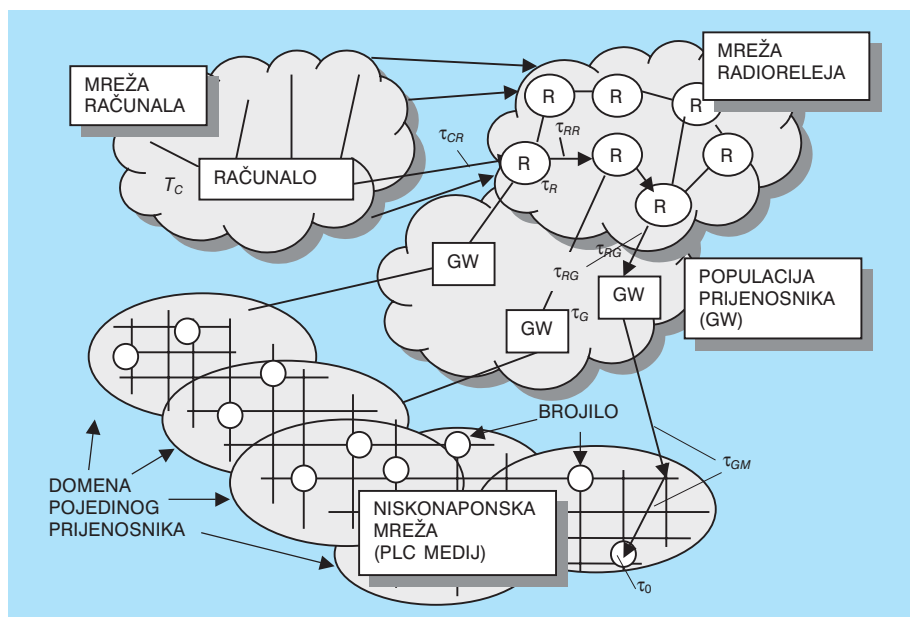
Sumirana ukupna kašnjenja ovih čvorova i propagacije daju minimalno vrijeme odziva sustava pri pojedinačnom očitavanju, i ona su uzeta u obzir u analizi u [5], koja je dakle dala "best case" procjenu općeg kapaciteta. Međutim, stvarna kašnjenja mogu biti u prosjeku mnogo veća zbog potrebe za retransmisijom poruka u slučajevima kada šum i smetnje u komunikacijskom kanalu uzrokuju nekorektan prijam poruke, zbog kojega je potrebno izvršiti njenu retransmisiju, odnosno ponavljanje čitave procedure. Članak [5] zanemaruje utjecaj smetnji čak i u PLC mediju, gdje se on ni u kom slučaju ne smije zaobići [6, 7]. Dapače, u [7] je pokazano da je vjerojatnost potrebe za retransmisijom u distribucijskoj mreži koja je tamo eksperimentalno analizirana, u redu veličine prosječno 15 do 20 postotaka, dočim je u pojedinim slučajevima sustav morao zatražiti retransmisiju i do 70 puta. Razmatranje u ovom članku, koje upravo slijedi, teoretski će obuhvatiti problem utjecaja kvalitete prijenosnog medija na performancije sustava automatskog očitavanja brojila. Analiza utjecaja kvalitete prijenosnog sustava je općenita i neovisna o tome radi li se o radijskom ili PLC mediju, ali je nepobitna činjenica da je radijska mreža u pogledu raspoloživosti mnogo kvalitetnija, tako da će glavni uzrok dodatnog kašnjenja zbog retransmisija biti u smetnjama na PLC mediju, dok se kašnjenje zbog neraspoloživosti radijskog medija sigurno zanemarivo u odnosu na ono nastalu PLC-u.

Analiza u [5] počiva na modelu u kojemu su radioreleji zbog zahtjeva male snage razmješteni u pravokutnoj mreži, svakih 0.7 milja, pri čemu takva radioreleja povezuje jedan broj prijenosnika, u svakom slučaju manji ili jednak broju releja, s računalom koje upravlja procesom očitavanja. Rezultati "best case" izračuna pokazuju da se inherentni kapacitet očitavanja kreće u granicama od približno 2,500 do 5,000 brojila po satu i po jednom računalu uz zadane parametre kašnjenja elemenata u procesu i zadane dužine poruka, te sa oko 25 potrošača po distribucijskom transformatoru, zavisno od načina pristupa brojilima. U prvom razmatranom načinu, kojega karakterizira niži kapacitet, računalu upućuje komandu svakom prijenosniku posebno, i očekuje od njega odgovor. U drugome računalu odašilje svima jednu difuznu komandu, nakon čega prijenosnici sukcesivno odgovaraju. U tom primjeru autori rabe ne-realnu pretpostavku da svi paketi odgovora od svih

prijenosnika stižu jedan za drugim, bez ikakve kolizije, kao i bez mrtvih intervala između paketa, što ni u kom slučaju nije moguće, a ni približna situacija nije sasvim lako ostvariva, s obzirom na neminovnost distribucije vremenske reference kroz takvu kompliciranu mrežu radioreleja i prijenosnika. Ovako, pod usvojenim pretpostavkama lako se dobiva kapacitet dvostruko veći nego u slučaju pojedinačnog poziva releja. U stvarnosti taj rezultat može ispasti značajno lošiji zbog toga što je potrebno koristiti neki od protokola za višestruki pristup, pri čemu barem približno poznavanje redosljeda odziva može pomoći u smanjenju vjerojatnosti kolizije, s tim da je potrebno ili upotrijebiti protokol koji ne zahtijeva vremensku referenciju, ili pak izvesti distribuciju referencije kroz mrežu, pa upotrijebiti protokol koji treba takvu referencu, a zauzvrat daje veći protok prometa u jedinici vremena uz isti prometni zahtjev. Također, autori u [5] ne spominju mogućnost da pojedini prijenosnici ne uspiju pročitati difuznu poruku, ili da poneki od odgovora prijenosnika ne bude primljen od strane centralnog računala.

U oba spomenuta modela pretpostavlja se da prijenosnici u trenutku prijema zahtjeva za dostavom podataka imaju već pripremljena očitavanja svih brojila u njihovoj domeni, tako da su i prijenosnici čitavo vrijeme zaposleni očitavanjem brojila, što potencijalno može implicirati povećano vrijeme odziva prema ostatku mreže, a o toj pojavi u ovome modelu također nema riječi.

U daljnjoj razradi ovoga problema koristit ćemo iste temeljne fizikalne veličine relevantne za temu, a to su mahom vremena kašnjenja na pojedinim dionicama, te ćemo raspravu dopuniti uračunavanjem nesavršenosti prijenosnih medija. Osnovna arhitektura sustava kojega promatramo dana je na slici 1.



Slika 1. Osnovna arhitektura sustava za automatsko očitavanje brojila s mrežom radijskih repetitora i komunikacijom prijenosnika i brojila preko PLC medija

Oznake koje ćemo koristiti u daljnjoj razradi, a od kojih se neke mogu vidjeti na slici 1, imaju sljedeća značenja:

- T_C – ukupno vrijeme obrade podatka u računalu, uz pretpostavku da je ono isto, bez obzira na to da li se podatak odašilje ili prima
- τ_{CR} – srednje vrijeme propagacije od računala do prvog radioreleja + vrijeme trajanja binarne riječi informacije
- τ_R – vrijeme obrade u radioreleju
- τ_{RR} – srednje vrijeme propagacije između dva susjedna radioreleja u lancu + vrijeme trajanja binarne riječi informacije
- τ_{RG} – srednje vrijeme propagacije od zadnjeg releja u lancu do prijenosnika + vrijeme trajanja binarne riječi informacije
- τ_G – vrijeme obrade u prijenosniku
- τ_{GM} – srednje vrijeme propagacije od prijenosnika do brojila preko PLC medija + vrijeme trajanja binarne riječi informacije
- τ_0 – vrijeme potrebno brojilu da počne odgovarati na primljenu poruku
- T_W – maksimalno vrijeme koje prijenosnik čeka na odziv od prozvanog brojila, prije nego donese odluku o retransmisiji (vrijedi u slučaju ako je ta funkcija pridana prijenosniku)
- N – srednji broj radioreleja potreban za ostvarenje pojedinog spoja
- p – vjerojatnost da će nakon pojedinačnog pokušaja biti potrebna retransmisija
- q, Q – broj retransmisija (q), odnosno statističko očekivanje ili očekivana (srednja) vrijednost te stohastičke varijable (Q)
- K – prosječni broj pojedinačnih potrošača spojenih na jednu transformatorsku stanicu razine x/0.4 kV
- X – prosječan broj trafostanica x/0.4 kV spojenih na jedno računalo u sustavu
- α, β – koeficijenti u izrazu koji daje ovisnost vremena pojedinačne uspjele transakcije o srednjem broju radioreleja u prosječnoj vezi
- $T^{(i)}$ – vrijeme potrebno za izvođenje transakcije sa i retransmisija (ovdje je i samo pomoćna varijabla)
- Δt_W – razlika između najdužeg vremena čekanja na odziv brojila i prosječnog vremena odziva koje se ostvaruje kada sve funkcionira ispravno, a iznosi $T_W - 2\tau_{GM} - \tau_0$.

Najprije ćemo napisati izraz za ukupno vrijeme transakcije bez retransmisije (poziv + odziv), za čitavu trasu, od računala do brojila:

$$T^{(0)} = 2T_C + 2\tau_{CR} + 2N\tau_R + 2(N-1)\tau_{RR} + 2\tau_{RG} + 2\tau_G + 2\tau_{GM} \quad (1)$$

Pod pretpostavkom koja sigurno stoji, da je PLC mnogo lošiji medij od radijske mreže, možemo smatrati da će većina prekida u prijenosu poruka nastati

upravo u PLC mediju, tako da će vrijeme potrebno za transakciju u slučaju jedne retransmisije biti jednako:

$$T^{(1)} = T^{(0)} + 4T_C + 4\tau_{CR} + 4N\tau_R + 4(N-1)\tau_{RR} + 4\tau_{RG} + 4\tau_G + 2\tau_{GM} + T_W \quad (2)$$

U slučaju dviju retransmisija, ukupno vrijeme transakcije iznosi:

$$T^{(2)} = T^{(0)} + 6T_C + 6\tau_{CR} + 6N\tau_R + 6(N-1)\tau_{RR} + 6\tau_{RG} + 6\tau_G + 2\tau_{GM} + 2T_W \quad (3)$$

Ako je vjerojatnost da će nakon bilo kojeg pokušaja prijenosa doći do potrebe za retransmisijom jednaka p , a o toj veličini koja reprezentira kvalitetu prijenosnog medija ćemo kasnije reći nešto više, zatim ako je ishod svakog pokušaja neovisan o ishodima prethodnih pokušaja, te ako je ovaj proces stacionaran unutar promatranog vremenskog intervala, prosječno vrijeme uspješne transakcije uz uzimanje u obzir efekta produljenja zbog najviše dvije retransmisije jednostavno iznosi:

$$T = (1-p-p^2)T^{(0)} + pT^{(1)} + p^2T^{(2)} \\ = (1-p-p^2)T^{(0)} + p(2T^{(0)} - 2\tau_{GM} - \tau_0 + T_W) + p^2(3T^{(0)} - 4\tau_{GM} - 2\tau_0 + 2T_W) \\ = (1-p-p^2)T^{(0)} + (p+2p^2)(T_W - 2\tau_{GM} - \tau_0) + (1-p-2p^2)T^{(0)} + (p+2p^2)\tau_W \quad (4)$$

Ovaj rezultat poslužit će nam samo za usporedbu s općenitim izrazom, kojega ćemo izvesti kasnije. Nastavljajući se na niz jednadžbi od (1) do (3), prijenos sa ukupno q retransmisija trajat će:

$$T^{(q)} = T^{(0)} + 2\tau_{GM} + 2(q-1)(T_C + \tau_{CR} + N\tau_R + (N-1)\tau_{RR} + \tau_{RG} + \tau_G) + qT_W \quad (5)$$

Iz (5) i (1) može se izvesti:

$$\frac{T^{(q)}}{T^{(0)}} = \frac{T^{(0)} + 2\tau_{GM} + qT_W}{T^{(0)} - 2\tau_{GM} - \tau_0 + T_W} \quad q \geq 1 \quad (6)$$

Uz prikladna zanemarivanja opravdana redom veličina vrijednosti varijabli u gornjoj jednadžbi slijedi:

$$\frac{T^{(q)}}{T^{(0)}} \approx 1 + q \frac{T_W}{T^{(0)}} - 1 - q \quad (7)$$

S obzirom da postoji neka vjerojatnost retransmisije u svakom pojedinačnom pokušaju (tj. bez obzira je li riječ o prvom pokušaju, ili bilo kojem ponovnom pokušaju), a koja je u prosjeku jednaka p , u korelaciji s njome je i očekivanje ili srednji broj retransmisija Q , koji je važan za određivanje ukupnog očekivanog vremena potrebnog za jednu kompletnu uspješnu transakciju. Dakle, definirat ćemo stohastičku varijablu q , čija je razdioba definirana vjerojatnošću da se transakcija obavi sa q ili manje retransmisija, a očekivanje te stohastičke varijable ćemo označiti sa Q .

Prosječno vrijeme potrebno za obavljanje uspješne transakcije uz računanje efekta do najviše q retransmisija, te uz uvažavanje (7), iznosi:

$$T = T^{(0)} \prod_{i=1}^q (1 - p^i) + \prod_{i=1}^q p^i T^{(i)}$$

$$T^{(0)} = 1 - \prod_{i=1}^q p^i = T^{(0)} \prod_{i=1}^q (1 - p^i) + \prod_{i=1}^q p^i T^{(i)} \quad (8)$$

$$T^{(0)} = 1 - \prod_{i=1}^q p^i$$

S obzirom da je u (7) pretpostavljeno da je $T_w \ll T^{(0)}$, što je prihvatljivo, izraz (8) podudara se s jednadžbom (4), gdje je izvedeno vrijeme transmisije s uračunate najviše dvije retransmisije. U (4) se vidi da je ovo zanemarivanje pogotovu opravdano, jer se t_w množi faktorom $(p + 2p^2)$, što je najčešće za red veličine manji faktor od onoga u prvom pribrojniku desne strane (4).

Očekivanje broja retransmisija Q potrebno je izraziti kao funkciju vjerojatnosti p . Da bismo to učinili, moramo definirati stohastičku varijablu q . S obzirom na to da su svi pokušaji transmisije neovisni i da pretpostavljamo da se događaju s vjerojatnošću p , vrijede sljedeće tvrdnje:

- Vjerojatnost da neće biti retransmisije iznosi $1 - p$.
- Tvrdnja da se prijenos ostvario uz jednu retransmisiju ekvivalentna je tvrdnji da je prvi pokušaj bio neuspješan i prva retransmisija uspješna, pa je vjerojatnost takvog događaja jednaka $p(1 - p)$.
- Tvrdnja da se prijenos ostvario uz dvije retransmisije ekvivalentna je tvrdnji da je prvi pokušaj bio neuspješan i da je prva retransmisija bila neuspješna i da je druga retransmisija bila uspješna, pa je vjerojatnost takvog događaja jednaka $p^2(1 - p)$.
- I tako redom ...

Iz ovoga slijedi:

- Vjerojatnost prijenosa sa 0 retransmisija jednaka je $1 - p$.
- Događaj prijenosa s jednom ili manje retransmisija znači da se dogodio prijenos s nula retransmisija ILI prijenos s jednom retransmisijom, pa je vjerojatnost jednaka $(1 - p) + p(1 - p)$.
- Događaj prijenosa s dvije ili manje retransmisija znači da se dogodio prijenos s nula retransmisija ILI prijenos s jednom retransmisijom ILI prijenos s dvije retransmisije, pa je vjerojatnost jednaka $(1 - p) + p(1 - p) + p^2(1 - p)$.
- I tako redom
- Događaj prijenosa sa q ili manje retransmisija znači da se dogodio prijenos s nula retransmisija ILI prijenos s jednom retransmisijom ILI prijenos s dvije retransmisije ILI prijenos s $(q - 1)$ retransmisija ILI prijenos s q retransmisija, pa je vjerojatnost jednaka:

$$v(q) = (1 - p) \prod_{i=1}^q (1 - p^i) + \prod_{i=1}^q p^i$$

$$(1 - p) \prod_{i=1}^q (1 - p^i) + \prod_{i=1}^q p^i = 1 - p^{q+1} \quad (9)$$

- Vjerojatnost da će se prijenos dogoditi s beskonačno ili manje retransmisija jednaka je 1.

Dakle, stohastički proces kojega opisujemo stohastičkom varijablom q je "događaj prijenosa sa q ili manje retransmisija". Bez obzira što je riječ o diskretnoj stohastičkoj varijabli, a kako nama ne treba savršeno precizan rezultat, aproksimirat ćemo varijablu q kontinuiranom varijablom, koja za cjelobrojne vrijednosti q poprima vrijednost funkcije razdiobe kao u (9). Iz toga slijedi gustoća razdiobe:

$$w(q) = -p p^q \ln p. \quad (10)$$

Slijedi očekivanje Q prema definiciji:

$$\tilde{Q} = \int_0^{\infty} q w(q) dq = \frac{-p}{\ln p};$$

$$Q = [\tilde{Q}]. \quad (11)$$

Uglata zagrada [...] označuje operator najbliže cjelobrojne vrijednosti. Kako se iznos p nalazi između 0 i 1, izraz (11) ima uvijek pozitivnu vrijednost. Da bi se izračunala disperzija varijable q , odnosno standardna devijacija kao korijen iz disperzije, treba još izračunati moment drugog reda, odnosno:

$$M_q^2 = \int_0^{\infty} q^2 w(q) dq = \frac{2p}{\ln^2 p} \quad (12)$$

Standardna devijacija je tada:

$$\sigma = \sqrt{M_q^{(2)} - Q^2} = \frac{\sqrt{2p - p^2}}{|\ln p|}. \quad (13)$$

Poznavanje očekivanja Q omogućuje nam određivanje faktora produljenja prosječnog vremena potrebnog za očitavanje pojedinog brojila u velikom sustavu, uvrštenjem Q u (8):

$$\frac{T}{T^{(0)}} = f(p) = 1 + \prod_{i=1}^q p^i; \quad (14)$$

gdje je $Q = \frac{-p}{\ln p}$.

U formuli je naznačeno da je omjer $T/T^{(0)}$ funkcija vjerojatnosti p , što možda nije na prvi pogled očito iz same formule. Kao što ćemo vidjeti, taj faktor, koji izravno smanjuje opći kapacitet očitavanja sustava, može poprimiti vrijednosti značajno veće od 1, ali isto tako, za p cca. 0.4, zanemarivo utječe na kapacitet.

1.1. Utjecaj vjerojatnosti retransmisije na vrijeme očitavanja – primjeri

Ovdje treba ponešto reći o realnom redu veličine vrijednosti p u PLC mrežama. Naglasimo još jednom da je p "prosječna" vjerojatnost pojave potrebe za retransmisijom nakon pojedinačnog pokušaja u zadanoj mreži. Pod "prosječnom" se misli na neku efektivnu vjerojatnost, s obzirom da se velika mreža sastoji od mnogo različitih, boljih ili lošijih dijelova. Ovu prosječnu vrijednost, zbog nelinearnog i diskontinuiranog karaktera (14), ustvari nije baš lako izračunati, ali se može dobiti formula za približnu procjenu, što ćemo

elaborirati malo kasnije, dok se točna vrijednost može tražiti prikladnim numeričkim metodama.

Za našu analizu pretpostavit ćemo da se komunikacija PLC medijem odvija digitalnom brzinom od 19.2 kb/s, što predstavlja razumnu vrijednost glede mogućnosti PLC-a, kao i brzina u radijskom dijelu mreže, uz primjenu tehnologije niske zračene snage i malog kapaciteta.

Chan i Donaldson u [6] daju eksperimentalne rezultate mjerenja svojstava digitalnog prijenosa kroz kućnu PLC mrežu industrijske zgrade pod raznolikim pogonskim uvjetima, upravo pri brzini signaliziranja od 19.2 kb/s, tako da ćemo njihove rezultate upotrijebiti kao podatke iz kojih ćemo izračunati približnu realnu vrijednost p kakva bi bila u toj mreži, premda je u [6] riječ o unutarnjem kanalu. Selander u [7] daje također eksperimentalne rezultate opažanja obavljenih na vanjskoj distribucijskoj mreži jedne niskonaponske trafostanice u Švedskoj, u kojima navodi dragocjene podatke o vjerojatnosti retransmisije u dijelovima te mreže, te o ukupnoj efektivnoj vjerojatnosti retransmisije p , a na temelju baze podataka koju generira stvaran živi sustav automatskog očitavanja brojila spojenih na tu trafostanicu. Naš teoretski model i vrijednosti vjerojatnosti retransmisije ekstrahirane iz [6] i [7] omogućit će objašnjenje efekata opaženih u [7], a napose disproporcije između pojedinačnih vrijednosti vjerojatnosti retransmisije, i ukupne efektivne vjerojatnosti p .

Autori u [6] daju nekoliko snimljenih grafova ovisnosti kumulativne vjerojatnosti pojave digitalnih intervala bez ijedne pogriješke u prijenosu, odnosno intervala s pogriješkom koji se nalaze između potonjih, u ovisnosti o dužini tih sekvencija izraženoj u bitima, i to sve za nekoliko vrijednosti BER-a (engl. Bit Error Rate). Ispada da je vjerojatnost da je potpuno ispravna sekvencija duga x ili manje bitova, gdje je $x < 100$, u svakom slučaju oko 5%, i da je taj postotak slabo ovisan o BER-u, dokle se on kreće u redu veličine oko 0.001. To znači da je oko 5% od svih odsječaka bez pogriješaka dugačkih stotinjak bita ili manje. Ako prihvatimo pretpostavku korištenu i inače u [5], da jedna poruka između brojila i prijenosnika treba sadržavati ukupno 96 bita, što je korektna veličina, znači da možemo računati upravo s podacima o ispravnim sekvencama dugačkim stotinjak bita. Iz [6] se zaključuje, dakle, da je vjerojatnost pojave ispravne sekvencije dužine 100 bita ili manje jednaka približno 5%. S obzirom da je broj ispravnih i neispravnih sekvenci sigurno jednak, efektivna je vjerojatnost da će se u prijenosu 100 bita pokvariti barem jedan bit minimalno jednaka 10%. U stvarnosti je to veća brojka, ali nas u ovom primjeru ne treba zanimati posve točan iznos. No, to još nije procjena p koja nama treba. Naime, kod procesa prozivanja i odgovora vrše se očito dvije transmisije paketa podataka kroz komunikacijski medij. Ako je vjerojatnost pogriješke pri jednom prijenosu jednaka p^* , a to je onih 10%, vjerojatnost da će do po-

grješke doći bilo u jednom ili drugom smjeru iznosi $1 - (1-p^*) (1-p^*) = 2p^* - p^{*2}$. Ako je p^* maloga iznosa, onda to iznosi približno $2p^*$. To, međutim, u slučaju PLC medija ne mora biti zadovoljeno. Za našu procjenu dovoljno je uzeti da je vjerojatnost p jednaka $2p^*$, tj. cca. 20%. No, ne bi nas trebala čuditi niti dvostruko veća vrijednost u mreži ovakve kvalitete. Dakako, kod vrlo loših dijelova mreže vjerojatnosti retransmisije mogu biti i bitno veće.

To nam potvrđuju i rezultati promatranja živog sustava očitavanja u [7]. Selander konstatira da u pojedinačnim dijelovima obuhvaćene mreže koja napaja oko 70 korisnika relativna frekvencija ponovljenih prijenosa, koji su zabilježeni u bazi podataka u računalu koje vodi proces, obično u rangu 15 do 25%, s tim da je ova veličina podložna sezonskim i dnevnim promjenama, te da ovisi o dijelu mreže koji se promatra. Tu prostornu varijaciju autor u [7] zaobilazi aritmetičkim usrednjavanjem p za sva domaćinstva, što ipak, kao što ćemo demonstrirati, može biti vrlo pogriješno. Naime, premda je prosjek pojedinačnih vrijednosti p u spomenutom redu veličine, ukupno izračunat p , dobiven dijeljenjem ukupnog broja registriranih retransmisija s ukupnim brojem uspješnih i neuspješnih pokušaja prema svim kućanstvima, ispada oko 70%, što se nikako ne može dobiti jednostavnim aritmetičkim uprosječivanjem. Autor u [7] ne nudi objašnjenje ovog nesuglasja u podacima, već samo konstatira da je bilo slučajeva kada je u lošijim dijelovima mreže za jedan uspješan prijenos učinjeno i do 70 retransmisija.

Naš izračun će pokazati zbog čega nastaju ovakve razlike u statističkim osobinama pojedinačnih dijelova mreže i ukupne mreže.

Sada, kada imamo određeni dojam o realnom redu veličine p , možemo načiniti tablicu koja će zorno prikazati o čemu se ovdje radi. U tablici 1 dajemo prikaz ovisnosti veličina p , Q , σ_Q , $Q + \sigma_Q$, $Q + 2\sigma_Q$ i faktora definiranog jednadžbom (14).

Iz tablice se vidi da se za p manji od 0.42 utjecaj retransmisija na prosječno vrijeme transakcije može u osnovi zanemariti. Međutim, porastom p ta se situacija dramatično pogoršava. Ako je ukupna efektivna vrijednost p jednaka 0.7, kao npr. u [7], tada je vrijeme potrebno za očitavanje cijele populacije brojila 2.68 puta dulje nego što bi bilo kada ne bi postojale pogriješke u transmisiji. Treba reći da PLC mreža razmatrana u [7] spada u red prosječno kvalitetnih distribucijskih mreža, tako da je ova opća vjerojatnost sasvim realna, dok je u našim domaćim uvjetima sigurno još lošija. Pojava velikog broja retransmisija u pojedinim lošijim dijelovima sustava, poput 70 retransmisija registriranih u [7], može se objasniti činjenicom da standardna devijacija varijable q raste zajedno s njenim očekivanjem Q , odnosno, u krajnjoj liniji, sa p . Tako je sasvim vjerojatno da ponekad može doći do broja retransmisija nekoliko puta većeg od očekivanja, a u apsolutnom smislu se situacija pogoršava

Tablica 1. Utjecaj vjerojatnosti pojedinačne retransmisije p na prosječno vrijeme pojedinačne transakcije u velikom sustavu automatskog očitavanja brojala. Q je zaokružen na najbližu cijelu vrijednost, a $Q + \sigma_Q$ i $Q + 2\sigma_Q$ zaokruženi su na prvu višu cjelobrojnu vrijednost.

p	.01	.05	.1	.2	.3	.42	.45	.5	.6	.7	.8	.9	.95	.98	.99	.999
$-p / (\ln p)$	.002	.02	.04	.124	.25	.48	.56	.72	1.17	1.96	3.56	8.54	18.5	48.5	98.5	998.5
Q	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	4	9	19	49	99	999
σ_Q	.031	.1	.19	.37	.59	.94	1.05	1.25	1.79	2.67	4.4	9.4	19.5	49.5	99.5	999.5
$Q + \sigma_Q$	0	0	0	0	1	2	2	2	3	5	8	18	38	98	198	1998
$Q + 2\sigma_Q$	0	0	0	1	2	3	3	4	5	8	13	28	58	148	298	2998
$T/T^{(0)}$ (3.2-15)	1	1	1	1	1	1	1.45	1.5	1.6	2.68	6.25	24.8	101.4	648	2617	263978

kako Q raste, što se zorno vidi iz gornje tablice. Ipak, u ocjeni performancije sustava mjerodavna je očekivana vrijednost Q , jer se podjednako često mogu događati i znatno manji brojevi retransmisija od očekivanja.

S obzirom da se uvjeti na PLC mediju mijenjaju u vremenu, za opći izračun kapaciteta očitavanja potrebno je dobiti podatak o vrijednosti p u najlošijem satu i najlošijem danu.

1.2. Odnos pojedinačnih vjerojatnosti retransmisije i skupne vjerojatnosti

Koje je podrijetlo neusklađenosti parametara p na dijelovima mreže i na čitavoj mreži [7], objasniti ćemo odmah na primjeru:

Pretpostavimo da imamo sustav od 50 brojila, koja se mogu grupirati u 5 grupa s različitim prosječnim vjerojatnostima p , i da se unutar svake grupe pojedinačne vjerojatnosti na pojedinačnim kanalima dovoljno malo razlikuju, da ih možemo objediniti kao aritmetičke sredine karakteristične za svaku od tih grupa. Neka te vrijednosti budu:

$$p_1 = 0.1 \quad p_2 = 0.2 \quad p_3 = 0.7 \quad p_4 = 0.9 \quad p_5 = 0.5.$$

Kada bismo jednostavno usrednjili ovih pet vrijednosti, dobili bismo da je p za čitavu mrežu jednak 0.48, a to je daleko od istine. Naime, vrijeme potrebno za posluživanje svake pojedine grupe razmjerno je s njenom vrijednošću izračunatom prema (14), pa mi zapravo možemo usrednjiti faktor vremenskog produljenja (14) za ovih pet grupa, s obzirom da smo odabrali jednako brojne grupe, i tek onda iz takvog prosječnog faktora inverznom operacijom od (14) ekstrahirati stvarnu efektivno valjanu vrijednost p za čitavu promatranu mrežu. Slijedi relacija za p :

$$1 \prod_{i=1}^Q i p^i \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^Q k p_i^k \quad 6.2. \quad (15)$$

Korištenjem (14) u par iteracija izračunavamo da to odgovara vrijednosti $p = 0.797$, a to je 66% lošije od aritmetičke sredine. Definirajmo sada radi lakšeg pisanja varijablu γ , kao:

$$1 \prod_{j=1}^{Q_j} p_i^j; \quad i = 1, 2, \dots, . \quad (16)$$

Neka je Γ ukupan broj grupa s međusobno različitim prosječnim vjerojatnostima p_i , pri čemu u svakoj grupi ima b_i brojila. U našem primjeru $\Gamma = 5$. Procijenimo srednju ukupnu vjerojatnost p za čitavu mrežu kao:

$$p = \frac{\prod_{i=1}^{\Gamma} b_i p_i}{\sum_{i=1}^{\Gamma} b_i} \quad (17)$$

Računajući tako dobivamo u gornjem primjeru da je ukupno $p = 0.82$, što je ipak znatno bliže.

Promotrimo sada još drastičniji primjer: Neka je populacija od 50 brojila podijeljena u dvije grupe, od kojih prva ima 45 brojila s $p_1 = 0.1$, a druga sadrži 5 brojila s vjerojatnošću $p_2 = 0.98$. Dakle, prva grupa sadrži 45 brojila koja komuniciraju s računalom preko kanala pristojne kvalitete, a druga sadrži samo 5 brojila koja se koriste izrazito lošim PLC kanalima. Aritmetička srednja vrijednost za p bila bi jednaka $(45 \times 0.1 + 5 \times 0.98)/50 = 0.188$, a to je vrijednost koja još uvijek ne izaziva značajno usporenje procesa očitavanja. No, to nije dobra procjena. Izračunajmo sada sljedeće:

$$1 \prod_{i=1}^Q i p^i \frac{1}{50} (45 \prod_{i=1}^5 p_i + 5 \prod_{i=2}^Q p_i) \quad 65.7 \quad (18)$$

Ovo je račun po uzoru na (15), koji daje najtočniji rezultat. Prema (14) približna vrijednost za p je oko 0.94. Izračunajmo sada vrijednost prema (17). Ona iznosi: $p = 0.97$, što je dosta dobra procjena u odnosu na najbolju, naime na 0.94. Problem s inverznim korištenjem (14) je taj što funkcija ima mnoge diskontinuitete zbog zaokruživanja Q na cjelobrojne vrijednosti, tako da inverzna funkcija nije definirana na čitavom skupu pozitivnih realnih brojeva većih od 1.

Iz ovih primjera, namjerno odabranih tako da budu drastični, vidi se da oni najnekvalitetniji dijelovi mreže, makar brojčano bili posve u manjini, zapravo degradiraju opću performanciju čitavog sustava. Time je objašnjen neobičan fenomen disproporcije pojedinačnih učestalosti retransmisija i opće učestalosti p na razini čitave mreže promatrane u [7].

1.3. Fizikalno ograničenje kapaciteta očitavanja

Sada konačno možemo prijeći na određivanje prirodnog ograničenja na kapacitet velikog sustava za automatsko očitavanje brojila.

Definirajmo u skladu s (1) sljedeće veličine:

$$2T_C = 2T_R + 2T_{RR} + 2T_G + 2T_0 + 2T_{CR} + 2T_{RG} + 2T_{GM} - 2T_{RR} \quad (19)$$

Uz takvu notaciju može se napisati:

$$T^{(0)} = N \cdot \quad (20)$$

S obzirom da srednje vrijeme pojedine transakcije ovisi o $T^{(0)}$ i o vjerojatnosti p , iz toga proizlazi da je u osnovi srednje vrijeme transakcije linearna funkcija srednjeg broja telekomunikacijskih čvorova, u ovom slučaju radijskih repetitora, u danoj mreži, na putu od računala do brojila. Faktor α daje čisti doprinos kašnjenja koja su u svezi s radijskim relejima, dok faktor β predstavlja pretežito fiksna kašnjenja, neovisna o N , koja su posljedica zadržavanja u obradi podataka u računalu i prijenosniku, te na dionicama između tih elemenata i njima najbližih radioreleja. Isto tako, ovome broju doprinosi i vrijeme odziva brojila i trajanje transakcije između brojila i prijenosnika. Konkretni iznosi svih vremenskih veličina iz (19) ovise o primijenjenim uređajima, tj. njihovoj tehnologiji, a to pak ovisi o načinu pristupa brojilima, odnosno o konkretnom scenariju sekvencijalnog zahvaćanja podataka pohranjenih u njima.

Očekivana ili srednja vrijednost broja N na putu od računala do PLC prijenosnika ovisi o konkretnoj topološkoj organizaciji radijskog dijela mreže. Važan parametar je očekivana udaljenost između susjednih radioreleja, koja se uz primjenu relativno jeftinih uređaja male snage i u urbanim uvjetima može procijeniti na oko 2 km, ili čak i manje.

Općenita situacija nacrtana je na slici 1. Broj prijenosnika može biti manji od broja releja jer poneki radioreleji mogu imati samo ulogu tranzitiranja podataka, ukoliko na lokaciji gdje su smješteni nema pogodnog mjesta ili potrebe za instaliranje prijenosnika. Pretpostavimo da su radioreleji u osnovi konfigurirani u zvjezdasto - lančastu strukturu, odnosno da se iz jednog centra, u kojemu se nalazi pojedinačno računalo, koje je dio računarske mreže za automatsko očitavanje brojila, zvjezdasto unutar čitave domene toga računala šire lanci radioreleja, na koje su spojeni prijenosnici. To je logično pretpostaviti jer pristupanje svakom pojedinom brojilu nije slučajno, već sekvencijalno, tako da je zadaća relejne mreže samo u osiguravanju dosega do pojedinih prijenosnika koji opslužuju svoje PLC domene. Prema današnjem stanju tehnologije [13], domena PLC medija može se protezati par stotina metara od prijenosnika, tako da njihova gustoća mora biti barem u rangu 500 - 1000 m, ako ne i češće.

Izračunat ćemo očekivani broj radioreleja N za svaki pojedini lanac koji sadrži M radioreleja, i to za četiri različita slučaja:

- kada je na svaki relej spojen jedan prijenosnik
- kada je broj prijenosnika za m puta manji od broja radioreleja M i kada su oni jednoliko razmješteni na taj način da ni na koji relej nije spojen više nego li jedan prijenosnik
- najnepovoljniji slučaj razmještaja, ako ni na koji relej nije spojen više nego li jedan prijenosnik
- najnepovoljniji slučaj razmještaja, ako se na svaki radiorelej može spojiti C prijenosnika.

Kada je broj prijenosnika jednak broju releja, imamo trivijalnu situaciju, jer je vjerojatnost da će neki prijenosnik biti prosjopen baš kroz m -ti radiorelej (m prima iznose između 1 i M) jednaka točno $1/M$, tako da očekivanje diskretne stohastičke varijable m iznosi po definiciji:

$$N = \sum_{m=1}^M \frac{m}{M} \cdot \frac{1}{M} \quad (21)$$

Ako se na lanac od M radioreleja spaja ukupno M/m prijenosnika, pri čemu je M/m djeljivo sa m , ako je njihov raspored jednolik i ako je na zadnji, M/m -ti relej u nizu uvijek spojen prijenosnik (u protivnom bi taj relej bio nepotreban), tada je vjerojatnost da je neki prijenosnik spojen s računalom preko m radioreleja jednaka:

$$v(m) = \begin{cases} m/M & \text{za } m \text{ djeljivo sa } M \\ (m-1)/M & \text{za } (m-1) \text{ djeljivo sa } M \\ (m-2)/M & \text{za } (m-2) \text{ djeljivo sa } M \\ \vdots \\ (m-(m-1))/M & \text{za } (m-(m-1)) \text{ djeljivo sa } M \end{cases} \quad (22)$$

Time je definirana stohastička varijabla m . S obzirom da nam nije nužna savršeno točna procjena, možemo ovu diskretnu varijablu zamijeniti kontinuiranom, koja za cjelobrojne vrijednosti varijable poprima vrijednosti razdiobe jednake onima definiranim u gornjoj jednadžbi. Tada je gustoća razdiobe dv/dm u svakom od slučajeva navedenih u (22) evidentno jednaka $1/M$, pa opet izlazi očekivanje identično kao u izrazu (21), što je uostalom i logično.

Najgori slučaj, pod pretpostavkom da ni na koji relej nije spojeno više nego li jedan prijenosnik, nastupa kada su svi prijenosnici grupirani na strani lanca releja suprotnoj strani na kojoj je računalo, i to tako da su svi spojeni na susjedne radioreleje, pa je njihova prosječna udaljenost od računala izražena brojem N sigurno najveća moguća. U ovome primjeru ne trebamo pretpostaviti da je ukupan broj radioreleja djeljiv s ukupnim brojem prijenosnika u nizu. Ako je ukupni broj prijenosnika jednak G , pri čemu je on manji ili jednak od M , očekivanje N u najnepovoljnijem slučaju lako se dobiva uporabom gore danih razmatranja, i iznosi:

$$N = (M-G) \cdot 0.5 (1 + G) \quad (23)$$

Ako se na svaki relej spaja C prijenosnika, očekivanja N za jednolike razdiobe se ne mijenjaju, ali se pogoršava očekivanje u najnepovoljnijem slučaju, koje postaje:

$$N (M - G/C) \approx 0.5 (1 + G/C). \quad (24)$$

S obzirom na stohastičku raspodjelu uređaja u teritorijalno i brojčano vrlo velikim sustavima, normalno je pretpostaviti da je prostorna razdioba prijenosnika u odnosu na prostornu razdiobu radioreleja približno jednolika, tako da prosječan broj N na razini sustava biva približno jednak polovici broja releja u prosječno dugom lancu releja, ili preciznije $(1 + M)/2$. Sada je samo problem odrediti koliko ukupno releja ima u prosječnom lancu.

Taj broj se, naravno, ne može odrediti egzaktno, ali se može načiniti realna procjena s obzirom na očekivanu topologiju komunikacijske mreže. Recimo npr. da je prosječna udaljenost između trafostanica 110/x kV oko 10 km, te da se na svakih par trafostanica, a ovisno o gustoći naseljenosti područja to može biti i na svaku trafostanicu, smješta po jedno komunikacijsko računalo, koje opslužuje prijenosnike smještene u niskonaponskim trafostanicama koje su spojene na njih. Neka je mreža organizirana tako da se radio veze šire zrakasto od 110/x kV stanica s računalima. U gradu će radioreleji zbog loših propagacijskih uvjeta morati biti smješteni gušće nego li u ruralnoj sredini, ali će i računala zbog gustoće populacije morati biti smještena gušće, tako da možemo otprilike reći da će između dva susjedna računala biti razmješteno približno jednako radioreleja. Uzmimo gradsku situaciju. Neka je udaljenost između 110/x kV trafostanica prosječno 10 km, i neka je prosječan doseg jedne radio veze npr. 1 km. Računalo u toj trafostanici mora zrakastim nizom releja dosegnuti do polovice udaljenosti prema slijedećoj trafostanici, a to je oko 5 km, ili oko 5 radioreleja. Radi sigurnosti možemo uzeti i dvostruko više, tako da se čini da bi realno očekivani broj releja, N , na putu od računala do prijenosnika mogao biti manji ili jednak od 5. S obzirom na kratkoću kašnjenja u relejima, koji u mreži u pravilu ne bi trebali obavljati nikakvu obradu niti komutaciju, to nije preveliki broj, i transmisija kroz radio mrežu u manjoj će mjeri doprinijeti ukupnom vremenu odziva, nego li čvorovi koji vrše zahvate nad podacima i koji operiraju s bazama podataka.

Pretpostavimo da jedno računalo očitava sva brojila spojena na X niskonaponskih trafostanica, od kojih svaka u prosjeku napaja K potrošača. Ako vrijeme transakcije s nula retransmisija pišemo prema (20), onda vrijedi nejednakost:

$$X \leq N \frac{q}{f K \sum_{i=1}^K p^i}. \quad (25)$$

Od novih veličina, ovdje je θ interval očitavanja u sekundama, a f je bezdimenzijski faktor koji znači da se

računalu ostavlja θ/f sekundi vremena za dovršenje čitavog ciklusa, jer svako pojedino računalo u sustavu ima i druge zadatke koje treba stići obaviti. Npr, u velikim sustavima radit će paralelno više računala, koja će periodički morati pripremiti ažuriranu bazu podataka i odgovoriti na zahtjev nadređenog računala, te je dostaviti. Nadalje, postoji i potreba za drugim vidovima komunikacije, u okviru "energy management" koncepta. Osim toga, postojanje slobodnog intervala povećava pouzdanost očitavanja zbog mogućnosti vremenske diverzifikacije očitavanja, te dopušta određenu elastičnost u održavanju. Razumno je tražiti da se čitav postupak dovrši za npr. 1/2 ili 1/3 ciklusa očitavanja, pa bi u tim slučajevima broj f iznosio 2 ili 3. Interval očitavanja za pojedinačne potrošače odgovara intervalu u kojemu se mijenja cijena na kratkoročnom tržištu, premda i to može ovisiti o količini inteligencije ugrađene u samo brojilo, odnosno njegovo komunikacijsko sučelje. Uzet ćemo nekakvu razumnu vrijednost od jednoga sata.

Iz prethodne formule vidi se da je umnožak broja trafostanica po jednom računalu X i prosječnog vremena izvođenja jedne transakcije koja uspije od prve ($T^{(0)}$) ograničen odzgo faktorom koji ovisi o odabranim veličinama θ i f , te o prosječnoj vjerojatnosti pojedinačne retransmisije, dakle o kvaliteti prijenosnog medija. Pošto je PLC mnogo lošiji medij od radijskog, upravo njegova kvaliteta, izražena vrijednošću p , odlučujuće smanjuje opći kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila. Za sustav je povoljno da jedno računalo može obuhvatiti čim više trafostanica, tj. čim više pojedinačnih korisnika, zbog toga što je onda mreža računala jednostavnija, manja je početna investicija, i manja je cijena najma ili izgradnje telekomunikacijskih kapaciteta koji će povezati mrežu teritorijalno disperziranih računala znatno većim kapacitetom od onoga potrebnog u radiorelejnem sustavu koji opslužuje sama brojila.

Sada ćemo zbog usporedbe razmotriti dva primjera.

Scenarij A:

Računalo proziva svako brojilo ponaosob u sekvenciji, pa radioreleji i prijenosnici ne moraju u sebi nositi nikakve kompliciranije funkcije od transparentnog prijenosa podataka, tako da su njihova inherentna kašnjenja vrlo mala. Duljina poruke u oba smjera je jednaka i iznosi 96 bita, a brzina signaliziranja je 19.2 kb/s. Prosječna vjerojatnost pojedinačne retransmisije izračunata u smislu ovoga izlaganja neka je 0.7. Iz tih pretpostavki slijede neke od tipičnih vrijednosti, dok druge dajemo paušalno, u skladu s realno utemeljenim procjenama prema današnjem stanju tehnike:

$$T_P = 96/19200 = 5 \text{ ms (trajanje poruke)}$$

$$\tau_R = 20 \text{ ms} \quad \tau_{GM} = 5 \text{ ms}$$

$$\tau_{RG} = 5 \text{ ms} \quad \tau_{RR} = 5 \text{ ms}$$

$$\tau_{CR} = 5 \text{ ms} \quad \tau_0 = 100 \text{ ms}$$

$$T_C = 1 \text{ s} \quad \tau_G = 50 \text{ ms.}$$

Slijedi da je $\alpha = 0.05$ s i $\beta = 2.22$ s. Ako je $N = 5$, $\theta = 1$ sat i $f = 3$, ispada da je:

$$X = 3600 / (3 \cdot 100 \cdot 2.68 \cdot 2.47) = 1.8.$$

To znači da jedno računalo stigne obraditi približno 2 prosječne trafostanice ili 200 potrošača u satu, pri čemu mu tijekom jednog sata ostaje oko 38 slobodnih minuta.

Scenarij B:

Računalo proziva jedan po jedan prijenosnik, a svaki prijenosnik ima već spremljene podatke svih svojih brojila, tako da je duljina down-link poruke jednaka 96 bita, a duljina up-link poruke je jednaka $96 + K \times 32$ bita, ako pretpostavimo da je kao u [5] 32 bita dovoljno za pohranu pojedinačnog podatka iz brojila. Prijenosnik sada sadrži složene funkcije, pa mu je vrijeme odziva veće. Kvaliteta radiomreže je gotovo savršena, pa je $p = \text{cca. } 0$. U računu prema (3.2-25) umjesto $K = 100$ uvrstit će se broj 1, jer računalo ne pristupa pojedinačno do svih brojila, nego samo do prijenosnika. Važne veličine su:

$$T_{Pd} = 5 \text{ ms (trajanje down-link poruke)}$$

$$T_{Pu} = \text{cca. } 170 \text{ ms (trajanje up-link poruke)}$$

$$\tau_{Rd} = 25 \text{ ms (down link)}$$

$$\tau_{Ru} = 190 \text{ ms (up-link)}$$

$$\tau_{RR} = \tau_{CR} = 20 \text{ ms (samo vrijeme propagacije)}$$

$$\tau_{GG} = 0.5 \text{ s (čekanje na odziv prijenosnika)}$$

$$T_C = 1 \text{ s}$$

$$\tau_{RG} = 5 \text{ ms.}$$

Sada će izrazi za α i β doživjeti malu modifikaciju zbog nepostojanja veličina koje se odnose na vezu prijenosnika i brojila, te zbog nesimetrije up i down linka:

$$\alpha = \tau_{Rd} + \tau_{Ru} + 2 \tau_{RR} = 0.255 \text{ s}$$

$$\beta = 2 T_C + \tau_{GG} + 2 \tau_{CR} + 2 \tau_{RG} - 2 \tau_{RR} = 2.51 \text{ s.}$$

Uz $N = 5$ slijedi:

$$X = 3600 / (3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.3) = 317.$$

Dakle, na ovaj način jedno računalo može stići obraditi 317 prijenosnika s po 100 podređenih brojila, tj. ukupno 31700 brojila svakih sat vremena, s tim da mu u tom intervalu ostaje slobodno 40 minuta. Ispada da je uz ovu strategiju kapacitet očitavanja 150 puta veći, ne računajući ipak ograničenu kvalitetu radijskog sustava, koja taj broj ponešto smanjuje. Čitatelj će primijetiti da uz ovakvu strategiju očitavanja možemo odrediti i faktor za radio mrežu, poznajemo li njezinu vrijednost p , i to posve neovisno od određivanja faktora PLC medija. Ukupno vremensko produljenje obrade dobije se umnoškom tako određenih faktora. Jasno, numerički primjer je odabran tako da bude drastičan. U stvarnosti je potrebno uračunavati konkretne poznate podatke o parametrima kašnjenja.

Jedino još treba provjeriti stiže li prijenosnik prikupiti sve podatke za dvadeset minuta. Ako se 100 brojila očitava 20 minuta, znači da je prosječno vrijeme raspoloživo za očitavanje pojedinog brojila 12 s, što je barem 10 do 20 puta više od potrebnoga uz uračunata

tipična kašnjenja u PLC mreži, te uz tipično vrijeme odziva brojila i vrijeme obrade u prijenosnika. To znači da sustav može uspješno raditi uz vjerojatnosti pojedinačne retransmisije u PLC mreži do oko $p = 0.9$.

Jasno, ova dva primjera dana su s uračunatim tipičnim rangom fizikalnih veličina koje su u igri, i to samo radi usporedbe dviju mogućih strategija pristupa. Te strategije nisu jedine moguće, a tipična vremena kašnjenja ovise o primijenjenoj tehnologiji, digitalnoj brzini, itd, pa su i ona podložna promjenama. No, iz primjera se vidi koji je glavni pravac djelovanja, odnosno koji su glavni uzroci sporosti sustava. To su vremena obrade u računalu i, u scenariju B, u prijenosniku, odnosno općenito fiksno kašnjenje. Zbog toga kašnjenja u scenariju B je ispalo da nekvaliteta PLC medija ne čini glavni problem, jer i uz visoku vjerojatnost pojedinačne retransmisije prijenosnik stiže kolektirati sve potrebne informacije. Tehnološki napredak dovest će do smanjenja vrijednosti β , i time do približno proporcionalnog povećanja kapaciteta očitavanja po jednom računalu.

1.4. Zaključak o analizi utjecaja kvalitete PLC medija na kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila

Iz prethodnih razmatranja zaključujemo sljedeće:

- U općoj analizi prosječnog vremena potrebnog za očitavanje jednog brojila u velikom sustavu automatskog očitavanja brojila ne može se zanemariti utjecaj šuma i interferencija na PLC mediju.
- Porastom vjerojatnosti pojedinačne retransmisije drastično se povećava prosječno vrijeme očitavanja brojila, ali za $p < 0.42$ utjecaj te vjerojatnosti može se zanemariti.
- Očekivani broj retransmisija i disperzija broja retransmisija rapidno rastu sa p , tako da je ponekad u stvarnim PLC mrežama moguće da za dohvat jednog podatka očitavanja brojila bude potreban vrlo velik broj retransmisija.
- Najlošiji dijelovi PLC mreže najviše utječu na opću performanciju čitave PLC. Vjerojatnosti pojedinačne retransmisije u dijelovima mreže s različitim kvalitetama ne mogu se linearno usrednjavati, već se mora vrednovati doprinos faktorom svakoga od tih dijelova, a upravo zbog toga najlošiji dijelovi mreže imaju najveći utjecaj na zajednička svojstva.

Kapacitet očitavanja sustava obratno je razmjern faktorom mreže. Stoga je poželjno načiniti takvu strategiju očitavanja svakog pojedinog brojila koja će minimizirati vremenski udio PLC medija u ukupnom telekomunikacijskom prometu mreže.

2. OSTALE KLASIČNE PRIMJENE

Ovdje ćemo se spomenuti i nekih područja u kojima je PLC više ili manje uspješno primjenjivan i kroz protekle godine, premda s relativno ili čak vrlo malim ka-

pacitetima. Naravno da je prijenos informacija distribucijskom energetskom mrežom najprije zaživio u industriji i elektroprivredi. Štoviše, elektroprivreda već preko pola stoljeća koristi i visokonaponske vodove za prijenos u pravilu manjeg broja analognih, ili u novije vrijeme digitalnih, komunikacijskih kanala.

U Europi je CENELEC-ovim standardom EN50065 [9] fiksirano frekvencijsko područje rada namijenjeno PLC komunikacijama, koje ne ostavlja dovoljno prostora za razvoj širokopojasnih komunikacija. Ovom normom dijeli se područje od 3 kHz do 148.5 kHz u nekoliko podpojaseva:

- 3 – 9 kHz – rezervirano za distribuciju
- 9 – 95 kHz – rezervirano za distribuciju i njene licencirane partnere (A band)
- 95 – 125 kHz – rezervirano za korisnike (B band – bez protokola)
- 125 – 140 kHz – rezervirano za korisnike (C band – protokol CSMA, engl. Carrier Sense Multiple Access)
- 140 – 148.5 kHz – rezervirano za korisnike (D band – bez protokola).

Dozvoljene razine emitiranog signala, izražene u dBV, na priključnici specificirane su za područja označena slovima, i iznose:

- A band: linearni pad od 134 dB μ V na 9 kHz do 120 dB μ V na 95 kHz
- B, C i D band: 122 dB μ V.

Dakle, u većem dijelu ovoga područja dozvoljeni napon na stezaljkama emitirajućeg uređaja kreće se oko 1V. Korištenje područja iznad 148.5 kHz zabranjeno je zbog AM radiodifuzije. U Americi i Japanu dopušteno je korištenje spektra do oko 500 kHz, ali se u zadnje vrijeme pojavljuju sumnje, posebice u Kanadi, da emisije na oko 180 kHz mogu ometati zrakoplovne navigacijske sustave, tako da bi i u tim zemljama uskoro moglo doći do reduciranja pojasa slobodnog za PLC sustave.

Postoji nekoliko područja tradicionalne primjene PLC-a, odnosno onih područja koja se tek otvaraju, a u kojima će PLC kao medij sigurno odigrati značajnu ulogu:

- kućna automatizacija i "smart home" koncept
- industrijska automatika i upravljanje procesima
- potrošačka elektronika (npr. baby-alarmi i slični uređaji)
- sigurnosni sustavi, nadzor objekata
- "energy management":
 - AMR – automatsko očitavanje brojila
 - kontrola i upravljanje tarifama za obračun energije
 - daljinsko upravljanje trošilima, "demand side management"
- usluge s dodanom vrijednošću (VAS, engl. Value Added Services) – čitav spektar novih usluga koje

distributeri električne energije mogu pružati svojim korisnicima, od nekih navedenih u gornjoj natuknici, pa do – eventualno – usluga koje zahtijevaju širokopojasni prijenos.

Kada je riječ o tradicionalnim primjenama, od kojih su najvažnije industrijske aplikacije i kućna automatizacija, te o nekima koje će podupirati koncept "energy managementa", korisno je definirati set važnih parametara, na koje si treba odgovoriti svaki planer sustava prije nego li odabere neko rješenje s PLC prijenosom signala, a s obzirom na poznate teškoće vezane za taj medij. Newbury i Morris u [1] daju temeljnu listu takvih parametara i razmatraju ih u slučajevima triju spomenutih vrsta sustava s PLC komunikacijom. Definicije parametara prema [1] su:

- Doseg – fizička veličina površine koju treba pokriti telekomunikacijskim sustavom.
- Vrijeme odziva – kašnjenje prigodom prijenosa informacije između dva komunicirajuća čvora u mreži, koje ovisi o vremenu propagacije, broju međučvorova, primijenjenom protokolu, vrsti komutacije, itd...; a odozgo je ograničeno minimalnim zahtjevom konkretnog sustava.
- Najlošije vrijeme odziva – najveće kašnjenje, za razliku od tipičnog, koje je još podnošljivo u danoj aplikaciji, a može imati podrijetlo u različitim uzrocima, npr. u retransmisijama zbog šuma.
- Posljedice gubitka veze – ponašanje sustava u slučaju prekida komunikacije među čvorovima.
- Posljedice gubitka čvora – ponašanje sustava u slučaju gubitka jednog ili više čvorova.
- Sigurnost podataka – potrebno je znati je li nužno obaviti zaštitu podataka od trećih osoba, i kakve to ima implikacije na dizajn sustava.

Evo sada i okvirne analize triju različitih sustava, također prema [1]:

a. Kućna automatizacija

- Doseg – unutar kuće ili zgrade.
- Vrijeme odziva – prihvatljivo do reda veličine sekunde, a neki uređaji toleriraju i znatno više.
- Najlošije vrijeme odziva – duža vremena odziva mogu biti iritantna za korisnika, ali bi u pravilu bila bez većih posljedica.
- Posljedice gubitka veze – također neugoda za korisnika, ali bez ozbiljnijih konzekvenci.
- Posljedice gubitka čvora – isto kao i u slučaju gubitka veze.
- Sigurnost podataka – potrebna je jedino ako u kući ili zgradi postoji sustav nadzora i osiguranja.

b. Industrijska automatika

- Doseg – vjerojatno lokalna, unutar jednog pogona u poduzeću, dok se veze između više takvih cjelina u npr. tvorničkom krugu ostvaruju kvalitetnijim telekomunikacijskim medijem, tako da se može

očekivati pokrivanje terena s gabaritima u redu veličine stotinjak metara.

- Vrijeme odziva – zavisi od vrste automatskog pogona koji se upravlja u realnom vremenu; ni u kom slučaju vrijeme odziva iznad 1 sekunde ne bi bilo prihvatljivo.
- Najlošije vrijeme odziva – opet, ovisi o tome kakav proces se vodi automatski, ali je posve neprihvatljivo da bude znatno iznad 1 s.
- Posljedice gubitka veze – u mnogim automatskim procesima mogu biti vrlo ozbiljne, pa je poželjno da postoji neka vrsta linijske zaštite ili diversity-a, što npr. kod PLC-a nije teško postići, te da postoje algoritmi koji u slučaju prekida telekomunikacijskih veza mogu na miran način prekinuti kontrolirani proces.
- Posljedice gubitka čvora – također mogu biti vrlo ozbiljne, tako da je poželjno da se proces u slučaju gubitka čvora može mirno ugasiti. Mreža mora stalno nadzirati stanje ispravnosti čvorova.
- Sigurnost podataka – nije osobito važna, osim ako se računa s mogućnošću sabotaza.

c. Automatsko očitavanje brojila

- Doseg – može biti vrlo velik, ali u kontekstu PLC-a najčešće će se raditi o vezi lokalne trafostanice $x/0.4$ kV s pojedinačnim brojilima, tako da se radi o populacijama male ili srednje brojnosti (npr. u USA-u tipično 10 do 20 brojila po trafostanici, u Europi dva do tri puta više; hrvatski prosjek: oko 100 korisnika po lokalnoj trafostanici [10]. Takva mala lokalna mreža najčešće biva dijelom mnogo veće strukture, s kojom je povezana drugim telekomunikacijskim medijem, naime optikom ili radio vezom.
- Vrijeme odziva – elektroprivredne tvrtke očitavat će svoja brojila barem jednom u pola sata. Ostale aplikacije tolerirat će ponekad i veće vrijeme odziva.
- Najlošije vrijeme odziva – ovisi o veličini populacije koju obrađuje jedan sustav, tj. jedno računalo. Svejedno, kašnjenje unutar jednog ciklusa očitavanja nema nikakvih posljedica, a niti gubitak jednog očitavanja za pojedinačno brojilo i potrošača ne može imati teže posljedice.
- Posljedice gubitka veze – ovisi o vremenu trajanja prekida, ali u principu ne mogu biti teške iz dva razloga: (a) podaci iz brojila se samo čitaju, odnosno brojilo ne prima nikakve naredbe za izvršenje bilo kakve akcije od sustava za očitavanje; (b) gubitak podataka o potrošnji kroz nekoliko sati, pa i dana, u principu se može nadomjestiti interpolacijom, s obzirom na ujednačeni obrazac ponašanja svakog pojedinog korisnika.
- Posljedice gubitka čvora – isto kao u slučaju gubitka veze.
- Sigurnost podataka – važna zbog toga što su vrijednosti očitavane na brojilima direktno razmjerne

novčanim vrijednostima, tako da je u najmanju ruku potrebno spriječiti falsificiranje podataka.

Sada ćemo u najkraćem spomenuti danas ustaljene standarde koji omogućuju korištenje PLC-a kao prijenosnog komunikacijskog medija. Radi se o tvorničkim standardima koji su komercijalno najbolje uspjeli, tj. koji se najviše koriste.

2.1. X-10

Tehnologija X-10 pojavila se tijekom sedamdesetih godina, i danas se može smatrati da je najraširenija PLC tehnologija. Do danas su razvijene stotine uređaja kompatibilnih sa X-10, s milijunima isporučenih sustava.

X-10 u trenucima prolaska mrežnog napona kroz nulu emitira pulseve frekvencije 120 kHz, trajanja 1 ms. Binarni znakovi kodirani su bifazno: ako je na početku periode (pozitivan prolaz kroz nulu) emitiran puls od 120 kHz, a jednu poluperiodu kasnije (negativan prolaz kroz nulu) nije emitirano ništa, odaslan je binarni znak "1". Ako na početku periode nije emitirano ništa, a jednu poluperiodu kasnije bude odaslan 120 kHz puls, radi se o binarnoj nuli. Zbog smanjenja utjecaja šuma svaki binarni simbol, "0" ili "1", odašilje se dvaput uzastopce, u dvije susjedne periode mrežnog napona. To je ujedno i jedina mjera poduzeta protiv utjecaja smetnji, a X-10 protokol uopće ne predviđa potvrdu prijema informacije, tako da je sustav baziran na X-10 zapravo dosta osjetljiv na šum, što mu je najveća mana.

Dakle, za emitiranje informacije od jednog bita potrebne su dvije pune periode mrežnog signala, odnosno 33.33 ms u Americi i Japanu, tj. 40 ms u Europi. U tim slučajevima, maksimalne efektivne brzine signaliziranja su 30 b/s, odnosno 25 b/s.

Temeljna X-10 poruka sadrži 13 signala, a sastoji se od 4 signala preambule, 4 bita kućnog koda, 4 bita koda jedinice/funkcije i jednog bita koji indicira odnose li se prethodna 4 bita na jedinicu ili funkciju. Preambula sadrži tri početna bursta od 120 kHz u tri uzastopne periode i jednu periodu bez ikakve emisije, tako da preambula traje ukupno koliko i dva bita, odnosno osnovna X-10 poruka zapravo traje kao 11 bita, tj. 366.66 ms na mreži 60 Hz, te 440 ms na 50 Hz.

Informacija potrebna za aktiviranje X-10 uređaja sadržana je u dvije 11-bitne poruke, od kojih se svaka emitira dvostruko, zbog daljnjeg povećanja imunosti na šum. S obzirom da prijamnik može reagirati na poruku čim je primi prvi puta, minimalno vrijeme transmisije komande iznosi 22 bita, odnosno 0.73 s na mreži 60 Hz i 0.88 s na 50 Hz.

Adresno polje X-10 sustava omogućuje adresiranje najviše 256 uređaja. Postoje i novije verzije X-10 protokola s većim kapacitetom prijenosa, ali one nisu toliko raširene u uporabi. Unatoč vrlo malom kapacitetu, X-10 je zbog svoje krajnje jednostavnosti našao veliku

primjenu, naročito u Sjedinjenim Američkim Državama, u području upravljanja jednostavnim procesima kakvi se odvijaju u kućama.

X-10 predstavlja minimalni standard komuniciranja uopće, i on sigurno ne eksploatira niti djelić stvarnih mogućnosti PLC medija, makar se radilo i samo o EN 50065 pojasu. U principu, X-10 sustavi kompatibilni su s EN 50065, osim utoliko što je njihov nosioc smješten u C-pojasu, koji je namijenjen za CSMA tehnologiju, ali je načelno moguće bez velikih problema izvršiti korekciju frekvencije nosioca, koja bi trebala biti unutar A-pojasa.

2.2. CEBus

CEBus je otvoreni standard usklađen s OSI modelom za sustave kućne automatizacije uveden od strane američke asocijacije EIA (engl. Electronic Industry Association). Zbog slojevitosti i razvijenosti CEBus protokola, kao i zbog mogućnosti decentralizacije inteligentnog dijela sustava, CEBus je našao primjenu i u mnogim drugim poljima, osim onoga kojemu je prvotno bio namijenjen. Kao što ćemo vidjeti, CEBus nije kompatibilan s CENELEC-ovom normom za signaliziranje na niskonaponskim mrežama.

Na sučelju prema prijenosnom mediju CEBus koristi varijantu sporog FH sustava raspršenja spektra (FH, engl. Frequency Hopping), u kojemu se tijekom trajanja jednog simbola frekvencija mijenja kontinuirano od 100 kHz do 400 kHz, ili obratno. Veličina signala je 4 V od vrha do vrha, odnosno 1.41 V efektivno. Osnovna vremenska jedinica je "trajanje jediničnog simbola", a iznosi 114 s u preambuli, odnosno 100 s u podatkovnom paketu. Simbol "1" traje jednu jedinicu, "0" traje dvije jedinice, kraj okvira traje 8 jedinica u preambuli, odnosno 3 u podatkovnom paketu, a kraj podatkovnog paketa traje 4 jedinice. Preambula se kodira i modulira načinom NRZ-ASK (engl. Non Return to Zero – Amplitude Shift Keying), a podatkovni paket se kodira načinom FRK (engl. Frequency Reversing Keying).

CEBus uključuje funkcije detekcije pogrešaka u prijenosu, automatske retransmisije, potvrde ispravnog prijma, odbijanja dvaput pristiglog paketa, autorizacijske procedure za sprječavanje neovlaštenog korištenja, te kriptiranja za zaštitu tajnosti. Maksimalan broj uređaja u jednom sustavu (veličina adresnog polja) je 65536. Razvijena su sučelja za komunikaciju različitim medijima: PLC-om, bakrenim paricama (4 parice), koaksijalnim kabelima (2 kabela), radijskim medijem i infracrvenim zrakama. Razmatra se razvoj sučelja za optička vlakna. Standard je donijela EIA pod imenom IS-60. Više o decentraliziranim sustavima na tragu "smart home" koncepta može se vidjeti u [11].

Time, naravno, nisu iscrpljene sve tehnologije komuniciranja PLC-om koje su danas komercijalno dostupne.

LITERATURA

- [1] J. E. NEWBURY, K. J. MORRIS: "Power Line Carrier Systems For Industrial Control Applications", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 4, Oct. 1999.
- [2] J. NEWBURY, W. MILLER: "Potential Communication Services Using Power Line Carriers and Broadband Integrated Services Digital Network", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 4, Oct. 1999.
- [3] M. H. SHWEHDI, A. Z. KHAN: "A Power line Data Communication Interface Using Spread Spectrum Technology in Home Automation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 3, July 1996.
- [4] J. NEWBURY, W. MILLER: "Multiprotocol Routing for Automatic Remote Meter Reading Using Power Line Carrier Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No. 1, Jan. 2001.
- [5] S. MAK, D. RADFORD: "Design Considerations for Implementation of Large Scale Automatic Meter Reading Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, Jan. 1995.
- [6] M. H. L. CHAN, R. W. DONALDSON: "Attenuation of Communication Signals on Residential and Commercial Intrabuilding Power-Distribution Circuits", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-28, No.4, Nov. 1986.
- [7] 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>
- [8] 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.
- [9] CENELEC, Standard EN50065.
- [10] Z. A. BUKHALA et al: "Radio Frequency Signal Transmission on Medium Voltage Power Distribution Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 1, Jan. 1999.
- [11] D. RADFORD: "Spread Spectrum Data Leap Through AC Power Wiring", IEEE Spectrum, Vol. 33, No. 11, Nov. 1996.
- [12] T. MacGREGOR: "Electricity Restructuring i Britain: Not a Model to Follow", IEEE Spectrum, Vol. 38, No. 6, June 2001.
- [13] K. DOSTERT: "High Speed Data Transmission over Power Lines Using", Multi-Carrier (OFDM) Techniques, Frequenz, Vol. 54 (2000), No. 11-12.
- [14] K. DOSTERT: "Powerline Communications", Prentice Hall PTR, 2001.
- [15] D. SABOLIĆ: "Načela i praksa deregulacije", Energija, br. 5/2002, Zagreb, 2002.
- [16] A. E. KAHN: "How to Make Deregulation Work (interview, Eds. W. Sweet, E.A. Bretz)", IEEE Spectrum, Jan. 2002.
- [17] D. SABOLIĆ: "Influence of the Transmission Medium Quality on the Automatic Meter Reading System Capacity", bit će objavljeno u IEEE Transactions on Power Delivery u 2003. god.

INFLUENCE OF PLC MEDIA QUALITY ON THE CAPACITY OF AUTOMATIC METER READING SYSTEM

Electric distribution network quality influence as transmission media for communication signals (PLC-Power Line Carrier) on the capacity of automatic meter reading system (AMR – Automatic Meter Reading) is analyzed. The factor of time prolongation for one average meter reading depending on failure probability in transmission message, i.e. the easiest measurable value for transmission characteristics of PLC media, is determined. The final part of the paper brings a review on other important classical examples of narrow-range communication through PLC media.

EINFLUSS DER QUALITÄT DER STROMVERSORGUNGSNETZE ALS FERNMELDETRÄGER (PLC), AUF DIE AUFNAHMEFÄHIGKEIT DES SYSTEMS DER AUTOMATISCHEN ABLESUNG VON ZÄHLGERÄTEN

Dargestellt ist die Untersuchung des Einflusses der Qualität der Stromversorgungsnetze als Fernmeldeträger (Englisch: PLC=Power Line Carrier) auf die Aufnahmefähigkeit von Daten im System der automatischen Ablesung von Zählgeräten (Englisch: AMR=Automatic Meter Reading).

Die Kennzahl der Dauerverlängerung einer durchschnittlichen Zählerablesung wird in Abhängigkeit von der Wahrscheinlichkeit des Fehlers in der Übertragung der Nachricht bestimmt. Die genannte Kennzahl stellt die leichtest messbare Grösse der Übertragungseigenschaften von PLC dar. Zuletzt wird im Artikel eine Übersicht anderer wichtiger klassischer Beispiele der Schmalbandübertragungen von Meldungen mittels PLC gegeben.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.
HEP Prijenos d.o.o.
Prijenosno područje Zagreb
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2002–10–02.

ISPRAVAK ČLANKA I PORUKA AUTORIMA

Zbog pogreške u nazivu autora članka "Model i organizacija službe vođenja distribucijske mreže Hrvatske", objavljenog u "Energiji" broj 1 u veljači 2003, molimo vas da uvažite ovaj ispravak:

1. Na stranici 35. piše: Boris Krstulja – Vitomir Komin, Rijeka, a trebalo bi pisati:
Boris Krstulja – mr. sc. Vitomir Komen, Rijeka

2. Na stranici 43. piše: a trebalo bi pisati:

Naslov pisaca:
Boris Krstulja, dipl. ing.
Viktor Komin, dipl. ing.
Rukovoditelj odjela za
upravljanje
HEP Distribucija d.o.o.
Ulica Viktora Cara Emina 2
51000 Rijeka, Hrvatska

Naslov pisaca:
**Boris Krstulja, dipl. ing.
mr. sc. Vitomir Komen, dipl. ing.
HEP Distribucija d.o.o.
DP Elektroprimorje Rijeka
Ulica Viktora Cara Emina 2
51000 Rijeka, Hrvatska**

Koristimo se prigodom da autorima skrenemo pozornost na teške uvjete u kojima djeluje naše uredništvo. Kako za tu "boljku" zasad nema lijeka, molimo autore da, prije nego što pošalju članak za tisak, provjere jesu li dali sve potrebne podatke: ime i prezime, adresu, akademsku titulu te položaj u tvrtki u kojoj rade.

Dovoljno je uzeti bilo koji primjerak "Energije" i pogledati što piše ispod naslova članka, a što na kraju (naslov pisca).

Točnim i pravodobnim podacima pomogli biste nam da izbjegnemo nepotrebne pogreške.

Urednica