

VREMENSKO KAŠNJENJE SIGNALA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI
TIME DELAY OF SIGNAL IN THE DISTRIBUTION NETWORKBojan Vukeljić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu se razmatra putanja signala prilikom komandovanja telemetrisanom tačkom i izvršavanja VVO CL funkcije. Razmatraju se tipovi vremenskog kašnjenja kao i samo vremensko kašnjenje koje se javlja prilikom komandovanja i izvršavanja VVO CL funkcije. Takođe, razmatra se i kako i na koji način vremensko kašnjenje utiče na proračune, nadzor sistema i komandovanje. Proračun vremenskog kašnjenja je izvršen na osnovu prikupljenih vremenskih kašnjenja.

Cljučne reči: vremensko kašnjenje, VVO CL, regulacioni resursi.

Abstract – In this paper the signal trajectory during the command of a telemetric point and VVO CL function execution was discussed. The types of time delay as well as the time delay that occurs during the command and execution of the VVO CL function are considered. Also taken into account is how and in what way the time delay affect computation and system oversight and commanding does. The calculation of time delays were conducted based on the acquired time delays.

Cljučne reči: time delay, VVO CL, regulation resources.

1. UVOD

U distributivnim mrežama (DM) tajming u komunikaciji i razmeni podataka je veoma kritičan. Zaista, ovo je najvažnija razlika između prenosa podataka u DM i prenosa podataka u većini drugih mreža. Neke tipove podataka između električnih uređaja korisne su samo u unapred definisanom vremenskom periodu. Ako kašnjenje u komunikaciji tj. u prenosu podataka prelazi vremenski period, podaci ne služe njenoj nameni. Informacije dobijene iz polja (status rasklopne opreme, merenje napona, struje itd.) mogu biti nekonzistentne kao posledica ne samo loših merenja već i vremenskog kašnjenja prilikom prenosa podataka (koji u međuvremenu mogu da se promene). Posledice kašnjenja mogu biti loši rezultati proračuna, ali i šteta na opremi, nepouzdan rad relejne zaštite (npr. kasni otvaranje prekidač, prekidač mora odmah otvoriti ako napon ili struja u zaštitnom uređaju premaši definisani prag [1]).

Distribution Management System (DMS) sistemi za kontrolu i upravljanje DM-om u realnom vremenu se primenjuju kao distribuirani sistemi, gde su petlje kontrole i upravljanja zatvorene preko komunikacione mreže.

Komunikacijsku mrežu dele razni procesori, od kojih svaki ima različite prioritete i računarska opterećenja.

U takvim sistemima neizbežno je da u komunikaciji između različitih jedinica postoji vremensko kašnjenje [2]. Vremensko kašnjenje u komunikaciji se javlja uglavnom prilikom prenosa signala putem optičkih vlakana, putem mikrotalasa, konverzije analognog signala u digitalni (A/D konverzija) i obrnuto, kao i prilikom vremenske sinhronizacije signala pomoću GPS-a [3].

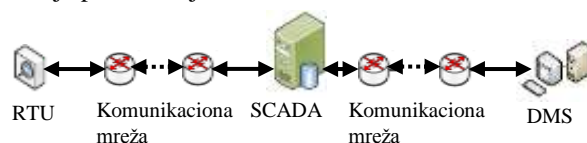
Pored vremenskog kašnjenja u komunikacijama postojeće i računarsko vremensko kašnjenje (vreme kašnjenja servisa i protokola). Dužina vremenskog kašnjenja je teška tačno predvideti i zato se najčešće modeluje kao slučajna veličina [2]. Konačno, uticaj kašnjenja može da se razmatra kao uticaj na kontrolu upravljanja i uticaj na performanse sistema [3].

Tipovi vremenskog kašnjenja, kao i analiza njegovog uticaja na upravljanje DM-om predstavlja osnovne teme ovog rada. Pritom, obrađuju se dva aspekta, prenosa podataka iz polja do kontrolnog centra, a to su kašnjenje podataka i tipovi kašnjenja koji se pojavljuju prilikom prenosa podataka. Oba aspekta obrađuju se na dva konkretna primera, prvi primer komandovanje tačkom u polju iz DMS-a i drugi izvršavanje VVO Closed Loop (VVO CL) funkcije.

Nakon uvoda, u drugoj glavi je ukratko prikazana putanja signala iz polja do DMS-a kao i tipovi kašnjenja prilikom tog prenosa podataka. U trećoj glavi je definisan i objašnjen matematički model sistema koji se razmatra. U četvrtoj glavi su obrađeni konkretni primeri kašnjenja komandovanja telemetrisanim tačkama i izvršavanja VVO CL funkcije. Zaključak je prikazan u petoj glavi, a u šestoj glavi je referentno navedena korišćena literatura.

2. KAŠNJENJE

Kašnjenje se definiše kao vreme proteklo od promene stanja do vremena kada je neka aplikacija na to stanje reagovala. Svaka aplikacija ima svoj sopstveni zahtev za kašnjenje, što zavisi od odgovora sa kojim sistem radi [4,5]. Primer putanje signala prilikom komandovanja telemetrisanom tačkom u polju i izvršavanjem VVO CL funkcije prikazana je na slici 1.



Slika 1 – Putanja signala prilikom komandovanja i izvršavanja VVO CL funkcije

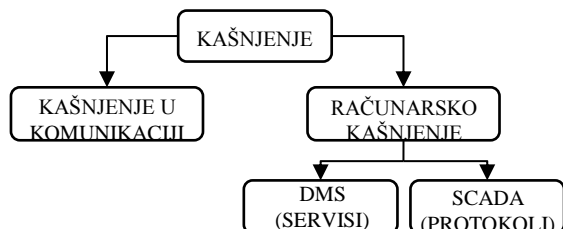
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Goran Švenda, red.prof.

Neminovno je da će prilikom prenosa podataka postojati određeno vremensko kašnjenje, čiji uzrok zavisi od mnogo faktora.

Tipovi kašnjenja koje se razmatraju u ovom radu su:

- Kašnjenje u komunikaciji (telekomunikacije);
- Računarsko kašnjenje (servisi/protokoli);
- Mehaničko kašnjenje.



Slika 2 – Stablo vremenskog kašnjenja signala

Na slici 2 prikazana je podela vremenskog kašnjenja signala, kašnjenje signala je podeljeno na kašnjenje u komunikaciji i računarsko kašnjenje. Mehaničko vremensko kašnjenje se ne odnosi na kašnjenje signala nego je to jednostavno kašnjenje mehaničkih sklopova distributivne opreme u ovom slučaju teretnog menjača RTr-a i prekidača.

2.1 Kašnjenje u komunikaciji

U komunikacionoj mreži, pretpostavlja se da se podaci prenose u formi paketa. Vremensko kašnjenje u komunikaciji obuhvata nekoliko različitih kašnjenja koja se događaju u komunikacionim sistemima. Obično ova kašnjenja su: serijska kašnjenja, „međupaketska” serijska kašnjenja, routing kašnjenja, kašnjenje u propagaciji [3].

Zavisno od medijuma koji se koristi za prenos podataka, postojaće različita vremenska kašnjenja. U tabeli 1 prikazana su vremenska kašnjenja u zavisnosti od medijuma koji se koristi za prenos podataka.

2.2 Računarsko kašnjenje

Računarsko kašnjenje je teško predvideti i najčešće se modeluje kao slučajna varijabla. U ovom radu računarsko kašnjenje je predstavljeno kao kašnjenje servisa i protokola, odnosno potrebno vreme procesiranja servisa i protokola.

U tabeli 2 data su vremena procesiranja komandi za DMS i SCADA-u.

2.3 Mehaničko kašnjenje

Prilikom slanja komande iz DMS-a u cilju promene statusa prekidača, ili promena pozicije teretnog menjača na RTr, pored vremena koje je potrebno da se komanda prenese do uređaja potrebno je određeno vreme i za mehaniku prekidača i teretnog menjača.

Pod mehanikom prekidača smatra se otvaranje i zatvaranje kontakata, gašenje luka i vreme za prekidanje strujnog kruga. Dok pod mehanikom RTr smatra se pronalaženje finalne pozicije i vreme između dve uzastopne promene pozicije teretnog menjača.

Dakle, pri analizi vremenskog kašnjenja, u toku izvršavanja VVO CL funkcije i komandovanje telemetrisanom tačkom važno je uzeti u obzir i mehaničko

kašnjenje. U tabelama 3 i 4 data su vremena vezana za mehaniku prekidača i RTr-a.

Tabela 1 – Vremenska kašnjenja u zavisnosti od medijuma za prenos podataka [1,3,5,6]

Tip medijuma za prenos podataka	Vremensko kašnjenje [ms]
Broadband Power Line (BPL)	~ 24
General Packet Radio Service (GPRS)	~ 100
WiMAX	~ 10 ÷ 100
Optička vlakna	~ 38 ÷ 100
Mikrotalasi	~ 80 ÷ 150
Power Line Carrier (PLC)	~ 150 ÷ 350

Tabela 2 – Vreme procesiranja komandi DMS-a i SCADA-e

	Akcija koja se procesira	Vreme procesiranja [ms]
DMS	Procesiranje VVO CL funkcije	~ 1989 ÷ 9765
	Procesiranje signala za komandovanja	~ 636 ÷ 937
SCADA	Procesiranje 1000 komandi jednu po jednu	~ 700
	Procesiranje 1000 komandi u istom trenutku	~ 440
	Procesiranje 1000 komandi u grupi od po 100 komandi	~ 270

Tabela 3 – Kataloški podaci prekidača ISM15_LD_1 [7]

Akcije	Vreme [ms]
Otvaranje kontakata	~ 15 ÷ 45
Zatvaranje kontakata	~ 30 ÷ 60
Gašenje luka	~ 10 ÷ 20
Prekidanje strujnog kruga	~ 25 ÷ 60

Tabela 4 – Kataloški podaci RTr-a [8]

Akcije	Vreme [s]
Pronalaženje finalne pozicije	~ 45 ÷ 75
Vreme između dve uzastopne promene pozicija	~ 1 ÷ 5

3. MATEMATIČKI MODEL

Upotrebom pametnih mreža, količina ključnih informacija koje putuju između komponenata u polju i IT infrastrukture se drastično povećava, što oslikava nužnost da distribucije počnu da investiraju u sisteme i telekomunikacije. Ova investicija je ključna da bi se pružila robusna, sigurna i efikasna infrastruktura koja je u stanju da podrži različitu opremu, protokole, procese i tokove podataka koji rezultuju iz tehnologije pametne mreže [5].

Na slici 3 prikazan je protok informacija i vremensko kašnjenje u sistemu.

Kašnjenje u sistemu se može podeliti na tri dela: računarsko kašnjenje, kašnjenje u komunikaciji i mehaničko kašnjenje. Neka t_{ukupno} označava ukupno vremensko kašnjenje u sistemu:

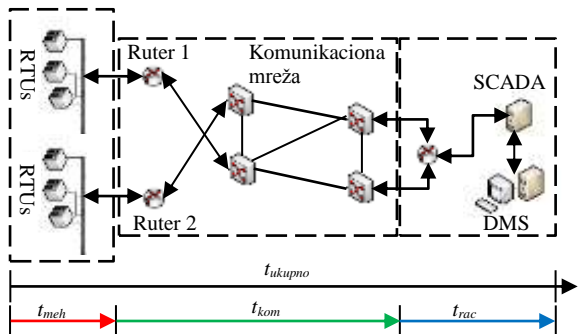
$$t_{ukupno} = t_{meh} + t_{kom} + t_{rac} \quad (1)$$

gde je:

t_{meh} – vremensko kašnjenje prilikom promene pozicije RTr-a ili prilikom manipulacije prekidača;

t_{kom} – vremensko kašnjenje u komunikaciji;

t_{rac} – računarsko vremensko kašnjenje.



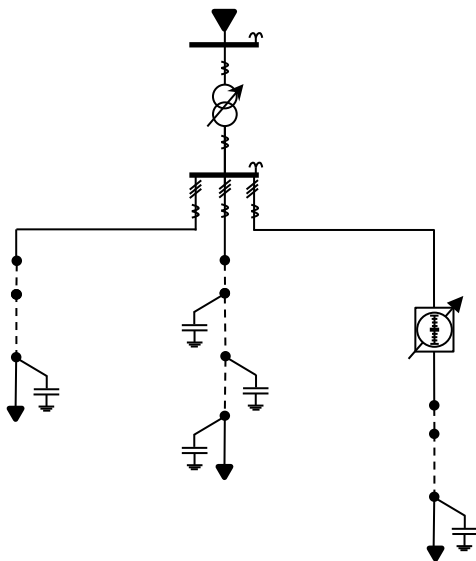
Slika 3 – Tok informacija i vremensko kašnjenje [9]

4. VERIFIKACIJA MATEMATIČKOG MODELA

Verifikacija matematičkog modela se vrši merenjem vremenskog kašnjenja izvršavanja VVO CL funkcije i komandovanja telemetrisanom tačkom.

4.1 Test DM

Test DM na kojoj se izvršava proračun VVO CL funkcije prikazana je na slici 4.



Slika 4 – Test DM [10]

Mreža ima 2600 čvorova i sastoji se od sledećih elemenata: trofazni RTr sa regulacijom napona pod opterećenjem, 3 SN trofazna izvoda, nadzemnih i kablovskih trofaznih vodova, 18 kondenzatorskih baterija, 1 regulator napona, i 3992 monofaznih i trofaznih potrošača.

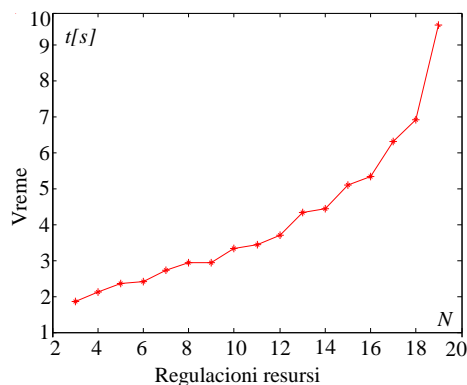
4.2 Vremensko kašnjenje izvršavanja VVO CL funkcije

Postupak proračuna VVO CL čini 17 koraka (ciklusa) u kojima su izvršene izmene na test DM koja je objašnjena u poglavlju 4.1. Ciklusi se sastoje od izvršavanja proračuna VVO CL funkcije, provere njenih rezultata i

beleženja vremena potrebnog za izvršavanje jednog ciklusa.

Izmene rađene na test DM su promena broja regulacionih resursa u mreži, što uzrokuje i promenu vremena potrebno za proračun funkcije. Vrednost vremena potrebnog za proračun VVO CL funkcije, zavisi od raspoloživih regulacionih resursa u mreži, što se može videti na slici 5. Što je broj regulacionih resursa veći i vreme za proračun je veće što dodatno utiče na ukupno vremensko kašnjenje. Ukupno vremensko kašnjenje je proračunato sabiranjem svih vremenskih kašnjenja i krajnji rezultat prikazan u tabeli 5. U tabeli se izdvajaju dva karakteristična vremenska kašnjenja za treći i trinaesti ciklus proračuna, razlog tome je što je vremensko kašnjenje u trećem ciklusu najmanje, a u trinaestom najveće.

Vremensko kašnjenje dato u tabeli 5 je kada se kao komunikacioni medijum koristi PLC tehnologija, za druge komunikacione medijume kašnjenje se dobija odabirom drugog vremenskog kašnjenja iz tabele 1.



Slika 5 – Zavisnost vremena proračuna VVO CL funkcije od broja regulacionih resursa

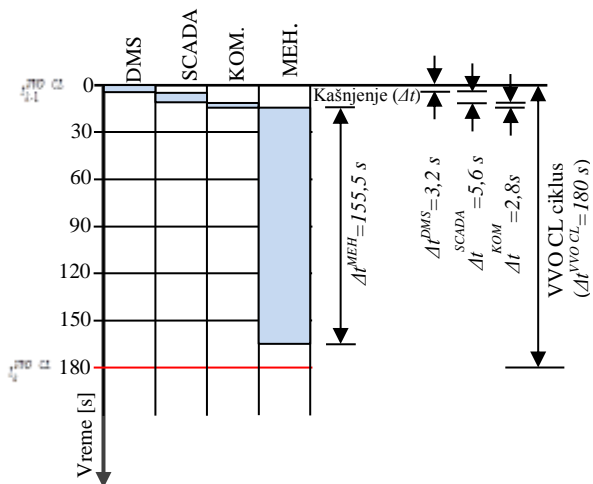
Tabela 5 – Vremensko kašnjenje izvršavanja VVO CL funkcije

Ciklusi proračuna	Broj instrukcija za optimizaciju	Vreme izvršavanja ciklusa VVO CL funkcije (max) [s]	Vreme izvršavanja ciklusa VVO CL funkcije (min) [s]
1.	10	34,06	20,71
2.	9	27,92	15,90
3.	8	25,10	14,42
4.	8	99,10	58,42
5.	7	96,64	57,29
6.	6	93,81	55,8
7.	6	93,40	55,39
8.	5	90,39	53,71
9.	5	90,19	53,52
10.	4	87,72	52,38
11.	3	84,96	50,95
12.	2	82,64	49,97
13.	4	167,09	97,75
14.	3	84,46	50,46
15.	2	82,02	49,35
16.	2	81,82	49,15
17.	2	81,56	48,89

Prilikom poređenja vremenskog kašnjenja u trećem i trinaestom ciklusu može se uvideti da vremensko kašnjenje u trećem ciklusu ima 8 instrukcija za izvršavanja, dok u trinaestom ciklusu ima 4 instrukcije, pa bi očekivano bilo da je vremensko kašnjenje veće u slučaju kada imamo 8 instrukcija za izvršavanje.

Međutim, veoma važnu ulogu u ukupnom vremenskom kašnjenju pored broja instrukcija ima i tip instrukcije koja je predložena za izvršavanje.

Vremensko kašnjenje u trinaestom ciklusu je najveće iz razloga jer postoje dve instrukcije za promenu pozicije RTr-a, to znatno utiče na mehaničko vremensko kašnjenje što se može videti i na slici 6.



Slika 6 – Ukupno vremensko kašnjenje za trinaesti ciklus proračuna VVO CL funkcije [11]

Na osnovu dobijenih rezultata kašnjenja, vidimo da za izvršavanje jednog ciklusa VVO CL funkcije potrebo 167,1 s, tako da vreme ponovnog pokretanja VVO CL funkcije može da se odredi na osnovu toga (npr. možemo da postavimo na 168 s). Međutim, zbog bezbednosnih razloga podešavamo ga na 180 s i kažemo da za jedan ciklus izvršavanja VVO CL funkcije potrebno je 180 s.

4.3 Vremensko kašnjenje komandovanja telemetrisanom tačkom

Postupak proračuna vremenskog kašnjenja komandovanja telemetrisanom tačkom čini 4 koraka (ciklusa) u kojima su izvršene promene položaja kontakata prekidača. Ciklusi se sastoje od komandovanja operatera prekidačem iz kontrolnog centra, povratne informacije da je prekidač izvršio akciju i beleženja vremena potrebnog za izvršavanje komande.

Vrednost ukupnog vremenskog kašnjenja izvršavanja komande dobijena je sabiranjem vremenskih kašnjenja, dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 6. Vremensko kašnjenje dato u tabeli 6 je kada se kao komunikacioni medijum koristi WiMAX, za druge komunikacione medijume kašnjenje se dobija odabirom drugog vremenskog kašnjenja iz tabele 1.

Tabela 6 – Vremensko kašnjenje komandovanja telemetrisanom tačkom

Ciklus proračuna	Vreme izvršavanja komande (max) [s]	Vreme izvršavanja komande (min) [s]
1.	2,66	1,55
2.	2,45	1,34
3.	2,43	1,31
4.	2,38	1,26

5. ZAKLJUČAK

Iz gore navedenog jasno je da će buduće pametne mreže zahtevati obimnu informacionu i komunikacionu infra-

strukturu koja podržava efikasnu i sigurnu proizvodnju, prenos i distribucija električne energije. Međutim, moguća kašnjenja u komunikaciji i prenosu podataka mogu da utiču na performanse upravljačkih sistema, što dovodi do gubitaka snage i eventualno oštećenja opreme.

U ovom radu je pre svega postavljen problem vremenskog kašnjenja koje se javlja prilikom prenosa informacija. Definisani su osnovni pojmovi, predstavljena su izmerena vremenska kašnjenja i način na koji kašnjenje utiče na sistem. Na osnovu svega toga kada se predoči DM sa svojim određenim karakteristikama može se dati okvirno vremensko kašnjenje koje će postojati prilikom prenosa informacija.

6. LITERATURA

1. H.Ali, D.Dasgupta: Effects of Time Delays in the Electric Power Grid. Jonathan Butts; Sujeet Shenoj. 6th International Conference on Critical Infrastructure Protection (ICCIP), Washington, DC, United States, Mar 2012, pp.139-154.
2. J.Nilsson and B.Bernhardsson: Analysis of Real-Time Control Systems with Time Delays: Department of Automatic Control Lund Institute of Technology Box 118, S-221 00 Lund, Sweden.
3. J.W.Stahlhut, T.J.Browne, G.T.Heydt, V.V.Fellow: Latency Viewed as a Stochastic Process and its Impact on Wide Area Power System Control Signals: IEEE Transactions on power system, Vol. 23, No. 1, February 2008.
4. P.Kansal, A.Bose: Bandwidth and Latency Requirements for Smart Transmission Grid Applications: IEEE Trans. on Smart Grid, Vol. 3, No. 3, September 2012, pp. 1344-1352.
5. Smart Grids on the Distribution Level – Hype or Vision?: CIRED Working Group on Smart Grids, Germany, 2013, pp. 37-57
6. B.Naduvathuparambil, M.C.Valenti, A.Feliachi: Communication Delays in Wide Area Measurement System: Proceedings of the Thirty-Fourth Southeastern Symposium on System Theory (Cat. No.02EX540), Huntsville, AL, USA, 19-19 March 2002.
7. Technical specification of ISM15_LD_1, ISM15_LD_6: Vacuum circuit breakers LD and Shell type, Table 23.
8. G.Chao: Voltage Control in Distribution Networks using On-Load Tap Changer Transformers, PhD, University of Bath, UK, 2013.
9. F.Zhang, Y.Sun, L.Cheng, X. Li, J.H. Chow, W. Zhao: Measurement and Modeling of Delays in Wide-Area Closed-Loop Control Systems: IEEE Transactions on Power Systems, China, September 2014, pp. 2426-2433.
10. N.Vučičević: Spremnost modela elektrodistributivne mreže primenom naprednih DMS energetskih funkcija, magistarska teza, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad April 2016.
11. A.M.Stanković, V.Švenda, A.T.Sarić: Hybrid Power System State Estimation with Irregular Sampling: IEEE Power & Energy Society General Meeting, Chicago, IL, USA, 16-20 July 2017.

Kratka biografija:



Bojan Vukeljić rođen je u Sanskom Mostu 1993. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi odbranio je 2016. god. Iste godine upisao se na master studije na istom smeru.