



Slavko Saša, dipl.ing.
HEP - Projektni biro Split

5-02

UTJECAJI ENERGETSKIH KABELA 110kV DUGI RAT - BRAČ NA TELEKOMUNIKACIJSKE VODOVE

SAŽETAK

Za proračun utjecaja elektroenergetskih vodova na telekomunikacijske vodove primjenjuju se hrvatske norme HRN.C0.101 i HRN.C0.102 (zaštita od opasnosti i zaštita od smetnji). Ovim

normama utvrđen je postupak proračuna koji je prilagođen "ručnom" proračunu, a sva redukcijska djelovanja pasivnih metalnih vodiča prezentiraju se redukcijskim faktorima čije se

vrijednosti procjenjuju. Isto tako, kod proračuna smetnji, veličina ometajuće struje se obično

U radu je prikazan novi pristup proračunu, gdje se umjesto procjene redukcijskih faktora

i ometajuće struje na 800Hz, uzima raspodjela struje jednopolnog kratkog spoja i raspodjela struje viših harmonika u aktivnim i pasivnim vodičima. Opisani postupak je primjenjen kod proračuna utjecaja kabela 110kV Dugi Rat - Brač na kopnenim djelovima trase.

INFLUENCE OF POWER CABLES 110kV DUGI RAT - BRAČ ON TELECOMMUNICATION LINES

SUMMARY

1. UVOD

Elektroenergetski vodovi (u daljnjem tekstu: EE vodovi) u trajnom pogonu ili u havarijskim stanjima induciraju elektromotornu silu (ems) u žilama telekomunikacijskih vodova (u daljnjem tekstu: TK vod) koji se nalaze u području utjecaja. Ukoliko je inducirani napon veći od dozvoljenog, on može predstavljati opasnost za osobe koje su u direktnom ili indirektnom dodiru s žilama TK voda (djelatnici koji održavaju TK postrojenja i vodove, korisnici TK usluga i sl.), kao i opasnost za elektroničku opremu koja je priključena na TK vod.

Osim toga, EE vodovi u trajnom pogonu mogu induktivnim ili kapacitivnim spregama izazvati smetnje u telekomunikacijskim vodovima, ako se isti nalaze u zoni utjecaja.

Proračun utjecaja i zaštita od utjecaja utvrđeni su hrvatskim normama HRN N.C0.101 "Zaštita telekomunikacijskih postrojenja od utjecaja elektroenergetskih postrojenja-zaštita od opasnosti" i HRN N.C0.102 "Zaštita telekomunikacijskih postrojenja od utjecaja elektroenergetskih postrojenja -zaštita od smetnji".

Postupci proračuna koji su propisani navedenim normama prilagođeni su računskim postupcima koji su bili raspoloživi većini inženjera u vrijeme donošenja normi, tako da se pri proračunu ne koriste kompleksne vrijednosti struja i međuinuktiviteta već moduli ovih veličina. Problem nastaje kada na jedan TK vod postoje induktivni utjecaji dvaju ili više EE vodova, pri čemu struje koje teku kroz te EE vodove pri jednopolnom kratkom spoju (JKS) u nekoj točki mreže nisu u fazi. Ukupna inducirana elektromotorna sila (ems) u TK vodu značajno ovisi o faznim odnosima induciranih komponenti, tako da proračun koji ne uzima u obzir kompleksne

vrijednosti.

S druge strane, redukcijski faktori pasivnih vodiča (plaševi kabela, zaštitne trake ili užad, zaštitna užad dalekovoda, tračnice itd.) se pri proračunu redovito procjenjuju, što unosi dodatnu pogrešku.

Kod proračuna utjecaja smetnji poseban problem je utvrđivanje ekvivalentne ometajuće struje EE voda na 800Hz, koja se redovito uzima prema naponskoj razini voda, bez obzira kakvi su izvori viših harmonika u mreži.

Radi navedenih problema kod proračuna utjecaja koje uzrokuju dva podzemna kabela

- I (kA) struja koja vrši utjecaj
- L (km) dužina paralelnog EE i TK voda
- r ukupni redukcijski faktor

U slučaju kosog približavanja, koje norma limitira na toliku duljinu da odnos udaljenosti EE i TK voda na jednom i drugom kraju bude manji od 3 odnosno veći od $1/3$, koristi se srednji međuinduktivitet za tu dionicu približavanja, koji se računa na poseban način. Jedan i drugi međuinduktivitet ovise od udaljenosti EE i TK voda, frekvenciji mreže i specifičnoj vodljivosti tla, a normom se predviđa određivanje modula međuinduktiviteta, a ne kompleksne vrijednosti, jer su fazni pomaci zanemarivi.

Kompenzacijsko djelovanje svih struja u pasivnim vodovima, kroz koje se grana struja jednopolnog zemnog spoja, izražava se ukupnim redukcijskim faktorom r u gore navedenom izrazu za E . Redukcijski faktor se može dobiti množenjem redukcijskih faktora pojedinih pasivnih vodova: plašta EE kabela, zemnog užeta dalekovoda, plašta TK kabela, tračnica i sl.

Osim toga, HRN N.CO.101 propisuje da se proračun induktivnog utjecaja vrši za razmake EE i TK voda do 2 km za $\rho \leq 200 \Omega\text{m}$, do 3 km za $\rho > 200 \Omega\text{m}$, a do 250 m u gusto naseljenim mjestima.

2.1.2 Primjenjeni postupci proračuna

Primjenom računala i softvera razvijenog za ovakve proračune, ograničenja navedena u uvodu mogu se eliminirati. Autor ovog rada razvio je program za IBM PC kompatibilno računalo, koji će u daljnjem tekstu biti ukratko opisan.

Na samom početku je potrebno naglasiti da se ne radi ni o kakvoj promjeni metode proračuna koja je utvrđena u HRN N.CO.101 već samo o pristupu tj. načinu izračunavanja pojedinih veličina.

Osnovne postavke koje su primjenjene su slijedeće:

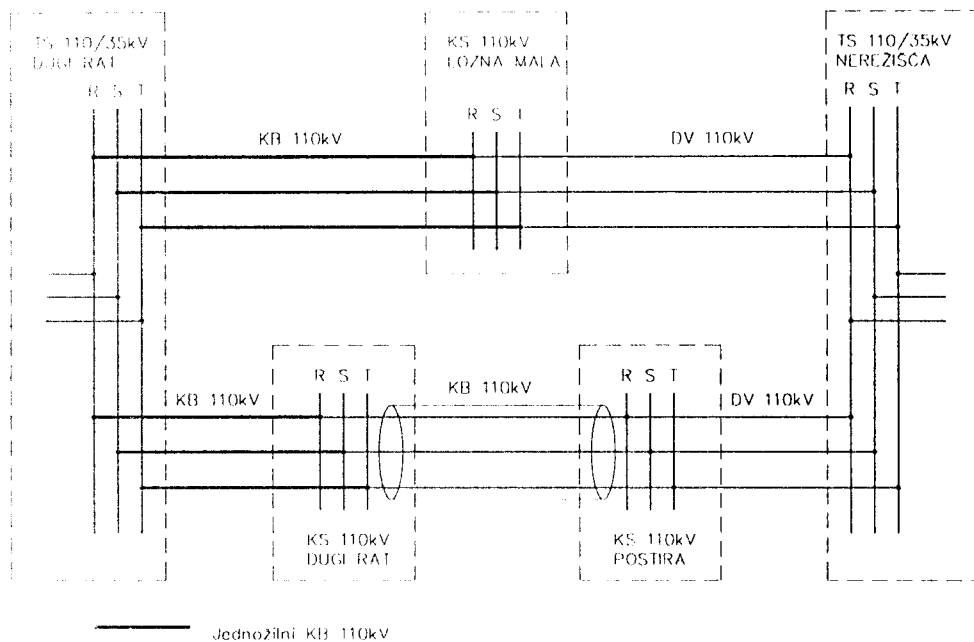
- Proračun se vrši za vrlo kratke dionice voda, npr. za 2 m dužine. U ovakvom slučaju može se uvijek uzeti da su EE i TK vod paralelni. Ovakvim pristupom izbjegava se aproksimacija koja se pravi kod kosog približavanja.
- Na temelju Carsonovih integrala i njihovog razvoja u red (što je korišteno za dobivanje krivulja i tabele u HRN N.CO.101) programom se izračunava kompleksna vrijednost međuinduktiviteta između EE i TK voda.
- Umjesto korištenja redukcijskih faktora, posebnim programom je utvrđena raspodjela struja jednopolnog zemnog spoja u svim pasivnim vodičima (plaštevima kabela, trakama za uzemljenje itd.), kao kompleksnih veličina. Tada se proračun provodi na način da se vektorski zbrajaju ems u TK vodu koje induciraju sve struje dobivene pomenutom raspodjelom struja.

2.2 Proračun utjecaja opasnosti

2.2.1 Podaci o elektroenergetskom sustavu

Izgradnjom novog voda 110kV između postrojenja 110kV u Dugom Ratu i u Nerežišću na otoku Braču, na području Dugog Rata polažu se dva podzemna kabela 110kV. Jedan od kabela se u kabelskoj stanici (KS) 110kV Dugi Rat spaja na postojeći uljni podmorski kabel, a drugi na novi trožilni podmorski kabel iz umreženog polietilena. Shema vodova 110kV prikazana je na Sl.1. Podebljano su prikazani kabele 110kV čiji utjecaji se obrađuju. Struje kratkog spoja u slučajevima jednopolnih kratkih spojeva u TS 110/30kV Dugi Rat, KS 110kV Dugi Rat i KS Lozna Mala, kada su uključena oba voda 110kV prema Braču, određene su u [1], a struje pri JKS u

KS 110kV Dugi Rat i KS 110kV Lozna Mala, kada je uključen samo jedan vod u [5].

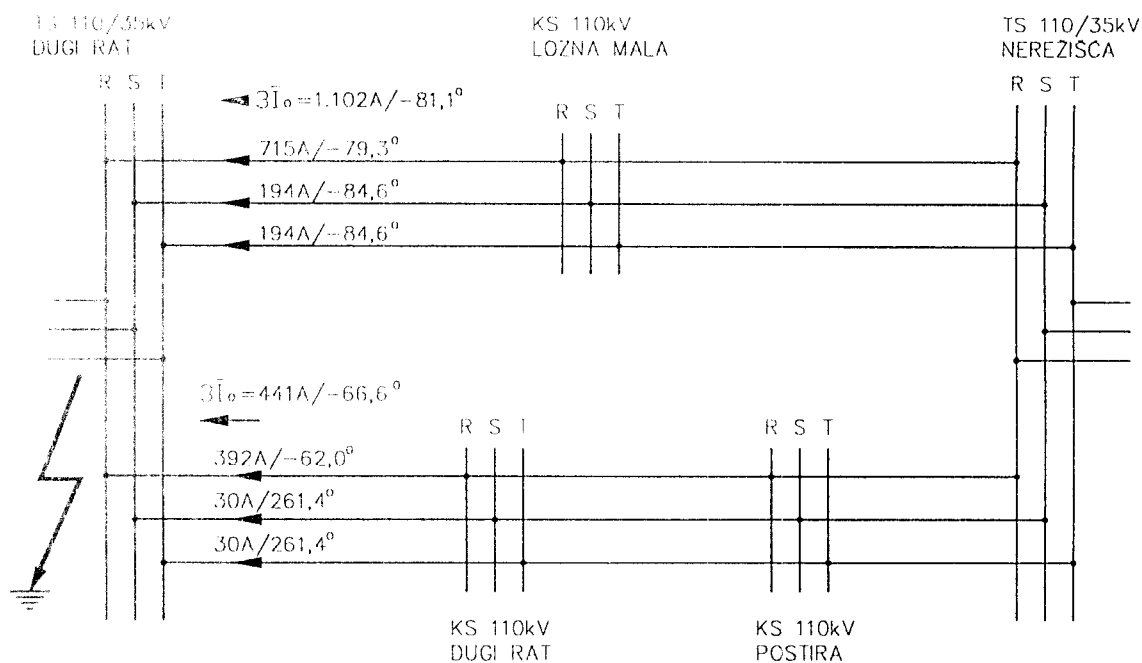


Sl. 1 Shema vodova 110kV

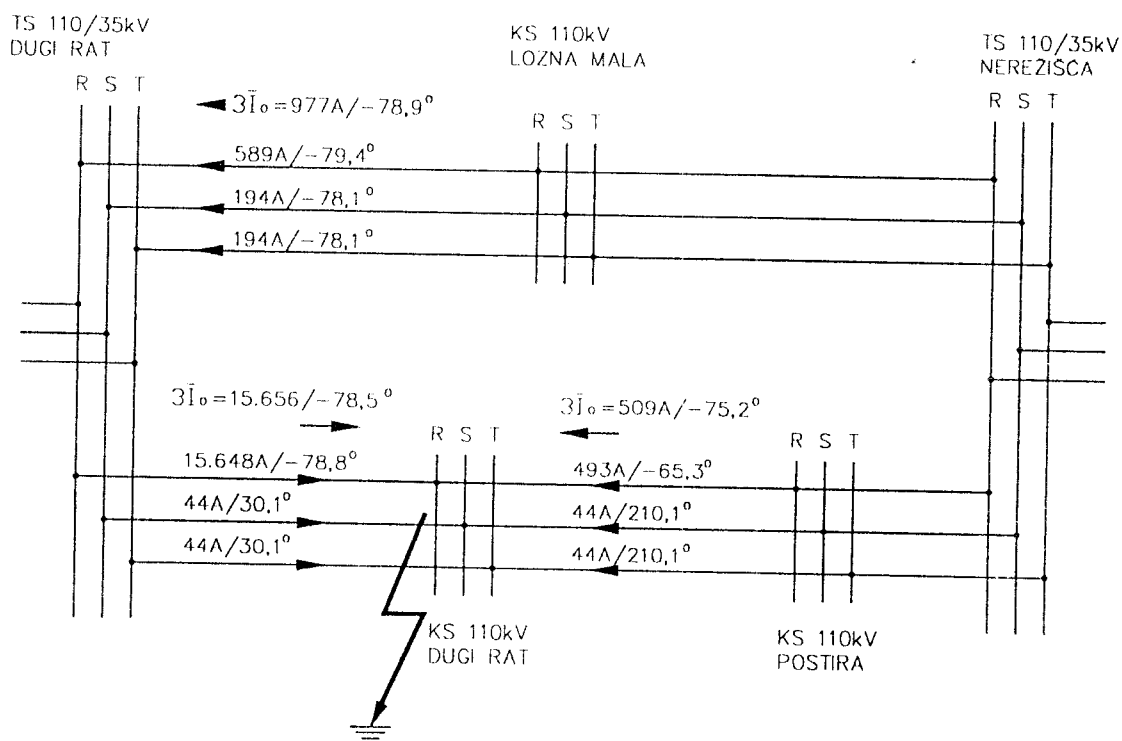
Na temelju tako određenih struja JKS izvršen je proračun raspodjele struja u svim pasivnim vodičima, što je obrađeno u [5].

radi preglednosti, ovdje će se prikazati rezultati svih pomenutih proračuna, jer su to ulazni podaci za proračun utjecaja.

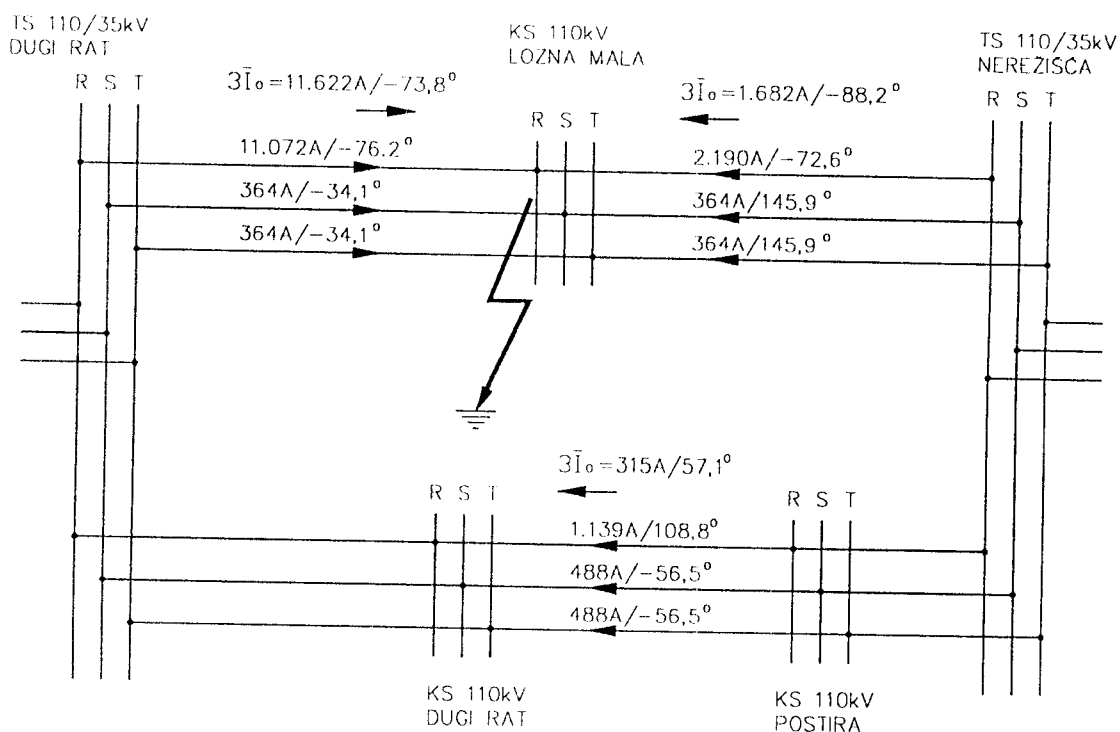
Na Sl. 2., 3., 4., 5. i 6. prikazana je raspodjela struja u faznim vodičima za pomenute varijante JKS.



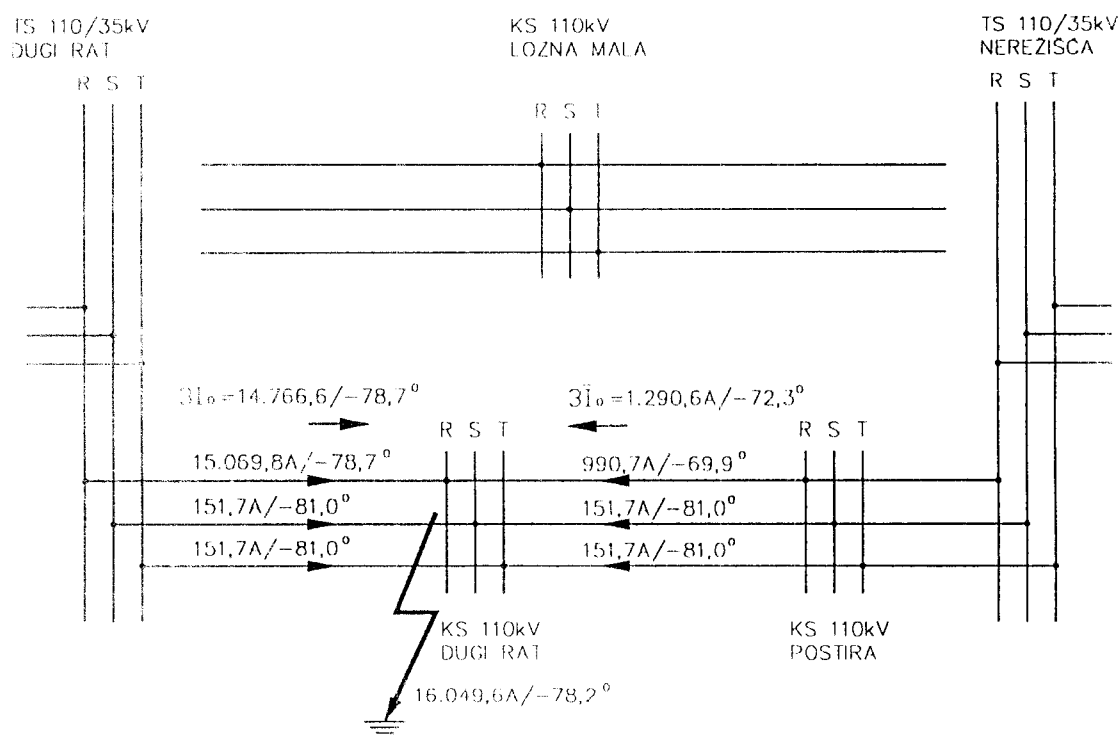
Sl. 2 Raspodjela struja u faznim vodičima pri JKS u TS 110/30kV Dugi Rat, oba voda uključena



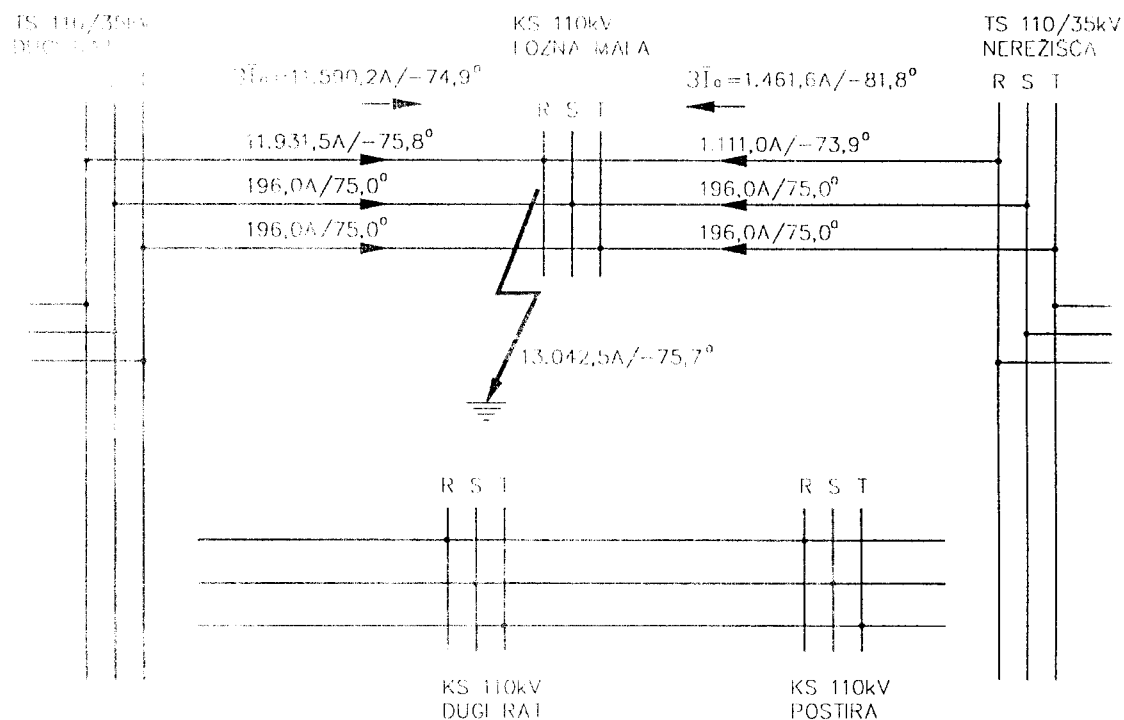
Sl. 3 Raspodjela struja u faznim vodičima pri JKS u KS 110kV Dugi Rat, oba voda uključena



Sl. 4 Raspodjela struja u faznim vodičima pri JKS u KS 110kV Lozna Mala, oba voda uključena



Sl. 5 Raspodjela struja u faznim vodičima pri JKS u KS 110kV Dugi Rat, uključen samo stari vod



Sl. 6 Raspodjela struja u faznim vodičima pri JKS u KS 110kV Lozna Mala, uključen samo novi vod

2.2.2 Raspodjela struja jednopolnog kratkog spoja (JKS)

Na temelju utvrđenih struja jednopolnih kratkih spojeva, u elaboratu [5] je izvršen proračun raspodjele struja u pasivnim vodičima.

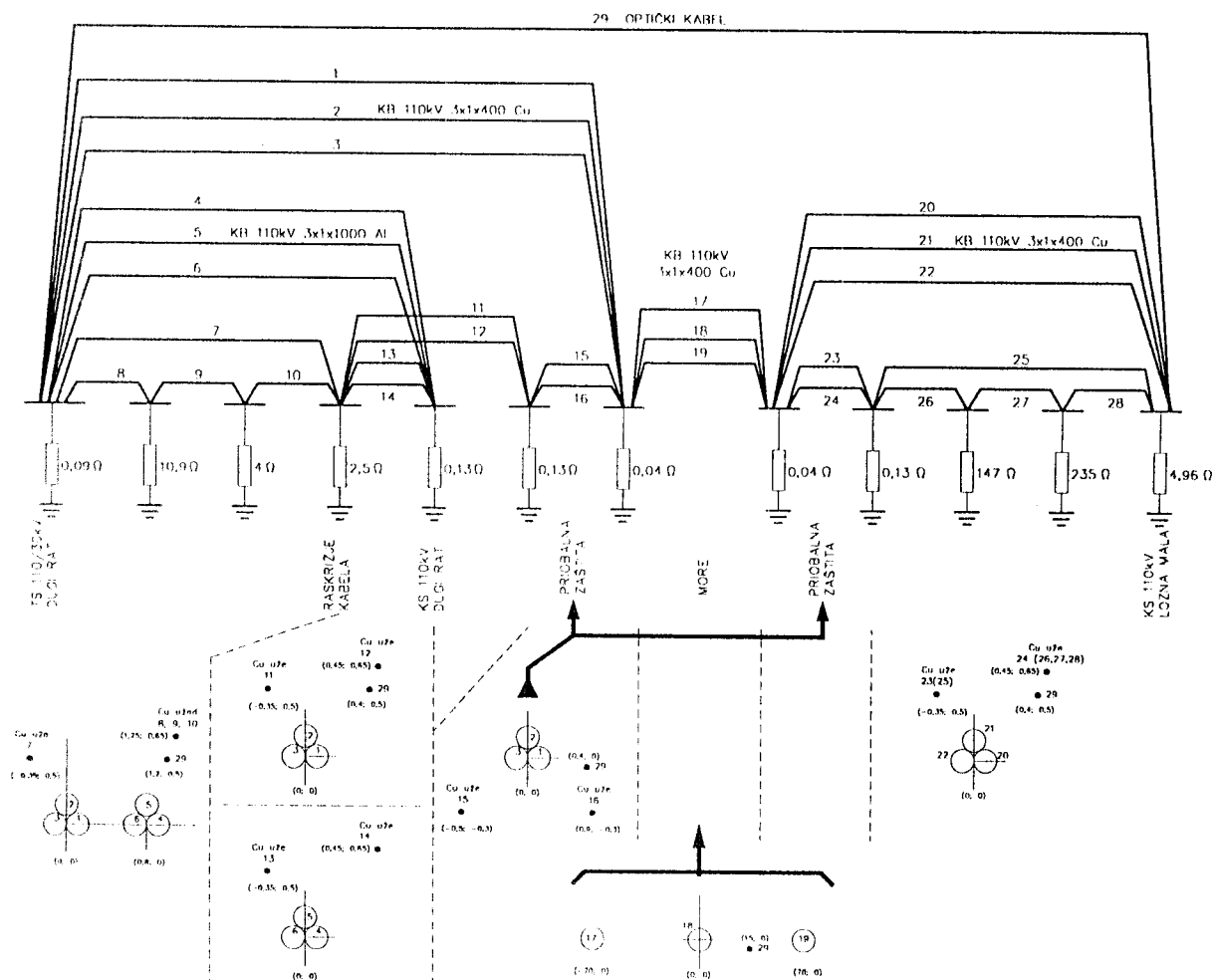
Na Sl. 7 prikazana je blok shema svih vodiča koji učestvuju u raspodjeli struja. Budući da su energetske kabele 110kV položeni u trojkama, dakle na malom međusobnom razmaku u odnosu na udaljenost od TK kabela, svih šest struja (kroz fazni vodič i plašt svake žile kabela) je zamjenjeno jednom rezultatnom strujom.

Da bi se reducirao broj stranica, u ovom radu će se prikazati samo rezultati proračuna za neke od slučajeva JKS.

Na temelju provedenih proračuna, raspodjela struja za sve slučajeve JKS koji su prikazani na Sl. 2, 3 i 6, prikazana je u tabelama I, II i III.

Potrebno je napomenuti da je u svim slučajevima uzet referentni smjer struje od TS 110/30kV Dugi Rat prema TS 110/35kV Nerežišće, tako da su neke struje u tabelama prikazane s faznim kutom zakrenutim za 180° .

Da bi bar donekle pojednostavnili proračun, ondje gdje je to moguće, struje u Cu užadima koja su označena brojevima 8, 9 i 10 zamjenjuju se jednom strujom srednje vrijednosti. Ovo je opravdano iz razloga što se struje vrlo malo razlikuju, a osim toga ova užad zapravo i predstavljaju jedno uže, koje je radi pravilnijeg proračuna struja, ekvivalentno prikazano s tri dionice.



Sl. 7 Prikaz vodiča koji učestvuju u raspodjeli struje JKS

Tabela I: Raspodjela struja JKS u TS 110/30kV Dugi Rat, oba voda uključena

Red.	Vodič		Struja (A /°)		Struja (A)	
br.	Naziv	Broj	Fazni vodič	Plašt	Re	Im
1.	KB2 110kV 3x(1x400mm ²)Cu	1	715 / 100,7	708.9 / -34.1	1.103,2	72,2
		2	194 / 95,4	480.2 / -43.1		
		3	194 / 95,4	443.7 / -41.0		
2.	KB1 110kV 3x(1x1000mm ²)Al	4	392 / 118,0	403.9 / 31.0	800,8	975,6
		5	30 / 81,4	366.2 / 30.0		
		6	30 / 81,4	360.2 / 29.8		
3.	Cu uže 50 mm ²	7	436.3 / 65.8		178,8	398,0
4.	Cu uže 50 mm ²	8,9,10	577.5 / 68.9		207,9	538,8
5.	Cu uže 50 mm ²	11	254.6 / 34.9		208,8	145,7
6.	Cu uže 50 mm ²	12	277.1 / 37.2		220,7	167,5
7.	Cu uže 50 mm ²	13	158.6 / 92.0		-5,5	158,5
8.	Cu uže 50 mm ²	14	187.8 / 94.1		-13,4	187,3
9.	Cu uže 50 mm ²	15	61.5 / 257.6		-13,2	-60,1
10.	Cu uže 50 mm ²	16	23.7 / -57.5		12,7	-20,0
11.	Optički kabel	29	16.1 / -62.0		7,6	-14,2
Referentni smjer struje: TS 110/30kV Dugi Rat → TS 110/35kV Nerežišće						

Tabela II: Raspodjela struja JKS u KS 110kV Dugi Rat, oba voda uključena

Red.	Vodič		Struja (A /°)		Struja (A)	
br.	Naziv	Broj	Fazni vodič	Plašt	Re	Im
1.	KB2 110kV 3x(1x400mm ²)Cu	1	589,0 / 100,6	1.206,2 / 14,0	3.054,4	1.633,4
		2	194,0 / 101,9	1.074,5 / 11,5		
		3	194,0 / 101,9	1.033,3 / 9,4		
2.	KB1 110kV 3x(1x1000mm ²)Al	4	15.684,0 / -78,8	5.047,3 / 133,7	-4.141,2	-4.166,8
		5	44,0 / 30,1	4.211,6 / 116,5		
		6	44,0 / 30,1	4.208,3 / 116,8		
3.	Cu uže 50 mm ²	7	1.648,9 / 80,3		277,8	1.625,3
4.	Cu uže 50 mm ²	8,9,10	2.273,0 / 85,8		166,5	2.266,9
5.	Cu uže 50 mm ²	11	723,1 / -71,7		154,0	-706,5
6.	Cu uže 50 mm ²	12	652,3 / -68,7		236,9	-607,7
7.	Cu uže 50 mm ²	13	2.540,2 / 88,2		79,8	2.538,9
8.	Cu uže 50 mm ²	14	2.449,6 / 89,7		12,8	2.449,6
9.	Cu uže 50 mm ²	15	885,6 / -83,9		94,1	-880,6
10.	Cu uže 50 mm ²	16	738,8 / -81,3		111,8	-730,3
11.	Optički kabel	29	38,1 / 72,2		11,6	36,3
Referentni smjer struje: TS 110/30kV Dugi Rat → TS 110/35kV Nerežišće						

Tabela III: Raspodjela struja JKS u KS 110kV Lozna Mala, uključen samo novi vod

Red. br.	Vodič		Struja (A /°)		Struja (A)	
	Naziv	Broj	Fazni vodič	Plašt	Re	Im
1.	KB2 110kV 3x(1x400mm ²)Cu	1	11.931,5 / -75,8	6.527,7 / 137,0	-140,7	-744,8
		2	196 / 75,0	3.077,9 / 74,6		
		3	196 / 75,0	3.125,1 / 75,4		
2.	KB1 110kV 3x(1x1000mm ²)Al	4	0	467,6 / 50,8	878,5	1.096,6
		5	0	467,0 / 50,2		
		6	0	461,8 / 53,0		
3.	Cu uže 50 mm ²	7	604,8 / 62,2		282,0	535,0
4.	Cu uže 50 mm ²	8,9,10	618,4 / 62,3		287,5	547,5
5.	Cu uže 50 mm ²	11	560,4 / 46,7		384,3	407,8
6.	Cu uže 50 mm ²	12	560,2 / 46,2		372,5	417,7

2.2.3 Podaci o telekomunikacijskim vodovima

Na temelju podloga koje je dostavio HPT Split, na području Dugog Rata i u uvali Lozna Mala na otoku Braču (pored Postira) postoje telekomunikacijski kabeli koji su položeni u zemlju. Kabeli su takve konstrukcije da nemaju plašteve s redukcijskim djelovanjem.

Osim toga, između TS 110/30kV Dugi Rat i KS 110kV Dugi Rat položeni su telekomunikacijski kabeli HEP-a, i to simetrični kabel preko kojeg se prenosi mjerenje tlaka ulja podmorskog kabla i koaksijalni kabel za VF vezu preko podmorskog kabla do KS 110kV Postira. U ovom radu prikazat će se proračun utjecaja samo na strani Dugog Rata.

2.2.4 Rezultati proračuna opasnosti

Na temelju prethodno opisanih postupaka izveden je proračun induciranih ems u TK vodovima za prikazane varijante jednopolnih kratkih spojeva u mreži.

Detaljni prikaz proračuna s podacima o utjecaju svake pojedine struje na pojedinoj dionici ne prikazuju se radi obimnosti (70 stranica).

Pregled dobivenih rezultata proračuna za tri od ukupno pet slučajeva JKS prikazan je u tabelama IV do VI, gdje je prikazan doprinos svake struje. U tabeli VII prikazan je pregled rezultata svih varijanti JKS. Izvod iz detaljnog proračuna prikazan je u Prilogu 1.

Tabela IV - Rezultati proračuna napona opasnosti na području Dugog Rata, JKS u TS 110/30kV Dugi Rat, oba voda uključena

Red. br.	Vodič koji inducira ems		Inducirana ems (V)	
	Naziv	Broj	TK HPT-a	TK HEP-a
1.	KB 110kV 3x(1x1000mm ²) Al		-139.78 + j152.85	-147.04 + j164.00
2.	KB 110kV 3x(1x400mm ²) Cu		15.99 + j184.01	17.16 + j185.71
3.	Cu uže 50 mm ²	7	-58.18 + j36.33	-57.41 + j37.38
4.	Cu uže 50 mm ²	8,9,10	-76.08 + j43.22	-75.93 + j44.41
5.	Cu uže 50 mm ²	13	-1.57 + j0.29	-2.75 + j0.24
6.	Cu uže 50 mm ²	14	-1.87 + j0.28	-3.27 + j0.16
7.	Cu uže 50 mm ²	11	-1.41 + j3.33	-1.78 + j3.48
8.	Cu uže 50 mm ²	12	-1.68 + j3.56	-2.09 + j3.70
9.	Cu uže 50 mm ²	15 i 16	0	0
10.	Optički kabel		2.52 + j0.89	2.55 + j0.88
11.	Ukupno		-262.06 + j424.76	-270.56 + j439.96
			499.10 Vef	516.50 Vef

Tabela V - Rezultati proračuna napona opasnosti na području Dugog Rata, JKS u KS 110kV Dugi Rat, oba voda uključena

Tabela VI - Rezultati proračuna napona opasnosti na području Dugog Rata, JKS u KS 110kV Lozna Mala, uključen samo novi vod

Red. br.	Vodič koji inducira ems		Inducirana ems (V)	
	Naziv	Broj	TK HPT-a	TK HEP-a
1.	KB 110kV 3x(1x1000mm ²) Al		-157.62 + j168.30	-165.85 + j180.61
2.	KB 110kV 3x(1x400mm ²) Cu		119.44 - j42.08	120.36 - j43.14
3.	Cu uže 50 mm ²	7	-77.33 + j55.32	-76.16 + j56.70
4.	Cu uže 50 mm ²	8,9,10	-75.60 + j55.34	-75.30 + j56.58
5.	Cu uže 50 mm ²	13	-0.11 - j0.52	-0.11 - j0.91
6.	Cu uže 50 mm ²	14	-0.46 - j0.57	-0.69 - j1.06
7.	Cu uže 50 mm ²	11	-4.55 + j6.54	-5.40 + j6.69
8.	Cu uže 50 mm ²	12	-4.71 + j6.41	-5.58 + j6.55
9.	Cu uže 50 mm ²	15 i 16	0	0
10.	Optički kabel		-41.90 + j20.50	-42.21 + j20.94
11.	Ukupno		-242.84 + j269.24	-250.94 + j282.96
			362.58 Vef	378.20 Vef

Tabela VII - Pregled rezultata proračuna napona opasnosti na području Dugog Rata,

Red. br.	Mjesto kvara (JKS)	Inducirana ems E _i (V)		Proračun prema HRN
		TK HPT-a	TK HEP-a	TK HPT-a, za r=0
1.	Oba voda uključena			
1.1	KS 110kV Dugi Rat	237.0	252.8	2.406 V
1.2	TS 110/30kV Dugi Rat	499.1	516.5	256 V
1.3	KS 110kV Lozna Mala	365.2	380.9	1.993 V
2.	Uključen samo novi vod			
2.1	KS 110kV Lozna Mala	362.6	378.2	1.936 V
3.	Uključen samo stari vod			
3.1	KS 110kV Dugi Rat	236.6	250.0	2.473 V

Iz rezultata proračuna proizlazi da je najveća inducirana ems u slučaju JKS u TS 110/30kV Dugi Rat, iako su struje kroz kabele u tom slučaju male u usporedbi na ostale slučajeve JKS. To je iz razloga što se u navedenom slučaju utjecaji struja jednog i drugog kabela, kao i ostalih pasivnih vodiča praktički zbrajaju (mali fazni pomak između njih), a u ostalim slučajevima se značajno reducira njihov utjecaj uslijed velikih faznih pomaka. U zadnjoj koloni tabele prikazani su i rezultati koji se dobiju ako se računa s modulima struja u kabelima, bez redukcijskog faktora (dakle, u račun su uzete samo struja kroz fazne vodiče kabela). Ako bi se i uzeo odgovarajući redukcijski faktor, rezultati su neusporedivi, a najmanja ems se dobije za slučaj pod red.br. 1.2.

3. UTJECAJI SMETNJI

Elektroenergetski vodovi u trajnom pogonu mogu induktivnim ili kapacitivnim spregama izazvati smetnje u telekomunikacijskim vodovima, ako se isti nalaze u zoni utjecaja.

Proračun utjecaja i zaštita od utjecaja utvrđeni su normom HRN N.C0.102 "Zaštita telekomunikacijskih postrojenja od utjecaja elektroenergetskih postrojenja - zaštita od smetnji".

3.1 Metoda proračuna utjecaja smetnji

Metoda proračuna smetnji utvrđena je pomenutom normom HRN N.C0.102, koju u ovom elaboratu nećemo prepričavati, nego će se dati osvrt na metodu proračuna i način primjene te metode koji je korišten.

3.1.1 Osnovne postavke metode proračuna prema HRN N.C0.102

Budući da se u konkretnom slučaju radi o EE mreži 110kV s uzemljenom nul točkom, te o podzemnim telekomunikacijskim kabelima, vrši se samo proračun induktivnog utjecaja zbog nesimetrije TK voda prema zemlji.

Inducirana elektromotorna sila šuma na krajevima TK kabela radi njegove nesimetrije prema zemlji iznosi:

$$E(\mu V) = 2 \pi f' M'_{zz} L I_{e0} r \sqrt{\lambda_m^2 + s_n^2}$$

gdje je:

- f' - referentna frekvencija ometajuće struje; za telefonske vodove 800Hz
- M'_{zz} - međuinuktivitet između EE i TK voda na referentnoj frekvenciji ($\mu H/km$)
- L - duljina približavanja EE i TK voda (km)
- I_{e0} - ekvivalentna ometajuća struja EE voda referentne frekvencije

$$I_{e0} = \frac{1}{p_{800}} \sqrt{\sum (h_f p_f I_f)^2}$$

ukupni redukcijski faktor na referentnoj frekvenciji

- λ_m - faktor osjetljivosti TK voda tj. odnos ems šuma između žila parice i ems u jednoj žili, uz pretpostavku da su ems jednake u obe žile parice (za nepupinizirane telekomunikacijske kabele $\lambda_m=0.001$)
- s_n - stupanj nesimetrije priključenih telekomunikacijskih uređaja (za tel. centrale $s_n=0.005$)
- h_f - faktor ovisan o frekvenciji, koji uzima u obzir način sprege
- p_f - faktor ponderacije
- I_f - struja harmonika frekvencije f

U slučaju kosog približavanja, kao i područje utjecaja (razmaci), vrijede uvjeti propisani normom HRN N.C0.101 za napone opasnosti.

3.1.2 Primjenjeni postupci proračuna

Gornji izraz za proračun ems šuma teško je primjenjiv jer je teško utvrditi vrijednost struje I_{e0} . Radi toga je korišten ekvivalentan izraz:

$$E(\mu V) = \sum_{i=1}^n (2 \pi f_i p_{fi} M_i L I_{fi} r_i \sqrt{\lambda_m^2 + s_n^2})$$

gdje su uzete ometajuće struje i -tog harmonika mreže I_{fi} , međuinuktivitet M_i na frekvenciji harmonika, frekvencija harmonika, a tako dobivena inducirana ems harmonika ponderira se s faktorom ponderacije za tu frekvenciju. Ems svakog harmonika je kompleksna veličina i zbrajanjem svih kompleksnih vrijednosti ems dobije se rezultirajuća ems šuma.

Proračun se može pojednostavniti ukoliko je jedan od harmonika mreže dominantan, a ostali zanemarivi, kao što je to u našem slučaju. Tada je dovoljno izvršiti proračun smetnji za dominantni harmonik.

veličine. Tada se proračun provodi na način da se vektorski zbrajaju ems u TK vodu koje induciraju sve struje dominantnog harmonika dobivene pomenutom raspodjelom struja.

3.2 Proračun utjecaja smetnji

3.2.1 Podaci o elektroenergetskom sustavu

Podaci o vodovima visokog napona prikazani su u točki 2.2.1 ovog elaborata.

U elaboratu [6] određene su struje harmonika kroz kabele 110kV čiji se utjecaji obrađuju, a obrađena je i raspodjela struja harmonika u svim pasivnim vodičima koji su prikazani na Sl. 7.

U pomenutom elaboratu [6] je na temelju provedenih mjerenja izvršena detaljna analiza i prikaz mogućih izvora viših harmonika te utvrđeni iznosi pojedinih harmonika u najnepovoljnijim uklopnim stanjima kada postrojenja rade punim kapacitetom.

Kao najnepovoljnije varijante su:

- a) Varijanta 1C uklopnog stanja koja je prikazana u elaboratu [6] u tabeli 3-2 pod oznakom C, za slučaj kada su uključena oba voda 110kV prema Braču, sa strujama harmonika u vodičima kabela kao što je prikazano u tabeli VIII:

Tabela VIII - Struje harmonika kod varijante 1C uklopnog stanja

Red. br.	Harmonik		Struja kroz novi KB 110kV (A/°)	Struja kroz stari KB 110kV (A/°)
	Broj	Frekv (Hz)		
1.	3	150	0.6491 / 153.4	0.8000 / 163.4
2.	5	250	17.3531 / 18.4	24.2748 / 18.4
3.	7	350	0.9527 / 324.4	1.1096 / 318.2
4.	11	550	1.0850 / 317.1	1.2394 / 316.3
5.	13	650	0.8190 / 196.9	1.0055 / 197.9
6.	17	850	0.1133 / 179.9	0.1570 / 180.8
7.	19	950	0.0624 / 178.6	0.0943 / 179.0

- b) Varijanta 4 uklopnog stanja koja je prikazana u elaboratu [6] u tabeli 3-5 (varijanta 4, podvarijanta A), za slučaj kada je uključen novi vod 110kV prema Braču, a isključen stari, sa strujama harmonika u vodičima kabela kao što je prikazano u tabeli IX:

Tabela IX - Struje harmonika kod varijante 4 uklopnog stanja

Red. br.	Harmonik		Struja kroz novi KB 110kV (A/°)
	Broj	Frekv (Hz)	
1.	3	150	1.3053 / 159.2
2.	5	250	37.4342 / 20.1
3.	7	350	1.5330 / 311.3
4.	11	550	1.1612 / 323.3
5.	13	650	1.9378 / 216.7
6.	17	850	0.2152 / 185.5
7.	19	950	0.1164 / 184.1

U tabelama VIII i IX prikazane su struje u jednoj fazi. Struje u ostalim fazama su iste vrijednosti ali zakrenute u fazi za 120 odnosno 240 stupnjeva.

3.2.2 Raspodjela struja viših harmonika u pasivnim vodičima

U elaboratu [6] je osim struja viših harmonika, koje su prikazane u prethodnim tabelama, određene i popratne struje u pasivnom dijelu sustava (plaševi kabela, Cu užad itd.), koje su posljedica struja viših harmonika u faznim vodičima.

Ovdje ćemo prikazati raspodjelu struja dominantnog petog harmonika za prethodno prikazane varijante 1C i 4 uklopnog stanja, pri čemu vrijede oznake vodiča koje su prikazane na Sl. 7

Tabela X - Raspodjela struja 5. harmonika u varijanti 1C (oba voda uk.)

Red. br.	Vodič		Struja (A / °)		Struja (A)	
	Naziv	Broj	Fazni vodič	Plašt	Re	Im
1.	KB2 110kV 3x(1x400mm ²)Cu	1	17.353 / 18.4	16.28 / 219.3	0.153	-0.245
		2	17.353 / 138.4	16.26 / 98.4		
		3	17.353 / 258.4	16.28 / -21.7		
2.	KB1 110kV 3x(1x1000mm ²)Al	4	24.275 / 18.4	10.97 / 261.4	-0.184	-0.024
		5	24.275 / 138.4	10.99 / 141.7		
		6	24.275 / 258.4	10.85 / 21.7		
3.	Cu uže 50 mm ²	7	0.24 / -12.4		0.234	-0.052
4.	Cu uže 50 mm ²	8,9,10	0.30 / 107.7		-0.091	0.286
5.	Cu uže 50 mm ²	11	0.03 / 82.0		0.004	0.03
6.	Cu uže 50 mm ²	12	0.11 / 115.4		-0.047	0.099
7.	Cu uže 50 mm ²	13	0.43 / 13.7		0.418	0.102
8.	Cu uže 50 mm ²	14	0.19 / 115.9		-0.083	0.171
9.	Cu uže 50 mm ²	15	0.02 / -62.0		0.009	-0.018
10.	Cu uže 50 mm ²	16	0.12 / 127.9		-0.074	0.095
11.	Optički kabel	29	0.11 / 111.1		-0.040	0.103

Tabela XI - Raspodjela struja 5. harmonika u varijanti 4 (uk. samo novi vod)

Red.	Vodič	Struja (A / °)	Struja (A)
------	-------	----------------	------------

Tabela XII - Rezultati proračuna smetnji na području Dugog Rata, varijanta 1C

Red. br.	Vodič koji inducira ems		Inducirana ems (μV)	
	Naziv	Broj	TK HPT-a	TK HEP-a
1.	KB 110kV 3x(1x1000mm ²) Al		-24.99 - j664.10	-35.25 - j697.91
2.	KB 110kV 3x(1x400mm ²) Cu		968.24 + j385.02	974.32 + j379.30
3.	Cu uže 50 mm ²	7	305.06 + j770.67	317.01 + j745.36
4.	Cu uže 50 mm ²	8,9,10	-997.30 - j130.98	-970.47 - j113.21
5.	Cu uže 50 mm ²	11	-8.05 + j3.33	-9.79 + j2.92
6.	Cu uže 50 mm ²	12	-31.00 - j5.74	-35.50 - j10.44
7.	Cu uže 50 mm ²	13	3.17 + j86.86	-17.21 + j166.89
8.	Cu uže 50 mm ²	14	-37.80 - j6.72	-70.48 - j22.99
9.	Cu uže 50 mm ²	15 i 16	0	0
10.	Optički kabel		-388.38 - j74.38	-390.32 - j71.76
11.	Ukupno na 250 Hz		-191.05 + j363.96 411.06 μVef	-237.69 + j71.76 446.66 μVef
12.	Ukupno na 800 Hz		0.079 mV	0.086 mV

Napomena: Konstanta ponderacije sa 250Hz na 800Hz iznosi $p_{250} = 0.192$

Tabela XIII - Rezultati proračuna smetnji na području Dugog Rata, varijanta 4

Red. br.	Vodič koji inducira ems		Inducirana ems (μV)	
	Naziv	Broj	TK HPT-a	TK HEP-a
1.	KB 110kV 3x(1x1000mm ²) Al		-598.91 - j320.18	-634.03 - j328.55
2.	KB 110kV 3x(1x400mm ²) Cu		564.04 - j406.81	563.00 - j412.28
3.	Cu uže 50 mm ²	7	398.89 + j766.20	408.56 + j738.68
4.	Cu uže 50 mm ²	8,9,10	141.24 + j138.53	142.28 + j134.85
5.	Cu uže 50 mm ²	11	38.12 + j47.02	38.84 + j59.48
6.	Cu uže 50 mm ²	12	-16.37 + j20.14	-21.54 + j21.54
7.	Cu uže 50 mm ²	13	11.10 + j8.82	18.87 + j19.84
8.	Cu uže 50 mm ²	14	9.64 + j7.35	16.46 + j16.63
9.	Cu uže 50 mm ²	15 i 16	0	0
10.	Optički kabel		-701.85 - j137.02	-705.36 - j132.30
11.	Ukupno na 250 Hz		-154.10 + j124.05 197.83 μVef	-172.92 + j117.89 209.28 μVef
12.	Ukupno na 800 Hz		0.038 mV	0.040 mV

4. ZAKLJUČAK

Telekomunikacijskih vodova koji su izvedeni metalnim vodičima je sve manje u uporabi radi sve veće primjene optičkih kabela, međutim pretplatnički vodovi će još dugo zadržati simetrične telekomunikacijske kabele s Cu vodičima. S druge strane, postrojenja 110kV sve više ulaze u područje gradova, pri čemu se redovito koriste podzemni kabele 110kV. U takvim sredinama će još dugo trebati analizirati utjecaje EE vodova na TK vodove i provoditi

5. PITANJA ZA DISKUSIJU

- Kakva su iskustva o utjecajima podzemnih kabela 110kV u gradovima gdje su položeni?
- Bavili se itko na našim fakultetima i institutima ovom problematikom?

6. LITERATURA

- [1] Proračun kratkog spoja u postrojenjima 110kV na potezu Dugi Rat - Nerežišća - Starigrad - Blato - Ston, u razdoblju 1995. - 2005. godine, Institut za elektroprivredu i energetiku d.d., Zagreb, 1995.
- [2] Ispitivanje sustava uzemljenje TS Dugi Rat, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1995.
- [3] Proračun kratkog spoja u postrojenjima 110kV Dugi Rat i Nerežišća, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1995.
- [4] Dimenzioniranje sustava uzemljenja na objektima kablasko-zračne veze 110kV TS Dugi Rat - TS Nerežišća, analiza iznošenja potencijala iz TS 110/30/10kV Dugi Rat i KS 110kV Dugi Rat, ELMAP Split, 1995.
- [5] Raspodjela struja i potencijala pri nastupima JKS-a u sustavima uzemljenja 110kV kablasko veze TS Dugi Rat - TS Nerežišća, ELMAP Split, 1995.
- [6] Analiza i proračun struja viših harmonika kroz 110kV kabel TS Dugi Rat - KS Lozna Mala i pasivne dijelove sustava, ELMAP Split, 1995.
- [7] Utjecaji elektroenergetskih kabela 110 kV Dugi Rat - Brač na telekomunikacijske vodove, ELMAP Split, 1996.

PRILOG 1

Izvod iz rezultata proračuna - utjecaji KB 110kV 3x(1x1000mm²)Al, JKS u KS 110kV D. Rat, varijanta 1C viših harmonika

Red. br. dionice	Razmak između EE i TK voda		Duljina dionice L(m)	Napon opasnosti E(V)		Napon smetnji Eš1(μV) na 250Hz	
	d1(m)	d2(m)		Re(E)	Im(E)	Re(Eš1)	Im(Eš1)
1	111.7	126.7	7.9	3.78	-6.93	-1.20	-4.43
2	126.7	142.2	6.9	3.12	-5.90	-1.08	-3.67
3	142.2	145.8	1.3	.56	-1.09	-.20	-.66
4	124.7	126.6	5.9	2.73	-5.08	-.90	-3.21
5	162.9	164.8	-.6	-.25	.50	.10	.30
6	164.8	200.8	-12.0	-4.47	9.25	1.92	5.29
7	109.5	115.1	43.9	21.80	-39.44	-6.64	-25.50
8	115.1	73.4	-.2	-.08	.14	.02	.10
9	73.4	70.7	5.5	3.38	-5.60	-.76	-3.93
10	547.7	519.5	-49.3	.00	.00	.00	.00
11	131.0	124.2	12.5	5.81	-10.84	-1.93	-6.81
12	413.7	412.5	-12.5	.00	.00	.00	.00

R.br. dionice	Razmak između EE i TK voda		Duljina dionice L(m)	Napon opasnosti E(V)		Napon smetnji Eš1(μV) na 250Hz	
	d1(m)	d2(m)		Re(E)	Im(E)	Re(Eš1)	Im(Eš1)
51	-229.3	-245.7	-9.5	-2.91	6.66	1.54	3.48
52	-26.7	-31.6	15.5	13.13	-19.37	-1.65	-15.14
53	-31.6	-37.3	22.6	18.13	-27.22	-2.54	-20.93
54	-37.3	-48.9	23.1	17.26	-26.59	-2.79	-19.96
55	-377.5	-403.6	-9.0	.00	.00	.00	.00
56	-403.6	-407.9	9.0	.00	.00	.00	.00
57	-591.5	-407.9	-61.2	.00	.00	.00	.00
58	-44.3	-43.8	1.4	1.05	-1.62	.17	1.21

