

DOI: [10.46793/CIGRE37.B5.04](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B5.04)**B5.04****DETEKCIJA MESTA KVARA KOD MEŠOVITIH VODOVA****DETECTION OF FAILURE SECTION ON MIXED LINES****Desimir Trijić, Vladan Milanović***

Kratak sadržaj: Razvojnim planovima visokonaponske mreže u EES Srbije na nekoliko mesta u sistemu planirana je izgradnja vodova koji se sastoje od nadzemne (dalekovod) i podzemne (kabl) deonice. Takav vod se u literaturi naziva „mixed“ (mešoviti) ili „hybrid“ (hibridni). U ovom radu uzet je termin mešoviti u skladu sa Cigre B5.23 [1] izveštajem. Prema tome, mešoviti vod se sastoji od minimalno dve sekcije i nameće se pitanje načina realizacije sistema relejne zaštite i automatike, odnosno implementacije tehnike APU (automatsko ponovno uključanje). Po dosadašnjoj tehničkoj regulativi EMS, pri kvaru na kablovskom vodu ponovno uključanje je dozvoljeno tek nakon ispitivanja kabla (visokonaponsko ispitivanje) i samim tim ne primenjuje se APU. Postavlja se pitanje kako tretirati mešoviti vod koji može imati i značajan deo nadzemne deonice, gde je velika verovatnoća prolaznih kvarova koji bi se primenom APU uspešno eliminisali. Da li mešoviti vod tretirati kao čisto kablovski vod i pri svakom ispadu razvezivati nadzemnu i podzemnu deonicu i sprovesti ispitivanja ili realizovati sistem koji bi mogao pouzdano da izvrši detekciju kvara na podzemnoj deonici i u zavisnosti od toga primenjivati tehniku APU. U radu je dat pregled nekih rešenja koja se primenjuju u svetskoj praksi kako bi se odredilo mesto kvara na deonici.

Ključne reči: mešoviti vod, lokator kvara, relejna zaštita

Abstract: The development plans of the high-voltage network in the EES of Serbia in several places in the system include the construction of lines consisting of an overhead (transmission line) and an underground (cable) section. Such a line is called mixed or hybrid in the literature. In this paper, the term mixed is used in accordance with the Cigre B5.23 [1] report. Therefore, the mixed line consists of at least two sections and the question arises of how to implement relay protection and automation, that is, the implementation of the AR (automatic reclosure) technique. According to the current EMS technical regulations, in the event of a cable line failure, reconnection is allowed only after cable testing (high-voltage testing) and therefore AR is not applied. It raises the question of how to treat a mixed line that may have a significant part of the above-ground section where there is a high probability of transient faults that could be successfully eliminated by applying AR.

* Desimir Trijić, EMS, desimir.trijic@ems.rs
Vladan Milanović, EMS, vladan.milanovic@ems.rs

Should the mixed line be treated as a purely cable line and at each outage disconnect the above-ground and underground section and conduct tests or implement a system that could reliably detect a fault on the section and, depending on that, apply the AR. The paper gives an overview of some solutions that are applied in world practice in order to determine failure on the section.

Key words: *mixed line, fault locator, relay protection*

1 UVOD

Termin mešoviti vod u ovom radu se odnosi na visokonaponski vod koji se sastoji od nadzemne (dalekovod) i podzemne (kabl) sekcije, odnosno deonice. Broj sekcija, odnosno konfiguracija može da bude različit, od na primer jedne kablovske sekcije na početku/kraju voda, jedne ili više kablovskih sekcije na trasi voda (sifon spoj), takozvane T veza, itd. Sa strane relejne zaštite mešoviti vod karakteriše činjenica da se podužne vrednosti impedanse značajno razlikuju od jedne do druge sekcije. Dalje, u slučaju kvara impedansa kvara je linearna funkcija udaljenosti mesta kvara na nadzemnoj deonici, ali je nelinearna funkcija u slučaju podzemne kablovske deonice. Shodno tome, korišćenje relejne zaštite zasnovane na impedantnim principima zahteva posebnu pažnju i pristup u odnosu na tradicionalne homogene vodove.

Uobičajena je praksa da se kod kablovskih vodova ne primenjuje tehnika APU, jer na osnovu iskustava tipovi kvarova su takvi da nije poželjno ili je i opasno da se uključi kablovski vod bez prethodnog ispitivanja i provere (visokonaponsko ispitivanje). Na nadzemnim vodovima veliki procenat kvarova je po prirodi prolazan i primenom APU se uspešno eliminiše. S obzirom da se mešoviti vod sastoji od nadzemne deonice, postavlja se pitanje kako u tom slučaju primeniti APU. Ukoliko se sublimiraju ova dva principa dolazi se do postavke da je najpoželjnije da se za kvarova na nadzemnoj deonici primenjuje APU dok za kvarove na kablu blokira. To dalje iziskuje da primenjeni sistem relejne zaštite i automatike mešovitih vodova sa sigurnošću detektuje mesto kvara, što u praksi znači korišćenje unapređenih algoritama pojedinih funkcija, kao i ugradnju dodatne opreme i sistema.

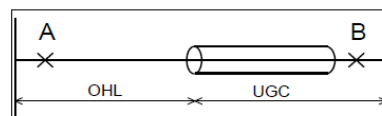
2 ISKUSTVA SA MEŠOVITIM VODOVIMA U SVETU

U svetu postoji mnogo različitih praksi u vezi sa izborom sistema zaštite i primene APU na mešovitim vodovima. Jedan od reprezentativnih primera je izveštaj radne grupe Cigre B.5 komiteta iz 2014. Da bi stekli uvid u različite prakse, radna grupa B5 Cigre komitet je sproveda upitnik između članova radne grupe. Rezultati su sublimirani u Cigre B.5. 23 izveštaju Short Circuit Protection of Circuits with Mixed Conductor Technologies in Transmission Networks [1]. Obradeni su rezultati iz 9 zemalja sa 3 kontinenta. U pogledu izbora tipa zaštite i politike APU za pojedine slučajeve rezultati su dati u tabeli 1.

Tabela 1: Izbor zaštite i primena APU u odnosu na konfiguraciju mešovitog voda

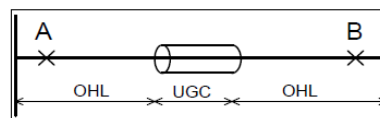
2-ended circuit with cable section at one end

	≤ 170 kV	> 170 kV
Differential protection on the cable section	33%	50%
Autoreclose with blocking for a fault on the cable	30%	50%
Autoreclose without blocking	50%	38%
No autoreclose	20%	13%



2-ended circuit with cable section between 2 overhead lines

	≤ 170 kV	> 170 kV
Differential protection on the cable section	17%	38%
Autoreclose with blocking for a fault on the cable	33%	50%
Autoreclose without blocking	50%	50%
No autoreclose	17%	0%



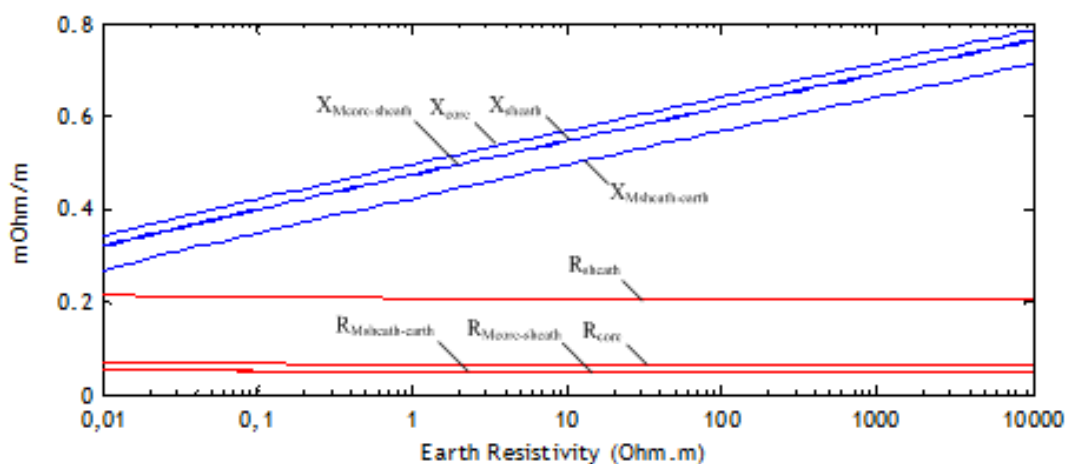
Na osnovu obrađenih rezultata može se videti da postoje različiti pristupi u pogledu korišćenja APU kao i načina detekcije kvara na sekciji. Za detekciju kvara na kablovskoj sekciji u dosta aplikacija se koristi podužna diferencijalna zaštita (Belgija, Portugalija). To zahteva da se na mestu prelaza kablovske u nadzemnu sekciju ugradi dodatna oprema, zaštitni uređaji, merni transformatori, obezbedi napajanje za rad zaštitne i telekomunikacione opreme. S druge strane, neki TSO (Španija, Danska) primenjuju princip zaštite i APU na mešovitim vodovima kao za klasične nadzemne vodove. Ovakvu praksu opravdavaju procenom rizika nastaka požara na kablovskoj sekciji koja ima čvrstu izolaciju odnosno ne povećavanjem bitnijeg oštećenja kabla i vremena za popravku nakon delovanja APU, pod uslovom da se ne prekoračuje dozvoljeni toplotni kapacitet omotača kabla. U Norveškoj je korišćen APU u režimu 1+3p, međutim nakon analize pogonskog događaja iz 2008. promenjena je praksa, odnosno blokirano je korišćenje APU na svim mešovitim vodovima. Pojedini TSO u slučaju da je kablovska deonica jako kratka u odnosu na nadzemni deo, na primer od same trafostanice do prvog stuba, smatraju vod kao čisto nadzemni i primenjuju principe za taj slučaj.

Na osnovu sprovedenog upitnika može se zaključiti sledeće:

- Mešoviti vodovi u različitim konfiguracijama se široko koriste;
- Većina aplikacija koristi APU na mešovitim vodovima:
 - Kada se koristi APU na mešovitim vodovima, ne postoji jasna tendencija da se APU blokira ili ne u slučaju kvara na delu podzemne deonice;
 - U većini aplikacija blokiranje APU se zasniva na namenskoj podužnoj diferencijalnoj zaštiti na kablovskom delu. Blokiranje APU korišćenjem distantnih funkcija se retko koristi.

3 ELEKTRIČNI PARAMETRI MEŠOVITIH VODOVA

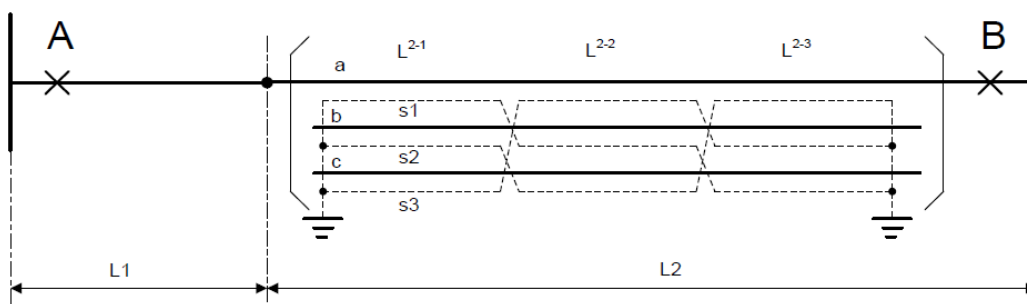
Kako bi se adekvatno izračunali parametri podešenja relejne zaštite neophodno je odrediti električne parametre štice objekata. S obzirom da se mešoviti vod sastoji od više sekcija različitih električnih parametara potrebno je sa posebnom pažnjom pristupiti proračunima. Za proračune kao i za distantne algoritme potrebni su električni podaci direktnog, inverznog i nultog redosleda, koeficijenti zemljospoja, tačni podaci o dužini sekcija, način polaganja, uticaj drugih vodova i slično. Specifična otpornost tla na primer različito utiče na električne parametre nadzemnog voda i kabla. Kod nadzemnog voda specifična otpornost tla nema skoro nikakav uticaj na impedansu pozitivne sekvence, niti na otpornost pozitivne i inverzne sekvence. S druge strane, reaktansa nulte sekvence raste sa otpornošću tla i ima linearnu tendenciju. Kod kablovske deonice otpornost tla nema skoro nikakav uticaj na podužne otpornosti (rezistansa). Reaktanse su u velikoj meri zavisne od otpornosti tla i linearne su na logaritamskom prikazu, kao što se vidi na slici 1.



Slika 1: Uticaj reaktanse kabla u odnosu na specifičnu otpornost tla

Na određivanje parametara impedanse utiče otočna admitansa kao i efekat talasne propagacije ($\gamma = z \cdot y$). Prema [1], u zavisnosti od topologije mešovitog voda rezultujuća impedansa Z_{cc} za slučaj da je prva sekcija kablovska značajno je veća nego za slučaj da je prva sekcija dalekovod. Ovaj efekat je značajan za relativno duge nadzemne deonice (>250km) i podzemne (>30km). U praksi se sreću znatno kraće deonice tako da se ovaj uticaj može zanemariti, osim za slučaj da je podzemni deo udaljen od mesta kvara.

Određivanje impedanse za slučaj nadzemne i podzemne deonice koja se sastoji od 3 sekcije sa „cross bounding“ (slika 2) je izračunata za slučaj da su dužine deonica po 1 km [1].



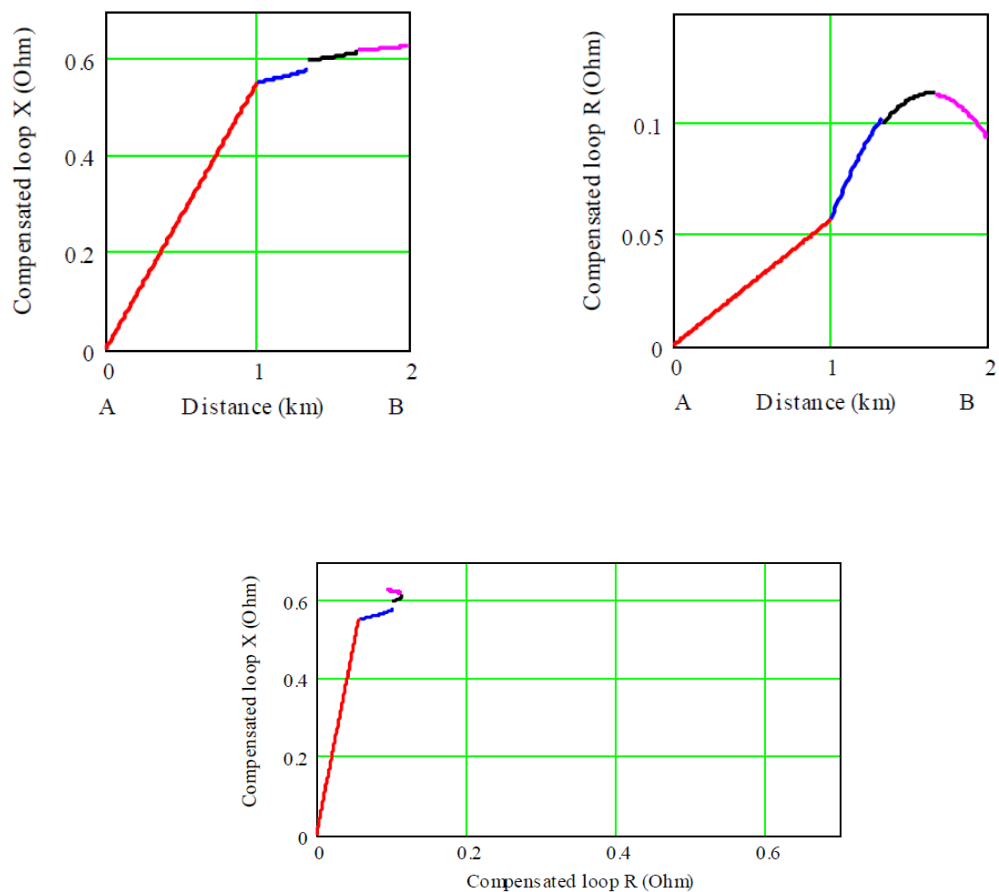
Slika 2: Mešoviti vod sa „cross bounding“ spojem

Parametri deonica dati su tabeli 1.

Tabela 1: Parametri mešovitog voda

deonica	$Z1 (\Omega/\text{km})$	$Z0 (\Omega/\text{km})$	$k0$
230 kV DV sa 2 zemljvodna užeta	0,078+0,417j	0,271+0,808j	0,330-0,093j
230 kV kabal - crossbonding	0,017+0,114j	0,170+0,075j	-0,047-0,457j

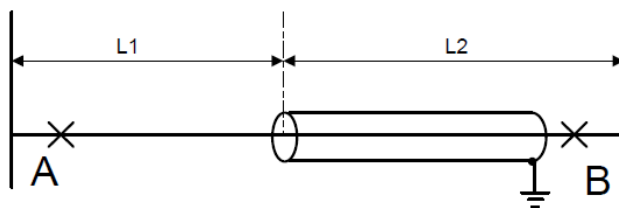
Kada se na osnovu polaznih parametara i gore pomenutih efekata koji utiči na jedinične veličine izračunaju impedanse mesta kvara koju vidi rele u tački A, dobijaju se grafici na slici 3.



Slika 3: Prikazi električnih parametara

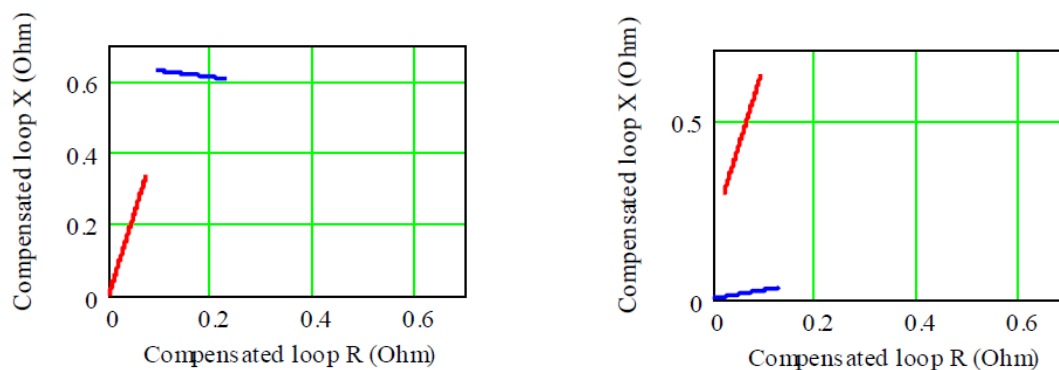
Vidi se da zbog efekta *cross bounidng* postoji diskontinuitet u impedansi kao i izražena nelinearnost za kvarove na kablovskoj deonici što se mora uzeti u obzir pri proračunu distantnih funkcija.

Diskontinuitet impedanse koju vidi rele u tački A i B je posebno izražen za slučaj da je kablovska deonica uzemljena u jednoj tački (tačka B), kao što je prikazano na slici 4.



Slika 4: Mešoviti vod sa uzemljenim jednim krajem

Grafička reprezentacija impedansi za slučaj mešovitog voda se parametrima navedenim u tabeli 3 je prikazana na slici 5.



Slika 5: Prikazi električnih parametara

Zbog činjenice da plašt kabla nije uzemljen na mestu prelaska na nadzemni deo, postoji značajan diskontinuitet u impedansi koji se može koristiti za određivanje mesta kvara korišćenjem posebnih stepena distantnih funkcija. Međutim, zbog pojave indukovanih napona na mestu prelaska sa podzemnog na nadzemni deo, pitanje je da li se ovaj način uzemljenja može primeniti u praksi.

4 REALIZACIJA RELEJNE ZAŠTITE I AUTOMATIKE MEŠOVITIH VODOVA

Pri izboru sistema relejne zaštite mešovityh vodova, pored uobičajenih zahteva za zaštitu vodova, treba obratiti pažnju na proračun podešenja i način detekcije mesta kvara pri korišćenju APU. Osnovni tip zaštite koji se koristi kod mešovityh vodova je distantna i podužna diferencijalna.

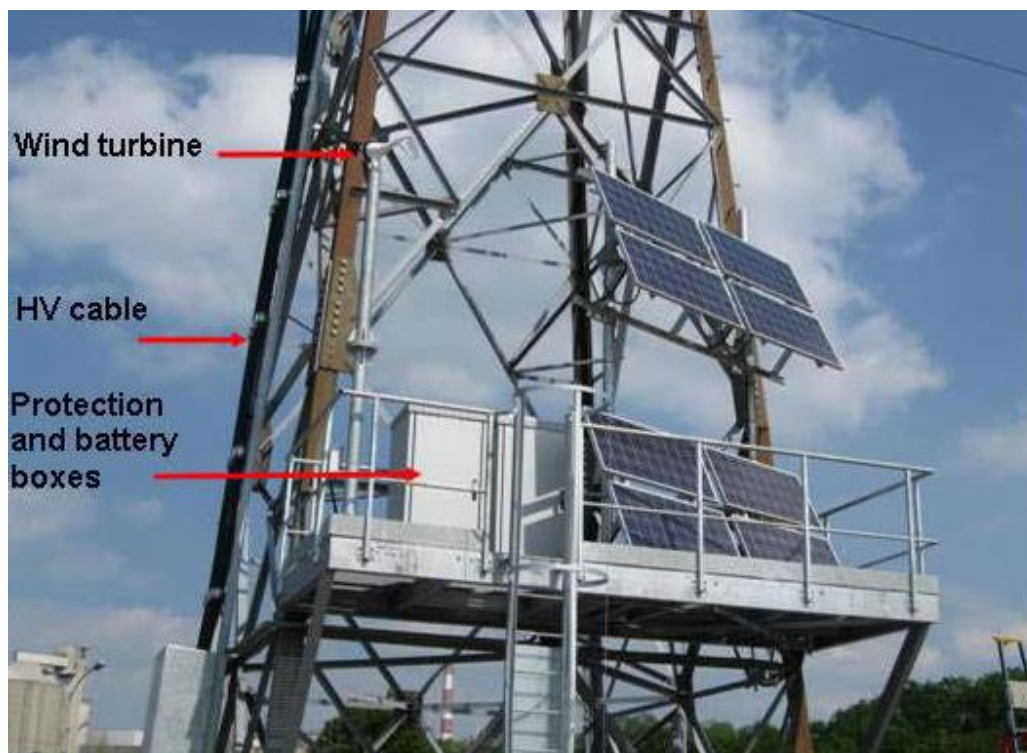
- Distantna zaštita

Korišćenje distantne zaštite se široko primenjuje kod svih tipova visokonaponskih vodova tako i mešovityh. Kod mešovityh vodova koji se sastoje od nadzme ne i podzemne deonice koja je obostrano uzemljenja ima se diskontinuitet u profilu impedanse, impedansa je nelinearna funkcija udaljenosti kvara na podzemnoj deonici i izbor k_0 koeficijenta nije trivijalna.

Uzimajući u obzir gore navedene faktore primena distantne zaštite za određivanje kvara na podzemnoj deonici ne daje dovoljnu preciznost, naročito ako su deonice relativno kratke jer time se procenat greške značajno povećava (sama tačnost algoritma, odnosno releja, kao i uticaj tačnosti mernih transformatora). Povećavanje selektivnosti distantne zaštite može se povećati primenom telezaštitnih šema, što s jedne strane usložnjava sistem i zahteva ugradnju dodatne opreme.

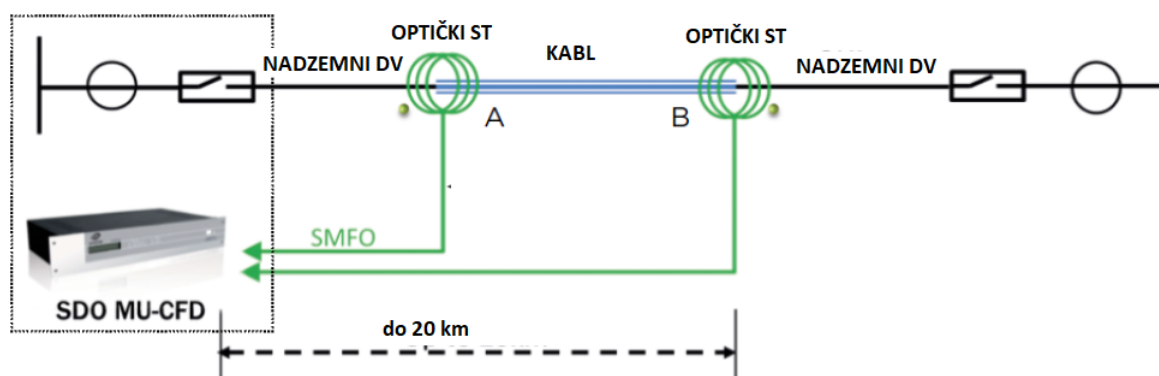
- Podužna diferencijalna zaštita

Primenom podužne diferencijalne zaštite uticaj različitih električnih parametara sekcija mešovityh vodova postaje irelevantan. Time se izbegavaju gore pomenuti problemi navedeni za distantnu zaštitu. Potpuna selektivnost kvara na kablovskoj deonici se postiže primenom podužne diferencijalne zaštite posebno određene za datu deonicu. Ovo zahteva da se na mestu prelaza nadzme ne u podzemnu deonicu ugradi dodatna oprema, od mernih transformatora, sistema zaštite, telekomunikacione opreme, ispravljača i baterija, kontejner za smeštaj opreme kao i komunikacionih veza, odnosno optičkih kablova, kao što je prikazano na slici 6. Sve ovo utiče na povećanje troškova, kako prilikom ugradnje, tako i tokom eksploatacije i pri održavanju.



Slika 6: Instalacija dodatne opreme na prlasku nazdeme u kablovsku deonicu

Kako bi se smanjila ugradnja opreme i redukovala neophodna infrastruktura na mestu prelaska podzemne u nadzemni deo, poslednjih godina pojavile su se aplikacije sa korišćenjem takozvanih pasivnih optičkih strujnih transformatora (slika 7). Pasivni optički strujni transformatori koriste takozvani Faradejev efekt polarizacije svetlosti u odnosu na jačinu magnetskog polja i imaju prednost u pogledu tačnosti i otpornosti na zasićenje u odnosu na konvencionalne. Takođe ne zahtevaju nikakvo napajanje za rad na mestu prelaska deonice.



Slika 7: Princip instalacije „pasivnih“ optičkih strujnih transformatora

Merene vrednosti struje se putem optičkih vlakana prosleđuju do spreznog uređaja (Merging Unit) koji se ugrađuje na jednom od krajeva mešovitog voda, odnosno trafostanici (slika 8). Sprežni uređaj može da generiše merni signale, odnosno Sampled Values u skladu sa IEC61850 9-2 LE / IEC61869 9. Za detekciju kvara koristi se diferencijalni princip, ali su moguća i druge funkcije (zemljospojna), u zavisnosti od načina realizacije uzemljenja podzemne deonice.



Slika 8: Pasivni optički strujni i prateća oprema na početku kablovske deonice

Rešenje je lako za implementaciju, ali podrazumeva uvođenje novih tehnologija (optički strujni). Ograničenje je i u dužini jer optički strujni ne bi trebali da budu udaljeni više od 20 km od spreznog uređaja.

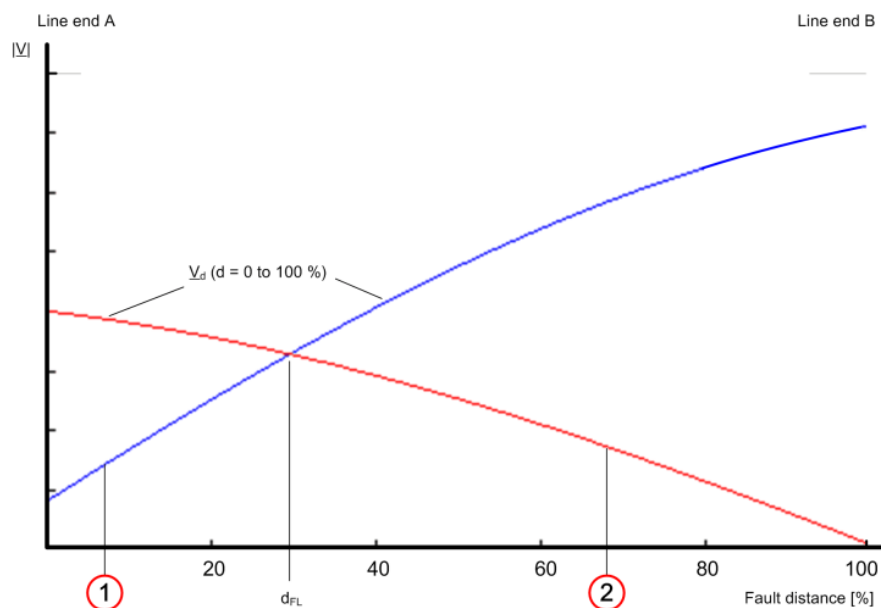
- Korišćenje posebnih funkcija razvijenih za primenu kod mešovitih vodova

Pojedini proizvođači relejne zaštite su ponudili unapređene funkcije koje se mogu primenjivati za mešovite vodove: funkcija lokatora kvara koja ima mogućnost podešavanja električnih parametara više sekcija mešovitog voda, adaptivni algoritam APU sa detekcijom sekundarnog luka, online određivanje mesta kvara razmenom informacija sa drugim krajem (two side) [2]. Za svaki vod gde je poznata struja i napon na oba kraja, može se putem jednačina telegrafičara izračunati napon na svakom mestu voda. Na mestu kvara izračunati napon na obe strane mora da bude isti. Ako se krive napona prikazu grafički presečna tačka određuje mesto kvara, kao što je prikazano na slici 9. Ovo je bazični princip takozvane „2- side“, odnosno dvostrane funkcije za određivanja lokacije kvara. Algoritam izračunava krive napona na osnovu merenih vrednosti u uređajima na krajevima A i B. Krive napona su nelinearne i mogu se prikazati preko pomenutih jednačina telgrafičara. Za rad algoritama potrebna je direktna komunikaciona veza dva uređaja u tački A i B i to je već raspoloživo u slučaju da se koristi podužna diferencijalna zaštita.

Jednačina telegrafičara: $\underline{V}_d(d) = \cosh(\gamma \cdot d) \cdot \underline{V} - \underline{Z} \cdot \sinh(\gamma \cdot d) \cdot \underline{I}$

konstanta talasne propagacije: $\underline{\gamma} = j\omega \cdot \sqrt{\underline{L} \cdot \underline{C}}$

karakteristična impedansa: $\underline{Z} = \sqrt{\frac{\underline{L}}{\underline{C}}}$



Slika 9: Određivanje mesta kvara

Gde je:

- 1 Kriva napona izračunata sa izmerenim vrednostima na kraju A
- 2 Kriva napona izračunata sa izmerenim vrednostima na kraju B

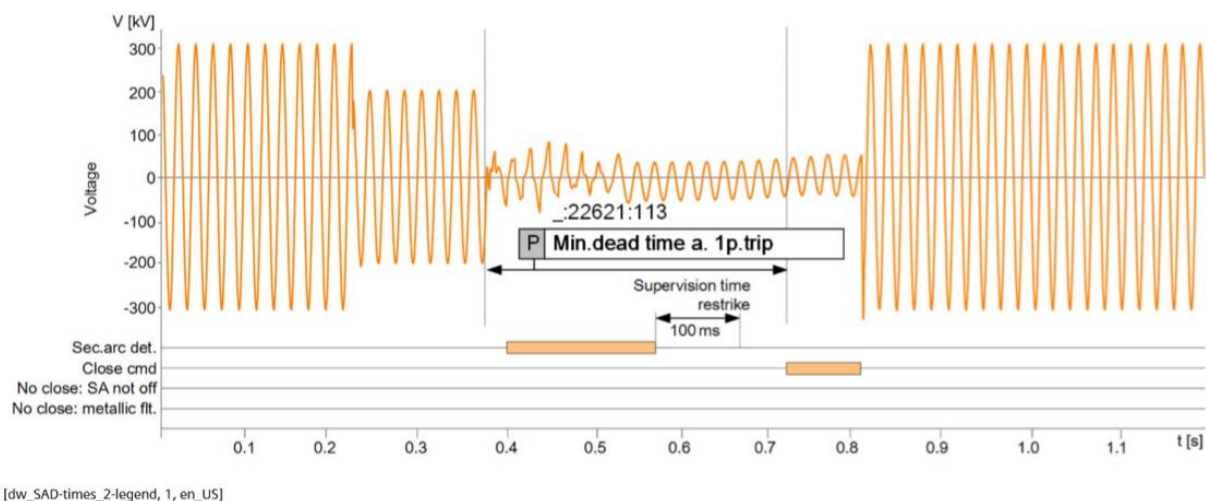
d_{FL} Lokacija kvara

Algoritam dvostranog određivanja lokacije kvara nudi sledeće prednosti u poređenju sa „1-side“ metodom:

- Tačno određivanje lokacije kvara je moguće bez uticaja trenutnih tokova snage na vodu, kao i uticaja dvostranog napajanja i visokih prelaznih otpornosti.
- Algoritam je nezavisan od vrednosti nulte sekvence, a samim tim i od uticaja drugih varijabli, kao što su međuinuktivnosti paralelnih vodova.
- Eventualno neprecizno podešavanje koeficijenta zemlsopoj (ko, kx, kr) nema uticaja na preciznost greške određivanja mesta kvara.

Jedan od izlaza iz funkcije, pored izračunatog mesta kvara prikazano sa oba kraja, je informacija na kojoj je sekciji kvar. Podešenjem se može blokirati ili dozvoliti rad APU za kvarove na svakoj sekciji.

Što se tiče funkcije za detekciju sekundarnog luka, tokom beznaponske pauze algoritam analizira talasne oblike mernog napona i odlučuje da li je kvar prolazni ili ne. U prikazanom primeru (slika 10) nakon otprilike 120ms nestaje sekundarni luk i javlja se indukovani napon od drugih faza i algoritam odlučuje da je kvar prolazni i daje nalog za APU.

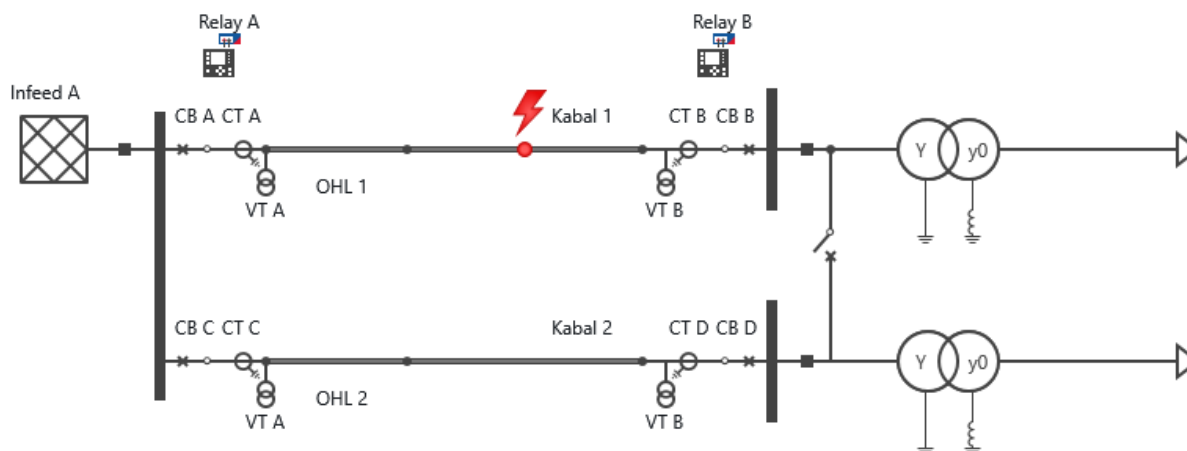


Slika 10: Talasni oblik napona pri prolaznom kvaru

Sve ove funkcionalnosti su relativno nove, i testirane su na modelima i nema se dovoljno povratnih informacija sa realnih aplikacija. Pošto je bila dostupna oprema, zaštitni uređaji i odgovarajuća ispitna oprema, na jednom modelu prema realnim parametrima mreže u EMS je izvršena provera rada i ispitivanja unapređenog algoritma lokatora kvara. Rezultati su prikazani u narednom poglavlju.

5 PROVERA UNAPREĐENOG ALGORITMA LOKATORA KVARA NA MODELU

Za proveru algoritma uzeti su parametri realnog primera mešovitog voda 110kV koji se sastoji od nadzemne deonice dužine 1.4 km i podzemne, kablovske deonice dužine 6km. Za šticeenje mešovitog voda predviđena je podužna diferencijalna zaštita. U uređajima je uključena funkcija „fault locator plus“ i uneti su odgovarajući parametri deonice. Za kvar na kablovskoj sekciji podešeno je da se blokira APU. Za proveru rada uzet je RelaySim Test modul u kome je modelovan deo realne mreže, prikazana na slici 11. Model se sastojao od dva mešovita voda istih parametara koji su na jednom kraju povezani u istu prenosnu trafostanicu (oznaka A) kao napojnu tačku, a drugi kraj je povezan na distributivnu trafostanicu (B). Nadzemni deo je na istim stubovima tako da je uzet uticaj međuinduktivnosti dok je za podzemni deo taj uticaj zanemaren. Parametri mešovitog voda dati su u tabeli 3.



Slika 11 Šema modela za ispitivanje

Kvarovi su zadavani na različitim dužinama voda (sa korakom od 5%), a modul RelaySim Test je izračunavao vrednosti struje i napona za releje u tački A i B i prosleđivao u odgovarajuće ispitne uređaje Omicron 356 koji su simultano generisali kvarove u zaštitne uređaje. Praćena je reakcija uređaja i u event logovima uređaja očitavani signali i vrednosti za svaki kvar. Upoređivan je lokator kvara koji je zadavan u RelaySim Test sa onim koji su očitavali uređaji. Rad lokatora kvara je bio u dvostranom režimu „2 side“ i korišćena je postojeća komunikaciona veza za rad podužne diferencijalne zaštite. Takođe, na uređajima su bili povezani simulatori prekidača i praćeno je reagovanje APU. Izvršeno je više testova uključujući jednofazne i višefazne kvarove, sa i bez prelaznog otpora. Uočeno je da je greška ,odnosno razlika između zadate vrednosti i očitane vrednosti mesta kvara veća kod jednofaznih kvarova i u nastavku su prikazani sumirani rezultati.

Tabela 3: Električni parametri mešovitog voda

	Voltage level	Length	Z1 magnitude	Z1 phase	Z0 magnitude	Z0 phase	Z00 magnitude (optional)	Z00 phase (optional)	Mutual coupled line (optional)
Kabal 1 i 2	110kV	6.00 km	0.80 Ω	72.41 °	1.36 Ω	25.14 °			
OHL 1 i 2	110kV	1.40 km	0.62 Ω	74.25 °	1.77 Ω	78.16 °	0.69 Ω	81.63 °	da



Slika 12: Prikaz greške izračunavanja mesta kvara

Sa slike 12 se vidi da greška izračunavanja mesta kvara (razlika zadate i očitane vrednosti) iznosi maksimalno 400 m za kvarove na oko 4.4 km od A strane. Kako bi se proverio rad algoritma oko prelazne tačke na 1.4 km, izvršena je provera rada sa manjim korakom. Zadavani su kvarovi na početku kablovske deonice. Rezultati su dati u tabeli 4. Uočeno je da nakon 1.75km algoritam uvek prikazuje da je kvar na kablovskoj deonici dok do te dužine da je na dalekovodu. To znači da postoji margina od oko 350m do 400m metara koja bi se morala uzeti u obzir.

Tabela 4: Rezultati za kvarove oko mesta prelaska deonica

Line fault 1 - Fault location [%]	Line fault 1 - Fault type	Comment	L km voda	IED A		IED B	
				L km IED	Fault on section	L Km IED	Fault on section
0.00	L1-N	126 APU	1.40	1.34	OHL	6.06	OHL
0.00	L1-N	127 APU	1.40	1.36	OHL	6.04	OHL
5.00	L1-N	128 APU	1.70	1.34	OHL	6.06	OHL
5.00	L1-N	141 APU	1.70	1.32	OHL	6.08	OHL
6.00	L3-N	140 bez APU	1.76	1.70	KABAL	5.70	KABAL
7.00	L2-N	139 bez APU	1.82	1.66	KABAL	5.72	KABAL
8.00	L2-N	130 Bez APU	1.88	1.89	KABAL	5.51	KABAL
9.00	L3-N	131 bez APU	1.94	1.80	KABAL	5.60	KABAL

Ovu metodu je potrebno dodatno ispitati i verifikovati u realnom pogonu i za očekivati je da se nakon dodatnih analiza i povratnih informacija može postići daleko bolja tačnost.

6 ZAKLJUČAK

S obzirom da se u visoknaponskoj mreži Srbije u skorije vreme planira uvođenje mešovitih vodova u radu je dat pregled pojedinih aplikacija i rešenja za detekciju kvara na kablovskim deonicama. Sama realizacija sistema relejne zaštite u principu ne odstupa od koncepta zaštite klasičnog nadzemnog voda. Razlika je u tretmanu kvarova na podzemnoj deonici, odnosno primeni ili ne APU. U svetu postoje različiti koncepti, od blokade APU za kvarove na podzemnoj deonici do tretiranja mešovitog voda kao čist nadzemni ili čist podzemni i shodno tome primenu usvojenih principa APU za date slučajeve.

Pošto je mešoviti vod nehomogen u pogledu podužnih električnih parametara, kao i zbog uticaja uzemljenja plašta kablovske deonice, primena aplikacija koje koriste distantne funkcije nije dovoljno pouzdana za tačno određivanje mesta kvara.

Upotreba diferencijalne zaštite na kablovskoj sekciji omogućava da se sa dovoljnom sigurnošću detektuje kvar. Međutim ova rešenja zahtevaju dodatnu opreme što sve zajedno povećava kako investicione troškove tako i troškove tokom eksploatacije. Rešenja sa primenom pasivnih optičkih strujnih transformatora smanjuju količinu opreme u odnosu na klasična rešenja i trebalo bi da se detaljnije proverí pouzdanost i primenu aplikacije kroz pilot projekte.

U radu nisu obrađena sve moguća rešenja. Jedno od mogućih je upotreba sistema na principu putujućih talasa TW (traveling wave). Prema iskustvima kolega iz ENTSOe [3] koji su izučavali i primenjivali ovu tehnologiju, za kratke kablovske deonice ova metoda nije dovoljno pouzdana zbog velikih refleksija i tačnosti merenja.

Tema zaštite mešovitih vodova je pokrenuta i na ENTSOe radnoj grupi za Protection Equipment. Izveštaj koji obrađuje iskustva i primenu više TSO iz Evrope u momentu pisanja ovog rada nije još zvanično objavljen ali svakako će pružiti smernice kako i na koji način pristupiti u predmetnim slučajevima.

7 LITERATURA

- [1] Short Circuit Protection of Circuits with Mixed Conductor Technologies in Transmission Networks, Cigra B5.23 work group report, jun 2014, .
- [2] SIPROTEC 5 Distance Protection, Line Differential Protection, and Overcurrent Protection for 3-Pole Tripping 7SA82, 7SD82, 7SL82, 7SA86, 7SD86, 7SL86, 7SJ86, V9.8
- [3] USE OF TRAVELLING WAVES PRINCIPLE IN PROTECTION SYSTEMS AND RELATED AUTOMATIONS, Entsoe Protection Equipment workgroup, Publication 2021.