

Ispitivanje kablovske vodove



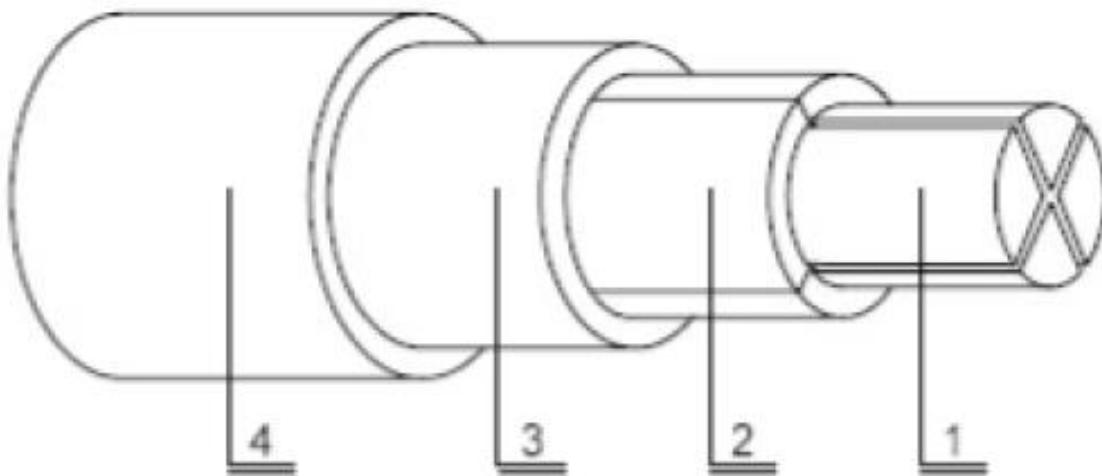
UVOD

- Kablovski vodovi se koriste tamo gde je neizvodljiv prenos nadzemnim vodovima, a to su slucajevi: urbane sredine, ostrva ili povezivanje zemalja preko mora.
- Kablovski vodovi se koriste umesto nadzemnih vodova i sabirnica svuda gde je deficitaran prostor:
 - u elektrodistributivnoj mreži
 - u industrijskim i razvodnim postrojenjima
 - u transformatorskim stanicama i elektranama



Kablovi niskog napona 0.6/1kV

- U niskonaponskim mrežama se preporučuje primena dva osnovna tipa kabla:
 - tip PP00-ASJ (izolacija od PVC-a)
 - tip XP00-ASJ (izolacija od umreženog polietilena - UPE)
- Niskonaponski kabl 0.6/1 kV: 1. aluminijumski jednožicni sektorski provodnik, 2. PVC ili UPE izolacija, 3. ispuna od gume ili PVC, 4. PVC plašt



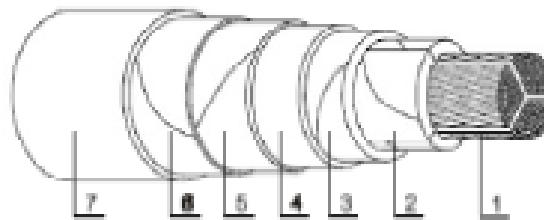
Kablovi srednjeg napona 6/10 kV, 12/20 kV i 20/35 kV

- Za srednjenaponske kablove kao izolacija koristi impregnisani papir ili umreženi polietilen (UPE).
- Poseduju slaboprovodni sloj (ekran) koji se postavlja ispod i iznad izolacije i služi za radijalno oblikovanje i ograničenje električnog polja u kablu.
- Kabl sa UPE izolacijom sadrži metalni sloj od bakra koji služi ograničenje električnog poja, odvodjenje struje zemljospoja i zaštitu od indirektnog dodira.
- U 10 kV distributivnoj mreži koriste se kablovi naznačenog napona 6/10 kV:
 - tip NP0 13-AS
 - tip XHE 49-A



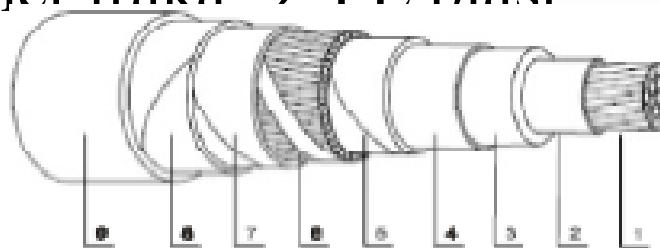
- Trožilni kabl 6/10 sa papirnom izolacijom NP0 13-AS:

1.aluminijumski sektorski provodnik, 2. izolacija žile od naročito impregnisanog papira (NP), 3. pojasna izolacija, 4. olovni plašt, 5.impregnisani papir ili juta, 6. čelična armatura, 7. impregnisana juta



- Jednožilni kabl sa UPE izolacijom XHE 49-A:

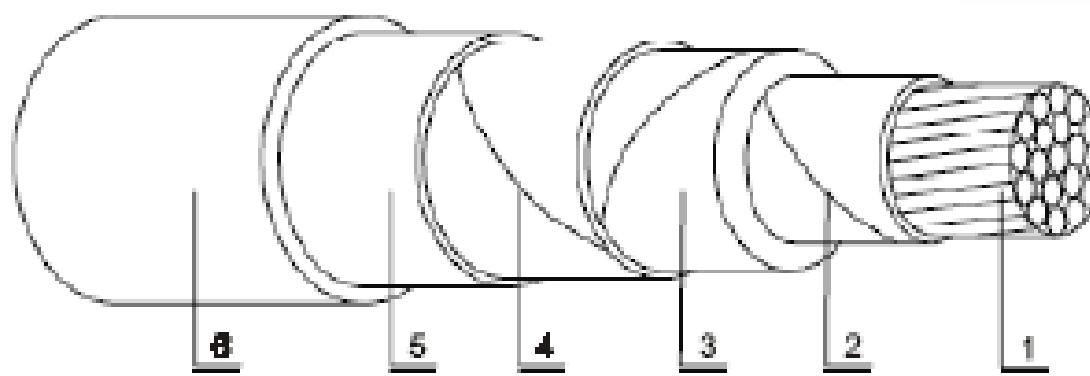
1. aluminijumski provodnik, 2. slaboprovodni sloj provodnika, 3. izolacija od umreženog polietilena, 4. slaboprovodni sloj izolacije, 5. slaboprovodna bubreća traka, 6. električna zaštita od bakarnih žica i trake, 7. izolaciona bubreća traka, 8. aluminijumska polimer traka 9 PE plašt



- U 20 kV distributivnoj mreži koriste se kablovi naznačenog napona 12/20 kV:
 - tip NPH0 13-A
 - tip XHE 49-A
- Kabl tipa NPH0 13-A



- U 35 kV distributivnoj mreži koriste se kablovi naznačenog napona 20/35 kV:
 - tip NPHA 03-A
 - tip XHE 49-A
- Kabl tipa NPHA 03-A: 1. aluminijumski okrugli provodnik, 2. slaboprovodni sloj provodnika, 3. izolacija od naročito impregnisanog papira (NP), 4. slaboprovodni sloj izolacije, 5. aluminijumski plašt, 6. PE plašt



Kablovi visokog napona 110 kV

- Izolacija je najčešće od umreženog polietilena, a koristi se i polietilen i etilenpropilen.
- Spoljašnji plašt je uglavnom od polietilena, a koristi se i PVC
- Za sprečavanje prodora vlage koriste se bubreće trake i Al trake presvučene kopolimerom etilena i akrilne kiseline



Polaganje energetskih kablova u odnosu na druge instalacije i objekte

- Trasa kablovskog voda se često približava ili ukršta sa trasama drugih podzemnih instalacija i kablova.
- Potrebn je poštovati propisane razmake i sigurnosne mere da bi se eliminisali meusobni uticaji.

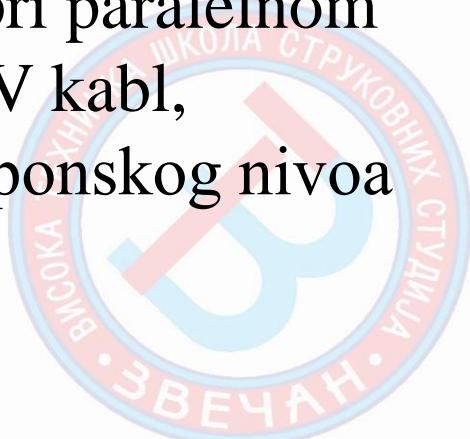
Polaganje i ukrštanje energetskih kablova sa toplovodima

- Toplovod zagreva zemljište koje okružuje kabl, što dovodi do slabijeg odvodjenja toplote sa kabla i toplotnog preopterećenja
- Pri ukrštanju kabl se polaže iznad toplovoda (samo u izuzetnim slucajevima ispod) i postavlja se toplotna izolacija izmedju kabla i toplovoda
- Kabl se ne sme polagati paralelno iznad ili ispod toplovoda
- Primenuju se i dodatne mere sa ciljem da temperturni uticaj toplovoda ne bude veci od 200 °C.



Polaganje i ukrštanje kablova sa cevima vodovoda i kanalizacije

- Medjusobni položaj kabla i cevi se određuje tako da mogu da se vrše popravke na instalacijama.
- Pri ukrštanju kabl se polaže iznad ili ispod cevi na rastojanju od najmanje 0.4 m za 35 kV kabl, odnosno od najmanje 0.3 m za kable nižeg naponskog nivoa.
- Kabl se ne sme voditi paralelno iznad ili ispod cevi.
- Horizontalni razmak kabla od vodovodne cevi pri paralelnom vodjenju mora da iznosi najmanje 0.5 m za 35 kV kabl, odnosno od najmanje 0.4 m za kable nižeg naponskog nivoa

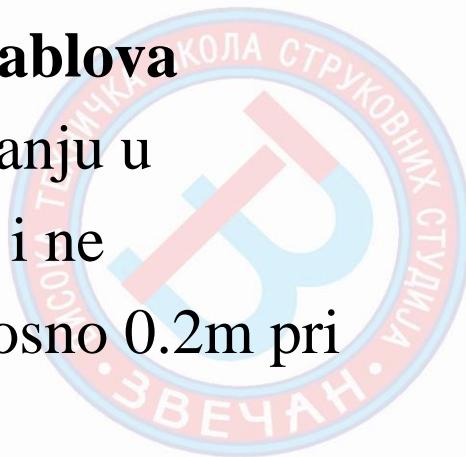


Polaganje energetskih kablova preko mostova

- Pri projektovanju prelaza kablova preko mostova treba imati u vidu:
 - konstrukciju i nosivost mosta
 - unutrašnji raspoloživi prostor mosta i usklaenost sa ostalim komunalnim instalacijama
 - izloženost razlicitim mehanickim, svetlosnim, hemijskim i toplotnim uticajima (uticaj zaprljanja vazduha, smoga, recne sredine)

Medjusobno približavanje i ukrštanje energetskih kablova

- Medjusobno rastojanje energetskih kablova pri polaganju u istom rovu određuje se na osnovu strujnog opterećenja i ne sme biti manje od 0.07 m pri paralelnom vodjenju, odnosno 0.2m pri ukrštanju.



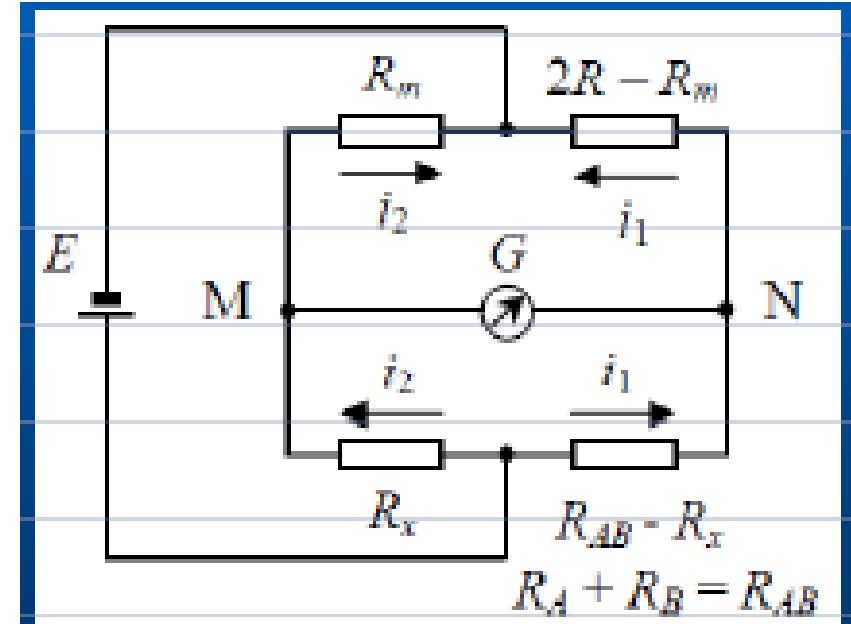
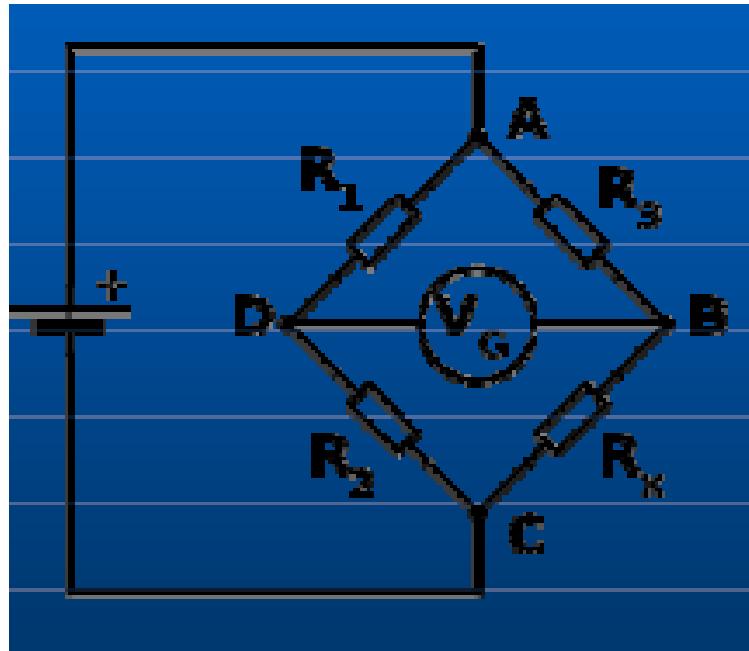
ODREDJIVANJE MESTA KVAROVA NA KABLOVSKIM VODOVIMA

- **Unutrašnja oštecenja:** fabričke greške, loš tehnološki proces pri izradi elemenata kabla, neodgovarajuća konstrukcija, starenje izolacije, nepravilna eksploatacija.
- **Spoljašnja oštecenja:** mehanicka oštecenja kablova pri polaganju, zatrpuvanju rovova, usled naknadnih graevinskih radova na trasi, klizišta, elektrohemijiski uticaji, lutajuće struje.
- **Greške nastale u eksploataciji:** mehanička naprezanja kabla, delovanje atmosferskih i sklopnih prenapona, starenje izolacije, delovanje hemikalija, vlage i drugih instalacija
- **Vrste grešaka u kablovima**
 - jednopolni kratak spoj
 - višefazni kratak spoj
 - oštećenje ili prekid provodnika
 - oštećenje ili prekid metalnog omotača kabla
 - curenje ulja ili gasa iz kablova



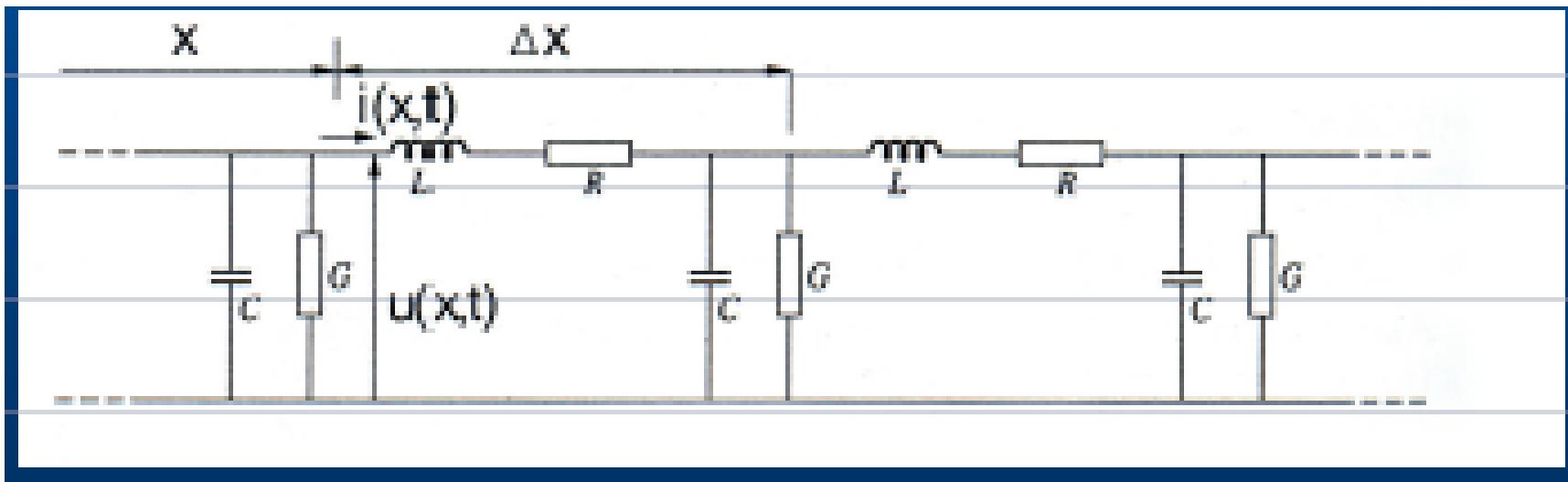
Klasične metode za određivanje mesta kvarova

- Metode zasnovane na mernim mostovima i padu napona
- Vitstonov i Marejev merni most



Savremene metode za određivanje mesta kvarova

- Zasnivaju se na principu refleksije električnih impulsa od nehomogenih mesta na kablu (mesta gde kabl menja svoju karakterističnu impedansu).
- Određivanje mesta kvara se ostvaruje na osnovu vremena potrebnog da impuls predje put od početka kabla do mesta kvara i natrag.
- Prostiranje impulsa po kablovskom vodu se proučava na osnovu šeme voda sa raspodeljenim parametrima (L , R , C i G su induktivnost, otpornost, kapacitivnost i provodnost voda po jedinici dužine voda)



$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial x} = L \frac{\partial i}{\partial t} + R i(x, t)$$

$$-\frac{\partial i(x, t)}{\partial x} = C \frac{\partial u}{\partial t} + G u(x, t)$$



- Na osnovu prethodnih izraza dobijaju se jednačine telegrafičara:

$$\frac{d^2U(x, p)}{dx^2} = (G + pC)(R + pL)U(x, p) \quad \frac{d^2I(x, p)}{dx^2} = (G + pC)(R + pL)I(x, p)$$

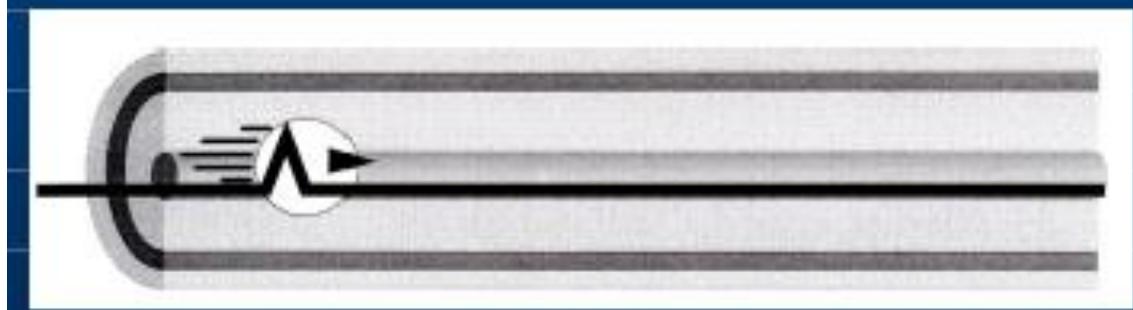
- Rešenje jednačina telegrafičara - napon i struja voda se mogu predstaviti preko reflektovnih i direktnih komponenti:

$$U(x, p) = U_1(x, p)e^{r(p)x} + U_2(x, p)e^{-r(p)x} = U_r + U_d$$

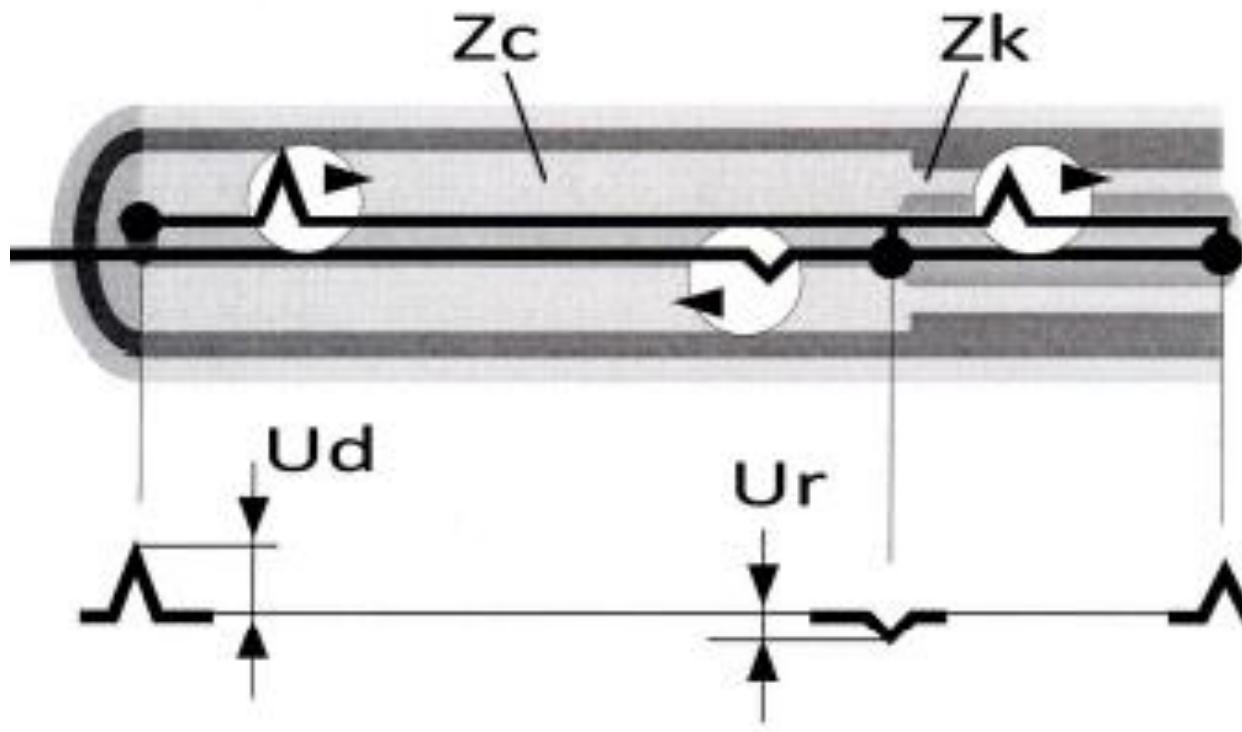
$$I(x, p) = -\frac{U_1(x, p)e^{r(p)x}}{Z_c} + \frac{U_2(x, p)e^{-r(p)x}}{Z_c} = -I_r + I_d$$

- Z_c - karakteristična impedansa voda, γ – konstanta prostiranja

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + pL}{G + pC}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \gamma = \alpha + j\beta$$



- Kvar na kablovskom vodu predstavlja tačku nehomogeniteta (mesto gde se menja karakteristična impedansa voda z) i u toj tački dolazi do refleksije i prelamanja implosa.
- U slučaju kada je kvar prekid onda je reflektovani impuls istog polariteta kao impuls koji je krenuo sa početka kabla.
- U slučaju kada je kvar kratak spoj onda je reflektovani impuls suprotnog polariteta, kao na slici:



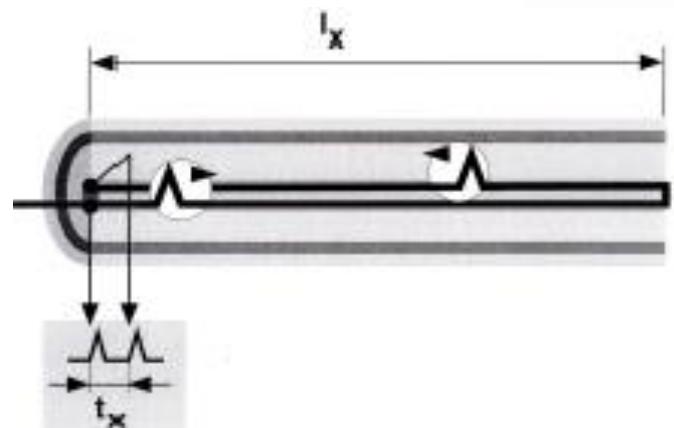
Metoda refleksije impulsa

- Rastojanje od početka kablovskog voda do mesta kvara lx se određuje na osnovu vremena tx potrebnog da ubačeni impuls dodje do mesta kvara, odbije se i vрати na početak kabla:

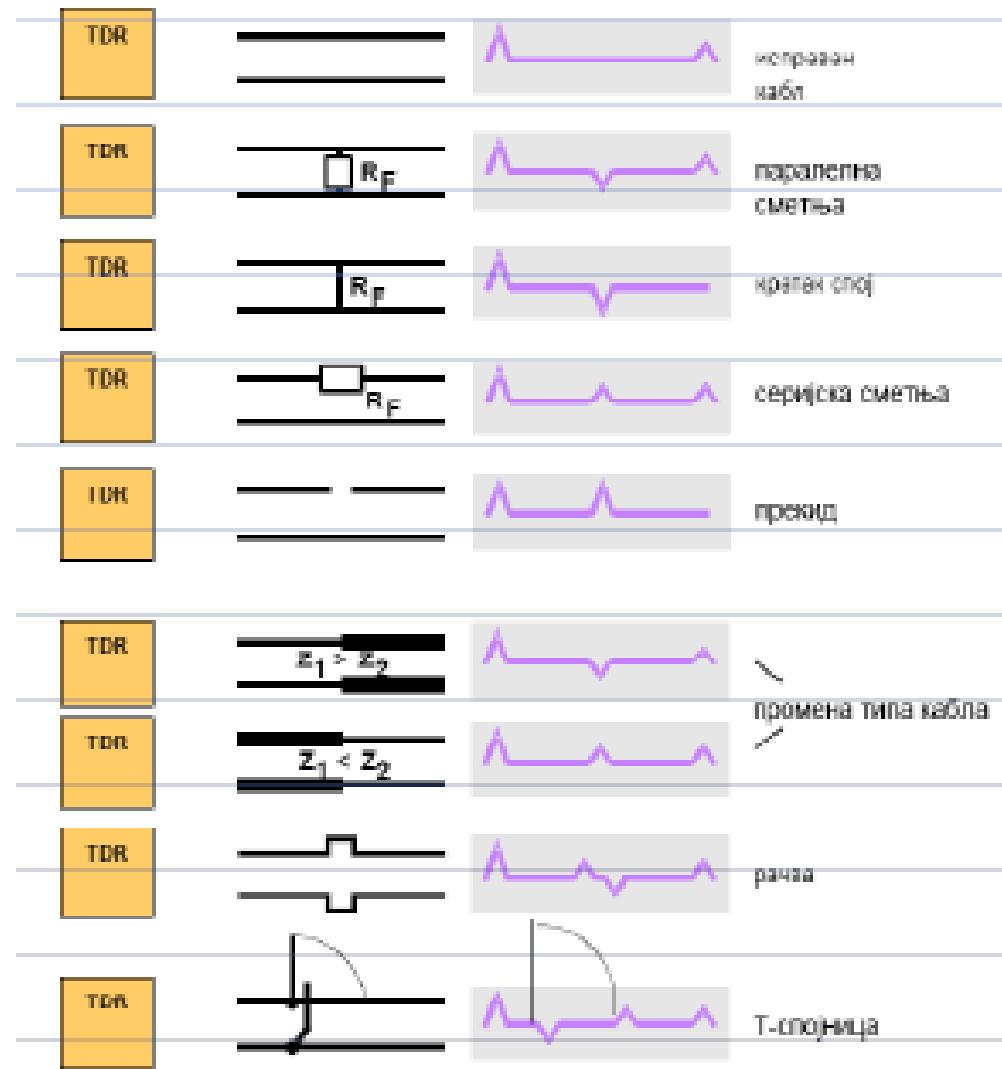
$$l_x = \frac{v \cdot t_x}{2}$$

v-brzina prostiranja impulsa po kablovskom vodu (70 do 90 m/μs)

- Za slučaj nehomogenosti na kraju kabla metodom refleksije impulsa se može odrediti dužina kabla (kao na slici gde je kabl otvoren na kraju):

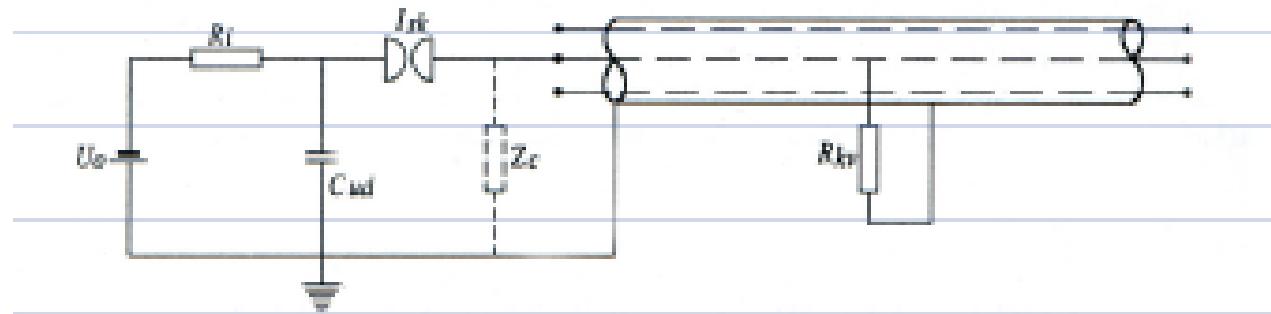


Slučajevi refleksija raznih tipova refleksija na kablovima, registrirani na radaru ili exometru (TDR – time domain reflektometer)

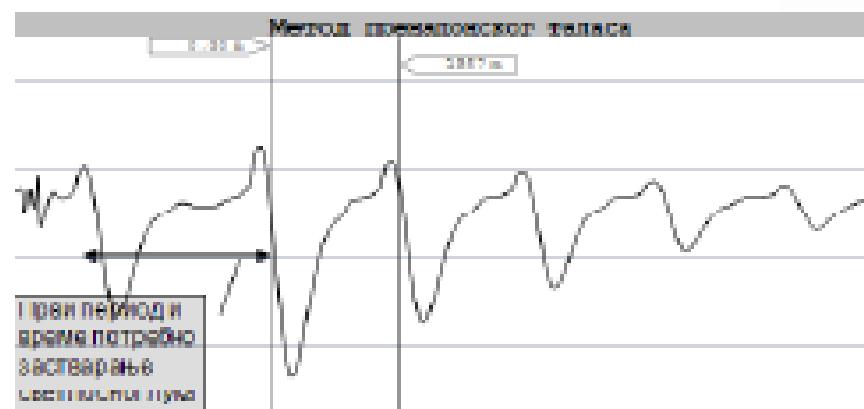


Metoda prenaponskog talasa

- Metoda se zasniva na teoriji prostiranja talasa duž voda kao u slučaju refleksije impulsa, pri čemu se umesto niskonaponskih impulsa koristi prenaponski talas proizveden udarnim naponskim generatorom:

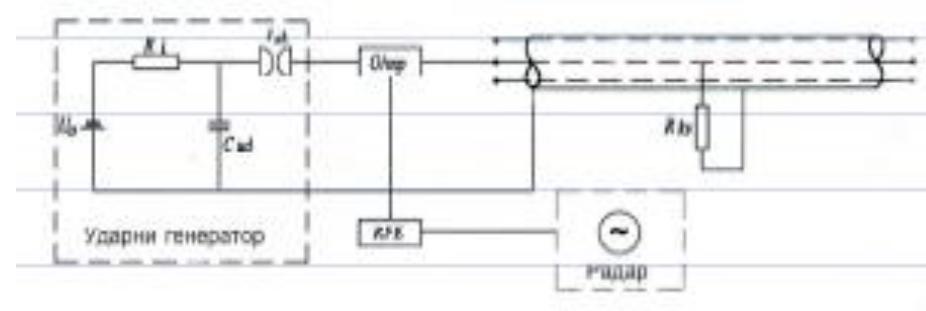


- Prenaponski talas se na mestu kvara izaziva proboj i električni luk, reflektuje od mesta kvara i vraća na pocetak kabla ali se reflektuje i od početka kabla tako da se dobija oscilovanje prenaponskog talasa:

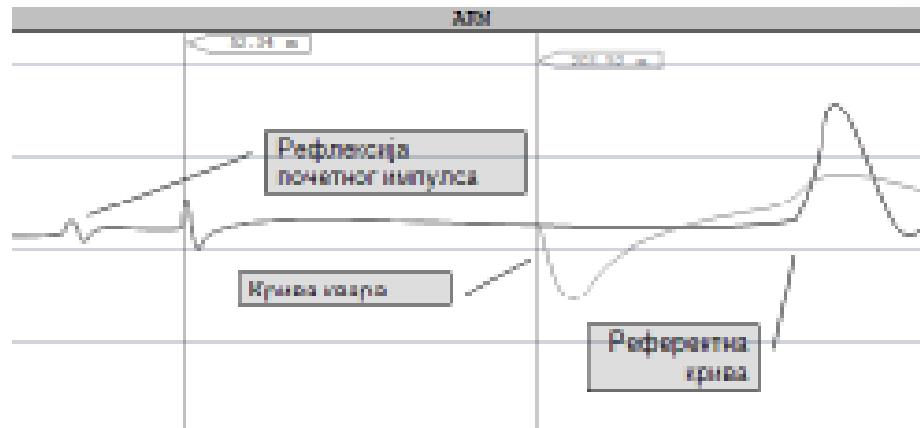


Metoda svetlosnog luka

- Metoda svetlosnog luka je modifikovana metoda prenaponskog talasa: dodato je kolo za formiranje i oblikovanje impulsa O/mp i filter RFE koji ne propušta talas od udarnog generatora ka radaru.

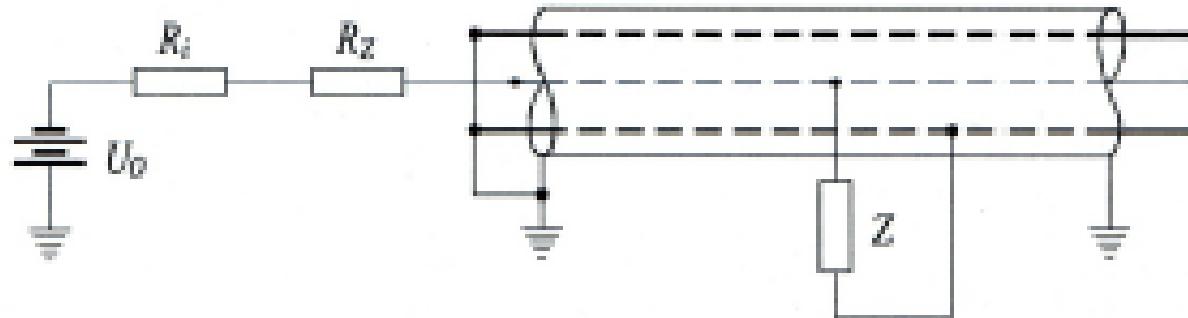


- U prvoj fazi u kabl se šalju impulsi iz radara i snima se referentna kriva (kvar se ne uočava), u drugoj fazi se uključuje udarni generator koji izaziva preskok i svetlosni luk na mestu kvara (propaljivanje greške na kablu – smanjenje otpora na mestu kvara)

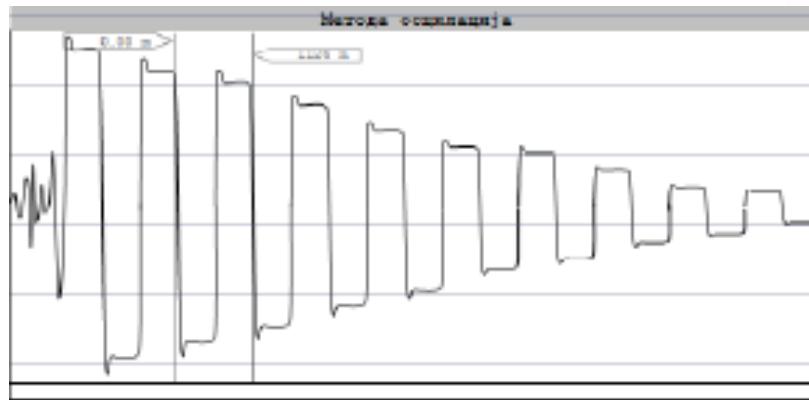


Metoda oscilacija

- Metoda oscilacija se zasniva na istom principu kao metoda udarnog napona, razlika je što se impuls proizvodi tako što se jednosmernim naponom vrši punjenje kapaciteta kabla



- Rastojanje do mesta kvara na kablu se određuje na osnovu periode oscilacija koje se snimaju na početku kabla



Praktična primena metaoda za lokaciju kvarova na kablovskim vodovima u realnim uslovima eksploracije

Ispitivanje i odredjivanje mesta kvara na kablu obuhvata:

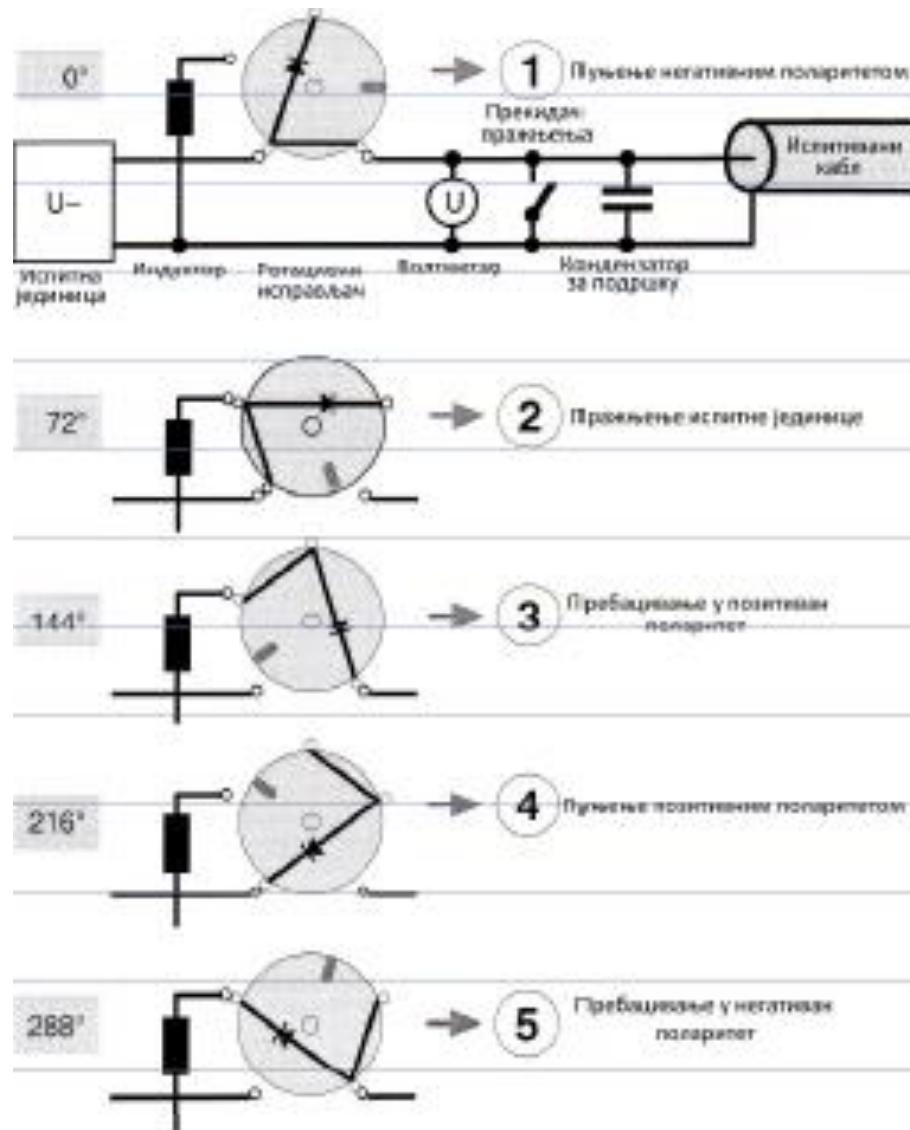
- ispitivanje (merenje otpora izolacije i naponsko ispitivanje)
- propaljivanje (smanjenje otpora na mestu kvara)
- predlokacija kvara (približno lociranje mesta kvara)
- odredjivanje trase kabla (na osnovu dokumentacije ili ispitivanjem)
- odredjivanje tačnog mesta kvara



Merno ispitna oprema i kontrolna tabla



Naponsko spitivanje: VLF (Very Low Frequency) metod pri čemu se koristi impuls kvadratnog oblika ali sa kosinusnom promenom polariteta.



Propaljivanje greške na kablu

- otpor na mestu kvara može imati vrednost nula (niskoomski otpor) ali takođe može imati vrednost normalnog izolacionog otpora kabla (visokoomski otpor)
- u slučaju velikog otpora na mestu kvara potrebno je izvršiti propaljivanje greške
- propaljivanje greške je proces karbonizacije izolacije i smanjenja otpora na mestu kvara
- za propaljivanje greške se koriste prenaponski (udarni) talasi



Predodredjivanje mesta kvara: metodom svetlosnog luka dobija se referentna kriva i kriva kvara kabla, njihovim poređenjem uočava se mesto kvara.



Otkrivanje vodova na trasi

- vrši se ako nije poznata trasa kablovskog voda
- princip rada instrumenta za otkrivanje trase vodova: oko voda koji provodi struju stvara se elektromagnetsko polje, na osnovu minimuma indukovanih napona u prijemniku otkriva se položaj kabla

