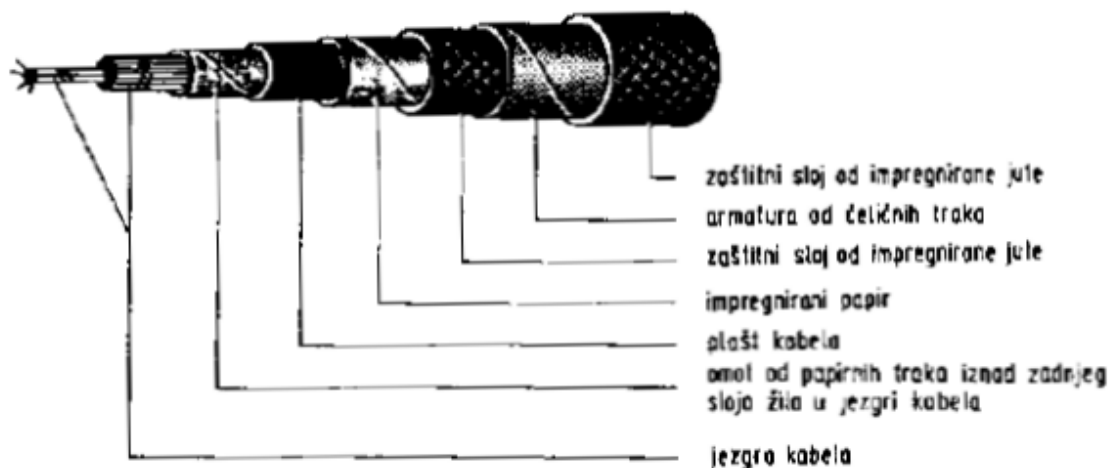


4. KABELI

4.1. Konstrukcija kabela

Kabel je telekomunikacijski vod sastavljen od jednog ili više izoliranih metalnih vodiča zaštićenih od vlage hermetičkim plaštem, iznad kojega se može nalaziti još nekoliko zaštitnih slojeva (armatura, zaštitni slojevi protiv korozije itd.).

Glavni dijelovi svakog kabela (slika 4.1) su:



Slika 4.1. Konstrukcija kabela

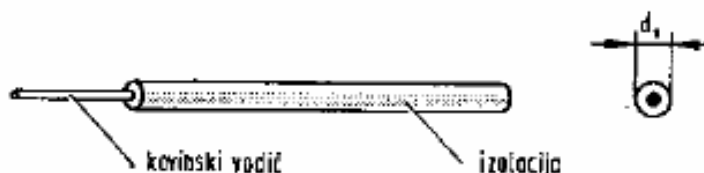
4.1.1. Osnovni elementi kabela

a) **Žila** (slika 4.2) – je izolirani metalni vodič. Najvažnije karakteristike materijala koji se najčešće upotrebljavaju za izradu vodiča date su u tablici 4.1.

Tablica 4.1 Neke karakteristike materijala

Materijal	Specifični otpor ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)	Temperaturni koeficijent α
Bakar (Cu)	0,0175	+0,0038
Alumiji (Al)	0,0294	+0,004

Najviše se izrađuju okrugli vodiči promjera: 0,4 mm, 0,6 mm, a manje za specijalne namjene promjera: 0,8 mm, 0,9 mm, 1,0 mm, 1,2 mm i 1,4 mm.



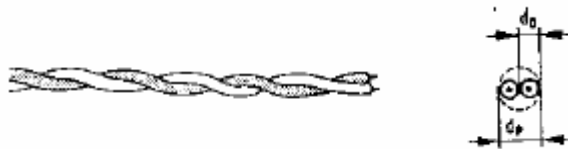
Slika 4.2. Konstrukcija vodiča u kabelima

Najvažnije karakteristike materijala koji se najčešće upotrebljavaju za izoliranje vodiča prikazane su u tablici 4.2.

Tablica 4.2. Neke karakteristike materijala za izolaciju

Materijal	Relativna dielektrična konstanta	Električni gubici u izolaciji na frekvenciji $f=1$ MHz $\text{tg}\delta \cdot 10^{-3}$
Papir+zrak	1,3-1,5	30
Lak	3,0-4,0	14
Tekstil	3,5-4,3	1,8
Polivinilklorid	3,0-10,0	12-150
Guma	2,0-8,0	10-80
Polietilen	2,25-2,3	0,2-0,4
Polistirilo	2,5-2,7	0,1-0,3

b) Parica (slika 4.3) su dvije kabelske žile upredene zajedno zbog smanjenja preslušavanja uslijed indukcije. Dobra je za kabele dugačke nekoliko stotina metara. Zbog razlikovanja, svaka žila u parici posebno je označena.



Slika 4.3. Parica

Promjer parice:

$$d_p = 1,65 d_o \text{ [mm]}$$

gdje je: d_o = promjer žile u mm.

c) Četvorka – su dvije kabelske parice ili četiri žile upredene zajedno, također zbog smanjenja preslušavanja zbog indukcije. Ovakav način upredanja neophodan je za veće dužine kablova. Radi razlikovanja, svaka žila ili parica posebno su označene.



Slika 4.4. Zvijezdasta četvorka



Slika 4.5. DM četvorka

Postoje dvije vrste četvorki:

1. **zvijezdasta** (slika 4.4) – koja nastaje istovremenim upredanjem četiri žile;
2. **Dieselhorst-Martinova** (skraćeno **DM**) (slika 4.5) – koja nastaje upredanjem dvije prethodno upredene parice.

Promjer zvijezdaste četvorka je:

$$d_{\check{z}} = 2,2 d_o \text{ [mm]},$$

a Dieselhorst – Martinove:

$$d_{\check{DM}} = 2,6 d_o \text{ [mm]}$$

gdje je d_o = promjer žile u mm.

d) Koaksijalna parica (tuba) – su dva vodiča postavljena koaksijalno jedan u drugome (slika 4.6). Preslušavanje između ovakvih parica je minimalno, što je naročito važno u prijenosu visokofrekventnih izmjeničnih struja.



Slika. 4.6. Koaksijalna parica

Kad su vodiči koaksijalne parice izrađeni od bakra preslušavanje je najmanje, ako je zadovoljen uvjet:

$$\frac{D}{d} = 3,6$$

Gdje su:

D = promjer vanjskog vodiča u mm;

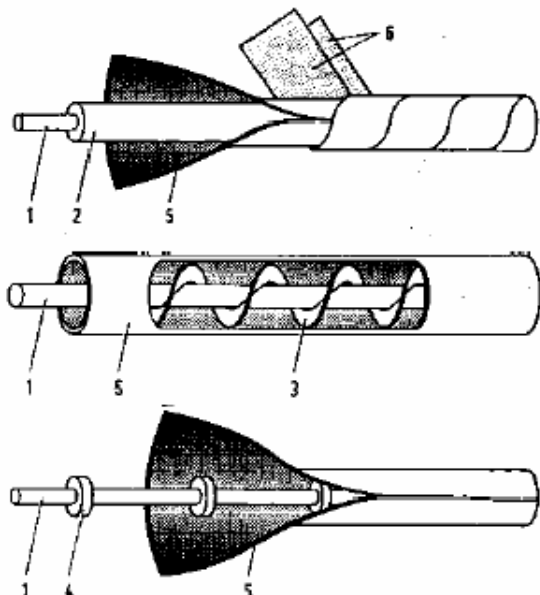
d = promjer unutrašnjeg vodiča u mm.

U tablici 4.3 dat je pregled vrsta koaksijalnih parica koje su najčešće upotrebljavaju u praksi.

Tablica 4.3. Vrste kaksijalnih parica

Vrsta koaksijalne paice	d (mm)	D (mm)
velika	2,6	9,5
mala	1,2	4,4

Koaksijalnost vodiča u tubi održava se pomoću izolacije. Izolacija može ispunjavati cijeli prostor između unutrašnjeg i vanjskog vodiča, može se načiniti u obliku spiralnog omotača oko unutrašnjeg vodiča, ili pak u obliku kolutića jednoliko raspoređenih na unutrašnjem vodiču (slika 4.7).



Slika 4.7. Koaksijalne parice s različitim vrstama plastične izolacije između unutarnjeg i vanjskog vodiča:

- 1) unutarnji vodič; 2) puna izolacija; 3) spiralna izolacija; 4) izolacija u obliku kolutića; 5) vanjski vodič; 6) plašt od čeličnih traka

4.1.2. Jezgra kabela

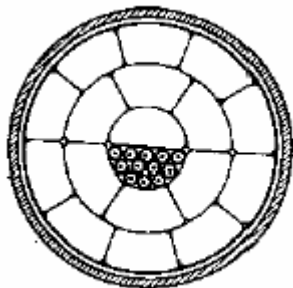
Jezgra kabela sastoji se od osnovnih elemenata kabela – žila, parica ili četvorki. Ako su u jezgru svi osnovni elementi iste vrste, takvi se kabeli nazivaju *jednostavni*, a ako su osnovni elementi raznih vrsta, takvi se kabeli nazivaju *složeni* ili *kombinirani*.

Obzirom na raspored osnovnih elemenata kabela unutar jezgra razlikuju se:

- a) jezgra s koncentričnim slojevima (obično do 100 četvorki) (slika 4.8);
- b) jezgra sa sektorskim slojevima (obično preko 100 četvorki) (slika 4.9).



Slika 4.8. Jezgra kabela s koncentričnim slojevima



Slika 4.9. Jezgra kabela sa sektorskim slojevima

Da bi se razlikovali pojedini slojevi, odnosno osnovni elementi unutar njih, obično su u svakom sloju dva osnovna elementa posebno označena (druga boja izolacije ili konca). Jedan od njih smatra se početnim, tj. od njega počinje brojanje, a drugi smjernim, tj. broji se u smjeru prema njemu. Zbog lakšeg razbrajanja i ostali osnovni elementi u svakom sloju posebno su označeni (neparni na jedan način, a parni na drugi).

4.1.3. Plašt (Omotać)

Plašt kabla je hermetičan i štiti jezgru od vlage. Debljina plašta kabela kreće se od 1 do 4 mm. Može biti od različitih materijala:

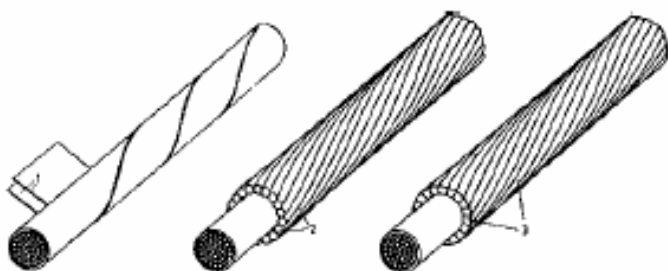
- **Olovo** – se najčešće upotrebljava i to legirano s 1 do 3% kositra i do 1% antimona u svrhu povećanja čvrstoće plašta. Dobra strana olovnog plašta je lako nastavljanje, dok mu je loša strana kristalizacija koja nastaje ako je kabel izložen vibracijama, kao u slučajevima kad je položen na mostu, u blizini cesta ili pruga.
- **Aluminij** – se rjeđe upotrebljava, prvenstveno za one kabele koji su izloženi većim mehaničkim opterećenjima, odnosno električnim utjecajima. Dobre strane aluminijskog plašta u odnosu na olovni su manja težina, veća mehanička čvrstoća, te bolja električna vodljivost. Bolja električna vodljivost kabelskog plašta omogućava veću zaštitu telekomunikacijskog kabela od utjecaja vodova jake struje. Loše strane aluminijskog plašta su krutost (teža izrada i montaža kabela), te kemijska osjetljivost (mora biti upotrijebljen zaštitni sloj).
- **Plastične mase** (polivinilklorid, polietilen, neopren itd.) – upotrebljavaju se u novije vrijeme sve više, naročito za pretplatničke kabele. Dobre strane plašta od plastičnih

masa su otpornost prema koroziji, te relativno niska cijena, a loše strane su mala mehanička čvrstoća i osjetljivost na temperaturu.

- **Valoviti lim** (čelik, bakar, aluminijum) – je također noviji materijal za izradu kablenskog plašta. Upotrebljava se tamo gdje je potrebna veća savitljivost kabela, te na mjestima koja su izložena vibracijama. Dobre strane plašta od valovitog lima su visoka stabilnost oblika, idealno savijanje, minimalna težina (30 – 60% olovnog plašta), niski troškovi transporta i polaganja kabela, jednostavnost polaganja, sigurnost od korozije, te elastičnost pri pomicanju tla.

4.1.4. Armatura

Armatura štiti plašt od mahaničkih oštećenja. Izrađuje se u obliku namota trake ili žice (okrugla ili četvrtasog presjeka) (slika 4.10)



Slika 4.10. Armatura kabela: 1) od čeličnih traka; 2) od čeličnih okruglih žica; 3) od čeličnih četvrtastih žica

Najviše se upotrebljava čelik, a za specijalne svrhe aluminijum i bakar.

4.1.5. Zaštitni slojevi

Zaštitni slojevi štite armaturu kabela od korozije. Stariji način izrade zaštitnih slojeva je da se preko armature namota sloj jutene trake natopljene bitumenom, te premaže i opet s bitumenom. Preko svega se nanose još sloj vapnenog mlijeka koji sprečava lijepljenje namota kabela na bubnju. U novije vrijeme se za izradu zaštitnih slojeva sve više koriste plastične mase, od kojih se najviše upotrebljava polivinilklorid.

4.2. Pregled i vrste kabela

Kabeli se dijele obzirom na razne kriterije, npr. prema vrsti prijenosa, konstrukciji, namjeni, zaštiti i mjestu polaganja.

a) *Obzirom na vrstu prijenosa:*

- niskofrekventni kabeli (obični i pupinizirani);
- visokofrekventni kablovi (simetrični i koaksijalni).

b) *Obzirom na konstrukciju:*

- jednostavni kabeli (ako su u jezgri kabela svi osnovni elementi iste vrste);
- složeni ili kombinirani kabeli (ako su u jezgri kabela osnovni elementi raznih vrsta).

c) *Obzirom na namjenu:*

- montažni kabeli (za centrale);
- razvodni kabeli (za instalacije);
- kabeli za kraće udaljenosti (mjesna mreža);
- kabeli za duže udaljenosti (međumjesna mreža);
- signalni i mjerni kabeli;
- kabeli za posebne svrhe.

d) *Obzirom na zaštitu:*

- obični kabeli (imaju samo plašt);
- kabeli s elektrostatičkom zaštitom (imaju ekran);
- kabeli s mehaničkom zaštitom (imaju armaturu);
- kabeli sa zaštitom protiv korozije (imaju zaštitne slojeve).

e) *Ozirom na mjesto polaganja:*

- kabeli koji se uvlače (uvlače se u kanalizaciju ili zaštitne cijevi);
- podzemni kabeli (polažu se izravno u zemlju);
- podvodni kabeli (polažu se pod vodu);
- zračni kabeli samonosivi ili obješeni (postavljaju se tako da slobodno vise u zraku ili se vješaju o čelično užje).

4.2.1. Označavanje kabela

Na željeznici se koriste većinom isti kabeli kao i u javnim telekomunikacijskim mrežama. Kod nas se telekomunikacijski kabeli označavaju velikim slovima TK. Iza te oznake dolazi brojevana oznaka konstrukcije kabela (pogledati u specifikaciju proizvođača kabela, odnosno standard). Nakon toga dolazi kapacitet kabela izražen u broju četvorki i presjeku žila (npr. 20x4x0,6).

Komabinirani signalno-telekomunikacijski kabeli se označavaju oznakama STA i STKA (signalno telekomunikacijski kabel s aluminijskim plaštem i koaksijalnim paricama) i brojem četvorki.

Signalni kabel se na Hrvatskim željeznicama označava slovima SPZ ili SEZ i brojem žila u kabeu.

4.2.2. Razbrajanje kabela

a) Sistemi razbrajanja. Da bi se moglo obaviti pravilno razbrajanje pri montaži kabela, jako je važno razlučiti pojedine osnovne elemente (žile, parice, četvorke) u jezgri kabela. Najčešći načini označavanja su različite boje izolacije, različito obojene crtice na izolaciji žila, te različito obojeni konci koji se namataju oko pojedinih osnovnih elemenata jezgra. Parne i neparne kableske žile se razlikuju po različitim bojama izolacije, različito obojenim crticama na izolaciji ili po različito obojenim koncima namotanim oko pojedinih žila. Početne, smjerne, te obične parne i neparne parice se razlikuju po različitim bojama izolacije, različito obojenim crtama na izolaciji žila ili po različito obojenim koncima namotanim oko pojedinih parica. Početne, smjerne, te obične parne i neparne četvorke se razlikuju po različitim bojama izolacije, različito obojenim crticama na izolaciji žila, odnosno po različito obojenim koncima namotanim oko pojedinih četvorki. Za detalje se treba poslužiti podacima proizvođača kabela.

4.3. Prijenosna svojstva i parametri prijenosa kabela

A. Primarni parametri prenosa

- **Otpor.** Za vodiče u telekomunikacijskim kabelima pretežno se upotrebljava elektrolitski čist bakar. Ponekad se za vodiče upotrebljava aluminij, ali tada promjeri vodiča moraju biti 30% veći, tj. površina poprečnog presjeka 68% veći u odnosu na bakrene vodiče, da bi im otpor ostao isti. Otpor je najbitniji parametar za prijenos istosmjerne struje.
- **Induktivitet.** Vodiči u kabeu su od obojenih metala (nemagnetni materijali – paramagneti) i nalaze se jedan blizu drugoga, uslijed čega je induktivitet relativno malen i beznačajan, naročito za kratke dužine kabela.

- **Kapacitet.** Budući da su vodiči u kabelu jedan blizu drugoga kapacitet je relativno velik (veći nego kod zračnih vodova istog presjeka). Vodiči većeg presjeka imaju po pravilu veći kapacitet, ali on ovisi i o vrsti i debljini izolacije.
- **Vodljivost (odvod) izolacije.** Vodiči u kabelu dobro su izolirani jedan prema drugom i prema plaštu, pa je odvod neznatan, naročito kod niskih frekvencija i može se zanemariti, međutim kod visokih frekvencija postaje značajan.

B. Sekundarni parametri prenosa

- **Karakteristična imedancija.** Karakteristična impedancija kabela uglavnom ovisi o odnosu induktiviteta i kapaciteta kabela, te o frekvenciji struje koja se prenosi. Kod običnih niskofrekventnih kabela karakteristična impedancija je proporcionalna otporu, dok kod pupiniziranih niskofrekventnih kabela ovisi još i o “težini pupinizacije”, tj. o induktivitetu pupinskih svitaka i koraka pupinizacije. Kod visokofrekventnih kabela karakteristična impedancija određena je gotovo isključivo konstrukcijom kabela, tj. njegovim induktivitetom i kapacitetom.
- **Konstanta prigušenja.** Godine 1886. engleski naučnik Hevisajd (*Haviside*) postavio je poznati izraz za proračun konstante prigušenja voda, koji glasi:

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \left[\frac{N}{km} \right].$$

Kod niskih frekvencija bitan je prvi dio izraza, tzv.

otporno prigušenje, koje do frekvencije od 100 kHz iznosi od 96 do 92%, a ostatak od 4 do 8% otpada na drugi član izraza, tzv. *Odvodno prigušenje*. Otporno prigušenje nastoji se umanjiti smanjivanjem otpora vodiča (povećanjem presjeka vodiča), smanjivanjem kapaciteta (deblja i kvalitetnija izolacija), ili povećanjem induktiviteta. Smanjivanje otpora vodiča ili kapaciteta obično je neekonomično, pa se u praksi uglavnom povećava induktivitet (pupinizacija ili krarupizacija). Kod visokih frekvencija oba su dijela izraza za konstantu prigušenja podjednako važna. Kod frekvencije 1 MHz prvi dio izraza iznosi 50 do 40%, a drugi 50 do 60% ukupnog prigušenja. Budući da je jako teško istovremeno korigirati sve primarne parametre prenosa, gubici kod prijenosa signala visokih frekvencija nastale uslijed prigušenja nadoknađuju se pojačanjem signala u pojačalima, koja se u jednakim razmacima uključuju u kabel. Razmak pojačala ovisi o visini frekvencije struje koja se prenosi i on je to manji, što je viša frekvencija signala koji se prenosi.

- **Fazna konstanta.** Fazno izobličenje prenešenog signala po kabelu veće je nego kod zračnog voda, ali postaje značajno tek za veće dužine kabla
- **Brzina prijenosa.** Brzina prijenosa signala ovisi o frekvenciji signala koji se prenosi i fazne konstante voda. Kod niskofrekventnih kabela je brzina prijenosa relativno mala, dok se kod visokofrekventnih približava brzini svjetlosti $c = 300.000 \text{ km/s}$.

4.3.1. Proraču parametara prijenosa

1. Obični niskofrekventni kabeli

A. Primarni parametri prijenosa

a) Otpor

$$R_o = \rho \frac{l}{S} \quad [\Omega]$$

$$R_F = \frac{R_o}{2} \quad [\Omega]$$

Gdje su:

R_o = otpor osnovnog voda u Ω ;

R_F = otpor fantomskog voda u Ω ;

ρ = specifični otpor vodiča u $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$;

S = površina poprečnog presjeka vodiča u mm^2 ;

l = ukupna dužina vodiča u m.

b) Induktivitet

$$L_o = \left(4 \ln \frac{a}{r} + 1\right) \cdot 10^{-4} \left[\frac{H}{m} \right]$$

$$L_F = \frac{L_o}{2} \left[\frac{H}{m} \right]$$

Gdje su:

L_o = induktivitet osnovnog voda u H/Km;

L_F = induktivitet fantomskog voda u H/km;

a = razmak između vodiča u mm;

r = polumjer vodiča u mm.

c) Kapacitet

$$C_o = \frac{\varepsilon_r}{36 \cdot \ln k \frac{a}{r}} \cdot 10^{-6} \left[\frac{F}{km} \right]$$

za zvijezdastu četvorku:

$$C_F = 2,7 \cdot C_o \left[\frac{F}{km} \right]$$

za DM – četvorku:

$$C_F = 1,6 \cdot C_o \left[\frac{F}{km} \right]$$

Gdje su:

C_o = kapacitet osnovnog voda u F/km;

C_F = kapacitet fantomskog voda u F/km;

ε_r = relativna dielektrična konstanta izolacije;

k = faktor upređanja; 0,94 za parice, 0,75, za zvijezda-četvorke, 0,65 za DM-četvorke

a = razmak između vodiča u mm;

r = polumjer vodiča u mm.

d) Vodljivost izolacije

$G = G_{=} + G_{\sim}$ u S/km

$$G_{=} = \frac{1}{R_i} \text{ u S/km}$$

$$G_{\sim 0} = \omega C_o \operatorname{tg} \delta \text{ u S/km}$$

$$G_{\sim F} = \omega C_F \operatorname{tg} \delta \text{ u S/km}$$

gdje su:

$G_{=}$ = vodljivost izolacije za istosmjernu struju u S/km;

G_{\sim} = vodljivost izolacije za izmjeničnu struju u S/km;

R_i = otpor izolacije u Ω km;

ω = kružna frekvencija prenašene struje u Hz;

C_o = kapacitet osnovnog voda u F/km;

C_F = kapacitet fantomnog voda u F/km;

$\operatorname{tg} \delta$ = dielektrični gubici u izolaciji;

B. Sekundarni parametri prijenosa

a) Karakteristična impedancija

$$Z_k = \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{\omega C}} \quad [\Omega]$$

b) Konstanta prigušenja

$$\alpha = \frac{\sqrt{\omega C R}}{\sqrt{2}} \left[\frac{Np}{km} \right]$$

c) Fazna konstanta

$$\beta = \frac{\sqrt{\omega CR}}{\sqrt{2}} \left[\frac{\text{rad}}{\text{km}} \right]$$

d) Brzina prijenosa

$$v = \frac{\sqrt{2\omega}}{\sqrt{RC}} \left[\frac{\text{km}}{\text{s}} \right]$$

Gdje su u gornjim izrazima:

R = otpor voda u Ω/km ;

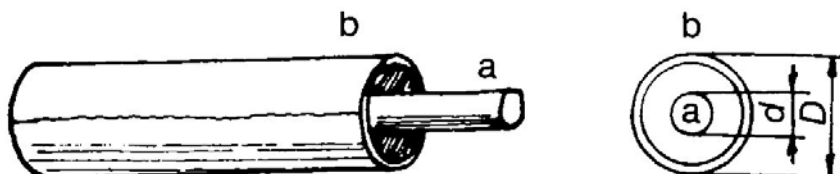
C = kapacitet voda u F/km;

ω = kružna frekvencija prenešne struje u Hz;

4.4. Nesimetrični kabliski vodovi

4.4.1. Općenito

Nesimetrični kabliski vod može se svrstati u širokopojasne TK vodove iako mu je iskoristivo frekventno područje znatno uže nego kod pravih širokopojasnih vodova - valovoda i svjetlovoda. Sastoji se od dvaju kovinskih vodiča, jednog u obliku cijevi i drugog u obliku žice, koja je umetnuta u cijev tako da im je osovina zajednička, po čemu se i nazivaju - koaksijalne parice (tube) (sl. 4.11).



Slika 4.11. Koaksijalna parica (tuba)

Vodiči u koaksijalnoj parici postavljeni su nesimetrično u odnosu na zemlju (uzemljeni kovinski plašt), zbog čega su im primarni parametri prijenosa nejednaki.

Dobre značajke ovih vodova su što omogućuju veliki broj kanala (dobro iskorištenje) te što nema preslušavanja između vodova. Loše značajke ovih vodova su prilična osjetljivost na vanjske elektromagnetske utjecaje zbog nesimetričnosti prema zemlji, te relativno veliko vlastito prigušenje.

Vrste nesimetričnih kabliskih vodova (koaksijalnih parica /tuba/)

Nesimetrični kabliski vodovi dijele se obično prema dimenzijama na četiri osnovna tipa kako je to prikazano tablicom 4.4.:

Tablica 4.4. Podjela koaksijalnih parica prema dimenzijama vodiča

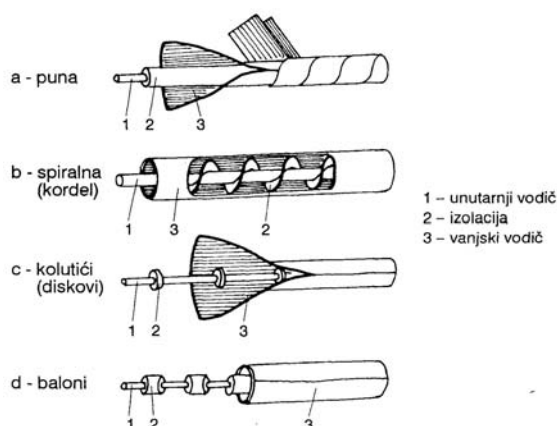
Redni broj	Naziv koaksijalne parice (tube)	Promjer vanjskog vodiča D[mm]	Promjer unutarnjeg vodiča d [mm]
1.	Valika	18	5
2.	Normalna	9,5	2,6
3.	Mala	4,4	1,2
4.	Mikro	2,9	0,7

4.4.2. Osnovne konstruktivne značajke

Glavni dijelovi konstrukcije nesimetričnog TK kabela su: koaksijalne parice (tube) i simetrični vodovi (jezgra), plašt, armatura i zaštitni slojevi.

A. Koaksijalna parica (tuba)

To su dva vodiča postavljena koaksijalno jedan u drugome. Dimenzije vodiča (obično od bakra) mogu biti različite (v. tablicu 4.5). Koaksijalnost vodiča u parici (tubi) održava izolacija, koja može biti puna, spiralna (kordel), kolutići (diskovi), ili balonska (sl. 4.12).



Slika 4.12. Vrste izolacije u koaksijalnim paricama

Za dugačke međumjesne kabele najviše se koriste kolutići, a za kratke montažne kabele puna izolacija. Od materijala za izolaciju traži se niska dielektričnost te mali gubici ($\text{tg } \delta$). U prvo vrijeme mnogo se koristio stirofleks ($\epsilon_r = 2,4$, $\text{tg } \delta = 2 \cdot 10^{-4}$), ali se u novije vrijeme koristi uglavnom polietilen ($\epsilon_r = 2,3$, $\text{tg } \delta = 4 \cdot 10^{-4}$).

Preko vanjskog vodiča koaksijalne parice (tube) omotane su dvije čelične vrpce, koje predstavljaju zaštitu od vanjskih magnetskih polja. Preko čeličnih vrpca omotane su uvijek najmanje dvije vrpce - papirne ili od plastičnih masa - koje predstavljaju zaštitu od galvanskog dodira.

B. Jezgra kabela

Kabeli s koaksijalnim paricama (tubama) najčešće su kombinirani sa simetričnim kabelskim vodovima (parice i/ili četvorke), a vrlo rijetko su jednostavni (obično jednotubni zračni).

Na Hrvatskim željeznicama su usvojene konstrukcije kombiniranih kabela STKA s dvije ili četiri male koaksijalne parice te standardnog broja NF i VF četvorki.

C. Plašt (omotač)

Plašt kabela štiti jezgru kabela od vlage pa mora biti hermetičan. Budući da su koaksijalne parice (tube) osjetljive na promjenu profila, mora biti nešto čvršći nego za kabele sa simetričnim kabelskim vodovima. Izrađen je od aluminija, a na izbor materijala utječe potreba zaštite od uzdužne struje elektrovuče. Glatki aluminij je neprikladan za polaganje i za izradu spojnica, ali jedino takav plašt osigurava propisani redukcijski faktor.

D. Armatura

Štiti plašt kabela od mehaničkih oštećenja. Izrađuje se u obliku namotaja vrpce ili žice, najčešće od čelika.

E. Zaštitni slojevi

Štite armaturu kabela od korozije. Izrađuju se od plastičnih masa (polivinilklorid ili polietilen).

F. Označivanje konstrukcije kabela

Osnovna oznaka kombiniranog signalno-telekomunikacijskog kabela je STA a s koaksijalnom paricom STKA. Ostali podaci kao što su vrsta izolacije, plašta, armature i zaštitnih slojeva vidljivi su iz oznake kabela (tablica xx).

4.4.3. Prijenosna svojstva

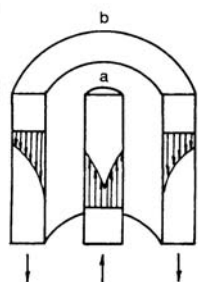
A. Općenito

Prijenosna svojstva nesimetričnih kabljskih vodova definirana su njihovim parametrima prijenosa. Ta vrsta vodova koristi se samo za frekvencije više od 60 KHz, jer bi na nižim frekvencijama zbog nesimetrije prema zemlji bili osjetljivi na vanjske smetnje, a osim toga se takav prijenos ne bi isplatio zbog malog iskorištenja.

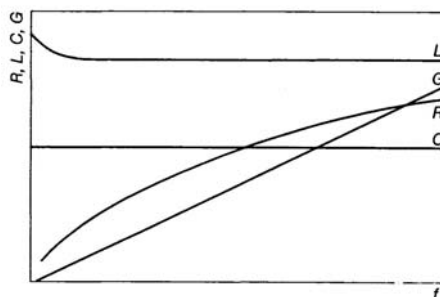
a. Primarni parametri prijenosa

Budući da se ova vrsta TK vodova koristi samo na visokim frekvencijama, a radi se o kovinskim vodičima, dolazi do punog izražaja površinski (skin) efekt i efekt približavanja.

Posljedica je tih efekata - karakteristična raspodjela struje u koaksijalnoj parici (tubi), koja je vidljiva na slici 4.13.



Slika 4.13. Raspodjela gustoće struje u koaksijalnoj parici



Slika 4.14. Frekventna ovisnost primarnih parametara prijenosa kx parice

Frekventna ovisnost primarnih parametara prijenosa nesimetričnih kabljskih vodova pokazana je na slici 4.14.

Vidljivo je da otpor i vodljivost izolacije rastu s frekvencijom (otpor zbog skin efekta, a odvod zbog porasta gubitaka u dielektrikumu), dok su induktivitet i kapacitet konstantni.

b. Sekundarni parametri prijenosa

Karakteristična impedancija

Budući da se ovdje radi o izrazito visokofrekventnom kabeu, karakteristična impedancija je određena isključivo odnosom njegovog induktiviteta i kapaciteta. U telekomunikacijama pretežito se koriste nesimetrični TK vodovi s karakterističnom impedancijom 75 ohma.

Konstanta prigušenja

S obzirom na visoke frekvencije, koje se prenose po toj vrsti vodova, prigušenje je znatno i raste s frekvencijom, pa se mora kompenzirati s pojačalima koja se ugrađuju u vod na određenim razmacima (1,5 - 9 km).

U tablici 4.5. je pregled prigušenja pojedinih vrsta koaksijalnih parica (tuba).

Tablica 4.5. Vlastito prigušenje koaksijalne parice

Vrsta koaksijalne parice	Prigušenje u [dB/km] na frekvenciji [MHz]								
	0,06	0,3	1	4	12	20	30	40	60
9,5/2,6	0,6	1,3	2,4	4,7	8,2	10,6	13,1	15,0	18,4
4,4/1,2	1,5	2,9	5,2	10,4	18,0	23,2	28,5	32,9	40,3
2,9/0,7	2,3	3,9	8,9	13,7	26,5	39,6			

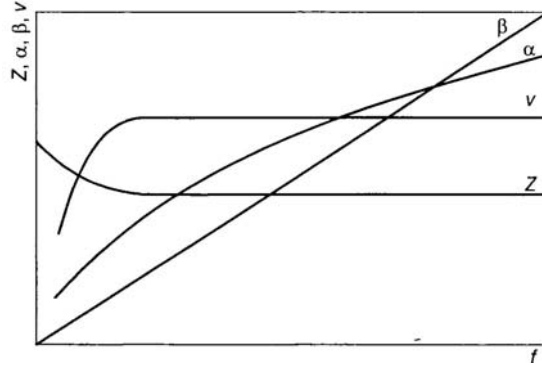
Fazna konstanta

Veća je nego kod simetričnih kablskih vodova i povećava se s frekvencijom.

Brzina prijenosa signala

Veća je nego kod simetričnih kablskih vodova i uglavnom konstantna.

Frekventna ovisnost sekundarnih parametara prijenosa nesimetričnih kablskih vodova pokazana je na slici 4.15.



Slika 4.15. Frekventijska ovisnost sekundarnih parametara prijenosa kx parica

B. Proračun parametara prijenosa

a. Primarni parametri prijenosa

a.1. Otpor

Općenito

$$R' = R_D + R_d = \frac{\rho_D}{D \cdot \pi \cdot \Theta_D} + \frac{\rho_d}{D \cdot \pi \cdot \Theta_d} \cdot 10^3 \quad [\Omega/\text{km}]$$

Ako su oba vodiča od bakra:

$$R' = 0,0835 \cdot \sqrt{f} \cdot \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right) \quad [\Omega/\text{km}]$$

gdje su:

- R_D – otpor vanjskog vodiča [Ω/km]
- R_d – otpor unutarnjeg vodiča [Ω/km]
- ρ_D – specifični otpor vanjskog vodiča [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$]
- ρ_d – specifični otpor unutarnjeg vodiča [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$]
- D – promjer vanjskog vodiča [mm]
- d – promjer unutarnjeg vodiča [mm]

$$\Theta_D = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{\rho_D \cdot 10^5}{\mu_{Dr} \cdot f}}$$

$$\Theta_d = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{\rho_d \cdot 10^5}{\mu_{dr} \cdot f}}$$

- μ_{Dr} – relativna permeabilnost vanjskog vodiča
- μ_{dr} – relativna permeabilnost unutarnjeg vodiča
- f – frekvencija signala [Hz]

a.2. Induktivitet

$$L = \left[2 \cdot \ln \frac{D}{d} + \frac{133,33}{\sqrt{f}} \cdot \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \right] \cdot 10^{-4} \quad [\text{H}/\text{km}]$$

Za vrlo visoke frekvencije vrijedi:

$$L = 2 \cdot \ln \frac{D}{d} \cdot 10^{-4} \quad [\text{H}/\text{km}]$$

a.3. Kapacitet

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot 10^{-6}}{18 \cdot \ln \frac{D}{d}} \text{ [F/km]}$$

a.4. Vodljivost izolacije

$$G = \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta \text{ [S/km]}$$

gdje su:

- D – promjer vanjskog vodiča [mm]
- d – promjer unutarnjeg vodiča [mm]
- ε_r – relativna dielektrična konstanta izolacije

Ako se izolacija sastoji od dva materijala, ukupni ε_r računa se pomoću izraza:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_{r1} \cdot V_1 + \varepsilon_{r2} \cdot V_2}{V_1 + V_2} = \frac{\varepsilon_{r1} \cdot S_1 + \varepsilon_{r2} \cdot S_2}{S_1 + S_2}$$

V_1, V_2 – volumeni pojedinih izolacija

S_1, S_2 – površine pojedinih izolacija

- C – kapacitet voda [F/km]
- ω – kružna frekvencija signala [Hz]
- $\operatorname{tg} \delta$ – dielektrični gubici u izolaciji

b. Sekundarni parametri prijenosa

b.1. Karakteristična impedancija

$$Z_k = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \ln \frac{D}{d} \text{ [}\Omega\text{]}$$

b.2. Konstanta prigušenja

$$\alpha = \frac{R'}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \approx \frac{R_D + R_d}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \text{ [Np/km]}$$

b.3. Fazna konstanta

$$\beta = \omega \cdot \sqrt{C \cdot L} \text{ [rad/km]}$$

b.4. Brzina prijenosa signala

$$v = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \text{ [km/s]}$$

Tablica 4.6. Pregled parametara prijenosa male koaksijalne parice 1,2/4,4 s izolacijom od polietilenskih kolutića

Frekvencija signala	Parametri prijenosa									
	primarni						sekundarni			
	R_D	R_d	$R_D + R_d$	L	C	G	Z_k	α	β	$v \cdot 10^3$
[kHz]	[Ω /km]	[Ω /km]	[Ω /km]	[mH/km]	[nF/km]	[μ S/km]	[Ω]	[mNp/km]	[rad/km]	[km/s]
60	9,9	17,1	27,0	0,318	49	0,86	80,6	167,5	1,49	253,0
1000	19,0	69,7	88,7	0,274	49	14,40	75,0	594,1	23,10	272,5
1300	21,7	79,5	101,2	0,272	49	18,72	74,6	680,7	29,80	274,0

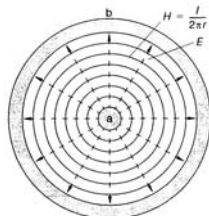
U navedenim izrazima su:

- D – promjer vanjskog vodiča [mm]
- d – promjer unutarnjeg vodiča [mm]
- ε_r – relativna dielektrična konstanta izolacije
- R_d – otpor unutarnjeg vodiča [Ω /km]
- R_D – otpor vanjskog vodiča [Ω /km]
- R' – otpor petlje [Ω /km]
- L – induktivitet [H/km]
- C – kapacitet [F/km]
- G – vodljivost izolacije [S/km]
- ω – kružna frekvencija signala [Hz]

4.4.4. Međusobni utjecaj

Između koaksijalnih parica (tuba) praktično nema utjecaja zato što je galvanski utjecaj spriječen izolacijom svake parice (tube), električnog utjecaja nema jer električno polje egzistira samo unutar parice (tube) (između unutarnjeg i vanjskog vodiča), a magnetskog utjecaja također nema, jer se magnetna polja unutarnjeg i vanjskog vodiča međusobno poništavaju (jednake struje suprotnog smjera).

Zbog minimalnih sprega između koaksijalnih parica (tuba) prigušenje preslušavanja između njih je veliko i povećava se s povećanjem frekvencije (sl. 4.16.).



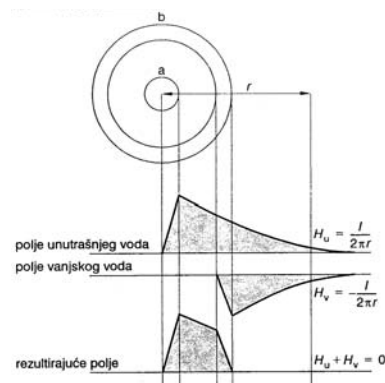
Slika 4.16. Konfiguracija elektromagnetskog polja koaksijalne parice

Na nižim frekvencijama prigušenje preslušavanja relativno je malo, pa se koaksijalne parice (tube) upotrebljavaju samo iznad frekvencije od 60 KHz.

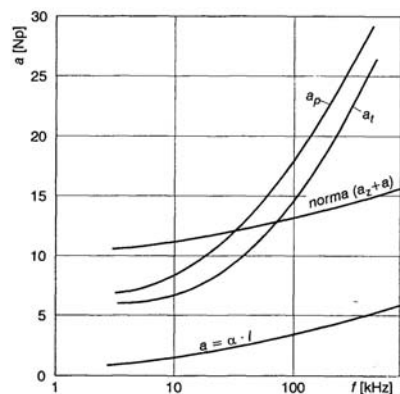
U tablici 4.7. je pregled vrijednosti prigušenja preslušavanja između koaksijalnih parica (tuba) za različite vrste koaksijalnih parica (tuba).

Tablica 4.7. Pregled vrijednosti prigušenja preslušavanja

Vrsta koaksijalne parice	Prigušenje preslušavanja [dB]				
	Na bližem kraju		Na daljem kraju		
	60 kHz	60 MHz	60 kHz	300 kHz	60 MHz
9,5/2,6 mm	> 105	> 142	> 105	> 115	> 140
4,4/1,2 mm	> 98		> 98		
2,9/0,7 mm	> 80	0,5-20 MHz > 135	> 70	0,5-20 MHz > 105	



Slika 4.17. Magnetsko polje koaksijalne parice



Slika 4.18. Frekvencijska ovisnost prigušenja preslušavanja između dvije koaksijalne parice

4.4.5. Polaganje i montaža

Općenito

U odnosu na kabele sa simetričnim vodovima (paricama odnosno četvorkama) nema nekih bitnih razlika (vidi poglavlje o polaganju kabela), s tim da se pri polaganju kabela s koaksijalnim paricama (tubama) mora mnogo više paziti na minimalni polumjer savijanja, jer su ti vodovi vrlo osjetljivi na promjenu profila.

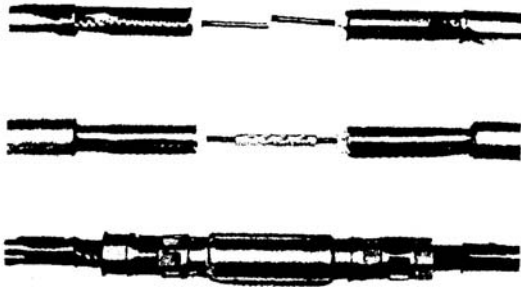
Nastavljanje

Pri nastavljanju koaksijalnih kabela razlikuju se dvije osnovne radnje: nastavljanje vodiča u kabele, te nastavljanje ostalih dijelova kabela (plašt, armatura i zaštitni slojevi).

a. Nastavljanje vodiča

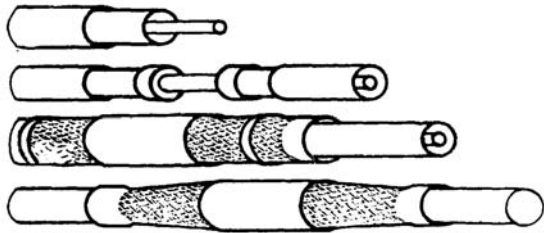
Vodiči koaksijalne parice (tube) mogu se nastavljati na više načina:

- lemljenjem vodiča s cjevčicama odnosno oblogama ili bez njih (sl. 4.19.)



Slika 4.19. Nastavljanje vodiča koaksijalne parice lemljenjem

- pomoću termostežućih spojnica (Tel Pak) (sl. 4.20).



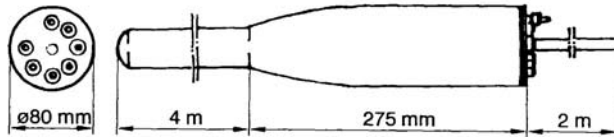
Slika 4.20. Nastavljanje vodiča koaksijalne parice pomiću termoskupljajuće spojnice

b. Nastavljanje ostalih dijelova kabela

Kako koaksijalni kabele imaju isključivo kovinske plašteve, oni se nastavljaju lemljenjem kablenskog plašta na kućište spojnice od olovnog lima ili pomoću termostežućih spojnica. Ako se olovne spojnice polažu izravno u zemlju, preko njih se montiraju zaštitne spojnice, obično od ljevenog željeza i ispunjene su posebnom crnom kablenskom masom. Koaksijalni kabele relativno su skupi, pa su obvezno pod plinskom kontrolom. Zato je na svakoj spojnicu predviđen ventil za priključak kontrolnog manometra ili je već ugrađen kontaktni manometar.

c. Završavanje

Prigodom uvođenja kabela u zgrade, odnosno podzemna kućišta za pojačala, na njima se rade završni nastavci (sl. 4.21.), u kojima se obavlja prijelaz s višetubnoga linijskoga kabela na jednotubne montažne kabele.



Slika 4.21. Završna spojnica za koaksijalne kabele

Pritom se opet razlikuju dvije osnovne radnje: završetak vodiča u kabele, te završetak kablenskog plašta (ostali dijelovi kabela - armatura i zaštitni slojevi - završavaju prije završnog nastavka).

Završetak vodiča

Koaksijalne parice (tube) iz linijskoga kabela završavaju na koaksijalnim utičnicama, koje su ugrađene u poklopac završne spojnice lemljenjem ili zalijevanjem smolom. Pritom se vodiči tube obično leme na priključnice utičnice. Jednotubni montažni kabele priključuju se na koaksijalne utičnice pomoću koaksijalnih utikača.

Završetak kablenskog plašta

Kako koaksijalni kabele imaju kovinske plašteve, oni se završavaju lemljenjem na kućištu završne spojnice od mjedenog lima, a mogu se upotrijebiti i termoskupljajuće cijeviodgovarajućeg promjera. Kod uvida koaksijalnih kabela u elektroenergetska postrojenja treba ugraditi poseban izolacijski prsten, te posebno uzemljiti plašteve kabela i završnog nastavka.

S obzirom na plinsku kontrolu koaksijalnih kabela i završne spojnice imaju na sebi ventil za priključak kontrolnog manometra. U podzemnim kućištima za kablenska pojačala rade se po dva završna nastavka - za dolazni i za odlazni kabele.

4.4.6. Održavanje

Održavanje nesimetričnih (koaksijalnih) kabela je komplicirano, ali s obzirom na plinsku kontrolu kvarovi su na njima rijetki, pa je održavanje ipak jeftino.

Redovito održavanje

U redovito održavanje koaksijalnih kabela pripadaju sitniji radovi, kao što su:

- električno mjerenje vodova
- pneumatsko mjerenje kabela
- otklanjanje smetnji na vodovima
- zamjena kabela i opreme na pojedinim kraćim dionicama
- naknadna zaštita otkopanih podzemnih kabela
- uređenje uzemljenja i osiguranja.

Investicijsko održavanje

U investicijsko održavanje koaksijalnih kabela pripadaju veći radovi, kao što su zamjena dotrajalih kabela i opreme te razne rekonstrukcije na duljim dionicama. Danas se, iz ekonomskih razloga, investicijsko održavanje koaksijalnih kabela svodi zapravo na njihovu zamjenu optičkim kablom.

4.4.7. Mogućnosti iskorištenja, te primjena danas i u budućnosti

Nesimetrični kablenski vodovi korišteni su već od početka samo visokofrekventno i to pretežito četverožično, tj. svaki smjer prijenosa po jednoj koaksijalnoj parici (tubi).

U prvo vrijeme koaksijalne parice (tube) korištene su isključivo za analogni prijenos. Mogućnosti iskorištenja tih vodova uz analogni prijenos predložene su u tablici 4.8.

Tablica 4.8. Mogućnosti prijenosa male koaksijalne parice za analogni prijenos

Minimalno			Maksimalno		
Frekvencijsko područje [kHz]	Broj telefonskih kanala	Razmak pojačala [km]	Frekvencijsko područje [kHz]	Broj telefonskih kanala	Razmak pojačala [km]
60-1300	300	8	312-12388	2700	2

Razvojem digitalne tehnike počeli su se i nesimetrični koaksijalni kabeli upotrebljavati za digitalni prijenos. Mogućnosti iskorištenja tih vodova uz digitalni prijenos predočene su u tablici 4.9.

Tablica 4.9. Mogućnosti prijenosa male koaksijalne parice za digitalni prijenos

Minimalno			Maksimalno		
Brzina prijenosa [Mbit/s]	Broj telefonskih kanala	Razmak repetitora [km]	Brzina prijenosa [Mbit/s]	Broj telefonskih kanala	Razmak repetitora [km]
34	480	4,5	140	1920	1,5

Nesimetrični kabelski vodovi nisu iskorišteni do granice što je dopušta njihova konstrukcija (npr. za koaksijalne parice /tube/ 9,5/2,6 mm oko 200 MHz), nego je to ograničenje više ekonomske prirode, jer bi za prijenos tako visokih frekvencija razmak pojačala bio enormno mali - možda nekoliko stotina metara - što sigurno ne bi bilo ekonomično.

Do danas su nesimetrični kabelski vodovi korišteni u većini slučajeva kada je trebalo prenositi veći broj kanala na veću udaljenost. S obzirom na prirodu materijala svjetlovoda (staklo), oni su već danas znatno jeftiniji od koaksijalnih, pa su se mnoge zemlje sasvim preorijentirale na svjetlovođe. Ekonomski pokazatelji ukazuju da se danas svjetlovod isplati ugraditi kao zamjena već za niskofrekventni kabel kapaciteta 100x4.