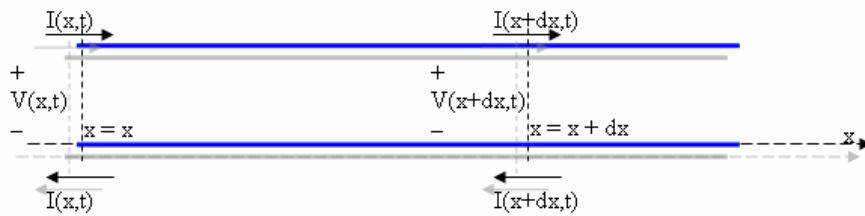


# Transmissiónslinjur

Magnus Danielsen



LEGGINGAR  
Tænk

TØKNIFRÁGREIÐING  
Technical Report

UNDIRVÍSINGARTILFAR  
Teaching Material

UPPRIT  
Notes

NVDRit 2009:14

Heiti / Title **Transmissiónslinjur**

Høvundar / Authors Magnus Danielsen

Ritslag / Report Type *Undirvísingartilfar/Teaching Material*

NVDRit 2009:14

© Náttúruvísindadeildin og høvundurin

ISSN 1601-9741

Útgevvari / Publisher Náttúruvísindadeildin, Fróðskaparsetur Føroya

Bústaður / Address Nóatún 3, FO 100 Tórshavn, Føroyar (Faroe Islands)

Postrúm / P.O. box 2109, FO 165 Argir, Føroyar (Faroe Islands)

• • • • • +298 352550 • +298 352551 • nvd@setur.fo

## Innihaldsyvirlit:

Transmissinslinjukningar	s. 4
Hfrekvenski	s. 6
Lgfrekvenski	s. 6
Bylgjutbreisla	s. 7
Karakteristiskur impedansur	s. 7
Reflektin	s. 8
Kaaleginleikar í ymiskum kaalum	s. 9
Data fyri koaxialkaalar	s. 10

## Froyskur samandrttur:

### Transmissinslinjur

Grundleggjandi hugtk og eginleikar vera vigjrd og lyst vi lkningunum fyri transmissinslinjur. Transmissinslinjuimpedansur, tbreislu eginleikar og tydingur teirra fyri signalini, i vera send eftir linjuni, herundir impedanslast og reflektinir, eru greina.

## English abstract:

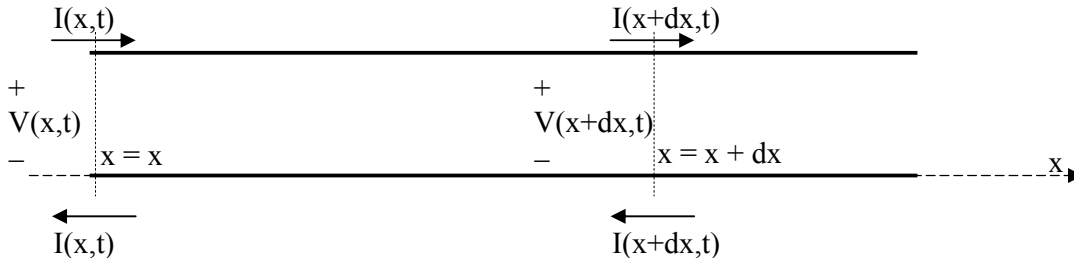
### Transmission Lines

The topic of this note is a description of the fundamental phenomena and characteristics of transmission lines based on the transmission line equations. The characteristic impedance and the propagation constant and velocity are treated. Impedance loads, and reflection coefficients are developed.

# Transmissi3nslinjur :

## 1. Transmissi3nslinjulikningar

Ein transmissi3nslinja hefur tveir leiðarar við elektriskum spennungi millum og leiðir elektriskan streym. Spennungurinn  $V = V(x,t)$  og streymurinn  $I = I(x,t)$  er funkti3nir av staðnum  $x$  og tíðini  $t$ . Í mynd 1 er ein tekning av transmissi3nslinju. Her eru spennings- og streymstöðdirnar vístar í tveimum stöðum á staðarásinum  $x$  við fjarstöðuni  $dx$  ímillum.

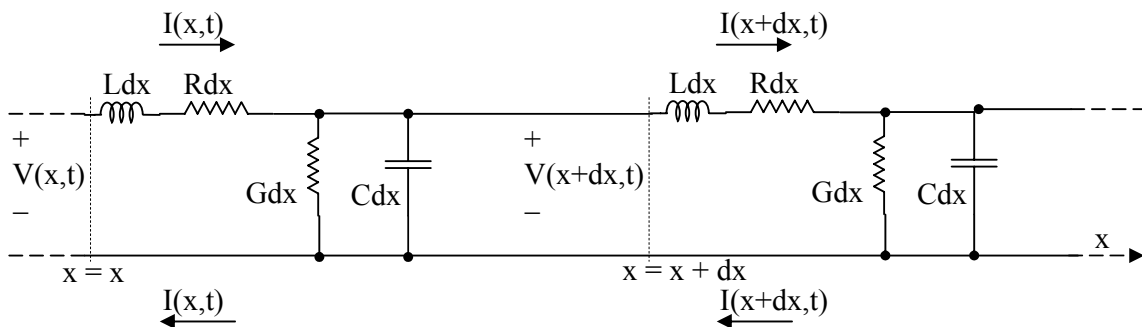


Mynd 1 Transmissi3nslinja

Transmissi3nslinjan og eginleikar hennara verða lýst við fýra stöðum:

Seriumótstöða í leiðarunum (báðum) pr. metur:	$R = \Omega/m$
Seriusjálvindukti3n í leiðarunum (báðum) pr. metur:	$L = H/m$ [H = Henry]
Parallellkapasitetur millum leiðararbar pr. metur:	$C = F/m$ [F = Farad]
Parallellkonduktansur millum leiðararbar pr. metur:	$G = S/m$ [S = Siemens = $\Omega^{-1}$ ]

Við stöði í hesum eginleikum kann ein javngildisrás, víst í mynd 2, verða sett upp. Út frá hesi mynd kunnu transmissi3nslíkningarnar fyri transmissi3nslinjuna verða útleiddar. Javngildisrásin vísir broytingina í streymi og spennungi í infinitesimalari broyting  $dx$  av staðnum  $x$ .



Mynd 2 Javngildisrás fyri transmissi3nslinju

Vit kunnu uppseta hesar streymráslíkningar fyri transmissi3nslinjuna

$$(1) \quad \begin{aligned} I(x+dx) &= I(x) - Cdx \frac{dV(x+dx)}{dt} - GdxV(x+dx) \\ V(x+dx) &= V(x) - Ldx \frac{dI(x)}{dt} - RdxI(x) \end{aligned}$$

Líkningarnar kunnu umskrivast til  
*Transmissionslíkningarnar:*

$$(2) \quad \begin{aligned} \frac{dI(x)}{dx} &= -C \frac{dV(x)}{dt} - GV(x) \\ \frac{dV(x)}{dx} &= -L \frac{dI(x)}{dt} - RI(x) \end{aligned}$$

Vit kunnu nú brúka harmoniskt varierandi spenning og streym:

$$(3) \quad \begin{aligned} I(x, t) &= I(x) \cdot \exp(j\omega t) \\ V(x, t) &= V(x) \cdot \exp(j\omega t) \end{aligned}$$

Her er  $\omega = 2\pi f$  cykliski frekvensurin og  $f$  er frekvensurin. Verður innsett í transmissiónslikningarnar, kann faktorurin  $\exp(j\omega t)$  stytast burtur, og tá fáast:

*Transmissiónslikningarnar fyri harmoniskt varierandi spenningar og streymar:*

$$(4) \quad \begin{aligned} \frac{dI(x)}{dx} &= -(j\omega C + G)V(x) \\ \frac{dV(x)}{dx} &= -(j\omega L + R)I(x) \end{aligned}$$

Við at eliminera ávikavist spenningin  $V$  og síðan streymin  $I$ , kunnu vit út frá hesum líkninum útleiða

*Bylgjulíkingarnar fyri streym og spenning:*

$$(5) \quad \begin{aligned} \frac{d^2 I(x)}{dx^2} &= (j\omega C + G)(j\omega L + R)I(x) = \gamma^2 I(x) \\ \frac{d^2 V(x)}{dx^2} &= (j\omega C + G)(j\omega L + R)V(x) = \gamma^2 V(x) \end{aligned}$$

Her definera vit støddina  $\gamma$ , sum inngongur í høgru síðu av báðum líkningum, sum

*Kompleksa útbreiðslukonstantin:*

$$(6) \quad \gamma = \sqrt{(j\omega C + G)(j\omega L + R)}$$

Vit kunnu nú finna

*Loysnina til bylgjulíkingarnar:*

$$(7) \quad \begin{aligned} I(x) &= I_1 \cdot \exp(-\gamma x) + I_2 \cdot \exp(\gamma x) \\ V(x) &= V_1 \cdot \exp(-\gamma x) + V_2 \cdot \exp(\gamma x) \end{aligned}$$

Loysnin til tíðarheftu transmissiónslikningarnar finst við at falda  $I(x)$  og  $V(x)$  við faktorinum  $\exp(j\omega t)$ :

*Loysn til tíðarheftu transmissiónslikningarnar:*

$$(8) \quad \begin{aligned} I(x, t) &= I_1 \cdot \exp(-\gamma x + j\omega t) + I_2 \cdot \exp(\gamma x + j\omega t) \\ V(x, t) &= V_1 \cdot \exp(-\gamma x + j\omega t) + V_2 \cdot \exp(\gamma x + j\omega t) \end{aligned}$$

Komplexi útbreiðslukonstanturinn verður oft skrifaður sum summin av einum realparti  $\alpha$  og einum immaginerparti  $\beta$ :

$$(9) \quad \gamma = \sqrt{(j\omega C + G)(j\omega L + R)} = j\sqrt{(\omega^2 LC - RG) - j\omega(LG + CR)} \\ = \alpha + j\beta$$

Her er  $\alpha$  dempningskoefficienturinn, og  $\beta$  útbreiðslukonstanturinn. Vit kunnu nú hyggja at tveimum týðningarmiklum dómum fyri ávikavist høgur og lágar frekvensir.

## 2. Háfrekvensøki

Tá frekvensurin er so høgur, og orkutapið er so lítið, at  $R \ll \omega L$  og  $G \ll \omega C$ , er

$$(28) \quad \gamma = \sqrt{(j\omega C + G)(j\omega L + R)} = \sqrt{-\omega^2 LC \left(1 + \frac{G}{j\omega C}\right) \left(1 + \frac{R}{j\omega L}\right)} \\ \cong j\omega\sqrt{LC} \left(1 + \frac{G}{2j\omega C}\right) \left(1 + \frac{R}{2j\omega L}\right) \\ \cong j\omega\sqrt{LC} + \frac{G}{2}\sqrt{\frac{L}{C}} + \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} = \alpha + j\beta$$

$$(29) \quad \text{dempningskonstanturinn: } \alpha = \frac{G}{2}\sqrt{\frac{L}{C}} + \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$(30) \quad \text{útbreiðslukonstanturinn: } \beta = \omega\sqrt{LC}$$

$$(31) \quad \text{bylgjulongdin: } \lambda = 2\pi/\beta$$

Nær hesar treytir eru til staðar má sjálvsagt avgerast út frá teimum talvirðum, ið inngangandi støddir hava, men vanligi er háfrekvensstøðan til staðar, tá frekvensurin fer upp um 10 kHz fyri tveytráðkaðalar og enn lægri frekvensir fyri koaksialkaðalar.

## 3. Lágfrekvensøki

Vanliga kann treytin  $G \ll \omega C$  eisini verða brúkt til heilt lágar frekvensir heilt niður í nánd av null, við tað at  $G \cong 0$  í lágfrekvensøkinum. Lágfrekvensøki verður tá lýst at galda, um frekvensurin er so lágur, at  $R \gg \omega L$ . Tá verður

$$(32) \quad \gamma = \sqrt{(j\omega C + G)(j\omega L + R)} \cong \sqrt{j\omega CR} \\ \cong \sqrt{\frac{\omega CR}{2}} + j\sqrt{\frac{\omega CR}{2}} \\ = \alpha + j\beta$$

$$(33) \quad \alpha \cong \beta \cong \sqrt{\frac{\omega CR}{2}}$$

#### 4. Bylgjuútbreiðsla

Útbreiðsla í *positivan x-rætning*:

$$(34) \quad \begin{aligned} I(x, t) &= I_1 \cdot \exp(-\gamma x + j\omega t) = I_1 \cdot \exp(-j(\beta x - \omega t)) \cdot \exp(-\alpha x) \\ V(x, t) &= V_1 \cdot \exp(-\gamma x + j\omega t) = V_1 \cdot \exp(-j(\beta x - \omega t)) \cdot \exp(-\alpha x) \end{aligned}$$

Útbreiðsla í *negativan x-rætning*:

$$(35) \quad \begin{aligned} I(x, t) &= I_2 \cdot \exp(\gamma x + j\omega t) = I_2 \cdot \exp(j(\beta x + \omega t)) \cdot \exp(+\alpha x) \\ V(x, t) &= V_2 \cdot \exp(\gamma x + j\omega t) = V_2 \cdot \exp(j(\beta x + \omega t)) \cdot \exp(+\alpha x) \end{aligned}$$

Í báðum förum er dempningurinn yvir avstandin  $|x| = L$  lýstur við faktorinum  $\exp(-\alpha L)$ , við tað at  $x$  er negativt og avtakandi, tá byljan útbreiðir seg í negativan  $x$ -rætning. Mátað í decibel verður

Dempningurinn yvir avstandin  $L$ :

$$(36) \quad 20 \log_{10}(\exp(-\alpha L)) = -20 \log_{10}(e) \cdot \alpha L = -8,69 \cdot \alpha L \text{ dB (decibel)}$$

Somuleiðis hevur útbreiðsluferðin í báðar rætningar somu stødd og er

Útbreiðsluferðin:

$$(37) \quad v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{2\pi f \lambda}{2\pi} = f \lambda, \text{ har } f \text{ er frekvensurin, } \lambda \text{ er bylgjulongdin av bylgjuni í}$$

kaðalinum.

#### 5. Karakteristiskur impedansur

Fyri positivan x-rætning er galdandi:

$$(38) \quad \begin{aligned} I(x) &= I_1 \cdot \exp(-\gamma x) \\ V(x) &= V_1 \cdot \exp(-\gamma x) \end{aligned}$$

Um vit differentiera hesar støddir og brúka transmissiónslíkningarnar fyri harmoniskt varierandi streym og spenning finna vit

$$(39) \quad \begin{aligned} \frac{dI(x)}{dx} &= -\gamma \cdot I_1 \cdot \exp(-\gamma x) = -(j\omega C + G) V_1 \cdot \exp(-\gamma x) \\ \frac{dV(x)}{dx} &= -\gamma \cdot V_1 \cdot \exp(-\gamma x) = -(j\omega L + R) I_1 \cdot \exp(-\gamma x) \end{aligned}$$

Av hesum síggja vit at lutfallið millum spenning og streym er konstant. Lutfallið er bert heft av fysisku eginleikumum hjá transmissiónslinjuni:

$$(40) \quad \frac{V_1}{I_1} = + \frac{\gamma}{(j\omega C + G)} = + \sqrt{\frac{j\omega L + R}{j\omega C + G}}$$

Vegna henda egileika definera vit støddina:

*Karakteristiski impedansurin*

$$(41) \quad Z_0 = \frac{V}{I} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{\gamma}{(j\omega C + G)} = \sqrt{\frac{j\omega L + R}{j\omega C + G}}$$

Stöddin av  $Z_0$  er heft av, hvussu stórir frekvensurin er, og finna vit ymiskar støddir í háfrekvensøkinum og lágrekvensøkinum:

$$(42) \quad \text{Háfrekvensøkið:} \quad Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\omega L \gg R, \omega C \gg G \sim 0)$$

Í háfrekvensøkinum er  $Z_0$  sostatt ein reel stødd.

$$(43) \quad \text{Lágrekvensøkið:} \quad Z_0 = \sqrt{\frac{R}{j\omega C}} \quad (\omega L \ll R, G \sim 0)$$

Í lágrekvensøkinum er  $Z_0$  ein kompleks stødd.

Fyri negativa x-rætningin kunnu vit rokna tilsvarendi. Tá er galdandi:

$$(24) \quad \begin{aligned} I(x) &= I_2 \cdot \exp(\gamma x) \\ V(x) &= V_2 \cdot \exp(\gamma x) \end{aligned}$$

Um vit differentiera hesar støddir og brúka transmissiónslíkningarnar fyri harmoniskt varierandi streym og spenning finna vit

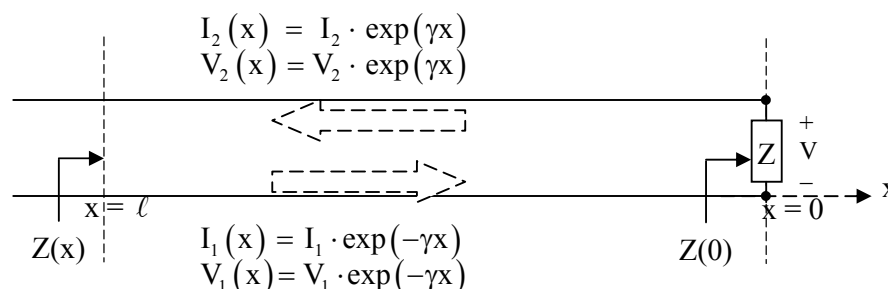
$$(25) \quad \frac{dI(x)}{dx} = \gamma \cdot I_2 \cdot \exp(\gamma x) = -(j\omega C + G) V_2 \cdot \exp(\gamma x)$$

$$(26) \quad \frac{dV(x)}{dx} = \gamma \cdot V_2 \cdot \exp(\gamma x) = -(j\omega L + R) I_2 \cdot \exp(\gamma x)$$

Av hesum síggja vit nú, at lutfallið millum spenning og streym er konstant og hevur somu stødd, men øvugt fortekn sum fyri bylgju við positivum rætningi. Tí verður

$$(27) \quad \frac{V_2}{I_2} = -\frac{\gamma}{(j\omega C + G)} = -\sqrt{\frac{j\omega L + R}{j\omega C + G}} = -Z_0$$

## 6. Reflektión



### Mynd 3 Reflektión á transmissiónslinju

Vit seta nú ein impedans  $Z$  á endan á transmissiónslinjuni og rokna reflekteraðu bylgjuna ( $V_2(x)$ ,  $I_2(x)$ ) í mun til eina innfallandi bylgju ( $V_1(x)$ ,  $I_1(x)$ ).

Í punktinum  $x = 0$  er:



$Z = \frac{V}{I}$ , ið er ohms lóg fyri impedansin  $Z$

$$(44) \quad V = V_1 + V_2$$

$$(45) \quad I = I_1 + I_2$$

$$(46) \quad I_1 = Z_0^{-1} V_1$$

$$(47) \quad I_2 = -Z_0^{-1} V_2$$

$$(48) \quad Z(0) = Z = \frac{V}{I} = \frac{V_1 + V_2}{I_1 + I_2} = \frac{V_1 + V_2}{Z_0^{-1} V_1 - Z_0^{-1} V_2} = Z_0 \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

$$(49) \quad \rho(0) = \rho = \frac{V_2}{V_1} = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

Í punktinum  $x = -\ell$  definera vit impedansin  $Z(-\ell)$  og reflektiónina  $\rho(-\ell)$ :

$$(50) \quad Z(-\ell) = \frac{V_1(-\ell) + V_2(-\ell)}{I_1(-\ell) + I_2(-\ell)} = \frac{V_1(-\ell) + V_2(-\ell)}{Z_0^{-1} V_1(-\ell) - Z_0^{-1} V_2(-\ell)} = Z_0 \frac{1 + \rho(-\ell)}{1 - \rho(-\ell)}$$

$$(51) \quad \rho(-\ell) = \frac{V_2(-\ell)}{V_1(-\ell)} = \frac{V_2(0) \exp(-\gamma \ell)}{V_1(0) \exp(\gamma \ell)} = \rho \exp(-2\gamma \ell)$$

$\rho(-\ell)$  innsett í  $Z(-\ell)$  gevur henda ofta brúktu formulin

$$(52) \quad \begin{aligned} Z(-\ell) &= Z_0 \frac{1 + \rho(-\ell)}{1 - \rho(-\ell)} = Z_0 \frac{1 + \rho \exp(-2\gamma \ell)}{1 - \rho \exp(-2\gamma \ell)} = Z_0 \frac{Z + Z_0 + (Z - Z_0) \exp(-2\gamma \ell)}{(Z + Z_0) - (Z - Z_0) \exp(-2\gamma \ell)} \\ &= Z_0 \frac{Z + Z_0 \tanh(\gamma \ell)}{Z_0 + Z \tanh(\gamma \ell)} \end{aligned}$$

Tá transmissiónslinjan er tapsfrí er  $\alpha < 0$ , og  $\gamma = j\beta$ . Hetta viðførir, at  $\tanh(\gamma \ell) = j \tan(\beta \ell)$  og impedansurin í tapsfríari linju verður

$$(53) \quad Z(-\ell) = Z_0 \frac{1 + \rho(-\ell)}{1 - \rho(-\ell)} = Z_0 \frac{Z + jZ_0 \tan(\beta \ell)}{Z_0 + jZ \tan(\beta \ell)}$$

## 7. Kaðaleiginleikar í ymsum kaðalum

Sum vit hava sæð verða útbreiðslueiginleikarnir í kaðalum avgjördir av teimum 4 støddunum: parallellkapacititi pr. longdareind  $C$ , sjálvinduktióin pr. longdareind  $L$ , seriumótstöðu pr. longdareind  $R$  og parallellkonduktansi pr. longdareind  $G$ . Hesar støddirnar eru aftur avgjördar av tilfarseiginleikum av leiðaratilfari og isolatiónstilfari millum leiðararnar, umframt av geometriini av uppbyggingini av kaðalinum.

*Koaxial kaðal:*

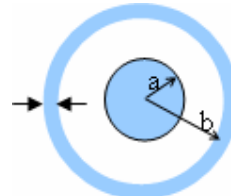
Radius í innara og ytra leiðara eru ávikavist a og b.

$$(37) \quad C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

$$(38) \quad L = \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$(39) \quad v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

$$(40) \quad Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$



Mynd 4 Koaxial kaðal tvørskurður

*Symmetriskur óskermaður par-kaðal:*

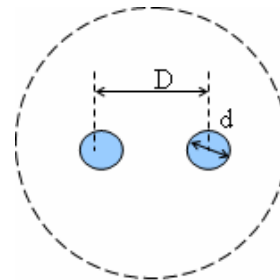
Radius í innara og ytra leiðara eru ávikavist a og b.

$$(41) \quad C = \pi\epsilon \cosh^{-1}\left(\frac{D}{d}\right)$$

$$(42) \quad L = \frac{\mu}{\pi} \frac{1}{\cosh^{-1}\left(\frac{D}{d}\right)}$$

$$(43) \quad v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

$$(44) \quad Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \frac{1}{\cosh^{-1}\left(\frac{D}{d}\right)}$$



Mynd 5 Tvørskurður av óskermaðum par-kaðali

b.

## 8. Data fyri koaxial kaðalar

Table of RG standards (Ref. Wikipedia)										
type	<a href="#">impedance</a> [ohms]	core	dielectric			overall diameter		braid	velocity factor	comments
			type	[in]	[mm]	in	mm			
<a href="#">RG-6/U</a>	75	1.0 mm	Solid PE	0.185	4.7	0.270	6.86	double	0.75	Low loss at high frequency for <a href="#">cable television</a> , <a href="#">satellite television</a> and <a href="#">cable modems</a>
<a href="#">RG-6/UQ</a>	75		Solid PE			0.298	7.57	quad		This is "quad shield RG-6". It has four layers of <a href="#">shielding</a> ; regular RG-6 only has one or two
<a href="#">RG-8/U</a>	50	2.17 mm	Solid PE	0.285	7.2	0.405	10.3			<a href="#">Amateur radio</a> ; Thicknet ( <a href="#">10BASE5</a> ) is similar
<a href="#">RG-9/U</a>	51		Solid PE			0.420	10.7			
<a href="#">RG-11/U</a>	75	1.63 mm	Solid PE	0.285	7.2	0.412	10.5		0.66	Used for long drops and underground conduit
<a href="#">RG-58/U</a>	50	0.9 mm	Solid PE	0.116	2.9	0.195	5.0	single	0.66/0.78	Used for radiocommunication and <a href="#">amateur radio</a> , thin Ethernet ( <a href="#">10BASE2</a> ) and <a href="#">NIM</a> electronics. Common.
<a href="#">RG-59/U</a>	75	0.81 mm	Solid PE	0.146	3.7	0.242	6.1	single	0.66	Used to carry <a href="#">baseband</a> video in <a href="#">closed-circuit television</a> , previously used for cable television. Generally it has poor shielding but will carry an HQ HD signal or video over short distances.

<a href="#">RG-60/U</a>	50	1.024 mm	Solid PE			0.425	10.8	single		Used for high-definition cable TV and high-speed cable Internet.
<a href="#">RG-62/U</a>	92		Solid PE			0.242	6.1	single	0.84	Used for <a href="#">ARCNET</a> and automotive radio antennas.
<a href="#">RG-62A</a>	93		ASP			0.242	6.1	single		Used for <a href="#">NIM</a> electronics
<a href="#">RG-174/U</a>	50	0.48 mm	Solid PE	0.100	2.5	0.100	2.55	single	0.66	Common for <a href="#">wifi</a> pigtaills: more flexible but higher loss than RG58; used with <a href="#">LEMO</a> 00 connectors in <a href="#">NIM</a> electronics.
<a href="#">RG-178/U</a>	50	7×0.1 mm (Ag plated Cu clad Steel)	PTFE	0.033	0.84	0.071	1.8	single	0.69	
<a href="#">RG-179/U</a>	75	7×0.1 mm (Ag plated Cu)	PTFE	0.063	1.6	0.098	2.5	single	0.67	<a href="#">VGA</a> RGBHV
<a href="#">RG-213/U</a>	50	7×0.0296 in Cu	Solid PE	0.285	7.2	0.405	10.3	single	0.66	For radiocommunication and <a href="#">amateur radio</a> , EMC test antenna cables. Typically lower loss than RG58. Common.
<a href="#">RG-214/U</a>	50	7×0.0296 in	PTFE	0.285	7.2	0.425	10.8	double	0.66	
<a href="#">RG-218</a>	50	0.195 in Cu	Solid PE	0.660 (0.680?)	16.76 (17.27?)	0.870	22	single	0.66	Large diameter, not very flexible, low loss (2.5dB/100' @ 400 MHz), 11kV dielectric withstand.
<a href="#">RG-223/U</a>	50	0.88 mm	PE Foam	0.0815	2.07	0.212	5.4	Double	0.66	<a href="#">Sample RG-223 Datasheet</a>
<a href="#">RG-316/U</a>	50	7x0.0067 in	PTFE	0.060	1.5	0.102	2.6	single	0.695	used with <a href="#">LEMO</a> 00 connectors in <a href="#">NIM</a> electronics

PE is [Polyethylene](#); PTFE is [Polytetrafluoroethylene](#); ASP is Air Space Polyethylene<sup>[4]</sup>

Commercial designations										
type	<a href="#">impedance</a> [ohms]	core	dielectric			overall diameter		braid	velocity factor	comments
			type	[in]	[mm]	in	mm			
<b>H155</b>	50								0.79	lower loss at high frequency for radiocommunication and <a href="#">amateur radio</a>
<b>H500</b>	50								0.82	low loss at high frequency for radiocommunication and <a href="#">amateur radio</a>
<b>LMR-195</b>	50									low loss drop-in replacement for RG-58
<b>LMR-200</b> <b>HDF-200</b> <b>CFD-200</b>	50	1.12 mm Cu	PF CF	0.116	2.95	0.195	4.95		0.83	low loss communications, 0.554 dB/meter @ 2.4 GHz
<b>LMR-400</b> <b>HDF-400</b> <b>CFD-400</b>	50	2.74 mm (Cu clad Al)	PF CF	0.285	7.24	0.405	10.29		0.85	low loss communications, 0.223 dB/meter @ 2.4 GHz <sup>[5]</sup>
<b>LMR-600</b>	50	4.47 mm (Cu clad Al)	PF	0.455	11.56	0.590	14.99		0.87	low loss communications, 0.144 dB/meter @ 2.4 GHz
<b>LMR-900</b>	50	6.65 mm (BC tube)	PF	0.680	17.27	0.870	22.10		0.87	low loss communications, 0.098 dB/meter @ 2.4 GHz
<b>LMR-1200</b>	50	8.86 mm (BC tube)	PF	0.920	23.37	1.200	30.48		0.88	low loss communications, 0.075 dB/meter @ 2.4 GHz
<b>LMR-1700</b>	50	13.39 mm (BC tube)	PF	1.350	34.29	1.670	42.42		0.89	low loss communications, 0.056 dB/meter @ 2.4 GHz