



Rafbók



Háspennukerfið

Kafli 5 Háspennulagnir

RAM 702 Kennsluhefti



Háspennukerfið

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

www.rafbok.is

Allir rafiðnaðarmenn og rafiðnaðarnemar geta fengið aðgang án endurgjalds að rafbókinni.

Forsíðu mynd er fengin af heimasíðu Landsnets

Höfundur er Einar H. Ágústsson

Umbrot: Ísleifur Árni Jakobsson

Vinsamlegast sendið leiðréttingar og athugasemdir til Ísleifs Árna Jakobssonar á netfangið iaj@rafis.is

Háspennukerfið

Efnisyfirlit

5 Háspennulagnir	4
5.1 Loftlínur	4
Möstur	4
Einangrarar	6
Leiðar	7
Festingar og samtengingar leiðara.	12
Demparar	13
Jarðleiðar	14
5.2 Háspennukaplar.....	15
Almennt um kapla	15
Plastkaplar	17
5.3 Spennufall og afltap í loftlínunum og jarðköplum.	21
5.4 Spurningar	30

5 Háspennulagnir

5.1 Loftlínur

Möstur

Í kafla 1 var sagt frá uppbyggingu háspennukerfisins hér á landi í stórum dráttum. Þar kom fram að helstu flutningslínur frá raforkuverunum suðvestanlands hafa 220 kV spennu og eru þær byggðar upp með stálmöstrum. Nýjasta línan frá Búrfellsvirkjun er byggð fyrir 400 kV en rekin sem 220 kV-lína. Línurnar tvær frá Kárahnjúkavirkjun til Reyðarfjarðar verða fyrir 415 kV rekstrarspennu.

Byggðalína hefur 132 kV rekstrarspennu og er að mestu leyti byggð upp með trémöstrum af H-gerð, en á nokkrum stöðum þar sem búast má við miklu vindálagi og ísingu, eru kaflar með stálmöstrum. Einnig eru notuð stálmöstur þar sem stefnubreyting verður á línunni.















Elstu flutningslínurnar frá Sogi að Geithálsi og frá Laxár-virkjun til Akureyrar voru 66 kV línur á trémöstrum. Línan frá Ljósafossvirkjun í Sogi hefur nú verið tekin niður.

Háspennukerfið



Þrjár 220 kV loftlínur liggja samhliða á Hellisheiði, Búrfellslínur 2 og 3, og Sogslína 3.

Mynd 5.1

Mastursgerðir		
		I möstur
		A möstur
		H-D-II möstur
		AH mastur
		Stál- mastur
		Stál- möstur
		Horn- mastur

Eins og sjá má á mynd 5.1 eru mastursgerðir mismunandi. Mastursgerð er valin í hverju tilfalli með tilliti margra þátta t.d. rekstursspennu, spanlengd, hæð og burðargetu.

Hæð masturs og burðargeta eru í raun stærðir sem ráðast af spanlengd þeirri sem valin er hverju sinni. Við útreikninga á burðarþoli mastra verður auðvitað að taka tillit til veðurfarsáhrifa, s.s. vindálags og ísingar, Enda þótt ein tegund mastra sé valin sem burðarmöstur línu þarf yfirleitt sérstök möstur þar sem stefnu-breyting verður á línu, eða þar sem hækka þarf línu t.d. vegna þverunar annarrar línu, eða við ár- og fjarðarþveranir, einnig þar sem fösum er víxlað. Endamöstur eru oft frábrugðin öðrum möstrum línunnar, hvort heldur að línan tengist inn á tengi virki eða við breytingu yfir í jarðkapallögn. Sjá töflu á mynd 5.2.

Háspennukerfið

Einangrarar

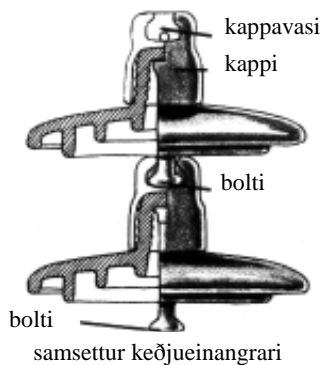
Leiðarar í loftlínum eru festir við burðarmöstur með einöngurum. Efni og gerð einangrara eru valin með tilliti til rekstrarspennugildis, burðargetu, hitapols og veðurfars. Þeir verða að þola ljósboga vegna eldinga, raka, ryk, hita, kulda, saltmengun og ísingu svo eitthvað sé nefnt

Helstu rafmagnslegar bilanaorsakir á einöngurum eru:

1. Vegna galla eða skemmda á postulíni.
2. Vegna yfirspennu eða of lítills loftbils milli leiðara.
3. Vegna skriðstraums sem getur orsakast af of litlu einangrunargildi á yfirborði t.d. vegna salts, ísingar, eða hvoru-tveggja

Skipta má einöngurum í tvær gerðir:

1. Standandi (standeinangrara)
2. Hangandi (t.d. keðju- og stafeinangrara)



Mynd 5.3

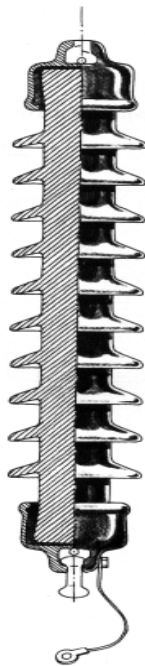
Fyrir hærri spennur en 33 kV eru notaðir hangandi einangrarar. Mynd 5.3 sýnir keðjueinangrara

Algengast er að einangrarar séu gerðir úr postulíni eða gleri, en á seinni árum er farið að framleiða þá fyrir spennur frá 12 til 360 kV úr glertrefjaefni sem er mun léttara.

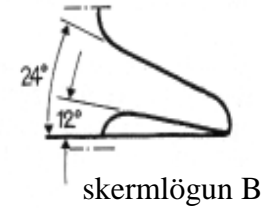
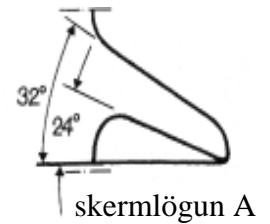
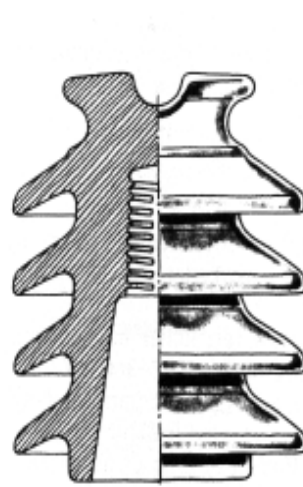
Standandi einangrarar eru sjaldnast notaðir á línur með yfir 33 kV rekstrarspennu, en voru áður fyrir notaðir fyrir línur með spennu upp í 66 kV. Sjá mynd 5.5.

Háspennukerfið

Staf-einangrari fyrir háa spennu.



MYND 5.4



Mynd 5.5

Leiðar

Leiðar í loftlínnum eru gerðir úr mismunandi efnum og fer það eftir ýmsum þáttum, algengastar er eftirtaldar gerðir:

-harðdreginn eir (Cu) eðlisleiðni l minnst 58 siemens.

-harðdregið ál (Al) eðlisleiðni l minnst 35 siemens.

-stál (Fe) eðlisleiðni l minnst 7 siemens.

-stál-ál (FeAl) álleiðir með stálkjarna FE : AL = 1: 6

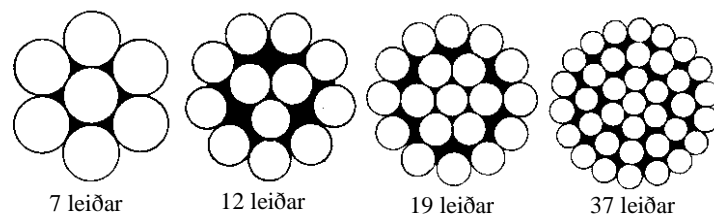
-stál-ál (FeAl) álleiðir m. stálkjarna FE : AL = 1: 4,3

-álblanda (AlMgSi) ál, mangan, kísill

Háspennukerfið

Leiðar í háspennulínur eru valdir með tilliti til málstraums línunnar og ýmisa byggingalegra þátta. Í línur fyrir spennu upp að 66 kV eru notaðir eir-, ál-, eða í sumum tilfellum stál-áleiðar (FeAl). Í línunum yfir 66 kV eru notaðir stál-ál-leiðar eða leiðar úr álblöndu. Fyrir jarðleiði er oft notaður stálleiðir (St 140) eða stál-ál-leiðir.

Leiðar í loftlínur eru framleiddir margþættir og fá þannig mun meiri sveigjanleika heldur en ef þeir væru einþættir auk herra brotþols. Á mynd 5.6 eru sýndir nokkrar staðlaðar gerðir margþættra leiða.

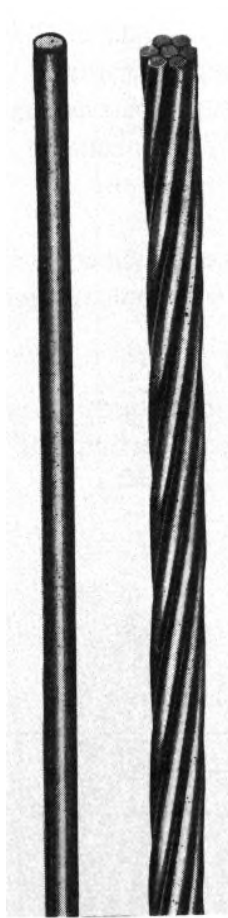


Mynd 5.6

Harðdreginn eir var langmest notaða efnið í háspennuleiðara áður fyrr, enda með góða leiðni og þjálft í meðferð og tærast ekki, en í seinni tíð eru áleiðar og stálstyrktir áleiðar notaðir í helstu háspennuflutningslínur.

Á mynd 5.7 eru sýnar þrjár gerðir leiða. Til vinstri eru eirleiðar, annar grannur og einþættur en hinn sverari og margþættur. Næst kemur áleiðir og síðan tveir stálstyrktir áleiðar. Kjarninn er úr harðdregnum stálþræði sem er einþættur í þeim t.v. en margþættur í þeim t.h. og þar yfir mörg lög af harðdregnum álþræði. Hlutfallið milli þverflatarmáls miðað við eir er 1,6 sinnum. Þ.e. þverflatarmál leiðarans er 1,6 sinnum meira en eirleiðara með sömu straumflutningsgetu.

Háspennukerfið



eirleiðar (CU)



áleiðir (AL)



stálstyrktir áleiðar (FEAL)

Mynd 5.7

Ókosturinn við að nota stál sem hluta af leiði er að þá koma fram segultregðu- og hvirfilstraumatöp auk straumvarma-tapanna í línunni. Kosturinn er hinsvegar aukinn styrkleiki sem er algjörlega nauðsynlegur í mörgum tilfellum s.s. við þverun fjarða, þar sem vindálag getur orðið mikið, þar sem ísingarhætta er mikil o.s.v.fr

Í töflu 5.1 er í fremsta dálki staðlaður sverleiki harðdregins eirvírs í háspennulínunum og eins og sjá má eru þetta sömu stöðluðu sverleikarnir og notaðir eru almennt í rafleiðurum.

Háspennukerfið

Næsti dálkur sýnir fjölda þráða sem mynda viðkomandi leiði.

Í þriðja dálki er sýnt þvermál hvers þráðar og í þeim fjórða er heildarþvermál leiðisins.

Í dálki 5 er gefin upp þyngd leiðis í kílóum miðað við lengdina 1 km en það er mikilvægur þáttur í háspennulínunum varðandi burðarþol staura og mastra.

Brotþol er gefið upp í einingunni kíló-newton og sýnir í raun þann kraft sem þarf til þess að slíta leiðinn.

Í töflunni er viðnám gefið upp við $+20^{\circ}\text{C}$ eins og eðlisviðnám efnis í leiði er miðað við, hinsvegar er gert ráð fyrir að háspennuleiðar geti orðið allt að 80°C heitir við fulla straumnotkun.

Háspennukerfið
Tafla yfir eirleiða í háspennulínunum.

Þver- flatarmál (mm ²)	Fjöldi þráða	Þvermál þráðar (mm)	Þvermál leiðis (mm)	Þyngd (kg/km)	Brotþol (kN)	Viðnám við 20°C (ž/km)
16	7	1,70	5,1	145	6,3	1,127
25	7	2,14	6,4	225	9,8	0,721
35	7	2,52	7,6	315	13,7	0,515
50	7	3,00	9,0	455	19,6	0,361
70	19	2,14	10,7	635	27,4	0,259
95	19	2,52	12,6	860	37,3	0,191
120	19	2,85	14,3	1090	47,0	0,151
150	37	2,25	15,8	1370	58,8	0,121
185	37	2,52	17,6	1680	72,5	0,0961
240	37	2,85	20,0	2200	94,0	0,0757
240	61	2,25	20,3	2200	94,0	0,0758

Tafla 5.1
Tafla yfir álleiða í háspennulínunum

Leiðis númer	Þver- flatarmál (mm ²)	Fjöldi þráða	Þvermál þráðar (mm)	Þvermál leiðis (mm)	Þyngd (kg/km)	Brotþol (kN)	Viðnám við 20°C (ž/km)
16- 7	25,4	7	2,15	6,45	70	4,3	1,127
25- 7	39,8	7	2,69	8,07	110	6,6	0,720
35- 7	55,6	7	3,18	9,54	152	8,7	0,515
50- 7	79,4	7	3,80	11,40	220	12,1	0,361
70- 7	111,3	7	4,50	13,50	310	16,8	0,257
70-19	110,4	19	2,72	13,60	310	18,1	0,261
95-19	150,9	19	3,18	15,90	415	23,7	0,191
120-19	191,3	19	3,58	17,90	530	29,4	0,150
150-19	238,9	19	4,00	20,00	660	36,3	0,120
185-37	293,9	37	3,18	22,26	820	46,3	0,0981
240-37	380,8	37	3,62	25,34	1060	58,5	0,0757
300-37	476,7	37	4,05	28,35	1320	72,4	0,0605

Tafla 5.2

Háspennukerfið

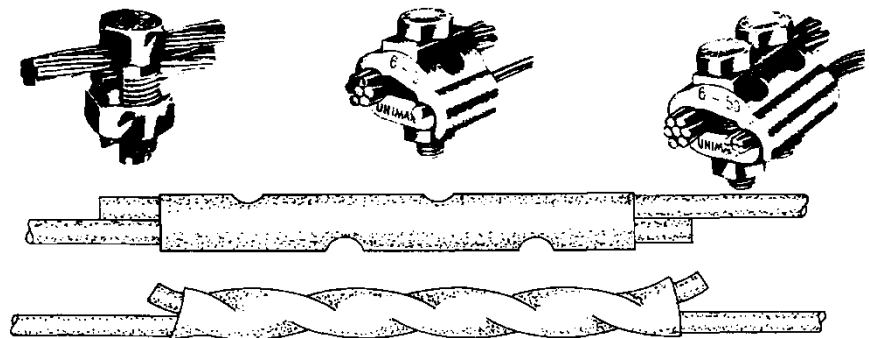
Stálstyrktir álleiddar (FeAl)

Gerð	Ál			Stál			Leiðir í heild						
	Númer	Fjöldi þráða og þvermál	Þverflm. mm ²	Vigt kg/km	Fjöldi þráða og þvermál	Þverflm. mm ²	Vigt kg/km	Þverflm. mm ²	Þverm. mm	Vigt kg/km	Brotpól Nm		
16-6/1	6	2,32	25.36	69.5	1	2.32	4,23	33	29.59	6,96	102.5	9,3	1,1313
25-16/1	6	2,90	39.63	109	1	2.90	6,61	52	46.24	8,70	161	14,2	0,7240
35-16/1	6	3,44	55.76	153	1	3.44	9,29	72	65.05	10,32	225	19,4	0,5145
50-6/1	6	4,11	79.60	218	1	4.11	13,27	103	92.87	12,33	321	27,3	0,3605
70-6/1	6	4,86	111.30	305	1	4.86	18,55	145	129.85	14,58	450	38,1	0,2578
70-26/7	26	2,34	111.81	308	7	5.46	18,21	143	130.02	14,82	451	41,1	0,2582
95-26/7	26	2,72	151.08	417	7	6.36	24,71	194	175.79	17,24	611	55,0	0,1911
95-30/7	30	2,53	150.82	416	7	7.59	35,19	276	186.01	17,71	692	66,2	0,1916
120-26/7	26	3,06	191.21	527	7	7.14	31,14	244	222.35	19,38	771	67,2	0,1510
120-30/7	30	2,85	191.38	528	7	8.55	44,66	350	236.04	19,95	878	83,3	0,1510
150-26/7	26	3,42	238.84	659	7	7.98	38,90	305	277.74	21,66	964	83,5	0,1209
150-30/7	30	3,18	238.27	658	7	9.54	55,60	436	293.87	22,26	1094	100,7	0,1213
185-26/7	26	3,79	293.32	809	7	8.85	47,84	375	341.16	24,01	1184	101,5	0,0984
185-30/7	30	3,53	293.60	810	7	10.59	68,51	537	362.11	24,71	1347	122,9	0,0984
240-26/7	26	4,32	381.09	1051	7	10.08	62,07	486	443.16	27,36	1537	128,9	0,0757
240-30/19	30	4,02	380.77	1051	19	12.05	86,67	681	467.44	28,13	1732	159,7	0,0759
240-54/7	54	3,00	381.70	1054	7	9.00	49,48	388	431.18	27,00	1442	120,9	0,0757
253-Condor	54	3,08	402.33	1111	7	9.24	52,15	409	454.48	27,72	1520	124,2	0,0718
300-26/7	26	4,83	476.38	1314	7	11.28	77,73	609	554.11	30,60	1923	161,2	0,0606
300-30/19	30	4,50	477.13	1317	19	13.50	108,79	855	585.92	31,50	2172	199,9	0,0606
300-54/7	54	3,35	475.96	1314	7	10.05	61,70	483	537.66	30,15	1797	145,9	0,0607
329-Curlev	54	3,52	525.50	1451	7	10.56	68,12	534	593.62	31,77	1985	160,0	0,0550
354-Finch	54	3,65	565.03	1560	19	10.95	71,57	563	636.60	32,85	2123	175,3	0,0512
380-Grakle	54	3,78	605.99	1673	19	11.35	76,89	605	682.88	34,03	2278	186,9	0,0477
405-Pheasant	54	3,90	645.08	1781	19	12.15	81,71	642	726.79	35,55	2423	196,4	0,0448
481-Parrot	54	4,25	766.06	2115	19	12.75	97,03	763	836.09	38,25	2878	233,2	0,0377
506-Falcon	54	4,36	806.23	2226	19	13.10	102,43	805	908.66	39,26	3031	245,0	0,0359

Tafla 5.3

Festingar og samtengingar leiðara.

Leiðar eru festir við einangrara með sérstökum klemmum, sem gera verður miklar kröfur til þar sem þær eiga að geta þolað mikið og langvarandi hnjask án þess að los komist á festinguna. Sjá má ýmsar gerðir festinga ofantil á mynd 5.8 bæði fyrir eir- og álvíra og samtengingar með kjörnuðum og snúnum hólkum.

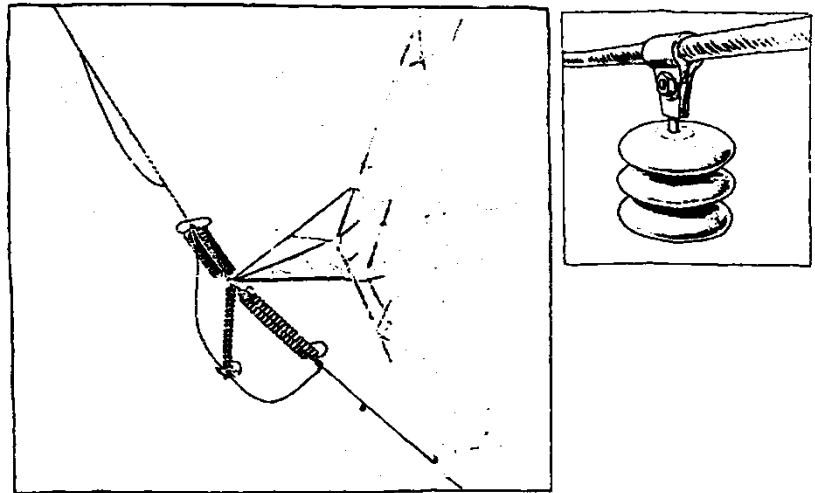


Mynd 5.8

Háspennukerfið

Demparar

Til þess að draga úr sveifluáraun á einangrarana og verja þá skemmdum eru settir demparar á leiðana. Áður voru notuð lóð sem voru hengd á leiðana en í dag eru settar lykkjur úr sama efni og leiðarnir skammt frá festingunni við einangrarana. Demparinn vinnur þannig að kraftar þeir sem skapast vegna sveifla á línunni jafnast út áður en þeir ná inn á festinguna við einangrarann. Sjá mynd 5.9.



Mynd 5.9

Háspennukerfið

Jarðleiðar

Til þess að koma í veg fyrir að eldingar slái niður í háspennulínur er strengdir einn eða fleiri jarðleiðar fyrir ofan fasaleiðana. Tilgangurinn er sá að leiða eldingarstrauminn til jarðar framhjá fasaleiðunum. Jarðleiðarnir eru staðsettir fyrir ofan fasaleiðana til þess að eldingar hitti þá fyrst fyrir. Þetta krefst því hærri mastra. Jarðleiðarnir tengjast jarðskautum í möstrunum og stöðvunum og bæta þannig heildarjarðskaut kerfisins.

Ekki tíðkast að setja jarðleiða á háspennulínur fyrir neðan 60 kV. Ástæðan er sú að þegar eldingu slær niður í jarðleiði sem er staðsettur fyrir ofan fasaleiðana, fer eldingarstraumurinn til jarðar gegnum mastrið. Vegna viðnámsins í jarðskautinu myndast spennunumur milli masturstoppis og fasaleiðanna sem er það hár að straumur kemst yfir í fasaleiðana, nokkurskonar baksláttur eldingarstraumsins. Þetta gerist vegna þess að einangrarar línu undir 60 kV hafa ekki nógu mikið einangrunargildi.

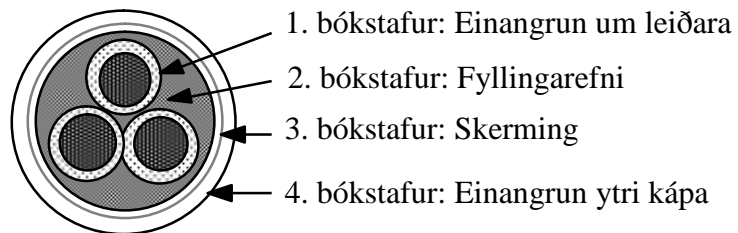
Það hefur sem sagt engan tilgang að strengja jarðleiða fyrir ofan fasaleiðana við þessi lægri spennugildi. Hinsvegar hefur jarðleiðir þau áhrif að spanaðar yfirspennur í línunni minnka um u.þ.b. 30% og við tvo jarðleiða um u.þ.b. 50%. Til þess að geta nýtt lægri möstur er því möguleiki á að strengja jarðleiða undir fasaleiðum.

Háspennukerfið

5.2 Háspennukaplar

Almennt um kapla

Sú regla tíðkast að gefa til kynna byggingu kapla með bókstafsmerkingu, þ.e. fjórum bókstöfum, sjá mynd 5.10.



Mynd 5.10

Þar næst er gefin upp spenna, þá fjöldi leiða, þverflatarmál og efni og loks norm (staðall). Ef við tökum dæmi gæti merking kapals verið eftirfarandi:

TXSP 145 kV 1 x 240 mm² A NEN 136.78

Þetta merkir að leiðirinn er með PEX-einangrun eða þverbundið polyetylen (T), engri fyllingu (X), eirskerminu (S) og ytra byrði úr plasti PVC (polyvinylklóríð) (P). Málspenna 145 kV, einn leiðir með 240 mm² þverflatarmál, úr áli. Og að lokum framleiðslustaðall (framl.eftir norskum staðli). Sjá töflu á næstu síðu.

Háspennukerfið

1. bokstav Isolasjon	2. bokstav Kappe o.l.	3. bokstav Armering, skjerm	4. bokstav Ytre kappe, korr.v.
A. Fiber, tett kledning	A Aluminium (evt. m/korr.vern)	A Strekkavlastning gam	A Garn + asfalt
B Tape + isolasjon	B.	B 2 stalband	B Forbedret hydrocarbon bestandighet
C	C Polycloropren — PCP —CPE	C Staltradfletting	C PCP—CPE
D Impregnert papir dryppfri kabel	D	D Oljekabelforst. (langs og tvers)	D
E Polyetylen — PE Polypropylen — PP	E PE eller PP	E Oljekabelforst. (tverrforst).	E PE eller PP
F PE eller PP + fyllmasse	F Fyllkappe/Bandering	F Staltrad, flat	F Halvledende PE
G Polyamid — PA	G	G	G PE + PA
H	H Klorosulfonert polyetylen CSP	H Stalband + staltrad	H CSP
I. Halogenfri, brann- hemmende plast	I Halogenfri, brann- hemmende plast	I 4 stalband + evt. aluminiumtrader	I Halogenfri, brann- hemmende plast
K Papir (evt. m/Kordel)	K Bly	K Staltrad, plast- eller gummibelagt	K Bly
L Luft + plast	L Al-laminat + plastkappe (*)	L Aluminiumlaminat	L
M Ekspandert PE eller PP + fyllmasse	M Polyester	M	M Polyester
N	N Polyuretan	N Stallaminat	N Polyuretan
O Impregnert papir Oljekabel	O Bly + plast	O Koppertrad-fletting	6
P Polyvinylklorid PVC	P Polyvinylklorid PVC	P Bronsetrad-fletting	P Polyvinylklorid PVC
Q Fiber i rot'	O	Q Staltrad + evt. motspiral	
R EP-gummi	R EP-gummi	R Staltrad + fyllmasse	R EP-gummi
S Silikongummi	S Fyllkappe/bandering + konsentrisk leder (*)	S Konsentrisk leder	S Silikongummi
T Tverrbundet polyetylen PEX	T	T Al-trad + stalband	T PEX
U	U Etylen vinylacetat — EVA/EMA	U	U EVA/EMA
V Fiber i spor	V Aluminium-skjerm	V Dobbel tradarmering,	V Andre HF-materialer
W Andre materialer	W Andre materialer	W Ba=seline	W Andre materialer
X Ingen isolasjon	X Ingen kappe o.l.	X Ingen armering e.i.	X Ingen kappe eller korr.vern
Y	Y Kobber-skjerm (evt. m/tilleggsjikt)	Y	Y
Z Fluorplast (PTFE, FEP)	Z Fluorplast	Z	Z Fluorplast

Háspennukerfið

Miklu meiri kröfur eru gerðar til háspennukapla heldur en lágspennukapla eins og gefur að skilja og sérstaklega hvað varðar einangrunarefni.

Pappírseinangrun var algeng hér áður og var olíuvættum pappír snúið um leiðana. Þykkt pappírsins jókst með spennugildinu. Nú hafa plastefni leyst pappírinn af hólmi.

Plastkaplar

Plastkaplar hafa einangrun úr þverbundnu polyeten PEX, en í ytra byrði er gjarnan PVC. Þeir komu fyrst á markað á sjöunda áratugnum með spennugildi upp í 24 kV. Árið 1976 var spennugildið komið í 145 kV og 1980 í 300 kV.

Þeir eru framleiddir bæði með ál- og eirleiðum.

Álleiðar eru gjarnan í jarðköplum, en eirleiðar í sjököplum vegna hins góða titringsþols eirsins. Nú hefur ný tækni gert mögulegt að nota álleiða einnig í sjököplum.

Þykkt PEX-einangrunarinnar er í réttu hlutfalli við spennugildið eins og sjá má á töflunni hér fyrir neðan.

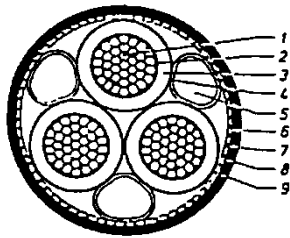
Málspena (kV)	7-12	14-24	21-36	50-52	42-72
Þykkt einangrunnar (mm)	3,4	5,5	8,0	10,0	14,0

Utan um leiðinn kemur þunnt lag sem kalla má skerm, það er gjarnan úr polyeten (PEX) sem er óhreinkað með sóti 30%. Við það fæst viðnámsgildi sem er á milli viðnáms í leiðaranum og PEX-einangruninni. Viðnám skermisins er um 1000 Ω á lengdarmetra. Til samanburðar hefur PEX-einangrunin viðnámið 10^{10} Ω á lengdarmetra. Skermar sem þessir eru gjarnan nefndir hálfleiðar.

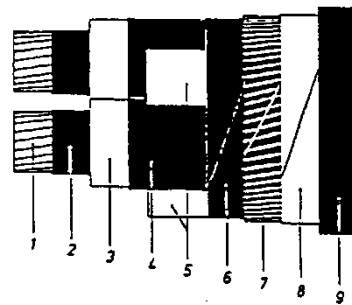
Háspennukerfið

Undir ytra byrði kapalsins er skermur úr sívölum eirvír sem undinn er um kapalinn og er bilið milli leiðanna ekki meira en 4 mm. Utan um þráðarskerminn er undið gagnstætt eir filmu eða þráðum sem tengja saman innri skermþræðina.

Után um skerminn er síðan vafið filmu úr einangrunarefni



1. Áleiðir
2. Hálfleiðir (skermur)
3. PEX- einangrun
4. Hálfleiðir (skermur)
5. Fyllistrengur
6. Hálfleiðara band
7. Eirskermur
8. Band
9. Ytra-byrði PVC



Kapal gerð:

TXSP 12 kV 3x 240mm²

Mynd 5.12

Ytra byrði er úr plasti PVC eða PE (polyetylen) sem eru framleidd í mismunandi gæðaflokkum. Undir venjulegum kringumstæðum er PVC talið "sjálflökkvandi" efni þ.e. ekki eldfimt, en við sérstakar aðstæður getur það brunnið og gefur þá frá sér þéttan reyk sem inniheldur eittraðar gastegundir. PVC verður stökkt í miklum kulda. PE-efnið sem er í raun grunnefnið í PEX gefur hinsvegar ekki frá sér eitruð gös við bruna, en er eldfimara heldur en PVC.

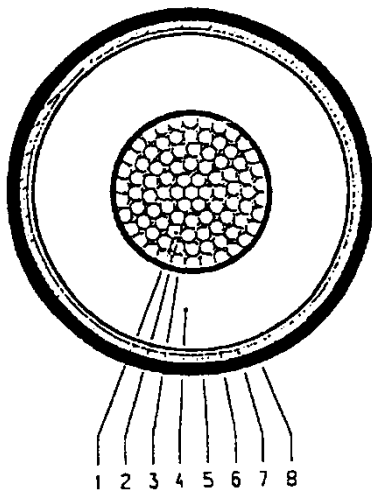
Háspennukerfið

Besta ráðið til þess að hindra að raki komist inn í kapal er að setja í hann málmkappa. Algengast hefur verið að nota kappa úr blýi, en einnig er notað ál, eir eða stál. Þetta á við um kapla sem eiga að liggja í sérstaklega röku umhverfi eða í þeim tilfellum þar sem gerðar eru sérstakar kröfur. Málmkappar þyngja mjög kapla og kemur það sér vel þar sem þeir liggja í sjó eða vötnum þar sem straumar gætu valdið hreyfingu. Á seinni árum eru framleiddir kappar úr málmþynnu sem er aðeins hluti úr mm að þykkt, með plasthúð beggja vegna.

Sjókaplar eru gjarnan styrktir með einu eða tveimur lögum af galvanhúðuðum stálvír. Tvö lög sem eru undin gagnstætt gefa kaplinum meiri togstyrk og kemur í veg fyrir að hann vindi upp á sig. Sjá mynd 5.14. Kaplar sem eiga að hengjast upp hafa sérstaka burðarlínu úr galvanhúðuðum stálstreng.

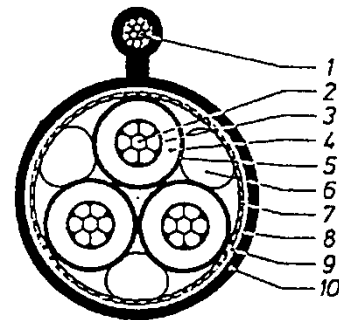
Háspennukerfið

TKXE 145 kV 1x1200



1. Áleiðir margþættur
2. Hálfleiðara- fylli efni
3. Hálfleiðaraskermur
4. PE-einangrun
5. Hálfleiðaraskermur
6. Blýkappi
7. Ytra-byrði PE

Mynd 5.13

TSWP 12 kV 3x50 mm²

1. Burðarvír, galvanhúðaður stálvír
2. Áleiðir
3. Innri hálfleiðir PE
4. Einangrun PEX
5. Ytri hálfleiðir
6. Fyllistrengur
7. Hálfleiðandi band
8. Eirskermur
9. Gagnvarið léreft
10. Ytra-byrði PVC

Mynd 5.14

Háspennukerfið

5.3 Spennufall og afltap í loftlínnum og jarðköplum.

Í útreikningum á háspennulínnum og köplum verður að taka tillit til span- og rýmdaráhrifa, svokallaðs launviðnáms (X_L og X_C) auk raunviðnámsins í leiðurunum.

Orsök spanáhrifa (launviðnáms X_L) er segulsviðið sem umlykur hvern leiðara og sveiflast í takt við tíðni straumsins. Slík spanáhrif eru kölluð sjálfspan eða spönuð mótspena.

Sjálfsspanið markast einnig af sverleika og lengd leiðis svo og fjarlægðar á milli leiðara.

Jafna fyrir launviðnám verður:

$$X_L = 2 \pi f \cdot L \cdot l = \Omega / \text{km fasi}$$

Spanviðnám línu eða kapals má reikna út frá uppgefnum launafllstuðli (L), sem finna má í töflu frá viðkomandi framleiðanda.

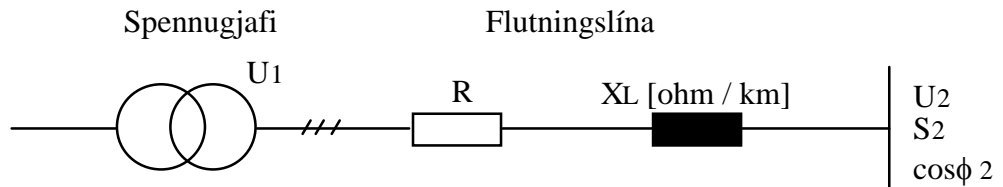
Spanviðnám sem við getum notað í útreikningum dæma hér í kaflanum eru:

-loftlínur $X_L = 0,4 \Omega / \text{km}$

-jarðkaplar $X_L = 0,12 \Omega / \text{km}$

Háspennukerfið

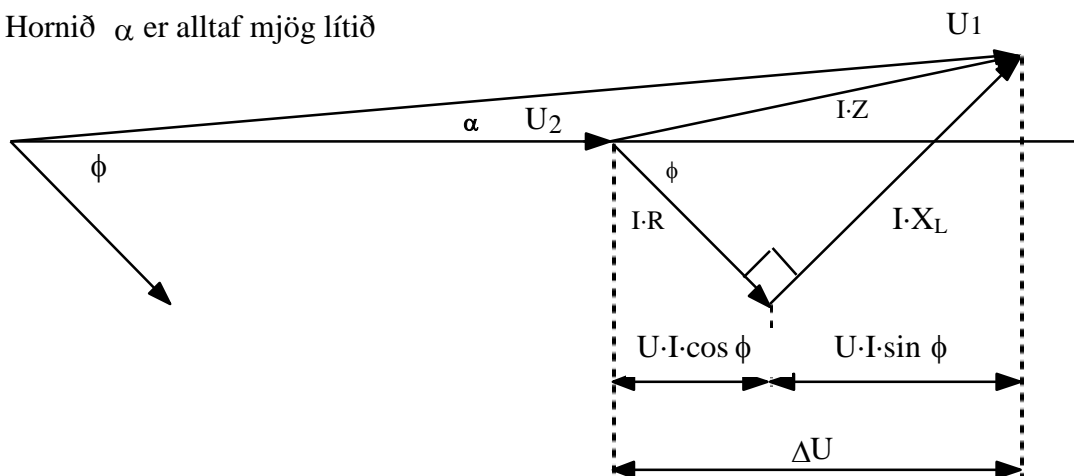
Mynd 5.15 er jafngildismynd fyrir kapla og línur með raun og spanviðnámi.



Mynd 5.15

Mynd 5.16 er vektoramynd fyrir kapal eða loftlínu með raun- og spanviðnámi.

Hornið α er alltaf mjög lítið



Mynd 5.16

Spennufall í leiðaranum má reikna með eftirfarandi jöfnu:

$$\Delta U = (R \cdot I \cdot \cos\phi + X \cdot I \cdot \sin\phi) \cdot \sqrt{3} \text{ [V]}$$

Afltap (varmatöp) eru í hlutfalli við raunviðnámið og strauminn í öðru veldi eða Watts lögmál:

$$\Delta P = R \cdot I^2 \cdot 3 \text{ [W]}$$

Háspennukerfið

Spennufall og afltap í háspennulínunum eða köplum er oft sett upp sem hlutfall af hundraði. Bæði tölpin eru reiknuð sem hlutfall af skiluðum stærðum (U_2 og P_2).

Hlutfallslegt spennufall verður:

$$\Delta U\% = (\Delta U / U_2) \cdot 100$$

Hlutfallslegt spennufall verður:

$$\Delta P\% = (\Delta P / P_2) \cdot 100$$

Dæmi 5.1:

Háspennukapall liggur í jörð frá stað A til staðar B. Kapallinn er af gerðinni PEX 3 · 95 mm² álleiðarar 900 m langur. Spanviðnám er 0,12 Ω / km. Spennan mælist 220 kV og straumlestun 240 A. $\cos\phi$ er 0,8 .

Reiknaðu spennufall og afltap í kaplinum.

Lausn:

Spennufall:

$$\Delta U = (R_f \cdot I \cdot \cos\phi + X_f \cdot I \cdot \sin\phi) \cdot \sqrt{3} \text{ [V]}$$

R_f = raunviðnám fasa. X_f = launviðnám fasa.

Raunviðnám:

$$R_f = \rho_{al} \cdot l / A = 0,028 \cdot 900 / 95 = 0,265 \text{ } \Omega$$

Spanviðnám:

$$X_{L_f} = 0,12 \text{ } \Omega / \text{km} \cdot 0,9 = 0,108 \text{ } \Omega$$

Spennufall:

$$\Delta U = 240 \cdot \sqrt{3} (0,265 \cdot 0,8 + 0,108 \cdot 0,6) = 114,9 \text{ V}$$

Afltap:

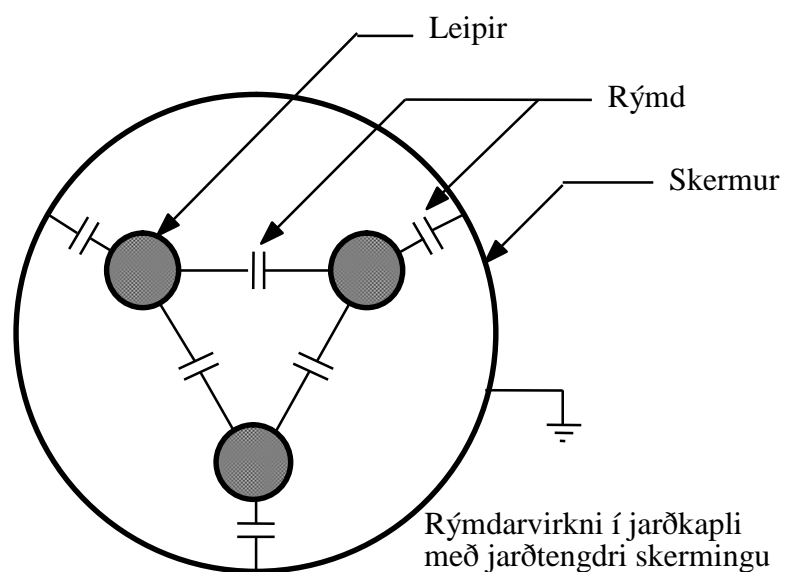
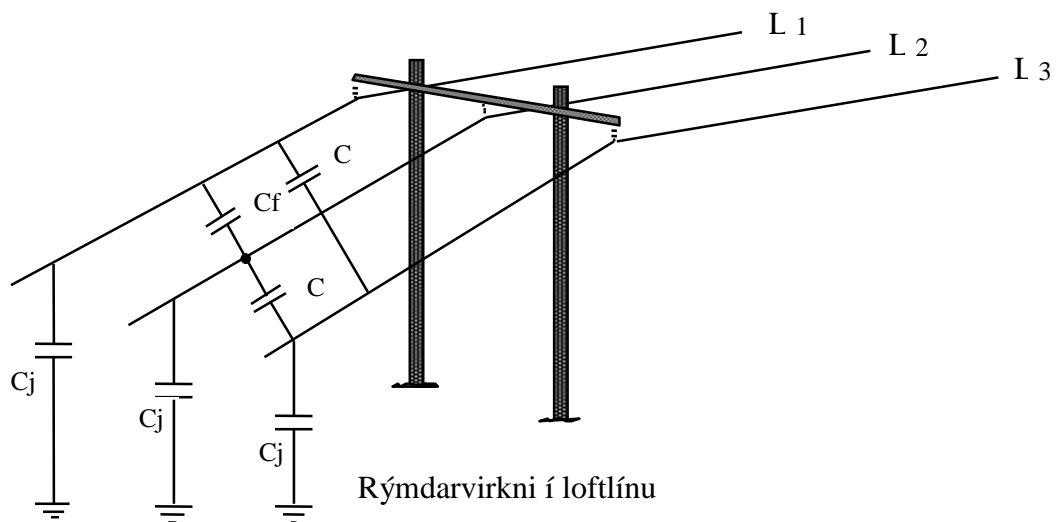
$$\Delta P = I^2 \cdot R_f \cdot 3 = 240^2 \cdot 0,265 \cdot 3 = 45.792 \text{ W}$$

Háspennukerfið

Í háspennuneti er alltaf rýmd í köplum og loftlínunum sem eykst með lengd leiðara og hærra spennugildi. Þegar rýmdarviðnám er það mikið að það fer að skipta máli í útreikningum verður að bæta því við í dæmið, sem hluta af launviðnámi viðkomandi kapals eða loftlínu.

Milli leiðaranna og annarsvegar og leiðara og jarðar hinsvegar myndast rýmd. Samanlagða rýmd má kalla rekstrarrýmd viðkomandi loftlínu eða kapals C_r .

Sjá myndir 5.17 og 5.18.



Mynd 5.18

Háspennukerfið

Rýmd er gefin upp í bæklingum framleiðenda sem Farad á km og fasa. Stærð rekstrarrýmdar fer eftir þverflatarmáli leiðara, lengd og fjarlægð milli leiðara og leiðara til jarðar. Einnig skiptir tegund einangrunarefnis máli þegar um jarðkapal er að ræða.

Rýmdarviðnám:

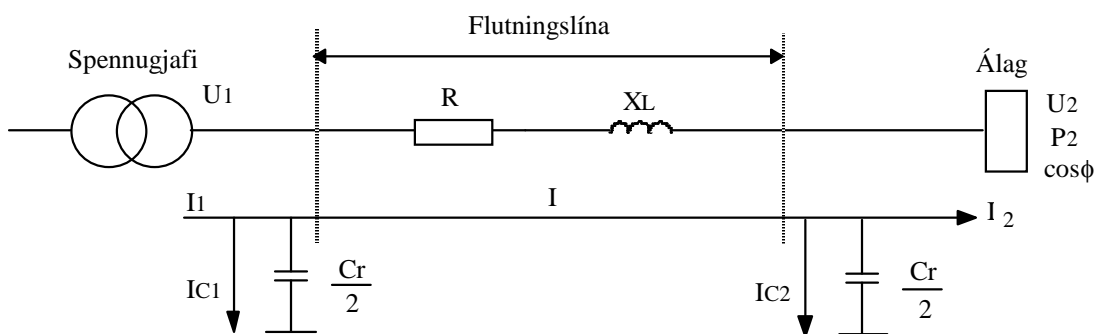
$$X_c = (1 / 2 \pi f \cdot C_r) \cdot l \quad [\Omega / \text{km} \cdot \text{fasi}]$$

Í dæmum hér skulum við nota eftirfarandi rekstrarrýmd C_r .

- línur $C_r = 9 \cdot 10^{-9} \text{ F / km}$ á fasa

- kaplar $C_r = 300 \cdot 10^{-9} \text{ F / km}$ á fasa [24kV]

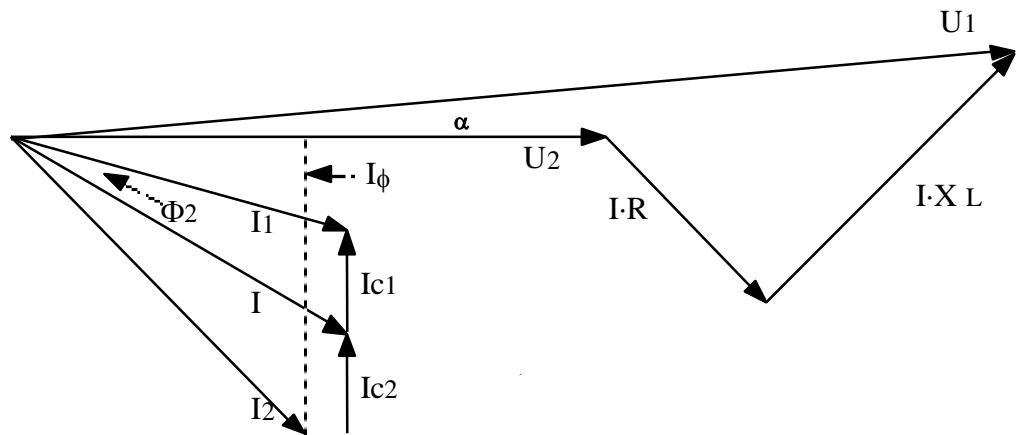
Góð aðferð til þess að gera sér grein fyrir rekstrarrýmd á jafngildismynd (mynd 5.19) er að hugsa sér þetta á hvorum helmingi línunnar sem tákna helming rýmdar línunnar eða kapalsins.



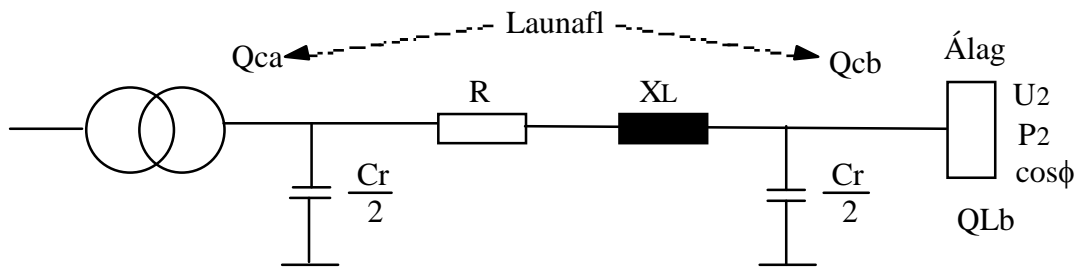
Mynd 5.19

Með hjálp jafngildismyndarinnar má teikna straumvektora-mynd fyrir net með raun- span- og rýmdarviðnámi.

Háspennukerfið



Mynd 5.20



Mynd 5.21

Reikna má spennufall og afltap loftlínu eða kapals á eftirfarandi hátt:

Við deilum rekstrarrýmdinni í tvennt og staðsetjum í sitt hvorum helmingi ($C_r/2$).

Rekstrarrýmdin orsakar launafli (Q_c) sem er gagnstætt launaflinu (Q_L) sem myndast vegna spanáhrifa.

Við helmingum einnig launaflið Q_c . Helminginn sem er nær spennugjafa táknum við með Q_{ca} og þann sem er nær álaginu Q_{cb} .

Launaflið álagsmegin verður:

Háspennukerfið

$$Q_{cb} = 3 \cdot \frac{U_{2f}}{X_c} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{U^2}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{1}{\omega \frac{Cd}{2}}} = 3 \cdot \frac{U_2^2}{3} \cdot \omega \cdot \frac{1}{2} Cd = \frac{1}{2} Cd \cdot \omega \cdot U_2^2 \text{ [VAr]}$$

Launafl vegna rýmdar drögum við síðan frá launaflí vegna spans:

$$Q_b = Q_{2b} - Q_{cb}$$

Nú má setja saman tvær þekktar jöfnur til að ná fram líkingu fyrir spennufalli.

$$1 \quad \Delta U = (R_f \cdot \cos\phi + X_f \cdot \sin\phi) \cdot I \cdot \sqrt{3} \text{ [V]}$$

$$2 \quad I = \frac{S_2}{U_2 \cdot \sqrt{3}}$$

Líking nr.2 sett inn í líkingu nr. 1

$$\Delta U = (R_f \cdot \cos\phi + X_f \cdot \sin\phi) \cdot \frac{S_2}{U_2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \sqrt{3} \text{ [V]}$$

$$\Delta U = \frac{R \cdot P_2 + X_L \cdot Q_b}{U_2} \text{ [V]}$$

Þetta er líkingin fyrir spennufall þegar rýmdarviðnám er fyrir hendi.

Dæmi 5.2

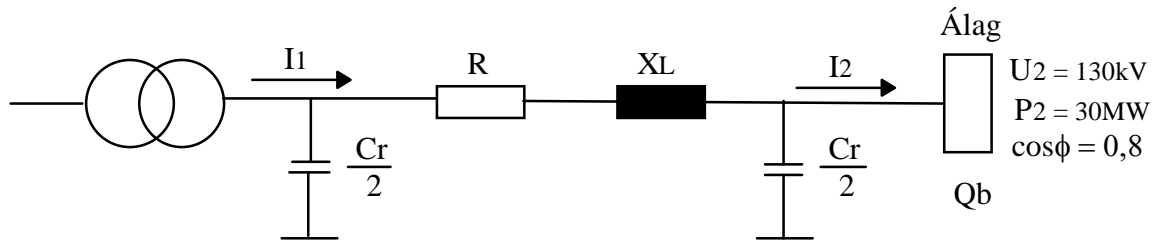
Loflína er 100 km löng og hefur spennuna 130 kV undir álagi.

- $C_r = 9 \cdot 10^{-9} \text{ F / km} = 9 \cdot 10^{-7} \text{ F á línunni}$

- $X_L = 0,4 \text{ } \Omega / \text{ km} = 40 \text{ } \Omega \text{ á línunni}$

- $R = 0,116 \text{ } \Omega / \text{ km} = 11,6 \text{ } \Omega \text{ á línunni}$

Háspennukerfið



a) Reiknaðu spennufallið á línunni.

b) Reiknaðu afltapið í línunni.

Lausn:

Fyrst reiknum við launaflið vegna rýmdar álagsmegin í línunni við lestun.

$$Q_{cb} = \frac{1}{2} C d \cdot \omega \cdot U_2^2 \text{ [VAr]}$$

$$Q_{cb} = \frac{1}{2} (9 \cdot 10^{-7}) \cdot (2\pi \cdot 50) \cdot (130 \cdot 10^3)^2 = 2,4 \text{ MVar}$$

Launafli vegna spans verður:

$$Q_{Ib} = U_2 \cdot \tan\phi \text{ [VAr]}$$

$$Q_{Ib} = 30 \text{ MW} \cdot 0,75 = 22,5 \text{ [VAr]}$$

Launafli vegna spans að frádregnu launafli vegna rýmdar verður:

$$Q_{b'} = Q_{Ib} - Q_{cb} \text{ [VAr]}$$

$$Q_{b'} = 22,5 - 2,4 = 20,1 \text{ MVar}$$

$$\Delta U = \frac{R \cdot P_2 + X_L \cdot Q_{b'}}{U_2} \text{ [V]}$$

$$\Delta U = \frac{11,6 \cdot 30 \cdot 10^6 + 40 \cdot 20,1 \cdot 10^6}{130 \cdot 10^3} = 8861,5 \text{ [V]}$$

Háspennukerfið

Afltap línunnar verður:

$$\Delta P = I^2 \cdot R \cdot 3 \text{ [W]}$$

$$\Delta P = \left(\frac{P_2}{U_2 \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\phi} \right)^2 \cdot R \cdot 3 \text{ [W]}$$

$$\Delta P = \left(\frac{30 \cdot 10^6}{130 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,8} \right)^2 \cdot 11,6 \cdot 3 = 965,24 \text{ kW}$$

Háspennukerfið

5.4 Spurningar

5.1

Hvernig burðarmöstur eru aðallega notuð í Byggðalínu?

5.2

Einangrurum má skipta í tvo flokka eftir gerð, þeir eru?

5.3

Hvaða hámarkshitastigi er gert ráð fyrir varðandi leiða í loftlínunum?

5.4

Hverjir eru kostir og ókostir við notkun stáls í leiða í loftlínunum?

5.5

Hver er tilgangurinn með að setja jarðleiði efst í flutningslínur?

5.6

Útskýrðu kapalmerkingarnar: PSFP, PFXP, RCOP.

5.7

Hvaða efni er yfirleitt í leiðum jarðkapla?

5.8

Hvaða ráð er notað til þess að hindra að raki komist inn í jarðkapla?

Háspennukerfið

5.9

Hve miklu spanviðnámi X_L er reiknað með á km í loftlínu?

5.10

Hvort er meiri rýmd í köplum eða loftlínunum?

5.11

Búrfellslína 2 liggur frá Búrfellsvirkjun að tengivirki í Hamranesi.

Viðnám línunnar er $7,55 + j45,5 \Omega$ á fasa.

Spenna í Búrfelli er 229 kV, raunafli 86 MW og launafli 21 MVA.

- Hver er spennan við Hamranes?
- Hve mikið afl tapast í línunni?

5.12

Búrfellslína 1 liggur frá Búrfellsvirkjun í Sog.

Viðnám línunnar er $3,76 + j26,5 \Omega$ á fasa.

Spenna í Búrfelli er 229 kV, raunaflið 92 MW og launaflið 33 MVA.

- Hver er spennan við Sog?
- Hve mikið afl tapast í línunni?

Háspennukerfið

5.13

Reiknaðu spennufall og afltap milli Geitháls og ASP og ASP og A1 við fulla straumlestun. Reikna skal með X_f viðnámi loftlínu $0,4 \Omega/\text{km}$ og jarðstreng $0,12 \Omega/\text{km}$. og $\cos\phi = 0,8$

Aðveitustöð
við Geitháls

ASP aðveitustöð
við Elliðaár

A1 aðveitustöð
við Rauðarárstíg

Loflína 3,9 km	Strengur 3,3 km	Strengur 5,7 km
$3 \times 1 \times 194 \text{ mm}^2$ ál	$3 \times 1 \times 630 \text{ mm}^2$ eir	$3 \times 1 \times 500 \text{ mm}^2$ eir
Flutningsgeta 612 A		Flutningsgeta 585 A