

Raforðumálastjóri
Orkudeild

ORKUFLUTNINGUR SOGSLÍNU II

eftir

Björn Kristinsson

janúar 1961

- I. Tilgangurinn með athugun þessari er sá að finna, hvort Sogslína II geti annað orkuflutningi frá fullvirkjuðu Sogi, 96 MW, og að auki 15 MW jarðhitarafstöð í Hveragerði.

Forsendur útreikninganna eru eftirfarandi:

- a. Spennu á 33 kV teinum við Elliðaár er haldið stöðugri 34,5 kV.
- b. Frá 132 kV teinum koma fjórir 25 MVA samhliðatengdir spennar niður á 33 kV-in og einn 25 MVA spennir niður á 66 kV-in. Þótt einn spennanna mati ekki inn á sömu skinnur og hinir fjórir, veldur álag hans að sjálf-sögðu spennufalli á línunni. Með tilliti til samtíma-stuðulsins milli þessara spenna, sem ég gizza á að sé 125/115, má líta á þennan fimmta spennir sem samhliðatengdan og af stærðinni 15 MVA. Athugaðar eru tvær stillingar á umsetningu spennanna, þ.e. 124/34,5 kV og 117,8/34,5 kV. Skammhlaupsspenna er 12,9% og við-nám vafninganna, séð háspennumegin, er 4,56 Ω. Samanlagt viðnám spennanna verður:

$$X_{sp} = a \cdot \frac{U^2}{\sum N} = 0,129 \cdot \frac{124^2}{115} = 17,2 \Omega$$

$$R_{sp} = \frac{rN}{\sum N} = 4,56 \cdot \frac{25}{115} = 0,99 \Omega$$

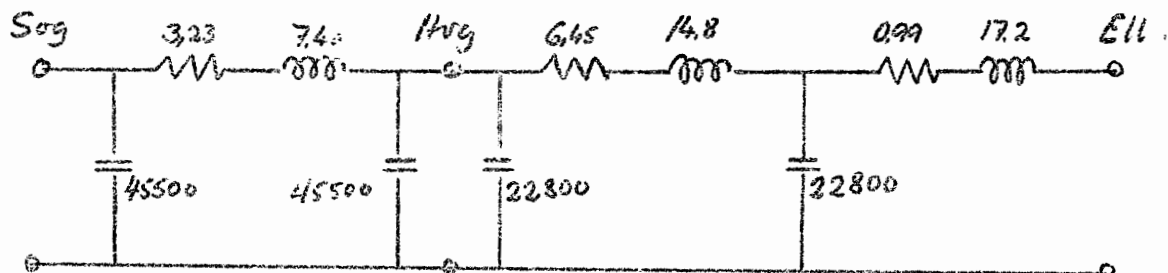
- c. Sogslína II er 50,9 km, en hér verður reiknað með 17 km frá Sogi að Hveragerði og 34 km frá Hveragerði að Elliða-ám. Kennistærðir línunnar eru reiknaðar:

$$r = 0,190 \Omega/\text{km} \quad \text{við } 50^\circ\text{C}$$

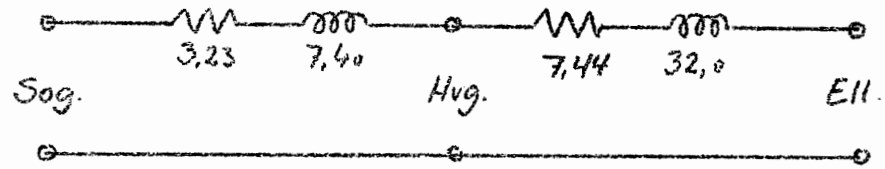
$$x_L = 0,435 \Omega/\text{km}$$

$$x_C = 0,387 \text{ M}\Omega/\text{km}$$

Út frá þessum stærðum má finna jafngildismynd fyrir línuna



Með góðri nálgun má sleppa kapacitetunum, þegar línan er mikið lestuð, og þá fæst:



Náttúrulegt afl línunnar er:

$$N = \frac{U^2}{\sqrt{X_L X_C}} = \frac{132000^2}{\sqrt{0,435 \cdot 387000}} = 43 \text{ MW}$$

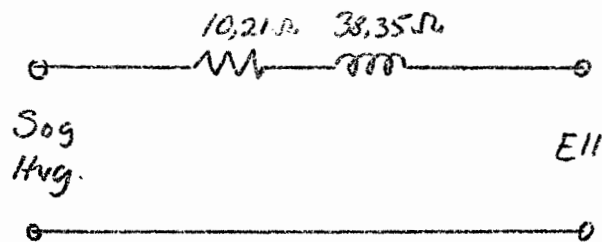
II. Reiknað er út spennufall og teiknað hringrit, fyrir móttökuenda línunnar. Eins og áður er sagt, er gert ráð fyrir 34,5 kV á teinum við Elliðaár. Ef umsetningarhlutfall spennanna er reiknað með, þá er spennunni haldið á 124 kV eða 117,8 kV í móttökuenda. Hringritin eru tvö og sýna spennuna við Sog, sem fall af afli og $\cos \phi$ við Elliðaár en eins og áður segir, með mismunandi umsetningu í spennunum við Elliðaár. Til þess að geta teiknað hringritið fyrir spennuna við Sog geri ég ráð fyrir að Hveragerðisstöðin mati inn á línuna á sama stað og hinar stöðvarnar og línuspottinn frá Sogi að Hveragerði stytur í hlutfalli við aukningu spennufallsins vegna flutningsins, svo sama spennufall fæist og áður.

$$L_{SH}^1 = L_{SH} \cdot \frac{I_s}{I_A + I_s} = L_{SH} \cdot \frac{N_s}{N_H + N_s} = 17 \cdot \frac{90}{15+90} = 14,6 \text{ km}$$

Hér táknar S Sog og H Hveragerði.

$$R^1 = 0,190 \cdot 14,6 = 2,77 \Omega$$

$$X^1 = 0,435 \cdot 14,6 = 6,35 \Omega$$



Næst er að reikna út matrixustuðla, kóördínata og radía fyrir hringritin:

Matrixustuðlar

$$\begin{aligned} A &= 1 + ZY_E &= 1 + Z \cdot 0 &= 1 \underline{/0} \\ B &= Z &= 10,21 + j38,35 &= 39,6 \underline{/75^{\circ}05'} \\ C &= Y_E + Y_S + ZY_E Y_S &= 0 + 0 + Z \cdot 0 \cdot 0 &= 0 \\ D &= 1 + Z Y_S &= 1 + Z \cdot 0 &= 1 \underline{/0} \end{aligned}$$

Ellidaár 124/34,5 kV (miðtappi)

$$\begin{aligned} x &= -\frac{a}{b} U_E^2 \cos \varphi_b = \frac{1}{39,6} 124^2 \cos 75^{\circ}05' = -100 \text{ MW} \\ y &= -\frac{a}{b} U_E^2 \sin \varphi_b = -\frac{1}{39,6} 124^2 \sin 75^{\circ}05' = -375 \text{ MVA} \\ r &= \frac{U_E}{b} \cdot U_S = \frac{124}{39,6} \cdot U_S = 3,14 \cdot U_S \text{ MVA} \end{aligned}$$

Ellidaár 117,8/34,5 kV (lægsti tappi)

$$\begin{aligned} x &= -\frac{a}{b} U_E^2 \cos \varphi_b = \frac{1}{39,6} \cdot 117,8^2 \cos 75^{\circ}05' = -90 \text{ MW} \\ y &= -\frac{a}{b} U_E^2 \sin \varphi_b = \frac{1}{39,6} 117,8^2 \sin 75^{\circ}05' = -338 \text{ MVA} \\ r &= \frac{U_E}{b} U_S = \frac{117,8}{39,6} \cdot U_S = 2,97 \cdot U_S \text{ MVA} \end{aligned}$$

Miðjur hringanna eru í (x, y) og síðan eru teiknaðir hringar með radíus r fyrir nokkur gildi á spennunni U_S við Sog.

III. Sé gert ráð fyrir að Sogstöðvarnar hafi 96 MW afl og sendi um 90 MW inn á línuna og Hveragerðisstöðin sendi 15 MW að auki, má ætla, að frátöldum tötum, að um 100 MW fáiist við Elliðaár. Við athugun á hringritunum sést að spennan við Sog er mjög háð $\cos \varphi$ við Elliðaár. Sett upp í töflu fyrir 100 MW (mesta álag) og 40 MW (ætlað minnsta álag), sem fall af $\cos \varphi$, verður spennan við Sog eins og hér er sýnt. Seinni taflan sýnir tappa á spennunni við Sog.

Cos ϕ við Elliðaáir í línu	Spenna við Sog				Mesta neðsýnl. komp. við Elliðaáir (MVA) frá		
	124,7/34,5 ums.		117,8/34,5 ums.		Cos ϕ = 0,8		
	100 MW	40 MW	100 MW	40 MW	cos ϕ = 0,9	cos ϕ = 0,9	cos ϕ = 0,9
0,85	*	135,2	*	129,5	16,8	*	*
0,90	*	133,5	144,3	127,7	26,5	*	*
0,92	*	132,8	142,6	126,8	32,3	5,8	*
0,95	144,9	131,5	139,7	125,8	42,0	15,5	0
0,97	142,8	130,6	137,5	124,8	50,0	23,5	8,0
0,99	139,9	129,5	134,7	123,6	61,7	34,2	18,7
0,995	138,7	128,8	133,4	123,0	65,0	38,5	23,0

Spennar við 132 kV teina við Sog

	Ljósafoss millisamband	Írafoss	Steingrímsstöð
Afl	13,5 MVA	2 x 21 MVA	2 x 16,5 MVA
Lægri spenna	66 kV Y	10,5 kV Δ	6,6 kV Δ
Hærrí spenna	144,90 kV Y 141,45 - 138,00 - 134,55 - 131,10 -	144,90 kV Y 141,45 - 138,00 - 134,55 - 131,10 -	141,30 kV Y 137,90 - 134,00 - 131,10 - 127,70 -
Impe- dans	14,02 %	10,96 %	11,8 %

Hæstu toppar á spennum við Írafoss og í millisambandinu eru 144,90 kV en í Steingrímsstöð er hæsti tappi 141,30 kV. Hringritin gefa til kynna spennuna á teinum við Írafoss og er þá eftir að bata við spennufalli í línunni upp að Steingrímsstöð, sem gerir það að verkum, að spennarnir þar skera sig enn frekar úr. Hér vaknar spurning um það, hve hárrí spennu sé unnt að ná á 132 kV teinunum við Írafoss við fullt álag. Topparnir á spennunum sýna aðeins vafringahlutfallið. Spennufallið í spennunum við fullt álag, $\cos \phi = 0,85$ og skammhlaupsspenna um 10% er um 5% í ytra spennufalli. Þetta býðir, t.d. við Írafoss, að spenna rafala þarf að vera $10,5 + 5\% = 11,0$ kV við fullt álag til þess að unnt sé að ná þeirri spennu sem topparnir eru merktir með. Ef sú leið væri farin að stilla alla spenna á efsta tappa, þyrfti spenna rafala í Steingrímsstöð að geta komist í

$$6,6 \cdot \frac{144,9}{141,3} \cdot 1,01 \cdot 1,05 = 7,2 \text{ kV}$$

Hér er reiknað með 144,9 kV á teinum við Írafoss, 1% ytra spennufalli í línunni að Steingrímsstöð og 5% ytra spennufalli í spennunum. Þessi tala 7,2 kV er að vísu lauslega reiknuð, en er hægt að ná þessari spennu við fullt álag og t.d. $\cos \phi = 0,9$?

Þá er það stilling spennanna við Elliðaár. Ólíklegt er að reikna megi með hærri $\cos \phi$ en 0,9 við mesta álag, svo að til þess að nota 124 kV tappann, þarf kompenseringu, sem nemur um 15,5 MVAR til þess að hækka $\cos \phi$ upp í 0,95. Á hinn bóginn nægir lægsti tappi við Elliðaár 117,3 kV til þess að flytja 100 MW án kompenseringar, ef $\cos \phi$ er ekki lægri en 0,9. Í báðum tilvikum þarf að stilla spennana við Sog á efsta tappa, því að samkvæmt hringritunum verður spennan þar 144,9 kV eða 144,3 kV.

Við minnsta álag, sem ég gízka á að verði 40 MW, horfir málið þannig við. Ef stilling spennna við Sog er 124 kV, $\cos \phi = 0,85$ og kompensering 15,5 MVAR verður $\cos \phi$ á línunni um 0,97 og spennan við Sog 130,6 kV. Stilling Elliðaárspennanna á 117,3 kV, $\cos \phi = 0,85$ og engin kompensering valda spennunni 129,5 kV við Sog.

Sé nú reiknað með 3% ytra spennufalli í spennum við Írafoss, þá þurfa rafalarnir þar að gefa

$$10,5 \frac{130,6}{144,9} \cdot 1,03 = 9,75 \text{ kV eða}$$

$$10,5 \cdot \frac{129,5}{144,9} \cdot 1,03 = 9,65 \text{ kV}$$

Spennusveiflan við rafala í Írafossstöðinni er þá + 5% og - 7% eða - 8% og verður segulmögnunin að ráða við það bil. Hliðstætt gildir um hinar stöðvarnar.

Lauslega reiknað fyrir Steingrímsstöð fæst við þetta áætlaða minnsta álag

$$6,6 \frac{130}{141,3} \cdot 1,03 = 6,25 \text{ kV}$$

Spennusveiflan þarna verður + 9% og - 5,5%.

Í Westinghouse AC Network Analyser Study frá 1950, var athugað með Ultimate System Conditions, þar segir m.a.: It is believed that these studies show the undesirability of attempting to correct for large voltage drops by an extreme range of transformer taps, and that, if low load power factors are encountered, it would be preferable to correct by static capacitors or synchronous condensers.

- IV. Flutningstöp frá 132 kV teinunum við Írafoss niður á 33 kV teinana við Elliðaár eru reiknuð fyrir $\cos \phi = 0,95$ og $0,9$ og 100 MW afl við Elliðaár. Reiknað er með að $z = 10,21 + j38,35$ en hér er að vísu um nálgun að ræða vegna þess að Hveragerðisstöðin er hugsuð flutt að Sogi og línan síðan stýtt. Reiknað er með meðalgildri spennu 121 kV við Elliðaár.

100 MW við Elliðaár

Cos ϕ	MVA	MVar	A _{121kV}	töp:Sog-ELL	Álag + töp	Cos ϕ Sog
0,9	111	48,5	530	8,60+j32,2	108,6+j90,7	0,768
0,95	105	32,6	500	7,65+j28,7	107,7+j61,3	0,869

Svo sem sjá má af töflunni, verða flutningstöpin 8,6% til 7,65% eftir því hver $\cos \phi$ við Elliðaár er. Á 132 kV teinum við Írafoss verður $\cos \phi = 0,768$ eða $\cos \phi = 0,869$ en rafalarnir hafa enn lægri $\cos \phi$ vegna þess að eftir er að reikna spennana með.

- V. Hér að framan hefur verið athugað hvort Sogslína II gæti nægt til orkuflutnings frá fullvirkjuðu Sogi (96 MW) og Jarðhitastöð (15 MW) í Hveragerði. Komu í ljós ýmis vandkvæði, ef flytja átti 100 MW að Elliðaárm. Vantanalega þyrfti að kompensera blindstrauminn og yfirsegulmagna í Steingrímsstöð. Sé sú leið farin að virkja fyrst í Hveragerði og síðan verði byggð ný lína, þegar viðbótáflí verður bætt við í Sogi, skapast annað sjónarmið. Sogslína II þyrfti þá ekki að flytja meira afl en frá núverandi virkjunarstigi Sogsins 72 MW að viðbætttri jarðhitastöðinni. Af þessu afli má reikna með um 80 MW við Elliðaár. Af hringritinu fyrir 34,5/117,8 kV við Elliðaár má lesa eftirfarandi tölur fyrir 80 MW.

Cos ϕ Ell	Spenna við Sog
0,85	142 kV
0,90	138,6 kV

Með þessari spennu við Sog nægir næst efsti tappi spennanna við Írafoss og í millisambandinu, 141,45 kV, og efsti tappi við Steingrímsstöð, 141,3 kV, án þess að kompenserað sé við Elliðaár (eða í bánum).

VI. Tap í línunni við mesta straum er allmikið, þegar tekið er tillit til þess hve línan er stutt. Af þessum sökum hitnar vírin mikið og samkvæmt töflu um A.C.S.R. vír 336 400 cirmils, sem er miðuð við 25°C lofthita og lofn, má lesa hitastigshækkun vírsins, sem fall af stráumnum. Með lauslegri ágizkun má átla að á mesta álagstíma sé loft-hitinn ekki yfir 5°C og með því að lækka gildin sem lesin eru úr töflunni um 20°C fást eftirfarandi tölur fyrir hita vírsins:

Straumur	300 A	400 A	500 A	530 A	
Hiti	19°C	32°C	53°C	60°C	

Af þessum sökum fást ekki takmarkanir á flutningsgetuna

VII. Niðurstaða.

Athugaður var orkuflutningur frá fullvirkjuðu Sogi og jarðhitastöð í Hveragerði. Sé engin kompensering við Elliðaár eða í þeim er óvíst að unnt verði að flytja 100 MW jafnvel þótt $\cos \phi = 0,9$ og spennustilling allra spennu sé notuð til hins ýtrasta. Með kompenseringu, sem hækkar $\cos \phi$ upp í eða yfir 0,95, má að öllum líkindum flytja 100 MW, en þó yrði að breyta segulmögnun rafalanna mjög mikið frá mesta til minnsta álags og þyrfti að athuga hvað rafalarnir þola.

Orkuflutningur frá núverandi virkjunarstigi Sogsins að viðbættri jarðhitastöð, sem er áætlað 80 MW við Elliðaár, er innan þeirra marka, sem línan getur flutt, jafnvel þótt $\cos \phi$ verði frekar lágur. Það er annað mál, hvort rafalarnir geta unnið um fullum afköstum með svo lágum aflstuðli.

Hver leið sem valin verður, þá er æskilegt að kompensera blindstrauminn í Reykjavík, enda eru flutningstöp í línunni allhá.

18.1.1961

Björn Kristjánsson

SUB BK/N

THE

NO.

DATE

The entire main body of the page is obscured by a dense, dark, grainy noise, making any underlying text or figures completely illegible.



RAFORNUNALASTJÓRI
Orkuveita

Hringrit fyrir Sagaflokk
Svarna í tengistöð við Sagahv.

26161 BK 7 PJ

TNR 128

B-18

FR 9303