

DEL III.

TEORETISKA UNDERSÖKNINGAR AV MÄTNINGS- RESULTATEN

AV INGENJÖR A. HOLMGREN.

Mätningarna hava utförts å Telegrafverkets och Statens Järnvägars telegraf- och telefonledningar Kiruna—Riksgränsen och Kiruna—Gällivare, rikstelefonledningarna Gällivare—Porjus samt å en för försöken särskilt anordnad »försöksledning» från Kiruna transformatorstation till Krokvik. Bifogade plansch 3 visar dessa ledningars läge å stolplinjerna med undantag för försöksledningen, vilken utgöres av en 3 mm järntråd, som upplagts på särskild stolplinje omkr. 125 meter från banan och 100 meter utanför överföringsledningen.

Vid en del mätningar hava dessutom såsom hjälpledningar använts:

rikstelefonledningen nr 1530 (Kiruna—)Gällivare—Luleå av 3 mm koppartråd,
» nr Kru 2 Kiruna—Jukkasjärvi—Vittangi av 3 mm järntråd,

ledningar tillhörande Norska Telegrafverket och Norges Statsbanor, Riksgränsen—Narvik, företrädesvis rikstelefonledningen Riksgränsen—Narvik av 3 mm koppartråd, vid vissa mätningar förlängd med en kopparledning Narvik—Lödingen.

STATISK SPÄNNING (INFLUENS).

Influensspänning å svagströmsledningarna förorsakas såväl av kontaktledningen, Kiruna—Riksgränsen, vilken saknar metallisk återledning, som av överföringsledningen Porjus—Kiruna—Vassijaure. Den senare är visserligen dubbeltrådig, men då ingen korsning av faserna förekommer vare sig å sträckan Porjus—Kiruna eller Kiruna—Vassijaure, blir influensspänningen å svagströmsledningarna ej obetydlig.

Överföringsledningarnas koppling ändras vår och höst, så att under sommarmånaderna de två ledningar, som ligga i samma *horisontal*plan tillsammans utgöra en fas (sommarkoppling), under vintermånaderna däremot de två ledningar, som ligga i samma *vertikal*plan tillhöra samma fas (vinterkoppling).

INFLUENS FRÅN KONTAKTLEDNINGEN.

I Bil. 1 är beräknad influensspänningen å en isolerad ledning från en annan spänningsförande ledning, då inga andra ledningar eller endast isolerade sådana finnas i närheten. Influensspänningen v_2 utgör en viss bråkdel, ϵ , av kontaktledningens spänning v_1 . Detta värde, ϵ , är proportionellt mot en viss faktor k_{12} , beroende av ledningarnas läge inbördes och i förhållande till den ledande jordytan samt vidare proportionellt mot kontaktledningens kapacitet. I stället för kapaciteten införes i formlerna koefficienten K_0 , som är inverterade värdet av kapaciteten, uttryckt i mikrofarad per km. En approximativ beräkning av K_0 för kontaktledningen är utförd i Bil. 2. Härav fås kapaciteten per km $0,01 \mu F$ eller för hela kontaktledningen $1,29 \mu F$. En uppmätning av kapaciteten bör ge ett något större värde på grund av att vid stationerna flera spår finnas. Uppskattas den härav kommande ökningen i antalet km kontaktledning till 20 km, skulle hela kontaktledningens kapacitet bli i runt tal $1,5 \mu F$. Någon hänsyn till denna ökade längd av kontaktledningen behöver emellertid ej tagas vid beräkning av influensspänningen å telefonledningarna, då, såsom nedan visas, denna spänning hastigt avtar med avståndet, varför inverkan från parallellgående avlägsnare spår ej blir stor.

Om avståndet x från kontaktledningen till svagströmsledningen i förhållande till h_0 och h_1 (se fig. 1) är stort, blir ϵ , som är lika med $\frac{k_{12}}{K_0}$:

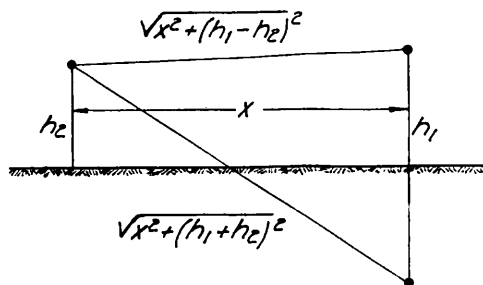


Fig. 1.

$$\epsilon = \frac{18}{K_0} \log \sqrt{\frac{x^2 + (h_1 + h_2)^2}{x^2 + (h_1 - h_2)^2}} = \frac{9}{K_0} \log \frac{1 + \frac{2 h_1 h_2}{x^2 + h_1^2 + h_2^2}}{1 - \frac{2 h_1 h_2}{x^2 + h_1^2 + h_2^2}}$$

$\frac{2 h_1 h_2}{x^2 + h_1^2 + h_2^2}$ är för stora värden å x ett mycket litet tal och i det närmaste lika med $\frac{2 h_1 h_2}{x^2}$. Då är

$$\epsilon = \frac{18}{K_0} \cdot \frac{2 h_1 h_2}{x^2} \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{2 h_1 h_2}{x^2} \right)^2 + \dots \right] \dots \dots \dots (1)$$

För stora avstånd avtar således influensspänningen kvadratisk med avståndet. Den är vidare direkt proportionell mot kontaktleddningens och svagströmsledningens höjd över marken.

Den vid inducerade ledningens urladdning genom ett motstånd, r , uppkommande strömstyrkan, i , blir när ledningens eget motstånd kan försummas (Bil. 8).

$$i = \frac{\varepsilon v_1}{\sqrt{r^2 + \frac{1}{\omega^2 c_2^2}}} \dots \dots \dots (2)$$

Ledningens spänning sjunker härvid från

$$v_2 = \varepsilon v_1 \text{ till}$$

$$v_2 = \frac{\varepsilon v_1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 c_2^2 r^2}}} \dots \dots \dots (3)$$

I fig. 2 visas grafiskt spänningens avtagande vid minskande isolationsmotstånd.

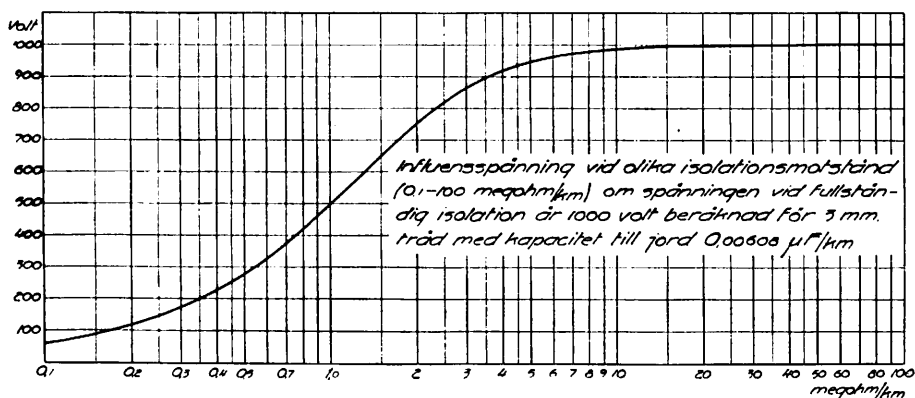


Fig. 2.

Av det föregående framgår, att influensspänningen å en isolerad ledning är oberoende av växelströmmens periodtal. Av sist uppskrivna likhet framgår emellertid, att om isolationen ej är fullständig, d. v. s. r ej oändligt stort, periodtalet $\left(\frac{\omega}{2\pi}\right)$ kommer att inverka på andra termen under rotmärket och därmed på spänningen v_2 i den mån nämnda term ej blir försvinnande i förhållande till 1. Om r är litet, såsom förhållandet är vid användning av urladdningsspolar, blir $\frac{1}{\omega^2 c_2^2 r^2}$ stor i förhållande till 1 och

därmed

$$v_2 = \omega c_2 r \cdot \varepsilon v_1 \dots \dots \dots (4)$$

d. v. s. *spänningen blir proportionell såväl mot urladdningsmolståndets storlek som mot periodtalet och ledningens längd.*

Om till den inducerade ledningen är kopplad en annan ledning med kapaciteten c_3 , som ej ligger i kontaktledningens fält, minskas härvid spänningen i proportionen

$$\frac{c_2}{c_2 + c_3} \text{ (Bil. 8) } \dots \dots \dots (5)$$

i det genom kapaciteten c_3 går en urladdningsström till jorden av storleken

$$i_3 = j\omega \frac{c_2 c_3}{c_2 + c_3} \cdot \varepsilon v_2 \dots \dots \dots (6)$$

Förutsatt är härvid, att ledningen är kort i förhållande till våglängden för det ifrågavarande periodtalet.

En utvidgning av denna formel ger värdet å influensspänningen å en ledning, vars olika delar ligga på olika avstånd från kontaktledningen. Om influensspänningen i en viss del på konstant avstånd från kontaktledningen och med kapaciteten c_1 är v_1 och hela ledningens kapacitet är $C = \Sigma c$, fås i hela ledningen en spänning

$$\Delta_1 V = \frac{c_1}{C} \cdot v_1$$

Av en annan del med kapaciteten c_2 och på sådant avstånd, att influensspänningen på denna del, isolerad, skulle bli v_2 , fås

$$\Delta_2 V = \frac{c_2}{C} \cdot v_2$$

o. s. v.

Med tillämpning av superpositionsprincipen erhålles den resulterande spänningen

$$V = \Sigma \Delta V = \frac{1}{C} \Sigma c v$$

eller om kapaciteten per längdenhet är konstant, d. v. s. $C = c_0 S$, $c_1 = c_0 s_1$ o. s. v. (S = hela ledningens längd)

$$V = \frac{1}{S} \Sigma s v \dots \dots \dots (7)$$

Vid bestämning av influensspänningen å en ledning, vars olika delar ligga på olika avstånd från kontaktledningen, skulle man således kunna använda sig av ledningens medelavstånd under förutsättning att influensspänningen vore en rätlinjig funktion av avståndet. Denna förutsättning

är emellertid ej fylld och man måste därför bestämma influensspänningen såsom medelvärde av värdena i olika delar av ledningen, vilka delar göras sinsemellan lika långa.

Enligt av Elektrotekniska byrån företagen uppmätning av avstånden mellan svagströmsledningarna och banan utgör medelavståndet för sträckorna:

Kiruna—Riksgränsen	17,3 m.
Kiruna—Torneträsk	15,3 m.

Influensspänningen skulle bli, om dessa avstånd vore konstanta för resp. sträckor, å en isolerad ledning på 7,0 meters höjd över marken, för 16,000 volt växelström i kontaktledningen (se Bil. 5).

Kiruna—Riksgränsen	717 volt
Kiruna—Torneträsk	867 »

I de tillgängliga avståndsuppgifterna finnas medelavstånden angivna för varje bangårdsområde och för varje stationsavstånd jämte uppgift om varje sådan sträckas längd, uttryckt i antal stolpavstånd å sträckan. Man bör nu få ett riktigare värde å spänningen genom att för varje delsträcka bestämma den mot avståndet svarande spänningen, multiplicerad med antalet stolpar å delsträckan samt addera alla dessa produkter för totala sträckan och dividera med totala stolpantalet.

Det så erhållna spänningsvärdet har således erhållits i full överensstämmelse med formeln (7). Den enda anmärkningen, som skulle kunna framställas emot detsamma, är att delsträckorna äro väl stora, och avståndsvariationerna inom delsträckan antagligen för stora för att sträckans medelavstånd skulle få läggas till grund för spänningens bestämmande. Man bör dock härvid få räkna med en viss utjämning, då sträckornas antal är rätt stort.

Efter denna beräkning erhålles influensspänningen

Kiruna—Riksgränsen	802 volt
Kiruna—Torneträsk	967 »

Telefonledningens höjd över marken är i de gjorda beräkningarna uppskattad till 7,0 meter. Kontrollmätningar härå äro ej gjorda. Även om avvikelserna från detta värde ej torde vara alltför stora, kunna de dock inverka märkbart på spänningens värde, då såsom formeln (1) anger, denna tenderar att bli proportionell mot ledningens höjd vid stora avstånd. För 3 m. höjd hos ledningen blir influensspänningarna 333 resp. 411 volt för 17,3 och 15,3 meters avstånd.

Fig. 3 anger grafiskt influensspänningens beroende av avståndet från kontaktledningen för 7 resp. 6,9 meters höjd hos svagströms- och kontaktledningarna. Tvenne kurvor äro uppritade: för de tvenne avståndsintervallerna 9—35 och 35—500 meter. I fig. 4 visas ledningarnas avstånd från banan för de olika bangårdsområdena och stationshållen. Abskiss-skalan är här endast ungefärlig.

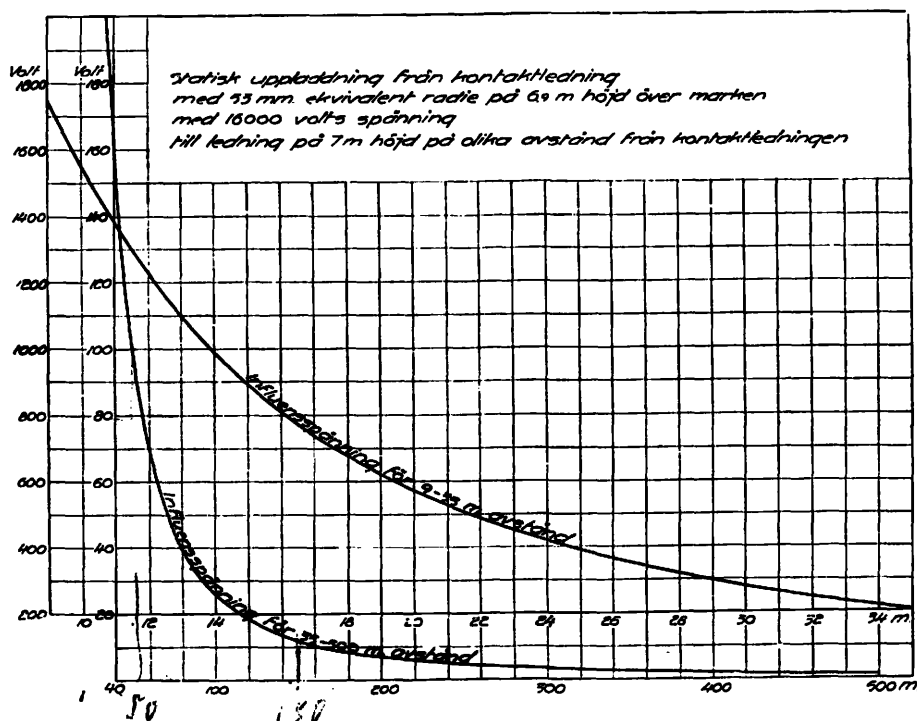


Fig. 3.

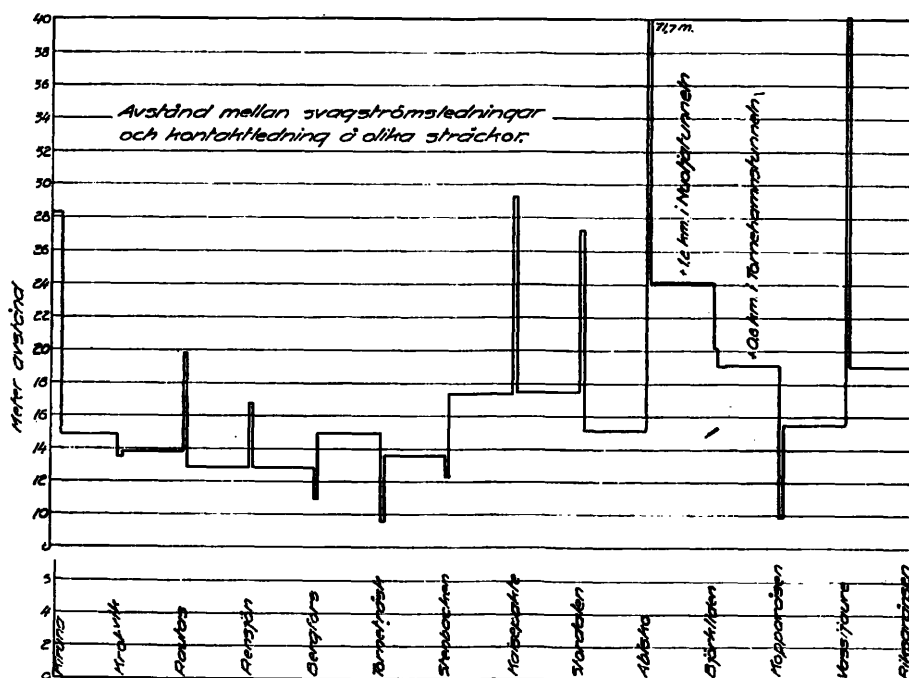


Fig. 4.

I Bil. 4 är beräknat inverkan av jordförbundna ledningar i närheten av kontakt- eller svagströmsledningarna. Som exempel härå beräknades inverkan å influensspänningen i telefonledningens ena bransch därav, att den andra branschen jordas. Beräkningen visar (Bil. 5) att värdet å sjunker från 0,0448 till 0,02913, d. v. s. till 65 % av det värde, som fås, när inga jordade ledningar finnas i närheten. Avståndet mellan ledningens branscher är härvid räknat till 0,566 m, det vanliga vid skruvade telefonledningar. Jordsättning av överföringsledningen, som befinner sig på avsevärt större avstånd, ger även någon, ehuru obetydlig, nedsättning i influensspänningen. Enligt beräkning i Bil. 7 utgör denna nedsättning omkr. 2 %.

Såsom ekvipotentialyta är vid beräkningen antagen den plana jordytan, vilken således kommer att ligga omkr. 1 meter djupare än järnvägsskenorna. Det kunde därvid tänkas, att dessa, som äga god jordförbindelse, skulle åstadkomma en minskning i influensspänningen å svagströmsledningarna. En beräkning (Bil. 9) visar emellertid, att så ej är förhållandet i nämnvärd grad. Influensspänningen minskas nämligen härav mindre än 2 %.

Nedanstående tabell utvisar resultaten av en del mätningar av influens från kontaktledningen vid några olika tillfällen. För bättre jämförelse äro alla värden omräknade för 16,000 volt spänning. Dessa beräknade värden äro satta inom parentes efter resp. mätvärden. Mätningarna äro utförda med statisk voltmeter.

Mätsträcka	Mät- tillfälle	Spän- ning å kon- takt- led- ningen	S p ä n n i n g å					
			översta svagströms- ledningen nr 1530		understa svagströms- ledningen nr 95		översta överför- ingsledningen längst från banan	
			övriga ledningar		övriga ledningar		övriga överförings- ledningar	
		volt	isolerade	jordade	isolerade	jordade	isolerade	jordade
Kiruna—Riksgränsen	febr. 1916	15 400	520 (540)	325 (338)	214 (222)	80 (83)	570 (592)	290 (301)
» — »	»	12 400	410 (529)	255 (329)	167 (214)	71 (92)	—	—
» — »	»	13 050	—	—	—	—	481 (590)	245 (301)
» — »	maj 1916	15 700	510 (520)	—	208 (212)	—	—	—
Kiruna—Krokvik ...	juli 1916	13 600	482 (567)	—	—	—	—	—
Kiruna—Riksgränsen	sept. 1916	16 400	—	330 (322)	—	—	—	—
Kiruna—Torneträsk	sept. 1918	15 600	620 (636)	385 (395)	190,5 (195,5)	83 (85)	—	—
» — »	»	11 850	461 (623)	290 (392)	145 (196)	—	—	—
» — »	»	7 880	306 (622)	192,5 (391)	96 (195)	—	—	—

Vid dessa mätningar har svagströmsledningarnas isolationsmotstånd först uppmätts. De uppmätta värdena å hela svagströmsledningen äro maximum 650,000 ohm minimum 80,000 ohm, värden, som ej kunna ut-

öva något märkbart inflytande på spänningen å ledningen. För $c = 0,95 \mu F$, $\omega = 94,3$, $r = 80,000$ erhålles nämligen

$$\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 c^2 r^2}} = 1,0096 \quad (\text{se form. 3 å sid. 90})$$

d. v. s. spänningen minskas mindre än en procent i jämförelse med spänningen vid fullständigt isolerad ledning.

De uppmätta värdena äro genomgående något lägre än de beräknade. Då det antagna värdet å höjden 3,0 meter, för ledningen nr 95 kan besitta ett rätt stort procentuellt fel, inskränkes jämförelsen här till nr 1530, vars höjd, 7,0 meter, bör vara något säkrare. För sträckan Kiruna—Riksgränsen utgör det uppmätta värdet å spänningen, i medeltal 530 volt, 66,1 % av det beräknade, för sträckan Kiruna—Torneträsk, 627 volt, 64,9 %, d. v. s. en minskning av 33,9 resp. 35,1 %.

Förutom i de förut nämnda omständigheterna, inverkan från skenledningen och i vissa fall överföringsledningen, torde anledningen till de uppmätta lägre värdena å spänningen vara att söka däri, att såväl kontaktledning som svagströmsledningar stå under inflytande av jordade metallföremål: stolpar och uppbäringsanordningar för kontaktledningen, stolpreglar för svagströmsledningarna. Träd eller buskar, som växa i närheten av eller under telefonledningarna, hava också en viss ledningsförmåga till jord, så att den ledande jordytan liksom flyttas närmare ledningarna. Vad svagströmsledningarna angår, ger sig detta förhållande också tillkänna i erhållna mätvärden, som visa en kapacitet hos ledningen avsevärt högre än den beräknade. Då både ledningens spänning v och urladdningsströmmen i från ledningen (den förra med statisk voltmeter) uppmätts, erhålles kapaciteten

$$c = \frac{i}{\omega \cdot v}$$

För 15 perioder är $\omega = 94,3$.

Vid en mätning å ledningen nr 1530 i juli 1916 erhöles vid 15,700 volts spänning å kontaktledningen $v = 510$ volt, $i = 45,5$ milliamp. å ena branschen, varvid alla övriga ledningar voro isolerade. Härav $c = 0,95 \mu F$, d. v. s. per km $0,0075 \mu F$. En beräkning ger $0,0061 \mu F$. Det av mätningarna erhållna värdet är således 23 % större än det beräknade. I febr. 1916 uppmättes kapaciteten på samma sätt och erhöles då värdet $1,065 \mu F$. Dock var ledningen härvid c:a 2 km längre. Mätningen utfördes nämligen å telegrafverkets station i stället för vid transformatorstationen. För båda branscherna breddkopplade erhållas samstämmiga värden ur flere mätningar: $c = 1,47 \mu F$ eller pr km $0,0114 \mu F$, då en beräkning ger $0,0090 \mu F$ (Bil. 3).

Kapaciteten å sträckan Kiruna—Torneträsk erhöles vid mätning i sept. 1918 å 1530 till $0,593 \mu F$, utgörande per km $0,0115 \mu F$; å 95 $0,713 \mu F$ eller per km $0,0138 \mu F$, i båda fallen för båda branscherna parallellkopplade och med alla övriga svagströmsledningar isolerade.

Spänningen å ena branschen minskades, när den andra branschen jordades:

från 620 till 428 volt, d. v. s. till 69,0 %
» 461 » 325 » » » 70,5 %
» 306 » 215 » » » 70,3 %

Jämför härmed det i Bil. 5 beräknade värdet 65 %! Om ledningens höjd över marken är mindre än den antagna, blir detta värde större. De vid mätningen erhållna större värdena kunna därför också delvis bero på att höjden är mindre än beräknat, liksom den större kapaciteten vid uppmätning kan delvis bero härpå. I så fall är denna omständighet en ytterligare förklaringsgrund till att de beräknade värdena å influensspänningen genomgående äro för höga. Till minskning i influensspänningen bidraga vidare, ehuru endast i ringa grad: de i svagströmsledningarna inkopplade kabelstumparna, kontaktledningens förande genom tunnlar och snögallerier, där kontaktledningens höjd är mindre än å den övriga sträckan. Vid tunnlar gå svagströmsledningarna utanför och äro där säkerligen tämligen befriade från influens.

Å försöksledningen har den genom influens från kontaktledningen uppstående spänningen ej kunnat uppmätas med tillgängliga instrument. Approximativt har den uppskattats till 12 å 15 volt. Enligt förut nämnda uppgifter blir avståndet till kontaktledningen $x = 124$ m. Enligt formeln (1) blir

$$k_{12} = \frac{36 h_1 h_2}{x^2} \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{2 h_1 h_2}{x^2} \right)^2 \right]$$

$$= 0,113$$

då försöksledningens höjd över marken h_1 beräknas till 7 meter

$$v_2 = \frac{k_{12}}{K_0} v_1 = 0,00113 v_1$$

d. v. s. för $v_1 = 16,000$ volt, $v_2 = 18$ volt.

För jämförelse har statiska spänningen från kontaktledningen även uppmätts å den längst från banan liggande övre överföringsledningen (i kopplingschemat för stationerna betecknad »vit«). Värdena äro införda i samma tabell som de för svagströmsledningarna. Av uppgivna värden å avstånd från kontaktledning till överföringsledning $24,33 + 2,25 = 26,6$ meter samt höjd å överföringsledningen 13,85 m fås av beräkning (Bil. 10) $\epsilon = 0,0367$ eller för 15,400 volt i kontaktledningen 565 volt i överföringsledningen. Då 481 volt uppmättes (se tabellen), erhöles vid urladdningen genom en milliampèremeter 36,8 milliamp., varav fås kapaciteten $c = 0,811 \mu F$ eller per km 0,00662. Häremot svarar $k_1 = 151$. Av beräkning (Bil. 6) fås $k_1 = 157,4$. När underliggande överföringsledning (»röd«) jordsättes, blir spänningen för 15,400 volt å kontaktledningen 427 volt beräknat ($\epsilon = 0,0277$), 440 volt uppmätt.

INFLUENS FRÅN ÖVERFÖRINGSLEDNINGEN.

Influensspänningen i *vinterkoppling* är beräknad i Bil. 11. För de ifrågasvarande avstånden mellan ledningarna, x , blir den samma avtagande i proportionen $\frac{1}{x^3}$. Vidare är den proportionell mot avståndet mellan överföringsledningens faser och mot överföringsledningens och svagströmsledningens resp. höjder över marken. För ett avstånd $x = 17,3 + 24,33$ m erhålles

$$\varepsilon = 0,00243$$

eller för 80,000 volt å överföringsledningen 194 volt.

Vid *sommarkoppling* av överföringsledningen blir spänningen olika på de två faserna, om transformatorn, som tillmatar spänningen, är fullständigt isolerad från jord. Storleken av spänningarna för 80,000 volts spänning mellan faserna blir för endast en överföringsledning under spänning 40,600 volt i övre, 39,400 volt i undre ledningen. Om båda överföringsledningarna äro samtidigt spänningsförande, blir spänningen 41,460 volt å den fas, som består av de båda övre ledningarna och 38,540 volt å den undre fasen (Bil. 12). Influensspänningen blir i detta fall avtagande kvadratisk med avståndet och vidare propotionell mot avståndet mellan faserna och mot telefonledningens höjd. Beräknat värde å ε blir 0,00225, d. v. s. för 80,000 volt i överföringsledningen 180 volt influensspänning.

För ett annat ytterlighetsfall, nämligen mittpunkten av 80,000 volts transformatorns lindning kopplad utan motstånd till jord, bliva fasernas spänningar till jord lika, laddningarna däremot olika (Bil. 12 II). Beräkningen ger $\varepsilon = 0,001743$, d. v. s. för 80,000 volt 139,5 volts influensspänning. I verkligheten är transformatorns mittpunkt kopplad till jord genom ett stort motstånd, varför influensspänningen torde ha ett värde, som ligger mellan de båda sista för ytterlighetsfallen beräknade värdena. Resultaten av en del utförda mätningar äro sammanförda i nedanstående tabell.

Mätsträcka	Mät-tillfälle	Spänning å över- förings- ledningen volt	Spänning i volt å		
			ledningen 1530		95
			övriga svagströmsledningar		
			isolerade	jordade	isolerade
Kiruna—Riksgränsen (vinterkopp- ling)	febr. 1916	74 500	141 (151)	88 (94.5)	60 (64)
Kiruna—Torneträsk (vinterkopp- ling)	sept. 1918	75 900	147 (155)	98 (103)	—
		57 300	113 (158)	—	—
		38 600	78 (161,5)	—	—
Kiruna—Torneträsk (sommarkopp- ling)	"	75 900	128 (135)	omkr. 87	—
		57 300	101.5 (142)	omkr. 68	—
		38 600	70 (145)	—	—

Siffrorna inom parentes äro samma spänningar omräknade för 80,000 volt.

Vid mätningen i febr. 1916 ha svagströmsledningarna fortsatt till Riksgränsen, så att ledningslängden för dessa är 129 km mot 122 km för överföringsledningen, vilken slutar i Vassijaure. Härav sjunker spänningen å svagströmsledningen omkring 5,5 %. Skall den spänning bestämmas, som av en viss längd av överföringsledningen induceras i en lika lång sträcka av svagströmsledningen, böra ovanstående mätvärden således ökas med 5,5 %. I själva verket skulle sistnämnda spänning bli ännu något högre, då överföringsledningen å en mindre sträcka närmast Kiruna samt likaledes å en sträcka vid Abisko går på motsatt sida om svagströmsledningarna i förhållande till den övriga sträckan. Nedsättande på influensspänningen från överföringsledningen till telefonledningarna verka vidare de mellan dessa ledningar befintliga uppbäringsanordningarna för kontaktledningen, vilka hava god förbindelse med jorden och följaktligen i viss mån utöva skärmverkan.

Å sträckan Kiruna—Gällivare uppmättes i febr. 1916 influensspänningen å 1530 från överföringsledningen till 163 volt, då övriga svagströmsledningar isolerades, 113 volt då övriga svagströmsledningar jordsattes. Å M_1 erhöles i förra fallet 70 volt. Då ledningarna äro utsatta för influens endast å sträckan Kiruna—Linaälv, 76,6 km och hela sträckan Kiruna—Gällivare är 99 km, blir influensspänningen å 1530 på den inducerade sträckan

$$\frac{99}{76,6} \cdot 163 = 210 \text{ volt.}$$

Å samma sträcka uppmättes i nov. 1914 spänningen å 1530 till 117 volt, varvid övriga ledningar voro kopplade normalt, d. v. s. telegrafledningarna genom resp. apparater till jord. Vid detta tillfälle uppmättes även spänningen å en ledning Gällivare—Porjus, som endast å sträckan Kuosakåbbå—Porjus går fram längs med överföringsledningen. Spänningen å denna ledning var 138 volt. En annan ledning å samma stolplinje var härvid behäftad med avledning till jord.

Slutligen har influensspänningen uppmätts vid 38,000 volt å ena fasen (i vinterkoppling) Kiruna—Vassijaure, medan den andra fasen var jordsatt. Å 1530 erhöles 394 volt, när övriga svagströmsledningar voro isolerade, 250 volt, när övriga voro jordade. Motsvarande värden för nr 95 voro 136 resp. 55 volt.

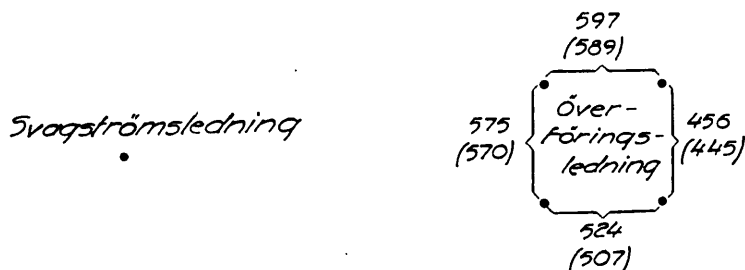


Fig. 5

Vid enfassspänning å två och två av överföringsledningarna under det de två andra äro isolerade, erhöles i sept, 1918 för 32,200 volts spänning 358—474 volt och för 23,500 volt 268—351 volt eller omräknat för 40,000 volt 445—589 resp. 456—597 volt. De olika spänningarna anges av fig. 5, där olika klammer ange de ledningar, som varit spänningsförande, siffrorna där invid de härvid uppmätta spänningarna i telefonledningarna. Siffrorna inom parentes avse 32,200 volt, de andra 23,500 volt, båda omräknade till 40,000 volt. 40,000 volts enfassspänning kan nämligen tänkas uppstå i två trådar, om utslag sker å ena polen i Porjus.

Vid mätningarna å influens från överföringsledningen har kontaktledningen varit isolerad. Isolationen å telefonledningarna har varit större än 100,000 ohm för hela sträckan.

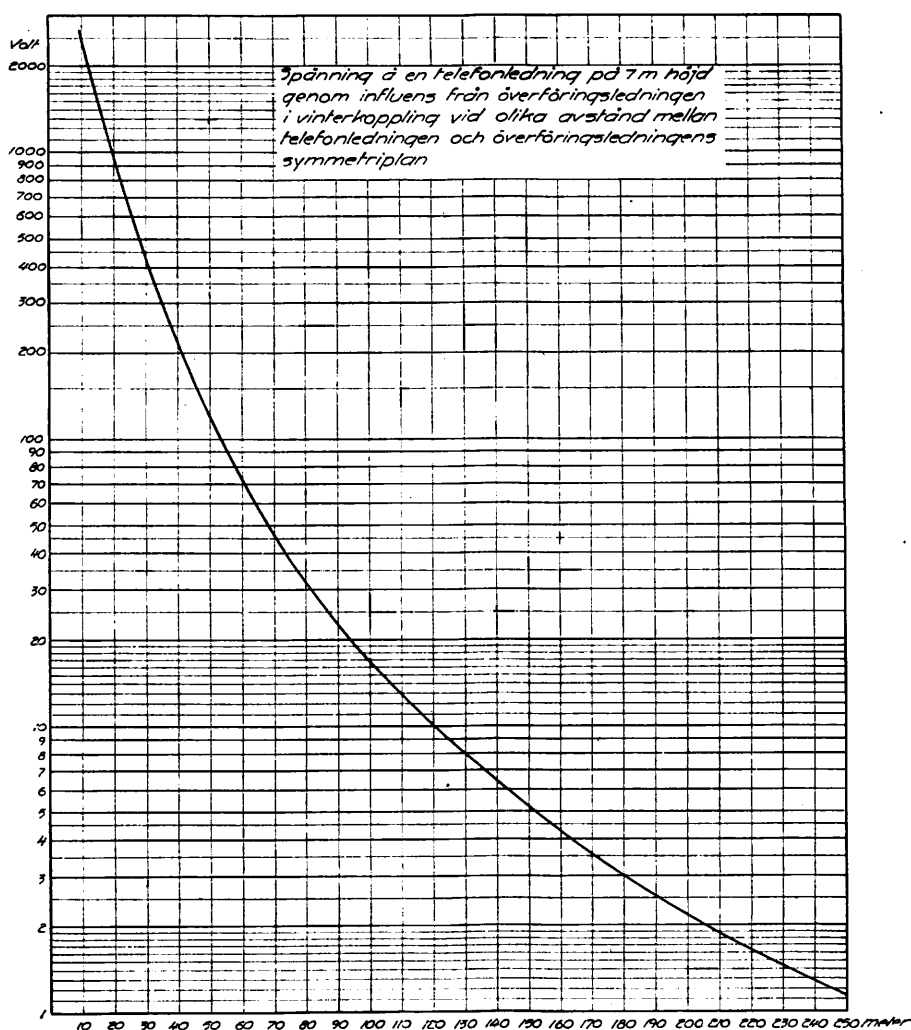


Fig. 6.

INFLUENS FRÅN KONTAKT- OCH ÖVERFÖRINGSLEDNINGARNA, SAMTIDIGT SPÄNNINGSFÖRÄNDRING.

I nov. 1914 uppmättes å krafttelefonledningen Kiruna—Torneträsk 78 volts spänning, när såväl kontakt- som överföringsledningarna hade normal spänning, nämligen 16,000 resp. 80,000 volt. För spänning å endast kontaktledningen erhöles 102 volt, å endast överföringsledningen 25 volt. Transformatorerna synas sålunda ha varit så kopplade, att spänningarna å överförings- och kontaktledningarna i fråga om influens å svagströmsledningarna motverkade varandra.

I sept. 1916 gjordes liknande mätningar på hela sträckan Kiruna—Riksgränsen. Spänningen mättes å 1530, under det övriga svagströmsledningar stodo normalt kopplade (delvis genom urladdningsspolar till jord). För 16,400 volt å kontaktledningen erhöles 330 volt. Tillslogs samtidigt överföringsledningen i sommarkoppling, erhöles 272 volt, i vinterkoppling 417 volt. Kontaktledningens polaritet var härvid kopplad motsatt den under drift vanliga.

Å försöksledningen var spänningen mindre än 10 volt vid alla kombinationerna, men kunde ej exakt bestämmas.

I juli 1916 uppmättes spänningen å försöksledningen vid normal spänning å kontaktledningen till omkring 12 volt. Gjordes överföringsledningen samtidigt spänningsförändring, steg spänningen till 25 resp. 42 volt vid sommar- resp. vinterkoppling. Gjordes kontaktledningarna spänningslösa, blev spänningen å försöksledningen 15 resp. 30 volt (de lägsta värdena äro osäkra). Polariteterna å högspänningsledningen voro alltså sådana, att överföringsledningarna och kontaktledningen samverkade för åstadkommande av största möjliga influens i försöksledningen.

Å 1530 mättes i sept. 1918 spänningen, då såväl kontaktledningen som överföringsledningarna voro spänningsförändring. Värdena framgå av nedanstående tabell:

S p ä n n i n g å			Överförings- ledningarnas koppling
Överförings- ledningarna	Kontakt- ledningen	1530	
75,900	15,750	685 (694)	sommar-
»	»	460 (466)	vinter-
57,300	11,900	530 (713)	sommar-
»	»	352 (473)	vinter-
38,600	8,000	361 (722)	sommar-
»	»	240 (480)	vinter-

Såväl beräkningar som utförda mätningar ge sålunda vid handen att influensspänningarna, som vid små avstånd mellan högspänningsledning

och svagströmsledning uppnå betydande värden, avtaga hastigt med avståndet så att de redan på 100 meters avstånd reducerats till jämförelsevis obetydliga värden. Huruvida härvid influensspänningarna från övertoner bliva så svaga att de ej störa telefoneringen är ej lika säkert. Behandlingen av denna fråga sker i samband med elektromagnetisk induktion från övertoner, se sid. 136.

ELEKTROMAGNETISK INDUKTION.

Nedanstående redogörelse för den elektromagnetiska induktionens karaktär ansluter sig i allt väsentligt till en uppsats i ämnet av Prof. *H. Pleijel* i del II av denna berättelse.

Elektromagnetiska induktionen från en strömförande ledning till en med densamma parallell ledning bestämmes av ömsesidiga induktionskoefficienten

$$m = 2s \left[\log \frac{2s}{d} - 1 \right] \cdot 10^{-4} \text{ henry} \dots\dots\dots (8)$$

där s är de parallella ledningarnas längd i km

d = avståndet mellan dem.

Så länge d är litet i förhållande till s kan denna formel användas för beräkning av inducerad spänning från kontaktledningen till de parallellgående svagströmsledningarna. Formeln medtager däremot ej den induktion, som kan uppstå från återledningsströmmen. Denna ström fördelar sig i jorden över en mycket stor genomskärningsarea, varför det ej låter sig göra att exakt bestämma induktionen från densamma. För en lång ledning kommer emellertid största delen av återledningsströmmen i jorden att gå på mycket stort avstånd, så att induktionen från densamma jämförd med induktionen från kontaktledningen blir liten. *Breisig* har därför föreslagit att medtaga inverkan från återledningsströmmen i jorden endast genom att till ovanstående formel (8) för ömsesidiga induktionskoefficienten tillfoga en korrektionsterm.

Då induktionen från återledningsströmmen motverkar induktionen från kontaktledningen får formeln utseendet

$$m = 2s \left\{ \log \frac{2s}{d} - q \right\} \cdot 10^{-4} \text{ henry} \dots\dots\dots (9)$$

där q har ett värde 1—3.

Den till jorden gående strömmen kommer naturligtvis att först söka sig fram längs järnvägsskenorna för att så småningom läcka bort till jorden. Vid den punkt där strömmen uttages från kontaktledningen kommer

den att dela sig i tvenne delar, båda till en början följande skensträngarna. Den ena delströmmen går i riktning mot strömkällan (transformatorstationen), den andra fortsätter i skenledningen framåt. Äro skenimpedanserna och isolationsmotståndet till jord per km åt båda hållen lika, bliva dessa strömmar lika stora och vardera lika med halva kontaktledningsströmmen. Äro endast impedanserna per km lika, men avledningen olikformigt fördelad å sträckorna (t. ex. genom särskilt anbragta jordledningar) gäller i alla fall såsom i förutnämnda uppsats visas att integralen av strömstyrka $\times$ skenlängd (antalet ampèrekilometer) blir lika åt båda hållen. Men just denna integral är bestämmande för induktionen i närliggande ledningar, vilken sålunda blir lika med noll.

Förutom ovannämnda skenström, beroende på skenans spänning till jorden i närheten av matnings- och belastningspunkterna, uppstår i skenan en annan ström orsakad av induktion från kontaktledningen. Denna ström, vars styrka är konstant över hela den sträcka, å vilken kontaktledningen är strömförande, är kJ_0 d. v. s. en viss del k av kontaktledningsströmmen

$$k = \frac{j\omega m}{r + j\omega l} \dots \dots \dots (10)$$

där m är ömsesidiga induktionskoefficienten mellan kontaktledningen och skenledningen, $r + j\omega l$ är skenledningens impedans.

För bestämning av induktionen tänker man sig således kontaktledningsströmmen uppdelad i tvenne delar kJ_0 och $(1 - k)J_0$ och beräknas induktionen från dessa båda delar var för sig.

För delen kJ_0 tjäna kontakt- och skenledning såsom dubbelledning. Induktion från denna del förekommer endast i den mån den inducerade ledningens avstånd till kontakt- och skenledning äro olika. Äro avstånden a_1 och a_2 blir inducerade spänningen per km

$$V = \omega \log \frac{a_2}{a_1} \cdot 10^{-4} \cdot kJ_0 \text{ volt} \dots \dots \dots (11)$$

För delen $(1 - k)J_0$ av kontaktledningsströmmen tjänstgör jorden som återledning och skenorna ingå här ej i ledningskretsen i annan mån än att strömmens övergång till jorden förmedlas av de delar av skensträngarna som befinna sig i närheten av matnings- resp. belastningspunkterna. Ömsesidiga induktionen bestämmes då av den förut anförda formeln (8) och inducerade spänningen per km blir

$$V = \omega 2 \left\{ \log \frac{2s}{d} - q \right\} \cdot 10^{-4} (1 - k) \cdot J_0 \text{ volt} \dots \dots \dots (12)$$

För denna del av induktionen är således inducerad spänning *per km* beroende av de parallella ledningarnas längd, på det sätt att densamma något ökas med ledningslängden.

KONTAKTLEDNINGENS OCH SKENLEDNINGENS KONSTANTER.

För att kunna bestämma induktionen enligt ovanstående formler måste man känna konstanterna för kontakt- och skenledningarna. En del av dessa kunna beräknas, å andra finnas direkta mätningar utförda vid försöken med elektrisk järnvägsdrift utförda å Statens järnvägar åren 1905—1907.

Självinduktionskoefficienten för enkla ledningar och ömsesidiga induktionskoefficienten mellan tvenne sådana per km räknat äro såsom nämnt beroende på ledningens längd. Med hänsyn till innebörden av Neumans formel, av vilken den förut angivna lagen för induktionskoefficienten deduceras, synes härvid vara riktigast att såsom värde å parallella längden taga fågelvägsavståndet mellan ledningens ändpunkter. För kortare förekommande avstånd, å vilka mätningar blivit utförda, skiljer sig detta ej avsevärt från kontaktledningens längd, men då hela sträckan Kiruna—Riksgränsen avses, hör avståndet sättas 100 km i stället för banavståndet 129 km.

Driftsfrekvensen för banan är 15 perioder, men för jämförande undersökningar ha en del mätningar gjorts med 25 perioders ström. De konstanter, som äro beroende av periodtalet ha därför bestämts för både 15 och 25 perioder. Vidare gjordes vissa mätningar vid de första undersökningarna med ett periodtal av $16\frac{2}{3}$. Då en del av dessa mätningar utfördes med särskild omsorg och motsvarande mätningar ej blivit utförda med periodtalen 15 eller 25 har det syntts önskvärt få resultaten av desamma här belysta, varför vissa konstanter beräknats jämväl för detta periodtal.

Kontaktledningen består av en bärtråd med 50 mm² area och en kontakttråd med 80 mm² area, båda av koppar. Motståndet per km blir

$$r_k = 0,130 \Omega.$$

Självinduktionskoefficienten för kontaktledningen per km bestämmes av

$$L = 2 \left\{ \log \frac{2s}{\varrho_0} + \frac{1}{4} - q \right\} \cdot 10^{-4} \text{ henry} \dots \dots \dots (13)$$

Avståndet mellan bärtråden och kontakttråden varierar å ett spänn mellan 0,2 och 1,4 meter. Strömfördelningen mellan dessa är svår att bestämma, då avståndet ej är konstant. Om detta vore konstant d_k och trådarnas radier vore lika ($= \varrho$) skulle självinduktionskoefficienten för de båda ledarna sammankopplade erhållas på följande sätt:

Kalla självinduktionskoefficienten hos vardera tråden för tillfället l och ömsesidiga induktionskoefficienten m , så är spänningsfallet per längdenhet då strömmen i delar sig lika mellan trådarna

$$V = l \frac{d\frac{i}{2}}{dt} + m \frac{d\frac{i}{2}}{dt} = \frac{l+m}{2} \cdot \frac{di}{dt}$$

d. v. s. resulterande självinduktionskoefficienten

$$L = \frac{l+m}{2}$$

Men

$$l = 2 \left(\log \frac{2s}{q} - q + \frac{\mu}{4} \right) \cdot 10^{-4}$$

$$m = 2 \left(\log \frac{2s}{d_k} - q \right) \cdot 10^{-4}$$

$$\therefore L = 2 \left(\log \frac{2s}{\sqrt{q} d_k} - q + \frac{\mu}{8} \right) \cdot 10^{-4}$$

Bortser man från den del av självinduktionskoefficienten som beror på det inre fältet $\left(\frac{\mu}{8}\right)$ fås således självinduktionskoefficienten för de parallellkopplade trådarna genom att i formeln (13) sätta

$$q_0 = \sqrt{q d_k}$$

Tillräcklig noggrannhet torde här erhållas med $d_k = 300 \text{ mm}$ och $q = 4,5$, medeltalet av ledarnes diametrar, d. v. s. $q_0 = 37$ eller i runt tal 40 . q sättes lika med 2.

Härav fås L per km i henry

för $s = 100 \text{ km}$	8 km
$L = 0,273 \cdot 10^{-2}$	$0,223 \cdot 10^{-2}$

Kontaktledningens impedans per km blir således:

$n = 15$	$n = 16^2/s$	$n = 25$
för 100 km $0,130 + j 0,257$	$0,130 + j 0,286$	$0,130 + j 0,428$
» 8 » $0,130 + j 0,210$	$0,130 + j 0,233$	$0,130 + j 0,350$

Skenledningen består av tvenne parallellkopplade skensträngar. Enligt resultat från försöksdriften är motståndet vid 25 perioder och en strömstyrka av c:a 45 amp. för skenor utan skenförbindningar . . . $r_s = 0,216 \Omega$
 för skenor med skenförbindningar $0,093 \Omega$.
 Motståndet i skarvarna är således $0,123 \Omega$.

Om själva skenledningens motstånd ökas med kvadratroten ur frekvensen såsom i försöksberättelsen anges, blir skenmotståndet för ett periodtal n

$$r_s = 0,123 + 0,093 \sqrt{\frac{n}{25}}$$

Skenskarvmotståndet minskas emellertid avsevärt med strömstyrkans ökning. Så har erhållits vid omkring 190 amp.

$$r_s = 0,071 + 0,107 \sqrt{\frac{n}{25}}.$$

Ökningen i själva skenans motstånd beror på att permeabiliteten, μ , ökas vid större strömstyrka och att motståndet hos skenan även ökas med μ .

Motståndet per km beräknas av ovanstående till

	15	16 ² / ₃	25 perioder/sek.
för 45 amp.	0,195	0,199	0,216
» 190 »	0,154	0,158	0,178

Självinduktionskoefficienten är för de båda skenorna

$$L = \left\{ \frac{\mu}{4} + \log \frac{2s}{\varrho} + \log \frac{2s}{d_1} - 2 \right\} \cdot 10^{-4}$$

och uppdelas för bestämningen i de tre delarna:

$$l_2 = \left\{ \frac{\mu}{4} + \log \frac{d_1}{\varrho} \right\} \cdot 10^{-4}$$

$$l_3 = 2 \log \frac{d_0}{d_1} \cdot 10^{-4}$$

$$M = 2 \left\{ \log \frac{2s}{d_0} - 1 \right\} \cdot 10^{-4}.$$

Här är d_1 = avståndet mellan skenorna.

ϱ = ena skenans ekvivalenta radie.

d_0 = avståndet mellan kontaktledningen och ena skenan.

Reaktansen ωl_2 för 25 per. är vid försöksbanan uppmätt till 0,155. ωl_2 stiger något vid ökad strömstyrka på grund av ökning i μ .

l_3 beräknas för $d_0 = 5,75$ $d_1 = 1,435$ till

$$l_3 = 0,0277 \cdot 10^{-2}.$$

M är ömsesidiga induktionskoefficienten per km mellan kontaktledningen och ena skensträngen. Den är beroende av skenledningens längd och blir

$$\text{för } 100 \text{ km } 0,189 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{» } 8 \text{ km } 0,139 \cdot 10^{-2}.$$

För de olika periodtalen fås nu reaktanserna x_2 , x_3 och ωM samt summan av dem som är skenledningens reaktans ωL .

	15 per.		16 ² / ₃ per.		25 per.	
	100 km	8 km	100 km	8 km	100 km	8 km
x_2	0,069	0,069	0,077	0,077	0,115	0,115
x_3	0,026	0,026	0,029	0,029	0,044	0,044
ωM	0,178	0,131	0,198	0,145	0,297	0,218
ωL	0,273	0,226	0,304	0,251	0,456	0,377

Värdena å impedanserna hos skenledningen för 100 och 8 km längd för de olika periodtalen bli då:

	100 km	8 km
15 per.	$0,195 + j 0,273 = 0,335 (+ 54^\circ 30')$	$0,154 + j 0,226 = 0,273 (+ 55^\circ 40')$
16 ² / ₃ »	$0,199 + j 0,304 = 0,364 (+ 56^\circ 50')$	$0,158 + j 0,251 = 0,297 (+ 57^\circ 50')$
25 »	$0,216 + j 0,456 = 0,504 (+ 64^\circ 40')$	$0,178 + j 0,377 = 0,417 (+ 64^\circ 40')$

I denna tabell har för 100 km såsom värde å motståndet tagits det för 45 amp. bestämda och för 8 km motståndsvärdet vid 190 amp. strömstyrka. Då mätningar å längre sträckor utförts med svagare strömstyrkor än mätningar å korta sträckor bör denna åtskillnad verka åt rätt håll ehuru man naturligtvis ej har att vänta exakt överensstämmelse, då skenskarvmotståndet äro beroende av så många andra omständigheter, vilka vid de olika mätningarna ej kunnat vara oförändrade.

Av de uträknade värdena erhållas nu värdena å

$$k = \frac{j\omega M}{r + j\omega L} \quad (\text{se form. 10})$$

samt å $1 - k$

Tabell för k .

	100 km	8 km
15 per.	$0,433 + j 0,309 = 0,531 (+ 35^\circ 30')$; $0,397 + j 0,271 = 0,480 (+ 34^\circ 20')$	
16 ² / ₃ »	$0,455 + j 0,298 = 0,544 (+ 33^\circ 10')$; $0,415 + j 0,260 = 0,489 (+ 32^\circ 10')$	
25 »	$0,531 + j 0,252 = 0,588 (+ 25^\circ 20')$; $0,473 + j 0,224 = 0,524 (+ 25^\circ 20')$	

Tabell för $1 - k$.

	100 km	8 km
15 per.	$0,567 - j 0,309 = 0,646 (- 28^\circ 35')$; $0,603 - j 0,271 = 0,661 (- 24^\circ 10')$	
16 ² / ₃ »	$0,545 - j 0,298 = 0,621 (- 28^\circ 40')$; $0,585 - j 0,260 = 0,640 (- 24^\circ 0')$	
25 »	$0,469 - j 0,252 = 0,532 (- 28^\circ 15')$; $0,527 - j 0,224 = 0,572 (- 23^\circ 0')$	

Bestämningen av k har skett även genom mätningar. En längre sträcka har matats med kortslutningsström och strömstyrkan har uppmätts ungefär mitt på sträckan. Några av mätvärdena anges i nedanstående tabell:

Strömmätning å sträckan	amp	per	k	måttillfälle
Kiruna—Torneträsk.....	84,5	$16\frac{2}{3}$	0,412	dec. 1914
» — Abisko	86	»	0,448	» »
» — Riksgränsen (mätt i Torneträsk) ...	83,5	»	0,428	» »
» — Riksgränsen (mätt i Abisko)...	80,0	»	0,450	» »
» — Vassijaure	43	»	0,558	mars 1915
» — »	50	25	0,585	» »
Kiruna—Riksgränsen	40,3	25	0,500 (+ 31°)	maj 1916
» — »	31,0	»	0,489 (+ 34°)	» »
» — »	20,1	»	0,501 (+ 38°)	» »

Vid de tre sistnämnda mätningarna bestämdes fasvinkeln för k genom att i kontakt- och skenledningen i serie med resp. ampèremeter inkopplades strömspolen av en wattmeter. Båda wattmetrarnas spänningsspolar inkopplades parallellt med en voltmeter inlänkad i en telefonledning som gick parallellt med banan och sålunda utsattes för induktion från systemet. Av wattmetrarnas utslag, jämförda med ström- och spänningsavläsningarna, bestämmes fasskillnaden för strömmen i telefonledningen och strömmarna i kontakt- resp. skenledningen samt härav fasvinkeln mellan dessa senare, se fig. 9.

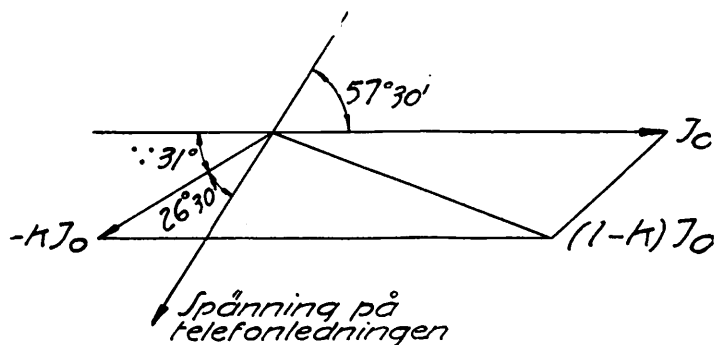


Fig. 9.

I ovanstående diagram visas de olika storheternas läge i förhållande till varandra motsvarande mätningar vid 40,3 amp.

$1 - k$ blir lika med 0,626 ($-24^{\circ} 20'$).

Fasvinkeln emellan $(1 - k) J_0$ såsom inducerande och den inducerade strömmen i telefonledningen blir $98^{\circ} 50'$, vilket motsvarar en färförskjutning av $8^{\circ} 50'$ mellan spänning och ström i telefonledningen.

Betraktar man de olika mätvärdena å k befinnes mätningarna i dec. 1914 lämna avgjort lägre värde än senare erhållna. Detta torde stå i samband därmed att driften vid banan då ännu ej börjat, vilket torde kunna förklara att skenskarvmotstånden då voro i genomsnitt större än

de efter någon tids drift blivit. Denna erfarenhet har man också haft vid försöksdriften Värtan—Tomtebodan—Järva.

Sedan konstanten k och ömsesidiga induktionskoefficienten mellan svagströmsledningen och kontakt- resp. skenledningen blivit bestämda, kunna de inducerade spänningarna beräknas enligt formlerna (11) och (12). För att få jämförelsetal plägar man ange spänningen i volt per 100 ampkilometer. Då formlerna (11) och (12) förutsätta att ingen induktion erhålles från de strömmar i skenorna som uppstå på grund av spänningsfall, skall här först undersökas under vilka villkor detta gäller.

Om skenledningens impedans per km är konstant och likaså koefficienten för läckningen till jord, bestämmes utgående strömmen i skenan för viss spänning samt storleken av den ström som på vissa avstånd från utgångspunkten finnes kvar i skenan enligt ekvationerna för homogena

$$\text{ledningarna nämligen av karaktäristikan } Z = \sqrt{\frac{r + j\omega L}{a}}$$

$$\text{och dämpningsexponenten } \gamma = \sqrt{a(r + j\omega L)}$$

där $\frac{1}{a}$ är isolationsmotståndet uttryckt i ohm per km.

Med värdet å $r + j\omega L$ för 15 perioder enligt föregående $0,273 (+55^\circ 40')$, fås

$$Z = 0,522 \sqrt{\frac{1}{a}} (+27^\circ 50')$$

$$\gamma = 0,522 \sqrt{a} (+27^\circ 50') = \sqrt{a} \{0,452 + j 0,244\}$$

Strömstyrkan avtager således utefter ledningen i proportionen $e^{-0,452 \sqrt{a} x}$ per km och fasförskjutes

$$\sqrt{a} \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 0,244 = \sqrt{a} \cdot 14^\circ \text{ per km.}$$

Variationerna för olika värden å isolationsmotståndet $\frac{1}{a}$ visas i nedanstående tabell.

$\frac{1}{a}$ Ω/km	Förhållande mellan strömmarna i punkter på 1 km:s avstånd	Fasförskjutning i grader per km	Strömmen sjunker till		Z ohm
			10 %	1 %	
			efter antal km		
2	0,726	9,9°	7,2	14,4	0,74
5	0,817	6,3°	11,4	22,8	1,17
10	0,867	4,4°	16,1	32,2	1,65
20	0,904	3,1°	22,8	45,6	2,33
100	0,956	1,4°	51	102	5,22

Om nu spänningen i skenan i den punkt där strömmen tilledes är v , så blir antalet ampèrekilometer från denna punkt åt ena hållet fram till den punkt där skenspanningen är noll

$$\int idv = \frac{v}{r + j\omega L} \dots \dots \dots (14)$$

således endast beroende av skenimpedansen per km, oberoende av läckningen. Är således skenimpedansen per km åt båda hållen lika inom de sträckor strömmen följer skenan, blir antalet ampèrkilometer lika och de inducerade spänningarna i närliggande ledningar, vilka bliva lika och motriktade, upphäva varandra. I vissa fall, t. ex. då strömmen tillades skenan vid ena ändpunkten av en bangård såsom förhållandet är vid Kiruna transformatorstation kommer strömmen att dela sig på flera spår. Antages samma impedans hos vart och ett av spåren och bortses från inbördes induktionsverkan mellan dessa blir antalet ampèrkilometer i varje spår åt ena hållet lika med antalet ampèrkilometer i det ensamma spåret åt andra hållet. Dock blir här induktionen mindre från de avlägsnare spåren, så att uppstående övertikt för induktionen i ena riktningen ej bör bliva stor i synnerhet som vid en anordning av nyss beskriven art den uppstående spänningen blir relativt låg. För den händelse strömmen åt ena hållet skulle utebliva, t. ex. vid skenavbrott, kan det vara av intresse undersöka av vad storlek antalet ampèrkilometer åt andra hållet kan bliva.

Benämnes antalet ampèrkilometer på grund av skenströmmen A så är enligt föregående

$$A = \frac{v}{r + j\omega L} \dots \dots \dots (14 a)$$

eller uttryckt i J , utgående strömstyrkan åt ena hållet,

$$A = \frac{J}{\gamma} \dots \dots \dots (15)$$

Härav fås fasvinklarna för ström, spänning och för A , om fasvinkeln för $r + j\omega L$ sättes $= \varphi$ ($\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{r}$) enligt fig. 10.

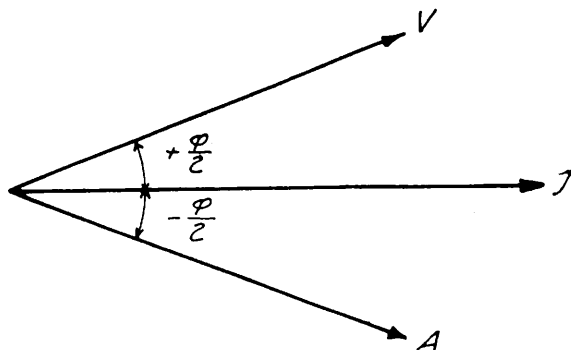


Fig. 10.

För $\frac{1}{a} = 5$ ohm per km blir

$\gamma = 0,233$ och således för 100 amp. i kontaktledningen, varvid $(1 - k) \cdot 100 = 64,6$ amp. skall använda jorden som återledning, blir antalet ampkm i skenledningen, då hela strömmen går åt ett håll

$$A = \frac{64,6}{0,233} = 275 \text{ ampkm}$$

under det hela kontaktledningens är 12900 ampkm eller, reducerat i proportionen $1 - k$, 8330.

A utgör härav endast 3,3 % vartill kommer att det antal ampkm som A representerar ligger i fas en vinkel $\frac{\varphi}{2}$ efter kontaktledningens. För kortare längder av kontaktledningen strömförande och för större värde på $\frac{1}{a}$ kan A få större betydelse. Det bör observeras att A är mindre än vad som erhålles om strömstyrkan i olika punkter grafiskt avsättes och antalet ampkilometer på detta vis planimetriskt bestämmes. En integration ger att på detta sätt fås värdet $A_1 = \frac{J}{\beta}$ där β är reella delen av γ , d. v. s. med föregående beteckningar är $A = A_1 \cos \frac{\varphi}{2}$, beroende på strömmens successiva fasförskjutning utefter skenledningen.

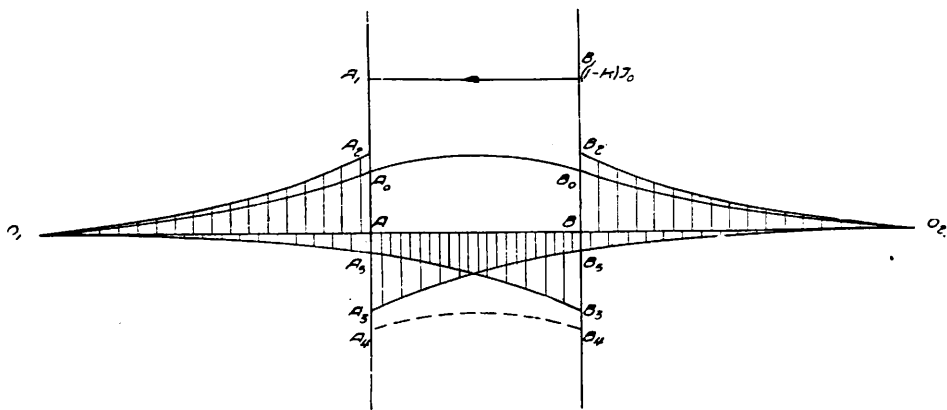


Fig. 11.

Fig. 11 visar strömfördelningen i en homogen skenledning, då kontaktledningen är strömförande, under en kortare längd. Strömmar som gå i riktningen $B \rightarrow A$ räknas positiva, de motsatta negativa. Det antages att strömmarna kunna sammansättas genom superposition. Mellan A och B uppstår då på grund av spänningen i B ett antal ampkm som representeras av ytan $A A_3 B_3 B$ och på grund av spänningen i A ytan $A A_3 B_3 B$; båda äro negativa och tillhopa lika med $A A_4 B_4 B$. Denna yta blir lika med de båda på samma sätt uppkomna positiva $A A_0 O_1 A + B B_0 O_2 B$. Resulterande antal ampkm (kontaktledningens och skenledningens) blir således $A O_1 A_0 B_0 O_2 B$, som är lika stor med $A A_1 B_1 B$. På grund av uppstående spänningsfall i skenan blir sålunda den resulterande strömmen fördelad över en större längd, dock utan att antal ampkilometer förändras. På induktionen till närliggande ledningar blir detta förhållande dock ej alldeles utan verkan, då som av formlerna framgår induktionen är pro-

portionell utom mot antalet ampèrkilometer även mot ömsesidiga induktionskoefficienten per km, vilken ju är beroende av ledningslängden.

Den olika strömfördelningen vid olika längder av ledningen bör också komma till uttryck i ledningens kortslutningsimpedans. I Bil. 13 äro uträknade gränsvärdena för denna vid 15 perioder för en kort ledning där all ström beräknas återgå i skenorna samt för en lång ledning, där skenströmmen blir konstant $= k \cdot J_0$ och delen $1 - k$ av kontaktledningsströmmen länkes gå till jorden med ett motstånd som i förhållande till övrig impedans i kortslutningsslingan är obetydligt.

För det första fallet ger beräkningen en impedans per km

$$0,284 + j0,194 \text{ för 15 perioder,}$$

varvid antagits det skenmotstånd som svarar mot strömstyrkan c:a 190 amp. Vid mätning å den 8,1 km långa sträckan Kiruna—Krokvik har erhållits för 163 amp. 15 per. i maj 1916

$$0,279 + j0,170.$$

I mars 1917 utfördes mätningar av impedansen vid kortslutningsström från Torneträsk c:a 20 km norrut resp. söderut, varvid mätsträckan genom skenavbrott isolerades från de norr och söderut fortsättande skensträngarna.

Mätresultaten blevo:

	strömstyrka	per	impedans per km.
Torneträsk—25,1 km söderut	54 amp.	15	$0,257 + j0,156$
» —20,6 » norrut	61 »	»	$0,318 + j0,167$

För en lång sträcka ger beräkningen impedansen per kilometer för de olika periodtalen:

15 per	$0,185 + j0,180$
$16^{2/3}$ »	$0,189 + j0,196$
25 »	$0,205 + j0,270$

På grund av jordledningsmotståndet borde vid mätning erhållas ett något större värde. Om skenledningen vore homogen och lika vid båda ändpunkterna skulle tillkomma för hela sträckan en impedans $= Z$ (skenledningens karaktäristik). Vid ett isolationsmotstånd hos skenan av 5 ohm per km är Z omkring 1,2 eller, fördelat per kilometer av den c:a 120 km långa sträckan 0,010 ohm. Å andra sidan bör impedansen bli något lägre än beräknat på grund av såväl kontaktledningens som skenledningens uppdelning på två eller flere grenar vid bangårdarna, vilka förekomma på c:a 10 km:s avstånd och inalles representera en minskning i ledningslängden av 3,7 km, då mätningar utföras från Kiruna transformatorstation till Riksgränsen resp. 4,8 km då mätningar utföras från Luossavara—Kirunavara AB:s kraftstation i Kiruna till Riksgränsen. Vidare äro mätningarna, vilkas resultat nedan återgivas, utförda vintertiden och vid en temperatur av -10° å -20° C., vartill hänsyn ej tagits vid motståndsberäkningarna.

Beräkningarna äro utförda för skenmotstånd svarande mot 45 amp. strömstyrka. Vid mätningar utförda med härifrån avvikande värde å strömstyrkan i skenledningen har man således att vänta högre resp. lägre värde å motståndet för lägre resp. högre strömstyrka.

Tabell över uppmätt kortslutningsimpedans.

Sträcka	Längd km	Periodtal	Ström- styrka	Impedans	Måttillfälle
Medelvärde av flera mät- ningar	90,5	15	omkr. 24	$0,196 + j 0,174$	febr. 1914
Kiruna—Abisko	91,1	»	61,5	$0,177 + j 0,175$	» 1916
» — Riksgränsen	129	$16^{2/3}$	50	$0,183 + j 0,187$	jan. 1915
» — Vassijaure	122	»	43	$0,191 + j 0,187$	mars »
» — »	»	»	68	$0,185 + j 0,189$	» »
» — »	»	»	81	$0,180 + j 0,213$	» »
» — Riksgränsen	129	25	50	$0,190 + j 0,266$	jan. »
» — Vassijaure	122	»	33	$0,202 + j 0,258$	mars »
» — »	»	»	50	$0,191 + j 0,262$	» »
» — »	»	»	68	$0,190 + j 0,254$	» »

De uppmätta värdena överensstämma sålunda rätt väl med de beräknade. Vid beräkningen av kontaktledningens självinduktionskoefficient antogs $q = 2$, vilket värde kan anses väl högt, då endast en del av kontaktledningsströmmen går tillbaka genom jorden, men man måste observera att här uppstår induktion till kontaktledningen (åstadkommande minskning i dess reaktans) från de strömmar, som gå till jorden och härvid passera en del av skenledningen mellan matnings- och belastningspunkterna, och dessas inverkan upphäves ej här av de strömmar, som gå i skenledningarnas fortsättningar utanför den sträcka, å vilken kontaktledningen är strömförande. De senares medelavstånd från kontaktledningen är ju nämligen väsentligt större än de förras.

INDUKTION FRÅN KONTAKTLEDNINGEN TILL PARALLELLGÅENDE SVAGSTRÖMSLEDNINGAR.

För delen kJ_0 av kontaktledningsströmmen, för vilken skenledningen tjänstgör såsom återledning, är induktionen per kilometer oberoende av svagströmsledningens längd. Dess värde är enl. (11)

$$V = \omega \log \frac{a_2}{a_1} \cdot 10^{-4} \cdot kJ_0 \text{ volt/km}$$

För att man skall få detta värde vid uppmätning erfordras naturligtvis att de punkter i vilka svagströmsledningen jordas ha samma potential. Inducerade spänningen från denna del av strömmen är, då avståndet till svag-

strömsledningen är någorlunda stort, relativt liten. För medelavståndet å sträckan Kiruna—Riksgränsen, 17,3 m, äro i Bil. 14 uträknade inducerade spänningarna per 100 ampèrekilometer i kontaktledningen uti ledningar på 7 resp. 3 m. höjd över marken för värdena å k motsvarande 100 km.

	7 m.	3 m.
15 perioder	0,057 volt	0,016 volt
25 »	0,106 »	0,029 »

I förhållande till de uppstående spänningarna från den ström, som använder jord såsom återledning, äro dessa spänningar obetydliga, och deras inverkan på den totala spänningen så mycket mindre som de äro 50 à 60° fasförskjutna i förhållande till spänningen från strömmen $(1-k)J_0$. Den verkar ökande om svagströmsledningen ligger *över* det mellan kontaktledningen och rälsen tänkta mittplanet, annars minskande.

Man kan således i allmänhet räkna med strömmen $(1-k)J_0$ såsom huvudsakligen inducerande del av kontaktledningsströmmen. Om svagströmsledningen sträcker sig tillräckligt långt åt vardera hållet över den sträcka å vilken kontaktledningen är strömförande och potentialen är noll i de punkter, där svagströmsledningen är jordad beräknas spänningen *per kilometer* enligt (12)

$$V = \omega \cdot 2 \left\{ \log \frac{2s}{d} - q \right\} \cdot 10^{-4} \cdot (1-k) \cdot J_0 \text{ volt}$$

Är svagströmsledningen jordad vid kontaktledningens matnings- och belastningspunkter tillkomma de i dessa punkter befintliga spänningarna till jord. Vidare bör från värdet å induktionen avdragas den spänning som skulle uppstå från antalet ampèrekilometer i skenledningens förlängningar. Ungefärliga storleken av dessa spänningar har förut beräknats. Här skola de nu blott sammansättas med huvudspänningen för undersökning av deras inverkan på den totala spänningen varvid för enkelhets skull skenledningen antages homogen på tillräckligt lång sträcka på ömse sidor om belastnings- och matningspunkterna med lika karaktäristik och dämpning, Z resp. γ .

Totala spänningen för hela sträckan s enligt formel (12) betecknas

$$j\omega M (1-k) J_0 \cdot s$$

Då är spänningsskillnaden på grund av jordspänningarna

$$(1-k) J_0 \cdot Z$$

och inducerade spänningen från strömmarna i skenledningens förlängningar

$$j\omega M \cdot (1-k) \frac{J_0}{\gamma}$$

Spänningarna sammansätta sig enligt fig. 12. φ är fasvinkeln för skenledningens impedans $r + j\omega L$. Är denna blott konstant, så ändras Z och

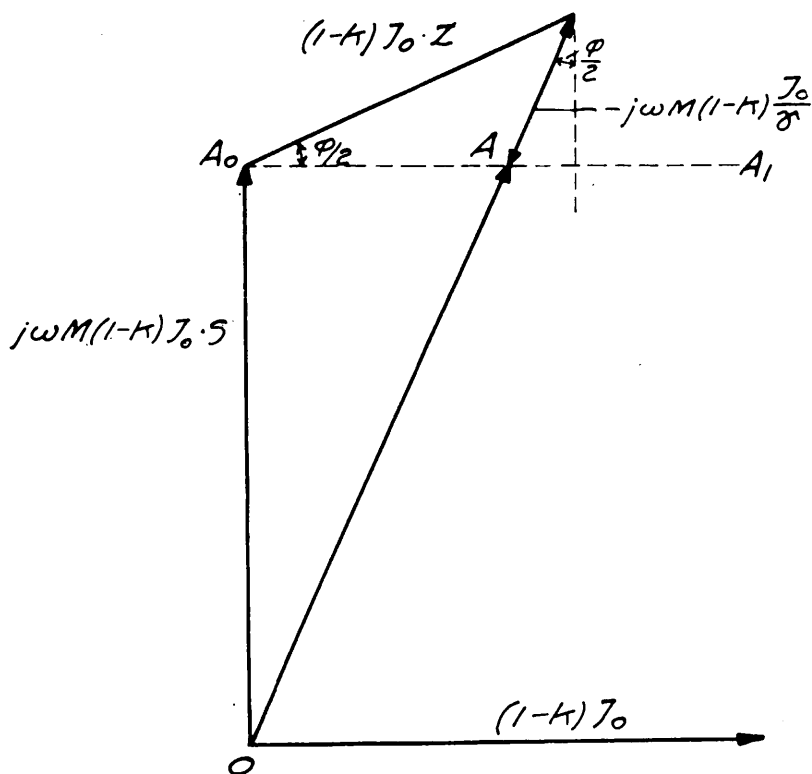


Fig. 12.

$\frac{1}{\gamma}$ proportionellt vid ändring i värdet på läckningen, a . Resultanten av de båda spänningarna

$$A_0A = (1-k)J_0Z - j\omega M(1-k)\frac{J_0}{\gamma}$$

kommer således att ökas i proportionen $\sqrt{\frac{1}{a}}$ och bibehåller vid förändringen i a oförändrad fasvinkel. Vektorn för den resulterande spänningen OA kommer således att sluta på den räta linjen A_0-A-A_1 . Såsom å sid. 109 och 110 beräknats kan inducerade spänningen från skenledningarnas förlängning vid ett genomsnittsvärde å läckningen, $a = \frac{1}{5}$, och vid 129 km strömförande längd å kontaktledningen gå upp till 3,3 % av OA_0 . För samma värden fås spänningsskillnaden i skenorna mellan matnings- och belastningspunkterna lika med c:a 76 volt för 100 amp. i kontaktledningen. Huru stor del av inducerade spänningen OA_0 detta utgör beror på svagströmsledningens avstånd från banan. För ett i Bil. 14 beräknat fall (avståndet till banan 17,3 m.) erhålles 8,96 volt per 100 ampèrekilometer eller för 129 km 100 amp. 1156 volt. Spänningsfallet, 76 volt, utgör härav 6,6 %. Sammansättas spänningarna enligt diagrammet, blir $OA = 1,006 \cdot OA_0$ d. v. s. spänningen blir så gott som oförändrad. I verkligheten kan nog A_0A skilja sig från detta värde, så att skillnaden mellan OA_0 och OA blir

större, ty dels har en jordplåt, till vilken svagströmsledningen kopplas, lägre spänning än den punkt av skenan där kontaktledningen är ansluten, dels komma strömmarna i skenledningens fortsättningar dock att verka *något* inducerande på svagströmsledningen ehuru ej i samma grad som om denna fortsatte parallellt med skenledningens fortsättning.

En del utförda mätningar visa också större inverkan av spänningsfall och induktion från skenledningens fortsättning. Den 6—9 januari 1915 uppmättes induktionen från 80 amp. kortslutningsström $16\frac{2}{3}$ per. Kiruna—Riksgränsen i en telefonledning som var utsträckt långt över mätsträckan, nämligen till Narvik och Luleå, där den var jordad. Förutom spänningen i denna slinga mättes även spänningen från de punkter, där strömmen tillfördes skenorna i Kiruna och Riksgränsen.

Vid mätning i Kiruna erhöles

Luleå—Kiruna	65,3	volt
Kiruna—Narvik.....	820	»
Luleå—Narvik	779	»

och vid mätning i Riksgränsen:

Luleå—Riksgränsen	897	volt
Riksgränsen—Narvik	114	»
Luleå—Narvik	811	»

Fasvinkeln ψ (fig. 13) mellan totala inducerade spänningen och spänningen i skenan + inducerad spänning i mätledningens fortsättning blir då $52^{\circ}40'$ resp. $43^{\circ}40'$.

Vid kortslutningsström å sträckan Kiruna—Kaisepakte och mätning i Kaisepakte erhöles:

Luleå—Kaisepakte	533	volt
Kaisepakte—Narvik	76,6	»
Luleå—Narvik	507	»
och vinkeln $\psi =$	74°	

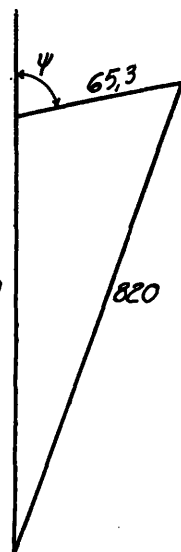


Fig. 13.

Som synes äro värden uppmätta vid olika tillfällen å samma sak ej fullt överensstämmande. Då mätningen utfördes före den elektriska driftens igångsättande torde detta vara att tillskriva variationer i konstanterna, speciellt hos skenledningen. De från beräkningarna ej oväsentligt avvikande värdena å spänningsfallet och dess fasvinkel kunna måhända även förklaras av detta förhållande. I samband härmed kan anmärkas att i dec. 1914 vid kortslutningsmätning med 80 amp. Kiruna—Riksgränsen strömstyrkan i skenledningens förlängning (till Norge) var endast 3 ampère.

Den vid ström i kontaktledningen uppstående spänningen i en parallell svagströmsledning består således, när de båda ledningarna äro jordade på samma plats, av tvenne delar: *den ena* beroende på elektromagnetisk induktion, *den andra* utgörande jordspänningar. Med undantag för mycket korta sträckor, är den förra avsevärt större än jordspänningen, åtminstone vid anläggningar av samma typ som bandelen Kiruna—Riksgränsen.

Detta gäller, såsom här hela tiden avsetts, då kontaktledningen matas med växelström. Vid *likström* bortfaller den elektromagnetiska induktionen helt och hållet (med undantag för övertoner, vilka ju äro växelströmmar) och endast jordspänningarna återstå. Mätningar med likström i kontaktledningen ha utförts i januari 1915 å sträckan Kiruna—Riksgränsen vid 25 och 68,7 amp. i kontaktledningen. Den i telefonledningen uppmätta spänningen, som utgör spänningsskillnaden mellan skenledningarna i Kiruna och Riksgränsen utgjorde 24,4 resp. 59 volt eller 0,98 resp. 0,86 volt per amp. i kontaktledningen. Såsom är att vänta visar sig jordledningsmotståndet således avtaga något med stigande strömstyrka. Av föregående framgår att denna jordspänning, så länge sträckan är kort, tilltager med denna längd, men närmar sig för ökad längd å sträckan ett för strömstyrkan i fråga bestämt värde, som för ytterligare ökning förblir konstant, naturligtvis under förutsättning att jordledningsmotståndet utefter hela sträckan är konstant.

INVERKAN Å DEN I EN LEDNING INDUCERADE SPÄNNINGEN AV ANDRA LEDNINGAR, VILKA I BÅDA ÄNDPUNKTERNA ÄRO SATTA TILL JORD.

För tre stycken ledningar, betecknade med index 0, 1, x , av vilka 0 antages vara kontaktledningen, x den ledning å vilken spänningen skall bestämmas och 1 en annan ledning, gäller, om jordmotståndet försummas,

$$\left. \begin{aligned} v_0 &= (r_0 + j\omega l_0) i_0 + j\omega m_{01} i_1 + j\omega m_{0x} i_x \\ v_1 &= j\omega m_{01} i_0 + (r_1 + j\omega l_1) i_1 + j\omega m_{1x} i_x \\ v_x &= j\omega m_{0x} i_0 + j\omega m_{1x} i_1 + (r_x + j\omega l_x) i_x \end{aligned} \right\}$$

eller om konstanterna betecknas z med resp. index

$$\left. \begin{aligned} v_0 &= z_{00} i_0 + z_{01} i_1 + z_{0x} i_x \\ v_1 &= z_{01} i_0 + z_{11} i_1 + z_{1x} i_x \\ v_x &= z_{0x} i_0 + z_{1x} i_1 + z_{xx} i_x \end{aligned} \right\}$$

Är nu 1 jordad så är $v_1 = 0$, är vidare x öppen så är $i_x = 0$, då ledningen är kort i förhållande till våglängden för periodtalet i fråga. Gäller det att bestämma v_x i förhållande till i_0 blir dessutom den första ekvationen överflödig.

Således

$$\begin{aligned} 0 &= z_{01} i_0 + z_{11} i_1 \\ v_x &= z_{0x} i_0 + z_{1x} i_1 \\ v_x &= \left(z_{0x} - \frac{z_{01} \cdot z_{1x}}{z_{11}} \right) \cdot i_0 \end{aligned}$$

Befinna sig ledningarna 1 och x på samma stolplinje äro z_{01} och z_{0x} mycket nära lika varandra vid stora avstånd till kontaktledningen

$$\therefore v_x = z_{0x} \left\{ 1 - \frac{z_{1x}}{z_1} \right\} i_0 \dots \dots \dots (16)$$

Beräkning i Bil. 15 visar att en kortsluten 3 mm. koppartråd på avståndet 56 cm. från den ledning, i vilken spänningen mätes, minskar denna spänning med endast 0,6 %. Även om flere ledningar vore på detta sätt kortslutna skulle någon nämnvärd inverkan ej uppstå, då avståndet i medeltal blir större än här beräknat, samt ledningarna vid bandelen Kiruna—Riksgränsen äro med endast ett undantag järnledningar, vilkas inverkan i detta avseende med i övrigt lika förhållanden blir endast omkring $\frac{1}{6}$ av en kopparlednings inverkan.

Vid bandelen Kiruna—Riksgränsen finnes en mätning utförd den 16 okt. 1914, vilken vid första påseendet synes strida mot ovan erhållna resultat. Vid försöket, som utfördes å kopparledningen Kiruna—Riksgränsen, erhöles en minskning i spänningen i ena branschen, då den andra jordades i båda ändar, till omkring 60 % av värdet. Förklaringen ligger däri, att den i Riksgränsen på denna tid använda jordledningen hade mycket stort motstånd (ca 200 Ω), såsom senare konstaterats. Då koppartrådens motstånd är ca 300 ohm uppstår således vid »kortslutningen» i jordledningen en spänning som är omkring 40 % av den inducerade.

JÄMFÖRELSE MELLAN BERÄKNADE OCH UPPMÄTTA VÄRDEN Å INDUKTIONEN.

Enligt beräkning i Bil. 14 bör inducerade spänningen i volt per 100 ampèrekilometer för 100 resp. 8 km. inducerande längd hos kontaktledningen bliva

		100 km.	8 km.
för 15	per.	8,96	6,23
» 16 $\frac{2}{3}$	»	9,56	6,75
» 25	»	12,28	8,98

Beräkningen är beträffande värdena för 100 km. utförd för medelavståndet å hela sträckan Kiruna—Riksgränsen, 17,3 m., beträffande värdena för 8 km:s längd för 14,8 m., medelavståndet på sträckan Kiruna—Krokvik. Då inductionens minskning med avståndet sker rätt långsamt, bör användandet av medelavståndet vid beräkningen ej förorsaka nämnvärt fel.

Såsom framgår av formeln (12) blir inducerade spänningen proportionell mot periodtalet, om endast kontaktledningen är strömförande. På grund av skenornas inverkan, vilken i formeln ger sig tillkänna genom faktorn $1-k$, blir emellertid denna ökning mindre, emedan $1-k$ *avtar* med stigande periodtal. Formeln

$$1-k = \frac{r + j\omega(l-m)}{r + j\omega l}$$

i vilken både r och l äro beroende av periodtalet, är emellertid en alltför komplicerad funktion av periodtalet för att man ur densamma skulle kunna utläsa någon enkel lag för spänningens beroende av periodtalet.

Spänningarna bliva som bekant i någon mån beroende av strömstyrkan i skenledningen och svara de angivna värdena vid 100 km. mot c:a 45 amp., vid 8 km. mot c:a 190 amp. i skenledningen. Motsvarande strömstyrkor i kontaktledningen bliva, för ett medelvärde $1-k = 0,6$, 75 resp. 320 amp. För längder å kontaktledningen emellan 100 och 8 km. böra värdena å inducerad spänning ligga mellan de uppgivna.

Ett stort antal mätningar å induktionen äro utförda, de flesta å riks-telefonledningen nr 1530. I allmänhet har man sökt eliminera bort alla andra inflytelser än induktionen genom att jorda ledningen tillräckligt långt bort från den strömförande sträckan. Det är företrädesvis på detta sätt arrangerade mätningar, vilkas resultat äro sammanförda i nedanstående tabell. För övriga mätresultat är jordningssättet särskilt angivet i anmärkningskolumnen.

N:r	Mät- tillfälle	Pe- riodtal	Strömförande sträcka av kontaktledningen	Ström- styrka amp.	Uppmätt indu- cerad spänning		A n m.
					total volt	volt 100 Akm.	
1	9/1 1915	16 2/3	Kiruna—Riksgränsen	25	322	9,9	Jordad i Kiruna och Riksgränsen
2	6/1 »	»	» — »	80	811	7,86	
3	7/1 »	»	» — »	80	779	7,55	
4	11/1 »	»	» — »	80	507	8,95	
5	21/1 »	»	» — »	24	243	7,85	
6	» »	»	» — »	50	460	7,13	
7	» »	25	» — »	25	323	10,0	
8	» »	»	» — »	50	599	9,28	
9	26/1 »	16 2/3	» — »	25	260	8,05	
10	» »	»	» — »	50	494	7,66	
11	28/1 »	»	» — »	50	477	7,40	
12	» »	25	» — »	50	581	9,02	
13	» »	»	» — »	25	320	9,92	
14	febr. 1916	15	» — »	22,8	257	8,86	
15	» »	»	Kiruna—Abisko	26,2	241	10,1	
16	» »	»	» — Kaisepakte	77,5	499	9,38	
17	» »	»	» — Torneträsk	102,5	447	8,84	
18	» »	»	» — Rensjön	180,8	453	8,44	
19	» »	»	» — Krokvik	160	112,5	7,81	
20	» »	»	Torneträsk—Abisko	65	227	8,38	
21	» »	»	» — Riksgränsen	55	293	6,85	
22	» »	»	Abisko— »	65	101	4,31	
23	maj 1916	»	Kiruna—Krokvik	108	87,5	10,05	
24	» »	»	» — »	164	124	9,55	

Nr	Mät- tillfälle	Pe- riodtal	Strömförande sträcka av kontaktledningen	Ström- styrka amp.	Uppmätt indu- cerad spänning		A n m.
					total volt	volt 100 Akm.	
25	maj 1916	15	Torneträsk—Kiruna	128	480	7,36	
26	» »	»	» —Bergfors	292	197	6,35	
27	» »	»	» —Stenbacken	299	202	7,02	
28	» »	»	» —Abisko	130	437	8,19	
29	juli 1916	»	Kiruna—2,7 km.	329,0	52,4	5,90	med skenförb. *)
30	» »	»	» —4,05 »	301	70	5,74	» »
31	» »	»	» —5,4 »	295,5	90,2	5,65	» »
32	» »	»	» —6,75 »	210,5	77,5	5,44	» »
33	» »	»	» —8,1 »	207,6	95,0	5,65	» »
34	» »	»	Torneträsk—2,7 km.	308	52,5	6,31	
35	» »	»	» —4,05 »	255	56,9	6,24	
36	» »	»	» —5,4 »	224	75,3	6,22	
37	» »	»	» —6,75 »	225	94	6,19	
38	» »	»	» —8,1 »	245	129	6,51	
39	sept. »	»	Kiruna—2,7 km.	320	3,26	0,38	
40	» »	»	» —4,05 »	316	4,9	0,38	
41	» »	»	» —8,1 »	318	17,1	0,66	Mätsträckans skenledning iso- lerad från sken- ledningens fort- sättningar.
42	» »	»	» —Torneträsk	161	340	4,1	
43	» »	»	» — »	95,6	207	4,2	
44	mars 1917	»	Torneträsk—25,1 km. söd.	54,5	118,5	8,68	
45	» »	»	» —20,6 km. norr	63	118,5	9,22	
46	» »	»	» —25,1 km. söd.	54,4	39	2,86	
47	» »	»	» —20,6 km. norr	61,5	38	3,00	

Av de utförda mätningarna framgår, att induktionen per 100 ampère-kilometer å övre delen av banan är avsevärt lägre än å den södra delen (jmf. nr 22 med nr 20 och 17). Detta beror till en del därpå, att medelavståndet å sträckan Abisko—Riksgränsen är större än medelavståndet för hela sträckan. Utöver vad som framgår av fig. 4 tillkommer, att kontaktledningen på c:a 2 km. d. v. s. omkring 5 % av sträckan går i tunnlar, därvid induktionen på utanför belägna svagströmsledningar torde vara så gott som ingen. Då emellertid induktionens avtagande med avståndet sker långsamt, torde de låga värdena å spänningen på sträckan Abisko—Riksgränsen ej kunna förklaras enbart med detta större avstånd. Åtskilliga mätningar tyda på, att jordledningsförhållandena å denna del av banan äro säregit dåliga, ehuru tillfälle ej givits att uppmäta jordledningsmot-

*) Telefonledningen jordad c:a 200 m. åt sidan om spåret i Kiruna.

stånden. Den norrut fortsättande strömmen från Riksgränsen har visat sig vara förvånansvärt liten. Följden härav måste då bli en starkare ström i skenan i riktning mot strömkällan med därav orsakad minskning i induktionen.

Det lägre värdet å induktionen å övre delen av sträckan har gjort, att, då mätningarna i regel utförts från Kiruna å olika långa sträckor norrut, induktionens tilltagande med mätsträckans längd ej direkt framgått av mätningarna. Jämföras emellertid resultaten av nr 20, 21 och 22 och inducerade spänningarna reduceras till 65 amp. strömstyrka, fås för

Torneträsk—Abisko 227 volt

Abisko—Riksgränsen 101 »

Vore induktionen per amp. kilometer konstant, skulle sålunda spänningen för 65 amp. å sträckan Torneträsk—Riksgränsen bliva 328 volt, under det direkt mätresultat å denna sträcka, reducerat till samma strömstyrka i kontaktledningen, ger 346 volt, d. v. s. 6,85 volt/100 Akm, i stället för 6,48. På samma sätt fås för sträckan Kiruna—Torneträsk—Riksgränsen reducerat till 55 amp. för delsträckorna $240 + 293 = 533$ volt, men för mätning å hela sträckan 620 volt eller per 100 ampèrekilometer 8,86 volt i stället för 7,62. Någon del av denna ökning torde emellertid vara att tillskriva den lägre strömstyrka, med vilken mätningen å *hela* sträckan utförts.

En ökning i induktionen i enlighet med värdet å ömsesidiga induktionskoefficienten för ökad längd av sträckan är emellertid ej att vänta, då, såsom av det föregående framgår, faktorn $1 - k$ minskas för större längd å sträckan.

Vid de mätningar, som utförts i juli 1916 eller senare, har skenledningen å sträckan Kiruna—Krokvik varit försedd med skenförbindningar.

Mätningarna nr 29—33 och 34—38 hava utförts för att utröna skillnaden i induktion från för övrigt möjligast, lika sträckor för skenledning *med* och *utan* skenförbindning. Värdena visa i medeltal för skenledningen *med* skenförbindningar en induktion c:a 0,6 volt per 100 amp. kilometer lägre än för skenledning *utan* skenförbindningar. Största skillnaden inträffar för längsta avståndet 8,1 kilometer, nämligen 0,86 volt, med successiv minskning för de kortare avstånden. För 2,7 km är den endast 0,41 volt. Mätvärdena torde emellertid av flere skäl vara mindre tillförlitliga såsom mätare på skenförbindningars inverkan å induktionen. Enligt beräkning av Pleijel (del II) bör inverkan vara av storleksordningen 25 %. Av Alm (del V) utförda undersökningar över motståndet hos skenor och skenskarvar torde leda till ungefär samma resultat. De skäl, varför mätningarna ge osäkra eller oriktiga resultat, äro följande:

Då mätningarna äro utförda å olika sträckor, är det osäkert (och ej undersökt), huruvida dessa skulle gett samma induktion om båda varit *utan* skenförbindningar.

Sträckan Kiruna—Krokvik, av endast 8 km:s längd, utrustad med skenförbindningar men ansluten till skenledningar *utan* skenförbindningar norr- och söderut, kan ej i fråga om induktion betraktas som en sträcka med skenförbindningar. Skensträckans fortsättning har så stor

inverkan på inducerade spänningen, att om densamma brytes spänningen sjunker till 0,66 volt per 100 amp. kilometer. (Se mätning nr 41.)

Den vid mätningen å induktion från sträckan Kiruna—Krokvik använda jordförbindningen var ej spänningsfri och inverkan av dess spänning kan vara avsevärd, då på grund av mätsträckans ringa längd strömstyrkan i kontaktledningen varit stor och den uppmätta spänningen dock liten.

Ej heller finnas andra mätvärden, som kunna läggas till grund för tillförlitligt omdöme om skenförbindningars inverkan. Mätningar finnas visserligen utförda å sträckan Kiruna—Krokvik utan skenförbindningar, men dessa äro utförda under andra förhållanden och äro dessutom liksom mätningar i allmänhet å korta sträckor till resultaten osäkra på grund av känslighet för jordspänningar.

De återstående mätningarna visa inverkan av att skenledningen isoleras från fortsättningen av densamma utom mätsträckan. Det minskade värdet beror på frånvaron av induktion från fortsättningsskenledningarna samt på att skenströmmarna inom mätsträckan bli större, då spänningen till jord vid ändpunkterna genom skenavbrotten fördubblas (under förutsättning av homogen, lång skenledning).

Beträffande värdet av induktionen för olika periodtal, så ge beräkningarna för 25 och $16\frac{2}{3}$ per. resp. 12,28 och 9,56 volt eller en relation 1,285. Av på samma dag utförda mätningar, nr 11 och 12, båda för 50 amp., erhålles 9,02 resp. 7,40 volt. Förhållandet mellan dessa är 1,22.

Å försöksledningen har utförts en del mätningar samtidigt med mätningarna å 1530. Försöksledningen har därvid varit jordad i Krokvik c:a 500 meter vinkelrätt ut från banan samt i Kiruna i samma jordledning, vilka för tillfället använts för 1530. Mätresultaten å försöksledningen ha i regel hållit sig vid samma värden som de å nr 1530 erhållna. Uppenbarligen är mätsträckan för kort för att några slutsatser skulle kunna dragas av mätvärdernas inbördes storlek. Antalet volt per 100 amp. kilometer bör bli lägre än för nr 1530 på grund av det större avståndet från kontaktledningen (en beräkning för 8 km:s längd ger 3,55 volt per 100 amp. kilometer (Bil. 14) mot 6,23 volt å 1530), men mätresultatet påverkas sannolikt därav, att jordledningen vid sidan om banan i Krokvik ej varit spänningsfri.

Induktionen mellan de båda övre överföringsledningarna vid ström i kontaktledningen är beräknad i Bil. 16. Vid en strömstyrka 53 amp. blir spänningen enligt beräkningen 14,4 volt. Vid mätning med denna strömstyrka i febr. 1916 erhöles 50,2 milliampère å en milliampèr-meter med 209 Ω s motstånd. Då ledningens motstånd är c:a 70 ohm (reaktansen c:a 30 Ω inverkar ej) svarar detta mot en spänning $0,0502 \times 279 = 14,0$ volt.

Vid samma tillfälle mättes induktionsspänningen i övre, bortre överföringsledningen, då kontaktledningen var strömförande med skenor och

jord som återledning. För 19,5 amp. erhöles 202 volt. Beräkning i Bil. 17 ger 8.41 volt per 100 ampèrekilometer, d. v. s. för 19,5 amp. hela sträckan Kiruna—Vassijaure 200 volt.

För att konstatera och bestämma storleken av induktionen i skenledningen utfördes i mars 1915 en mätning, varvid som återgångsledning i stället för jorden användes övre, bortre överföringsledningen. Härvid uppmättes skenströmmen mitt å sträckan för olika strömstyrkor i slingan. I Bil. 18 är beräknad den skenström, som bör uppstå, till 9,2 % av kontaktledningsströmmen.

Nedanstående tabell visar mätvärdena:

Kontaktledningsström	Skenledningsström	
J_0 amp.	amp.	i % av J_0
43,7	3,5	8,1
60,3	5,0	8,3
83,4	7,5	9,0
98,1	9,0	9,2
135	13	9,6

Den procentuella ökningen vid större strömstyrkor i kontaktledningen beror på skenledningens sjunkande resistans för ökning i strömstyrkan.

Som allmänt omdöme om induktionsmätningarna kan sägas, att de för de längre sträckorna rätt väl överensstämmer med beräknade värdena. Att skillnaderna mellan mätningar och beräkningar för kortare sträckor äro större och mera oregelbundna, förklaras därav, att uppstående jordspänningar, oregelbundenheter i skenledningens ledningsförmåga m. m. här göra sig mera gällande än på en lång sträcka.

Över induktionsspänningar i ledningar på längre avstånd från banan har tillfälle till undersökningar ej givits — mätningarna å den s. k. försöksledningen få av nämnda skäl ej anses tillförlitliga. Man är sålunda i detta fall hänvisad till de givna formlerna. För mycket stora avstånd kommer den empiriska konstanten q , som hittills satts lika med 2, att få större och större inverkan på beräkningsresultatet, och då denna ej kan göra anspråk på att vara exakt, bliva de beräknade värdena för stora avstånd av denna anledning i viss mån osäkra. Av formlernas deduktion följer vidare, att desamma hava gillighet endast så länge ledningarnas avstånd är obetydligt i förhållande till deras parallella längd. I nedanstående tabell äro uträknade inducerade spänningen per 100 amp.kilometer vid några olika avstånd. Ledningens längd antages 100 km., periodtalet = 15, $1 - k = 0,646$. Beräkningen är utförd för de av Breisig angivna gränsvärdena å q , 1 och 3.

avstånd d. i meter	volt per 100 Akm.	
	$q = 3$	$q = 1$
10	8,42	10,85
12	8,21	10,64
15,3	7,81	10,34

avstånd d. i meter	volt per 100 Akm.	
17,3	7,76	10,20
20	7,58	10,02
25	7,31	9,75
35	6,92	9,36
50	6,46	8,90
70	6,05	8,49
100	5,62	8,05
200	4,78	7,21
500	3,65	6,09
1,000	2,80	5,24
2,000	1,95	4,39
4,000	1,12	3,56
10,000	—	2,44

Det längsta avstånd, för vilket induktionen är uppmätt, är 27,5 m. Värdet stämmer nästan exakt med ovanstående för $q = 2$ (se Bil. 17). Mätningar vid längre avstånd mellan kontakt- och svagströmsledning har visserligen utförts vid en del andra banor, men ha mätsträckorna härvid alltid varit korta, så att av denna anledning jämförelser med ovanstående äro uteslutna.

INDUKTION FRÅN ÖVERFÖRINGSLEDNINGARNA.

Induktionen från överföringsledningen i sommarkoppling bör bliva mycket obetydlig. Olikheterna i avstånd bliva mycket ringa och delvis beroende av svagströmsledningens lägeändringar, så att en beräkning blir föga tillförlitlig. Vid mätning i nov. 1915 erhöles för 40 amp. Kiruna—Torneträsk, 51,5 km. omkring 10 volt motsvarande 0,5 volt per 100 ampkm. Detta värde synes rätt högt och det är ej osannolikt, att inflytelser från andra spänningar medverkat.

I Bil. 19 är beräknad induktionen från överföringsledningen i vinterkoppling. För stora värden å avståndet till svagströmsledningen är induktionskoefficienten *proportionell mot avståndet mellan faserna och omvänt proportionell mot avståndet till svagströmsledningen*. För sträckan Kiruna—Linaälv beräknas inducerade spänningen till 0,257 volt per 100 amp. kilometer och för sträckan Kiruna—Torneträsk 0,222 volt per 100 amp. kilometer. Å den förra sträckan, 77 km., fås för 100 amp. strömstyrka 20 volt, vilket överensstämmer med en i febr. 1916 utförd mätning. För 200 amp. å den 51,5 km. långa sträckan Kiruna—Torneträsk ger uträkningen 22,9 volt, under det vid mätning i sept. 1916 avläsningen å statisk voltmeter uppskattats till 12 volt, vilket emellertid måste vara osäkert, då voltmeters skaldelning börjar vid 30 volt. Anledning finnes att vänta något lägre mätvärden än vad som beräkningarna utvisa på grund av i skenledningen inducerad ström, som motverkar induktionen i svagströmsledningen.

INDUCERAD SPÄNNING FRÅN KONTAKTLEDNINGEN UNDER DRIFT.

Vid de hittills nämnda mätningarna har kontaktledningsströmmen tillmatats från endast ett håll. Strömmen har följt ledningen en viss sträcka, varvid längden av sträckan, multiplicerad med strömstyrkan, ger antalet ampèrekilometer. Ehuru strömstyrkan vid drift, då många tåg äro i gång, kan vara avsevärt större än den vid mätningarna, ökas ej induktionen i svagströmsledningarna i motsvarande grad. Om tåget befinner sig mellan tvenne transformatorstationer skulle, om dessa stationer förde samma spänning och intet annat spänningsfall förekomme än kontaktledningens, mätningen från de båda stationerna ske i omvänd proportion mot kontaktledningens längd, varför antalet ampèrekilometer från de båda stationerna bör bli lika, och de inducerade spänningarna från dessa båda ampèrekilometer-tal upphäva varandra. Om också i verkligheten dessa förutsättningar ej äro uppfyllda, så komma dock väsentliga delar av de båda ampèrekilometer-talen att upphäva varandras verkan, så att en avsevärd reduktion av induktionen inträder. I synnerhet gäller detta, när tåget befinner sig ungefär mitt emellan två transformatorstationer. Detta gäller inducerad spänningsskillnad mellan de punkter av svagströmsledningen, som ligga mittför resp. transformatorstationer men ej för spänningen till jorden från mellanliggande punkter av svagströmsledningen. För det enklaste fallet, att tåget befinner sig mitt på sträckan mellan transformatorstationerna och spänningen i svagströmsledningen mitt för dessa är noll, är spänningen till jord i svagströmsledningen mitt för den plats, där tåget passerar i det närmaste lika med den, som svarar mot antalet ampèrekilometer från *ena* transformatorstationen. Kortslutningsmätningar, som utförts med matning från tvenne transformatorstationer eller från en transformatorstation med matning åt båda hållen, ge en induktion av samma storlek som vid övriga mätningar, om såsom antal ampèrekilometer räknas skillnaden mellan de olika riktade strömmarnas ampèrekilometertal. Spänningar på ledningen nr 1530 under drift den 20 mars 1917 äro observerade och grafiskt uppritade (se plansch 7). Avläsningarna av urladdningsströmmen äro gjorda varje minut eller oftare — då hastiga variationer förekommit. Då ledningens totala motstånd är c:a 200 ohm, har av de avlästa värdena å strömmen spänningen kunnat direkt upprättas genom att göra skalan 1 amp. = 200 volt. En grafisk tidtabell under spänningskurvan visar tågens ungefärliga läge vid de olika tiderna. Utmärkande för denna kurva liksom för andra likadana som tagits är det höga värdet å induktionen, då de tyngsta tågen (40-vagns malm-tåg Kiruna—Riksgränsen) gå mellan Kopparåsen och Vassijaure, där en 10 km. lång stigning 8:1000 (benämnd Kopparåsbacken) förekommer. Några värden å c:a 370 volt förekomma här i diagrammet samt ett enstaka värde å c:a 500 volt. Att induktionen just här blir så stor beror naturligtvis på att spänningsfall uppstår på överföringsledningen Kiruna—Vassijaure, varför

strömåtgången kommer att delvis levereras av Torneträsk och i någon mån även av Kiruna transformatorstation. Dessa strömmar komma att passera en jämförelsevis lång sträcka av kontaktledningen, varför de motsvara ett stort antal ampèrekilometer. Tågfrekvensen vid måttillfället har varit rätt liten, jämförd med den för banan avsedda normala, vilken allt sedan elektriska driftens igångsättande på grund av rådande kristid mycket sällan och endast för vissa prov förekommit. Vid ett tillfälle, den 19 augusti 1915, då banans belastning uppgavs vara normal, avlästes maximala kontinuerliga spänningen till c:a 340 volt, under det stötbelastningar gävo något högre värden. Föregående dag, då banbelastningen var densamma, men genom en felmanövrering transformatorstationen i Abisko ej deltog i strömmatningen, uppmättes maximalt c:a 600 volt å telefonledningen. Vid kortslutningar på kontaktledningen kan spänningen i telefonledningarna bli avsevärt större. Vid ett tillfälle i febr. 1915, då urladdningsströmstyrkan å 1530 observerades, inträffade en kortslutning i ett lokomotiv vid Krokviks station c:a 10 km. norr om Kiruna och var uppstående urladdningsström i telefonledningen härvid större än 5 ampère, motsvarande över 1,000 volts inducerad spänning. Senare ha särskilda mätningar över kortslutningsström och härav uppstående induktionsspänningar gjorts medelst oscillograf, vårom mera nedan.

SEKTIONERING AV KONTAKT- OCH SKENLEDNING.

För att undgå en ökning av induktionen på grund av spänningsfallet i överföringsledningen och för att begränsa induktionen från strömmar i skenledningen utanför den strömförande sträckan av kontaktledningen och samtidigt erhålla ökning i skenledningens återgångsström samt slutligen för att begränsa effekten vid kortslutningar till den minsta möjliga, har förslag väckts att mittemellan tvenne transformatorstationer isolera såväl kontaktledningen som skenledningarna åt de båda hållen från varandra. Givetvis blir resulterande antalet ampèrekilometer — åtminstone för ett enstaka tåg — större, då strömmen från den enda matande stationen blir större och dessutom ej till sin verkan reduceras av någon utjämnande ström från andra stationen. Men inducerade spänningen per ampèrekilometer blir mindre på grund av den ökade spänningen till jord i skenan och därav följande större återledningsström i skenan samt uteblivandet av inducerande ström i fortsättningsskenledningen, i synnerhet när tåget närmar sig sektioneringspunkten, d. v. s. just då den av tågets strömbelastning förorsakade induktionsspänningen annars har sitt maximum. Vid på nämnda sätt sektionerad kontakt- och skenledning utfördes mätningar i juni 1917 å induktionen för viss kortslutningsström från en transformatorstation till närmaste sektioneringsställe. Spänningen uppmättes härvid också över skenskarven invid kortslutningsstället. Mätresultaten framgå av följande tabell.

M ä t s t r ä c k a	km	Strömstyrka i kontakt- ledningen amp.	Spänning i telefonled- ningen volt/100 Akm.	Spänning i skenskarven volt
Abisko, söderut.....	21,1	119	3,74	225
Torneträsk, norrut	20,6	122	3,98	235
» söderut.....	25,1	121	4,80	139

Sektioneringen har jämväl bibehållits under tågs gång å banan och urladdningsströmstyrkan har härvid avlästs å telefonledningen 1530. Plansch 8 anger induktionen vid tågs gång å banan den 21 mars 1917 med belastningen i möjligaste mån lika med föregående dag (plansch 7) men med kontakt- och skenledningarna sektionerade. Jämförd med kurvan å plansch 7 visar denna en lägre maximalspänning, endast c:a 300 volt. Det karaktäristiska spänningsmaximum för »Kopparåsbacken» har försvunnit. I stället visar kurvan nu, såsom väntat, de högsta värdena vid tågställningar i närheten av sektioneringspunkterna, beledsagade av en bestämd sjunkning av spänningen under den tid tåget passerar den isolerade skenskarven. Den prickade kurvan anger spänningen uppmätt i en av dessa skarvar, vilken naturligtvis gått ned till noll under tågpassagen. De horisontella streckade linjerna i tidtabellen ange platserna för sektioneringarna. Dessas skärningspunkter med linjerna, som representera tåg-tiderna, böra å spänningskurvan motsvaras av de nämnda fenomenen. Att så ej exakt inträffar är att tillskriva ofullständig noggrannhet i erhållna uppgifter om tågställningarna vid resp. tider. Som av tidtabellerna framgår ha banbelastningarna under proven den 20 och 21 mars ej varit fullt lika. Under sista timmen av observationstiden den 21 voro vidare en del av skenskarvarna återkopplade. Kurvorna tåla därför ej några detaljerade jämförelser men visa den karaktäristiska skillnaden mellan induktions-spänningar, som uppträda vid de båda anordningarna. En olägenhet vid sektioneringen utgör den vid skenavbrottet uppstående spänningen, varför det vid ett användande av systemet torde bli nödvändigt tillse att denna spänning ej tillåtes överstiga ett visst värde.

SPÅRTRANSFORMATORER.

I det föregående har visats, att den elektromagnetiska induktionen till största delen förorsakas av den komposant av kontaktledningsströmmen $(1-k)J_0$, som använder jorden såsom återledning under det komposanten kJ_0 , som går tillbaka i skenledningen, åstadkommer endast obetydlig induktionsspänning i svagströmsledningarna, åtminstone när avståndet till dessa är jämförelsevis stort. Om koefficienten

$$k = \frac{j\omega m}{r + j\omega l}$$

som enligt föregående har ett värde 0,4—0,6, kunde bringas att bli lika med 1 och samtidigt få reellt värde, skulle således induktionen i det närmaste försvinna. I denna riktning verkar en minskning av r . Genom anordning av skenförbindning blir därför inducerade spänningen mindre. Av samma anledning blir induktionen från en bananläggning med dubbel-spår mindre än vid enkelspår. För att få erforderlig storlek å k -värdet blir det emellertid nödvändigt att även öka m . Detta kan ske genom in-koppling av spårtransformatorer, strömtransformatorer, vilkas ena lindning är inlänkad i kontaktledningen, den andra i skenledningen. Transformatorerna kunna nu dimensioneras så, att man får $k = 1$. Härvid blir emellertid i regel ej k reell, utan måste särskilda anordningar vidtagas för att fasförskjutningen mellan kontaktlednings- och skenledningsström skall undvikas. Detta sker genom shuntning av transformatorns primärlindning med ett lämpligt induktionsfritt motstånd och genom transformatorns dimensionering, så att magnetiseringsströmmen får ett visst värde. Storleken av detta motstånd blir beroende av fasvinkeln hos skenledningens impedans och av magnetiseringsströmmens storlek samt vidare av transformatorns motstånd och läckreaktans. Då magnetiseringsströmmens storlek ej är proportionell med belastningsströmmen, framgår att en exakt kompensering för likhet mellan kontakt- och skenledningsström strängt taget endast gäller för en viss bestämd strömstyrka. Vid lämpligt avpassande av transformatorns dimensioner och av kompenseringsströmstyrkan kan emellertid kompensering praktiskt taget erhållas för alla förekommande värden å kontaktledningsströmmen.

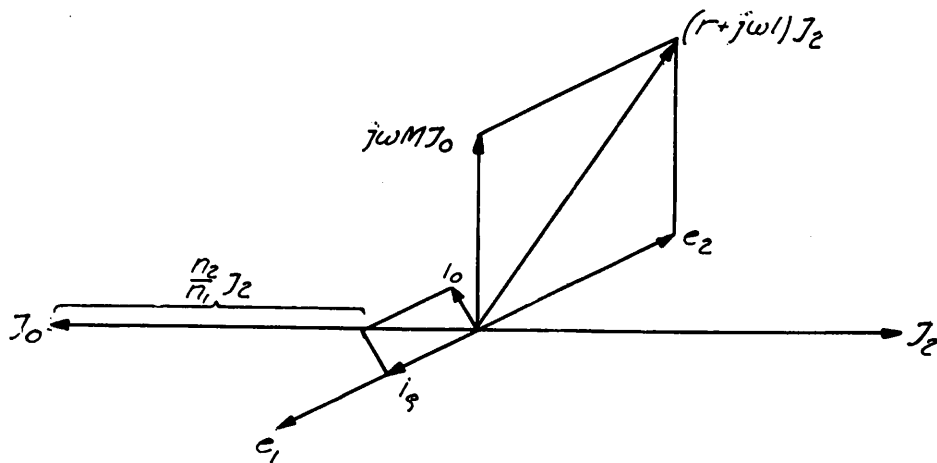


Fig. 14.

Principen för transformatorns kompensering framgår av fig. 14, där för enkelhets skull transformatorns läckreaktans och motstånd försumrats. Vidare förutsättes att transformatorernas inbördes avstånd är så litet, att skenledningsströmmen kan anses vara konstant i alla punkter mellan tvenne transformatorer. Med utgångspunkt från skenledningsströmmen, I_2 , erfordras för denna en total inducerad spänning i skenledningen lika med

$(r + j\omega l) J_2$. Den ena komponenten i denna spänning, $j\omega m J_0$, åstadkommen genom induktion från kontakt- till skenledning, är känd då J_0 är lika med J_2 till storlek och fasvinkel. Härav fås då storlek och riktning av den andra komponenten e_2 , som skall åstadkommas av transformatorn. Därmed är också magnetiseringsströmmen i_0 bestämd, sedan primära och sekundära varvantalerna på lämpligt sätt avpassats. Av varvantalerna bestämmes också den del av kontaktledningsströmmen $J_1 = \frac{n_2}{n_1} J_2$, som kompenserar skenströmmens ampèrevarv. Den återstående komponenten av J_0 sammansättes av magnetiseringsströmmen och strömmen i shuntmotståndet, i_p , vilka, med riktigt val av varvantalerna, kunna så avpassas, att deras resultant faller i fas med J_0 och är lika med skillnaden mellan J_0 och J_1 . Ändringen i magnetiseringsströmmens storlek sker genom variation av kraftlinjevägen i luft vid transformator kärnans fogar. Utredningar av teorien för spårtransformatorer äro gjorda av Prof. Pleijel och Prof. Alm (Del IV och V). Av en av Prof. Alm beräknad typ äro utförda 6 stycken för avprovning vid bandelen Kiruna—Riksgränsen. Dessa hava uppsatts å sträckan Kiruna—Krokvik på ett inbördes avstånd av 1,35 km. Skenledningen å ifrågavarande sträcka har vidare försetts med skenförbindningar. Transformatorn är beräknad för en normal ström 100 amp. samt en induktion i järnet vid 300 amp. av omkring 10,000, vid vilket värde nöjaktig kompensering av strömmarna ännu skall inträffa. Av transformatorn finnes tvenne utföringsformer; en med alla fyra fogarna i järnkärnan utförda såsom stötfogar, en med två stötfogar och två bladfogar.

Mot de utförda mätningarna torde först böra anmärkas, att försökssträckan varit för kort, så att de strömmar och spänningar, som uppstå vid försökssträckans ändpunkter, ha inflytande på de erhållna mätresultaten. De avlästa strömmarna i svagströmsledningarna ha också varit så små, att de inverkats av små fluktuerande jordströmmar, vilka vid mätillfällena kunnat observeras å likströmsinstrument. De uppmätta spänningarna i volt per 100 ampèrekilometer äro av samma storleksordning som de av kontakt- och skenledningarnas olika avstånd till svagströmsledningen enligt föregående beräkningar förorsakade spänningarna. I detta avseende skulle mätningarna å försöksledningen, som befinner sig på avsevärt större avstånd, vara mera tillförlitliga, men här blir resultatet åter osäkert, då jordledningen i Krokvik ej synes ha varit spänningsfri.

Av dessa anledningar giva de erhållna resultaten intet exakt utslag över graden av strömkompensation som vid mätningen förekommit. Men de äro tillräckliga för att visa, att en högst avsevärd reducering av inducerade spänningarna förorsakas av transformatorerna. Vidare kan man se huru transformatorn i detta hänseende förhåller sig vid olika strömstyrkor. I maj 1916 gjordes mätningar med de 6 transformatorerna inkopplade, innan ännu skenförbindningar insatts. Nedan angives inducerad spänning i volt per 100 ampèrekilometer å ledningen 1530 (jordad i Juckasjärvi och Riksgränsen) vid olika strömstyrkor i kontaktledningen. Vid

sidan härav anges den samtidigt bestämda impedansen pr km inklusive spårtransformatorer.

för 122,6 amp.	(obestämbart)	$0,341 + j 0,214 \ \Omega$
» 192,2 »	0,54 volt/100 ampkm	$0,319 + j 0,220 \ \Omega$
» 287 »	0,87 »	—

Då endast varannan transformator var inkopplad erhöles

för 110,4 amp.	(obestämbart)	$0,346 + j 0,207 \ \Omega$
» 192,4 »	3,01	$0,309 + j 0,204 \ \Omega$
» 291 »	3,94	—

Genom uppmätning av ström och spänning å primära och sekundära lindningarna samt inkoppling i vardera lindningen av en wattmeter, vars spänningssklämmor båda anslutits till samma lindning, ha kontakt- och skenledningsströmmarna kunnat jämföras såväl till storlek som fasvinkel.

Betecknas kontaktledningsströmmen A_k med fasvinkeln 0° , får skenledningsströmmen värdet A_s med nedan angivna fasvinklar.

För transformator med 4 stötfogar:

$A_k = 92,4$ amp.	$A_s = 92$ ($0^\circ 30'$)
205 »	206,2 ($0^\circ 10'$)
288 »	289,5 ($0^\circ 30'$)

För transformator med 2 stötfogar och 2 bladfogar:

$A_k = 98,5$ amp.	$A_s = 98,3$ ($1^\circ 40'$)
209,2 »	209,2 ($0^\circ 50'$)
298 »	297 (0°)

I juli 1916 gjordes nya mätningar med spårtransformatorerna inkopplade, sedan skenförbindningar insatts. Kontaktledningsström, spänning å nr 1530, jordad i Kiruna (K) resp. Vittangi (V) och Riksgränsen samt impedans per km anges av nedanstående tabell:

	å 1530	å försöksledningen	
för 81,6 amp.	(K) 0,492	0,318 volt/100 Akm	$0,218 + j 0,218 \ \Omega$
193,1 »	(K) 0,278	0,281 »	$0,223 + j 0,212 \ \Omega$
370,6 »	(K) 0,640	0,475 »	—
» »	(V) 0,545	0,357 »	—
558 »	(K) 2,025	1,780 »	—
» »	(V) 1,86	1,460 »	—

Jordledningen (K), vilken var belägen c:a 200 m åt sidan om banan vid transformatorstationen i Kiruna synes ha varit spänningsförande.

Jämförelse mellan kontakt- och skenledningsström fås av följande mätresultat.

För transformatorn med 4 stötfogar:

$A_k = 94,8$	$A_s = 95,1$ ($1^\circ 15'$)
184,4	184,4 ($0^\circ 25'$)
288,0	284,4 ($0^\circ 35'$)

och för transformatorn med 2 bladfogar och 2 stötfogar:

$A_k = 98,5$	$A_s = 98,5 \text{ (1°45')}$
183,0	182,0 (0°55')
287,6	283,6 (0°30')

Av ovanstående mätningar kan vidare approximativt bestämmas skenbara impedansen för en sektion av skenledningen mätt från transformatorns primärsida. Då transformatorns omsättningstal är nära 1 och transformatorns kortslutningsimpedans är liten blir det uppmätta värdet ej mycket större än skenledningens impedans, *dock under förutsättning, att skenledningens ström och spänning i sektionernas mittpunkter äro lika*. På grund därav att hela sträckan är kort och att transformatorer av något olika konstruktion använts inträffar detta naturligtvis ej fullständigt. Uttryckt i förut behandlade konstanter är impedansen

$$z = r + j\omega \left(l - m \cdot \frac{J_0}{J_s} \right)$$

eller om kontakt- och skenledningens strömmar äro kompenserade

$$z = r + j\omega (l - m) \dots \dots \dots (17)$$

Värdena kunna ha sitt intresse för att visa skenförbindningarnas inverkan. De äro i följande tabell omräknade så att de gälla för *en* kilometer skenledning.

Utan skenförbindningar.		Med skenförbindningar.	
$A_k = 92,4$	amp. 0,162 + j 0,142	$A_k = 94,8$	amp. 0,089 + j 0,109
205	» 0,133 + j 0,138	184,4	» 0,087 + j 0,118
288	» 0,128 + j 0,135	288	» 0,087 + j 0,118
Utan skenförbindningar.		Med skenförbindningar.	
$A_k = 98,5$	amp. 0,168 + j 0,087	$A_k = 98,5$	amp. 0,095 + j 0,107
209,2	» 0,145 + j 0,091	183	» 0,093 + j 0,117
298	» 0,144 + j 0,094	287,6	» 0,091 + j 0,118

De tre första värdena äro mätta å en transformator med 4 stötfogar, de tre sista å en transformator med 2 stötfogar och 2 bladfogar.

Värdena »utan skenförbindningar» äro även uppmätta direkt å transformatorernas sekundärsidor, och äro vid de båda slagen av transformatorer för olika strömstyrkor följande:

$A_k = 125,6$	0,103 + j 0,130
214	0,102 + j 0,118
291	0,105 + j 0,115
$A_k = 99$	0,135 + j 0,080
209	0,122 + j 0,078
297	0,123 + j 0,080

Olikheten i mätvärden vid de två typerna äro naturligtvis här att hänföra till osymmetri i placeringen av transformatorerna och ej till dessas olika konstanter.

STORLEK AV KORTSLUTNINGSSTRÖMMEN FÖR KONTAKTLEDNINGEN SAMT INDUCERADE SPÄNNINGAR I SVAGSTRÖMSLEDNINGARNA HÄRVID.

Kortslutningar å kontaktledningen förorsaka mycket allvarliga spänningsstörningar i svagströmsledningarna. Kortslutningsströmmarna få nämligen mycket höga värden, då spänningen från kontaktledningen till jord är driftspänning och därför kortslutningsströmmen ej kan begränsas genom något motstånd i jordledningen å transformatorstationen, såsom vanligen är fallet vid andra kraftöverföringar, då jord finnes ansluten till anläggningen. Också inträffa kortslutningar vid järnvägsdriften vida oftare än vid andra kraftöverföringar på grund av de i jämförelse med andra anläggningar ogynnsamma driftförhållandena. Bil. 20 visar statistiken över inträffade kortslutningar vid elektriska järnvägsdriften under april—december 1915 enligt uppgifter från Porjus kraftverk. Beträffande storleken av kortslutningsströmmen äro beräkningar härå utförda av Professor Lindström för följande tvenne fall:

sid 171

A. Under förutsättning av 2 generatorer och 2 grupper transformatorer i drift vid Porjus, båda överföringsledningarna till Kiruna inkopplade samt kontaktledningen matad endast från Kiruna transformatorstation med två av transformatorerna inkopplade och slutande 30 km från Kiruna, erhålles vid kortslutningar på olika avstånd från matningspunkten i Kiruna följande effektivvärden å momentana kortslutningsströmstyrkan

0	10	20	30	km från Kiruna
1500	1300	1140	1000	ampère.

B. Matas kontaktledningen därjämte från två av transformatorerna i Torneträsk (kontakt- och skenledning sammanhängande å sträckan Kiruna—Torneträsk) och kortslutningarna ske å nedan angivna avstånd från Kiruna, bliva motsvarande kortslutningsströmstyrkor, då

J_k = totala kortslutningsströmstyrkan

J_1 = » » i kontaktledningen från Kiruna

J_2 = » » i » » Torneträsk

φ = fasförskjutningen mellan J_1 och J_2 :

	0	10	25	km från Kiruna
J_k	1720	1600	1540	
J_1	1280	1060	790	
J_2	450	540	750	
φ	23,°7	14,°6	1,°5	

Åtskilliga kortslutningsförsök hava utförts vid bandelen Kiruna—Riksgränsen, varvid kortslutningsströmmen upptagits medelst oscillograf genom att från tvenne punkter på kortslutningslinan ledningar letts till oscillografslingan. Försöksvagnen, i vilken oscillografen varit uppställd, har således placerats vid det ställe där jordsättningen av kontaktledningen skulle utföras. Genom att vid denna plats avbryta svagströmsledningen och i densamma inlänka en annan oscillografslinga har strömförloppen i denna ledning, som vid ändpunkterna varit jordad, samtidigt kunnat upptagas. Sedan oscillografslingorna på detta sätt inkopplats, har viss kortslutningsström vid låg spänning först påsläppts i ändamål att kalibrera slingorna, varvid vanliga växelströmsinstrument också varit i strömkretsarna inkopplade. Då oscillografslingorna hava stor känslighet, måste för den i telefonledningen inkopplade slingan ett mycket stort motstånd förkopplas, vilket valts induktionsfritt, varigenom således oscillogrammet kommer att visa spänningskurvan. I kontaktledningskretsen fås i oscillogrammet kurvan för strömstyrkan. För att utslagen å oscillogrammen skulle få lämpliga värden vid kortslutningen ha utslagen vid kalibreringen, vilken utförts med i förhållande till kortslutningsströmmen små strömstyrkor, måst tagas mycket små, varför exakt uppmätning av de samma ej kunnat göras. Av denna anledning bliva också värdena å kortslutningsströmmarna endast ungefärliga.

Oscillogrammen i kortslutningsströmmen visa en någorlunda ren sinuskurva av 3 å 4 perioders varaktighet. Tiden från kortslutningsögonblicket till dess de automatiska strömbrytarna å transformatorstationerna verka är således $\frac{1}{5}$ å $\frac{1}{4}$ sekund. Över sinusströmmen å oscillogrammet är lagrad en annan dämpad ström av högre periodtal, omkring 160—170 perioder, vilken emellertid redan efter första halvperioden av 15-per. strömmen är så gott som fullständigt utdämpad.

I juli 1916 gjordes de första kortslutningsförsöken i närvaro av kommitténs medlemmar och voro anordningarna härvid följande:

Överförings- och kontaktledningarna voro normalt inkopplade med normal spänning. Två stycken transformatorer voro inkopplade vid vardera av stationerna i Kiruna, Torneträsk, Abisko och Vassijaure. Spänningen tillmatades systemet i Porjus från endast en generator. Å bangården i Rautas (19,4 km från Kiruna, 30 km från Torneträsk) där kortslutningen gjordes bröts skenledningen. Kortslutningslinan var kopplad till såväl norra som södra härvid från varandra isolerade skensystemen, dock så att kortslutningsströmmarna norrut och söderut kunde mätas var för sig å var sin oscillografslinga. Inducerade spänningen uppmättes å rikstelefonledningen nr 1530. Spänningen å kontaktledningen vid försöken var 16,200 volt. Fig. 15 visar den norrut gående delen av kortslutningsströmmen. Strömstyrkans effektivvärde är 400 amp. Fig. 16 visar de norr och söderut i skenledningarna gående kortslutningsströmmarna, samtidigt oscillograferade. Effektivvärdena äro resp. 400 och 430 amp. Strömmarna äro sinsemellan fasförskjutna cirka 5° å 7° . Spänningskurvan i svagströmsledningen visas i fig. 17. Effektivvärdet är ca 1,960 volt.

Kurvan avviker i större grad från sinusformen än vad fallet är med kortslutningsströmkurvan, beroende på att de i den senare förekommande övertonerna i den inducerade spänningen representeras starkare ju högre periodtalet är.

I mars 1917 gjordes oscillografiska undersökningar av kortslutningsströmmarna i kontaktledningen och samtidigt uppstående induktionsspän-

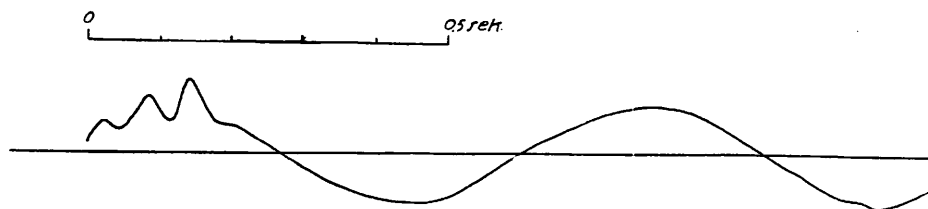


Fig. 15.

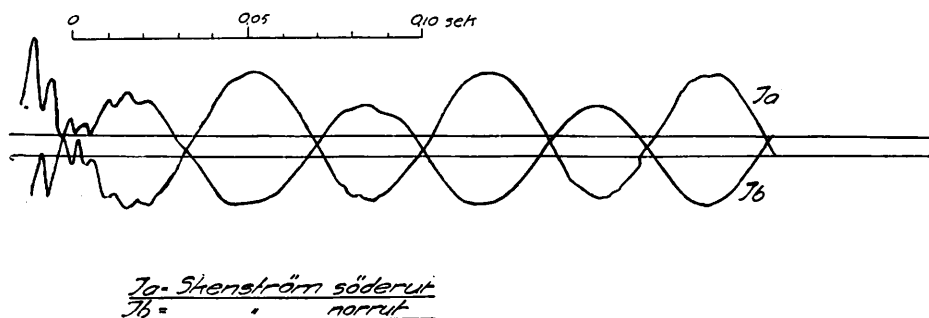


Fig. 16.

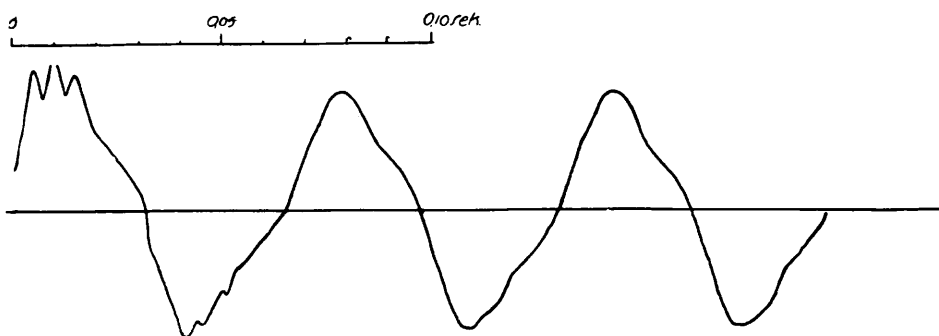


Fig. 17.

ningar i rikstelefonledningen nr 1530, varvid kontaktledningen sektionerades så, att kortslutningsströmmen tillmatades från endast en transformatorstation. Försöken utfördes över sträckorna söder- och norrut från Torneträsk. Kontaktledningen bröts i sektionsavskiljarna mitt emellan Kiruna och Torneträsk (Z 76) samt Torneträsk och Abisko (Z 42). Skenledningar har varit kopplad på olika sätt:

A betecknar att skenledningen varit obruten, så att mätsträckans skenledning haft ledande förbindelse med fortsättande skenledning på ömse sidor.

B betecknar att vid kortslutningsstället (Z 76 resp. Z 43) fortsättningsskenledningen varit isolerad från mätsträckans skenledning.

C = B, men fortsättningsskenledningen på andra sidan inmatningspunkten jämväl isolerad från mätsträckan.

I nedanstående tabell anges för de båda sträckorna vid de tre kopplingarna med skenledningen effektivvärdena av kortslutningsströmstyrkan J_k , och spänningen i telefonledningen V_t :

Torneträsk—Z 76, 25,1 km.		Torneträsk—Z 42, 20,6 km.	
	J_k amp.	V_t volt	
A	775 (fig. 18)	1400 (fig. 18)	670 (fig. 20)
B	775	950 (fig. 19)	670
C	775	417	650 (fig. 23)
			1143 (fig. 21)
			380 (fig. 22)
			317 (fig. 24)

Som synes inverka ej de olika kopplingarna med skenledningen på kortslutningsströmmens styrka, vilket visar, att variationerna i värdena å impedansen äro små i jämförelse med totala impedansen i kortslutningskretsen. Däremot har skenledningens sektionering stort inflytande på storleken av inducerade spänningen i svagströmsledningarna. Den påvisade fördelen av kontakt- och skenledningarnas sektionering skulle också just bestå däri, att kortslutningsströmmarna skulle bli jämförelsevis små, så att de med ej alltför stora och dyrbara spårtransformatorer skulle kunna nedbringas till oskadliga värden. I ovan anförda utredning av teorien för spårtransformatorerna påvisas nämligen att desamma, för att förmå åstadkomma nödig kompensation vid strömmar av kortslutningsströmmarnas storleksordning, måste utföras avsevärt större än de för proven å bandelen Kiruna—Riksgränsen tillverkade. För att utröna dessas förmåga att begränsa induktionsspänningen vid kortslutning har i sept. 1916 kortslutningsförsök utförts å delar av sträckan Kiruna—Krokvik, varvid spårtransformatorer på olika sätt varit inkopplade.

Med försöket utsträckt över 4 sektioner och med en spårtransformator å varje sektion erhöll kortslutningsströmmen en amplitud av 1080 amp., motsvarande ett effektivvärde av 770 amp. Inducerade spänningen i nr 1530 var härvid 334 volt maximivärde, motsvarande 174 volt effektivvärde (fig. 25). Å försöksledningen erhöles 415 och 239 volt max.- resp. eff.-värde (fig. 26). Spänningen i telefonledningen visar här en starkt deformerad kurva, ehuru strömkurvan för kortslutningsströmmen fortfarande är någorlunda sinusformad. Detta torde kunna förklaras på följande sätt:

Större delen av kortslutningskretsens impedans ligger utom transformatorerna, så att dessa ej utöva nämnvärd inverkan på strömkurvan. När denna därför blir i det närmaste sinusformad men spårtransformatorerna för ifrågavarande strömstyrka bliva övermättade, blir spänningskurvan för dessa mycket avtrubbad och dessutom osymmetrisk till följd av hysteresisförlusterna. En liknande kurvform får då även strömmen i skenledningen.

Den resulterande inducerande strömmen blir sedan skillnaden mellan kontaktledningens sinusformade ström och skenledningens på nyssnämnda sätt deformerade. Kurvan för denna resulterande ström bör då få den karaktär som spänningskurvan i telefonledningarna visar, ehuru mindre utpräglad. Den inducerade spänningen i telefonledningarna får slutligen den i oscillogrammen erhållna kurvformen.

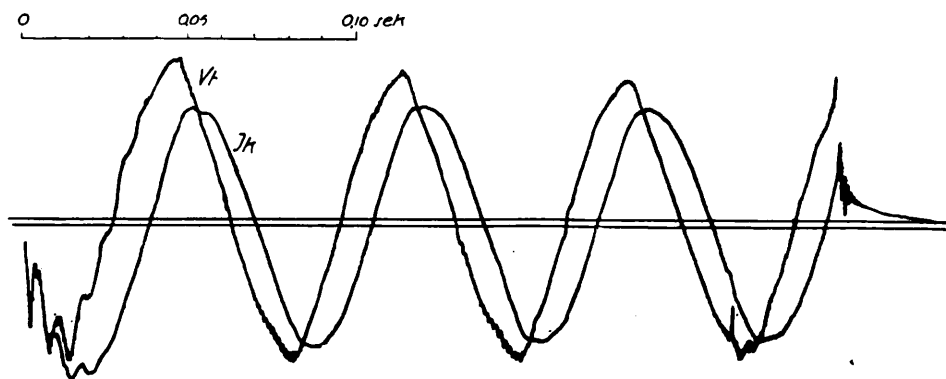


Fig. 18.

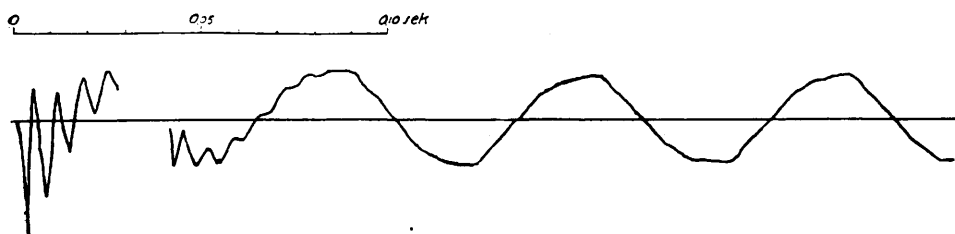


Fig. 19.

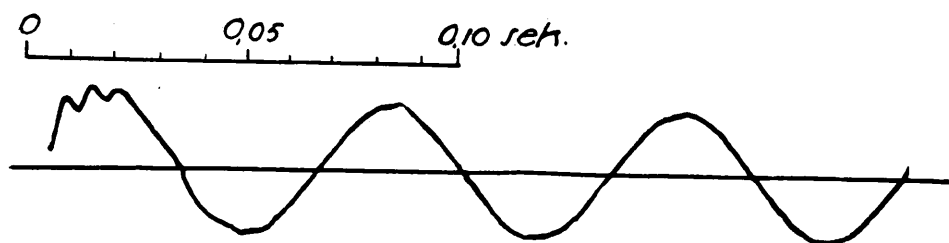


Fig. 20.

Spänningsvärdet i telefonledningen får under första halvperioden ett avsevärt större maximum än under de följande perioderna (se fig. 27). Samma gäller i någon mån även kortslutningsströmmen. I fig. 27 är maximivärdet av den senare under första halvperioden 1450 amp. och maximivärdet av inducerade spänningen 495 volt.

Då transformatorerna placerades tillsammans två och två med dubbelt sektionsavstånd (motsvarande transformatorer av dubbla storleken på

dubbla avståndet sinsemellan), blev kortslutningsströmstyrkan fortfarande maximalt 1080 amp. Även inducerade spänningen synes ha haft ungefär oförändrat värde, ehuru oscillografisk upptagning av densamma misslyckades på grund av uppstående fel.

Vid försök å tre sektioner med endast två transformatorer, den ena på sektionsavstånd från inmatningspunkten, den andra vid kortslutningspunkten, erhöles kortslutningsströmstyrkan maximalt 1,490 amp., motsvarande 1,055 amp. effektivvärdé och spänningen i nr 1530 353 resp. 194 volt.

Vid samtliga kortslutningsförsök uppstodo å en på vanligt sätt i en dubbelledning inkopplad telefonapparats hörtelefon mycket skarpa smällar, vilka torde kunna åsamka den telefonerande allvarligt obehag, om kortslutningen inträffar, när denne under samtal håller telefonen tätt slutet till örat.

STÖRNINGAR I TELEFONERINGEN, PÅ GRUND AV SPÄNNINGAR FRÅN ÖVERTONER Å BANSTRÖMMEN.

I det föregående har vid bestämning av influens och induktion från banledningarna i första hand undersökts storleken av de spänningar, som kunnat uppstå av grundperiodtalet i banströmmen med särskild hänsyn till sådana spänningar, som vid beröring av svagströmsledningarna kunde medföra livsfara, eller sådana, som kunde inom stationslokalerna ge anledning till eldfara.

Beträffande telefonledningarna finnes emellertid orsak till störningar även av annat slag, nämligen för telefoneringen störande ljud, som kunna uppstå, då den inducerade strömmen till någon del kommer att passera telefonapparats ljudemottagare, hörtelefonen. Sådana störningar från grundperiodtalet äro, så länge strömstyrkan är svag, jämförelsevis oskadliga, då det uppstående svängningstalet hos telefonmembranet kommer att ligga vid eller under gränsen för såsom ljud uppfattbara svängningar. De svåraste störningarna av detta slag härstamma i stället från de i banströmmen av olika anledningar inkommande övertonerna, vilka kunna ha ett periodtal av samma storleksordning som de i talet förekommande och för vilka såväl telefonen som även örat äro särskilt känsliga.

Sådana störningar alstras emellertid ej endast av den elektriska ban-driften, ehuru väl denna förorsakar de mest besvärliga störningarna, utan i någon mån även av K. Vattenfallsstyrelsens 3-fasledning från Porjus till Luossavaara—Kiirunavaara Aktiebolags kraftstation i Kiruna och Staters järnvägars övriga elektriska anläggningar inom Kiruna bangårdsområdet och å transformatorstationen i Kiruna, vilka kunna genom omkoppling anslutas till Statens järnvägars enfaskraftöverföring från Porjus eller nyssnämnda Vattenfallsstyrelsens trefaskraftöverföring förmedelst Bolagets transformatorstation.

Den förra ledningen går å hela sträckan Linaälv—Kiruna, c:a 70 km, parallellt med banan och svagströmsledningarna och de korsningar, som

å ledningen förekomma, äro ej tillfyllest för att erhålla en för störningarnas eliminering erforderlig balans. Transformerings i Porjus från maskin- till linjespänningen sker medelst 3 st. enfastransformatorer med jordförbunden nollpunkt, en anordning, som är särskilt ägnad att befördra uppkomsten av restspänningar av övertoner å linjen med därav förorsakade telefonstörningar. Störningar av sådana restspänningar kunna ej förebyggas ge-

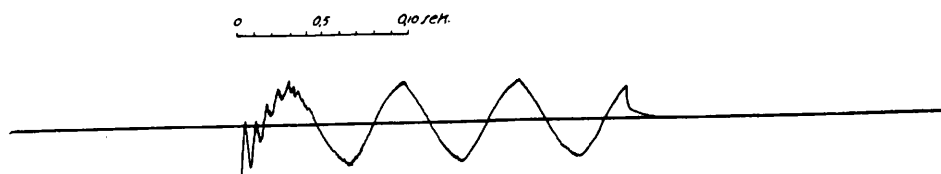


Fig. 21.

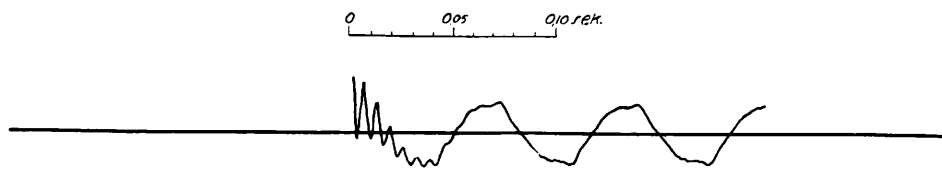


Fig. 22

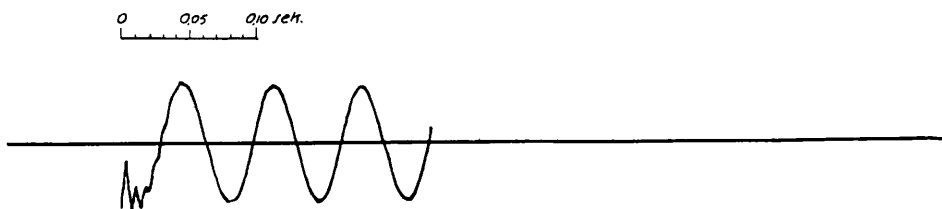


Fig. 23.

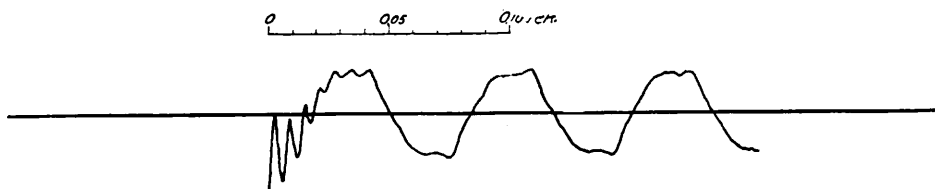


Fig. 24.

nem korskopplingar, utan måste själva spänningarna förebyggas genom lämpliga anordningar vid transformatorerna, och torde det bli nödvändigt att häri utföra en ändring, om telefonledningarna från Kiruna skola kunna utnyttjas med samma resultat som före tillkomsten av de elektriska anläggningarna, eller i varje fall med lika gott resultat som telefonledningar i andra delar av landet, där kraftöverföringar finnas i närheten.

Av de vid bandriften förekommande spänningar och strömmar ha försök visat, att normal spänning eller kortslutningsström av driftströmmens storleksordning i överförings- och kontaktledningarna alstra jämförelsevis obetydliga ljudstörningar. Strömbelastningarna vid tågdrift äro de störningsorsaker, som äro till betänklig skada för telefoneringen. Mest besvärliga äro dessa störningar vid telefonering över större avstånd, där det på grund av ledningarnas stora dämpning är nödvändigt att i telefonen

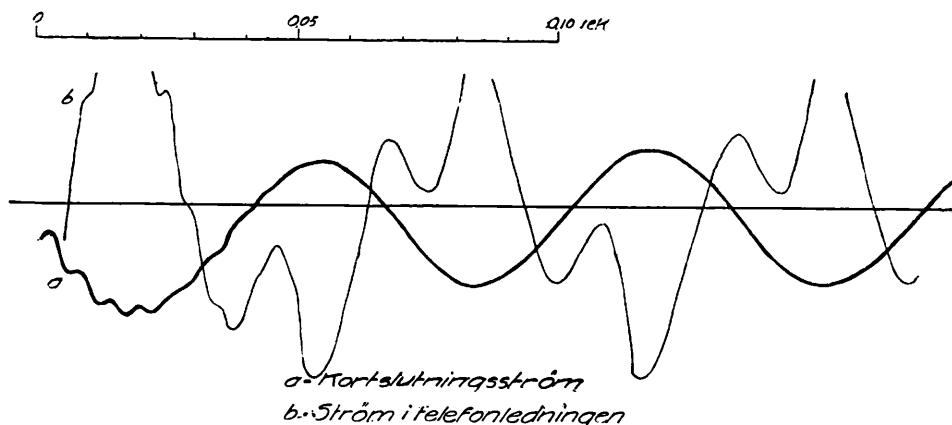


Fig. 25.

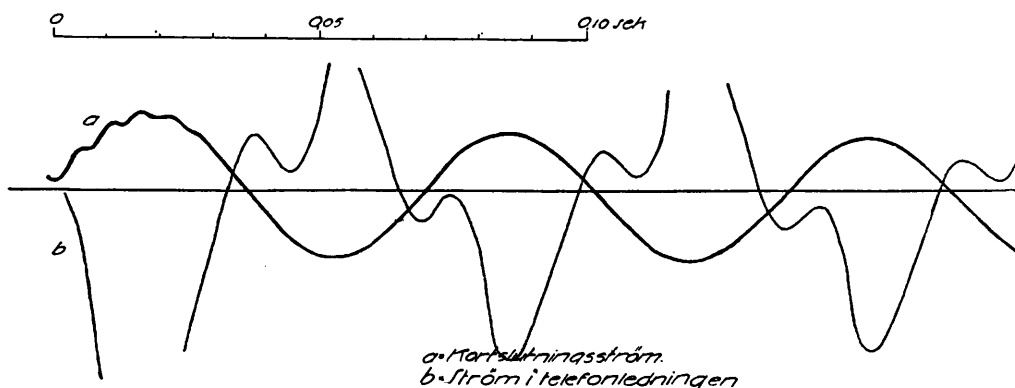


Fig. 26.

uppfatta även mycket svaga talljud. Det är här naturligtvis ej grundperiodtalet av den inducerade strömmen, som uppfattas såsom störningar, utan dessa orsakas av de vid lokomotivmotorernas gång uppstående lamelltonerna. Periodtalet för dessa varierar också med tågets hastighet, och komma vid samtidig belastning med flera tåg ett motsvarande antal toner av olika periodtal att sammansätta sig till det resulterande störningsljudet.

I vilken grad störningarna orsakas av influens eller elektromagnetisk induktion är ej fullt utrett. För att influensspänning skall kunna uppstå mellan de två trådar, som tillhöra en dubbelledning, måste förutsättas att

antingen de båda trådarna hava olika avstånd till kontaktledningen eller de båda trådarna hava olika kapacitet till jord eller olika avledning. För att i ett enkelt exempel påvisa, huru förhållandena ställa sig, antages att trådarnas avstånd till kontaktledningen äro olika stora (x resp. $x + \delta$) men att deras kapaciteter till jord äro lika och att avledningen kan försummas. Förutsättes vidare att avståndet till kontaktledningen är stort, äro spänningarna i de båda trådarna proportionella mot

$$\frac{1}{x^2} \text{ resp. } \frac{1}{(x + \delta)^2} \quad (\text{se sid. 90})$$

Om δ är litet i förhållande till x och ledningarna äro isolerade, blir då spänningen mellan trådarna

$$\begin{aligned} v_1 - v_2 &= \text{konst} \times \left(\frac{1}{x^2} - \frac{1}{(x + \delta)^2} \right) \cdot v_0 \\ &= \text{konst} \times \frac{\delta}{x^3} \cdot v_0 \\ &= \epsilon v_0 \dots \dots \dots (18) \end{aligned}$$

där v_0 är kontaktledningens spänning och ϵ en koefficient, som blir prop. mot skillnaden mellan trådarnas avstånd till kontaktledningen och omvänt proportionell mot tredje potensen av avståndet x .

Slutes ledningen i ena ändpunkten genom en impedans H , t. ex. en hörtelefon och antages att ledningen är kort i förhållande till våglängden för periodtalet i fråga och att ledningsmotståndet kan försummas, blir strömstyrkan

$$i = \frac{v_1 - v_2}{H} \dots \dots \dots (19)$$

där emellertid $v_1 - v_2$ är mindre än ϵv_0 på grund av spänningsfallet.

Storleken av $v_1 - v_2$ bestämmes av spänningsekvationerna

$$\left. \begin{aligned} v_0 &= k_0 q_0 + k_{01} q_1 + k_{02} q_2 \\ v_1 &= k_{01} q_0 + k_{11} q_1 + k_{12} q_2 \\ v_2 &= k_{02} q_0 + k_{12} q_1 + k_{11} q_2 \end{aligned} \right\}$$

Försummas de minsta termerna $k_{01} q_1$ och $k_{02} q_2$, blir

$$\begin{aligned} v_0 &= k_0 q_0 \quad \text{och} \\ v_1 - v_2 &= (k_{01} - k_{02}) \frac{v_0}{k_0} + (k_{11} - k_{12}) (q_1 - q_2) \\ v_1 - v_2 &= \epsilon v_0 + \frac{1}{2} (q_1 - q_2) \dots \dots \dots (20) \end{aligned}$$

där c är kapaciteten per km mellan branscherna hos dubbelledningen.

Då

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{q_1 + q_2}{2} + \frac{q_1 - q_2}{2} \\ q_2 &= \frac{q_1 + q_2}{2} - \frac{q_1 - q_2}{2} \end{aligned}$$

är $\frac{1}{2}(q_1 - q_2)$ den elektricitetsmängd, som vid given spänningsskillnad är beroende av kapaciteten *mellan* branscherna.

På samma sätt som i Bil. 8 fås då, om c betecknar hela ledningens kapacitet

$$\begin{aligned} v_1 - v_2 &= \varepsilon v_0 - \frac{i}{j\omega c} \\ &= \varepsilon v_0 - \frac{v_1 - v_2}{j\omega c H} \end{aligned}$$

varav

$$v_1 - v_2 = \frac{\varepsilon v_0}{1 + \frac{1}{j\omega c H}} \dots \dots \dots (21)$$

och urladdningsströmstyrkan genom hörtelefonen

$$i = \frac{\varepsilon v_0}{H + \frac{1}{j\omega c}} \dots \dots \dots (22)$$

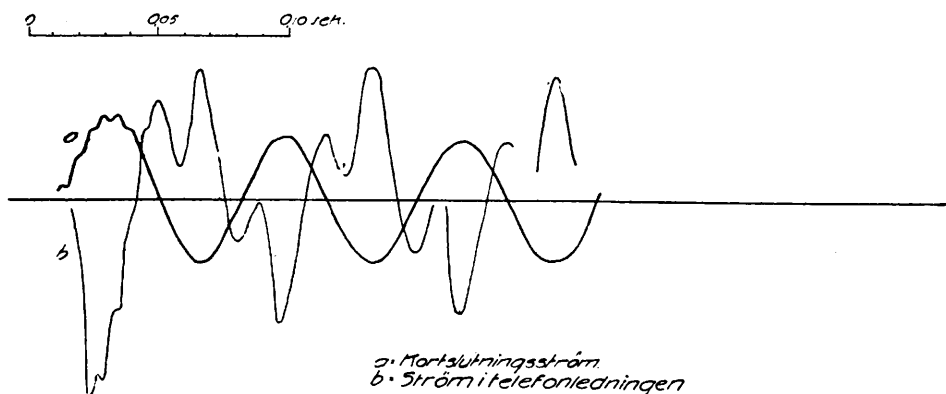


Fig. 27.

För exempelvis 2.000 perioder blir, om ledningens kapacitet per km antages $0,005 \mu F$, för 10 km ledning

$$\frac{1}{j\omega c} = -j 1600 \Omega$$

under det för 15 per impedansen blir 210000Ω .

Av ovanstående framgår, att även om spänningen av det höga period-talet är liten, strömmen kan få värden, som betyda avsevärda ljudstörningar, då sådana i telefonen uppstå för strömstyrkor, som räknas i delar av en miliampère.

Av deduktionen framgår vidare, att vid en kort ledning kortslutning av ledningens andra ändpunkt bör minska störningen i telefonen.

Strömmar av de höga periodtalen, som komma att gå fram i kontaktledningen, inducera spänningar i parallella ledningar och då denna induction är proportionell mot periodtalet, komma de höga periodtalen att bli proportionalvis starkare inducerade. Även härvid kommer skenledningen att öva inflytande och torde

$$k = \frac{j\omega m}{r + j\omega l}$$

förbliva till beloppet ungefär oförändrad vid de högre periodtalen, då även r ökas med periodtalet.

Spänningar mellan telefonledningens branscher kunna uppkomma, om dessas medelavstånd till kontaktledningen äro olika. Antages värdena x resp. $x + \delta$, blir induktionskoefficienten

$$\begin{aligned} m &= 2s \cdot \left(\log \frac{2s}{x} - \log \frac{2s}{x + \delta} \right) \\ &= 2s \log \frac{x + \delta}{x} \\ &= 2s \left(\frac{\delta}{x} - \frac{\delta^2}{2x^2} + \dots \right) \dots \dots \dots (23) \end{aligned}$$

d. v. s., då δ liten i förhållande till x , omvänt proportionell mot avståndet x och direkt mot skillnaden i trådarnas avstånd till kontaktledningen.

Är ledningen öppen i ena ändpunkten och en telefon är inkopplad i den andra, kunna ljudstörningar uppstå, då kretsen blir sluten genom kapaciteten mellan ledningsbranscherna på samma sätt som vid influens. Är det fråga om en kort ledning, bör emellertid förstärkning av ljudet uppstå, då ledningens andra ändpunkt kortslutes. Dessa olika förhållnings-sätt hos induktions- och influensstörningarna vid kortslutning av ledningens ena ändpunkt, när en telefon är inkopplad vid den andra, torde kunna användas för att utröna, huruvida den ena eller andra störningsorsaken föreligger, och en undersökning härav har naturligtvis sitt intresse vid upptagandet av frågan om svagströmsledningarnas utflyttning till större avstånd från banan. Bero störningarna på influens, kunna de effektivt nedslängas vid ledningarnas utflyttning, bero de åter på induction, har utslaget ingen mindre inverkan på desamma.

Strömvformen för uppstående spänningar och strömmar i svagströmsledningarna har bestämts genom oscillografering. De använda oscillograferingarna ha varit för okänsliga för att upptaga de spänningar, som finnas mellan de båda branscherna av en telefonledning och som kunna uppfattas i en inkopplad telefon. Fördenskull har oscillografen inkopplats mellan ena eller båda branscherna av ledningen och jord. Fig. 28—31 visa strömkurvan i oscillografen inkopplad mellan ledningen 1530 och jord i Kiruna, då enfäslledningarna matades med normal spänning, men trefasanläggningen Porjus—Kiruna var fränkopplad. Vid 28 och 29 har telefonledningen varit isolerad i Riksgränsen, vid 30 och 31 däremot jordsatt.

Fig. 28 är tagen, då tåg ej var i gång på linjen. Strömvavtagarne å loken ha dock varit tillkopplade, så att lokomotivtransformatorerna tagit tomgångsström. Kurvan visar utom grundtonen en utpräglad 7:e övertön. Vidare undersökningar för att fastställa dennas härstamning ha ej utförts. Då telefonledningen varit isolerad i Riksgränsen, bör influensspänningen ha i oscillogrammet gjort sig relativt mycket gällande.

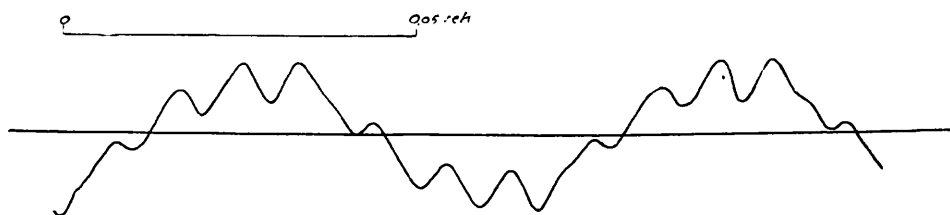


Fig. 28.

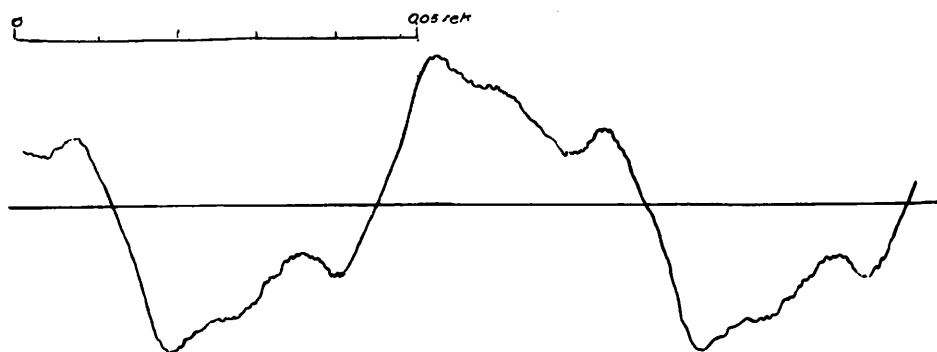


Fig. 29.

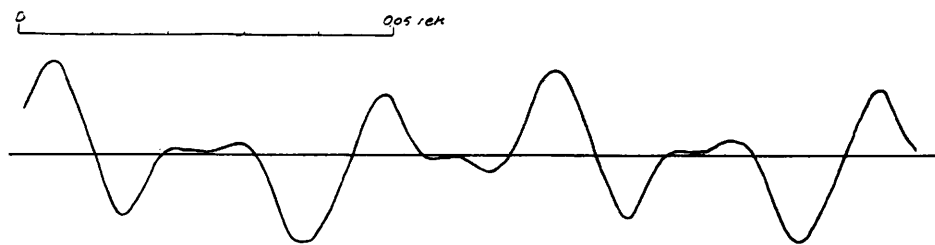


Fig. 30.

Fig. 29 har tagits med samma koppling å telefonledningen och enfasledningarna men med tåg i gång å linjen. Genom inkoppling av motstånd i oscillografkretsen har skalan avsevärt minskats. Grundperiodtalet gör sig här mer gällande, tydligen på grund av induktionens större andel i den totala spänningen. Vidare synes 3:e övertönen vara tillfinnandes samt en mycket hög ton, c:a 1,800 perioder, motsvarande lokomotivmotorns lamellton. I en i ledningen inkopplad hörtelefon hördes en gäll, något oren ton.

Fig. 30 är tagen under samma förhållanden som fig. 28, ehuru som nämnts telefonledningen varit jordsatt i Riksgränsen. I kurvan bör därför *inducerade* spänningen vara kraftigast representerad. Sannolikt består också dess största komposant av inducerade spänningen från lokomotivtransformatorns tomgångsström med utpräglad 3:e överton. En analys av kurvan l. o. m. 9:e övertonen ger, om grundtonens amplitud sättes = 100 och dess periodtal betecknas $\frac{\omega}{2\pi}$:

$$100 \sin \omega t + 182 \sin (3\omega t - 109^\circ 50') + 64 \sin (5\omega t + 149^\circ 50') + 27 \sin (7\omega t - 127^\circ 30') + 10 \sin (9\omega t + 179^\circ).$$

Vore induktionen direkt prop. mot periodtalet skulle den inducerande strömmen ha en tredje överton lika med 61 % av grundtonen, vilket ju ej är osannolikt.

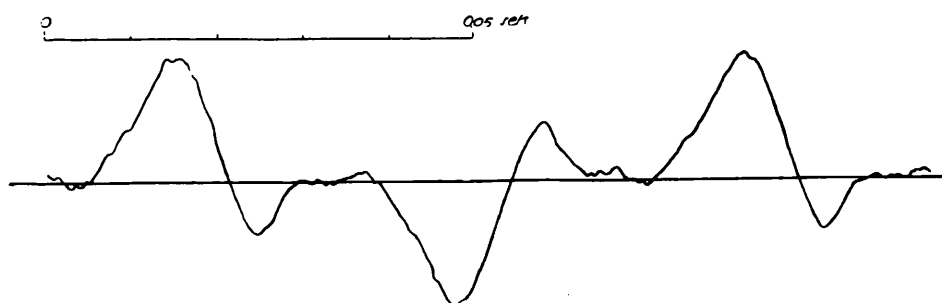


Fig. 31.

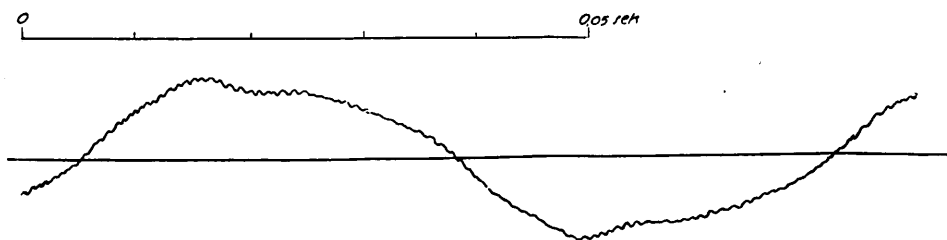


Fig. 32.

Vid fig. 31 har tåg varit i gång å linjen, men förhållandena i övrigt lika med dem vid fig. 30. Kurvan skiljer sig från den sistnämnda huvudsakligen genom ett överlagrat högt periodtal från lamelltonerna. Belastningen har sannolikt varit liten.

Fig. 32 visar strömmen i en telefonledning jordad å telefonstationen i Kiruna och vid transformatorstationen. Strömmen bör till största delen orsakas av jordspänningen vid transformatorstationen (skenledningen). Vid tillfället voro såväl trefasledningen från Porjus som lågspänningsanläggningarna i Kiruna ur drift, så att endast banströmmen kan ha haft inverkan. Oscillogrammet visar således kurvformen för denna (förutsatt att impedansen från skenan till jord i Kiruna transformatorstation är oberoende av periodtalet) under tågs gång.

Oscillogrammet i fig. 33 är taget vid Krokviks station, varvid alla telefonledningar voro brutna mot Kiruna. Ledningen 1530 var jordad i Riksgränsen och sattes genom oscillografen seriekopplad med $7000\ \Omega$ till jord i Krokvik. Normal enfasspänning å kontakt- och överföringsledningar på sträckan Kiruna—Torneträsk var tillkopplad. Kurvan visar en 7:e övertton av ungefär samma storlek som grundtonen. Den synes vara av i huvudsak samma form som fig. 28.

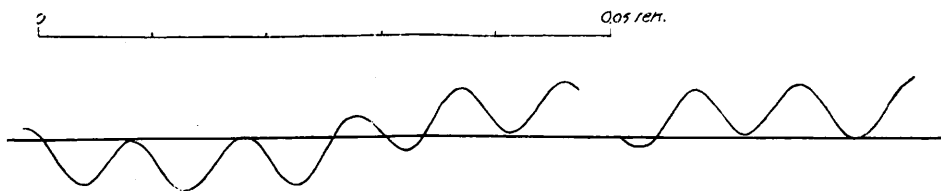


Fig. 33.

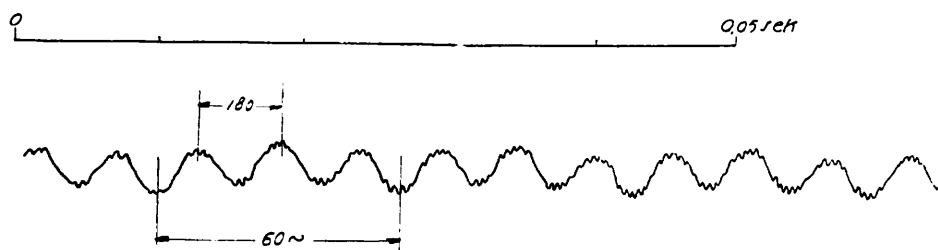


Fig. 34

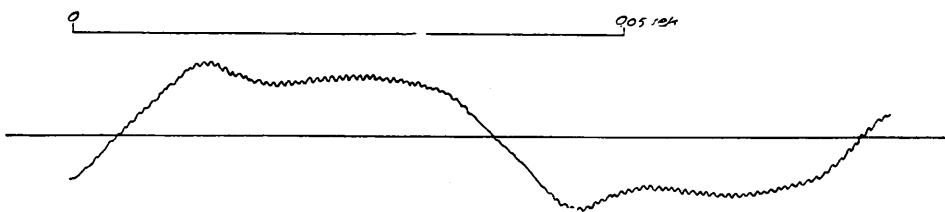


Fig. 35.

Å oscillogrammen i fig. 34—35 hava lågspänningsanläggningarna vid Kiruna transformatorstation haft inverkan på kurvformen. De äro båda tagna å samma ledning som fig. 32, jordad på samma sätt och visa således jordspänningen vid transformatorstationen.

Vid fig. 34 var enfassystemet spänningslöst. Lågspänningsanläggningarna matades från trefaskabeln från Luossavaara—Kirunavaara Aktiebolags kraftstation med 60 per. växelström. Förutom en svag grundton visar kurvan en stark 3:e övertton samt en mycket hög ton c:a 2,500 per. I en inkopplad hörtelefon var den sistnämnda mest framträdande såsom en hög ren ton.

Vid fig. 35 var enfasssystemet tillkopplat med tåg i gång. Kurvan är således sammansatt av de i fig. 32 och fig. 34 visade kurvorna.

Oscillogrammen i fig. 36—38 äro tagna å maskiner tillhörande lågspänningsanläggningen vid Kiruna transformatorstation.

Fig. 36 visar spänningen till jord från nollpunkten å en trefasgenerator för 2,000 volt, 60 perioder. Spänningens storlek var 75 volt, det lägsta

Uttagningen av energien för anläggningarna vid transformatorstationen sker från 16,000 volts spänningen medelst en 16,000/440 volts transformator, till vilken är ansluten en enfasmotor. Ena uttaget av 440 volts lindningen är direkt jordad, och det är ej osannolikt, att de härav uppkommande i förhållande till jorden osymmetriska spänningarna bidra till alstrandet av störningar från denna anläggning. Några särskilda undersökningar härå hava emellertid ej blivit gjorda.

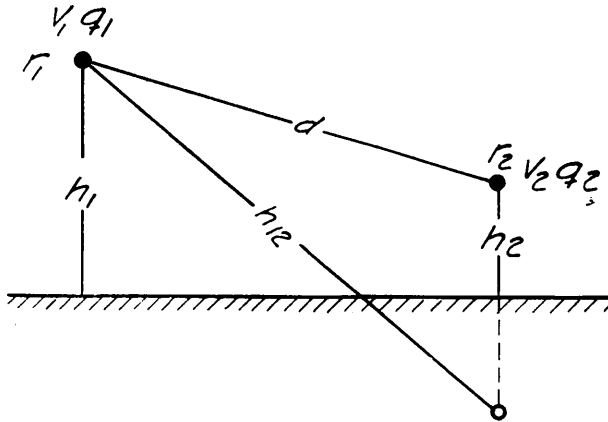
En del av de i oscillogrammen uppträdande spänningarna äro ej nöjaktigt förklarade och nya undersökningar skulle behövas härför. Emellertid skulle sådana, för att kunna framgångsrikt bedrivas, förutsätta en mycket oinskränkt disposition av anläggningarna, vilken dock vid anläggningar av dessa dimensioner helt naturligt skulle vålla alltför stort hinder för anläggningens vederbörliga utnyttjande i normal drift.

Så mycket är dock konstaterat såväl genom lyssning å ledningarna vid upprepade tillfällen som i samband med oscillograferingarna, att de ljudstörningar, som huvudsakligen bereda svårigheter vid telefoneringen, orsakas av motorerna å lokomotiven.

I vad mån de förefintliga ljudstörningarna komma att minskas genom inkoppling av spårtransformatorer beror av det sätt, på vilket störningarna nu tillföras telefonledningarna. Är elektromagnetisk induktion för handen, böra de väl minskas något av spårtransformatorerna på samma sätt som från grundperiodtalet inducerade spänningar.

Bil. 1.

INFLUENS FRÅN EN LEDNING I TILL EN ANNAN II.



För tvenne ledningar med radierna r_1 och r_2 , potentialerna v_1 och v_2 , elektricitetsmängderna q_1 och q_2 gäller

$$\begin{cases} v_1 = k_1 q_1 + k_{12} q_2 \\ v_2 = k_{12} q_1 + k_2 q_2 \end{cases}$$

Härav

$$v_2 = \frac{k_{12}}{k_1} \cdot v_1 + \frac{k_1 k_2 - k_{12}^2}{k_1} \cdot q_2$$

där

$$k_1 = 18 \log \frac{2h_1}{r_1}$$

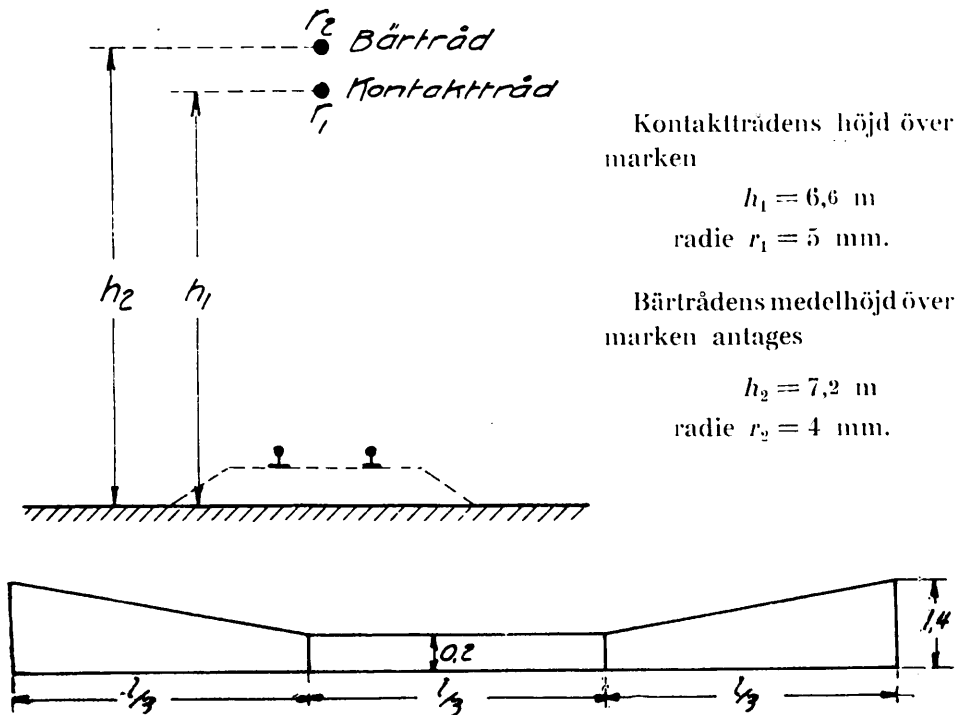
$$k_2 = 18 \log \frac{2h_2}{r_2}$$

$$k_{12} = 18 \log \frac{h_{12}}{d}$$

Om II är isolerad och således $q_2 = 0$:

$$v_2 = \frac{k_{12}}{k_1} \cdot v_1 = \epsilon v_1$$

BERÄKNING AV KONTAKTLEDNINGENS KAPACITET.



$$k_1 = 18 \log \frac{2h_1}{r_1} = 141,9$$

$$k_2 = 18 \log \frac{2h_2}{r_2} = 147,3$$

$$k_{12} = 18 \log \frac{h_2 + h_1}{h_2 - h_1} = 56,4$$

För hela kontaktledningen betecknas spänningen V ,
 elektricitetsmängden $Q = q_1 + q_2$

$$V = k_1 q_1 + k_{12} q_2$$

$$V = k_{12} q_1 + k_2 q_2$$

$$V = \frac{k_1 k_2 - k_{12}^2}{k_1 + k_2 - 2k_{12}} \cdot Q$$

Kontaktledningens kapacitet blir således, då inga andra ledningar inverka

$$c = \frac{k_1 + k_2 - 2k_{12}}{k_1 k_2 - k_{12}^2} = 0,00995 \mu F \text{ per km}$$

$$= \text{omkr. } 0,01 \text{ » » »}$$

$$\text{Koefficienten } K_0 = \frac{1}{c} = 100.$$

Om kontaktledningen länkes ersatt med en enda tråd på höjden 6,9 m över marken, måste dess radie x (ekvivalenta radien) bestämmas av

$$100 = 18 \log \frac{13800}{x}$$

$$x = 53 \text{ mm.}$$

För hela kontaktledningen, 129 km, blir $c = 1,29 \mu F$. Tomgångsströmmen för 16,000 volt 15 perioder blir

$$i_0 = 16000 \cdot 2\pi \cdot 15 \cdot 1,29 \cdot 10^{-6} = 1,95 \text{ Amp.}$$

Tillägges 20 km för bangårdar, blir $i_0 = 2,25 \text{ Amp.}$

Bil. 3.

KAPACITET HOS EN TELEFONLEDNING, BESTÅENDE AV TVENNE TRÅDAR PÅ SAMMA MEDELAVSTÅND FRÅN JORDEN.

- I. Höjd över marken $h = 7,0 \text{ m}$
 radie $r = 1,5 \text{ mm}$
 inbördes avstånd $d = 0,566 \text{ m}$

$$k_1 = k_2 = 18 \log \frac{14000}{1,5} = 164,5$$

$$k_{12} = 18 \log \frac{14}{0,566} = 57,7$$

För båda trådarna

$$k = \frac{k_1 + k_{12}}{2} = 111,1$$

- II. Höjd över marken $h = 3,0 \text{ m}$
 radie $r = 1,5 \text{ mm}$
 inbördes avstånd $d = 0,566 \text{ mm.}$

$$k_1 = k_2 = 149,3$$

$$k_{12} = 42,5$$

För båda trådarna

$$k = 95,9$$

I mikrofarad per km blir kapaciteten

$$0,0090 \text{ resp. } 0,01042$$

Bil. 4.

INVERKAN AV EN TREDJE JORDFÖRBUNDEN LEDNING.

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= k_{11}q_1 + k_{12}q_2 + k_{13}q_3 \\ v_2 &= k_{12}q_1 + k_{22}q_2 + k_{23}q_3 \\ v_3 &= k_{13}q_1 + k_{23}q_2 + k_{33}q_3 \end{aligned} \right\}$$

Om

$$v_3 = 0, \text{ är } q_3 = -\frac{k_{13}}{k_3} \cdot q_1 - \frac{k_{23}}{k_3} q_2$$

$$v_1 = \left(k_1 - \frac{k_{13}^2}{k_3}\right) q_1 + \left(k_{12} - \frac{k_{13}k_{23}}{k_3}\right) q_2$$

$$v_2 = \left(k_{12} - \frac{k_{13}k_{23}}{k_3}\right) q_1 + \left(k_2 - \frac{k_{23}^2}{k_3}\right) q_2$$

eller med beteckningarna

$$K_1 = k_1 - \frac{k_{13}^2}{k_3}$$

$$K_2 = k_2 - \frac{k_{23}^2}{k_3}$$

$$K_{12} = k_{12} - \frac{k_{13}k_{23}}{k_3}$$

$$v_1 = K_1 q_1 + K_{12} q_2 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$$

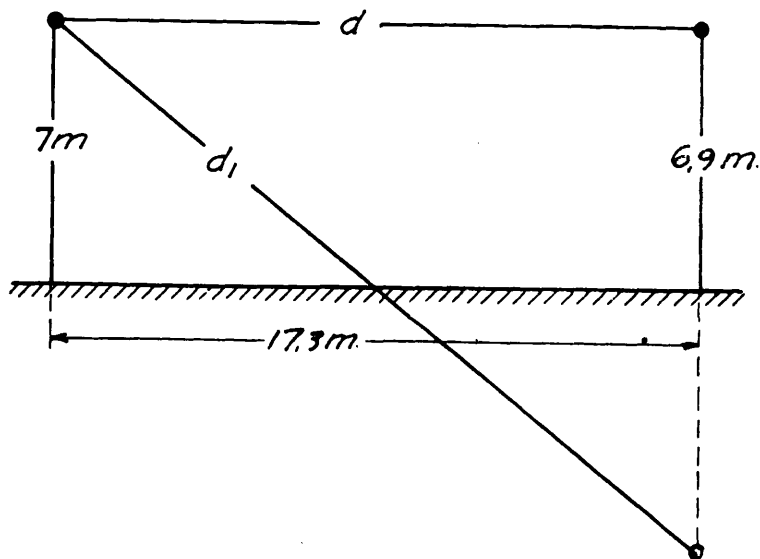
$$v_2 = K_{12} q_1 + K_2 q_2 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$$

$$v_2 = \frac{K_{12}}{K_1} v_1 + \left(K_2 - \frac{K_{12}^2}{K_1}\right) q_2$$

Bil. 5.

BESTÄMNING AV STATISK SPÄNNING FRÅN KONTAKTLEDNINGEN TILL TELEFONLEDNINGAR.

1. Till telefonledning på 7 m höjd.



$$d_1 = \sqrt{13,9^2 + 17,3^2} = 22,2$$

$$d = \sqrt{0,1^2 + 17,3^2} = 17,3$$

$$k_{12} = 18 \log \frac{d_1}{d} = 4,48$$

k_1 för kontaktledningen = 100

$$\therefore v_2 = 0,0448 v_1$$

För $v_1 = 16,000$ volt blir $v_2 = 717$ volt.

II. Till telefonledning på 3 m höjd

$$d_1 = \sqrt{9,9^2 + 17,3^2} = 19,92$$

$$d = \sqrt{3,9^2 + 17,3^2} = 17,74$$

$$k_{12} = 18 \log \frac{d_1}{d} = 2,08$$

$$v_2 = 0,0208 v_1$$

För $v_1 = 16,000$ volt blir $v_2 = 333$ volt.

Spänningen å ena tråden i I då andra tråden är jordad (se Bil. 4)

$$v_2 = \frac{K_{12}}{K_1} \cdot v_1$$

$$K_{12} = k_{12} - \frac{k_{13}k_{23}}{k_3} = k_{12} \frac{k_2 - k_{23}}{k_2}$$

$$K_1 = k_1 - \frac{k_{12}^2}{k_2}$$

$$K_{12} = 4,48 \frac{164,5 - 57,7}{164,5} = 2,91 \quad (\text{se Bil. 3})$$

$$K_1 = 100 - \frac{4,48^2}{164,5} = 99,9$$

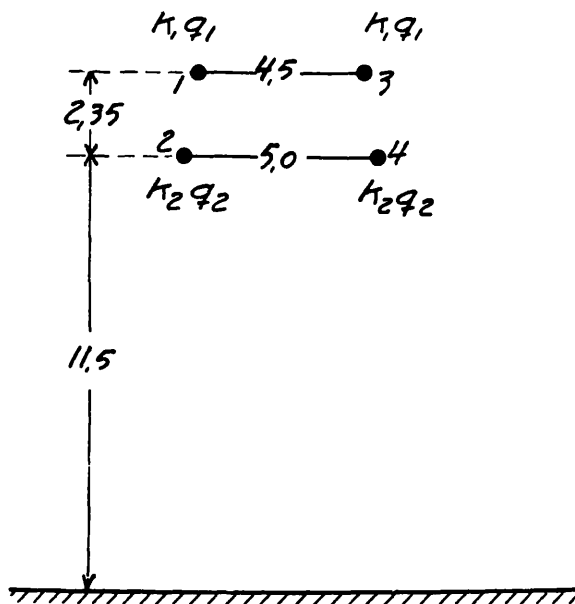
$$v_2 = 0,02913 v_1$$

d. v. s. 65,0 % av det värde, som erhöles, när andra tråden stod för avbrott.

ÖVERFÖRINGSLEDNINGENS KAPACITET.

Å sträckan Kiruna—Torneträsk	51,5 km	$r = 4,72$ mm
» » Torneträsk—Abisko	41,7 »	$r = 4,36$ »
» » Abisko—Vassijaure	29,2 »	$r = 3,99$ »

Kapaciteten kan naturligtvis ej exakt beräknas. Såsom medelvärde för r antages $r = 4,42$ beräknat av de olika förekommande värdena och resp. längder. Värdet å höjden över marken är svår att bestämma. Såsom approximation toges medelvärdet av höjden vid stolparna och lägsta punkt å spännet. Härav fås $h = 11,5$ m. för de undre, 13,85 m. för de övre trådarna.



$$v = k_1 q_1 + k_{13} q_1 + k_{12} q_2 + k_{14} q_2 = (k_1 + k_{13}) q_1 + (k_{12} + k_{14}) q_2$$

$$v = k_{12} q_1 + k_{23} q_1 + k_{24} q_2 + k_2 q_2 = (k_{12} + k_{23}) q_1 + (k_{24} + k_2) q_2$$

$$k_1 = 18 \log \frac{27,700}{4,42} = 157,4$$

$$k_2 = 18 \log \frac{23,000}{4,42} = 154,0$$

$$k_{13} = 18 \log \frac{\sqrt{4,50^2 + 27,70^2}}{4,5} = 32,9$$

$$k_{12} = 18 \log \sqrt{\frac{0,25^2 + 25,35^2}{0,25^2 + 2,35^2}} = 12,7$$

$$k_{23} = k_{14} = 18 \log \sqrt{\frac{4,75^2 + 25,35^2}{4,75^2 + 2,35^2}} = 28,5$$

$$k_{24} = 18 \log \frac{\sqrt{5,0^2 + 23,0^2}}{5,0} = 27,9$$

$$v = 190,3 q_1 + 71,2 q_2$$

$$= 71,2 q_1 + 181,9 q_2$$

$$Q = 2 (q_1 + q_2)$$

$$v = 128,6 \frac{Q}{2} = 64,3 Q$$

$$\therefore K = 64,3$$

$$C = \frac{1}{64,3} \mu F \text{ per km}$$

för hela överföringsledningen 122,4 km Kiruna—Vassijaure, alla fyra ledningarna parallellkopplade:

$$C = 1,904 \text{ mikrofara.}$$

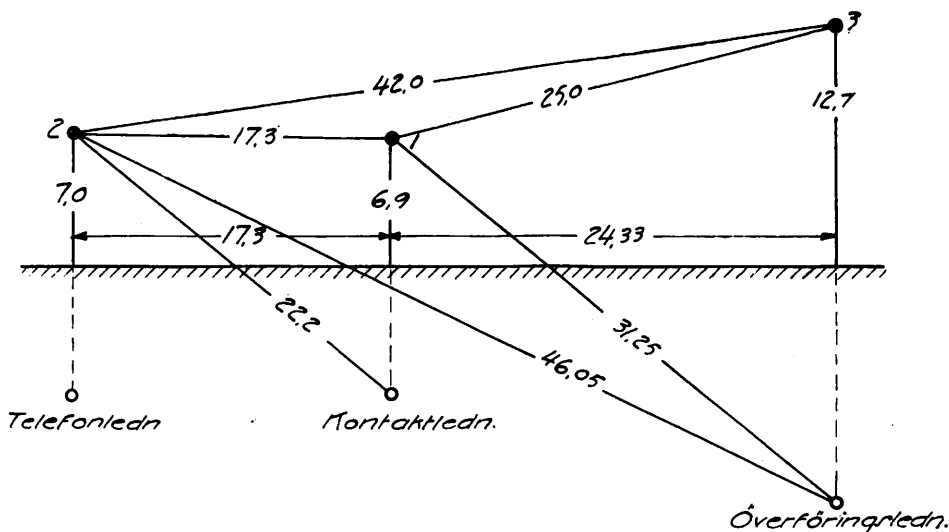
Ersättes de fyra ledningarna med en tråd på höjden 12,7 m bestämmes dess diam. x av

$$64,3 = 18 \log \frac{25400}{x};$$

$$x = 713,5 \text{ mm.}$$

Bil. 7.

INVERKAN Å INFLUENS FRÅN KONTAKTLEDNINGEN TILL TELEFONLEDNING AV ÖVERFÖRINGSLEDNINGEN JORDAD.



$$k_1 = 100$$

$$k_2 = 111,1$$

$$k_3 = 64,3$$

$$k_{12} = 4,48$$

$$k_{13} = 18 \log \frac{31,25}{25,0} = 4,01$$

$$k_{23} = 18 \log \frac{46,05}{42,0} = 1,65$$

$$K_1 = k_1 - \frac{k_{13}^2}{k_3} = 99,75$$

$$K_2 = k_2 - \frac{k_{23}^2}{k_3} = 111,0$$

$$K_{12} = k_{12} - \frac{k_{13}k_{23}}{k_3} = 4,38 \quad (\text{se Bil. 4})$$

Värdet å spänningen v_2 då (3) är isolerad blir

$$v_2 = \frac{k_{12}}{k_1} \cdot v_1 + \left(k_2 - \frac{k_{12}^2}{k_1} \right) q_2 = 0,0448 v_1 + 110,9 q_2$$

Är åter (3) jordad fås:

$$v_2 = \frac{K_{12}}{K_1} \cdot v_1 + \left(K_2 - \frac{K_{12}^2}{K_1} \right) q_2 = 0,0439 v_1 + 110,8 q_2$$

Om ledningen (2) är isolerad minskas dess spänning då (3) jordas från 0,0448 v_1 till 0,0439 v_1 eller med 2 %.

Bil. 8.

AVLEDNINGENS INFLYTANDE PÅ INFLUENSSPÄNNINGEN.

Enligt Bil. 1.

$$v_2 = \frac{k_{12}}{k_1} \cdot v_1 + \left(k_2 - \frac{k_{12}^2}{k_1} \right) q_2$$

För ledningar på olika stolpar med här ifrågakommande inbördes avstånd är $\frac{k_{12}^2}{k_1}$ liten i förhållande till k_2 (jmf. Bil. 7).

$$\therefore v_2 = \frac{k_{12}}{k_1} \cdot v_1 + k_2 \cdot q_2 = \varepsilon v_1 + \frac{q_2}{c_2}$$

där således $k_2 = \frac{1}{c_2}$ (c_2 ledningens kapacitet då andra ledningar äro isolerade).

Är ledningen (2) genom en avledning med motståndet r förbunden med jorden blir strömstyrkan i detta motstånd

$$i_2 = \frac{v_2}{r}$$

$$\text{laddningen } q_2 = - \int \frac{v_2}{r} \cdot dt = - \frac{v_2}{j\omega r} \quad (\omega = 2\pi \times \text{periodtalet})$$

$$\therefore v_2 = \epsilon v_1 - \frac{v_2}{j\omega r c_2}$$

$$v_2 = \frac{\epsilon v_1}{1 + \frac{1}{j\omega r c_2}} = \frac{\epsilon v_1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 r^2 c_2^2}}}$$

Urladdningsströmmen blir

$$i_2 = \frac{\epsilon v_1}{r + \frac{1}{j\omega c_2}}$$

Om till ledningen är ansluten en annan ledning med kapaciteten c_3 , vilken ej är utsatt för influens fås en urladdningsström i denna

$$i_3 = \frac{\epsilon v_1}{\frac{1}{j\omega c_3} + \frac{1}{j\omega c_2}} = j\omega \frac{c_2 \cdot c_3}{c_2 + c_3} \cdot \epsilon v_1$$

Spänningen nedsättes härvid till $\frac{i_3}{j\omega c_3} = \frac{c_2}{c_2 + c_3} \cdot \epsilon v_1 = v$

Urladdas ledningen genom ett litet motstånd r (ex. en amp.meter) blir

$$\text{urladdningsströmmen } i = \frac{v}{(r) + \frac{1}{j\omega (c_2 + c_3)}} = j\omega (c_2 + c_3) \cdot v$$

Om i och v uppmätes (v med statisk voltmeter) kan således därav kapaciteten hos ledningen bestämmas, även om ledningen ej i sin helhet är utsatt för influens.

Bil. 9.

SKENORNAS INVERKAN Å INFLUENSEN FRÅN KONTAKTLEDNINGEN TILL EN TELEFONLEDNING.

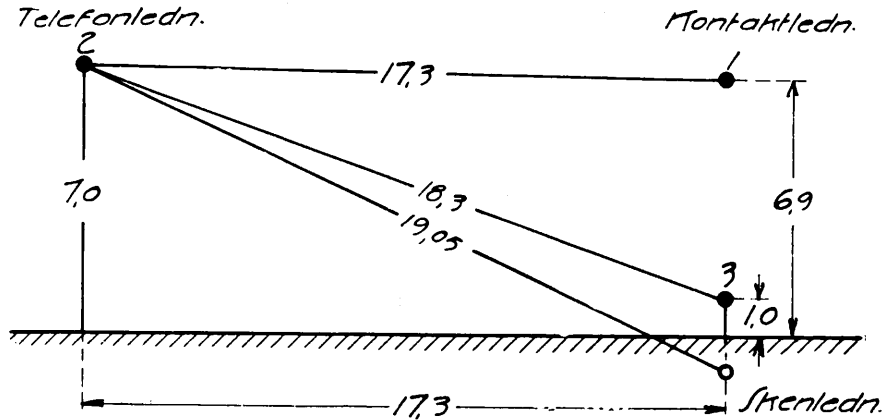
För enkelhetens skull räknas med en skena mitt under kontaktledningen på höjden 1 m över den ledande jordytan och i ledande förbindelse med denna. Skenans ekvivalenta radie 4 cm.

$$k_1 = 100$$

$$k_2 = 111,1$$

$$k_3 = 18 \log \frac{200}{4} = 70,5$$

$$k_{12} = 4,48$$



$$k_{13} = 18 \log \frac{7.9}{5.9} = 5.25$$

$$k_{23} = 18 \log \frac{19.05}{18.3} = 0.724$$

$$K_1 = k_1 - \frac{k_{13}^2}{k_3} = 99.6$$

$$K_{12} = k_{12} - \frac{k_{13}k_{23}}{k_3} = 4.426$$

$$\epsilon = \frac{K_{12}}{K_1} = 0.0444$$

d. v. s. minskat i förhållande till 0,0448 med omkring 1,0 %. För skenor blir minskningen med säkerhet mindre än 2 %.

Bil. 10.

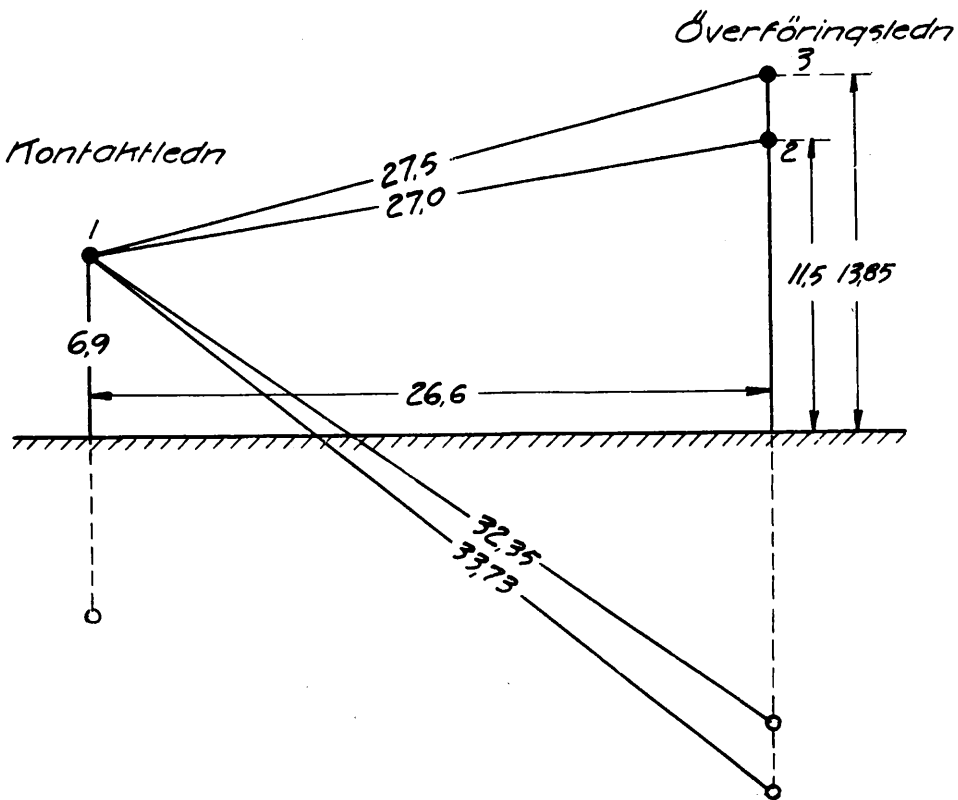
INFLUENS-SPÄNNING FRÅN KONTAKTLEDNINGEN TILL ÖVERSTA
LÄNGST BORT BELÄGNA (VIT) ÖVERFÖRINGSLEDNING.
ÖVRIGA ÖVERFÖRINGSLEDNINGAR ISOLERADE.

$$v_3 = \frac{k_{13}}{k_1} \cdot v_1 = \epsilon v_1$$

$$k_{13} = 18 \log \frac{33.73}{27.5} = 3.67$$

$$k_1 = 100$$

$$\epsilon = 0.0367$$



RÖD ÖVERFÖRINGSLEDNING JORDSATT.

$$v_3 = \frac{K_{13}}{K_1} \cdot v_1 \quad K_{13} = k_{13} - \frac{k_{12}k_{23}}{k_2}$$

$$K_1 = k_1 - \frac{k_{12}^2}{k_2}$$

$$k_1 = 100$$

$$k_2 = 154 \text{ (Bil. 6)}$$

$$k_{12} = 18 \log \frac{32,35}{27,0} = 3,25$$

$$k_{13} = 3,67$$

$$k_{23} = 42,7$$

$$K_{13} = 3,67 - \frac{42,7}{154} \cdot 3,25 = 2,77$$

$$K_1 = 100 - \frac{3,25^2}{154} = 100$$

$$\epsilon = 0,0277$$

INDUCERAD SPÄNNING FRÅN ÖVERFÖRINGSLEDNINGEN I VINTERKOPPLING TILL TELEFONLEDNING.

Då telefonledningen är isolerad inverkar den ej på spänningsfördelningen i överföringsledningen. De båda branscherna i denna ligga symmetriskt i förhållande till jorden och stolparnas mittlinje. Med beteckningarna i Bil. 6 blir

$$\begin{aligned} v_1 = v_2 &= (k_1 - k_{13}) q_1 + (k_{12} - k_{14}) q_2 = \\ &= (k_{12} - k_{23}) q_1 + (k_2 - k_{24}) q_2 \\ v_1 &= 124,5 q_1 + 14,2 q_2 = 14,2 q_1 + 126,1 q_2 \\ Q &= q_1 + q_2 \end{aligned}$$

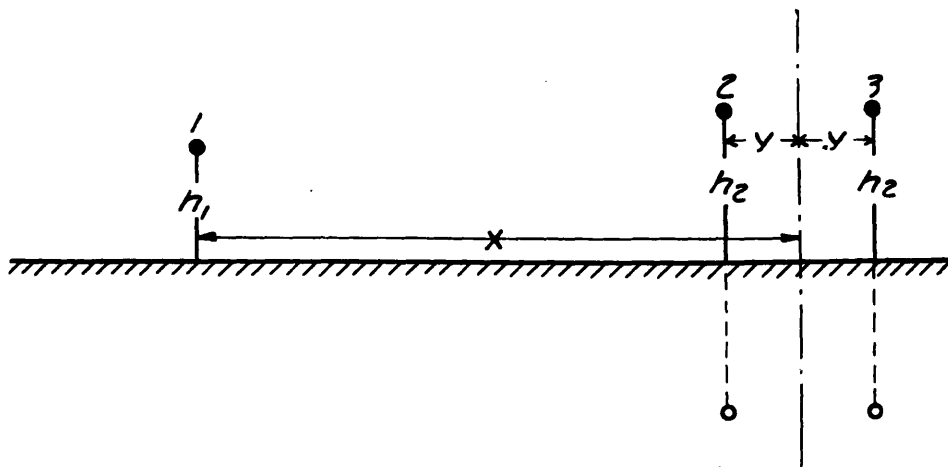
$$q_1 = \frac{111,9}{222,2} \cdot Q$$

$$q_2 = \frac{110,3}{222,2} \cdot Q$$

$$v_1 = 69,65 Q$$

då v_1 är ena fasens spänning till jord $\left(= \frac{V}{2} \right)$

och Q el. mängden på de två ledningar som bilda en fas.



Tillräcklig noggrannhet erhålles om de två ledningar som bilda en fas tänkas ersatta av en ledning som ligger mitt emellan dem

$$v_1 = (k_{12} - k_{13}) Q, \text{ och enligt föregående}$$

$$v_2 = (-) v_3 = 69,65 Q$$

Med beteckningarna å fig. fås

$$k_{12} = 18 \log \sqrt{\frac{(x-y)^2 + (h_2 + h_1)^2}{(x-y)^2 + (h_2 - h_1)^2}}$$

$$k_{13} = 18 \log \sqrt{\frac{(x+y)^2 + (h_2 + h_1)^2}{(x+y)^2 + (h_2 - h_1)^2}}$$

sått:

$$h_2 + h_1 = m \quad h_2 - h_1 = n$$

$$k_{12} - k_{13} = 9 \log \frac{x^2 + y^2 - 2xy + m^2}{x^2 + y^2 - 2xy + n^2} \cdot \frac{x^2 + y^2 + 2xy + n^2}{x^2 + y^2 + 2xy + m^2} =$$

$$= 9 \log \frac{1 - \frac{2 \cdot \frac{y}{x}}{1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2 + \left(\frac{m}{x}\right)^2}}{1 + \frac{2 \cdot \frac{y}{x}}{1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2 + \left(\frac{m}{x}\right)^2}} \cdot \frac{1 + \frac{2 \cdot \frac{y}{x}}{1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{x}\right)^2}}{1 - \frac{2 \cdot \frac{y}{x}}{1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{x}\right)^2}}$$

För kortare distanser x blir

$$k_{12} - k_{13} = 18 \left[\operatorname{Artgh} \frac{2 \cdot \frac{y}{x}}{1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{x}\right)^2} - \operatorname{Artgh} \frac{2 \cdot \frac{y}{x}}{1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2 + \left(\frac{m}{x}\right)^2} \right]$$

För större värden å x kan $\left(\frac{y}{x}\right)^2$ försummas vid sidan av 1, och $\frac{m}{x}$ och

$\frac{n}{x}$ äro små i förhållande till 1.

$$\therefore k_{12} - k_{13} = 9 \log \frac{1 + 2 \frac{y}{x^3} \cdot \frac{(m+n)(m-n)}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{x}\right)^2}}{1 - 2 \frac{y}{x^3} \cdot \frac{(m+n)(m-n)}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{x}\right)^2}} =$$

$$= 9 \log \frac{1 + \frac{8y}{x^3} \cdot \frac{h_1 h_2}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{x}\right)^2}}{1 - \frac{8y}{x^3} \cdot \frac{h_1 h_2}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{x}\right)^2}}.$$

$$k_{12} - k_{13} = 18 \left\{ \frac{8 h_1 h_2 y}{x^3} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{x}\right)^2} + \frac{1}{3} \left[\frac{8 h_1 h_2 y}{x^3 \left[1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{x}\right)^2 \right]} \right]^3 + \dots \right\}$$

För stora värden x är influensspänningen prop. mot $\frac{1}{x^3}$ och prop. mot avståndet mellan faserna.

$$\text{för } x = 41,63$$

$$y = 2,375$$

$$\left. \begin{array}{l} h_2 = 12,67 \\ h_1 = 7,0 \end{array} \right\} m = 19,67 ; \quad n = 5,67$$

$$\frac{8 h_1 h_2 y}{x^3} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{x}\right)^2} = 0,0188$$

$$k_{12} - k_{13} = 18 \cdot 0,0188 = 0,3385$$

$$\therefore \varepsilon = \frac{k_{12} - k_{13}}{69,65} = 0,00486$$

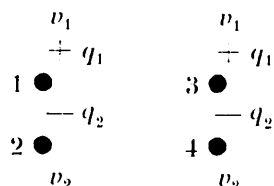
$$\text{Influensspänningen} = \varepsilon \frac{V}{2} = 0,00243 \text{ V}$$

$$\text{För } V = 80,000 \text{ volt} \quad 194 \text{ volt.}$$

Bil. 12.

INDUCERAD SPÄNNING FRÅN ÖVERFÖRINGS-LEDNINGEN I SOMMARKOPPLING TILL TELEFONLEDNING.

För överföringsledningen gäller



$$v_1 = (k_1 + k_{13}) q_1 - (k_{12} + k_{14}) q_2$$

$$v_2 = (k_{12} + k_{23}) q_1 - (k_2 + k_{24}) q_2$$

eller med värdena å konstanterna från Bil. 6,

$$v_1 = 190,3 q_1 - 71,2 q_2$$

$$v_2 = 71,2 q_1 - 181,9 q_2$$

Förhållandet mellan spänningar och laddningar beräknas för tvenne specialfall:

1. *Hela överföringsledningen med tillhörande transformatorer fullständigt isolerad.*

$$\therefore q_1 = q_2 = q$$

$$v_1 = 119,1 q$$

$$v_2 = -110,7 q$$

$$V = v_1 - v_2 = 229,8 q$$

För $V = 80000$ volt blir $v_1 = 41460$, $v_2 = 38540$ volt.

- II. Hela överföringsledningen fullständigt isolerad, men mittpunkten av transformatorn i Pörjus jordad direkt.

$$\therefore v_1 = -v_2 = \frac{V}{2}$$

$$190,3 q_1 - 71,2 q_2 = -71,2 q_1 + 181,9 q_2$$

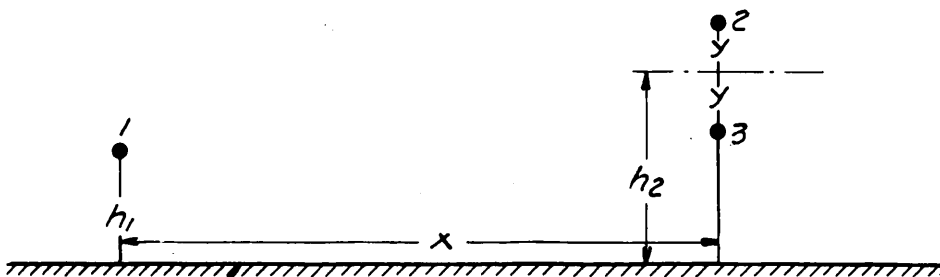
$$261,5 q_1 = 253,1 q_2$$

$$\frac{V}{2} = 116,75 q_1 = 113,0 q_2$$

BERÄKNING AV SPÄNNINGEN.

- I. Om de båda över varandra liggande överföringsledningarnas index sätts 2 och 3 blir för telefonledningen

$$v_1 = (k_{12} - k_{13}) q$$



De båda faserna antagas ligga mitt över varandra på avståndet $2y$ sinsemellan. Deras medelhöjd $= h_2$. Med i övrigt samma beteckningar som i Bil. 11 fås:

$$k_{12} - k_{13} = 9 \log \frac{x^2 + m^2 + y^2 + 2my}{x^2 + n^2 + y^2 + 2ny} \cdot \frac{x^2 + n^2 + y^2 - 2ny}{x^2 + m^2 + y^2 - 2my}$$

om y^2 försummas vid sidan av x^2

$$k_{12} - k_{13} = 9 \log \frac{1 + \frac{2m \frac{y}{x^2}}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2}}{1 - \frac{2n \frac{y}{x^2}}{1 + \left(\frac{n}{x}\right)^2}} \cdot \frac{1 - \frac{2n \frac{y}{x^2}}{1 + \left(\frac{n}{x}\right)^2}}{1 + \frac{2m \frac{y}{x^2}}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2}} \text{ eller}$$

om $\frac{y}{x}$ liten

$$= 9 \log \frac{1 + \frac{2y}{x^2} \left\{ \frac{m}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2} - \frac{n}{1 + \left(\frac{n}{x}\right)^2} \right\}}{1 - \frac{2y}{x^2} \left\{ \frac{m}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2} - \frac{n}{1 + \left(\frac{n}{x}\right)^2} \right\}}$$

Beteckna

$$\delta = \frac{2y}{x^2} \left\{ \frac{m}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2} - \frac{n}{1 + \left(\frac{n}{x}\right)^2} \right\} =$$

$$= \frac{2y}{x^2} (m - n) \frac{1 - \frac{mn}{x^2}}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{x}\right)^2} =$$

$$= \frac{4 h_1 y}{x^2} \cdot \frac{1 - \frac{mn}{x^2}}{1 + \left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{x}\right)^2} = \frac{4 h_1 y}{x^2} \left\{ 1 - \frac{3 h_2^2 + h_1^2}{x^2 + 2 h_2^2 + 2 h_1^2} \right\}$$

$$k_{12} - k_{13} = 9 \log \frac{1 + \delta}{1 - \delta} = 18 \delta \left\{ 1 + \frac{\delta^2}{3} + \dots \right\}$$

För stora avstånd x är influensspänningen proportionell mot $\frac{1}{x^2}$ samt prop. mot avståndet mellan faserna och mot telefonledningens höjd.

Beräkningen utföres för vardera ledningen för sig och värdena summeras.

$$x_1 = 41,63 - 2,37 = 39,26; \quad x_2 = 41,63 + 2,37 = 44,0$$

$$y = 1,175$$

$$\left. \begin{array}{l} h_2 = 12,67 \\ h_1 = 7,0 \end{array} \right\} m = 19,67; \quad n = 5,67$$

$$\delta_1 = 0,01557$$

$$\delta_2 = 0,01316$$

$$v_1 = 18 \delta_1 q + 18 \delta_2 q \quad q = \frac{V}{229,8}$$

$$v_1 = 18 \cdot 0,02873 \cdot \frac{V}{229,8} = 0,00225 V$$

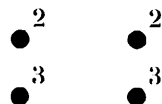
$$\text{för } V = 80,000 \text{ volt} \quad v_1 = 180 \text{ volt.}$$

II.

$$q_1 = \frac{V}{233,5} \qquad q_2 = \frac{V}{226}$$

Spänningen från en tråd ex. (2) blir

$$k_{12} \cdot q_1 = \frac{k_{12}}{233,5} \cdot V$$



och för den närmaste ledningen:

närmaste bortre

$$v_1 = \left(\frac{k_{12}}{233,5} - \frac{k_{13}}{226} \right) V$$

k_{12} och k_{13} beräknas enligt formeln

$$k_{12} = 18 \frac{2 h_1 h_2}{x^2 + h_1^2 + h_2^2} \left\{ 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{2 h_1 h_2}{x^2 + h_1^2 + h_2^2} \right)^2 \right\}$$

närmaste ledningen:

$$\text{för } k_{12}: \quad \left. \begin{array}{l} x = 41,63 - 2,25 = 39,38 \\ h_2 = 13,85 \end{array} \right\} \frac{k_{12}}{233,5} = \frac{1,957}{233,5} = 0,008380$$

$$\text{för } k_{13}: \quad \left. \begin{array}{l} x = 41,63 - 2,5 = 39,13 \\ h_2 = 11,5 \end{array} \right\} \frac{k_{13}}{226} = \frac{1,699}{226} = 0,007520$$

$$\varepsilon_1 = 0,000860$$

bortre ledningen:

$$\text{för } k_{12}: \quad \left. \begin{array}{l} x = 41,63 + 2,25 = 43,88 \\ h_2 = 13,85 \end{array} \right\} \frac{k_{12}}{233,5} = \frac{1,617}{233,5} = 0,006928$$

$$\text{för } k_{13}: \quad \left. \begin{array}{l} x = 41,63 + 2,50 = 44,13 \\ h_2 = 11,5 \end{array} \right\} \frac{k_{13}}{226} = \frac{1,365}{226} = 0,006045$$

$$\varepsilon_2 = 0,000883$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 0,001743$$

$$\text{för } V = 80000 \text{ volt}$$

$$v_1 = 139,5 \text{ volt.}$$

IMPEDANS HOS KONTAKTLEDNING OCH SKENLEDNING.

Om all ström ginge tillbaka genom skenorna, skulle impedansen för kontaktledningen vid kortslutning beräknas på följande sätt:

$$n = 15 \text{ per.}$$

Kontaktledningens resistans per km 0,130 Ω

Skenledningens » » » 0,154 Ω

Kontaktledningens reaktans per km

$$x_k = \omega \cdot 2 \left(\log \frac{2s}{\rho_k} - \frac{3}{4} \right) \cdot 10^{-4}$$

Skenledningens reaktans per km

$$x_s = \omega \cdot \left(\log \frac{2s}{\rho_s} + \log \frac{2s}{d} + \frac{\mu}{4} - 2 \right) \cdot 10^{-4}$$

$$\omega M = \omega \cdot 2 \left(\log \frac{2s}{d_0} - 1 \right) \cdot 10^{-4}$$

varav hela slingans reaktans per km

$$\omega L = x_k + x_s - 2\omega M = \omega \left\{ 2 \left(\log \frac{d_0}{\rho_k} + \frac{1}{4} \right) + \frac{\mu}{4} + \log \frac{d}{\rho_s} + 2 \log \frac{d_0}{d} \right\} \cdot 10^{-4}$$

$$\therefore \omega L = x_1 + x_2 + x_3$$

$$\text{där } x_1 = 2\omega \left(\log \frac{d_0}{\rho_k} + \frac{1}{4} \right) \cdot 10^{-4}$$

x_2 och x_3 ha samma värden som å sid. 106.

$$x_1 = 2\omega \left(\log \frac{5,25}{0,04} + \frac{1}{4} \right) \cdot 10^{-4} = \frac{\omega}{100} \cdot 0,1045 = 0,0985$$

$$\omega L = 0,194$$

och impedansen per km $0,284 + j 0,194$.

Om ledningen är mycket lång, så att spänningsfallet i återledningen är obetydligt i förhållande till spänningsfallet i kontaktledningen, bestämmes det senare därav, att då strömmen i kontaktledningen är J_0 strömmen i skenledningen är kJ_0 .

Spänningsfallet per km i kontaktledningen blir härvid

$$\Delta V = (r_k + j\omega L_k) J_0 - j\omega M k J_0$$

$$\text{och impedansen } Z = \frac{\Delta V}{J_0} ; \quad k = \frac{j\omega M}{r_s + j\omega L_s}$$

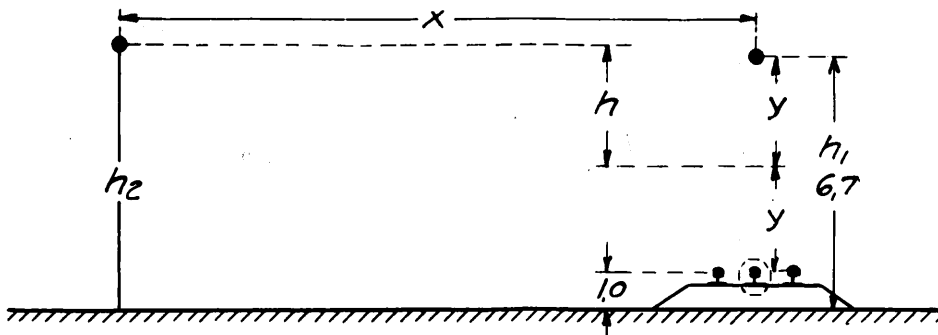
$$\begin{aligned} Z &= r_k + \frac{\omega^2 M^2}{r_s^2 + \omega^2 L_s^2} \cdot r_s + j\omega \left\{ L_k - \frac{\omega^2 m^2}{r_s^2 + \omega^2 L_s^2} \cdot L_s \right\} = \\ &= r_k + k^2 r_s + j\omega \{ L_k - k^2 L_s \} \end{aligned}$$

Förut beräknade värden:

	15 per	16 ² / ₃ per	25 per
r_k	0,130	0,130	0,130
r_s	0,195	0,199	0,216
k^2	0,282	0,296	0,346
$r_k + k^2 r_s$	0,185	0,189	0,205
ωL_k	0,257	0,286	0,428
ωL_s	0,273	0,304	0,456
$\omega L_k - k^2 L_s$	0,180	0,196	0,270
Z	0,185 + j 0,180; 0,189 + j 0,196; 0,205 + j 0,270.		

Bil. 14.

INDUKTION TILL TELEFONLEDNING FRÅN KONTAKTLEDNING OCH SKENLEDNING.



Kontaktledningsströmmen uppdelas i tvenne delar:

kJ_0 , gående i kontaktledning och skena såsom dubbelledning.

$(1-k)J_0$, gående i kontaktledningen med återledningen genom jord.

För den förra blir

$$\begin{aligned}\omega M &= 2\omega s \log \frac{\sqrt{x^2 + (h+y)^2}}{\sqrt{x^2 + (h-y)^2}} \cdot 10^{-4} \\ &= \omega s \cdot 10^{-4} \cdot 2\delta \left(1 + \frac{\delta^2}{3} + \dots\right) \\ \text{då } \delta &= \frac{2hy}{x^2 + h^2 + y^2}\end{aligned}$$

För 7 m höjd hos telefonledningen och 17,3 m avstånd från kontaktledningen, i övrigt enligt fig. är

$$h = 3,15 \quad y = 2,85$$

$$\omega M = \omega s \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 0,0573 = \omega s \cdot 0,1146 \cdot 10^{-4}$$

För 3 m höjd är $h = 0,85 \quad y = 2,85$

$$\omega M = \omega s \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 0,01572 = \omega s \cdot 0,03145 \cdot 10^{-4}$$

eller per 100 amp.-km i kontaktledningen $\frac{\omega}{100} \cdot 0,1146 \cdot k$ resp. $\frac{\omega}{100} \cdot 0,03145 \cdot k$

för 15 perioder 0,1081 k resp. 0,02967 k volt/100 Akm

» 25 » 0,180 k » 0,0494 k » »

eller

» 15 » 0,0574 » 0,01575 » »

» 25 » 0,106 » 0,0291 » »

För den senare delen blir, beräknat för 100 km ledning på 17,3 m avstånd

$$\text{för 7 m höjd } \omega M = 2\omega s \left(\log \frac{200000}{17,3} - 2 \right) 10^{-4} = \omega s \cdot 0,1474 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{för 3 m höjd } \omega M = 2\omega s \left(\log \frac{200000}{17,71} - 2 \right) \cdot 10^{-4} = \omega s \cdot 0,1468 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{eller praktiskt taget lika för båda} = \omega s \cdot 0,147 \cdot 10^{-2}$$

per 100 ampèrekm i kontaktledningen fås:

$$\text{för 15 per. } 13,87 (1-k) = 8,96 \text{ volt/100 Akm}$$

$$\text{» } 16 \frac{2}{3} \text{ » } 15,39 (1-k) = 9,56 \text{ » »}$$

$$\text{» } 25 \text{ » } 23,10 (1-k) = 12,28 \text{ » »}$$

För 8 km ledning på 14,8 m avstånd:

$$\omega M = \omega s \cdot 2 \left(\log \frac{16000}{14,8} - 2 \right) 10^{-4} = \omega s \cdot 0,100 \cdot 10^{-2}$$

per 100 Akm:

$$\text{för 15 per. } 9,43 (1-k) = 6,23 \text{ volt/100 Akm}$$

$$\text{» } 16 \frac{2}{3} \text{ » } 10,54 (1-k) = 6,75 \text{ » »}$$

$$\text{» } 25 \text{ » } 15,70 (1-k) = 8,98 \text{ » »}$$

För ett ledningsavstånd av 125 m (försöksledningen):

$$\omega M = \omega s 2 \left(\log \frac{16000}{125} - 2 \right) \cdot 10^{-4} = \omega s \cdot 0,057 \cdot 10^{-2}$$

eller per 100 Akm för 15 perioder

$$5,38 (1-k) = 3,65 \text{ volt/100 Akm.}$$

Bil. 15.

INDUKTIONENS INVERKAN AV EN PARALLELL, I BÅDA ÄNDPUNKTERNA JORDAD LEDNING.

Spänningen om den parallella ledningen ej är jordad

$$v_x = z_{0x} \cdot i_0$$

och om den är jordad

$$v_x = z_{0x} \left(1 - \frac{z_{1x}}{z_1} \right) i_0 \quad (\text{sid. 117})$$

Antag avståndet mellan ledningarna 56 cm (avståndet mellan trådarna i en dubbelledning)

$$\begin{aligned} z_{1x} &= j\omega m_{1x} = j\omega 2 \left(\log \frac{200000}{0,56} - 2 \right) \cdot 10^{-4} \\ &= j\omega \cdot 0,2156 \cdot 10^{-2} \end{aligned}$$

för 15 per.

$$z_{1x} = j \cdot 0,203$$

z_1 är impedansen för ledningen 1. För en 3 mm koppartråd är motståndet per km 2,5 ohm; reaktansen kan för en överslagsräkning sättas 0,3 Ω vid 15 per.

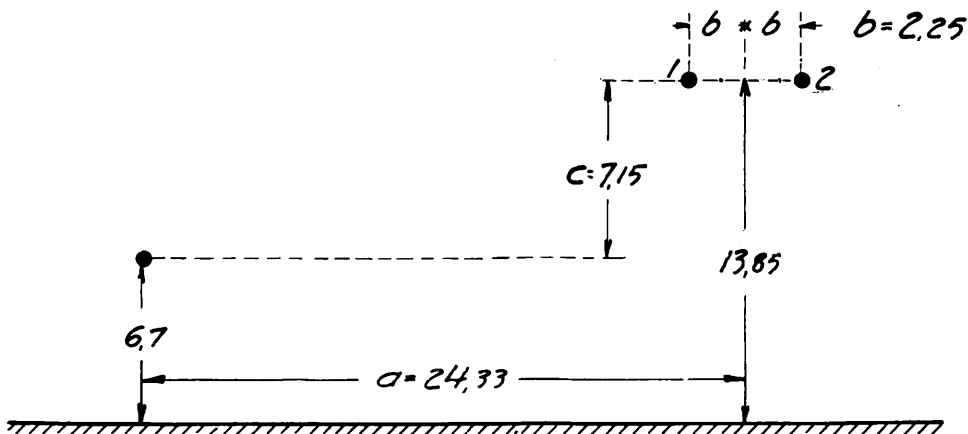
$$\therefore \frac{z_{1x}}{z_1} = \frac{j \cdot 0,203}{2,5 + j0,3} = 0,0806 (+ 83^\circ) = 0,01 + j0,08$$

$$1 - \frac{z_{1x}}{z_1} = 0,99 - 0,08 = 0,994$$

Minskningen i induktion blir således endast 0,6 %.

Bil. 16.

INDUKTION FRÅN KONTAKTLEDNINGEN TILL DE BÅDA ÖVRE ÖVERFÖRINGSLEDNINGARNA.



$$M_1 = 2s \left(\log \frac{2s}{d_1} - 1 \right) \cdot 10^{-4}$$

$$M_2 = 2s \left(\log \frac{2s}{d_2} - 1 \right) \cdot 10^{-4}$$

$$M = M_1 - M_2 = 2s \log \frac{d_2}{d_1} \cdot 10^{-4}$$

För kontaktledningen.

$$d_2 = \sqrt{(a+b)^2 + c^2} = 27,54$$

$$d_1 = \sqrt{(a-b)^2 + c^2} = 23,2$$

$$M = 2 \cdot s \log 1,187 \cdot 10^{-4}$$

För 15 per.

$$s = 122 \text{ km}$$

$$\omega M = 0,395$$

För skenledningen (man tänke sig en skena mitt under kontaktledningen)

$$c = 12,85$$

$$\therefore d_2 = 29,5$$

$$d_1 = 25,5$$

$$M = 2s \log 1,155 \cdot 10^{-4}$$

$$\omega M = 0,333$$

Inducerade spänningen mellan överföringsledningarna per ampère i kontaktledningen blir då

$$v_1 = 0,395 - 0,333 k \quad (k = 0,433 + j0,309, \text{ sid. } 106)$$

$$= 0,251 + j0,103$$

$$= 0,271$$

För 53 amp. i kontaktledningen 14,4 volt.

Bil. 17.

INDUKTION FRÅN KONTAKTLEDNINGEN SÅSOM ENKELLEDNING TILL ÖVERSTA BORTRE ÖVERFÖRINGSLEDNINGEN LIKALEDES SÅSOM ENKELLEDNING.

Avstånden från överföringsledningen till kontakt- resp. skenledningen äro enligt Bil. 16 27,54 resp. 29,5 meter. Skillnaden i induktionskoefficient blir mycket ringa. Därför räknas med konstant induktionskoefficient och $(1-k)J_0$ såsom inducerande ström.

$$M = 2s \left(\log \frac{200000}{27,54} - q \right) \cdot 10^{-4}$$

$$\text{för } q = 2$$

$$M = 0,138 \cdot 10^{-2}$$

för $n = 15$ per. och 100 amp.

$$100 \omega M = 13,01$$

räknas med $1-k = 0,646$ (se sid. 106)

fås

$$V = 8,41 \text{ volt per } 100 \text{ Akm.}$$

Vid en mätning användes 19,5 amp.

Inducerade spänningen bör således bli, då mätsträckan är 122 km, Kiruna—Vassijaure

$$V = 8,41 \cdot 1,22 \cdot 19,5 = 200 \text{ volt}$$

Bil. 18.

**INDUKTION TILL SKENLEDNINGEN FRÅN EN DUBBELLEDNING
BESTÅENDE AV KONTAKTLEDNINGEN OCH ÖVRE
BORTRE ÖVERFÖRINGSLEDNINGEN.**

Avstånden från skenledningen är 5,75 m resp. 29,5 m (se Bil. 16). För sistnämnda avstånds beräkning kunna skenorna utan märkbart fel ersättas med en skena belägen mitt under kontaktledningen.

$$M = 2 \log \frac{29,5}{5,75} \cdot 10^{-4} = 3,27 \cdot 10^{-4}$$

för 15 perioder

$$\omega M = 0,0308$$

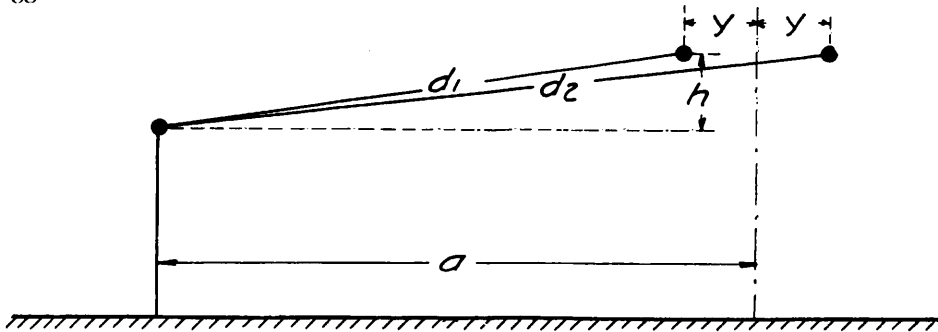
$$k = \frac{j\omega M}{r + j\omega L} = \frac{0,0308 (+ 90^\circ)}{0,335 (+ 54^\circ 30')} = 0,092 (+ 35^\circ 30')$$

d. v. s. skenströmmen 9,2 % av kontaktledningsströmmen.

Bil. 19.

**INDUKTION FRÅN ÖVERFÖRINGSLEDNINGEN I VINTERKOPPLING
TILL SVAGSTRÖMSLEDNINGARNA.**

De båda ledningarna tillhörande en fas tänkas ersatta av en enda tråd liggande mitt emellan trådarna.



Induktionskoefficienten

$$\begin{aligned} m &= 2 \log \frac{d_2}{d_1} \cdot 10^{-4} \\ &= 2 \log \frac{\sqrt{(a+y)^2 + h^2}}{\sqrt{(a-y)^2 + h^2}} \cdot 10^{-4} \\ &= \log \frac{1 + \frac{2 \cdot \frac{y}{a}}{1 + \frac{h^2 + y^2}{a^2}}}{1 - \frac{2 \cdot \frac{y}{a}}{1 + \frac{h^2 + y^2}{a^2}}} \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

Sättes

$$\delta = \frac{2 \frac{y}{a}}{1 + \frac{h^2 + y^2}{a^2}}$$

$$\text{fås } m = 10^{-4} \cdot 2 \cdot \delta \left(1 + \frac{\delta^2}{3} + \frac{\delta^4}{5} + \dots \right)$$

För stora värden är således induktionskoefficienten prop. mot avståndet mellan faserna och omvänt prop. mot avståndet till svagströmsledningen.

För sträckan Kiruna—Torneträsk äro avstånden:

$$a = 39,63 \quad h = 5,67 \quad y = 2,375$$

$$\delta = 0,1170$$

$$m = 0,235 \cdot 10^{-4} \text{ henry/km}$$

för 15 per.

$$V = 0,222 \text{ volt/100 Akm.}$$

För sträckan Kiruna—Linaälv:

$$a = 34 \quad h = 5,67 \quad y = 2,375$$

$$\delta = 0,1353$$

$$m = 0,272 \cdot 10^{-4} \text{ henry/km}$$

för 15 per.

$$V = 0,257 \text{ volt/100 Akm.}$$

*Bil. 20.*KORTSLUTNINGAR (MOMENTANA) PÅ ENFASLINJERNA
UNDER ÅR 1915.

Datum	Jan.	Febr.	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.
1	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—
3	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	4
4	—	—	—	—	2	—	—	1	—	1	1	—
5	—	—	—	—	—	—	—	1	1	—	—	1
6	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—
7	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	1	—
10	—	—	—	—	1	—	—	1	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
12	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1	—
13	—	—	—	—	2	—	—	1	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—
15	—	—	—	—	—	—	—	2	—	1	—	—
16	—	—	—	—	9	—	—	—	1	—	1	—
17	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	2
18	—	—	—	—	3	—	—	—	1	—	—	—
19	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—	1	—
20	—	—	—	—	2	—	—	1	—	1	—	1
21	—	—	—	3	—	—	—	1	—	—	1	—
22	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
23	—	—	—	—	—	—	—	2	1	—	—	1
24	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—
27	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—
28	—	—	—	6	—	1	—	1	1	—	2	—
29	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	4	—
30	—	—	—	2	—	—	3	—	1	—	1	—
31	—	—	—	—	—	—	2	2	—	—	—	—
Säma	—	—	—	13	22	1	9	19	13	3	14	10