

BILAGOR

Transmissionsförhållanden på pupiniserade selektortelefonledningar

1. Induktor- och selektortelefonledningars allmänna egenskaper

Telefonkommittén har under utarbetandet av ekonomiska och tekniska riktlinjer för utbyggnad av ledningar och stationer för järnvägens telefon- och telegrafbehov behandlat ett flertal frågor inom telefonapparat-, automattelefon- och transmissions-tekniken av för järnvägstelefordrift mer eller mindre speciell natur. Bland dessa skall i denna uppsats särskilt behandlas det problemkomplex, som sammanhänger med det tekniska utförandet av s. k. etapptelefonledningar. En sådan etappledning

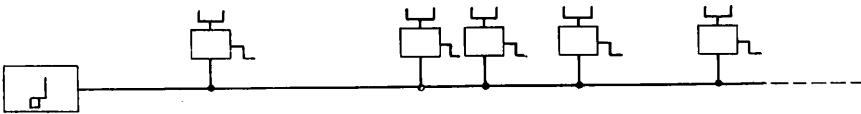


Fig. 1. Allmän anordning av etapptelefonledning med induktorapparater.

består av ett flertal telefonapparater anslutna till en tvåtrådig ledning, som följer järnvägssträckan antingen i en blanklinje eller i en kabel och som är intagen till ett flertal telefonställen — banvaktsstugor, blockposter eller järnvägsstationer — utefter banan (fig. 1).

Även om detta sätt att utnyttja en ledning i vissa fall förekommer även inom allmänna telefonnät, varvid ledningen fått namnet partledning (party line, Gesellschaftsleitung), är det huvudsakligen inom järnvägstelefonien, som denna driftform fått sin största användning. Orsaken härtil är givetvis, att det skulle ställa sig alldeles för dyrt att anordna särskilda ledningar från tjänsteställen med ordergivande personal till alla de telefonställen utefter banan, som måste nås med meddelanden av vikt för järnvägstrafikens snabba och säkra avveckling. Det enklaste utförandet av en etapptelefonledning är att för varje avgränsat tjänstegrensbehov, t. ex. banbevakning, tågledning etc., anordna en telefonledning utefter banan och att till denna vid önskade platser parallellkoppla vanliga induktortelefonapparater. För anrop till visst telefonställe måste i ett sådant enkelt system kodsignaler användas. De härmed förenade olägenheterna äro i korthet, att signaleringsräckvidden blir begränsad och att alla signaler höras vid varje telefonställe, vilket icke blott kräver ständig uppmärksamhet utan även medför irritation i det dagliga arbetet.

För omkring 30 år sedan konstruerade Western Electric ett halvautomatiskt selektorsystem för etappförbindelser, som sedan 1916 varit i drift i de svenska järnvägarnas tjänst. De olika telefonställena intill ett antal av 78 st. anropas med likströmsimpulser från ett centralställe enligt en särskild kod, som dock på grund av

väljarnas mekaniska utformning måste innehålla sammanlagt 17 impulser. Varje ansluten telefonapparat är härvid utrustad med en särskild väljare, en s. k. selektor, som registrerar alla impulser, som utgå från impulssändaren, men endast den impulsserie, som är avsedd för ett visst telefonställe, åstadkommer akustisk signal vid dess apparat. Även allmänt anrop till alla anslutna apparater är möjligt genom sändning av en särskild impulsserie. Olägenheten med Western Electric's selektortelefonsystem är förutom de relativt stora och komplicerade selektorerna, att den inom automattelefonien i övrigt normala impulsfrekvensen om 9—11 impulser per sekund ej kan användas, varigenom anslutning till vanliga automattelefonväxlar försvåras.

Under 1930-talet ha såväl Siemens som L. M. Ericsson konstruerat nya selektortelefonsystem, som uppfylla långtgående krav på enkel och tillförlitlig drift och även avhjälpa ovannämnda olägenhet.

I L. M. Ericssons system (fig. 2), som är det enda, som vunnit insteg inom järnvägstelefonnäten i Sverige, användas likströmsimpulser med normal impulsfrekvens, vilka erhållas från en vanlig fingerskiva. I likhet med vad fallet är vid Western Electric's system, måste impulssändarna och impulsmottagarna eller selektorerna vara metalliskt förbundna med varandra. Ledningarna kunna sålunda

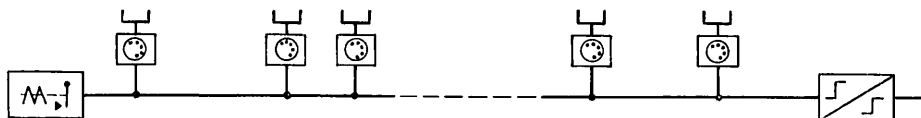


Fig. 2. Allmän anordning av etapptelefonledning med helautomatiskt selektortelefonsystem.

ej utrustas med normala ledningstransformatorer, ej heller kunna fantomledningar utan vidare användas.

Impulseringsräckvidden för ett givet selektortelefonsystem med likströmsimpulsering bestämmes av ledningens transmissionsegenskaper, huvudsakligen för likström (resistans och läckning). Om den geografiska längden överstiger impulseringsräckvidden, måste selektorledningarna uppdelas i sektioner, och impulsöverdrag anordnas vid sektionsgränserna. På detta sätt kunna mycket långa förbindelser uppkopplas helautomatiskt.

Då det gäller förbindelser mellan två apparater anslutna till en etappledning, bestämmas taltransmissionsegenskaperna både vid induktor- och selektorsystem av ledningens primära konstanter (r , l , a och c) vid talfrekvens. De till ledningen parallellkopplade utrustningarna, som ej deltaga i samtalet, hava nämligen i allmänhet så hög impedans i jämförelse med ledningens karakteristik, att tillsattdämpningen, som nedan skall visas, blir obetydlig. Emellertid föreligger vid etappförbindelser tekniska möjligheter att ordna »allmänt anrop», och denna möjlighet är också synnerligen värdefull ur järnvägsdriftens synpunkt. Vid allmänt anrop uppträda ej särskilda svårigheter vid impulsöverföring, men däremot förändras etappledningens transmissionsegenskaper för talfrekvens mycket starkt, då vid allmänt samtal handmikrotelefonerna vid samtliga eller i varje fall ett stort antal av de till etappledningen anslutna apparaterna äro avlyftade, och apparatimpedansen därvid är låg. Den är särskilt låg, om mikrofonen — som vid vanliga apparater — vid handmikrotelefonens avlyftande anslutes till ledningen. Förhållandena bliva gynnsammare, om handmikrotelefonen förses med tangent, och denna rätt användes under det allmänna samtalet.

2. Principiell teoretisk behandling av transmissionsförhållanden på ledningar med shuntimpedanser

Under telefonkommitténs verksamhet utfördes vid ett tillfälle av elektrotekniska byrån en nypupinisering av vissa förut opupiniserade ledningar i SJ telefonkabel mellan Stockholm och Göteborg. Överföringsförmågan för talfrekvenser hos en viss etappledning utrustad med induktorapparater i denna kabel var före pupiniseringen dålig, och klagomål hade framställts häröver. Då en pupinisering av en ledning sänker dämpningskonstanten för en 0,9 mm kabelledning vid 800 Hz från 0,063 till 0,018 neper per km vid 177 mH per spole och 2,1 km spolavstånd, tog man för

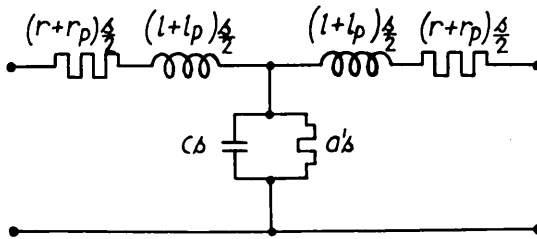


Fig. 3. Ekvivalent schema för pupinsektion med förluster.

r	= opupiniserad kabellednings resistans per km dubbelledning
l	= " " induktans " "
c	= " " kapacitans " "
a'	= pupiniserad " läckning " "

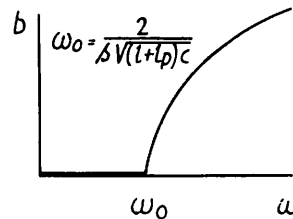
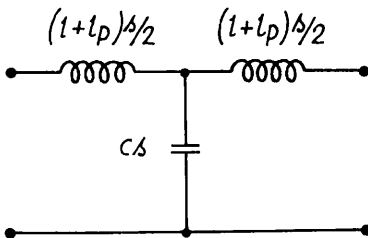


Fig. 4. Ekvivalent schema och dämpningskurva för pupinsektion utan förluster.

givet att förhållandena på etappledningen skulle bli avsevärt mycket bättre efter genomförd pupinisering även vid allmänt samtal.

Resultatet gick emellertid i motsatt riktning — dämpningen steg, vilket lätt kunde konstateras t. o. m. vid enkla talprov. Förklaringen härtill skall i det följande närmare behandlas. Redan här må emellertid angivas hur man i princip kan behandla problemet.

Vi ersätta då först en sträcka s km av pupinkabelledningen med en nominell T-sektion enl. fig. 3. Detta är tillåtet under förutsättning att villkoret $|\gamma s| \ll \sqrt{6}$, som på vanligt sätt erhålles vid härledning enligt Kennelly av de ekvivalenta och nominella T- eller π -anordningarna, är uppfyllt. Här är γ den opupiniserade kabelledningens fortplantningskonstant, som kan beräknas med utgångspunkt från värdena på r , l , a och c . För t. ex. 0,9 mm kopparledare är $r = 55$ ohm, $l = 0,7$ mH, $c = 0,030$ μ F och $a = 0,6$ μ S per km dubbelledning, varav man för den betraktade pupinsträckan

vid $\omega = 2\pi 2\,000$ rad/s och $s = 2,1$ km erhåller $|\gamma s| = 0,304$. Detta värde är sålunda betydligt mindre än $\sqrt{6} = 2,45$, varför approximationen är tillåten.

Som bekant finner man, att en pupinkabels egenskaper principiellt äro desamma som för ett lågpassfilter enligt fig. 4, för vilket vi försummat förlusterna. Detta har en viss gränsvinkelfrekvens $\omega_0 = \frac{2}{s\sqrt{(l+l_p)c}}$, upp till vilken dämpningen är noll

eller obetydlig, om förlusterna medtagas.

Om man nu t. ex. vid mittpunkten av varje pupinsektion i shunt inkopplar en induktorapparat, kan man i första hand försumma apparatimpedansens reella del och sålunda ersätta apparaten med en induktans L_a . Man får då ett schema enligt fig. 5,

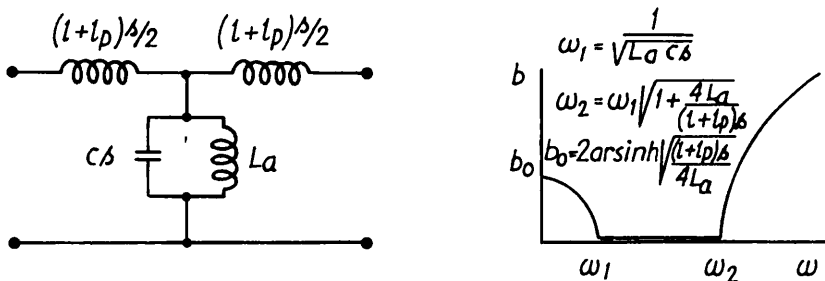


Fig. 5. Ekvivalent schema och dämpningskurva för pupinsektion utan förluster men med shuntinduktans.

och anordningen verkar som ett bandpassfilter med gränsfrekvenserna $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_a cs}}$ och $\omega_2 = \omega_1 \sqrt{1 + \frac{4L_a}{(l+l_p)s}}$. Men även den med induktorapparater shuntade men

opupiniserade ledningen ($l_p = 0$) verkar som ett bandpassfilter, varvid samma formler för gränsfrekvenserna principiellt gälla. Den undre gränsfrekvensen ω_1 är tydligen oberoende av om kabelledningen är pupiniserad eller ej och endast beroende av shuntinduktansen L_a samt sträckans totala kapacitans cs . Den övre gränsfrekvensen ω_2 sjunker däremot snabbt med pupiniseringen, ty sl_p är av samma storleksordning som L_a . Bandbredden minskar sålunda. Spegeldämpningen för låga frekvenser, speciellt frekvensen noll, beräknas ur formeln $b_0 = 2 \operatorname{arsinh} \sqrt{\frac{s(l+l_p)}{4L_a}}$.

Utan pupinisering ($l_p = 0$) är denna dämpning obetydlig, ty $L_a \gg sl$, men efter pupiniseringen kan dämpningen stiga till ganska stora värden, speciellt vid stark pupinisering.

Ett numeriskt exempel skall närmare belysa förhållandena vid pupinisering av en induktorledning med förut angivna data. Vi antaga, att induktorapparater med impedansen $Z_a = 1\,650 \angle +24^\circ$ ohm vid 800 Hz äro inkopplade i shunt till ledningen, som pupiniseras enligt för SJ normal metod med 177 mH spolar på avståndet 2,1 km. Då härledningen förutsatt, att förlusterna försummas, ersätta vi shuntimpedansen med en ren induktans, som dessutom antages vara konstant. För den nominella T-sektionen få vi då per km dubbelledning

$$l = 0,7 \text{ mH/km}$$

$$l_p = \frac{177}{2,1} = 84,3 \text{ mH/km}$$

$$c = 0,030 \mu\text{F/km}$$

samt med $s = 2,1$ km

$$ls = 0,00147 \text{ H}$$

$$(l + l_p)s = 0,1785 \text{ H}$$

$$cs = 0,063 \mu\text{F}$$

$$L_a = \frac{1650 \sin 24^\circ}{5000} = 0,135 \text{ H}$$

I fig. 6 angivas gränsfrekvenserna samt spegeldämpningen b_0 för såväl den opupiniserade som den pupiniserade ledningen.

Genom pupiniseringen ökas sålunda dämpningen för den antagna ledningssträckan vid låga frekvenser från maximalt 0,10 neper till elva gånger detta värde eller till 1,1 neper. Samtidigt begränsas frekvensbandet uppåt — som vid all pupini-

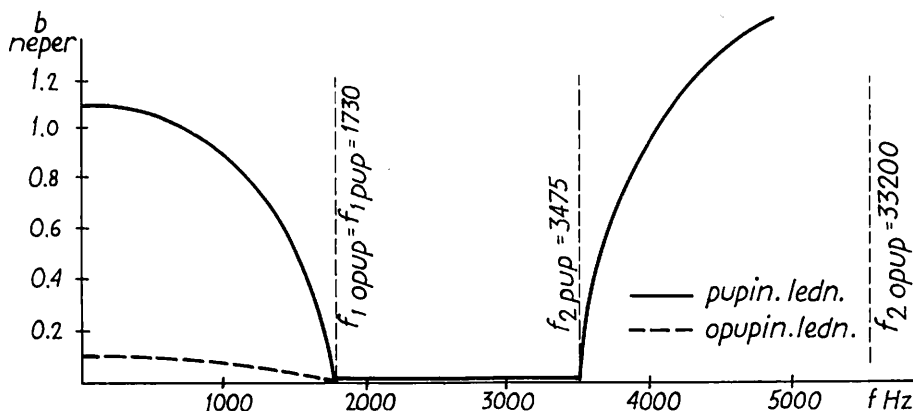


Fig. 6. Dämpningskurva och gränsfrekvenser för opupiniserad och pupiniserad 0,9 mm induktortelefonledning ($l_p = 177$ mH, $s = 2,1$ km.).

sering. I detta fall blir den övre gränsfrekvensen 3 475 Hz. Som jämförelse få vi gränsfrekvensen för pupinkabelledningen utan shuntinduktans med $s = 2,1$ km till

$$f_0 = \frac{1}{\pi s \sqrt{(l + l_p)c}} = 3010 \text{ Hz.}$$

Dämpningen i fig. 6 är noll i passbandet, ty förlusterna ha liksom alltid inom filtroteorien i första approximation försumrats, och de uppritade kurvorna avse spegeldämpningar. Med förluster erhållas även inom passbanden en från noll skild spegeldämpning, vartill kommer eventuella tillsatsdämpningar på grund av reflexioner.

Redan denna mycket förenklade framställning ger vid handen, att den genom tal- och lyssningsprov konstaterade försämringen vid pupinisering av induktortelefonledningen får sin naturliga teoretiska förklaring. Emellertid är problemet betydligt mer komplicerat än enligt denna framställning, och vad man vid första påseendet är benägen tro. Hur önskvärt det än vore att på teoretisk väg kunna förutberäkna en med shuntimpedanser försedd lednings transmissionsegenskaper, speciellt inom talfrekvensområdet, får man dock konstatera, att detta endast är möjligt i speciella fall och under alldeles bestämda förutsättningar. S. Ekelöf och N. Svartholm ha matematiskt behandlat en med ifrågakommande problem besläktad uppgift, nämligen studiet av transienta förlopp vid impulsöverföring på selektorledningar. En förutsättning för den matematiska behandlingen är i båda fallen,

att shuntimpedanserna (liksom ev. pupinspolar) äro jämnt fördelade efter ledningens längd. Men så är alls ej förhållandet i praktiken, ty som lätt inses äro avstånden mellan olika telefonställen utefter en järnvägssträcka bestämda av helt andra än elektrotekniska eller matematiska faktorer.

Detta är det väsentliga hindret för den teoretiska behandlingen av problemet. En annan svårighet ligger emellertid i shuntimpedansens karaktär. Sålunda utgöras shuntimpedanserna vid induktortelefonledningar av telefonapparater, vilkas impedanser ej blott kunna vara sinsemellan olika utan även variera på grund av mikrofonernas föränderliga likströmsresistans. Vid selektorsystem av L. M. Ericssons typ tillkommer dessutom en speciell koppling, innehållande torrl rikrtare, som uppvisar en med den genomflytande likströmmens storlek och riktning variabel impedans (fig. 7). Då likströmmen erhålles från en vid selektorledningens ena ändpunkt placerad strömkälla, komma tydligen shuntimpedanserna att på grund av

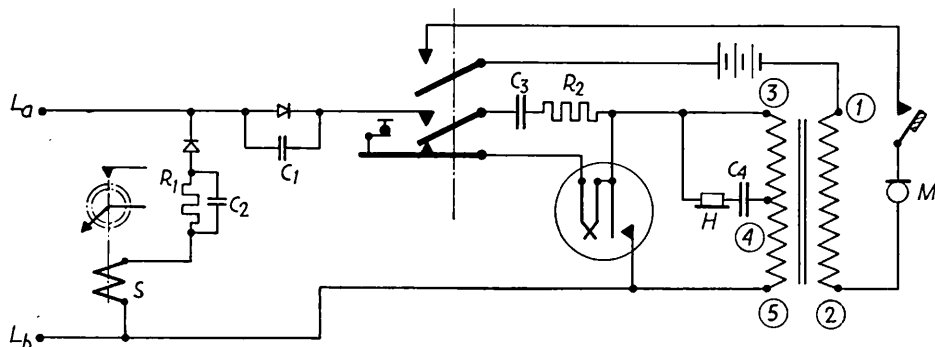


Fig. 7. Kopplingsschema för L. M. Ericssons telefonapparat med selektortillsats, typ A.

$C_1 = 0,1 \mu F$	$R_1 = 70\,000 \text{ ohm}$	$M = 40 \text{ ohm}$
$C_2 = 0,25 \mu F$	$R_2 = 600 \text{ »}$	1—2 1,5 ohm 300 varv
$C_3 = 1 \mu F$	$S_1 = 21\,500 \text{ »}$	3—4 58 » 1 700 »
$C_4 = 1 \mu F$	$H = 2 \times 60 \text{ »}$	4—5 440 » 380 »

spänningsfallet utefter ledningen bli beroende av avståndet till ledningens ändpunkt. Härtill kommer att apparatimpedansen på grund av torrl rikrtarnas egenskaper även beror på den överlagrade växelströmmens amplitud.

Synnerliga svårigheter föreligga sålunda, då det gäller att vid olika frekvenser bestämma de värden på shuntimpedansens amplitud och fasvinkel, som skola läggas till grund för en matematisk behandling. Ur teknisk praktisk synpunkt återstår därför knappast någon annan väg än att söka lösa uppgiften på empirisk väg. Denna har också beträffs av telefonkommittén, som i samråd med elektrotekniska byrån låtit utföra ett flertal serier mätningar över transmissionsförhållandena inom talfrekvensområdet hos olika slag av induktor- och selektorledning.

3. Transmissionsmätningar på selektorledning Mellansel—Vännäs

För en första experimentell undersökning av i praktiken uppträdande transmissionsförhållanden på selektorledningar visade det sig möjligt att utan hinder för den normala telefontrafiken få disponera två pupiniserade par i SJ telefonkabel mellan Mellansel och Vännäs. Dessa par voro:

nr 10: 0,9 mm, 177 mH,	$s = 1\,926 \text{ m}$
nr 36: 1,3 mm, 132/55 mH,	$s = 1\,926 \text{ m}$

inkopplades symmetriskt på ömse sidor om mätapparaterna. Storleken av kondensatorerna valdes till $4\ \mu\text{F}$, för att reaktansen även vid låga frekvenser skulle bli liten i förhållande till mottagarens impedans. För impulsmottagning och -sändning

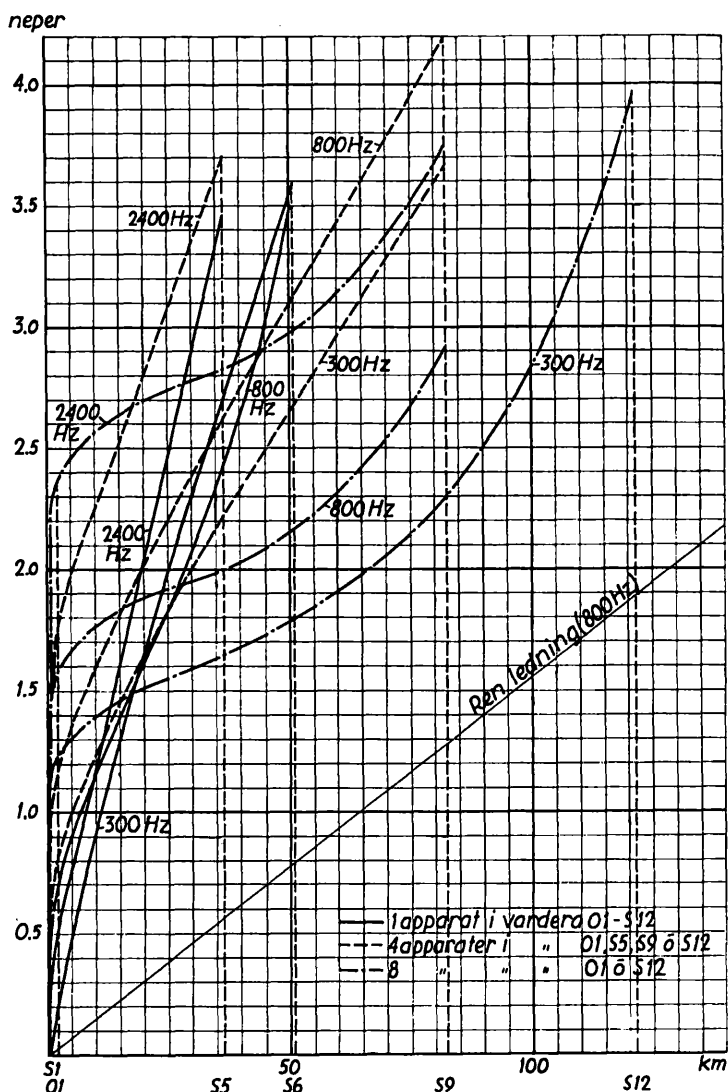


Fig. 10. Naturliga logaritmen för förhållandet mellan sändare- och mottagarespänningar som funktion av avståndet vid *allmänt* samtal på par 10 (177 mH) i kabeln Mellansel—Vännäs. Ledningen avslutad med balans.

förses selektorledningarna med särskilda ledningsutrustningar av två olika typer SLUA och SLUB, varvid den förra är den impulssändande utrustningen och den senare en utrustning för impulsrepetering och överkoppling till en angränsande ledningssektion.

Den vid mätningarna använda kopplingen framgår av fig. 9. Sändaren S anslöts alltid till ledningens närända, där ledningsutrustningen SLUA var, men ej alltid behöver vara inkopplad. Ledningens fjärrända lämnades öppen eller anslöts till utrustningen SLUB, varvid angränsande ledning ersattes med en ledningsbalans B, som utgjordes av en vanlig Hoytbalans för 177 resp. 132 mH pupinledning, då man av praktiska skäl ej kunde konstruera en balans, som inkluderade selektorapparatens inverkan på pupinledningens karakteristik.

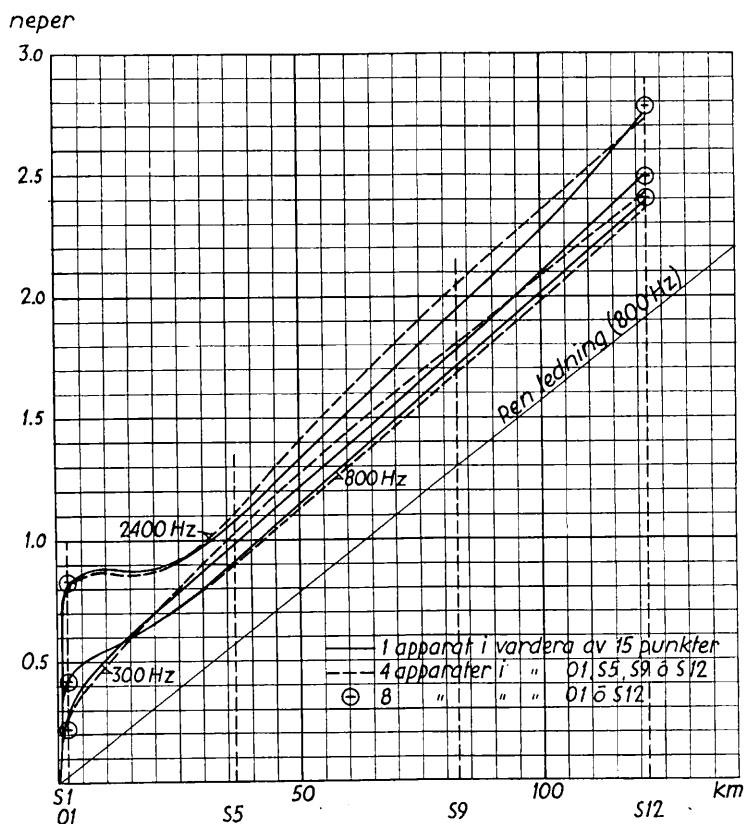


Fig. 11. Naturliga logaritmen för förhållandet mellan sändare- och mottagarespänningar som funktion av avståndet vid *individuellt* samtal på par 10 (177 mH) i kabeln Mellansel-Vännäs. Ledningen *avslutad* med balans.

Då järnvägstelefontrafiken fordrar, att samtal på selektorledningar dels skola kunna utväxlas mellan två telefonställen vilka som helst, dels ock mellan ett telefonställe och alla övriga (allmänt samtal), genomfördes mätningarna på två olika sätt. Sålunda mättes dels med handmikrotelefonen avlyftad endast vid den apparat, där mottagaren var inkopplad, dels med samtliga apparaters handmikrotelefoner avlyftade.

Flera olika mätserier utfördes i syfte att studera transmissionsförhållandena med shuntimpedanserna dels något så när jämnt fördelade uteder ledningen, dels koncentrerade till vissa platser. Det första fallet motsvarar normal anordning för

SJ. telefondrift, det senare ett extremfall. Följande apparatgrupperingar (jmf. fig. 8) undersöktes:

- En selektorapparat i vardera O_1 — S_{12} .
- Fyra selektorapparater i vardera O_1 , S_5 , S_9 och S_{12} .
- Åtta selektorapparater i vardera O_1 och S_{12} .

Det kan ej ifrågakomma att här redogöra för alla resultat av de många olika mätserierna. Typiska dämpningskurvor återfinnas för par 10 i fig. 10—12, som

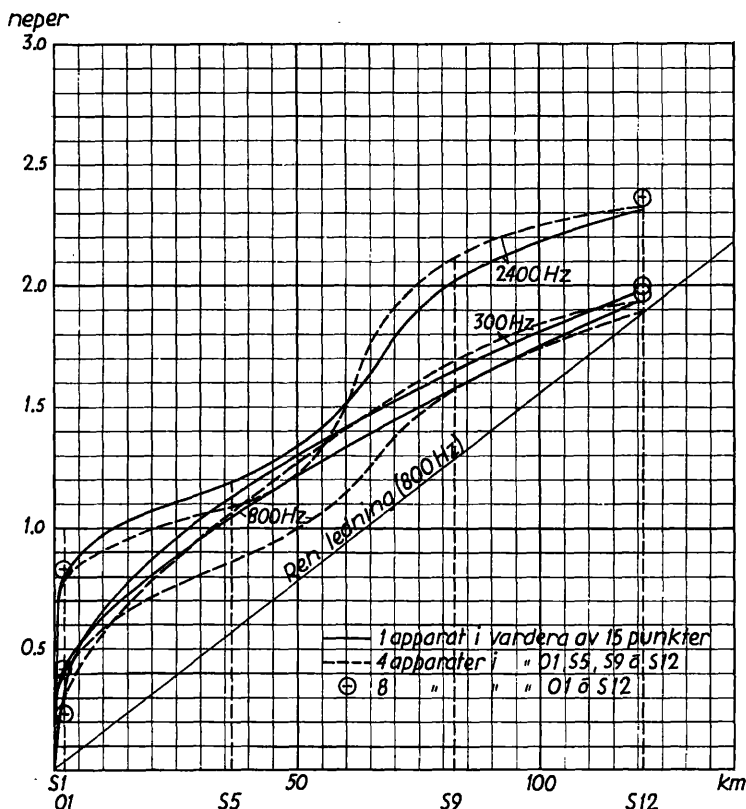


Fig. 12. Naturliga logaritmen för förhållandet mellan sändare- och mottagarespänningar som funktion av avståndet vid *individuellt* samtal på par 10 (177 mH) i kabeln Mellansel-Vännäs. Ledningen *oavslutad*.

visa förhållandena vid allmänt samtal och vid individuellt samtal med inkopplad balans samt vid individuellt samtal utan balans. För par 36 erhöles analoga resultat, vilka bekräfta följande allmänna slutsatser.

Vid *allmänt* samtal och anpassad fjärrända inverkar apparatgrupperingen (a, b eller c) avsevärt på dämpningen, som blir tre till fyra gånger större än för motsvarande rena ledning utan selektorutrustning. En koncentration av apparaterna till ledningens ändar ger mindre dämpning än en mer fördelad placering.

Vid *individuellt* samtal och anpassad fjärrända blir dämpningsökningen ungefär konstant och lika med $\approx 0,4$ neper, oberoende av apparatgrupperingen (jmf.

avd. 4). Om ledningens fjärrända är öppen (en selektorapparat dock inkopplad), blir dämpningsökningen mer variabel och beroende på apparatgrupperingen på grund av reflexioner från fjärrändan.

4. Teoretisk beräkning av transmissionsförhållanden på ledningar med shunt- och serieimpedanser

Resultaten av transmissionsmätningarna på sträckan Mellansel—Vännäs giva anledning att något närmare undersöka, om man teoretiskt kan beräkna bästa förhållandet mellan de shuntande apparaternas impedans och ledningens karakteristik.

Beräkning av tillsatsdämpning genom inkoppling av en shuntimpedans

Antag att vi ha en ledning med fortplantningskonstanten γ , längden s och karakteristiken Z , reflexionsfritt anpassad i bägge ändar, och att vi inkoppla apparatimpedansen Z_a i shunt till ledningen på godtyckligt ställe (fig. 13).

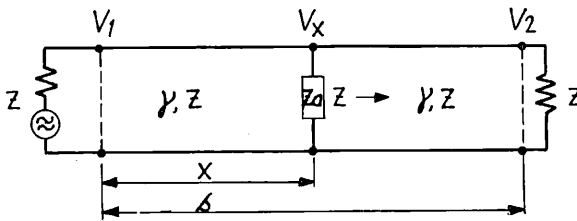


Fig. 13. Shuntimpedans (Z_a) inkopplad till anpassad ledning (Z , γ , s).

Enligt kända formler inom ledningsteorien få vi

$$\frac{V_x}{V_2} = e^{\gamma(s-x)}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sinh(\gamma x + \sigma)}{\sinh \sigma} = \frac{\sinh \gamma x}{\operatorname{tgh} \sigma} + \cosh \gamma x$$

med

$$\operatorname{tgh} \sigma = \frac{Z Z_a}{(Z + Z_a) Z} = \frac{1}{1 + \frac{Z}{Z_a}}$$

och således

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{V_2} &= e^{\gamma(s-x)} \left[\left(1 + \frac{Z}{Z_a} \right) \sinh \gamma x + \cosh \gamma x \right] \\ &= e^{\gamma s} \left[1 + \frac{Z}{2 Z_a} (1 - e^{-2 \gamma x}) \right] \end{aligned}$$

Då ingen apparatimpedans är inkopplad i shunt ($Z_a = \infty$), blir spänningsförhållandet

$$\frac{V'_1}{V'_2} = e^{\gamma s}$$

Tillsatsdämpningen på grund av shuntimpedansen definieras och blir

$$b_t = \ln \left| \frac{V_1 V'_2}{V_2 V'_1} \right| = \ln \left| 1 + \frac{Z}{2 Z_a} (1 - e^{-2\gamma x}) \right|$$

varigenom överensstämmelse erhålles med mätningarna och de i fig. 10—12 angivna ordinatvärdena, som motsvara logaritmiska förhållandet mellan spänningarna V_1 och V_2 resp. V'_1 och V'_2 . Skillnaderna i ordinatvärdena äro således $\ln \frac{V_1}{V_2} - \ln \frac{V'_1}{V'_2}$.

Av den härledda formeln framgår, att tillsatsdämpningen blir beroende av var shuntimpedansen inkopplas. Ju större $|\gamma| x$ är, d. v. s. ju närmare fjärrändan som shuntimpedansen inkopplas, dess mer närmar sig uttrycket gränsvärdet

$$b_t = \ln \left| 1 + \frac{Z}{2 Z_a} \right|$$

För det praktiska fall, då selektorapparaten är i viloläge med pålagd handmikrotelefon och dess impedans Z_{av} endast bestämmes av selektortillsatsens likriktare (i spärriktningen) och serieresistans, få vi formeln

$$b_{tv} = \ln \left| 1 + \frac{Z}{2 Z_{av}} (1 - e^{-2\gamma x}) \right| \text{ resp. } \ln \left| 1 + \frac{Z}{2 Z_{av}} \right|$$

Med selektorapparaten i tälläge, d. v. s. med handmikrotelefonen avlyft, och impedansen Z_{at} blir formeln analogt

$$b_{tt} = \ln \left| 1 + \frac{Z}{2 Z_{at}} (1 - e^{-2\gamma x}) \right| \text{ resp. } \ln \left| 1 + \frac{Z}{2 Z_{at}} \right|$$

Vi tillämpa denna formel på mätningarna vid *individuellt samtal* på sträckan Mellansel—Vännäs, där $Z = 1800 \angle -3^\circ 38'$ och $Z_{at} = 1650 \angle +24^\circ$ ohm vid 800 Hz, och få tillsatsdämpningen

$$\begin{aligned} b_{tt} &\approx \ln \left| 1 + \frac{1800 \angle -3^\circ 38'}{2 \cdot 1650 \angle +24^\circ} \right| \\ &= \ln | 1 + 0,483 - j0,253 | = 0,405 \text{ neper} \end{aligned}$$

vilket värde stämmer bra med det för 800 Hz erhållna värdet 0,43 neper i punkten S_9 (fig. 11), för vilken $|\gamma| x = 1,28$.

Vi finna också av kurvorna för 800 Hz, att tillsatsdämpningen stiger något med avståndet från fjärrändan, vilket lätt förklaras av att för varje apparat i viloläge med impedansen Z_{av} , ansluten någonstans mellan närändan och mätpunkten, en tillsatsdämpning b_{tv} bör tillkomma. Jämföras de uppmätta värdena för 800 Hz i punkterna S_{19} och S_5 finner man, att tillsatsdämpningen, beroende på de 10 mellan dessa punkter anslutna selektorapparaterna i anropsläge, blir 0,13 neper eller 0,013 neper per apparat.

För beräkning av motsvarande tillsatsdämpning b_{tv} måste man känna Z_{av} eller selektortillsatsens resistans i viloläge. Denna är svår att uppmäta men kan enligt schemat (fig. 7) uppskattas till c:a 80 000 ohm. Man får då enligt formeln

$$b_{tv} \approx \ln \left| 1 + \frac{1800 \angle -3^\circ 38'}{2 \cdot 80\,000} \right| = 0,011 \text{ neper}$$

och sålunda en ganska god överensstämmelse.

Dessa härledningar och beräkningar giva vid handen, att selektorapparaterna böra ha så stor impedans som möjligt både i vilo- och talläge. Detta vållar ingen svårighet i viloläget. I talläget förhåller det sig emellertid så, att man önskar få ut största möjliga nyttiga effekt ur mikrofonen vid den sändande apparaten och ur hörtelefonen vid den mottagande apparaten, varför man bör anpassa apparatimpedansen till ledningens karakteristik. Vid individuellt samtal mellan endast två apparater anslutna till en selektorledning kan man dock relativt enkelt finna en lämplig teknisk kompromiss mellan låg sändnings- och mottagningsekvivalent och låg tillsatsdämpning.

Helt annorlunda ställa sig förhållandena vid *allmänt samtal*, i all synnerhet om man fordrar att apparaterna skola inkopplas i talläge på normalt sätt genom mikrofonens avlyftande och ej kan medge, att mikrofonkretsen med en tryckknapp eller mikrofontangent får bortkopplas under mottagning av ett meddelande. Under sådana förhållanden måste apparatimpedanserna vara relativt låga, ty annars förlorar man i försämrade sändnings- eller mottagningsekvivalenter, vad man vinner i minskad överföringsdämpning.

Då det gällde att för planeringen av SJ telefonkabelnät fastställa lämpligaste pupinisering för selektor- och induktorledningar, fann telefonkommittén nödvändigt genomföra dels beräkningar av dämpningskonstanten för en pupinledning med punktvis inkopplade, jämnt fördelade shuntimpedanser, dels mätningar för att under verkliga förhållanden verifiera beräkningarna.

Beräkning av dämpningskonstanten för en pupinledning med jämnt fördelade shuntimpedanser

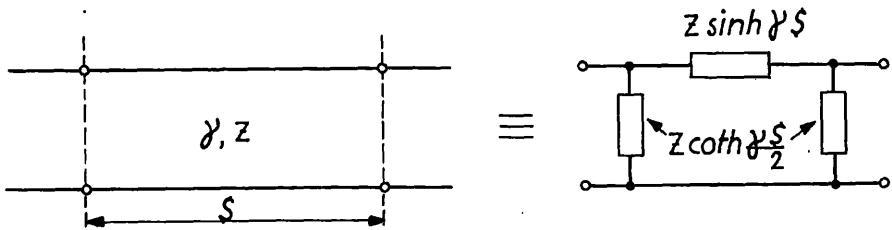
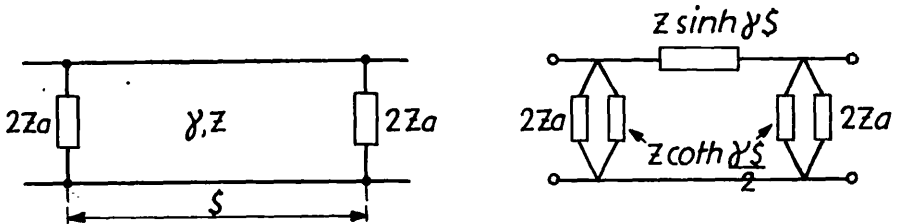
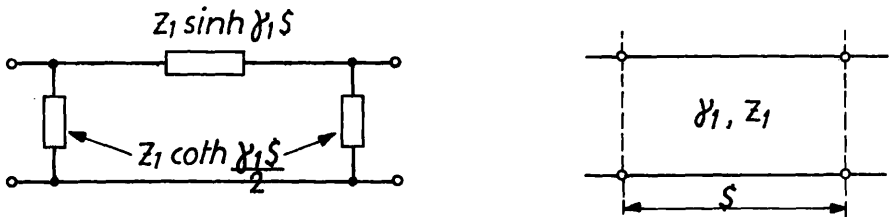
En homogen ledning (Z, γ, S) kan ersättas av en ekvivalent π -sektion. Om shuntimpedanser Z_a inkopplas på avstånden S , kan man finna en ny π -sektion, som i sin tur är ekvivalent med en homogen ledning (Z_1, γ_1, S). Härledningen av denna nya lednings karakteristik Z_1 och fortplantningskonstant γ_1 framgår av de successiva reduktionerna i fig. 14 och av följande formler.¹

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_1 \sinh \gamma_1 S = Z \sinh \gamma S \\ \frac{1}{Z_1 \coth \frac{\gamma_1 S}{2}} = \frac{1}{Z \coth \frac{\gamma S}{2}} + \frac{1}{2 Z_a} \end{array} \right.$$

som efter reduktion ge

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{Z} \sqrt{1 + \left(\frac{Z}{2 Z_a}\right)^2} + \frac{Z}{Z_a} \cdot \frac{1}{\tanh \gamma S} \\ \cosh \gamma_1 S = \cosh \gamma S + \frac{Z}{2 Z_a} \sinh \gamma S \end{array} \right.$$

¹ Detta resultat har erhållits av Pleijel (1) och Ekelöf (4) samt med hjälp av matris-kalkyl av Svartholm (5). Den senares formler gälla dock beträffande karakteristiken för motsvarande T-sektion, vilket ej är angivet i uppsatsen och ägnat att förvilla. (Siffrorna inom parentes hänvisa till litteraturförteckningen i slutet av uppsatsen.)

Fig. 14 a. Homogen ledning med ekvivalent π -sektion.Fig. 14 b. Med impedanserna Z_a på avstånden S shuntad homogen ledning och dess ekvivalenta schema.Fig. 14 c. Reducerad π -sektion och ekvivalent homogen ledning med samma egenskaper som i fig. 14 b.

För stora värden på γS , d. v. s. $\tanh \gamma S \rightarrow 1$, övergå dessa formler i

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{Z} + \frac{1}{2Z_a} \text{ d. v. s. parallellkoppling av } Z \text{ och } 2Z_a \\ \cosh \gamma_1 S = \left(1 + \frac{Z}{2Z_a} \right) \cosh \gamma S \end{array} \right.$$

Med dessa formler kan man nu beräkna, hur dämpningskonstanten γ_1 varierar hos en med den shuntade ledningen ekvivalent homogen ledning. Räkningarna äro emellertid tidsödande och erbjuda en del svårigheter, ty några approximationer, t. ex. genom serieutveckling, som giva tillräcklig noggrannhet, synas ej kunna göras, då avståndet S mellan shuntimpedanserna kan vara stort (γS ej litet).

Då den ursprungliga ledningen (γ, Z) i vårt fall är pupiniserad med spolavståndet s , kan den ej för hela frekvensområdet betraktas som en homogen ledning, och de angivna formlerna gälla därför ej generellt. Svartholm har för ett specialfall, då pupinspoler och shuntimpedanser äro inkopplade vid samma punkter av ledningen, vilket bl. a. innebär $S = s$, härlett generella formler för reduktionen. Dessa kunna

sedan förenklas genom serieutveckling¹, dock endast med vissa speciella antaganden rörande storleken av γS och $\frac{Z}{Z_a}$. I vårt fall, då shuntimpedanserna inkopplas vid punkter av ledningen, som äro oberoende av pupinavstånden ($S \neq s$) och som i verkligheten ej ens äro jämnt fördelade utefter ledningen, blir den teoretiska behandlingen mycket komplicerad och ej mödan värd. En framkomlig väg för att få en överblick över problemets natur är emellertid att betrakta pupinledningen med spolavståndet s som en homogen ledning (Z, γ) och utföra beräkningen för en ledning (Z_1, γ_1), som är ekvivalent med pupinledningen shuntad med impedanser på avstånden S . Detta tillvägagångssätt är berättigat, om vi räkna med talfrekvenser väl under pupinledningens gränsfrekvens.

En sådan beräkning har genomförts för en 0,9 mm dubbelledning, dels opupiniserad, dels pupiniserad med 30, 60, 100 och 170 mH spolar på avståndet $s = 2$ km. Härvid har utgångspunkten varit i tabell 1 angivna värden på karakteristiken $|Z|$, φ , dämpningskonstanten β och faskonstanten α för olika frekvenser.

Tabell 1

Karakteristik $|Z|$ i ohm, dämpningskonstant β i neper/km och faskonstant α i radianer/km vid olika frekvenser för 0,9 mm dubbelledning, pupiniserad med spolar på avståndet $s = 2$ km.

	400 Hz	600 Hz	800 Hz	1 200 Hz	1 600 Hz
1. Opupiniserad ledning $ Z \dots$	830	678	586	480	416
$\varphi \dots$	—0,764	—0,759	—0,753	—0,740	—0,726
$\beta \cong \alpha \dots$	0,044	0,054	0,0625	0,0765	0,0885
2. 30 mH pupinisering $ Z \dots$	920		778		726
$\varphi \dots$	—0,470		—0,300		—0,165
$\beta \dots$	0,038		0,039		0,041
$\alpha \dots$	0,0547		0,1095		0,219
3. 60 mH pupinisering $ Z \dots$	1 100		1 020		1 000
$\varphi \dots$	—0,304		—0,167		—0,086
$\beta \dots$	0,0275		0,0282		0,0295
$\alpha \dots$	0,077		0,154		0,308
4. 100 mH pupinisering $ Z \dots$	1 330		1 290		1 280
$\varphi \dots$	—0,202		—0,105		—0,053
$\beta \dots$	0,0220		0,0225		0,0235
$\alpha \dots$	0,099		0,198		0,396
5. 170 mH pupinisering $ Z \dots$	1 780	1 770	1 802	1 875	1 975
$\varphi \dots$	—0,118	—0,085	—0,0634	—0,0563	—0,0360
$\beta \dots$	0,0154	0,0155	0,0156	0,0160	0,0163
$\alpha \dots$	0,122	0,183	0,246	0,371	0,503

De inkopplade shuntimpedanserna Z_a utgöras i vårt fall av L. M. Ericssons selektortelefonapparater med selektortillsatser, typ A (fig. 7). Amplituden $|Z_a|$ och fasvinkeln φ_a för Z_a variera med den likspänning, som påtryckes apparatanordningen, och äro således beroende av avståndet från ledningsutrustningen. De äro dessutom beroende på om apparatens handmikrotelefon är avlyftad eller ej. Tabell 2 anger $|Z_a|$ och φ_a som funktion av likströmmen genom apparatanordningen vid en växelspänning av 0,3 V och 800 Hz samt vid avlyftad handmikrotelefon.

¹ För val av i praktiken lämpliga serieutvecklingar se även (6).

Tabell 2

Apparatanordningens impedans Z_a φ_a för olika likström vid 0,3 V växelspanning och 800 Hz. Hörtelefonen belastad med filtplatta och mikrofonkapseln ersatt av en konstant resistans av 40 ohm. Handmikrotelefonen avlyftad.

Likström mA	0	0,1	0,2	0,5	1,0	5,0	15,0	20,0
$ Z_a $ ohm ..	1 790	2 340	2 420	2 310	2 140	1 640	1 500	1 470
φ_a°	— 39°50'	— 21°20'	— 9°30'	5°0'	14°10'	23°30'	28°40'	29°50'

Praktiska försök ha visat, att man lämpligen som medelvärde bör räkna med en likström av ungefär 5 mA genom apparatanordningen. I tabell 3 återges de värden på $|Z_a|$ och φ_a vid 5 mA likström för olika frekvenser, med vilka följande beräk-

neper/km

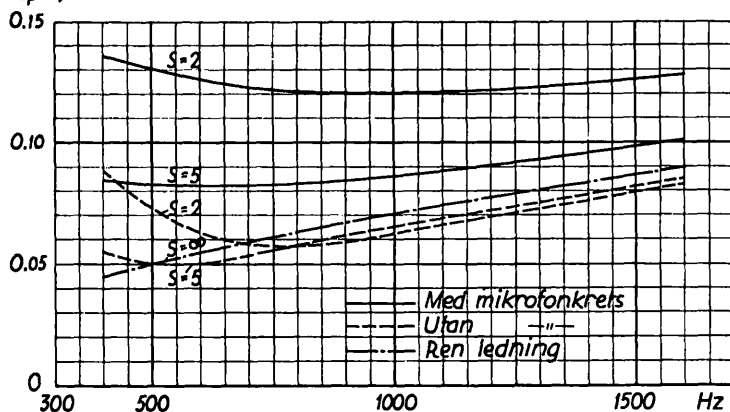


Fig. 15. Beräknad dämpningskonstant för opupiniserad och shuntad 0,9 mm ledning. Shuntimpedans Z_a enligt tabell 3.

ningar utförts. Värden återfinnas för apparatimpedansen såväl med mikrofonkretsen inkopplad (mikrofontangenten intryckt) som utan mikrofonkrets. I senare fallet är impedansen 2—3 ggr så stor som i det förra.

Tabell 3

Apparatanordningens impedans Z_a φ_a för olika frekvenser vid 5 mA likström med och utan mikrofonkrets. Hörtelefonen belastad med filtplatta och mikrofonkapseln ersatt av en konstant resistans av 40 ohm. Impedansvärdena under a) äro medelvärden för 0,775, 0,3 och 0,1 V växelspanning, medan värdena under b) äro uppmätta vid 0,775 V växelspanning.

	400 Hz	600 Hz	800 Hz	1 200 Hz	1 600 Hz
a) Med mikrofonkrets:					
$ Z_a $ ohm	1 360	1 510	1 650	1 840	1 970
φ_a radianer	+ 0,393	+ 0,410	+ 0,419	+ 0,401	+ 0,375
b) Utan mikrofonkrets:					
$ Z_a $ ohm	2 320	3 330	4 000	4 850	5 620
φ_a radianer	+ 0,989	+ 1,076	+ 1,132	+ 1,178	+ 1,193

neper/km

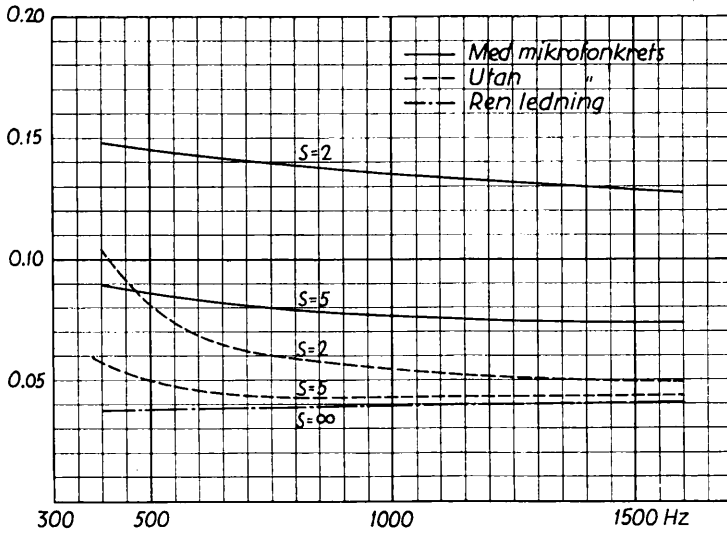


Fig. 16. Beräknad dämpningskonstant för 30 mH pupiniserad och shuntad 0,9 mm ledning. Shuntimpedans Z_a enligt tabell 3.

neper/km

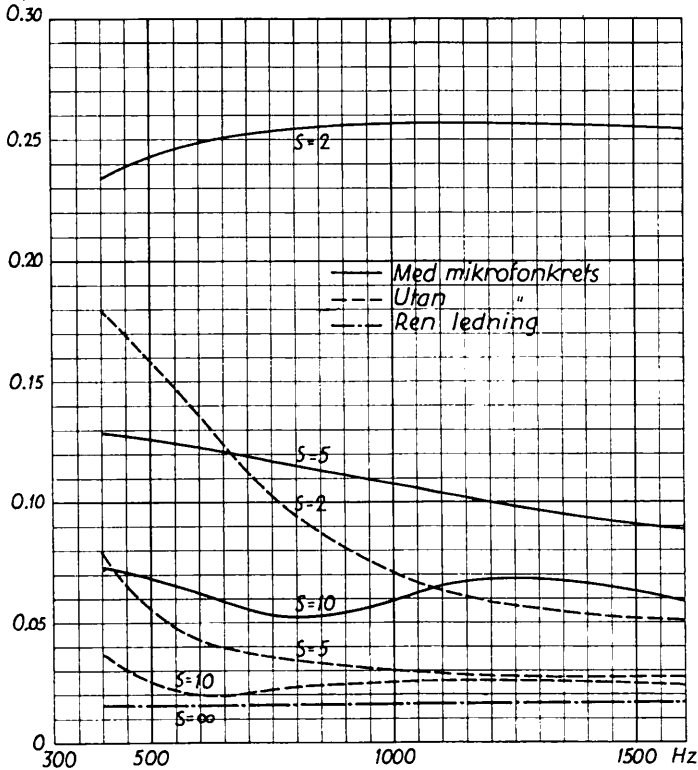


Fig. 17. Beräknad dämpningskonstant för 170 mH pupiniserad och shuntad 0,9 mm ledning. Shuntimpedans Z_a enligt tabell 3.

Resultaten av beräkningarna enligt de angivna formlerna äro grafiskt framställda i fig. 15—18. För opupiniserad ledning är dämpningskonstanten som funktion av frekvensen angiven i fig. 15, dels för ledningen utan shuntimpedanser ($S = \infty$), dels för ledningen med shuntimpedanser, inkopplade på avstånden $S = 2$ resp. 5 km, i båda fallen med och utan mikrofonkrets. Samma kurvor för pupiniserad ledning återfinnas i fig. 16 för 30 mH och i fig. 17 för 170 mH pupinisering, varvid i senare fallet beräkningen även utförts för $S = 10$ km.

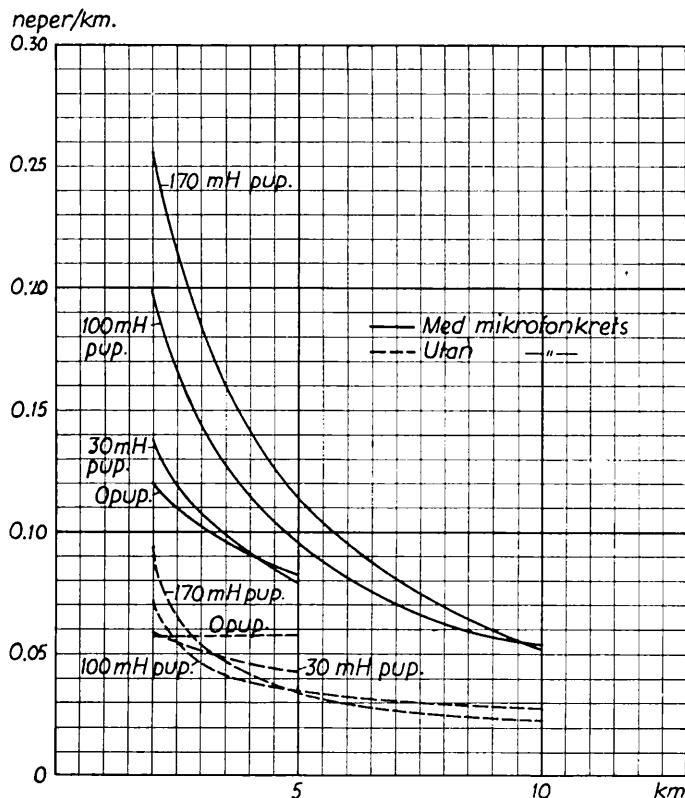


Fig. 18. Beräknad dämpningskonstant vid 800 Hz som funktion av avståndet S mellan shuntimpedanserna vid olika pupinisering av 0,9 mm ledning. Shuntimpedans Z_a enligt tabell 3.

En granskning av kurvorna visar, att dämpningskonstanten blir lägre för 30 mH pupinisering än för 170 mH, både då apparaterna ha mikrofonkretsen in- och urkopplad (Z_a liten resp. stor). Särskilt i sistnämnda fall, då Z_a är stor och dess fasvinkel $> 45^\circ$, kan man konstatera, att kurvorna i princip hava det förlopp, som erhöles enligt den förenklade teorien i avd. 2. Detta resultat, lägre dämpning vid svagare pupinisering, gav telefonkommittén anledning att allvarligt överväga en övergång till en svagare pupinisering än med 170 mH spolar för de etapptelefonledningar, över vilka allmänna samtal skulle kunna utväxlas. Kurvorna i fig. 18 tala i detta avseende sitt tydliga språk. För 100 mH pupinisering är dämpningskonstanten lägre än för 170 mH med mikrofonkrets vid alla för etapptelefonledningar förekommande apparatavstånd. Även utan mikrofonkrets är dämpningskonstanten lägre för 100 mH pupinisering, då $S < 5$ km.

Om hänsyn endast skulle tagas till dämpningskonstanten vid allmänt samtal, skulle sålunda med de hittills inom Statens Järnvägar använda, av L. M. Ericsson levererade apparaterna med Z_a enligt tabell 3 en lägre pupinisering än 170 (177) mH pupinisering vara bättre. Emellertid måste man även beakta, att dämpningskonstanten skall vara låg vid individuellt samtal. I själva verket är detta trafiksätt vanligast, och det är därför av särskilt stor vikt, att räckvidden därvid blir stor. För allmänt samtal kan man alltid nödtorftigt tillmötesgå önskemålen om tillräcklig räckvidd genom att dela upp apparaterna utefter ledningen i grupper och antingen upprepa meddelandet till de olika grupperna eller också ordna så, att något mellanliggande telefonställe repeterar meddelandet.

5. Inverkan av ökad apparatimpedans

Sändare- och mottagarerferensekvivalenter relativt SFERT

De i föregående avdelning härledda formlerna och kurvorna i fig. 15—18 visa, att dämpningskonstanten för en med selektorapparater shuntad ledning vid alla förekommande pupiniseringar blir mycket lägre, om apparaterna hava mikrofonkretsarna urkopplade, än om de äro inkopplade på normalt sätt. Detta är i och för sig lätt att inse, ty en högre impedans $Z_a (L_a)$ bör ge lägre dämpningskonstant i passbandet (jmf. formeln $b_0 = 2 \operatorname{arsinh} \sqrt{\frac{s(l+l_p)}{4L_a}}$ i avd. 2).

Man skulle sålunda genom en ökning av apparatimpedansen även med inkopplad mikrofonkrets kunna avsevärt öka räckvidden vid allmänt samtal utan att behöva avvika från den starka pupinisering (177 mH), som är lämpligast för individuellt samtal. Den enda olägenhet, som härav kan väntas uppkomma, är den försämring i sändare- och mottagarerferensekvivalenterna, som måste erhållas, om man i förutnämnda syfte höjer selektorapparatens impedans, så att den avsevärt avviker från ledningens karakteristik. Vad man vinner i minskad ledningsdämpning, kan man helt förlora genom sämre »verkningsgrad» hos apparaten.

För att utröna hur hög apparatimpedans man skulle kunna använda för att ernå optimum av transmissionsförmåga vid allmänt samtal över en 0,9 mm dubbelledning, pupiniserad enligt Statens Järnvägars normala metod för etappledningar, tillverkades erforderligt antal selektorapparater av tvenne olika typer B och C utöver förut omnämnda typ A (fig. 7). Data för dessa apparater angivas i tabell 4.

Tabell 4
Data för olika typer selektorapparater.

Typ	Kopplings- schema fig.	Apparat- schema L.M. Ericsson	Mikrofon- resistans ohm	Hörtelefon- resistans ohm	Selektor- tillsats	Mikrofontrans- formatorns utförande
A	7	DHK 1101 209459	40	2 × 60	OV 1102 220404	
B	19	DHK 11 × 06 236722	40	2 × 6	OV 1102 220404	{ Linjelindn. 2 400 varv
C	19	DHK special 236722	40	2 × 6	OV 1102 220404	{ Linjelindn. 3 100 varv

För att erhålla högre impedans, mätt mellan ledningsklämmorna, ha för typerna B och C valts principiellt olika kopplingsschemata mot för typ A. Impedanserna ha uppmätts för olika växelströmsstyrkor vid ett flertal frekvenser mellan 400 och 2 400 Hz och med olika likström genom selektortillsatserna. En uppfattning om apparattypernas impedanser med inkopplad mikrofonkrets vid inkoppling i shunt till en selektorledning ger sammanställningen i tabell 5, som gäller för 400, 800 resp. 2 400 Hz, 0,775 V växelspanning och 5 mA likström genom tillsatsen.

Tabell 5

Impedans hos olika typer selektortelefonapparater med selektortillsatser med inkopplad mikrofonkrets, 0,775 V växelspanning, 5 mA likström genom tillsatsen och 3 V mikrofonbatteri.

Apparat- typ	Impedans $ Z_a $ i ohm och fasvinkel φ_a i radianer vid					
	400 Hz		800 Hz		2 400 Hz	
	$ Z_a $	φ_a	$ Z_a $	φ_a	$ Z_a $	φ_a
A	1 463	$19^\circ 40'$	1 724	$21^\circ 50'$	2 210	20°
B	4 130	$33^\circ 10'$	5 444	$32^\circ 20'$	7 900	35°
C	7 340	$29^\circ 10'$	9 500	$29^\circ 30'$	14 000	23°

Då mikrofonkretsen urkopplas, äro impedanserna för typerna B och C liksom för A betydligt högre än tabellens värden. Så har t. ex. vid 800 Hz för typ B uppmätts $Z_a = 11\,550 \angle +46^\circ 40'$ ohm vid bruten mikrofonkrets.

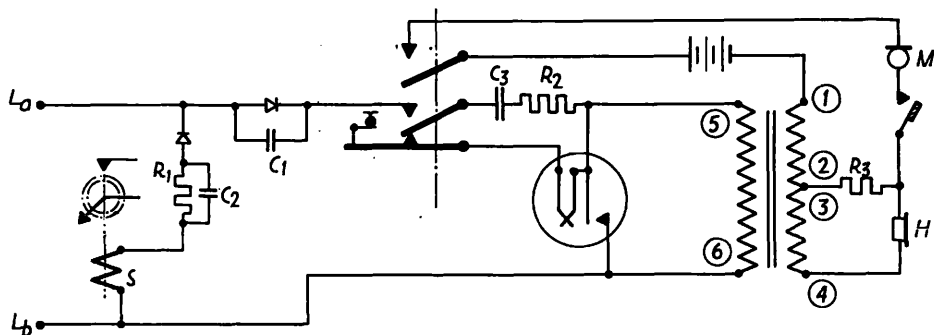


Fig. 19. Kopplingsschema för L. M. Ericssons telefonapparat med selektortillsats, typ B och C.

Typ B.

$C_1 = 0,1 \mu F$	$R_2 = 600 \text{ ohm}$	$M = 40 \text{ ohm}$
$C_2 = 0,25 \mu F$	$R_3 = 18 \text{ ohm}$	1—2 2,2 ohm 150 varv
$C_3 = 1 \mu F$	$S = 21\,500 \text{ ohm}$	3—4 2,4 ohm 150 ohm
$R_1 = 70\,000 \text{ ohm}$	$H = 2 \times 6 \text{ ohm}$	5—6 165 ohm 2 400 ohm

Typ C.

$C_1 = 0,1 \mu F$	$R_2 = 600 \text{ ohm}$	$M = 40 \text{ ohm}$
$C_2 = 0,25 \mu F$	$R_3 = 18 \text{ ohm}$	1—2 2,2 ohm 150 varv
$C_3 = 1 \mu F$	$S = 21\,500 \text{ ohm}$	3—4 2,4 ohm 150 ohm
$R_1 = 70\,000 \text{ ohm}$	$H = 2 \times 6 \text{ ohm}$	5—6 340 ohm 3 100 ohm

De tre apparattypernas referensekvivalenter i förhållande till SFERT vid sändning och mottagning ha uppmätts med L.M. Ericssons SETEM-apparat vid »normal» ljudstyrka enligt CCIF:s föreskrifter. Härvid har batterispanningen varit 3 volt. Vid ifrågasvarande mätningar är det av synnerlig vikt att undersöka ett flertal

apparater, så att ett medelvärde kan erhållas, ty spridningen i de individuella värdena är vanligen ganska stor. Av denna anledning iordningställdes 8 apparater av var och en av de 3 olika apparattyperna. Vanligen utföras mätningarna med en ledningskaraktistik av 600 $\lfloor 0^\circ$ ohm, men då apparaterna skola användas för pupiniserade ledningar med stark pupinisering (177 mH, $s \approx 2$ km), som hava högre karakteristik (tabell 1), ha mätningar även utförts med en ledningskaraktistik av 1 600 $\lfloor 0^\circ$ ohm. Resultaten framgå av tabell 6.

Tabell 6

Medelvärden av referensekvivalenter i förhållande till SFERT vid sändning och mottagning för olika apparattyper. »Normal» ljudstyrka. Batterispänning 3 V.

Ledningskaraktistik ohm	Apparat- typ	Referensekvivalent i neper i förh. till SFERT		
		Vid sändning	Vid mottagning	
			Med mikrofonkrets	Utan mikrofonkrets
600 $\lfloor 0^\circ$ » »	Utan tillsats			
	A	— 0,14	+ 0,60	+ 0,70
	B	+ 0,25	+ 0,32	+ 0,59
	C	+ 0,97	+ 0,74	+ 0,90
1 600 $\lfloor 0^\circ$ » »	Med tillsats			
	A	— 0,24	+ 0,55	+ 0,65
	B	+ 0,30	+ 0,24	+ 0,42
	C	+ 0,79	+ 0,58	+ 0,76

Av tabell 6 kan man dra följande slutsatser. Vid *sändning* är apparattyp A betydligt bättre än typerna B och C. Sålunda är vid 1 600 ohms ledningskaraktistik, som närmast är av intresse här, typ B ungefär 0,5 neper och typ C ungefär 1 neper sämre än typ A. Vid *mottagning* är under motsvarande förhållanden typ C ungefär likvärdig med typ A, under det att typ B är ungefär 0,3 neper bättre vid inkopplad mikrofonkrets och ungefär 0,2 neper bättre vid urkopplad mikrofonkrets än typ A.

En försämring av referensekvivalenten om 0,2 neper skulle sålunda erhållas, om man vid inkopplad mikrofonkrets använde apparater av typ B i stället för typ A både som sändare och mottagare. Denna försämring uppväges emellertid mer än väl av den minskade dämpningskonstanten hos den shuntade ledningen på grund av den avsevärt högre apparatimpedansen. Motsvarande värde på försämringen blir ungefär 1 neper för apparattyp C, och det är tveksamt, om detta värde kan kompenseras av minskad dämpningskonstant på grund av den ännu högre apparatimpedansen hos C.

För bestämning av dämpningskonstanten hos ledningar med olika pupiniseringar och shuntade med apparater av typerna A, B och C utfördes vissa mätningar med hjälp av L.M. Ericssons för laboratorieändamål iordningställda konstledningar i T-koppling motsvarande en pupinsektion. Då resultaten av dessa mätningar bekräfta erhållna värden på dämpningskonstanterna vid mätningar på verkliga pupinkablar, varom redogörelse lämnas i avd. 6, skola de ej bliva föremål för närmare behandling här.

Av större intresse äro emellertid de mätningar av den totala referensekvivalenten i förhållande till SFERT, som utfördes med hjälp av L.M. Ericssons SETEM apparat och konstledning, motsvarande en pupiniserad 0,9 mm kabelledning med 177 mH

Tabell 7

Total referensekvivalent i förhållande till SFERT för apparattyperna A, B och C vid individuellt samtal över 30 sektioner konstpupinledning (177 mH, $s = 1,83$ km) utan likström genom apparaterna. Värdena gälla för 3 V mikrofonbatteri men äro egentligen uppmätta för 0,5 V batterispänning och korregerade med 2,2 neper.

Ledningen	Apparat- typ	Total referensekvivalent i neper i förh. t. SFERT	
		Mottagaren	
		med mikrofonkrets	utan mikrofonkrets
oavslutad	A	+ 1,5	+ 1,6
	B	+ 1,65	+ 1,8
	C	+ 1,55	+ 2,0
avslutad med Hoytbalans.....	A	+ 2,5	+ 2,4
	B	+ 2,65	+ 2,9
	C	+ 2,75	+ 2,85

spolar på avstånden $s = 1,83$ km. Härvid undersöktes först de olika apparattypernas förhållanden vid *individuellt* samtal över 30 pupinsektioner motsvarande 55 km ledning såväl utan som med avslutningsimpedans (Hoytbalans) i ledningens fjärrända. Resultatet återfinnes i tabell 7.

Man finner härav, att vid individuellt samtal de två apparattyperna B och C med hög impedans äro obetydligt sämre än apparattyp A med låg impedans, då mikrofon-

Tabell 8

Total referensekvivalent i förhållande till SFERT för apparater av typ B inkopplade för allmänt anrop vid varje sektion av en konstpupinledning (177 mH, $s = 1,83$ km) utan och med likström (från 24 V batteri genom 2×400 ohm matarespoler). Sändareapparatens på plats nr 1. Värdena gälla för 3 V mikrofonbatteri men äro egentligen uppmätta för 0,5 V batterispänning och korregerade med 2,2 neper.

Mottagare- apparat på plats nr	Total referensekvivalent i neper i förh. till SFERT vid mottagning utan mikro- fonkrets och med ledningens fjärrända	
	oavslutad	avslutad med Hoytbalans
10	+ 1,6	+ 2,15
11	+ 1,7	+ 2,25
12	+ 1,75	+ 2,45
13	+ 1,95	+ 2,4
14	+ 2,0	+ 2,6
15	+ 2,1	+ 2,7
16	+ 2,15	+ 2,75
17	+ 2,35	+ 2,85
18	+ 2,3	+ 2,95
19	+ 2,5	+ 3,25
20	+ 2,7	+ 3,65

kretsen är inkopplad och ledningen oavslutad, vilket motsvarar den normala driftkopplingen. Typ C synes vara något bättre än typ B, vilken dock av flera skäl befunnits vara lämpligast såväl ur transmissions- som tillverknings synpunkt.

Med denna apparattyp utfördes därför ytterligare mätningar i syfte att utröna den totala referensekvivalenten, då apparaterna voro anslutna till konstledningen

såsom vid *allmänt* samtal. För detta ändamål inkopplades 20 pupinsektioner och 20 apparater av typ B, en efter varje sektion, varvid mätningar utfördes för varje apparatplats från nr 10 t. o. m. nr 20 och med mikrofonkretsarna brutna. Resultatet framgår av tabell 8.

Tabell 8 ger oss nu en möjlighet att ur de *uppmätta* värdena beräkna dämpningskonstanten för en 0,9 mm pupinledning (177 mH, $s = 1,83$ km) shuntad med apparater av typ B utan mikrofonkrets, som enligt föregående hava en impedans vid 800 Hz av $Z_a = 11\,550 \angle 46^\circ 40'$ ohm. För 10 sektioner motsvarande 18,3 km få vi en dämpningsökning vid avslutad ledning av 1,5 neper, vilket motsvarar en dämpningskonstant av 0,082 neper per km. Mot detta värde svarar enligt fig. 17 för en 0,9 mm pupinledning (170 mH, $s = 2$ km), shuntad med apparater av typ A utan mikrofonkrets, en *beräknad* dämpningskonstant av 0,095 resp. 0,059 neper vid 800 resp. 1 200 Hz. Någon direkt jämförelse mellan de uppmätta och beräknade värdena är tyvärr ej möjlig på grund av att apparaterna i de båda fallen äro av olika typ, men värdena äro dock av visst intresse.

Man får även av resultaten draga den slutsatsen, att fullgod förbindelse kan erhållas över en 0,9 mm pupinledning (177 mH, $s = 1,83$ km) med en längd av $20 \cdot 1,83 \simeq 37$ km shuntad vid var 1,83 km med selektorapparater typ B utan mikrofonkrets, även om ledningen är reflexionsfritt avslutad i fjärrändan.

Som ytterligare kontroll på den av telefonkommittén föreslagna apparattypens B kvalitetsegenskaper ha vissa uppfattbarhetsprov utförts. Dessa hava föranletts av förut berörda transmissionsegenskaper hos selektorledningar, nämligen den med frekvensen avtagande dämpningskonstanten (fig. 17). Vid uppfattbarhetsproven inkopplades 15 apparater typ B till 14 sektioner konstpupinledning på förut angivet sätt. Endast den sändande apparatens mikrofonkrets var sluten. Som medelvärde för 1 200 logatomer erhöles härvid:

Utan likström på ledningen

Logatom uppfattbarhet:	84,8 %
Ljud	» : 94,8 %

Med likström på ledningen (från 24 V batteri genom 2×400 ohm matarespolar)

Logatom uppfattbarhet:	87 %
Ljud	» : 95,5 %

Dessa värden måste anses vara fullt tillfredsställande ur kvalitetssynpunkt. Anmärkas bör dock måhända, att den högre uppfattbarheten, då ledningen för likström, tydligen måste bero på att selektortillsatsens likriktare då erhålla lämplig polarisationsspänning, som sänker inimpedansen (fig. 19 typ B).

6. Transmissionsmätningar på etapptelefonledningar Gävle—Marma vid olika apparatimpedans

I föregående avdelning har antytts, att vissa mätningar på telefonkommitténs initiativ företagits på konstpupinledningar för att utröna, hur en höjning av apparatimpedansen inverkar på dämpningskonstanten vid allmänt samtal över selektorledningar. En redogörelse för resultaten härav har av utrymmesskäl fått anstå till förmån för här följande sammanfattning av de företagna mätningarna på två ledningar i SJ telefonkabel på sträckan Marma—Gävle.

De använda ledningarna karakteriseras av följande data:

par nr 5: 0,9 mm opupiniserad
par nr 11: 0,9 mm, 177 mH, $s = 2\ 224\text{ m}$.

Paren voro intagna till kopplingsplintar i järnvägsstationer resp. försedda med avgreningar till banvaktsstugor enligt fig. 20, som även angiver de verkliga kabel-längderna mellan de platser, där selektorapparaterna inkopplades.

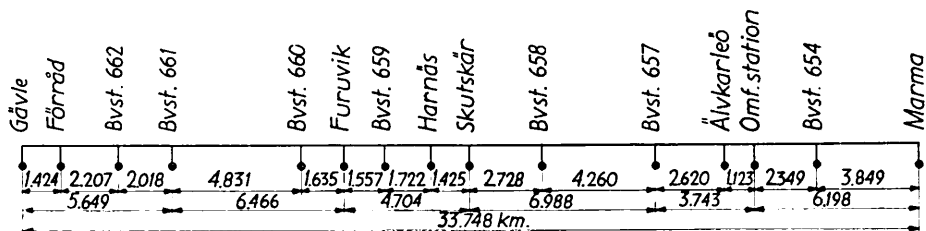


Fig. 20. Plan för inkoppling av SJ telefonkabel Marma—Gävle.

Selektorledningar

Mätningarna utfördes i huvudsak enligt de metoder (fig. 9) och med de instrument, som angivits i avd. 3. Vid samtliga mätningar voro handmikrotelefonerna avlyftade och mikrofonkapslarna ersatta med konstanta resistanser, motsvarande mikrofonresistansens normala värde. Då likströmmen genom selektorapparaternas likriktare påverkar apparatimpedansen och därmed dämpningskonstanten och då vidare likströmstyrkan beror på avståndet från resp. apparat till den gemensamma ledningsutrustningen, utfördes tvenne mätserier, den ena med ledningsutrustning i Gävle, den andra med ledningsutrustning vid resp. apparatplats. Ehuru resultaten i dessa bägge fall blevo något olika, torde det vara tillräckligt att här begränsa framställningen till den förstnämnda mätserien, för vilken sålunda såväl ledningsutrustningen som mätsändaren voro placerade i Gävle, under det att nivåmätinstrument inkopplades såväl i Gävle som vid resp. apparatplats.

Den använda normalgeneratoren medgav utsändning av flera olika utnivåer mellan + 1 och - 4 neper, av vilka dock endast + 1 och 0 neper kommo ifråga. I syfte att göra den grafiska framställningen mera överskådlig medtagas här endast mätningar vid en utnivå motsvarande + 1 neper vid anpassning, även om vissa avvikelser vid olika nivåer observerades, tydligen beroende på vissa anpassningsfel och på apparatimpedansernas växelströmsberoende.

De under mätningarna använda tvenne selektorapparaterna voro dels den hittills använda typen A (fig. 7) med relativt låg impedans och dels den av telefonkommittén rekommenderade typen B (fig. 19) med annat kopplingsschema och relativt hög impedans. I bägge fallen utfördes mätningar med mikrofonkretsen såväl in- som urkopplad.

Fig. 21 visar resultatet av dämpningsmätningarna på sträckan Gävle—Marma, då 14 selektorapparater inkopplades på medelavståndet 2,4 km till det opupiniserade 0,9 mm paret 5. På par 11 med 177 mH pupinisering blir dämpningen större, varför mätningen ej kunde utföras på längre sträcka än Gävle—Skutskär enligt fig. 22, som avser förhållandena, då 8 selektorapparater voro inkopplade på medelavståndet 2,1 km. Slutligen anger fig. 23 förhållandena vid mätning på par 11 med 177 mH pupinisering mellan Gävle och Marma, då medelavståndet ökats till 5,63 km motsvarande 6 inkopplade apparater.

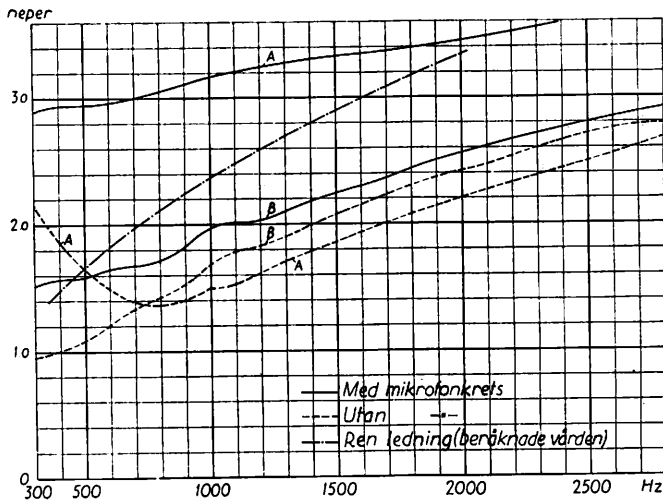


Fig. 21. Naturliga logaritmen för förhållandet mellan sändare- och mottagarespänningen för apparattyp A och B som funktion av frekvensen vid allmänt samtal på par 5 (opup.) i kabeln Marma—Gävle. Medelavstånd mellan apparaterna 2,4 km. Ledningen oavslutad.

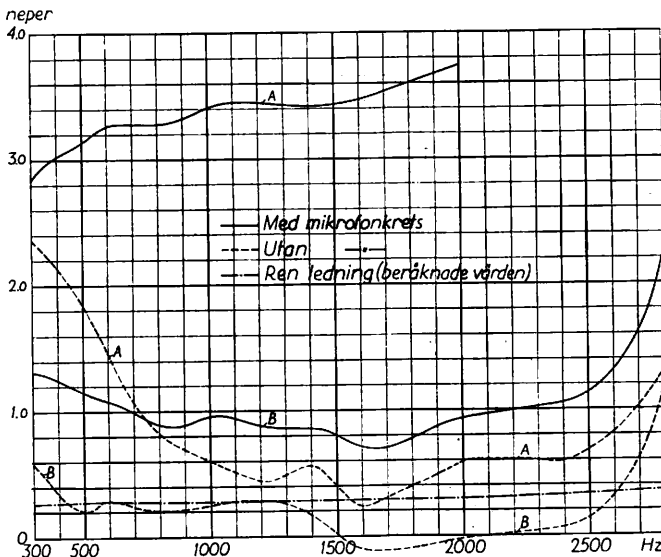


Fig. 22. Naturliga logaritmen för förhållandet mellan sändare- och mottagarespänningen för apparattyp A och B som funktion av frekvensen vid allmänt samtal på par 11 (177 mH) i kabeln Skutskär—Gävle. Medelavstånd mellan apparaterna 2,1 km. Ledningen oavslutad.

Även om de i figurerna 21—23 angivna kurvorna över dämpningen för en viss sträcka av selektorledningen som funktion av frekvensen uppvisa ganska oregelbundna förlopp, kunna dock en del viktiga slutsatser dragas av dem. De äro i korthet följande:

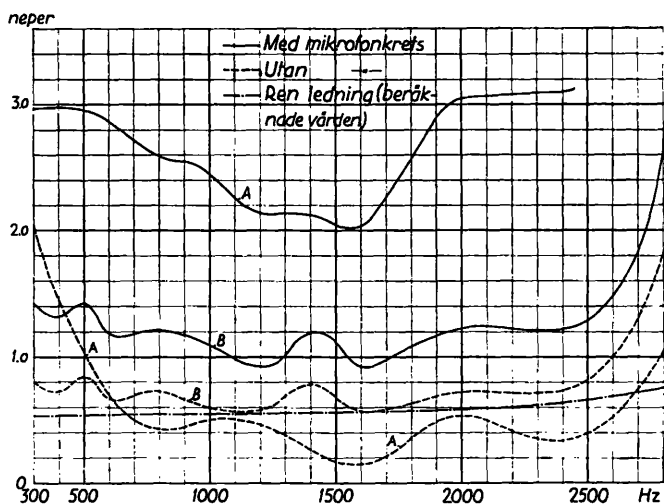


Fig. 23. Naturliga logaritmen för förhållandet mellan sändare- och mottagarespänningen för apparattyp A och B som funktion av frekvensen vid allmänt samtal på par 11 (177 mH) i kabeln Marma—Gävle. Medelavstånd 5,63 km. Ledningen oavslutad.

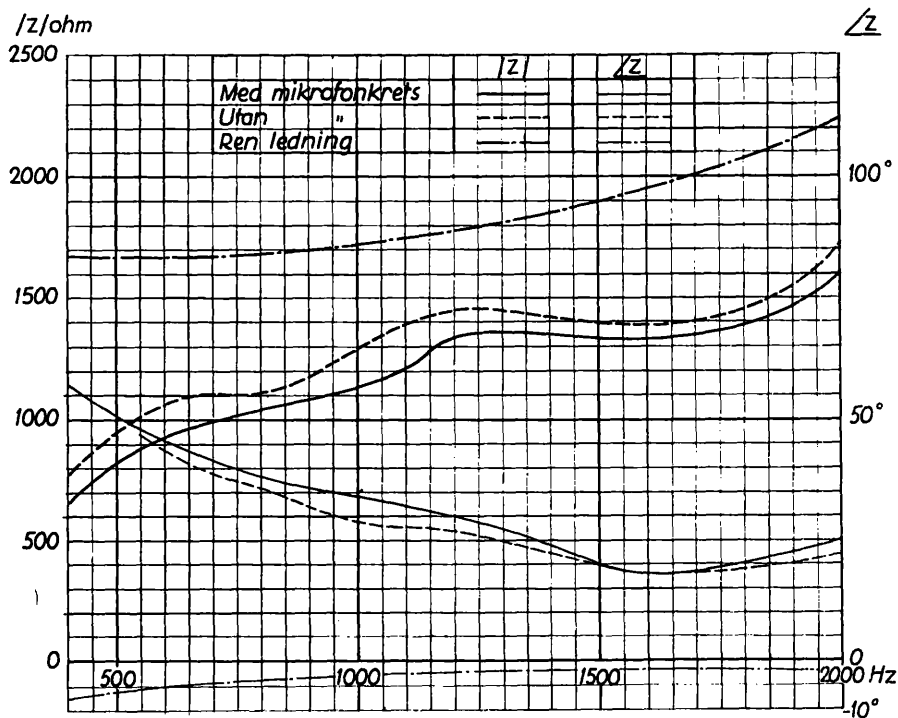


Fig. 24. Ur tomgångs- och kortslutningsmätningar beräknad karakteristik för par 11 (177 mH) med apparater typ B som funktion av frekvensen vid allmänt samtal i kabeln Marma—Gävle. Medelavstånd mellan apparaterna 2,4 km.

1. Då selektorapparat typ A (fig. 7) ersättes med typ B (fig. 19), sjunker dämpningen för alla frekvenser avsevärt, särskilt vid inkopplad mikrofonkrets. Sålunda minskar dämpningskonstanten vid 1 000 Hz för 177 mH pupinisering och apparatavståndet 2,1 km från 0,2 neper/km vid selektorapparat A till 0,057 neper/km vid selektorapparat B.

2. Selektorledningens karaktär av bandpassfilter eller Pupin-Thompsonledningen framträder tydligt både för selektorapparat A och B men är särskilt utpräglad för typ A med bruten mikrofonkrets, ty denna apparattyp har sådan impedans, att den lägre gränzfrequensen ω_1 och dämpningsvärden för lägre frekvenser än denna falla inom mätområdet (jmf. avd. 2 och fig. 6).

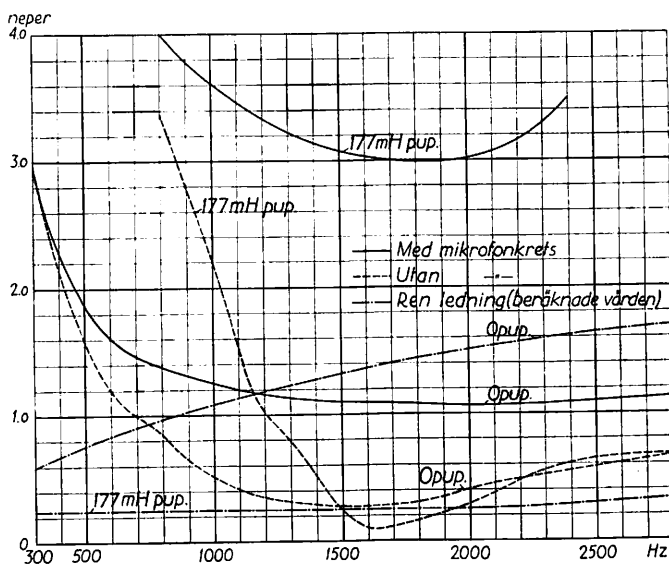


Fig. 25. Naturliga logaritmen för förhållandet mellan sändare- och mottagarespänningen för induktorapparat typ AB 2120 spec. som funktion av frekvensen vid allmänt samtal på par 5 (opup.) och 11 (177 mH) i kabeln Gävle—Harnäs. Medelavstånd mellan apparaterna 2,2 km. Ledningen oavslutad.

3. I vissa fall och speciellt för opupiniserad ledning blir dämpningen lägre med än utan shuntande selektorapparater, vilket överensstämmer med Thompsonledningens allmänna egenskaper. Härvid observeras, att ju större apparatimpedansens fasvinkel är, ju mer utpräglad blir dämpningsminskningen inom ett visst passband.

4. Kurvornas avvikelser från de jämna förlopp, som vanligen karakterisera bandpassfilters spegeldämpningar eller ledningars dämpningskonstanter, ha sin naturliga förklaring i det förhållandet, att selektorledningarna ej voro reflexionsfritt avslutade vid mätstället — selektorapparaten där har ej samma impedans som karakteristiken för den shuntade ledningen (jmf. fig. 24). Härtill kommer, att shuntimpedanserna ej voro inkopplade på lika avstånd från varandra utefter ledningen.

Induktorledningar

För bantelefonförbindelser användas som inledningsvis nämndes ännu i ganska stor utsträckning opupiniserade eller pupiniserade ledningar, till vilka vanliga LB-telefonapparater med signalinduktorer anslutas parallellt. Det kan därför vara av

intresse att närmare studera transmissionsförhållandena på dessa ledningar, vilket också skett genom vissa mätningar på förutnämnda par nr 5 och 11 i telefonkabeln mellan Gävle och Marma. Härvid användes induktorapparater av L.M. Ericssons typ AB 2120 spec. med en impedans av $1\,975 \left[+ 46^\circ \right]$ ohm vid inkopplad mikrofonkrets och $2\,250 \left[+ 73^\circ \right]$ ohm vid urkopplad mikrofonkrets vid 800 Hz. Resultaten av mätningarna, som utfördes på samma sätt som för selektorledningarna och med 7 induktorapparater inkopplade med medelavståndet 2,2 km på sträckan Gävle—Harnäs, framgår av fig. 25.

Här framträda likheterna mellan den shuntade ledningen och ett bandpassfilter ännu tydligare än vid selektorledningar, och det i avd. 2 angivna principiella förloppet av dämpningen liksom formlerna för gränsfrekvenserna få sin fulla giltighet. Trots den höga dämpningen för låga frekvenser vid 177 mH pupinisering och utan mikrofonkrets (lyssningsläge) var talet fullt uppfattbart. Då handmikrotelefonerna voro avlyftade, stördes samtalet emellertid av buller i mellanliggande järnvägsstationers expeditiionslokaler.

7. Sammanfattning

Föregående framställning har visat, att transmissionsförhållandena på selektorledningar i väsentliga avseenden skilja sig från dem, som gälla för ledningar utan shuntimpedanser.

Vid *individuellt* samtal, då endast de två i samtalet deltagande apparaterna äro inkopplade till ledningen, kan man lätt beräkna (avd. 4) den av shuntimpedansen förorsakade dämpningsökningen, såväl då mikrofonkretsen är bruten som då den är sluten.

Vid *allmänt* samtal blir en beräkning av dämpningen (avd. 4) betydligt mer komplicerad, ehuru den kan genomföras under antagande av jämnt fördelade, strömoberoende impedanser hos apparaterna. Då emellertid en sådan — ur teoretisk synpunkt önskvärd — fördelning av apparaterna aldrig förekommer på en etapp-telefonledning i praktisk drift och då apparatimpedanserna äro starkt beroende av såväl lik- som växelströmmarnas amplituder vid apparatplatsen, måste följande slutsatser i huvudsak baseras på de mätningar, som telefonkommittén låtit företaga, ehuru de utförda beräkningarna äro av stort värde för djuppejling av problemet och bekräfta de experimentella undersökningarna.

Dämpningskonstanten för en etapptelefonledning beror förutom på den »rena» ledningens primära konstanter (r , l , a och c), pupinspoleinduktans och spolavstånd även på apparaternas fördelning utefter ledningen och på apparatimpedansens storlek och fasvinkel. Vid en viss fördelning och given induktor- eller selektorapparatyp erhålles olika dämpningskonstant för apparaten i viloläge (HMT pålagd), i lyssningsläge (HMT avlyftad, mikrofonkretsen bruten) och i talläge (HMT avlyft, mikrofonkretsen sluten). Slutligen inverkar likspänningen mellan branscherna vid apparatplatsen, d. v. s. avståndet mellan ledningsutrustningen och telefonstället, samt i någon mån den i mikrofonen alstrade elektromotoriska kraften på apparatimpedansen och därmed på dämpningskonstanten.

En svårighet vid de av telefonkommittén utförda mätningarna var, att dämpningskonstanten för ett givet, fullt fixerat fall ej kunde beräknas ur mätresultaten, då de undersökta ledningarna ej voro reflexionsfritt avslutade i fjärrändan, vilket i sin tur berodde på de praktiska och ekonomiska svårigheterna att konstruera den stora mängd olika ledningsbalanser, som skulle erfordrats i de många olika driftfallen. Sålunda har ledningen i fjärrändan vanligen endast anslutits till därstädes befintlig apparat. På grund av felanpassningen i ledningens ändpunkt och vid de på varierande avstånd inkopplade shuntande apparaterna uppstå reflek-

terade vågor, som försvåra mätningarna och särskilt beräkningarna av dämpningskonstanterna för olika frekvenser. Då en sammanfattning av de erhållna resultaten dock torde vara av stort värde, har den vägen i stället valts, att dämpningskonstanten beräknats ur grafiskt framställda mätresultat för en viss »tyngdpunktsfrekvens», som i allmänhet ungefär torde motsvara frekvensen 1 000 Hz.

Tabell 9

Dämpningskonstant vid »tyngdpunktsfrekvens» för allmänt samtal vid selektor- och induktorapparater av olika typ utan och med mikrofonkrets på blankledningar och opupiniserade resp. pupiniserade kabelledningar.

Apparat- och ledningstyp	Medelavstånd i km mellan apparaterna	Dämpningskonstant neper/km	
		utan mikrofonkrets	med mikrofonkrets
<i>Selektorapparat typ A</i>			
3,0 mm Cu-blankledning	11,9	0,0072	0,017
3,0 mm Fe- »	5,9	0,027	0,065
0,9 mm kabelledning, opupiniserad.	2,4	0,062	0,100
0,9 mm » 177 mH.	2,1	0,071	0,220
0,9 mm » 177 mH.	5,6	0,031	0,083
1,4 mm » 177 mH.	6,0	0,031	0,062
1,4 mm » 177 mH.	9,3	0,022	0,047
<i>Selektorapparat typ B</i>			
3,0 mm Cu-blankledning	11,9	0,0062	0,0084
3,0 mm Fe- »	5,9	0,022	0,034
0,9 mm kabelledning, opupiniserad.	2,4	0,064	0,071
0,9 mm » 177 mH.	2,1	0,049	0,086
0,9 mm » 177 mH.	5,6	0,038	0,050
1,4 mm » 177 mH.	6,0	0,021	0,032
1,4 mm » 177 mH.	9,3	0,016	0,021
<i>Induktorapparat AB 2120, spec.</i>			
0,9 mm kabelledning, opupiniserad.	2,4	0,059	0,098
0,9 mm » 177 mH.	2,2	0,078	0,240

Den av telefonkommittén föreslagna, nya selektortelefonapparaten typ B (fig. 19) är tydligen avsevärt överlägsen den tidigare använda apparattypen A (fig. 7), beroende på den högre impedansen, såväl vid bruten som slutna mikrofonkrets. Med denna apparattyp finnes det enligt kommitténs uppfattning ingen anledning att för ökning av räckvidden vid allmänt samtal frångå den hittills inom SJ normala pupiniseringen, som ger gynnsam dämpningskonstant vid individuellt samtal. Kommittén har därför beslutat rekommendera en normalpupinisering av 160 mH med ett spolavstånd av $s = 2$ km för etapptelefonledningar, utrustade med selektorapparat typ B.

Genom inkoppling av apparater i shunt till en pupinledning få dess transmissionsegenskaper bandpassfilterkaraktär (avd. 2). Den undre gränsfrekvensen ligger för ovannämnda pupiniseringsmetod och apparattyp A vid c:a 800 Hz, under det att apparattyp B ger betydligt gynnsammare dämpning som funktion av frekvensen.

Resultaterande sändare- och mottagarerferensekvivalenten för apparattyp B är c:a 0,2 neper sämre än för apparattyp A (tabell 6) vid inkopplad mikrofonkrets, men denna nackdel uppväges mer än väl av den minskade dämpningskonstanten vid allmänt samtal. Logatom- och ljuduppfattbarheten för apparattyp B är fullt tillfredsställande.

Litteraturförteckning

1. PLEIJEL, H.: «La résonance dans une ligne téléphonique, munie de dérivations inductives», Mem. techn.-sci., Dir. gén. Télégr. Suède, Stockholm 1914.
2. ALEXANDERSSON, H. V.: «L. M. Ericssons system för selektortelefoni, speciellt för järnvägar», Ericsson Review 1933 No 1.
3. — «Impulsgivning på selektorlinjer, system Ericsson», Ericsson Review 1936 No 4.
4. EKELOF, S.: «The Transients of an Inductively Shunted Electric Transmission Line with Special Reference to the Impulse Transmission in Selective-Calling Telephone Systems. Part I—II, Ericsson Technics 1937 No 5 och 6.
5. SVARTHOLM, N.: «Distortionless Transmission on Inductively Shunted Transmission Lines», Ericsson Technics 1938 No 2.
6. RYBNER, J.: «Tilnærmelsesformler for Pulinledningers sekundære Konstanter», Generaldirektoratet for Post- og Telegrafvæsenet Tekniske Meddelelser, 1942 No 7—8.