

Störningar på signal- och teleanläggningar från likriktar- och tyristorlok.

1. Inledning

Vid de utredningar och undersökningar, som föregick utformningen av elektrifieringssystemet vid de svenska statsbanorna, spelade störningsproblemen en framträdande roll. Den höga markresistivitet som råder i större delen av Sverige ökar induktionsspänningarna i teleledningar utmed järnvägslinjen och medför, att även ledningar på förhållandevis stort avstånd från järnvägen blir utsatta för störningar.

Genom användning av sugtransformatorer och återledning har induktionsspänningarna begränsats till måttliga värden. Då lok och motorvagnar med enfas seriekommutatormotorer för $16 \frac{2}{3}$ Hz växelström använts, har övertonsamplituderna i kontaktledningsströmmen varit förhållandevis små.

2. Anskaffning av likriktare- och tyristorlok. Störningsmätningar.

I början av 1960-talet anskaffade SJ två lok litt Rb 1 med kisel-dioder. Övertonerna i kontaktledningsströmmen uppmättes såväl som störningsspänningarna på signalspårledningar och i teleledningar. Mätningarna visade att övertonsamplituderna var väsentligt större än för de tidigare använda loken. Rb1-loken förutsågs kunna störa spårledningar med tvåfasreläer för 50 Hz, som ingick i äldre signalanläggningar på en del bangårdar. Order utfärdades därför om vissa säkerhetsåtgärder, då dessa lok passerade ifrågavarande bangårdar.

Sommaren 1964 gjordes inom SJ i samarbete med Asea en utredning om tyristorstyrda loks störande inverkan på signal- och teleanläggningar. Som underlag för utredningen förelåg mätresultat från diodloket Rb1 samt teoretiska beräkningar av övertonshalten för tyristorlok. Som resultat av utredningen framkom, att spårledningarna med 50 Hz matning måste ändras, om tyristorlok införes. Vidare förutsågs vissa åtgärder på teleledningar bli nödvändiga. Eventuellt borde filter införas på loken för begränsning av de högre övertonerna.

Slutligen uttalades, att SJ ur störningssynpunkt borde kunna införa lok med tyristorstyrning i begränsad omfattning. För verifiering av de beräknade störnivåerna och före beslut om mer allmän övergång till tyristorstyrning borde störningsundersökningar utföras så snart förhållanden med tyristorstyrning blev tillgängliga.

De första mätningarna gjordes i slutet av 1964 på en motorvagn X0a 7, som byggts om för tyristorstyrning. Resultatet blev dock av begränsat värde, eftersom motorvagnens effekt var liten och mätutrustningen var ofullkomlig.

I november 1964 beställdes 20 nya lok varav 5 skulle vara utförda med tyristorstyrning. I fråga om de övriga 15 skulle SJ senare besluta, om även dessa skulle utföras som tyristorlok.

Under sommaren 1965 gjordes störningsmätningar på ett Rb1-lok, som byggts om för tyristor drift. Övertonsamplituderna visade sig vara större än som tidigare beräknats. Vidare gjordes utredningar om tyristorlokenes effektfaktor och dess inverkan på matningsanläggningarna. I juni 1965 beslöt SJ, att samtliga ovannämnda 20 lok skulle utföras som tyristorlok Rc1 med tre seriekopplade halvstyrd bryggor för vardera motorn. Detta utförande beräknades ge en gynnsammare effektfaktor, än den som erhållits med det ombyggda Rb1-loket.

Det första Rc1-loket levererades i början av 1967. Mätningar på detta lok visade, att övertonerna i belastningsström och i störspänningar var väsentligt större än för de båda diodloken Rb1 och även större än som uppmäts för det till tyristorstyrning ombyggda Rb1-loket. Effektfaktorn var betydligt lägre för Rc1-loket än för de gamla loken med växelströmsmotorer. Om större antal tyristorlok skulle anskaffas, måste därför en omfattande utbyggnad av kraftförsörjningsanläggningarna göras. Kostnaderna för denna utbyggnad samt för störningsreducerande åtgärder på teleanläggningarna beräknades bli så stora, att det ansågs förmånligare att tillsvidare anskaffa lok med växelströmsmotorer. Under våren 1967 uppkom emellertid förslag om utrustning av tyristorlok med kombination av kondensatorer för faskompensering och filter för reduktion av övertonsamplituderna. Under juli och september 1967 gjordes mätningar på ett Rc1-lok, som provisoriskt utrustats med kondensatorer.

I juli 1967 beställdes 10 lok med faskompensering och filter och två seriekopplade halvstyrd bryggor per motor. Senare beställdes ytterligare 30 sådana lok, vilka fick beteckningen Rc2 och Rc3, varvid Rc2-loken skulle växlas för 135 km/tim och Rc3-loken för 160 km/tim.

Ett principalschema för Rc2-loket visas i bil h:1.

Störningsmätningar på de första Rc2-loken genomfördes under våren 1969. För jämförelse gjordes även motsvarande mätningar på tyristorlok Rc1, diodlok Rb1 och på lok med växelströmsmotorer Rb2.

Under hösten 1967 påbörjades leverans av motorvagnar med tyristorstyrning, litt X1, för Stockholms lokaltrafik. Varje vagnsenhet består av en motorvagn och en manövervagn, och tågen sammansättes av 2 - 5 dylika enheter. Störningsmätningar på olika antal sådana enheter genomfördes i november 1967.

Huvudparten av ovannämnda störningsmätningar har utförts på sträckan Moholm-Skövde. Under mätningarna har nya mätmetoder successivt utvecklats och bättre instrument anskaffats. I det följande har huvudsakligen resultatet av de sista årens mätningar redovisats.

3. Belastningsströmmens övertonshalt.

Återledningsströmmen i en mätshunt inkopplad i förbindningen återledning - räls registrerades på databandspelare, då loket passerade över sugtransformatorsektionen.

Eftersom tyristorernas styrvinkel är beroende av lokets hastighet, varierar övertonsamplituderna med hastigheten.

Bil h:2 visar hur amplituden för vardera av de 7 lägsta övertonerna i belastn-strömmen varierar under ett accelerationsprov med lok Rc2, som har två seriekopplade halvstyrda tyristorbryggor för varje motor och filter för reduktion av högre övertoner. Regleringen göres på den första bryggan upptill en hastighet av ca 40 km/tim och därefter på den andra bryggan. Övertonernas variationer inom hastighetsområdet 0 - 40 km/tim överensstämmer i stort sett med de beräknade värdena enl bil g fig 15.

Bil h:3 visar det maximala amplitudvärdet för övertonerna upp till 500 Hz under accelerationsförloppet för olika loktyper. För tyristorloken förekommer även jämna övertoner, som sannolikt beror på osymmetri i styrkretsar och tyristorer. Även i diodlokets ström förekommer jämna övertoner, fastän de är avsevärt mindre än för tyristorloken.

Filtret på Rc2-loket reducerar övertonerna över ca 250 Hz och i-stället får övertoner med lägre frekvens ökad amplitud genom filtret.

De i bil h:2 och h:3 visade värdena gäller vid körning med ett lok. Då två lok med störningsfilter framföras i närheten av varandra, ökar de lägsta övertonerna till i stort sett dubbla värdet, medan högre övertoner i allmänhet får lägre amplitud än för ett lok, så som framgår av bil h:4.

För bedömning av övertonernas telefonstörverkan kan man enligt CCITT:s direktiv beräkna den ekvivalenta störströmmen ur formeln

$$I_p = \frac{1}{P_{800}} \sqrt{\sum (h_f \cdot p_f \cdot I_f)^2}$$

där I_p = ekvivalenta störströmmen

I_f = ströamplituden för överton med frekvensen f

p_f = viktfaktor för relativ störverkan vid frekvensen f
enligt CCITT

h_f = en kopplingsfaktor, som tar hänsyn till frekvensberoendet i kopplingen till den störda teleledningen.

När denna består av en ledning i en metallmantlad telekabel, sättes $h_f = 1$.

Värdet på viktfaktorn p_f för olika frekvenser framgår av bilh:5. Den ekvivalenta störströmmen kan direkt uppmätas med psfometer, bestående av en nivåmeter jämte filter, som bringar varje överton att påverka mätresultatet i proportion till viktfaktorn p_f .

Bilh:6 visar den ekvivalenta störströmmen mätt i återledningen för olika loktyper och vid olika hastigheter mellan 10 och 130 km/tim. Såsom framgår av diagrammet medför tyristorstyrningen mycket högre värden på störströmmen än loken med växelströmsmotor. Tyristorloket Rc2 med störningsfilter ger dock lägre störström än lok Rc1 utan filter och också lägre än diodloket Rb1. Bilh:7 visar ekvivalenta störströmmen för motorvagnståg X1 med olika antal enheter. Störströmmen stiger ej proportionellt mot antalet enheter, däremot ungefär i proportion till roten ur antalet, vilket tyder på att övertonerna från skilda enheter ej ligger i fas med varandra.

4. Spårledningsstörningar.

På provsträckan Moholm - Skövde var en 625 m lång enkelisolerad spårledning anordnad. I ena änden på denna spårledning inkopplades en databandspelare för registrering av spårledningsspänningen. Spårledningens andra ände var kortsluten. Lok av olika typer framfördes på sugtransformatorsektionen, så att huvudparten av belastningsströmmen passerade genom spårledningens S-räl.

Bil h:8 - h:9 visar hur de 8 lägsta övertonerna i spårledningsspänningen varierar under accelerationsprov med lok Rc2. Bil h:10 visar udda övertoner i spårledningsspänningen vid motsvarande prov med lok Rb2. Bil h:11 visar maximivärden för övertonerna i spårledningsspänningen upp till 500 Hz under accelerationsförlopp för olika loktyper. Av diagrammet framgår att övertonerna blir väsentligt större för tyristorloken än för loket med växelströmsmotorer.

För spårledningar med annan längd bör spänningen med god approximation kunna räknas om i direkt proportion till längden.

På likströmsspårledningar har någon störande inverkan från tyristorloken ej kunnat påvisas. Särskilda undersökningar har visat, att de inkopplingsströmstötar, som uppkommer vid inkoppling av loktransformatorn blir av samma storleksordning för tyristorloken som för lok med växelströmsmotorer.

Vid användning av 75 Hz växelströmspårledningar är det 5:e övertonen, $83 \frac{1}{3}$ Hz, som ligger närmast spårledningsfrekvensen, och som framförallt visat sig kunna störa spårledningens funktion. Spårreläet vibrerar starkt med skillnadsfrekvensen $83 \frac{1}{3} - 75$ Hz, dvs ca 8 Hz, såväl då spårledningen är fri, som då den är belagd med fordon. Spårreläets kontakter kan därvid påverkas kortvarigt (< 100 ms). Detta har visat sig kunna medföra falsk stoppsignalering, däremot har falsk körsignal ej observerats. Vibrationerna medför också, att spårreläet slits onormalt.

På den ovannämnda 625 m långa spårledningen på provsträckan inkopplades relä- och matningsutrustning för 75 Hz spårledning. I bilh. 3 visas utdrag ur diagram över relä- och spårspänning vid körning med motorvagnståg X1. Genom störningen faller reläet, innan tåget kommit in på spårledningen. En bidragande orsak härtill är troligen mättning i transformatorerna i spårledningsändarna.

Som provisorisk åtgärd mot störningar på 75 Hz spårledningarna har frånslagstiden på efterföljande relä förlängts, genom att en diod inkopplats över reläspolen. Härigenom förhindras effekten av den ovan beskrivna kortvariga påverkan av spårreläets kontakter. Prov har gjorts att koppla in ett filter mellan spårledningen och reläet. Proven visar att det är tekniskt möjligt att göra ett filter, som tillräckligt reducerar störspänningarna, men ett sådant filter kostar lika mycket som en ombyggnad av spårledningen till likströmsspårledning. Principbeslut har därför fattats om övergång till likströmsspårledningar.

5. Telestörningar.

Genom det svenska sugtransformatorsystemet med återledning sker induktionen i teleledningarna huvudsakligen på sträckan mellan loket och den aktuella sugtransformatorsektionens förbindning mellan återledning och räls, en sträcka vars längd alltså varierar under lokets gång och vars största längd blir ca 3 km. Vid störningsmätningarna var denna sträcka ca 2 km lång, varför de uppmätta värdena på induktionsspänningen bör ökas ca 50 %, om man vill få fram de maximala spänningarna.

Inducerad längs-emk i en teleledning kan i princip beräknas enligt formeln

$$E = k \cdot \omega M I$$

där E = inducerad längs-emk

ω = vinkelfrekvensen = $2\pi f$

I = inducerande ström i störande ledning

M = ömsesidiga induktansen mellan störande och störd ledning

k = reduktionsfaktor på grund av inducerad ström i närbelägna ledare, t ex i kabelmantel.

M-värdet beror av frekvensen, av avståndet mellan ledningarna och dessutom av markens resistivitet. Eftersom markresistiviteten är mycket hög i större delen av Sverige liksom i Norge och Finland, blir M-värdet här relativt högt. Värdet på k för en telekabel beror av mantelns och eventuell armerings dimensioner och varierar med frekvensen och elektriska fältstyrkan längs kabeln. Längs mätsträckan finnes en kabel med 32 mm diam över blymantel, 2,1 mm blyvägg och armering av 2 stålband 1,1 mm. Bil h:13 visar reduktionsfaktorn vid 16 2/3 Hz och 50 Hz som funktion av fältstyrkan för denna kabel, medan bil h:14 visar reduktionsfaktorn som funktion av frekvensen vid en fältstyrka av 1 V/km och samtidigt pålagd fältstyrka av 16 2/3 Hz 0, 10 resp 50 V/km.

Reduktionsfaktorn blir bättre för grövre kablar och sämre (större) för klena kablar.

Föreskrifter om maximal störnivå i teleledningar har utgivits av CCITT (internationella rådgivande telefon- och telegrafkommittén). Enligt dessa föreskrifter får störemk:n mellan ledningsbranscherna vid en telefonapparat ej överstiga 1 mV. Störnivån mätes med psfometer (jämför ovan under 3). Förhållandet mellan störemk mellan ledningsbranscherna och längs-emk kallas känslighetsfaktorn, vars storlek beror på ledningens symmetri mot jord.

Känslighetsfaktorn kan beräknas som förhållandet mellan de båda nämnda emk:erna vid bestämd frekvens, varvid känslighetsfaktorn i allmänhet i stort sett stiger med frekvensen. Man kan också mäta av skilda övertoner sammansatta störemk:n mellan branscherna resp mot jord med psfometer och därur beräkna känslighetsfaktorn, vilken då blir beroende av störningens frekvensfördelning. CCITT har ej föreskrivit några värden för känslighetsfaktorn. Erfarenheten visar att den normalt ligger mellan 0,1 och 1 % för telekablar och något högre för teleblankledningar.

Den psfometriska emk:n mot jord i en plastisolerad ledning 10 m från spåret för olika loktyper och olika hastigheter framgår av bil h:15.

Bil h:16 visar den psfometriska emk:n mot jord i en telekabelledning för olika loktyper och olika hastigheter.

Bil h:17 visar den psfometriska störemk:n mot jord i en telekabelledning, då motorvagnståg X1 med 1-5 enheter köres med olika hastigheter.

SJ:s telekablar har på flera sträckor lagts under 1920- och 1930-talen. Man kan vänta sig att balanseringen i kablarerna försämrats under årens lopp genom dielektrisk åldring och vid felreparationer och ändringsarbeten på kabeln. De högre värden på känslighetsfaktorn, som härigenom erhålles har ej medfört några besvärande störningar vid de låga störnivåer, som loken med växelströmsmotorer givit. Vid övergång till tyristorlok blir det nödvändigt att balansera om ledningarna i de telekablar, där känslighetsfaktorn är hög. Sådan ombalansering har påbörjats på en del av kabeln Stockholm - Göteborg.

I telekablarerna finns också ledningar för bärfrekvenssystem och dataöverföring. Undersökning av tyristorlokenes störverkan på dessa förbindelser har påbörjats, men resultaten har ännu ej utvärderats.

6. Störningar på informationsöverföring mellan lok och spår.

För överföring av information mellan trådslinga i spåret och dragfordon i samband med automatiserad tågkontroll förutses frekvenser inom området 20 - 100 kHz komma att användas. Mätningar av störspänningar från tyristorlok på sådan överföring har gjorts såväl på provsträckan Moholm - Skövde som vid SNCF. Så långt hittills utvärderade mätresultat visar, beräknas tyristorstyrningen ej medföra några besvärande störningar på sådan informationsöverföring.

7. Sammanfattning.

Vid de störningsmätningar, som utförts vid SJ, har undersökts övertonshalten i belastningsströmmen från tyristorstyrda traktionsmotorer samt störningsverkan på tele- och signalanläggningar.

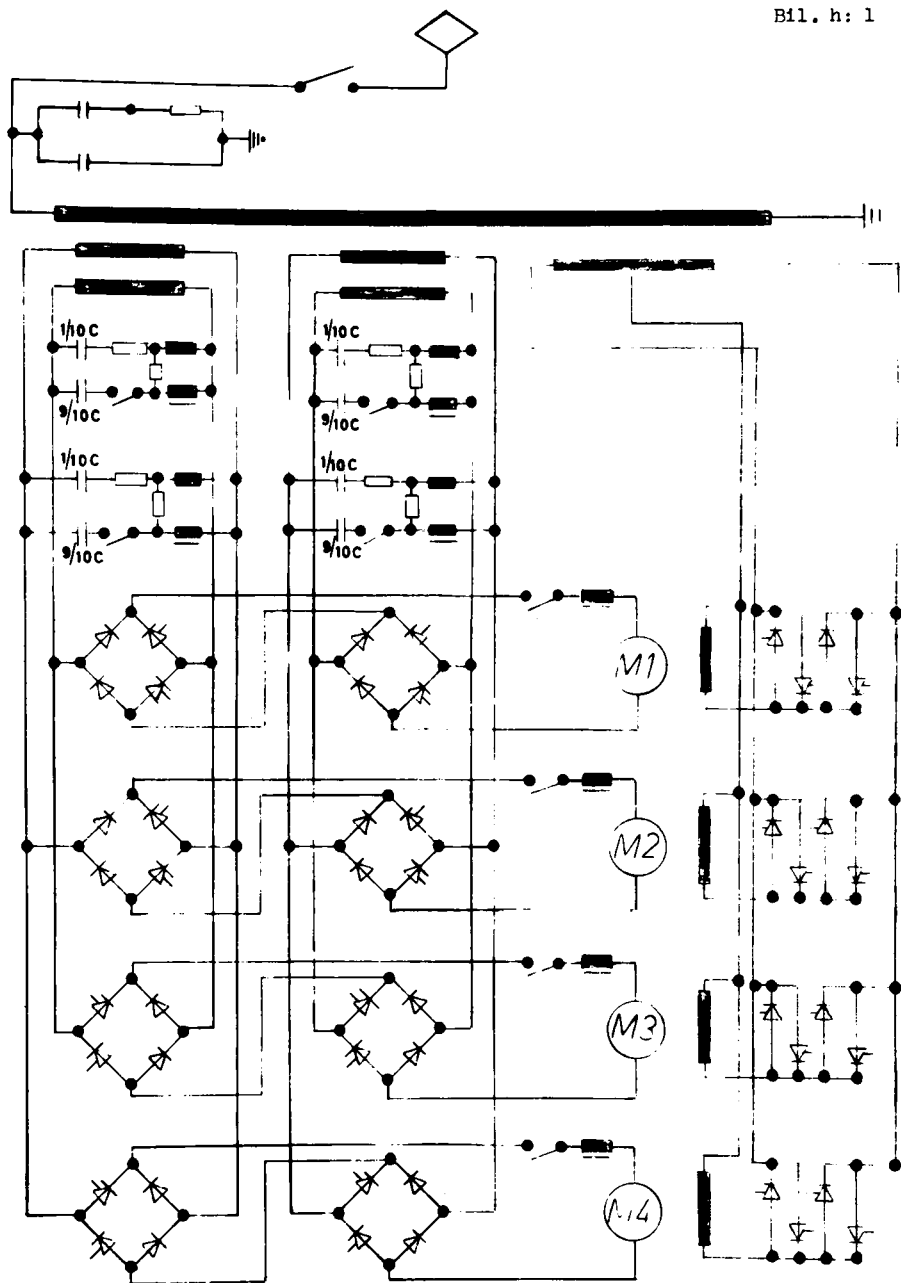
I det föregående har lämnats utdrag ur resultatet från mätningarna. Bearbetning av mätresultatet pågår alltjämt parallellt med vissa kompletterande mätningar, och åtskilligt arbete återstår, innan hela det omfattande material, som samlats in under mätningarna, blivit helt utvärderat.

Liknande störningsmätningar vid körning med tyristorlok har utförts i andra länder, bl a vid Deutsche Bundesbahn och SNCF, och en sammanställning av materialet pågår inom en särskild arbetsgrupp tillsatt av UIC:s 5:e och 7:e kommissioner.

Arbetet med ombalansering av telekablar pågår och blir mera angeläget, allteftersom flera tyristorlok tages i drift. De hittills beställda 60 tyristorloken beräknas bli slutlevererade 1971.

Stockholm den 10 december 1969.

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'F. J. J. J. J.' or similar, written in a cursive style.

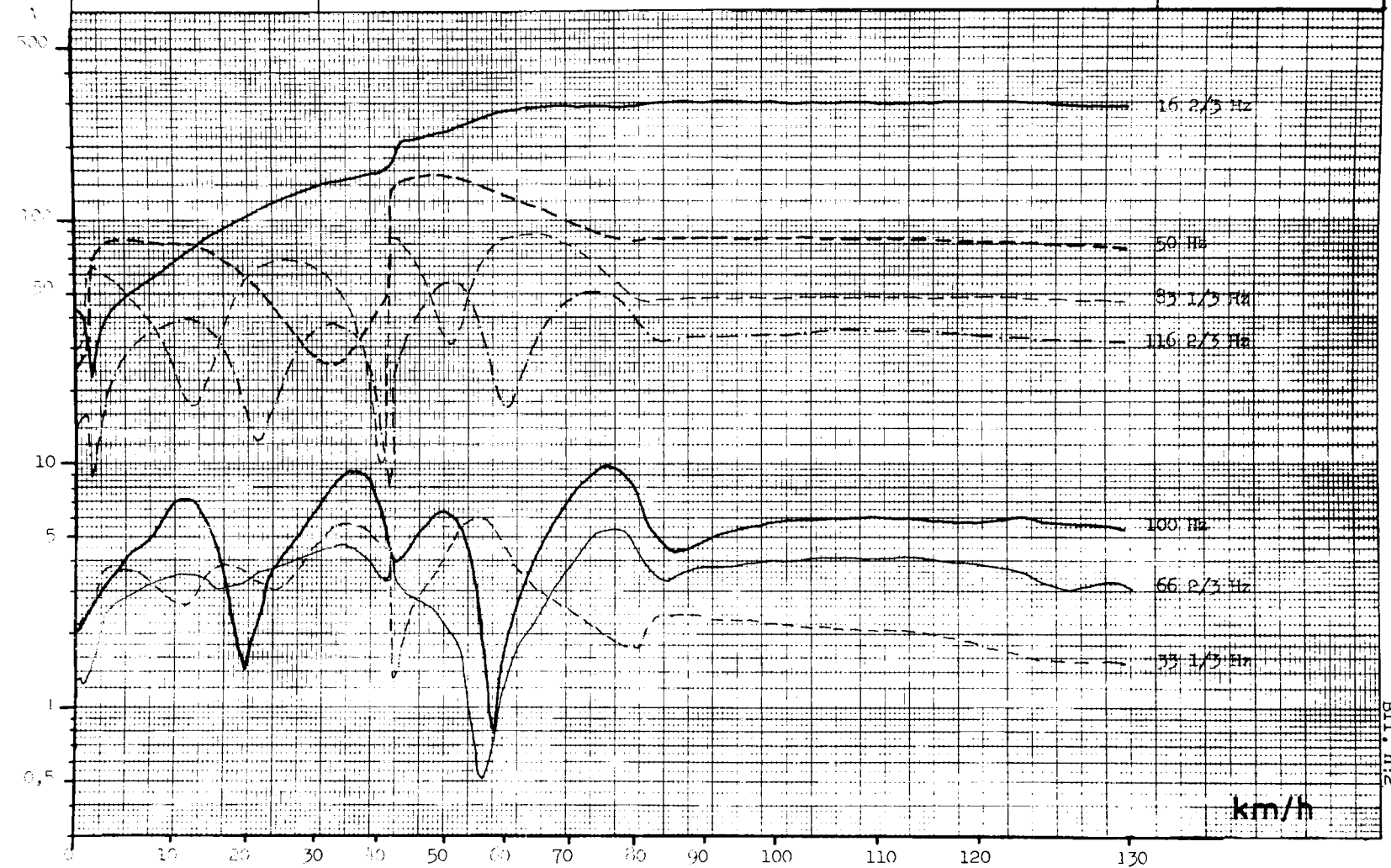


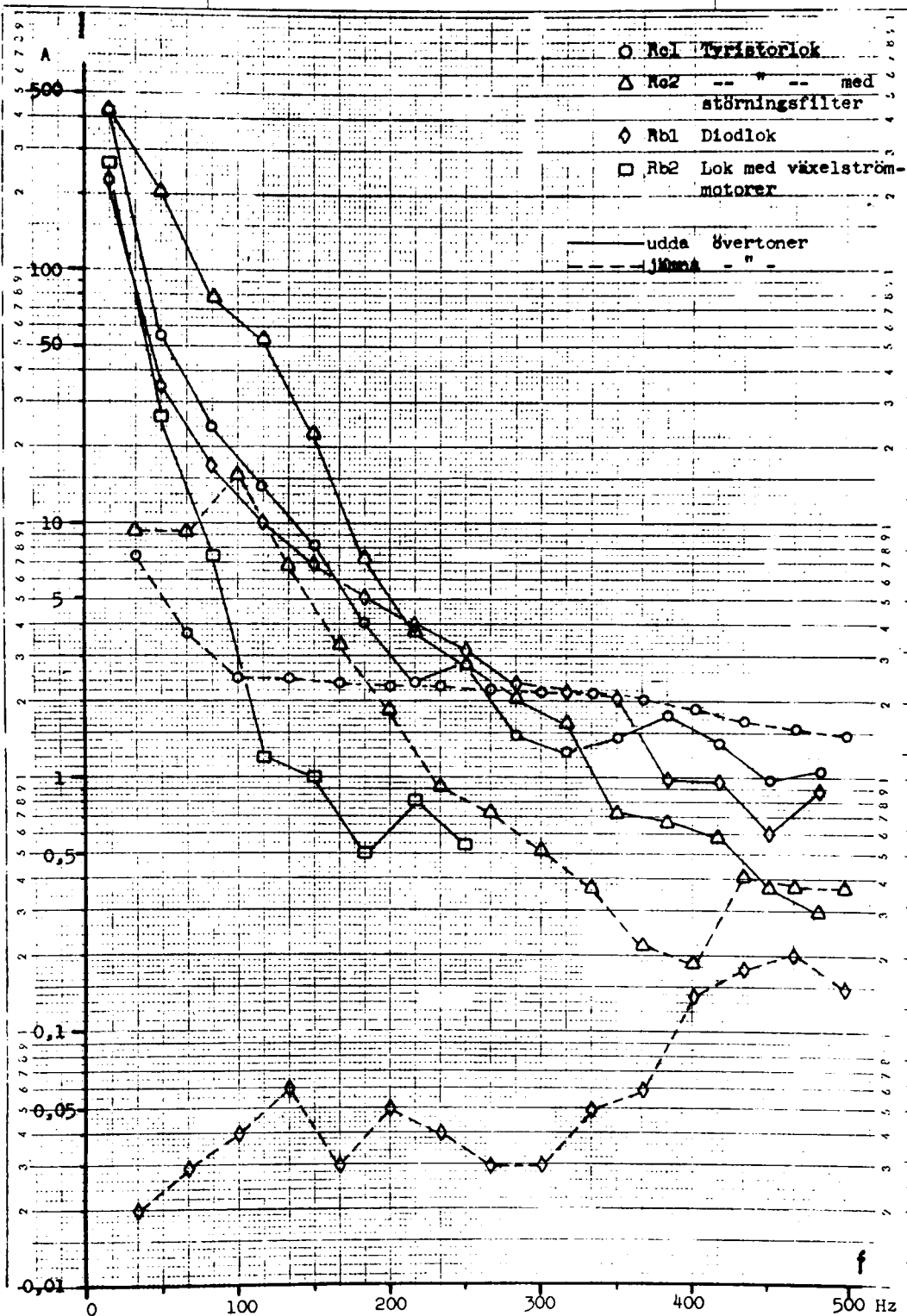
Principalschema för
SJ tivristorlok Rc 2

SJ Centralförvaltning
gatas den 3.12 -69

Frekvensanalys av återledningsström under accelerationsprov med lok Rc2
på sträckan Moholm - Skövde

SJ mättn. april -69
Prov nr 170 a





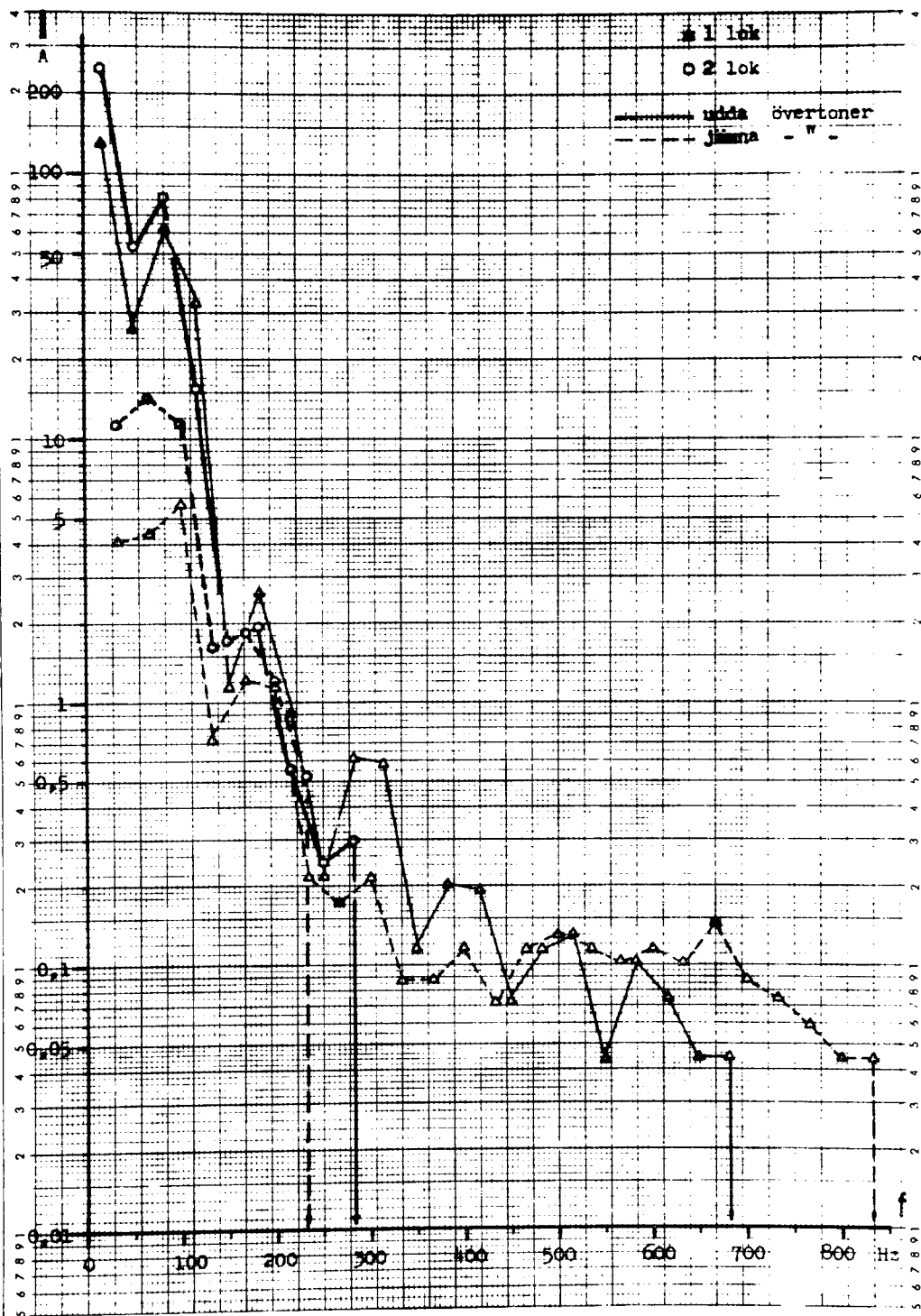
SJ Centralförvalt-
ning

Ratas d. 9.2 -70

Frekvensanalys av återledningsström vid
körning med 1 resp 2 tyristorlok Rc2
30 km/h

Bil. h:4

SJ mättn april -69



Tabell över viktfa $\ddot{a}$ ktorn f $\ddot{o}$ r $\ddot{o}$ vertone $\ddot{r}$ nas
relativa telefonst $\ddot{o}$ rverkan

Frekvens f Hz	Viktfaktor p_f			
	Numeriskt v $\ddot{a}$ rde	(Numeriskt) ² v $\ddot{a}$ rde	V $\ddot{a}$ rde i decibel	V $\ddot{a}$ rde i neper
16.66..	0.056	0.003136	- 85.0	- 9.79
50	0.71	0.5041	- 63.0	- 7.25
100	8.91	79.3881	- 41.0	- 4.72
150	35.5	1 260.25	- 29.0	- 3.34
200	89.1	7 938.81	- 21.0	- 2.42
250	178	31 684	- 15.0	- 1.73
300	295	87 025	- 10.6	- 1.22
350	376	141 376	- 8.5	- 0.98
400	484	234 256	- 6.3	- 0.73
450	582	338 724	- 4.7	- 0.54
500	661	436 921	- 3.6	- 0.41
550	733	537 289	- 2.7	- 0.31
600	794	630 436	- 2.0	- 0.23
650	851	724 201	- 1.4	- 0.16
700	902	813 604	- 0.9	- 0.10
750	955	912 025	- 0.4	- 0.046
800	1 000	1 000 000	0.0	0.000
850	1 035	1 071 225	+ 0.3	+ 0.034
900	1 072	1 149 184	+ 0.6	+ 0.069
950	1 109	1 229 881	+ 0.9	+ 0.103
1 000	1 122	1 258 884	+ 1.0	+ 0.115
1 050	1 109	1 229 881	+ 0.9	+ 0.103
1 100	1 072	1 149 184	+ 0.6	+ 0.069
1 150	1 035	1 071 225	+ 0.3	+ 0.034
1 200	1 000	1 000 000	0.0	0.000
1 250	977	954 529	- 0.20	- 0.023
1 300	955	912 025	- 0.40	- 0.046
1 350	928	861 184	- 0.65	- 0.075
1 400	905	819 025	- 0.87	- 0.100
1 450	881	776 161	- 1.10	- 0.126
1 500	861	741 321	- 1.30	- 0.150
1 550	842	708 964	- 1.49	- 0.172
1 600	824	678 976	- 1.68	- 0.193
1 650	807	651 249	- 1.86	- 0.214
1 700	791	625 681	- 2.04	- 0.234
1 750	775	600 625	- 2.22	- 0.255
1 800	760	577 600	- 2.39	- 0.275
1 850	745	555 025	- 2.56	- 0.295
1 900	732	535 824	- 2.71	- 0.311
1 950	720	518 400	- 2.86	- 0.329
2 000	708	501 264	- 3.00	- 0.345
2 050	698	487 204	- 3.12	- 0.359
2 100	689	474 721	- 3.24	- 0.373
2 150	679	461 041	- 3.36	- 0.386
2 200	670	448 900	- 3.48	- 0.400
2 250	661	436 921	- 3.60	- 0.414
2 300	652	425 104	- 3.72	- 0.428
2 350	643	413 449	- 3.84	- 0.442
2 400	634	401 956	- 3.96	- 0.456

pe

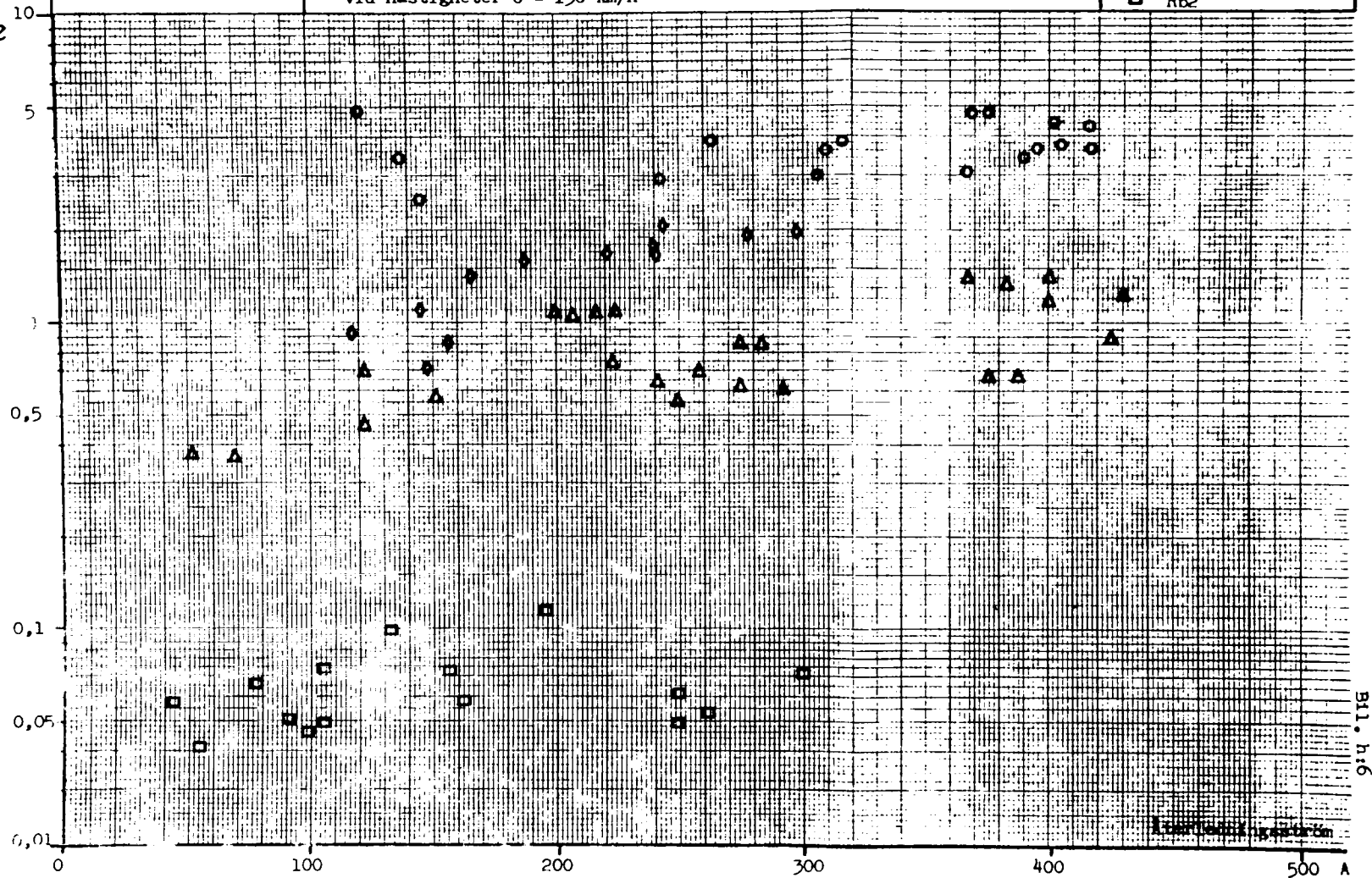
SJ Centralförvaltning

Batas den 3.12 -69

Ekvivalent störström I_p i återledningsströmmen för olika loktyper

vid hastigheter 0 - 130 km/h

- Rc1
- △ Rc2
- ◇ Rb1
- Rb2



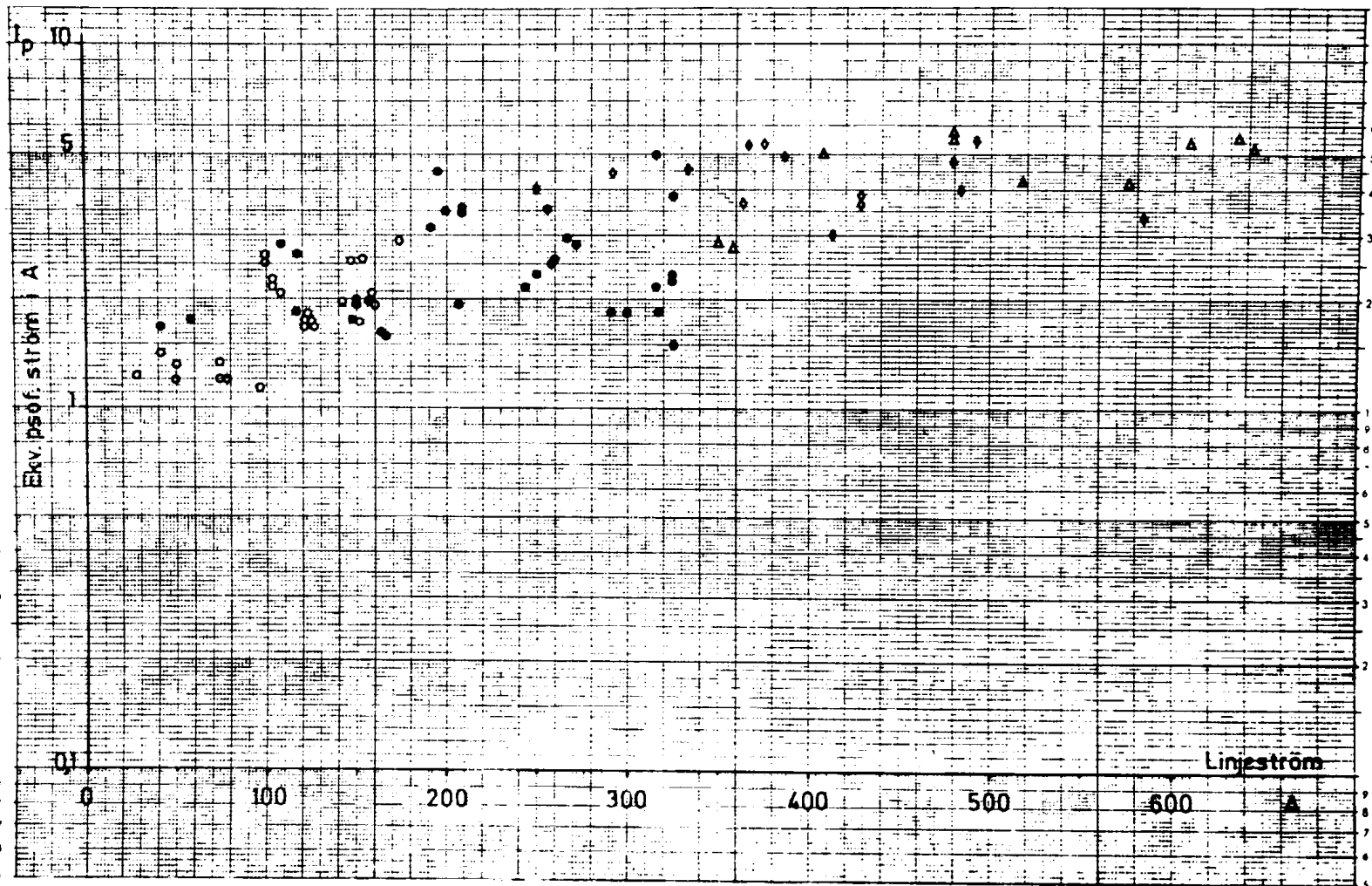
S11. h.6

Återledningsström

- 1 enhet
- 2 enheter
- 3 - -
- 4 - -
- ▲ 5 - -

TJ mätningar
dec 1967
mars 1968

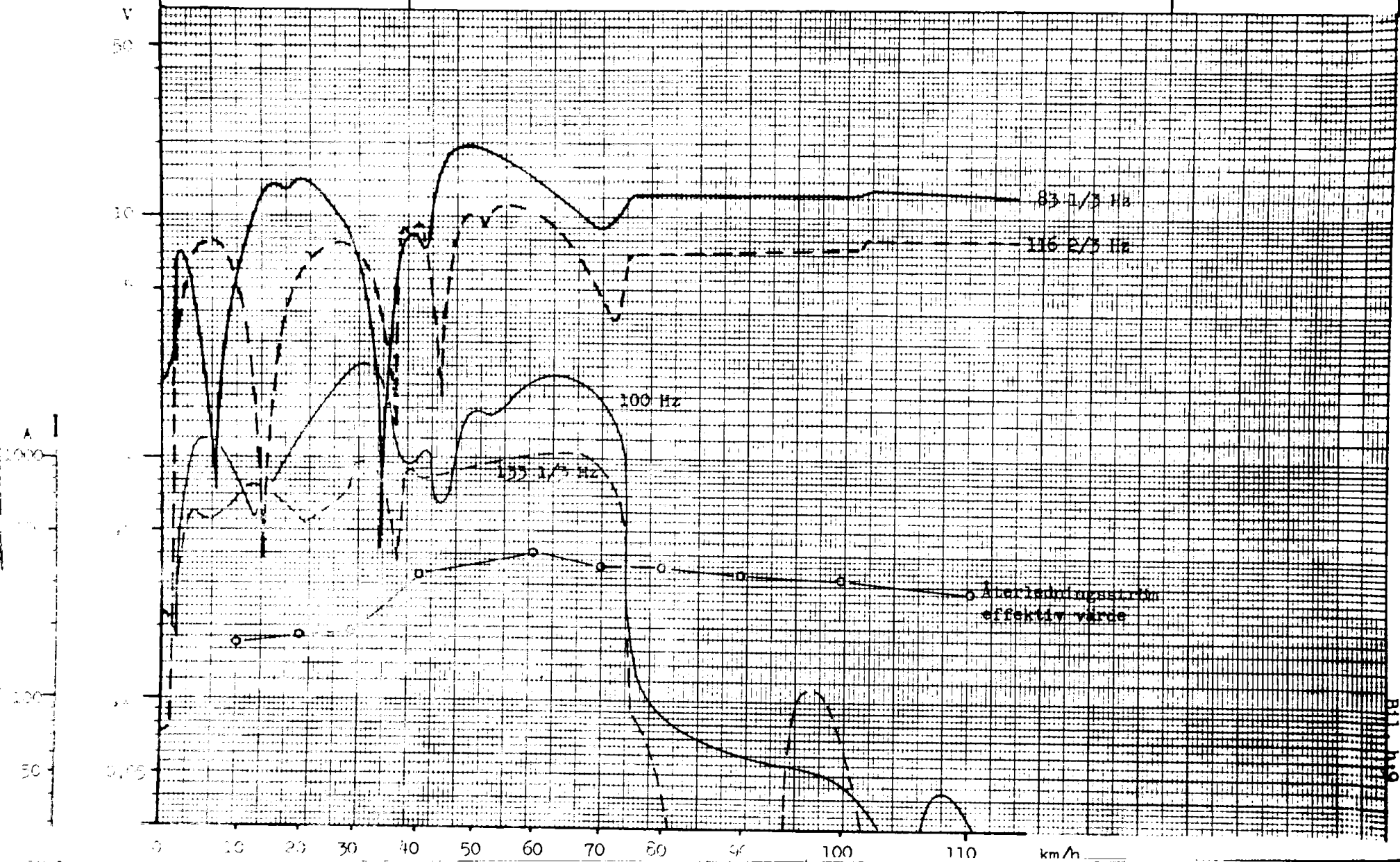
Ekvivalent störström I_p i återledningen
för motorvagnståg X 1 med olika antal en-
heter



SJ Centralförvaltning
Ratas den 3.12 -69

Frekvensanalys av spårledningsspänning under accelerationsprov med
lok Rc2 på sträckan Moholm - Skövde

SJ mät. april -69
Prov nr 170 a

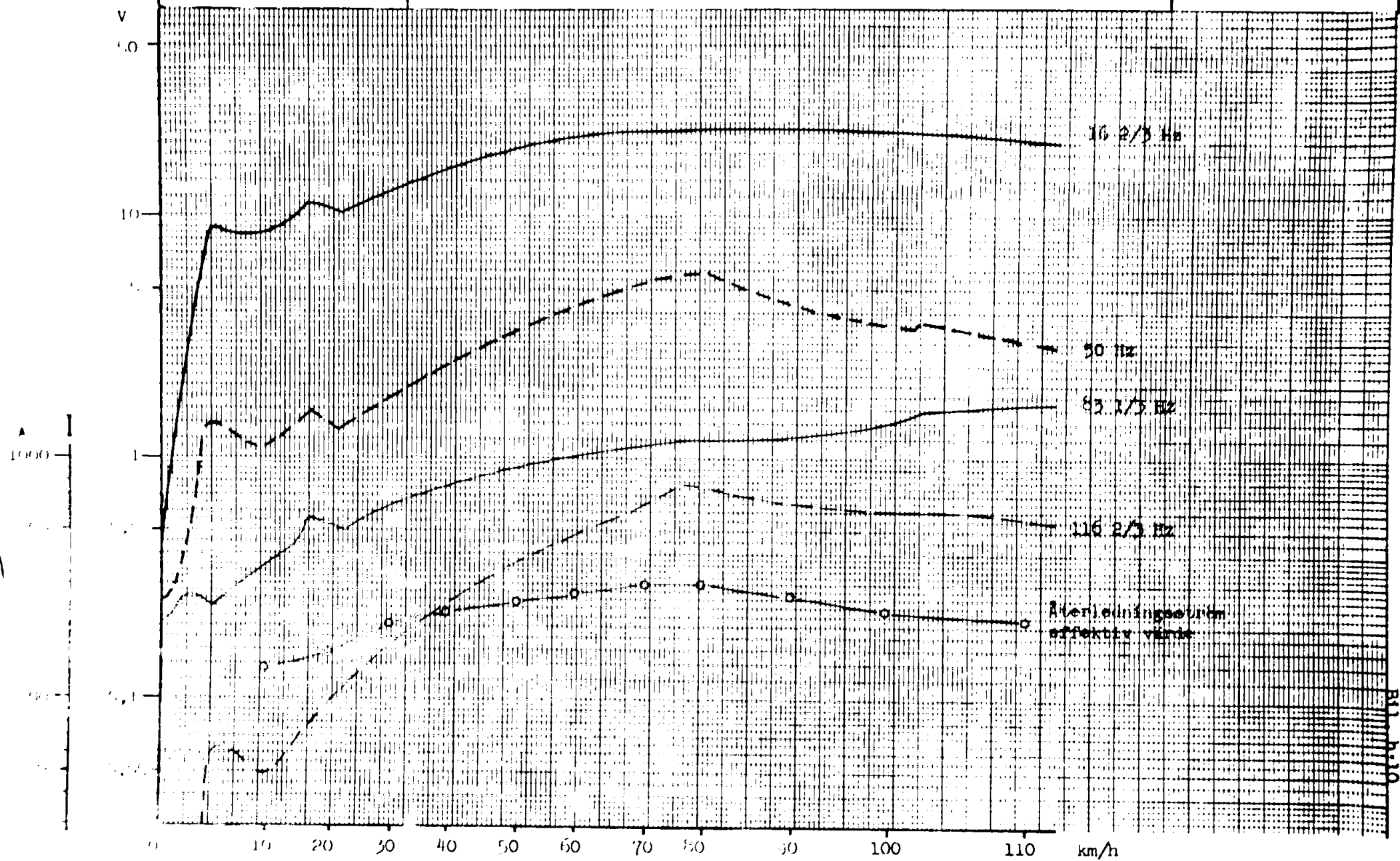


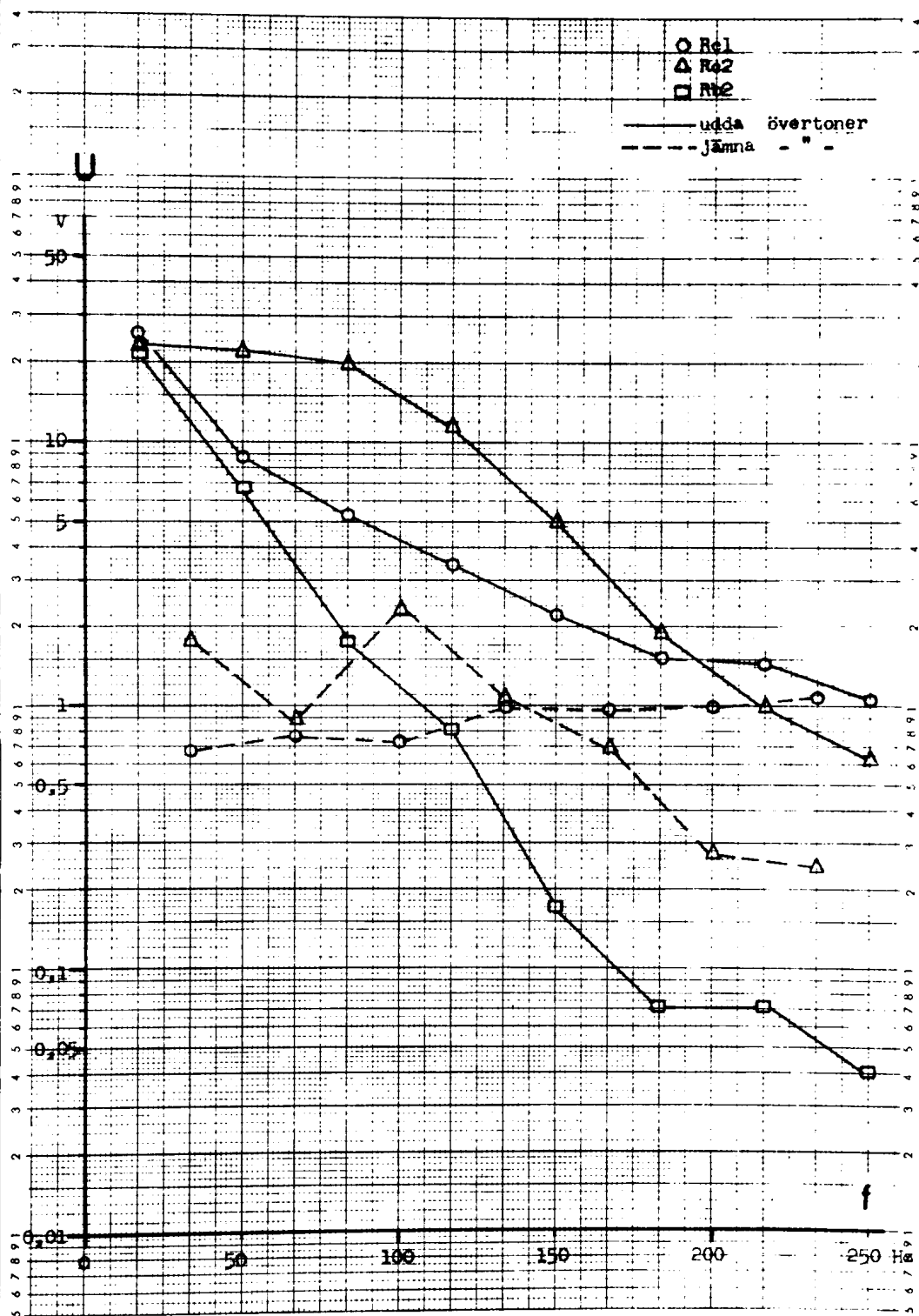
SJ Centralförvaltning
Inläst den 5.12 -69

Frekvensanalys av spårledningspänning under accelerationsprov med
lok R62 på sträckan Moholm - Skövde

SJ mättn. april -69

Prov nr 192 b





Mätningar vid körning på 625 m enkelisolerad växelströmsspårledning 75 p/s,
med tåg typ X1. 4 enheter.

Diagram då tåget befinner sig på linjen före spårledningen

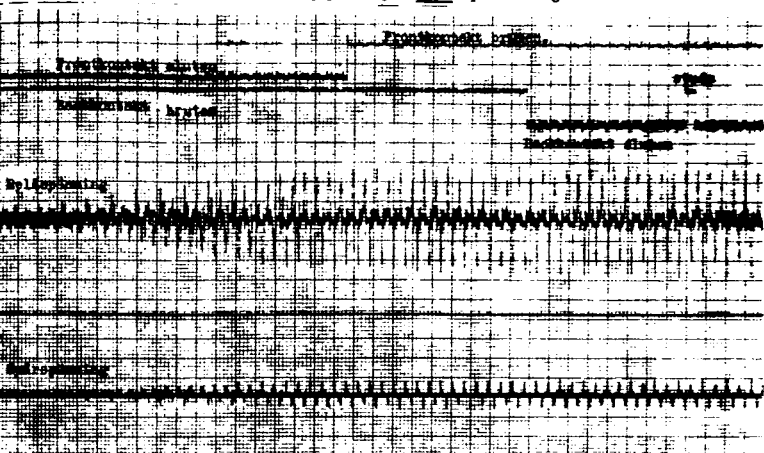
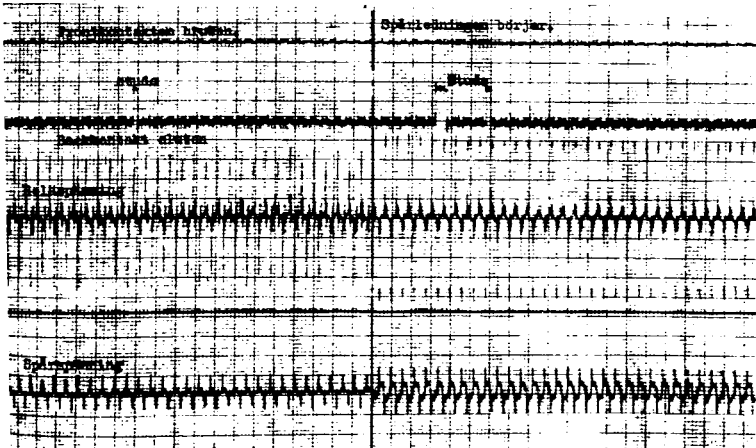
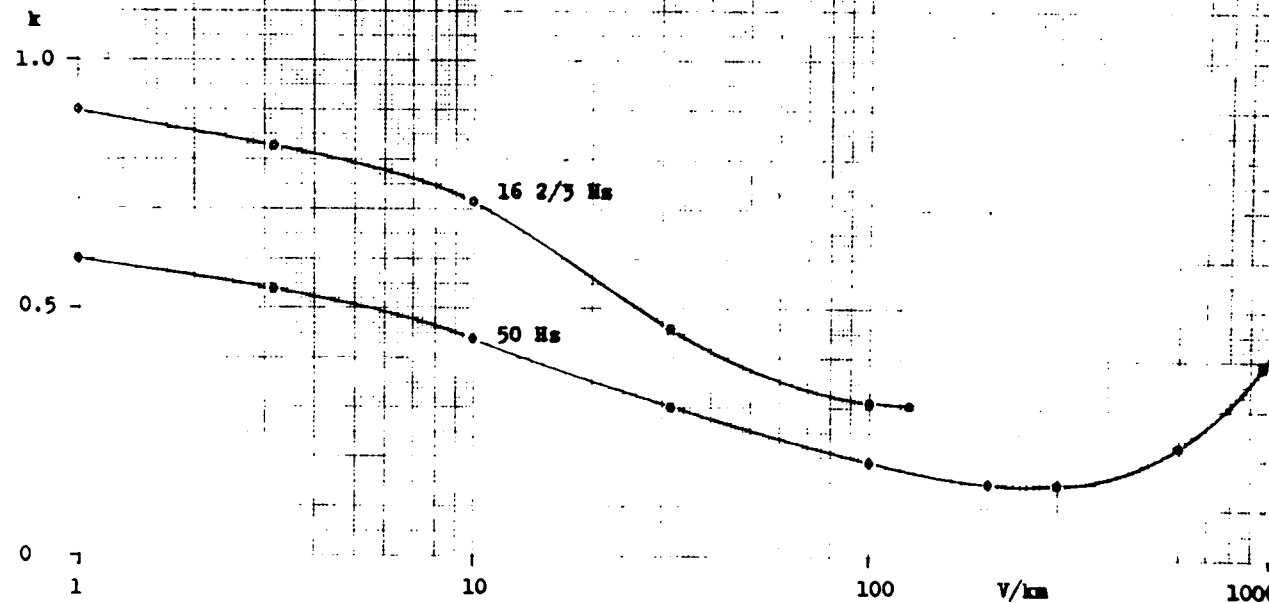


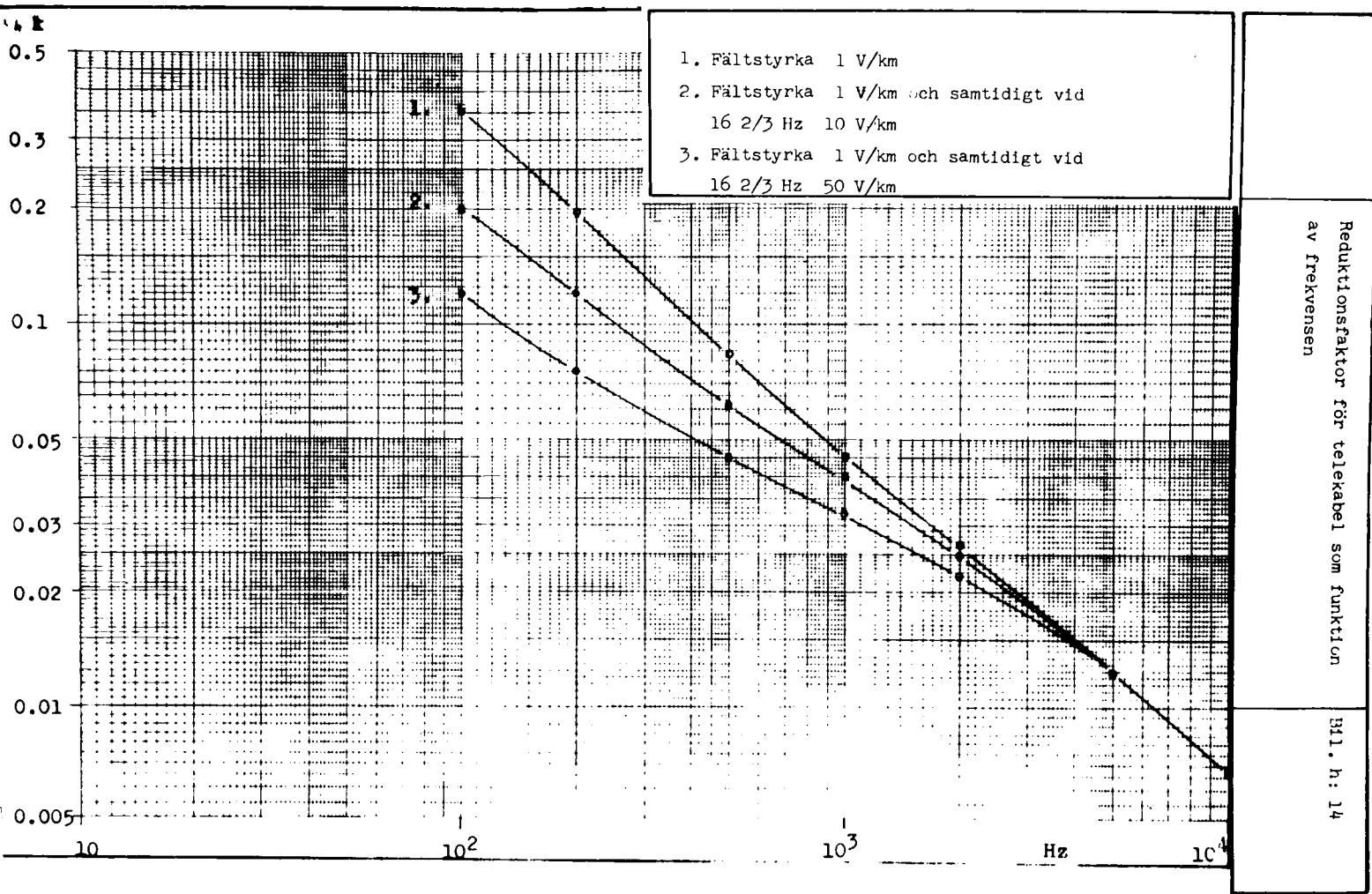
Diagram då tåget besätter spårledningen.

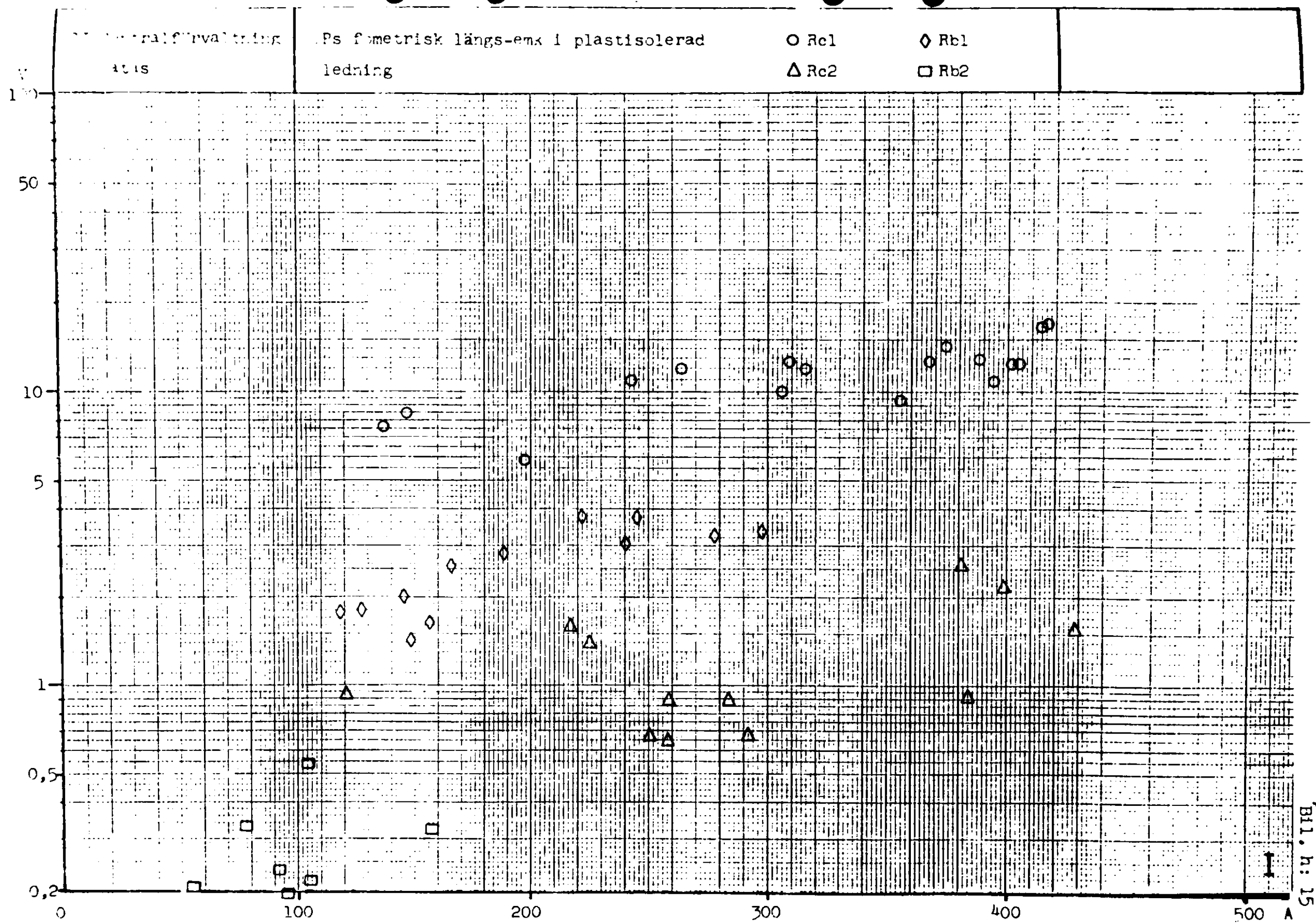


Reduktionsfaktor för telekabel vid 16 2/3 Hz
och 50 Hz som funktion av fältstyrkan

Bil. h: 13







B11.4: 15

Centralförvaltning
Statas

Psofometrisk längs-emk i telekabel
med blymantel och stålbandsarmering.

○ Rc1

◇ Rb1

△ Rc2

□ Rb2

