

Datum  
1974-03-05

Vår beteckning  
Kg/MB

Vår handläggare/tel ankn  
N O Källberg/2243

Ert meddelande

Er beteckning

Statens Vägverk  
Tekniska avdelningen  
Järnvägsärenden  
Fack  
112 59 STOCKHOLM

STATENS VÄGVERK					
CENTRALFÖRVALTNINGEN					
Tekniska avdelningen					
Inkom					7 MRS 1974
Ts	TB	TF	TG	TV	TO
					Kontor
Klassifiknr			Diariernr		
924			74 1425		

341

Signalstörningar orsakade av tyristoromriktare i tunnelvagnar

Som vi tidigare meddelat Eder har vi anlitat utomstående expertis för undersökning av riskerna för signalstörning i samband med tyristorrift.

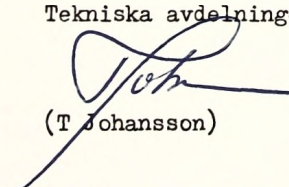
Dessa utredningar har lett till att den i vårt provtågsårsprungligen installerade utrustningen modifierats på två punkter, nämligen, att kontinuerlig fartreglering vid låga hastigheter slopas, att övergång från s.k. dubbelpuls till enkelpuls sker vid 55 Hz istället för tidigare 75 Hz. Någon grundton i området 55-110 Hz existerar således ej.

Utredningen om signalstörningarna, som gjorts av institutionen för elektrisk mätteknik vid KTH och där närmast av civilingenjör Erland Holmquist, finnes redovisade i bifogade rapport, vars sammanfattande omdöme är:

"Likspänningsriktarna har så liten möjlighet att orsaka signalstörningar att praktiska prov med tunnelvagnar är ofarliga att utföra. Det är den enda vägen till realistiska resultat angående störningarna."

Under de tre månader som provtåget nu varit i drift har icke några negativa effekter kunnat konstateras, och då provdriften i övrigt visat ett utomordentligt gynnsamt resultat i frågan om låg fel-frekvens, beräknar SL att proven med tyristorreglering skall utvidgas med ytterligare 20 vagnar av samma utförande som det provtåg som nu är satt i trafik.

AB STORSTOCKHOLMS LOKALTRAFIK  
Tekniska avdelningen

  
(T Johansson)

Bil.

Postadress  
122 31 Enschede

Gatuadress  
Sofielundsvägen 13

Nytt **SL** nummer  
dygnet runt!  
**08/236500**

Telegram  
Stocktransit

Bankgiro  
160.1624

Postgiro  
5 36 36-7

8  
Bil. 003 Utg. D. Kuv. Bil. 876 Utg. B

## 1. SAMMANFATTNING

Storstockholms lokaltrafik, SL, önskar förse tunnelvagnar med tyristorbestyckade LS-omriktare. Föreliggande rapport redovisar teoretiska överväganden, huruvida omriktarens upphackning av rötörströmmen kan störa tunnelbanans signalsystem. Delar av signalsystemet har undergått mätningar som också redogörs för.

I LS-omriktaren används genomgående 4-fasdrift kompletterad med sk dubbelpulsning vid låga strömutfag. Detta visar sig ge tillfredsställande störningsreduktion under startförloppet. Vid farthållning eller bromsning bör omriktaren användas intermittent och bara så att hackningen sker med mer än 150 Hz. Den frekvensen ligger nämligen tillräckligt högt över det smalbandiga signalsystemets arbetsfrekvens, 75 Hz, för att ge obetydlig störning.

I rapporten behandlas det värsta eller åtminstone ett mycket svårt störningsfall för vardera av körsätten, fartreglering, start och elektrisk bromsning.

Med tanke på de nödvändigtvis idealiserade förutsättningarna och svårigheten att täcka och finna alla störningssituationer, blir rapportens sammanfattande omdöme:

Likspänningsriktarna har så liten möjlighet att orsaka signalstörningar att praktiska prov med tunnelvagnar är ofarliga att utföra. Det är den enda vägen till realistiska resultat angående störningarna.

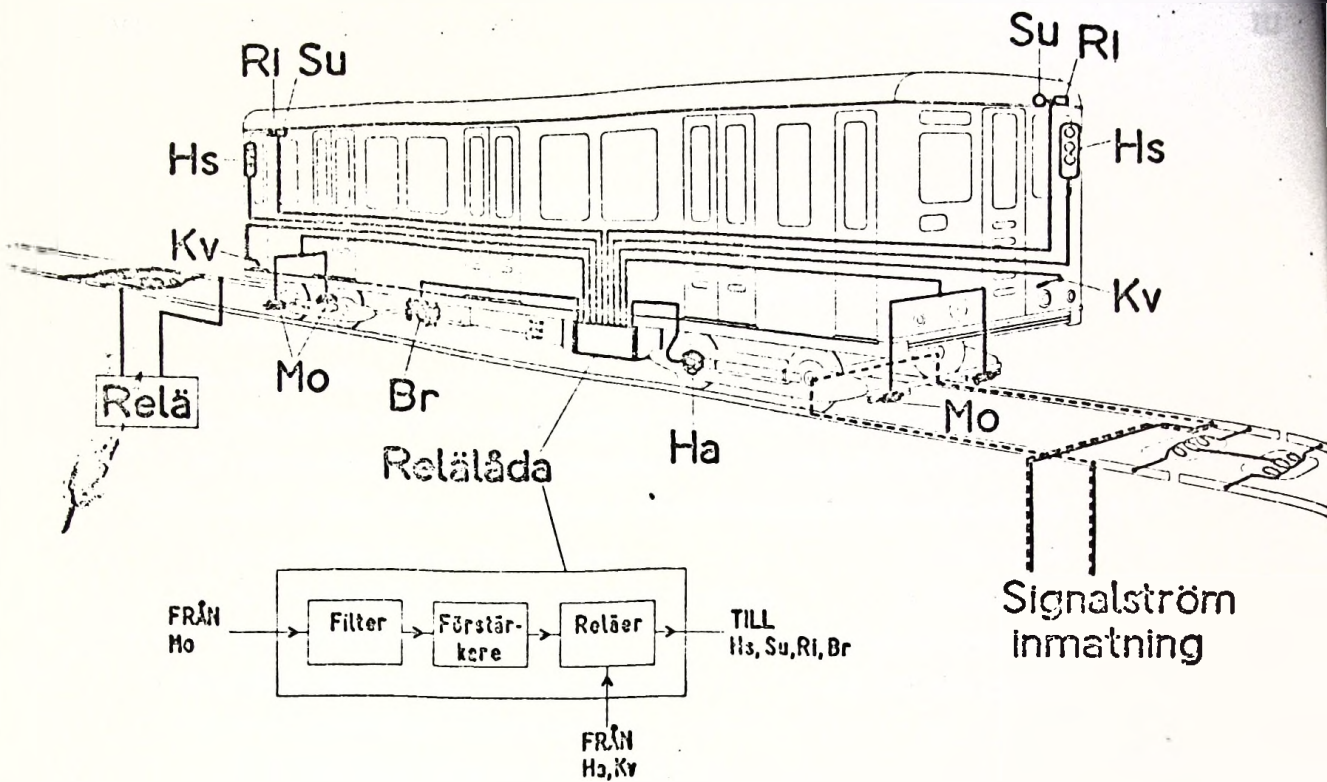
## 1. SUMMARY

Storstockholms lokaltrafik, SL, wish to put DC to DC convertors with thyristors into their underground railroad cars. This paper accounts for theoretical considerations, concerning the possibility that the chopping of the motorcurrent could interfere with the car signalling system. Measurements on part of the signalling system have also been made and are accounted for.

The thyristors of the DC to DC convertor are split into 4 phases, and at low motorcurrent they are regulated to work in double-pulsing (patented by ASEA). These precautions give adequate interference reduction during a start. In order to keep the speed constant and to brake, the converter should only be taken into intermittent use thereby maintaining the chopping frequency above 150 Hz. For it is so high above the working frequency of the signalling system, that the interference can be neglected.

Only the worst or at least very serious cases of interference are reported for each of the driving means, constant speed, start and electrical braking. Considering the necessity of idealised assumptions and the difficulty to find and cover all cases of interference, the final conclusion of this paper is:

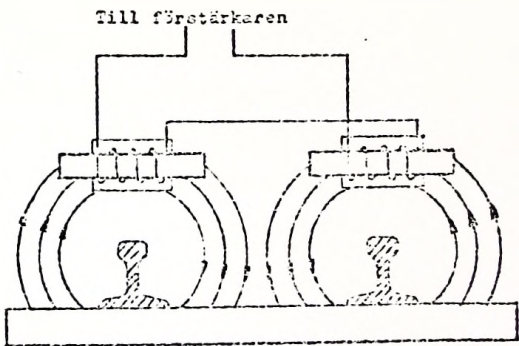
The DC to DC convertor can hardly interfere with the signalling system, so full scale testing is not dangerous to perform. This offers the only way to acquire realistic results concerning the interference.



- |    |                     |      |                 |
|----|---------------------|------|-----------------|
| Ha | hastighetsindikator | Ri   | ringklocka      |
| Hs | hyttsignal          | Su   | summer          |
| Mo | mottagarspol        | Relä | indikeringsrelä |

Figur 3.1 Signalsystemet, översikt

Figur 3.2 Mottagarspolarna är upphängda mitt över farskenorna



signalform	benämning	maximalfart km/h	signal
75 Hz bärvåg saknas		15	L
bärvåg med 0 Hz nycklingsfrekvens		15	L
bärvåg med 1.25 Hz nycklingsfrekvens	75-kod (75/min)	50	M
bärvåg med 3 Hz nycklingsfrekvens	180-kod	fri	H

Figur 3.3 Samband mellan nycklingsfrekvens och maximal fart. Definitioner



## 2. INLEDNING

Storstockholms lokaltrafik, SL, har givit ASEA i uppdrag att utveckla motorstyrning med tyristorer för tunnelvagnar. De hastiga ström- och spänningsvariationer, som alltid blir aktuella vid tyristor användning, kan tänkas påverka tunnelbanans signalsystem. Föreliggande rapport redovisar resultatet av en utredning som utförts på uppdrag av SL och behandlar

- hur motorstyrningen uppfattas av signalsystemet
- några tänkbara möjligheter att störa signalsystemet

Härigenom hoppas man också finna lämpliga mätmetoder, samt former för att tolka mätresultaten.

Bakgrundsinformationen om signalsystemet och motorstyrningen i avsnitten 3-5 utgör underlag för behandling av de egentliga frågeställningarna i avsnitt 6-10.

## 3. SIGNALSYSTEMETS UPPBYGGNAD

Tunnelvagnarna är försedda med hyttsignalsystem, vilket betyder att signaler längs banan ersätts av en signaltablå i förarhytten. Denna utformning är en följd av att man önskar automatisk övervakning av tågets hastighet. Varvtalet hos ett av tunnelvagnens hjul jämförs med den maximala hastighet som signalsystemet för tillfället anger. Om föraren överskrider den tillåtna hastigheten under 2,5 s utan att börja bromsa, så utlöses nödbroms.

Signalinformationen sänds som växelström, 75 Hz i farskenorna, s. k. spårström, figur 3.1. Strömbanan slutar av tunnelvagnens främsta hjulaxel. Växelflödet kring skenorna fångas upp av mottagarpoler, figur 3.2. Den inducerade växelspänningen bandpassfiltreras, förstärks, amplitud-detekteras och avkodas i signalmottagaren. Hastighetsmeddelandet finns nämligen i form av nycklad bärvåg, där nycklingsfrekvensen anger högsta tillåtna fart, figur 3.3.

Avbrott mellan skenorna delar spåret i blocksträckor, som är c:a 250 m långa. Likströmmen från tunnelvagnarna förs mellan blocksträckorna genom filterlådor. Dessa spärrar däremot för 75 Hz-ström, som därför passerar ett relä i blocksträckans bortre ände, figur 3.1, om tåg saknas på blocksträckan. Detta indikeringsrelä anger tillåten fart på bakomvarande blocksträckor, enligt nedanstående tabell.

Avstånd i blocksträckor mellan 2 tåg	Signalbild i bakre tåget
0	L
1	L
2	M
> 3	H

Ursprungligen var varje tunnelvagn en självständig enhet med förarplats i båda ändar. Numera har SL inskränkt sig till tåg med jämnt antal vagnar. Då kan istället två vagnar utgöra basenhet med förarplats i vardera änden. Dessa vagnar benämns dubbelvagnar. Vid denna sammanslagning blir ena vagnens signalutrustning överflödig. Den monteras istället i nyproducerade vagnar, som då får äldre typ av signalutrustning. Därför är det meningsfullt att endast behandla den äldsta utrustningen, SATT typ E, i denna rapport.

De andra typer som förekommer är tillverkade av SATT och LME och praktiska erfarenheter tyder på att de är likvärdiga ur störnings-synpunkt. Den principiella uppbyggnaden är åtminstone densamma.

#### 4. MOTORSTYRNINGENS ARBETSSÄTT

För att få en uppfattning om de störningar som kan genereras vid tyristoranvändning tillsammans med likströmsmaskiner, beskrivs först principen för en sådan koppling. Därefter berörs den verkliga utformningen i en tunnelvagn.

Återmatning av energi till försörjningsnätet är en attraktiv möjlighet som står till buds med tyristorer. Även här beskrivs kopplingen principiellt.

Eftersom signalsystemet arbetar med bärvågsfrekvensen 75 Hz är det framförallt störningsfrekvenser under ca 200 Hz, som är intressanta. Det frekvensområdet måste tas i anspråk vid varje oregelbunden ändring av omriktarsystemets tillstånd, transient förlopp, exempelvis under startförloppet.

#### 4.1 EN PRINCIP FÖR ENFASIG LIKSPÄNNINGSOMRIKTARE

Varje tunnelvagn har 4 motorer. Ett omriktaraggregat ska försörja en dubbelvagn, eller mao 8 parallellkopplade motorer. Varje motor kan föra 350 A vid 400 V, vilket ger den styrda effekten 1,1 MW.

Linjespänningen är 650 V likspänning.

Med belastningen ritad som en motor visas kopplingsschema för omriktaren, fig. 4.1.1. Den är ansluten till linjen via linjefiltret L-C, som dels skyddar omriktaren och dels glättar linjeströmmen. Den centrala delen är hackaren, som består av huvudtyristor  $T_h$  samt släckrets  $T_s$ ,  $T_o$ ,  $L_s$ ,  $C_s$  som krävs för att avleda strömmen från huvudtyristorn så att den släcks. Eftersom kopplingen endast innehåller en hackare kallas den enfasig.

Hackaren tillför belastningen en pulsformad ström,  $I_p$ , som glättas av reaktor  $L_1$ . Pulsvaraktighet och repetitionsfrekvens bestämmer tillförd effekt. En period inleds med att huvudtyristorn  $T_h$  tänds. Samtidigt tänds omladdningstyristorn  $T_o$  varvid den positivt laddade  $C_s$  bildar en svängningskrets med  $L_s$  och kan utföra en halv periods oscillation. Kondensatorn  $C_s$  är nu negativt laddad och när släcktyristorn  $T_s$  tänds så går motorströmmen genom  $C_s$  så länge att  $T_h$  hinner slockna. När kondensatorspänningen når linjespänningen så börjar frihjulioden D leda och  $T_s$  slocknar. Efter ett visst uppehåll börjar nästa period.

Strömpulserna,  $I_p$  består således av ström i huvudtyristorn och släckström. Deras sammantagna varaktighet ger pulstiden  $t_p$ . Den varierar i den aktuella utrustningen mellan 1 och 5 ms. Vid lågt strömutfåg,  $t_{ex}$  i början av startförloppet, kan repetitionsfrekvensen då bli 5 Hz. På vägen till den maximala frekvensen 200 Hz passeras därför det känsliga 75 Hz-området.

Kopplingen bör ändras så att passagen av 75 Hz området blir snabb samt så att lägsta frekvensen blir högre och därmed dess komponenter lättare att glätta. Detta åstadkoms om flerfasdrift införs.

#### 4.2 OMRIKTARE FÖR 4 FASER

Tyristorerna i kopplingsschemat för enfasig omriktare består i realiteten av flera parallell- och seriekopplade element. En uppdelning av flera faser

kräver därför få ytterligare komponenter. Den aktuella utformningen med 4 hackare visas i fig. 4.2.1.

De fyra faserna separeras ur strömsynpunkt av induktorerna L1 - L4. Om varje fas har samma pulsrepetitionsfrekvens som det enfasiga systemet, så kommer repetitionsfrekvensen att höjas 4 ggr och pulsamplituden att minskas till 1/4 vid samma strömuttag jämfört med det enfasiga, figur 4.2.2. Linjefiltret, som är ett andra ordningens system, dämpar en 4 ggr högre frekvens  $4^2 = 16$  ggr bättre, ovanför resonansfrekvensen. Den är c:a 20 Hz och lägre frekvenser alstras ej, varför villkoret alltid är uppfyllt. Med hänsyn till amplitudminskningen jämfört med enfasigt system reduceras pulsationerna i linjeströmmen c:a 64 ggr. Dessutom sveper frekvensen 4 ggr snabbare vid en given strömändringshastighet.

#### 4.3 DUBBELPULSNING I 4-FASIGT SYSTEM

Om de fyra faserna sedda från linjefiltret relateras enligt fig.

4.3.1, s k dubbelpulsning, så kommer vissa deltoner att undertryckas. <sup>x)</sup> Detta förklaras med harmonisk analys på följande sätt:

Faserna 1 och 3 alstrar ett pulståg med deltonerna

$$\hat{i}_n = \frac{2I t_p}{t_{rep}} \frac{\sin \pi n \cdot f_{rep} t_p}{\pi n f_{rep} t_p} \quad (4.3.1)$$

öm pulserna  $t_p$  antas vara rektangulära.

Faserna 2 och 4 alstrar ett pulståg med samma deltoner som faserna 1 och 3 men det är fördröjt  $t_d$ . Linjespektrum för hela pulståget blir då

$$\hat{i}_{pn} = |A B + e^{-jn2\pi f_{rep} t_d} \cdot A B| \quad (4.3.2)$$

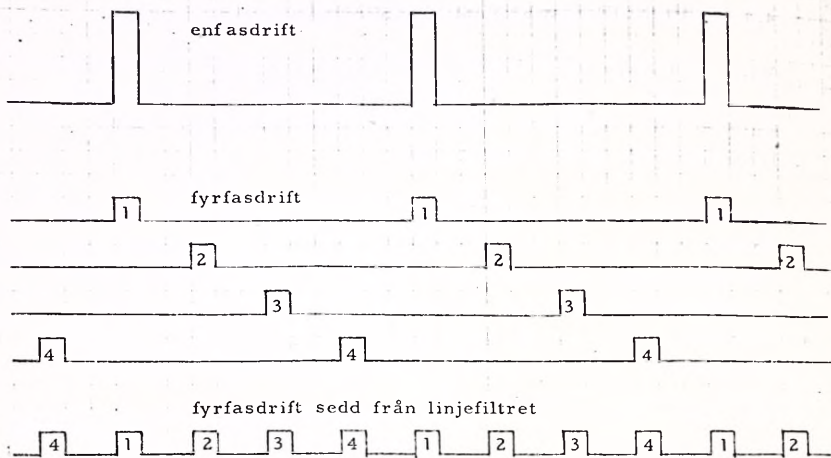
med

$$A = \frac{2I t_p}{t_{rep}}$$

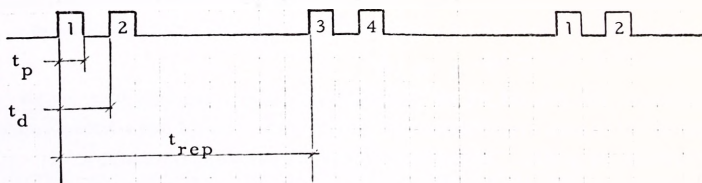
$$B = \frac{\sin \pi n f_{rep} t_p}{\pi n f_{rep} t_p}$$

<sup>x)</sup>Förfarandet är patenterat av ASEA <sup>1</sup>.





Figur 4.2.2 Enfas- kontra fyrfasdrift vid samma ström uttag



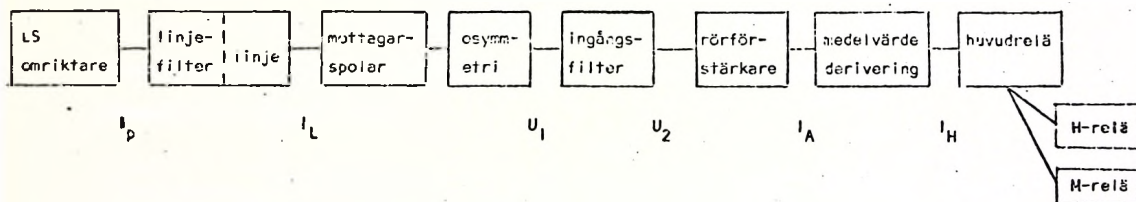
Figur 4.3.1 Hackerströmmen,  $I_p$ , vid fyrfasdrift och dubbelpulsning

Hackaren är nu inkopplad så att den kan kortsluta belastning och separationsreaktor L1-4. Då ökar strömmen genom reaktorn och när hackaren öppnas (släcks) så stiger spänningen över reaktorn till linjespänning, varvid en del av dess upplagrade energi återmatas. Systemet är fortfarande uppdelat i 4 faser, och från linjefiltret sett är repetitionsfrekvensen alltid högre än 150 Hz.

Saknas belastning på linjen så kommer spänningen över linjefiltrets kondensator att stiga. Vid en viss nivå kopplas bromsresistorerna in med den sk bromschopporn. Den hackaren arbetar alltid med högre frekvens än 150 Hz.

## 5. SIGNALSTÖRNINGS ÖVERFÖRINGSVÄG

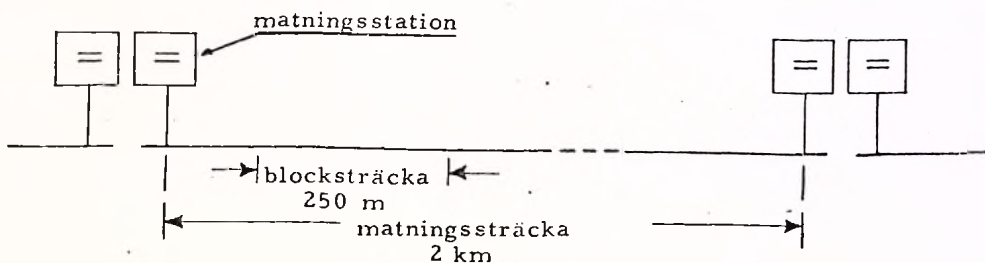
Strömpulserna, som alstras av tunnelvagnarnas tyristoromriktare, överförs till hyttsignalutrustningen enligt blockschemat i fig. 5.1. Varje blocks egenskaper behandlas kortfattat. Därefter redovisas mätningar som gjorts på större delar av överföringsvägen, samt intrimning av hyttsignalutrustningen.



Figur 5.1 Blockschemat för signalstörnings överföringsväg

### 5.1 LINJE OCH LINJEFILTER

Linjen matas med likspänning från 6-puls likriktarkopplingar i matningsstationer med ungefär 2 km mellanrum. Stationerna delar spåret i matningssträckor, som är galvaniskt åtskilda och som matas i båda ändar. Varje sträcka består dessutom av ett flertal blocksträckor, fig. 5.1.1. En blocksträcka har ca 250 m längd och markeras med avbrott i rälererna.



Figur 5.1.1 Matnings- och blocksträcka, definitioner

Linjeströmmen förs i filterlådor mellan böcken, fig. 5.1.2. För att likströmmen inte ska mätta transformatorerna tas den ut i ett mittuttag. Transformatorn används för att med rimligt kondensatorvärde kunna åstadkomma en parallellresonanskrets för 75 Hz. Utformningen påminner för övrigt om en strömsugares och en undersökning<sup>3</sup>, visar att växelström inom det aktuella frekvensområdet symmetreras mycket väl. Det medför emellertid att växelspänning alstras mellan skenorna. Huruvida den kan påverka reläet, som är anslutet där, bör undersökas. Det reläet ska endast dra när tåg inte finns på blocksträckan. En farlig situation uppstår således om ett eller flera tåg förmår påverka reläet.

Fortsättningsvis antas lika mycket ström gå i båda rälerna, såvida ingen är bruten. Linjefiltret lågpasfiltererar strömpulserna till tyristoromriktarna för att reducera växelströmmen på linjen. Den kan nämligen fångas upp av mottagarspolarna och störa signalbilsinformation. En dubbelvagn på linjen åskådliggörs elektriskt i fig. 5.1.3.

Komponentvärdena är angivna i figuren. Matningsstationens impedans antas till en början vara försumbar. Förlustresistansen utgörs av filterinduktorns lindningsresistans samt kontaktresistans mellan hjul och räler samt mellan strömavtagare och strömskena. Förluster i kondensator C har däremot antagits vara försumbara för frekvenser under 150 Hz. Med figurens beteckningar fås

Nära en matningsstation är förbättringen mycket liten beroende på stationens låga impedans. Sätts den exempelvis till 0,1 mH så blir förbättringen bara 1,4 ggr. För räkningar på värsta fallet antas därför ingen förbättring föreligga. Dessa förhållanden belyses ytterligare i litteraturhänvisning 2 där också förluster i kondensator C är medtagna i beräkningarna.

I de fall förbättring sägs föreligga, så betyder det att växelström pendlar mellan vagnarna i ett tågsätt i stället för att tas från matningsstationen. Växelström kan på samma sätt gå mellan flera tågsätt, vilket blir markant på visst avstånd från matningsstationerna. Ett exempel ges i figur 5.1.5 där 2 tågsätt, vardera med 5 dubbelvagnar, befinner sig nära varandra och halvvägs mellan matningsstationerna. Över resonansfrekvensen dominerar linjefiltrets induktans. Varje tåg har därför induktansen  $1/5$  mH. I figuren har en dubbelvagn i tåg A antagits alstra 20 I, varav  $11/20$  passerar B:s mottagarspoler, men bara  $1/20$  passerar egna tågets.

Svåraste fallet uppstår ändå när flera tåg nalkas en lågimpediv matningsstation. Det främsta tågets mottagarspoler passeras då av praktiskt taget all växelström från bakomvarande tåg.

## 5.2 MOTTAGARSPOLAR

Mottagarspolarna är fästa i framkanten av en boggie och hänger ca 2 dm över vardera farskenan, se fig. 3.2. Tidderivatan av ström i farskenorna inducerar spänning i spolarna. Den ömsesidiga induktansen mellan en farskena och spole är ca 0,6 mH.

De två spolarna är differenskopplade, så att lika stor ström åt samma håll i skenorna endast ger en liten utspänning betingad av olikheter i spolarna.

Praktiska prov visar att växelström i strömskenan uppfattas som  $1/20$  så stor cirkulerande signalström, vilket anges i det ekvivalenta schemat, fig. 5.2.1.

Om den ena spolen har ömsesidiga induktansen  $M$ , med underliggande skena, och den andra har induktansen  $(1 + \alpha)M$ , så lämnar mottagar-spolorna i sämsta fall

$$U_1 = \left[ \frac{I_L}{2} (M - M(1 + \alpha)) + \frac{I_L}{20} (M + M(1 + \alpha)) \right] \cdot \omega$$

$$U_1 = I_L \cdot \omega \cdot M \left( 0,1 + \frac{11\alpha}{20} \right) = I_L \cdot \omega \cdot M \cdot k \quad (5.2.1)$$

Det är realistiskt att anta  $\alpha = 15\%$ . Då blir  $k = 0,18$ . Vid en osannolik, men lämplig osymmetri kan  $k$  bli 0.

Strömmarna i farskenorna har hittills antagits vara lika p. g. a. filterlådornas strömsugarverkan. Det uppstår emellertid sprickor i skenorna någon gång per månad. När strömmen då bara passerar under ena mottagarspolen får  $k$  sitt maximalvärde 1, 1.

Observera att  $k$  anger hur stor del av linjeströmmen som ska passera under en spole för att ge samma inducerade spänning som den verkliga situationen ger. Fortsättningsvis görs alla beräkningar för enkelhets skull med  $k = 1$  samt störningsöverläggningar även med typvärdet  $k = 0,2$ .

Mottagarspolarnas mekaniska vibrationer under gång i det av likströmmen alstrade flödet ger också inducerade störningsspänningar. Dessa omständigheter är utredda i litteraturhänvisning 4.

### 5.3 SIGNALMOTTAGARE

Signalmottagarens första del är ett ingångsfilter med passband kring 75 Hz, fig. 5.3.1. Den filtrerade signalen förstärks och amplitud-detekteras. Signalens nycklingsfrekvens undersöks med resonanskretsar, för att få fartinformation till hyttsignalen. Mottagarens delar beskrivs i tur och ordning.

#### 5.3.1 Ingångsfilter

Fartinformation sänds i detta system som nycklad bärvåg. Bärvägsfrekvensen är 75 Hz och maximalt tillåtna nycklingsfrekvensen ska



med

$$\omega_1 = 2 \pi 77 \text{ rad/s}$$

$$Q_1 = 6,7$$

$$\omega_2 = 2 \pi 68 \text{ rad/s}$$

$$Q_2 = 8,3$$

Med 75-kodad spårström, 3 A, registreras inställningstiden för  $U_2$ , fig. 5.3.1.3. Den är ca 100 ms.

### 5.3.2 Rörförstärkare

Rörets arbetspunkt är vald så att anodströmmen blir en halv vågslikriktad replik av galler spänningen, fig. 5.3.2.1.

### 5.3.3 Medelvärdesbildning och derivation av anodström

Bärvågens nycklingsfrekvens är informationsbärare. Därför ska bärvågen dämpas med ett lågpassfilter. Det är utfört i anodbelastningen med en LC-länk, som uppskattas ha övre gränshfrekvensen 10 Hz. Då kan högsta nycklingsfrekvensen, 5 Hz, passera opåverkad. Sambandet mellan det på så sätt erhållna medelvärdet av anodströmmen och galler spänningen ges i fig. 5.3.3.1. Vid 5 mA bottnas förstärkarsteget praktiskt taget, vilket understryker dess karaktär av förstärkare för nycklad information.

Eftersom lägsta informationsfrekvensen är 1,25 Hz kan även en undre gränshfrekvens föras in med transformator 117. Dess sekundärström passerar ett polariserat relä, det s k huvudreläet, som därmed slår om i takt med nycklingsfrekvensen. Minskningshastigheten hos reläströmmen, fig. 5.3.3.2 antyder att undre gränshfrekvensen är 1 Hz. Överföringen mellan anodström och huvudreläström utgörs således av ett filter vars ungefärliga frekvensgång ges i fig. 5.3.3.3. Högpasskaraktären gör att långsamma variationer i signalnivån inte påverkar huvudreläet.

Med 75-kodad spårström registreras inställningstiden för  $U_2$ , fig. 5.3.1.3. Den är ca 100 ms.

### 5.3.4 M- eller H-signal? Avkodning

Huvudreläets tunga genererar en växelspanning över induktor 120. Omslagsfrekvensen är antingen 1,25 eller 3 Hz. Två avkodningsenheter avgör vilken den aktuella frekvensen är med hjälp av serie-resonanskretsar. Om en krets är i resonans så för den maximal ström. Den aktiverar M- eller H-reläet via transformator och likriktare. Relätillslagen tändar signallampor i förhyttens signaltablå. Är varken M- eller H-reläet draget tänds en lampa som indikerar signal L. Den tänds således antingen vid bärvåg utan nycklingsfrekvens eller vid avsaknad av bärvåg.

Om nycklingen är osymmetrisk, dvs att bärvåg och uppehåll inte är lika långa, så blir energin vid nycklingsfrekvensen mindre. Utrustningen är trimmad så att den ställer ett tämligen högt krav på symmetri för att acceptera en kod, vilket gör det ännu svårare för en störning att påverka M- eller H-reläet.

Resonanskretsarnas bandbredd är av storleksordningen 1 Hz och har därför inställningstiden 1 s. Dessa uppfattas som fördröjning både vid till- och frånslag. Det senare fördröjs ytterligare av likriktarbryggans dioder. Fortsättningsvis sätts fördröjningen vid tillslag till 1 s och vid frånslag till 2 s.

Vid passage av skarven mellan 2 blocksträckor försvinner spårströmmen. Frånslagsfördröjningen gör att hyttsignalbilden ej ändras under denna tid.

### 5.3.5 Trimning av mottagarens känslighet

För att huvudreläet ska arbeta säkert, krävs c:a 3 mA anodström s-ändring. Denna ska åstadkommas av  $2,5 \pm 0,5$  A bärvågsamplitud hos den nycklade spårströmmen. Huvudsakligen är det trimning av mottagarens förstärkning med resistor 14, som krävs. Detta kallas "pick-up-justering" och utförs flera gånger per vecka på signalmottagarna.

Eftersom relationen mellan anodström och spårström trimmas, blir gallerpotentialen av sekundärt intresse. Det väsentliga är att 2 A spårström kan räcka för att påverka huvudreläet.

#### 5.4 MÄTNINGAR PÅ DELAR AV STÖRNINGARS ÖVERFÖRINGSVÄG

Samtliga mätningar har utförts i en provbänk för hyttsignalsystem hos SL. Mottagarspolarna är upphängda över var sitt rälsstycke på ett realistiskt sätt. Rälsen matas med spårström via kodgivare.

Sambandet mellan anodström och spårström registreras på två sätt. Dels på det naturliga sättet för spårström mellan 0 och 4 A. Dels med spänningsgenerator i serie med mottagarspolarna, för att kunna simulera större spårströmmar. Med kännedom om ömsesidig induktans kan spänningen räknas om till spårström. För tydlighets skull anges fortsättningsvis spårström som den ström som måste passera under ena mottagarspolen, för att åstadkomma den aktuella anodströmmen. Diagram i fig. 5.4.1 och mätresultat under A1.

Av diagrammet framgår att mätobjektet är normalt trimmat, ty 3 mA anodström kräver 4,5 A under en mottagarspole. På banan kan spårströmmen variera mellan 3,5 och ca 10 A, vilket motsvarar 7 - 20 A under en spole. Tydligt är förstärkaren praktiskt taget bottnad inom det strömområdet, vilket en förstärkare för nycklad bärvåg bör vara.

Med mätupställningen i fig. 5.3.1.2 registreras ingångsfiltrets överföringsfunktion genom att inspänningens amplitud hålls konstant och utspänningens noteras för olika frekvenser. God överensstämmelse fås då med fig. 5.3.1.1.

Bottningen av förstärkarsteget efter filtret kan eventuellt återverka på filtret. Detta antyds också av utspänningens utseende för olika inspänningar, fig. 5.4.2. Tydligt drar röret gallerström under delar av den positiva halvperioden. Röret belastar då filtret och sänker dess Q-värde. Som mått på filtrets utspänning används anodströmmen. Den hålls på 5 mA medan inspänning och frekvens varierar. Jämförelse mellan inspänningens inverterade värde och den "normala" filterkurvan ges i fig. 5.4.3, samt mätprotokoll A2.

Ett datorprogram, B2, används för att beräkna impulssvaret under 120 ms med 0,5 ms inkrement. Samtidigt beräknas summan av 2 impulssvar, varav det ena är förskjutet  $1/150$  s, vilket är fallet med en dubbelpuls. I figur 8.2 visas impulssvaret streckat och dubbelpulssvaret heldraget. Resultatet stämmer väl med det experimentellt erhållna, figur 7.4.c, vilket bekräftar räkningarnas riktighet, samt berättigar antagandet om försumbar pulslängd.

## 9. STÖRNINGEN BLOCKERAR SIGNALMOTTAGAREN

Avsnitt 9 och 10 innehåller analys av en del störningssituationer. Den baseras på resultaten i tidigare avsnitt och försöker huvudsakligen beakta de svåraste fallen. I detta avsnitt beskrivs möjligheterna att blockera signalmottagaren, så att den anger signalbild L även om den rätta är M eller H. En sådan störning blir alltid "åt säkra hållet", ty lägre fart än gällande anbefalls. I nästa avsnitt är störningen "åt farliga hållet".

En ofarlig störning minskar reskomforten, eftersom tåget måste bromsas häftigt för att rätta sig efter signalen som kan ha växlat från H till L. Kommer störningen från det egna tåget försvinner den när bromsningen påbörjas. Efter att ha antagit 15 km/h kan farten höjas igen, varvid störningen återkommer och bromsning tar vid, etc. Systemet är tydligen oscillerande.

För att ta reda på hur kraftig sinusformad störning som blockerar signalmottagaren, ansluts en generator i serie med mottagarspolarna. Av mätprotokoll A4 framgår hur stor generatorspänning som krävs för att 180-kod ska utestängas.

Den 75 Hz spårström som behöver passera under en mottagarspole för att ge samma gallerströmning som generatoren, är också beräknad. Spårströmmen som ger 180-kod är så stor att signalmottagaren precis bottnas. Från anodströmmen sett fyller störningen ut mellanrummen i koden, men ökar ej bärvågsdelarna. Ändringen i anodströmmens medelvärde blir då så liten att den ej orkar påverka huvudreläet, vilket gör att L indikeras.

I frekvensområdet kring 75 Hz finns inga mätresultat, ty svävning mellan störning och bärvåg förskjuter mätresultaten mot högre värden för fullständig utestängning. Däremot märks påverkan vid 2 A ekvivalent störning, genom att huvudreläet börjar gå ojämnt. Under 30 Hz ökar störningskänsligheten, ty lågpasfiltret, för medelvärdesbildning av anodströmmen, har gränshfrekvens 10 Hz och dämpar knappast där. De kraftigaste störningarna under körning, alstras emellertid i frekvensområdet 30-100 Hz. Där kan den tillåtna störningen maximalt få vara 2 A. En del störning kommer emellertid från mottagarspolarnas vibrationer i det av arbetslikströmmen alstrade magnetfältet. Dessa vibrationer har resonansfrekvensen ca 30 Hz och alstrar varje gång boggien med mottagarspolarna passerar en räls skarv. Denna och andra störningar som alltid finns i signalsystemet antas kunna adderas kvadratisk till den störning som hackarpulserna ger. Ska totala störningen då bli 2 A, så får vardera delen endast bidra med 1,4 A om de antas vara lika stora.

Inför en säkerhetsfaktor

$$SF = 1,4 / \text{ekvivalent 75 Hz - störström}$$

Eftersom hackarpulserna genererar störningar med grundton och flera övertoner så kommer jämförelsen med sinusformad störning att halta något. Ofta dominerar dock en ton vilket gör störningen tämligen sinusformad också.

Störningar i samband med de olika körsätten farthållning, start och bromsning behandlas i tur och ordning. Dubbelpulsning förutsätts ske under 55 Hz och normalpulsning för övrigt.

## 9.1 FARTHÅLLNING

Avsikten med farthållning är upprätthålla en i det närmaste konstant fart. Då ska huvudsakligen rull- och vindmotstånd samt banans lutning motverkas, vilket kräver relativt små krafter. Strömuttaget blir lågt och kan antingen åstadkommas med låg repetitionsfrekvens hos hackarpulserna vid kontinuerlig reglering eller med högre repetitionsfrekvens vid intermitterent reglering. I det senare fallet pendlar farten kring den önskade precis som med den nuvarande konventionella motorstyrningen i tunnelvagnarna.



Med den aktuella utformningen av hackarna kan mindre pulser än 0,35 As (ASEA) inte genereras. Vid kontinuerlig reglering hamnar repetitionsfrekvensen därför i området för dubbelpulsning och vid intermitterent ges pulspaket med 150 Hz normalpulsning.

### 9.1.1 Kontinuerlig fartreglering

Betingat av den kraft som krävs för att övervinna yttre omständigheter kan hackarpulsernas repetitionsfrekvens anta mycket varierande värden. Driftserfarenhet visar dock att området under 100 Hz dubbelpulsning är vanligast. Så länge som de yttre omständigheterna inte ändras är frekvensen konstant. Ingångsfiltret hinner då svänga in och beräkningarna i avsnitt 6 gäller

Den svåraste situationen visas i figur 6.4 där ingångsfiltret ligger 5 Hz för högt. Maximum vid 38,5 Hz består huvudsakligen av energi vid första övertonen, 77 Hz. Eftersom beräkningen gjorts för ett 10 Hz för lågt fall bör övertonen då flyttas upp. De andra kurvorna antyder att 6 Hz är lagom. Där dämpar linjefiltret 10% mer, vilket gör att maximum bör bli 3,8 A/As. Liknande hänsyn i figur 6.3 anger det bästa fallet till 2,3 A/As.

Om varje frekvens mellan 0 och 100 Hz är lika sannolik så visar kurvorna att

$$\text{Pr (godtycklig störning} < \frac{\text{maximum}}{2} \text{)} \sim 75\%. \quad (9.1.1.1)$$

Vid farthållning är likströmuttaget så lågt att linjefiltrets drossel ej alls är mättad. Dess värde är då snarare 2 än 1 mH, vilket fördubblar filtrets dämpning över 30 Hz.

De 3 situationer längs banan som undersöks är

Signalsystemets uppträdande vid svävning mellan spår- och störningsström behandlas därför först. För en svävning gäller allmänt att summan av 2 sinusformade signaler

$$A \sin \omega_1 t + B \sin \omega_2 t \quad A \geq B$$

kan omformas till

$$(A - B) \sin \omega_1 t + 2 B \sin \left( \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t \right) \cos \left( \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \right)$$

Den sista termen ger svävningen. Exempelvis alstrar 72 och 75 Hz en signal med 73,5 Hz vars amplitud varierar med 1,5 Hz. Figur 10.1.1.1 visar en sådan svävning, registrerad på ingångsfiltrets utgång, som genererar H-signal. Som jämförelse visas en normal H-signal.

För att utröna vilka frekvenser som tillsammans med 75 Hz-spårström kan ge en svävning, vilken uppfattas som en korrekt signal, inkopplas en generator i serie med mottagarspolarna. Kring varje frekvens som nominellt skall ge accepterad kod finns ett ca 1 Hz brett band inom vilket svävningen uppfattas, fig. 10.1.1.2. Dessutom anges M-signal vid frekvensskillnader 4,5-5,5 Hz, vilket är en kvarleva av ytterligare en signalbild, som SL ej använder.

Spårströmmen är minst 3,5 A och normalt mer än 5,5 A ute på banan. Med frekvensskillnaderna 1,25 och 3 Hz mellan störande generatorspänning och spårström har mätningar visat att generatören måste lämna 0,75 V, för att svävningen skall uppfattas, om spårströmmen är 3,5 A. Eftersom 0,75 V motsvarar ca 3 A ekvivalent 75 Hz-ström under en spole kommer totala strömmen att sväva inom  $7 \pm 3$  A. Fig. 5.3.1 visar att detta ger 3 mA anodströmsändring, vilket tidigare har angivits som minimum för att huvudreläet ska arbeta. Om spårströmmen är 5,5 A så anger figur 5.3.1 att störningsströmmen måste vara 6 A för att anodströmsändringen ska bli 3 mA.

Sammanfattningsvis alstras en detekterbar kod genom svävning mellan spår- och störningsström om:

- Störningsströmmens frekvens ligger mellan 70 och 80 Hz
- Störningsströmmens amplitud räknat under en mottagar-spole är minst 3 A.

Vid kontinuerlig reglering av farten gäller beräkningarna i avsnitt 6. Enligt avsnitt 9.1.1 visar figur 6.4 det sämsta fallet med maximum vid 41,5 Hz och praktiskt taget all energi i övertonen vid 83 Hz. Den kan inte skapa svävfrekvens som godtas som kod, och ger därför sämsta fallet med viss marginal.

Eftersom spårströmmen förutsätts finnas okodad, så kan rälsen inte vara bruten. Osymmetrin sätts då till 20 %, vilket ger 0,13 A störningsström från 1 dubbelvagn och 0,65 A från 5 som är i fas vid samma frekvens. Säkerhetsfaktorn blir  $3/0,65 \sim 5$  ggr för ett tåg, som nalkas en matningsstation. Det är helt osannolikt att bakomvarande tåg samverkar med det första. I stället höjer de spårströmmens nivå och därmed säkerhetsfaktorn.

Om spårströmmen saknas p g a rälsbrott så kan svävning mellan vagnarnas störningsströmmar tänkas alstra M- eller H-signal. Antas 2 dubbelvagnar samverka vid en frekvens så ger de 1,3 A. De övriga 3 dubbelvagnarna i tåget ger 2,1 A. För att få 3 mA anodströmsändring måste emellertid de 1,3 A vara 2 A enligt figur 5.3.1. Säkerhetsfaktorn blir därför 1,5. Situationen är dessutom tämligen ofarlig eftersom tåget mött signalbild L redan på blocksträckan före den med rälsbrottet. Det framförs således med högst 15 km/h vid ett störningstillfälle och störningen försvinner när farten höjs.

Spårströmmen saknas också om den kortsluts av ett framförvarande tåg på samma blocksträcka. Fördelningen av motorström mellan rälerorna sker då huvudsakligen på resistiv väg, men osymmetrin blir förmodligen ändå inte mer än 20 %. Har tågen just passerat en matningsstation så kommer det främre tågets ström att passera det bakres mottagarspoler. Två dubbelvagnar i det främre tåget alstrar 0,26 A, men för att

ge en svävning med de resterande 3 dubbelvagnarna krävs 2 A. Säkerhetsfaktorn blir därför 8 ggr.

Vid rälsbrott kan svävning uppstå mellan 2 tågs störningsströmmar. Om samtliga vagnar samverkar så genererar vardera tåget 3,5 A, men endast ca 50 % av det bakre tågets ström passerar det främres mottagarpolar. Störningsströmmen blir 1,7 A, vilket jämfört med gränsvärdet 2 A, ger säkerhetsfaktorn 1,2. Situationen är dock mycket osannolik och tämligen ofarlig med tanke på att rälsbrottet föranleder tågen att föras med 15 km/h.

Ytterligare en störningssituation kan tänkas uppstå om M-signal sänds ut. Då kan den kontinuerliga störningsströmmen sväva med bärvågsdelarna av signalen. Enligt tidigare analys är säkerhetsfaktorn 5 ggr för ett tåg mot en sådan svävning. Skulle den ändå uppstå så att M-signalens bärvågsdelar varierar i 3 Hz-talet, så genereras H- och M-signalerna omväxlande. Signalen blir då alltför rörig och tidsynmetrisk, för att t ex H skall kunna anges. I stället visas L. Störning från M till H är därför omöjlig att skapa med svävning.

Ett tåg i kontinuerlig fartreglering där alla vagnars störningar samverkar ger således följande säkerhetsfaktorer i några svåra fall:

Verklig signal	Indikerad signal	Säkerhetsfaktor mot störningen
L med bärvåg	H eller M	5
L utan bärvåg	H eller M	1,4
L utan bärvåg bakom tåg	H eller M	8
M	H	mycket stor

### 10.1.2 Intermittent fartreglering

Vid intermitterent fartreglering alstras pulspaket innehållande 150 Hz normalpulsning. Paketets början och slut ger en 100 ms

lång transient med toppvärdet 0,6 A störningsström under en mottagarspole. Se för övrigt avsnitt 9.1.2 och figur 9.1.2.1.

Om transienterna, enskilda eller sammanlagrade från flera vagnar har tillräcklig amplitud för att påverka huvudreläet och kommer med lämpliga tidintervall, så kan falsk signalbild indikeras. Amplituden hos den signal som tillförs avkodningsenheterna är emellertid oberoende av störningsnivån, ty den alstras av huvudreläets tunga som hackar likspänning, 36 V. Detta ger mycket distinkta krav på repetitionsfrekvensen hos en acceptabel kod:

- M-signal, 1,25 Hz nominellt 1,1-1,6 Hz
- H-signal, 3,0 Hz nominellt 2,6-3,5 Hz

Är förhållandet mellan pulslängd och pulsuppehåll inte 50/50 så inskränks frekvensområdena ytterligare. Vid 30/70 börjar det krympa hastigt och vid 20/80 kan inte ens den nominella frekvensen detekteras. Dessa förhållanden gör det mycket svårt att alstra en störning åt farliga hållet.

Vid rälsbrott saknas bärvåg och L indikeras. I ett tåg med 5 dubbelvagnar krävs följande för att tidkraven på en H-signal skall vara uppfyllda under 1 s:

- o dbv 1 börjar pulspaket vid tiden T
- o dbv 2 börjar pulspaket vid T + 60 ms och så att transienter från dbv 1 och 2 sammanlagras till ca 120 ms lång puls med effektivvärdet 0,4 A
- o dbv 3 börjar vid T + 330 ms
- o dbv 4 och 5 startar ytterligare fördröjda, och ger tillsammans med dbv 3 en 120-180 ms lång puls med effektivvärde 0,4 A
- o dbv 1 och 2 slutar pulspaket vid T + 2 x 330 ms sammanlagrade som vid början
- o dbv 3-5 slutar vid T + 3 x 330 ms.



Denna sammanställning ger således 4 perioder H-signal med pulsamplituden 0,4 A. För att huvudreläet ska arbeta krävs 4 A. Trots att alla osannolika premisser ovan är uppfyllda blir säkerhetsfaktorn  $4/0,4 = 10$  ggr.

Pulserna i en M-signal är 400 ms långa. Om de 5 dubbelvagnarna börjar och slutar pulspaketet med 60-80 ms inbördes fördröjning så kan 2 tillräckligt långa pulser alstras. 2 perioder M-signal med pulsamplituden 0,4 A ger säkerhetsfaktorn 10 p. s. s. som i föregående fall.

Pulspaketet vid intermitterent fartreglering återkommer tidigast efter 2 s. Dock måste sannolikheten, att alla förutsättningar angående tidrelationerna skall vara uppfyllda ytterligare en gång, betraktas som mycket liten. Därför varar signalstörningen aldrig mer än 1 s. Jämfört med kontinuerlig hastighetsreglering är detta den största fördelen.

Bärvågen saknas också bakom ett tåg på samma blocksträcka. Störningsströmmarna är då fördelade på båda rälerarna och jämfört med förhållandena vid rälsbrott fås minst 5 ggr förbättring. Säkerhetsfaktorn mot indikation M eller H blir därför 50 ggr.

En kontinuerlig bärvåg ger L-signal. De tidigare behandlade transienterna kan tänkas motverka bärvågen så att uppehåll skapas. Störningsströmmarnas symmetrering ger minskningen  $0,4/5A$  i pulsuppehållet, utgående från förhållandena vid rälsbrott. Minskningen måste vara 3 A för att huvudreläet skall påverkas. Säkerhetsfaktorn blir  $3 \cdot 5/0,4 \sim 38$  mot indikation av M eller H när L ska anges. Förutom alla krav på tidrelationer mellan transienter kommer här ett krav på motfas relativt bärvågen. Medfas ger ingen störning ty bärvågen bottnar alltid signalmottagaren.

Om mellanrummen i en M-signal delvis fylls med ca 150 ms långa pulser så börjar något av en H-signal ta form. Den blir emellertid alltför tidosymmetrisk för att accepteras som kod. I stället kan L komma att indikeras vilket behandlats i avsnitt 9.

Ett tåg med 5 dubbelvagnar i intermitterent fartreglering, där vagnarna samverkar på ett mycket oturligt sätt, uppvisar följande säkerhetsfaktorer.

Verklig signal	Indikerad signal	Säkerhetsfaktor mot störningen
L utan bärvåg rälsbrott	H eller M	10
L utan bärvåg bakom tåg	H eller M	50
L med bärvåg	H eller M	38
M	H	mycket stor

## 10.2 START

Förhållandena under startförlopp erhålls ur samma beräkningar, avsnitt 6, som ligger till grund för säkerhetsfaktorerna i 10.1.1, kontinuerlig fartreglering. En väsentlig skillnad är dock att hackarpulsernas repetitionsfrekvens sveps. Möjligheterna att generera en stabil svävning tillsammans med kontinuerlig bärvåg blir då mycket små. Svävning mellan vagnarnas störningsströmmar i ett tåg med 5 dubbelvagnar kan tänkas bli något mer stabil. Avsnitt 9.2 visar att säkerhetsfaktorerna för start fås ur de för kontinuerlig fartreglering  $\times 1,5$ .

Bärvåg saknas vid rälsbrott och då blir säkerhetsfaktorn ca 2. Bakom ett tåg blir den ca 10, eftersom störningsströmmen symmetreras.

Omvandling av M-signal till H-signal kan lika lite ske under start som under kontinuerlig fartreglering.

Vid start passeras det kritiska frekvensområdet på några sekunder. Fås mot all förmodan signalstörning så varar den inte länge.

Ett tåg med 5 dubbelvagnar under start, där vagnarna samverkar på ett mycket oturligt sätt, uppvisar följande säkerhetsfaktorer.

Verklig signal	Indikerad signal	Säkerhetsfaktor mot störningen
L med bärvåg	H eller M	mycket stor, ty stabil svävning hinner inte bildas
L utan bärvåg, rälsbrott	H eller M	2
L utan bärvåg bakom tåg	H eller M	10
M	H	mycket stor

### 10.3 ELEKTRISK BROMSNING

Vid elektrisk bromsning sker återmatning till linjen, eller om denna saknar last, till resistorer i vagnen via hackare, bromschopper. Båda förfarandena sker på samma sätt som intermitterent fartreglering. Hackarpulserna innehåller 0,35 As vid återmatning och 1 As vid bromschopperanvändning.

Ett tåg med 5 dubbelvagnar i elektrisk bromsning, där vagnarna samverkar på ett mycket oturligt sätt, uppvisar följande säkerhetsfaktorer:

Verklig signal	Indikerad signal	Säkerhetsfaktor mot störningen	
		Återmatning	Bromschopper
L utan bärvåg rälsbrott	H eller M	10	3,5
L utan bärvåg bakom tåg	H eller M	50	17,5
L med bärvåg	H eller M	38	13,3
M	H	mycket stor	

#### 10.4 FLERA TÅGSÄTT

När 2 tågsätt nalkas en matningsstation kommer ca 50 % av bakre tågets störningsström att passera under det främres mottagarspolar. Inverkan från längre bak belägna tågsätt kan praktiskt taget försummas. Allt enligt avsnitt 5, 1 och 9. 4.

De två tågen befinner sig förmodligen i helt olika körtillstånd. Därför är en farlig sammanlagring av tågens störningsströmmar mycket otrolig. Spårströmmen blir i stället något rörlig, och vid utsändning av M- eller H-signal kan mottagaren blockeras enligt avsnitt 9.

För övrigt ter det sig meningslöst att ange säkerhetsfaktorer för situationer uppkomna genom samverkan mellan tåg. Redan för ett tåg är förutsättningarna i angivna störningssituationer mycket osannolika. Bakgrundsinformation saknas också för att kunna precisera sannolikheterna.

## 11. SLUTORD

Denna rapport's slutsatser är presenterade i avsnitt 9 och 10. Ambitionen är att finna de värsta fallen och att visa att inte ens de förmår störa tunnelbanans signalsystem. Då behöver nämligen sannolikheten för faller inte undersökas. Tyvärr kan man inte veta att de värsta fallen fångats, men de är säkert mycket svåra. Genomgående har störningsenergin från ett tåg med 5 dubbelvagnar fördelats så oturligt som möjligt i tiden. Därefter har kvoten mellan minsta amplitud för störning och aktuell amplitud angivits som säkerhetsfaktor, SF. Denna innehåller således ingen information om sannolikheten för att en viss störningssituation skall inträffa men ger följande fingervisningar.

- o  $SF < 1$            Nödvändigt att undersöka situationens farlighet och sannolikhet.
- o  $1 < SF < 10$        Amplitudmässigt ganska omöjligt att situationen kan ge störning
- o  $SF > 10$            Amplitudmässigt mycket omöjligt att situationen kan ge störning

Av detta följer att alla jämförelser mellan säkerhetsfaktorer för olika körsätt måste bli subjektiva, vilket bör betänkas inför studiet av tabell 11. 1. Där anges säkerhetsfaktorer för mycket svåra fall med ett tåg omfattande 5 dubbelvagnar. Författarens kommentar till tabellen är att föredra

- o       intermittent fartreglering tycks vara att föredra framför kontinuerlig
- o       startförloppet kan ha ganska låg säkerhetsfaktor men bara under några sekunder

En viktig målsättning med rapporten är också att lämna systeminformation, så att var och en kan bedöma störsituationer som inte behandlats här. En stor del av detta stoff har hämtats i referenserna 4-6, och har återgivits i avsnitt 3-8. En väsentlig slutsats i denna avdelning är att övergången från dubbelpulsning



till normalpulsning bör ske vid 55 Hz dubbelpulsrepetitionsfrekvens och inte vid 75 Hz. Då blir nämligen störningsnivån lägre i de signalmottagare vars ingångsfilter har mittfrekvensen under nominella 75 Hz.

Denna rapport behandlar uteslutande störningar på den rullande delen av signalsystemet. Därför har indikeringsreläernas störningskänslighet inte studerats. Det bör göras och kan lämpligen ske i samband med praktiska prov på tyristorbestyckade tunnelvagnar.

## Appendix A

Appendix A innehåller mätprotokollen A1-A4 angående mätningar utförda vid SL:s serviceplats för signalmottagare i Hammarby.

## Appendix B

Appendix B innehåller datorprogrammen B1-B4. De är alla skrivna i BASIC för en dator av typ Digital Equipment, PDP-11 med plottertillsats utvecklad vid institutionen för elektrisk mätteknik, KTH.

## Litteratur

1. Persson E, Goliath K-G, Förfarande för att vid matning av ett belastningsobjekt från en likspänningskälla med likströmpulser med variabel pulsfrekvens undvika en växelspanningskomponent av en viss frekvens jämte anordning för utförande av detta förfarande. Patentskrift, utläggningsskrift nr 305 028.
2. Elvin, S, Störning från LS-omriktare. Inverkan av nätimpedans. Sammanlagring, ASEA, FTBA 73-05-14.
3. Inst för elektromaskinlära, KTH, provning av 2 st sk spårimpedanser för likström. Provningsprotokoll 21-878.
4. Ivarsson I, Undersökning av störningar på tunnelvagnarnas hyttsignalutrustning orsakade av mottagarspolarnas mekaniska svängningar. Examensarbete, KTH 1953.
5. Hyttsignalsystem för tunnelvagnar. Verkstadsinstruktion nr 41 vid Stockholms spårvägar.
6. Allison, L. R., A modern cab signalling and train control system for railroads. Electrical engineering, April 1951.

MÄTPROTOKOLL A1

<u>Benämning</u>	Anodström som funktion av spårström
<u>Datum</u>	1973-03-27
<u>Mätfel generellt</u>	5%
<u>Basparametrar</u>	Förstärkares matningsspänning = 36 V

ström under en spole (A eff)	anodström (mA)
0	0
2	0,8
4	2,7
6	4,6
8	5,4

spänning i serie med mottagarspolar =  $U_1$   
 ström under en spole =  $I = U_1 / 2^n \cdot 75 \cdot 6 \cdot 10^{-4}$

$U_1$ (Veff)	I (A eff)	anodström (mA)
0,5	1,8	1,0
1,0	3,6	2,5
1,5	5,4	4,0
2,0	7,1	4,8
3,0	10,7	5,6
4,0	14,2	6,2
5,0	17,8	6,8
6,0	21,4	7,1
6,5	23,2	7,3
7,0	25,0	7,5
7,4	26,4	7,6