

Järnvägens elmatning

Niklas Biedermann, E2Da
nb@kth.se
KTH, Ingenjörsskolan Kista,
Elenergiteknik (6B2935), VT 2002

Innehåll

Järnvägens elmatning	3
Sammanfattning och historisk tillbakablick	3
Elektriska experimentbanor	3
Trevande försök på industribanor	3
Elektriciteten börjar sitt segertåg	4
Privata järnvägar	4
Spårvägar	4
Stambanans elektrifiering	5
Olika Strömsystem	5
SJ's försöksdrift	5
Problem vid fortsatt utbyggnad	5
Elektrifieringen fortsätter	6
Dagens elnät	6
Teknisk beskrivning av Banverkets elmatningssystem	7
Kontaktledningssystemet	7
Matningsstationer	8
Omformarstationer	9
Uppbyggnad	9
Utförande	9
Omformare	11
Omriktarstationer	13
Strömåterledning	16
Litteraturförteckning	18
Övriga Källor	18
Bildkällor	18

Järnvägens elmatning

Syftet med denna uppsats är att ge en bakgrund till den elektriska järnvägsdriften i Sverige och sedan redogöra för Banverkets elmatningssystem från kraftleverantören ut till spåret. De järnvägsspecifika termerna förklaras, i övrigt förutsätts en viss kunskap om elektriska maskiner och kraftelektronik.

Sammanfattning och historisk tillbakablick

Elektriska experimentbanor

Den första persontransporten med lokdraget tåg ägde rum mellan Stockton och Darlington i England den 27 september 1825. Det var George Stevensons ånglok Locomotion som drog.

Drygt 50 år senare, vid Industri- och hantverksutställningen i Berlin 1876 visar Siemens upp sin elektriska miniatyrjärnväg. Denna anses inleda elektrifieringsepoken. Banan bestod av ett 300 meter långt spår med en tredje matningsskena i mitten. Via denna tillfördes loket 160 V likström. Strömmen upptogs med en släpsko och matades till motorn och sedan genom hjulen tillbaka till spåret. Tåget som bestod av lok och tre vagnar transporterade under utställningstiden hela 86 000 personer.

De kommersiella elektriska järnvägarna som sedan följde var först små korta industribanor och enstaka spårvägar. Bortsett från ackumulatordrift som var tämligen oekonomisk finns följande alternativ för att mata strömmen utifrån till loket:

- Matning med kontaktledning och med strömmens återgång genom de båda rälerna.
- Strömskena nedsänkt i jorden och återgång genom rälerna.
- Strömskena i spårmitt eller vid sidan om spåret och återgång genom båda rälerna.
- Matning genom ena rälen och återgång genom den andra.

Så småningom blev kontaktledning det enda som användes för järnvägar eftersom det inte föreligger någon risk för beröring. Tunnelbanor och vissa förortsbanor använder dock strömskena om de går på en inhägnad bana utan plankorsningar. Strömskenans största fördel är att den inte tar någon plats i höjddled vilket gör att tunnlar kan byggas avsevärt lägre än med kontaktledning.

Trevande försök på industribanor

Den första elektriska banan i Sverige byggdes upp sommaren 1885 vid Tekniska Samfundets utställning vid Chalmers Tekniska Institut i Göteborg. Spåret var lagt i en ring och trafikerades av ett litet lok och en vagn. Matningen skedde via kabel från en stolpe i ringens mitt med släpkontakter.

Boxholms Bruk var de första att elektrifiera en bana permanent. 1881 byggde de ett 891 mm spår mellan bruket och järnvägsstationen. 1890 elektrifierades sträckan. Till dess hade vagnarna dragits av hästar. ASEA levererade utrustningen till banan medan loket var från Westinghouse i USA. Loket hade 11kW vid 220 V likspänning. Det matades från en kontaktledning som fick sin ström från en ångmaskins driven generator. 1968 breddades banan till normalspår och eldriften lades ned.

Wermbols Bruk köpte 1891 det första svensktillverkade ellok för reguljära transporter. Loket tillverkades av ASEA och hade en effekt på 3,6 kW vid 400 V spänning. Det var 1,9 m långt och vägde 2,75 ton. Spårvidden var 742 mm och banans längd 2 km. Blått 6 år senare slutade man dock med eldriften och satte in ånglok i stället eftersom man ansåg att det elektriska var allt för komplicerat.

I slutet av 1890-talet elektrifierades ett flertal industribanor, dock alla med ett mycket begränsat spårssystem. Två banor som även haft en persontrafik är Domnarvet-Tågten,

spårvidd 693 mm och Robertsfors-Sikeå Hamn, spårvidd 750 mm, båda cirka 10 km långa. Kontaktledningsspänningen låg kring 600 V.

Elektriciteten börjar sitt segertåg

Privata järnvägar

Sveriges (och beroende på definitionen av järnväg kanske världens) första elektrifierade järnväg var Djursholmsbanan, en del av smalspåriga SRJ, Stockholm-Rimbo Järnväg, numera Roslagsbanan. 1890 byggde Djursholms Aktiebolag en anslutningslinje från Djursholms Ösby till Framnäsvisken. 1892 övertog SRJ banan. Man ville även förlänga banan från Stockholms Östra till Engelbrektsplan men i koncessionen ställdes villkoret att den skulle vara elektrisk. 1893 beställdes fyra elmotorvagnar från Atlas i Stockholm med elektrisk utrustning från engelska Mather & Platt. I Stocksund byggde man ett ångkraftverk som matade ut 265 kW vid 650 V. Dock var effekten otillräcklig. Vagnar och kontaktledningssystem byggdes om och man installerade ett ackumulatorbatteri vid Stockholm Ö. 1895 kom trafiken igång. Successivt utvidgades eldriften, 1906 till Djursholms Ekeby och 1932 till Roslags Näsby.

1917 lades samtliga ångmaskins drivna generatorer ned och kraften levererades från allmänna elnätet. I stället byggdes likriktarstationer som omvandlade 20 kV växelspanning till 650 V likspanning. 1949 var SRJ elektrifierat från Stockholm Ö till Rimbo och Norrtälje. Samtidigt höjdes spänningen på hela linjenätet till nuvarande 1500 V.

Andra Järnvägar som var tidiga med eldrift var:

Helsingborg-Råå-Ramlösa Järnväg vars 8 km långa sträcka byggdes om till normalspår och elektrifierades med 650 V likström 1906. 1922 införlivades järnvägen i Helsingborgs spårvägsnät.

Norra Lidingö Järnväg var sedan trafikstarten 1907 elektrifierad. Den trafikerades med spårvagnar, men var koncessionerad som järnväg. Den lades ned 1971.

Saltsjöbanan elektrifierades 1913 men redan 1899 lämnade Union Elektricitäts Gesellschaft in en offert på en elektrifiering. Styrelsen för järnvägen ansåg dock att det bland annat var för dyrt.

Stockholm Södra Lidingöns Järnväg byggdes 1917 och var elektrifierad från starten.

Spårvägar

Spårvägarna hörde även till dem som var tidiga med elektrifiering. Det vanliga fram till sekelskiftet var att vagnarna var hästdragna. Det gick långsamt och vagnarna blev små eftersom hästarna bara kunde dra en mycket begränsad vikt. I enstaka fall förekom ångvagnar som dragfordon. De var billigare i drift och kunde givetvis dra mer i högre hastighet men ånglok i innerstan var varken populärt bland boende eller resenärerna. Detta gjorde elektriciteten till en välkommen nyhet. Mellan 1901 och 1914 elektrifierades alla spårvägar i Sverige. Sammanlagt har de funnits i 13 städer. De första elektriska spårvagnarna rullade den 5 september på Hornsgatan i Stockholm och före årsskiftet var hela Södermalm elektrifierat. Omkring 1910 var alla spårvägslinjer i Stockholm elektrifierade.

Av drygt 2300 elektriska spårvagnar som rullade i Sverige har de flesta tillverkats i landet, ASEA byggde 40 procent av dem. Vid högertrafikomläggningen 1967 lades de flesta av landets spårvägar ned. Idag har bara Göteborg, Norrköping och Stockholm delar av sitt forna spårvägsnät kvar.

Stambanans elektrifiering

Olika Strömsystem

SJ följde utvecklingen i USA och Europa. Framförallt studerade man ett lämpligt system för att elektrifiera längre sträckor med ett högt effektuttag. De privatbanor som hade elektrifierats med likström och en relativt låg spänning, upp till 750 V hade ett begränsat spårnät med låg trafik. Det fungerade väl men lämpade sig ej för högre effekter eftersom spänningsfallet i kontaktledningen skulle bli allt för stort. Det enda alternativet skulle då vara att installera likriktarstationer med bara få kilometers avstånd men det skulle bli orimligt dyrt.

Man hade inte heller möjligheten att höja spänningen eftersom man inte kunde tillverka motorer vars strömsamlare hade tillräckligt gnistfri gång.

Ett annat alternativ där man kunde få kraftfullare motorer var trefasssystem. Där hade man bättre möjlighet att bygga motorer för högre spänningar eftersom man inte behövde strömsamlare. Motorerna var helt enkelt synkronmotorer som alltid gick med konstant varvtal. En stor nackdel var att man behövde en komplicerad utväxling i vagnen för att kunna reglera hastigheten. Men den klart största nackdelen var det mycket komplicerade kontaktlednings-systemet. Man var ju tvungen att ha minst två kontaktledningar om den tredje fasen matades från rälerarna.

Det tredje systemet är högspänd, lågfrekvent enfas växelström. Stora fördelen är att det är mycket enkelt att transformera ned högspänningen till lämplig spänning i loket, oftast några hundra volt. Problemet var dock att man vid sekelskiftet ej kunde bygga enfasiga växelströmsmotorer lämpliga för lok. Först 1902 hade Westinghouse i USA en fungerande motor. Dock lämpade sig den endast för låga frekvenser. De som kom att användas var vanligtvis 15 Hz eller 25 Hz, snart även 16 2/3 Hz, där de två sista är halva respektive tredjedelen av nätfrekvensen.

SJ's försöksdrift

1905 elektrifierades linjerna Stockholm-Tomtebodavärmland och Tomtebodavärmland-Värmland. Linjelängden var 13,5 km och man använde frekvenser mellan 15Hz och 25Hz vid spänningar från 3 kV till 20 kV vid försöken. De utföll väl och för att kunna täcka elkraftbehovet köpte staten olika vattenfall för senare kraftverksbyggen.

Som första sträcka för elektrifiering valde man Malmmbanan, sträckan Kiruna-Riksgränsen. Trafiken var endast tung malmtransport jämt fördelat över dygnet. Man väntade sig att den skulle öka kraftigt vilket gjorde att man antingen skulle tvingas bygga ut banan eller effektivisera driften. Elektrifiering sågs då som ett lämpligt alternativ för att öka banans kapacitet.

1911 började arbetena. Vid Porjus i Lule älv byggdes ett kraftverk som matade ut 80 kV 15 Hz. Längs med hela linjen byggdes en överföringsledning som knöt samman de fyra transformatorstationerna. Man beställde även 15 ellok för tågdriften. 1915 startade eldriften och 1923 var hela Malmmbanan från Luleå till Narvik i Norge elektrifierad.

Problem vid fortsatt utbyggnad

Eldriften på malmmbanan fungerade väl men hur elektrifieringen skulle fortsätta var inte lika självklart. Stor kritik kom från teleteknikerna eftersom kontaktledningen gav upphov till stora magnetfält som störde telefonförbindelserna vilka i allmänhet gick längs med järnvägen. Man hade även haft problem med allt för höga induktionsöverspänningar. Detta hade man ej med likströmselektrifieringarna som hade gjorts innan.

Från kraftproducenterna kom också kritik för att de menade att SJ borde köpa sin el från allmänna elnätet och inte producera själv. Man tyckte att det skulle bli billigare och driftsäkrare.

De höga fälten kring kontaktledningen uppstår eftersom avståndet mellan den och återledningen, rälerna, är så stort. Fältet blir ännu större om den återgående strömmen lämnar rälerna och går i jorden i stället. Snart kom man på att fälten kunde minskas avsevärt om man isolerade rälerna och kontaktledningar i sektioner och installerade sugtransformatorer emellan dem. Det var dock inte tillräckligt än. Därför började man montera återledningar parallellt med matningsledningarna med sugtransformatorer emellan. Återledningarna var förbundna med rälerna. På det sättet hade telestörningarna sänkts till en acceptabel nivå.

För att kunna köpa el från det allmänna elnätet var SJ tvungna att omvandla den 50 periodiga spänningen till 15 perioder med hjälp av roterande omformare bestående av en synkron trefasmotor och en synkron enfasgenerator. Det var dock inte möjligt att framställa 15 Hz av 50 Hz utan man var tvungen att höja frekvensen till 16 2/3 Hz. Då har motorn tre gånger fler poler än generatoren.

Elektrifieringen fortsätter

Elektrifieringen blev en stor framgång. Restiderna ökade avsevärt, delvis för att loken gick fortare men framför allt för att man slapp fylla på vatten och kol med jämna mellanrum. I motsvarande grad ökade även trafikvolymen. Utbyggnaden fortsatte i rask takt. SJ ville göra sig oberoende av utländskt kol och utnyttja de inhemska vattenkrafttillgångarna.

1926 var sträckan Stockholm-Göteborg, 458 km, elektrifierad. Därmed hade SJ det mest omfattande nätet i Europa, 892 km.

1931 började man elektrifiera linjen Stockholm-Malmö. Under åren 1932-33 färdigställdes kontaktledningen på hela 863 km. Under depressionen på 30-talet spelade det också en stor roll att 1500 man sysselsattes med elektrifieringen.

Under andra världskriget intensifierades elektrifieringsarbetet eftersom Sverige inte kunde importera kol. 1942 var hela sträckan Trelleborg-Malmö-Mjölby-Krylbo-Riksgränsen elektrifierad. Med sina 2022 km var det världens längsta sträcka fram till 1970-talet då Transsibiriska järnvägen elektrifierades. Fram till 70-talet fortsatte elektrifieringen men dock i avtagande takt. Så sent som på 60-talet hade Sverige världens mest omfattande elnät.

Dagens elnät

Av Sveriges 9800 km järnvägar är 7300 km elektrifierade, vilket gör att Sverige fortfarande hör till de länder som har störst andel av totala nätet elektrifierat.

De stora projekten för tillfället är utbyten av stora delar av de mindre roterande omformarna samt förstärkningar av kraftmatningen. Effektbehovet har ökat kraftigt sedan 80-talet. Många stora omriktarstationer med statiska omriktare byggs och binds samman via ett 130 kV 16 2/3 Hz enfasnät. Detta nät matar sedan flera små transformatorstationer som kan göras enkla och billiga.

Teknisk beskrivning av Banverkets elmatningssystem

Kontaktledningssystemet

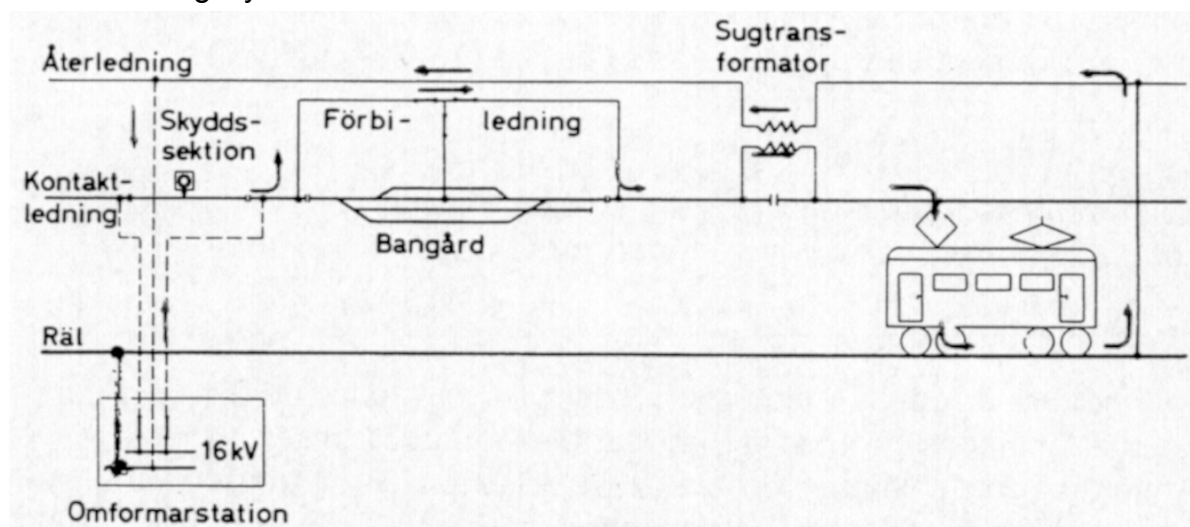


Fig. 1. Princip för strömvägar.

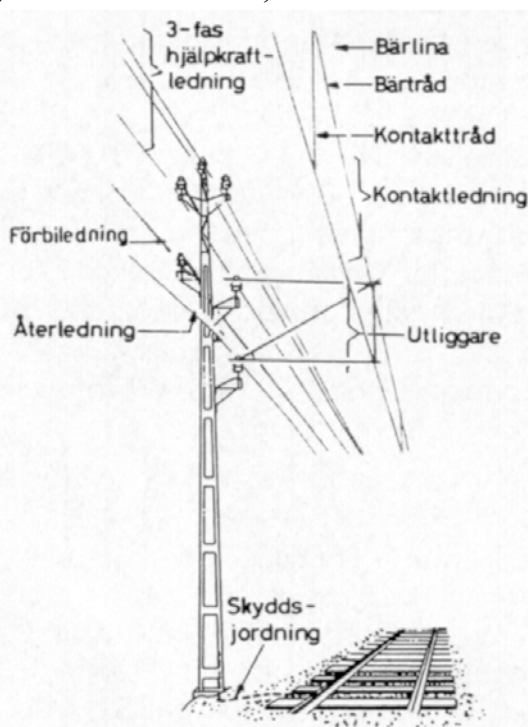
Strömmen matas från omformarstationen till kontaktledningen. I vissa fall kan denna förstärkas med en separat ledning som är upphängd i kontaktledningsstolparna. I kontaktledningen kan vissa avsnitt stängas av för sig, sektioneras. Till exempel kan det finnas en förbiledning kring en bangård för att spänningen där ska kunna brytas utan att hela avsnittet som matas av omformarstationen för den skull blir spänningslös.

Mellan kontaktledningsavsnitt som kan ha olika spänningar finns skyddssektioner. Dessa är så långa att det inte ska föreligga någon risk att ett lok, om det har flera strömavtagare uppfällda, kan överbrygga denna. Skyddssektioner förekommer till exempel vid matningsstationer men även på andra ställen där kontaktledningen är sektionerad.

Fig. 2. Kontaktledningsstolpe av stål.

Från kontaktledningen tar loket strömmen med hjälp av strömavtagaren. Sedan transformeras den ned till lämplig spänning i loket för att därefter passera någon form av styrutrustning för motorerna. I dag är tyristor- eller transistorstyrning vanligast, men även olika typer av kontaktorpådrag förekommer. Därefter passerar strömmen motorerna för att sedan via axlar och hjul ledas till rälen. Oftast är återledningen inte rälen återledningen till matningsstationen utan man använder separata återledningar som är förbundna med rälen.

Kontaktledningen består av kontakttråden som med hjälp av bärtrådar hänger i bärlinan. Detta för att kontakttråden inte får variera i höjdlängd utan måste vara jämnt spänd. Lokets strömavtagare trycks med hjälp av tryckluft upp mot kontaktledningen. På strömavtagaren



sitter toppstycket som håller fast en kolslitskena. Denna ligger an mot kontakttråden och ger möjlighet att pålitligt överföra ström även i hastigheter på flera hundra km/h.

I kontaktledningsstolparna sitter även återledningen, en ledning som är parallellkopplad med rälen. Oftast sitter det även en hjälpkraftledning som för det mesta har 3 fas 50 Hz högspänning för matning av belysning, byggnader och andra förbrukare längs med banan. En förbiledning som överbryggat ett kontaktledningsavsnitt kan även hänga i stolparna. Ibland syns även tele- och andra signalkablar där. Stolparna och alla andra metallföremål är alltid jordade i rälen, dels om ett fel skulle uppstå i anläggningen men även mot spänningar som kan induceras av kontaktledningsspänningen.

Matningsstationer

Vid den första elektrifieringen, Malmbanan, 1910-1923, hade järnvägsstyrelsen fortfarande avsikten att all el för järnvägen skulle genereras i därför avsedda kraftverk med rätt frekvens från början. I Porjus kraftverk satt generatorer för 15 Hz enfasis spänning vilken sedan transformerades upp och matades till transformatorstationer placerade längs med linjen som återigen transformerade ned spänningen till kontaktledningsspänning. Dock växte sedan det allmänna elnätet i rask takt, trefassystemet gjorde överföring över långa sträckor möjligt, därför gick man sedan över till att omvandla trefasig spänning med 50 Hz till enfasis med 16 2/3 Hz.

Idag omvandlas all el till banmatningen från det allmänna trefasiga elnätet. Banverket använder två system för att omvandla denna trefasiga spänning med frekvensen 50 Hz till kontaktledningssystemets frekvens 16 2/3 Hz. Dessa är roterande omformare och statiska omriktare. Mellan omformar- eller omriktarstationerna kan avstånden vara upp till ca 100 km. I takt med ökande trafik och ökade tågvikter har dock elförbrukningen ökat och därmed blev avstånden mellan inmatningspunkterna för stora. Alternativen var att antingen bygga fler omriktarstationer eller bygga högspända överföringsledningar med få stora omriktare och enkla transformatorstationer längs med linjen. Den nominella kontaktledningsspänningen är 15 kV, dock brukar man mata ut 16,5 kV för att spänningen inte ska bli för låg genom spänningsfallet i kontaktledningen. Ett kontaktledningsavsnitt mellan två matningsstationer matas vanligtvis från båda hållen med en så kallad zongränsbrytare på mitten. Om kontaktledningen blivit spänningslös slår brytaren från efter en viss tid och sektionerar därmed avsnittet i två delar. Den slår först till igen om spänningen återkommer på båda sidorna om brytaren och faslikhet råder. På så sätt begränsas den spänningslösa kontaktledningen vid ett eventuellt fel till ett kortare avsnitt. Zongränsbrytaren slår även ifrån om den passerar av en allt för snabbt stigande ström. Även här är det av största vikt att skyddssektioner finns, annars skulle stora skador på fordon som överbryggat ett spänningssatt och ett kortslutet kontaktledningsavsnitt kunna uppstå. Skyddssektioner kan normalt vara spänningssatta vid normal drift. Vid ett fel i angänsande kontaktledningsavsnitt görs skyddssektionen automatiskt spänningslös.

Idag fördelar sig den utmatade effekten på följande sätt:

450 MVA i självkommuterade omriktare fördelat cirka 35 aggregat.

250 MVA i direktomriktare fördelat på cirka 16 aggregat.

530 MVA i omformare fördelat på 85 aggregat

Totalt ca 1200 MVA utmatad effekt.

Siffrorna är ungefärliga och syftar mest till att ge ett förhållande mellan de olika aggregattyperna. Ett elektrolok har typiskt 3,6 MW (Rc), dock förbrukas denna effekt endast vid maximalt pådrag vilket endast sker under en mycket liten tid av driften.

Omformarstationer

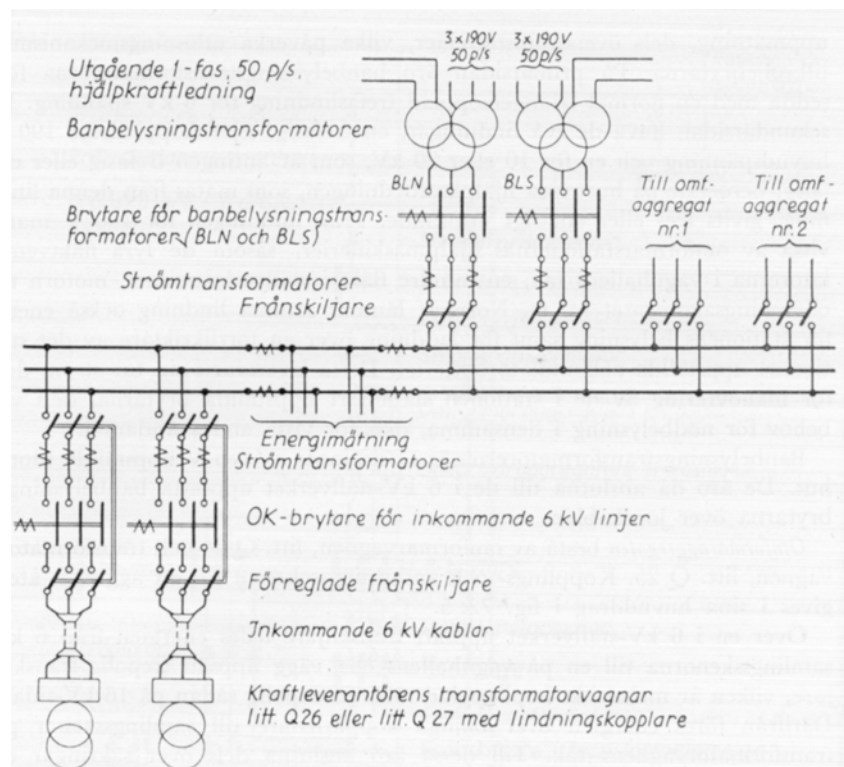
I en omformarstation omvandlas inkommande 50 Hz till 16 2/3 Hz med hjälp av roterande omformare. Anmärkning: I följande text används uttrycken frånskiljare och brytare. Det förstnämnda är en anordning för att frånskilja en krets manuellt. En brytare slår ifrån automatiskt, den kan närmast liknas vid en dvärgbrytare, även kallad automatsäkring.

Uppbyggnad

En komplett omformarstation består i princip av följande komponenter: En transformator som transformerar ned den inkommande högspänningen till lämplig spänning för omformarna, sedan själva omformaren och därefter en transformator som transformerar upp omformarens sekundärspänning till kontaktledningsspänningen.

Fig. 3. Huvudkopplings-schema för 6 kV-ställverk.

Spänningen på den inkommande högspänningsledningen är vanligtvis 220, 130, 70 eller 50 kV 3 fas. Denna spänning transformeras sedan ned till 6,3 kV vilket är den matningsspänning omformarna är avsedda för. Nedtransformeringen sker antingen utanför omformarstationen, hos kraftleverantören i en transformatorstation intill, eller i omformarstationen, det vanliga förfarandet vid bergstationer. Via frånskiljare leds strömmen in i omformarstationen.



Där matas dels omformarna men även övrig utrustning, till exempel transformatorer för hjälpkraften. I stationen finns även manöverutrustning för omformarna.

Via frånskiljare i ställverket är omformarens transformatorvagn ansluten till 6,3 kV trefasig spänning. Utspänningen från omformarens generator transformeras sedan upp till kontaktledningsspänning för att därefter passera skyddsutrustning, bland annat linjebrytaren som har till uppgift att slå ifrån vid en kortslutning på kontaktledningsnätet. Då dock ledningsimpedansen kan vara så hög strömmen som flyter vid en kortslutning inte är högre än vid normal last finns mätutrustning som studerar strömmens egenskaper och med hjälp av dessa skiljer felströmmar från de normala lastströmmarna.

Efter ett frånslag gör linjebrytaren försöksåterinkopplingar med ett visst antal sekunders mellanrum då största delen av kontaktledningsfelen är temporära.

Utförande

Omformarstationerna har byggts i ett antal olika utföranden. De första byggdes på västra stambanan, sträckan Stockholm – Göteborg och södra stambanan, Stockholm - Malmö.

Dessa tidiga omformarstationer hade stationära omformare. De var 11 till antalet och togs i drift mellan 1925 och 1933. Därefter byggdes endast stationer för mobila omformare, det första aggregatet levererades 1934 och det sista 1978.

Det fanns flera skäl till att omformarna gjordes mobila. Ett viktigt skäl var för att möjliggöra ett rationellt underhåll. Man kunde flytta på enheterna vid större reparationer. Tidigare var man tvungen att ha en stor travers i omformarstationen för att kunna lyfta aggregaten vilket medförde en mycket stor byggnadsvolym per installerad MVA omformareffekt. Man ville även kunna gruppera om aggregaten beroende på effektbehovet på de olika linjerna.

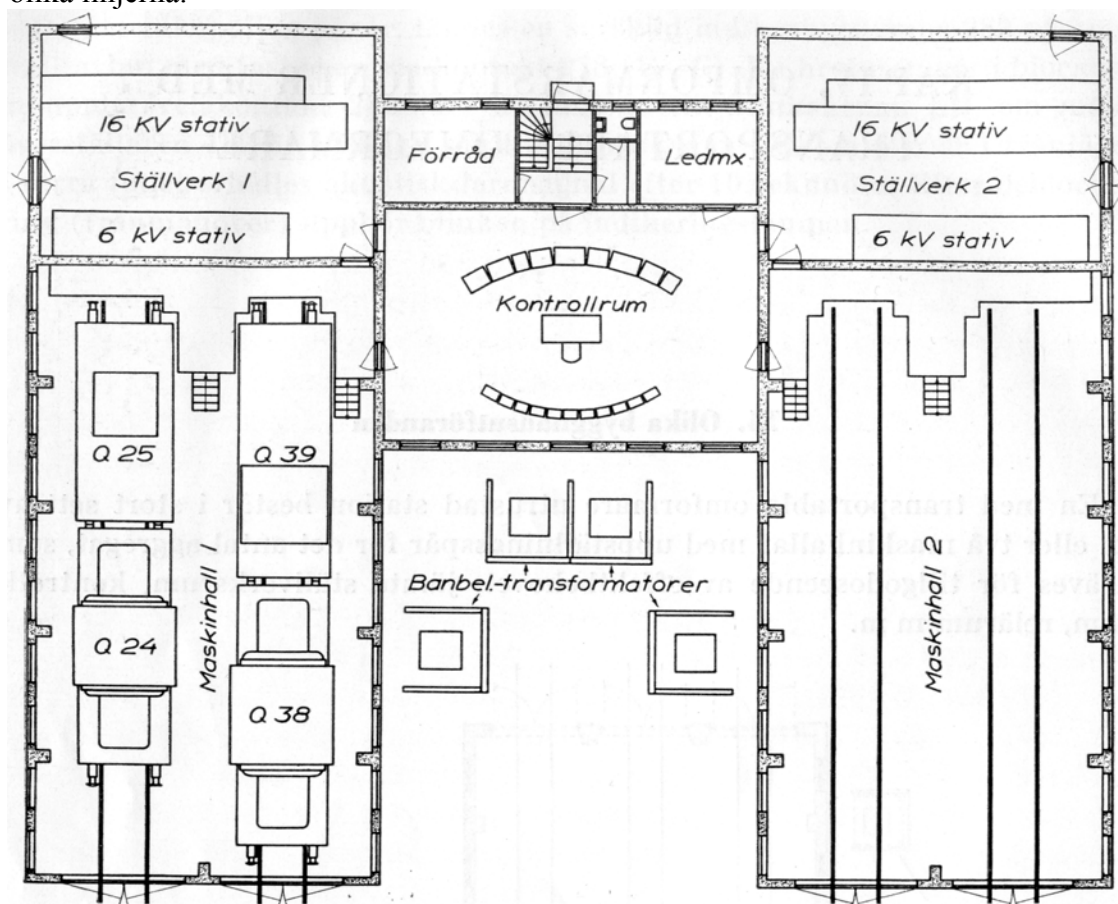


Fig. 4. Plan av fullt utbyggd omformarstation typ V.

De tidiga mobila omformarna hade samma effekt som de stationära. Snart var dock även detta för lite och på 1940-talets början gick man över till att bygga ännu större stationer, typ V, dvs. den 5:e generationen omformarstation. Det är denna typ som visas på bilden ovan och får tjäna som exempel på en omformarstation. I princip består stationen av en eller två maskinhallar med spår som aggregaten står på. Längst in finns en plattform som möjliggör insteg i plan till transformatorvagnarna. I taket sitter stora luftutsläpp för omformarnas kylning. I anslutning till maskinhallen finns ställverk som innehåller fränksiljare och brytare samt ett kontrollrum. Tidigare var omformarstationerna bemannade, idag fjärrstyrs dock samtliga från eldriftcentraler, speciella ledningscentraler som övervakar alla matningsstationer inom ett område och även brytare, kopplingscentraler och annan utrustning. Eldriftcentralerna ligger vanligtvis i anslutning till fjärrblockeringscentralerna, centralen varifrån tågtrafiken övervakas och ställverken ute på stationerna styrs.

I och med införandet av den sista generationen roterande omformare på 1950-talet började man bygga omformarstationer i berg. Detta för att man ville ha en mer skyddad uppställning för aggregaten. Idag byggs dock omriktarstationer som separata byggnader igen.

I vissa fall har man dock utnyttjat befintliga omformarstationer om de lades ner i samband med installationen av omriktaren.

Omformare

Knappt hälften av banmatningsströmmen genereras med hjälp av roterande omformare. Idag är endast mobila aggregat i drift. De består av en transformatorvagn, den högra och en omformarvagn, den vänstra. Omformarna finns i tre olika grundtyper som skiljer sig i fråga om utmatad effekt. På bilden är Q24/Q25 överst, under Q38/Q39 och Q48/Q49. Det högre numret är beteckningen på transformatorvagnen.

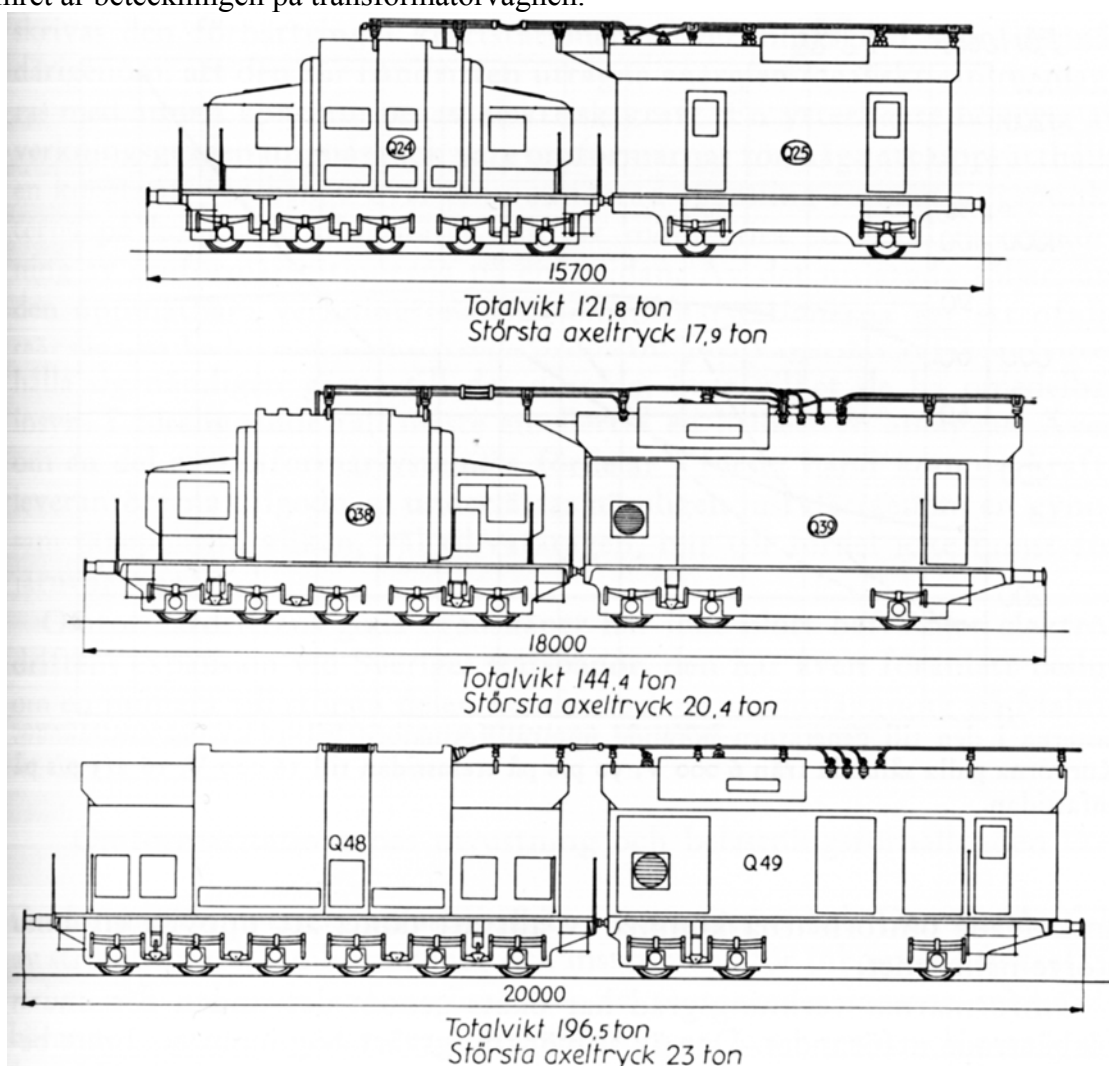


Fig. 5. Huvuddimensionerna för mobila omformare.

Tabell 1. Huvuddata för mobila omformare.

Genom omlindningar och andra förbättringar har effekten på Q24 höjts från 2,4 MVA och på Q38 från 4 MVA. Genom senare ombyggnader kan även aggregatens vikt skilja sig från den ovan angivna. De stationära omformarna hade 2,4 MVA och i övrigt liknande uppbyggnad som Q24.

	Q24/Q25	Q38/Q39	Q48/Q49
Uteffekt	3,1 MVA	5,6 MVA	10 MVA
Antal tillverkade	66 st	48 st	21 st
Antal i drift.	16 st	48 st	21 st
Tillverkningsår	1934-1944	1945-1959	1958-1978
Ungefärlig vikt	122 ton	144 ton	197 ton
Längd	15,7 m	18,0 m	20,0 m

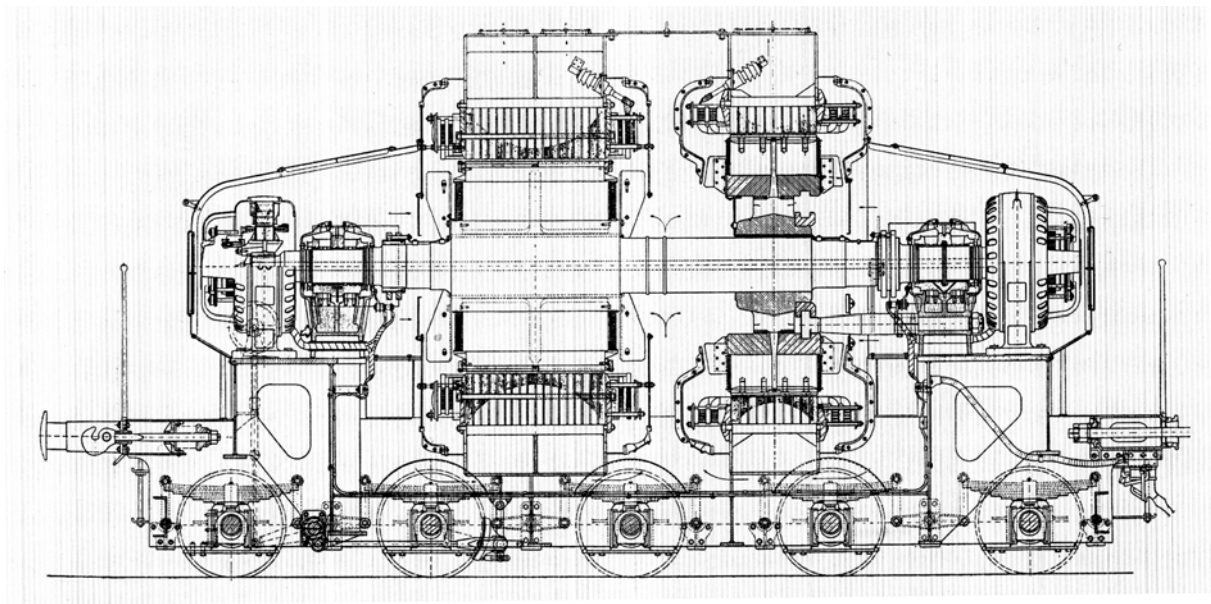


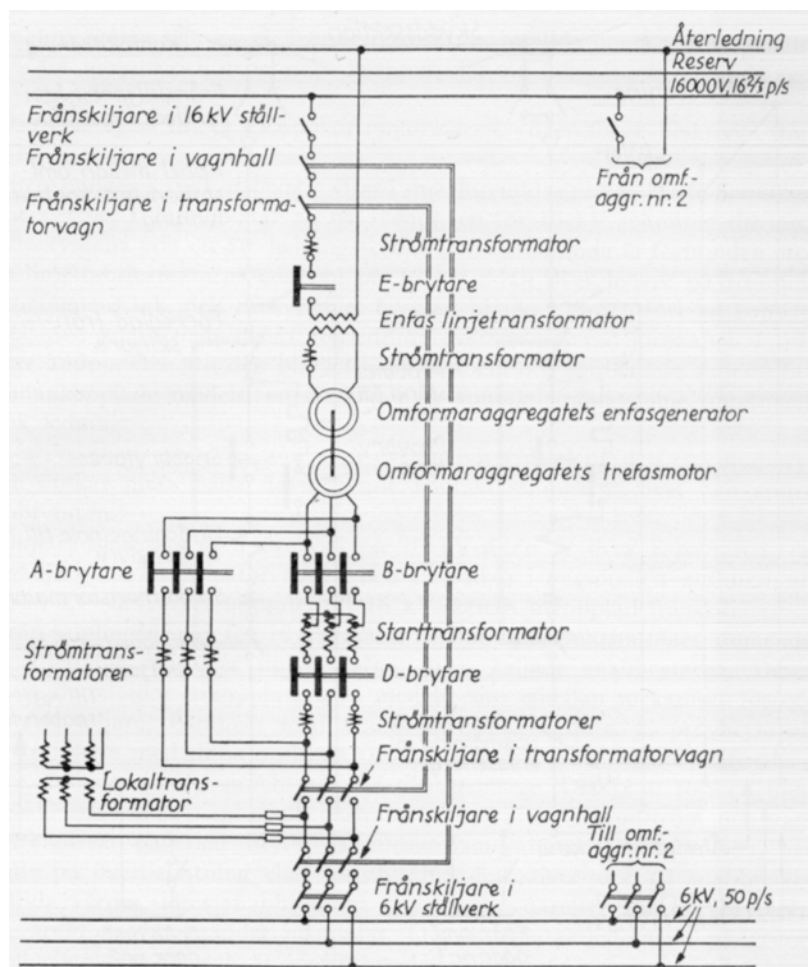
Fig. 6. Sektion av omformare litt. Q24.

Omformaren består av en trefasig synkronmotor och en enfasig synkrongenerator som sitter på samma axel. Motorn är antingen sex- eller tolvpolig, generatoren två- eller fyrfasig. Fältströmmarna till synkronmaskinerna genereras i likströmsmaskiner som sitter på omformarens axel. I ritningen visas en Q24. Från vänster syns matarmaskinen till motorn, axellagret, motorn, generatoren, axellager och generators matarmaskin.

Fig. 7. Huvudkopplings-schema för Q24/Q25.

Transformatorvagnen innehåller en transformator som transformerar upp den enfasiga 16 2/3 Hz spänningen, som generatoren lämnar, till kontaktlednings-spänning. Även brytare och hjälputrustning, som t.ex. fjärrstyrningsapparater och övervakningsutrustning, är monterade i transformatorvagnen.

De roterande omformarna utmärker sig genom vissa fördelar: En unik egenskap är att det matande nätet är helt skilt från kontaktledningsnätet. Detta gör att störningar i princip inte överförs alls. Rotorns stora massa för också med sig att plötsliga variationer i belastningen inte fortplantas till matningen. Nackdelen med



rotorns stora rörelseenergi är att den tar några minuter att starta och stoppa. Genom att omformaren drivs av en trefasmotor blir belastningen på trefasnätet helt symmetrisk. Spänningsfall kan kompenseras genom att synkronmotorn producerar reaktiv effekt. På enfassidan provades detta några månader kring årsskiftet 1997-1998 i närheten av Mora genom att en omformare ställdes upp med bara generatoren inkopplad som motor.

Roterande omformare har en mycket god överbelastningsförmåga, även under förhållandevis lång tid. Deras driftsäkerhet är bättre än för de statiska omriktarna, främst beroende på att de inte skadas av transienter och andra störningar. De kräver ungefär lika lite underhåll som omriktare. Däremot är verkningsgraden sämre än för omriktare, ca 88 % mot 94 %. Man har dock förbättrat verkningsgraden genom att minimera "tomgången". Med hjälp av datorer görs automatiskt prognoser som uppskattar hur mycket effekt som behövs och då startar upp respektive stoppar omformare vid behov. Alla omformare kan återmata energi till trefasnätet.

Ett skäl till att antalet roterande omformare har minskat är främst att Q24 har för låg effekt. Det finns dock inga planer på att minska ned på antalet Q38 och Q48. Tvärtom genomgår de upprustningsprogram för att kunna tjänstgöra i flera decennier till. Det finns till och med konkreta planer på att bygga åtminstone två nya omformarstationer för användning av befintliga aggregat när dessa ersätts av omriktare på annat håll.

Ett annat skäl till att omformarstationer lagts ned och de däri befintliga omformarna flyttats om till andra stationer är att det är svårt att samköra omriktare och omformare i det enfasisga 130 kV nätet.

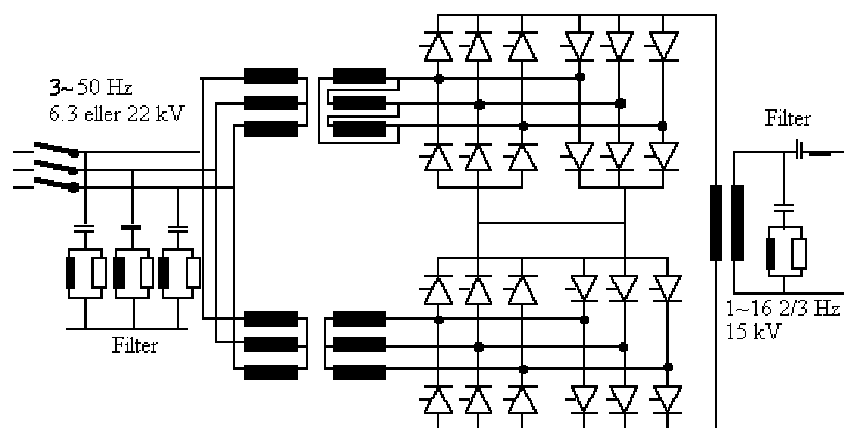
Omriktarstationer

1972 installerades den första omriktaren för banmatning i Moholm. Den hade en effekt på 6 MVA och var i provdrift i några år tills den monterades ned igen. Försöken resulterade i att omriktaranläggningar med en effekt på 2*15 MVA vardera installerades i Moholm och Hallsberg mot slutet av 1970-talet. Efter detta har endast statiska omriktare ändvånds vid nybyggnationer av matningsstationer. Idag är den installerade effekten på cirka 700 MVA.

De två typer som används är dels direktomriktare, ca 250 MVA installerad effekt, och självkommuterade växelriktare, 450 MVA installerad effekt. Den vanligaste aggregatstorleken är 15 MVA. Oftast sitter det två sådana i varje station, men ett och tre förekommer också.

Fig. 8. Matningsstation med direktomriktare.

De tidiga omriktarna var direktomriktare. Den omriktarkoppling som används är en 12-pulskoppling då den ger lägre övertoner än motsvarande 6-pulskoppling. Utspänningen från omriktaren transformerar sedan upp till 16,5 kV och matas ut till kontaktledningen. Vid användning av direktomriktare måste det matande nätet ha en hög kortslutningseffekt, annars måste filter mot spänningsövertoner installeras. Filtren på trefassidan har även till uppgift att generera reaktiv effekt då omriktarens konsumtion av reaktiv effekt är hög. Direktomriktaren kan återmata till trefassidan.



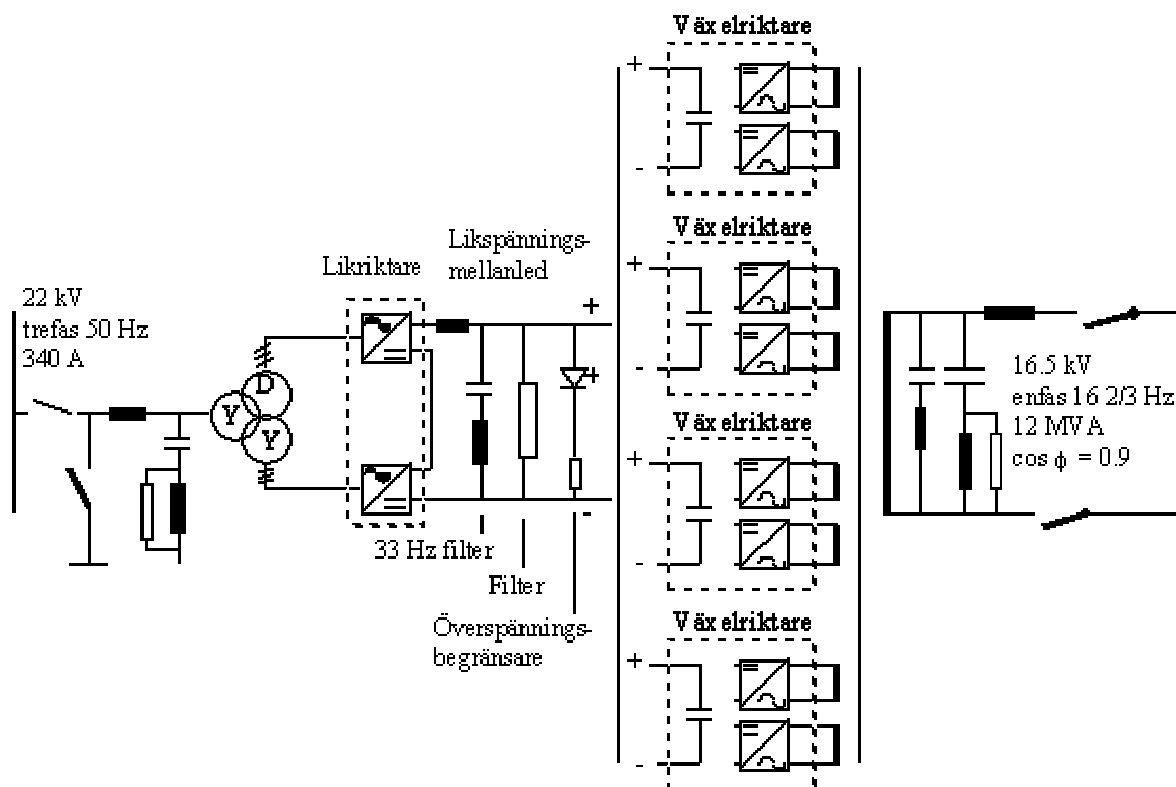


Fig. 9. Matningsstation med självkommuterade växelriktare.

Den andra typen av omriktare som används är den självkommuterade växelriktaren, även kallad mellanledsomriktare. Där likriktas spänningen först i en tolvpulslrikriktare varefter den filtreras och sedan hackas upp i växelriktaren. Denna är utrustad med GTO-tyristorer. Flera växelriktare kopplas parallellt för att ge tillräcklig effekt. Samtidigt förskjuts utspänningen från var och en av växelriktarna så att en bättre kurvform erhålls på enfassidan. Mellanledsomriktaren har en ringa reaktiv effektförbrukning och ställer inga speciella krav på det matande nätetts kortslutningseffekt. För att möjliggöra återmatning till trefasnätet måste omriktaren ha en växelriktare på trefassidan. Idag har mellanledsomriktare trängt ut direktomriktarna helt vid nyinstallationer. Den senast byggda anläggningen är i Olskroken utanför Göteborg, driftsatt år 2000.

Omriktarnas fördelar är den höga verkningsgraden, omkring 94 % samt att det kan startas och stoppas mycket snabbt. Att samköra flera omriktare via 130kV enfasnätet går också bra.

Deras nackdelar är främst att det behövs omfattande filter för att inte överföra störningar från främst sekundär- till primärsidan men även vice versa. De är även känsliga för överströmmar som kan skada halvledarna. Deras överbelastningsförmåga är betydligt sämre än för omformare då de inte lagrar energi.

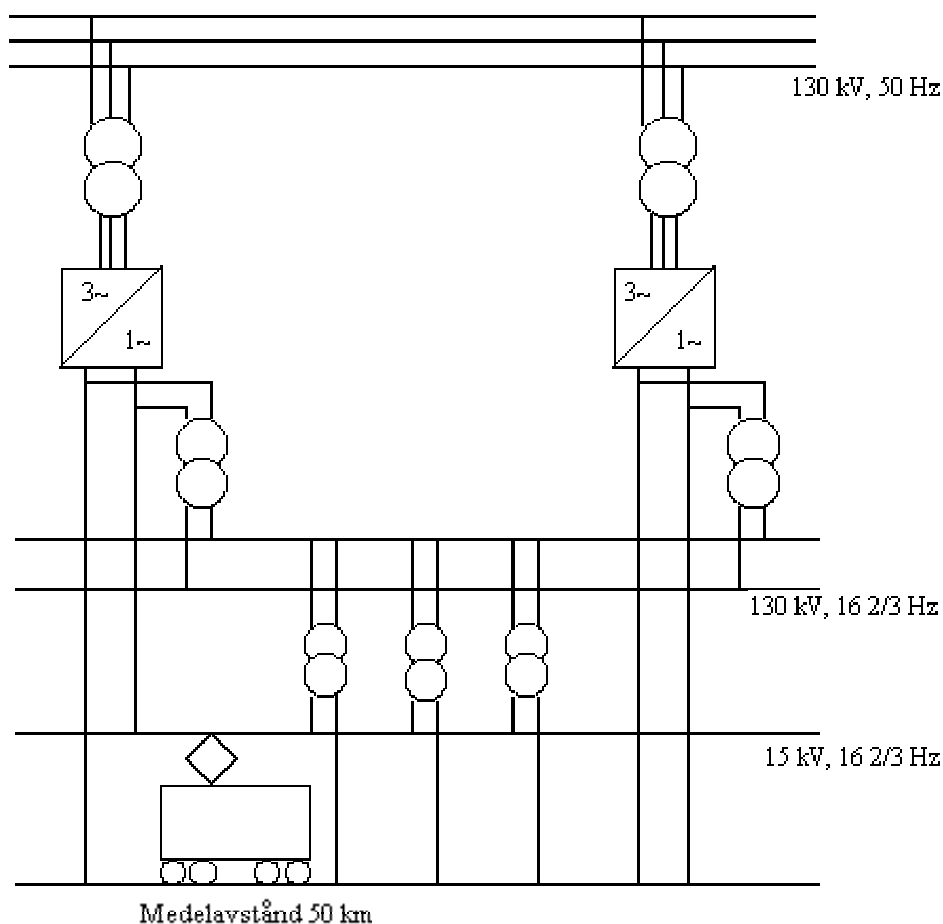


Fig 10. Banmatningssystem med en 16 2/3 Hz, 130 kV matningsledning.

Dagens tågtrafik ställer allt högre krav på matningens effekt vilket gör att antalet inmatningspunkter i kontaktledningen måste ökas på många ställen. Omriktarstationer är mycket dyra, därför har man under det sista decenniet börjat bygga högspända enfasiga överföringsledningar.

Omriktaren matar ut 16 2/3 Hz enfasig spänning vilken sedan transformeras upp till 130 kV. Denna spänning distribueras sedan i separata överföringsledningar till transformatorstationer längs med linjen. Dessa byggs med cirka 50 kilometers inbördes avstånd. På detta sätt kan man öka den utmatade effekten med fortsatt få omriktarstationer och med en låg kontaktledningsimpedans då man har många inmatningspunkter. 130 kV överföringsledningarna är mittpunktsjordade.

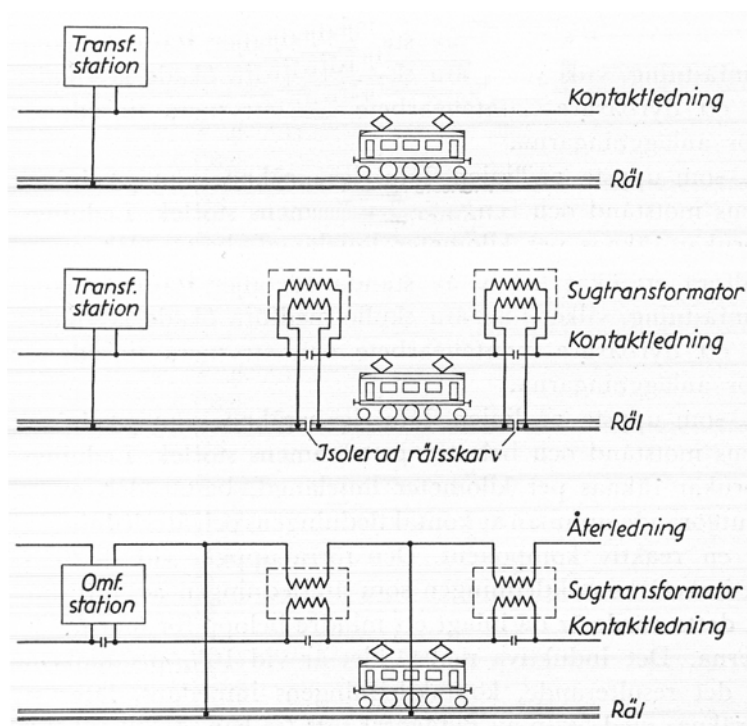
Strömåterledning

Fig. 11. Principschema för sugtransformatorers inkoppling.

I idealfallet leds strömmen från matningsstationen via kontaktledningen till fordonet och tillbaka via räler eller återledningen. Då dock rälerna ligger på marken kan strömmen i princip ta vilken väg som helst. Detta ger flera problem, det tidigast uppmärksammade och största problemet var de kraftiga störningar som förorsakades i teleledningarna som gick parallellt med banan. Ett annat problem är att strömmen kan ta sig tillbaka via vattenledningar, staket och liknande.

I översta bilden sker återledningen endast via rälen. I bilden under har en sugtransformator kopplats in mellan räl och kontaktledningen. Transformatorn är en strömtransformator med omsättningen 1:1. Primärlindningen är i serie med kontaktledningen och sekundärlindningen i serie med återledaren, i detta fall rälen. Detta tvingar strömmen in i rälen då samma ström måste gå i primär och i sekundärlindningen. Men hjälp av detta har man minskat problemen men fortfarande får man störningar i närliggande svagströmsledningar. För att ytterligare minska dessa hänger man en återledning i kontaktledningsstolparna och tvingar in returströmmen dit. Typiska avståndet mellan sugtransformatorerna är ca 5 km. Idag används sugtransformatorer på större delen av det elektrifierade järnvägsnätet, de flesta linjer har även separat återledning. På sträckor med lite trafik förekommer det dock fortfarande att sugtransformatorer inte är installerade. Nackdelen med sugtransformatorer är att de ökar ledningsimpedansen och därmed kontaktledningens effektöverföringsförmåga. En annan nackdel med sugtransformatorer är de innebär ett avbrott i kontaktledningen vilket kan ställa till med ljusbågar vid höga hastigheter.

En annan möjlighet till att tvinga returströmmen upp ur rälerna är att använda autotransformatorer. Systemet bygger på att en negativ spänning som ligger i motfas med matningsspänningen används. Kontaktledningen är ansluten till matningen på vanligt sätt. Mellan kontaktledning och den negativa matningen är spänningen den dubbla kontaktledningsspänningen. På ett avstånd av ungefär 5 km sitter spartransformatorer mellan dessa båda mittpunkter ansluten till rälen.



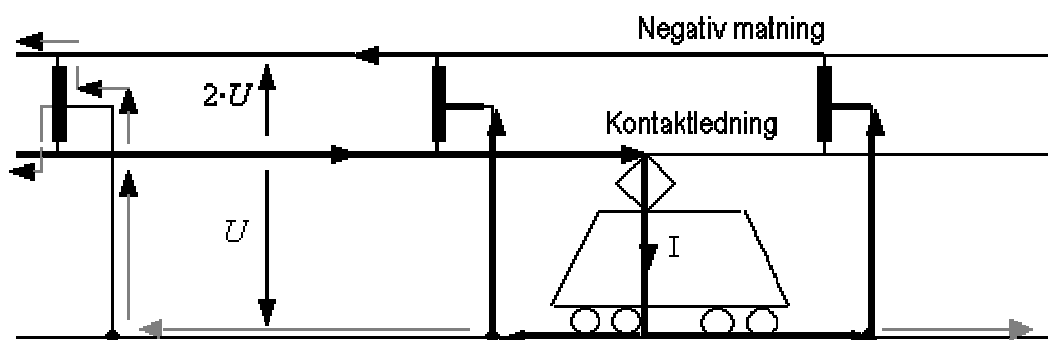


Fig. 12. Matningssystem med autotransformator.

Autotransformatorsystemet ger ett lägre spänningsfall och därmed möjlighet till högre utmatad effekt och större avstånd mellan matningsstationerna. Genom att mäta strömmarnas förhållande vid två intilliggande transformatorer kan man relativt exakt fastställa var en kortslutning skett. Dessutom kan fastställas om kortslutningen skett mellan kontaktledning och återledare, kontaktledning och jord eller mellan återledare och jord. Nackdelen är att systemet inte minskar störningar lika effektivt som sugtransformatorer.

Autotransformatorsystemet är i drift vid malmbanan och planeras på fler platser i landet. Installationen kräver dock en stor ombyggnad av matningen.

Litteraturförteckning

- Aghult, Kjell/Lind, Lars Olof/Sandin, Gunnar, Järnvägsdata (Stockholm: Svenska Järnvägsklubben, 1999)
- BVF 050 Allmänna elskyddsföreskrifter för Banverkets fasta högspänningsanläggningar, (Banverket, 1990)
- Dahlander, Robert, "Utredningar och försök rörande införande af elektrisk drifkraft.", i: Welin, Gustav, ed., Statens Järnvägar 1856-1906 (Stockholm: Järnvägsstyrelsen, 1906) band III, s 353-375.
- Dalborg, Björn/Larsson, Lars-Henrik/Möller, Kurt, Roslagsbanan 100 år (Stockholm: AB Storstockholms Lokaltrafiks Järnvägar /Malmö: Frank Stenvalls Förlag, 1985).
- Diehl, Ulf/Nilsson, Lennart, Svenska lok och motorvagnar (Stockholm: Svenska Järnvägsklubben, 1997).
- Grundstedt, Ove/Nordin, Tore/Wretman, Lennart, Svenska Ellok (Stockholm: Svenska Järnvägsklubben, 1998).
- Karsberg, Å., Lärobok i elektroteknik för Statens Järnvägars personal Del 1, (Stockholm: Järnvägsstyrelsen, 1945).
- Larsson, Axel, Lärobok i elektroteknik för Statens Järnvägars personal (Stockholm: Järnvägsstyrelsen, 1929).
- Lundberg, Rune, Lärobok i elektroteknik för Statens Järnvägars personal Del IV Omformarstationer, (Stockholm: Järnvägsstyrelsen, 1959).
- Rönn, Göran, Elektrifieringen av Svenska Järnvägar. Motiv för val av system (Stockholm: KTH Institutet för teknikhistoria, 1978).
- Statens Järnvägar 1906-1931 (Stockholm: Järnvägsstyrelsen, 1931).
- Stockholms Spårvägar 1877-1927 (Stockholm: Aktiebolaget Stockholms Spårvägar, 1927).
- Svensk statsbaneelektrifiering år 1942 (Stockholm: Järnvägsstyrelsen, 1942).
- Sveriges Järnvägar 100 år (Stockholm: Järnvägsstyrelsen, 1956).
- Thelander, Th., "Statsbanornas Elektrifiering.", i: Sveriges Järnvägar 100 år 351-460.
- Östlund, Stefan, Elektrisk Traktionsteknik, (Stockholm: KTH Institutionen för Elektrotekniska System, 1996).
- Överholm, I.A., "Elektrifiering och elektrisk drift.", i: Statens Järnvägar 1906-1931, band II, 727.

Övriga Källor

Uppgifter via telefon från tjänstemän på Banverket. Gäller främst vissa aktuella fakta.

Bildkällor

1. BVF 050 Bilaga 1, sid. 4.
2. BVF 050 Bilaga 1, sid. 6.
3. Karsberg. Å., sid. 293.
4. Lundberg, Rune, sid. 86.
5. Sveriges Järnvägar 100 år, sid. 409.
6. Karsberg. Å., sid. 147.
7. Karsberg. Å., sid. 295.
8. Östlund, Stefan, sid. 168 (fig. 10.15).
9. Östlund, Stefan, sid. 169 (fig. 10.16).
10. Östlund, Stefan, sid. 165 (fig. 10.11).
11. Karsberg. Å., sid. 308, egen komplettering av figuren.
12. Östlund, Stefan, sid. 173 (fig. 10.20 a.).