

Spårvagnsel



Ett historiskt perspektiv

De första spårvagnarna i Göteborg började byggas på 1870-talet. De öppna spårvagnar drogs sedan av hästar längs gatorna. Den 24 september 1879 invigdes en 2,4 km lång linje mellan Brunnsparken och Stigbergsliden för fyra hästvagnar. Med tiden tillkom linjerna som sammankopplade Brunnsparken med Getebergsäng, Redbergslid och Slottskogen. Från början tillhörde hela spårvagnsnätet ett engelskt bolag, men såldes till staden för £70000 och togs över av förvaltningen den 1 januari 1900. Under samma år försågs vagnarna med värmeapparater drivna av kolbrikett eldning. 1901-1902 byggdes det första elnätet för spårvägarna och därefter den 27 oktober 1902 öppnades ringlinjen samtidigt som hästspårvagnstrafiken upphörde i Göteborg.

För att kunna möta spårvägarnas nya energikrav anlades en ångkraftcentral baserad på kolförbränning. Den kraftstationen som togs i drift 1902 bestod av 3 likströmsgeneratorer 275 kW vardera, med en spänning 600 V. Varje generator var kopplad till en ångpanna med 200 m² eldyta. Utöver generatorerna fanns det buffertbatterier med en kapacitet av 444 Ah vid en timmas urladdning. Distribuerad energi uppgick till 1230 kW. Med tiden kopplades spårvägselnät till Trollhätte Kraftverk och ångkraftverket kom att fungera som reserv. Ovanjordsledningen var byggd av 65 mm² koppartråd som hängde i späntrådar av galvaniserad ståltråd som säkrades i husväggar och ledningsstolpar. Medelhastigheten på de viktigaste stadslinjerna var omkring 13 kilometer i timmen eftersom de första vagnarna var försedda med två 25 hk motorer [4]. Under 1960-talet höjde man spänningen i nätet till 750 V för att komplettera en ny idé om en "Snabbspårväg" genom Göteborg.

Miljöpåverkan

Spårvägens miljöpåverkan kommer huvudsakligen från tillverkningen av nya vagnar, då dessa tenderar att innehålla mycket plast. Miljöpåverkan från drift är dock betydligt mindre. Eftersom spårvägar är normalt drivna av elektrisk energi är driftpåverkan beroende på vilken sorts kraftverk som genererar energin som används. Göteborgs Spårvägar hävdar i sin miljöredovisningsrapport [5] att all driftelektricitet genereras av förnybara energikällor som vind, sol och bioenergi. Spårvägarnas drift har därför sägas ha en låg inverkan på naturen. Dock leder banunderhåll, kemikalie och avfallshantering, klottersanering och fordonstvätt till sina egna separata utsläpp. Spårvagn har även markutsläpp i form av flänssmörjningsfett, sand och kolstof, dock i relativt små mängder. Slutligen har spårvägarna en socialpåverkan då de genererar buller.

Funktionsprincip

De standardiserade nominella spänningarna för spårvagnar är 600 V, 750 V, 1500 V och 3000 V likström och 15 kV, 16,7 kV och 20 kV växelström [6]. 550-600 V likström levereras genom ledningar och förflyter genom rälsen. Kontakten med ledningen bibehålls genom tryck från strömavtagarens bas och vagnens chassi som är monterat på separata axlar. De motormonterade hjulen på en spårvagn bärs dels upp av axeln och dels av fjädderramen. Bromsarna kan vara antingen elektriska eller mekaniska och regleras manuellt av chauffören. Om spänningen i motorerna överskrider en viss gräns och blir maximal då kan motorerna överhettas till och med att börja brinna eller kortslutas. Därför används gradvis ökande spänning i motorerna genom motstånd där serie- parallellkopplade motstånd reglerar den dragande strömmen genom att justera motstånden på lämpligt sätt [7].

I praktiken används likström för spårvagnarna eftersom det löser problemet med varierande belastning orsakade av spårvagnarnas olika hastigheter [8]. Eftersom elektriciteten vanligtvis är tillgänglig som växelström behövs en likriktare för att omvandla växelström till likström. Likriktaren som används är en trefas likriktare. Den har en 96,77% effektivitet och utspänningen är 0,827 gånger amplitudvärdet av ingående växelström. Denna likströmsspänning har övertoner vilket avhjälps med lämpligt filter [9]. Aktiva filter tillsammans med passiva filter används för att kompensera övertoner i dragströmmen. Två sorters aktiva kraftfilter används: ett seriefilter (som fungerar som spänningskontroll) och en shuntfilter (som fungerar som strömkontroll). För att uppnå likströmsspänningar 500-600 V används spänningsomvandlare. Omkopplare som lagrar energi i induktorn (för att öka spänningen) är nödvändigt för spänningsomvandling annars skulle ingående spänning vara högre än utgående spänning och spänningsomvandlingen skulle misslyckas [10].

Förutom en spänningsomvandlare används också en positiv buck-boost DC till DC omvandlare i spårvagnarna. Dessa omvandlare har växlande strömcirkulerande tillstånd som överbygger strömstörningar till spårvagnarna. En annan fördel är att de lagrar energi i form av ström i en extra induktor. Den energin kan användas för att variera kraften spårvagnen behöver [10].

Trefas växelriktare används för att tillföra spänning till spårvagnens växelströmsmotor, den har en reaktiv komponent och de övertoner som belastningen kräver [11]. Några fördelar med växelriktare är att de blockerar låga spänningar i varje omkoppling, har hög spänningskvalitet i låga frekvenser och framförallt mindre elektromagnetiska störningar. Trefas växelriktare gör helt enkelt att trefas motorer skapar mindre läckspänning och därmed drar mindre spänning, vilket ger motorerna längre livstid. Trots dessa fördelar som nämnts är användningen begränsad p.g.a. beroendet av dragkraftsfaktorn minskas [12].

Ingående komponenter

Huvuddriftsomvandlaren driver spårvagnen tillsammans med växelströmsmotorer och kontrollenheten och har följande delar:

1. IGBT baserad trefas spänningsomvandlare med hög brytningsfrekvens
2. Kontrollsystem baserad på digital signalprocess som övervakar att processerna i spårvagnen upprätthålls och vidtar åtgärder om det inte är fallet.
3. Bromsenhet med förladdade ingående kontakter, vilket säkerställer en stark förbindelse mellan spårvagnen och bromsenheten.
4. Högfrekvent LC-filter som filtrerar övertoner.
5. Aktivt luftkylssystem håller temperaturen på lämplig nivå.

I kommunikationssyfte används linjärassisterad radiofrekvensförstärkare som använder omkoppling och linjära omvandlare som förstärker kommunikationssignalerna. Förstärkaren delar upp signalerna i höga och låga frekvenser och arbetar i enlighet med detta. Ju högre signalernas frekvens är, desto mer effektiv är förstärkaren [14].

Kontaktledningar i Göteborg.

Göteborgs spårvagns kontaktledningar består av 81 sektioner som är separerade med isolerskarvar. (se Bild 1) Ibland kan man också se frånskiljare som underlättar matningar mellan sektioner.

Sektioner matas från likriktarstationer. En likriktarstation kan mata en eller flera sektioner.

I Göteborg finns det 61 st. likriktarstationer som förser den 80 km långa kontaktledningsnätet med ström. Likriktarstationerna är i sin tur försedda med transformatorer som sänker ner spänningen innan den leds till likriktaren. Likriktarstationerna matas direkt från 10,5 kV regionala distributionsnätet (3-fas AC, 50 Hz).

Likspänning används fortfarande i Göteborgs nät då ett skifte till växelspanning skulle innebära att alla apparater, system och motorer måste bytas ut mot relativt dyra motsvarigheter. Vilket skulle resultera i en väldigt stor investering av både pengar och tid.



Bild 1. Kontaktledningen i centrala Göteborg.[1]

Elsystem i M31.

I spårvagnsmodellen M31 (Bild 2) tas strömmen via kontaktledningen via strömvtagaren till LS-linjbrytaren (fig.1). Från linjbrytaren förflyttar strömomriktarna via en induktans. Linjbrytaren behövs för att bryta ner felströmmar. Induktansen fungerar som övertonsfilter. I LS-omriktaren används en diod som stoppar urladdningar av kondensatorerna vid eventuella kortslutningar. Tyristorns uppgift i LS-omriktaren är att styra motorströmmen. En spårvagn av typen M31 har två motorboggier. På varje motorboggie finns två traktionsmotorer där motorernas rotorlindningar är seriekopplade. Varje motor är separatmagnetiserad växelströmmotor med 75 kW effekt och märkspänning 320 V.



Bild. 2. M31 spårvagn.[1]

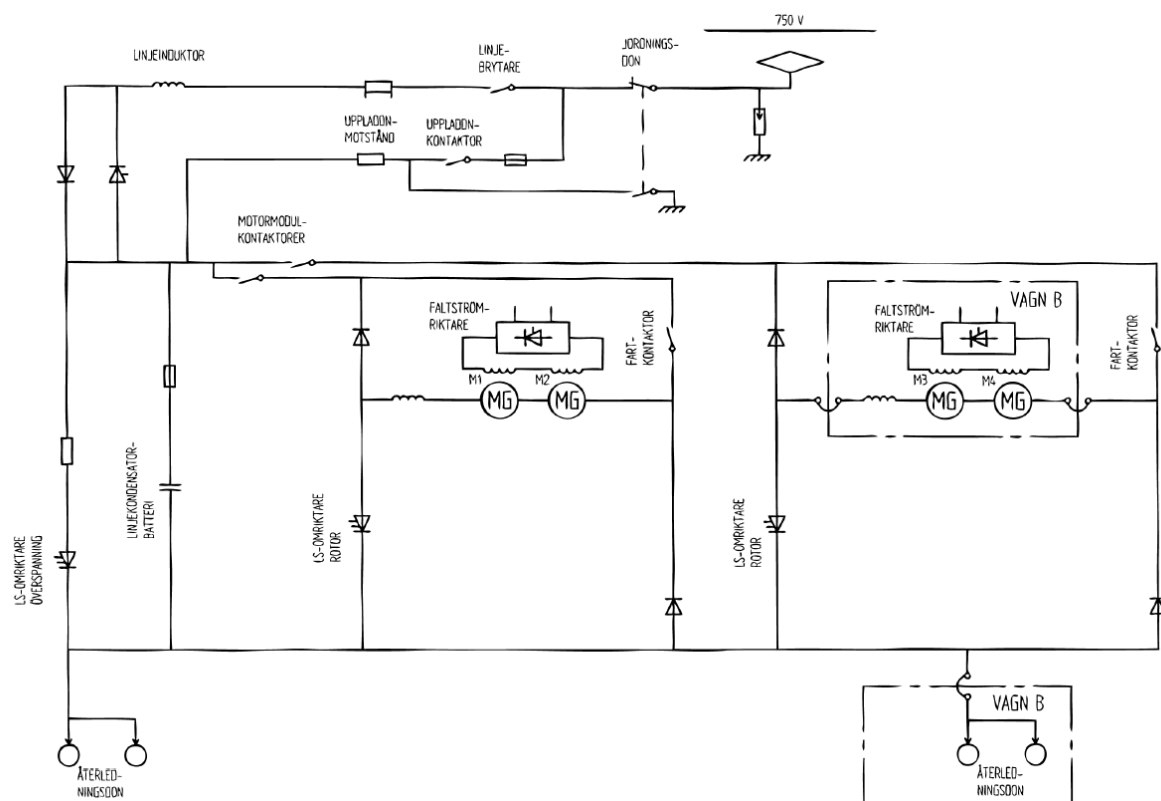


Fig.1. M31 kopplingsschema.[2]

För att förse annan elektrisk utrustning (belysning, fläktar, ventilation mm) med energi används en hjälpkraftsomriktare som avger 24 V växelström vid 50 Hz. [3]

Bromssystemet

I M31 spårvagnen används elektriska och mekaniska bromsar. Vid låga hastigheter är det lämpligt att använda elektriska bromsar som omvandlar rörelseenergi till elektrisk energi och för över denna energi till kontaktledningsnätet eller omvandlar till värme i ett bromsmotstånd. Detta styrs av en överspänningsomriktare som placeras i serie med ett bromsmotstånd. Användningen av elektriska bromsar också minskar slitaget på den mekaniska bromsen.

En annan typ av bromsar som används som panikbroms eller hjälpbroms om hjulen i vagnen börjar slira i nedförsbackar är skenbromsar. Skenbromsar består av en spole lindad runt en järnkärna.

Eventuella arbetsuppgifter för en högskoleingenjör.

En högskoleingenjör med planer att jobba inom spårvägsbranschen kan förvänta sig arbetsuppgifter så som, reparation och underhåll av vagnar och likriktare.

Men även i utveckling av mer effektiva och säkra system.

En nyexaminerad ingenjör ska också kunna bemöta samhällets behov och lösa framtidsproblem utifrån dagens miljöperspektiv.

Två frågor

1. Varför används likspänning snarare än växelspanning i Göteborgs spårvagns nät?
2. Vad används hjälpkraftomriktare till?

Referenser

- [1] Bildbanken Göteborgs Spårvägar, <<http://www.goteborgssparvagar.se/kontakta-oss/pressmedia/bildarkiv/>>
 - [2] Göteborgs spårvägar, Kretsschema M31
 - [3] Karl-Magnus Olsson, Filip Pettersson, *Masteruppsats. Undersökning av linjespänning vid återmatande bromssystem i spårvagn M31*, 2007,
 - [4] *Göteborgs Spårvägar 1879 24/9 1929*, 1929, Styrelsen över Göteborgs Spårvägar
 - [5] Göteborgs Spårvägar Miljödovisning 2012
<http://www.goteborgssparvagar.se/wp-content/uploads/2013/09/miljoredovisning-2012.pdf>
 - [6] IEC Standard 60850, "Railway applications- supply voltages of traction systems 2007"
 - [7] "Electric Trams-How they work" av Russel Jones, publicerad 2007,"
<http://www.hawthornteamdepot.org.au/papers/electrictrams.htm>
 - [8] Gerard Ledwich, "Applications of Power Electronics In Railway Systems"
 - [9] M. H. Rashid, *Power Electronics Circuits, Devices and Applications*, sida. 90.
 - [10] M. H. Rashid, *Power Electronics Circuits, Devices and Applications*, sida .179.
 - [11] Luis A. Mora'n, Juan W. Dixon, Jose' R. Espinoza, Rogel R. Wallace, "*Using Active Power Filters to Improve Power Quality*", sida 3
 - [12] Arash Boore, *Flexible High-power Multi DC-DC converters for train system*, sida. 3
 - [13] Arash Abbasaliadeh Boore, *Flexible High-power Multi DC-DC converters for train system*, sida. 5
- Youtube, *How tram works*, <<https://www.youtube.com/watch?v=jTBEzWxLXLY>>