

Kungl Järnvägsstyrelsen  
Elektrotekniska byrån  
STOCKHOLM C

Angående störningsmätningar

Härmed översändes för ben kännedom kopia av Signalkommitténs protokoll, fört vid sammanträde den 13 juni 1962.

Med hänvisning till § 3 i nämnda protokoll anhåller kommittén, att mätning av störningar, härrörande ifrån likriktarlok snarast möjligt måtte igångsättas och att professor Alm beredes tillfälle att medverka vid uppläggnings- och analysarbetena och vid analysen av framkommande resultat.

Stockholm den 20 juni 1962  
för Signalkommittén:  
Th Thelander

-----  
Centralförvaltningen vid SJ  
Elektrotekniska byrån  
STOCKHOLM C

Angående störningsmätningar

I skrivelse till elektrotekniska byrån den 20 juni 1962 anmälde signalkommittén behovet av undersökningar avseende störningar, som kunna framkallas av elektriska lokomotiv med likriktare. På uppdrag av kommittén återkommer jag härmed till denna angelägenhet.

Av närslutet protokoll, fört vid kommitténs sammanträde den 4 juni 1963 framgår, att tillfredsställande kännedom om störningarna då ännu saknades. Förhållandet är alltså detsamma, vilket kommittén finner oroande, när de förut till Rumänien utlånade Rb1-loken numera blivit återinsatta i trafik på de svenska järnvägarna.

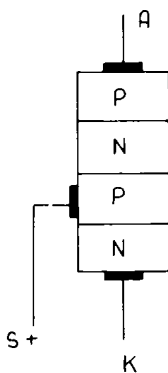
Kommittén, som således ser allvarligt på den förhandenvarande situationen, beslöt på sitt senaste sammanträde den 27 dennes att genom förnyad hänvändelse till elektrotekniska byrån framhålla angelägenheten av att de ifrågakommande undersökningarna snabbt bli slutförda och att åtgärder, som eventuellt påkallas av dem, ofördröjligen vidtagas.

Samtidigt som jag underrättar byrån härom, vill jag framhålla, att det för kommitténs arbete och rekommendationer är av stor vikt, att kommittén beredes tillfälle att följa undersökningarna.

Stockholm den 28 augusti 1963  
för Signalkommittén:  
Th Thelander

Tyristorns egenskaper och deras konsekvenser

Tyristorn är en styrbar halvledarventil. I sin enklaste form utgör den alltså en strömbana med låg resistans i ena strömriktningen, ledriktningen, och mycket hög resistans i den motsatta, spärriktningen. För att ledriktningen skall vara lågresistiv fordras emellertid att en tändström injiceras i en tändelektrod, styret. Om en spänning anbragts mellan två huvudelektroder, anoden och katoden, i riktning för framdrivande av ström i ledriktningen, så flyter sådan ström i och med att tändströmmen anbragts, och detta oberoende av om den sistnämnda upphört även efter ett mycket kort intervall. Strömmen i ledriktningen flyter alltså så länge de yttre betingelserna för sådan ström äro förhanden. Om denna ström upphör, på grund av yttre förhållanden, så kan den ej återuppstå förrän strömdrivande spänning åter anbragts i ledriktningen och tändström införts i styret. I dessa avseenden är tyristorn fullt analog med en jonventil, varvid den sistnämndas spänning på ett styrgaller motsvaras av tyristorns tändström i styret.

Fig 1

En enkel tyristor består av fyra skikt av kisel, omväxlande dopade för överskott av elektroner (N) och underskott av sådana, dvs överskott av "hål", (P). Fig 1 visar i princip en PNPN tyristor, varvid A och K ange anod och katod samt S styret.

Tyristorns funktion vid inkoppling i en växelströmskrets kan anges så, att den genom fördröjning av tändningen "skär bort" en styrbar del av spänningen inom alla eller vissa halvperioder. Se fig 2.

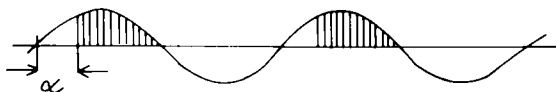


Fig 2

Fördröjningen  $\alpha$ , vanligen uttryckt i elektriskt vinkelmått, benämnes styrvinkel.



Symbolen för en enkel tyristor visas i fig 3, där det korta strecket anger styret och ledriktningen är nedåt i figuren. Om det korta strecket utelämnats anger symbolen en diod.

Fig 3

I en ren växelströmskrets, exempelvis för belysning eller värme, åstadkommes effektstyrning medelst två enkla tyristorer i antiparallellkoppling, se fig 4. Antiparallellgruppen av två enkla tyristorer ersättes ofta av en enda, relativt komplicerad tvåvägs tyristor, en triac.

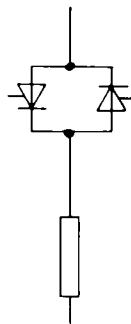
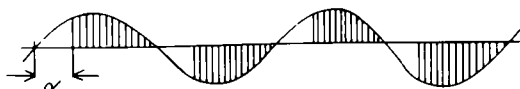


Fig 4

I vissa sammanhang användas kombinationer av dioder och enkla tyristorer. Detta framgår exempelvis av de i fig 5 visade exemplen på tvåvägs tre-faskoppling med ingående likströmskrets.

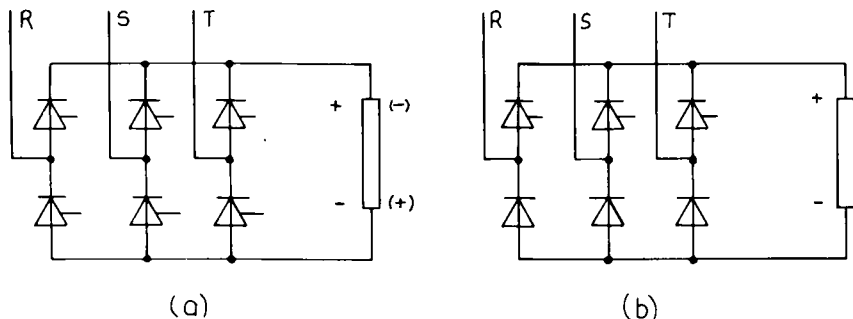


Fig 5

Kopplingen enligt 5a benämnes helbrygga. Den innebär sexpulskoppling och kan användas för såväl lik- som växelriktning. Vid 5b visas halvbrygga, med trepulskoppling och användbar endast för likriktning. I båda fallen måste den erforderliga reaktiva effekten levereras av växelströmsnätet.

-----

Efter dessa allmänna uppgifter angående tyristorer sker nu övergång till det ifråga om enfas tyristorlok intressanta området. Här förutsättes alltså drift av likströmsmotor från enfas växelström. Styrningen sker i första hand i motorns ankarkrets, i vilken de för full effekt dimensionerade tyristorvariatorerna inkopplats. Motorfältet matas med likström från separat likriktare. Inom motorns normala arbetsområde är denna likström konstant, men den kan polvändas för reversering av motorns rotationsriktning, den kan styras ned för fältförsvagning vid hög hastighet med minskat moment, och den kan styras automatiskt för stabil parallelldrift av de olika i loket ingående motorerna och förhindrande av slirning.

Likspänningen till ankarkretsen kan alstras medelst antingen envägs- eller tvåvägsbrygga, i båda fallen tvåpuls, se fig 6a och 6b



Fig 6a och 6b

Normalt användes tvåvägsbrygga, och detta förutsättes i det följande.

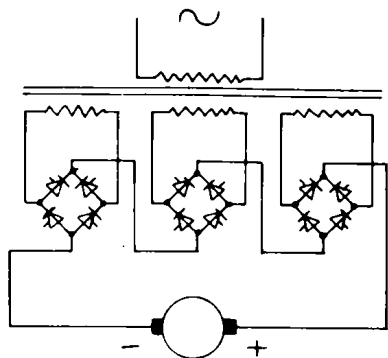


Fig 7

Ett flertal bryggor kunna kopplas i serie, och härvid vinnas stora fördelar om de särskilda bryggorna styrs oberoende av varandra. Se fig 7.

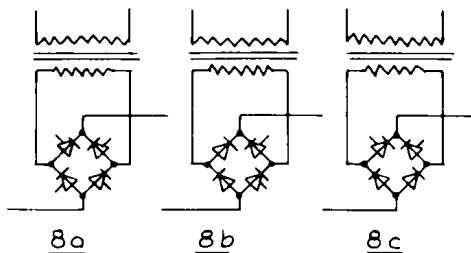


Fig 8a - 8c

Den praktiska betydelsen av sådan styrning kommer att belysas längre fram. För tillfället begränsas framställningen till ett studium av en enstaka brygga. Först måste emellertid visas, att en tvåvägs tvåpuls brygga kan utformas på tre olika sätt, nämligen som hel- eller halv-brygga och i senare fallet med två olika metoder att placera dioder och

tyristorer. Se fig 8a - 8c. De båda angivna typerna b och c av halv-brygga äro emellertid i avseende på funktionssätt och störningsalstring i stort sett likvärdiga, varför i det följande ingen skillnad göres mellan dem.

För tyristorlok är halvbygga den mest använda. I det följande studeras först de ur störningssynpunkt kännetecknande egenskaperna enbart för denna typ. I samband med ett förenklande antagande, vilket närmare klargöres senare, lämnas dock avslutningsvis en jämförande översikt av hel- och halvbyggans grundläggande egenskaper.

Huvudfrågorna beträffande störningar bli nu följande:

Vilka olägenheter uppstå på grund av tyristor drift, och hur kan man, med nödvändig förenkling av antagandena, analysera fram de kvalitativa och kvantitativa egenskaperna hos de behandlade anordningarna?

Svaret på den första frågan är följande:

Olägenheterna bero av den ström, som det tyristorstyrda loket tar upp från kontaktledningen och "avlevererar" till spår och återledning. Loket verkar i detta avseende i stort sett som en "strömgenerator". Redan av den elementära fig 2 framgår att tyristorstyrningen innebär, relativt växelströmsnätet, en samtidig fördröjning av strömimpulserna, dvs alstring av upptagen reaktiv effekt eller med andra ord en minskning av effektfaktorn, och en deformation av strömkurvan, dvs alstring av övertoner. Den reaktiva effekten innebär ökad ström för given aktiv effekt, och enär lokbelastningen är av resistiv - induktiv karaktär kommer den ökade strömmen, vilken i och för sig belastar ledningar och omformare hårdare, även att genom sitt fasläge inverka ogynnsamt ifråga om spänningsfall och erforderlig omformarstorlek. Strömmens övertoner inverka störande på signal- och kommunikationsanläggningar.

Svaret på den andra frågan kommer att ges i det följande i form av formler och tabeller över spänningar, reaktiv och skenbar effekt samt övertonströmmar. Härvid göras följande förenklande antaganden, nödvändiga för hygglig och överskådlig matematisk behandling:

1. Växelspänningen antas sinusformad.
2. Alla resistanser försummas.
3. Likströmmen antas helt glättad, dvs motorns induktans antas mycket hög. Detta är en rätt grov förenkling, men den är nyttig och nödvändig för att möjliggöra en klar framställning av de principiella förloppen.

Den vid elementär framställning av strömriktarens teori vanligen tillämpade ytterligare förenklingen, att överlappningsvinkeln vid kommutering försummas, införes dock ej här, enär nämnda vinkel är vid lokdrift av en så betydande storleksordning, att dess försummande skulle helt förrycka resultatet i vad angår reaktiv effekt och effektfaktor. Avslutningsvis anges dock formler och numeriska värden för reaktiv effekt och strömövertoner med den nämnda förenklingen införd, och detta för såväl hel- som halvbrygga.

Förhållandena klarläggas enklast i anslutning till fig 9, vilken visar en överföring från en generator med sinusformad spänning över en ledning med induktans till en transformator, vilken matar en likströmsmotor med hög induktans över tre seriekopplade halvbryggor.

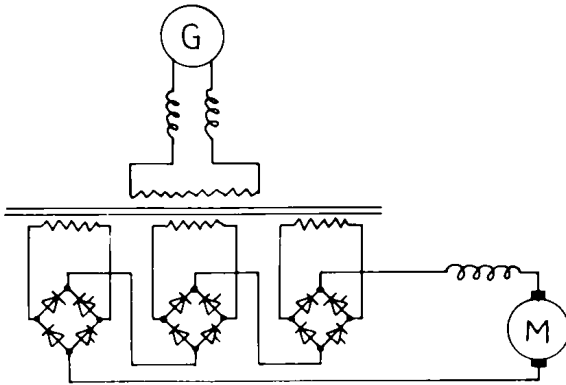


Fig 9

Fig 10 visar, under de ovan gjorda antagandena, kurvorna för en period av generatorspänningen samt den deformerade växelströmmen hos en enstaka brygga. De olika bryggornas växelströmmar adderas till en resulterande nätström, i transformatorn, och deras utspänningar adderas till en resulterande spänning, i likströmskretsen. Bryggorna kunna givetvis arbeta samtidigt med olika styrlägen och därmed lämna olika bidrag till likströmskretsens spänning och nätets växelström.

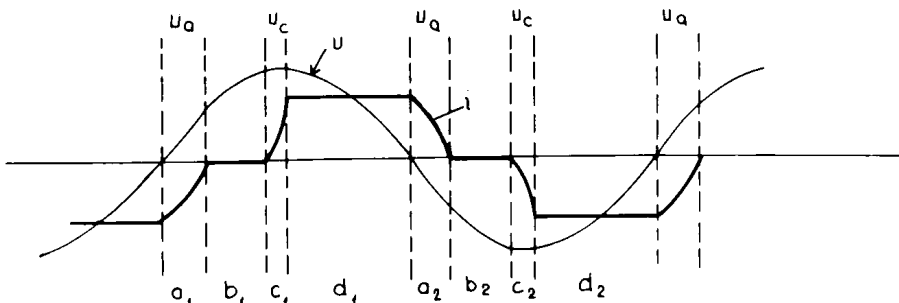


Fig 10

Styrläget antas generellt, med styrvinkeln  $\alpha$ . Bokstäverna  $a_1 - d_1$  och  $a_2 - d_2$  beteckna de olika intervallen av förloppet under de två halvperioderna, varvid  $d$  är arbetsintervall,  $b$  blockeringsintervall samt  $a$  och  $c$  kommuteringsintervall. Med  $u_a$  och  $u_c$  betecknas kommuteringsintervallens längd i vinkelmått.

Fig 11 visar ström- och spänningstillstånden under de respektive intervallen. De intill vissa ventiler placerade bokstäverna  $b$  och  $s$  ange blockerings respektive spärrning, dvs att vederbörande ventil är icke-strömförande på grund av styrelektrodblockering (vid tyristor) respektive spärrad genom backspänning.

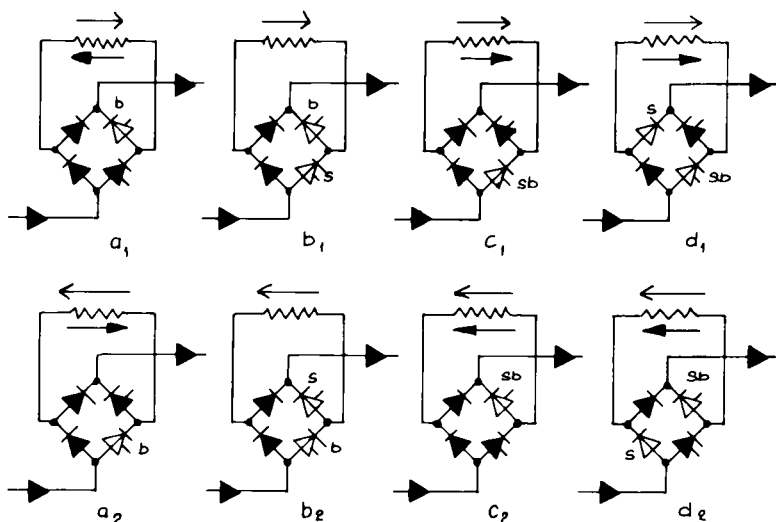


Fig 11

I och för en elementär matematisk behandling, vars resultat ger underlag för bedömning av principiella förlopp samt storleksordningen hos ingående storheter, införs följande beteckningar, allt hänförande sig till en enda brygga:

$U$  = effektivvärdet av växelspanning vid helt obelastat system, antagen sinusformad

$u$  = momentanvärde av  $d$ :o

$I$  = uttagen likström, antagen konstant

$X$  = total seriereaktans i växelströmskretsen, vid nätfrekvens

$\mu$  =  $\frac{I X}{U \sqrt{2}}$ , ett mått på belastningsgraden



$U_1$  = likspänning på bryggans utgång

$I_{\text{eff}}$  = effektivvärde hos växelströmmen

$P$  = aktiv effekt

$P_0$  =  $\frac{2\sqrt{2}}{\pi} U I$ , ideell maximal effekt

$Q$  = resulterande reaktiv effekt, med hänsyn jämväl till övertoner

$Q_{(1)}$  = reaktiv effekt av grundton

$I_p$  och  $I_q$  = aktiv och reaktiv komponent av växelströmmens grundton, effektivvärden

$v$  = tiden i vinkelmått

$i$  = momentanvärde av växelström generellt

$i_a$  och  $i_c$  = momentanvärde av växelström inom kommuteringsintervallen  $a$  och  $c$

$i_b$  och  $i_d$  = momentanvärde av växelström inom det spärrade intervallet  $b$  och arbetsintervallet  $d$ .

$\alpha$   $u_a$   $u_c$  = styrvinkel samt överlappningsvinklar enligt fig 10.

$u$  =  $U\sqrt{2} \sin v$

Nu härledas följande samband:

$$\begin{cases} i_a = \frac{I}{\mu} [1 - \mu - \cos v] \\ i_b = 0 \\ i_c = \frac{I}{\mu} [\cos \alpha - \cos v] \\ i_d = I \end{cases} \quad \begin{cases} \cos u_a = 1 - \mu \\ \cos(\alpha + u_c) = \cos \alpha - \mu \end{cases}$$

$$\begin{cases} P = \frac{P_0}{2} [1 + \cos \alpha - \mu] \\ Q_{(1)} = \frac{P_0}{4\mu} [(u_a + u_c) - (1 - \mu)\sqrt{\mu(2 - \mu)} - (\cos \alpha - \mu)\sqrt{\sin^2 \alpha + 2\mu \cos \alpha - \mu^2} + \sin \alpha \cos \alpha] \end{cases}$$

Som funktion av  $\alpha$  vid givet  $I$  har  $Q_{(1)}$  maximum för  $\alpha$  i närheten av  $\frac{\pi}{2}$ .

$$\begin{cases} U_1 = \frac{P}{I} = \frac{U\sqrt{2}}{\pi} [1 + \cos \alpha - \mu] \\ I_p = \frac{P}{U} = \frac{I\sqrt{2}}{\pi} [1 + \cos \alpha - \mu] \\ I_q = \frac{Q_{(1)}}{U} \end{cases}$$

För växelströmmens resulterande effektivvärde gäller den komplicerade formeln:

$$I_{\text{eff}} = \frac{I}{\mu\sqrt{\pi}} \left[ \left( \frac{1}{2} - 2\mu + \mu^2 \right) \arccos(1 - \mu) + \left( \frac{1}{2} - \mu^2 + \cos^2 \alpha \right) [\arccos(\cos \alpha - \mu) - \alpha] - \frac{1}{2} (1 - \mu)\sqrt{\mu(2 - \mu)} - \frac{1}{2} (\mu + 3 \cos \alpha)\sqrt{\sin^2 \alpha + 2\mu \cos \alpha - \mu^2} + \frac{1}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \mu^2 (\pi - \alpha) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Den resulterande reaktiva effekten kan sedan uträknas som:

$$Q = \sqrt{U^2 I_{eff}^2 - P^2}$$

För full uppstyrning (maximal aktiv effekt för given likström) gäller:

$$\begin{cases} \cos \alpha = 1 - \mu \\ P = P_0 (1 - \mu) \\ Q_{(1)} = \frac{P_0}{2\mu} [\arccos(1 - 2\mu) - 2(1 - 2\mu)\sqrt{\mu(1 - \mu)}] \end{cases}$$

Full nedstyrning (aktiv effekt noll för given likström) ger:

$$\begin{cases} \cos \alpha = -(1 - \mu) \\ P = 0 \\ Q_{(1)} = \frac{P_0}{2\mu} [\arccos(1 - \mu) - (1 - \mu)\sqrt{\mu(2 - \mu)}] \end{cases}$$

Efter denna allmänna teori kan det vara på sin plats med vissa praktiska resonemang och tillämpningar.

Ett numeriskt exempel:

Antag en anläggning, för vilken gäller

$$\begin{cases} \frac{X}{UV^2} = 10^{-6} \\ \frac{2\sqrt{2}U}{\pi} = 10^{-3} \end{cases}$$

varav följer för  $I = 1000$

$$\begin{cases} \mu = 0,1 \\ \beta = 10^6 \end{cases}$$

$I = 2000$

$$\begin{cases} \mu = 0,2 \\ \beta = 2 \cdot 10^6 \end{cases}$$

Detta ger, efter multiplikation med  $10^{-3}$ :

	<u>I = 1000</u>		<u>I = 2000</u>	
	P	$Q_{(1)}$	P	$Q_{(1)}$
<u>Full nedstyrning</u>	0	280	0	810
$\alpha = \frac{\pi}{2}$	450	655	800	1463
<u>Full uppstyrning</u>	900	405	1600	1113

Den reaktiva effekten är sålunda ganska betydande, även vid full uppstyrning. Vad beträffar full nedstyrning så måste observeras, att den studerade driftpunkten innebär ett gränstillstånd då kommuteringen slutar och börjar vid den angivna strömmen utan något mellanliggande arbetsintervall. Den som konstant antagna likströmmen måste alltså härröra från annan källa, t ex annan eller andra bryggor i serie. Man kan givetvis ytterligare öka styrvinkeln  $\alpha$  från det aktuella värdet  $\pi - \arccos(1-\mu)$  upp mot gränsvärdet  $\pi$ . Härvid blir den aktiva effekten fortfarande noll, medan den reaktiva effekten sjunker ned mot noll. Detta är vad som i praktiken sker när en brygga skall helt blockeras. I gränsläget för full nedstyrning försvinna arbetsintervallen  $d_1$  och  $d_2$  i fig 11. Vid  $\alpha = \pi$  blir transformatorströmmen noll, och därmed kan även den förut strömförande tyristorn blockeras. I det helt blockerade tillståndet flyter strömmen helt genom de båda dioderna i serie, och bryggan upptar varken aktiv eller reaktiv effekt. Om bryggan sedan skall återkopplas i kretsen minskas vanligen styrvinkeln först genom automatiska don till ett värde i närheten av gränsvärdet för full nedstyrning vid den väntade eller avsedda likströmmen, för att sedan i rätt ögonblick minskas ytterligare och därmed återinföra arbetsintervallen  $d_1$  och  $d_2$  så att bryggan lämnar bidrag till spänningen i likströmskretsen.

Förhållandena klargöres närmare av fig 12.

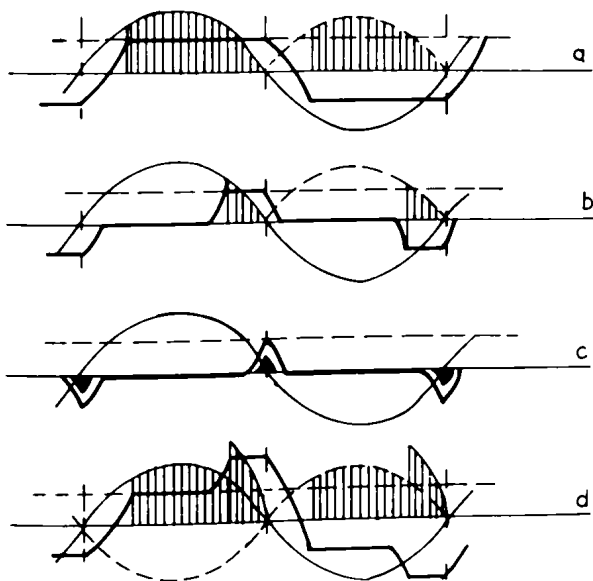


Fig 12

Här anges följande storheter:

- a. Växelström i helt uppstyrd brygga. Den streckade ytan anger bidraget till spänning i likströmskretsen.
- b. Växelström i tämligen långt nedstyrd brygga. Streckad yta som ovan.
- c. Växelström i dels gränsvärde för full nedstyrning, dels ett fall av ännu större nedstyrning (svart yta).
- d. Växelström samt bidrag till likspänning vid brygga d och b anslutna till samma transformator och i serie på likströmssidan.

I fig 13 visas den reaktiva effekten  $Q_{(1)}$  som funktion av den aktiva effekten  $P$  då ett flertal bryggor i serie successively uppstyrs med konstant likström.

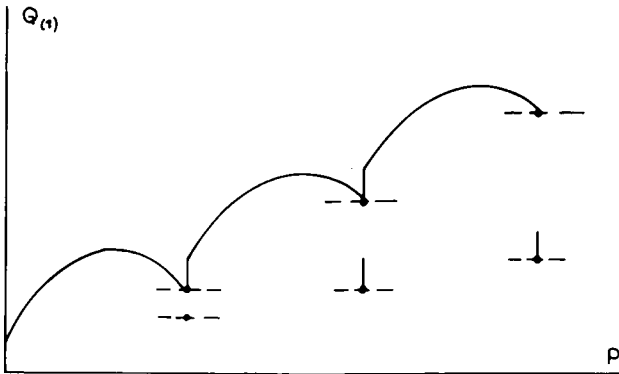


Fig 13

Hänsyn till eventuell parallellkondensator för generering av reaktiv effekt har ej tagits i det föregående. Om sådan finnes, vilket i praktiken vanligen är fallet, så sker i huvudsak en parallellförflyttning nedåt av kurvorna i fig 13.

I praktisk lokdrift är antalet bryggor vanligen 2 eller 3.

Av fig 12 d framgick, att såväl resulterande reaktiv effekt som övertoner bli teoretiskt mycket komplicerade då ett flertal bryggor samarbeta. Den reaktiva effektens förlopp vid varierande antal bryggor och varierande styrvinkel hos den senast inkopplade bryggan framgick dock i princip av fig 13. Något försök att på motsvarande sätt matematiskt behandla strömövertoner och deras komplicerade och variabla sammanlagring göres ej här, utan övertonskomplexet behandlas under starkt förenklande förutsättningar i nästa avsnitt.

Det må slutligen påpekas, att den i det föregående gjorda förutsättningen att det induktiva spänningsfallet i nätet enbart beror av den behandlade bryggans kommuterande strömmar, ej är korrekt. Övriga belastande bryggor, som eventuellt samtidigt befinna sig under kommutering, ge givetvis ävenledes spänningsfall. Vid fall av endast två bryggor är dock detta fenomen av ringa betydelse.

Den ovan framställda teorien, som tar nödvändig hänsyn till kommuteringsintervallens ändliga längd, har ju tagit sikte uteslutande på den typ av störning från tyristordriften, som beror av det reaktiva effektuttaget. Vad beträffar genereringen av strömövertoner, så bli såsom nyss påpekats de matematiska formlerna för de olika frekvenskomponenterna vid olika belastning och styrvinkel ytterst komplicerade och svåröverskådliga, varför ingen framställning av dem lämnas här. Men å andra sidan kan man med full visshet fastslå, att överlappningen vid kommutering verkar reducerande på dessa strömmar, framförallt vid de högre frekvenserna, varför man vågar betrakta de övertonsströmmar, vilka enligt enkla formler kunna beräknas med försummande av överlappningen, som utgörande övre gränsvärden för de i verkligheten uppträdande störströmmarna.

Det är därför av värde att i det följande göra en sammanställning av driftdata med försummad överlappning, vilket helt enkelt innebär att man sätter  $\mu = u_a = u_c = 0$ . Härvid medtagas även de storheter i samband med reaktiv effekt, som behandlats i det föregående, ehuru de härvid erhållna resultaten äro tämligen verklighetsfrämmande. Orsaken är emellertid att det kan vara av intresse att på denna förenklade basis göra en jämförelse mellan data för hel- och halvbyggans egenskaper, såsom angivits i inledningen.

För dessa ändamål införs först några ytterligare beteckningar, fortfarande hänförande sig till en enda brygga:

$I_{(n)}$  = effektivvärde av växelströmskomponent med frekvenstalet  $n$ .

$U_1(n)$  = växelspanningskomponent med frekvenstalet  $n$  i relation till nät-frekvensen, överlagrad på likspänningen.

$S_{(1)}$  = skenbar effekt på växelströmssidan, med hänsyn till enbart grundtonen.

$S$  = skenbar effekt på växelströmssidan, med hänsyn jämväl till strömövertonerna.

Följande uttryck gälla:

	<u>Halvbrygga</u>	<u>Helbrygga</u>
$I_{(n)}$	$\frac{2\sqrt{2}I}{\pi} \cos \frac{\alpha}{2}$	$\frac{2\sqrt{2}I}{\pi}$
$I_{(n)}$ ( $n$ udda)	$\frac{2\sqrt{2}I}{\pi n} \cos \frac{n\alpha}{2}$	$\frac{2\sqrt{2}I}{\pi n}$
$I_{eff}$	$I\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}}$	$I$
$U_1$	$\frac{2\sqrt{2}U}{\pi} \cos^2 \frac{\alpha}{2}$	$\frac{2\sqrt{2}U}{\pi} \cos \alpha$
$\rho$	$\frac{2\sqrt{2}UI}{\pi} \cos^2 \frac{\alpha}{2}$	$\frac{2\sqrt{2}UI}{\pi} \cos \alpha$
$Q_{(1)}$	$\frac{2\sqrt{2}UI}{\pi} \cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2}$	$\frac{2\sqrt{2}UI}{\pi} \sin \alpha$

	<u>Halvbrygga</u>	<u>Helbrygga</u>
$S_{(n)}$	$\frac{2\sqrt{2}UI}{\pi} \cos \frac{\alpha}{2}$	$\frac{2\sqrt{2}UI}{\pi}$
$Q$	$UI\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} - \frac{\theta}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2}}$	$UI\sqrt{1 - \frac{\theta}{\pi^2} \cos^2 \alpha}$
$S$	$UI\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$	$UI$

Härtill komma följande längre uttryck för likströmssidans växelspanningskomponenter (n jämnt tal):

Halvbrygga:

$$U_{1(n)} = \frac{2U}{\pi(n^2-1)} \sqrt{1+n^2 \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha + 2 [n \sin \alpha \sin n\alpha + \cos \alpha \cos n\alpha]}$$

Helbrygga:

$$U_{1(n)} = \frac{4U}{\pi(n^2-1)} \sqrt{n^2 \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Ur formlerna för  $U_1$  och  $P$  framgår bl a det välkända faktum, att vid halvbrygga full nedstyrning erhålles för  $\alpha = \pi$ , medan helbrygga är nedstyrd vid  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ .

Största intresset i nuvarande sammanhang är knutet till strömövertonerna  $I_{(n)}$ , vilka enligt vad tidigare anförts äro att betrakta som övre gränsvärden för vad som kan väntas i praktiken, då överlappning föreligger. För givna  $I$  och  $n$  erhållas samma värden på  $I_{(n)}$  vid halv- och helbrygga, men vid helbryggan gäller värdet inom hela styrområdet, medan vid halvbryggan fullt värde uppnås endast vid vissa  $\alpha$ -värden. Halvbryggan är sålunda "statistiskt" gynnsammare med hänsyn till strömövertoner. Huruvida denna skillnad har någon praktisk betydelse ur synpunkten av störningar på signal- och teleledningar är emellertid tvivelaktigt.

Halvbryggans företråde i fråga om reaktiveffekt framgår å andra sidan klart ur de förenklade uttrycken. Maximivärdet av storheten  $Q_{(1)}$  är under i övrigt lika förhållanden dubbelt så stort vid halv- som vid halvbrygga, och detta maximivärde uppträder vid helbryggan i tillstånd för full nedstyrning. I detta tillstånd har halvbryggan i princip reaktiveffekten noll.

Jämförelsen mellan de båda typerna av brygga, under den i och för sig verklighetsfrämjande förutsättningen av försummad överlappning, åskådliggöres av figurerna 14 - 17.

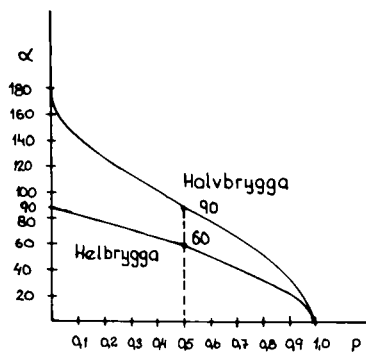


Fig 14

Fig 14:

Samband mellan aktiv effekt och styrvinkel

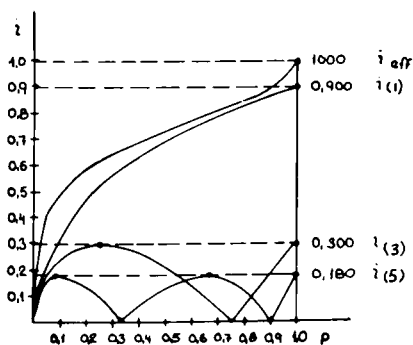


Fig 15:

Strömkomponenters relativvärden. Heldragna kurvor motsvara halvbrygga, streckade horisontella linjer helbrygga (oberoende av styrvinkel)

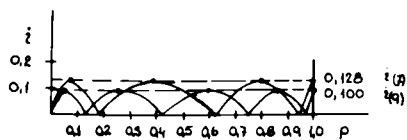


Fig 15

Fig 16: Reaktiv effekt med en respektive två bryggor i serie. Streckad kurva ( $q$ ) gäller en brygga

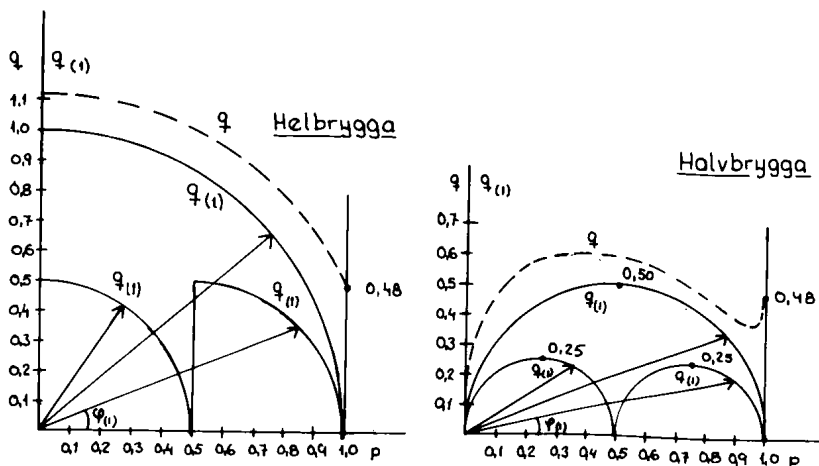


Fig 16

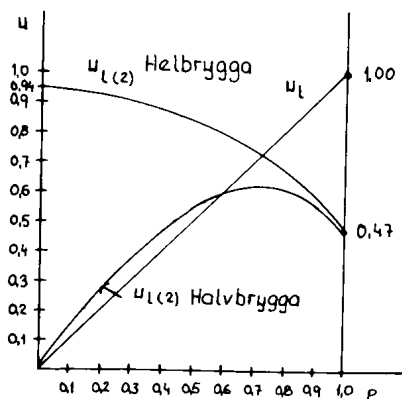


Fig 17

Fig 17:

Likspänning samt dominerande växelspanningskomponent på likströms- sidan ( $n=2$ )

Halvcirkelbågarna i högra bilden i fig 16 motsvara elementen av kurvorna i fig 13. Användningen av små bokstäver i figurerna motiveras av att alla värden på effekt och ström äro uttryckta som relativtal hänfödda till maximal aktiv effekt (vid  $\alpha = 0$ ) respektive uttagen likström. I övrigt torde figurerna ej kräva några kommentarer.



Med hänsyn till önskvärd jämförelse med de experimentellt erhållna värden på störströmmar, vilka redovisas i annan uppsats i denna rapport, får följande påpekas:

I det enkla fall, att endast en brygga förefinnes, skulle strömmen av ordning  $n$  förhålla sig till grundtonsströmmen, vid halvbygga, enligt kvoten

$$\frac{I_{(n)}}{I_{(1)}} = \frac{1}{n} \frac{\cos \frac{n\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

varvid  $\alpha$  uträknas ur sambandet

$$\rho = \frac{2\sqrt{6}UI}{\pi} \cos^2 \frac{\alpha}{2}$$

Bortsett från den onoggrannhet hos nämnda kvot, som beror av att överlappningen försumrats, råder vid praktisk jämförelse den svårigheten att man oftast har att göra med minst två bryggor, varför hänsynstagande till den olika sammanlagringen inom komplexet av grundtonsströmmar respektive övertonsströmmar vållar stort besvär.

Täljaren i bråket sättes emellertid vid grov räkning lämpligen = 1, varför man som ett riktvärde på säkra sidan torde för en ensam brygga kunna räkna med uttrycket:

$$\frac{I_{(n)}}{I_{(1)}} = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{2\sqrt{6}UI}{\rho\pi}} \approx \frac{1}{n} \sqrt{\frac{UI}{\rho}}$$

där  $U$  är växelspänningens effektivvärde,  $I$  likströmmens medelvärde och  $P$  den aktiva effekten.

För två eller flera bryggor erhålles ett komplicerat uttryck. Man kan emellertid för grov bedömning använda samma uttryck även i detta fall, förutsatt att storheten  $P$  får ange effekten hos en enda helt utstyrd brygga.

### Sammanfattning

Den kortfattade framställningen utmynnar i vissa formler och kurvor, som i huvudsak hänföra sig till en enda brygga och åskådliggöra tyristordriftens inverkan på dels växelströmsnätets reaktiva och skenbara effekt vid givet motormoment, dels växelströmmens effektivvärde, grundton och övertoner under samma förutsättning. Beräkningarna äro baserade på vissa förenklade antaganden, vilka ifråga om strömkomponenter äro ganska långt gående och, särskilt vid högre frekvenser, resultera i ogynnsammare värden än vad som kan väntas i praktiken. I stora drag och för principiella överväganden torde dock de erhållna resultaten vara av värde som orientering vid bedömning av risken för ogynnsamma drifterfarenheter samt av lämpliga åtgärder för motverkande av olägenheterna.

Stockholm den 23 januari 1970

