

OM STÖRNINGAR FRÅN ELSTÄNGSEL

Preliminär rapport. Ragnar Forshufvud, juni 2006

1. Elstängselaggregat. Typiska egenskaper.

De pulsgeneratorer som matar stängslen kallas elstängselaggregat. 40 till 60 gånger per sekund stiger spänningen till flera tusen volt, vanligt är 6000-8000 volt. Denna spänning skulle kunna vara farlig, men energin i varje puls är begränsad. Det innebär att ju starkare ström som flyter, desto kortvarigare blir pulsen. Hur detta görs vet jag inte, men kanske laddas en högspänningskondensator upp för att sedan urladdas genom stängslet.

Varje puls alstrar ett brett spektrum av störningar. Ju snabbare spänningen stiger vid pulsens början, och ju snabbare den sjunker vid pulsens slut, desto högre frekvenser finns det i störningsspektrum. För att minska de högfrekventa störningarna bör man eftersträva är en mjuk kurvform med lång stig- och falltid. Men man har också kravet att med en energi som är begränsad åstadkomma 6-8 kilovolt, och då får pulserna inte göras alltför långa.

Energien i varje puls brukar vara specificerad. Tidigare var typisk pulsenergi 8 joule eller lägre. DeLaval har nyligen släppt ut ett aggregat med en specificerad pulsenergi av 26 joule, en betänkligt hög energimängd. Man har anledning att undra om oskadligheten är garanterad. K.G. Löfstrand, som en gång var anställd vid högspänningslaboratoriet i Uppsala, lärde mig regeln ”1 joule tål man, 20 joule överlever man.” Charles F. Dalziel vid University of California, Berkeley, skrev 1969 en artikel om riskerna med elektrisk chock, och än i dag hänvisar man tillbaka till Dalziels forskning.¹ Men i Dalziels artikel finns ingenting om pulser kortare än 8,3 millisekunder.

¹ C.F. Dalziel: Lethal electric currents. IEEE spectrum, Febr. 1969, pp 44-50.

Vad vet man om hur mycket hjärtsjuka personer tål? Och hur mycket tål små barn? Just barn löper ju stor risk att komma i beröring med elstängsel under lek, kanske knuffas mot ett elstängsel eller försöka krypa under ett elstängsel. Nyligen har man ju bestämt att mediciner för barn skall testas på barn. Man bör också utreda barns känslighet för elchock.

2. CE-märkning

Elstängselaggregat är CE-märkta. När det gäller elektriska apparater föreställer vi oss att CE-märkningen utgör en garanti för att emissionen av elektriska störningar från apparaten skall hållas inom bestämda gränser, och att immuniteten, det vill säga förmågan att fungera trots störningar från andra apparater, uppfyller vissa minimikrav. En begränsning av emissionen av störningar är precis vad vi önskar, men tyvärr innebär CE-märkningen inte några som helst garantier i det avseendet. Det beror kanske på att det i grunden är omöjligt att sätta gränser för störningar från ett elstängselaggregat i kombination med alla tänkbara varianter av stängsel, långa och korta, felfria och defekta, och att aggregatets egenskaper utan stängsel är ointressanta.

En förfrågan till SP Statens Provnings- och Forskningsinstitut om vilken produktstandard som gäller för elstängselaggregat gav följande svar, undertecknat *Bengt Andersson*: ”Jag ser inte att det finns någon produktstandard som passar in, och då gäller enligt generisk standard EN 61000-6-3.” Det betyder att provningsbestämmelserna inte ger någon vägledning för hur stängslet skall se ut vid provning, och det troliga är att man provar utan stängsel, och att provningen bara gäller ledningsbundna störningar.

Om CE-märkning hade saknats, hade man kunnat hänvisa till detta och därigenom försökt bromsa det hämningslösa införandet av

elstängsel överallt. Nu finns CE-märkningen där, prydligt markerad på varje aggregat, men den är bara ett tomt skal.

För att ge en uppfattning om vilka kvantiteter det kan röra sig om tar vi ett exempel:

Aggregatet Olli 450. Leverantören har det långa namnet *Horseguard -Franska Elbandet - GiLo quarterhorses*. Internetadress www.gilo.se.

Vid 500 ohms belastning (med mycket vegetation mot stängslet) är spänningen 4700 volt och stötenergin 4,2 joule. Om spänningen är 4700 volt och belastningen 500 ohm, är strömmen 9,4 ampere. Naturligtvis bara för ett kort ögonblick, när den elektriska pulsen når sitt maximum. Den elektriska effekt som överförs till belastningen och där förvandlas till värme uppgår till 44 kilowatt! Men eftersom stötenergin är endast 4,2 joule (wattsekunder) är pulsens varaktighet begränsad till cirka 95 mikrosekunder. Nu vet vi inte hur pulsens tidsfunktion ser ut, men om den vore en klockkurva enligt Gauss, så skulle stig- och falltid båda vara lika med 72 procent av pulsens varaktighet, den senare mätt vid halva toppamplituden. Det betyder stigtid = falltid = 68 mikrosekunder. Den minsta bandbredd som krävs för att överföra en puls brukar anges till $1/2t$, där t är stig- eller falltid, beroende på vilken som är kortast. I detta fall blir minsta bandbredd 7,4 kilohertz.

Detta är en teoretisk undre gräns – i verkligheten måste man räkna med att störspektrum är betydligt mer bredbandigt. En orsak till detta kan vara att tillverkaren av elstängselaggregatet inte anser det nödvändigt att begränsa bandbredden. En annan orsak är gnistor, punkt 5.

3. Går det ström i stängslet?

När ett djur kommer åt stängslet skall det få en stöt. I det ögonblicket flyter det ström genom en del av djurets kropp. Det vore önskvärt att det inte skulle flyta någon ström alls vid andra tillfällen, att stängslet skulle ha

spänning, men att strömmen skulle vara noll. Dels skulle batteriet räcka längre, dels skulle det inte uppstå några störande magnetfält. Men tyvärr är det så att det flyter ström under varje puls. Strömmen är av två slag, kapacitiv och resistiv.

3.1 Kapacitiv ström.

Stängslet har en viss kapacitans till jord. Det finns formler för beräkning av kapacitansen. Vi tar ett exempel. För permanenta stängsel använder man ofta galvaniserad ståltråd. För en tråd av 2 mm diameter, 0,9 meter över mark, är kapacitansen 7,4 pikofarad per meter. Sätter man den 0,5 meter över mark stiger kapacitansen till 8,0 pikofarad per meter. Höjden över mark har alltså inte så stor betydelse som man skulle kunna tro. Ett elstängsel för kor med trådar såväl på 0,5 som 0,9 meters höjd har en sammanlagd kapacitans på 13,2 pikofarad per meter, något lägre än summan av de enskilda kapacitanserna, beroende på att den ena tråden påverkar fältbildningen för den andra.

Vi tänker oss ett stängsel med kapacitansen 13,2 pikofarad per meter. Spänningen stiger från 0 till 7 kilovolt på 70 mikrosekunder, alltså med 10^8 volt per sekund. Den kapacitiva ström som flyter uppgår till 1,32 milliampere per meter. Om stängslet är 1 km långt blir strömmen 1,32 ampere. Den strömmen kan elstängselaggregatet lätt leverera. Som vi såg av exemplet på sidan 1 är 9,2 ampere ingen problem.

3.2 Resistiv ström

Gräs och ogräs kan växa upp och göra kontakt med elstängslet. Resultatet blir ett resistivt läckage. Tillväxten hämmas dock genom den så kallade bortbränningsfunktionen. Pulserna som passerar genom växten dödar de delar som strömmen passerar genom, dessa blir torra och bruna, och deras elektriska ledningsförmåga minskar starkt.

Horseguard – Franska Elbandet – GiLo quarterhorses har följande att säga om saken:

”Bränns gräs bort?”

Nej, men det blir brunt och livlöst, där det kommer åt bandet.

Frågan om aggregat som bränner bort gräs är överreklamerad.

Om gräs skall brännas måste ledarna vara mycket tjocka, typ hässjetråd.

Har man band med tunna ledare, bränns i stället banden sönder.”

4. Mycket långa stängsel – ett kapitel för sig

Det finns fungerande elstängsel som är många kilometer långa. DeLaval säljer ett elstängselaggregat (16K) som klarar en ”teoretisk längd” på 350 km. Man reserverar sig för att det blir mindre i ”tuffa förhållanden”, men ändå hela 40 km, 4 mil. Hur är detta möjligt?

Förklaringen är den att hela stängslet inte är spänningsförande samtidigt. Högsäntningspulserna går som vandrande vågor längs stängslet, med en hastighet som närmar sig ljushastigheten - 300 000 kilometer per sekund. En puls som har en varaktighet på 100 mikrosekunder håller en sträcka på 30 km under spänning. Vid mycket långa stängsel är den kapacitiva strömmen därför inte proportionell mot stängslets längd. Den närmar sig ett slutvärde, som enligt teorin för transmissionsledningar bestäms av den karakteristiska impedansen. En tråd med diametern 2 mm, uppspänd på 90 cm höjd över marken, har den karakteristiska impedansen 450 ohm. Ett elstängselaggregat som skall skicka ut en puls med toppspänningen 7 kilovolt måste därför kunna prestera en ström av $7000/450 = 15,6$ ampere, låt vara kortvarigt, någonstans mitt på en puls som kanske har en total varaktighet på 100 mikrosekunder.

Tråden har inte bara en karakteristisk impedans, utan också en resistans, ett visst antal ohm per meter. En ståltråd med diametern 2 mm har en resistans av cirka 45 ohm per kilometer. Pulsen försvagas när den vandrar längs stängslet. Dess energi förvandlas successivt till värme. Om stängslet består av en enda ståltråd kan man räkna med

att pulsspänningen halveras efter 14 kilometer. Den teoretiska längden 350 kilometer är därför verkligen teoretisk, den kräver att man byter ut järntråden mot koppartråd, som, om den har 2 mm diameter, har en resistans på 5,4 ohm per kilometer. Vidare får man förutsätta att stängslet bildar en sluten slinga, så att pulserna kan nå varje del av stängslet längs två vägar.

5. Gnistor (överslag)

Det förekommer ofta gnistor vid elstängsel, dels på grund av *avbrott i ledarna*, dels på grund av att det sker *överslag till gräs och annan vegetation* som når upp till den undre stängselkabeln. Dessa gnistor kommer vid varje puls och kan iakttas i mörker. Det finns anledning att tro att just dessa gnistor är en viktig orsak till radiostörningar. Gnistor ger mycket breda frekvensspektra med frekvenser som sträcker sig upp i mikrovågsområdet. Tidiga radiosändare använde gnistor för alstring av radiofrekvens (”gnistsändare”).

Det är svårt att få god kontakt med en rostfri tråd. Rostfritt stål är rostfritt därför att det har en hård oxid på ytan. Det går inte att löda på rostfritt stål. Risken är stor att några av trådarna inte får kontakt med sina motsvarigheter på andra sidan skarven. Funktionen hos stängslet påverkas inte, spänningen är nämligen så hög att strömmen tar sig fram ändå – det blir överslag mellan olika ledare, strömmen kan ”byta fil” upprepade gånger. Linor är förmodligen lättare att skarva på ett bra sätt än band. Galvaniserad tråd bör kunna skarvas helt utan problem.

De gnistor som man kan få genom överslag till gräs och annan vegetation är troligen inte särskilt energirika, eftersom strömmen begränsas av resistansen i stråt eller stjälken. Jag tror att sådana gnistor, i den mån de över huvud taget förekommer, är ett mindre bekymmer.

6. Emission, strålning. Stängslet som antenn

Ett elstängsel utgör en stor antenn, vars dimensioner närmast kan jämföras med de antenner som användes för forna tiders långvågssändare. När stängslet matas med pulser med en spänning av 6000-8000 volt, fungerar det som antennen i en radiosändare. Men utstrålningen från stängslet är en oönskad bieffekt. Det enda man eftersträvar är att beröring med stängslet skall ge en obehaglig elektrisk stöt.

Hur effektiv en antenn är beror i hög grad på vilken frekvens den matas med. Allmänt gäller att hög frekvens ger stor utstrålning. Vid vissa frekvenser kan antennen ge resonans, så att antennverkan blir särskilt stor. Ju längre stängslet är, desto lägre blir resonansfrekvensen. Det är omöjligt att säga vid vilka frekvenser man får resonans, eftersom stängslets längd kan variera mellan mindre än 100 meter och mer än 1000 meter. Även människokroppens effektivitet som mottagarantenn ökar med ökande frekvens. Det är därför önskvärt att de frekvenser som skickas ut på stängslet är så låga som möjligt, helst så låga att de inte ger resonans ens vid de längsta stängsel som förekommer.

När man använder marken som återledare, vilken väg väljer returströmmen då tillbaka till jordtaget? Om marken är homogen väljer returströmmen kortaste väg. Men det vanliga är att marken inte är homogen, och returströmmen kan då välja de märkvärdigaste vägar, genom ställen där marken är fuktig eller genom nedgrävda rör eller andra metallföremål. Vad man säkert vet är att returströmmen sällan går samma väg som den utgående strömmen, och **detta är en viktig anledning till att elstängsel avger störningar.**

Det är en känd princip inom elmiljötekniken att returströmmen skall följa samma väg som utgående ström, om man eftersträvar lägsta störande inverkan på omgivningen. Man använder alltså dubbelledare. Man undviker

att låta returströmmen gå genom jord eller genom ett plåtchassi. Symmetri skall eftersträvas, då balanserar fälten från de två ledarna ut varandra. Ofta tvinnar man ledarna för att ytterligare förbättra symmetrin.

Elstängsel med dubbelledare har alltså förutsättningar att ge betydligt mindre störningar än elstängsel med enkelledare.

6.1 Polarbandet.

Det finns en dubbelledare för elstängsel på marknaden, "Polarbandet". De två ledarna kopplas till var sin av elstängselaggregatets poler. Någon jordning behövs inte. Den fördel som brukar framhållas är att stängslet fungerar även om marken har dålig ledningsförmåga, antingen på grund av torka eller på grund av tjäle. Men polarbandet borde också kunna vara ett steg i rätt riktning när det gäller att reducera störningar från elstängsel.

Polarbandet säljs av *Horseguard -Franska Elbandet - GiLo quarterhorses* i längder om 250 och 500 meter. Bandet är 40 mm brett, ledarna ligger i ytterkanterna. Varje ledare består av 5 trådar av rostfritt stål, diameter 0,4 mm. De två yttersta trådarna gör kontakt med varandra. Resistansen i varje tråd är 5,9 ohm per meter. Med 5 trådar parallellt ger detta 1,2 ohm per meter. Kapacitansen mellan ledarna har jag mätt upp, och resultatet blev 6,7 pikofarad per meter.

För Polarbandet ges följande instruktion för skarvning: *Ta en bit överblivet band och dra ur en av ståltrådarna. Lägg bandändarna 1 dm omlott, och sy ihop plus mot plus och minus mot minus.*

Vid skarvningen är det risk för att alla trådar inte gör kontakt, och man kan få gnistor i skarvarna. Det är en nackdel, och frågan är om denna nackdel väger upp fördelen med att ha ett ojordat system med dubbelledare. Jag tror att endast fältförsök kan ge svaret. Jag vågar inte försöka uppskatta kostnaden för ett sådant fältförsök, med medverkan av en markägare, en mättekniker med instrument och kanske en elöverkänslig person.

7. Emission, ledning

De strömmar som går i jorden kan ta sig över till elkablar och telefonkablar. De kan också gå in i vattenledningsrör av metall och på det sättet komma in i husen.

Detta är ytterligare ett skäl att undvika system med jordtag. Tyvärr är det omöjligt att helt undvika jordströmmar, eftersom det kan finnas vegetation som når upp till stängslet på flera ställen. Men man kan i alla fall reducera jordströmmarna betydligt.

8. Matning parallellt eller i serie?

Det finns säkert många varianter av stängsel. Var och en väljer den konfiguration som verkar bäst med tanke på omständigheterna. Kanske utnyttjar man en byggnad som ligger intill hagen. Kanske kopplar man ihop stängslen till två hagar som ligger intill varandra.

Varje stängsel består av minst två ledare på olika höjd över mark. I allmänhet är parallellkoppling att föredra, med tanke på risken för avbrott. Om man seriekopplar kan stora delar av stängslet bli spänninglösa om ett avbrott inträffar någonstans. Man brukar också rekommendera ringmatning – man låter stängslet bilda en sluten ring, så att varje punkt kan matas från två håll.

Orsaker till avbrott i stängslet kan vara:

1. Bristfällig skarvning av ledare
2. Överslag (tunna metalltrådar brinner av efter många överslag)
3. Stormfällda träd
4. Olyckshändelser
5. Sabotage.

Ragnar Forshufvud