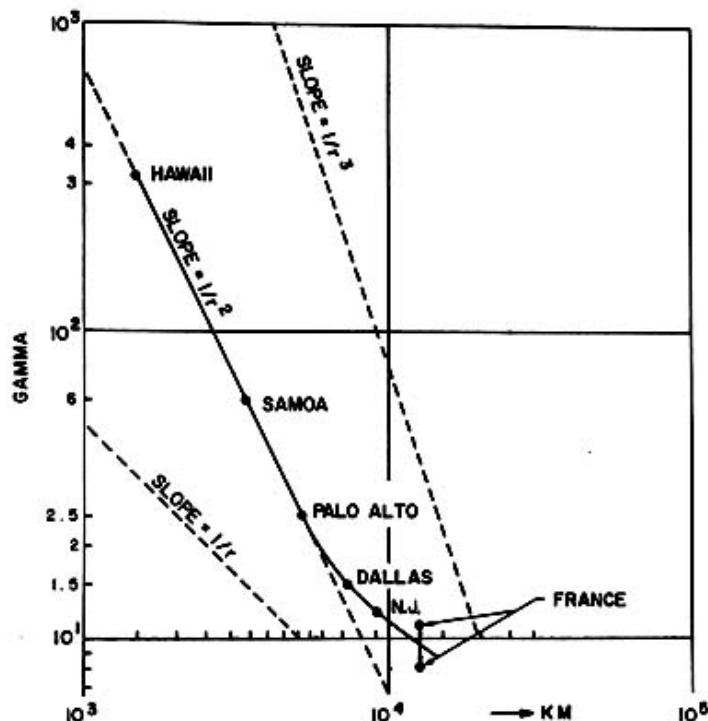
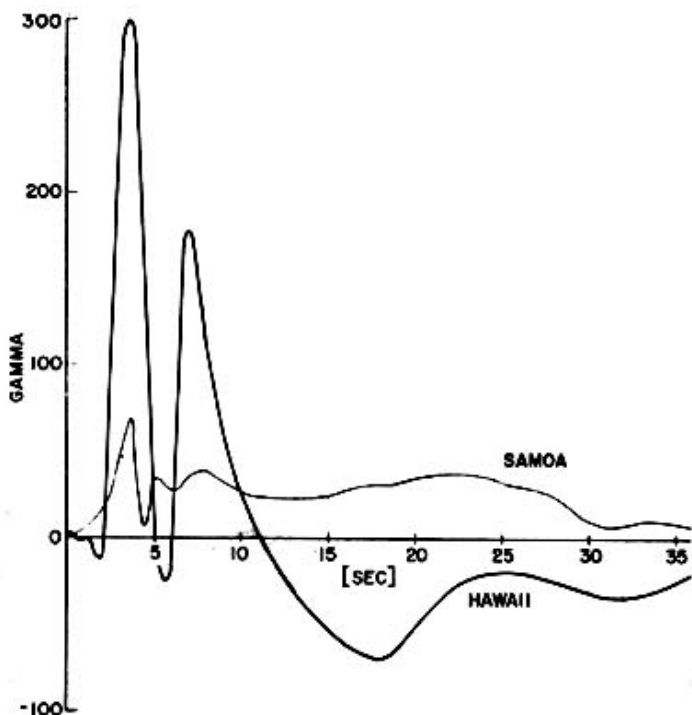


# MAGNETISKE STORMER (Magnetohydrodynamisk EMP, MHD-EMP)

Kjerneeksplosjoner i store høyder har gitt opphav til magnetiske forstyrrelser (pulser) som er blitt registrert i store avstander. Ved eksplosjonshøyder over 100 km har forstyrrelsene, som varierer uregelmessig med perioder i området fra ett sekund til mange minutter, blitt registrert over mesteparten av jordkloden. Forstyrrelsene ligner "magnetiske stormer" som opptrer i forbindelse med nordlysaktivitet, fortrinnsvis i polar strøk. Men forstyrrelsene er mere hurtig varierende med perioder i sekundområdet og disse kan bli av vesentlig større styrke enn "naturlige stormer".

Magnetpulsregistreringer etter amerikanernes kraftigste sprengning Starfish er gjengitt nedenfor (1). De største fluksfeltstyrker opptrådte her 3-5 s etter eksplosjonen. Disse fluksfelt kan ha vært opp i mot 1000 gamma (nanotesla, nT) i avstander mindre enn 1000 km fra nullpunktet som vist i figuren.



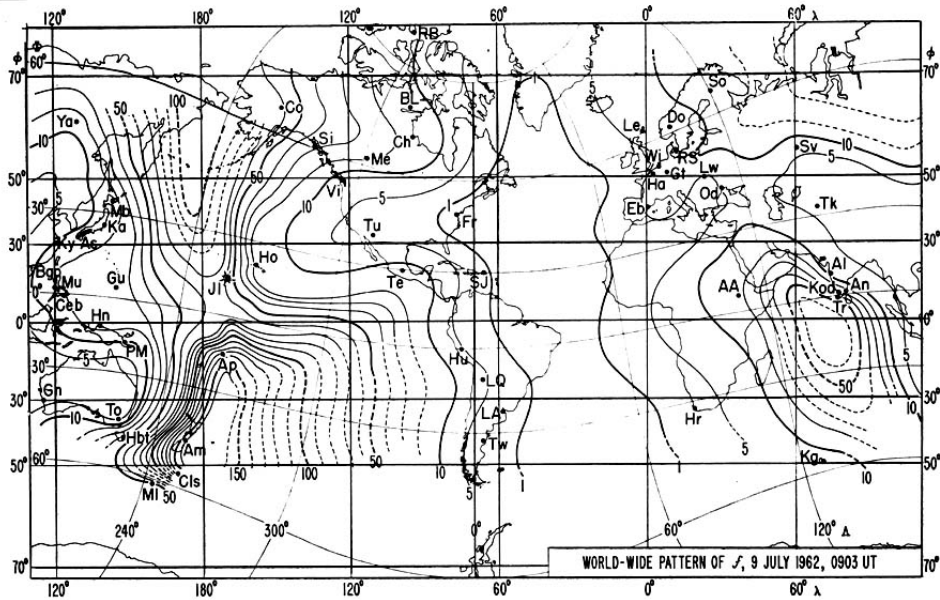
*Magnetfluksfeltets styrke som funksjon av tid og maksimal styrke ved 3 - 5 s som funksjon av avstanden.*

Avstanden til Hawaii (Puako) var 1500 km og til Samoa 3400 km.



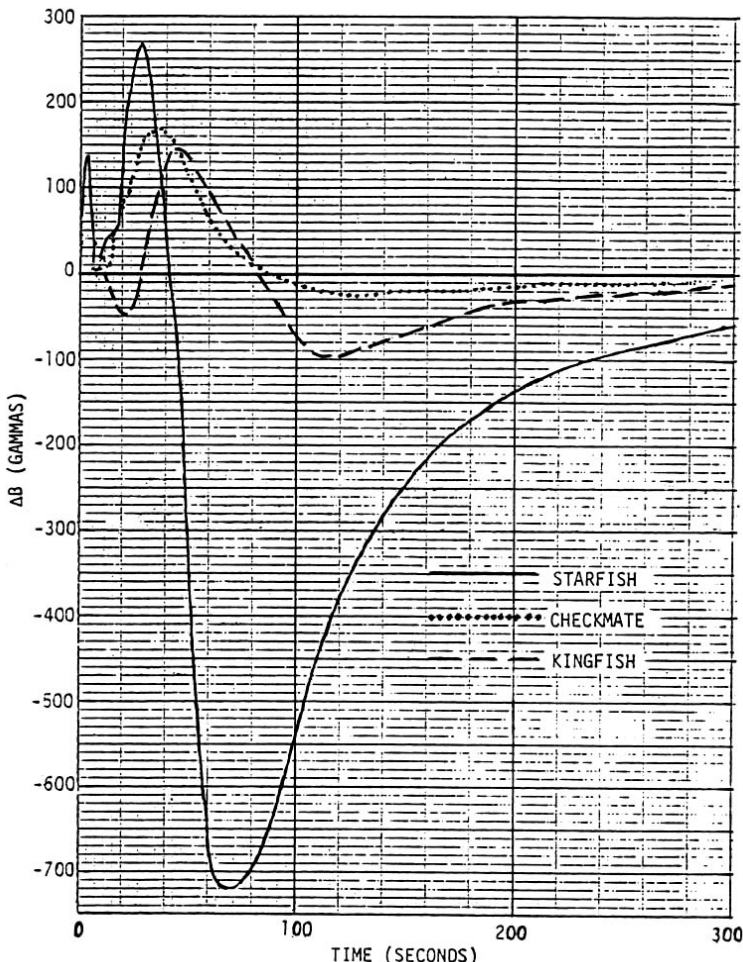
Starfish

Forstyrrelsene ble registrert over hele jorden og ca 3 minutter etter denne eksplosjonen opptrådte det fluksfelt 6900 km sør for eksplosjonsstedet med amplituder på ca 160 gamma som vist nedenfor (2).



Magnetfluksfeltets styrke 2 min og 51 s etter eksplosjonen Starfish (nullpunkt merket JI) (2).

Magnetfeltregistreringer på Johnston-øya like under noen eksplosjoner i stor høyde er gjengitt nedenfor (3).



Magnetometer - målinger på Johnston-øya for noen eksplosjoner i stor høyde.  
 Starfish, 1,45 Mt i høyde 400 km, 09.07.1962.  
 Checkmate, ca. 20 kt i høyde 150 km, 20.10.1962.  
 Kingfish, < 1 Mt i høyde 100 km, 01.11.1962.

Stigetiden for den første pulsen er gitt ved den tid det tar til ildkulen er ekspandert til sin maksimale diameter, som er ca 1 km ved jordoverflaten og flere mil i 50 km høyde for et stort våpen. Beregninger for en liten eksplosjon (1 kt) ga en stigetid på ca 0,5 s og et felt ved nullpunktet på ca 0,1 A/m (4). Disse verdier stemmer tilnærmet med målinger av amerikanerne ved prøvesprengninger (Argus) august - september 1958 der 3 små bomber (1,7 kt) ble sprengt i stor høyde (160, 290 og 750 km) over Syd-Atlanteren.

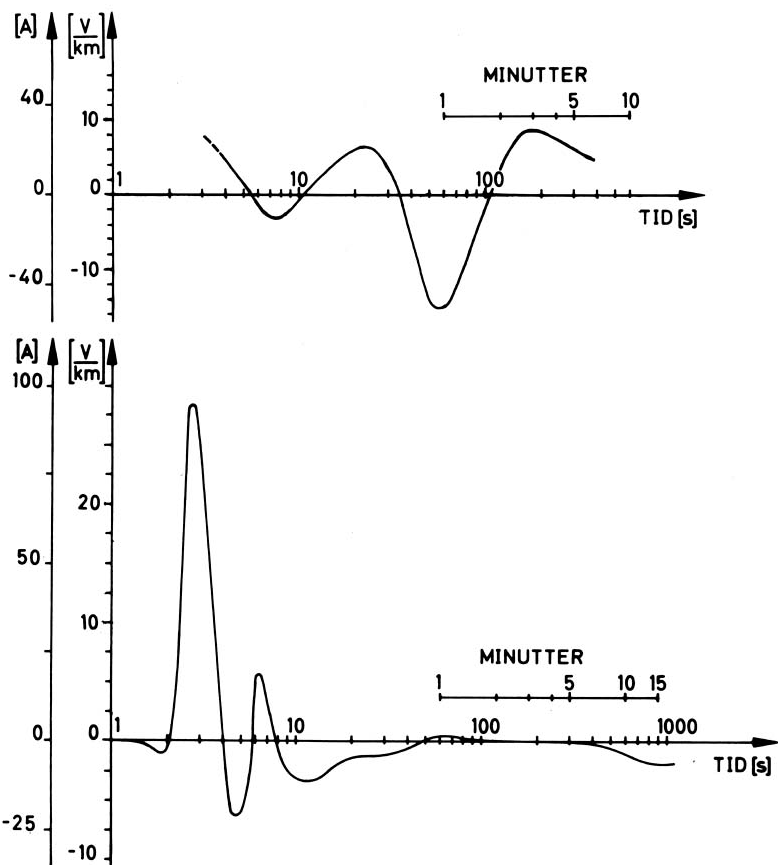
I henhold til Longmire (3) er det 3 forskjellige mekanismer som gjør seg gjeldende ved en stor eksplosjon i meget stor høyde:

i) Eksplosjonens ildkule er meget godt elektrisk ledende og utvider seg med meget stor hastighet (ca 100 km i løpet av få sekunder). Den presser derved jordmagnetfeltlinjene til siden og dette gir en kraftig forstyrrelse av jordmagnetfeltet. Denne forstyrrelse har en varighet på noen sekunder. Samtidig er imidlertid atmosfæren under eksplosjonen blitt elektrisk ledende p g a den intense røntgenstrålingen fra eksplosjonen. Området på bakken under eksplosjonen blir dermed godt skjermet for dette felt opp til en tid på ca 10 s. Den mest intense del av magnetfeltforstyrrelsen er da over.

ii) Dernest vil eksplosjonen generere en magnetohydrodynamisk bølge i F-laget i ionosfæren. Denne bølge utbrer seg over hele jorden.

iii) Til slutt vil bombematerialer og sjokkoppvarmet luft bli transportert mot magnetisk konjugerte områder og bli stoppet av luftmassene i en høyde på ca 120 km. Luften i disse områder blir dermed varmet opp og stiger til værs ("Heave"). Luften er elektrisk ledende. Den relative bevegelse av luftmassen i forhold til jordmagnetfeltet gir opphav til sirkulerende strømmer i luftmassen. Disse strømmer genererer i sin tur magnetfelt på jordoverflaten. En tror at det kraftige negative sving i figuren ovenfor skyldes denne effekt.

Magnetfeltene vil generere elektriske felt (spenningsfall) langs bakken. Det elektriske felt langs bakken er her definert som den spenningsforskjell (V) som opptrer mellom punkter på bakken som er 1 km fra hverandre. Styrken av langvarige elektriske felt vil avhenge av de elektriske egenskapene av bakken ned til flere mils dybde. I Norge er det for det meste grunnfjell (granitt) ned til 10 - 20 km dybde, og vanligvis bare et tynt overflatelag med en høyere ledningsevne. Beregning av maksimal styrke av det elektriske felt er vist nedenfor der jeg har benyttet registreringen av magnetfeltet for Starfish vist ovenfor. Strømmen i en lang jordkabel er også estimert. Magnetfeltet ble også målt i en avstand på 1500 km (Hawaii). Beregning av maksimalt mulig strøm som kan opptre i denne avstand er angitt nederst i figuren.



Beregnet elektrisk felt (spenningsfall) langs bakken samt strøm i aluminiumsmantelen på en lang jordkabel (langsmotstand  $R = 0,3$  ohm/km).

Maksimal strøm er tilnærmet invers proporsjonal med  $R$  (liten motstand av jordingsforbindelser).

Øverst: Under eksplosjonen Starfish. Nederst: 1500 km fra eksplosjonen Starfish.

Den maksimale mulige totale strøm i lange fjernkabler av aluminium kan som vist bli anslagsvis 100 A. Slike strømmer er ikke skadelige for den slags kabler, men det kan muligens opptre branner i installasjoner dersom strømmen blir påtrykket ledere (f eks jordledere) med lite tverrsnitt.

I Sovjet fant det sted en sprengning på 300 kt den 22. oktober 1962 i 290 km høyde over Baykonor (44,84° N, 66,05° Ø) (gruveby, 300 km nordøst for kosmodromen av samme navn) i Kasakhstan. Det ble målt en magnetfluks på 1025 nT og estimert en fluksfelt på 420 nT i avstand 433 km fra nullpunktet og 240 nT i 574 km avstand. Langs bakken (ledningsevne  $10^{-3}$  S/m) ble det målt 400 V over 80 km (5 V/km). Samband ble avbrutt på en jordkabel som på det nærmeste var ca. 450 km fra nullpunktet og som gikk 650 km sydover fra Astana (hovedstaden i Kasakhstan) til Saryshagan ved Balkashsjøen. Strømmen på denne kabel som var av konvensjonell type med mantel av bly og stålbånd ble estimert til 4 A. Den var beskyttet ved en rekke releer som løste seg ut. Releene måtte resettes manuelt. Det oppsto feil på andre sivile linjer i Kasakhstan som ikke ble undersøkt nærmere.

To andre sprengninger samme sted i mindre høyde (150 km og 59 km) ga virkninger med mindre rekkevidde.

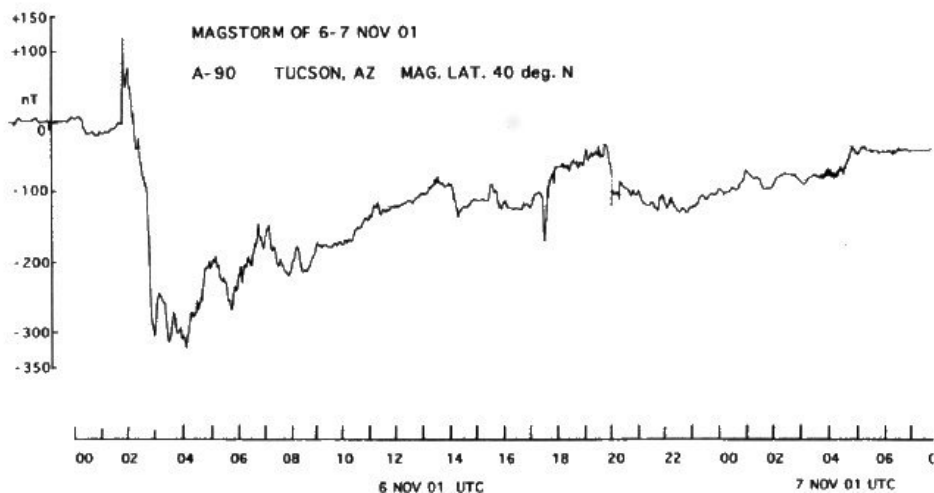
([http://home.earthlink.net/~hallmark\\_cl/id5.html](http://home.earthlink.net/~hallmark_cl/id5.html)).

Sprengningen den 22. oktober ble registrert ved Nordlysobservatoriet i Tromsø (5) og i Kiruna (6). De to andre sprengninger fant sted 28. oktober (registrert i Kiruna (6)) og 1. november 1962.

Disse sprengninger var en test av et ABM-forsvar ("Anti-Ballistic Missile", ABM) der raketter med disse bombene ble sendt opp fra Kapustin Yar, et prøvefelt nord for det Kaspiske hav ca. 2000 km mot vest. Ved å sprengne atombomber i stor høyde skulle en kunne sette ut av spill andre angripende raketter i området rundt detonasjonene. Russerne hevdet den gang at de hadde ødelagt to raketter samtidig i stor høyde over Kasakhstan ved bruk av en bombe. ABM-systemet som ble bygget opp rundt Moskva i 60-årene hadde ca 64 utskytningsramper der raketter med kjernevåpen (Galosh) var montert. De ble anbrakt i 4 forskjellige anlegg i en avstand på ca 100 km fra Moskva. I en stor øvelse juni 1982 ble det skutt opp 2 interkontinentale angrepsraketter fra Kapustin Yar. De ble møtt av 2 ABM skutt opp fra Saryshagan et annet stort prøvefelt i Kasakhstan (7).

## Rapporterte virkninger av "naturlige" magnetiske stormer

Magnetiske stormer var et problem for samband i tidligere tider da det ble benyttet meget lange luftlinjer og en-tråds telegrafisamband med jord som returleder. Det vil da gå strøm i linjen når jordpotensialet på stasjonene er forskjellige. Slike jordstrømmer, eller "luftstrømmer" som de også ble kalt, opptrådte særlig hyppig i Nord-Norge i forbindelse med nordlys. Den kjente nordlysforskeren Ole Krogness benyttet slike strømmer til å starte en alarm for å varsle når det var nordlysaktivitet om natten. "Luftstrømmene" varierte både i styrke og polaritet, og kunne til sine tider bli så kraftige at all telegrafering ble umuliggjort. Der det var mulig å skaffe en ekstralinje, ble denne koplet inn som returleder. I 1930 ble det tatt i bruk filtersystemer, slik at man etter hvert ble upåvirket av jordstrømmene. I 1933 fant en i Sverige at det også var mulig å bruke tørrlikerettere som vern når det var "luft" på linjen.



En er ikke kjent med at telefonsamband har falt ut, eller på annen måte blitt forstyrret p g a nordlys i den senere tid. Ved Nordlysobservatoriet i Tromsø ble det opplyst at usedvanlig kraftige stormer førte til avbrudd i telefontrafikken i tidligere tider.

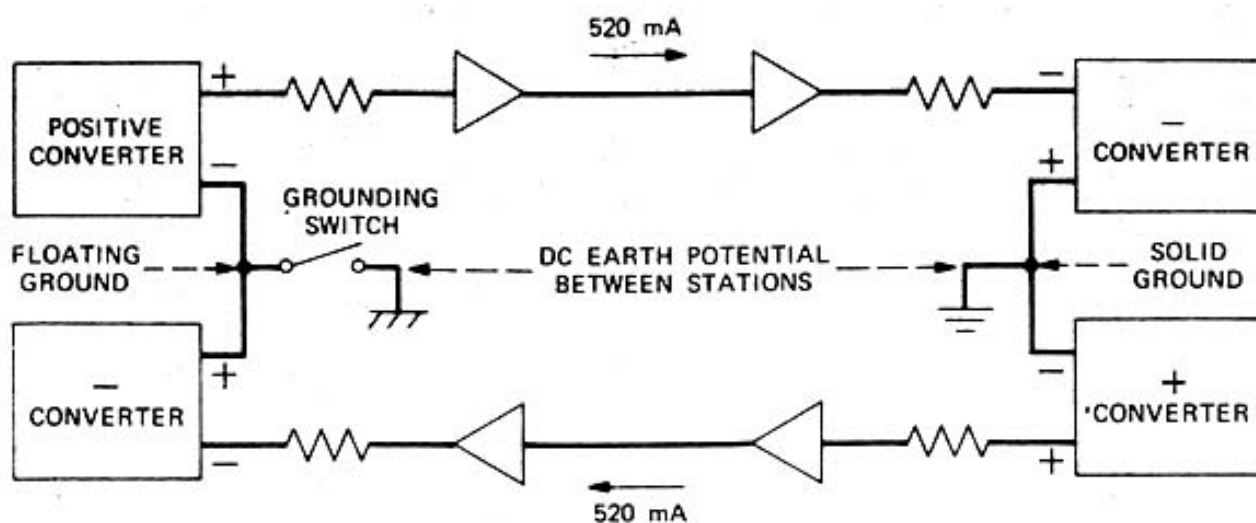
Den 16 april 1938 og 24 mars 1940 var det i Nord-Norge perioder med meget sterke magnetiske stormer og nordlys. Dr L Harang fant at spenningene på linjen Kirkenes - Hestfoss måtte ha vært minst 50 - 60 V/km og strømmen i en line mer enn

10 A (8). Den gang ble 3,3 - 4 mm luftliner av kobber (med meget liten motstand, ca 2 ohm/km) benyttet til fjernsamband. Den 11 februar 1958 ved 3-tiden om morgenen var det også en storm som koblet ut samband over mesteparten av Norge i mange timer. Det ble brann i et kabelhus i Andersdal og tilløp til brann i telefonsentraler (Lom, Åndalsnes) og i billettkontorer på jernbanestasjoner (Sel og Åndalsnes). Lynavledere og sikringer smeltet på sentraler i Nord-Gudbrandsdalen der det var gjennomgående rikslinjer; bl a Lesjaskog, Dombås, Dovre, Otta, Lom, Bøverdalen og Grotli. Nattoget fra Stockholm ble oppgitt å være 3 timer forsinket p g a magnetisk storm i Sverige (9).

Nordlysstrømmer har også ført til sporadiske ødeleggelse av katodisk korrosjonsvern på oljerør i Nord-Norge. En nettlikeretter som ga en påtrykt strøm av størrelsesordenen A i slike rør ble skadet, slik at en måtte lage beskyttelse for denne. I de store oljerør i Alaska ble det målt strømmer på 200 A p g a nordlys.

Under den magnetiske stormen 11 februar 1958 (02.02 GMT) ble det induisert en langspenning på 2650 V i kabelen over Nord-Atlanteren. Dette førte temporært til en sterk forringelse av sambandskvaliteten den ene veien (fra USA) (10).

En usedvanlig kraftig magnetisk storm den 4 august 1972 (22.40 GMT) med styrke ca 700 gamma/ minutt og ca 7 V/km, førte til utkopling en 1/2 time av et av Bell's koaksiale telefonsystem (L4) i USA (Illinois/Iowa) (11). Dette system ble anført å være beskyttet mot EMP (12).



—L4 power-feed section in the presence of an earth potential.

I Norge nyttes det også enkelte koaksialsystemer av lignende type. Denne stormen i 1972 var usedvanlig sterk også i Norge men ingen viktige fjernsamband ble koblet ut (13). Fjernsambandsystemene med radiolinjer og til dels jordkabler er derfor mindre utsatt for disse virkninger enn det gamle system med luftlinjer. Grunnen til at koaksiallinjesystemet Oslo - Bergen falt ut under stormen den 11 februar 1958 var at det ble benyttet et foreløpig opplegg med selve jorden (bakken) som returleder for strømforsyningen av forsterkerne (13). Normalt benyttes mantelskjermen (aluminium) som returleder. En er nødt til å jorde mantelen i begge ender, men siden motstanden av denne massive mantelen er meget liten blir spenningsfallet mindre enn den påtrykte spenning som er gitt ved forskjellen i jordpotensial.

Magnetiske stormer er imidlertid ikke bare begrenset til nordlyssonene i området rundt 70° nordlig magnetisk bredde. Det kan også opptre mer eller mindre globale stormer. Den 29 august 1859 og 31 oktober 1903 opptrådte det for eksempel kraftige magnetiske stormer som umuliggjorde telegrafi både i Nord-Amerika og Europa. I Frankrike målte en under stormen i 1859 en spenning på 800 V i en linjelengde på 600 km.

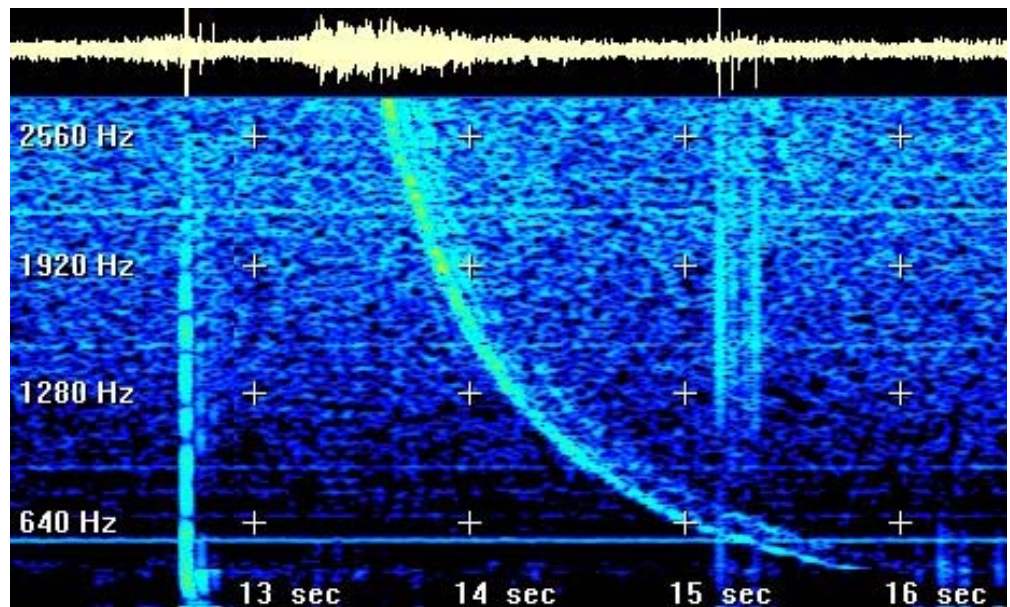
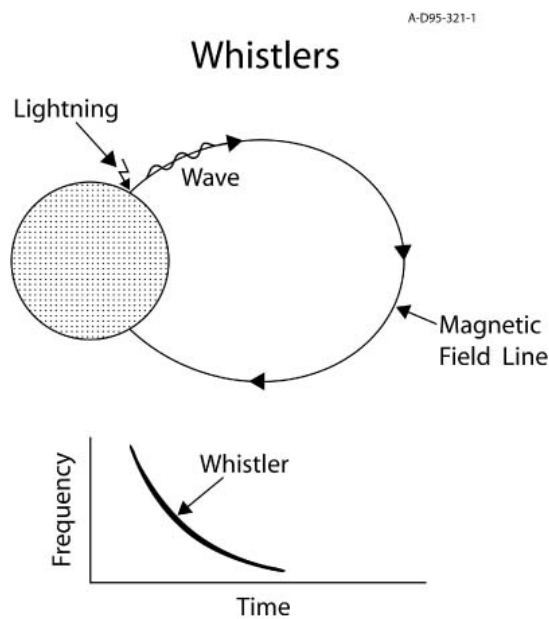
Spenningsfall på opptil 7 V/km skal være målt i Canada. Det er bl. a. observert at lynavledere (tennspenning ca 600 V) mellom lange linjer og jord kunne tenne under perioder med nordlysaktivitet. Det er rimelig å anta at slike felt bare kan opptre over områder av forholdsvis begrenset størrelse til samme tid.

Det er også kjent at transformatorer og høyspentlinjer kan kobles ut under magnetiske stormer. Dette fant bl a sted under stormene i USA i 1940, i Canada i 1958 og 1972 (14) samt i Nord-Sverige den 13 november 1960 (15). Den 13 mars 1989 førte slike stormer til at strømforsyningen via høyspentlinjer koblet seg ut i Quebec i Canada. Det var også mindre avbrudd i Sverige. Tilsvarende virkninger oppsto også under sterke stormer den 8 -9 februar 1986 og 13 - 14 juli 1982.

Magnetiske stormer har også kople ut elektriske kraftforsyningssystemer i USA. Dette skjer vanligvis ved at jernkjerner i transformatorer går i metning p g a jordstrømmen, slik at det bl a blir for stor varmeutvikling. Det hevdes at spenningsfall på noen få V/km er tilstrekkelig (16). En har også vært redd for at jernkjerner i verneutstyr (f eks Petersen-spoler) skulle gå i metning, slik at dette utstyr ikke virker som det skal ved overslag på linjer. Elektrisitetsforsyningen hadde for en del år siden problemer på lange overføringslinjer i Sør-Norge. Dette mente man kunne komme fra nordlys. I sterkstrømsnettet vårt er midtpunktet på trefase-transformatorene jordet direkte eller via en spole (Petersen spole). Ved sterkt nordlys kan potensialgradienten langs bakken drive en tilsynelatende likestrøm (anslagsvis  $10^{-2}$  Hz) fra en trafo til en annen via overføringslinjene med jord som retur. Denne likestrømmen vil gi trafoene en formagnetisering som vil påvirke 50 Hz-strømmen i trafoen. Virkningene vil være motsatt i to halvperioder. Dersom nordlys-strømmen er stor, kan trafoen gå i metning i den ene halvperioden og temperaturen øker. Sinusformen på 50 Hz-strømmen blir deformert. Etter hvert som samkjøringsnettet er blitt mer komplekst, kan eventuelle nordlys-likestrømmer fordele seg på mange linjer. Strømmer i hver linje (d v s hver trafo) kan derfor bli redusert, og virkningen av formagnetiseringen av trafoene kan bli mindre. Det er mulig at problemet kan være større i Nord-Norge. Her er samkjøringsnettet enklere enn i Sør-Norge, og nordlysaktiviteten større.

## Whistlere (Plystretoner)

I forsterkertechnikens barndom for ca 70-80 år siden ble det rapportert at en av og til kunne høre plystrelyder i hodetelefoner eller høyttalere. Slike lyder ble av og til også hørt av telefonoperatører på lange telefonlinjer. Plystresignalene startet med en tone på høy frekvens (ca 8 kHz) og gled kontinuerlig ned til lave frekvenser (ca 500 Hz) i løpet av ett sekund. Signalene opptrådte vanligvis enkeltvis, men kunne også følge etter hverandre i bestemte tidsintervall eller i et komplisert mønster.



Whistlere oppstår ved at EMP fra lyn, som inneholder et bredt spekter av frekvenser, trenger gjennom ionosfæren og vandrer som en bølge langs en jordmagnetisk feltlinje, langt ut fra jorden i magnetosfæren, og tilbake til det konjugerte punkt på jorden igjen. Ionosfæren og magnetosfæren består av elektrisk ladde partikler (plasma), som fører til at hastigheten av bølgen øker med frekvensen. De høyeste frekvensene når derfor først fram til det konjugerte punkt. Ved det konjugerte punkt kan bølgen bli reflektert tilbake til utgangspunktet igjen. Der kan den igjen bli reflektert slik at whistleren pendler fram og tilbake flere ganger. Det er publisert målinger av whistlere fra flere kjerneeksplosjoner både i stor høyde og nær bakken. Disse opptrådte ca ett sekund etter EMP

## Litteratur

- (1) Bomke, H et al - Near and distant observations of the 1962 et al Johnston Island high-altitude tests, J Geophys Res 69, 3125 (1964)
- (2) Bomke, H A et al - The nature of worldwide geomagnetic disturbances, J Geophys Res 71, 2777 (1966).
- (3) Longmire, C.L. - *On the Electromagnetic Pulse Produced by Nuclear Explosions*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-26, No. 1, p. 3 (1987).

- (4) Leipunskii, O Possible magnetic effects from high-altitude explosions of atomic bombs, Soviet Phys JETP 11, 219 (1960)
- (5) Berger, S - Brev av 27.06.1977 med registreringer, Nordlysobservatoriet i Tromsø.
- (6) T Elkins, A Egeland (1963): Ionospheric effects associated with nuclear weapon tests July-December 1962, Scientific Report No. KGO 63 2, Kiruna Geophysical Observatory.
- (7) Grønhaug, K-L (1987): Kjernevåpen, strålevåpen og EMP, Sivilt beredskap nr.1, 1987
- (8) Harang, L - Maximalwerte der Erdstromspannung in der Nahe der Nordlichtzone, Gerlands Beitrage zur Geophys 57, 20 (1941)
- (9) Avisartikler: "Voldsomt magnetisk uvær skadet telefonsambandet på kysten", Nordlys 12 febr 1958 side 1, Aftenpostens aftenutgave, 11 febr 1958 side 2, samt 12 febr side 1, Fra artikkelen i Nordlys:

Et uvanlig kraftig såkalt magnetisk uvær herjet natt til i går med telefonlinjene over nesten hele landet. Uværet som kom sammen med nordlyset, førte til at sikringene smeltet en rekke steder, og forbindelsen mellom Oslo-Bergen, Oslo-Møre, Oslo-Haugesund og Oslo-Trondheim og videre nordover falt til dels ut. Man regnet med å få sambandet fra Oslo klart alt i går formiddag. Enkelte steder, bl. a. i Lom og på Andalsnes, var det magnetiske uværet så kraftig at det var tilleip til brann.

Under magnetisk storm oppstår det kraftige jordstrømmer i de fysikalse telefonlinjene og sikringene smelter. Den siste store magnetiske stormen vi hadde her i landet var den 17. april 1940.

Ved henvendelse til telegrafverket i Tromsø får vi opplyst at man hadde feil med linjene sørover, og at det var mest feil sør for Namsos, men også mot Narvik. En mann hadde om natten sett noe som liknet en eksplosjon i et kabelhus i Andersdal. Folk fra Telegrafverket ble sendt ut til Andersdal for å finne hva feilen kunne være, og da de kom tilbake utpå ettermiddagen kunne de bekrefte at det hadde vært eksplosjon i kabelhuset. Veggene derinne var helt svarte, flere sikringer var ødelagt og da man kom inn i buset falt mesteparten av ledningene i støv på grunn av forkulling.

- (10) Lanzerotti L J - Geomagnetic influences on manmade systems, J Atm Terr Phys, 41, 787 (1979).
- (11) Anderson, C W et al - Outrage of the L4 System and the geomagnetic disturbances of 4 August 1972, Bell Syst Techn Jnl 53, 1817 (1974)
- (12) Foss, J W, R W Mayo - Operation Survival, Bell Lab Record, p 11 (Jan 1969), Electronics World, p 41 (Aug 1969), Fernmeldepraxis 47, 217 (1970)
- (13) Ramleth K J - Geomagnetiske forstyrrelser - Innvirkning på Televerkets linjenett, Telelektronikk 78, 120 (1982).
- (14) Lanzerotti L J Ed - Impacts of ionospheric/magnetospheric processes on terrestrial science and technology. Solar System Plasma Physics, Vol III, 323-330 (1972).
- (15) Persson P O - Disturbances in directly earthed transmission power systems, Proc 3rd symp EMC Rotterdam (1979).
- (16) Albertson, V D, J A Van Baelen - Electric and magnetic fields at the earth's surface due to auroral currents, IEEE Trans PAS-89, 578 (1970).