

Kan kraftledningar fortplanta 3G-fält?

En teoretisk studie

Elforsk rapport 04:33

Kan kraftledningar fortplanta 3G-fält?

En teoretisk studie

Elforsk rapport 04:33

Kan kraftledningar fortplanta 3G-fält?

En teoretisk studie

Elforsk rapport 04:33

Per Pettersson, Vattenfall Utveckling AB

VATTENFALL 

Förord

Elforsk kontaktades i början av 2003 av en person som har sitt boende endast dryga 10 meter från en 50 kV-ledning. Personen ifråga upplevde att hans hälsa försämrats sedan en mobiltelefonmast, på cirka 1 km avstånd från bostaden, tagits i bruk. Till bilden hör att personen tidigare arbetat med montering av mobiltelefonanläggningar och avbrutit detta arbete beroende på hälsoproblem.

Den fråga som inställde sig var om 50 kV-ledningen kunde fånga signaler från sändarantennen samt emittera dessa till bostaden. Elforsk bekostade som en första åtgärd en mätning av EMF-miljön i bostaden och dess omedelbara närhet utan att finna att fälten var annorlunda än de som normalt kunde förväntas i ett glesbebyggt villaområde. Magnetfältet från ledningen var vid huset endast av storleksordningen 0,1 μ T.

Ett andra steg i att söka om en koppling kan föreligga mellan besvären, närheten till kraftledningen och mobiltelefonmasten blev en teoretisk analys, som presenteras i denna rapport.

Stockholm september 2004

Gunnar Hovsenius
Elforsk AB

Sammanfattning

Kraftledningars förmåga att fortplanta 3G-vågor har studerats ur en teoretisk synvinkel. Två intressanta fall har identifierats: elektromagnetiska fält emitterade av friledning efter 3G-excitation, och i fastighet inträngande vågor via lågspänningsnätet. I båda fallen koncentrerades analysen till ledningarnas transmissionsegenskaper, speciellt dämpningen, eftersom detta är en fundamental del av problemställningen, vid sidan om frågan om hur elektromagnetisk koppling till ledningar över huvud taget kan ske.

Resultatet av studien är att det inte i något av de båda studerade fallen finns fog för att tro att 3G-vågor kan fortplantas via ledningarna, en slutsats som torde kunna utvidgas till att gälla kraftsystemet i stort.

Summary

The ability of power lines to propagate 3G-waves has been studied from a theoretical aspect. Two interesting cases have been identified: electromagnetic fields emitted by overhead lines excited by 3G-waves, and waves impinging buildings via the low voltage grid. The analysis was in both cases concentrated to regard the transmission properties of the lines, notably the attenuation, since this is a fundamental part of the problem complex, beside the question on the electromagnetic coupling to power lines in the first place.

The study results in the conclusion that there is, in both cases studied, no reason to believe that 3G-waves can be propagated by the lines, a conclusion that can plausibly be extended to apply to the power system on the whole.

Innehållsförteckning

1	<u>INLEDNING</u>	1
2	<u>PROBLEMFORMULERING</u>	2
2.1	<u>ALLMÄNT</u>	2
2.2	<u>FÄLT FRÅN FRILEDNING</u>	3
2.3	<u>INTRÅNGNING VIA LÅGSPÄNNINGSNÄT</u>	3
3	<u>ANALYS</u>	5
3.1	<u>UPPLÄGG</u>	5
3.2	<u>STRÅLNING OCH FORTPLANTNING</u>	5
3.3	<u>FORTPLANTNING AV VÅG LÄNGS FRILEDNING</u>	6
3.3.1	<u>Fortplantningsmoder</u>	6
3.3.2	<u>Tvåtrådstransmission</u>	7
3.3.3	<u>Entrådstransmission</u>	7
3.4	<u>VÅGFORTPLANTNING I KABEL</u>	8
3.4.1	<u>Konstruktion och moder</u>	8
3.4.2	<u>Lågspänningskablar</u>	9
3.4.3	<u>Högspänningskablar</u>	9
4	<u>SLUTSATSER</u>	10
5	<u>REFERENSER</u>	11

1 Inledning

I och med övergången till den tredje generationen av mobiltelefonkommunikation, 3G, har den ständiga frågan om hälsovådligheten hos elektromagnetiska fält fått en ökad aktualitet. Detta har på många håll i landet tagit sig uttryck i ett motstånd hos allmänheten mot resandet av antennmaster på grund av rädsla för exponering för fältet. Utan att ta ställning i den medicinska frågan är det nog klokt att ta blotta oron på allvar.

En fråga som uppkommit är huruvida kraftledningar kan fortplanta 3G-vågor. En nätägare önskar naturligtvis att så ej är fallet eftersom han inte har något att vinna på det. Tvärtom skulle nätägaren kunna bli anklagad för att ha förändrat en fältmiljö genom att införa 3G-fält. Detta oavsett om ledningarna var byggda långt före 3G:s intåg. I fall där ägaren upplåtit antennplatser i sina kraftledningsstolpar är han givetvis djupare involverad.

Kraftbranschen har identifierat ett behov av klarläggning av huruvida kraftledningar kan fortplanta 3G-vågor. Föreliggande rapport är ett försök till teoretisk studie.

2 Problemformulering

2.1 Allmänt

En kraftlednings uppgift är att överföra stora mängder energi över långa avstånd. Effektiv överföring kräver drift med höga spänningar och stora strömmar. Ledningen kan i princip uppdelas i ett ledarsystem och ett isolationssystem. Optimal dimensionering av ledarna erfordrar hänsynstagande till de resistiva förlusterna i ledarna och dessa blir med nödvändighet grova. Ett sådant system har förmågan att även överföra energi av mera högfrekvent slag än de 50 Hz som normalt används. Om man jämför en gammaldags telefonblankledning med en högspänningsfriledning så befinns den senare i princip vara klart överlägsen då det gäller låg dämpning. Detta beror dels på de grövre ledarna och dels på de större avstånden mellan ledarna. Vid höga frekvenser tenderar strömmen i ledarna att gå på ytan av dem varför hela ledararean inte utnyttjas, skineffekten, och det blir omkretsen på ledarna snarare än arean som bestämmer de resistiva förlusterna och därmed dämpningen. Vid driftfrekvens uppträder denna effekt i viss mån också, men har inte samma betydelse.

Att kraftledningar verkligen kan fortplanta högfrekvent energi visas av framgången med den numera i Sverige överspelade metoden med kommunikation mellan en frilednings båda terminaler, s.k. bärfrekvenskommunikation. Man utnyttjar typiskt frekvensband på upp till några hundra kHz vid sådan kommunikation. Vid så höga frekvenser är skineffekten fullt utvecklad. Senare har kommunikation på distributionsnät, s.k. PLC, med högre frekvenser kommit att prövas.

Vid PLC-kommunikation är egenskapen hos kraftledningen att kunna fortplanta högfrekventa signaler önskad. I andra sammanhang är egenskapen oönskad. Ett exempel på detta är åsknedslag i kraftsystem varvid stora transienta spänningar uppstår och vandrar iväg ledda av ledningar sökande efter svaga punkter i isoleringen där överslag kan ske. Utgående från stigtiden hos transienterna är frekvensinnehållet begränsat uppåt till några MHz. Ett annat exempel med oönskad fortplantning är koronastörningar vilka uppstår på friledningar till följd av små elektriska urladdningar vid ledarnas yta, speciellt vid regn och ibland även vid hög luftfuktighet. Koronafenomenet är mycket bredbandigt och sträcker sig långt över 1 GHz.

I den här aktuella studien betraktas förmågan till fortplantning av högfrekvenssignaler hos en kraftledning som en negativ egenskap per definition. Som representativ frekvens för 3G-bandet används i denna studie 2 GHz. Frågorna som man vill ha svar på kan formuleras på följande sätt:

- 1) Kan 3G-fältet i en lokalitet nära en friledning vara signifikant högre än vad den skulle ha varit om inte ledningen fanns där?
- 2) Kan 3G-vågor tränga in i en fastighet via lågspänningsnätet?

2.2 Fält från friledning

Vi tänker oss här en sändarantenn för 3G placerad nära eller rent av i en stolpe på en friledning och en fältpunkt, den punkt där fältet studeras, också den nära ledningen. Ledningen antas vara helt rak och obegränsat lång i båda riktningarna och ha ledarna parallella och på en konstant höjd över marken. Beteckna med d avståndet mellan sändaren och fältpunkten. Detta avstånd antas vara approximativt lika med avståndet mellan de två punkter på ledningen där mot ledningen vinkelräta linjer från sändaren respektive fältpunkten skär ledningen. För att renodla situationen tänker vi oss att det sitter en mottagarantenn i fältpunkten. Med P_t betecknande sändarens effekt och P_r mottagarens så blir P_r lika med produkten av P_t och en annan storhet $C(d, f)$ som är en funktion av d och frekvensen f , alltså

$$P_r = P_t C(d, f)$$

Om vi indicerar C med 1 och 2 för fallen utan och med ledning kan vi bilda storheten

$$Q = C_2 / C_1$$

som är ett mått på ledningens inverkan på strålningen.

Med dessa förutsättningar kan vi nu formulera problemet mera explicit som så att ledningen kan fortplanta 3G-fält om Q väsentligt överstiger 1, annars inte.

För att kunna analysera problemet gör vi antagandet att problemet kan uppdelas i tre delproblem:

- 1) Koppling av sändarsignal till ledningen.
- 2) Fortplantning av signal längs ledningen.
- 3) Koppling av signal från ledningen till mottagaren.

Problem 1) och 3) är oerhört komplicerade, medan 2) ligger inom möjligheternas ram att studera här. Om man kan visa att fortplantningen i 2) är förenad med stor dämpning så blir 1) och 3) ointressanta. I kapitel 3 behandlas 2).

2.3 Inträngning via lågspänningsnät

Liksom i avsnitt 2.2 tänker man sig här att 3G-vågor från en sändarantenn kopplar till en kraftledning. Skillnaden är att strålning nu tänks ske från kopplingstrådarna inne i en fastighet efter att vågorna har fortplantats genom hela distributionssystemet från det ställe i kraftsystemet där kopplingen sker. Liksom i fallet i avsnitt 2.2 kan problemet uppdelas i tre delar: kopplingen, transmissionen och emissionen, och även i detta fall fokuseras på transmissionsproblemet.

Frågan är alltså hur stor dämpning man kan räkna med och den beror förstås på var i nätet kopplingen från antennen sker i förhållande till fastigheten, vilket bestämmer de stationer och ledningar som vågorna måste passera. I stationerna väntas transformatorerna bidra väsentligt till dämpningen, men även mättransformatorer, brytargenomföringar etc. kan verka dämpande. Även själva stationskonfigurationen med utgående ledningar inverkar på dämpningen genom att skapa reflexer och fördela vågenergin på flera ledningar. En stor del av energin i en till en station inkommande ledningsbunden våg torde försvinna som strålning ut i rymden. Ledningar som ska passeras kan vara friledningar och markkablar för olika spänningsnivåer. I dessa försvinner energin genom resistiva och dielektriska förluster.

Speciellt lågspänningsnätet är intressant ur transmissionssynpunkt. Typiskt består detta av en sträcka markkabel på något hundratal meter. Försök att använda denna kabelsträcka för höghastighetskommunikation påvisar stora svårigheter. Man skulle då behöva använda frekvenser upp till ett tiotal MHz. För avläsning av elmätare används betydligt lägre frekvenser, t.ex. CENELEC A med frekvenser upp till 95 kHz.

Analysen i det följande kapitel 3 inskränks till att beakta enbart kablar, speciellt för lågspänningsdistribution och i viss mån även för mellanspänningsdistribution.

3 Analys

3.1 Upplägg

I kapitel 2 identifierades två huvudfall, 3G-fält från friledning och inträngning via lågspänningsnätet. I båda fallen inskränktes här problematiken till att gälla enbart ledningars transmissionsegenskaper. För att få en grund för den fortsatta analysen kan det vara på sin plats med en kort beskrivning av vissa relevanta begrepp.

3.2 Strålning och fortplantning

En sändande antenn omger sig med ett elektromagnetiskt fält, som består av elektriskt fält, E-fält, och magnetiskt fält B-fält. På något avstånd från antennen tenderar de båda fälten att vara kopplade till varandra genom en naturkonstant så att storleken på det ena ger storleken på det andra, antennen strålar. På vilket avstånd som detta inträffar bestäms av våglängden λ som står i förhållande till frekvensen f enligt

$$c = \lambda \cdot f \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

där c är våghastigheten i fri rymd. Med $f=2\text{GHz}$ fås $\lambda=0,15$ m. Strålningen är fullt utvecklad på avstånd om tio våglängder dvs ett par meter. E- och B-fälten är vinkelräta mot varandra och mot strålningsriktningen och ligger i fas med varandra så att de i en punkt har minimum- och maximumvärden samtidigt. Effekten P i strålningen i en given punkt ges av halva produkten av de båda fältens värden och avtar som funktion av avståndet r enligt potensfunktionen

$$P \sim \frac{1}{(r/\lambda)^2}$$

dvs effekten är kvadratisk omvänt proportionell mot avståndet mätt i våglängder. Vågor rör sig radiellt utåt från antennen med hastigheten c .

I en transmissionsledning, tag som illustration en koaxialkabel, sker också en vågutbredning. Vågorna rör sig här i isolationen med riktning längs axeln, med en hastighet som är ljushastigheten för isolationsmediet, E- och B-fälten är vinkelräta mot varandra och mot rörelseriktningen. Liksom för antennen är storleken på fälten kopplade, om än beroende av geometrin. Om ledare och isolation är förlustfria är effektransporten P genom varje tvärsnitt av ledningen oförändrad längs koaxialkabeln. I en icke ideal kabel gäller att effekten avtar allteftersom vågen vandrar

$$P \sim e^{-2\alpha l}$$

där d är avståndet från en referenspunkt. Storheten α , dämpningskonstanten, beror av ledarnas och isolationens egenskaper som funktion av frekvensen men också av geometrin. Det intressanta är nu att ovanstående formel gäller mycket generellt.

Vid direktstrålning från antenn avtar alltså fältet kvadratisk omvänt proportionellt mot avståndet från antennen i frånvaro av friledning. I närvaro av ledning avtar fältet exponentiellt med avståndet längs ledningen om den del av strålningen som kommer direkt från antennen kan försummas. För att renodla situationen antas att både antenn och fältpunkt befinner sig nära ledningen i förhållande till avståndet längs ledningen, d , som då också blir avståndet mellan antenn och mottagare. Då har vi att studera avtagandet i potensfunktionen kontra det i exponentialfunktionen. För små värden på d kan man konstatera att potensfunktionen har mycket högre värden än exponentialfunktionen eftersom kopplingen till ledningen torde vara långt ifrån ideal. För stora värden på d blir alltid också potensfunktionen större än exponentialfunktionen. Mellan de båda extremfallen för d kan det finnas eller inte finnas ett intervall där exponentialfunktionen överstiger potensfunktionen. Om det finns ett sådant intervall vid den aktuella frekvensen så skulle man kunna påstå att blankledningar fortplantar 3G-vågor, annars inte.

Det är här på sin plats att klarlägga att en våg som fortplantas på en ledning inte strålar. Om den skulle stråla så skulle energi försvinna ut från ledningen så att vågen skulle dämpas ut och inte kunna färdas någon längre sträcka. Men det finns inte desto mindre ett fält kring ledningen men energitransporten går då längs ledningen och inte ut från den som vid strålning.

3.3 Fortplantning av våg längs friledning

3.3.1 Fortplantningsmoder

Scenariot är att sändarantennen har exciterat en våg på en friledning och att denna våg vandrar iväg på ledningen. Den primära frågan är hur mycket vågen dämpas som funktion av avståndet om exciteringen är sinusformad med den aktuella frekvensen dvs 2GHz.

I sammanhang med ledd vågutbredning finns begreppet naturlig fortplantningsmod. En naturlig mod är given av fysiken bakom fortplantningen, dvs E- och B-fältens uppträdande och kopplingen mellan dem. För en transmissionsledning av den typ som en friledning utgör finns det i den klassiska teorin lika många moder som det finns ledare. I en av dessa moder, gemensammoden, går strömmarna i ledarna i princip åt samma håll och det finns en returström i marken åt motsatt håll. I de övriga moderna är summaströmmen i ledarna i princip noll och ingen ström går i marken, differentialmoderna. För t.ex. en ledning med tre ledare i plant horisontellt arrangemang innebär den ena differentialmoden att strömmen i den mittre ledaren återleds i de båda yttre ledarna och den andra att strömmen i den ena av ytterledaren återleds i den andra.

Till varje mod är knutet en s.k. fortplantningskonstant, λ , som består av en realdel α och en imaginärdel β . Här är $\beta=2\pi/\lambda$ och kallas vågtalet medan α anger dämpningen i den elektromagnetiska fälten på det sätt som behandlas i avsnitt 3.1.

För att förenkla problemet låter vi i den fortsatta analysen gemensammamoden representeras av enda ledare ovan mark och differentialmoderna av två ledare i fri rymd. Det skall visas att differentialmoden knappast kan fortplanta de högfrekventa vågorna medan gemensammamoden möjligen kan det, men med stor dämpning. Det är lämpligt att först studera differentialmoden.

3.3.2 Tvåtrådstransmission

Det är välkänt i antennsammanhang att två trådar på ett avstånd från varandra som är mer än ett antal våglängder och förande strömmar av motsatta riktningar utgör en väldigt antenn genom att utsända stor strålning. Detta innebär samtidigt att arrangemanget är mycket lite skickat för transmission av signaler eftersom energin försvinner som strålning istället för att ledas iväg. Ett kvantitativt mått på effektiviteten som antenn är det s.k. strålningsmotståndet R_r . I sektion 15C i [1] anges följande uttryck:

$$R_r = 60(k_0 s)^2 \left(1 - \frac{\sin 2k_0 d}{2k_0 d}\right) \quad k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$$

där s är avståndet mellan trådarna och d är längden på ledningen. Storheten k_0 är vågtalet för fri rymd. Den andra termen i parenteserna blir försvinnande liten så att parenteserna blir lika med ett. Med s lika med en meter, ungefär fasavståndet för en 20 kV-ledning, blir $k_0 s$ ungefär 40 vid $\lambda = 0,15$ m och R_r ungefär 100 k Ω . Detta värde skall sättas i relation till ledningens karakteristiska impedans, typiskt omkring 500 Ω med geometrin från en friledning. Detta betyder att en ytterst liten del av den inmatade energin i ledningen kommer att fortplantas.

Slutsatsen är att differentialmoden inte kan fortplanta de högfrekventa vågorna.

3.3.3 Entrådstransmission

Innan vi behandlar problemet med vågfortplantning längs en tråd ovan mark är det på sin plats att studera ett mera renodlat problem, nämligen en tråd i fri rymd.

I [2] visade A. Sommerfeld teoretiskt att en enda tråd i fri rymd skulle kunna leda en våg. Återledningen skulle då ske genom förskjutningsströmmar i luften. En möjlig tillämpning av upptäckten skulle kunna vara telekommunikation och G. Goubau studerade i [3] återigen denna våg tillsammans med andra s.k. ytvågor på trådar med modifierad yta. Från detta arbete framkommer att en koppartråd med radien 1 cm vid 2 GHz dämpas med ca 20 dB/km, dvs effekten minskar 10 ggr på en km. På två km minskar effekten 100 ggr. Av intresse är även vågutbredningen kring tråden och det framgår att 75% av effekten finns inom en radie av 1 m. Ju högre frekvensen är desto närmare tråden går vågen och Goubau anger frekvensen 3 GHz som ett praktiskt minimum med hänsyn till startanordningens storlek och krav på fritt utrymme. Tråd med korrugerad yta

eller yta belagd med ett dielektrikum befanns kräva betydligt mindre fritt utrymme, men allt detta är numera överspelat av optofibern.

Beträffande problemet med en tråd över mark så fann H. Kikuchi i [4] Sommerfeld-vågen vara ett gränsfall som uppträder vid mycket höga frekvenser så att vågen kan gå fritt från marken. I en allmän teori ansåg Kikuchi att J.R. Carsons resultat [5] vara gränsfall åt andra hållet, dvs för låga frekvenser. Carson approximerade marken som ett ledande plan ur kapacitiv synpunkt, och det ledde till en med frekvensen monotont växande dämpning med en övre gräns som uppnåddes vid några MHz. Kikuchi modellerade marken utförligare ur kapacitiv synpunkt och fann att dämpningen når ett maximum vid frekvenser på några MHz för att sedan överraskande börja sjunka med frekvensen, ett fenomen som senare ansågs vara verifierat av experiment. Förklaringen skulle vara att marken börjar uppträda som ett dielektrikum vid höga frekvenser och att återledningen då sker genom förskjutningsströmmar i marken istället för genom ledningsströmmar som vid låga frekvenser. Vid ytterligare högre frekvenser gör sig trådens resistans gällande och dämpningen stiger återigen med frekvensen då fortplantningen övergår i Sommerfelds ytvåg.

Mycket i den allmänna teorin är ännu oklart trots mycket stora forskningsinsatser genom åren och full konsensus kan inte sägas ha nåtts på alla punkter. Slutsatsen som trots allt kan dras är att en fortplantningsmod av detta slag knappast kan ha någon praktiskt betydelse för 3G-vågor, dels för att exciteringen av vågen torde vara svår och dels för att dämpningen ändå får anses vara betydande.

3.4 Vågfortplantning i kabel

3.4.1 Konstruktion och moder

En typisk jordkabel består av tre ledare i triangel med en omgivande koncentrisk ledande skärm. Mellan ledarna finns isolationen, och skärmen skiljs från marken av manteln. För en sådan kabel finns fyra naturliga fortplantningsmoder: tre inre moder med summaströmmen noll i ledare och skärm tillsammans, och en yttre mod med ström i skärmen men ej i ledarna och återledning i marken. Av de inre moderna innebär en lika ström i de tre ledarna med återledning i skärmen och de andra två ström i en ledare och återledning i någon av de andra två ledarna. Den yttre moden är förenad med en mycket hög dämpning vid höga frekvenser och kan lämnas därhän då det gäller 3G-vågor. Dämpningen för de andra tre moderna bestäms av ledarnas geometri och material å ena sidan och isolationens material å den andra. Här skiljer sig högspänningskablar från lågspänningskablar genom att ha s.k. ledande skikt mellan ledare och isolation och mellan isolation och skärm för fältutjämning. Ledarna kan vara av aluminium eller koppar och isolationen av papper, PVC, PE eller PEX. PVC används enbart för lågspänningskablar.

En kabel kan också bestå av tre enledarkablar, var och en bestående av isolation, skärm och mantel. Detta är speciellt vanligt förekommande i högspänningsnät där stor kabelarea krävs. I en sådan kabel finns sex moder.

3.4.2 Lågspänningskablar

En bra exposé över i Sverige förekommande lågspänningskablers konstruktion och fortplantningsegenskaper finns i [6], riktad mot elnätssamfund. I avhandlingen spjälkas dämpningen upp i två komponenter: en från resistiva förluster i ledarna och en från dielektriska förluster i isolationen. Dämpningskonstanten α skrivs som

$$\alpha = A\sqrt{f} + Bf$$

där f är frekvensen. Den första termen beaktar ledarförlusterna och den andra isolationsförlusterna. Det befinns att A skiljer sig mycket lite åt för olika kabeltyper medan B varierar enormt beroende på isolationsmaterialet.

Beträffande dämpningen från resistansen i ledarna finner man en dämpning vid 100 MHz om 4-8 dB/100 m beroende på ledararean, minst dämpning för stora areor. Omräknat till 2 GHz betyder det minst 18 dB/100 m, dvs en faktor om 8. Till detta kommer dämpningen från isolationen. För PVC-isolerade kablar, den vanligaste typen, fås en dämpning så stor som 143 dB/100 m redan vid 100 MHz och 20 ggr högre omräknat till 2 GHz, vilket är enormt. För pappersisolerade kablar fås 11 dB/100 m vid 100 MHz, vilket också ger en enorm dämpning vid 2 GHz. Återstår PEX-isolation där dämpningen beräknas till ca 5 dB/100 m vid 100 MHz vilket blir 100 dB/100 m vid 2 GHz, vilket även det betyder en väldig dämpning.

Slutsatsen måste bli att 3G-vågor knappast kan ta sig in i en fastighet via lågspänningskablar, detta oavsett typ av kabel.

3.4.3 Högspänningskablar

Det är mycket vanligt att högspänningskablar utförs med enledarkablar och vi inskränker här intresset till den fortplantningsmod som innebär ström i en enledarkabls ledare och återledning i dess skärm. Högfrekvenssegenskaperna för sådana kablar undersöks för närvarande grundligt vid institutionen för elektrotekniska system på KTH för diagnostikändamål, se [7] och [8]. Det befinns att de ledande skikten bestämmer dämpningen redan vid frekvenser om 10 MHz. Uppmätta värden på dämpningen vid 500 MHz, högre frekvenser erbjuder svårigheter, är över 2dB/m vilket skulle svara mot oerhörda 800 dB/100 m vid 2 GHz efter extrapolering.

Man kan lugnt dra slutsatsen att 3G-vågor kommer ingenstans på högspänningskablar.

4 Slutsatser

Kraftledningars förmåga att fortplanta 3G-vågor har studerats ur en teoretisk synvinkel. Två intressanta fall har identifierats: elektromagnetiska fält emitterade av friledning efter 3G-excitation, och i fastighet inträngande vågor via lågspänningsnätet. I båda fallen koncentrerades analysen till ledningarnas transmissionsegenskaper, speciellt dämpningen, eftersom detta är en fundamental del av problemställningen, vid sidan om frågan om hur elektromagnetisk koppling till ledningar över huvud taget kan ske.

Resultatet av studien är att det inte i något av de båda studerade fallen finns fog för att tro att 3G-vågor kan fortplantas via ledningarna, en slutsats som torde kunna utvidgas till att gälla kraftsystemet i stort.

5 Referenser

- [1] "Handbuch der Physik" Springer-Verlag, 1958
- [2] Sommerfeld A., "Über die Fortpflanzung elektrodynamischer Wellen längs eines Drahtes" Ann. Phys. u. Chemie, Band 67, pp. 233-290, 1899.
- [3] Goubau G., "Surface Waves and Their Application to Transmission Lines" Journ. Appl. Phys., Vol 21, pp. 1119-1128, 1950
- [4] Kikuchi H., "Wave Propagation along Infinite Wire above Ground at High-Frequencies" Electrotech. Journ., Japan, Vol 2, pp. 73-78, 1956.
- [5] Carson J.R., "Wave Propagation in Overhead Lines with Ground Return" Bell Syst. Tech. Journ., Vol 5, pp. 539-544, 1926.
- [6] Fröroth I., "More than Power down the Line" tech. lic. thesis TRITA-IT AVH 99:02, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1999
- [7] Papazyan R., "Time and Frequency Domain Measurement Methods for High Frequency Characterisation of Power Cables", tech. lic. Thesis TRITA-ETS-2003-01, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2003
- [8] Mugala G., "Influence of the Semi-Conducting Screens on the Wave Propagation Characteristics of Medium Voltage Extruded Cables" tech. lic. Thesis TRITA-ETS-2003-04, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2003.

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 2530. Telefax 08-677 2535
www.elforsk.se