

Elektroingenjörsprogrammet
Högskolan i Halmstad 2004

Examensarbete, 10p
Uppdragsgivare: Svenska Kraftnät

Störmiljöer i kontrollsystem och elkraftanläggningar

Mikael Karlsson
Martin Magnusson

Handledare: Emil Nilsson, HH
Kjell-Åke Persson, SvK



**Svenska
Kraftnät**



Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Titel- Title Rapport EMC-störningar

FÖRORD

Examensarbetet har varit en spännande och lärorik del av vår utbildning och att vi kunde utföra det i samarbete med ett företag ”ute i verkligheten” värderar vi högt. Vi vill börja med att tacka vår handledare Kjell-Åke Persson för hans stora engagemang och möjligheten att genomföra vårt examensarbete på Svenska Kraftnät i Halmstad. Ett stort tack också till vår handledare på högskolan, Emil Nilsson för hans synpunkter och att han tagit sig tid för oss genom hela projektet. Sist men inte minst riktar vi ett tack till Leif Koppari och Erik Thunberg på Svenska Kraftnät och Thomas Borglin på Svenska Elektriska Kommissionen för värdefulla tips och idéer under arbetets gång.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

SAMMANFATTNING

Elektromagnetiska fält alstras kring elektrisk utrustning och utgör källan till problem med EMC-störningar. Detta är allvarliga problem som i elkraftanläggningar kan orsakas av exempelvis brytare, frånskiljare och reläer. Störningarna sprider sig antingen strålat eller ledningsbundet via kapacitiv, induktiv eller konduktiv koppling.

Störningsbekämpning är komplext och val av åtgärd beror på många faktorer, inte minst antal störkällor och störoffer. En lika viktig som enkel åtgärd är skärmning av kablar. Utformning och utförande varierar beroende på störningens beteende och måste anpassas till varje enskild situation. Exempelvis anpassas jordanslutningen efter kopplingsättet. Jordning innebär anslutning till en referenspotential, ofta noll V och delas grovt in i elkraft- och elektronikjordning. Jordning kan vara svårt att lyckas med, då många faktorer inverkar, och felaktig jordning kan till och med i sig vara en orsak till störningar. Det finns många andra åtgärder, bl.a. användning av skyddskomponenter såsom överspänningskydd, överströmsskydd och filter.

EMC-störningar eller EMI (ElectroMagnetic Interference), som är en något ovanligare beteckning, är ett uppmärksammat problem. Det forskas mycket inom området av såväl företag som intresseorganisationer och universitet.

Standarder, som är frivilliga överenskommelser, behövs för att underlätta internationellt utbyte och samarbete. Inom elområdet är Elsäkerhetsverket ansvarig myndighet. SEK deltar i det internationella standardiseringsarbetet inom IEC och CENELEC. En serie internationella standarder som bara rör EMC är 61000-x-x. Övriga viktiga handlingar är Elsäkerhetsverkets Starkströms- och EMC-föreskrifter och EG-direktivet 89/336/EEG om EMC.

Intervjuer har genomförts med personer från några företag, representerande grupperna användare, tillverkare och installatörer av elkraftutrustning. Detta för att få en uppfattning om hur vanligt det är med EMC-störningar, hur de yttrar sig och åtgärdas.

Resultatet av examensarbetet blev planenligt sammanställningar av störningsproblem och standarder och föreskrifter.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

ABSTRACT

Electromagnetic fields are generated around all electrical equipment and are the source of the problems with electromagnetic interference, EMI. In power plants, this is serious problems which can be caused e.g. by circuit breakers, disconnectors and relays. The interference spreads either through radiated or conducted coupling mechanisms such as capacitive and inductive coupling.

Avoiding interferences is a complex matter and the choice of measure depends on several factors, for instance the numbers of sources and equipment being affected. A simple method is shielding of cables. The shield design depends on the type of interference and has to be adjusted for every singled situation. The grounding is adjusted to type of coupling. Grounding means connection to a reference potential, often zero V and is roughly divided into electrical power and electronic grounding. Grounding can be hard to manage with, because of all the factors to take under consideration. Incorrect grounding can even itself cause disturbances. There are a lot of other measures, e.g. the use of protective components such as overvoltage protection equipment and filters.

EMI (ElectroMagnetic Interference) is a problem that has attracted much attention. Companies as well as organizations and universities carry out a lot of research within the area.

Standards, which are voluntary agreements, are needed to make international exchange and cooperation easier. Within the electrical area, Elsäkerhetsverket is responsible authority. SEK take part in the international standardization work within IEC and CENELEC. 61000-x-x is a series of international standards only concerning EMC. Other important documents are the directions of EMC and power current from Elsäkerhetsverket and the directive 89/336/EEC about EMC.

Interviews have been carried out with representatives from some companies including users, manufacturers and installation companies. This led to an understanding of how common it is with EMI, how it shows and being measured.

The result of this degree project became as planned a summary of interference problems and standards and directions.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	5
1.1	PROJEKTETS SYFTE	5
1.2	PROJEKTETS MÅL	6
2	METOD	7
3	BAKGRUND	8
3.1	ELEKTROMAGNETISKA FÄLT	8
3.2	EMC-STÖRNINGAR	9
3.2.1	Kabelbundna störningar	10
3.2.2	Strålade störningar	11
3.3	STÖRKÄLLOR	11
3.4	ÅTGÄRDER FÖR STÖRNINGSBEKÄMPNING	12
3.4.1	Skärmning	13
3.4.2	Jordning	14
3.4.3	Övriga åtgärder	14
3.5	TIDIGARE UTFÖRT EMC-ARBETE	16
3.6	ELMILJÖKLASSER	17
3.7	STANDARDER OCH FÖRESKRIFTER	17
3.7.1	Myndigheter och organ	17
3.7.2	Standarder	19
3.7.3	Föreskrifter	20
3.7.4	Lagar, direktiv och förordningar	21
4	RESULTAT	22
4.1	SAMMANSTÄLLNING AV STÖRNINGSPROBLEM	22
4.2	SAMMANSTÄLLNING AV STANDARDER OCH FÖRESKRIFTER	22
4.3	INTERVJUER	23
4.3.1	Energiverken, Halmstad 2004-02-19	23
4.3.2	Pilkington, Halmstad 2004-02-20	23
4.3.3	RL Ingenjör-firma AB, Halmstad 2004-02-27	24
4.3.4	ElektroSandberg, Malmö 2004-03-22	24
4.3.5	Landstingsservice, Halmstad 2004-03-25	26
4.3.6	ABB Substation Automation, Västerås 2004-04-08	26
4.3.7	Kommentarer	27
5	DISKUSSION, SLUTSATSER	29
6	REFERENSER	30
7	BILAGOR	32
7.1	SPECIFIKATION	32
7.2	FORMLER FÖR FÄLTSTYRKA, KOPPLING OCH DIFFERENTIALFÖRSTÄRKARE	32
7.3	INTERVJUFRÅGOR	32

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

1 INLEDNING

I kraftanläggningar som byggdes från 50- till 80-talet användes tåliga elektromekaniska komponenter, exempelvis reläer och elektronrör. Kabeldragning och placering av komponenter var inte så viktigt, då funktionen inte påverkades nämnvärt av kortvariga störningar. Införandet av ny teknik i styr- och kontrollsystem kan i kombination med okunskap medföra att störningar lättare uppstår. Den elektronik som numera används är både känsligare och placeras närmare högspänningsutrustningen. En viktig fråga är hur elektroniken (styr- och kontrollutrustning) i elkraftanläggningar påverkas av elmiljön vid såväl hög- som lågspänning med avseende på EMC-störningar.

EMC är en engelsk förkortning och står för ElectroMagnetic Compatibility. Störningar mot den elektromagnetiska kompatibiliteten benämns oftast EMC-störningar, men heter egentligen ElectroMagnetic Interference, EMI.

Utdrag ur Förordningen (1993:1067) om elektromagnetisk kompatibilitet:

2 § I förordningen avses med

- *elektromagnetisk störning varje elektromagnetiskt fenomen som kan försämra funktionen hos en anordning, en utrustningsenhet eller ett system. En elektromagnetisk störning kan vara elektromagnetiskt brus, en oönskad signal eller en förändring i själva överföringsmediet,*
- *elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) en anordnings, en utrustnings eller ett systems förmåga att fungera tillfredsställande i sin elektromagnetiska omgivning utan att introducera oacceptabla elektromagnetiska störningar till nägonting i denna omgivning.*

Rapporten inleds med kapitel 2, som innehåller en beskrivning av tillvägagångssätt och informationskanaler. Det följs av bakgrund (kapitel 3) som generellt behandlar störningar; problem, uppkomst, spridningssätt och reduktion. Här behandlas också standarder och de organisationer och myndigheter som är delaktiga i standardiseringsarbetet. Kapitel 4 innehåller resultat av projektet och referat av intervjuer genomförda med företrädare för såväl användare av elkraftutrustning som tillverkare och installatörer. Avslutningsvis diskuteras resultaten av examensprojektet i kapitel 5.

1.1 PROJEKTETS SYFTE

Genom att utreda störningssambanden mellan elkraft och elektronikutrustning kan man eventuellt förebygga och åtgärda problemen innan de uppstår. Detta är av intresse för alla anläggningsägare, som givetvis är intresserade av att leverera el utan störningar och avbrott, oavsett distributionsnivå. Syftet med projektet är att öka kunskapen om EMC-störningar hos exempelvis installatörer.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

1.2 PROJEKTETS MÅL

Uppdragsgivarens (Svenska Kraftnät) önskan var att få en sammanställning över EMC-störningar – problem och åtgärder – samt en sammanställning över relevanta standarder beträffande EMC i kraftanläggningar. Ovanstående önskemål formulerades som krav i den specifikation (bilaga 1) som togs fram tillsammans med Svenska Kraftnät. Målet är att sammanställningarna ska kunna användas som någon form av handledning eller utbildnings- och informationsmaterial för installatörer och annan berörd personal.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

2 METOD

I början av arbetet användes mestadels böcker från biblioteket på Högskolan i Halmstad och andra högskolebibliotek via fjärrlån. Sökningar i databasen IEEE [1] på orden ”EMC”, ”EMI”, ”substation” och ”switchgear” gav också resultat i form av ett antal rapporter. Vi sökte också i högskolebibliotekets tidskriftslista på orden ”EMC”, ”EMI”, ”elektromagnetisk störning”, ”elektromagnetiska fält”, ”ställverk” och ”kraftanläggning” men hittade inget av värde i de artiklar vi fann i sökningen. Efterhand inledde vi intervjuarbetet med personer efter egna idéer och tips från våra handledare. De företag som kontaktades var framförallt större företag inom tillverkning, installation och användning av elkraftutrustning.

Parallellt började vi söka efter standarder via SIS [2], men insåg snart att detta var fel tillvägagångssätt för att hitta något användbart. Databasen och områdesindelningen var oöverskådlig och våra kunskaper var inte tillräckliga för att avgränsa sökningarna. I stället använde vi andra informationskanaler, framförallt våra intervjupersoner och interna kontakter inom Svenska Kraftnät, som genom stor erfarenhet guidade oss åt rätt håll. Genom våra kontaktpersoner, framförallt på Svenska Kraftnät, fick vi också tillgång till rapporter från exempelvis STRI, ELFORSK och CIGRÉ. Exempel på en användbar sådan är *Guide on EMC in power plants and substations* [3].

En del av arbetet med standarder handlade om det som ligger till grund för standarder, nämligen lagar, förordningar och direktiv. Uppslag om aktuella sådana hittade vi bl.a. i *Elkraftsystem 1* [4]. Lagar och förordningar i fulltext finns i *Riksdagens författningsregister* [5]. Motsvarande för direktiv hittade vi på SEK:s hemsida [6].

En viktig informationskanal har varit internet och exempel på en för oss användbar hemsida är Elsäkerhetsverkets [7].

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

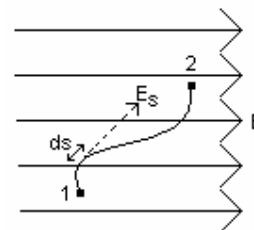
3 BAKGRUND

Bakgrundsundersökningen utgör stommen i examensprojektet om EMC-störningar och de stora delar som behandlas i kapitlet är störningar, storkällor, spridningssätt och åtgärder för att förhindra spridning. Kapitlet inleds med en kort introduktion till elektromagnetiska fält, som utgör källan till störningsproblemen. Arbete som tidigare gjorts inom EMC behandlas också. Kapitlet avslutas med en genomgång av standarder och föreskrifter.

3.1 ELEKTROMAGNETISKA FÄLT

Elektriska fält (figur 3.1) alstras av skillnad i elektrisk potential mellan två punkter och mäts i V/m. De är relativt enkla att reducera, vanligast genom jordning. De minskar dessutom kraftigt vid genomgång av väggar och lättare typer av skärmar. Nedanstående formler är hämtade från *Elkraftsystem 2* [8] och behandlas mer utförligt i bilaga 2.

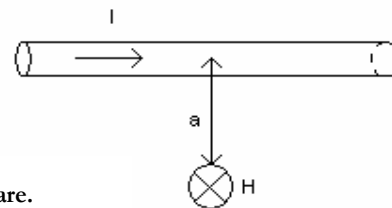
$$E = -\frac{dV}{ds} [V/m]$$



Figur 3.1 Elektriskt fält.

Magnetiska fält uppstår runt exempelvis transformatorer och kablar, p.g.a. den ström som flyter där, se figur 3.2 nedan. De är desto svårare att handskas med och går inte att få bort utan endast flytta på genom skärmning. Den magnetiska fältstyrkan, H , mäts i A/m.

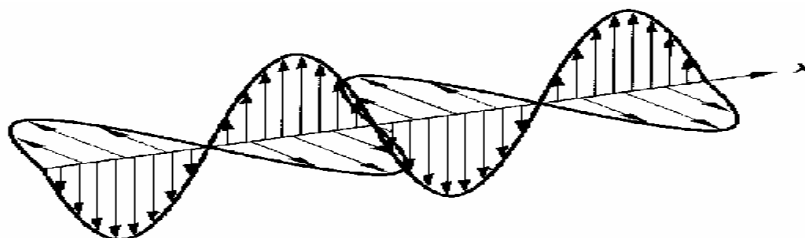
$$H = \frac{I}{2\pi a} [A/m]$$



Figur 3.2 Magnetfält vid lång rak ledare.

Tillsammans bildar de båda fälttyperna ett elektromagnetiskt fält. E- och H-vektorerna är vinkelräta mot varandra och utbredningsriktningen, se figur 3.3. Deras respektive fältstyrka avtar omvänt proportionellt med avståndet till källan. Energin beror både på det elektriska och det magnetiska fältet och avtar således med avståndet i kvadrat. Det är det elektromagnetiska fältet som överför den elektriska och magnetiska energin genom ledare och in i laster.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar



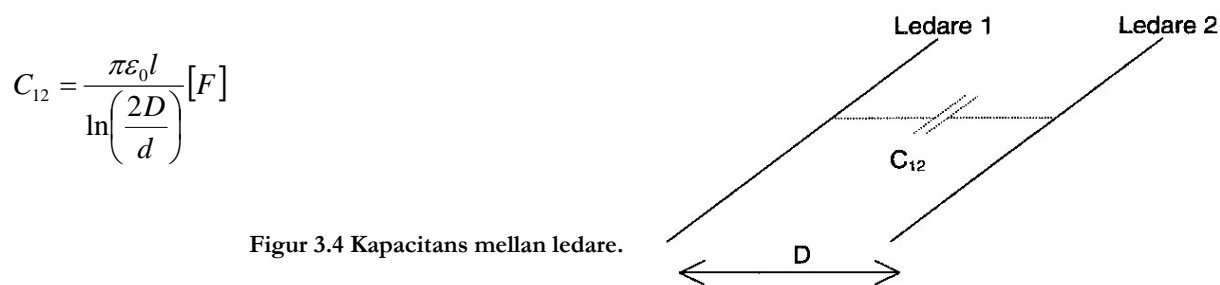
Figur 3.3 Elektromagnetiskt fält. E- och H-vektorerna är vinkelräta mot varandra och utbredningsriktningen.

3.2 EMC-STÖRNINGAR

Störningar är ett allvarligt problem som alltid måste beaktas. Elektromagnetiska störningar är en oönskad spänningsändring, orsakad av elektriska och magnetiska fält. Det som är viktigt är inte i första hand ström- och spänningsnivåerna, utan energiinnehållet i störningen. Störningarna kan delas in efter spridningssätt i två grupper: kabelbundna och strålade störningar. Strålad överföring kan ske genom kapacitiv eller induktiv koppling, i verkligheten en kombination av de två. Kopplingen kan också vara en blandning av strålad och kabelbunden, genom att den är ledningsbunden vid storkälla och störoffer och strålad däremellan. Konduktiv koppling uppstår genom att två ledare har en gemensam impedans, t.ex. via en gemensam bit kabel. Kapacitiv koppling finns alltid mellan två kablar och beror på deras laddning och potentialskillnad. Följande formler är hämtade från *Elektriska mätsystem och mätmetoder* [9] och finns med i bilaga 2.

$$C_{12} = \frac{Q}{U} [F]$$

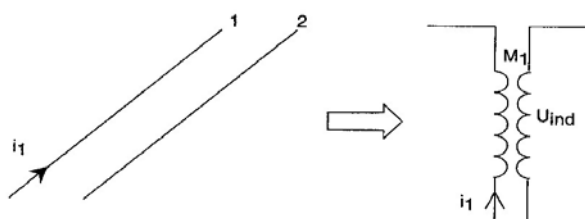
Enkelt uttryckt är avståndet mellan ledare och jord eller mellan två ledare enligt figur 3.4 avgörande för kapacitansens storlek. Den avtar logaritmiskt och därför mycket snabbt även vid en liten separering av ledarna (ca 5-10 cm).



Figur 3.4 Kapacitans mellan ledare.

Induktiv koppling uppstår genom att strömmen i en ledare alstrar ett magnetfält som i sin tur inducerar en spänning i intilliggande ledare, som figur 3.5 visar.

$$\hat{U}_{ind} = M_1 \omega \hat{i}_1 [V]$$



Figur 3.5 Induktiv koppling.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

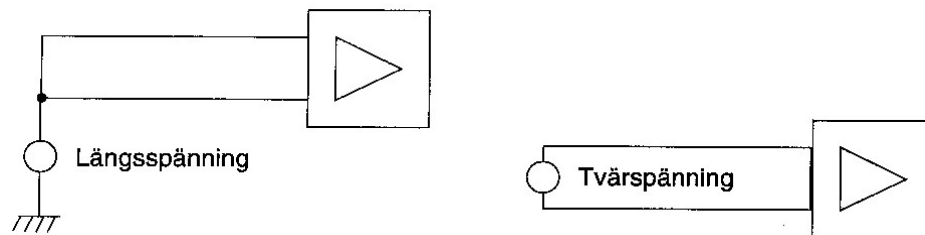
Störningar finns överallt i elnätet och bildas på många olika platser och sätt. Vid energiproduktion alstras t.ex. störningar, som sedan fortplantas i distributionsnätet. De flesta är av typen transienta över- eller underspänningar eller överlagrade högfrekventa växelspänningar. Transient är ett gemensamt begrepp för alla typer av snabbare spänningsvariationer. De kan vara såväl kortvariga icke-oscillerande spänningsspicar som oscillerande spänningsförlopp som snabbt dämpas. Även övertoner, spänning och ström med högre frekvens än grundfrekvensen, genereras enligt Jaekel [10].

Radiofrekventa störningar, RFI (Radio Frequent Interference), är ytterligare en typ av EMC-störning. Frekvensmässigt är det otydligt vad som räknas som radiofrekvens. Beroende på källa, exempelvis Mörk m.fl. [11] varierar både undre och övre gräns, men allt från några tiotals kHz upp till hundratals GHz kan räknas in i den här störningsgruppen.

I elkraftanläggningar kan EMC-störningar bli ett problem framförallt där kraftkablar blandas med styr- och kontrollutrustning eller signalkablar till sådan elektronik. Det blir allt vanligare med lågeffektssensorer för ström- och spänningsmätning i ställverk [10]. Dessa drar mindre ström och kräver lägre spänning, men medför en ökad risk för störningar från kraftanläggningens komponenter. Det blir också vanligare att flytta ut intelligent utrustning närmare mätstället [12]. Detta gör man för att minska den datamängd som ska överföras. Exempel på sådan utrustning är givare i kombination med mikroprocessorer för utvärdering och beräkning. Följden av detta blir en ökad risk för störningar i och med att man placerar fler känsliga komponenter i den aggressiva miljön.

3.2.1 Kabelbundna störningar

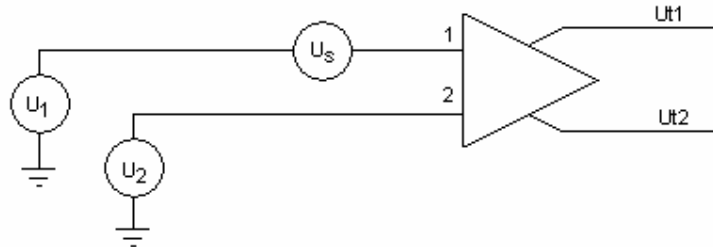
De yttrar sig antingen som en tvärsänning mellan två ledare eller en längsspänning mellan ledare och en referens, vanligtvis jord. Figur 3.6 nedan åskådliggör detta.



Figur 3.6 Längs- och tvärsänning.

Tvärsänning kallas också normal mode- eller seriemode-spänning och dämpas mycket snabbt med utbredningen i kabeln, p.g.a. förluster orsakade av kabelns impedans. Längsspänningar, som också benämns common mode eller gemensam mode, dämpas inte. Vanligaste sättet att få bort den typen av störspänning är med hjälp av en differentiaförstärkare med högt CMRR, se bilaga 2. Signalkabelns två trådar ansluts till varsin ingång på förstärkaren, som i figur 3.7 nedan. Spänningen i kraftkabeln inducerar lika stora störspänningar i signalkabelns båda trådar (U_1 och U_2). På grund av differentiaförstärkarens goda förmåga att undertrycka common mode-spänningar, tas spänningarna U_1 och U_2 bort nästan helt. Signalspänningen U_s , som bara kommer in på ingång 1, förstärks däremot till följd av den höga differentiella förstärkningsfaktorn A_{vd} .

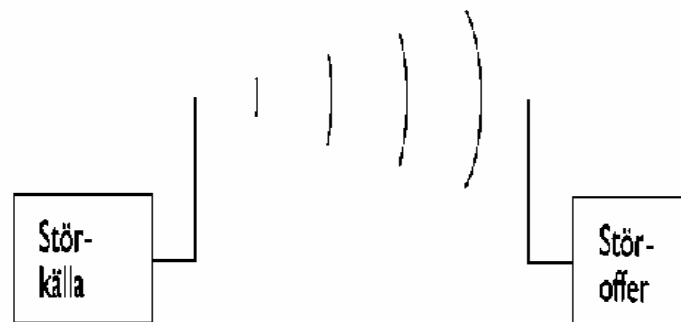
Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar



Figur 3.7 Differentialförstärkare för att dämpa längsspänningar.

3.2.2 Strålade störningar

En ledning kan påverkas av storkällan utan att vara kopplad till den, genom att fungera som antenn och ta upp en strålad störning som figur 3.8 visar. Detta är störningar som transporteras av ett elektromagnetiskt fält. Strömmen i en kraftkabel ger upphov till ett fält, som i sin tur kan inducera en störande spänning i en närliggande kabel. Detta undviks bäst genom skärmning.



Figur 3.8 Strålad överföring av störning.

3.3 STÖRKÄLLOR

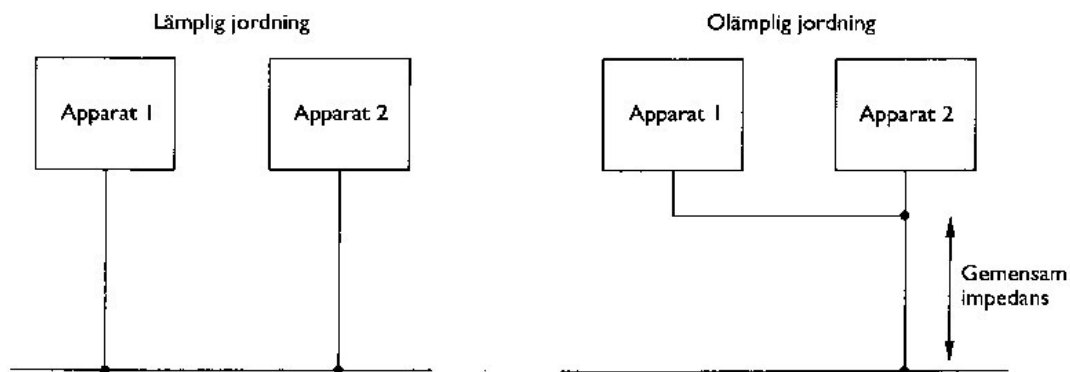
I elkraftanläggningar finns yttre och inre genererade störningar. De yttre, i ställverkets utomhusmiljö, uppträder exempelvis enligt Jaekel [10] som transienta störningar vid brytning och frånskiljning, men även vid kontinuerlig drift alstras ett elektromagnetiskt fält runt ledarna. Vid manövrering av frånskiljare och strömbrytare uppstår mellanfrekventa störningar (10 kHz – 3 MHz) på upp till 20 kV i ledningar i 400 kV-anläggningar. Inre genererade störspänningar uppstår framförallt vid brytning av induktiva laster i kontrollanläggningen, t.ex. reläer och kontaktorer. Dessa alstrar gniststörningar vid manövrering, som ger upphov till en störning via kapacitiv koppling. Störströmmar som uppkommer ger höga amplituder nära brytstället. Eftersom de är ledningsbundna dämpas de snabbt och minskar med avståndet. Beroende på kablarnas förläggning och reläernas avstörningsgrad, kan störningen spridas till ett avstånd på några hundra meter. Ett elektromagnetiskt fält alstras också framförallt från kontaktorer och reläer. Dessa fält kan orsaka störströmmar i kablar, vilka fungerar som antenner. Sedan sprider sig strömmarna vidare exempelvis till styrutrustningar.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

Radiofrekventa störningar, RFI (Radio Frequent Interference) kan t.ex. vara gnistor och ljusbågar från reläer, strömställare och kontakter. Även apparater som ger upphov till hastiga strömändringar, bl.a. tyristorstyrningar, är potentiella störkällor.

Transformatorer är aldrig helt perfekta – en liten del av magnetfältet strålar ut runt dem. Detta kan minskas genom ändring av transformatorns konstruktion eller med hjälp av skärmning.

Olämplig eller direkt felaktig jordning, se figur 3.9, är en vanlig orsak till störningar på signalkablar. Störningen kopplas då galvaniskt via en impedans som signalkretsen har gemensam med en annan krets. Ett exempel kan vara en gemensam jordledning. Samma sak gäller naturligtvis också vid jordfel. Isolationsfel kan också leda till störningar.



Figur 3.9 Exempel på lämplig och olämplig jordning.

3.4 ÅTGÄRDER FÖR STÖRNINGSBEKÄMPNING

I första hand bör man bekämpa störningen där den uppkommer, men angreppspunkten avgörs också av antal störkällor och störoffer. Många störkällor och få störoffer gör att man kanske väljer bekämpning vid störoffren och inte tar hand om själva källan till problemen. Tvärtom är det antagligen mest försvarbart att bekämpa störkällorna om de är få till antalet men påverkar flera utrustningar. Alla störkällor går inte att komma åt för störningsbekämpning. Vissa störningar uppkommer p.g.a. en apparats korrekta funktion och måste på så sätt tillåtas att uppkomma.

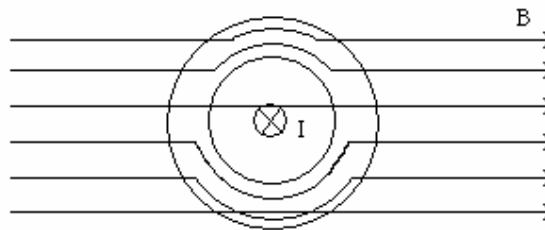
Alla åtgärder görs för att förhindra felfunktioner och insatsen måste naturligtvis vara tillräcklig, men man måste också se ekonomiskt på det. Man vill undvika överdimensionering för att minimera kostnaderna. Samtidigt måste en viss marginal finnas mellan normal nivå och den nivå där störningar börjar orsaka felfunktioner. Störningsbekämpande åtgärder får inte heller i sig vara störningsframkallande för annan utrustning.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

3.4.1 Skärmning

Ett vanligt problem tidigare var överhörning av en störning från en nätansluten kraftkabel till en signalkabel. Detta kan många gånger förstärkas genom att man har de båda kablarna samförlagda på en kabelstege. Detta är en viktig anledning till att man under 1970-talet började intressera sig för skärmning, som är en enkel metod för störningsbekämpning.

Magnetisk skärmning innebär att man försrer kablar, i vårt fall signalkablar, med skärm av ferromagnetiskt material (som har lågt magnetiskt motstånd, t.ex. järn, kobolt och nickel). Denna skärm fångar upp fältet vid LF-störningar, vilket gör att bara en liten del av fältet når ledaren i signalkabeln, som figur 3.10 visar.



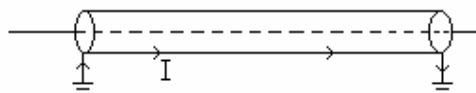
Figur 3.10 Magnetfältet fångas upp av en skärm.

Principen för elektromagnetisk skärmning, som skyddar mot HF-störningar, innebär att störströmmen i intilliggande kablar genererar en ström i skärmen istället för i signalkabeln. Denna har samma amplitud som störströmmen men är motsatt riktad. Strömmen inducerar en spänning (U_{ind}) som beror på skärmens kopplingsimpedans, Z_k :

$$U_{ind} = Z_k * I [V]$$

Man vill minimera störspänningen och därmed ha ett litet värde på Z_k . Flera faktorer påverkar storleken, bl.a. ledningsförmågan hos materialet (som lämpligen är aluminium eller koppar), trådarnas tjocklek och viktigast av allt skärmens geometriska mönster. Utformningen spelar också stor roll, t.ex. ger dubbel skärmning 10-100 gånger bättre verkan än en enkelskärm. Allt detta enligt Benda, *Störningsfri elektronik. Elektromagnetisk kompatibilitet* [13].

Typ och material för skärmning varierar beroende på störningsfrekvens och amplitud. För att skärmningen ska fungera måste skärmen anslutas till jord i minst ena änden. Detta bekämpar kapacitivt kopplade störningar. För att förhindra induktivt kopplade störningar måste en ström kunna flyta i skärmen och därmed måste skärmen jordas i båda ändar, enligt figur 3.11.



Figur 3.11 Jordning i skärmens båda ändar för att leda bort störströmmen.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

3.4.2 Jordning

Begreppet jordning innebär anslutning till en referenspotential, egentligen potentialen hos avlägsen jord, noll V. Mörk m.fl. [11] refererar till flera olika typer av jordning. De kan delas in i två större grupper, elkraft- och elektronikjordning.

Elkraftjord består av systemjord och skyddsjord. Med systemjordning menas på vilket sätt ett systems neutralpunkt jordas och skyddsjord innebär förbindning av utsatt del med denna neutralpunkt.

Elektronikjord förekommer som olika typer. Signaljord är den vanligaste benämningen på referensnivån hos elektronisk utrustning, ofta noll V. Chassijordning innebär anslutning av apparathöljen, stativ m.m. till skyddsjord alt. signaljord. Den ur störningssynpunkt viktigaste jorden – störskyddsjord – innebär jordanslutning av skärmar, ledare, jordplan och annat som är avsett att avleda störströmmar.

Jordning kan vara svårt att lyckas med. Förutsättningarna och därmed också åtgärderna kan skilja från fall till fall och det är svårt att ge några allmänna rekommendationer för jordning. Det är därför viktigt att känna till de olika storheterna i varje specifik störningssituation. T.ex. kan jordning i två punkter av en skärm med en överlagrad lågfrekvent störspänning resultera i en kraftig störström mellan skärm och jord. Dock finns en del grundregler som tillämpas, t.ex. att jordledningar ska göras korta.

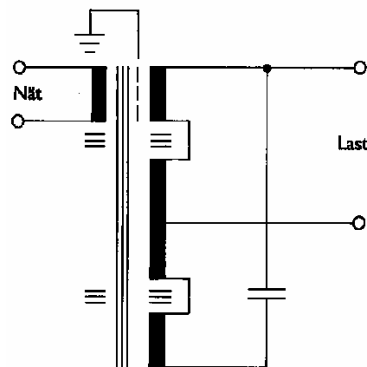
3.4.3 Övriga åtgärder

Överspänningsskydd:

De kan delas in i transienta och driftfrekventa överspänningsskydd och har till uppgift att skydda mot olika typer av spänningsvariationer.

Magnetstabilisator:

Klarar problem med transienter, spänningsvariationer och kortvariga avbrott, upp till 10 ms, genom att lagra energi i en svängningskrets. Denna består av en kondensator parallellkopplad med transformatorns sekundärlindning. Kopplingsschema nedan i figur 3.12. Magnetstabilisatorn är avstämd till nätfrekvensen och dimensioneras så att den drivs i mättnad för varje halvperiod. Därigenom ökas svängningsenergin på sekundärsidan och utspänningen påverkas obetydligt av transienter och kortare avbrott. Magnetstabilisatorn skyddar mot låg- och mellanfrekventa störningar, men är inte tillräckligt effektiv för de högfrekventa.



Figur 3.12 Kopplingsschema för magnetstabilisator.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

Ventilavledare:

Tar bort transienter och begränsar spänningen, genom att det uppstår överslag i dess gnistgap och överspänningen avleds till jord.

Störskyddstransformator:

Reducerar störspänningar genom att bara släppa igenom frekvenser i signalområdet och dämpa övriga frekvenser. Bra att använda för att ta bort restspänningen från en ventilavledare.

Reläskydd:

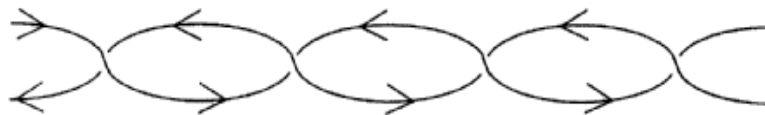
Dess uppgift är att upptäcka fel, t.ex. hos en transformator eller ledning och ge signal för fränkoppling. Övervakning sker genom kontroll av spänning eller ström.

Överströmsskydd:

Fungerar som kortslutningsskydd tillsammans med antingen säkringar (för mindre transformatorer) eller underimpedansskydd.

Partvinning av kablar:

Partvinning enligt figur 3.13 är ett effektivt medel och det enda sättet att förhindra lågfrekventa störningar då normal skärmning inte kan användas. Metoden innebär att man eliminerar fältet m.h.a. ett motsatt riktat fält.

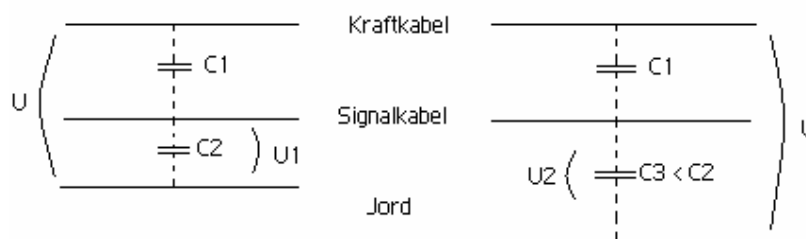


Figur 3.13 En tvinnad parkabel med många små slingor. Den inducerade spänningen i en slinga motverkas av den motriktade spänningen i den närliggande.

Förbättrad placering av komponenter, kablar och apparater:

Lågfrekventa störningar kan minskas genom att separera signalkablar från kraftkablar. Beroende på kabeltyp kan det variera från 5-10 cm upp till 30 cm. Ett annat alternativ är förläggning av kablar på speciella kabelstegar. Det är lämpligt att förlägga störkänsliga kablar nära ett jordplan eller en jordlina för att öka kapacitansen mellan ledare och jord och därmed minska störspänningen, se figur 3.14. Eftersom kapacitansen C_2 är större än C_3 blir Spänningen U_1 mindre än U_2 . Spänningsdelning sker enligt nedanstående formler.

$$U_1 = U \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad U_2 = U \frac{C_1}{C_1 + C_3}$$



Figur 3.14 Förläggning av störkänsliga kablar nära jord (vänstra figuren) minskar störspänningen.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

Ett ytterligare sätt att undvika störningar i en signalkrets är att ha både fram- och återledaren inom samma kabel, något som alltid borde vara ett krav, enligt Benda [13].

Fiberoptik:

Genom användning av fiberoptik för kommunikation, som blir allt vanligare, försvinner problematiken med kabelbundna störningar. Utan att bry sig om elektromagnetiska fält kan man förlägga optokabel intill en kraftkabel. Det enda problemet som riskerar att kvarstå är eventuell påverkan på den optoelektriska transceiverutrustningen. En enkel lösning är då att skärma av den känsliga elektroniken.

Som ytterligare åtgärder kan nämnas användning av:

- Filter, för att ta bort icke önskvärda störfrekvenser.
- RC-länkar, för att kortsluta induktiva brytspänningar i brytare och vid omkopplingar.
- NTC-motstånd, för att förhindra strömrusning vid inkoppling av induktiva laster.
- Balanserade kablar, för att minska kopplingen.

3.5 TIDIGARE UTFÖRT EMC-ARBETE

Såväl företag som organisationer och universitet bedriver forskning inom området och det finns följaktligen en uppsjö av rapporter, studier, undersökningar och artiklar. Arbete genomförs kontinuerligt inom vad som verkar vara ett stort och mycket komplext område. Mycket av det sker kring ett nätverk med sitt centrum i det internationella standardiseringsarbetet. Arbetsgrupper och kommittéer består av representanter från alla tre ovanstående kunskapsvärldar och arbetar mot ett gemensamt mål – bättre EMC. Årligen hålls också ett antal konferenser, t.ex. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, där EMC-problem och forskning diskuteras. Resultaten av dessa publiceras i IEEE Conference proceedings och senare i IEEE Conference Journals.

STRI är ett svenskt företag, lokaliserat i Ludvika, som bl.a. utför tester, mätningar och utredningar inom elkraft. Dessa genomförs i egen regi eller på uppdrag av andra företag, t.ex. ABB och ELFORSK. Som exempel kan nämnas *Elforsk rapport 97:14 Störmiljö – Reläskydd*, som gjorts av STRI på uppdrag av ELFORSK. Den beskriver ett projekt där man genomfört fältmätningar i nio olika elkraftanläggningar i syfte att kartlägga den elektriska störmiljön för reläskydd och kontrollutrustningar. Ett mål med projektet var att jämföra provmetoder och krav i olika svenska resp. europeiska standarder för att utröna vilket prov som är mest relevant och likt en verklig störningssituation.

CIGRÉ, ett internationellt organ som beskrivs närmare nedan i kapitlet om standarder, arbetar också inom elkraftområdet och åstadkommer kontinuerligt rapporter och guider. En omfattande guide som vi använt oss av är *Guide on EMC in power plants and substations* [3], som är sammanställd av CIGRÉ Working Group 36.04: EMC within power plants and substations. Den ger en översikt över EMC-problem och behandlar det mesta inom störningskällor, kopplingsvägar, åtgärder samt provningsmetoder. Den bygger på ett identifierat behov och vänder sig i första hand till ansvariga ingenjörer inom områdena mätning, kontroll, övervakning, skydd och kommunikation.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

3.6 ELMILJÖKLASSER

I den svenska standarden SS 436 15 03 [14] för störprov mot ledningsbundna störningar har man gjort en indelning i sex elmiljöklasser, ML0 – ML5, där ML0 är den lindrigaste och ML5 är den svåraste miljön. Beteckningen ML syftar på elmiljö för ledningsbundna störspänningar. Utrustningar är olika känsliga för störningar och utsätts också för olika typ och grad av störning. Man har infört elmiljöklasserna för att lättare kunna definiera de krav som ställs och därmed på ett lättare sätt och mer kostnadseffektivt uppnå önskad tillgänglighet och tillförlitlighet. För provning av elektronikutrustningars tålighet mot ledningsbundna störspänningar har fem provningsklasser införts. Dessa motsvarar i stort sett de ogynnsammaste förhållandena inom de fem elmiljöklasserna ML1 – ML5 och betecknas PL1 – PL5.

3.7 STANDARDS OCH FÖRESKRIFTER

Behovet av gemensamma lösningar som fungerar tillsammans och möjligheten att alltid veta vad man kan förvänta sig av en produkt är de största anledningarna till varför standarder används. Standarder underlättar internationellt handelsutbyte och undanröjer hinder för detta. Internationella standarder utgör enligt *Praktisk Elkvalitet* [15] en kärnpunkt i WTO:s (World Trade Organization) överenskommelse om tekniska hinder för handel, TBT (Technical Barriers to Trade).

I e-puls nr 47 [16] finns en bra förklaring av samband mellan beslutande instanser i Sverige och Europa samt vilka handlingar deras arbete resulterar i.

”CE-märkningsreglerna styrs centralt från EU-kommissionen och Ministerrådet. Dessa sänder direktiv till medlemsstaternas regeringar och parlament, vilka stiftar lagar. I Sverige fastställer Riksdagen lagar, t.ex. EMC-lagen. Därefter följer en förordning utgiven av ett departement. I EMC-fallet ger Näringsdepartementet ut en EMC-förordning. Denna pekar på någon myndighet som utfärdar föreskrifter. Elsäkerhetsverket, Vägverket, PTS (Post- och Telestyrelsen), Järnvägsinspektionen och andra myndigheter utfärdar föreskrifter avseende apparaters och utrustningars EMC-egenskaper. I dessa hänvisas oftast till standarder eller andra tekniska specifikationer”.

3.7.1 Myndigheter och organ

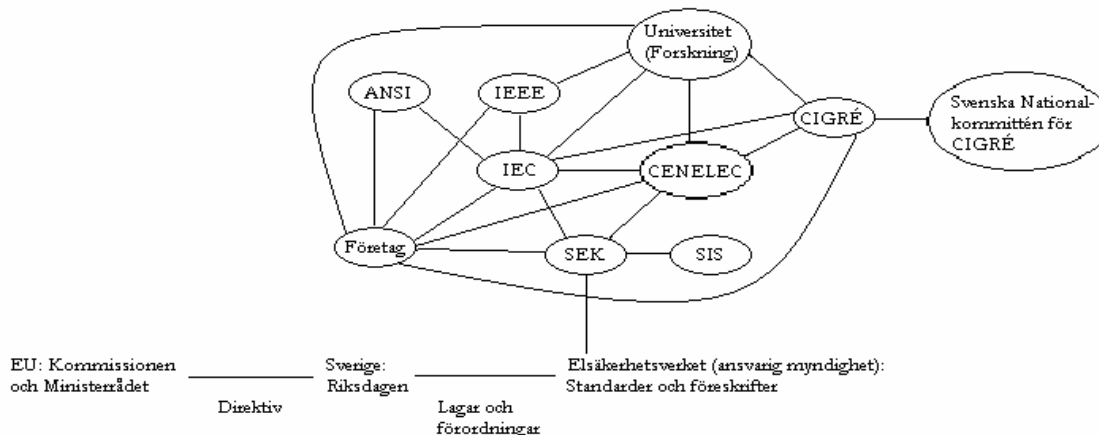
Då Sverige 1994 undertecknade EES-avtalet följde en del förändringar av svensk lagstiftning, även inom elområdet. Många nationella myndighetsföreskrifter ersattes av gemensamma EU-regler, som bygger på EG-direktiv. Dessa uppfylls genom gemensamma EN-standarder (Europäische Norm) utarbetade inom CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) och bygger till största del på internationella standarder från IEC (International Electrotechnical Commission) [17].

Ansvariga myndigheter i Sverige har tidigare varit bl.a. STEV (Statens Energiverk) och NUTEK (Närings- och teknikutvecklingsverket). Från och med 1993 är det Elsäkerhetsverket [7] som ansvarar för utarbetande av föreskrifter och standarder. Elsäkerhetsverket arbetar också för att förebygga att människor och egendom skadas av el. En av deras huvuduppgifter är att värna om elsäkerheten i elanläggningar i olika byggnader, t.ex. skolor och industrier. Om en anläggning bedöms vara farlig eller att felet inte åtgärdas har de rätt att stänga ner arbetsplatsen. De ansvarar också för behörighetssystemet för elinstallatörer och arbetar med tillämpningen av starkströmsföreskrifterna som behandlas nedan.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

Internationellt sköts standardisering inom elområdet av IEC och i Europa av CENELEC. I Sverige är SIS (Standardiseringskommissionen i Sverige) det centrala organet för standardisering och på elområdet deltar SEK (Svenska Elektriska Kommissionen) i arbetet inom IEC och CENELEC. SEK består av representanter från svenskt näringsliv och offentliga förvaltningar och deras uppgift är att tillvarata svenska intressen inom standardiseringen på elområdet. Arbetet inom SEK bedrivs praktiskt i tekniska kommittéer inom en mängd olika områden.

Standardiseringsarbetet bedrivs genom samarbete mellan företag, organisationer och organ. Exempelvis är företag med och påverkar vid framtagande eller ändring av en standard. Företag bedriver också forskning tillsammans med universitet och har med representanter i arbetsgrupper och vid konferenser. Figur 3.15 nedan försöker åskådliggöra kopplingarna mellan ovannämnda aktörer.



Figur 3.15 Schematisk bild över organisationssamband med avseende på standardisering.

CIGRÉ (International Council on Large Electric Systems) [18] är ett internationellt organ grundat 1921 i Frankrike. Dess syfte är att främja internationell utveckling och informationsutbyte inom området generering och överföring av högspänd elektrisk energi. De bedriver tekniskt arbete inom 16 kommittéer, specialiserade på olika områden. Deras uppgift är att inleda och koordinera studier som bidrar till framsteg och utveckling inom deras respektive område. Nationella kommittéer finns som lokala organisationer i medlemsländerna. I Sverige företräds CIGRÉ av Svenska Nationalkommittén för CIGRÉ [19].

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

3.7.2 Standarder

En standard är en frivillig överenskommelse. Inom EU refererar man alltmer till gällande standarder istället för att utfärda myndighetsföreskrifter. Europastandard (EN) ska överföras till nationell standard av respektive medlemsland och samtidigt ska den tidigare nationella motsvarigheten dras in. IEC-standarder utgör basen för Europastandard inom elområdet och då det finns internationella standarder används de i första hand. Cirka 68% av CENELEC:s standarder är identiska med IEC:s enligt *CENELEC Guide 24* [20]. Standarder ger ofta utrymme för olika tolkningar och tillämpningssätt. Ett harmoniseringsarbete pågår för att hitta gemensamma tolkningar och tillämpningar av reglerna. Vad gäller el kan Svensk Standard förekomma som SS, SS-EN, SS-IEC eller SEN. Till och med 1977 användes beteckningen SEN och gällande SEN-standarder förekommer fortfarande. Därefter ändrades prefixet till SS och eventuellt med ett tillägg beroende på varifrån standarden härstammar. Svenska elstandarder börjar med siffran 4 medan det för internationella finns olika beteckningar [4].

Det finns en serie standarder som bara rör EMC; 61000-x-x. Nedan följer en uppräknning med seriens olika huvuddelar, som man exempelvis kan hitta på IEC:s hemsida [17].

- 61000-1- Allmänt
- 61000-2- Miljöer
- 61000-3- Gränsvärden
- 61000-4- Provnings- och mätmetoder
- 61000-5- Riktlinjer för installation och avstörning
- 61000-6- Generella standarder

I de fall då det inte finns en gällande produktstandard måste man använda en generell standard och inom vårt område finns för kraft- och transformatorstationer IEC 61000-6-5 *Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) – del 6-5: Generell standard – Immunitet för kraftstationer och ställverksmiljöer*.

Andra standarder som kan vara nyttiga är:

SS 421 01 01 *Starkströmsanläggningar med nominell spänning överstigande 1 kV AC*. En generell standard för starkströmsanläggningar.

SS 436 15 03 *Elektronikutrustningar för industri och handel – Tålighet mot ledningsbundna elektriska störningar – Elmiljöklasser och provning* [14]. Den är numera upphävd och ersatt av SS-EN 61000-4-4 *Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) - Del 4: Mät- och provningsmetoder - Provning av immunitet mot snabba transienter och pulsskurar*, men fungerar ändå bra som ”lärobok” inom området.

SS 437 01 45 *Elinstallationer i byggnader – Grundläggande dimensionering*. Behandlar olika klasser på kablage och förläggningssätt.

SS-EN 50081-2 *Elektromagnetisk kompatibilitet – Emission – Del 2: Generella fordringar på utrustning i industrimiljö*.

SS-EN 50160 *Spänningens egenskaper i elnät för allmän distribution*. Detta är en standard som allmänt behandlar olika fenomen hos spänning, tex över- och underspänning, transienter och övertoner.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

SS-EN 60255-22-x *Reläer - Del 22-x: Störningsprovning av mätande reläer och skyddsutrustningar - Provning av tålighet/immunitet mot*

SS-EN 61000-6-2 *Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) - Del 6-2: Generella fordringar - Immunitet hos utrustning i industrimiljö.*

SS-EN 61326 *Elektrisk utrustning för mätning, styrning och för laboratorieändamål - EMC-fordringar.* Behandlar både emission och immunitet för styr- och reglerutrustning.

3.7.3 Föreskrifter

Inom området el och elektronik är det Elsäkerhetsverket som ger ut föreskrifter. Följande föreskrifter är intressanta och tillämpliga inom EMC.

Starkströmsföreskrifterna (t.o.m. 2006-07-01)	ELSÄK-FS 1999:5
Ändringar	ELSÄK-FS 2003:1, 2003:4
Starkströmsföreskrifterna (fr.o.m. 2004-07-01)	ELSÄK-FS 2004:1
EMC-föreskrifter	ELSÄK-FS 2003:2

Starkströmsföreskrifterna, vanligen benämnd ”blå boken”, är uppdelad i fyra avdelningar. Första delen, allmänna bestämmelser, behandlar tillämpningsområde och innehåller definitioner och ordförklaringar. Avdelning A innehåller bestämmelser om utförande av anläggningar med en spänning på högst 1 kV AC eller 1,5 kV DC och avdelning B gäller för högre spänningsnivåer. Avdelning C behandlar skötsel av anläggningar. Föreskrifterna är uppbyggda med många exakta angivelser och små möjligheter till feltolkningar.



Figur 3.16 Framsidan till de nya starkströmsföreskrifterna: *Elsäkerhetsverkets föreskrifter om hur elektriska starkströmsanläggningar skall vara utförda samt allmänna råd om tillämpningen av dessa föreskrifter.*

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

De nya föreskrifterna (ELSÄK-FS 2004:1), figur 3.16 ovan, träder i kraft 2004-07-01 och innebär enligt information från Elsäkerhetsverket [21] fler hänvisningar till standarder och förordningar istället för den nuvarande mer precisa sammanställningen i blå boken. Detta får till följd dels en större frihet vid tillämpning av regler för installation och dels ett väsentligt tunnare föreskriftsdokument. De gamla föreskrifterna (ELSÄK-FS 1999:5), avd. A och B, upphör att gälla fr.o.m. 2006-07-01 och tillämpas således parallellt med de nya under en övergångsperiod.

EMC-föreskrifterna som bl.a. behandlar skydds krav och CE-märkning, hänvisar till stor del till EMC-förordningen SFS 1993:1067.

3.7.4 Lagar, direktiv och förordningar

Som nämns ovan beslutas i Ministerrådet om EG-direktiv som är bindande och ska omvandlas och verkställas av respektive medlemsland. Inom EMC finns EMC-direktivet 89/336/EEG med tilläggsdirektiven 92/31/EEG och 93/68/EEG. Dessa tillämpas i Sverige genom EMC-lagen SFS 1992:1512 med ändringen SFS 1999:1378 och EMC-förordningen SFS 1993:1067 med ändringen SFS 2000:922 [4], [5] och [22]. Förordningen innehåller bestämmelser om krav på EMC för att Sverige ska uppfylla sina förpliktelser enligt EES-avtalet och bemyndigar också Elsäkerhetsverket om tillsyn och utfärdande av föreskrifter. Lagen talar om vad regeringen eller den av regeringen utsedda tillståndsmyndigheten har rätt att göra samt påföljder vid överträdelse eller brott.

EMC-direktivet innebär fritt översatt: Elektromagnetisk kompatibilitet är en apparats, utrustnings eller systems förmåga att fungera tillfredsställande i sin elektromagnetiska miljö utan att oacceptabelt påverkas av eller påverka annan utrustning [4].

Lagar och förordningar går att hitta i Riksdagens författningsregister [5]. Ytterligare en förordning som är intressant och bra att känna till är [4]:

Förordning om elektrisk material	SFS 1993:1068
Ändring	SFS 1999:829

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

4 RESULTAT

Avsikten med examensarbetet var att göra en sammanställning av störningssamband gällande EMC-störningar i kraftanläggningar samt en sammanställning av föreskrifter och standarder inom samma område (enligt bilaga 1, Specifikation). Resultatet av arbetet redovisas i den här rapporten.

Utöver de krav som ställs i specifikationen fanns också en målsättning att kunna presentera något slag av handledning eller informationsmaterial för installatörer. Efterhand som arbetet fortgick och rapporten började ta form gjorde vi bedömningen att rapporten i sig skulle kunna fungera som ett sådant informationsmaterial.

4.1 SAMMANSTÄLLNING AV STÖRNINGSPROBLEM

Störkällor:

I elkraftanläggningens utomhusmiljö, ställverket, genereras yttre störningar, t.ex. högfrekventa överspänningar vid brytning. Inre störningar genereras i kontrollanläggningen vid brytning av induktiva laster.

Spridning:

Störningarna sprids strålat via kapacitiv och induktiv koppling eller kabelbundet och yttrar sig då som längs- eller tvärsänning.

Åtgärder:

Skärmning och jordning är två vanliga och effektiva metoder. Andra åtgärder som används är exempelvis partvinning av kablar och användning av skyddskomponenter, filter och fiberoptiska kablar

En mer omfattande sammanställning redovisas ovan i kapitel 3.2 – 3.4.

4.2 SAMMANSTÄLLNING AV STANDARDER OCH FÖRESKRIFTER

En sammanställning har gjorts och redovisas ovan i kapitel 3.7. Denna innehåller också en översiktlig information om lagar, direktiv och förordningar samt om några myndigheter och organ som verkar inom området.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

4.3 INTERVJUER

Vi har genomfört intervjuer med några större företag, såväl användare av elkraftutrustning som tillverkare och installatörer. Detta för att få en mer nyanserad bild av störningsproblemen. De frågor vi framförallt ville ha svar på var vad man gör för att undvika störningar och hur man tillämpar standarder för att kvalitetssäkra sina anläggningar. Vi var också ute efter konkreta exempel på störningar och att få reda på störningskompetensen bland berörd personal. Fullständiga intervjufrågor återfinns som bilaga 3. Vissa av frågorna ställde vi för att få en bild av intervjupersonens kunskaper och på så sätt kunna avgöra värdet av intervjun. Nedan följer sammanfattningar av utförda intervjuer och kommentarer. Sammanfattningarna innehåller bara sådant material som vi anser är relevant för ämnet.

4.3.1 Energiverken, Halmstad 2004-02-19

Intervju med Bertil Pettersson, IT-chef.

Förr hade man en del problem med störningar i sitt signalkabelnät, exempelvis överhörning från 230V-kablar. Numera används tvinnade signalkablar och problem uppstår sällan. De problem som kan uppstå beror oftast på isolationsfel p.g.a. åsköverspänningar eller att en kabel blivit skadad.

Numera används ofta optiska fibrer för överföring och kommunikation och på så sätt undviker man störningsproblem. Eventuellt kan problem uppstå lokalt i den elektronik som styr kommunikationen inne i stationer, men det är inget man har problem med.

Ett annalkande problem då det blir vanligare med tele- och kommunikationsutrustning i elmiljö är den allmänna störningskompetensen hos installatörer. Det finns dock en vilja att öka medvetenheten och den allmänna kompetensen.

För att undvika störningsproblem ställer de höga krav redan vid upphandling av utrustning. Kvalitetssäkring sker på så sätt genom leverantörerna. De stora företag som tillverkar utrustning (t.ex. ABB och Siemens) bygger den utifrån de normer och krav som finns och de har stor erfarenhet av hur man hanterar störningssituationer.

4.3.2 Pilkington, Halmstad 2004-02-20

Intervju med Bo Persson, Elchef.

Enligt Bo Persson är bästa åtgärden mot störningar att undvika dem redan från början. Man har inga problem nu, men har haft tidigare, t.ex. p.g.a. samförlagda kablar. För att undvika störningar används EMC-filter, man överdimensionerar transformatorer och ser till att specificera krav vid upphandling. Den störning som kostar företaget mest pengar är atmosfäriska störningar (p.g.a. åska), som har blivit vanligare.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

I företaget har man två elektroingenjörer som gör arbetsunderlag och sköter all planering av om- och nyinstallation. De ser till att standarder följs. Man följer minst de gällande reglerna, men Bo Persson anser att standarderna var bättre förr, med bättre reglerade krav. Oftast räcker det idag inte till för att helt undvika störningar. Då har man på Pilkington lite egna riktlinjer och krav för att ytterligare förbättra störningssäkerheten.

4.3.3 RL Ingenjörfirma AB, Halmstad 2004-02-27

Intervju med Rune Larsson, Ingenjör och egen företagare.

Största störningsproblemet för några år sedan var induktion från kablar, vilket exempelvis ledde till att brandlarm aktiverades. Idag är problemen väl uppmärksammade och kablar är så pass bra skärmade och separerade i kabelrännor att det sällan blir fel. Vid rätt belastning i elkraftkabeln får man i stort sett inget magnetfält runt omkring och inte heller några störningar. Magnetfält kan skapa stora problem, vilket beror på att man aldrig kan ta bort, utan bara flytta dem. Problemet lyfts dock fram och diskuteras mer och mer.

Övertoner kan ställa till med mycket och är störningsmässigt det största problemet. Ett bra sätt för att ta bort dem är användning av filter, som är en enkel men bra metod, där man dimensionerar spolar och kondensatorer till en viss frekvens. Vidare är kortslutningar i nätet ett problem. Man får en spänningstransient, som ger samma störningsproblem som åsknedslag.

På större företag finns i regel några personer som har teoretisk kompetens och förmåga att bekämpa störningar. Speciellt förr och fortfarande på mindre företag är störningskompetensen i allmänhet dålig. Det är också vanligt att man varken vill erkänna sin brist på kompetens inom området eller de problem man har.

Rune Larsson tycker att kraven blivit sämre i och med införandet av EU-standarder. De är på många sätt sämre – inte så restriktiva regler och nivåer som de svenska motsvarigheter som tidigare användes. Konsekvenserna av detta blir sämre nät, vilket leder till problem hos kunderna som måste skaffa bättre skyddsutrustning.

4.3.4 ElektroSandberg, Malmö 2004-03-22

Intervju med Magnus Andrell, Reläingenjör.

EMC handlar mest om gniststörningar och spikar. Öppning av fränksiljare är den värsta störningskällan, som genererar störningar med väldigt hög frekvens och amplitud. Effektbrytare genererar inte direkt några störningar, möjligen överspänningar. Inkoppling av krafttransformator eller kondensatorbatteri, urkoppling av spole/reaktor och start av motor genererar vissa störningar, t.ex. en överlagrad högfrekvent varierande störspänning.

Anläggningar är numera uppbyggda för att klara problem orsakade av att kraftkablar påverkar signalkablar. Fram till någon gång på 70-talet, innan man började med skärmning av kablar, hade man en del problem med styrkablar i den aggressiva elmiljö som råder i ett ställverk. Problem uppstod t.ex. vid fränksiljning, då störningar som genererades gick in i signalkablar och fortplantade sig vidare till kontrollutrustningen.

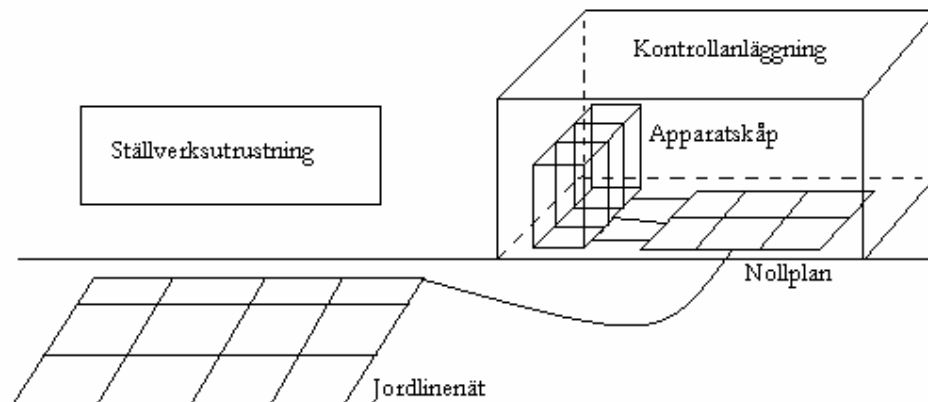
Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

För att hindra störningar att komma in från den aggressiva utomhusmiljön utvecklades under 70-talet standardbyggsätt för uppbyggnad av jordplan, kabeltyper och placering av utrustning. Detta arbete utfördes parallellt med tillämpning av standarder som föreskrev vilka tester apparater skulle utsättas för och vilka krav de skulle klara. De flesta anläggningar som är i drift hos Svenska Kraftnät idag är byggda efter dessa principer. Under de senaste 5-10 åren har man börjat bygga efter nya principer, som innebär ett något sämre yttre skydd, men å andra sidan är de enskilda kontrollutrustningarna bättre skyddade. Nu står reläskåpen i direkt kontakt med ställverket och man får därmed in mer störningar dit. Vid en ombyggnad är det viktigt att känna till enligt vilken princip en anläggning är byggd. I annat fall föreligger stor risk att förstöra systemet genom att göra felaktiga installationer. Detta är enligt Magnus Andrell den idag vanligaste anledningen till störningsproblem.

Ett bra sätt att undvika störningar är att man innan upphandling kontrollerar de enskilda utrustningarnas EMC-kompatibilitet. Man använder även olika byggnadssätt (enligt ovan) för att förhindra att störningar som genereras kommer åt berörd kontrollutrustning. Separering av kablar är en annan metod.

Ytterligare en metod för störningsbekämpning är skärmning av kablar i kombination med olika sätt att jorda skärmen. En vanlig metod, s.k. ”pig tail”-jordning, innebär ihopflätning av skärmen och inkoppling i en plint till jord. Detta är dock ineffektivt mot HF-störningar. En ny metod som väldigt effektivt leder bort utifrån kommande störningar, innebär att ytterhöljet på en bit av kabeln där den ska in i skåpet skalas av. Vid genomföringen går kabeln genom en metallplatta med borstar som klämmer åt om skärmen och ger kontakt med jord.

Jordlinenät (kopparlinenät) är viktigt för att minska störningsproblemen. Dess uppbyggnad och framförallt att det bara är anslutet i en punkt till stationens nollplan är avgörande faktorer för funktionen, se figur 4.1. Varje enskild utrustning är jordad till nollplanet i en punkt och inga apparater har gemensamma ledningar ner till jord. Detta förhindrar potentialskillnader mellan olika punkter i ”jorden” och vagabonderande strömmar i jordplanet. En ny bra metod för att minimera störningsnivån är *Switchsync*. Principen innebär in- och urkoppling av last vid en specifik punkt på spänningskurvan.



Figur 4.1 Principskiss över jordlinenät och nollplan i en kraftstation.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

Vid utveckling av enskilda utrustningar tillämpas standarder. Alla kraftföretag hade förr utrustning för generering av störningar för att testa ny utrustning. Man genomförde störningsprov genom att utsätta utrustning för olika typer av standardiserade störningar enligt svensk standard. Numera kontrollerar man i tekniska specifikationer för produkten enligt vilka standarder den är provad och jämför med sina egna krav för att se om apparaten uppfyller dessa. Vid produktion av anläggningar bygger man ofta enligt praxis och efter erfarenhet med koncept som man vet fungerar. Inom elkraftindustrin används standarder och normer. Man har generellt inga egna krav utöver dessa, utan de räcker till.

Idag är det inte många elkrafttekniker som arbetar med störningar och kompetensen är sämre än tidigare eftersom man inte behöver tänka på det så mycket. Det enda som krävs är att man följer ritningar, arbetsorder o.s.v. och vet varför man ritat på ett visst sätt, t.ex. varför man förlägger en kabel på ett speciellt sätt.

4.3.5 Landstingsservice, Halmstad 2004-03-25

Intervju med Olle Nilsson, Elingenjör och elchef.

På länssjukhuset i Halmstad försöker man åtgärda problem innan de uppstår genom att hitta svagheter i systemet och åtgärda dem genom förebyggande underhåll. Ett 5-ledarsystem, potentialutjämning och ett stort jordlinenät anges som viktiga metoder för att förhindra störningar. Detta förhindrar utbredning av vagabonderande strömmar som stör utrustning.

Vid ny- eller ombyggnad sitter representanter från Landstingsservice med vid projekteringen för att se till att de egna kraven uppfylls. Man har högre krav än de som anges i standarder, framförallt i och med införandet av nya EU-standarder. Olle Nilsson anser att de nya standarderna från IEC är sämre än motsvarande svenska p.g.a. att de är mer liberala och ställer lägre krav. Landstinget i Halland använder GAP (Generella Anvisningar för Projektering) vid all upphandling. Detta är ett dokument som innehåller deras högre krav för hur anläggningar ska se ut och fungera. De följer alltså regler, normer, standarder och direktiv, men skärper kraven ytterligare på en del punkter där de erfarenhetsmässigt insett att de måste ha högre krav. Redan i förfrågningsunderlaget är man noggranna med att specificera kraven. Samarbete sker också med andra sjukhus, då man träffas och lyfter fram problem och diskuterar erfarenheter.

4.3.6 ABB Substation Automation, Västerås 2004-04-08

Intervju med Rune Östlund, Testingenjör.

ABB ställer hårda krav på sina produkter, mycket hårdare än för industriprodukter. Därför krävs fler, hårdare och mer omfattande tester. Man kompletterar tester enligt standarder med produktvalideringstester, som är extra tester för att säkerställa funktion. De extra testerna kan ta hand om specialfall och speciella störningar som inte finns med i standarder.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

Om det finns en produktstandard måste den följas, annars får man använda en mer generell. Ibland testar man också enligt amerikanska standarder (ANSI/IEEE), som kan ha något olika krav jämfört med motsvarande europeiska. I vissa fall genomför man inte sådana likartade tester utan använder sig istället av det oberoende företaget DELTA. De kan utfärda bevis på att i och med att ABB har testat enligt en standard klarar de även kraven i de andra och behöver inte genomföra de testerna.

Standarder för CE-märkning används också till viss del. De räcker i regel inte till för immunitetskraven, då ställverksutrustning måste stå emot högre värden. Kraven för utstrålning är tämligen hårda och kan däremot användas.

En hel del kraft läggs på arbetet med standarder och dokument. Man skapar levande dokument genom kontinuerlig uppdatering och vid utformning av standarder deltar ABB i arbetet för att de ska passa företaget så bra som möjligt.

ABB har ett interndokument inom EMC, ETG (Environmental Test Guidelines). Det är en praktisk handledning, ett uppslagsverk med exakta beskrivningar hur uppkopplingar ska ske och inställning av parametrar för alla olika tester. Det är en sammanställning av alla viktiga standarder inom området, där man plockat de delar som är viktiga för ABB och deras tester.

Vid arbete med konstruktioner för att åtgärda störningsproblem är erfarenhet mycket viktigt och ofta ”går man på känsla”. Centrala begrepp är jordning/jordplan och avstörning. Efter konstruktion sker tester. Om kraven inte uppfylls måste man bygga om produkten på ett annat sätt.

4.3.7 Kommentarer

Problemet med EMC-störningar var vanligare förr, uppskattningsvis någon gång under 70- och 80-talen. Känsligare teknik infördes och först då blev EMC-störningar, som fanns redan tidigare, ett problem. I och med att det blev vanligare uppmärksammades det mer och man lärde sig att hantera det. Nu verkar inte många företag ha problem med den här typen av störningar. Många beställare är väldigt medvetna om problemen och vet också hur de ska undvika dem – genom att ställa höga krav på tillverkare och installatörer. Utöver den åtgärden att lägga ansvaret på tillverkare kompletterar många givetvis med egna åtgärder. Jordning och ett väl utfört jordlinenät tycks vara viktigt i sammanhanget, liksom skärmade kablar.

Av de störningssituationer som fanns förr kan speciellt nämnas koppling av störningar till signalkablar, p.g.a. samförläggning och dålig eller ingen skärmning. De störningar som är vanligast och kostar mest pengar nu orsakas av åska och är därmed svårt att undvika. Däremot kan skyddet mot dem ökas, men det måste också ställas i proportion till investerings- och produktionsbortfallskostnader.

Störningskompetensen hos installatörer verkar idag vara sämre än tidigare. Det beror till stor del på att den inte behövs, så länge de följer ritningar och installationsanvisningar. Det räcker i regel med att veta varför man exempelvis förlägger en kabel på ett speciellt sätt. Den bakomliggande orsaken och det teoretiska är mindre viktigt och är inte heller känt av gemene man i branschen. Viktigt att notera är ändå att det på många företag, speciellt större, finns någon eller några personer med rätt kunskaper.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Titel- Title Rapport EMC-störningar

Den allmänna uppfattningen om standarder är att det var bättre förr. Många anser att de nya EU-standarderna ställer alltför låga krav och inte är tillräckligt tydligt formulerade. Flera företag anser att de krav som formuleras i gällande standarder inte är tillräckliga och tillämpliga därför egna riktlinjer. Exempelvis använder Landstinget i Halland dokumentet GAP vid all upphandling. Övergången till europeiska standarder tycks inte bekymra ABB nämnvärt. De hävdar att de själva ställer väldigt höga krav på den utrustning de tillverkar. Det görs genom tester baserade både på gällande standarder, såväl svenska som internationella och på gamla standarder med högre krav.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

5 DISKUSSION, SLUTSATSER

Problemen med EMC-störningar verkar ha börjat någon gång under slutet av 70-talet eller början av 80-talet. Den uppfattning vi har fått är att företagen i allmänhet inte längre har några problem, p.g.a. att de blivit väldigt uppmärksammade och tas hand om redan hos tillverkaren av elkraftutrustning. Som framkommit i intervjuerna anser många att standarderna blivit sämre i och med införandet av de nya europeiska. Dessa är anpassade för att kunna användas i hela Europa vilket gör att Sverige som tidigare hade bland de hårdaste kraven i många fall får sänka nivån. Eftersom företagen inte vill försämra kvaliteten på sina produkter fortsätter man till viss del att tillämpa gamla standarder och egna riktlinjer.

Vi anser att vi nådde målet – att kunna använda hela rapporten som ett informationsmaterial, just p.g.a. dess tillgänglighet. Kapitlet om standarder och standardiseringsarbete ger en bra översikt med tips på relevanta standarder. Vidare är rapporten någorlunda kortfattad men ändå innehållsrik.

Rapporten är däremot inte heltäckande, vilket vi inte heller gör anspråk på efter 20 veckors arbete. Vi insåg tidigt att området är både stort och komplext. Med den begränsade tiden var vi tvungna att begränsa ämnet, också det en svår uppgift p.g.a. våra i inledningskedet små kunskaper om störningar. Vidare är antalet intervjuer (6 st.) antagligen för få för att kunna dra säkra slutsatser. På flera punkter var förvisso de flesta intervjupersonerna överens, vilket tyder på att de representerar en vanlig uppfattning. Ett exempel på detta är de europeiska standarderna, som många tycker är sämre än de svenska föregångarna. Vi har varit i kontakt med fler företag, men redan under den inledande kontakten framkom att inga problem förekom och vidare diskussioner ansågs onödiga.

En möjlig felkälla kan vara som Rune Larsson (kapitel 4.3.3) menade att företag inte gärna vill berätta om sina fel och brister. Eventuellt kan vi också ha pratat med fel person på företagen, att vi inte fått tag på den med bäst kunskap eller störst erfarenhet.

Vårt arbete kan givetvis – om det inte används i nuvarande form – vidareutvecklas. En tanke är att lyfta ut en del av rapporten och utforma den mer som ett utbildnings- eller informationsmaterial. Vi tänker oss också att man kan gå djupare in på vissa delar.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

6 REFERENSER

- [1] IEEE – the Institute of Electrical and Electronics Engineers, <http://www.ieee.com/portal/index.jsp>. (2004-01-27).
- [2] Standardiseringskommissionen i Sverige, <http://www.sis.se/DesktopFront.aspx>. (2004-02-15).
- [3] Cortina, R., Benda, S., m.fl., *Guide on EMC in power plants and substations*, CIGRÉ Working Group 36.04: EMC within power plants and substations (1997).
- [4] Blomqvist, H., Jacobsson, K.A. m.fl., *Elkraftsystem 1*, Stockholm: Liber (1997).
- [5] Riksdagen: Debatt & beslut/Rixlex: Författningsregister, <http://www.riksdagen.se/debatt/sfsr/index.asp>. (2004-04-24). Sökning utfördes på respektive SFS-nummer.
- [6] Svenska Elektriska Kommissionen: EG-direktiv, <http://www.sekom.se/direktivram.htm>. (2004-04-07).
- [7] Elsäkerhetsverket, <http://www.elsakerhetsverket.se>. (2004-04-24).
- [8] Blomqvist, H., Hagelberg, J., Lundmark, M., m.fl., *Elkraftsystem 2*, Stockholm: Liber (1997).
- [9] Bengtsson, L., *Elektriska mätsystem och mätmetoder*, Lund: Studentlitteratur (2003).
- [10] Jaekel, B.W., *Electromagnetic compatibility of distribution switchgear installations*, IEE Conference publication no. 459; Trends in distribution switchgear, 52-57 (1998).
- [11] Mörk, H., Birksjö, R., Gunnarsson, S., Rengman, U., *Elektromagnetiska störningar. Uppkomst och reduktion*, Stockholm: Liber (1997).
- [12] Heiss, W., Hirsch, F., *Measurement with respect to the electromagnetic compatibility (EMC) of telecontrol systems in substations of medium-voltage distribution networks*, IEE Conference publication no. 305 pt 1, p 116-120 (1989).
- [13] Benda, S., *Störningsfri elektronik. Elektromagnetisk kompatibilitet*, Lund: Studentlitteratur (1996).
- [14] Svensk Standard SS 436 15 03: *Elektronikutrustningar för industri och handel – Tålighet mot ledningsbundna elektriska störningar – Elmiljöklasser och provning*. (1986-05-20).
- [15] Gustavsson, R., *Praktisk Elkvalitet*, 2003, <http://www.norbo.se/Pdf/Elkvalitet-Bok-vers-0-75.pdf>. (2004-04-01).
- [16] Nilsson, U., *Ordval 2 – Mer om ord*, e-puls nr 47, 3 mars 2004, <http://www.emcservices.se/e-puls/>. (2004-03-05).
- [17] IEC - International Electrotechnical Commission, *INTERNATIONAL STANDARDS AND CONFORMITY ASSESSMENT*, <http://www.iec.ch/>. (2004-03-15).
- [18] CIGRÉ: International Council on Large Electric Systems, <http://www.cigre.org/gb/indexie.htm>. (2004-03-16).

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Rapport EMC-störningar

[19] Svenska nationalkommittén för CIGRÉ, <http://www.elforsk.se/cigre/>. (2004-03-16).

[20] CENELEC Technical Committee TC210, EMC, *CENELEC Guide 24*, juli 2001, <http://www.cenelec.org/Cenelec/CENELEC+in+action/Horizontal+areas/EMC/CENELEC+Guide+24.htm>. (2004-03-15).

[21] Ström, I., *Nya föreskrifterna satta på pränt*, AktuELIt nr1, mars 2004, http://www.elsakerhetsverket.se/pdf/Aktuellt_040326.pdf. (2004-04-24).

[22] *EU-anpassade regler för elektromagnetisk kompatibilitet*, ELSÄK I 9502, Elsakerhetsverket.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Rapport EMC-störningar

7 BILAGOR

7.1 SPECIFIKATION

7.2 FORMLER FÖR FÄLTSTYRKA, KOPPLING OCH DIFFERENTIALFÖRSTÄRKARE

7.3 INTERVJUFRÅGOR

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Titel- Title Bilaga Specifikation

SPECIFIKATION

Krav:

- Sammanställning av störningssamband (gällande EMC-störningar) mellan el/elkraft och elektronikutrustning i kraftanläggningar.
- Sammanställning av relevanta föreskrifter och standarder m.a.p. EMC i kraftanläggningar.

Mål:

- Kvalitetsdokument för att undvika störningar.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Bilaga Formler

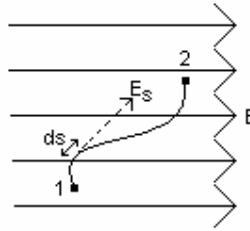
FORMLER FÖR FÄLTSTYRKA, KOPPLING OCH DIFFERENTIALFÖRSTÄRKARE

ELEKTRISK FÄLTSTYRKA

Den elektriska fältstyrkan, E , beror på skillnad i elektrisk potential mellan två punkter.

$$E = -\frac{dV}{ds}$$

$$U_{12} = \int_1^2 E_s ds = V_1 - V_2, \text{ där}$$



E = elektrisk fältstyrka [V/m]

E_s = den komponent av den elektriska fältstyrkan som i en viss punkt tangerar kurvsträckningen

s = sträcka [m]

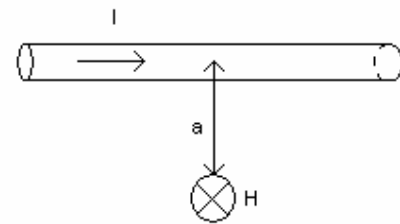
V_1, V_2 = potential i punkt 1 resp 2 [V]

U_{12} = spänning mellan punkterna 1 och 2 [V]

MAGNETISK FÄLTSTYRKA

Den magnetiska fältstyrkan, H , beror på strömmen som flyter i en ledare.

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{B}{\mu_r \mu_0}, \text{ där } B = \mu_0 \frac{I}{2\pi a} \Rightarrow H = \frac{I}{2\pi a \mu_r}, \text{ där}$$



H = magnetisk fältstyrka [A/m]

B = magnetisk flödestäthet [T]

μ_r = relativ permeabilitet (=1 för vakuum och ≈ 1 för luft)

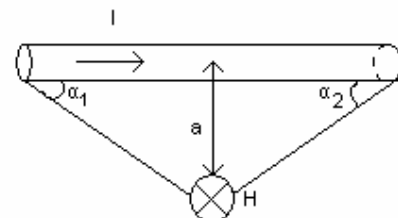
μ_0 = permeabilitet för vakuum (= $4\pi \cdot 10^{-7}$) [Vs/Am]

I = strömmen i ledaren [A]

A = avstånd från ledarens centrum [m]

Ovanstående gäller för en lång rak ledare. För en kort rak ledare måste hänsyn tas till mätpunktens placering i förhållande till ledarens ändpunkter. Följande samband gäller:

$$B = \mu_0 \frac{I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) \Rightarrow H = \frac{I}{4\pi a \mu_r} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$



Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Bilaga Formler

KAPACITIV KOPPLING

Kapacitansen mellan två kablar beror på deras laddning och potentialskillnad.

$$C_{12} = \frac{Q}{U}, \text{ där}$$

C_{12} = kapacitans mellan ledare 1 och 2 [F]

Q = laddning [As]

U = spänning [V]

Kapacitansen mellan ledarna avtar logaritmiskt med avståndet mellan dem.

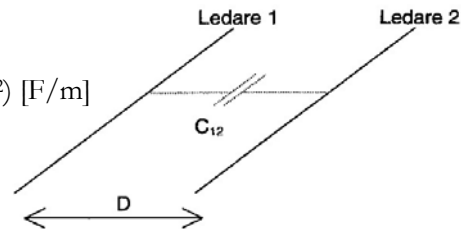
$$C_{12} = \frac{\pi \epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{2D}{d}\right)}, \text{ där}$$

ϵ_0 = dielektricitetskonstanten för vakuum ($\approx 8,854 \cdot 10^{-12}$) [F/m]

l = ledarnas längd [m]

D = avstånd mellan ledarna [m]

d = ledarnas diameter [m]



INDUKTIV KOPPLING

Ledarnas respektive induktans ger upphov till en ömsesidig induktans.

$$M_1 = k\sqrt{L_1 L_2}, \text{ där}$$

M_1 = ömsesidig induktans [H]

k = kopplingsfaktor (bestäms av geometriska faktorer samt medium)

L_1, L_2 = induktans i ledare 1 och 2 [H]

Strömmen i ledare 1 (kraftkabel) inducerar en spänning i ledare 2 (signalkabel).

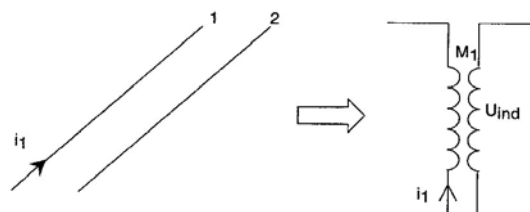
$U_{ind} = M_1 \frac{di_1}{dt}$, och då strömmen i kraftkabeln är sinusformad ($i_1 = \hat{i}_1 \sin \omega t$), blir

$U_{ind} = M_1 \omega \hat{i}_1 \cos \omega t$, vilket ger

$\hat{U}_{ind} = M_1 \omega \hat{i}_1$, där

U_{ind} = inducerad störspänning [V]

i_1 = ström i kraftkabeln (störström) [A]



Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	Fil- File Bilaga Formler

DIFFERENTIALFÖRSTÄRKARE

En differentialförstärkare med högt CMRR (Common Mode Rejection Ratio) karakteriseras av en hög differentiell förstärkning, A_{vd} och liten common mode-förstärkning, A_{cm} .

$$CMRR = \frac{A_{vd}}{A_{cm}}$$

Detta innebär att en spänningsskillnad mellan ingångarna förstärks mycket medan den spänning som ligger på båda ingångarna dämpas.

Dokumentets skapare- Creator of the document Mikael Karlsson Martin Magnusson	Kurs- Course Examensarbete, 10p Elektroingenjörerna, Högskolan i Halmstad	
Handledare- Supervisor Emil Nilsson, HH & Kjell-Åke Persson, SvK	Datum - Date 2004-06-03	File- File Bilaga Intervjufrågor

INTERVJUFRÅGOR

Personliga frågor om intervjupersonen:

- Namn
- Titel
- Bakgrund – Utbildning, relevanta anställningar och arbetsuppgifter
- Formell erfarenhet m.a.p. elkraft och störningar: På vilket sätt har du kommit i kontakt med störningar?

Konkreta exempel på störningar. Egna erfarenheter av elkraftstörningar mot elektronik, t.ex. kraftkablers inverkan på signalkablar och styr- och kontrollutrustning.

- Problem – Vad var det för fel?
- Orsak – Hur uppstod felet?
- Verkan – Hur yttrade det sig?
- Åtgärd – Hur fick man bukt med problemet?

Hur vanligt är det med EMC-störningar?

Vanliga fel vid installationer?

Förebyggande åtgärder för att undvika EMC-störningar. Hur gör ni praktiskt för att förhindra störningar?

Handlingsplan för kvalitetssäkring och tillämpning av föreskrifter och standarder. Räcker standarderna till för att helt undvika problem? Har ni egna riktlinjer på företaget? Vilka krav ställer ni på leverantörer, underleverantörer, entreprenörer? Var det högre krav förr?

Vilka standarder och föreskrifter är aktuella och relevanta inom området? Allmänna standarder och specifika för EMC och styr- och kontrollsystem i elkraftanläggningar.

Hur är den allmänna störningskompetensen bland medarbetarna på företaget? T.ex.: Vad vet en teleinstallatör om elkraft? Är det ett problem? Behövs bredare eller djupare allmän kompetens?