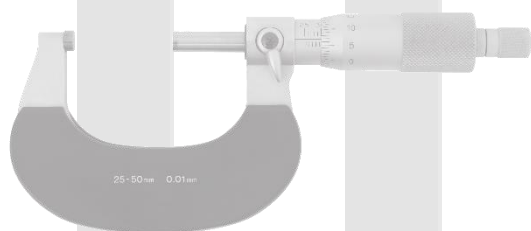


ELEKTROMAGNETISK STØJ – FÆNOMENER OG MÅLINGER

UNDERVISNINGSELEMENT

E5

—
UNDERVISNING
I MÅLETEKNIK

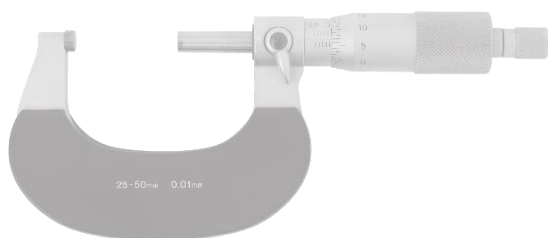


ELEKTROMAGNETISK STØJ – FÆNOMENER OG MÅLINGER

Knud A. Baltzen, FORCE Technology

1. udgave – August 2020

Redigeret af Søren Kynde 2020-08-10



Copyright © 2020 metrologi.dk – Materialet må ikke anvendes til kommercielt brug, uden tilladelse fra metrologi.dk.

Metrologi.dk er finansieret af Styrelsen for Forskning og Innovation i perioden 2016 – 2020. Materiale er udarbejdet i et samarbejde mellem GTS-institutterne DFM A/S, FORCE Technology og DELTA - a part of FORCE Technology.

Læs mere om projektet på www.metrologi.dk.

Parterne i Metrologi.dk kan ikke gøres ansvarlig for fejl og mangler i indholdet af undervisningsmaterialet eller i indholdet på websitet, samt indholdet i de eksterne dokumenter og websites, der linkes til, medmindre andet følger af dansk rets almindelige regler.

Grafisk design af: Henriette Schäfer Høyrup og David Balslev-Harder.

Indholdsfortegnelse

1 Indledning	1	7 Emission af støj	8
2 EMC- og EMI-begreberne.....	1	8 Immunitet	12
3 Eksempler på manglende EMC.....	2	9 Gennemgang af usikkerhedsbudget	18
4 Forskellige EMC-miljøer	4	10 Referencer, litteraturhenvisninger m.m	20
5 Udbredelsesmodellen.....	5	11 Læringsudbytte og forudsætninger	21
6 Hvordan erkender man EMI?	7		

1 Indledning

Ved betegnelsen elektromagnetisk støj signaleres umiddelbart, at der er tale om en uønsket egenskab. Men det er samtidig en egenskab, som ikke kan undgås. Elektromagnetisk støj vil altid opstå, så snart elektriske/elektroniske kredsløb aktiveres. Den elektromagnetiske støj kan være noget, som udbredes via ledninger eller det kan udbrede sig trådløst. Man må altså lære at leve med støjen. Der er dog en myriade af metoder, hvormed man kan kontrollere støjen, og dermed gøre den acceptabel i det miljø, man befinder sig i.

2 EMC- og EMI-begreberne

Når man har opnået det acceptable niveau for elektromagnetisk støj, kan man definere, at man har opnået elektromagnetisk kompatibilitet (EMC). Akronymet EMC er forkortelsen af den engelske ordsammensætning ElectroMagnetic Compatibility. En beskrivende dansk ordsammensætning for den samme tilstand kunne være elektromagnetisk fordragelighed (denne danske ordsammensætning anvendes dog aldrig).

Det modsatte af EMC er EMI (ElectroMagnetic Interference).

Man har rent definitions-mæssigt begrænset frekvensområde, hvor begreberne EMC og EMI eksisterer, til at spænde fra 0 Hz til 400 GHz.

Generel misforståelse ved anvendelse af EMC-begrebet

Betegnelsen "EMC-støj" er (desværre) blevet noget man ofte ser og hører. Som det fremgår af ovenstående, giver det ingen mening at tale om EMC-støj. Det giver derimod mening at tale om elektromagnetisk støj eller et givet EMC-miljø eller niveau.

Man kunne passende betegne ordet "EMC-støj" som en invasiv betegnelse, som skal bekæmpes. Som med så mange andre invasive ting må det dog erkendes, at betegnelsen har groet sig fast. Der er dog ingen grund til at opgive bekæmpelsen, da udtrykket EMC-støj er meningsløst.

3 Eksempler på manglende EMC.

Der kan findes mange historier om manglende EMC, det er dog sjældent at disse er bare rimeligt dokumenterede mht. kilder. Mange af disse beretninger har nærmest karakter af "røverhistorier". Den bedst dokumenterede kilde er formodentlig samlingen "The first 864 "Banana Skins" [1]. Her har man bestræbt sig på til hvert af de 864 hændelser at angive oprindelse og kilder, i den grad det har været muligt.

I det følgende trækkes fire hændelser fra [1] frem. Den første fremtrukne hændelse, nr. 240 i [1], havde betydelige konsekvenser, idet den kostede 20 besætningsmedlemmer livet ombord på den britiske fregat Sheffield.

Hændelsen fandt sted i starten af Falklandskrigen, hvor et Exocet-missil blev affyret fra et argentinsk jagerfly mod Sheffield. Missilet burde være blevet opdaget af Sheffields radarsystemer, og derpå ville man have indsat de våbensystemer til beskyttelse mod fjendtlige missiler, som Sheffield rådede over. Imidlertid var den radar, som skulle afsøge om missiler var på vej mod skibet, midlertidigt lukket ned. Følgen blev, at missilet uantastet kunne ramme Sheffield.

Grunden til at denne søgeradar var lukket ned, var at dens brug forstyrrede skibets satellitkommunikation. Lige på det tidspunkt skulle satellitkommunikationen fungere optimalt, idet nogle af skibets officerer talte med den britiske premierminister. Den manglende EMC var her, at søgeradaren interfererede med satellitkommunikationen.

Den anden fremtrukne hændelse, nr. 4 i [1], bestod i at hver gang et Windows™-program blev uploadet eller afviklet på en PC i nærheden af en intelligent kattelerm, så blev kattelermens låsesystem kontinuerligt aktiveret. I forhold til den første omtalte hændelse, er denne hændelse helt ufarlig, om end den selvfølgelig vil være generende. Den manglende EMC var her, at Pc'en var i stand til at interferere med kattelermens oplåsningssystem.

Den tredje fremtrukne hændelse, nr. 863 i [1], kunne have fået særdeles alvorlige konsekvenser. Her blev der i USA opdaget, at alarmfunktionen

kunne udeblive af to forskellige røgalarmer, markedsført af samme firma, hvis der blev brugt radiosendere (f.eks. mobiltelefoner) inden for en almindelig forekommende afstand fra røgalarmerne. Der blev ikke rapporteret om ulykker som følge af den manglende alarmeringsfunktion, men det har givetvis medført alvorlige økonomiske konsekvenser for firmaet, idet det føderale U.S. Consumer Product Safety Commission (CPSC) pålagde firmaet at tilbagekalde samtlige solgte 140.000 enheder. Tilbagekaldelse betyder, at firmaet pålægges, for hver enkelt enhed, at opspore til hvem enheden er blevet solgt, så fejlen kan udbedres (eller enheden ombyttes med en fejlfri enhed). De 140.000 solgte røgalarmer var opsat så forskellige steder som forretninger, hoteller, lejligheder, skoler, sovesale og private hjem. Den manglende EMC var her, at anvendelse af radiosendere (som f.eks. mobiltelefoner) interfererede så kraftigt med røgalarmens funktion (at alarmere ved udbrud af ild), at denne funktion udeblev helt.

Den sidste og fjerde fremtrukne hændelse knytter sig ikke til tekniske apparater, men til fugles evne til at finde vej selv over store afstande. Hændelsen er beskrevet ved nr. 856 i [1]. Her omtales et studie publiceret i Physics World, juni 2014, hvor man havde observeret, at den europæiske rødhal blev ude af stand til at orientere sig, hvis der var specifikke elektromagnetiske felter til stede. Disse elektromagnetiske felter kunne formodes at stamme fra AM radiosendere. Denne sidste hændelse skal ikke betragtes som værende en del af de gængse EMC- og EMI-begreber, men den er medtaget for at påpege, at elektromagnetiske felter formodentlig også i specielle tilfælde kan interferere med levende organismer.

Ovenstående hændelser illustrerer ganske godt spændvidden af konsekvenserne af manglende EMC.

EMC kan betegnes som en forventningsegenskab i modsætning til funktionsegenskab. F.eks. er den basale funktion for en mobiltelefon, at man kan kontakte andre mobiltelefoner. Forventningen er at kontakten kan opnås, og ikke forstyrres i løbet af brugen. Når man ikke forstyrres, er der tale om at EMC er til stede. EMC er således uafhængig af funktionen for det elektriske/elektroniske apparat.

EMC er altså en ønskværdig tilstand. Man har dog erkendt, at EMC skal systematiseres på den måde, at man må definere/kvantificere forskellige miljøer. For hvert af disse miljøer kan man så opnå EMC.

Her er det væsentligt at fastslå, at selvom der er opnået EMC i ét miljø, så kan det ikke forventes, at der også er EMC, hvis man flytter sig til et andet miljø.

4 Forskellige EMC-miljøer

Det er nødvendigt at definere forskellige elektromagnetiske miljøer for at kvantificere EMC.

Det har erfaringsmæssigt vist sig tilstrækkeligt at opdele de elektromagnetiske miljøer i to:

1. Et miljø for beboelse, kommercielle aktiviteter og let industri.
2. Et miljø for industri (herved forstås kraftig industri i modsætning til let industri).

Et typisk industrimiljø vil være en fabrikshal eller større anlæg. Ofte beskriver man det industrielle miljø ved, at det har sin egen elektriske energiforsyning, f.eks. ved at have egen transformatorstation, som er tilkoblet en decideret højspændingsforbindelse. Dvs. fabrikshallen er ikke direkte tilkoblet det trefasede forsyningsnet, som forsyner huse, boligblokke, kontorer, butikker, almindelige værksteder o. lign. med elektrisk spænding.

Man kan sikkert godt erkende, at et acceptabelt niveau af elektromagnetisk støj (EM-støj), som man kan finde i et industrielt miljø, vil være uacceptabelt, hvis det optrådte i et beboelsesmiljø. Typisk vil de elektroniske apparater beregnet for brug i et beboelsesmiljø, ikke være robuste/modstandsdygtige nok overfor den elektromagnetiske støj som vil kunne findes i et industrielt miljø.

Her taler man om, hvor immune apparaterne skal være overfor EM-støj. Tilsvarende kan man tale om, hvor meget EM-støj, som apparater udsender. For dette anvendes begrebet emission (som også vil blive anvendt i det følgende).

Hermed hører emissions- og immunitetsegenskaberne sammen for det samme miljø: I f.eks. et industrielt miljø må apparaterne forventes at have en høj emission, og de skal tilsvarende have stor immunitet for at kunne fungere tilfredsstillende sammen i dét miljø.

For et beboelsesmiljø kan immunitetsegenskaberne sættes til at være mindre, da emissionen fra apparater i dét miljø også forventes at være lavere.

Man har altså brug for at kvantificere de to elektromagnetiske miljøer. Hertil eksisterer der en mangfoldighed af standarder. De fleste af disse er internationalt accepterede, dog er der regionale forskelle

(som f.eks. for det nordamerikanske kontinent). Heldigvis er forskellene dog så små, at man kan sige, at der f.eks. for emissionsniveauer gælder samme niveau for hele kloden.

4.1 Spændvidden af de fysiske størrelser i EMC-miljøer

For opnåelse af EMC er spændvidden af de fysiske størrelser særdeles stor.

Som tidligere nævnt i kapitel 2, er den frekvensmæssige spændvidde fra 0 Hz til 400 GHz. Værdien 400 GHz er et definitionsspørgsmål, idet man har defineret at radiokommunikation rækker op til denne værdi.

Spændingsmæssigt dækkes området fra få μV (sensorsignaler) op til mange kV (elektrostatisk udladning og lyn).

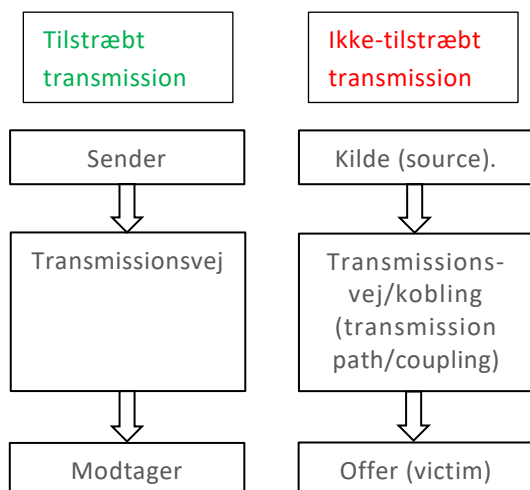
Strømmæssigt dækkes fra μA (sensorsignaler) op til flere kA (lynstrømme).

Feltstyrkemæssigt dækkes fra få $\mu\text{V/m}$ (få $\mu\text{A/m}$) (radiomodtagelse i store afstande fra sendere) op til kV/m (kA/m) (elektromagnetiske impulser fra nukleare våben).

Uden at man nødvendigvis skal dykke ned i, hvad de enkelte fysiske størrelser betyder, kan man indse, at der er enorme spændvidder. Bl.a. dette bevirker, at gennemført opnåelse af EMC kræver ikke blot specialiseret, men også bred viden.

5 Udbredelsesmodellen

For at beskrive en tilstræbt transmission fra ét sted til et andet kan man bruge nedenstående model i figur 1 til venstre. Den tilsvarende model for uønsket/ikke-tilstræbt emission er vist til højre i figuren som "Ikke-tilstræbt transmission". De anvendte engelske udtryk (som anvendes i EMC-verdenen) er tilføjet for den ikke-tilstræbte transmission.



Figur 1. Generel transmissionsmodel.

De to modeller ligner hinanden (bortset fra forskellige betegnelser). Ordet offer anvendes i stedet for modtager for at indikere, at der er tale om en uønsket overførsel fra kilden.

De skal også ligne hinanden, idet de fysiske mekanismer er ens. Det er netop denne lighed, som er det fundamentale ved opnåelse af EMC. En modtager vil også være et offer, da den ikke kan gøres helt immun overfor støjen. Man sikrer kompatibiliteten ved

- 1) at en kilde skal have så lille en emission, at radio-og telekommunikation kan fungere efter hensigten,

men også,

- 2) at modtageren skal være passende immun.

Disse to betingelser er essensen i EU's EMC Direktiv (EMCD). Den passende (lille) emission og den passende (store) immunitet kan sikres til et rimeligt niveau ved at bruge EMC standarder. Dette behandles i kapitlerne 7 og 8. I det følgende beskrives tingene mere generelt.

For den tilstræbte transmission udgår signalet fra senderen, og via transmissionsvejen ender det hos modtageren. Transmissionsvejen kan både være via ledning eller trådløs/feltbåret. For at sikre en acceptabel modtagelse vil der være fastsat minimale størrelser for signalet, som når til modtageren i form af et minimal signalniveau (typisk i form af en minimal feltstyrke). Ved det at transmissionen er tilstræbt er der en klar afgrænsning og beskrivelse af, hvad der er sender, transmissionsvej og modtager.

Transmissionsvej/kobling beskriver den mekanisme, som overfører EM-støjen fra kilde til offer.

I det følgende vil der som oftest kun blive anvendt ordet kobling (dækkende også transmissionsvej). Ligeledes vil kun ordet støj blive anvendt i stedet for EM-støj.

For den ikke-tilstræbte transmission er det tit vanskeligt både at kunne identificere afgrænsninger (af hvad der er kilde, kobling og offer) og identificere koblingsmekanismerne.

Kilden udsender støjen. Kilden kan være af varierende fysisk størrelse f.eks. en stor fabriksbygning, et apparat eller en lille lederbane på et trykt kredsløb. Den danske betegnelse "Trykt kredsløb" anvendes meget sjældent, og i det følgende vil den engelske betegnelse Printed Circuit Board (PCB) blive anvendt.

Kilden kan være karakteriseret ved at udsende en støjspænding med tilhørende støjstrøm i et givet frekvensområde, hvis koblingen mellem kilde og offer er en ledende forbindelse. Dette betegnes som ledningsbåret støj. Måling af ledningsbåret støj behandles i afsnit 7.4.

Støjkilden kan også udsende et støjfelt med en given feltstyrke, og igen i et givet frekvensområde. Her kan transmissionsvejen f.eks. være luft, vakuum eller en isolator. Dette betegnes som feltbåret støj. Måling af feltbåret støj behandles i afsnit 7.4.

Ofret modtager støjen. Igen kan ofret være af varierende fysisk størrelse f.eks. en stor fabriksbygning, et andet apparat eller en lille komponent på et trykt kredsløb.

Det er fabrikantens ansvar at sikre, at kilden ikke udsender for meget støj. Det kan selvfølgelig ikke for-

ventes, at brugeren skal stå for at nedbringe den udsendte støj. Det samme gør sig gældende for offeret. Her er det igen fabrikantens ansvar at sikre, at ofret er passende immunt.

Fabrikanten har derimod ikke samme indflydelse for transmissionsvejen. Dette er helt udpræget for trådløs kommunikation, da den feltbårne koblingsvej her er uhåndgribelig. Apparatet kan derved f.eks. forstyrre andre apparater, som befinder sig for tæt på fabrikantens apparat. Her er fabrikanten nødt til at anføre i brugervejledningen/-manualen, at denne risiko er til stede. For kommunikation, som anvender kabler (ledningsbåret kommunikation) har fabrikanten selvfølgelig større indflydelse på transmissionsvejen. Det kan f.eks. beskrives i brugsvejledningen, at medfølgende kabler skal anvendes eller der kan angives, at specifikke kabler skal anvendes. Det er så op til brugeren selv at anskaffe disse. Hermed beror opnåelse af EMC så på, at brugeren faktisk følger disse forskrifter!

En yderligere komplikation består i, at der sjældent er tale om ren ledningsbåret eller ren feltbåret kobling mellem kilde og offer. Sædvanligvis er begge koblingsmekanismer til stede. Hvilken kobling som dominerer, er ofte frekvensafhængig.

Opnåelse af EMC kan således være en særdeles vanskeligt disciplin at gennemføre, og EMC er typisk et specialtområde.

6 Hvordan erkender man EMI?

Elektromagnetiske forstyrrelser (EMI) er kun noget et elektrisk/elektronisk apparat kan "mærke". Man reagerer som menneske ikke på EMI, dvs. man kan som menneske ikke registrere den elektromagnetiske støj. Mennesket er ikke udrustet med sensorer, som er følsomme i de frekvensområder, hvor EMI forekommer.

Det følgende afsnit beskriver, hvad man som almindelig bruger kan foretage sig for at afgøre om der er tale om EMI.

Det altvæsentlige er at kende sine måleinstrumenter, – kun herfra kan man med god sikkerhed afgøre om instrumenterne måler uforstyrret eller noget udefra kommende forstyrrer instrumenterne. Bemærk, at EMI er altid udefra kommende. Hvis man er klar over, at instrumenterne under visse omstændigheder begynder at måle forkert, f.eks. hvis instrumenterne temperaturmæssigt er ude i et yderområde, så kan det betragtes som noget der sker indefra kommende (det er instrumenterne selv, som bevirker fejlen). En årvågen og erfaren operatør vil typisk være klar over disse indefra kommende fejl. Det er jo ikke altid, at der er tale om en decideret fejlvisning, der kunne også være tale om at instrumenterne udviser anormal opførsel f.eks. kan nulstille sig umotiveret eller indikatorlamper giver signal uden tilsyneladende grund.

Hvis der forekommer noget, der kan tolkes som fejlvisning eller anormal opførsel ud over de velkendte måder at fejle på, så kan det skyldes EMI. Her er det vigtigt, at man observerer objektivet og allerbedst, at man kan kæde fejlvisningen sammen med hændelser, som sker i omgivelserne. Er der f.eks. tale om at fejlen viser sig, når en elevator starter, kører eller stopper? Eller når det samme sker for køleskabet? Disse forstyrrelser er kortvarige/transiente i modsætning til hvis en nabovirkning f.eks. anvender en højfrekvenslimtørrer eller udstyr til gnistbejdnings. Her kan der være tale om forstyrrelser, der står på i adskillige timer.

Der er i praksis intet man kan gøre for at få foretaget den faktiske påvisning af EMI. Det kræver specialapparatur og viden for at påvise EMI, og det må i praksis overlades til EMI-specialister, der råder over det krævede apparatur. Til gengæld vil det være en uvurderlig hjælp, hvis man kan fortælle EMI-specialisten om ens observationer vedrørende fejlvisning og andre hændelser i omgivelserne. Så behøver specialisten ikke at starte på bar bund. Det er som regel denne udredning af fejlvisning og hændelser, som er den mest tidskrævende i EMI-opgaver.

7 Emission af støj

Man erkendte tidligt, at den ikke-tilstræbte emission af feltbåren støj måtte begrænses for at beskytte den offentlige radiokommunikation.

I det følgende vil der ved emission blive underforstået den ikke-tilstræbte emission.

7.1 Historisk baggrund for emissionsværdier

Allerede i 1933 blev det besluttet at danne det internationale standardiseringsorgan CISPR, som skulle udforme målemetoder og grænseværdier for emission. De første emissionsstandarder så dagens lys i 1937. De skulle beskytte de offentlige udsendelser på lang- og mellembølge, henholdsvis i frekvensområderne 160 kHz – 240 kHz og 550 kHz – 1400 kHz.

Standarder til beskyttelse af offentlig kommunikation op til 300 MHz blev publiceret i 1961. Hermed omfattedes også FM-båndet i frekvensområdet 88 MHz – 108 MHz.

Akronymet CISPR

Fransk har standardiseringsmæssigt haft større betydning end nu om dage. CISPR er således forkortelsen af den franske betegnelse "Comite International Spécial des Perturbations Radioélectriques". I dag beskrives CISPR ved den engelske betegnelse "International Special Committee on Radio Interference". CISPR er en teknisk komite i IEC-regi (International Electrotechnical Commission). IEC varetager den internationale elektriske og elektroniske standardisering.

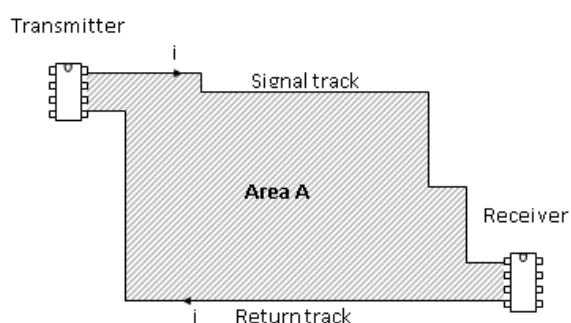
7.2 Hvorledes opstår felt-emissionen?

Så snart en vekselstrøm eksisterer vil denne bevirke, at der udsendes et EM-felt. Maxwells ligninger beskriver generelt denne sammenhæng.

Som omtalt i [2] består digitale signaler af en grundtone af samme frekvens som det digitale signal, men herudover repræsenterer det digitale signal også de harmoniske frekvenser af grundtonen. Styrken af

disse harmoniske frekvenser kan være betydelig selv for mange dekader af grundtonen.

På et PCB vil der uundgåeligt være mange strømsløjfer, hvori disse harmoniske frekvenser cirkulerer. Hvis der f.eks. udsendes et digitalt signal fra en komponent til en anden, da bevæger de strømme, som hører til de enkelte harmoniske frekvenser, sig via den elektrisk ledende forbindelse, som er mellem komponenterne. Strømmen skal naturnødvendigt returnere til stedet, hvorfra den udsendes, og dette sker via andre ledende forbindelser. Figur 2 viser en sådan strømsløjfe med tilhørende areal A.



Figur 2. Udvalgt strømsløjfe på et PCB (fra Schlagenhauer/Baltsen: EMC Hands-On, University of Western Australia).

På denne måde opstår strømsløjferne. Disse strømsløjfer fungerer som antenner, hvorfra udsendelse af EM-felter sker til omgivelserne. Styrken af de udsendte felter stiger proportionalt med strømstyrken i og arealet A af strømsløjfen. Her er det en fordel, at strømstyrken af de harmoniske frekvenser falder proportionalt med frekvensen. Dette fald opvejes dog mere end rigeligt ved at antennevirkningen af strømsløjferne stiger med anden potens af frekvensen. Dvs. strømsløjfen bliver en mærkbart bedre og bedre udsendeantenne for de højere harmoniske af strømmen. Således må man forvente, at der nemt udsendes forstyrrende signaler selv højt op i frekvens.

Denne kraftige forøgelse af antennevirkningen flader dog mærkbart ud, når dimensionerne af strømsløjfen bliver sammenlignelig med bølglængden.

I det foregående betragtedes en strømsløjfe på et PCB, dvs. man taler typisk om dimensioner fra nogle millimeter op til adskillige centimeter.

Et lysnet kan dog også betragtes som en strømsløjfe. Her kan der nemlig udsendes støjstrømme på faserne og disse returnerer via jordforbindelsen. Hermed kan der opstå strømsløjfer med dimensioner fra mange centimeter til overordentligt mange meter (op til kilometer).

Strømsløjfer findes således overalt, – de er uundgåelige, og de findes i dimensioner fra få millimeter op til kilometer.

Emission af EM-støj kan således ikke undgås!

Opnåelse af EMC kræver derfor, at man kan gennemskue, hvor strømsløjferne faktisk er. Herved kan man så prøve at formindske arealerne af dem, og derved formindske emissionen.

Emissionen kan som omtalt også formindskes ved at formindske strømmenes styrker og ved at begrænse størrelserne af frekvenserne for at gøre antennevirkningen mindre. Dette sidste kan (som omtalt ovenfor) være meget effektivt, da antennevirkningen stiger proportionalt med frekvensen i anden potens. Desværre kan man rent funktionelt være låst af krav til strømstyrker og krav til kvaliteten af de digitale signaler, så man ikke kan reducere emissionen ad denne vej.

7.3 Fastlæggelse af grænseværdier

Man har valgt at opsætte grænseværdier uafhængigt af teknologi. Man har derfor f.eks. ikke opsat grænseværdier for forskellige trådløse modulationsformer (f.eks. AM, FM, DVB-T og forskellige mobile data- og taletransmissionsformer). For et givet frekvensområde vil således kun være tale om én grænseværdi for ledningsbåret støj og en anden grænseværdi for feltbåret støj. Hidtil har der dog sjældent været opsat grænseværdier for både ledningsbåret og feltbåret støj i samme frekvensområder. Det skyldes, at hvis der er tale om den ene type støj, så kan den anden type negligeres, da den vil være af meget mindre styrke.

I det følgende vil der kun omtales de to langt mest anvendte emissionsgrænseværdier for henholdsvis frekvensområderne 150 kHz – 30 MHz og 30 MHz – 1000 MHz.

For frekvensområdet 150 kHz – 30 MHz foreskrives kun emissionsgrænseværdier målt ledningsbåret

som en spændingsværdi. Det skyldes, at gængse elektroniske apparater (f.eks. digitale kameraer, PC'er, fjernsyn og hårde hvidevarer) størrelsesmæssigt er små (og dermed ikke særligt effektive) antenner i det frekvensområde. Dermed kan der ses bort fra styrken af den feltbårne emission fra gængse elektroniske apparater. Til gengæld er f.eks. hele lysnettet en stor og effektiv antenne i samme frekvensområde. Derfor giver det mening at måle emissionen på lysnetledningen af elektroniske apparater, idet apparatets lysnetledning er tilsluttet hele det store lysnet, og dette hele lysnet vil kunne være en stor og dermed effektiv antenne.

Emissionsgrænseværdierne afhænger af frekvensen og den valgte målemetode, men ligger typisk i intervallet 46 dB μ V – 60 dB μ V (0,2 mV – 1,0 mV) (f.eks. CISPR 32). Bemærk her, at det er dB-værdier, som anføres i EMC-standarder for emission. Emissionsgrænseværdien skal således her forstås som et antal dB med 1 μ V som reference (for dB-regning se ref. [2]). Det er altså ret små spændinger, som tillades. Målemetoderne omtales i næste afsnit 7.4.

For frekvensområdet 30 MHz – 1000 MHz foreskrives, at der nu skal måles feltbåret styrke. I det frekvensområde sker der nu det, at apparatdimensionerne bevirker, at apparaterne har størrelse som gode antenner, og dermed dominerer den feltbårne udstråling.

Igen afhænger emissionsgrænseværdierne frekvensen og den valgte målemetode, men ligger i intervallet 30 dB(μ V/m) – 47 dB(μ V/m) (32 μ V/m – 224 μ V/m) (f.eks. CISPR 32). Igen er det ret små feltstyrker, som tillades. Målemetoderne omtales i afsnit 7.4.

Der sker hele tiden rokeringer i de anvendte frekvensområder. Der er trådløse tjenester, som udfases for at give plads til andre. Herved ændres grundlaget for grænseværdierne, idet der som oftest er tale om ændrede måder at sende og modtage på. Et eksempel er frigivelse af frekvensområderne 700 MHz til 800 MHz fra tidligere at være anvendt til TV-udsendelse (TV-broadcast) til nu at skulle være mobile tale- og datatjenester. Det siger næsten sig selv, at der vil være endog store stridigheder om hvorvidt emissionsgrænseværdierne skal bibeholdes eller ændres. Og hvis de ændres, hvad skal de så være?

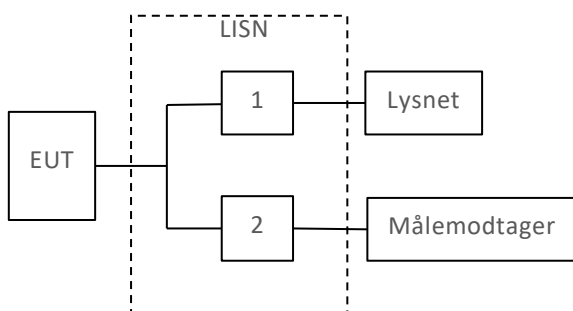
Man har i CISPR-regi valgt at bruge standarden CISPR/TR 16-4-4 som grundlag for fastlæggelse af nye grænseværdier. Her inddrager man faktorer som

- krævet minimal feltstyrke
- ønsket signal/støj-forhold
- hvorledes er retningskarakteristikkerne for de relevante tilstræbte senderer og modtagere
- hvor ofte er ofret bevægelig eller stationær
- hvor ofte sker udsendelse af EM-støj i de anvendte tilstræbte frekvensområder
- hvor nemt forstyrres den tilstræbte forbindelse
- hvordan påvirker bygninger på forbindelsen
- og flere andre parametre

Det skal dog siges, at der pt. kan være meget divergerende holdninger vedr. størrelsen af de faktorer, som indgår i beregningsgrundlaget, afhængigt af om man ønsker at beskytte transmissionstjenesterne bedst muligt eller man kommercielt ønsker frie hænder for konstruktionen af støjende apparater.

7.4 Måling af emissionsgrænseværdier

Figur 3 nedenfor viser princippet, hvorledes støjspændingen måles.



Figur 3. Principdiagram for måling af støjspænding.

EUT (Equipment Under Test) er apparatet, som man ønsker at måle støjspændingen fra.

LISN (Line Impedance Stabilization Network) er et elektrisk netværk med indbyggede filtre, som sørger

for at koble lysnettet ind på EUT, men uden at støjspændingen kobles ud på lysnettet og sørger desuden for at der ikke kommer yderligere støjspænding ind fra lysnettet. Dette sker ved at delnetværket 1 har lille elektrisk impedans overfor lysnettet, men har stor elektrisk impedans overfor støjspændingen.

Desuden sørger LISN for at støjspændingen ledes til målemodtageren, som er et frekvensselektivt voltmeter. Delnetværket 2 har stor elektrisk impedans overfor lysnettet, men lille elektrisk impedans overfor støjspændingen. Målemodtageren har en fastlagt indgangsimpedans (typisk 50 Ω).

Målemodtageren har effektive frekvensmæssige filtre, så den måler kun spændingen af den frekvens, man har indstillet filterne til.

Ved figur 4 er vist et typisk LISN.



Figur 4. LISN for måling af emission af støjspænding. EUT tilkobles via den hvide stikdåse, og målemodtageren via koaksialstikket. Lysnettet tilkobles på bagsiden af LISN (foto: TESEQ/AMETEK, Inc.).

Alle disse instrumenters karakteristika er beskrevet i den meget omfattende CISPR 16-standard.

Den feltbårne emission måles ved at rette en måleantenne mod EUT og lede udgangsspændingen ind i en målemodtager. Typisk er EUT anbragt på et bord med højde 80 cm. Der måles hele vejen rundt om EUT og antennen anbringes også i forskellige højder i forhold til EUT. Denne måling skal foretages ved at

anvende en defineret måleopstilling, som vil blive beskrevet nedenfor.

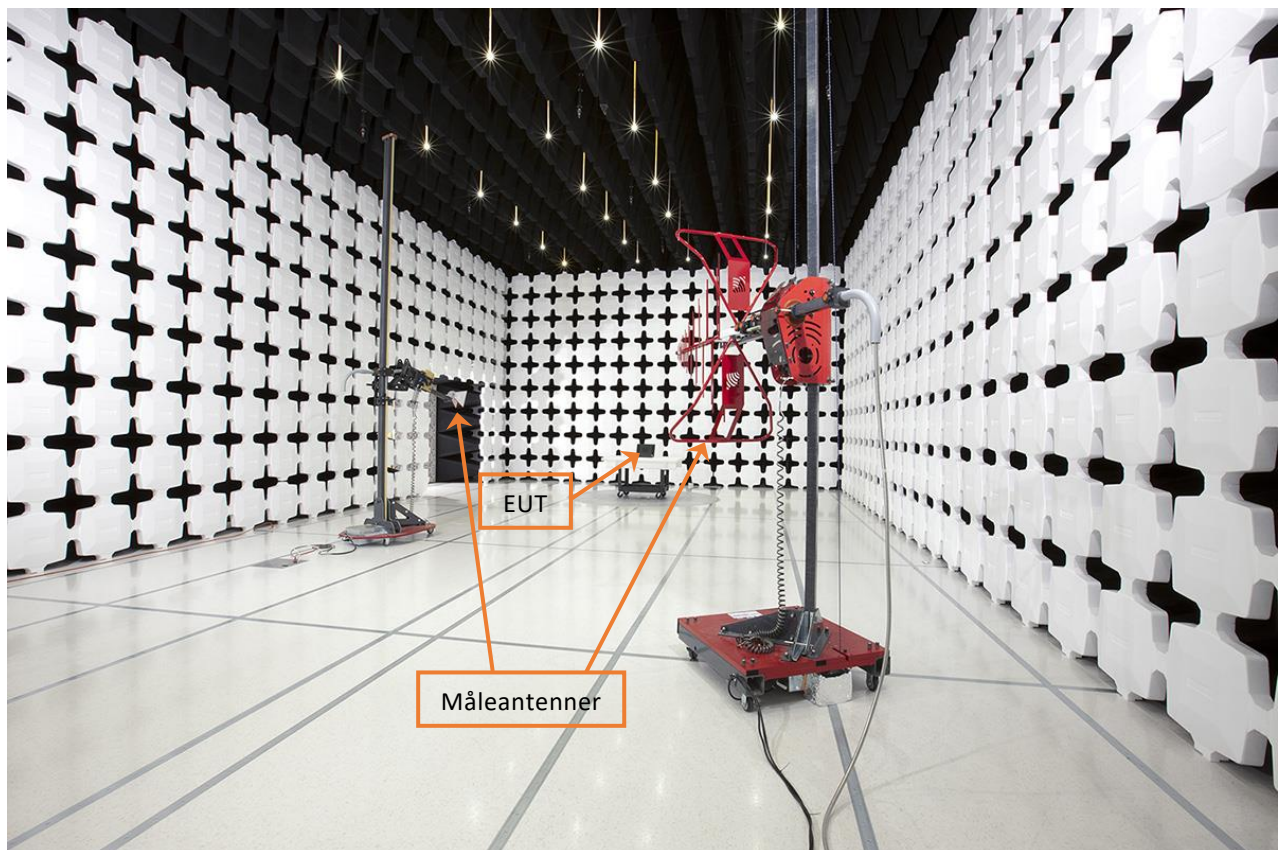
Først en historisk optakt: De første emissionsmålinger af feltbåret støj fandt sted udendørs på en lokalitet, som skulle være fri for andre udefra kommende støjfelter, altså typisk i et øde område. Selve jordens beskaffenhed viste sig hurtigt at have en indflydelse, idet en del af det udsendte støjfelt blev reflekteret af jorden og ind i antennen. Man besluttede derfor at gøre jordplanet helt ledende, f.eks. ved at udlægge et passende fintmasket metalnet under hele måleopstillingen. Det ledende areal kunne også udgøres af udlagte metalplader, som så blev forbundet effektivt sammen.

De lokaliteter, som var anvendelige, blev hurtigt færre og færre i de sidste årtier af 1900-tallet, idet anvendelse af trådløs kommunikation nærmest eksploderede. Herved målte man nemt alt andet end udstrålingen fra EUT.

I dag foretages målingerne af feltbåret støj typisk i det som betegnes et SAC (Semi Anechoic Chamber). Semi Anechoic dækker over, at målekammerets gulv er af metal (som de oprindelige udendørs måleplader), mens alle kammerets andre sider er beklædt med absorberende materiale, hvis funktion er at efterligne det helt frie rum, som den udendørs måleplads jo havde (bortset fra det ledende jordplan). På den udendørs måleplads ville kun det felt blive målt, som enten strålede lige mod måleantennen eller blev reflekteret mod antennen via jordplanet. Al anden udstrålet felt ville forsvinde ud i det ydre rum og aldrig vende tilbage. For SAC skal de absorberende sider og loft således efterligne det ydre rum.

Den væsentligste fordel ved et SAC er, at det består af en ydre ledende skal, som effektivt skærmer det indvendige fra omgivelserne. Herved har man en måleplads, som er fri for forstyrrende felter udefra.

Ved figur 5 er et foto af et SAC vist.



Figur 5. SAC for måling af feltbåret støj. I forgrunden til højre og lidt længere bagude til venstre ses måleantenner til forskellige frekvensområder. Antennerne er placerede på master, hvorved højdeskan kan foretages. Det mørke rektangulære formede EUT er placeret på et målebord. Bordet er placeret på en rund karrusel i gulvplanet, så udstrålingen fra EUT i alle retninger kan opfanges af antennerne. På vægge og loft er monteret absorberere, som absorberer det udstrålede felt. De hvide flader på væggene har kun et synsmæssigt formål. Det hvide gulv er en malet ledende metaloverflade (foto: ETS-Lindgren).

8 Immunitet

Som nævnt i kapitel 5 kræver f.eks. EU's EMC Direktiv også en passende immunitet.

8.1 Immunitet historisk

I 1985 blev den første immunitetsstandard udgivet. Den omhandlede immunitet af lyd- og fjernsynsmodtagere. I 1997 fulgte den første immunitetsstandard for informationsteknologiskudstyr (ITE, Information Technology Equipment), som bl.a. omfatter PC'er og anden digital databehandling og -transmission.

At immunitetsaspekterne først fik deres standarder 60 år efter de første emissionsstandarder så dagens lys, beror på hvad skal beskyttes. Emissionsaspekterne var helt klart en beskyttelse af radiomodtagelse, som jo var nationale (og internationale) anliggender, mens immunitetsaspekterne "bare" drejer sig om opnåelse af forbrugernes forventning om at kunne have elektroniske apparater, som kan fungere passende/tilstrækkeligt i det EM-miljø, som er det tiltænkte.

Det er hovedsagelig EU, som har en regulering, der beskytter forbrugernes generelle forventninger, altså regulerer immunitetsegenskaberne for alle elektroniske apparater. For apparater, som har sikkerhedsmæssig betydning (sikkerhed for biler, tog, medicinsk udstyr, store maskiner, som kan blive far-

lige for mennesker, elevatorer o.lign.) er der dog international regulering af immunitetsegenskaberne. Her tales om opnåelse af immunitet for den funktionelle sikkerhed.

8.2 EM-kilder

Man kan passende opdele EM-kilder i menneskeskabte og naturskabte. Begge typer kan yderligere opdeles varighedsmæssigt i kontinuerte og transiente.

Det varighedsmæssige beror på, hvordan mennesker oplever påvirkningen, så opdelingen mellem kontinuerte og transiente kilder vil være diffus.

Helt oplagte kontinuerte kilder er radio, TV og mobilkommunikationssendere. Her er påvirkningen alle timer og alle dage.

Hvis man opholder sig i nærheden af kraftig industri, vil man også kalde påvirkningen fra f.eks. lysbuesvejsning, ultralydsudstyr til plastsvejsning og limtørring og gnistbehandlingsudstyr for kontinuerte kilder, da de typisk kan optræde i mange timer.

Transiente kilder vil f.eks. være elektrostatiske udladninger (ESD, ElectroStatic Discharge), lynnedslag, kortvarige udfald af lysnettet og transienter, som opstår ved gnistdannelsen i mekaniske kontakter (typisk relæer), når disse brydes og slutes.

De naturskabte EM-kilder er først og fremmest lynnedslag, som er en transient kilde. De mere sjældne elektromagnetiske storme kan rimeligst betegnes som kontinuerte.

8.3 Immunitetsniveauer

Den følgende tabel 1 opsummerer de mest anvendte immunitetstest. I afsnit 8.4 følges op med supplerende noter og fotos af testopstillinger og -apparater.

De internationale standarder med IEC-akronymet (International Electrotechnical Commission) er opført sammen med den betegnelse, som de får i EU med EN-akronymet (Europäische Norm).

Grunden til at de specifikke EN-standarder opstår er, at alle standarder i EU har en overgangsperiode fra en ældre udgave af standarden til den nyere. Dette er indført for at give brugerne af standarderne, her specielt industrien, en rimelig frist for at indarbejde de nye udgaver. Overgangsperioden er typisk 3 år.

I modsætning til dette opnår en ny IEC-standard principielt gyldighed, så snart den publiceres. Hermed er det op til den regulerende myndighed at fastsætte, hvornår en nyere udgave af en IEC-standard skal følges.

EM-kilde	Standard	Konti- nuert	Tran- sient	Generelle testniveauer	Forhøjede niveauer	Typiske varigheder/ frekvensområder
Elektrostatisk udladning (ESD)	IEC 61000-4-2 (EN 61000-4-2)	Nej	Ja	4 kV – 8 kV	15 kV – 30 kV	Stigtid 0,7 ns – 1 ns Faldtid 40 ns – 60 ns
Elektromagnetisk felt	IEC 61000-4-3 (EN 61000-4-3)	Ja	Nej	3 V/m – 10 V/m	20 V/m – 200 V/m	80 MHz til 6 GHz
Bygetransienter/burst	IEC 61000-4-4 (EN 61000-4-4)	Nej	Ja	0,5 kV – 2 kV	2 kV – 4 kV	Stigtid 3 ns – 10 ns Faldtid 40 ns – 100 ns
Lyntransienter/surges	IEC 61000-4-5 (EN 61000-4-5)	Nej	Ja	0,5 kV – 2 kV	4 kV – 6 kV	Stigtid 0,2 µs – 10 µs Faldtid 50 µs – 1000 µs
Ledningsbåren indkoblet spænding	IEC 61000-4-6 (EN 61000-4-6)	Ja	Nej	3 V – 10 V	10 V – 30 V	150 kHz til 80 MHz
Magnetisk 50/60 Hz felt	IEC 61000-4-8 (EN 61000-4-8)	Ja	Nej	1 A/m – 10 A/m	30 A/m – 100 A/m	50 Hz eller 60 Hz
Udfald af lysnettet	IEC 61000-4-11 (EN 61000-4-11)	Nej	Ja	0 % spænding i 10 ms og 5 s	0 % spænding i 20 ms og 5 s	10 ms til flere timer
				70 % spænding i 0,5 s	40/70 % spænding i 0,2/0,5 s	

Tabel 1. Oversigtstabel for immunitetstest.

8.4 Måling af immunitet

I det følgende omtales og illustreres testopstillingerne, hvis niveauer er vist ved tabel 1.

8.4.1 Test for Elektrostatisk udladning (ESD) (IEC 61000-4-2)

Denne test simulerer dén udladning, som en elektrostatisk opladet person kan afgive til et apparat, når personen rører ved/betjener apparatet. Testen simulerer, at personen berører apparatet med f.eks. en metalgenstand af størrelse som f.eks. en metalnøgle. Denne påvirkning vil nemlig være noget mere voldsom end hvis personen berørte apparatet med f.eks. en finger. De ekstreme niveauer kan opnås ved en meget lav relativ luftfugtighed, som vil forekomme ved lave temperaturer (frostgrader). De høje spændingsniveauer kan beskadige elektroniske komponenter og små overflademonterede kondensatorer og modstande, så deres funktion ophører, men der er også en risiko for at påføre latente fejl. Da ESD-transienten er kortvarig er energiindholdet sædvanligvis ikke skadeligt for f.eks. almindelige passive komponenter.

Latente fejl

Ved latente fejl kan komponenten stadig udføre sin funktion, men komponenten kan nu fejle, hvis f.eks. dens temperatur bevæger sig ud mod yderpunkterne (både lav og høj temperatur). En komponent uden latente fejl er konstrueret til også at opretholde sin funktion ved yderpunkterne af dens arbejdstemperaturer. Her risikerer en komponent, som er påført latente fejl, at funktionen forsvinder eller forringes uacceptabelt meget. Fejlen kan være reversibel (dvs. funktionen vender tilbage, hvis temperaturen fjerner sig fra yderområderne) eller den kan blive permanent.

Ved figur 6 er vist en ESD testgeneratorer.

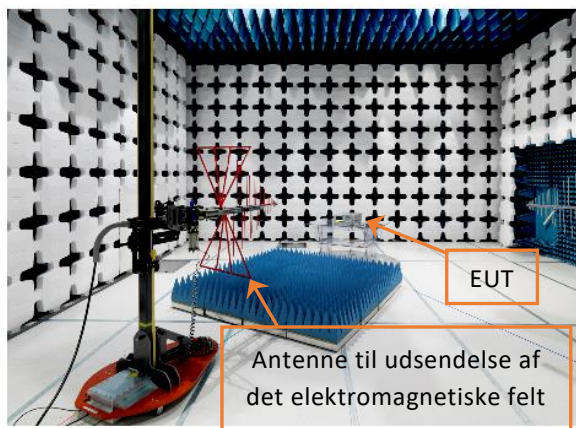


Figur 6. ESD testgenerator med testprobe, hvorfra udladningen sker. Generatoren holdes i hånden, og testproben føres hen til EUT, hvorved udladningen sker (foto: TESEQ/AMETEK, Inc.).

8.4.2 Test for Elektromagnetisk felt (IEC 61000-4-3)

Denne test simulerer den påvirkning, som et apparat kan udsættes for fra f.eks. broadcast-sendere (radio og TV) men også den påvirkning, som kan forekomme fra mobiltelefoner. De ekstreme niveauer kan opnås, hvis en aktiv mobiltelefon er i en armlængde (ca. 30 cm) fra apparatet. Større niveauer på 100 – 200 V/m kan risikeres, hvis mobiltelefonen er klos op ad apparatet. Påvirkningerne skal ikke anses for at være permanent ødelæggende for komponenter, men et apparats funktionen kan forstyrres i større eller mindre grad. Det er en yderligere forværring af konsekvenserne af en sådan funktionsforstyrrelse, ved at påvirkningen må antages at være til stede kontinuert.

Ved figur 7 er vist en opstilling til Elektromagnetisk felt.

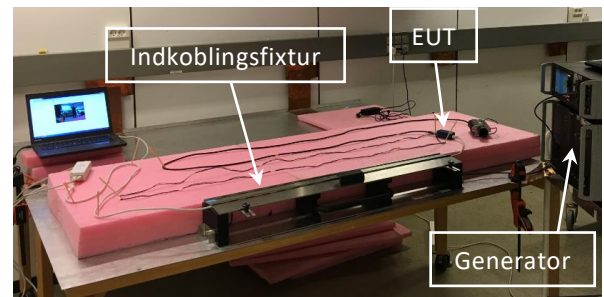


Figur 7. Opstilling til Elektromagnetisk felt. Ofte anvendes et SAC som vist ved figur 5, dog flyttes antennen ofte nærmere til EUT, som er placeret på bordet i midten af billedet. Ved at flytte antennerne nærmere til EUT kan de ønskede feltniveauer nemmere opnås. Det blå område på gulvet er absorberende, idet man ved denne test ikke ønsker at have refleksioner fra metalgulvet (foto: ETS-Lindgren).

8.4.3 Test for Bygetransienter/burst (IEC 61000-4-4)

Denne test simulerer de byger af transienter, som kan forekomme ved slutning og åbning af strømførende mekaniske kontakter (f.eks. relæer). Varigheden af den enkelte transient er sammenlignelig med varigheden for en ESD-transient, men her vil der forekomme en byge (typisk flere hundrede) tæt efter hinanden. De ekstreme niveauer kan opnås, når

kontakten er tæt på ofret. Spændingerne er dog lavere end for ESD-transienterne, så beskadigelser som følge af spændingsniveauet skal ikke forventes. Ved figur 8 er vist en testopstilling til Bygetransienter.



Figur 8. Testopstilling til Bygetransienter. Transienterne produceres af generatoren til højre i billedet. Transienterne påføres tilledningerne til EUT via indkoblingsfikturen (foto: FORCE Technology).

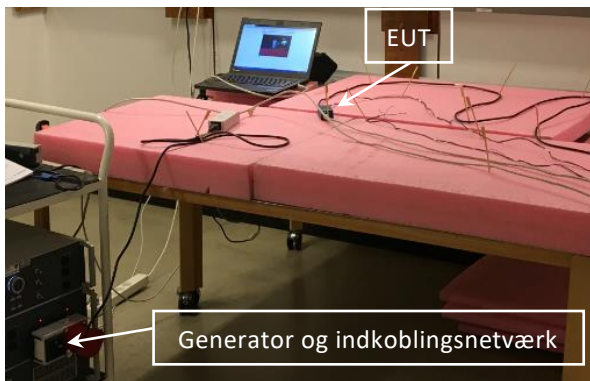
Et specielt eksempel på følge-virkning af bygetransienter

Forfatteren af dette kompendie har på nærmeste hold oplevet en voldsom fejlreaktion, hvor reguleringen for en kraftig switch-mode strømforsyning med elektrisk effekt på lidt over en halv kilowatt, blev ustabil under testen for bygetransienter. Virkningen var at nogle af effekt-komponenterne detonerede med et voldsomt brag. Her skyldtes braget altså ikke den direkte påvirkning af bygetransienterne, men var en følge-virkning af testen.

8.4.4 Test for Lyntransienter/surges (IEC 61000-4-5)

Denne test simulerer de spændingstransienter, som kan opstå som indirekte følger af et lynnedslag. Der er altså ikke tale om en simulering af følgerne af et direkte lynnedslag. Et direkte lynnedslag anses for ødelæggende for almindelige elektroniske apparater. De indirekte følger består i, at det elektromagnetiske felt som omgiver selve lynsøjlen, kobler over i f.eks. lysnettet, og derved giver anledning til en spændingstransient mellem lysnetindgangen og det omgivende jordpotentialer.

Ved figur 9 er vist en testopstilling til Lyntransienter.



Figur 9. Testopstilling til Lyntransienter. Transienterne produceres af generatoren nederst til venstre i billedet, og kobles ind på tilledningerne til EUT via et indkoblingsnetværk i generatoren (foto: FORCE Technology).

Da varigheden af lyntransienterne er væsentligt større end varigheden af ESD- og de enkelte bygtransienter, er der stor risiko for komponentbeskadigelse, hvad enten der er tale om elektroniske, små overflademonterede eller almindelige komponenter. De ekstreme niveauer kan opnås, når lynnedslaget sker tæt på apparatet. Hertil hører også, at der er områder i verden (f.eks. Japan), som er udsatte for både væsentlig kraftigere og hyppigere lynnedslag end f.eks. her i Danmark.

Et paradoks for lyntransienter som følge af forøget personsikkerhed

Lyntransienter bliver altså et væsentligt problem, hvis apparatet sikkerhedsmæssigt er jordforbundet (via det tredje ben i lysnetstikket). Det er således et paradoks, at den sikkerhedsmæssige jordforbindelse bevirker, at et apparat er mere udsat for ødelæggende lyntransienter, end hvis det ikke var sikkerhedsmæssigt jordforbundet. Det er altså den pris, som må betales for at opnå den større personmæssige sikkerhed, som jordforbindelsen giver.

8.4.5 Test for Ledningsbåret indkoblet spænding (IEC 61000-4-6)

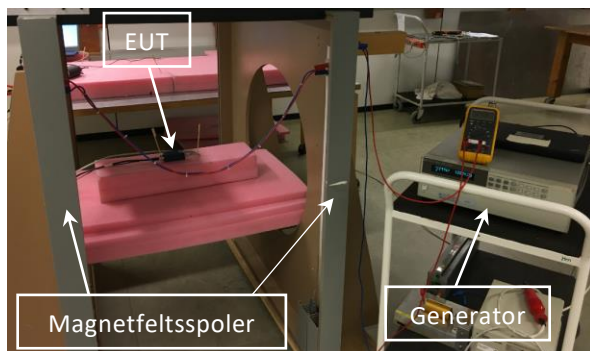
Testen for Ledningsbåret indkoblet spænding (IEC 61000-4-6) simulerer de spændinger, som kan opstå på et apparats indgange som følge af påvirkning fra sendere i nærheden. Forskellen mellem den før omtalte test for Elektromagnetisk felt (IEC 61000-4-3) og denne test består i forskellige frekvensområder. Frekvensområdet for IEC 61000-4-3 starter typisk ved 80 MHz, og går typisk op til 6 GHz, mens frekvensområdet for IEC 61000-4-6 starter typisk ved 150 kHz og slutter så ved de 80 MHz. Opdelingen mellem de to testtyper beror på typiske apparatdimensioner. Ved 80 MHz er bølgelængden i luft ca. 3,75 m, og størrelsen af langt de fleste apparattyper vil være mindre end denne bølgelængde. Det betyder at selve apparatet (dets interne forbindelser i form af direkte ledningsforbindelser, men også lederbaner på de trykte kredsløb (PCB, Printed Circuit Board) vil være dårlige (dvs. for små) antenner for signaler over 80 MHz. Til gengæld vil de ledningsforbindelser, som er tilsluttet apparatet, tit være af denne størrelsesorden eller større. Disse forbindelser kan altså koble signaler ind i apparatet som følge af, at de tilsluttede ledningsforbindelser fungerer som antenner. Det er selvfølgelig ikke tilstræbte antenner, men ikke desto mindre vil deres funktion være som modtageantener for sendere, som virker under 80 MHz. Over de 80 MHz vil selve apparatets interne forbindelser virke bedre og bedre som antenner for stigende frekvens. Man har altså, grundet den store variation i frekvensområdet fra påvirkningerne (fra 150 kHz til 6 GHz) erkendt, at der må opdeles i to forskellige testmetoder (IEC 61000-4-3 og IEC 61000-4-6).

Princippet for testopstillingen for Ledningsbåret indkoblet spænding er meget lig med testopstillingen til Lyntransienter vist ved figur 9. Der indgår dog andre testkomponenter, men fotoet ville ligne meget.

8.4.7 Test for Magnetiske 50/60 Hz felter (IEC 61000-4-8)

Denne test simulerer de påvirkninger apparater kan udsættes for ved at være placeret i nærheden af kraftige elektriske installationer som f.eks. kabler/strømskinner, som fører store strømme eller transformatorer. Man udfører som regel kun testen, når man véd, at apparatet indeholder magnetisk følsomme komponenter som f.eks. magnetiske mikrofoner eller andre magnetisk virkende komponenter.

Ved figur 10 er vist en testopstilling til Magnetiske 50/60 Hz felter.



Figur 10. Testopstilling til Magnetiske 50/60 Hz felter. Strømmen med frekvenserne enten 50 Hz eller 60 Hz produceres af generatoren og sendes ind i magnetfeltsspolerne. EUT befinder sig midt mellem spolerne. Derved oplever EUT et tilstrækkeligt homogent magnetisk felt. Arrangementet af spolerne er kendt som en Helmholtzspole (foto: FORCE Technology).

8.4.8 Test for Udfald af lysnettet (IEC 61000-4-11)

Denne test simulerer både de kortvarige netudfald (typisk under 1 sekund) og længerevarende netudfald (mere end flere sekunder). Fabrikanten kan gøre apparatet mere immunt over for netudfald ved at indbygge mere kapacitet i spændingsforsyningen, men det er som regel en dyrere løsning end at sikre, at apparatet kan forsvarligt genetablere (re-sette) sig selv. Apparatet må ikke gå i en tilstand, som bevirker, at det elektronisk fastlåses, så der skal foretages indgreb i apparatet for at udbedre låsningen. At apparatets funktion ophører ved længerevarende netudfald er rimelig, bare det umiddelbart ved almindelig betjening kan bringes tilbage i funktionel tilstand.

Princippet for testopstillingen for Udfald af lysnettet er igen meget lig med testopstillingen til Lyntransienter vist ved figur 9. Der indgår andre testkomponenter, men fotoet ville igen ligne meget.

9 Gennemgang af usikkerhedsbudget

I det følgende gennemgås et usikkerhedsbudget for emissionsmåling foretaget i det meget anvendte SAC (Semi Anechoic Chamber). SAC er tidligere blevet omtalt i afsnit 7.4.

Anvendelse af ordet "test"

I den daglige omtale (og også her i dette kompendie) anvendes ordet "test". Dette ord er af engelsk oprindelse. Det formelle danske ord er "prøvning" og derfor optræder "test" ikke i den danske oversættelse af den internationale standard ISO/IEC 17025, som gælder for prøvnings- og kalibreringslaboratorier. Et prøvnings-/kalibreringslaboratorie som ønsker at opnå den højeste accepterede status som et akkrediteret laboratorium, skal overholde denne internationale standard.

Sidst netop i dette kapitel 9 bliver ordet "prøvningsrapporter" derfor anvendt i stedet for "testrapporter".

Ved EMC-målinger opstilles kun budget for måleinstrumenteringsusikkerheden (Measurement Instrumentation Uncertainty, MIU). Ud over MIU eksisterer der andre usikkerheder, som indgår ved EMC-målinger som f.eks. ikke-komplette og ikke-tilstrækkeligt detaljerede specifikationer i målestandarderne, og at der tillades alternative testmetoder. Metoden for at opstille MIU er velkendt, mens der for de andre usikkerheder mangler accepterede metoder og talværdier. Det er således vigtigt at påpege, at EMC-målinger ikke kan betragtes som værende metrologiske, - der er simpelthen for mange ukendte usikkerheder for disse målinger. EMC-målinger skal betragtes som det bedste praktiske forsøg på at opnå overensstemmelse med de væsentlige krav, som det f.eks. er formuleret i EMC Direktivet. Dette er omtalt i kapitel 5.

Internationalt foregår der til stadighed et stort og dedikeret arbejde med at forbedre og tilpasse de eksisterende målestandarder. Det er et arbejde, som

presses af nye teknologier. Det er standardudviklernes lod altid at føle sig bagefter den teknologiske udvikling. Sådan må det nødvendigvis også være, da man jo ikke kan udvikle standarder for teknologier, som pt. er ukendte.

Som et eksempel er på den næste side vist tabel D.1 fra CISPR 16-4-2 gældende for måling foretaget i et SAC under de forudsætninger, som er oplistet nederst.

Man opstiller med de sædvanlige metoder, som f.eks. omtales i [3] og [4] en MIU, som kan opfattes som en typisk MIU. Denne usikkerhed betegnes $U(E)$, da der er tale om måling af et elektrisk felt E .

Det vil i dette kompendie føre for vidt at gennemgå hele D.1 i detaljer, men følgende ting skal fremdrages:

1. Den anvendte enhed er dB, altså en relativ værdi. Dette skyldes, at dB-angivelser som nævnt i afsnit 7.3 er den anvendte metode til at angive emissionsværdier.
2. Nederst i tabel D.1 er f.eks. angivet $U(E) = 5,05$ dB for en måleafstand på 10 m. Omregnes denne dB-værdi til procent fås $U(E) = 10^{\left(\frac{5,05}{20}\right)} \cdot 100\% = 179\%$, - altså en anseelig stor usikkerhed (her ser dB-værdien altså mere "fredelig" ud).
3. De to største bidrag til $U(E)$ er "Site imperfections" med $\pm 4,0$ dB, "Biconical antenna factor" med $\pm 2,0$ dB, "Pulse amplitude response" med $\pm 1,5$ dB og "Pulse repetition rate response" også med $\pm 1,5$ dB. Alle disse store bidrag skyldes, at testmetoderne kan forbedres betydeligt, men (som i al standardisering), så kræves der en betydelig grad af enighed før en metode ændres. Det skal igen påpeges, at alle værdier i D.1 er typiske empiriske værdier. Det enkelte målelaboratorium erstatter således de typiske værdier i tabel D.1 med deres egne dokumenterede værdier, og opnår derved f.eks. en mindre og dermed mere attraktiv værdi for $U(E)$. Hermed fås U_{lab} gældende specifikt for laboratoriet. U_{lab} skal angives ved udstedelse af akkrediterede prøvningsrapporter.

Input quantity ^a	X_i	Uncertainty of x_i		$c_i u(x_i)^b$	
		dB	Probability distribution function	dB	
Receiver reading ^{A1)}	V_r	$\pm 0,1$	$k = 1$	0,10	
Attenuation: antenna-receiver ^{A2)}	a_c	$\pm 0,2$	$k = 2$	0,10	
Biconical antenna factor ^{D1)}	F_a	$\pm 2,0$	$k = 2$	1,00	
Receiver corrections:					
Sine wave voltage ^{A3)}	δV_{sw}	$\pm 1,0$	$k = 2$	0,50	
Pulse amplitude response ^{A4)}	δV_{pa}	$\pm 1,5$	Rectangular	0,87	
Pulse repetition rate response ^{A4)}	δV_{pr}	$\pm 1,5$	Rectangular	0,87	
Noise floor proximity ^{A5)}	δV_{nf}	+0,5/0,0	Rectangular	0,29	
Mismatch: antenna-receiver ^{A7)}	δM	+0,9/-1,0	U-shaped	0,67	
Biconical antenna corrections:					
AF frequency interpolation ^{A6)}	δF_{af}	$\pm 0,3$	Rectangular	0,17	
AF variation with height ^{D2)}	δF_{ah}	$\pm 1,0$	Rectangular	0,58	
Directivity difference ^{D3)} at	3 m	δF_{adir}	$\pm 0,0$	0,00	
	or 10 m	δF_{adir}	$\pm 0,0$	0,00	
	or 30 m	δF_{adir}	$\pm 0,0$	0,00	
Phase centre location ^{D4)} at	3 m	δF_{aph}	$\pm 0,0$	0,00	
	or 10 m	δF_{aph}	$\pm 0,0$	0,00	
	or 30 m	δF_{aph}	$\pm 0,0$	0,00	
Cross-polarization ^{D5)}	δF_{acp}	$\pm 0,0$		0,00	
Balance ^{D6)}	δF_{abal}	$\pm 0,3$	Rectangular	0,17	
Site corrections:					
Site imperfections ^{D7)}	δA_N	$\pm 4,0$	Triangular	1,63	
Separation distance ^{D8)} at	3 m	δd	$\pm 0,3$	Rectangular	0,17
	or 10 m	δd	$\pm 0,1$	Rectangular	0,06
	or 30 m	δd	$\pm 0,0$		0,00
Effect of setup table material ^{D10)}	δA_{NT}	$\pm 0,0$		0,00	
Table height ^{D9)} at	3 m	δh	$\pm 0,1$	$k = 2$	0,05
	or 10 m	δh	$\pm 0,1$	$k = 2$	0,05
	or 30 m	δh	$\pm 0,1$	$k = 2$	0,05
Effect of ambient noise on OATS ^{D13)}	δE_{amb}	$\pm 0,0$		0,00	

^a Superscripts [e.g. ^{A1)}] correspond to numbered comments in the annexes (see A.2 and D.3).
^b All $c_i = 1$ (see A.1).

Hence, expanded uncertainty $U(E) = 2u_c(E) = \begin{cases} 5,06 \text{ dB, at a separation of 3 m} \\ 5,05 \text{ dB, at a separation of 10 m} \\ 5,05 \text{ dB, at a separation of 30 m} \end{cases}$

Tabel D.1 fra CISPR 16-4-2 ed.2.0: Horizontally polarized radiated disturbances from 30 MHz to 200 MHz using a biconical antenna at a distance of 3 m, 10 m or 30 m. "Copyright © 2011 IEC Geneva, Switzerland. www.iec.ch"

10 Referencer, litteratur-henvisninger m.m

- [1] The first 864 "Banana Skins". Redigeret af Cherry Cloug Consultants Ltd., 9 Bracken View, Brocton, Stafford, ST17 0TF, United Kingdom. Kan hentes gratis via <https://www.cherryclough.com/media/file/Compendium%20of%20864%20Banana%20Skins,%20last%20updated%2023%20Jan%202017.pdf>. (Hjemmeside tilgået februar 2020).
- [2] Kompendie: E1 – Måleteknik og impedansanalyse. Seneste opdatering 2019-10. Kan hentes gratis på hjemmesiden www.metrologi.dk. (Hjemmeside tilgået februar 2020).
- [3] Kompendie: A2 – Introduktion til usikkerhedsbudgetter. Seneste opdatering 2017-09. Kan hentes gratis på hjemmesiden www.metrologi.dk. (Hjemmeside tilgået februar 2020).
- [4] Regneark (Excel): A2a – Introduktion til usikkerhedsbudgetter, regneark. Seneste opdatering 2017-09. Kan hentes gratis på hjemmesiden www.metrologi.dk. (Hjemmeside tilgået februar 2020).

Alle standarder, som der henvises til, skal købes. Det kan ske f.eks. hos Dansk Standard www.ds.dk. Ved køb vil man typisk vælge DS/EN-udgaven, som også omfatter IEC-/CISPR-udgaven.

Den følgende tekst anføres i forbindelse med anvendelsen af tabel D.1 fra CISPR 16-4-2 ed.2.0 på side 19:

"The author thanks the International Electrotechnical Commission (IEC) for permission to reproduce Information from its International Standards. All such extracts are copyright of IEC, Geneva, Switzerland. All rights reserved. Further information on the IEC is available from www.iec.ch. IEC has no responsibility for the placement and context in which the extracts and contents are reproduced by the author, nor is IEC in any way responsible for the other content or accuracy therein."

11 Læringsudbytte og forudsætninger

11.1 Om dette læremiddel

Kompendiet er forsøgt opdelt i en indledende generel omtale af begreber vedr. EMC efterfulgt af en indføring af måletekniske begreber.

Den generelle omtale sker i kapitlerne 1 til og med 6. Specielt i kapitel 6 omtales, hvad en ikke-EMC kyndig bruger bedst kan foretage sig, hvis der opstår mistanke om elektromagnetiske forstyrrelser.

De måletekniske begreber vedr. EMC indføres i kapitlerne 7 til og med 9.

11.2 Læringsudbytte

Efter tilegnelse af dette kompendie vil læseren have opnået følgende læringsudbytte:

- Kendskab til, hvad begreberne EMC og EMI dækker over og andre relaterede generelle begreber.
- Kendskab til, hvorledes en ikke-EMC kyndig bedst forholder sig ved mistanke om elektromagnetiske forstyrrelser.
- Introduktion til måletekniske begreber relateret til EMC.

11.3 Forudsætninger

Det forudsættes, at

- Læseren har et generelt kendskab til begreber vedr. trådløs transmission.
- Læseren er bekendt med matematiske begreber som proportionalitet og potensbegrebet.
- Læseren er bekendt med dB-begrebet f.eks. fra [2].