

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Talotekniikka

Opinnäytetyö

Mikko Luokkanen

ELEKTRONIKKALAITTEIDEN SUOJAAMINEN SÄHKÖMAGNEETTISELTA PULSSILTA

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2009

DI Ilkka Tervaoja
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Talotekniikka

Luokkanen, Mikko Elektroniikkalaitteiden suojaaminen sähkömagneettiselta pulssilta

Opinnäytetyö 36 sivua

Työn ohjaaja DI Ilkka Tervaoja

Työn teettäjä Tampereen ammattikorkeakoulu

Huhtikuu 2009

Hakusanat EMP, Sähkömagneettinen pulssi

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tarkoituksena on selvittää millä tavalla elektroniikkalaitteita voidaan suojata sähkömagneettiselta pulssilta. Työssä tutkitaan laitteiden suojaukseen käytettäviä menetelmiä ja tarkastellaan joitain elektroniikkaa suojaavia laitteita. Työssä ei käsitellä testaus- eikä mittausmenetelmiä.

Työssä tarkastellaan kuinka elektroniikkalaitteita voidaan suojata sähkömagneettisilta häiriöiltä sijoittamalla laitteet suojattuun rakennukseen, tilaan tai koteloon. Työssä käsitellään myös ylijännitesuojien ja suodattimien käyttöä osana suojausta.

Työssä tehtäviä päätelmiä voidaan käyttää apuna kun suunnitellaan tiloja, jotka sisältävät sähkömagneettisille häiriöille herkkiä elektroniikkalaitteita. Työ on tehty sähköisten ja kirjallisten lähdemateriaalien pohjalta.

TAMK University of Applied Sciences

Electrical Engineering

Building Services

Luokkanen, Mikko

Engineering Thesis

Thesis Supervisor

Commissioning Company

April 2009

Keywords

Shielding electrical equipment from electromagnetic pulse

36 pages

Ilkka Tervaoja (MSc)

TAMK University of Applied Sciences

EMP, electromagnetic pulse

ABSTRACT

The aim of this thesis is to find out how electrical equipment can be protected from electromagnetic pulse. The main task of this thesis is to examine useful methods how to protect electrical equipment and also give some basic information on the types of protecting devices. This thesis does not include testing and measurement techniques.

In this thesis, it is examined how electrical equipment can be protected from electromagnetic disturbances by placing the equipment in a shielded building, room or enclosure. It is also examined how overvoltage protectors and filters can be used as a part of the shielding.

The conclusions made in this thesis can be used as a guide when planning facilities that contain equipment that is sensitive to electromagnetic disturbance. This thesis is based on electrical and literary references.

ALKUSANAT

Sain opinnäytetyöni aiheen työskennellessäni Puolustushallinnon Rakennuslaitoksella kesätyössä. Kiitän Puolustushallinnon Rakennuslaitoksen Tampereen toimipisteen sähköpäällikkö Aarne Saloa mielenkiintoisesta aiheesta sekä työn alkuvaiheessa hänen antamastaan avusta. Lisäksi kiitän työni ohjaajaa Ilkka Tervaojaa, sekä kaikkia läheisiä jotka ovat tukeneet minua opinnäytetyöni tekemisen aikana.

Tampere 23.4.2009

Mikko Luokkanen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO	5
KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 MIKÄ EMP ON	8
2.1 EMP:n vaikutukset ympäristöön	9
2.2 EMP:n vaikutukset ihmisiin	10
2.3 EMP:n eri muodot	11
2.4 EMP:n ja salaman erot	12
3 SÄHKÖMAGNEETTISELLE PULSSILLE ALTTIIT KOMPONENTIT	13
4 EMP-ENERGIAN KERÄÄNTYMINEN LAITTEISIIN	13
5 LAITTEIDEN SUOJAAMINEN EMP:LTÄ	14
5.1 Yleistä suojauksesta	15
5.2 Suojausalueiden luokittelu	16
5.2.1 Alue 1 – Rakennusten suojaus.....	17
5.2.2 Alue 2 – Huoneiden suojaus.....	18
5.2.3 Alue 3 – Laitteistojen suojaus.....	19
5.2.4 Alue 4 – Laitteiden suojaus.....	19
5.3 Suojauksen tehokkuus	20
5.4 Suojaustason ylläpito	21
5.5 Läpiviennit	22
5.6 Kennostot	23
5.7 Tiivistet	23
5.8 Suodattimet	24
5.8.1 Suodattimien perustyyppit.....	25
5.8.2 Suodattimen toiminnalliset tehtävät.....	25
5.8.3 Suodattimen valintakriteerit.....	26
5.8.3.1 Jännitealue.....	26
5.8.3.2 Virta-alue.....	27
5.8.3.3 Tehtäväjakso ja ylikuormitusehdot.....	28
5.8.3.4 Ympäristön lämpötila.....	28
5.8.3.5 Liitosvaimennus ja vaimennus.....	28
5.8.4 Suodattimien asennus.....	29
5.8.4.1 Johdotus.....	29
5.9 Erotusmuuntajat	30
5.10 Häiriönvaimennusmuuntajat	30
5.11 Ylijännitesuojat	31
6 EMP:N AIHEUTTAMILTA VAAROILTA VÄLTTYMINEN	34
7 PÄATELMÄT	35
LÄHTEET	36

KÄYTETYT LYHENTEET

EMP	Maanpäällinen sähkömagneettinen pulssi (engl. Electromagnetic Pulse)
HEMP	Korkealla maan ilmakehässä syntyvä sähkömagneettinen pulssi (engl. High-Altitude EMP)
SGEMP	Järjestelmässä tuotettu EMP (engl. System Generated EMP)
SREMP	Lähde alueen EMP (engl. Source Region EMP)
HPM	Suurtehomikroaalto (engl. High Pulse Magnetic)

1 JOHDANTO

Tässä työssä selvitetään aluksi lyhyesti mitä sähkömagneettinen pulssi tarkoittaa ja minkälaisia vaikutuksia sillä on ympäristöön ja ihmisiin. Työssä selvitetään myös, minkälaisia eri muotoja sähkömagneettisella pulssilla on, sekä verrataan ydinräjähdyksissä syntyvän sähkömagneettisen pulssin ja salaman eroja.

Työn tärkein tarkoitus on kertoa, minkälaisia keinoja laitteiden, laitteistojen, tilojen ja rakennuksien suojaukseen voidaan käyttää, jotta välttyttäisiin sähkömagneettisen pulssin aiheuttamilta vaaratekijöiltä. Työssä tarkastellaan erilaisia suojausalueita sekä selvitetään lyhyesti mm. ylijännitesuojien ja suodattimien toimintaa.

Tässä työssä ei käsitellä suojaavien rakennusten ja tilojen tai laitteiden testaus- eikä mittausmenetelmiä. Tämä työ on tehty ainoastaan lähdekirjallisuuden pohjalta.

2 MIKÄ EMP ON

EMP eli sähkömagneettinen pulssi on korkeataajuuksinen sähkömagneettinen kenttä, joka muodostuu, kun ydinase räjäytetään maan ilmakehässä tai sen yläpuolella. Sähkömagneettinen pulssi syntyy lyhyistä voimakkaista gammasäteistä, joita muodostuu ydinräjähdyksessä. Gammasäteet reagoivat ilmassa olevien molekyylien atomien kanssa, mistä muodostuu ns. Comptonin vaikutus. Elektronit hajaantuvat voimakkaasti täten ionisoimalla ilmakehää ja muodostamalla voimakkaan sähköisen kentän. /5./

Suurin sähkömagneettinen voimakkuus voi olla 50 – 150 kV/m ja suurin magneettikentän voimakkuus 1 – 8 kA/m. Ydinräjähdyksessä sen kokonaisenergiasta noin puolet vapautuu mekaanisena energiana (paine ja värinä), noin 35 % lämpösäteilynä ja noin 15 % radioaktiivisena säteilynä. Räjähdyksessä syntyvä EMP voi vaikuttaa satojen, jopa tuhansien kilometrien päässä, kun mekaaniset vaikutukset ovat paikallisia. Sähkömagneettisen pulssin (EMP) energiasta yli 90 % on alle 10 MHz:n taajuuksilla. /12./

EMP:n voimakkuus riippuu siitä, millä korkeudella ilmiö tapahtuu. Voimakkaimmillaan EMP on, kun se tapahtuu yli 30 km:n korkeudella (High Altitude EMP). HEMP sisältää jatkuvan taajuusspektrin. Suurin osa energiasta levittyy matalilla taajuuksilla (3Hz-30kHz). Myös maan pinnalla ja matalammilla korkeuksilla EMP:n vaikutukset ovat merkittäviä, mutta eivät niin tehokkaita. /5./

EMP käyttäytyy kuten salamanisku mutta on sitä lyhyempi, nopeampi ja vahvempi. EMP voi vahingoittaa vakavasti erilaisia elektroniikkalaitteita, jotka ovat kytkettyinä jännitelähteisiin tai antenneihin. Näitä laitteita ovat mm. tietoliikennejärjestelmät, tietokoneet, sähköjärjestelmät ja auton tai

lentokoneen sytytysjärjestelmät. Aiheutunut vahinko voi olla järjestelmän tilapäinen mykistyminen tai komponenttien palaminen toimintakyvyttömiksi. /5./

2.1 EMP:n vaikutukset ympäristöön

Sähkömagneettinen pulssi on tunnettu jo 1940-luvulta asti, kun ydinaseita kehiteltiin ja testattiin. EMP:n vaikutuksia ei kuitenkaan täysin tunnettu ennen vuotta 1962. Tällöin USA johti useita korkealla ilmakehässä tehtyjä ydinkokeita. Ydinräjähdys, joka tehtiin Tyynellä Valtamerellä 400 kilometrin korkeudella n.1400 km:n päässä Hawaijilta, aiheutti sähkömagneettisen pulssin, joka sammutti osan katuvaloista, häiritsi kommunikaatiojärjestelmiä ja aktivoi murtohälytysjärjestelmiä Hawaijin alueella. Myöhemmin samana vuonna Neuvostoliitto teki muutamia HEMP-testauksia Kazakhstanin yläpuolella. Koska testit tehtiin maanpinnan yläpuolella eikä meren yläpuolella, kuten Yhdysvallat teki, oli elektroniikkalaitteiden tuhoutuminen todennäköisempää. Testeissä todettiin aiheutuneen fyysistä tuhoa erilaisille kaapelilinjoille (ilma- ja maakaapeleille) sekä häiriöitä tutkille. /5./

Vaikka EMP:n muodostama sähköinen kenttä kestää vain hetken ajan, sen vaikutukset voivat olla tuhoisat. Sähköiset järjestelmät, jotka johtavat virtaa, kuten kaapelit, antennit ja metalliesineet, kärsivät merkittäviä vahinkoja. EMP vaikuttaa elektroniikkaan mm. häiritsemällä radiotaajuuslinkkejä, aiheuttamalla korjaamatonta vahinkoa mikropiireille ja jopa lamauttamalla satelliitit. Elektroniset laitteet, jotka on sammutettu, eivät ole niin suuressa vaarassa tuhoutua. /5./

Jos verrataan EMP:n tehoa ($1\ 000\ 000\text{W/m}^2$) tavalliseen signaalin vahvuuteen (0.001W/m^2), jonka radiovastaanotin voi ottaa vastaan, huomataan, että EMP voi tuottaa miljardi kertaa vahvemman signaalin, jonka radio voisi vastaanottaa. EMP:stä vahingoittunut järjestelmä voi kärsiä pysyvistä laitevaurioista, yksittäisten komponenttien

rikkoontumisesta tai väliaikaisesta vahingosta, joka estää laitteen käytön määräajaksi. /3./

2.2 EMP:n vaikutukset ihmisiin

EMP vaikuttaa etupäässä elektroniikkalaitteisiin. Vaikka EMP ei yleensä aiheuta vahinkoa ihmisille, se voi olla hengenvaarallinen niille henkilöille, joilla on sydämentahdistin tai jos sen vaikutusalue ylittää sairaaloiden lähellä. /5./

Myös EMP:n lamauttavat sähköjärjestelmät aiheuttavat välitöntä vaaraa ihmisille. Esim. ajoneuvojen sytysjärjestelmien viottuminen estää logistiikan välityksellä tapahtuvat elintarvikkeiden kuljetukset. Myös vahingoittumattomat ajoneuvot pysähtyvät jonkin ajan kuluttua, koska polttoaineen tankkausjärjestelmät toimivat sähköisesti ja niiden lamaanuessa ei lisää polttoainetta ole saatavilla.

Mikroaaltoase (HPM) on kertakäyttöinen laite, jolla voidaan muodostaa tuho vaikutuksen aikaansaavaa mikroaaltotaajuista sähkömagneettista säteilyä paikallisesti. Aseen toiminta edellyttää, että kohteeseen ollaan näköyhteydessä. Vaikka tutkimukset vaikutuksista ovat vielä kesken, tiedetään, että jos henkilö, jolla on jotain elektronisia istutteita, altistuisi suurtehomikroaaltoaseen (HPM) megawatin teholle, hänen elimistönsä solut höyrystyisivät ennen kuin hän edes ymmärtäisi, mitä on tapahtunut. Jos henkilö altistuisi säteen sivulohkoon tai pääsäteen heikkoon heijastukseen metallipinnasta, hän kärsisi palovammoista ja pysyvistä aivovammoista. /12, s.16 ;7./

2.3 EMP:n eri muodot

Erilaisten analyysien mukaan merkittäviä EMP-tyyppejä on neljä erilaista:

- 1 Maanpäällinen sähkömagneettinen pulssi (EMP), joka muodostuu, kun ydinräjähdys tapahtuu maan pinnalla tai 2 km maan pinnan yläpuolella. Säteilävä aalto leviää ainoastaan 10 – 20 km:n säteelle räjähdyspisteestä. Matalalla suoritettu ydinräjähdys tuottaa kohtuullisen pienen tuhoa aiheuttavan vaikutuksen, mutta se on kuitenkin taktisesti merkittävä taistelukentällä. /3./
- 2 Korkealla maan ilmakehässä räjäytetty ydinräjähdys (HEMP, high-altitude EMP) on merkittävin ja mahdollisesti kaikista tuhoisin yhteiskuntamme turvallisuuden kannalta. HEMP on ydinräjähdys, jonka korkeus on yli 30 km ja jopa yli 500 km maanpinnasta. Gammasäteet, jotka lähtevät liikkeelle räjähdyksessä, liikkuvat erittäin nopeasti ulospäin pitkiä matkoja. Gammasäteet, jotka liikkuvat kohti maan ilmakehää, pysähtyvät yhteentörmäyksessä ilmakehän molekyylien kanssa 20 – 40 km:n korkeudessa. Nämä yhteentörmäykset tuottavat Comptonin elektroneja, jotka reagoivat maan magneettikentän kanssa tuottaakseen alaspäin syntyvän sähkömagneettisen aallon. Esim. 500 km:n korkeudella ilmakehässä suoritettava ydinräjähdys Yhdysvaltojen keskiosassa tuottaisi EMP kentän, joka lamauttaisi kaikki kommunikaatiojärjestelmät USA:n mannerosissa. /3./
- 3 Lähdealueen EMP (Source Region EMP, SREMP) tuotetaan ydinräjähdyksellä usean sadan metrin korkeudella maanpinnasta. Räjähdyksessä syntyvä tulipallo koskettaa maanpintaa. SREMP vaikuttaa kolmesta viiteen kilometriin alueella räjähdyksestä. Lopputuloksena on erittäin korkea virtapiikki ilmassa, joka vaikuttaa kaikkiin kommunikaatiolaitteisiin. SREMP tekee laitteet käyttökelvottomiksi. /3./

- 4 Järjestelmässä tuotettu EMP (System Generated EMP, SGEMP) syntyy, kun ydinvähdys ulkoavaruudessa lähettää gamma- tai röntgensäteitä joka suuntaan. Jos säteet osuvat suojaamattomaan satelliittiin tai ilmakehän yläpuolella matkaavaan ohjukseen, säteet syrjäyttävät elektronit atomeista metallipinnalla. Tämä reaktio indusoi EMP kentän joka tekee satelliitin tai ohjuksen käyttökelvottomaksi. /3./

2.4 EMP:n ja salaman erot

Kun verrataan sähkömagneettista pulssia salamaan, huomataan, että EMP ja salama eroavat toisistaan neljällä merkittävällä tavalla.

EMP:n pulssi vaihtelee huomattavasti nopeammin. Pulssin aika EMP:ssä voi olla muutaman miljardisosa sekunnin, kun taas salamaniskussa pulssien aikaväli on miljoonasosa sekunteja. Jokainen kentän voimakkuus voi vaihdella radikaalisti. Salamanisku voi olla muutama tuhat V/m; EMP voi vastaavasti olla 50 000 V/m. EMP pulssit ovat lyhyt kestoisia, usein alle tuhannesosa sekunnin mittaisia, kun taas salaman pulssit kestävät satoja millisekunteja. Salama esiintyy paljon matalammilla taajuuksilla ja paljon alemmilla aallonpituuksilla kuin sotilas kommunikaatiojärjestelmät. EMP taas sijoittuu joillekin aallonpituuksille, joita sotilas kommunikaatiojärjestelmät useimmiten käyttävät. /3./

3 SÄHKÖMAGNEETTISELLE PULSSILLE ALTTIIT KOMONENTIT

Alteimpia sähkömagneettisen pulssin vaikutuksille ovat komponentit, joilla on matalat jännite- ja virtavaatimukset, kuten kiinteästi asennetut laitteet, integroidut piirit, puolijohdelaitteet, digitaaliset tietokoneet, digitaaliset virtapiirit, murtohälyttimet ja elektroniset sensorit. Yleensä kun laitteen fyysinen koko kasvaa, sen kyky absorboida jännitettä ja virtaa kasvaa, mikä taas lisää laitteen EMP- sietokykyä. Elektroniputket, kelat, putkilähettimet ja vastaanottimet, pienivirtaiset releet, lamput ja katkaisimet eivät ole alttiita EMP:lle. /3./

4 EMP-ENERGIAN KERÄÄNTYMINEN LAITTEISIIN

Asia, joka pitää huomioida, on EMP- energian kerääntyminen laitteisiin. Kerääjänä voivat toimia kaapelit, johdot, antennit, putkistot, kanavat, metallirakenteet, rataiskot ja kaikki materiaalit, jotka toimivat kuten johde. Kerääntyneen energian määrä riippuu keräävän materiaalin koosta ja muodosta. EMP-energia voi siirtyä laitteeseen suoraan kerääjästä fyysisen liitännän kautta tai epäsuorasti induktion avulla. /3./

Järjestelmiä voidaan suojata EMP-energialta eri tavoilla. Näitä keinoja ovat esim. laitteiden asettaminen EMP-suojattuihin koteloihin, tiloihin tai rakennuksiin. Kaapeleihin kerääntyvää EMP-energiaa voidaan rajoittaa esim. käyttämällä kierrettyä parikaapelia tai koaksiaalijärjestelmässä maadoittamalla kaapelin suojavaippa. Ilmastointijärjestelmissä käytetään kennostorakennetta, joka estää tietyllä taajuudella tapahtuvan energian etenemisen. Lisäksi kaapeleiden läpivienneissä käytetään mm. ylijännitesuojia, suodattimia ja suojaerotusmuuntajia. /2./

5 LAITTEIDEN SUOJAAMINEN EMP:LTÄ

Elektronisia kommunikointijärjestelmiä ja muita herkkiä laitteita voidaan suojata EMP:n vaikutuksilta kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on laitteiden suojaus fyysisesti ja toinen on laitteiden häiriönkestoisuus. Suojaukseen on monta eri näkökulmaa, yksi näistä on suojata koko huone tai tila, johon laitteet on asennettu. Näin saadaan suuri tila, johon syntyvä sähkömagneettinen ympäristö on mitätön. Paikallinen suojaus on toinen vaihtoehto, jossa kaapelit ja elektroniikka sisältävät kotelot suojataan erilliseen huoneeseen. Toinen prosessi on hankkia elektronisia laitteita, jotka ovat jo valmiiksi EMP- häiriösietoisia. /5./

Sähköiset laitteet ”karaistetaan” suojelemaan itseään EMP:ltä. Suurin huolenaihe suojauksessa on, miten saada ulkopuolinen EMP-taso leikattua pois. Metallisuojuksia käytetään johtamaan EMP-kentät pois altiina olevista elektronisista komponenteista. Elektroniikkajärjestelmiä voidaan suojata sähkömagneettiselta pulssilta sijoittamalla laitteet metallihäkin sisälle. Tätä metallihäkkiä kutsutaan Faradayn häkiksi. Se häiritsee sähkömagneettisia kenttiä ja johtaa ne suoraan maahan. /5./

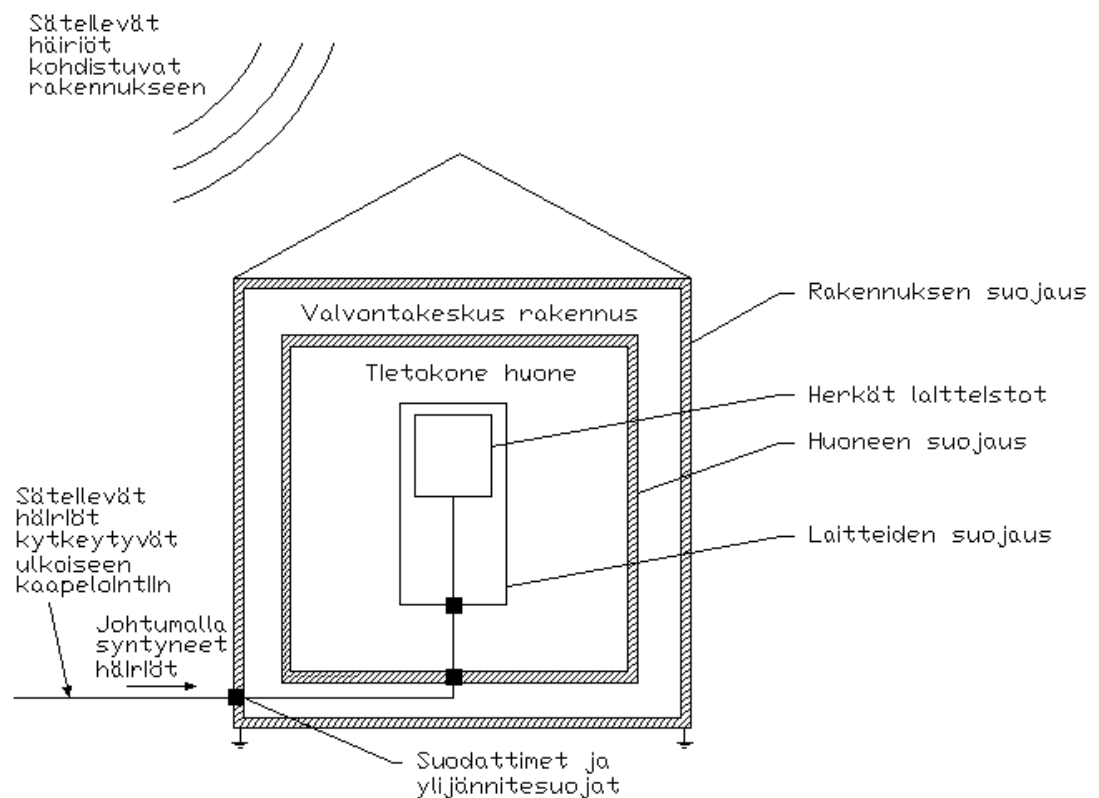
Koska EMP voi yhdistyä myös kaapeleihin, läpivientien suojauksessa käytetään mm. ylijännitesuojia, suojaerotusmuuntajia tai suodattimia. Epäsuorasti suojattaessa laitteita käytetään eri metodeja, kuten esimerkiksi pyritään välttämään EMP kokonaan (pidetään laitteet EMP:n taajuuden ulkopuolella). /5./

Johtimiin kytkeytyviä häiriöitä voidaan vaimentaa suojavaipalla. Vaippaan kytkeytyvä virta johdetaan suojatun tilan kuoreen, ja näin häiriöt eivät pääse järjestelmän sisälle. Koaksiaalissa järjestelmässä kaapelin ulkojohdin toimii suojavaippana. Käyttämällä tiivistä ulkojohdinrakennetta, joka liitetään läpiviennissä suojakuoreen, saadaan riittävä suojaus. /12, s. 25./

Valokaapelit ovat immuuneja sähkömagneettiselle häiriölle. Jatkuva teknologian kehittyminen ja lisääntyvä elektroniikan käyttö laitteissa johtaa valitettavasti siihen, että ydinräjähdysten seurauksena syntyy yhä enemmän massiivista tuhoa. /2./

5.1 Yleistä suojauksesta

Matalataajuisia sähköisiä kenttiä on kohtuullisen helppo heikentää, kun taas matalataajuisilta magneettisilta kentiltä on vaikeampi suojautua. Huoneiden ja kaappien oikeanlainen tunkeutumissuojaus sähkömagneettisia häiriöitä vastaan on vain yksi tapa rajoittaa säteilevän sähkömagneettisen häiriön vaikutuksia. Kuvassa 1 on esitetty suojaustapoja häiriöiden sisääntunkeutumispisteistä. /2, s.17/



Kuva 1 Rakennuksessa olevien herkkien laitteiden suojaaminen häiriöiltä.

/2, s.17/

Säilyttämällä sopiva etäisyys säteilijän ja kohteen välillä saadaan kohtuullinen heikennys sähkömagneettisille häiriöille. Jotta saavutetaan tyydyttävä suojaus, voidaan joutua tekemään myös muita toimenpiteitä kuten:

- a) valitaan oikea kaapelointi ja johdotukset (lisätään suojavaippa kaapeleiden ja johtojen ympärille, kuva 2)
 - b) käytetään hyvää kaapelisommittelua ja hallintaa
 - c) hyvä maadoitus ja sidokset
 - d) käytetään laitteita, jotka rajoittavat säteilyä tai lisäävät immuniteettia
- /2, s.17./



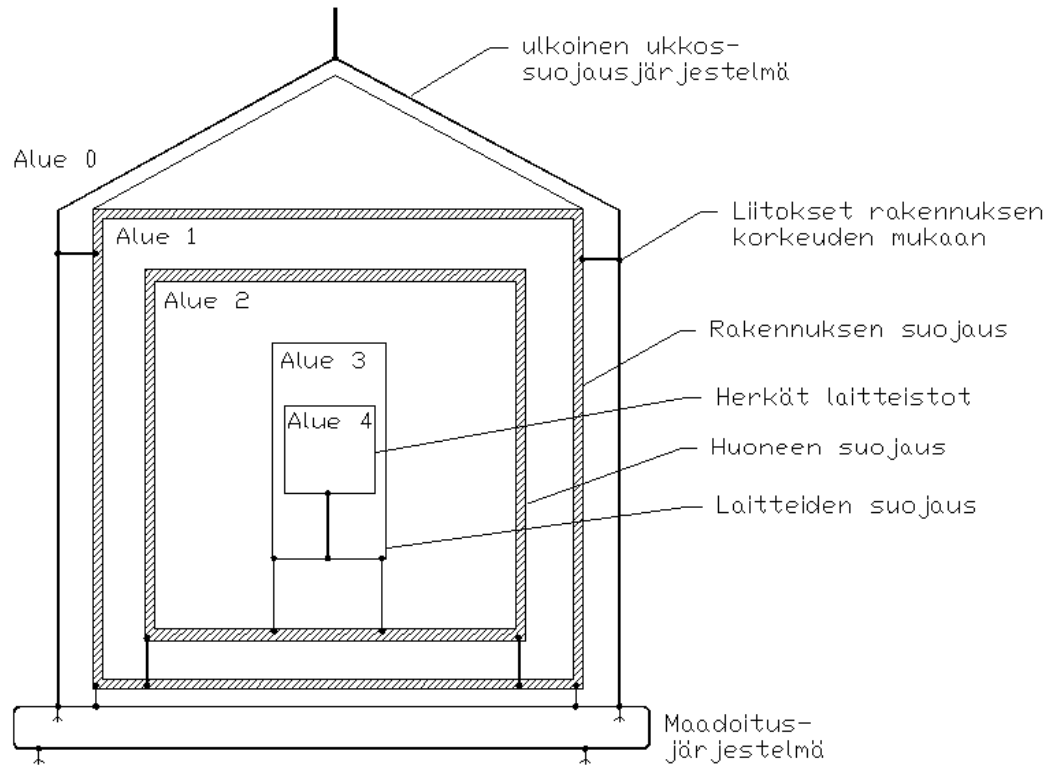
Kuva 2 Häiriöherkkien elektroniikkalaitteiden, herkkien tietokone- ja tietoliikennekaapeleiden halpa ja käytännöllinen EMI- ja EMP-suojaus vetoketjullisella suojapussilla. Suojusta saatavilla 2,5 – 15 cm:n halkaisijalla sekä jopa 15m:n pituisena. /4./

5.2 Suojausalueiden luokittelu

Suojausluokkia on suojaamattomista ympäristöistä korkeatasoisesti suojattuun ympäristöön, jossa on herkkiä laitteita. Suojausluokat on määritelty seuraavasti:

- | | |
|--------|--|
| Alue 0 | Ei suojausta. |
| Alue 1 | Rakennukset on suojattu vahvistetuilla betonisilla ulkoseinillä. |
| Alue 2 | Huoneet on suojattu erikoismateriaaleilla. |
| Alue 3 | Sisäiset laitteet on suojattu metallisilla materiaaleilla tai metallisilla koteloinneilla. |
| Alue 4 | Herkät laitteet ovat suljettu erikoissuojattuun kehikkoon. /2, s.18./ |

Kuvassa 3 on esitetty suojausalueet 0 - 4. Kaikkia suojausalueita ei välttämättä käytetä kohteessa samanaikaisesti. Luokat voidaan valita mielivaltaisesti kohteen mukaan. /2, s.18./



Kuva 3 Rakennuksen suojausalueet /2, s.19./

5.2.1 Alue 1 – Rakennusten suojaus

Alue 1 on käytössä rakennuksissa, joissa on hitsatut rautavahvistustangot betonisissa ulkoseinissä. Rautavahvistustangot tulisi yhdistää toisiinsa hitsaamalla niin monesta kohdasta kuin mahdollista. Näin vahvistus mahdollistaa hyvän maadoitusrakenteen. Joissain tapauksissa teräksiset vahvistustangot ovat yhdistämättä toisiinsa ja näin ollen ne eivät välttämättä muodosta riittävää suojausta. Hyvin suunniteltu ja toteutettu ukkosenjohdatin ja johtava yhteys maahan on tärkeä osa suojausta. Johtavat läpätunkeutumisreitit tulisi suojata sopivalla rajoittimella (ylijännitesuojat) ja suodattimella. Rakennusten suojaustehokkuutta on vertailtu taulukossa 1, kun käytössä on eri seinärakenteita. /2, s.18./

Taulukko 1: Mitattu suojaus tehokkuus 2x2m häkille, joka on valmistettu betoniseinärakenteesta. Pulssin nousuaika 20ns (equivalentti taajuus alle 20MHz). /2, s.23./

Suojarakenteen tyyppi			Vaimennus dB	
Tangon halkaisija, mm	Etäisyys mm	Tankojen kiinnitys	Sähköinen kenttä	Magneettinen kenttä
14	200	Sidonta	6	4
14	100	Sidonta	-	10
8	100	Sidonta	9	9
8	100	Hitsaus	19	11

5.2.2 Alue 2 – Huoneiden suojaus

Alue 2 on käytössä sisätilojen suojauksessa. Hyvälaatuiset suojatut huoneet tai suojatut tilat ovat olleet käytössä mittauksissa jo useita vuosia. Suojaus on tehokas, kun se koostuu jatkuvasta yhdistetyistä metalliverhousseinistä tai seinistä, jotka ovat metallipintaisia. Pultatut tai muuten yhdistetyt seinät eivät saavuta yhtä korkeata suojaustasoa kuin hitsatut seinät. Kaikkien alueelle sisään tulevien johtojen suojaus täytyy yhdistää metalliseiniin. Sisään tulevat johdot tulisi myös suojata ylijännitteiltä sopivalla ylijännitesuojalla ja suodattimilla. /2, s.18./

Suojattujen huoneiden käyttö on lisääntynyt eri sovelluksiin, esim. suurtehoisten tutka-asemien tai teollisen radiotaajuuden säteilylähteen lähellä työskentelevän henkilöstön suojaukseen sekä lääketieteellisten laitteiden, biolääketieteellisten työkalujen ja tietokoneiden suojaamiseen. /2, s.18./

5.2.3 Alue 3 – Laitteistojen suojaus

Alue 3 on käytössä kohteissa, joissa yksittäisiä laitteita suojataan metallikoteloilla tai metallisilla kehikoilla. Maadoitusyhteyden tulisi olla lyhyt johdin maadoitusjärjestelmään. Johtavat läpätunkeutumisreitit tulisi suojata sopivalla rajoittimella (ylijännitesuojat) ja suodattimella. /2, s.18./

Suojattujen koteloiden käyttö on tarpeellista, jos häiriön aiheuttajana on korkea sähkömagneettinen kenttä, jonka voimakkuus on suurempi kuin 30V/m. Nämä kotelot tuottavat suojan myös ulospäin johtuville häiriöille. /2, s.22./

Kaapeleiden kautta aiheutuviin häiriöihin voidaan puuttua käyttämällä erityisiä suodattimia, jotka asennetaan sisääntuleviin kaapeleihin. Näillä suodattimilla tulee olla hyvä yhteys kotelon runkoon. Kaikki metalliosat tulisi sitoa yhteen korkealaatuisilla ja pysyvillä liitoksilla lyhintä tietä maadoitusjärjestelmään. /2, s.22./

5.2.4 Alue 4 – Laitteiden suojaus

Aluetta 4 käytetään yksittäisten laitteiden tasolla laitevalmistajan vastuulla. Tämä alue voi sisältää erittäin herkkiä laitteita, jotka voivat vaatia lisäsuojasta. /2, s.19./

Kuvassa 4 on Fitelnetin valmistama järjestelmäkaappi, jonka kaikki rajapinnat ja liittimet ovat EMP-suojattuja. FCSC-kaappiin voidaan kalustaa asiakaslähtöisesti erilaisia järjestelmäkoonpanoja. /10./



Kuva 4 Fitelnetin valmistama järjestelmäkaappi. /10/

5.3 Suojauksen tehokkuus

Suojatun tilan tehokkuus riippuu monesta tekijästä. Teoriassa suojattu tila taajuusalueella 10 GHz ja siitä ylöspäin voidaan suunnitella tuottamaan vaimennuksen, joka vaihtelee muutamasta dB:stä yli 100 dB:iin. Kuitenkin käytännössä sellaisen tilan tehokkuus, jolla on kaikenlaisia sisääntunkeutumispisteitä, pienenee ja rajoittuu. Yhtenäisen metallikotelon tai tilan suojauksen tehokkuus määritellään etupäässä seuraavien tekijöiden perusteella:

Häiritsevät virrat tulisi estää kotelon ulkopinnan tai suljetuissa silmukoissa pintojen yhdistämisellä maadoitukseen. Sisääntulevat kaapeleiden asennukset tulisi joko suodattaa/rajoittaa ja/tai kaapeleiden suojavaippa tulisi maadoittaa koteloiden runkoon. Sähköä johtavien saumojen pituus suojatun tilan kaikissa osissa tulisi olla mahdollisimman lyhyt, mieluiten $< 1/10$ häiriön aallonpituudesta (arvo ei sovellu matalataajuisille magneettisille kentille). Reikien koko tulisi olla mahdollisimman pieni verrattuna kyseessä olevan häiriön aallonpituuteen, tai reikä tulisi sovittaa putkien avulla (katso luku 5.5 läpiviennit). /2, s.20./

5.4 Suojaustason ylläpito

Seuraavia sääntöjä voidaan käyttää, kun tarkastellaan, onko suojattu tila oikein asennettu:

- a) Varmistetaan oikea reitti samantyyppisille virroille, jotka voivat johtua kaapeleihin ja niistä sisään suojattuun tilaan. Kaapeleiden suojavaipat on kiinnitettävä suojattavaan tilan seiniin. Tämä koskee koaksiaalikaapeleita, suojattuja monijohdin kaapeleita, asennuskaapeleita jne. /2, s.20-21./
- b) Varmistetaan oikea reitti kaikille häiritseville virroille, jotka voivat virrata minkä tahansa metallisen esineen kautta suojattuun tilaan (metalliset vesijohtoputkistot tai ilmastoinnin jäähdytysjärjestelmän putkistot). /2, s.20-21./
- c) Jos mahdollista, kaikkien edellä mainittujen johteiden tulisi mennä sisään suojattuun tilaan yhden metallipaneelin kautta mahdollisimman kaukana suurista avoimista aukoista tilassa (esim. ovet). Joissain tapauksissa kaksoissuojattu ovi voi olla takaamassa suojaustason säilyvyyttä. /2, s.20-21./
- d) Rajoita suojattuun tilaan menevää signaalien kaistanleveyttä tai tehoa tarvitsevan signaalin minimivaatimukseen. Käytä suodattimia ja asenna ne oikein seinää vasten. Oikein asennettu yksinkertainen suodatin on parempi kuin kallis väärin asennettu suodatin. /2, s.20-21./
- e) Jos jonkinlainen ylijännitesuoja on kytketty kaapeliin rajoittamaan toision jännitettä, suodatin tulee kytkeä ylijännitesuojan ja suojatun tilan välille. /2, s.20-21./

- f) Varmistetaan, että kaikki suojatun tilan seinät muodostavat yhtenäisen hyvin johtavan metallisen pinnan. (Esim. saumojen hitsaus, maalin poisto, korroosiosuojaus, itseporautuvat ruuvit ja pop-niitit). /2, s.20-21./
- g) Kaikki suojatun tilan seinien aukot tulisi tarkastaa hyvin. Tällaisia aukkoja voivat olla
- pitkät raot, esim. avoin sauma
 - suuri pyöreä reikä
 - monet pienet reiät samalla avoimella alueella, kuin suuri reikä
 - reiät suojattuna metallisella reikäverkolla
 - reiät suojattuna putkilla tai putkien kennosto matriiseilla (katso luku 5.5 läpiviennit, jossa käsitellään rakennetta yksityiskohtaisemmin). /2, s.20-21./

5.5 Läpiviennit

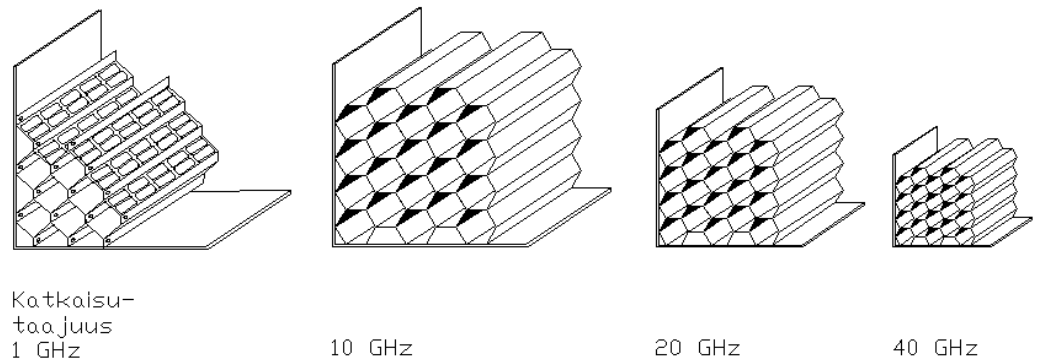
Aukkojen tekemiseltä suojaukseen ei voida välttyä (kaapelireiitit, ilmastointi, ikkunat). Jos ne rakennetaan oikein, ne voivat säilyttää suojaustason suurella osalla taajuusalueesta. Harkitsemattomat tai tarkoittamattomat aukot ja kontrolloimattomat kaapeleiden sisääntulot suojattuun tilaan muodostavat suurimman osan heikoista kohdista. /2, s.24/

Ovissa tulisi olla metallipinnat ja ympäriinsä olevat yhdistystapit. Ikkunoiden aukkoihin voidaan asentaa metalliverhous (mitoitetaan taajuuden mukaan), joka estää tietyn häiritsevän säteilyn taajuuden. Ikkunasuojausta on saatavilla sisäikkunoihin, myös lämpöeristettyihin ulkoikkunoihin metalliverkoilla lasien väliin kerroksittain asennettuja suojauksia voidaan käyttää. Saavutettava suojaustaso riippuu metalliverkkojen kerrosten lukumäärästä. Ikkunoiden metalliverkot tulee lisäksi kiinnittää tilan suojaukseen. /2, s.24/

5.6 Kennostot

Kennostorakenteessa (kuva 5) putkiston halkaisija ja pituus tulisi valita maksimitaajuudella, jolla suojatun tilan täytyy toimia, ja niin, että putkistorakenne toimii kuten aaltoputki. Kaikkien putkien tulisi muodostaa hyvä johtava yhteys kohdassa, jossa ne koskettavat toisiaan. Verkon tai kennostorakenteen tulisi koskettaa seinää, johon se on kiinnitettyä koko reunaa vastaavalta alueeltaan. /2, s.24./

Kuva 5 Esim. ilmaistointikanavissa voidaan käyttää kennorakennetta. /2, s.24/



5.7 Tiivisteet

Johtavia tiivisteitä käytetään vähentämään aukkojen vaikutusta ja ylläpitämään tilan komponenttien sidoksia. Tällaisia tiivisteitä käytetään joko väliaikaisena tai puolipysyvänä tiivisteenä liitoskohtien tai rakenteiden välillä. Tiivisteitä tulisi käyttää saadakseen kiinteä, jatkuva ja yhtenäinen yhteys saumapinnoille. /2, s.24./

5.8 Suodattimet

Suodattimia käytetään sähkö-, telekommunikaatio- ja ohjausjärjestelmien kaapeleissa, kun häiriötasot eivät vastaa laitteen häiriönsietotasoa.

Suodattimen yleinen tehtävä on kaistanleveyden rajoittaminen; tällä toiminnalla voidaan tähdätä useaan päämäärään:

- suojataan elektroniset laitteet häiriöiltä, haluttujen signaalien taajuusalueen ulkopuolella
- erotetaan symmetriset häiriöt epäsymmetrisistä signaaleista
- rajoitetaan epäsymmetristä kaistanleveyttä mahdollisimman pieneen toiminnalliseen leveyteen. /2, s.26./

Suodattimilla voi olla kaksijakoinen toiminta: ne suojaavat ympäristöä laitteissa johtumalla syntyviltä häiriöiltä sekä suojaavat laitteita laitteiden ulkopuolisilta häiriöiltä. Tämä kaksoisrooli tarkoittaa sitä, että myös muiden suojaavien laitteiden, kuten ylijännitesuojien, tulee olla kaksisuuntaisia. Yleinen vaatimus asennuksissa on että sähköverkkoon ja puhelinlinjoihin tulevia korkeataajuisia häiriöitä rajoitetaan alipäästösuodattimilla. /2, s.26./

Valittaessa suodattimia ulkoisten lähteiden häiriöiltä suojaamiseen tulisi kiinnittää huomiota kolmeen seikkaan:

- 1) Heijastukset, onko suodatin sopiva lähteen ja kuorman impedanssiarvoille?
- 2) Vaimennukset, tuottaako suodatin tarpeettomia vaimennuksia tai vääristymiä alkuperäiseen signaaliin?
- 3) Epälineaarinen suorituskyky, ovatko odotettavat häiriötasot suodattimen toiminta-alueella? Muodostuuko uusia häiriöitä jos rajat ylittyvät? /2, s.27./

5.8.1 Suodattimien perustyypit

- Alipäästösuodatin: päästää lävitseen matalat taajuudet ja vaimentaa korkeat taajuudet.
- Ylipäästösuodatin: päästää lävitseen korkeat taajuudet ja vaimentaa matalat taajuudet.
- Kaistanpäästösuodatin: päästää tietyn taajuusalueen lävitseen ja vaimentaa taajuusalueen ulkopuolelle jäävät taajuudet.
- Kaistanestosuodatin: estää tietyn taajuusalueen pääsyn ja päästää taajuusalueen ulkopuolelle jäävät taajuudet lävitseen. /2, s.28./

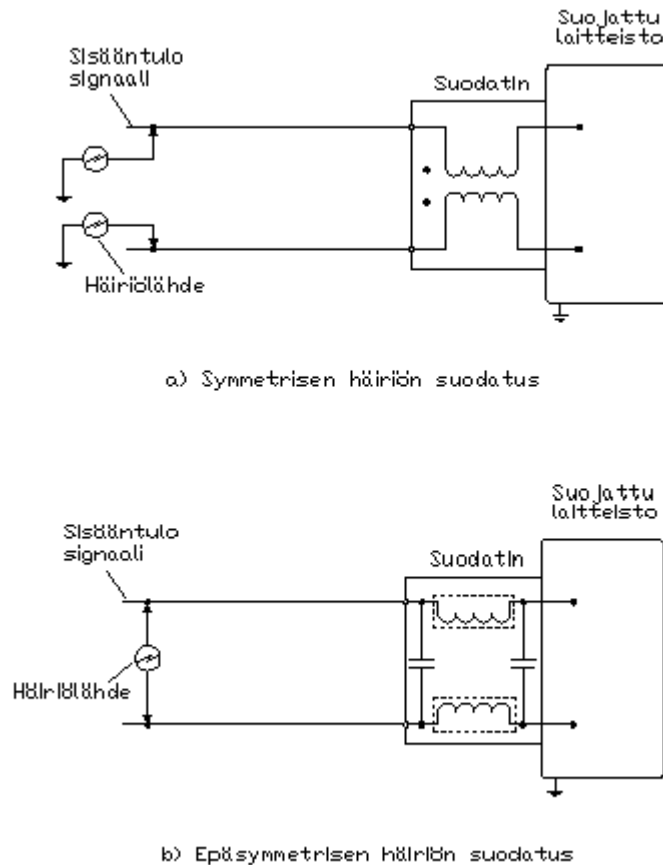
Kuvassa 6 on esitetty Fitelnetin valmistama EMP-suodatin 2 Mbit/s siirtotielle. Suodatin suojaa laitteistot salamalta ja sähkömagneettiselta pulssilta (EMP). /9/

Kuva 6 Alipäästösuodatin FAPS-8. Suodatin suodattaa 4000 ampeerin virran alle yhteen ampeeriin. /9/



5.8.2 Suodattimen toiminnalliset tehtävät

Suodatin estää asennetulle laitteelle aiheutuvat häiriöt rajoittamalla saapuvia häiriötä sähkö-, ohjaus- ja kommunikaatiopiireissä (kuva 7). Suodatin vähentää ulosmenevää kohinaa sähköverkossa ja ympäristössä rajoittamalla kaapeleista tai laitteista johtumalla aiheutuvia säteilyhäiriöitä. Suodatin estää sähkömagneettisia häiriöitä laitteen osien välillä tai itse laitteessa ja tarjoaa suositellun reitin symmetriselle virralle. /2, s.29./



Kuva 7 Symmetrisen ja epäsymmetrisen häiriön kytkeytyminen sekä suodattimen kytkentä /2, s.29/

5.8.3 Suodattimen valintakriteerit

Suodattimet tulisi valita ja niitä tulisi käyttää harkiten. Aluksi täytyy määrittellä häiriön tyyppi, jota vastaan suojaus halutaan tehdä. /2, s.30./

5.8.3.1 Jännitealue

Markkinoilla on suodattimia useille eri jännitteille, kuten 125V, 250V, 380V ja 440V. Jotkin valmistajat määrittelevät sallitut ylijännite-ehdot tietyille ajanjaksolle. /2, s.31./

Telekommunikaatio- ja ohjausjärjestelmien suodattimia on markkinoilla puhelinjärjestelmille, digitaalisille ja analogisille piireille, ohjausjärjestelmille, koaksiaalijärjestelmille jne. /2, s.31./

Kuvassa 8 on sähkömagneettisille häiriöille tarkoitettu telesuodattimen asennusyksikkö.



Kuva 8 Seinässä olevaan aukkoon asennettava Erikois-Elektroniikka Neuvonen Oy:n valmistama 50 suodattimen yksikkö EMPA-50. /6./

5.8.3.2 Virta-alue

Sähköjärjestelmien suodattimia on laaja skaala erilaisiin järjestelmiin: laitteiden suodatuksen, suojattujen huoneiden ja kaappien suodatuksen, asennuksen sähköjärjestelmän suojaukseen jne. Suodattimia saa useille eri virroille. /2, s.31./

Filtro Oy:n valmistamien 230/400VAC pienjänniteverkkoon tarkoitettujen suodattimen virta-alue ulottuu pienistä 2-napaisista ohjausjohtojen 1-vaihesuodattimista aina 4-napaisiin 400A 3-vaihesuodattimiin. /8/



Kuva 9 Pienjänniteverkon suodattimia käytetään viestiasemien lisäksi myös matkapuhelinkeskuksien tehonsyötön suojauksessa. Kuvassa Filtro Oy:n valmistamia 4x200A:n suodattimien rivistöä. /8./

5.8.3.3 Tehtäväjakso ja ylikuormitusehdot

Nämä ominaisuudet ovat pääasiassa käyttökelpoisia sähköverkon suodattimiin ja koskevat epäsäännöllistä toimintaa, ylikuormitusta ja mahdollisia vikatapauksia sähköverkossa. Valmistaja voi määrittellä ylikuormitus ehdot ylivirran ja ajan perusteella. Esim. 10 x mitoitusvirta 1s ajan tai 5 x mitoitusvirta 5 s ajan jne. /2, s.31./

5.8.3.4 Ympäristön lämpötila

Valmistajien usein määrittelemä lämpötila-alue on $-25^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$. Johtuen suodattimien tehohäviöstä, verkkosuodattimet voivat aiheuttaa lämpötilan nousua jollain kotelon osalla jopa 10°C . Tämä on syytä ottaa huomioon kun asennetaan komponentteja lähekkäin. /2, s.32./

5.8.3.5 Liitosvaimennus ja vaimennus

Yleisiin sovelluksiin käytettyjä suodattimia on tarjolla rajoitetuilla suorituskyvyillä, kuten symmetristen ja epäsymmetristen häiriöiden vaimennus 20 dB...50 dB taajuusalueella 0,1 MHz...100 MHz. Korkeampia tasoja on tarjolla suodattimiin, jotka suojaavat huoneita ja kotelaita; 80 dB...120 dB:n suodatus on tyypillinen kymmenien tai satojen kHz:n ja 1 GHz:n tai sen yli välillä. /2, s.32./

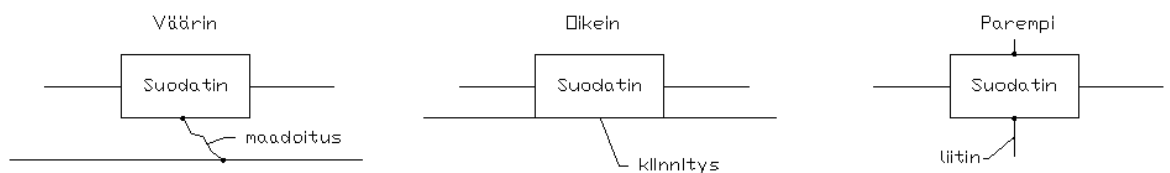
Suodattimien liitosvaimennus on tyypillisesti suunniteltu ja mitattu sisään- ja ulostulo terminoituna 50 Ω :n impedanssilla. Tässä tapauksessa suodattimen liitosvaimennus voi olla mitä tahansa välillä 80...120 dB. Oikeassa asennuksessa linjaimpedanssi voi poiketa 50 ohmista ja voi näin olla heikentynyt määritellystä liitosvaimennuksesta (< 80dB). /2, s.32./

5.8.4 Suodattimien asennus

Suodattimia käytettäessä oikea asennustapa on erityisen tärkeää, koska asennustavat tulevat kriittisiksi korkeilla taajuuksilla. Yleisenä ohjeena voidaan pitää, varsinkin korkeataajuisilla häiriöillä, suodattimien sijoitusta mahdollisimman lähelle häiriintyvää laitetta, sillä näin minimoidaan liitännän impedanssi. Suodattimet voidaan asentaa laitteen kotelon sisään tai laitteen välittömään läheisyyteen. Suodattimien asennuksen täytyy olla yhtenäinen koko suojattavan järjestelmän/rakenteen osalta. /2, s.33./

5.8.4.1 Johdotus

Sisään- ja ulostulolinjojen fyysinen erotus on helppoa suodattimien läpisyötön ansiosta. Sisääntulo- ja ulostulojohtoja ei saisi koskaan niputtaa yhteen. Suodattimen maadoitusjohtimen impedanssi tulisi olla niin pieni kuin mahdollista, jotta välttyttäisiin syntyviltä häiriöiltä, jotka muuten lisääntyisivät symmetriseen jännitteeseen ja näin laitteelle suodatettaviksi. Kuvassa 10 on esitetty suodattimien kytkentä. /2, s.34-35/



Kuva 10 Suodatin kiinnitetään suojattuun seinään tai sen lähelle, jotta saadaan lyhyt yhteys maahan ja taataan hyvä maadoitus, myös liittimien käyttö maadoituksissa on hyvä ratkaisu. /2, s.35./

5.9 Erotusmuuntajat

Erotusmuuntajat ovat käyttökelpoisia laitteita kun halutaan katkaista johtava yhteys, mutta halutaan säilyttää epäsymmetristen signaalien läpi pääsy (tässä signaalit ymmärretään tavallisena kommunikaatiosignaaleina tai tasa-/vaihtosähköinä). Taajuusalue vaihtelee muutamien kHz:n alueella. Korkeimmillakin (kymmenien kHz:n) taajuuksilla jotkin erotusmuuntajat voivat yhä päästää huomattavan määrän ensiöpuolen jännitteestä toisiopuolen käämeille. /2, s.37./

Yleinen harhaluulo on, että erotusmuuntaja vaimentaa kaikki ylijännitteet huomaamatta niitä, yleensä tämä toiminta on kuitenkin rajoitettu symmetrisiin jännitehäiriöihin. /2, s.37./

5.10 Häiriönvaimennusmuuntajat

Häiriönvaimennusmuuntajia (kuvat 11 ja 12) käytetään verkkohäiriöiden vaimennukseen ja erotusmuuntajiksi. Muuntajien rakenteen avulla niillä saavutetaan hyvä symmetristen (common-mode) ja epäsymmetristen (differential mode) häiriöjännitteiden vaimennus. /11./



Kuva 11 HF-häiriöiden vaimennusmuuntaja. /11/



Kuva 12 HF-häiriöiden vaimennusmuuntaja. /11/

5.11 Ylijännitesuojat

Ylijännitesuojia käytetään piireissä suojaamaan laitteita korkeataajuisilta jännite- ja virtapiikeiltä. Päinvastoin kuin suodattimet, joita yleensä käytetään pienentämään jatkuvia häiriöitä, ylijännitesuojat on suunniteltu käytettäväksi yksittäisten, satunnaisesti ja ennalta arvaamattomien purskeiden pienentämiseksi. Ylijännitesuojia käytetään usein yhdessä suodattimien kanssa. Yleinen tapa pienentää purskeita on luoda niille yhtenäinen reitti, joka ohjaa jännite- tai virtapiikin pois laitteista. Matalilla taajuuksilla reitti aiheuttaa suhteellisen pienen jännitealeneman suojatun laitteen päätteille. /2, s.41./

Transientit kytkeytyvät signaalipiireihin lähinnä epäsuorasti. Salaman iskiessä suoraan sähköverkkoon tai sen läheisyyteen transientteja indusoituu signaalipiireihin. Myös EMP:n aiheuttamat transientit kulkevat kaapeleita ja muita johtavia rakenteita pitkin elektroniikkalaitteisiin. /1./

Elektroniikkapiirien ja komponenttien ylijännitekestoisuus on vain murto-osan laitteiden sähkönsyöttöön verrattuna. Jo muutaman kymmenen voltin jännite ja pieni energia voivat rikkoa laitteessa olevan elektroniikkapiirin. Hyvästä suojauksesta huolimatta transientit voivat olla liian suuria signaalipiireille ja rikkoa laitteita. /1./

Ylijännitekestoisuutta voidaan lisätä vain laitteen sisäisillä tai ulkoisilla suojoilla. Avojohtoihin ja antenneihin indusoituneiden virtojen ja jännitteiden etenemistä suojattuihin laitteisiin estetään ylijännitesuojoilla, jotka rajoittavat läpi pääsevän pulssin amplitudia. /1./

Ylijännitteiden kytkeytymistä voidaan estää kiinnittämällä huomiota mm. kaapelointeihin. Käyttämällä kierrettyä parikaapelia voidaan transientteja ohjata suojaavan metallivaipan avulla pois elektroniikkapiireistä. Paras keino estää transienttien kytkeytyminen on käyttää metallivahvistuksia ja -johtimia sisältämättömiä valokaapeleita, jotka ovat immuuneja sähkömagneettisille häiriöille. /1./

Lisäämällä EMC-suojaus pienjännitteisiin järjestelmiin (sähkö- ja kommunikaatiojärjestelmät) voidaan ylijännitesuojia käyttää kahdella tavalla:

- suora laitteiden suojaus, lieventämällä jännitteiden aiheuttamien purskeiden rasituksia laitteille
- epäsuora laitteiden suojaus, estämällä suurien virtapiikkien pääsy rakennuksen kaapeleihin. Virtapiikit tuottaisivat häiritseviä tai tuhoavia jännitteitä lähellä oleviin piireihin. /2, s.42./

Suora laitteiden suojaus on yleisin tapa asentaa ylijännitesuojat sähkö- ja kommunikaatiopiireihin. Tämä suojaustapa voidaan saavuttaa monissa kohdissa asennusta, myös laitteessa itsessään. Tällöin ylijännitesuojat ovat laitevalmistajan vastuulla. Tällaisessa tapauksessa ylijännitesuojat voivat vaikuttaa myös EMC-suojauksen kokonaistehokkuuteen järjestelmässä. /2, s.42./

Olettaen, että jännitepiikit tulevat lähinnä rakennuksen ulkopuolelta, ylijännitesuojien paras sijoituspaikka on kaapeleiden sisääntulokohdassa. Tämä ylijännitesuoja varaus on sopiva niin sähköverkolle kuin myös kommunikaatiojärjestelmille (puhelin, televisio, tietoliikenne). /2, s.42./

Joissakin tapauksissa jännitepiikit voivat tulla myös rakennuksen sisäpuolelta. Sisäisiä piikkejä voivat aiheuttaa esim.

- kytkinlaitteiden aiheuttamat piikit kytkettäessä laitteita päälle tai pois (normaalitapaus), sulakkeiden tai johdonsuojien virheellisten laukeamisten takia aiheutuvat jännitepiikit (harvinainen, mutta mahdollisesti pulmallinen tapahtuma)
- piikit jotka aiheutuvat suorasta salaman iskusta rakennukseen, jolloin salaman aiheuttama virta etsii suorinta reittiä maahan rakennuksen maadoitusjärjestelmän kautta. /2, s.42./

Elektroniikkaa sisältävien laitteiden lisääntymisen vuoksi on myös suojaustarve kasvanut merkittävästi.

6 EMP:N AIHEUTTAMILTA VAAROILTA VÄLTTYMINEN

Seuraavia asioita voi huomioida, jotta välttyisi EMP:in aiheuttamilta vaaroilta.

1. Pidetään kaapeli- ja johtoreitit niin lyhyinä kuin mahdollista. Kaapeli toimii sähkömagneettisen pulssin kerääjänä.(johteena)
2. Pidetään kaapelireitit niin suorina kuin mahdollista. Vältetään silmukoita. Silmukat keräävät enemmän EMP- energiaa kuin suorat kaapelit.
3. Pidetään kaapelit ja johdot maassa, siellä missä se on mahdollista. Ilmaan asennetut kaapelit ja johdot lisäävät EMP:n tuottamia jännitteitä ja virtoja.
4. Käytetään suojattua kierrettyä parikaapelia järjestelmissä joissa se on mahdollista. Kierretty parikaapeli kerää merkittävästi vähemmän EMP:iä kuin suojaamaton kaapeli.
5. Suojaus on tehokas EMP:iä vastaan. Herkät kommunikointilaitteet voidaan suojata EMP:ltä, jos ne asennetaan oikein metallikoteloihin.
6. Tehokas EMP-suojaus vaatii, että kaikki läpiviennit suojataan metallisuojuksilla.
7. Säilytetään laitteiden ja tilojen EMP-suojaustaso varmistamalla, että kaikki ovet ja huoltoluukut ovat suljettu.
8. Käytetään laitteille yhteistä maadoituspistettä. Suurilla järjestelmillä kannattaa käyttää puujärjestelmää.
9. Varmistetaan että kaikki antennireitit ovat kunnolla eristetty. /3./

7 PÄÄTELMÄT

Laitteita voidaan suojata sähkömagneettiselta pulssilta sijoittamalla laitteet erilaisten suojusten sisään. Näitä suojuksia voivat olla esim. rautavahvistustangoilla vahvistettu betoniseinäinen rakennus, sisätilat jotka on suojattu jatkuvilla metalliverhouseseinillä, laitteistojen suojaus metallikoteloilla sekä yksittäisten laitteiden laitekohtainen suojaus.

Näiden suojaustapojen lisäksi on huomioitava hyvä maadoitus sekä kaapeleiden ja erilaisten johtavien läpätunkeutumisreittien kautta tulevien häiriöiden estäminen. Näitä häiriöitä voidaan ehkäistä käyttämällä ylijännitesuojia, suodattimia sekä erilaisia kennostoja ja johtavia tiivisteitä.

Ylijännitesuojilla suojataan laitteet korkeataajuisilta yksittäisiltä tai satunnaisilta jännite- ja virtapiikeiltä. Suodattimia käytetään, kun halutaan estää ulkopuolisten häiriöiden pääsy laitteistoon tai laitteistosta sähköverkkoon ja ympäristöön. Kennostoja käytetään häiriöiden etenemisen estämiseksi esim. ilmanvaihtokanavissa. Johtavia tiivisteitä käytetään erilaisten aukkojen ja saumojen tiivistämiseen yhtenäisen johtavan pinnan säilyttämiseksi ja ylläpitämään komponenttien sidoksia.

Myös kaapeloinnilla voidaan estää transienttien kytkeytymisiä. Käyttämällä kierrettyä parikaapelia voidaan jännitepiikkejä ohjata pois elektroniikkapiireistä. Paras keino kaapeloinnissa on käyttää metallivahvistuksia ja -johtimia sisältämättömiä valokaapeleita, jotka ovat immuuneja sähkömagneettisille häiriöille.

Häiriönvaimennusmuuntajilla saadaan verkkohäiriöt vaimennettua sekä niitä voidaan käyttää erotusmuuntajina. Erotusmuuntajia käytetään kun halutaan katkaista johtava yhteys, mutta halutaan säilyttää signaalien läpi pääsy.

LÄHTEET

Painetut lähteet

- 1 EMC ja rakennusten sähkötekniikka ST-käsikirja nro 37:2008
- 2 IEC tekninen raportti: TR 61000-5-6:2002

Sähköiset lähteet

- 3 CaJohn, M. 1988. Weapons of mass destruction. [online]. [Viitattu 3.11.2008]
<http://www.globalsecurity.org/wmd/library/report/1988/CM2.htm>
- 4 Chomerics. [PDF-dokumentti]. [viitattu 3.11.2008] Saatavissa:
[http://vendor.parker.com/Groups/Seal/Divisions/Chomerics/Chomerics%20Product%20Library.nsf/24eb4985905ece34852569580074557a/34f50dcb7015905d80256a76004b3a20/\\$FILE/zipex.pdf](http://vendor.parker.com/Groups/Seal/Divisions/Chomerics/Chomerics%20Product%20Library.nsf/24eb4985905ece34852569580074557a/34f50dcb7015905d80256a76004b3a20/$FILE/zipex.pdf)
- 5 Electromagnetic pulse risks and terrorism. [online]. [Viitattu 3.11.2008]
<http://www.unitedstatesaction.com/emp-terror.htm>
- 6 Erikois-elektroniikka Neuvonen Oy. [www-sivu]. [viitattu 25.2.2009]
Saatavissa: <http://www.eriele.fi/>
- 7 Farah, Joseph 2005. Iran plans to knock out U.S. with 1 nuclear bomb. [online]. [Viitattu 3.11.2008]
http://www.worldnetdaily.com/news/article.asp?ARTICLE_ID=43956
- 8 Filtro Oy. [www-sivu]. [viitattu 2.3.2009] Saatavissa: <http://www.filtro.fi/>
- 9 Fitelnet Oy, FAPS-8 EMP-suodatin. [www-sivu]. [viitattu 2.3.2009]
Saatavissa: <http://www.fitelnet.fi/index.php?1647>
- 10 Fitelnet Oy, FCSC-järjestelmäkaappi. [www-sivu]. [viitattu 2.3.2009]
Saatavissa: <http://www.fitelnet.fi/index.php?1649>
- 11 Muuntosähkö Oy Trafox, HF-häiriöiden vaimennusmuuntajat. [www-sivu]. [viitattu 24.2.2009] Saatavissa: <http://www.trafox.fi/index.php?id=303>
- 12 Valtionhallinnon tietoturvallisuuden johtoryhmä, Tietoteknisten laittilojen turvallisuussuositus. [online]. [Viitattu 27.1.2009] Saatavissa:
http://www.yliopistojentt.uta.fi/VAHTI-CD/Vahti-ohjeet/2002/Laittilojen_turvallisuus_1_2002.pdf