

Saku Poikonen

Analogisen audiotekniikan häiriösuojaus

Maadoitus-, kytkentä- ja kaapelointimenetelmät

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

10.10.2012

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Saku Poikonen Analogisen audiotekniikan häiriösuojaus; Maadoitus- kytkentä- ja kaapelointimenetelmät 46 sivua 10.10.2012
Tutkinto	sähköinsinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	yliopettaja Matti Fishcer
<p>Tämä insinöörityö tehtiin osana äänitysstudion rakentamiseen liittyvää resurssi- ja luonnossuunnittelua. Työn tavoitteena oli kerätä yhteen häiriösuojaukseen olennaisesti liittyviä asioita, sekä luoda eheän kokonaisuuden kokoava raportti mahdollisten ongelmien kartoittamisen helpottamiseksi. Yleisluontoisen raportin oli tarkoitus olla kokonaisuutena sellainen, että sitä voidaan käyttää opastavana teoksena myös siirrettäviä äänentoistojärjestelmiä ja muita laitteistokokonaisuuksia suunniteltaessa.</p> <p>Työn aikana vertailtiin aiheesta jo olemassa olevia oppaita ja muuta kirjallisuutta sekä pohdittiin mahdollisia parannuskeinoja. Käytännön ongelmia äänentoistolaitteistojen häiriösuojauksesta kasattiin yhteen erilaisista konserteista ja niihin liittyvistä järjestelmistä.</p> <p>Työn lähtökohtana oli perehtyminen sähkömagneettisten häiriöiden syntymekanismiin ja niihin liittyviin teoreettisiin malleihin. Raporttiin kasattiin olennaiset seikat, jotka ymmärtämällä laitekokonaisuuden suunnittelija pystyy kattavasti hahmottamaan mahdolliset ongelmakohdat sekä myös tehokkaasti ehkäisemään häiriöiden syntyminen, tai rajaamaan mahdollinen häiriö halutulle alueelle.</p> <p>Työn edetessä tehtiin tärkeä havainto maadoituksissa ja laitekokonaisuuksien suunnittelussa usein käytetyn tähtipistemenetelmän heikkouksista nykyjärjestelmissä, joissa digitaalisten signaalipiirien osuus on kasvanut merkittävästi. Tehtiin havaintoja, joiden perusteella voidaan todeta tähtipistemenetelmän olevan käytäntönä vanhentunut. Tähtipistemenetelmän suorituskyky radiotaajuuksilla on huono, ja kyseinen järjestelmä altistuu helposti hallitsemattomille maasilmuksille.</p> <p>Havaintojen perusteella audiolaittekokonaisuuksien suunnittelussa ja rakennuksessa tulisi noudattaa silmukoitujen potentiaalintasausverkkojen periaatetta. Järjestelmän tulisi sisältää ainoastaan täysin balansoituja laitteita, jotka on suunniteltu, rakennettu ja kytketty AES48/2005-standardin mukaisesti. Audiosignaalin muuttaminen analogisesta digitaaliseksi heti signaalitien alkupäässä on myös kokonaisuuden kannalta järkevää.</p>	
Avainsanat	maadoitus, häiriösuojaus, audiotekniikka

Author Title	Saku Poikonen Interference Handling in Analog Audio Technology; Grounding, interconnection and Cabling Methods
Number of Pages Date	46 pages 10 October 2012
Degree	Bachelor of engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Specialisation option	Electrical power engineering
Instructor	Matti Fischer, Principal Lecturer
<p>This Bachelors` thesis was made as a part of an audio recording studio building project. The making of this study played a significant role in the design and resource planning of the recording studio project. The final part of the work was to create a comprehensive report document which contains important information about system groundings, electromagnetic interference handling and other related issues. The purpose of this report is that an audio system designer could use it as an assisting handbook when designing an audio recording studio or a live sound reinforcement system.</p> <p>During the making of this thesis, existing manual documents as well as other literature on the subject were studied and researched. Considerations regarding real life problems from live concert situations were compared to theoretical models with the intention of finding better solutions and working methods.</p> <p>The starting point of this work was to comprehensively understand the fundamentals of an electromagnetic interference and the theoretical models behind them. The study was to include several significant issues, allowing the system designer to succesfully locate the source of interference problems, and enabling the limitation or elimination of the problem.</p> <p>During the project, an important observation was made about the weakness of the star ground method, that has been widely used in the audio system designs for decades. The efficiency of the star ground method is significantly low in the radio frequency area and it is very vulnerable for uncontrolled ground loops in the use of an untrained technician.</p> <p>Based on the study, it was concluded that in the audio system designs and cabling, the meshed bonding network should be used. It is also highly recommended that the equipment that is to be used is fully balanced and the equipment design and cabling are made to meet the AES48/2005 standard. The conclusion was also made that it is recommended to transform the analog audio signal into digital as early as possible in the signal chain that.</p>	
Keywords	Audio technology, electromagnetic interference, groundings

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Maadoitusten tarkoitus ja periaatteet	2
2.1	Maadoituksen perusteet	2
2.2	Suojamaadoitus	2
2.3	Potentiaalintasaus	4
2.4	Salamasuojaus	6
2.5	EMC-maadoitus	8
3	Sähkömagneettiset häiriöt	9
3.1	Häiriöiden tausta ja merkitys	9
3.2	Resistiivinen kytkeytyminen	10
3.2.1	Maasilmukat	12
3.2.2	Tähtipistemenetelmä ja maasilmukat	14
3.3	Kapasitiivinen kytkeytyminen	16
3.4	Induktiivinen kytkeytyminen	18
3.5	Sähkömagneettisen säteilyn aiheuttamat häiriöt	20
4	Balansoitu- ja balansoimaton audiosignaali	22
4.1	Balansoitu audiosignaali	22
4.2	Balansoimaton audiosignaali	24
4.3	Balansoidun- ja balansoimattoman järjestelmän yhteensovittaminen	25
4.4	Pin-1-ongelma	29
5	AES48/2005-standardi	31
5.1	AES48/2005-standardin tausta ja merkitys	31
5.2	Maadoitusjohtimien kytkennät suojakoteloihin	31
5.3	Suojaamattomat liitännät	32
5.4	Kytkennot laitteisiin, joissa ei ole suojakoteloita	33
5.5	Esimerkit virheellisestä suunnittelusta	35

6 Silmukoitu potentiaalintasausverkko	38
6.1 Silmukoidun potentiaalintasausverkon periaatteet	38
6.2 Silmukoitu potentiaalintasaus audiotekniikassa	39
6.3 Silmukoitu potentiaalintasaus ja maasilmukat	42
7 Yhteenveto	43
Lähteet	46

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä selvennetään ja yhtenäistetään menetelmät, joita noudattamalla saavutetaan korkeatasoinen häiriösuojaus analogisen audiotekniikan sovelluksissa. Työssä esitellään teoreettiset tiedot ja käytännön menetelmät, joita laitteiden ja laitekokonaisuuksien suunnittelun lisäksi myös käyttäjäportaassa toimivat henkilöt voivat hyödyntää.

Digitaalisen murroksen aiheuttamat vaikutukset ovat ilmeisiä myös analogisessa audiotekniikassa. Digitaaliset signaalinkäsittelylaitteet ovat herkkiä lähettämään ja vastaanottamaan häiriötä radiotaajuuksilla. Monet perinteisistä menetelmistä häiriölähteiden eliminoimiseksi joudutaankin ottamaan kriittiseen tarkasteluun.

Työssä selvennetään pääkohdat yhdysvaltalaisen Audio Engineering Society'n audiolaitteiden välisiin kytkentöihin määrittelemästä standardista AES48/2005. Tavoitteena on avata syitä, jotka johtivat standardin luomiseen sekä käsitellä silmukoidun potentiaalintasausverkon hyötyjä ja haittoja audiotekniikan kokonaisvaltaisena häiriösuojausratkaisuna. Työssä käsitellään myös erilaisten maadoitusjärjestelmien perusteita.

Työ on osa äänitysstudion rakentamiseen liittyvää resurssi- ja luonnossuunnittelua. Tästä insinööriyöstä syntyvää raporttia voidaan käyttää ongelmanratkaisun, audiolaitteiden asentamisen ja käytön sekä laitekokonaisuuksien suunnittelun yhteydessä apuvälineenä. Audiolaitteiden käyttäjäkenttä on hyvin poikkialainen, ja laitteita joutuvat usein käyttämään päivittäisessä työssään henkilöt, joiden tekninen koulutus on vähäistä. Insinööritieteiden tutkimusnormit huomioon ottaen on olemassa tarve kokoavalle teokselle audiolaitteiden häiriösuojauksesta, jonka ydinsisällön pystyvät myös käyttäjäportaassa toimivat henkilöt sisäistämään.

2 Maadoituksen tarkoitus ja periaatteet

2.1 Maadoituksen perusteet

Tämän insinööriyön aihe, *häiriösuojaus*, liittyy hyvin kiinteästi maadoitukseen. Maadoitusjärjestelmien oikeaoppinen asentaminen sekä jo olemassa olevien rakenteiden hyväksikäyttäminen on olennainen osa toimivaa häiriösuojausta. Erilaisten maadoitusjärjestelmien tunteminen ja niiden keskinäisten liitännäisyyksien ymmärtäminen antaa pohjan turvalliselle työympäristölle ja korkealuokkaiselle häiriösuojaukselle.

Maadoituksien tarkoituksena on ihmisten ja laitteiden suojaaminen vikatilanteissa. Maadoituksien tekemiseen liittyy suuri määrä kansallista lainsäädäntöä sekä erilaisia määräyksiä. Maadoitusten käyttötarkoitukset ovat monipuolistuneet, mutta turvallisuuden ylläpitäminen ja vaaliminen on kuitenkin aina niiden perimmäinen tarkoitus

Sähköturvallisuuden kannalta maadoituksien ensisijaisena tarkoituksena on rajoittaa vikatapauksissa esiintyviä kosketusjännitteitä ja askeljännitteitä. Sähköturvallisuutta ajatellen maadoitusjärjestelmien tarkoituksena on myös luoda toimintaedellytykset toimivalle vikasuojaukselle, estää vaarallisten vuotovirtojen, kipinöiden ja valokaarien syntyminen sekä estää vaarallisten jännitteiden siirtyminen järjestelmästä toiseen. Nykyisin maadoituksilla on monia eri soveltavia käyttötarkoituksia: suojamaadoitus, potentiaalintasaus, salamasuojaus, signaalien referenssipotentiaalina toimiminen sekä häiriösuojaus. [1, s. 279.]

2.2 Suojamaadoitus

Suojamaadoituksella tarkoitetaan laitteisiin ja rakenteisiin liittyvää suojausmenetelmää. Suojamaadoitusta on käytettävä laitteissa ja rakenteissa, joissa katsotaan mahdolliseksi kosketeltavissa olevien osien muuttuminen jännitteisiksi vikatilanteiden sattuessa. Tällaisella tilanteella tarkoitetaan esimerkiksi metallisen laitekotelon muuttumista jännitteiseksi ja hengenvaaralliseksi ihmiselle koskettaa. Laitekotelo voi muuttua jännitteiseksi laitteen vioittumisen seurauksena. Suojamaadoituksen ansiosta vikavirta purkautuu hallittua reittiä maahan. Tarkoituksena on, ettei tämä reitti koskaan kulje ihmisen kautta.

Suojamaadoitusjohdin on hyvin keskeinen osa sähköasennuksen suojauksessa. Suojamaadoitusjohdin on siis normaalikäytössä jännitteetön ja virraton johdin. Suojamaadoitusjohdin voi kuitenkin tulla jännitteiseksi eristysvian seurauksena ja siinä voi myös kulkea suuriakin virtoja vikatilanteen seurauksena. Normaalitilanteessa suojamaadoitusjohtimissa saattaa kulkea pieniä virtoja sähkölaitteiden aiheuttamien vuotovirtojen seurauksena. Suojamaadoitusjohtimiin saattaa myös indusoitua virtoja lähellä olevien kaapelien, tai luonnonilmiöiden aiheuttamien magneettikenttien vaikutuksesta [1, s. 270]. Yhteenvetona todetaan, että suojamaadoituksen tarkoituksena on siis tarjota matalaimpedanssinen paluureitti maahan virralle, joka purkautuessaan muuta kautta saattaisi aiheuttaa vaaraa ihmisille.

Maadoituksen perusrakenne muodostuu perustusmaadoituselektrodista sekä maadoitusjohtimista. Perustusmaadoituselektrodilla tarkoitetaan pääsääntöisesti rakennuksen perustusten betoniin upotettua suljetun renkaan muodostamaa johtavaa osaa. Perustusmaadoituselektrodi voi olla asennettuna myös perustusten alle. Tämä rakenne muodostaa fyysisen yhteyden maaperään. Koska tässä tarkoituksessa olevat maadoitusjohtimet kulkevat usein ainakin osittain kosketuksissa maaperään, ovat niihin liittyvät vaatimukset enimmäkseen tekemisissä mekaanisen kestävyuden ja lujuuden sekä korrosiokestävyyden kanssa, eivätkä niinkään sähköisissä ominaisuuksissa ominaisimpedanssia lukuun ottamatta. [1, s. 274; 2. S, 82]

Suojamaadoituksen tehtävä on ensisijaisesti suojata ihmisiä tai kotieläimiä, ei niinkään kaapelointeja tai laitteistoja. Sähkön vaaroilta suojautuminen käsittääkin kokonaisuutena maadoitusjärjestelmien lisäksi myös erilaisia sähkönsyötön automaattiseen poiskytkentään tarkoitettuja mekanismeja ja laitteistoja. Näiden järjestelmien tarkoituksena on estää ihmistä tai kotieläintä koskettamasta eristysvian aiheuttamaa vaarallista kosketusjännitettä niin kauan, että se olisi vaarallista.

Syötön automaattisia poiskytkentämenetelmiä ovat muun muassa erilaiset sulakkeet, vikavirtasuojakytkimet ja johdonsuojakatkaisijat, ylivirtasuojat sekä ylijännitesuojat. Kotitalouksissa tutuissa tilanteissa esiintyy seuraavanlainen tapahtumaketju: Laitteen vioituessa kyseessä olevan laitteen metalliseen koteloon vuotaa verkkojännite. Laitteen kotelo on maadoitettu ja näin ollen tarjoaa vikavirralle reitin maahan. Sähköjärjestelmässä on syötön automaattiseen poiskytkentään käytetty tulppasulaketta, joka reagoi nopeasti. Normaalin, gG-tyypin sulakkeen laskennallinen toiminta-aika on 0,4s,

jonka aikana sähkövirta kulkee maadoitusjohtimien kautta maahan, ennen kuin sulakkeen ylikuormittuessa ja palaessa virta katkeaa.

Toiminta on siis riippuvainen kahdesta osatekijästä. Laitteen suojamaadoitus on oltava kokonaisvaltaisesti oikeaoppisesti toteutettu sekä vikatilanteen aiheuttaman vikavirran oltava tarpeeksi suuri. Vikavirran on oltava suuri, jotta se aiheuttaa vaaditussa ajassa sulakkeen ylikuormittumisen ja virran katkeamisen.

2.3 Potentiaalintasaus

Potentiaalintasaus kostuu nimensä mukaisesti potentiaalintasausjohtimista ja potentiaalintasauskiskoista. Tällä nimellä kutsutaan kaapelointijärjestelmää, jolla on oma erityinen tehtävänsä osana maadoituskokonaisuutta

Potentiaalintasauksen tehtävänä on taata, että kaikki rakennuksessa olevat maadoituspisteet myös todellisuudessa ovat maapotentiaalissa ja mahdollisimman lähellä toisiaan. Potentiaalieroja syntyy, kun kaapeloinnit joutuvat kulkeman pitkiä matkoja esimerkiksi rakennusten seinissä. Potentiaalierojen syntyminen johtuu ensisijaisesti kaapelien impedansseista.

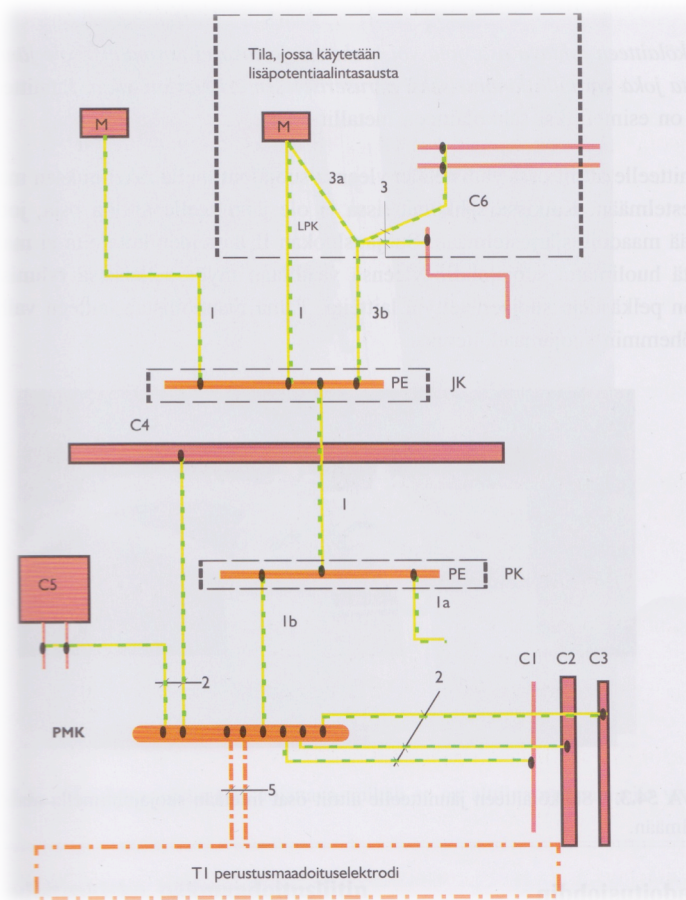
Lisäksi potentiaalintasausta käytetään uusissa asennuksissa nykyisten standardien mukaisesti liittämään kaikki johtavasta materiaalista koostuvat kiinteät rakenteet potentiaalintasausjohtimilla maadoitusverkkoon. Esimerkiksi lähelle osunut salama saattaa indusoida vaarallisenkin jännitteen vaikkapa metalliseen liesituulettimeen. Näitä potentiaalintasaukseen käytettäviä johtimia ei ole alistettu turvallisuusmääräyksille, ja ne on pystyttävä erottamaan varsinaisista suojamaadoitusjohtimista. Potentiaalintasausjohtimia ole suunniteltu kestämään suuria kuormituksia vikatilanteessakaan, vaan ainoastaan kytkemään rakenteet samaan potentiaaliin.

Potentiaalintasaus jaetaan tarkoitusperänsä mukaisesti suojaavaan potentiaalintasaukseen ja toiminnalliseen potentiaalintasaukseen. Suojaava potentiaalintasaus jaetaan lisäksi pääpotentiaalintasaukseen ja lisäpotentiaalintasaukseen. Lisäpotentiaalintasausta käytetään sellaisissa tiloissa, joissa on erityisen suuri tarve taata turvallisuus. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi sairaalat ja maatilat. Toiminnallisella potentiaalintasauksella tarkoitetaan sellaista potentiaalintasauskaapelointia, jolla on turvallisuuden

parantamisen lisäksi jokin erityinen tehtävä. Tällainen erityinen tehtävä on esimerkiksi audiotekniikan häiriösuojauksa parantavilla potentiaalintasausjohtimilla. [1, s. 268.]

Kaikki potentiaalintasausjohtimet, ovat ne sitten luonteeltaan suojaavia tai toiminnallisia, liitetään sähkökeskuksessa potentiaalintasauskiskoon. Tämä potentiaalintasauskisko yhdistetään varsinaiseen maadoituskaapelointiin. Kuvassa 1 esitetään potentiaalintasausperiaatteet yhdistettynä suojamaadoitukseen sekä kyseisissä järjestelmissä käytetyt kaapelit. Kuvassa 1 näkyy, miten maadoituskaapeloinnit lähtevät perustusmaadoituselektrodilta päätyen tilaan, jossa on käytetty lisäpotentiaalintasauksa (kuvan 1 merkinnät. ks. seur. s.)

Nykyaikaisen suojaavan maadoitusjärjestelmän osana oleva potentiaalintasausverkosto noudattaa samaa periaatetta, jota myös audiotekniikassa voidaan käyttää tehokkaasti. Tässä potentiaalintasausverkostossa kaikki johtavat osat on kytketty potentiaalintasausjohtimilla toisiinsa muodostaen harkittuja pieniä silmukoituja potentiaalintasausverkkoja. (ks. 6. s. 42 - 46.)



Kuva 1. Maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelmän periaatteet [1, s. 271]

1	suojajohdin
1a	tuleva suoja- tai PEN-johdin
1b	suojajohdin pääkeskuksen PE-kiskon ja päämaadoituskiskon välillä
2	suojaava potentiaalintasausjohdin
3	lisäpotentiaalintasausjohdin
4	maadoitusjohdin
5	maadoitusjohdin
M	jännitteelle altis osa
C	muu johtava osa
PK	pääkeskus
JK	jakokeskus
PMK	päämaadoituskisko
T1	perustusmaadoituselektrodi

2.4 Salamasuojaus

Salamasuojauksen tehtävänä on suojella rakennuksia, esineitä, ihmisiä ja eläimiä salaman aiheuttamalta tulipalolta tai rakenteelliselta vauriolta. Salamanisku sisältää valtavasti energiaa, joka saattaa aiheuttaa pahimmillaan huomattavaa tuhoa. Ihminen ei toistaiseksi kykene valjastamaan salamien sisältämää energiaa omaan käyttöönsä. Toisaalta mainittakoon, että salamaniskuhan on ajallisesti hyvin lyhyt. Kyseisen impulssin sisältämä energia pitkälle aikavälille jaettuna ei ole niin suuri, että sitä pystyisi kannattavasti valjastamaan käyttöön. Olisi siihen tarvittava tekniikka siis olemassa tai ei. Nykyisellä tekniikalla joudutaan ainoastaan suojautumaan salamaniskun aiheuttamien vahinkojen vastaan. Nykyisellä tekniikalla salamasuojauksessa onnistutaankin varsin hyvin.

Vertailukohtana salamasuojauksen toteutumista ja tehokkuutta ajatellen mainittakoon Yleisradion linkkitorni Helsingin Pasilassa. Tämän raportin kirjoitushetkellä vuonna 2012 on kulunut kuusi vuotta siitä, kun viimeksi salamet iskivät linkkitorniin niin voimakkaasti, että se aiheutti vakavan valtakunnallisen lähetyskatkoksen. Tämän jälkeen on salamasuojausjärjestelmiä, ja muita lähetysten katkeamattomuuteen liittyviä toimenpiteitä luonnollisesti tarkasteltu uudelleen. Pienempiä laiterikkoja tosin tapahtuu jatkuvasti. Näitä aiheuttavat niin suorat salamaniskut, lähialueille iskeneiden salamien aiheuttamat magneetti- ja sähkökentät kuin aurinkomyrskytkin.

Nykyisen tiedon mukaan salama pystyy tunkeutumaan betoniseinän läpi, mikäli seinän toisella puolella on suurempi reitti maahan. Tämän vuoksi olisi erittäin tärkeää, että kaikki jonkinlaisen sähköistysjärjestelmän omaavat rakennukset olisivat myös salamasuojattu. Suuremmalla reitillä maahan tarkoitetaan tässä yhteydessä esimerkiksi normaalia suojamaadoitettua pistorasiaa ja siihen liitetyjä johtimia.

Salamasuojaukseen liittyy olennaisesti myös elektronisten laitteiden suojaaminen salamien aiheuttamilta ylijännitteiltä. On havaittu, että varsinkin pilvien välillä tapahtuvat purkaukset saattavat indusoida suuriakin jännitteitä maassa oleviin kaapelijärjestelmiin. Erityisesti tilanteissa, joissa kaapelit kulkevat rinnakkain maaperän suuntaisesti. Esimerkiksi edellä mainituista tilanteista saattaa aiheutua verkkoon ylijännitteitä, joille nykyaikaiset elektroniset laitteet saattavat olla hyvinkin herkkiä. Tällaiset tilanteet ovat kohtalaisen yleisiä esimerkiksi haja-asutusalueilla, joilla kaapelit kulkevat ilmajohtoina. Salaman ei tarvitse siis osua edes suoraan johtimeen tai sähköpylvääseen. Ylijännitteiden muodostumiseen ja mahdollisiin laiterikkoihin riittää, että salamanisku osuu tarpeeksi maahan lähelle tai pilvestä toiseen.

Salamasuojaus kokonaisuutena koostuu salamanvangitsijoista, joita ovat yleensä tähän tarkoitukseen kehitetyt talojen katoilla sijaitsevat metalliset rakenteet tai kyseisessä tarkoituksessa toimivat, mutta alun perin muuhun tarkoitukseen asennetut esineet kuten antennit. Salamasuojaukseen kuuluu myös salamanvangitsijoilta tulevat alasviennit, joilla tarkoitetaan voimakasrakenteista johdinjärjestelmää talon katolta kohti maata. Salamasuojausjohtimet päättyvät maadoituselektrodille. Lisäksi kokonaisuuteen kuuluvat johtimet, joilla salamasuojaus liitetään rakennuksen muuhun maadoitusjärjestelmään.

Salamasuojausta ajatellessa on syytä muistaa myös, että salamasuojausjärjestelmät, korkeajännitekaapelit tai muut vastaavat rakenteet eivät millään lailla vedä ukkospilviä puoleensa. Ukkospilvien muodostumisessa ja niiden liikkeissä on kyse paljon suuremmista voimista, kuin mihin ihminen itse tekemillään rakenteilla pystyy millään lailla vaikuttamaan. Millään ihmisen tuottamalla rakennelmalla ei siis ole ukkospilvien liikkeitä tai salamoinnin määrää ohjaavaa vaikutusta. Se tosiasia sen sijaan pitää paikkansa, että edellä mainitut järjestelmät ja rakenteet kyllä vetävät puoleensa salamia, jotka joka tapauksessa iskisivät alueelle. Sehän on usein myös kyseisten järjestelmien tarkoitus, ja sillä saavutetaan yleistä turvallisuutta lisäävä vaikutus

2.5 EMC-maadoitus

EMC-maadoitukset koostuvat johtimista, joiden nimenomaisena tarkoituksena on estää häiriöjännitteitä pääsemästä signaalipiireihin aiheuttaen audiotekniikassa kuultavissa olevaa häiriösignaalia. EMC:n eli sähkömagneettisen yhteensopivuuden käsitetään olevan myös käsite kokonaisuuksista, eikä usein löydetäkään yksittäistä nimenomaista johdinta, jossa olisi esimerkiksi *EMC Ground* -merkintä. Tietotekniikassa EMC on kuitenkin arkipäivää, ja sen huomioon ottava maadoitusjärjestelmä on mukana jokaisessa ajanmukaisessa tietoliikenneasennuksessa.

Digitaalisten signaalipiirien yleistyessä, on välttämätöntä ottaa vastaavat periaatteet käyttöön myös audiotekniikassa. EMC:hen liittyvät kaapelointijärjestelmät eivät ole sidoksissa turvallisuusmääräyksiin eikä niitä ole vastaavalla tavalla säännelty kuin suojaamadoitusjohtimia. Tämän ansiosta häiriösuojaukseen liittyvät potentiaalintasauskaapeloinnit ovat kohtalaisen vapaita suunnittelulle ja erilaisille asennuksille. Häiriösuojauksessa voidaan myös tehokkaasti käyttää hyväksi jo olemassa olevia kokonaisuuksia, kuten laitteiden koteloita ja potentiaalintasausjohtimia.

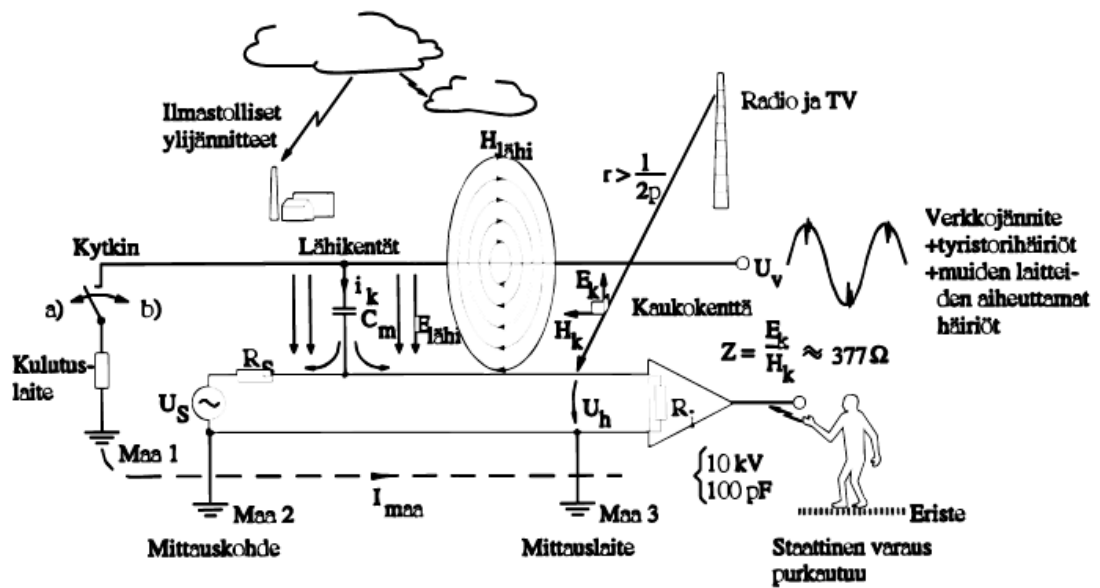
Häiriösuojaukseen liittyvillä maadoituksilla voidaan ajatella olevan kolme tärkeää tehtävää. Laittekokonaisuuksien kytkeminen yhteen mahdollisimman tasaisen referenssipotentiaalin aikaansaamiseksi, matalaimpedanssisen paluureitin tarjoaminen sekä laitteiden, että kaapelien suojaaminen ulkopuolisilta häiriöiltä.

3 Sähkömagneettiset häiriöt

3.1 Häiriöiden tausta ja merkitys

Sähkömagneettiset häiriöt vaikuttavat kaikilla sähkötekniikan alueilla. Tässä yhteydessä häiriöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa siirrettävään signaaliin kytkeytyy halutun informaation lisäksi ei-toivottu signaali, siirrettävä informaatio muuttuu, tai siirrettävästä informaatiosta menetetään osa. Tässä insinööriyössä häiriöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa signaalin siirron jälkeen, siirretty ääni ei ole enää halutun kaltainen, tai siirretyn äänen lisäksi signaalissa on lisänä myös jotakin ylimääräistä. Audiosignaaliin on pääsyt vaikuttamaan jokin sähkömagneettinen häiriö. Sähkömagneettisia häiriöitä signaali-
piireihin aiheuttavat ihmisen itsensä aikaansaamat häiriölähteet, luonnossa vaikuttavat sähkömagneettiset kentät sekä systeemin reagoiminen itsensä kanssa.

Tyypillisimpiä häiriölähteitä ovat käytettävän verkkojännitteen kautta systeemiin pääsevät signaalihäiriöt, joiden aiheuttajana voivat olla esimerkiksi erilaiset hakkurilähteet, tehoelektroniikan aiheuttamat kytkentäpiikit ja suuritehoiset moottorit. Yleisesti häiriöitä aiheutuu myös pohjakohinasta sekä esimerkiksi vierekkäin asetetuista kaapeleista. Sähkömagneettiset häiriöt voivat kytkeytyä usealla eri tavalla: resistiivisesti, kapasitiivisesti, sekä induktiivisesti. Lisäksi sähkömagneettisen säteilyn aiheuttamia häiriöitä voidaan ja täytyykin käsitellä omana kokonaisuutenaan. Erilaisia häiriöitä ja niiden ilmenemismuotoja havainnollistetaan kuvassa 2 (ks. seur. s.). Häiriöiden kytkeytymistapoja tarkastellaan seuraavaksi yksityiskohtaisemmin.



Kuva 2. Sähköisten häiriöiden kytkeytyminen mittauspiiriin [3, s. 3]

3.2 Resistiivinen kytkeytyminen

Häiriösignaali kytkeytyy resistiivisesti sellaisissa tilanteissa, joissa häiriölähteen ja vastaanottavan tahon välillä on fyysinen sähköinen yhteys. Tyypillinen tilanne resistiiviselle kytkeytymiselle on virhe kytkentämetodeissa, jolloin häiriö kytkeytyy signaalipiiriin. Tällainen tilanne on hyvin yleinen balansoidun ja balansoimattoman audiojärjestelmän virheellisessä yhteensovittamisessa. Edellä mainittua tilannetta tarkastellaan myöhemmin tässä raportissa (ks. 4.3).

Audiotekniikan parissa työskentelevät henkilöt joutuvat usein tekemisiin sellaisen tilanteen kanssa, jossa laitteiden käyttämästä verkkojännitteestä kytkeytyy häiriöitä laitteistoon. Kuten häiriöiden taustasta kertovassa osiossa mainittiin (ks. 3.1), niin verkkojännitteessä ilmeneviä häiriöitä aiheuttavat esimerkiksi erilaiset hakkuripäätteet, sähkömoottorit ja erilaiset kytkentäpiikit.

Tyypillisiä käytännön ongelmatilanteita audiotekniikan ja verkkohäiriöiden saralla ovat esimerkiksi pienehköjen konserttipaikkojen siirrettäville audiolaitteistoille tarkoitetut sähköpistokkeet, jotka saattavat olla kytkettyinä hyvinkin lähelle esimerkiksi ravintolan keittiön laitteistojen kanssa. Tällaisessa tilanteessa esimerkiksi keittiössä oleva jääkaappi kytkee kylmälaiteiston vähän väliä päälle ja pois. Jääkaapin kytkentä saattaa aiheuttaa naksahduksen, joka voi olla kuultavissa audiolaitteistossa.

Myös monet muut keittiötoiminnoissa käytettävät laitteet ovat todennäköisiä häiriönlähteitä. Audiolaitteistojen hintojen laskettua kuluttajaystävällisemmiksi, on monella musiikinharrastajalla myös kotonaan kevyt nahoitus- ja äänenkäsittelylaitteisto eli kotistudio. Varsinkin kerrostaloasunnoissa, esimerkiksi hissi saattaa aiheuttaa verkkoon häiriötä. Yleisesti vanhoissa asuintaloissa saattaa häiriösuojauksessa olla haasteita.

Kotistudiokäytössä verkkohäiriöiden vaikutuksia voidaan pienentää asentamalla suojaerotusmuuntaja joko koko järjestelmän yhteiseen sähkönsyöttöön, tai vaihtoehtoisesti usein riittävä menetelmä on asentaa suojaerotusmuuntaja nauhoitukseen käytettävän tietokoneen ja sähköpistokkeen väliin. Varsinkin suuritehoisten suojaerotusmuuntajien hinnat ovat usein huomattavia, joten suuriin laitteistoihin menetelmä ei usein sovi. Eri-laisten suodattimien käyttöä voidaan harkita, jos ongelma ja sen vaikutukset ovat selkeästi tiedossa.

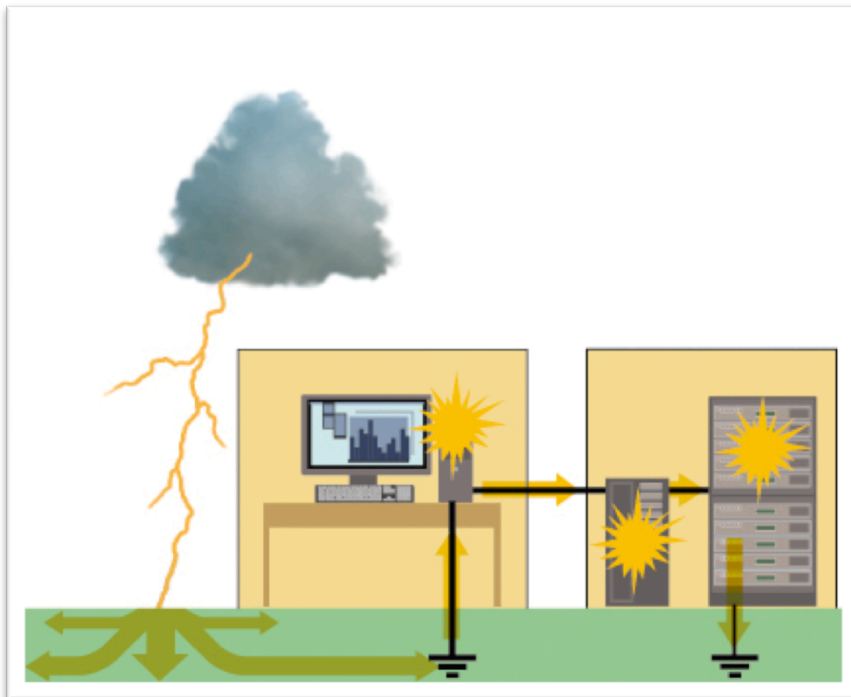
Kiertävällä artistilla onkin usein huonot vaikutusmahdollisuudet käyttäjännitteessä ilmeviin ongelmiin. Konserttipaikan kiinteistön haltijaan voi mahdollisuuksien mukaan pyrkiä vaikuttamaan tarvittavien ongelmakohtien poistamista ajatellen. Näitä vaikutusmahdollisuuksia edistää, jos pystyy tarkasti osoittamaan ongelman ja sen poistamiseen tarvittavat toiminnot.

Ensisijaisen tärkeää verkkohäiriöiden välttämiseksi olisi saada audiolaitteistolle oma sähkönsyöttö mahdollisimman varhaisesta vaiheesta, mielellään suoraan sähkökeskuksesta. Usein audiojärjestelmiä kuitenkin käytetään jo valmiissa rakennuksessa, jolloin tämä saattaa olla mahdotonta. Uutta rakennusta tai vanhaa rakennusta remontoitessa olisi audiolaitteiston sähkönsyöttöön osoitettava erityistä huomiota. Esimerkiksi äänitysstudiota suunniteltaessa, tulee sähköistykseen liittyviin seikkoihin kiinnittää runsaasti huomiota, sillä jatkuvasti ilmenevät verkkohäiriöt voivat tehdä studion tehokkaasta ja laadukkaasta käytöstä mahdotonta.

Resistiivinen kytkeytyminen saattaa syntyä myös salaman iskiessä lähelle tarkasteltavaa järjestelmää. Salamanisku saattaa aiheuttaa järjestelmän reagoimisen itsensä kanssa ja aiheuttaa järjestelmän sisällä resistiivisiä häiriökytkentöjä, vaikka salamanisku ei kohdistuisikaan suoraan mihinkään järjestelmän osaan. Salamaniskun indusoima jännite kulkeutuu sille tarkoitettua reittiä maihin. Oikeaoppisia menetelmiä noudattaen todennäköisesti myös muita laitteita on kytketty indusoidun jännitteen vastaanottavan

laitteen kanssa samaan sähköverkkoon. Tällöin samassa piirissä olevien laitteiden välille syntyy potentiaaliero, ja virta alkaa kulkea. Erityisesti virheellisesti suunnitellun laitteen osuessa kohdalle saattavat häiriöt tällöin päästä sisälle signaalipiiriin.

Kuvassa 3 esitetään resistiivisen häiriön kytkeytyminen epäsuoran salamaniskun vaikutuksesta. Kuvassa 3 salama iskee lähialueelle ja salamaniskun aiheuttama sähkövirta alkaa kulkea maata pitkin. Sähkövirran kulkiessa maata pitkin siihen vaikuttaa maaperän resistanssi. Kulkiessaan maata pitkin sähkövirta löytää resistanssiltaan pienemmän kulkureitin kahden eri maadoituselektrodin välillä olevasta fyysisestä yhteydestä ja tunkeutuu sisälle maadoitusjärjestelmään. Kuvassa 3 esitetään, miten salamaniskun aikaansaaman sähkövirran aiheuttamat ylijännitteet maadoitusverkossa rikkovat maadoitusjärjestelmään kytkettyjä laitteita:



Kuva 3. Resisttiivinen kytkeytyminen epäsuoran salamaniskun vaikutuksesta [4, s. 12]

3.2.1 Maasilmukka

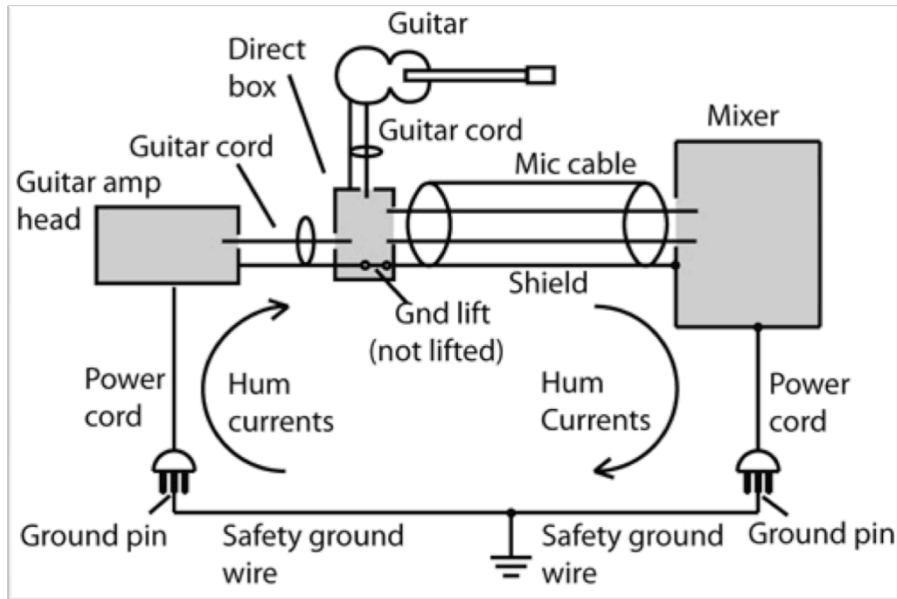
Yksi yleisimmistä audiotekniikassa vastaan tulevista häiriöistä ovat maasilmukat ja niiden aiheuttamat hallitsemattomat häiriövirrat maadoitusjohtimissa. Vaikka esimerkiksi pohjakohina onkin aina läsnä, muodostavat maasilmukat selkeästi suurimman yksittäisen häiriönlähteen niissä kulkevien virtojen voimakkuuden takia.

Maasilmukan aiheuttavat resistiiviset kytkennät. Maasilmukoiden perimmäisenä syynä ovat maadoitusjärjestelmässä olevat potentiaalierot eri maadoituspisteiden välillä. Maadoittamiseen käytetyllä kaapelilla on oma impedanssinsa pituusyksikköä kohden ja kaapelien pituuden vaihdeltaessa maadoituspisteeseen nähden, ovat eri maadoituspisteet näin ollen eri potentiaalisissa ellei potentiaalintasausta ole tehty esimerkillisesti.

Kun kaksi eri maadoituspisteisiin kytkettyä laitetta kytketään toisiinsa, alkaa potentiaalieroista johtuva virta kulkea suojajohtimissa. Mikäli potentiaalierot ovat suuria, saattavat suojajohtimissa kulkevat tasausvirrat olla voimakkuudeltaan niin suuria, että ne aiheuttavat jopa kaapeleiden lämpenemistä. Mikäli maasilmukan aiheuttama virta pääsee virheellisen laitesuunnittelun vuoksi kytkeytymään laitteen signaalipiiriin, aiheuttaa tämä 50 Hz häiriösignaalin järjestelmässä.

Kuvassa 4 (ks. seur. s.) esitetään käytännönläheinen esimerkki maasilmukan aiheuttaman häiriön syntytilanteesta. Esimerkkitalanteessa mikserin ja kitaran suorakytkentälaatikon (*Direct inject box, eli DI-box*) välillä on käytetty balansoitua mikrofoniakaapelia, mutta suorakytkentälaatikon ja kitaravahvistimen välillä on käytetty balansoimatonta instrumenttikaapelia. Maadoituskaapelit muodostavat maasilmukan ja silmukassa kiertävät virrat pääsevät kytkeytymään signaalipiiriin suorakytkentälaatikon ja kitaravahvistimen välillä. Balansoidussa audiokaapelissa on kolme johdinta ja signaalin paluujohdin on erillään suojajohtimesta. Balansoimattomassa kaapelissa on kaksi johdinta ja signaalin paluuvirta on kytketty suojajohtimeen.

Järjestelmässä tapahtuu näin ollen kytkentävirhe. Kuvassa 4 (ks. seur. s) kohdassa, jota havainnollistetaan termillä *Gnd lift (not lifted)* kytkeytyvät maadoitusjärjestelmässä olevat häiriöt signaalipiiriin. Puhtaan resistiivisen kytkennän lisäksi maasilmukoissa kiertävä häiriösignaali saattaa kytkeytyä myös induktiivisesti suojajohtimia lähellä oleviin piireihin, vaikkei suoraa resistiivistä kytkentää ei olisikaan. (Ks. 4.3. Balansoidun- ja balansoimattoman järjestelmän yhteensovittaminen; 3.4. Induktiivinen kytkeytyminen)

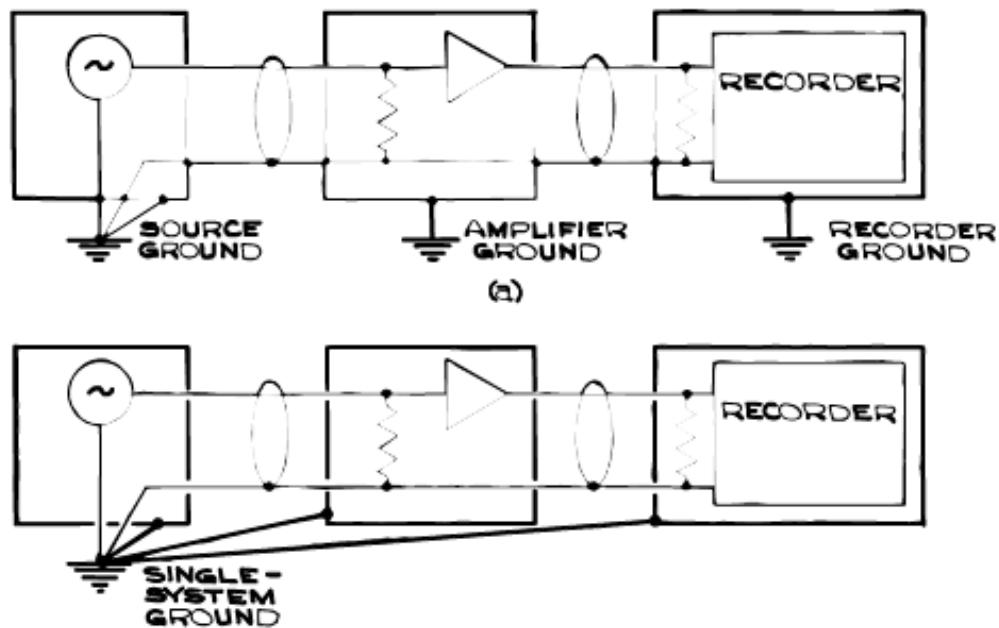


Kuva 4. Resistiivinen häiriökytkentä audiolaitteistossa [5, s.2]

3.2.2 Tähtipistemenetelmä ja maasilmukat

Perinteiden tapa maasilmukoiden ehkäisemiseksi on rakentaa laitekokonaisuuden maadoitusjärjestelmä tähtimäisesti. Tähtimuodostelmaan tukeutuva maadoitusjärjestelmä luottaa siihen, ettei maasilmukoita pääse syntymään, mikäli maadoituskokonaisuus ei missään kohdassa järjestelmää muodosta sisällään suljettua piiriä. Tällöin eivät potentiaalieroista syntyvät virrat pääse kulkemaan. Tähtipistemaadoitus on suorituskyvyltään kohtalainen verkkohäiriöitä ja 50 Hz:n maasilmukoita ajatellen. Nykyisissä asennuksissa digitaalinen signaalinkäsittely on kuitenkin yleistä, sen aiheuttamat ja vastaanottamat häiriöt voimakkaita sekä digitaalisten järjestelmien herkkyys ulkopuolille häiriöille niin suuri, että tähtipistemenetelmän heikkoudet nousevat sen hyötyjä korkeammalle.

Kuvassa 5 (ks. seur. s.) esitetään sähköteknisin piirrosmerkein maasilmukan syntymekanismi audiojärjestelmässä ja sen vaikutusten tyypillinen eliminointi perinteisellä tähtipistemaadoituksella. Kuvassa 5 on molemmissa tapauksissa signaalitiessä ensimmäisenä signaalin lähde ja sen maadoitus *source ground*. Signaali kulkeutuu tämän jälkeen vahvistimelle, jolla on oma maadoituksensa *amplifier ground*. Viimeisenä signaali kulkeutuu nauhoituslaitteistolle, jolla on myös oma maadoituspisteensä eli *recorder ground*. Perinteisessä tähtipistejärjestelmässä laitteiden maadoitukset kytketään samaan pisteeseen mahdollisten maasilmukoiden ja niiden aiheuttamien häiriöiden välttämiseksi, kuten esitetään kuvan 5 alemmassa osiossa.



Kuva 5. Maasilmukan synty ja eliminointi tähtipistemaadoituksella [3, s. 14]

Tähtipistemenetelmän häiriönsietokyky radiotaajuuksilla on huono. Maadoitusjohtimet kulkevat pitkiä matkoja ja kaapeli impedansseista kasautuva kokonaisimpedanssi maata vasten saattaa nousta suureksi varsinkin isoissa järjestelmissä. Koska induktanssi on taajuusriippuvainen, nousevat tällöin myös radiotaajuuksilta tulevien häiriöiden aiheuttamat mahdolliset häiriövirrat suuriksi.

Tähtipistemenetelmä nojautuu olemassa olevien ongelmien seurauksien poistamiseen, mutta jättää itse ongelman eli maadoitusjärjestelmän potentiaalierot täysin ennalleen. Erityisesti kiinteissä asennuksissa laitejärjestelmien päivitystarpeet ovat pitkällä aikavälillä tarkasteltuna jatkuvia, ja usein myös järjestelmäkokonaisuuksia on tarpeellista modifioida käyttötarpeiden muuttuessa. Tällöin on vain ajan kysymys, milloin maasilmukat pääsevät jälleen muodostumaan. Usein saatetaankin kohdata tilanteita, joissa maasil- mukoiden eliminoinimisesta tulee merkittävä työvaihe varsinkin konserttitilanteissa.

Perinteisesti tähtipistemenetelmän mukaisesti rakennetussa systeemissä maasilmukan päästessä syntymään on lähes poikkeuksetta tapana katkaista maadoitusjohtimen yhteys toisesta päästä esimerkiksi *ground lift*-kytkimellä. Kyseinen menetelmä on enemmän sääntö kuin poikkeus. Suojamaadoitusjohtimen yhteyden katkaiseminen poistaa ongelman vain hetkeksi, ja samalla järjestelmän sisälle luodaan tehokas antenni, joka huonontaa järjestelmän häiriönsietokykyä korkeilla taajuuksilla entisestään. Ongelman

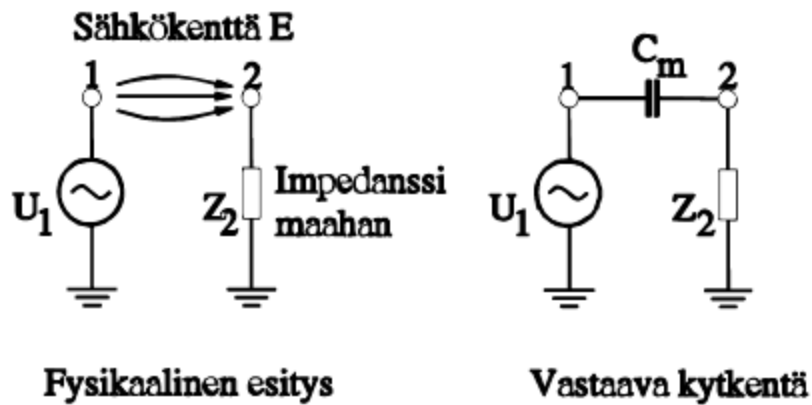
olemassaolo hyväksytään itseisarvona, kun noudatetaan tähtipistemenetelmää ja ongelmia kohdatessa *ground lift* –käytäntöä. Huomattavasti tehokkaampi ja parempi tapa olisi ongelman syyn eli potentiaalierojen mahdollisimman tehokas poistaminen.

Resistiivisten kytkentöjen aiheuttamia häiriöitä voidaan pienentää tai ehkäistä muutamalla tavalla. Maadoituspisteiden välistä potentiaaliero voidaan pienentää potentiaalintasauskaapeleilla. Kahden laitteen välistä potentiaaliero voidaan pienentää maadoitusten lisäksi myös parantamalla laitteiden välisessä kytkennässä käytettävän kaapelin impedanssista johtuvaa potentiaaliero esimerkiksi kytkemällä ylimääräinen rinnakkainen potentiaalintasausjohdin. Ideaalitapauksessa kaikki laitteet olisi sijoitettu vierekkäin johtavasta materiaalista valmistetun tason päälle, jonka jokainen kohta on näin ollen varmasti samassa potentiaalissa. Lisäksi kaikkien laitteiden suojakuoret tulisi kytkeä toisiinsa. [6, s. 70.]

3.3 Kapasitiivinen kytkeytyminen

Millä tahansa kahdella sähköisellä johtimella, jotka sijaitsevat kohtuullisen välimatkan päässä toisistaan on välissään kapasitanssia. Mikäli toinen johtimista varautuu sähköisesti varautuu myös toinen, tosin vastakkaismerkkisellä varauksella. Syntyvän sähkövirran suuruus on riippuvainen syntyneen jännitteen suuruudesta ja taajuudesta. Kun kapasitiivisen kytkeytyksen vaikutuksesta syntyy ei-toivottuja jännitteitä ja virtoja, kutsutaan niitä kapasitiivisiksi häiriöiksi.

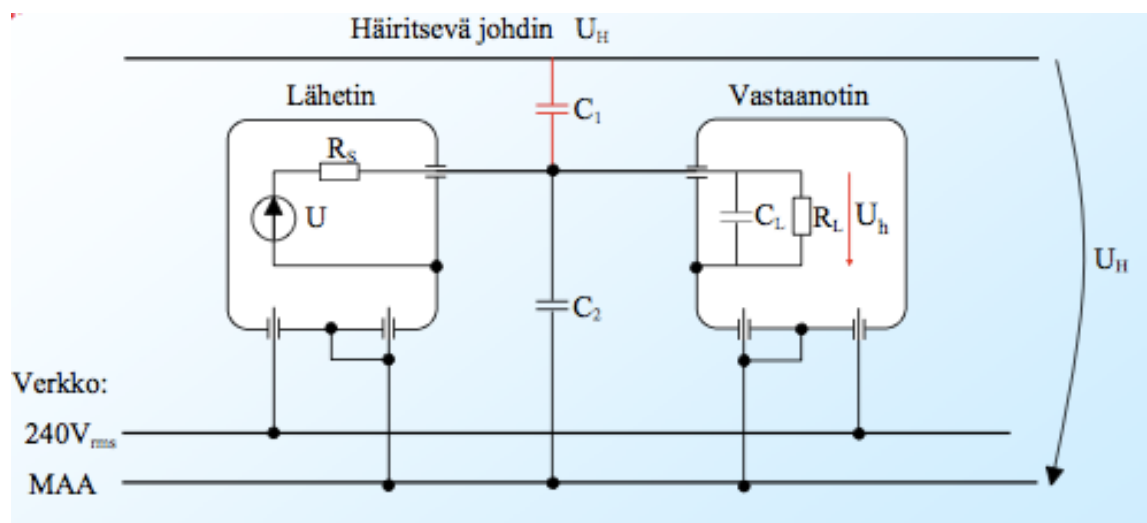
Kuvassa 6 (ks. seur. s.) esitetään kapasitiivisen kytkennän fysikaalinen esitys ja sen sijaiskytkentä. Kuvan 6 fysikaalisessa esityksessä havainnollistetaan miten jännitelähteen U_1 syöttämän kaapelin 1 aiheuttama sähkökenttä E vaikuttaa kaapeliin 2. Kuvan 6 fysikaalista esitystä vastaava sähkötekniinen sijaiskytkentä esittää, miten kaapelien 1 ja 2 välillä vaikuttava sähkökenttä E voidaan laskentaa ja simulointia varten korvata kondensaattorilla C_m .



Kuva 6. Kapasitiivisen kytkennän fysikaalinen esitys ja sijaiskytkentä [3, s. 5]

Yksi tyypillisimmistä tilanteista, joissa kapasitiivista kytkeytymistä esiintyy on tilanne, jossa johtavaa materiaalia oleva esine joutuu esimerkiksi lähelle korkeajännitekaapelia. Tällöin johdin joutuu korkeajännitekaapelin aiheuttaman sähkökentän alaisuuteen ja varautuu tällöin sähköisesti. Mikäli kaapeliin iskee salama, ovat siitä syntyvät häiriöt mahdolliselle vieressä olevalle johtimelle hyvin merkittävät voimakkaan sähkökentän sekä laajan taajuusalueen takia

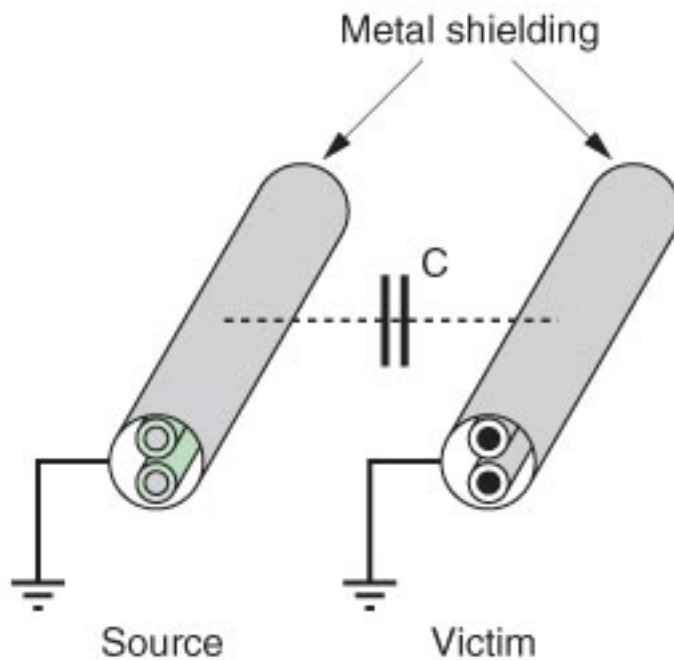
Kuvassa 7 esitetään esimerkki kapasitiivisesta kytkennästä, jossa sähkökenttä muodostuu häiritsevän johtimen (jännite U_H) ja lähettimeltä vastaanottimelle kulkevan kaapelin välille. Syntynyttä sähkökenttää on kuvattu sijaiskytkennällään eli kondensaattorilla C_1 :



Kuva 7. Kapasitiivisten häiriöiden kytkeytyminen, esimerkki [7, s. 8]

Kapasitiivisten häiriöiden vaikutuksia voidaan minimoida asentamalla eri teholuokkaan kuuluvat kaapelit mahdollisimman kauaksi toisistaan. Verkkovirtakaapelit asennetaan kulkemaan erillään mikrofoni-kaapeleista. Kun kaapeleiden on mentävä ristiin, se on tehtävä suorassa kulmassa. Kaapeleiden päälle voidaan myös asentaa johtavasta materiaalista valmistettu kalvo, joka suojaa signaalikaapeleita, kuten kuvassa 8 esitetään. Tällöin häiriöt kytkeytyvät suojavaippaan signaalijohtimen sijaan ja oikeaoppisesti kulkeutuvat maihin. [6, s. 71.]

Kuvan 8 esimerkissä häiriöiden lähde *Source* lähettää kaapeliin suojavaipasta huolimatta häiriösignaaleja. Häiriöiden uhri *Victim* vastaanottaa häiriöt, mutta signaalijohtimen sijaan häiriöt kytkeytyvät suojavaippaan joka on maadoitettu. Häiriöt eivät siis pääse vaikuttamaan siirrettävään signaaliin:



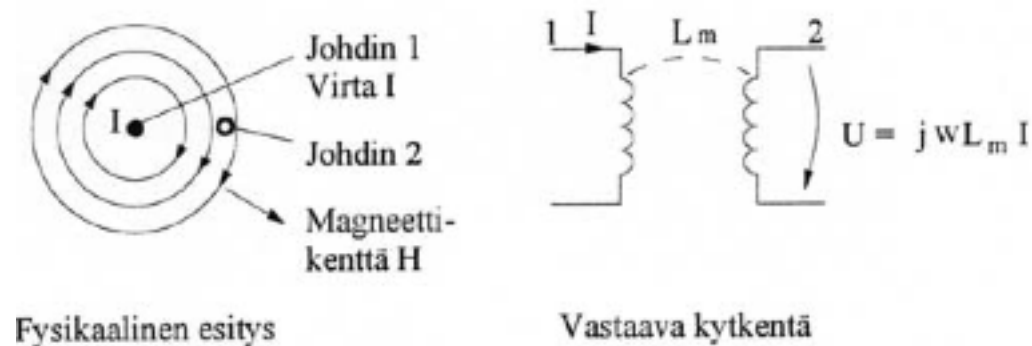
Kuva 8. Kaapelin suojaaminen kapasitiivisten häiriökytkentöjen ehkäisemiseksi [8, s. 1]

3.4 Induktiivinen kytkeytyminen

Induktiivinen kytkentä lienee maasilmukoiden lisäksi tyypillisin häiriöiden syntymekanismi ainakin audiotekniikan näkökulmasta. Verkkovirran jatkuvan muutostilan luonteesta johtuen johtimen ympärille muodostuu induktiolain mukaisesti jatkuvasti muuttuva magneettikenttä. Tämä muodostunut magneettikenttä luo vaikutuspiirilleen osuvaan

johdinsilmukkaan vuorostaan jännitteen. Näin muodostunut jännite synnyttää induktiivisia häiriövirtoja. Verkkovirtakaapeleissa kulkeva teho on suuri verrattuna audiotekniikassa käytettäviin signaalin siirtotehoihin. Audiotekniikassa häiriöiden kytkeytyminen induktiivisesti verkkovirtakaapeleista signaalikaapeleihin on yleistä.

Kuvassa 9 esitetään induktiivisten häiriöiden kytkeytymisperiaatteen fysikaalinen esitys ja sen sijaiskytkentä. Kuvassa 9 olevassa fysikaalisessa esityksessä johtimen 1 ympärille syntyvää magneettikenttää H mallinnetaan magneettikentän kenttäviivoilla. Johdin 2 on kenttäviivojen vaikutusalueella ja altistuu induktiivisille häiriöille. Sähköteknisesti vastaavaa tilannetta voidaan mallintaa sijaiskytkennällä kuten kuvassa 9 esitetään. Johtimeen 1 ja johtimeen 2 on lisätty induktanssin sähkötekniinen piirrosmerkki. Johtimen 1 ja johtimen 2 välillä vaikuttavaa magneettikenttää mallinnetaan kaapeleissa olevien induktanssien välisellä keskinäisinduktanssilla L_m :



Kuva 9. Induktiivisen kytkennän fysikaalinen esitys ja sijaiskytkentä [7, s. 9]

Muuttuvilta magneettikentiltä suojautuminen on osittain hyvin haasteellista lähinnä siitä yksinkertaisesta syystä, että kaikki sähkölaitteet tarvitsevat toimiakseen käyttöjännitteen. Tässä kohdassa erilaisiin akkukäyttöihin ja muihin tasajännitelähteisiin perustuvat järjestelmät jätetään huomiotta. Näin ollen voidaan tehdä yleistys, että kaikki sähkölaitteet ottavat käyttöjännitteensä vaihtojännitteisestä verkkovirrasta.

Audiotekniikassa induktiivisten häiriöiden kytkeytyminen on yleistä, ja niiden suhteellinen osuus ja merkitys muihin häiriöiden syntytapoihin on suurehko, mikäli virheelliset kytkennät jätetään huomiotta. Syynä on erityisesti se, että audiotekniikassa käsitellään usein mikrofonisignaalia, joka on teholtaan hyvin heikkoa. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseistä mikrofonisignaalia joudutaan vahvistamaan reilusti jossain vaiheessa signaaliketjua. Tämä tarkoittaa luonnollisesti, että samalla vahvistetaan myös kaikkia mahdollisia häiriöitä, joita signaaliin on kytkeytynyt. Myös se tosiasia, että verkkovirran

taajuuden ollessa 50 Hz eli ihmisen kuuloalueella, ovat sen aiheuttamat häiriöt aina konkreettisesti kuultavissa audiotekniikan saralla. Koska kaikki laitteet toimivat verkkovirralla ja käytössä on paljon mikrofonikaapeleita, on syytä noudattaa erityistä tarkkaavaisuutta ja estää oikeaoppisella toiminnalla induktiiviset häiriöt mikrofonikaapeleissa.

Induktiivisten häiriöiden lähteitä on erityisen vaikea eliminoida muuttuvien magneettikenttien ollessa läsnä vääjäämättä. Magneettikenttien vaikutuksia voidaan kuitenkin pienentää ja muuten vaikuttaa häiriökytkentöjen muodostumiseen. Yksi tapa on kasvattaa fyysistä etäisyyttä kaapelien välillä. Tämä ei aina ole mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa. Induktiivisia kytkentöjä vähentää myös parikierretyn kaapelin käyttäminen signaalin siirtoon. Tällöin vastakkaisuuntaisten, mutta identtisten signaalien aiheuttamat magneettikentät kumoavat toisensa.

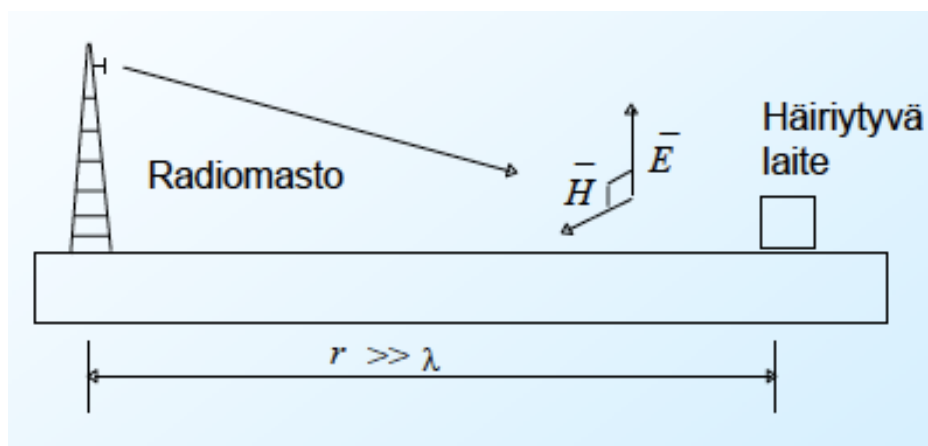
On toki huomioitava, että edellä mainittu tapa toimii ainoastaan balansoidussa signaalinsiirrossa (ks. 4.1). Lisäksi voidaan mahdollisuuksien sallimissa rajoissa pyrkiä vaikuttamaan magneettikenttien muodostumiseen esimerkiksi asentamalla kolmesta eri vaiheesta käyttöjännitteensä ottavat verkkovirtakaapelit kolmiomuodostelmaan, jolloin niiden muodostamat magneettikentät kumoavat toisensa symmetrisessä kuormituksessa [6, s. 72]. Myös induktiivisia häiriökytkentöjä ajatellen, on mahdolliset kaapeliylytykset tehtävä ehdottomasti suorassa kulmassa.

3.5 Sähkömagneettisen säteilyn aiheuttamat häiriöt

Sähkömagneettista säteilyä aiheuttavat niin ihminen omalla toiminnallaan kuin luontokin. Sähkömagneettisen säteilyn koko spektri on laaja, ja se sisältää niin näkyvän valon, audiosignaalityaajuudet, kuin mikroaallotkin. Sähköisesti merkityksellisin alue häiriösuojausten kannalta ovat radiotaajuudet. Sähkömagneettisen säteilyn aiheuttamat häiriöt voidaan karkeasti jakaa kahteen luokkaan: leveäkaistaiseen ja kapeakaistaiseen.

Leveäkaistaisia häiriöitä aiheuttavat esimerkiksi monet laitteet, jotka toimiessaan muodostavat kytkentäpiikkejä. Yleisesti voidaan sanoa monen kipinöitä aiheuttavan laitteen aiheuttavan leveäkaistaista sähkömagneettista säteilyhäiriötä. Tämä ilmeni usein esimerkiksi analogisissa televisiolähetysissä väreilynä kuvassa. Väreilyn saattoi aiheuttaa esimerkiksi ohi ajava moottoripyörä, jonka huonosti koteloitu sytytinjärjestelmä lähetti ympäristöönsä häiriöitä.

Kapeakaistaisia häiriöitä aiheuttavat esimerkiksi kaikki radiolähettimet ja tutkat. Mikäli analoginen radiovastaanotin on viritetty vaikkapa autossa tietylle taajuudelle, saattaa se usein kuitenkin ottaa häiriöitä muilta kanavilta. Vaikka häiriönä kuultava toinen radiokanava ei olisi lähelläkään viritystaajuutta, saattaa jokin kyseisen taajuuden monikerroista olla. Kuvassa 10 havainnollistetaan tilannetta, jossa radiomasto vaikuttaa lähellä olevaan laitteeseen ja muodostaa kapeakaistaisen häiriön. Häiriön vaikutus on voimakas, kun häiriön vastaanottavan johtimen pituus on häiriötaajuuden aallonpituuden neljäsosan monikerta. Häiriön vaikutus pienenee etäisyyden kasvaessa.



Kuva 10. Radiomaston aiheuttama häiriö laitteessa [7, s. 11]

Kuten maasilmukoista kertovassa osiossa tuotiin esille (ks. 3.2.1), yleinen tapa kyseisen ongelman hoitamiseen on katkaista signaalikaapelin suojavaipan yhteys toisesta päästä. Tällöin kaapeli kuitenkin muodostaa antennin järjestelmän sisälle, joka vastaanottaa häiriöitä radiotaajuuksilta samalla tavoin, kuin mikä tahansa radioantenni. Jonkin tietyn taajuuden lisäksi kyseisellä tavalla muodostuneet antennit vastaanottavat luonnollisesti hyvin myös leveäkaistaisia häiriöitä.

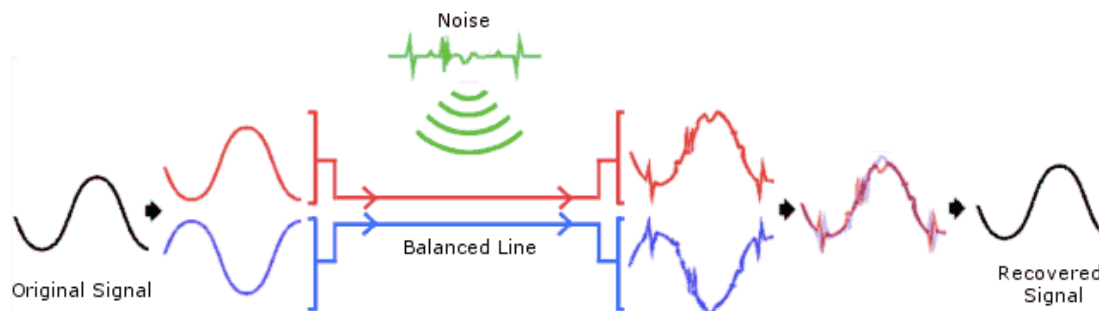
4 Balansoitu- ja balansoimaton audiosignaali

4.1 Balansoitu audiosignaali

Balansoidussa audiokaapelissa on pääsääntöisesti kolme johdinta, jotka ovat positiivinen signaalijohdin, negatiivinen signaalijohdin sekä suojajohdin eli suojavaippa. Balansoitu järjestelmä on kehitetty nimenomaan parantamaan häiriönsietokykyä ja sitä on käytetty pitkään esimerkiksi puhelinkaapeloinneissa. Balansoidussa järjestelmässä ensimmäisessä johtimessa kulkee siirrettävä tieto. Toisessa johtimessa eli paluujohtimessa kulkee sama informaatio kuin ensimmäisessä johtimessakin, mutta vastakkaisvaiheisena. Kolmas johdin toimii suojavaippana. Balansoidussa audiosignaalin siirrossa paluusignaalille on siis oma johtimensa erillään suojavaipasta.

Sellaisia häiriöitä, jotka tulevat systeemin ulkopuolelta ja jotka aiheuttavat samanlaisen häiriösignaalin kumpaankin signaalijohtimeen, kutsutaan yhteismuotoiseksi häiriöksi. Tutumpi käsite ilmiölle on englanninkielinen nimitys *common mode interference*.

Balansoidun järjestelmän erinomaisuus perustuu siihen, miten signaalin vastaanottava systeemi suorittaa signaalin käsittelyn. Vastaanottava järjestelmä saa saman signaalin kahteen kertaan, mutta toisessa johtimessa signaali on vastakkaisvaiheisena. Kun vastaanottimen vahvistimessa negatiivisen signaalin polariteetti käännetään, kääntyy myös vastaanotettujen häiriösignaalien vaihe. Kun negatiivisesta signaalista käännetty signaali summataan alun perin positiivisen signaalin kanssa, saavutetaan lähetetyn signaalin voimakkuuden kasvaminen sekä hyötynä yhteismuotoisten häiriösignaalien eliminoituminen. Häiriösignaalit suodattuvat, kun ne summataan polariteetin käännon jälkeen positiivisen signaalin kanssa. Tällöin summatuvat häiriösignaalit ovat vastakkaisvaiheisia ja kumoavat silloin toisensa. Kuvassa 11 (ks. seur. s.) esitetään yhteismuotoisten häiriöiden eliminoituminen balansoidussa signaalin vastaanotossa.



Kuva 11 Yhteismuotoisten häiriöiden suodattuminen balansoidun audiosignaalin vastaanotossa [9, s. 1]

Balansoidun audiosignaalin siirron häiriönsietokyky johtuu myös siitä, että positiivinen ja negatiivinen signaalijohdin on toteutettu kaapelirakenteissa parikiertona, jolloin signaalijohtimet on kierretty tiukasti toistensa ympärille koko matkalta. Kun polariteetiltaan vastakkaiset, mutta samat signaalit kierretään yhteen, eliminoivat ne toistensa aiheuttamat magneettikentät. Tällöin induktiivisesti kytkeytyvien häiriöiden sietokyky paranee, ja ylikuulumisen voimakkuus pienenee.

Alun perin puhelintekniikkaan suunniteltua balansoitua järjestelmää ja kaapelointeja käytetään nykyään lisäksi myös muussa audiotekniikassa. Balansoidut järjestelmät ovatkin profiloituneet nimenomaan ammattijärjestelmien käyttöön. Suurin hyöty balansoidusta audiosignaalin siirrosta saavutetaan tilanteissa, joissa mahdollinen vastaanotettu häiriö voi olla siirrettävään informaatioon nähden voimakas. Joskus vastaanotettu häiriösignaali saattaa olla jopa haluttua signaalia voimakkaampi. Esimerkiksi verkovirtakaapelit saattavat indusoida heikkotehoisiin mikrofoni-kaapeleihin hyvinkin voimakkaita häiriöitä.

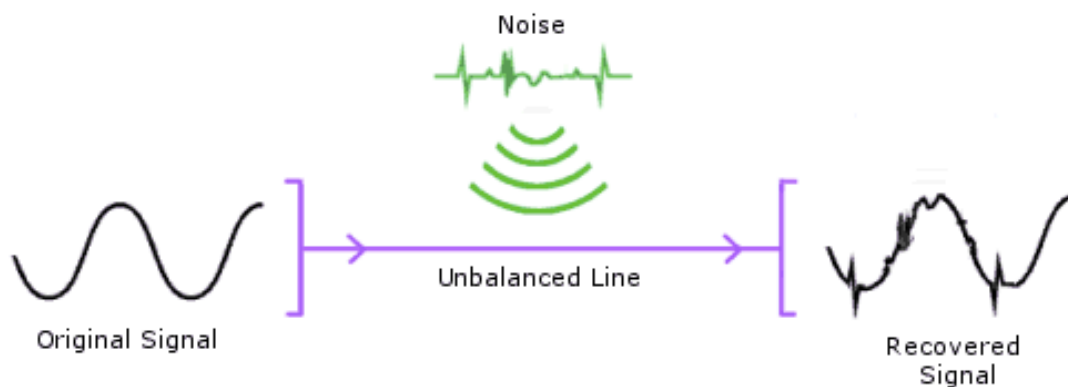
Ammattikäyttöön suunnitelluissa järjestelmissä saavutetaan kuitenkin paras hyöty, mikäli koko laitteisto suunnitellaan mikrofoni-kaapelien ohella täysin balansoiduksi. Mikrofonisignaalien tai muiden heikkotehoisten signaalilähteiden lisäksi suurin hyöty saavutetaan myös tilanteissa, joissa audiosignaalia joudutaan siirtämään analogisesti pitkiä matkoja. Tällöin mahdollisuus esimerkiksi yhteismuotoisille RF-häiriöille kasvaa kaapelin pituuden kasvaessa. Esimerkiksi suurissa konserttijärjestelmissä käytetään pitkiä kaapeleita analogiseen audiosignaalin siirtoon.

Huomattava osa audiolaitteista on suunniteltu siten, että balansoidun kytkennän jälkeen laitteen sisällä audiosignaali kuitenkin muutetaan balansoimattomaksi. Signaalin-

käsittely tapahtuu laitteen sisällä siis balansoimattomana. Kun muutosten jälkeen audiosignaali halutaan ulos laitteesta, se muutetaan ensin balansoiduksi. Vain pieni osa ammattikäyttöön tarkoitetuista audiolaitteista on suunniteltu siten, että balansoitu signaaliketju säilyy koko matkalta laitteen läpi. Tällöin vältetään ylimääräisten muuntajien ja elektronisten vahvistimien käytöltä.

4.2 Balansoimaton audiosignaali

Balansoimaton audiojärjestelmä ja audiokaapelointi on perinteinen kuluttajalle suunnattu tekniikka. Tyypillisiä balansoimattomia liittimiä ovat esimerkiksi kotistereojärjestelmissä käytetyt RCA-liittimet. Balansoimattomassa audiokaapelissa on kaksi johdinta. Positiivinen signaalijohdin, sekä maadoitusjohdin tai 0 V:n johdin, johon signaalia verraataan. Kaikki yhteismuotoiset häiriöt, jotka signaalijohdin ottaa vastaan, myös voimistuvat vastaanottimessa. Kuvassa 12 esitetään yhteismuotoisten häiriöiden muodostuminen balansoimattomassa audiosignaalin siirrossa. Kuvasta 12 huomataan, etteivät yhteismuotoiset häiriöt suodatu kuten balansoidussa järjestelmässä:



Kuva 12. Yhteismuotoiset häiriöt balansoimattomassa audiosignaalissa [9, s. 1]

Balansoimattomia järjestelmiä käytetään esimerkiksi kotistereoissa ja niihin verrattavissa laitteissa. Kuitenkin nimenomaisesti äänen laadusta ja puhtaudesta kiinnostuneet Hi-Fi-harrastajat käyttävät pääsääntöisesti balansoimattomia kaapeleita. Hi-Fi on lyhenne sanoista *High Fidelity*, joka on määrittelemätön termi, jolla tarkoitetaan korkeatasoista kuluttajaluokan äänentoistoa. Häiriöiden vahvistus on suurinta pienillä lähetystehoilla ja pitkillä kaapelinedoilla.

Hi-Fi-maailmassa ja kotistereokäytössä on harvoin kuitenkaan pitkiä etäisyyksiä äänilähteen ja vastaanottavan laitteen välillä, vaan nämä pikemminkin sijaitsevat esimerkiksi samassa laiteräkissä. Tällaisessa tilanteessa laitteiden välinen etäisyys, ja tarvittavien kaapelien pituus on korkeintaan muutaman metrin. Lisäksi linjatasoiseen signaalinsiirtoon käytetty teho on voimakas verrattuna esimerkiksi mikrofonsignaaliin. Kun etäisyydet ovat lyhyitä, ja signaalitasot voimakkaita on vaikea perustella balansoidun järjestelmän käyttöönottoa kuluttajaympäristössä verratessa sen aiheuttamia hyötyjä kustannuksiin.

Tyypillisessä balansoimattomaksi suunnitellussa laitekokonaisuudessa suurin hyöty balansoidusta signaalinsiirrosta saadaan tilanteessa, jossa käytetään aktiivikaiuttimia eli kaiuttimia jotka sisältävät sisäisen vahvistimen. Vastaava tilanne kohdataan myös, kun passiivisia kaiuttimia ajetaan yksittäisten monovahvistimien kautta, jotka sijaitsevat lähellä kaiuttimia. Tähän saatetaan ajautua, kun halutaan välttää pitkien kaiutinkaapelien aiheuttamien tehohäviöiden vaikutus audiosignaaliin. Tällaisessa tilanteessa, kun tehovahvistimelle siirrettävä audiosignaali siirtyy verrattain pitkän matkan linjatasoisena, on balansoidulla audiosignaaliilla siirrolla ehdottomasti hyötynsä mahdollisten RF-häiriöiden vaikutusten lisääntyessä.

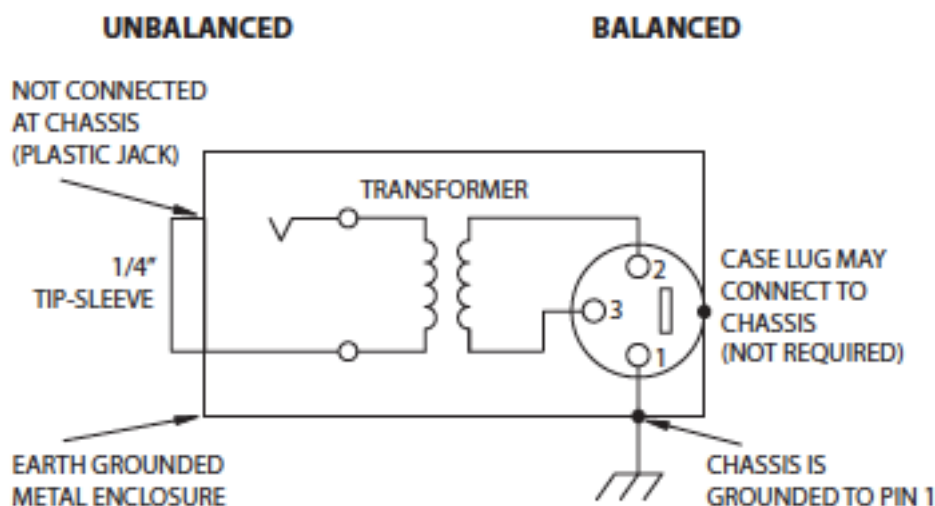
4.3 Balansoidun- ja balansoimattoman järjestelmän yhteensovittaminen

Normaaleissa olosuhteissa balansoitu ja balansoimaton järjestelmä eivät ole yhteensopivia. Pitkä historia erilaisine tekniikan alalajien ja käyttötarkoitusten kehityskulkuineen on syynä siihen, että näin on. Ammattikäyttöön tarkoitettujen laitteiden ja harrastuskäyttöön suunniteltujen laitteiden välinen rajapinta on hämärtynyt. On huomioitavaa, että myös tavat signaalimaan kytkemisessä suojamaadoitukseen eroavat usein laitevalmistajien kesken. On siis usein vaarana, että maadoitusjohtimissa mahdollisesti kiertävät häiriövirrat pääsevät kytkeytymään sisälle signaalipiiriin, vaikka laitekokonaisuus olisi suunniteltu täysin balansoiduksi.

On myös tosiasia, että eri koulutus- ja työhistorian omaavat henkilöt saattavat myös suunnitella laitteita erilaisen perustan päälle. Henkilöt, jotka ovat työskennelleet esimerkiksi Hi-Fi-audiolaitteiden parissa, saattavat siirtyä konserttikäyttöön tarkoitettujen laitteiden suunnittelun pariin. Näin vanhastaan tutut metodit siirtyvät myös ympäristöön, mihin niitä ei ole tarkoitettu.

Kytettäessä balansoitua äänilähdettä balansoimattoman laitteen sisääntuloon on huomioitava, että tällöin kaikki balansoidun järjestelmän maadoitusjohtimissa kulkevat häiriövirrat kytkeytyvät balansoimattomassa kytkennässä suoraan sisälle signaalipiiriin. Lopputuloksena on hallitsemattomia maasilmukoita sekä muita mahdollisia häiriöitä. Täysin balansoidussa järjestelmässä häiriövirrat pysyvät maadoitusjohtimissa kuten on tarkoituskin, Häiriövirrat eivät kytkeydy missään kohdassa signaalipiiriin olettaen, että kaikkien käytettävien laitteiden sisäinen maadoitus ja signaalimaan kytkeminen suoja- maadoitukseen on toteutettu oikeaoppisesti.

Hyvä ja tehokas tapa järjestelmien liittämiseen toisiinsa on suojaerotusmuuntajien käyttö. Tällöin galvaaninen yhteys laitteiden välillä poistetaan, eivätkä häiriövirrat pääse kytkeytymään eteenpäin. Kuvassa 13 esitetään suojaerotusmuuntajan toimintaperiaate audiolaitteistossa. Balansoimaton lähde kytketään instrumenttiliittimellä eli $\frac{1}{4}$ " *tip-sleeve* liittimellä erotusmuuntajaan. Muuntaja eli *transformer* siirtää signaalin balansoidulle XLR-liittimelle. XLR-liittimen ensimmäinen kytkentänasta eli pin-1 on kytketty laitteen suojakuoreen. Erotusmuuntajan balansoimattomalla puolella huomataan, ettei kytkentää suojakuoreen ole tehty. Maadoitusjärjestelmät eivät siis ole kytkettyinä toisiinsa, mutta signaali siirtyy muuntajan avulla:



Kuva 13. Suojaerotusmuuntaja balansoimattoman- ja balansoidun järjestelmän välillä [10, s. 3]

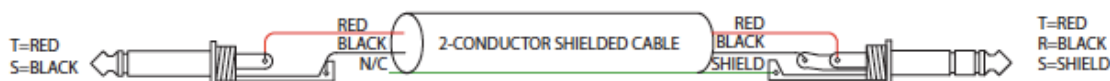
Mikäli suojaerotusmuuntajien käyttö ei ole mahdollista, voidaan järjestelmien yhteensovittamiseen käyttää erilaisia kyseiseen tilanteeseen tarkoitettuja kaapeleita. Tällaiset

kaapelit eivät ole tehdasvalmisteisia, mutta niitä on kohtalaisen helppo valmistaa sekä modifioida tehdasvalmisteisista kaapeleista tarpeen mukaan. Kaikkien kaapelointiratkaisujen tarkoitus on sama: ehkäistä maadoitusverkossa kiertävien häiriövirtojen kytkeytyminen sisälle signaalipiiriin

Pitkä historia löytyy myös käytännöstä, jossa maasilmutoiden esiintyessä katkaistaan suojamaadoitusjohtimen yhteys toisesta päästä. Tällöin maasilmutkaa ei pääse synty-
mään, joten sen aiheuttamia häiriöitä ei myöskään kuulu. Kun suojajohdan yhteys katkaistaan toisesta päästä, menetetään myös sen olemassaolon tarkoitus tai ainakin suuri osa sen häiriöitä poistavasta vaikutuksesta. Varsinkin, kun digitaaliset piirit ja erilaiset langattomat järjestelmät yleistyvät osana laitekokonaisuuksia, saavutetaan ainoastaan pieni hetkellinen etu. Kun maadoitusjohdin katkaistaan toisesta päästä, luodaan samalla järjestelmään tehokas antenni, joka vastaanottaa RF-häiriöitä.

Mikäli suojajohtimen yhteyden katkaiseminen on välttämätöntä tilanteen vaatiessa nopeaa ratkaisua, on ehdottoman suositeltavaa, että suojamaadoituksen yhteys katkaistaan vastaanottavan laitteen päästä. Tällöin antennivaikutus jää vähäisemmäksi, eivätkä häiriöt pääse kytkeytymään suoraan pääjärjestelmään. Tämä menetelmä koskee siis tilannetta, jossa molemmat liitännät ovat balansoituja, mutta vahinko on jo tapahtunut.

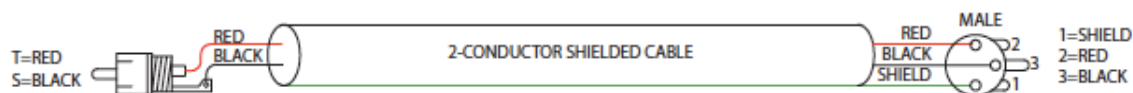
Esimerkkeinä modifioituista kaapeleista järjestelmien yhteensovittamisessa on otettu tässä yhteydessä kaksi hyvin tyypillistä tilannetta audiomaailmassa. Kuvassa 14 esitetään sähkökitaran DI-kytkentä eli kitaran suorakytkentä. Tässä kytkennässä signaalin vastaanottavan laitteen sisääntulo näkee kitaran kelluvana balansoituna laitteena.



Kuva 14. Modifioidun kaapelin käyttö sähkökitaran DI-kytkennässä [10, s. 7]

Toisessa esimerkissä kuvassa 15 (ks. seur. s.) esitetään kuluttajakäyttöön suunnitellun DJ-mikserin kytkeminen balansoituun järjestelmään, jolloin edellisen tapauksen kaltaisen modifioidun kaapelin käyttö on suositeltavaa. DJ-miksereissä on usein käytössä

RCA-liittimet. Kuvassa 15 esitetään, miten kyseiset balansoimattomat mono-liittimet voidaan yhdistää ammattijärjestelmissä käytettyihin balansoituihin XLR-liittämiin.



Kuva 15. Balansoimattoman RCA-liitännän kytkeminen balansoituun XLR-liitäntään [10, s. 7]

Molemmassa tässä esitetyissä kaapelin modifiointi tapauksissa balansoidun kaapelin suojavaippa jätetään kytkemättä toisesta päästä. Tällä ehkäistään balansoidun järjestelmän maadoituskaapeloinneissa kiertäviä virtoja kytkeytymästä balansoimattoman laitteen signaalipiiriin, josta ne kytkeytyisivät takaisin balansoidun järjestelmän signaalipiiriin. Kyseessä on kompromissiratkaisu, sillä suojavaipan kytkemättä jättäminen toisesta päästä vähentää häiriönsietokykyä radiotaajuuksilla. Toisaalta maadoitusjärjestelmästä kytkeytyvät resistiiviset häiriöt pystytään välttämään tehokkaasti.

Impedanssibalansointi

Audiolaittevalmistaja Mackie on alkanut varustaa laitteidensa liitäntöjä impedanssibalansoituina. Monet muut laitevalmistajat seuraavat esimerkkiä. Tosin monet arvostetut yhtiöt ovat käyttäneet samaa menetelmää mikrofoneissaan jo vuosia. Esimerkiksi AKG- ja Neumann-yhtiöt ovat käyttäneet kyseistä menetelmää eräissä korkealle arvostetuissa mikrofoneissaan.

Impedanssibalansoinnissa negatiivinen signaalijohdin kytketään maahan asentamalla johtimen ja maan väliin vastus. Tarvittaessa lisätään kondensaattori siten, että laite näkee sekä positiivisen, että negatiivisen johtimen samanarvoisena impedanssina maahan nähden. Impedanssibalansoinnilla saavutetaan erittäin hyvä yhteismuotoisten häiriöiden suodatus balansoidussa sisääntulossa.

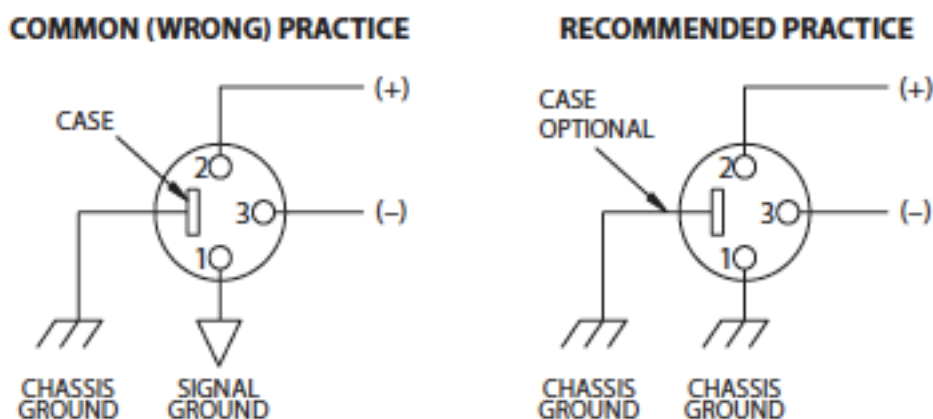
Kyseessä on erinomainen ratkaisu balansoidun ja balansoimattoman audiojärjestelmän yhteensovittamisessa. Voidaan todeta, että balansoidussa audiosignaalin yhteismuotoisten häiriöiden suodattaminen on tärkeämpää, kuin signaalin kulkeminen erillisissä johtimissa kahteen kertaan, ja toisessa johtimessa vastakkaisvaiheisena. Yhteismuotoisten häiriöiden suodatus saavutetaan impedanssibalansoinnissa hyvin, ja sen

voidaan todeta olevan huomattavasti parempi lähestymistapa kuin koko järjestelmän kohtelemisen balansoimattomana.

4.4 Pin-1-ongelma

Erilaisten suunnittelukäytäntöjen esiintyminen on syynä siihen, että audiolaitteita vaivaa myös ongelma, jota kutsutaan pin-1-ongelmaksi. Ongelman nimellä viitataan Neutrik yhtiön suunnittelemaan XLR-liittimeen ja sen kytkentöihin laitteiden sisääntuloissa. Pin-1 ongelma on alalla vakiintunut termi. Pin-1-johtimessa eli balansoidun kaapelin ensimmäisessä johtimessa ja sen kytkentänastassa on kytkettynä suojavaippa. Täysin balansoidussa laitteessa liittimen nasta 1 tulisi kytkeä heti laitteen sisääntulossa laitteen suojuvuoreen. Tällöin saavutetaan oikeaoppinen EMC-vaikutus.

Edellä mainitun tilanteen huomioon ottaen kuitenkin monet laitevalmistajat suunnittelevat laitteensa siten, että nasta 1 kytkeytyy heti laitteen sisääntulossa signaalimaahan eikä suojavaadoitukseen, kuten on tarkoitus. Näissä laitteissa suojavaadoitus kytketään ainoastaan verkkovirran suojavaadoitusjohtimesta ja pin-1-kytkentä ohittaa kokonaan suojuvuoren. Kuvassa 16 esitetään pin-1-ongelman syntyminen XLR-liittimessä. Ongelma siis syntyy, kun pin-1 on kytketty signaalimaahan eikä suojavaahaan:



Kuva 16. Pin-1-ongelman syntyminen XLR- liittimen kytkentämetodeissa [10, s. 3]

Audioalalla on yleistä, että alan ammattilaiseksi itsensä kokevalla henkilöllä on jokin muu kuin tekninen pohjakoulutus. Usein myös suuria laitekokonaisuuksia suunnittelevat henkilöt saattavat olla taiteellisella pohjalla työskenteleviä henkilöitä. Kun kyseiseen tilanteeseen lisätään se tosiseikka, että monet laitteet on yksinkertaisesti suunniteltu

väärin, niin ei ole ihme, että sähkömagneettisten häiriöiden olemassaoloa audiojärjestelmissä pidetään usein normaalina tilana.

Yhdysvaltalainen audiotekniikan ammattilaisten järjestö AES (Audio Engineering Society) on koonnut standardin AES48/2005 näiden kytkentöjen aiheuttamien ongelmien välttämiseksi. Kyseistä standardia ei voida kuitenkaan pitää velvoittavana, vaan enemmänkin kehottavana. Tällöin lopullinen vastuu laitteiden sähkömagneettiselle yhteensopivuudelle ja häiriönsietokyvyille jää laitteiden hankkijan tai järjestelmäsuunnittelijan vastuulle.

Balansoidun ja balansoimattoman järjestelmän yhteensovittamisessa on yleisesti huomioitavaa myös, että laitteet kyllä toimivat ja ääni kuuluu, vaikka kytkentöjä ei olisi tehty tässä raportissa esitettyjen ohjeiden mukaisesti. Mitä suuremmaksi laitteistot muodostuvat, sitä suuremmiksi myös mahdolliset häiriöt muodostuvat. Tällöin myös vaatimukset laitteistoa kohtaan kasvavat, ja tällöin kaikki edellä mainitut seikat on syytä ottaa huomioon. Tarpeen tullen häiriöongelmiin tulee perehtyä tapauskohtaisesti.

5 AES48/2005-standardi

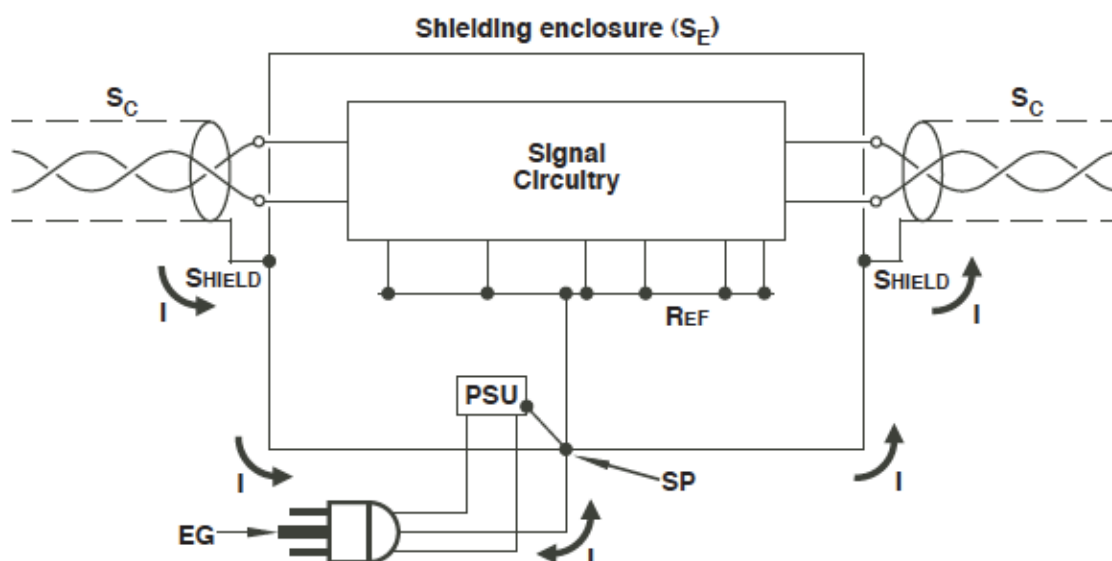
5.1 AES48/2005-standardin tausta ja merkitys

Yhdysvaltalainen audioalan ammattilaisten järjestö Audio engineering society on määritellyt standardin AES48/2005 koskien audiolaitteiden välisiä kytkentöjä, maadoituksia sekä EMC käytäntöjä silmällä pitäen. Pin-1-ongelma on ollut tärkeässä asemassa standardia luodessa. Virheellisesti toteutettuna kytkennät altistavat laitteita häiriöille. Noudattamalla kehottavaa standardia AES/2005, luodaan häiriösuojausta, ja laitteiden välisiä kytkentöjä tarkastelemalla hyvät toimintaedellytykset audiojärjestelmissä niin audio- kuin radiotaajuuksillakin.

5.2 Maadoitusjohtimien kytkennät suojakoteloihin

Laitteiden välisessä kytkennässä käytettävän kaapelin suojavaipan ja kytkettävän laitteen suojakotelon välillä tulee olla suora, ja mahdollisimman matalaimpedanssinen yhteys. On suositeltavaa, että kyseinen kytkentä tehdään laitteen ulkopuolella, jotta mahdolliset radiotaajuushäiriöt eivät pääsisi kytkeytymään laitteen sisälle. Radiotaajuuksilla olevia häiriöitä silmällä pitäen on myös tärkeää, että käytettävä liitin tai liitäntä on mahdollisimman pieni. Liitäntän kokoon tai pituuteen viittaavilla seikoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä liitäntässä tai liittimessä itsessään olevien johtimien ja johdinhäntien kokoa. Jotta saavutetaan paras mahdollinen hyöty mahdollisimman laajalla taajuusalueella, tulisi liitäntässä käytettävän johtimen olla paitsi lyhyt, myös mahdollisimman suuri poikkipinnaltaan. Kuvassa 17 (ks. seur. s.) esitetään kytkennän periaatteet. [11, s. 5.]

Parasta mahdollista hyötyä ajatellen tulisi laitteen sisäisessä maadoituksessa noudattaa tähtiverkon periaatetta, jossa liitäntäkaapelien kytkennät ja laitteen sisällä oleva kytkentä signaalimaahan olisivat fyysisesti mahdollisimman lähellä toisiaan.



Kuva 17. Johtimen suojalaitteen kytkeminen laitteen suojakoteloon [11, s. 5]

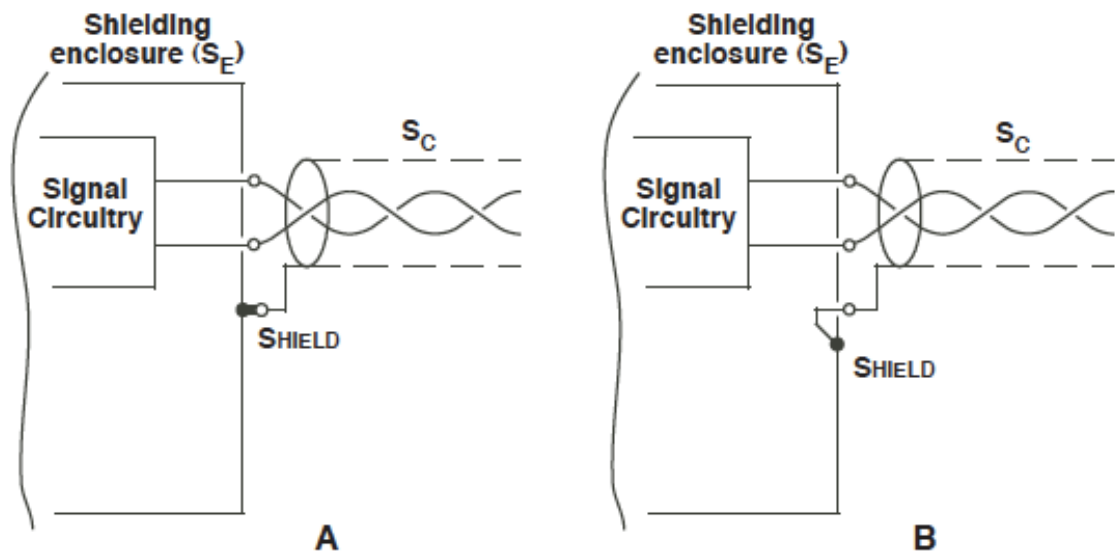
EG	suojamaa
I	virta suojajohtimessa
PSU	virtalähde
R_{EF}	signaalireferenssi
S_C	kaapelin suojavaippa
S_E	laitteen suojakotelo
Shield	suojaivaipan kytkentäpiste
SP	tähtipiste

5.3 Suojaamattomat liitännät

Suojaamattomia liittimiä ovat esimerkiksi erilaiset naparuuvi- ja sokeripalaliitännät, joissa kaapelin suojavaippa ei peitä kytkentää. Tällaiset kytkennät tulisi aina tehdä laitteen suojakotelon ulkopuolella. Suojaamattomia liitännöitä ei tulisi sijoittaa aivan toistensa viereen. Kaiken tämän perusajatuksena on, etteivät suojaamattomat liittimet vastaanotaisi, tai lähettäisi häiriöitä lähellä oleviin kytkentöihin. Ainakin näiden häiriökytkentöjen tulisi olla mahdollisimman vähäisiä. Kytkennät tulee suorittaa suojakotelon ulkopuolella, jotta häiriöiden kytketyminen signaalipiireihin laitteen sisällä olisi mahdollisimman pientä. Mikäli häiriösignaalit pääsevät vaikuttamaan laitteen sisäpuolella, eivät mitkään rakenteet estä niiden vaikutuksia. Mahdollisuuksien mukaan jokaisella suojaamattomalla kytkennällä tulisi olla myös oma liitännänsä.

Mikäli suojaamaton liitäntä on monijohdinkaapeli, tulee jokaisen johtimen suojavaipalle olla oma kytkentänsä. Tällaiset kytkennät tulee muodostaa siten, että matka jonka signaalikaapeli kulkee suojaamattomana, on mahdollisimman lyhyt. Tässä yhteydessä on hyvä huomioida, että käytäntö jossa monijohdinkaapelin kaikkien johtimien suojavaipat ensin liitetään yhteen ennen kytkemistä liitäntäpaneeliin aiheuttaa usein signaalijohtimen suojaamattoman matkan kasvamista. [11, s. 6.]

Jokaisen yksittäisen johtimen suojavaippa tulee ensin kytkeä liitäntäpaneeliin mahdollisimman lähellä signaalijohtimen liitäntää. Kuvassa 18 esitetään suojaamattomien liitäntöjen suositeltu kytkentätapa. Vaihtoehdossa A esitetään ensisijaisesti suositeltu tapa. Mikäli tällaisen suoran kytkennän tekeminen ei ole käytännössä mahdollista, voidaan se tehdä erillisen liittimen avulla, kuten esitetään kuvassa 18 vaihtoehdossa B:

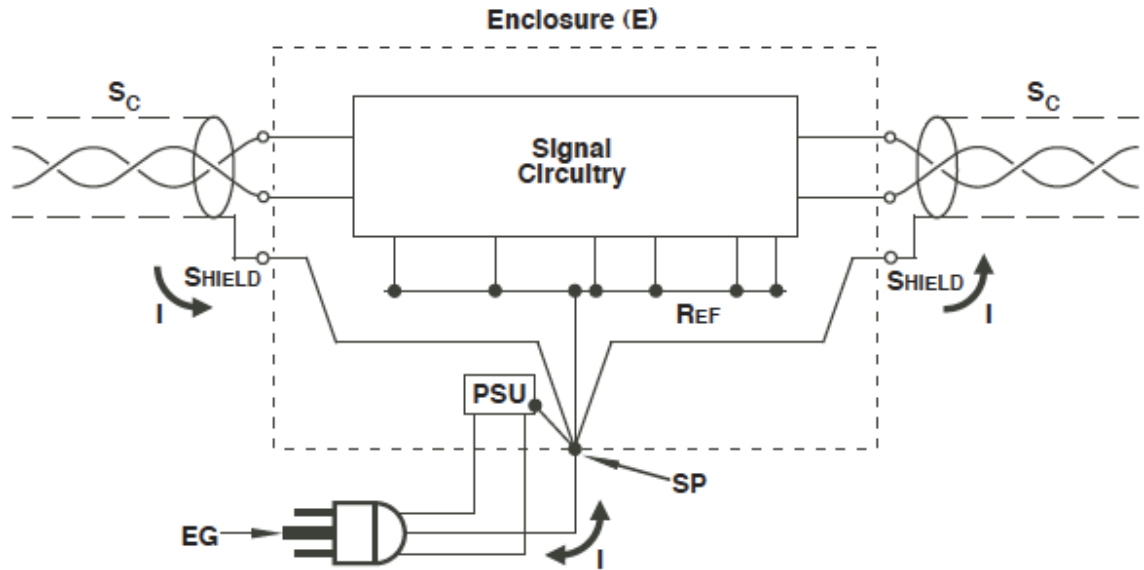


Kuva 18. Suojaamattomien liitäntöjen tekeminen suojakoteloihin [11, s. 6]

S_C	kaapelin suojavaippa
S_E	suojakotelo
Shield	suojaivaipan liitäntä

5.4 Kytkennät laitteisiin, joissa ei ole suojakotelo

Yleisesti tulisi suhtautua varauksellisesti audiolaitteisiin, joita mainostetaan ammattitasoisina, mutta joissa on muovikotelo. Sähkömagneettisesti suojaamattomalla kotelolla varustettujen laitteiden käyttö vaativassa järjestelmäkokonaisuudessa ei ole suositeltavaa. Kuvassa 19 (ks. seur. s.) esitetään, miten maadoitusten kanssa tulisia toimia suojaamattomilla laitteilla.



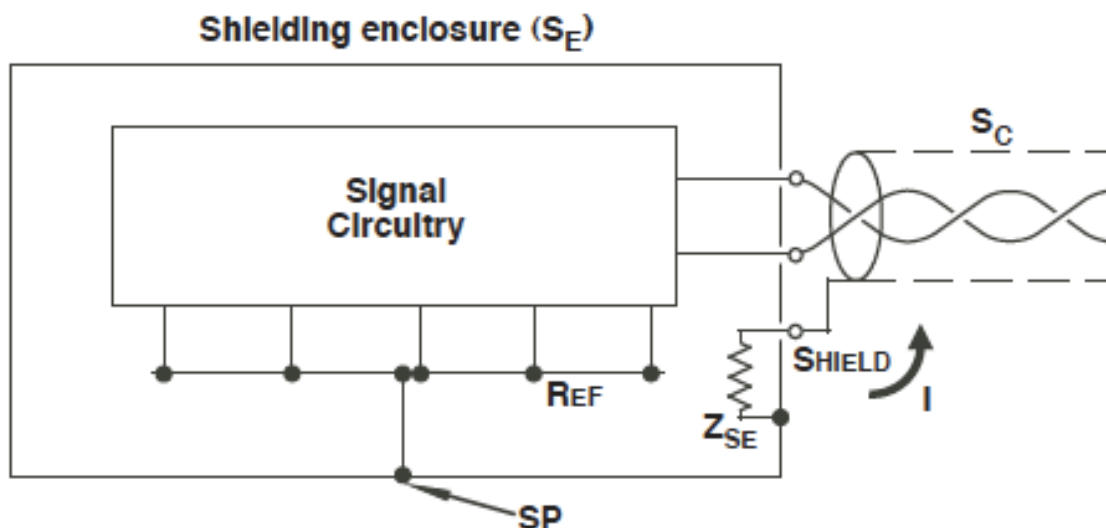
Kuva 19. Maadoitusten kytkeminen suojaamattomissa laitteissa [11, s. 7]

E	kotelo (suojaamaton)
EG	suojavaadoitus
I	virta suojajohtimissa
PSU	virtalähde
R _{EF}	signaalireferenssi
S _C	kaapelin suojavaippa
Shield	suojaivaipan kytkentäpiste
SP	tähtipiste

Kytkenät sellaisiin audiolaitteisiin, joiden suojakotelot eivät ole sähköisesti suojaavia, saattavat olla hyvinkin ongelmallisia. Mikäli laitteella on esimerkiksi muovista rakennettu kotelo, sillä tällöin ei ole mitään rakennetta estämässä sähkömagneettisen säteilyn aiheuttamien häiriöiden pääsemistä laitteen sisäisiin piireihin. Erityisesti tilanteissa, joissa korkealuokkainen häiriönsuojaus on edellytyksenä, saattavat tällaiset laitteet muodostaa ongelman. Mikäli tällaisten laitteiden tai laitteen käyttö on välttämätöntä, tulee kytkentään käytettävän kaapelin suojavaippa kytkeä suoralla yhteydellä laitteen sisäiseen maadoituspisteeseen, jossa se yhdistyy laitteen signaalimaahan. Mahdollisuuksien mukaan tällainen laite tulisi galvaanisesti erottaa muusta laitekokonaisuudesta.

5.5 Esimerkit virheellisestä laitesuunnittelusta

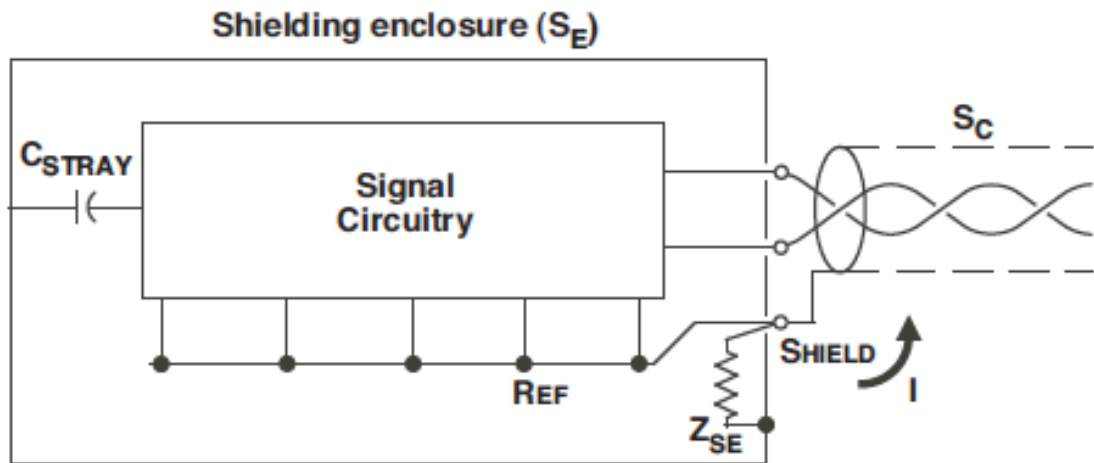
Virheellisellä laitesuunnittelulla tarkoitetaan tässä yhteydessä sellaista audiolaitteen sisäistä maadoitusta, tai sellaista kaapelin ja laitteen suojakotelon välistä kytkentää, joka ei ole AES48/2005-standardin mukainen. Tällaisessa tilanteessa laitteiden välisissä kytkennöissä on usein kyse pin-1-ongelmasta. Kaikissa tässä esitettyissä ongelmaesimerkeissä mahdollisuus yhteismuotoisten häiriöiden sekä maadoitusjärjestelmässä kulkevien häiriöiden kytkeytymiseen signaalipiireihin kasvaa. Kuvassa 20 esitetään tilannetta, jossa yhteys kaapelin suojavaipan ja suojakuoren välillä ei ole hyvä, eli yhteys ei ole matalaimpedanssinen. Tällöin yhteismuotoiset häiriöt nousevat lineaarisesti impedanssin nousun kanssa.



Kuva 20. Suojakotelon ja suojavaipan välillä olevan impedanssin vaikutus [11, s. 10]

I	virta suojajohtimissa
R_{EF}	signaalireferenssi
S_C	kaapelin suojavaippa
S_E	suojakotelo
Shield	suojaivaipan kytkentäpiste
SP	tähtipiste
Z_{SE}	suojaivaipan ja suojakotelon välinen impedanssi

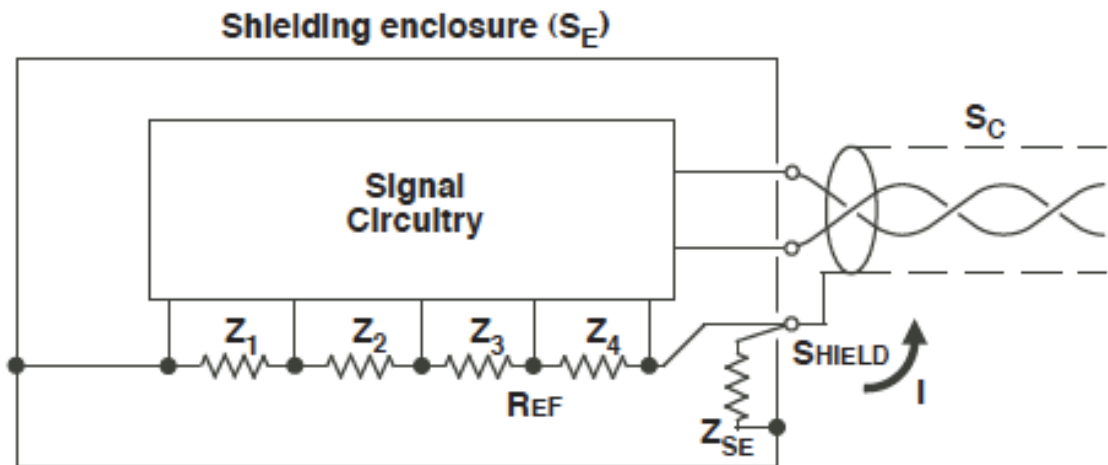
Toisessa ongelmaesimerkissä signaalikaapelin suojavaippa yhdistetään laitteen sisääntulossa suoraan signaalireferenssipisteeseen. Kyseessä on klassinen pin-1-ongelma. Jos kyseisessä tilanteessa vastaava kytkentä suojavaipasta suojakoteloon on edellisen esimerkin kaltainen eli impedanssiltaan suhteellisesti korkea, muodostuu tällöin suljettu piiri suojakotelon ja signaalimaan välille. Tilannetta täydentää suojakotelon ja signaalimaadoituksen välinen kapasitanssi. Yhteismuotoiset häiriövirrat saattavat alkaa kulkea näiden pisteiden välillä. Kuvassa 21 havainnollistetaan tilannetta:



Kuva 21. Esimerkki pin-1-ongelmasta virheellisen laitesuunnittelun vuoksi [11, s. 11]

C_{STRAY}	signaalipiirin ja kotelon välinen kapasitanssi
I	virta suojajohtimissa
R_{EF}	signaalireferenssi
Z_{SE}	suojaivaipan ja kotelon välinen impedanssi
S_C	kaapelin suojavaippa
S_E	laitteen suojakotelo
Shield	suojaivaipan kytkentäpiste

Kolmas tyypillinen esimerkki virheellisestä suunnittelusta on signaalimaadoituksen kytkeminen suojakoteloon useassa pisteessä. Myös tässä tilanteessa on kyse pin-1-ongelmasta. Kuvassa 22 (ks. seur. s.) havainnollistetaan ongelman syntymistä. Tällöin laitteen sisäisessä maadoituksessa syntyvät potentiaalierot saattavat aiheuttaa ongelmia laitteen sisäisten häiriövirtojen muodossa.



Kuva 22. Ongelmaesimerkkinä signaalireferenssin kytkeminen suojakoteloon useassa pisteessä [11, s. 11]

I	virta suojajohtimissa
R_{EF}	signaalireferenssi
Z_{SE}	sojjavaipan ja kotelon välinen impedanssi
S_C	kaapelin suojavaippa
S_E	laitteen suojakotelo
Shield	suojaivaipan kytkentäpiste
$Z_1 \dots Z_4$	impedanssi eri signaalipiirin pisteiden välillä

6 Silmukoitu potentiaalintasausverkko

6.1 Silmukoidun potentiaalintasausverkon periaatteet

Nykyisten turvallisuusstandardien mukaisesti uusissa kiinteistöjen sähköasennuksissa noudatetaan silmukoidun potentiaalintasausverkon periaatteita. Kaikki sähköjärjestelmän osat maadoitetaan ja kaikki sähköjärjestelmään kuulumattomat, mutta johtavasta materiaalista valmistetut kiinteät objektit yhdistetään maadoitusjärjestelmään potentiaalintasausjohtimilla. Tarkoituksena on luoda yhtenäinen kolmiulotteinen maadoitusverkko, jossa kaikki osat ovat samassa nollapotentialissa. Rakennusten sähköasennuksissa kyse on ennen kaikkea turvallisuudesta, audiotekniikassa häiriösuojauksesta. Ideaalitapauksessa koko maadoitusverkko muodostuu pienistä yksittäisistä suljetuista silmukoista

Ennen usein käytössä ollut tähtiverkko on todettu turvallisuudeltaan riittämättömäksi kiinteistöjen sähköasennuksissa. Pitkistä etäisyyksistä johtuvat potentiaalierot suoja- maadoitusverkossa saattaisivat johtaa turvallisuusriskiin esimerkiksi tilanteessa, jossa henkilö koskettaa yhtäaikaaisesti jonkin laitteen koteloa ja esimerkiksi kaukolämpöverkossa olevaa lämpöpatteria. Molemmat edellä mainituista ovat maadoitettuja, mutta niiden välillä saattaisi kuitenkin vallita merkittävä potentiaaliero. Tämä saattaisi altistaa henkilön sähköiskulle.

Uudenaikaiset asennukset potentiaalintasausverkkoineen antavat hyvät lähtökohdat niin turvallisuudelle, signaalinkäsittelylle kuin häiriösuojauksellekin. Asennukset ovat myös helposti modifioitavissa esimerkiksi remontoinnin yhteydessä. Kyseessä oleva maadoitusjärjestelmä sopii hyvin myös audiolaitteille. Olisi suotavaa noudattaa samoja periaatteita myös audiojärjestelmiä ja niiden signaalikaapelointeja suunniteltaessa. Usein noudatetun tähtiverkkoperiaatteen noudattamista voidaan pitää vanhentuneena ja askeleena taaksepäin nykyisen tiedon mukaisista parhaista ratkaisuista. [12, s. 7.]

6.2 Silmukoitu potentiaalintasaus audiotekniikassa

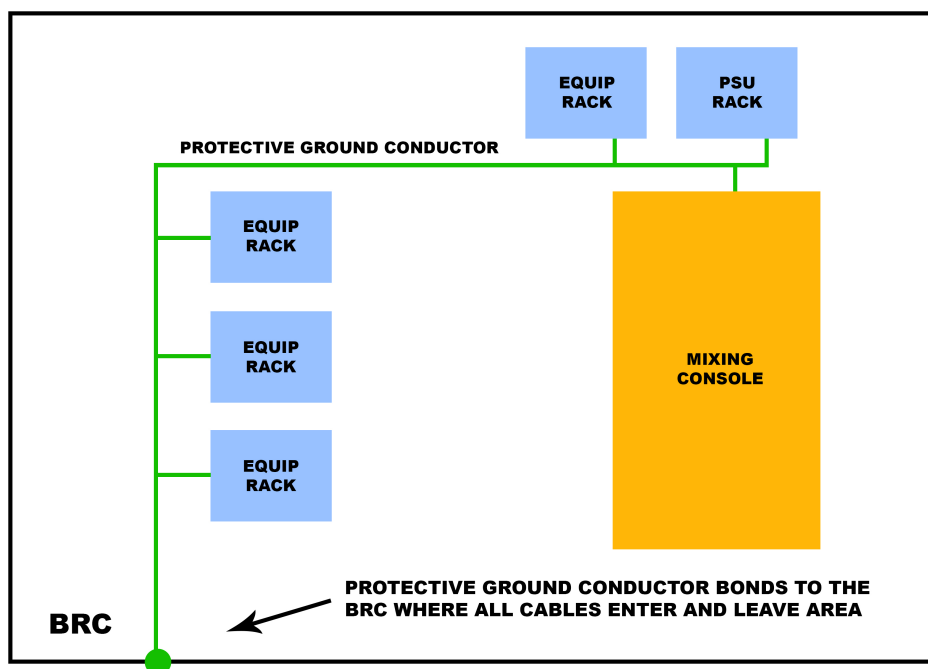
Työskentelyyn saadaan hyvät lähtökohdat, mikäli audiolaittekokonaisuutta käytetään kiinteistöissä, jossa maadoitukset ja potentiaalintasaukset on tehty nykyaikaisten standardien mukaisesti.

Samaa silmukoitujen verkkojen periaatetta voidaan noudattaa myös audiolaittekokonaisuuden sisällä ja luoda pieniä potentiaalintasausverkkoja. Tyypillistä tilannetta voidaan ajatella esimerkiksi nauhoitusstudion tarkkaamon tai konsertin miksauspisteen näkökulmasta. Molemmissa tilanteissa on kyseessä suurehko laitekokonaisuus, joka sisältää usein niin analogista kuin digitaalistakin signaalinkäsittelylaitteistoa. Digitaaliset signaalinkäsittelylaitteet ovat sekä häiriölähteitä että häiriöille alttiita laitteita. Tällaisessa tilanteessa on hyvä luoda koko laitteiston ympärille oma potentiaalintasausverkko.

Turvallisuusstandardit toteutuvat, kun edellä mainitun kaltaisessa laitteistossa kaikkien laitteiden suojakotelot kytketään suojamaadoitukseen verkkovirtaliitännöiden kautta. Tilannetta voidaan helposti parantaa lisäksi asentamalla laitekokonaisuuden ympärille ylimääräinen vahvasta materiaalista valmistettu suojamaadoitusjohdin, johon kaikkien laitteiden kuoret liitetään verkkoliitännän lisäksi. Näin toimimalla saavutetaan tehokas potentiaaliltaan yhtenäinen alue, joka on erinomainen lähtökohta niin turvallisuuden, kuin häiriönsietokyvynkin kannalta.

Kuvassa 23 (ks. seur. s.) havainnollistetaan tilannetta, jossa suuren konsertin miksauspisteeseen on asennettu ympäröivä potentiaalintasausjohdin. Kuvassa 23 käytetään termiä BRC, joka tulee kaapelin englanninkielisestä vastineesta *Bonding Ring Conductor*. Ympäröivä potentiaalintasausjohdin on kuvassa 23 mustalla kuvattu kaapeli, joka kiertää miksauspisteen.

Kun ympäröivä potentiaalintasausjohdin on asennettu laitekokonaisuuden ympärille, liitetään siis kaikkien laitteiden (kuvassa 23 *equip.rack* ja *mixing console*.) suojakuoret vielä erillisillä lisäpotentiaalintasaus kaapeleilla ympäröivään potentiaalintasausjohtimeen. Riittäväksi toimintamalliksi katsotaan, mikäli kaikkien laitteiden suojakuoret on liitetty ensin laitteiden yhteiseen suojakoteloon ja tämä suojakotelo liitetty ympäröivään potentiaalintasausjohtimeen.



Kuva 23. Ympäröivä potentiaalintasausjohdin konserttisalin miksausasteessa

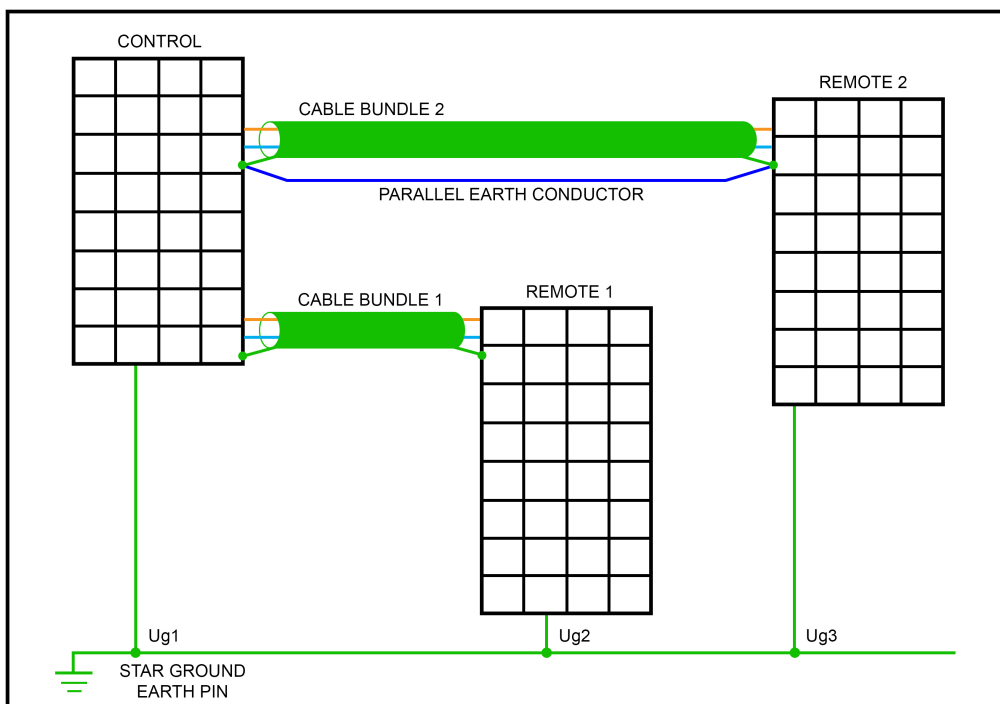
Kytettäessä edellä mainitun kaltaisessa tilanteessa laitteita toisiinsa on huomioitava, että kytkennät on tehtävä asianmukaisilla balansoiduilla kaapeleilla, joissa on suojavaippa. Laitteiden välisiin liitäntöihin käytettävät kaapelit ovat poikkeuksetta sähköisesti pitkiä verrattuna mahdollisten häiriöiden aallonpituuksiin. On myös huomioitava, että suojavaippa ei käyttydy tarkoituksensa mukaisesti, ellei mahdollinen häiriövirta pääse siinä kulkemaan. Tämä edellyttää luonnollisesti, että liitäntäkaapelien suojavaipat on yhdistetty kytkettävän laitteen suojakuoreen kummastakin päästä.

Kun laitteiden väliset kytkennät on suoritettu kytkemällä kaapelien suojavaipat kummastakin päästä laitteen suojakuoreen, on samalla luotu useita ylimääräisiä pieniä potentiaalintasausjohtimia laitekokonaisuuteen. Tämä parantaa entisestään tasaisen maapotentiaaliverkon luomista. Kun potentiaalierot ovat mahdollisimman pieniä, pienevät myös mahdolliset häiriövirrat.

Audiolaittekokonaisuuksissa kohdataan usein tilanteita, joissa laitteiston osakokonaisuus sijaitsee huomattavan matkan päässä. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi suuri nauhoitusstudio, jossa on tarkkaamon lisäksi useita erillisiä äänitystiloja. Hyvä esimerkki on myös konsertti, jossa miksausaste on jonkin matkan päässä esiintymislavasta. Hyvä esimerkki on myös yleisradiolähetysiin käytettävä lähetysauto, joka

saattaa sijaita huomattavankin etäisyyden päässä esiintymislavasta. Eri pisteiden välistä potentiaaliero voidaan pienentää kytkemällä liitäntäkaapelien rinnalle ylimääräinen rinnakkainen potentiaalintasausjohdin.

Kuvassa 24 havainnollistetaan tilannetta, jossa audiojärjestelmä koostuu erilleen sijoitetuista yksiköistä. Kuvassa tarkkaamon ja toisen etäpisteen (*control* ja *remote 2*) väliin on asennettu rinnakkainen potentiaalintasausjohdin eli *parallel earth conductor*. Mikäli kaikki kaapelit on kytketty asianmukaisesti, potentiaaliero pystytään eri pisteiden välillä laskemaan hyvinkin alas. Tällöin mahdollisten häiriövirtojen, ja näin myös induktiivisten häiriökytkentöjen voimakkuus pienenee. Tarkoituksena on siis saada kuvassa 24 esiintyvien maadoituspisteiden potentiaalit U_{G1} , U_{G2} ja U_{G3} mahdollisimman lähelle toisiinsa:



Kuva 24. Rinnakkainen potentiaalintasausjohdin suuressa audiojärjestelmässä

Mikäli toisistaan etäällä olevien osakokonaisuuksien väliseen kytkentään käytetään esimerkiksi 32-kanavaista monijohdinkaapelia (kuvassa 24 *cable bundle*) ja lisäksi rinnakkaista potentiaalintasausjohdinta, ovat mahdollisuudet potentiaalierojen pienentämiseen jo erittäin hyvät. Monijohdinkaapelissa jokaisella parikerretyllä signaalijohtimella on oma suojavaippansa ja johdinkokonaisuudella vielä oma suojavaippansa. Kun tähän lisätään rinnakkainen potentiaalintasausjohdin, saadaan jo 34 johdinta. Näistä

johtimista jokainen osallaan laskee potentiaaliero. Pisteiden välillä oleva potentiaaliero on suhteessa saatuun kokonaisimpedanssiin, johon vaikuttaa käytettyjen kaapelien suojajohtimien poikkipinta-ala.

Rinnakkaisen potentiaalintasausjohtimen tulisi olla poikkipinta-alaltaan suuri. Virran jakaantumisen ansiosta suurin osa häiriövirroista kulkee tällöin rinnakkaista potentiaalintasausjohdinta pitkin, ja häiriövirrat signaalikaapelien suojajohtimissa pienenevät. Tämä vähentää mahdollisia induktiivisia häiriökytkentöjä.

6.3 Silmukoitu potentiaalintasaus ja maasilmut

Yleisin vastaväite tässä raportissa esitetyn toimintamallin käyttöönotolle ovat maasilmut ja niiden aiheuttamat huminat. On totta, että silmukoitujen verkkojen potentiaalintasausmenetelmä tosiaan luo suuren määrän maasilmuksia, joissa häiriövirrat pääsevät kulkemaan. Näin luodut maasilmut ovat kuitenkin pieniä kooltaan, ja ne ovat suunnittelijan selkeässä hallinnassa.

Mikäli häiriötä pääsee kytkeytymään signaalipiireihin, on sen aiheuttaja myös helposti löydettävissä. Lisäksi silmukoitujen verkkojen menetelmällä laitteiden väliset potentiaalierot saadaan hyvin pieniksi, ja näin ollen mahdolliset häiriövirrat ovat myös pieniä. Käyttämällä täysin balansoituja laitteita yhdessä silmukoidun potentiaalintasausverkon kanssa, eivät maasilmut ole todennäköinen ongelmien aiheuttaja. Todetaan, että menetelmän hyödyt ovat huomattavasti suuremmat, kuin siitä aiheutuvat haitat. [12, s. 7.]

7 Yhteenveto

Tässä projektissa oli tavoitteena selkeyttää nauhoitusstudion luonnos- ja resurssisuunnittelua. Tavoitteena oli kerätä yhteen häiriönsuojauksessa ja kaapeloinneissa huomioon otavat seikat, jotka vaikuttavat niin johtoteihin ja muihin rakenteellisiin ratkaisuihin kuin kustannuksiinkin. Tarkoituksena oli luoda yleisluontoinen raportti, jota voidaan käyttää ohjaavana teoksena myös muissa kiinteisiin tai siirrettäviin audiojärjestelmiin liittyvissä projekteissa.

Häiriösuojauksen kannalta on aina tehokkainta, jos häiriöiden pääseminen järjestelmään pystytään estämään kokonaan. On aina hankalampaa poistaa häiriöitä, jotka ovat jo päässeet sisälle järjestelmään. Audiojärjestelmää suunniteltaessa tulisi ensimmäiseksi kiinnittää huomiota käytettävään verkkovirtaan. Tämän jälkeen on syytä keskittyä laitteiden välisiin kaapelointeihin ja kytkentöihin sekä mahdollisten häiriölähteiden kartoittamiseen.

Audiolaitteistolle on syytä saada kokonaan oma sähkönsyöttö mahdollisimman varhaisesta vaiheesta verkkohäiriöiden välttämiseksi. Tehokkainta on oman syötön ottaminen suoraan sähkökeskuksesta. Valaistusten, hissien ja muiden moottorikäyttöjen aiheuttamat kytkentäpiikit aiheuttavat verkkoon häiriöitä ja muodostavat ongelmia audiolaitteistossa. On siis syytä pyrkiä järjestämään audiolaitteistoille mahdollisimman puhdas ja erillinen sähkönsyöttö.

Mikäli audiolaitteistoa käytetään kiinteistössä, jossa oman sähkönsyötön järjestäminen audiolaitteistolle on mahdotonta, voidaan suojaerotusmuuntajien ja muiden galvaanisten erottimien käytöstä saada merkittävää hyötyä. Verkkohäiriöiden suodatuksen näkökulmasta kyseinen ratkaisu on hyvä, mutta varsinkin suuritehoisilla suojaerotusmuuntajilla saattavat kustannuskysymykset nousta ratkaisevaksi tekijäksi. Tyypillisin käyttötarkoitus lienee studiokäyttö, jossa tehontarve on vielä pieni konserttijärjestelmiin verrattuna.

Alalla tutuksi tullutta tähtiverkon käyttöä voidaan pitää vanhentuneena maadoitusratkaisuna. Nykyisissä audiojärjestelmissä häiriöt radiotaajuuksilla nousevat jatkuvasti suurempaan rooliin, ja näitä häiriöitä ei tähtiverkossa pystytä tehokkaasti eliminoimaan.

Nykyisen tiedon mukaan silmukoitujen potentiaalintasausverkkojen periaate on suorituskyvyltään erinomainen kaikkia häiriölähteitä ajatellen. Tähtiverkossa ei puututa todelliseen ongelmaan eli maadoituspisteiden välisiin potentiaalieroihin.

Noudattamalla silmukoitujen potentiaalintasausverkkojen periaatetta saadaan potentiaalierot niin alas, etteivät maasilmuksissa kiertävät virrat pääse aiheuttamaan merkittäviä ongelmia. Potentiaalierojen pienenemisen ehtona on, että myös muut laitteiden väliset kytkennät ja kaapeloinnit on suoritettu asianmukaisesti. Myös virheellisesti suunnitellun, viallisen laitteen, tai muun häiriölähteen paikallistaminen helpottuu kun koko laitekokonaisuus on tarkkaan suunniteltu.

Laittekokonaisuutta suunnitellessa on mahdollisuuksien mukaan pyrittävä varmistamaan, että kaikki laitteet on suunniteltu ja rakennettu AES48/2005-standardin mukaisesti ja näin myös vapaita pin-1-ongelmasta. Täysin balansoidun järjestelmän suorituskyky häiriösuojauksen kannalta on erinomainen. Balansoidusta järjestelmästä saadaan paras mahdollinen hyöty, kun se asennetaan yhdessä silmukoitujen potentiaalintasausverkkojen kanssa.

Balansoitu järjestelmä yhdistettynä silmukoituihin potentiaalintasausverkkoihin ei estä kokonaan häiriövirtojen syntyä tai niiden ilmenemistä järjestelmässä. Kyseinen järjestelmä kuitenkin pitää häiriövirrat tehokkaasti maadoitusverkossa ja ehkäisee niiden kytkeytymisen signaalipiireihin. Häiriövirrat siis pysyvät siellä missä pitääkin, ja ne ovat sekä järjestelmäsuunnittelijan hallinnassa, että myös voimakkuudeltaan pieniä potentiaalierojen laskemisen myötä.

Mikäli balansoidun järjestelmän osana on välttämätöntä käyttää balansoimattomia laitteita tai virheellisesti suunniteltuja laitteita, on syytä erottaa kyseiset laitteet galvaanisesti muusta järjestelmästä, ja pitää näin ollen yhteinen maapotentiaali ja maadoitusverkko mahdollisimman puhtaana. Näin toimimalla pystytään myös ehkäisemään maadoitusverkossa kiertävien virtojen kytkeytymistä signaalipiireihin. Mikäli galvaanisten erottimien käyttö ei syystä tai toisesta ole mahdollista, on käytettävä tapaukseen soveltuvia modifioituja kaapeleita. Sekä galvaanisella erottamisella, että modifioitujen kaapelien käytöllä on sama tarkoitus eli ehkäistä maadoitusverkossa kiertävien häiriövirtojen kytkeytyminen signaalipiiriin.

Digitaalisen tekniikan kehittyessä ja toimintavarmuuden lisääntyessä on sen suomia mahdollisuuksia syytä tarkastella. Lähetysteknisissä sovelluksissa ja nauhoituskäytössä on siirrytty digitaaliseen tekniikkaan käytännössä kokonaan. Ongelmitta tässä ei kuitenkaan ole onnistuttu. Ajan kuluessa virheistä on kuitenkin opittu, ja esimerkiksi yhteiskunnan kannalta merkittäviä yleisradiolähetyksiä voidaan luotettavasta tuottaa kokonaan digitaalisesti.

Äänitysstudioissa on käyty viimeisen vuosikymmenen aikana murros analogisesta digitaaliseen tekniikkaan. Tämä sama murros on nyt edessä myös konserttitekniikassa ja siirrettävissä audiolaitteistoissa. Sähkömagneettisten häiriöiden aiheuttamat vaikutukset pystytään digitaalisessa audiosignaalin käsittelyssä välttämään lähes kokonaan, tai niiden vaikutukset ovat ainakin luonteeltaan hyvin erilaisia analogiseen tekniikkaan verrattuna. Digitaalisessa tekniikassa on kuitenkin omat ongelmansa, ja sähkömagneettiset häiriöt ovat siinäkin jatkuvasti läsnä. Häiriöillä ei ole kuitenkaan samassa mitakaavassa vaikutusta audiosignaalin laatuun, vaan lähinnä yksittäisten laitteiden toimintaan ja toimintavarmuuteen.

Nykyisen tiedon varassa voidaan luotettavasti todeta, että paras mahdollinen lopputulos audiotekniikan häiriösuojauksen kannalta saadaan, kun noudatetaan tässä raportissa esille tuotuja maadoitus-, kaapelointi- ja kytkentäperiaatteita. Lisäksi analoginen audiosignaali on syytä muuttaa digitaaliseksi mahdollisimman varhaisessa vaiheessa signaaliketjua. Resistiivisten verkkohäiriöiden välttämiseksi tulisi audiolaitteistolle saada aina oma sähkönsyöttönsä.

Lähteet

- 1 Metsikkö, Arja. 2009. D1-2009 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto.
- 2 SFS-Käsikirja 600. 2007. Pienjännite- ja sähkötyöturvallisuus. Suomen standardisoimisliitto.
- 3 Materiaalit, Aalto Yliopisto. Luento 9. Verkkodokumentti. <<http://tfy.tkk.fi/kurssit/Tfy-3.441/luennot/Luento9.pdf>> Luettu 15.9.2012
- 4 Millar, David. 2008. BS 7671 Wiring regulations. IEE association
- 5 Bartlett, Bruce. 2009. Eliminating troublesome hum and buzz created by electric guitars. Verkkoartikkeli. <http://www.prosoundweb.com/article/eliminating_troublesom_hum_buzz_created_by_electric_guitars/P2/> 14.10.2009. Luettu 8.9.2012
- 6 Earthing practise, 1997, Copper Development Association, CDA Publication 119
- 7 Mittaustekniikan perusteet, verkkodokumentti. <http://electronics.physics.helsinki.fi/wp-content/uploads/2011/02/Luento9_2007_snr.pdf> Luettu 18.9.2012
- 8 Electrical installation guide. Verkkodokumentti. <http://www.electrical-installation.org/enwiki/Capacitive_coupling> Luettu 2.10.2012
- 9 Gregory Ian. Balanced lines. Verkkoartikkeli. <http://www.ians-net.co.uk/articles/balanced_lines.php> Luettu 14.9.2012
- 10 Rane tekninen henkilöstö. 1985, päivitetty 1995, 2006, 2007, 2011. Sound System Interconnections, Rane Note 110. Rane Corporation
- 11 Standards and information documents. 2005. AES Standard on interconnections – Grounding and EMC practises - shields of connectors in audio equipment containing active circuitry. Audio Engineering Society INC.
- 12 Waldron Tony. 2002. A Practical Interference Free Audio System, Part 1. Iso Britannia. EMC Compliance Journal issue 42

