

Ville Laakso

Sähkömagneettisten häiriöiden aiheuttamat ongelmat  
äänitysstudioissa

Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoima- ja automaatiotekniikan suuntautumisvaihtoehto  
2009

## SÄHKÖMAGNEETTISTEN HÄIRIÖIDEN AIHEUTTAMA ONGELMA ÄÄNITYSSTUDIOSSA

Laakso, Ville  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Elokuu 2009  
Lehtio, Ari  
Sivumäärä: 31

Asiasanat: sähkömagneettinen säteily, sähkömagneettinen yhteensopivuus, studiot

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää äänitysstudion sähköstä johtuvien häiriöiden poistamiseen tarvittavat toimenpiteet. Työn tilaajana oli Loimaalla toimiva mediayhtiö Emesys Ky. Kyseisellä studiolla tehtiin myös sähkönlaadunmittaukset, joita verrattiin SFS-EN50160 standardin raja-arvoihin.

Osana projektia oli myös tutustua liikuteltavaan äänityslaitteistoon, joka on erityisen herkkä sähköisille häiriöille. Näitä laitteistoja käyttävät esimerkiksi Yleisradio, Akun tehdas ja Eastway. Selvitys tehtiin puhelin- ja sähköpostikyselyin joten tutkimusmenetelmä, jota tässä opinnäytetyössä käytettiin, oli osittain laadullinen.

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin vain sähköisiin ilmiöihin eikä puututtu akustisiin tai muihin häiriötekijöihin.

Digitaalisen tallennuksen häiriöt eivät kuuluneet tämän opinnäytetyön aihealueeseen.

## PROBLEM IN RECORDING STUDIO CAUSED BY ELECTRICAL INTERFERENCE

Laakso, Ville

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

August 2009

Lehtio, Ari

Number of pages: 31

Key words: electrical interference, EMC

---

The purpose of this thesis was to analyze necessary procedures for removal of any electrical interference in a recording studio environment. The study was commissioned by the media company Emesys Ltd, operating in Loimaa. At the studio location, electricity quality measurements were also conducted. The results of these measurements were compared to the limits included in SFS-EN50160 standard.

Another part of the project was to survey and analyze mobile recording equipment, which is particularly sensitive to electrical interference. This equipment is currently used by e.g. Yleisradio, Akun tehdas and Eastway. The survey was carried by phone and email questionnaires, which provide for a partial application of qualitative research methods.

This study was restricted to cover only electrical phenomena, to the exclusion of acoustic or other forms of interference. All forms of interference in digital recording were also excluded from this study.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	ÄÄNITYSSTUDION ÄÄNENLAATU.....	7
2.1	Mitä tarkoitetaan äänenlaadulla .....	7
2.2	Sähköiset ja muut häiriöt.....	7
2.2.1	Kohina .....	7
2.2.2	Suhina .....	8
2.2.3	Hurina eli ”brummi” .....	8
2.2.4	Häiriöpulssi.....	8
2.2.5	Muut häiriöt.....	9
3	HÄIRIÖKYTKETYMINEN .....	9
3.1	Induktiivinen häiriökytketyminen .....	9
3.2	Kapasitiivinen häiriökytketyminen .....	10
3.3	Galvaaninen häiriökytketyminen .....	11
4	LIITTIMET.....	11
4.1	XLR - liitin.....	11
4.2	6,35mm plugi .....	12
4.3	3,5mm stereoplugi eli miniplugi .....	13
4.4	RCA - liitin.....	13
5	JOHDOTUKSET.....	14
5.1	Balansoimaton.....	14
5.2	Balansoitu.....	15
6	MAALENKKI.....	16
6.1	Maalenkin syntyperiaate .....	16
6.2	Maalenkin estämistapoja.....	16
7	SÄHKÖLIITTYMÄN MITTAUS.....	18
7.1	Sähkönlaadun analysaattori Fluke 434.....	18
7.2	Laadunmittaus .....	19
7.3	Standardi: SFS-EN 50160.....	24
7.3.1	Verkkotaajuus.....	24
7.3.2	Jännitteen suuruus .....	24
7.3.3	Jännitetaso vaihtelut ja jännitemuutokset .....	25
7.3.4	Nopeat jännitemuutokset.....	25
7.3.5	Välkyntä .....	25
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	25

LÄHTEET .....29

LIITTEET

## 1 JOHDANTO

Työn kohteena oli loimaalainen mediayhtiö Emesys Ky, jonka äänitysstudion kuulokevahvistin tuotti kuulokkeisiin matalataajuisen hurinan. Tehtävänä oli selvittää hurinan syy ja tutkia erilaisten sähköisten häiriöiden vaikutusta kuunteluun ja äänentoistoon.

Aluksi tehtävänä oli kerätä tietoa erilaisista häiriöistä ja selvittää, miten korvinkuuluvat häiriöäännet voidaan luokitella. Haastatteluissa tuli ilmi, että samalle häiriölle saattaa olla monta kuvaavaa termiä. Kaiken kaikkiaan sähköiset häiriöt olivat selvästi erilaisia ilmiöitä, kun muut häiriöt.

Liittimien ja johdotusten merkitys häiriöherkkyyteen piti tutkia ja perusteet häiriöiden kytkeytymiselle selvittää.

Lopuksi mitattiin kohteen sähkönlaatu ja verrattiin tuloksia SFS-EN 50160 standardin asettamiin raja-arvoihin.

## 2 ÄÄNITYSSTUDION ÄÄNENLAATU

### 2.1 Mitä tarkoitetaan äänenlaadulla

Studio ja äänentoistotekniikassa pyritään siihen, että ääni tallennetaan tai toistetaan mahdollisimman tarkasti alkuperäisen äänen mukaisesti. Kaikki ihmiskorvalla kuultavat taajuudet pitää toistaa, jotta kuuloaistimus olisi mahdollisimman lähellä alkuperäisen äänilähteen äänenväriä. Ihmisen kuuloalue on noin 15 Hz – 20 kHz.

Häiriöäänet vaikuttavat kuuloaistimukseen epämiellyttävällä tavalla, joten niiden vaikutusta äänen laatuun ei voida jättää huomioimatta. Jos häiriöääniä ei ilmene, kutsutaan ääntä puhtaaksi. Toisaalta ääntä ilman efektejä eli äänen prosessointilaitteita kutsutaan myös puhtaaksi./5/

### 2.2 Sähköiset ja muut häiriöt

Sähköisten häiriöiden kuvaamiseen on musiikinalalla käytetty muutamia termejä, jotka kertovat minkälaisesta tai minkä kuuloisesta ilmiöstä on kyse. Seuraavat termit on kerätty puhelin- ja sähköpostikyselyjen avulla. Kysymykset ovat listattu liitteessä 2.

#### 2.2.1 Kohina

Kohinaa syntyy aina kun signaalia (esim. linjatasoista äänisignaalia) vahvistetaan. Tällaisessa tapauksessa häiriötekijää kuvataan signaali-kohinasuhteella (S/N – suhde, signal/noise) ja se ilmoitetaan desibeleinä. Vahvistinta ei kannata säätää suuremmalle, jos sisääntulosignaali on paljon alle nollatason. Tällöin ilmenee varmasti korvin-kuultavaa kohinaa. Jos taasen vahvistimeen menevä signaali on huomattavasti nolla-

tasoa suurempi, niin ulostuleva ääni menee helposti särölle. Kohinatilanteissa kannattaa tarkistaa laitteen signaali-kohinasuhde ennen kuin epäillään kytkentöjä./5,6/

### 2.2.2 Suhina

Suhina sekoitetaan usein kohinaan, koska se ilmenee yleensä samalla taajuudella. Toisin on, koska suhina syntyy viallisista signaalijohdoista tai huonosti liitetyistä liittimistä. Joskus suhinaa ilmenee vanhojen instrumenttijohtojen tai mikrofonijohtojen yhteydessä. Tällainen häiriö on helppo paikallistaa ja testata vaihtamalla vioittunut johto./5,6/

### 2.2.3 Hurina eli ”brummi”

Hurina on aina sähköstä johtuva häiriöääni. Se on helposti tunnistettavissa, koska sen taajuus on aina verkkovirran taajuus tai sen kerrannainen. Suomessa hurina on kuultavissa 50 Hz:n taajuudella. Suurin vaara hurinan ilmenemiseen on kun linjatasoinen instrumenttijohto tai mikrofonijohto on vedetty liian läheltä sähköjohtoa./5,6/

Suojamaadoituksen potentiaalierot aiheuttavat myös hurinaa. Tätä kutsutaan maalenkiksi.

### 2.2.4 Häiriöpulssi

Häiriöpulssilla tarkoitetaan nopeaa jännitteen alenemaa tai nousua linjatasoisessa johdossa. Yleisin häiriön ilmenemisen aiheuttava tekijä on kun kitaristi ottaa plugi johdon irti kitarastaan ennen kuin äänitarkkailija on sulkenut kyseisen kanavan miksauspöydästä. Kitaravahvistimen sammuttaminen aiheuttaa myös häiriöpulssin ja jossain tapauksissa myös valokatkaisijat. Kaikilla kontaktipinnoilla tapahtuu aina kytkentähetkellä pienimuotoinen lyhytaikainen sähköpurkaus, mikä aiheuttaa kytkentäpiikin. Tällaista ilmiötä kutsutaan häiriöpulssiksi. Tähän kategoriaan voidaan liittää myös himmentimistä tuleva sirinä, mikä johtuu elektronisten kytkimien toiminnasta./5,6/



### 2.2.5 Muut häiriöt

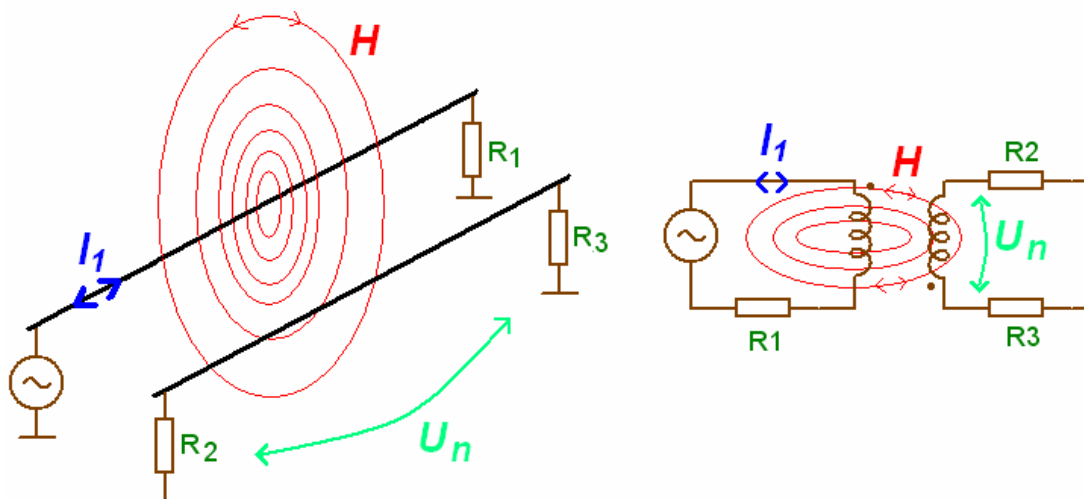
Muihin häiriöihin luetaan kuuluvaksi sähköstä riippumattomat ilmiöt, kuten esimerkiksi akustiikasta, liikenteestä tai ilmastointilaitteista kuuluvat häiriöäänät. Näihin häiriötekijöihin ei tässä tutkimuksessa puututa.

## 3 HÄIRIÖKYTKETYMINEN

Audiojärjestelmien häiriöt voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Nämä ryhmät on luokiteltu häiriöiden kytkeytymistavan mukaan. Induktiivinen ja kapasitiivinen kytkeytyminen toimivat aina yhdessä koska molempien perustana on kaksi vierekkäin kulkevaa johtoa.

### 3.1 Induktiivinen häiriökytkeytyminen

Induktiivinen eli sähködynaaminen kytkeytyminen (electromagnetic induction) tapahtuu magneettikentän kautta./4/



Kuva 1. Induktiivisen häiriökytkeytyksen periaatekuva ja sen sijaiskytkentä./3/

$$\text{Johtimien välinen keskinäisinduktanssi (L)} \quad L = l \frac{\mu}{\pi} \ln\left(\frac{d-r}{r}\right), \quad (1)$$

missä

$$l = \text{johtimien pituus}$$

$\mu$  = väliaineen permeabiliteetti

$r$  = johtimen säde

$d$  = johtimien välinen etäisyys

$$\text{Indusoituva jännite (} U_n \text{): } U_n = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \quad (2)$$

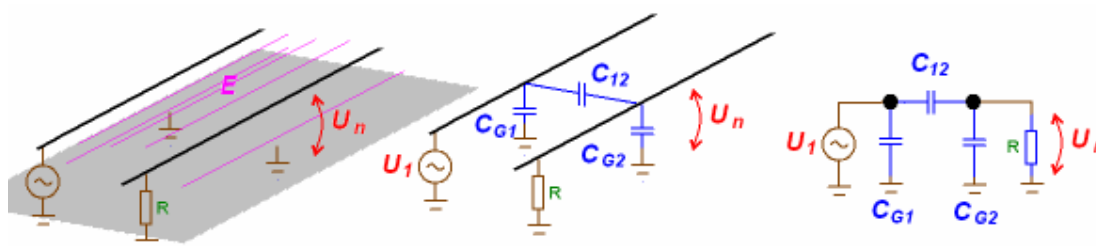
missä

$L$  = johtimien välinen keskinäisinduktanssi

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$  = virran muutos ajanjaksolla  $\Delta t$

### 3.2 Kapasitiivinen häiriökytkettyminen

Kapasitiivinen eli sähköstaattinen kytkettyminen (electrostatic coupling) tapahtuu sähkökentän kautta./4/



Kuva 2. Kapasitiivisen häiriökytkeytymisen periaatekuva ja sen sijaiskytkentä./3/

$$\text{Johtimien välinen kapasitanssi (} C \text{): } C = \frac{l\pi\epsilon_r\epsilon_0}{\ln\left(\frac{d}{2r} + \sqrt{\frac{d^2}{4r^2} - 1}\right)}, \quad (3)$$

missä

$l$  = johtimien yhteinen pituus

$d$  = johtimien välinen etäisyys

$r$  = johtimen säde

$\epsilon_r$  = suhteellinen permittiivisyys

$\epsilon_0$  = tyhjiön permittiivisyys

$$\text{Indusoituneen jännitteen (} U_n \text{) likiarvo on: } U_n \approx RC_{12} \frac{U_1}{\Delta t}, \quad (4)$$

missä

$R$  = häirityn piirin resistanssi

$C_{12}$  = piirien keskinäiskapasitanssi

$\frac{U_1}{\Delta t}$  = jännitteen muutos ajanjaksolla  $\Delta t$

### 3.3 Galvaaninen häiriökytkeytyminen

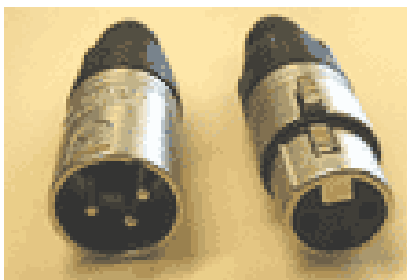
Galvaaninen (suora sähköinen kontakti) eli resistiivinen kytkeytyminen tapahtuu mm. virheellisten maadoitusten takia maalenkkien kautta (ground loop conduction)./4/

## 4 LIITTIMET

Tässä luvussa käsitellään ammattikäyttöön soveltuvia linja- ja mikrofonitasoisia liittimiä ja verrataan niiden häiriöherkkyyttä. Yhä yleistyvä optinen liitintyyppi ohitetaan tässä opinnäytetyössä, koska sitä voidaan pitää täysin häiriövapaana liitintänä ja tiedonsiirtoväylänä.

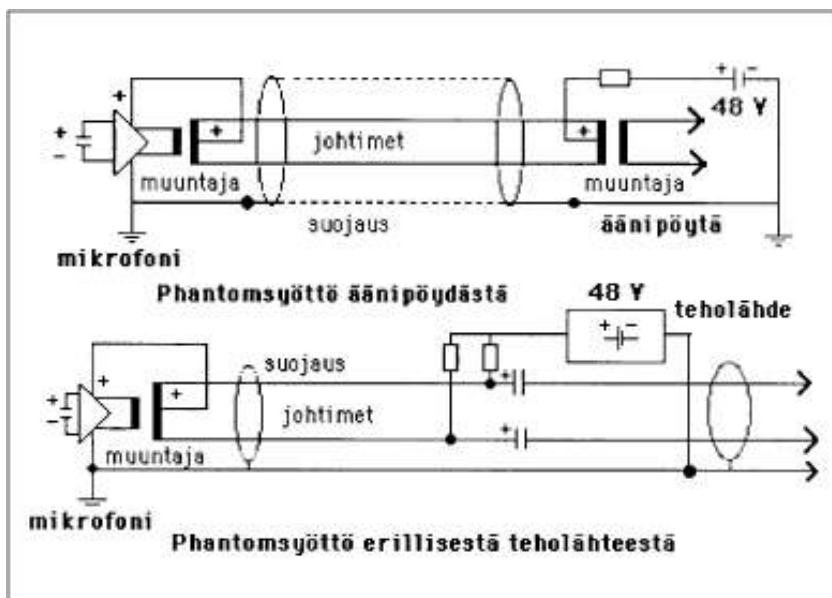
### 4.1 XLR - liitin

Yleisin käytössä oleva mikrofoniliitintämalli on XLR, joka on ammattistandardi, balansoitu, mono-signaalia kuljettava mikrofonikaapeliliitin. Se on lukitusmekanisminsa ja häiriönpoistonsa ansiosta paras tapa liittää mikrofoni tallentimeen tai miksauspöytään./5,6,8/



Kuva 3 XLR – liittimet./8/

XLR pystyy siirtämään käyttöjännitettä kondensaattorimikrofonille. Jännite on +48V ja se syötetään signaalijohtoa pitkin mikrofonille. Kondensaattorimikrofoni tarvitsee toimiakseen jännitteen, koska mikrofonin sisälle on rakennettu pieni vahvistinpiiri. Kyseistä tasajännitesyöttöä kutsutaan phantomisyöttöksi. Phantomisyöttöä ei saa kytkeä avoimna olevaan mikrofoniin koska siitä seuraa aina kytchentä-ääni eli häiriöpulssi, joka voi rikkoa kaiutinlaitteiston./5,6,8/



Kuva 4. Phantomisyöttön kytkentäkaaviot./4/

#### 4.2 6,35mm plugi

6.35mm plugi – liitintä käytetään harvoin mikrofoniliittimenä, koska se on altis sähköisille häiriöille. Kotikaraokelaitteissa voidaan käyttää mikrofoniliittänä 6.35mm plugia, koska siirtoetäisyydet ovat lyhyitä. Plugi - liittimissä ei ole minkäänlaista lukitusmekanismia, joka tekee siitä vaikeakäyttöisen kentällä. Yleensä tällainen liitintä on käytössä sähkökitaroista. Kuulokkeissa käytetään stereo plugia./5,6,8/



Kuva 5. 6,35mm plug – liittimiä./8/

#### 4.3 3,5mm stereoplugi eli miniplugi

3.5mm miniplugi on yleisesti käytössä kotistereoissa, tietokone-liitännöissä ja yleisesti kuulokeliitännöissä. Ammattimaiseen käyttöön esim. instrumenttiliitännään se on liian rikkoutumisaltis ja täten myös erittäin häiriöherkkä. Niissä se on usein 6.35mm plugiadapteri, jolloin plugityyppi on vaihdettavissa pienellä ruuvauksella. Liitännä on huono, koska sen galvaaninen kosketuspinta on pieni ja se on herkkä hajoamiselle, joten se on varsin epäluotettava kentällä ja studiokäytössä./5,6,8/



Kuva 6. 3,5mm stereoplug - liitin eli miniplugi./9/

#### 4.4 RCA - liitin

RCA on stereoista tuttu punavalkoinen tai punamusta liitinpari, jolla siirretään linjatasoinen signaali vahvistimelle. Lukitusmekanismi on heikko ja piuha yleensä ohut yksisäikeinen kuparijohdin. RCA – liitin on yleisin kotiteattereiden ja stereoiden linjatasoisen signaalin kytkentäväline. Ammattikäytössä sitä käytetään miksauspöydän ja vahvistimen tai tallentimen välillä. Useimmiten tallentimen analoginen ulostulo tapahtuu myös RCA - liitännän kautta. Yleisesti voidaan sanoa, että RCA – liitinparissa siirretään stereosignaali vahvistimelle./5,6,8/



Kuva 7. RCA – liitinpari./8/

## 5 JOHDOTUKSET

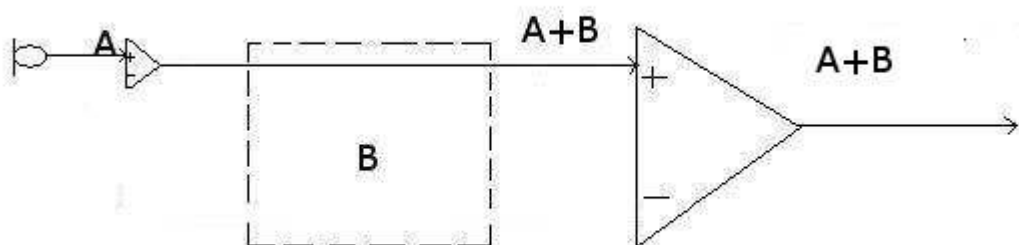
Audiotekniikassa johdotukset voidaan jakaa kolmeen ryhmään.

1. Mikrofonitaso      0...20mV
2. Linjataso            0...2V
3. Kaiutintaso        0...60V (matala ohminen)  
                              0...120V (linja- eli muuntajasyöttöinen)

Näistä mikrofonitasoinen ja linjatasoinen voidaan jakaa kahteen ryhmään.

### 5.1 Balansoimaton

Balansoimaton eli ei-symmetrinen mikrofonikaapeli on erittäin häiriöherkkä ja on käytössä vain kotikaraoke-laitteissa.

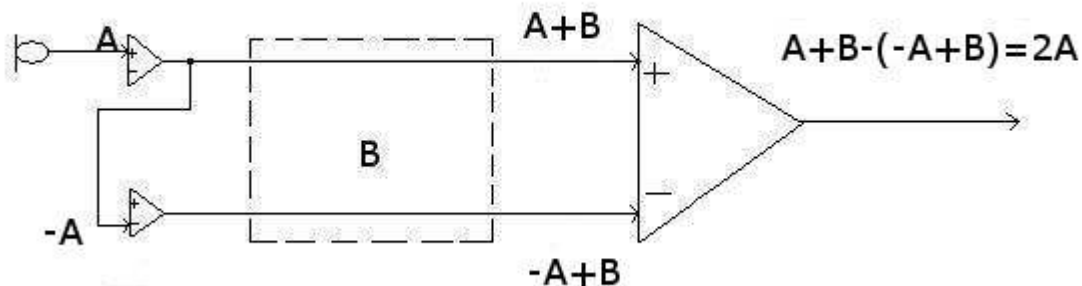


Kuva 8. Ei - symmetrinen kytkentä.

Kuvassa 8 häiriö "B" pääsee vaikuttamaan signaaliin "A" jolloin tulosignaaliissa kuullaan alkuperäisen signaalin kanssa häiriöääni.

## 5.2 Balansoitu

Balansoitu eli symmetrinen mikrofonikaapeli on häiriösuojaukseltaan ammattitasoinen ja sillä pystyy siirtämään signaalia jopa 100 metriä ilman häiritseviä hurinoita.



Kuva 9. Symmetrinen kytkentä.

Johtimiin kytkeytyneet häiriöt ("B") eivät läpäise tuloliitintä, koska ne muuttuvat vastakkaisvaiheisiksi ja näin ollen kumoutuvat. Lähtösignaaliin verrattuna saadaan tulosignaali kaksinkertaisena.

Symmetrointi voidaan toteuttaa muuntajilla (transformer balancing) tai elektronisesti (electronic balancing) differentiaali- eli erotusvahvistimilla. Muuntajasymmetroinin etuna on sen galvaaninen erotuskyky (floating earth), jolloin maalenkeistä päästään eroon.

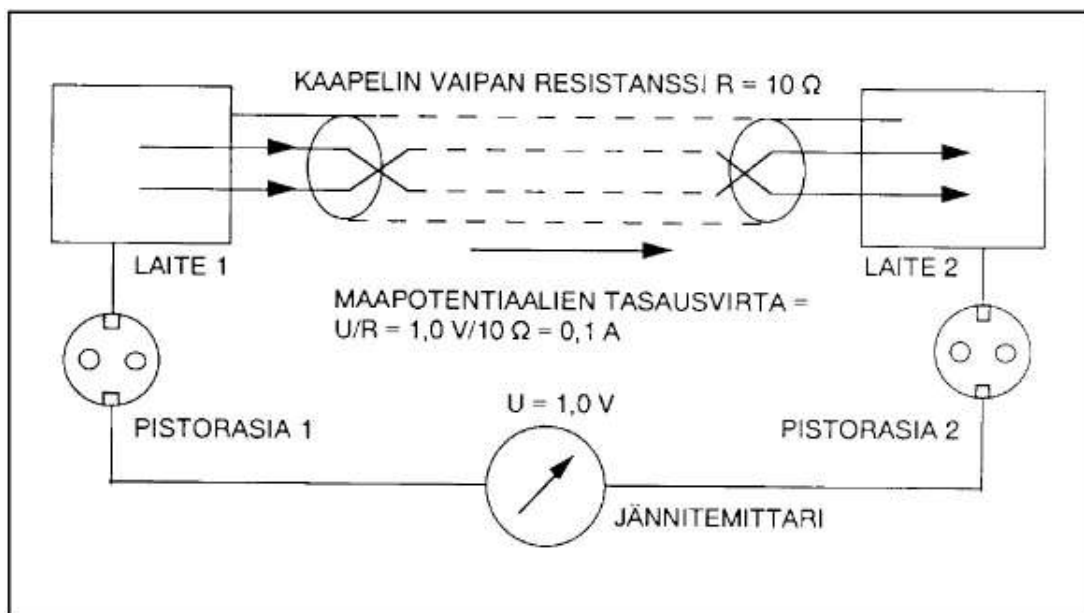
Liitteessä 1 on eritelty käytössä olevat kytkentätavat. Vaikka kytkentätapoja on monia, niin silti audiosignaalin siirrossa on aina pyrittävä käyttämään symmetristä siirrotapaa. On myös muistettava, että jos symmetrisen kytkennän muuttaa ei-symmetriseksi ja sen jälkeen takaisin symmetriseksi niin häiriösietokyky on silloin ei-symmetrisen luokkaa.

## 6 MAALENKKI

### 6.1 Maalenkin syntyperiaate

Yleisin tilanne maalenkin syntymiselle on kun kaksi eri laitetta ottaa virtansa eri pistorasioista, jotka ovat suojamaadoitukseltaan eri potentiaalissa. Tällainen kytkentä on usein vaarallinen, koska laitteiden välille syntyy myös jännite-ero. Samankaltaisia tilanteita tulee usein siirrettävissä nauhoituslaitteistoissa (esim. TV kuvaukset) jolloin kuva-auto saattaa olla kaukanakin kuvauspaikalta. Suojamaan potentiaalierot saattavat tulla hyvinkin suuriksi./7/

Eri laitteissa on usein erilaiset sisäiset impedanssit ja virrat. Kun tämänkaltainen tilanne syntyy, niin laitteet voivat siirtyä eri potentiaaliin maahan nähden. Tasausvirrat syntyvät silloin lähtöliitännän maanapoihin, liittimeen tai verkkolaitteen runkoon.



Kuva 10. Esimerkki maalenkkistä, kun virta otetaan eri pistorasioista, joiden suojakoskettimet ovat eri potentiaalissa./4/

### 6.2 Maalenkin estämistapoja

Monissa kitaravahvistimissa on XLR – lähdon vieressä ”ground lift kytkin” mikä irrottaa suojamaan symmetrisestä kaapeloinnista. Kaikki laitteet ovat silti turvallisesti



kiinni suojamaassa, mutta maalenkki on saatu katkaistua. Kaapeli on silti symmetrinen, koska sen suojavaippa on vielä toisesta päästä kiinni suojamaassa.

Jos vahvistimessa ei ole ”ground lift kytkintä”, niin tilanteen korjaa laite nimeltään DI - Box (Direct Injection Box).



Kuva 11. DI – Box./9/

Kaikkein tärkeintä audiojärjestelmän toimivuuden kannalta on se, että sähkönsyöttö on tarkkaan suunniteltu. Audiojärjestelmä rakennetaan aina tähtimäiseksi, jolloin suojavaadoitus on mahdollisimman tarkkaan samassa potentiaalissa. Helpoin ratkaisu tähtimäisen suojamaan tekemiseksi on vetää lähimmästä kolmivaihepistorasiasta kaikki äänentoiston ja soittimien tarvitsema sähkö. Varmin tapa on ottaa sähkönsyöttö vain yhdestä vaiheesta.

## 7 SÄHKÖLIITTYMÄN MITTAUS

SFS-EN 50160 standardin mukaan sähkön laatumittaus tehdään yleensä 7 päivän ajanjaksona jolloin 10 minuutin välein tallennetaan muun muassa jännitteen RMS – keskiarvo. Mittauksen minimikesto on kaksi tuntia./1/

### 7.1 Sähkönlaadun analysaattori Fluke 434

Fluke 434 sähkönlaadun analysaattori on tarkoitettu kolmivaiheisten sähkönjakelujärjestelmien nopeaan vikakartoitukseen.



Kuva 12. Fluke 434 sähkönlaadun analysaattori./10/

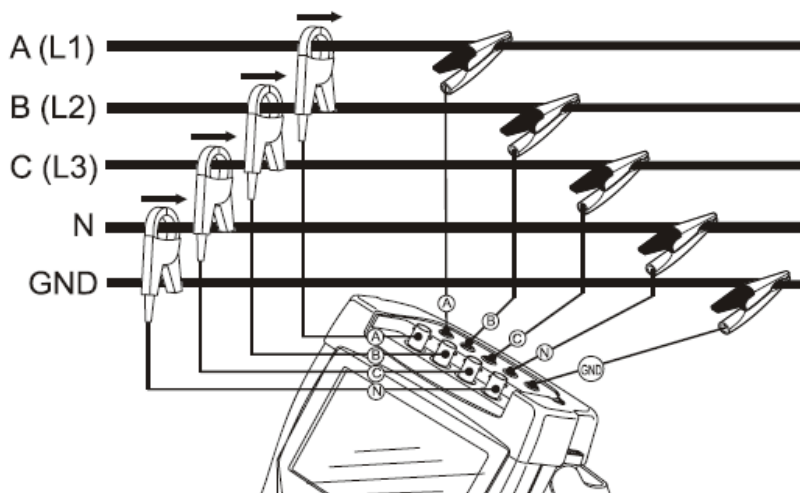
Fluke 434 päävalikon eri mittausvaihtoehdot:

- Phase Voltages (vaihekohtaiset jännitteet)
- Phase currents (vaihekohtaiset virrat)
- Power & Energy (teho ja energia)
- Crest Factor (huippukerroin)
- Harmonics (harmoniset yliaallot)
- Flicker (välkyntä)
- Dips & Swells (kuopat ja jännitemuutokset)
- Frequency (taajuus)
- Unbalance (epäsymmetria)

- Mains Signaling (verkon signaalijännitteet)
- Logger (tiedonkeruutoiminto)
- Monitor (sähkön laadunseuranta)/1/

## 7.2 Laadunmittaus

Sähkön laadunmittaus toteutettiin kohteessa 24 tunnin mittauksella. Päävalikosta valittiin Monitor toiminto ja käytettiin SFS-EN 50160 standardin raja-arvoja/1/. Kohteessa sähkönsyöttö oli toteutettu TN-C järjestelmällä (L1, L2, L3 ja PEN) joka oli nolattu jakokeskuksessa. Kuvaan 13 verrattuna PE (GND) johtimeen ei kytketty hauenleukapuristinta mittausta tehtäessä.



Kuva 13. Analysaattorin kytkentäkaavio./1/

Hetkellisessä mittauksessa jännitteiden käyrät olivat hyvin sinimuotoisia eikä säröytymistä ollut havaittavissa (kuva 14). Mittauksessa saatiin L1 vaiheen jännitteeksi 235.2, joka oli vaihejännitteistä matalin. Jos vaihejännite on alhaisempi kuin 200V, niin on todennäköistä, että audiolaitteistosta alkaa kuulua verkkotaajuista hurinaa. Standardi SFS EN- 50160 määrittelee nimellisjännitteeksi ( $U_n$ ) 230 V vaiheen ja nollan välille/2/.

Jännitteen alenema johtuu yleensä ennen liittymää tapahtuvasta kulutuksesta. Esimerkiksi ”maatilojen lypsy-aika sattuu aina samaan aikaan kun äänitarkkailija testaa

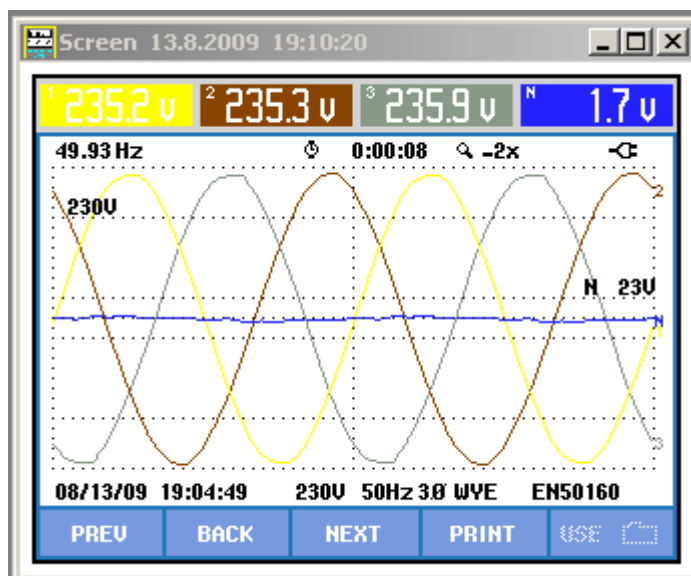
audiolaitteitaan illan tansseja varten”/5/. Jännitteen alenema on sitä suurempi mitä enemmän kulutusposteita on ennen omaa liittymää.

SFS EN-50160 määrittelee jakelujännitteen tehollisarvojen 10min keskiarvon 195,5V ja 253V välille/2/.

Kuvan 14 mittauksessa huomataan, että nollajohto on eri potentiaalissa. Fluke 434 asettaa L1 vaiheen ja nollajohtimen välisen jännitteen vertailujännitteeksi. Tämä nol-lajohtimen jännite asetetaan vertailunollaksi. Muiden vaiheiden jännitteet verrataan tähän nollassoon.

Nollajohtimen potentiaaliero johtuu siinä kulkevasta vuotovirrasta. Tällainen tilanne on erittäin hankala TN-C järjestelmässä, koska jakokeskuksen nollajohdin ja suoja-maa ovat yhdessä. Tämä merkitsee sitä, että myös suojamaadoitusjohdin on eri po-tentiaalissa.

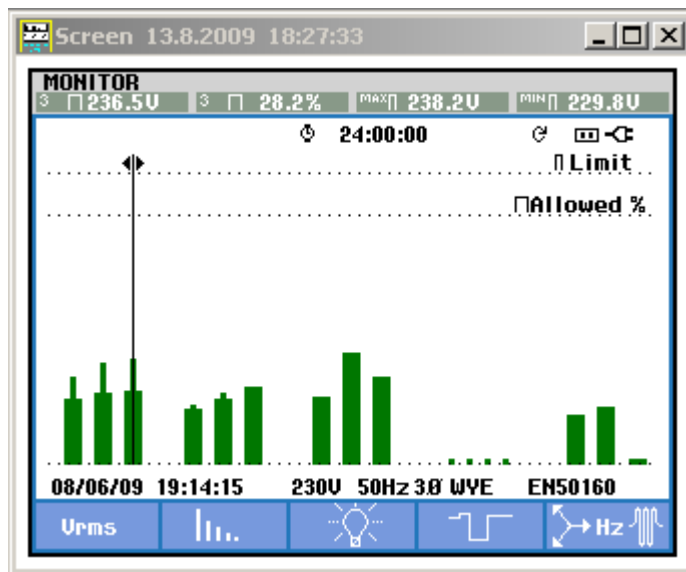
Kohteessa ongelmat syntyivät aina samassa vaiheesta. Kuulokevahvistimen sähkönsyötön siirtäminen toiseen vaiheeseen eliminoi hurinan. Hurinan kuuluminen koros-tui vielä siitä, että vahvistimeen syötetty linjatasoinen signaali ei ollut symmetrisellä kytkennällä toteutettu.



Kuva 14. Vaiheiden ja nollajohtimen jännitteet.

Sähkön laatumittauksen päänäytöstä saatiin nopeasti selville jakokeskukseen tulevan liittymän kunto (kuva 15). Pylvään korkeus ilmoittaa prosentteina kuinka paljon mitausarvo poikkeaa nimellisarvosta. Jos pylväs on muuttunut punaiseksi, niin raja-arvo on ylitetty. Pylväiden merkitys vasemmalta oikealle:

- RMS - jännite (3 pylvästä)
- harmoniset yliaallot (3 pylvästä)
- välkyntä (3 pylvästä)
- jännitekuopat
- jännitekatkokset
- nopeat jännitemuutokset
- kohoumat
- epäsymmetria
- taajuus
- verkon signaalijännitteet



Kuva 15. Sähkönlaadunmittauksen päänäyttö.

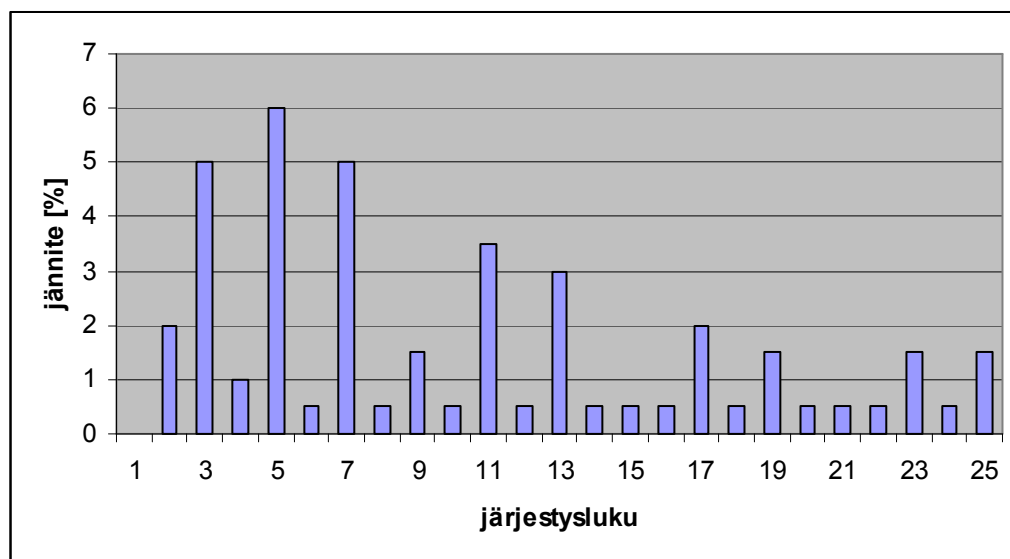
Vuorokauden kestävässä mittauksissa 10min tehollisarvojen keskiarvo oli alimmillaan 229.8V. Jännitekuoppia, -katkoksia ja kohoumia ei ilmennyt mittauksissa. Välkynnän häiritsevyyssindeksi oli standardin rajoissa.

Kuvasta 14 pääteltiin silmämääräisesti onko jännite säröytynyt vertaamalla mittausta puhtaaseen siniaaltoon. Välkyntä, yliaallot ja signaalijännitteet aiheuttavat säröyty-

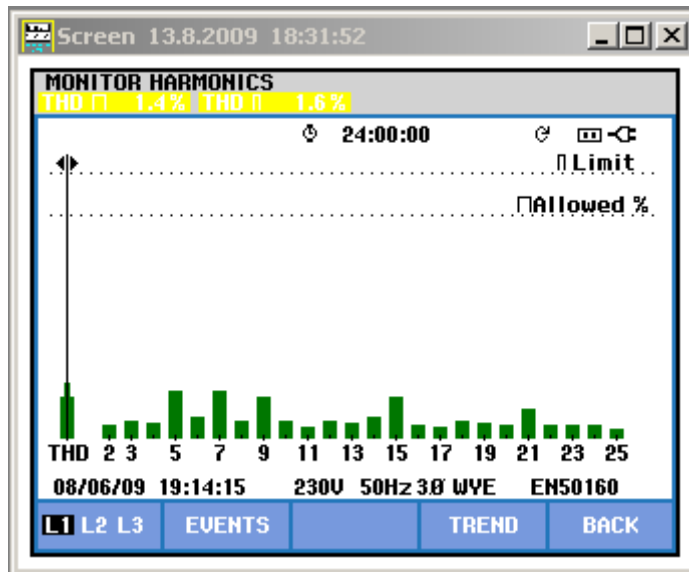
mistä siniaallossa. Fluke 434 sähkönlaadunmittauksen päänäytöstä (kuva 15) verkon signaalijännitteitä ei ollut, joten säröytyminen ei ollut havaittavissa.

Kuvissa 17, 18 ja 19 on kohteessa mitatut vaihekohtaiset harmoniset yliaallot ja kokonaissärö. Standardi SFS EN-50160 määrittelee THD (total harmonic distortion) eli kokonaissärön 8 prosenttiin. Mittauksissa suurin THD arvo oli 1,9 %. Vuorokauden kestävässä mittauksista voidaan päätellä, että liittymä on SFS EN-50160 standardit täyttävä.

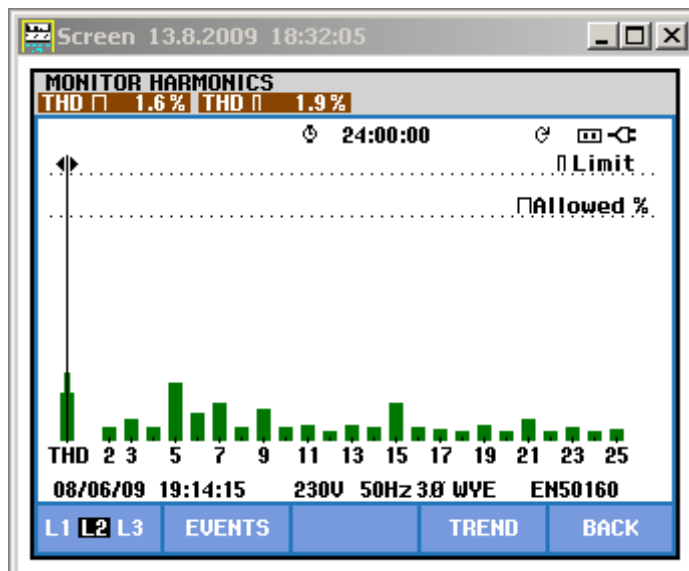
Mittauksissa kaikissa kolmessa vaiheessa 5. 7. ja 9. yliaalto oli muita erottuvampia, mutta mikään niistä ei ylittänyt raja-arvoa (kuva 16)/2/. Mittauksista voidaan myös päätellä että 9. 15. ja 21. yliaalto oli vaiheessa L3 dominoivia, mutta eivät ylittäneet raja-arvoa.



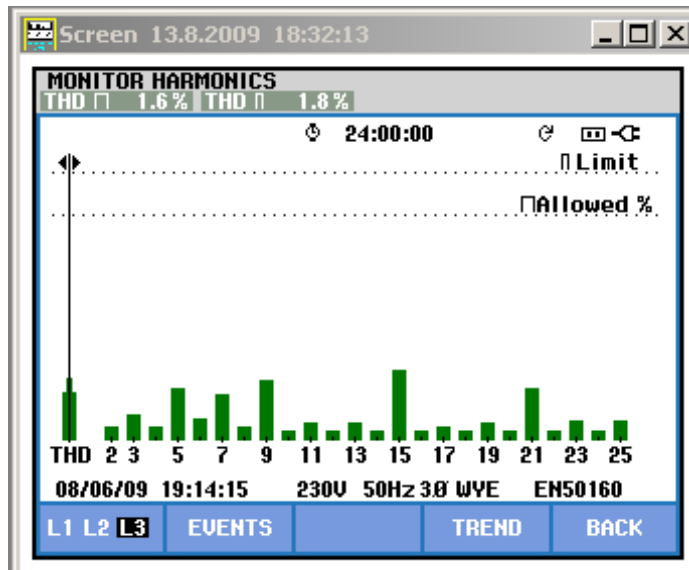
Kuva 16. SFS EN - 50160 standardin määrittelemä harmonisten yliaaltojännitteiden tehollisarvojen säröytymisen sallitut raja-arvot.



Kuva 17. L1 vaiheen kokonaissärö.



Kuva 18. L2 vaiheen kokonaissärö.



Kuva 19. L3 vaiheen kokonaissärö.

Mittauksien perusteella liittymä on SFS EN-50160 standardin asettamien raja-arvojen mukainen.

### 7.3 Standardi: SFS-EN 50160

Standardi SFS-EN 50160 määrittelee yleisen jakeluverkon jännitteen ominaisuudet. Standardi antaa raja-arvot millä välillä liittymän jännitteen pitäisi olla. Standardin määrittelemät jännitteen ominaisuudet:

- taajuus
- suuruus
- aaltomuoto
- kolmivaiheisen jännitteen symmetria/2/

#### 7.3.1 Verkkotaajuus

- 50Hz  $\pm 1$  % (eli 49,5...50.5Hz) 99.5 % vuodesta
- 50Hz+4 % tai -6 % (eli 47...52Hz) 100 % vuodesta/2/

#### 7.3.2 Jännitteen suuruus

Standardinimellisjännite ( $U_n$ ) on 230V vaiheen ja nollan välillä./2/



### 7.3.3 Jännitetason vaihtelut ja jännitemuutokset

Jännitetason vaihtelut määritellään normaaleihin käyttöolosuhteisiin. Vikatapaukset ja keskeytykset eivät kuulu standardin määrittelyyn.

- jokaisen viikon aikana 95 % jakelujännitteen tehollisarvojen 10min. keskiarvoista tulee olla välillä  $U_n \pm 10\%$  (eli 207...253V).
- kaikkien jakelujännitteen tehollisarvojen 10 min. keskiarvojen tulee olla välillä  $U_n + 10\%$  tai  $-15\%$  (eli 195,5...253)./2/

### 7.3.4 Nopeat jännitemuutokset

- nopea jännitemuutos ei yleensä ylitä arvoa  $5\% U_n$ .
- lyhytaikainen jännitemuutos voi olla jopa  $10\% U_n$ .
- jännitemuutos joka aiheuttaa  $1-90\%$  jännite aleneman nimellisjännitteestä kutsutaan jännitekuopaksi. Jännitekuoppa voi kestää 10ms-1min./2/

### 7.3.5 Välkyntä

Välkyntä häiritsevyys ilmoitetaan häiritsevyysindeksillä (Plt). Välkyntä raja-arvo määritellään normaaleihin olosuhteisiin. Viikon aikana indeksin tulisi olla korkeintaan yksi  $95\%$  ajasta./2/

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ongelmana audiolaitteiden häiriöherkkyydelle on linja- tai mikrofonitasoisen signaalisiirron matala jännite. Maksimissaan 20 mV jännitteen omaava mikrofonijohto on erittäin häiriöherkkä 230 V vaihejännitejohdon vieressä. Johdotusten ja laitteiden sijoittelun huolellinen suunnittelu on tärkeää sekä äänitysstudiossa, että liikuteltavien äänentoistolaitteiden käyttöönotossa. Liikuteltavan äänityslaitteiston kytkemisessä joutuu aina tekemään kompromisseja johtoteitä valittaessa. Tällaista ongelmaa ei ää-

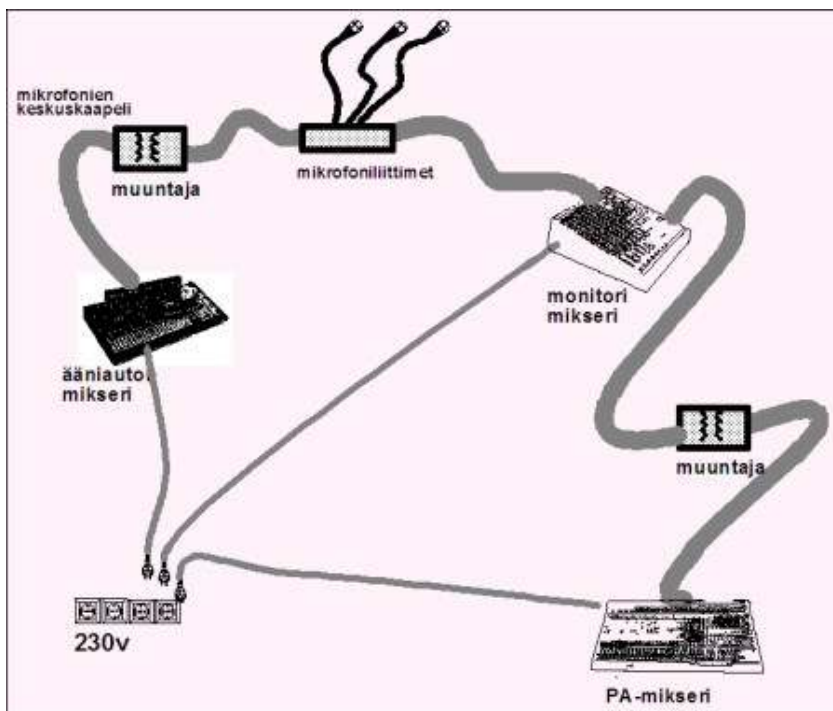
nitysstudioissa ole. Jos johdotuksia tehtäessä joudutaan tekemään kaapeliylitys, niin se on tehtävä kohtisuoraan, jolloin häiriökytkeytymistä ei tapahdu.

Kapasitiivisen ja induktiivisen häiriökytkeytymisen varalta sähkönsyöttöjohdot ja audiosignaali johdot on pidettävä erillään toisistaan. Häiriökytkeytymisen voimakkuuteen vaikuttaa johtimien etäisyys toisistaan, johtimien pituus, permeabiliteetti ja permittiivisyys. Näistä helpointa on vaikuttaa johtimien etäisyyteen ja pituuteen. Johdotujen valitsemisessa ei kannata käyttää halvinta mahdollista johtotyyppiä, koska usein materiaalit kalliimmissa johdoissa ovat huomattavasti parempia mikä taas vaikuttaa suoraan häiriösietokykyyn.

On syytä varmistaa, että signaalijohto on parikierretty ja johtimien ympärillä on suojavaippa. Jo pelkästään parikierretty johdin parantaa häiriösietokykyä. Paras mahdollinen häiriösuojauskyky saadaan kun johtimilla on vielä oma suojavaippa.

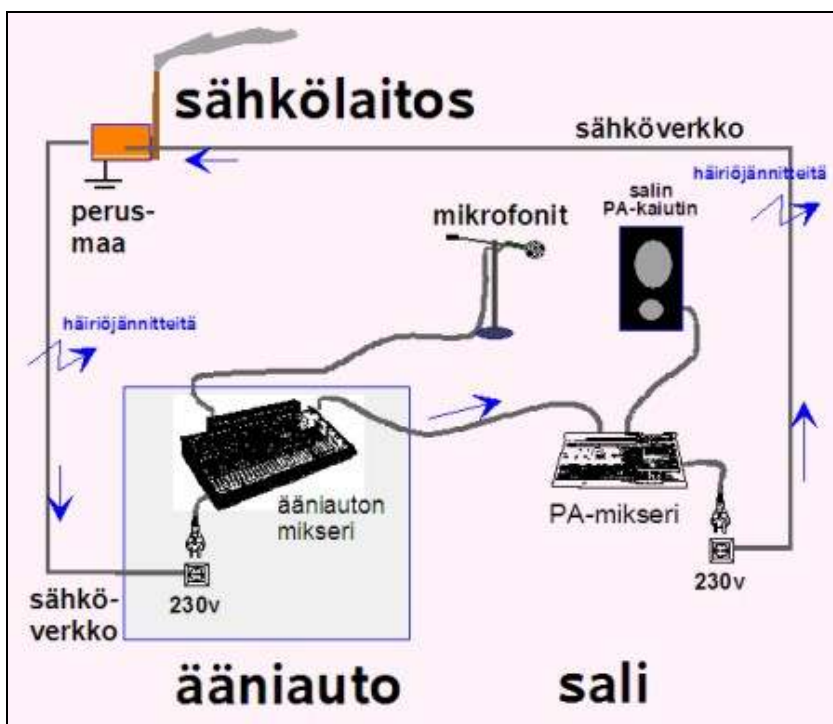
Äänitysstudiota rakennettaessa johtotiet on valittava suorinta mahdollisinta reittiä pitkin eikä johdotuksia saa jättää kelalle. Kelamainen signaalijohdin toimii antennin tavoin ja on erittäin häiriöherkkä induktiiviselle häiriökytkeytymiselle. Kelamainen sähkönsyöttökaapeli kehittää voimakkaan magneettikentän, joten nekin on purettava kelasta ja käytettävä sopivan pituisista sähkönsyöttöjohtoa. Sähkönsyöttöjohdon tulee olla yhtenäinen eli turhat jatkojohdot on syytä unohtaa. Mikrofonijohdon jatkaminen ei ole järkevää, koska liitoskohta on aina huomattavasti alttiimpi häiriöille, kun eheänä jatkuva johdin.

Luvussa 6 käsiteltiin maalenkin syntyperiaatteita ja estämistapoja. Kohteessa kuulokevahvistimen sähkönsyöttö oli otettu eri vaiheesta kuin äänitys mikseri. Kuvassa 20 liikuteltavan laitteiston sähkönsyöttö on otettu vain yhdestä vaiheesta jolloin maalenkkiä ei pääse syntymään. Mikrofonit ja monitori mikseri on erotettu galvaanisesti muuntajalla. Tällainen erottaminen kannattaa tehdä DI – boxilla (kuva 11).



Kuva 20. Suositeltu liikuteltavan äänityslaitteiston periaatekuva./7/

Kuvassa 21 nähdään liikuteltavan äänitysstudion aikaansaama maalenkki kun sähkönsyöttö on otettu eri vaiheista. Nollajohtoon kerääntyy häiriöjännitteitä esimerkiksi tietokoneista, elektroniikkalaitteiden virtalähteistä ja valaistuksen himmentimistä.

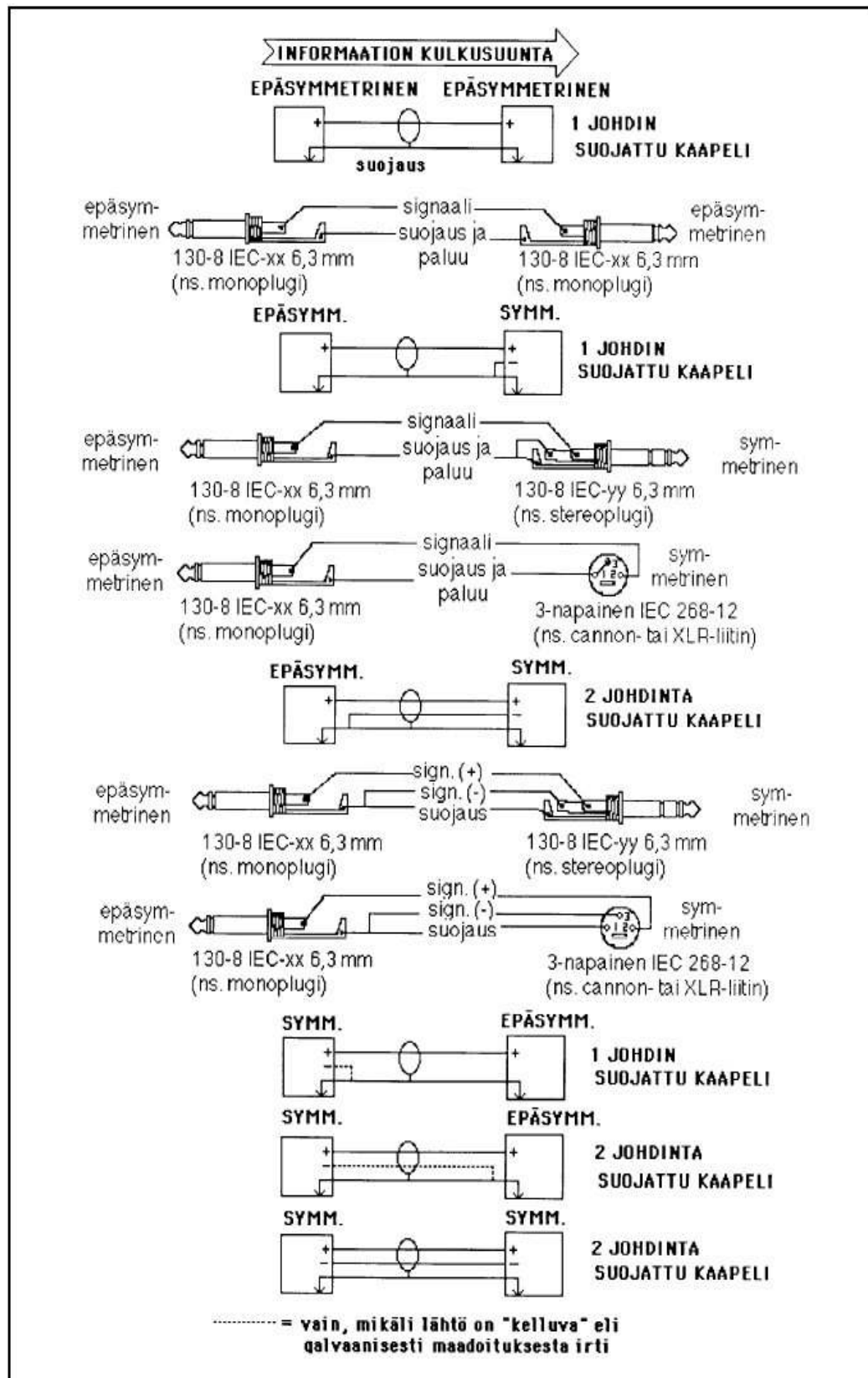


Kuva 21. Maalenkin vapaa kulkeutuminen sähköverkossa./7/

Kohteessa olevaa kuulokevahvistinta voidaan suoraan verrata kuvan 21 PA – mikseriin ja tarkkaamon äänipöytää ääniauton mikseriin. Kahden eri vaiheen pistorasioiden nollajohtojen potentiaali ero oli 1.5V, jolloin 50Hz sinimuotoinen signaalijännite on galvaanisesti tarkkaamon äänipöydän ja kuulokevahvistimen välillä. Kun otetaan huomioon linjatasoisen signaalijännitteen normaali jännitevaihtelu (0...2V), niin voidaan helposti päätellä, että 1.5V häiriöjännite on korvin kuultava, häiritsevän voimakas ja matalataajuinen.

## LÄHTEET

1. Fluke 434/435. Kolmivaiheinen sähkönlaadun analysaattori. Käyttöohje 2006
2. SFS-EN 50160. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. Suomen standarsoimisliitto SFS
3. Kapasitiivinen ja induktiivinen kytkeytyminen [verkkodokumentti]. [viitattu 1.9.2009]. Saatavissa: [http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/EMCs\\_Kapasitiivinen\\_ja%20Induktiivinen.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/EMCs_Kapasitiivinen_ja%20Induktiivinen.pdf)
4. Blomberg, E ja Lepoluoto, A. Audiokirja.[verkkojulkaisu 2005]. [viitattu 1.9.2009]. Saatavissa: <http://ari.lepoluo.to/audiokirja/>
5. Kreivilä, P. Puhelin ja sähköpostikyselyt 6.6.2009 - 8.6.2009
6. Nurmi, J. Puhelin ja sähköpostikyselyt 9.6.2009 – 11.6.2009
7. Brummiongelmia ja maalenkkejä [verkkodokumentti]. [viitattu 1.9.2009]. Saatavissa: [http://www.aanipaa.tamk.fi/m\\_brummi.htm#mozTocId361406](http://www.aanipaa.tamk.fi/m_brummi.htm#mozTocId361406)
8. Kenttä-äänittämisen perusteet [verkkodokumentti]. [viitattu 1.9.2009]. Saatavissa: [http://www.digivideo.fi/content/index.php?option=com\\_content&task=view&id=3536&Itemid=43](http://www.digivideo.fi/content/index.php?option=com_content&task=view&id=3536&Itemid=43)
9. di-box [google kuvahaku]. [viitattu 1.9.2009]. Saatavissa: [http://images.google.fi/images?q=di-box&oe=utf-8&rls=org.mozilla:fi:official&client=firefox-a&um=1&ie=UTF-8&ei=siGkStSaEMrZ-ObdwJjIDw&sa=X&oi=image\\_result\\_group&ct=title&resnum=4](http://images.google.fi/images?q=di-box&oe=utf-8&rls=org.mozilla:fi:official&client=firefox-a&um=1&ie=UTF-8&ei=siGkStSaEMrZ-ObdwJjIDw&sa=X&oi=image_result_group&ct=title&resnum=4)
10. fluke 434 [google kuvahaku]. [viitattu 1.9.2009]. Saatavissa: [http://images.google.fi/imgres?imgurl=http://www.meetinstrumenten-verhuur.nl/images/uploads/products/original/fluke%2520434%2520power%2520analyser.jpg&imgrefurl=http://www.meetinstrumenten-verhuur.nl/verhuur/elektrotechniek/testelektro/elek001&usq=\\_\\_pxYElulSnx9VljcJmATqi-qs8TE=&h=1004&w=1181&sz=525&hl=fi&start=9&um=1&tbnid=aKujAPR-3D7i6M:&tbnh=128&tbnw=150&prev=/images%3Fq%3Dfluke%2B434%26hl%3Dfi%26client%3Dfirefox-a%26rls%3Dorg.mozilla:fi:official%26sa%3DN%26um%3D1](http://images.google.fi/imgres?imgurl=http://www.meetinstrumenten-verhuur.nl/images/uploads/products/original/fluke%2520434%2520power%2520analyser.jpg&imgrefurl=http://www.meetinstrumenten-verhuur.nl/verhuur/elektrotechniek/testelektro/elek001&usq=__pxYElulSnx9VljcJmATqi-qs8TE=&h=1004&w=1181&sz=525&hl=fi&start=9&um=1&tbnid=aKujAPR-3D7i6M:&tbnh=128&tbnw=150&prev=/images%3Fq%3Dfluke%2B434%26hl%3Dfi%26client%3Dfirefox-a%26rls%3Dorg.mozilla:fi:official%26sa%3DN%26um%3D1)



Haastatteluissa käytettyjä kysymyksiä ongelmatilanteiden kartoituksessa:

- Oletteko huomanneet alhaisen jakelujännitteen vaikuttavan audiolaitteiston toimintaan?
- Millä tavoin häiriö ilmeni?
- Onko häiriö ilmentynyt aina tiettyyn aikaan?
- Miten pääsitte häiriöstä eroon?
- Voisitteko kuvailla erityyppisiä häiriöääniä mitä olette kohdanneet?
- Onko ollut hengenvaarallisia tilanteita?
- Miten tärkeänä koette hyvän suojamaadoituksen olemassaolon?
- Oletteko kuulleet ilmiöstä maalenkki?
- Oletteko kuulleet termeistä induktiivinen ja kapasitiivinen häiriökytkeytyminen?
- Onko johtojen ja laitteiden sijoittelulla ollut vaikutusta laitteistojen toimintaan?
- Miten olette järjestäneet sähkönsyötön laitteistoon?
- Mitkä laitteet tai soittimet olivat erityisen herkkiä häiriöille?
- Onko esimerkiksi valaistus tai muu ulkopuolinen laite aiheuttanut häiriöitä audiolaitteissa?
- Mitä toimenpiteitä teette, kun haluatte olla varma, ettei häiriöitä ilmene?