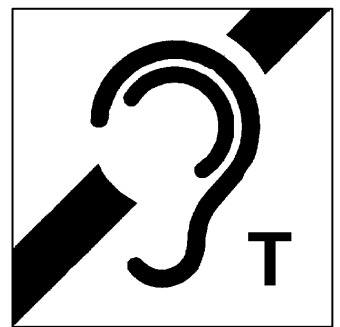


Suomalainen INDUKTIOSILMUKKA- OPAS



Suomalainen induktiosilmukkaopas
Kuuloliitto ry / Qlu Oy
10.12.2020

Sisällys

0	Johdanto	8
1	Kuulemisen perusteet.....	10
1.1	Akustinen ympäristö	10
1.2	Hyvä akustinen ympäristö	10
1.3	Ympäristön häiriöt, jotka haittaavat kuulemista.....	11
1.3.1	Jälkikaiunta	11
1.3.2	Taustamelu	12
1.3.3	Toisten ihmisten puhe	13
1.3.4	Signaali-kohinasuhde	13
1.3.5	Taustamusiikki	13
1.4	Korvan toiminta	13
1.5	Korvan rakenne.....	14
1.6	Kuulonalenema	14
2	Kuulon apuvälineet.....	14
3	Äänensiirtojärjestelmät	15
3.1	Mihin äänensiirtoa tarvitaan?.....	15
3.2	Kuinka äänensiirto toimii?	15
4	Kuulokoje äänensiirtojärjestelmän osana	16
4.1	Kuulokojeen ohjelmointi	16
4.2	Induktiosilmukan vastaanottokela kuulokojeessa	16
4.3	Erityyppiset kuulokojeet ja induktiosilmukka	17
4.3.1	Korvakäytäväkojeet.....	17
4.3.2	Konkkakojeet	17
4.3.3	Korvantauskojeet	17
4.3.4	Taskukojeet.....	18
4.3.5	Luujohtokojeet.....	18
4.4	Leikkauksella asennettavat kuulokojeet	18
4.4.1	Sisäkorvaistute, CI	18
4.4.2	Aivorunkoistute.....	18
4.5	Muut kuulon apuvälineet ja induktiosilmukka	19
4.5.1	Kommunikaattori	19
4.5.2	Langattomat kuulokkeet	19

5	Lait, asetukset, standardit, ohjeet	19
6	Silmukan suunnittelu	21
6.1	Pieni huonetila.....	21
6.2	Iso huonetila.....	22
6.3	Useampia silmukoita samassa tilassa	22
6.4	Vaihesiirtosilmukka	22
6.5	Estosilmukka.....	23
6.6	Silmukan sovelluksia	24
6.6.1	Palvelupistesilmukka.....	24
6.6.2	Kaulasilmukka.....	24
6.6.3	Tyynysilmukka.....	24
6.6.4	Tilapäiset silmukat.....	24
7	Äänilähteet	24
8	Taustahäiriöt	25
9	Silmukkajärjestelmän asennus	25
9.1	Silmukkajohto.....	25
9.2	Silmukkajohdon asennus	25
9.3	Silmukkavahvistimen valinta.....	26
9.4	Silmukkavahvistimen asennus	26
10	Äänentoistojärjestelmät.....	28
11	Äänensiirtojärjestelmä.....	29
11.1	Mihin äänensiirtoa tarvitaan.....	29
11.2	Induktiosilmukka (T)	29
11.3	Infrapunajärjestelmät (IR)	30
11.4	Radiotaajuusjärjestelmät (FM tai RF)	31
11.5	WLAN järjestelmät	32
12	Äänensiirtojärjestelmän kytkeminen äänentoistojärjestelmään.....	32
13	Induktiosilmukka kuulolaitetta käyttävän henkilön apuvälineenä	33
13.1	Kuulolaitteen käyttöönotto	33
13.2	Kuulolaitteen käyttö	33
13.3	Musiikin kuuntelu induktiosilmukalla	34
14	Induktiosilmukka	34
14.1	Induktiosilmukkastandardi	34
14.1.1	Muita huomioita.....	34
14.1.2	Standardin mukainen sähkömagneettisen signaalin kentän voimakkuus.....	35
14.1.3	Induktiosilmukan esteettömyysmerkinnät	36
14.1.4	Sähkömagneettiset häiriöt.....	37
15	Induktiosilmukkajärjestelmän suunnittelu	39
15.1.1	Määrittely	40
15.1.2	Järjestelmän suunnittelu.....	42

15.1.3	Suunnittelun erityispiirteitä	42
15.1.4	Vahvistimen valinta	49
15.2	Induktiosilmukkajärjestelmän asennus	49
15.2.1	Asennustapoja	50
15.3	Silmukkajärjestelmän säätö ja testaus.....	51
15.3.1	Tulosignaalin tason säätö.....	51
15.3.2	Sähkömagneettisen kentän voimakkuus	52
15.3.3	Metallihäviöiden korjaus / taajuusvasteen säätö.....	52
15.3.4	Vahvistimen ylikuormitus / särö	53
15.3.5	Häiriökentät.....	54
15.4	Silmukkajärjestelmän asennuksen lopputarkastus ja luovutus käyttäjälle	56
15.5	Silmukkajärjestelmän ylläpito	58
15.5.1	Tarkastusmittaus.....	58
15.5.2	Jatkuva-aikainen valvonta	58
15.5.3	Dokumentaatio	59
15.6	Tyypillisiä ongelmia	59
15.6.1	Liian pienitehoinen vahvistin.....	59
15.6.2	Silmukkajohtimen valinta.....	59
15.6.3	Silmukkajohtimen sijoitus väärälle korkeudelle	59
15.6.4	Tilajakoa ei ole huomioitu	60
15.6.5	Järjestelmän käyttöönotto on tekemättä	60
15.6.6	Virheellinen silmukka-antennin rakenne tai virran suunnat	60
15.7	Silmukkavahvistimet.....	61
15.7.1	Perinteiset silmukkavahvistimet.....	61
15.7.2	D-luokan vahvistimet.....	62
15.8	Testauslaitteet.....	63
15.8.1	Kenttävoimakkuusmittari	63
15.8.2	Kuuntelulaite	64
15.9	Silmukka-arkkitehtuurit	65
15.9.1	Yksinkertainen silmukka (reunasilmukka).....	65
15.9.2	Monilenkkinen silmukka (8-silmukka)	66
15.9.3	Estosilmukka.....	66
15.10	Vaihesiirtosilmukka	67
15.11	Palvelupistesilmukka	67
15.11.1	Kiinteä palvelupistesilmukka.....	68
15.11.2	Siirrettävä palvelupistesilmukka	69
15.12	Kaulasilmukka	69
15.13	Tyynysilmukka	70
16	Äänilähteet.....	70
16.1	Mikrofonit	70

16.1.1	Dynaaminen mikrofoni.....	71
16.1.2	Kondensaattorimikrofoni.....	71
16.1.3	Elektreettimikrofoni.....	72
16.1.4	Nauhamikrofoni.....	72
16.1.5	Painevyöhykemikrofoni.....	72
16.1.6	Langattomat mikrofonit.....	73
16.1.7	Erikoismikrofonit.....	75
16.1.8	Mikrofonien sijoittaminen.....	76
16.1.9	Kampailmiö.....	80
16.1.10	Kriittinen etäisyys.....	81
16.1.11	Mikrofoniin puhuminen.....	82
16.2	Muut äänilähteet.....	82
16.2.1	CD-, DVD-, BlueRay-soitin.....	82
16.2.2	Televisio ja Digiboxi.....	82
16.2.3	Tietokone.....	83
16.2.4	Kannettavat soittimet ja matkapuhelin.....	83
17	Liittimet.....	83
17.1	XLR.....	83
17.2	Speakon.....	84
17.3	Scart.....	85
17.4	RCA.....	86
17.5	Plugi / jakki.....	86
17.6	Din-liittimet.....	87
17.7	TOSLINK.....	89
17.8	Banaaniliitin.....	89
18	Signaaliakaapelit.....	90
18.1	Balansoitu kytkentä.....	90
18.2	Balansoimaton kytkentä.....	90
19	Kaiuttimet.....	92
19.1	Kaiuttimen suuntaavuus.....	92
19.2	Aktiivikaiuttimet.....	93
19.3	Passiivikaiuttimet.....	94
19.4	Kaiuttimien sijoittelu.....	94
20	Induktiosilmukan historiaa.....	95
20.1	Muuntaja.....	96
20.2	Kuuntelusauva.....	96
20.3	Silmukkavahvistin.....	97
21	Induktio-ilmiön fysikaalinen tausta.....	98
21.1	Sähkömagneettinen kenttä.....	98
21.2	Sähkömagneettisen kentän voimakkuus silmukassa.....	100

22	Käsitteitä.....	100
22.1	AGC	100
22.2	Akustiikka.....	101
22.3	A-painotus.....	101
22.4	Balansoitu siirtotie	101
22.5	dB -käsite	102
22.6	dBu	102
22.7	dBV	102
22.8	dB L	102
22.9	EHIMA.....	103
22.10	IHLMA	103
22.11	Kiertoilmiö.....	103
22.12	Kompressorit	103
22.13	Limitteri.....	104
22.14	Linjatasoinen signaali	104
22.15	Metallihäviö (metal loss)	104
22.16	Metallihäviön korjaus säätö.....	104
22.17	Mikrofonitasoinen signaali.....	104
22.18	Taajuusvaste	105
22.19	Vaihevaste.....	105
23	Sanasto	106

Suomalainen induktiosilmukkaopas

0 Johdanto

Tämän oppaan lähtökohtana on ollut tarve saada suomenkielinen opas induktiosilmukajärjestelmien tilaajille, suunnittelijoille, asentajille, testaajille ja käyttäjille.

Oppaassa käydään läpi silmukajärjestelmän toteutusvaihtoehtoja, rakenteita, komponentteja ja kytkentöjä.

Induktiosilmukalla tarkoitetaan tässä oppaassa kuulovammaisten apuvälinettä, jonka avulla ääni siirtyy kuulokojeeseen sähkömagneettisen kentän välityksellä.

Opas jakautuu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa pyritään avaamaan induktiosilmukkaan ja sen käyttöön liittyviä asioita kansantajuisesti. Toisessa osassa syvenytään tekniikkaan ja teoriaan.

Induktiolla nopeammin ja tehokkaammin

RUUANVALMISTUS induktiotasolla on nopeampaa ja energiatehokkaampaa kuin perinteisellä liedellä. Työtehoseuran vertailussa induktiokeitto-taso kulutti 18 prosenttia vähemmän sähköä kuin perinteinen keraaminen taso ja noin 46 prosenttia vähemmän kuin valurautalevyt.

Induktiotasolla lämpö synnytetään suoraan keittoastian pohjaan. Lisäksi taso menee pois päältä, kun kattila nostetaan keittoalueelta.

Hintahaitari on suuri, 200–4 000 euroa. Kattilan pohjan on oltava magneettista materiaalia, joten vanhat kattilat saattavat mennä vaihtoon.



Aeg:n wokkitaso HC451500EB asennetaan tavanomaisen induktiotason viereen. Suositushinta on 1 699 e, www.aeg.fi.

HS 17.10.2011

Helsingin Sanomien leikkeessä tosin puhutaan induktioliesistä, mutta jutun otsikko "Induktiolla nopeammin ja tehokkaammin" sopii myös tässä oppaassa käsiteltävään induktiosilmukkaan. Ääni tulee kuulijalle ilman viivettä ja induktiosilmukka on äänen-siirtojärjestelmistä kustannustehokkain.

Yleinen osa

1 Kuulemisen perusteet

Jos metsässä kaatuu puu ja kukaan ei ole kuulemassa, kuuluuko ääni? kysyy vanha kiinalainen arvoitus. Tätä filosofian puolelle kallistuvaa kysymystä voi toki pohtia monelta kantilta.

Wikipedia-tietosanakirjan mukaan ääni on kuultavissa olevaa mekaanista aaltoliikettä tai mainitun aaltoliikkeen kuuloelinten kautta aiheuttama kuuloaistimus tajunnassa. Wikipedian kaksiosaisen määritelmän ensimmäinen osa ei siis ota kantaa, onko kuuli- ja läsnä vai ei. Riittää, että ääni on mahdollista kuulla, jos joku sattuisi olemaan kuulemassa.

Tässä oppaassa äänestä puhuttaessa tarkoitetaan kaikkea sellaista ilman tai muun väliaineen värähtelyä, joka osuu ihmisen kuuloalueelle (noin 20 Hz – 20 kHz).

Normaalioloissa ääni etenee ilman välityksellä pitkittäisenä aaltoliikkeenä ja saavuttaessaan korvan, syntyy kuuloaistimus.

1.1 Akustinen ympäristö

Akustiikaksi nimitetään oppia, joka käsittelee äänen etenemistä ilmassa tai muussa väliaineessa.

Akustisella ympäristöllä käsitetään tässä tapauksessa kaikkia niitä tilanteita, jossa ääni etenee ilman ja tilan rakenteiden välityksellä.

Akustiikka vaikuttaa siihen, miten koemme ympäristön äänet. Äänimaailma riippuu siitä, kuinka äänet johtuvat tilan rakenteissa ja heijastuvat tai vaimenevat eri pinoissa.

Akustiikkasuunnittelulla hallitaan äänen johtumista, heijastumista ja vaimentumista eri pinoilla ja siten saadaan ääni käyttäytymään tilassa halutulla tavalla.

Myös ulkopuolisten äänien kuuluminen tilassa on tärkeä osa akustiikkasuunnittelua. Asia täytyy ottaa huomioon jo rakennuksen sijoittelua ja perusrakenteita suunniteltaessa. Valitettavasti tämä osio jää useimmiten huomioimatta rakennuksen suunnittelussa.

1.2 Hyvä akustinen ympäristö

”Huoneen hyvällä akustiikalla tarkoitetaan sellaisia äänisuhteitten ominaisuuksia, että huoneessa esitetty puhe ja musiikki kuuluu korvaan kauniina, luonnollisena ja selvänä huoneen jokaisessa kohdassa.”

Diplomi-insinööri U. Varjo 1938

Edellisessä hyvän akustiikan määritelmässä on tuotu esiin erilaiset äänitilanteet, puhe ja musiikki, jotka kumpikin edellyttävät huoneen akustiikalta erilaista ratkaisua.

Hyvän akustiikan toteuttaminen edellyttää, että tilan käyttötarkoitus on tiedossa. Musiikki vaatii erilaiset ratkaisut kuin puhe-esitykset. Toimistotiloissa akustiikalta edellytetään erilaisia ominaisuuksia kuin teollisuushallissa.

Välillä akustiikassa joudutaan tekemää kompromisseja. Monitoimitilat, joissa esitettään sekä musiikkia, että puhetta suunnitellaan siten, että molemmat toiminnot ovat mahdollisia, mutta välttämättä tila ei ole huippuhyvä kummassakaan.

Toinen tärkeä asia on se, että kuuluvuuden on hyvä olla hyvä joka paikassa. Akustiikkasuunnittelussa onkin pyrkimyksenä se, että oikein sijoitetut ja suunnatut vaimennuspinnat, heijastuspinnat ja muut akustiset elementit jakavat äänen tasaisesti kaikille tilaan säilyttäen äänen spektrijakauman alkuperäisen kaltaisena.

Hyvä akustiikka on tärkeä myös käytettäessä kuuntelun apuvälineitä. Kuuntelujärjestelmään on saatava mahdollisimman puhdas ääni, tilan kaikuisuus tai taustääänet eivät saa häiritä mikrofonia järjestelmään menevää ääntä.

1.3 Ympäristön häiriöt, jotka haittaavat kuulemista

Ääniympäristö harvoin on täysin ihanteellinen. Tilan liiallinen kaikuisuus ja taustamelu häiritsevät mm. selvän saamista puhetta kuunneltaessa.

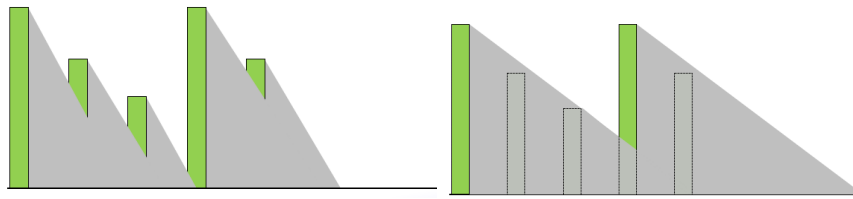
1.3.1 Jälkikaiunta

Jälkikaiunta on ilmiö, jossa tilassa aiheutettu ääni, esimerkiksi puhe tai musiikki, heijastuu tilan pinnoista useaan kertaan peräkkäin ja jää kuulumaan tilaan alkuperäisen äänen loputtua.

Jälkikaiunta-aika on se aika, jona äänenvoimakkuus tilassa laskee 60 dB sen jälkeen, kun äänilähde on lakannut toimimasta. Käytännössä jälkikaiunta-aika on se aika, jona kaikuääni lakkaa kuulumasta.

**Akustiikka eli äänioppi on
fysiikan haara, joka tutkii
ääntä, mekaanista
aaltoliikettä kaasussa,
nesteeessä ja kiinteän
olomuodon väliaineessa.**

Jälkikaiuntaa voisi kuvata tekstillä, jonka päällä on sama teksti useaan kertaan, mutta aina hieman eri kohdassa. Näin varsinaisen tekstin lisäksi syntyy lukemista haittaava epäselvyys.



Lyhyt jälkikaiunta mahdollistaa sanan kaikkien äänteiden erottelun. Jos tilassa on liian pitkä jälkikaiunta, peittää voimakkaimpien äänteiden aiheuttama kaiunta hiljaisempia ääniä ja puhe muuttuu näin epäselväksi.

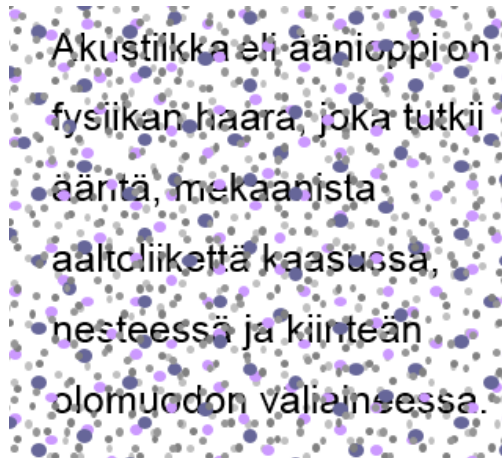
1.3.2 Taustamelu

Taustamelu muodostuu kaikista niistä äänistä, joita emme ole kuuntelemassa.

Jos puistossa haluamme keskustella kaverin kanssa, taustääniä ovat tuulen kohina, liikenteen melu ja linnun liverrys läheisessä puussa.

Jos taas olemme puistossa kuuntelemassa linnunlaulua, taustääniä ovat tuulen ja liikenteen aiheuttamien äänien lisäksi muiden ihmisten puhe.

Sisätiloissa taustamelua aiheuttavat mm. ilmanvaihto, kylmälaitteiden kompressorit, ihmisten liike ja vaatteiden kahina. Esitystekniikan komponenttien aiheuttama taustääni voi olla hyvinkin äänekästä ja tilan ulkopuolelta voi kantautua vaikkapa liikenteen ääntä.



Taustamelu sekoittaa aina puhetta ja vaikeuttaa kuuntelemista.

1.3.3 Toisten ihmisten puhe

[illegible]

uh on tärkein ihmistenvälisen kommunikoinnin muoto. Käsitteet puhe-
alanla mekaanista puhe- ja kuuloalanla lauseen edellytyksiä
uheenä on oltava riittävästi voimakasta ja sanojen erotuttava riittävästi
älvästi, jotta puhe olisi ymmärrettävissä. Taajuudeltaan matalamm-
kaalit kuuluen puheesta koskettamattaisiua konsonantteja helpommin
uhea- ja kuuloalanla lauseen edellytyksiä. Puhe-
rottaminen vaikuttavat: Tilan taustamelu, tilan kaikkuisuus, puhe-
simakkuus ja selvyyys, häiriötilaisuus, puheen tason (puhe-
simakkuus) ja taustan melutason välinen erotus eli erottavuus
n tunti- ja kuuloalanla lauseen edellytyksiä. Puhe-
Tavanomaisen puheen tason ollessa noin 50-60 dB (A) häiriömelu-
iso saa olla enintään 35-45 dB (A) puheen erottumisen vaikeutumatta
siiräme- ja kuuloalanla lauseen edellytyksiä. Puhe-
lissa- ja kuuloalanla lauseen edellytyksiä. Puhe-
aremmi puhetta peittävä. Taustamelu ja jälkikaivun yhteisvaikutus
uheen erottamiseen on vielä suurempi kuin niiden yhteenlaskettu

Kuulostusalueen ääriarvot ovat
fysiikkaa korottaen, jolloin 16 kHz
1000 Hz:stä 20 Hz:ääntä ei ole mahdollista kuulla
nimestään, jolloin 1000 Hz
ääntä ei ole mahdollista kuulla.

Pahin häiriötyyppi puheen kuuntelun kannalta on toisten ihmisten puhe. Mitä lähempänä voimakkuudeltaan häiriöpuhe on sitä puhetta, mitä haluaisimme kuunnella, sitä enemmän se häiritsee.

1.3.4 Signaali-kohinasuhde

Signaali-kohinasuhde (Signal-Noise ratio) kuvaa kuunneltavan signaalin – esimerkiksi kaverin puheen – ja häiriöäänien voimakkuuden välistä eroa. Jos kaverisi puhuu 56 dB:n voimakkuudella ja taustamelun taso on 45 dB, signaali-kohinasuhde on tällöin 11 dB.

1.3.5 Taustamusiikki

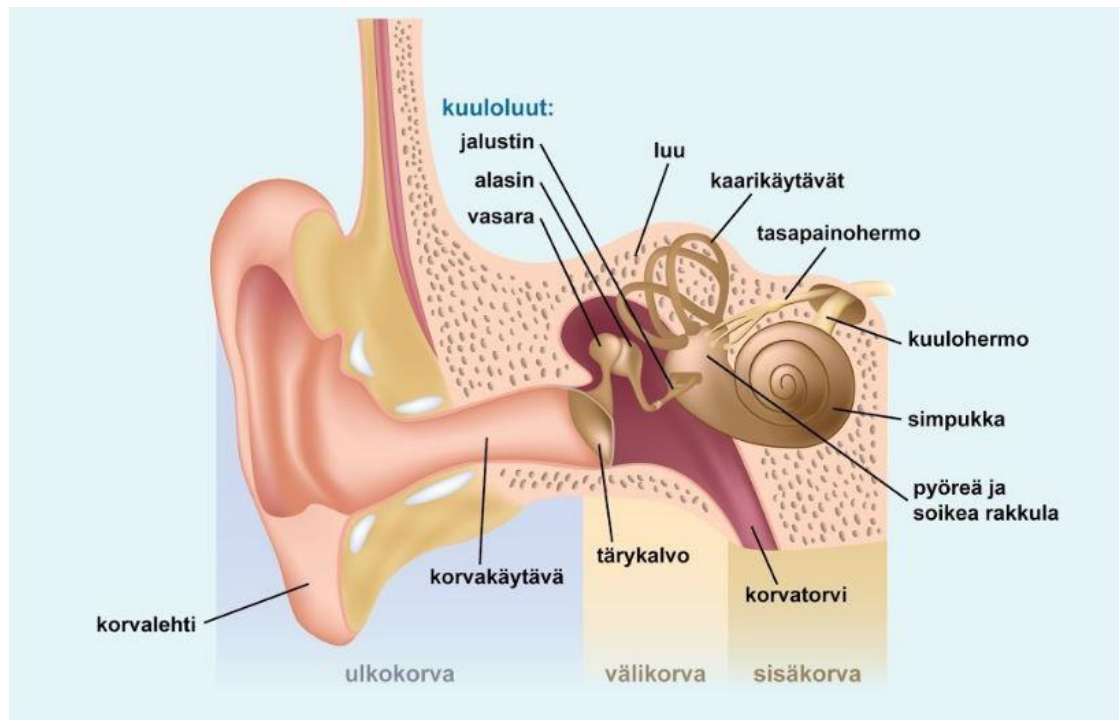
Kun haluamme kuunnella puhetta, on myös taustamusiikki häiritsevää.

1.4 Korvan toiminta

Ääni saa korvan tärykalvon värähtelemään. Kuuloluut siirtävät värähtelyn simpukkaan, jonka sisällä olevat aistinkarvasolut aistivat äänen korkeuden. Aistinkarvasolujen lähettämä informaatio siirtyy kuulohermoa pitkin aivojen kuulokeskukseen, jossa tieto käsitellään ja tajutaan sanoina, kellon tikityksenä tai jonain muuna äänenä.

Äänien luokitteluun tarvitaan aivojen tietopankkia, johon on kertynyt näytteitä eri äänistä, kellon tikityksestä ja Elviksen laulusta. Näihin aiempiin muistikuviiin vertaamalla tiedämme, mikä ääni parhaillaan kuului.

1.5 Korvan rakenne



Korva on elin, joka muuttaa ääneksi kutsutun ilman värähtelyn hermoimpulsseiksi, jotka aivot voivat tulkita joko puheena, musiikkina tai muina ääninä.

1.6 Kuulonalenema

Kuulonalenema merkitsee sitä, että korvan kyky vastaanottaa tiettyjä ääniä on alentunut.

Kuulonaleneman voi aiheuttaa esimerkiksi sairaudet, perinnölliset tekijät tai ulkopuolinen pitkään kestänyt voimakas ääni. Myös äkillinen voimakas impulssiääni voi vaurioittaa korvaa.

2 Kuulon apuvälineet

Alentunutta kuuloa voidaan kompensoida erilaisilla teknisillä apuvälineillä, joilla vahvistetaan akustista ääntä tai muutetaan ääni sähköimpulsseiksi, joilla aktivoidaan kuulohermojen päitä tai suoraan kuuloaivokuorta. Vaikeissa kuulovammoissa voidaan myös käyttää erilaisia värähteleviä laitteita helpottamaan tiettyjen taajuuksien aistimista tuntoaistin kautta.

Kuulokojeita on erikokoisia. Periaatteessa pienimmät korvakäytävään sijoitettavat kojeet sopivat lievemmille kuulonalenemille ja korvan taakse sijoitettavista kojeista saa vahvistusta vaikeisiin kuulonalenemiin.

Kuulon apuvälineistä on kerrottu enemmän kohdassa 4. Kuulokoje äänensiirtojärjestelmän osana

3 Äänensiirtojärjestelmät

3.1 Mihin äänensiirtoa tarvitaan?

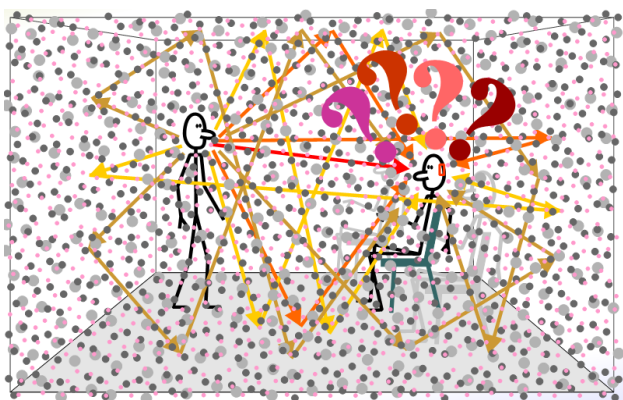
Normaalisti puhe ja muutkin äänet etenevät ilmassa värähtelyliikkeenä. Halutun äänen, esimerkiksi puhujan puheen, lisäksi läsnä on paljon muitakin ääniä. Muut lähellä olevat ihmiset puhuvat keskenään, ilmanvaihto aiheuttaa suhinaa, kun ilma virtaa kanavistoissa ja venttiilien läpi, monet laitteet – jääkaappi, pakastin, rahapelit – aiheuttavat ääntä, joka häiritsee puheen kuuntelua. Lisäksi tulee tilan akustiikasta johtuva kaikuisuus, joka kertaa sekä haluttua puhetta, että häiriöääniä, ja tekee puheen kuuntelusta hankalaa.

3.2 Kuinka äänensiirto toimii?

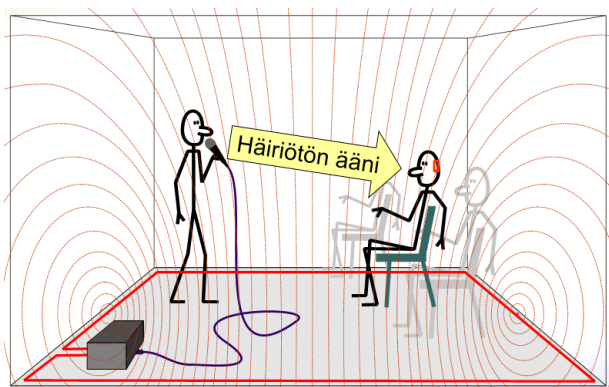
Äänensiirtojärjestelmä siirtää äänen muuta kautta kuin akustisesti ilman välityksellä kuulijalle.

Äänensiirtojärjestelmiä ovat induktiosilmukka, infrapunajärjestelmät ja radiotaajuuksilla toimivat järjestelmät.

Kehitteillä on myös mobiiliverkon käyttöön perustuvia äänensiirtojärjestelmiä. Näissä esiintyvä viive voi kuitenkin haitata kuulovammaisten käytössä huulion ja äänen ollessa eri vaiheissa. Tulevaisuudessa järjestelmät kehittynevät paremmiksi.



Puhujan kuulemista häittaavat tilassa oleva taustamelu sekä tilan kaikuisuus.



Äänensiirtojärjestelmän avulla ääni siirretään kuulijalle joko suoraan kuulokojeeseen tai lisälaitteeseen. Näin tilan akustiset häiriöt saadaan ohitettua

Tässä ohjeessa keskitytään induktiosilmukkajärjestelmiin.

Induktiosilmukka äänensiirtojärjestelmänä on ainoa standardisoitu ja toimii siten kaikkialla ja kaikilla standardin mukaisilla osilla (silmukkavahvistimet, antennijohdotus, kuulokojeet...) samalla tavalla.

4 Kuulokoje äänensiirtojärjestelmän osana

4.1 Kuulokojeen ohjelmointi

Kuulokojeisiin voidaan ohjelmoida erilaisia toimintoja erilaisia kuuntelutilanteita varten.

M-asennossa ääni tulee kuulokojeen oman mikrofonin kautta.

T-asennossa äänisignaali indusoituu kuulokojeen vastaanottokelaan. Kuulokojeen oma mikrofoni kytkeytyy pois ja ääni kuuluu ainoastaan induktiosilmukan kautta. Näin ympäristön hälyäänet eivät vaikeuta kuuntelua.

MT-asento on edellisten yhdistelmä. Ääni kuuluu sekä kuulokojeen mikrofonin että induktiosilmukan kautta.

Lisäksi kuulokojeissa voi olla valittavissa ohjelmia erilaisia kuuntelutilanteita varten. Esimerkiksi kahdella mikrofonilla aikaansaatu suuntakuulo kuuntelee edestäpäin tulevia ääniä ja vaimentaa takaa tai sivulta tulevia (häiritseviä) ääniä. Musiikin kuunteleluun tarkoitettussa ohjelmassa taajuusvaste pyritään saamaan mahdollisimman suoraksi, jolloin musiikki kuuluu luonnollisena.

4.2 Induktiosilmukan vastaanottokela kuulokojeessa

Induktiosilmukan kautta lähetetyn äänen vastaanottaminen tapahtuu vastaanottoke-
lan avulla.

Käyttäjälle yksinkertaisinta on, jos vastaanottokela on kuulokojeessa. Tällöin ei tarvita mitään ylimääräisiä laitteita tai osia induktiosilmukan kuunteluun. Vastaanotto-
kela on pieni ja halpa komponentti, eikä se kuluta ylimääräistä virtaa kuulokojeessa.

Induktiosilmukan eduista huolimatta kaikissa kuulokojeissa ei vastaanottokelaa ole. Tämä voi johtua kojeen pienestä koosta (esimerkiksi korvakäytävän sisään menevät kojeet), jolloin vastaanottokelaa ei saada mahtumaan kojeen sisään tai kojevalmistajan valinnoista.

Kuulokojevalmistajilla on eri käyttötarkoituksiin soveltuvia lisäosia, joilla ääntä voidaan siirtää joko suoraan kuulokojeeseen integroituun vastaanottoon tai kaulassa pidettävään keskusyksikköön, joka siirtää äänen kuulokojeisiin. Valikoimiin kuuluu joukko puhujan kaulaan tai vaatteisiin ripustettavia mikrofoneja, suuntaavia mikrofoneja, koksopöydälle asetettavia mikrofoneja ja ulkoiseen äänilähteeseen (esim. TV, radio) liitettäviä lähetinyksiköitä.

Nämä laitteet ovat yhteensopivia vain tietyn kuulokojemerkin tai laiteperheen sisällä.

Valmistaja haluaa sitouttaa kojeen käyttäjän oman merkin laiteperheeseen. Induktiosilmukka koetaan kilpailevana järjestelmänä, minkä vuoksi vastaanottokela jätetään pois kuulokojeesta.

Julkisessa tilassa voi olla kuulijana kuka tahansa ja kuulokojeen käyttäjillä erimerkkinä kuulokojeita. Käytettävä äänensiirtojärjestelmä on valittava siten, että kaikilla kuulokojeen käyttäjillä on mahdollisuus sen kuuntelemiseen.

Induktiosilmukka on hyvä valinta äänensiirtojärjestelmäksi etenkin julkisessa rakentamisessa. Kaikki kuulokojeet, jotka on varustettu vastaanottokelalla, voivat toimia äänen vastaanottajina valmistajasta tai merkistä riippumatta.

4.3 Erityyppiset kuulokojeet ja induktiosilmukka

Kuulokojeet luokitellaan sen mukaan, mihin kohtaan korvaa koje asettuu. Esimerkiksi korvakäytäväkoje sijoitetaan korvakäytävään, konkkakoje konkaksi-kutsuttuun korvalehden poimuun ja korvantauskoje korvalehden taakse.

Erityyppisistä kojeista käytetään usein englannin kielestä johdettuja lyhenteitä.

IIC	Invisible in the Canal	Kokonaan näkymättömiin korvakäytävään menevä koje
CIC	Completely in Canal	Kokonaan korvakäytävään menevä koje
ITC	In the Canal	Korvakäytävään menevä koje
ITE	In the Ear	Korvan poimuun menevä koje. Konkkakoje.
BTE	Behind the Ear	Korvan takana pidettävä koje, korvantauskoje.
RIC	Receiver in Canal	Kojeen kuuloke (ja mikrofoni) ovat korvakäytävässä.

4.3.1 Korvakäytäväkojeet

Korvakäytäväkoje (CIC, ITC) sijoittuu kokonaisuudessaan korvakäytävään. Kojeeissa on pieni ”siimanpätkä”, josta vetämällä koje saadaan pois korvakäytävästä. Pienimmissä kuulokojeissa induktiosilmukan vastaanottokela puuttuu tilanpuutteen takia.

4.3.2 Konkkakojeet

Konkkakoje (ITE) on korvakäytäväkojesta suurempi ja asettuu korvalehden konkaksi kutsuttuun poimuun. Konkkakojeessa on tilaa myös induktiosilmukan vastaanottokelelle.

4.3.3 Korvantauskojeet

Korvantauskoje (BTE) asettuu nimensä mukaisesti korvan taakse. Kojesta ääni johdetaan letkua pitkin korvakappaleen kautta korvakäytävään.

Korvakäytäväkojeen kuuloke voi olla erillään itse kojeesta ja sijoitetaan korvakäytävään. Tällöin ääni ei kulje letkua pitkin vaan johdetaan kuulokkeeseen sähköjohtimien välityksellä.

Kuulokeosaan voi olla liitettynä myös mikrofoni. Mikrofonin sijoittamisella korvakäytävään pyritään saamaan luonnollisempi ääni, kun korvalehti ja pään muodot ohjaavat ääntä mikrofoniin samaan tapaan kuin korvakäytävään.

Korvantauskojeissa on hyvin tilaa vastaanottokelalle ja monissa kojeissa se onkin vakiovarusteena.

4.3.4 Taskukojeet

Taskukoje on taskussa pidettävä tai kaulassa olevassa hihnassa roikkuva kuulokoje. Kuuloke on erillinen johdon päässä.

Taskukojeita ei juurikaan nykyisin käytetä. Ainoastaan todella huonon kuulon kanssa saattaa niitä vielä olla käytössä.

4.3.5 Luujohtokojeet.

Luujohtokuulokojeen (bone anchored hearing aid) avulla ääni siirtyy kalloluun kautta suoraan sisäkorvaan. Luujohtokuulokoje tulee kysymykseen esimerkiksi silloin, jos korvakäytävät ovat ahtaat tai puuttuvat kokonaan eikä tavallista kuulokojetta voi sen takia käyttää.

Luujohtokojeen värinää tuottava osa voi olla kiinnitettynä pinnan avulla tai leikkauksella korvan taakse asennettuun ruuviin.

Luujohtokuulokojeissa induktiosilmukan vastaanottokela voi olla kojeen sisällä tai erillisenä lisävarusteena.

4.4 Leikkauksella asennettavat kuulokojeet

4.4.1 Sisäkorvaistute, CI

Sisäkorvaistute eli sisäkorvaimplantti (Cochlear Implant, CI) on leikkauksessa asetettava kuuloapuväline henkilöille, joille vahvinkaan akustinen kuulokoje ei enää tuo riittävää apua kuulemiseen tai puheen erottamiseen. Istutejärjestelmä koostuu ulkoisista osista sekä leikkauksessa asetettavista sisäisistä osista.

Sisäkorvaistutteen ulkoisessa osassa voi olla induktiosilmukan vastaanottokela sisäänrakennettuna. Joissakin malleissa vastaanottokela on lisäosana ja liitettävissä laitteeseen.

<https://www.kuuloliitto.fi/kuulo/sisakorvaistute/>

4.4.2 Aivorunkoistute

Aivorunkoistute voidaan asentaa vaikeasti kuulovammaisille, joiden kuulohermo on vaurioitunut tavalla, joka estää sisäkorvaistutteen käyttämisen. Aivorunkoistutteen käyttämä teknologia on hyvin lähellä sisäkorvaistutteessa käytettävää, mutta se ohittaa sekä sisäkorvan että kuulohermon ja stimuloi sähköimpulsseilla suoraan aivorunkoa.

Lähde: <https://www.kuuloavain.fi/tag/aivorunkoistute/>

4.5 Muut kuulon apuvälineet ja induktiosilmukka

4.5.1 Kommunikaattori

Ns. kommunikaattori on kädessä pidettävästä mikrofonin ja vahvistimen sisältävästä yksiköstä ja kuulokkeista koostuva kuuntelun apuväline. Kommunikaattori soveltuu tilapäiseen käyttöön ja henkilöille, joilla on ongelmia käsitellä kuulokojeen pieniä säätimiä.

Myös osalla kommunikaattoreista voi kuunnella induktiosilmukkaa.

4.5.2 Langattomat kuulokkeet

Esim. kotona television kanssa voi käyttää myös tavallisia kuulokkeita kuulemisen apuna. Langattomat infrapunavalolla tai radiotaajuuksilla toimivat kuulokkeet ovat helppokäyttöisiä.

Kuulokkeet eivät välttämättä sovi kuulokojeiden kanssa käytettäväksi. Parempi ratkaisu on kuulokojeen T- tai MT-asennolla toimiva ns. kaulasilmukka (ks. kohta 6.6.2.), mikäli ei ole mahdollisuutta koko huonetilan tai tv:n katselualueen kattavaan silmukkaratkaisuun.

5 Lait, asetukset, standardit, ohjeet

Yhdenvertaisuuden saavuttamiseksi ja toimimismahdollisuuksien parantamiseksi ovat viranomaiset laatineet lakeja, asetukia, standardeja ja ohjeita.

Äänensiirtojärjestelmien (esim. induktiosilmukka) asennuksessa julkisiin tiloihin, nyrkisääntönä on: Mikäli tilassa on äänentoisto, tulee siellä myös aina olla äänensiirtojärjestelmä.

Yhdenvertaisuuden ja syrjimättömyyden vuoksi myös tiloissa, joissa äänentoistojärjestelmää ei ole, tulee riittävät kuuntelumahdollisuudet varmistaa tarvittaessa äänensiirtojärjestelmällä.

Seuraavassa viranomaismääräyksiä ja ohjeita, jotka koskevat julkisten tilojen äänensiirtojärjestelmiä ja esteettömyyttä yleensä.

Valtioneuvoston asetus rakennuksen esteettömyydestä (241/2017)

12 §, Kokoontumistilat

Jos katsomossa, auditoriossa, juhla-, kokous- tai ravintolasalissa, opetustilassa tai muussa vastaavassa kokoontumistilassa tai yleisön palvelutilassa on äänentoistojärjestelmä, siinä on oltava induktiosilmukka tai muu vastaava äänensiirtojärjestelmä.

Induktiosilmukoita koskeva kohta on ollut Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa F1 vuodesta 1978 suosituksena ja vuodesta 1997 määräyksenä.

Ympäristöministeriön ohje rakennuksen esteettömyydestä

Ohjeita asetuksen soveltamisesta. Kohta 2.12.2 Äänensiirtojärjestelmät.

Standardit, ohjeet

Standardi SFS-EN 60118-4 määrittelee induktiosilmukan tekniset vaatimukset. Induktiosilmukkastandardia on käsitelty syvällisemmin tämän oppaan teknisessä osassa.

RT-kortissa RT 09-11280, Induktiosilmukka kuulovammaisten apuvälineenä käsitellään kuulovammaisille tarkoitettuja äänensiirtojärjestelmiä, erityisesti induktiosilmukkaa, ja annetaan ohjeita äänensiirtojärjestelmän valintaan ja suunnitteluun.

Sama ohje on julkaistu myös KH- ja SIT-ohjeena tunnuksella KH 34-00647 ja SIT 09-610140 sekä ST-kortistossa numerolla ST 656.01. ST-kortistossa on julkaistu myös standardit ST 656.09 Induktiosilmukka. Suunnittelu ja toteutus, ST 656.10 Hanke-suunnitelmapohja, ST 656.11 Selostusesimerkit S2010-nimikkeistön mukaan ja T240, Kuulolaitejärjestelmä

Perustuslaki (11.6.1999/731)

6 §, Yhdenvertaisuus

Ihmiset ovat yhdenvertaisia lain edessä.

Ketään ei saa ilman hyväksyttävää perustetta asettaa eri asemaan sukupuolen, iän, alkuperän, kielen, uskonnon, vakaumuksen, mielipiteen, terveydentilan, vammaisuuden tai muun henkilöön liittyvän syyn perusteella.

Yhdenvertaisuuslaki 1325/2014

8 §, Syrjinnän kielto

Ketään ei saa syrjiä iän, alkuperän, kansalaisuuden, kielen, uskonnon, vakaumuksen, mielipiteen, poliittisen toiminnan, ammattiyhdistystoiminnan, perhe-suhteiden, terveydentilan, vammaisuuden, seksuaalisen suuntautumisen tai muun henkilöön liittyvän syyn perusteella. Syrjintä on kielletty riippumatta siitä, perustuuko se henkilöä itseään vai jotakuta toista koskevaan tosiseikkaan tai oletukseen.

YK:n yleissopimus vammaisten henkilöiden oikeuksista

Sopimuksen yleisinä periaatteina mm. (3. artikla, kohta c) täysimääräinen ja tehokas osallistuminen ja osallisuus yhteiskuntaan; (e) mahdollisuuksien yhdenvertaisuus ja (f) esteettömyys ja saavutettavuus;

Maankäyttö- ja rakennuslaki 117 §, 3. mom. (958/2012)

Rakennuksen tulee olla tarkoitustaan vastaava, korjattavissa, huollettavissa ja muunneltavissa sekä, sen mukaan kuin rakennuksen käyttö edellyttää, soveltua myös sellaisten henkilöiden käyttöön, joiden kyky liikkua tai toimia on rajoittunut.

Rakennuksen sovelluttava myös toimintarajoitteisille.

Standardit, ohjeet

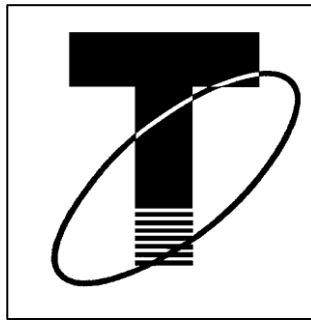
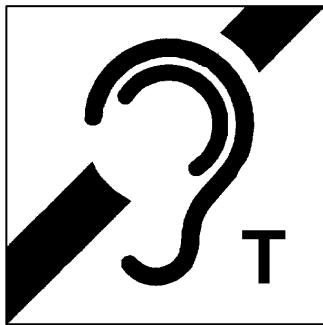
Standardissa SFS 5907, Rakennusten akustinen luokitus annetaan ohjeita tavoiteltavasta ääneneristyksestä, äänitasoista ja huoneakustiikasta. Hyvän akustiikan toteutus vaatii erityyppisissä rakennuksissa toisistaan poikkeavia ratkaisuja.

Toimiva akustiikka on perusedellytys myös äänensiirtojärjestelmiä käytettäessä.

Asumisterveysohjeessa on ohjearvoja taustamelutasosta. Asumisterveysohje ei käsittele induktiosilmukkaa, äänensiirtoa tai äänentoistoa.

Merkinnät

Tilat, joissa on induktiosilmukka, tulee varustaa standardin mukaisella T-merkillä sekä kuuluvuuskartalla.



Vasemmalla standardin mukainen induktiosilmukkasymboli, oikealla vanha T-merkki. Uudet merkinnät tehdään aina käyttäen standardin mukaista induktiosilmukkasymbolia.

6 Silmukan suunnittelu

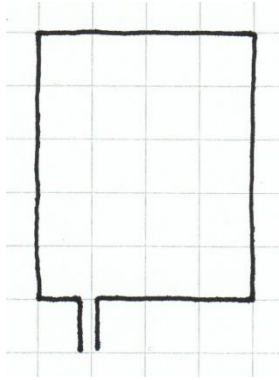
Induktiosilmukan suunnittelu lähtee aina käyttäjien tarpeesta. Jos kyseessä on kotiin television kuunteluun tarkoitettu silmukka, on se rakenteeltaan varmasti erilainen, kuin isoon konserttisaliin tai auditorioon sopiva järjestelmä.

Silmukan suunnitteluun vaikuttaa myös ympärillä olevat tilat. Yksilennkinen tai 8-silmukka kuuluu myös ympäröiviin tiloihin.

Silmukkaan liittyvät äänilähteet vaihtelevat myös tarpeen mukaan. Kotona television kuunteluun tarvittavaan silmukkaan riittää äänilähteeksi televisio. Suuressa auditoriossa tarvitaan useampia mikrofoneja ja kaikki esitystekniikkaan liittyvät äänet tulee myös saada induktiosilmukasta kuuluviksi.

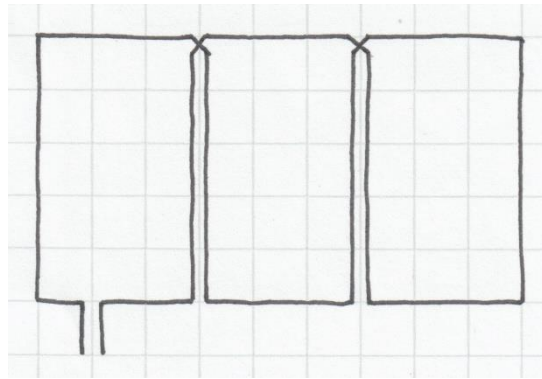
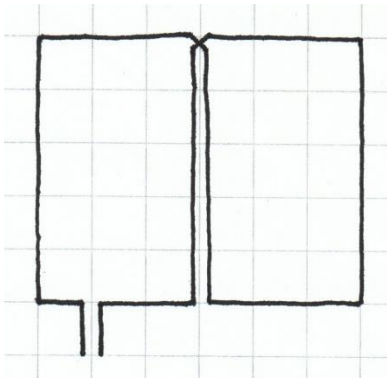
6.1 Pieni huonetila

Pienessä huonetilassa toimii huonetilan ympäri vedetty silmukkajohto, ns. yksilennkinen reunasilmukka.



6.2 Iso huonetila

Suurissa tiloissa, joissa tilan leveys on yli 6 ... 8 m, toteutetaan silmukka useampana ns. 8-lenkkinä tasaisen kenttävoimakkuuden (eli tasaisen kuuluvuuden) aikaansaamiseksi.

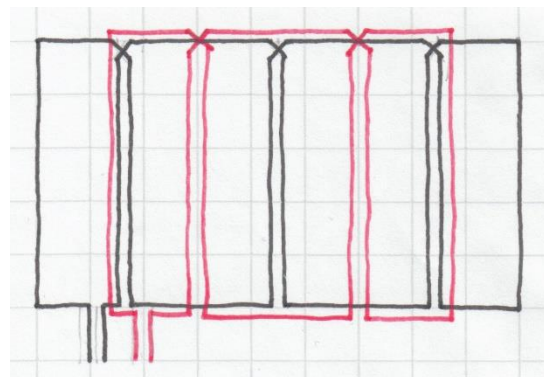
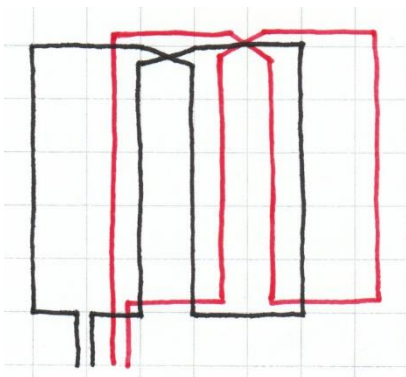


6.3 Useampia silmukoita samassa tilassa

Tilaan voidaan asentaa myös useampia itsenäisesti toimivia silmukka-alueita. Näin kuuluvuusaluetta voidaan vaihtaa tarpeen mukaan. Esimerkkinä teatteritila, jossa näyttämön ja katsomon paikkaa voidaan vaihdella esityksen mukaan.

6.4 Vaihesiirtosilmukka

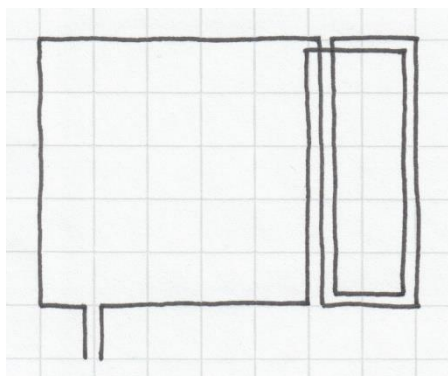
Nykyisin suositeltavin silmukkaratkaisu on ns. vaihesiirtosilmukka. Vaihesiirtosilmukka koostuu kahdesta päällekkäisestä monilenkkisestä silmukakajohdotuksesta. Vaihesiirtosilmukalla saadaan hyvin rajattu kuuluvuus ja tasainen kenttävoimakkuus.



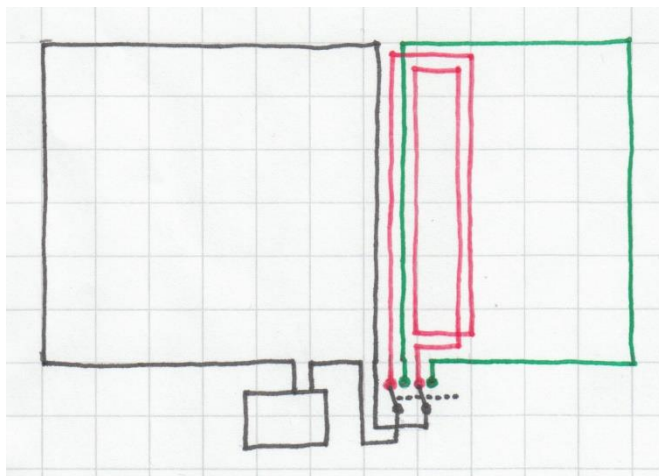
Vaihesiirtosilmukalla päästään parhaiten induktiosilmukkastandardin määrittelemään tasoon.

6.5 Estosilmukka

Joskus on tarpeen estää magneettikentän ylikuuluminen johonkin suuntaan. Esimerkiksi teatterissa, jossa lavalla käytetään sähkömagneettisesta kentästä häiriintyviä laitteita, ei katsomon silmukan magneettikenttä saa yltää lavalle. Tällöin voidaan käyttää ns. estosilmukkaa, joka rajoittaa kuuluvuutta yhteen suuntaan.



Kahdeksikkosilmukan ja estosilmukan yhdistelmänä voidaan toteuttaa ratkaisu, jossa näyttämölle saa silmukan kuulua (esim. paneelikeskustelu, jossa näyttämöllä myös induktiosilmukkaa tarvitsevia kuulokojeen käyttäjiä) tai vaihtoehtoisesti silmukka saadaan rajoitettua pois näyttämöalueelta (esim. sähkökitaroita soittava yhtye). Vaihdotykimellä kääntämällä voidaan valita, kumpi käyttötilanne on käytössä.



Silmukoiden asennuskaavioita on esitetty teknisen osan kohdassa 16.8 Silmukka-arkkitehtuurit.

6.6 Silmukan sovelluksia

6.6.1 Palvelupistesilmukka

Palvelupistesilmukka on nimensä mukaisesti yhteen palvelupisteeseen asennettu pienen silmukka, joka auttaa kuulokojetta käyttävää asiakasta kuulemaan paremmin virkailijan puheen.

6.6.2 Kaulasilmukka

Kaulasilmukka on induktiosilmukan yksi sovellus. Kaulasilmukka on nimensä mukaisesti kaulaan laitettava johtolenkki, joka voidaan kytkeä periaatteessa mihin tahansa sellaiseen äänilähteeseen, joita voi kuunnella kuulokkeilla. Kaulasilmukkaa käytettäessä ääni välittyy induktiivisesti suoraan kuulokojeeseen.

6.6.3 Tyynysilmukka

Tyynysilmukassa silmukan antennijohto on litteän, noin 40 x 40 cm kokoisen "tyynyn" sisällä. Tyynysilmukka asetetaan tuolille ja käyttäjä istuu päälle. Tyynysilmukan avulla voi siihen kytkettyä äänilähdettä kuunnella induktiivisesti omilla kuulokkeilla.

6.6.4 Tilapäiset silmukat

Silmukkajärjestelmä voi olla myös siirrettävä, yleensä salkkuun asennettu järjestelmä, joka sisältää kaiken tarvittavan, mikrofonit, silmukkavahvistimen ja silmukkajohdon. Silmukkajohto on kelalla, josta se levitetään tilan ympärille.

Siirrettävä silmukkajärjestelmä on tarkoitettu tilapäiseen käyttöön, eikä sillä voi korvata kiinteää järjestelmää, mikäli silmukan käyttötarvetta on tilassa usein.

7 Äänilähteet

Induktiosilmukka tarvitsee aina äänilähteen.

Äänilähteenä voi olla mikrofoni tai useampia ja/tai CD/DVD/BlueRay-soitin, tietokone, matkapuhelin tai mikä tahansa sähköistä äänisignaalia antava laite.

Periaatteena on, että kaikki äänet, jotka on tarkoitettu kuultavaksi, kuuluvat myös silmukan kautta.

Jos tilassa on äänentoisto ja siihen liitettynä tietokone, CD/DVD/BlueRay-soitin tai mikä tahansa ääntä tuottava laite, silmukkavahvistimelle tulee viedä kaikki äänet.

Jos tilassa ei ole valmiiksi äänilähteitä, tulee silmukkajärjestelmää suunniteltaessa miettiä myös esim. mikrofonien määrä ja tyyppi.

Kun tilassa on äänentoisto, niin silmukkajärjestelmä ei ole erillinen laite, vaan se tulee kytkeä muuhun äänijärjestelmään.

Äänilähteitä ja niihin liittyviä teknisiä ratkaisuja en esitetty tarkemmin teknisessä osassa.

8 Taustahäiriöt

Kaikki suojaamattomat sähkölaitteet ja kytkennät aiheuttavat sähkömagneettisia häiriöitä, jotka kuuluvat kuulokojeen T-asennolla silloin, kun niiden taajuus osuu kuuloalueelle. Suomessa käytetyn sähköverkon taajuus on 50 Hz, joten usein häiriöäännet ovat taajuudeltaan 50 Hz tai sen kerrannaisia.

Häiriöitä aiheuttavat esim. sähköpääkeskukset, puhaltimien moottorit, suojaamattomat voimavirtakaapelit ja valaisimien himmenninyksiköt.

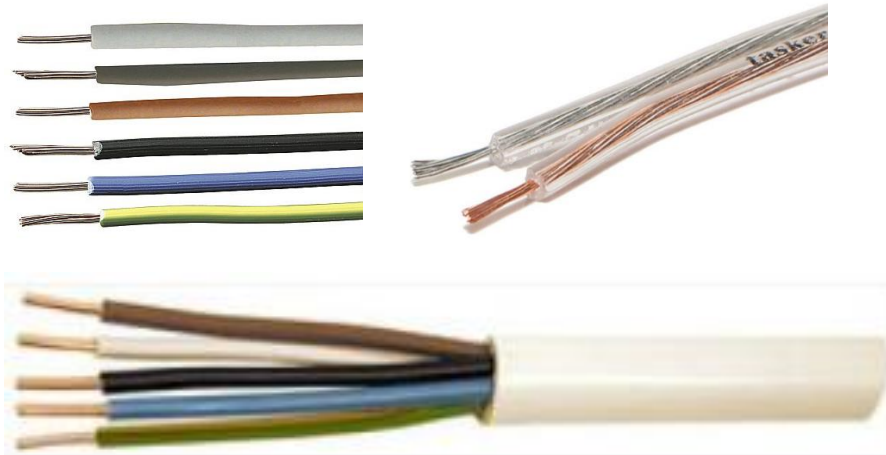
T-asennolla kuuluva hurina ei siis välttämättä kerro viallisesta silmukkajärjestelmästä. Jos hurina kuuluu silloinkin, kun silmukkajärjestelmä on sammutettuna, on kyse muualta rakennuksesta tai sen lähistöltä (esim. raitiovaunujen virransyöttöjohdot) tulevat häiriöt.

Jos häiriöhurina kuuluu vain silmukan ollessa päälle kytkettynä, on vika todennäköisesti silmukkajärjestelmästä ja sen kunto kannattaa selvittää.

9 Silmukkajärjestelmän asennus

9.1 Silmukkajohto

Silmukkajohtona voidaan käyttää periaatteessa mitä tahansa sähköjohdinta. Johtimen poikkipinta-ala riippuu silmukan koosta (silmukkajohdon pituudesta). Vahvistimen käyttöohjeessa on esitetty suositeltavat poikkipinta-alat erilaisilla asennustavoilla.



Korroosiosuojattua kaapelia (esim. Univox DBC-kaapeli) käytettäessä voidaan silmukkajohdotus tehdä betonivaluun myös ilman suojaputkitusta.

Jos asennustilaa on vähän, voidaan käyttää kuparifoliojohdinta. Kuparifoliojohtimia on leveydeltään 10 – 25 mm ja paksuudeltaan 0,25 mm.



9.2 Silmukkajohdon asennus

Silmukkajohto voidaan asentaa joko rakenteiden sisään tai pinta-asennuksena.

Valmiiseen pieneen tilaan asennettava yksilenkkinen silmukka on helpointa asentaa joko jalkalistan päälle tai kattolistaan sinkilänitojalla.

Suurempiin tiloihin, joissa johdotus vaati 8-lenkkejä tai jos asennetaan vaihesiirtosilmukkaa, kannattaa johdotus asentaa rakennusvaiheessa esim. lattianpäällysteen alle tai kattorakenteisiin.

Asennuksen voi tehdä useammalla johtimella, jolloin vahvistimen säätövaiheessa on käytettävissä useampia vaihtoehtoja. Esim. $2,5 \text{ mm}^2$ parikaapelilla voidaan toteuttaa joko 1 kierros $2,5 \text{ mm}^2$ silmukka (vain toinen johdin käytössä), 2 kierrosta $2,5 \text{ mm}^2$ silmukka (johtimet kytketty sarjaan) tai 1 kierros 5 mm^2 silmukka (johtimet kytketty rinnan).

Tarkemmin silmukkajohdon asennuksesta on kerrottu Teknisen osan kohdassa 16.2.1. Asennustapoja, josta löytyy myös esimerkkikuvia.

9.3 Silmukkavahvistimen valinta

Silmukkavahvistimia on tarjolla useammalla valmistajalla. Kannattaa aina käyttää tunnettua ja hyväksi koettua merkkiä.

Silmukkavahvistimen teho tulee valita yläkanttiin. Näin vahvistimessa riittää säätövara myös esim. rakennuksen betoniraudituksen aiheuttaman häviön kompensoimiseen.

9.4 Silmukkavahvistimen asennus

Silmukkavahvistin voidaan asentaa melko vapaasti. Se voi sijaita samassa huonetilassa silmukan kanssa tai viereisessä laitetilassa.

Vahvistimen sijaintipaikan valinnassa kannattaa ottaa huomioon, ettei silmukan syöttöjohto tule tarpeettoman pitkäksi ja että äänilähteet tai äänensyöttö tilan äänentoistolaitteistosta on helposti tehtävissä.

Laitteen toiminnan tarkkailun ja huollon kannalta vahvistin tulee olla paikassa, jossa sen toiminta voidaan todeta ja huoltotoimet ovat mahdollisia ilman, että rakenteita tarvitsee purkaa. Vahvistimen vaatima ilmanvaihto tulee myös ottaa huomioon asennuspaikkaa valittaessa.

Tekninen osa

Teknisessä osassa syvennyttään induktiosilmukan tekniikkaan, toimintaperiaatteen ja suunnitteluun. Tekninen osa sisältää kuvauksia myös joihinkin yleisesti kysymyksiä herättäviin äänentoistojärjestelmien osiin, rakenteisiin ja ominaisuuksiin liittyen.

10 Äänentoistojärjestelmät

Tässä kappaleessa esitellään joitakin äänentoistoon liittyviä peruskäsitteitä, joista voi olla apua silmukajärjestelmän hankinnasta ja kytkentämahdollisuuksista keskusteltaessa.

Äänentoistojärjestelmä vahvistaa ja muokkaa reaaliaikaisesti ääntä ja jakaa sen tilaan tai tiloihin kaiuttimia käyttäen.

Äänentoistojärjestelmä koostuu yleensä seuraavista osista:

- äänilähteet
 - mikrofonit ja mikrofoni vahvistimet
 - Televisio, radio
 - CD, video yms. tallenteiden toistolaitteet
 - tietokone näyttölaitteineen
 - matkapuhelin tai tabletti
 - musiikki-instrumentit
- mikseri / mikserimatriisi
 - rakenne voi vaihdella yksinkertaisesta sekoitin vahvistimesta laajaan, ohjelmoitavaan äänipöytään tai signaaliprosessorimatriisiin.
 - erilaiset säätötoiminnot (äänilähteiden valinta, taajuussisällön säätö, voimakkuuden säätö, viive/kaiku, kompressio, ...)
 - Useita linjatasoisia (22.14) lähtökanavia, joiden ohjelmasisältö voidaan koota toisistaan riippumatta tulosignaaleista.
- Päätevahvistimet
 - passiivikaiuttimia ohjaavat erilliset päätevahvistimet
 - aktiivikaiuttimien sisään rakennetut päätevahvistimet.
- Kaiuttimet
 - Äänentoistojärjestelmissä käytetään sekä passiivikaiuttimia, että päätevahvistimen sisältäviä aktiivikaiuttimia.

Äänentoistojärjestelmän osia kuvataan tarkemmin kappaleissa 16 - 19.

11 Äänensiirtojärjestelmä

Tässä kappaleessa esitellään äänensiirron yleisiä toimintaperiaatteita ja käytössä olevia äänensiirtotekniikoita.

11.1 Mihin äänensiirtoa tarvitaan

LAINAUS: Valtioneuvoston asetus rakennuksen esteettömyydestä, 241/2017,

12 § Kokoontumistilat

Jos katsomossa, auditoriossa, juhla-, kokous- tai ravintolasalissa, opetustilassa tai muussa vastaavassa kokoontumistilassa tai yleisön palvelutilassa on äänentoistojärjestelmä, siinä on oltava induktiosilmukka tai muu vastaava äänensiirtojärjestelmä.

Äänensiirtojärjestelmällä parannetaan kuulolaitetta käyttävän henkilön kuuntelukokemusta, erityisesti puheen ymmärrettävyyttä, siirtämällä hyötysignaali mahdollisimman selkeänä ja häiriövapaana kuulolaitteeseen. Järjestelmä siirtää äänen sopivalla voimakkuudella jotain teknistä siirtotietä käyttäen kuulolaitteeseen, jolloin kuulijan ympäristössä kuuluvat äänet eivät häiritse kuuntelua.

Tämän lisäksi hyvin toimiva äänensiirtojärjestelmä sovittaa signaalin voimakkuuden mahdollisimman hyvin kuulolaitteelle sopivaksi, jolloin kuulolaite pystyy kompensoimaan käyttäjän kuuloaistin ongelmat mahdollisimman tehokkaasti (22.1).

Äänensiirtojärjestelmälle on syötettävä haluttu hyötysignaali mahdollisimman puhtaana. On siis käytettävä käyttötilanteeseen ja käyttöympäristöön sopivaa, oikein valittua ja sijoitettua, hyvälaatuista mikrofonia, johon puhutaan riittävän läheltä selkeällä äänellä siten, että ympäristössä kuuluvat häiriöäänet eivät kuulu liian voimakkaana mikrofoniin herkkyyksineen. Samoin on tärkeää huolehtia siitä, että signaalikaapelointi on toteutettu mahdollisimman häiriöttömänä.

11.2 Induktiosilmukka (T)

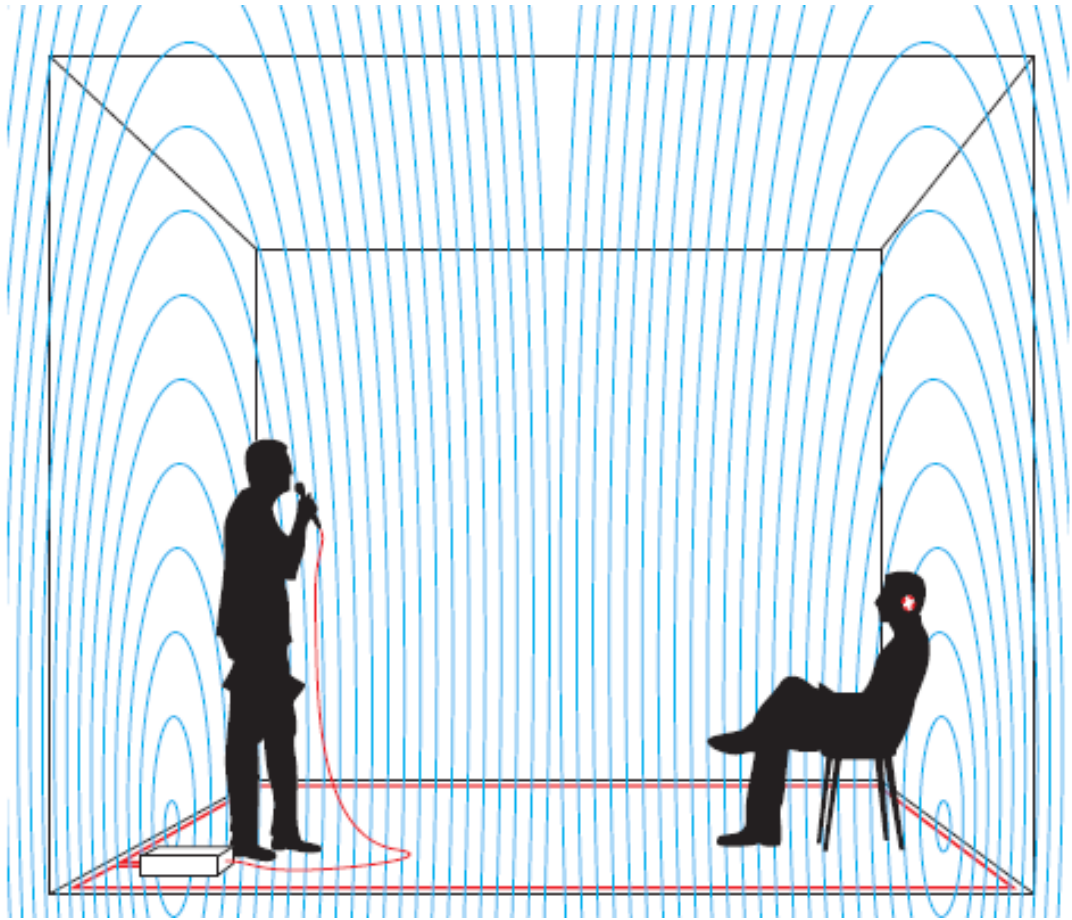
Induktiosilmukka on yleisimmin käytetty äänensiirtojärjestelmä. Se siirtää äänen kuulolaitteeseen sähkömagneettisen kentän välityksellä.

Induktiosilmukkajärjestelmä on määritelty kansainvälisen standardointijärjestön International Electrotechnical Commission (IEC) julkaisemassa standardissa IEC 60118-4.

Suomessa tämä standardi on julkaistu nimellä SFS-EN 60118-4.

Standardi on saatavissa: SFS verkkokaupasta <http://sales.sfs.fi/> ja alkuperäisessä muodossa IEC verkkokaupasta <https://webstore.iec.ch/publication>

Induktiosilmukan etuna on se, että käytännössä kaikki kuulolaittevalmistajat sisällyttävät induktiovastaanottimen useimpiin valmistamiinsa kuulolaitteisiin. Näin ollen sen käyttö on helppoa, eikä siihen vaadita sopivan kuulolaitteen lisäksi mitään lisälaitteita.



Kuva 1 Induktiosilmukka siirtää mikrofoniin tulevan äänen kuulolaitteeseen sähkömagneettisen kentän välityksellä.

11.3 Infrapunajärjestelmät (IR)

Infrapunajärjestelmä siirtää äänen infrapunavalon avulla tilaan asennetusta lähettimestä kuuntelijan käyttämään infrapunavastaanottimeen, josta se siirretään kuulolaitteeseen tyypillisesti kaulassa pidettävän induktiosilmukan välityksellä.

Infrapunajärjestelmille ei ole olemassa teknistä standardia, vaan jokainen laitevalmistaja käyttää omaa tiedonsiirtomenetelmää.

Kuulolaitteen käyttäjän ei siis kannata hankkia omaa vastaanotinta, vaan tilan omistajan on hankittava riittäväksi arvioimansa määrä vastaanottimia asiakkaidensa käyttöön ja järjestettävä vastaanottimien ylläpito, jakelu ja keräys.



Kuva 2 Infrapunajärjestelmä (Lähde: Sennheiser)

11.4 Radiotaajuusjärjestelmät (FM tai RF)

Radiotaajuusjärjestelmät siirtävät äänen radioteitse tilaan asennetusta lähettimestä kuuntelijan käyttämään vastaanottimeen, josta se siirretään kuulolaitteeseen tyypillisesti kaulassa pidettävän induktiosilmukan välityksellä.

Kuulolaitevalmistajilla on omia RF-järjestelmiä, joita käytettäessä ei tarvita erillistä vastaanotinta, vaan kuulolaite pystyy ottamaan vastaan radiotaajuisen signaalin. Nämä järjestelmät ovat kuitenkin laitevalmistajakohtaisia, eikä niille ole vielä olemassa yhteisesti hyväksyttyä teknistä standardia.

Uusimmissa kuulolaitteissa on mahdollista käyttää Bluetooth teknologiaa äänen siirtämiseen signaalilähteestä kuulolaitteeseen tai esimerkiksi matkapuhelimen ja kuulolaitteen väliseen kommunikointiin.

Uusimman Bluetooth standardin version 5.2 myötä käyttöön tulevan erittäin vähän tehoa kuluttavan ja myös ryhmäkuuntelun mahdollistavan LE Audio tekniikan yleistyessä tästä äänensiirtomenetelmästä tulee entistä tärkeämpi.

Esimerkiksi kouluympäristöissä käytetään usein FM-tekniikkaa hyödyntäviä järjestelmiä, joissa opettaja käyttää mikrofonia ja lähettintä ja oppilaalla on joko kyseisen lähettimen kanssa yhteensopiva, vastaanottimen sisältävä kuulolaite, kaulasilmukkaa käyttävä vastaanotinmoduuli tai kuulolaitteen lisälaiteliityntään (audiokenkä/audio shoe) liitetty vastaanotinmoduuli.



Äänensiirtojärjestelmien RF-tiedonsiirto toimii tyypillisesti ISM -taajuusalueilla (Industrial, Scientific and Medical) taajuusalueella, joka on kansainvälisesti sovittu vapaasti näillä toimialueilla käytettäviksi alueiksi.

ISM kaistoja ovat:

902 MHz - 928 MHz

2,4000 MHz – 2.4835 GHz ja

5.725 GHz – 5.8590 GHz .

Kuulolaitejärjestelmät toimivat 2.4 GHz alueella, joka on käytettävissä kaikissa merkittävässä maissa. Tämä taajuusalue on kuitenkin varsin kapea ja hyvin raskaasti kuormitettu, mm. suurin osa WIFI verkoista toimii oletuksena tällä alueella. Myös Bluetooth teknologiassa käytetään 2.4 GHz ISM kaistaa.

Kuva 3 Kuulolaitteen lisälaiteliityntään kiinnitettävä FM-vastaanotin (Lähde: Comfort Audio / Phonak)

11.5 WLAN järjestelmät

Viime vuosien aikana on julkaistu joitakin kuuntelijoiden matkapuhelimien käyttämiseen perustuvia järjestelmiä, missä tilaan muodostetaan oma langaton paikallisverkko, johon osallistuja liittyy puhelimella ja kuuntelee ohjelmasisältöä joko kuulokeilla tai puhelimen kuulokeliitintään kytketyn kaulasilmukan avulla.

Tällä hetkellä näiden järjestelmien heikkous on signaalitien viive, joka vaikeuttaa huulioluvun käyttöä. Joissakin tapauksissa ongelmaksi voi muodostua myös se, että järjestelmä varaa mobiililaitteen verkkoyhteyden, jolloin sitä ei voi käyttää muuhun verkkoliikenteeseen.

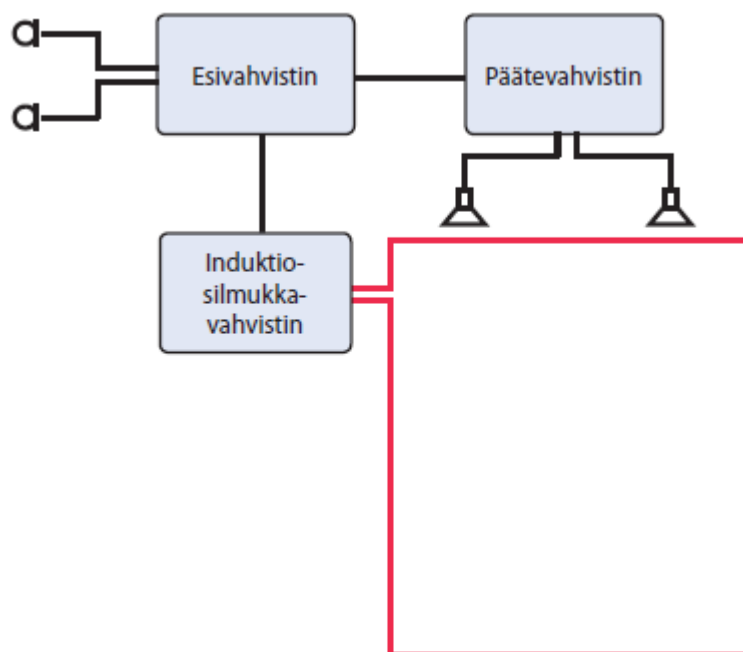
12 Äänensiirtojärjestelmän kytkeminen äänentoistojärjestelmään

Äänentoistojärjestelmän suunnittelussa kannattaa varata erillinen linjatasoinen (22.14) lähtökanava äänensiirtojärjestelmää varten. Parasta on, mikäli tämän lähtökanavan säädöt voidaan suojata siten, että niitä ei voi tahattomasti muuttaa äänensiirtojärjestelmän käyttöönoton yhteydessä tehdyn testauksen ja säätöjen optimoimisen jälkeen.

Näin voidaan estää akustiseen ympäristöön liittyvien äänentoiston säätöjen vaikutus äänensiirtojärjestelmän toimintaan. Äänentoistolaitteistossa säädöllä kompensoidaan tyypillisesti tilassa olevan yleisömäärän muutoksen vaikutuksia tilan melutasoon ja akustisiin ominaisuuksiin. Samoin audiojärjestelmän taajuusvastetta voidaan muokata akustisen kierron estämiseksi.

Äänensiirtojärjestelmää käytettäessä ei akustisen ympäristön muutoksia tarvitse huomioida, jolloin järjestelmän parametreja ei tarvitse muuttaa lopputarkastuksen aikana säädetyistä optimiarvoistaan.

Usein on myös tarpeen korostaa puhesignaalin, laulun yms. äänikanavien osuutta puheen ymmärrettävyyttä heikentävien taustamusiikkiin ja tehosteäänien suhteen. Voimakkaat tehosteäänit tai taustamusiikki voivat täysin peittää huonokuuloisen kuulijan kuuleman puheen.



Kuva 4 Induktiosilmukajärjestelmän kytkeminen äänentoistojärjestelmään.

Kuvassa (Kuva 4) signaali otetaan induktiosilmukkavahvistimeen erikseen äänentoistojärjestelmän linjatasoisesta liitännästä, johon päätevahvistimen säädöt eivät vaikuta.

13 Induktiosilmukka kuulolaitetta käyttävän henkilön apuvälineenä

Tässä kappaleessa käsitellään induktiosilmukajärjestelmän ja kuulolaitteen muodostaman kokonaisuuden toimintaa.

13.1 Kuulolaitteen käyttöönotto

Useimmissa kuulolaitteissa on sisäänrakennettu silmukavastaanotin, eli vastaanotin antenni vahvistimiseen. On kuitenkin valitettavan yleistä, että tätä toimintoa ei aktivoida laitteen käyttöönoton yhteydessä. *Tyypillisesti laitteen käyttäjän on erikseen pyydettävä toiminnon aktivoimista ja säätöä.*

13.2 Kuulolaitteen käyttö

Kun silmukavastaanottimen olemassaolo ja aktivointi on varmistettu, on käyttäjän kytkettävä tämä toiminto päälle tilanteessa, missä hän haluaa hyödyntää silmukkasignaalia.

Kuulokojeissa on yleensä mahdollista käyttää joko kuulokojeen mikrofonia (M-asento) tai silmukkavastaanotinta (T-asento). Usein on myös mahdollista käyttää MT-asentoa, missä sekä mikrofoni, että silmukkavastaanotin toimivat rinnakkain. Tällöin kuulija siis kuulee esimerkiksi esitelmän tai TV-ohjelma silmukkasignaalin kautta, mutta voi samalla seurata läheisyydessä käytävää keskustelua ja kuulla esimerkiksi ovikellon soiton mikrofonin kautta.

Näiden lisäksi kuulolaitteissa voi olla muitakin käyttömahdollisuuksia, joilla voidaan aktivoida kuunteluyhteys esimerkiksi puhelimeen tai musiikkitoistimeen. Esimerkkeinä Bluetooth yhteys tai kuulolaitevalmistajan oma tiedonsiirtomenetelmä.

13.3 Musiikin kuuntelu induktiosilmukalla

Usein kuulee väitettävän, että musiikin kuuntelu induktiosilmukan kautta ei ole niin suuri nautinto kuin kuunneltaessa akustisesti. Riippuen kuulon alenemasta, musiikin luonteesta ja kuulokojeen käyttäjän tottumuksista, voi induktiosilmukka musiikin kuuntelussa olla pelkkää kuulolaitetta käyttäen saavutettavaan verrattuna hyvin palkitseva kokemus.

14 Induktiosilmukka

Tässä kappaleessa syvennyttään induktiosilmukan toimintaperiaatteeseen, vaihtoehtoihin toteutustapoihin ja teknisiin yksityiskohtiin.

14.1 Induktiosilmukkastandardi

Induktiosilmukka on tällä hetkellä ainoa äänensiirtojärjestelmä, jolle on kehitetty kaikkia alan toimijoita sitova laatustandardi.

Standardin on kehittänyt IEC:n (International Electrotechnical Commission) alainen työryhmä, johon kuuluvat merkittävimpien induktiosilmukkavahvistintoimittajien ja kuulolaitevalmistajien edustajat ja elektroniikan erityisalojen asiantuntijoita.

Alkuperäinen IEC standardi on IEC 60118-4, jonka eri valtioiden teknisistä standardeista vastaavat viranomaiset ovat ottaneet omiin standardikokoelmiinsa uudelleen nimetyt versiot. Suomessa tämä standardi tunnetaan nimellä SFS-EN 60118-4.

14.1.1 Muita huomioita

Induktiosilmukkajärjestelmiin liittyy edellisen lisäksi standardi IEC 62489-1, jossa määritellään induktiosilmukkajärjestelmään ja sen komponentteihin liittyvät tärkeimpien parametrien testausmenetelmät. Suomen standardikokoelmassa tämä standardi löytyy nimikkeellä SFS-EN 62489-1.

Lisäksi IEC on julkaissut dokumentin IEC TR 63079, TECHNICAL REPORT, Code of practice for hearing-loop systems (HLS), jossa on runsaasti induktiosilmukkajärjestelmiin liittyvää teknistä ohjeistusta.

Huom: SFS-EN 60118-4 standardissa (kappale 4.3) määritellään kuulolaitteen mikrofonisignaalin ja magneettikentän voimakkuuden välinen suhde seuraavasti:

Akustinen yhden metrin etäisyydellä tuotettu 70 dB/m voimakkuudella toistettu puhesignaali ja 100 mA/m kenttävoimakkuus tuottavat saman akustisen signaalitason kuulolaitteessa.

On tärkeää, että tämä huomioidaan kuulolaitetta säädettäessä ja silmukavastaanottimen ja mikrofonivastaanottimen signaalivoimakkuudet säädetään oikein.

Signaalin voimakkuuden mittauksessa käytetään 60 s aikaikkunan yli laskettua keskiarvoa.

Tyypillisellä puhesignaalilla 400 mA/m huippuarvo vastaa noin 100 mA/m signaalin voimakkuuden keskiarvoa (keskiarvo tulee laskea vähintään 60 s aikaikkunan yli). Tämä keskiarvo ei kuitenkaan ole tarkasti toistettava parametri, koska se riippuu esimerkiksi puhujan puherytmistä ja kielen rakenteesta. Järjestelmän testauksessa tulee varmistaa, että se pystyy tuottamaan 400 mA/m kenttävoimakkuuden, jotta signaalin huippukohdat toistuvat laadukkaasti.

14.1.2 Standardin mukainen sähkömagneettisen signaalin kentän voimakkuus

Kuulolaitteessa vastaanotinantennina toimiva kela on asennettu pystyasentoon, joten se on optimoitu vastaanottamaan magneettikentän pystysuoran komponentin. Tällä järjestelyllä voidaan tuottaa tasaisin signaalin voimakkuus koko oikein mitoitettun induktiosilmukan kuuntelualueelle.

Magneettisen signaalin voimakkuuden 1 kHz sinisignaali mitattuna tulee olla 400 mA/m $\pm$ 3 dB. Signaalin testauksessa tulee käyttää 125 ms aikavakiolla toimivaa RMS mittaria.

Taajuusalueella 100 Hz – 5 kHz signaalin voimakkuus saa poiketa 1 kHz taajuudella mitatusta signaalin voimakkuudesta enintään $\pm$ 3 dB.

Tyypillisesti järjestelmän säätö tehdään käyttäen kenttävoimakkuusmittaria ja kolmea testitaajuutta; 100Hz, 1 kHz ja 5 kHz. Tällöin ei välttämättä huomata audiojärjestelmän taajuusvasteen säädöstä aiheutuvaa virhettä, joka voi syntyä esimerkiksi silloin, kun jotain taajuutta vaimennetaan akustisen kierron ehkäisemiseksi.

Tämä voidaan varmistaa tarkasti käyttämällä jatkuva-aikaista testisignaalia, eli käytännössä sinisignaalia.

Mittausta suoritettaessa tulosignaalin tulee olla sellaisella tasolla, että vahvistimen AGC toiminto on aktiivinen. Testisignaalina suositellaan käytettävän jatkuvaa 1 kHz taajuisia sinisignaalia.

Tämä perustuu kahteen tekniseen seikkaan:

- eri vahvistintyyppien AGC rakenteet käsittelevät muita signaaleja (puhe, kohina) hieman eri tavoin, jolloin erityyppisten testisignaalien tuloksena saadut signaalin voimakkuudet voivat vaihdella. Sinisignaalin jokainen signaalijakso on identtinen, jolloin mittaustulos on aina tarkka ja toistettava.
- eri laitevalmistajien kenttävoimakkuusmittarit käsittelevät muita signaaleja (puhe, kohina) hieman eri tavoin, jolloin mittaustulokset voivat vaihdella. Sinisignaalin jokainen signaalijakso on samanlainen, jolloin mittaustulos on aina tarkka ja toistettava.
 - Tämä johtuu siitä, että vaikka mittareissa käytetään standardissa määriteltä 125 ms aikavakiota mitattaessa signaalin RMS arvoa, eri mittareiden käyttöliittymien aikavakiot vaihtelevat, jolloin näytössä näkyvä signaalin voimakkuus vaihtelee testisignaalin ominaisuuksien mukaan ja esimerkiksi puhesignaalilla näytetty arvo riippuu mm. puheen rytmistä ja sanavalikoimasta (lyhyet äänteet / pitkät äänteet).

Mikäli sinisignaalia tuottavaa signaalilähdettä ei ole käytettävissä, tulee noudattaa vahvistinvalmistajan suosittelemaa testausmenetelmää.

Asennusten lopputarkastuksessa ja järjestelmän laatumittauksissa kannattaa pyrkiä aina käyttämään vakaan ja toistettavan mittaustuloksen tuottavaa jatkuvaa signaalia kuten sinisignaali tai useista tarkasti valituista taajuuskomponenteista koostuva multitonesignaali.

HUOMIOITAVA

- Mikäli toimitaan lähellä vahvistimen maksimitehoa, ongelmaksi muodostuu usein vahvistimen ylikuormitussuojauksen aktivoituminen, mikä voi ilmetä joko vahvistimen sammumisena joko askelmaisena, tai jatkuvana signaalin voimakkuuden pienenemisenä.
- Jotkin vahvistimet voivat myös tulkita jatkuvan sinisignaalin signaalin magneettiseksi kierroksi, jolloin ne pyrkivät lopettamaan kierron laskemalla lähtösignaalin tasoa.
- Säädön jälkeen on siis parasta sammuttaa vahvistin hetkeksi ja varmistaa signaalin voimakkuus heti vahvistimen käynnistymisen jälkeen.

14.1.3 Induktiosilmukan esteettömyysmerkinnät

SFS-EN 60118-4 standardissa määritellään, kuinka induktiosilmukan olemassaolo tilassa tulee merkitä. Lisätietoa löytyy myös Ympäristöministeriön ohjekirjasta: Estetön rakennus ja ympäristö, (ISBN 978-952-267-299-5) sivuilta 97 ja 116-119.

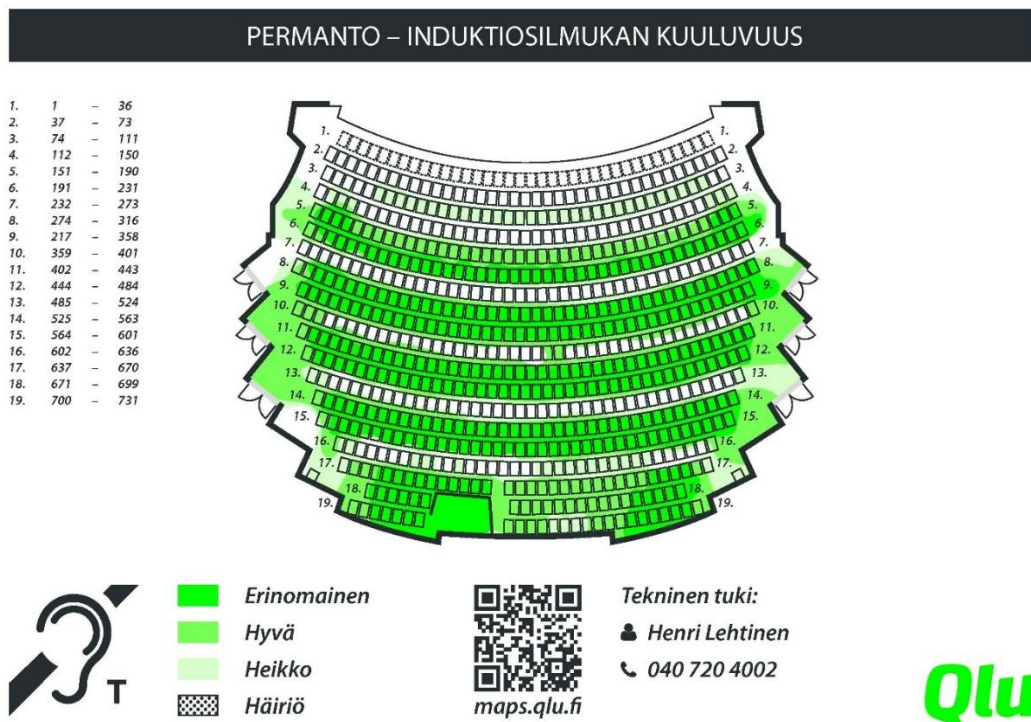
Induktiosilmukalla varustetussa tilassa tulee olla:

- **induktiosilmukasta kertova kyltti.** Kyltti tulee sijoittaa näkyvälle paikalle lähelle tilan sisäänkäyntiä. Jos sisäänkäyntejä on useampia, kyltit tulee sijoittaa jokaisen sisäänkäynnin läheisyyteen. Kyltin pitää olla riittävän suuri ollakseen helposti luettava ja sen tulee olla valmistettu kestävästä materiaalista
- **kyltin läheisyyteen tulee sijoittaa tilan pohjapiirros (kuuluvuuskartta),** josta käy selville alueet, joissa induktiosilmukan signaali on käyttökelpoinen. T-merkki ja pohjapiirros voivat olla integroituna samaan kylttiin.

- induktiosilmukkajärjestelmän moitteettomasta **toiminnasta vastaavan henkilön yhteystiedot.**

Kuulolaitteen käyttäjälle pitää pyydettyä antaa selkeät ohjeet järjestelmän käytöstä.

Induktiosilmukasta kertova merkki pitää laittaa myös palvelupistesilmukoiden yhteyteen. Merkki sijoitetaan näkyvälle paikalle, missä kuulolaitteen käyttäjä voi olettaa sen sijaitsevan.



Kuva 5 Kansallisoopperan suuren näyttämön kuuluvuuskartta

14.1.4 Sähkömagneettiset häiriöt

Yksi merkittävimmistä induktiosilmukan käyttöä vaikeuttavista tekijöistä on sähkömagneettisten häiriöiden esiintyminen silmukan kuuntelualueella.

Yleisin häiriötyyppi on sähkölaitteiden tuottama sähköverkon taajuudella (50 Hz) ja sen harmonisilla kerrannaistaajuuksilla (100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, ...) esiintyvä häiriö. Tyypillisesti häiriön syynä on väärin asennettu sähköjärjestelmä; virheellisesti toteutettu potentiaalin taseus, maasilmutka, virran epätasapaino tehonsiirtokaapelissa, huonosti suunniteltu ja toteutettu sähköjärjestelmän jakokeskus, muuntaja, hissiko-neisto tai viallinen sähkölaite.

Myös valaistuksen tai talotekniikan ohjaukseen käytetyt säätimet voivat tuottaa ääni-taajuisia häiriökenttiä.

Täysin balansoidussa, tähtiarkkitehtuuria noudattaen rakennetussa sähköjärjestel-mässä syöttövirta ja paluuvirta kulkevat aina samassa kaapelissa, jolloin kaapelin vir-tojen summa on nolla ja suurikaan virta ei synnytä kaapelin läheisyyteen merkittävää häiriökenttää.

Sähköjärjestelmään liittyvät häiriökentät voidaan yleensä poistaa sähköjärjestelmän rakenteen virheet korjaamalla. Suuren rakennuksen kohdalla ongelmien paikantaminen ja korjaaminen voi kuitenkin olla varsin suuri ja aikaa vievä tehtävä. Sen sijaan esimerkiksi voimalinjoihin tai raitiotielinjoihin liittyviä häiriölähteitä on käytännössä mahdotonta korjata.

Joskus myös läheiseen tilaan asennetun induktiosilmukan ylikuuluminen voi vaikeuttaa merkittävästi induktiokuuntelua. Uusien tilojen kohdalla tämä on täysin estettävissä silmukoiden oikean toteutusarkkitehtuurin valinnalla.

On myös huomattava, että induktiosilmukan tuottama äänitaajuinen sähkömagneettinen kenttä voi vaikuttaa joihinkin herkkiin laitteisiin, jolloin on pyrittävä minimoimaan silmukan kentän ulottuminen näiden laitteiden käyttöpaikalle estosilmukkarakenteita, vaihesiirtorakenteita ja muita kentän ylikuulumista rajoittavia toteutusarkkitehtuureja käyttämällä.

14.1.4.1 Sallitut häiriötasot

A-painotettu sähkömagneettisen häiriösignaalin voimakkuus ei saa ylittää -47dB rajaa tilassa, jota käytetään pidempiaikaiseen kuunteluun tai jossa äänen esteettinen laatu on tärkeää.

Tilassa, jota käytetään pääasiassa vain puheviestintään, eli signaalin esteettinen laatu ei ole merkittävä laatutekijä, ei häiriösignaalin taso saa ylittää -32 dB tasoa. Mikäli tämä taso ylittyy, on asiasta ilmoitettava tilan haltijalle, jonka tulee käynnistää ongelman korjaamiseksi tarvittavat toimenpiteet.

Hyvin lyhytaikaisessa käytössä meluisassa ympäristössä (esim. palvelupiste) voidaan hyväksyä -22 dB häiriötaso.

15 Induktiosilmukkajärjestelmän suunnittelu

Tässä kappaleessa käsitellään silmukkajärjestelmän toteuttamiseen liittyviä tekniikoita, lainalaisuuksia ja työmenetelmiä.

Induktiosilmukkajärjestelmän suunnitteluun liittyvässä tarjouspyynnössä on selkeästi ilmaistava, että toteutettavan järjestelmän on täytettävä silmukkastandardissa määritellyt laatuvaatimukset. Seuraava tekstimuoto on havaittu toimivaksi:

Induktiosilmukka tulee suunnitella, asentaa, dokumentoida ja tarkastaa SFS-EN 60118-4 standardin mukaisesti.

Induktiosilmukkajärjestelmän suunnittelussa on huomioitava signaalin ylikuulumiseen, luottamuksellisuusvaatimuksiin ja häiriöttömään signaalin vastaanottoon liittyen läheisten tilojen käyttötarkoitus ja tekninen varustus.

Induktiosilmukkajärjestelmän lopputarkastuksessa tulee noudattaa SFS-EN 60118-4 standardissa määritellyjä menetelmiä ja hyväksymiskriteereitä ja tilat on merkittävä tässä standardissa määritellyllä tavalla

Induktiosilmukkajärjestelmän suunnittelu ja toimiva toteutus vaativat katkeamattoman laatuketjun rakentamispäätöksestä käyttöönottoon ja ylläpitoon. Silmukkajärjestelmää hankittaessa hankkeen osapuolia voivat olla:

- tilaaja/rakennuttaja
- pääsuunnittelija/arkkitehti
- sähkösuunnittelija
- AV-suunnittelija
- erikoisasiantuntija / tilan tuleva käyttäjä
- laitetoimittaja
- urakoitsijat
- rakennustarkastus

Usein ongelmia tuovat rakennushankkeen vastuurajat ja aikataulutukset. Osa-alueiden yhteensovittaminen ja tarvittavien mittausten tekeminen voi olla hankalaa, jos tarvittavia määrittelyitä ei ole tehty ajoissa tai kaikkia osapuolia ei ole vielä nimetty.

Tämä vuoksi induktiojärjestelmän suunnittelija informoi tarvittavista asennuksista ja tarkastuksista työmaan valvojaa ja työnjohtajaa, jolloin työvaiheet voidaan ajoittaa oikein.

Urakkarajaliitteissä tulee mainita kunkin urakoitsijan kohdalla induktiosilmukoiden huomioimisen vaatimat toimenpiteet. Osapuolia, joiden tulee olla tietoisia tilan asennuksista, ovat esimerkiksi lattiavalun tekijät, sähköasentajat sekä matto- ja kaluste-asentajat.

15.1.1 Määrittely

Määrittelyvaiheessa käydään läpi tilan rakenteen, käyttömuotojen ja ympäröivien tilojen synnyttämät rajoitteet ja mahdollisuudet ja valitaan näiden tietojen perusteella tilassa käytettävä silmukka-arkkitehtuuri. Suunnittelun lähtötietojen keräämisessä kannattaa käyttää esimerkiksi seuraavalla sivulla olevaa muistilistaa.

Erityisesti on kiinnitettävä huomiota rakenteisiin ja laitteisiin, jotka voivat tuottaa tilan alueelle sähkömagneettisia häiriöitä.

Tyypillisiä häiriölähteitä ovat sähkökeskukset, muuntoasemat, talotekniikkaan liittyvät tuulettimet ja pumpput sekä hissikoneistot. Myös valaistuksen ohjaukseen käytettävä laitteet voivat tuottaa voimakkaita ääni taajuisia häiriökenttiä.

Usein häiriöt syntyvät sähköjärjestelmän suunnittelu- ja kaapelointivirheistä johtuvista maavirroista. Erityisesti jälki asennuksien ja peruskorjausten yhteydessä kannattaa mitata tilan häiriöt, paikantaa häiriölähteet ja korjata ennen silmukkarakenteen toteuttamista.

Tilan fyysiset mitat ja rakennusmateriaalit sekä erityisesti korjausrakentamis- ja jälki-asennushankkeissa tilassa tehtävät muut toimenpiteet rajoittavat käytettäviä toteutusvaihtoehtoja. Tilan käyttömuodot ja sen läheisyydessä olevien tilojen luonne asettavat signaalin ylikuulumiseen liittyviä rajoitteita. Jos tilassa tullaan käsittelemään luottamuksellisia asioita tai jos sen välittömässä läheisyydessä on muita induktiosilmukalla varustettuja tiloja, estetään signaalin ylikuuluminen tarkasti mitoitettuja vaihesiirtorakennetta käyttämällä.

Teräskuitubetoni on varsin hyvin sähköä johtava materiaali, joten silmukkah johdinta ei tule sijoittaa teräskuitubetonirakenteen alle tai sisään. Mikäli kuitubetonia käytetään rakennuksessa, kannattaa valita muovikuitubetoni.

Tiloissa, missä käsitellään luottamuksellisia asioita, tulee kiinnittää erityistä huomioita suunnittelun kohteena olevan tilan ylä- ja alapuolella oleviin tiloihin. Usein nämä tilat ovat toisen toimijan omistuksessa/käytössä, joten ylikuulumisen tason tarkastaminen mittaamalla ja näiden tilojen käytön tarkkailu voi olla mahdotonta. Pystysuoran ylikuulumisen hallinta on vaikeampaa kuin samassa tasossa olevien tilojen välisen ylikuulumisen hallinta (15.1.3.3)

Myös tilaan asennettavan äänijärjestelmän valintaan on kiinnitettävä huomiota. Induktiosilmukkaa varten varataan oma linjatasoinen, äänijärjestelmän säädöistä riippumaton audiolähtö, johon voidaan helposti ohjasta kaikki tarvittavat äänilähteet. Äänilähteiden priorisointi on usein tarpeellista, jotta silmukkasignaali pysyy puhtaana, salia äänten kytkeytyminen hallitaan hyvin ja esimerkiksi hätäkuulutukselle voidaan varata korkein prioriteetti.

Määrittelytyön lopputuloksena tuotetaan dokumentti, joka kuvaa silmukkah järjestelmän arkkitehtuurin perusteluineen.

Induktiosilmukan suunnittelun lähtötiedot



Lähtötiedot		
	Tilanne	Täyttöohjeet
Tilan tunniste		Nimi, huonekoodi, ...
Tilan osoite		
Tilan omistaja		
Tilan käyttäjä		
Uusi rakennus/peruskorjaus/jälkiasennus		
Tilan rakenne		
Pinta-ala		
Istumapaikkoja		
Suurin leveys		
Suurin pituus		
Tilan korkeus		
Onko alaslaskettu katto		Voiko silmukan asentaa a-katon yläpuolelle?
Lattiapinnoite		Materiaali, vaihdetaanko remontissa?
Lattian runkorakenne		Puurunko, koolaus, rossipohja, betonirunko, teräspalkkirunko
Sähkömagneettiset häiriöt		
Häiriön tyyppi		Taajuus, jatkuvuus, paikallisuus
Häiriölähde		Onko tunnistettavissa
Häiriön taso		Re. IEC 60118-4 kappale 7.2
Tekninen varustus		
Audiojärjestelmä		Kyllä/ei, uusitaanko? Onko erillinen lähtö silmukalle?
Videovarustus		Signaali silmukkaan?
Videokokousvarustus		Signaali silmukkaan?
Mikrofonit		Tyypit, lukumäärä?
Signaalien summaus		Mitä signaaleja silmukkaan tarvitaan?
Tilan käyttömuodot		
Onko monikäyttötila		Erilaiset käyttötarpeet?
Onko jaettavissa osiin		Jaetaanko myös audio?
Kuunteluavaruus		Istuma/seisomakorkeus (120 cm / 170 cm)
Ylikuulumiseen liittyvät vaatimukset		
Viereiset tilat		Oma/vieras, käyttö, julkinen tila/oma käyttö, onko silmukka, ylikuuluminen
Yläpuoliset tilat		Oma/vieras, käyttö, julkinen tila/oma käyttö, onko silmukka, ylikuuluminen
Alapuoliset tilat		Oma/vieras, käyttö, julkinen tila/oma käyttö, onko silmukka, ylikuuluminen
Luottamukselliset tilaisuudet		Kyllä/ei
Magneettisen kierron huomioiminen		Käytetäänkö magneettisesti herkkiä instrumentteja
Suunnittelun lähdemateriaali		
Pohjakuva		dwg, pdf
Rakennuspiirustus		dwg,
Sähköpiirustus		dwg, pdf
AV-suunnitelma		dwg, pdf
Kuvaus tilan käyttömuodoista		

Kuva 6 Silmukkasuunnittelun lähtötietojen keräämisen muistilista

15.1.2 Järjestelmän suunnittelu

Määrittelyvaiheessa saavutettujen tulosten perusteella:

- mitoitetaan valitun silmukka-arkkitehtuurin mukainen silmukkarakenne
- selvitetään vahvistimelle asetettavat vaatimukset.
- Laaditaan asennusohjeet

Silmukkajärjestelmän toiminnallinen laatu kannattaa varmistaa simuloinnein lukuun ottamatta kaikkein yksinkertaisimpia tapauksia. Simuloinnin avulla saadaan myös arvio silmukkavahvistimelle asetettavista vaatimuksista.

Tilan rakenteissa oleva sähköä johtava materiaali, tyypillisesti betonirauditus tai alaslasketun katon kannatinrakenne, vaimentaa sähkömagneettista kenttää erityisesti suurilla taajuuksilla. Tämän materiaalin tyyppi, määrä ja rakenne on usein vaikea selvittää, ja lopullinen vahvistimen valinta voidaan usein tehdä vasta silmukkakaapelin asennuksen jälkeen tehtävillä testimittauksilla.

Mittaukset voidaan tehdä myös ennen lattian betonivalua raudituksen ollessa paikallaan, jolloin voidaan tarvittaessa tehdä muutoksia silmukan kaapelointiin. Betonirauditus ja muut metallirakenteet eivät useinkaan jakaudu tasaisesti koko tilan alueelle.

Korjausrakentamisessa ja jälkiasennuksessa kannattaa usein asentaa tilaan ennen lopullisen silmukan asentamista testisilmukat, joilla voidaan arvioida metallirakenteiden vaikutuksia. Samalla voidaan analysoida häiriötasoa ja paikallistaa mahdolliset sähkömagneettisia häiriöitä tuottavat rakenteet.

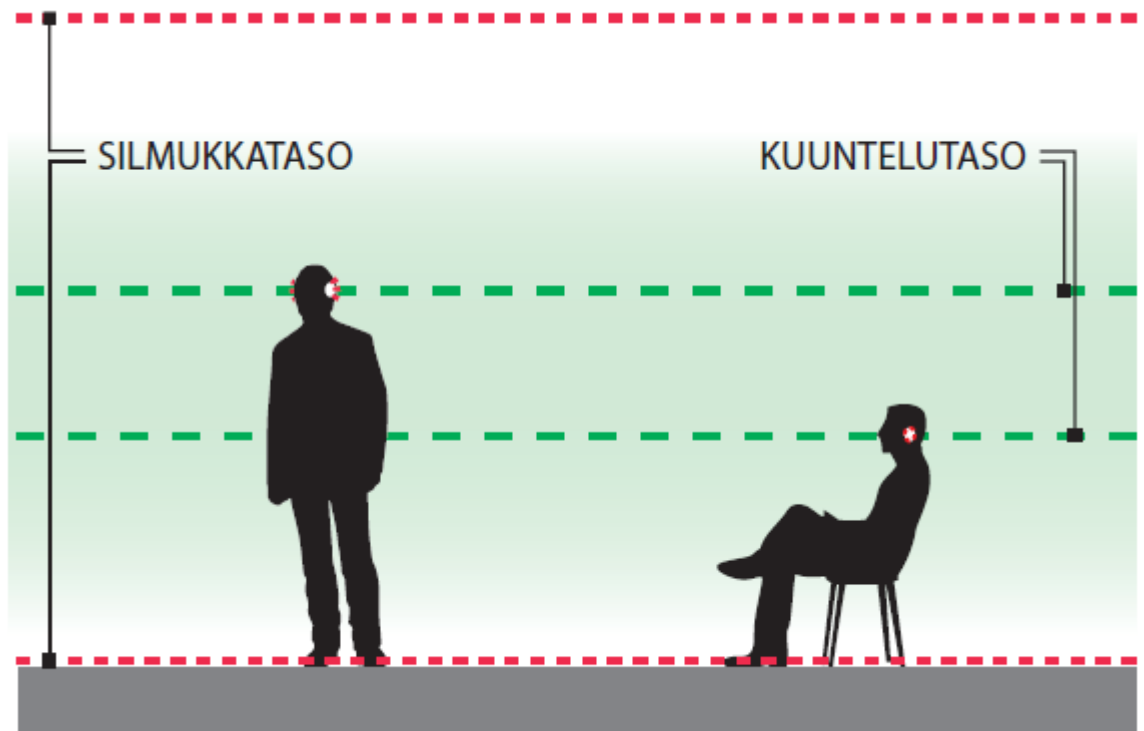
Suunnitteluvaiheen lopputuloksena tuotetaan erilliset kaapelointipiirustukset muodossa, joka on helppo liittää rakennuksen muuhun dokumentaatioon (esimerkiksi DWG tai DXF) sekä tarvittavat detalji- ja asennuspiirustukset. Dokumentaatioissa määritellään käytettävät kaapelityypit ja niiden asennustoleranssit sekä liitintyypit. Järjestelmästä laaditaan ylläpito-ohje, jonka tiedot tuotetaan suunnittelijan ja urakoitsijan yhteistyönä. Ylläpito-ohje tulee liittää osaksi kiinteistön käyttö- ja huolto-ohjetta.

15.1.3 Suunnittelun erityispiirteitä

Silmukkajärjestelmän suunnittelussa ei ole kysymys perinteisestä sähkösuunnittelusta, vaan tässä pyritään luomaan halutun muotoinen, halutulla tavalla käyttäytyvä sähkömagneettinen kenttä.

15.1.3.1 Kuunteluavaruus

Tilassa olevaa kolmiulotteista aluetta, jonka sisällä silmukkasignaalin tulee täyttää SFS-EN 60118-4 standardissa määritellyt laatukriteerit, kutsutaan kuunteluavaruudeksi (SFS-EN 60118-4; listening volume). Tilassa, jossa yleisö istuu, tämä rajautuu korkeussuunnassa 1.2 m korkeuteen. Tilassa, missä kuunnellaan seisten, kuuntelukorkeudeksi on sovittu 1.7 m, mutta useimmiten näissä tiloissa täytyy varautua myös pyörätuolia käyttävien ja lyhytkasvuisten asiakkaiden palveluun, jolloin kuunteluavaruuden tulee kattaa korkeudet 1.2 m ja 1.7 m.



Kuva 7 Silmukkajohtimen asennustasoon ja kuuntelutasoon (kuulijan korvan taso) liittyvät käsitteet

15.1.3.2 Silmukan mitoitus

Riittävän sähkömagneettisen kentän saavuttamiseksi halutulla kuuntelukorkeudella on silmukkavirran oltava riittävän voimakas. Tarvittavan virran voimakkuuden arvioinnissa on huomioitava:

1. Virtasilmukan koko

- lähinnä silmukan pienemmän jännevälin pituus, eli vastakkaisilla sivuilla olevien virtajohtimien välinen etäisyys.

2. Virtasilmukan sijainti kuuntelukorkeuden suhteen pystysuunnassa

- On huomioitava erityisesti tämän ja jännevälin välinen suhde (Kuva 7 Silmukkajohtimen asennustasoon ja kuuntelutasoon (kuulijan korvan taso) liittyvät käsitteet (Kuva 7)

3. Tilan rakenteet

- Erityisesti metallirakenteet; betoniraudoitus, kuitubetoni, alaslasketun katon metalliset tukirakenteet, talotekniikan rakenteet ja mahdolliset metalliset verhoilurakenteet.

SILMUKAN DIMENSIOT JA SILMUKKAVIRTA

HUOM: asennusympäristön rakenteissa olevien metallirakenteiden aiheuttamaa häviötä ei ole huomioitu näissä laskelmissa.

Suorakaiteen muotoisessa silmukassa ideaalitalanteessa silmukan keskipisteeseen silmukan asennustasossa syntyvän kentän voimakkuus voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$I = \frac{\pi ABH}{2D}$$

missä:

H = haluttu kentän voimakkuus (A/m)

A ja B ovat silmukan sivun pituudet (m)

D = suorakulmion lävistäjän pituus: $D = \sqrt{A^2 + B^2}$

1 m * 1 m neliön keskipisteeseen syntyy siis ideaalitalanteessa 1 A/m kenttävoimakkuus 1.1107 A virralla.

PYSTYSUUNTAINEN SIJAINTI

Pystypoikkeaman vaikutusta voidaan arvioida seuraavalla laskentakaavalla:

$$\frac{H_0}{H_{0z}} = \frac{(Y + h_n^2) * (1 + Yh_n^2) * \sqrt{(1 + Y^2) * (Y^2 + Yh_n^2 + 1)}}{(Y^2 + 2Yh_n^2 + 1)}$$

Missä:

H_0 = sähkömagneettisen signaalin kentän voimakkuus silmukan keskipisteessä johtimen tasolla

H_{0z} = sähkömagneettisen signaalin kentän voimakkuus kuuntelutasossa silmukan keskipisteessä

h = kuuntelukorkeuden etäisyys silmukkatason (m)

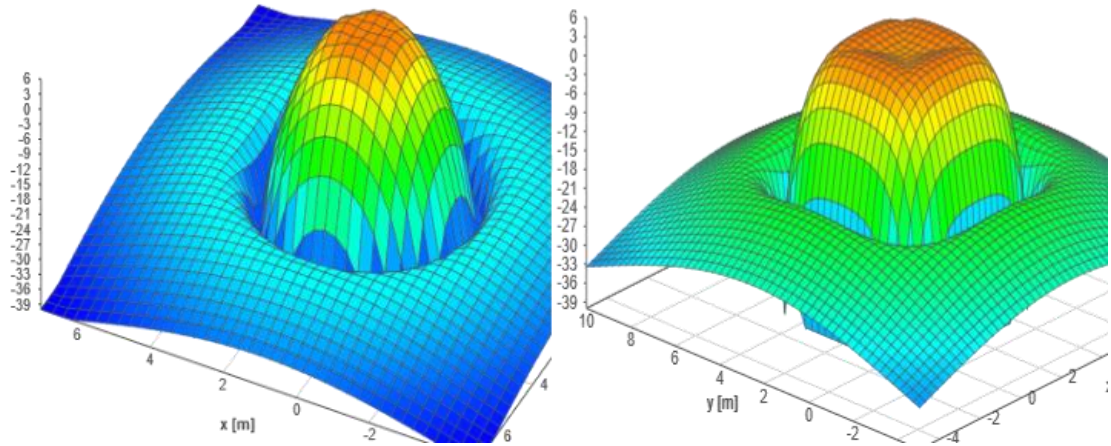
A ja B ovat silmukan sivujen pituudet (m) (A = lyhyempi, B pidempi)

$$h_n = \frac{2h}{\sqrt{AB}}$$

$$Y = \frac{B}{A}$$

Mitoitus-esimerkki, informaationäytön edessä oleva silmukka

Seuraavassa taulukossa on esitetty muutamia neliön muotoisen silmukan mitoitusvaihtoehtoja ja niiden vaatimia virran voimakkuuksia. Tulokset on luotu käyttäen Univox mallinnusohjelmaa, silmukkajohdin on sijoitettu lattiatasoon ja lattian betoniraidoitus on normaalivahvuinen. Mitoituksen tavoitteena oli standardin mukaisen signaalivoimakkuuden luominen seisomakorkeudella (1.7 m) silmukan keskelle. Pienikokoisen silmukan tapauksessa voimakkain signaali sijoittuu silmukan keskelle. 4 m x 4 m ja 5 m x 5 m silmukoissa maksimi signaalin voimakkuus sijoittuu lähelle silmukkajohdinta (Kuva 8).



Kuva 8 2mx2m ja 5mx5m silmukoiden tuottamien magneettikenttien muoto

X (m)	Y (m)	Virta(A)	1.7 m, 0dB	max @ 1.2 m	
1	1	20,0	0 dB	+7.6 dB	
1,5	1,5	12,0	0 dB	+7.3 dB	
2	2	8,5	0 dB	+6.1 dB	
3	3	6,0	0 dB	+5.9 dB	maksimikenttä alueen keskellä
4	4	6,0	0 dB	+4.1 dB	alueen keskellä + 2.72 dB
5	5	6,0	0 dB	+3.7 dB	alueen keskellä +1.5 dB

Taulukosta nähdään, että liian pienen silmukan käyttäminen

1. johtaa erittäin suuren virran tarpeeseen ja lisäksi
2. signaalin voimakkuuden ero seisomakorkeudella (1.7 m) ja istumakorkeudella (1.2 m) kasvaa tarpeettoman suureksi.

Tällaisessa tapauksessa, missä näyttötaulun edessä tai ympärillä on riittävästi tilaa, kannattaa käyttää 3 m ... 5 m jänneväliä. Tällaisessa tapauksessa myös kannattaa yleensä toteuttaa silmukka monilenkkisenä rakenteena ja valita silmukkajohtimen paksuus siten, että sopii hyvin vahvistimen lähdön ominaisuuksiin. Esimerkin tapauksessa nelikierröksen silmukan ohjaamiseen tarvittava virta kokonaisvirta jakautuu siten, vahvistimen tarvitsee tuottaa 6 A sijasta vain 1.5 A lähtövirta.

Esimerkiksi 3 m *3 m silmukan DC resistanssit eri johdinpaksuuksilla ja kierrosmäärillä ovat:

Kierrosmäärä	0.75 mm ²	1 mm ²	1.5 mm ²	2.5 mm ²
1	0.26 Ω	200 mΩ	130 mΩ	80 mΩ
2	0.53 Ω	400 mΩ	260 mΩ	160 mΩ
3	0.80 Ω	600 mΩ	400 mΩ	240 mΩ
4	1.07 Ω	800 mΩ	530 mΩ	320 mΩ

Useimpien silmukkavahvistimien kuormaresistanssien tulee olla välillä 0.5 Ω - 2 Ω, eli edellisessä tapauksessa kannattaisi käyttää joko 4 x 0.75 mm² tai 4 x 1 mm² kaapelia, joka kytketään nelilenkkiseksi silmukkarakenteeksi.

Liian pieni kuormaimpedanssi johtaa vahvistimen yllirasittumiseen ja sen käyttöiän lyhenemiseen.

Järjestelmän mitoituksessa tulee huomioida se, että silmukan induktanssi kasvaa kierrosmäärän neliössä. Nelikierroksisena silmukan impedanssin induktiivinen osuus kasvaa kertoimella 16, eli vahvistimen kyky toistaa korkeita taajuuksia tulee huomioida mitoituksessa. Tarvitaan siis laaja jännitedynamiikka.

Kuparijohtimen resistanssi voidaan arvioida kaavalla:

$$R = \rho * \frac{l}{A}$$

missä:

R = johtimen resistanssi

ρ = johdinmateriaalin ominaisvastus (kuparilla 0.01678 * 10⁻⁶, 20°C lämpötilassa)

l = johtimen pituus (m)

A = johtimen poikkileikkauksen pinta-ala (m²)

Resistanssi kasvaa johtimen lämpötilan kasvaessa, mutta useimmissa tapauksessa tämän vaikutus on merkityksettömän pieni.

Suoran poikkileikkaukseltaan pyöreän johtimen induktanssi voidaan arvioida kaavalla:

$$L = 2 l [(\ln 2 * \frac{l}{r}) - 1]$$

missä:

L = induktanssi (yksikkönä nH)

l = johtimen pituus (cm)

r = johtimen säde (cm)

15.1.3.3 Silmukkasignaalin ylikuuluminen ympäröiviin tiloihin

Silmukkasignaalin kuuluvuusalue ei rajaudu antennisilmukan rajaamaan alueeseen, vaan se ulottuu aina jonkin verran sen ulkopuolelle. Ylikuulumista voidaan hallita suunnitteluteknisin keinoin. Ylikuuluminen samassa tasossa oleviin viereisiin tiloihin voidaan hallita tehokkaasti vaihesiirtotekniikkaa käyttäen. Ylikuuluminen ylä- ja alapuolisiin tiloihin on vaikeammin hallittavissa ja useiden suunnittelutyökalujen tarjoamat mahdollisuudet sen tutkimiseen ovat rajoittuneet.

Taulukko 1 kuvaa signaalin pystysuoraa vaimenemista yksikkösilmukan leveyden suhteen ilmaistuna häviöttömässä tilanteessa. Rakennuksen kerrosten väliset katto/lattiarakenteet lisäävät vaimennusta jonkin verran, joten tilanne kannattaa varmistaa testisilmukan avulla aina kun se on mahdollista.

Taulukon laskennassa on käytetty neliön muotoista 10 m x 10 m silmukkarakennetta ja vaimennus on mitattu sen keskipisteen kohdalla sijaitsevalla pystysuoralla linjalla. Referenssitasona on 1.2 m korkeudella mitattu signaalin voimakkuus 0 dB. Jännevälin muuttuessa tulee huomioida kuuntelukorkeuden ja silmukan jännevälin suhteen ja siten myös silmukavirran muuttuminen!

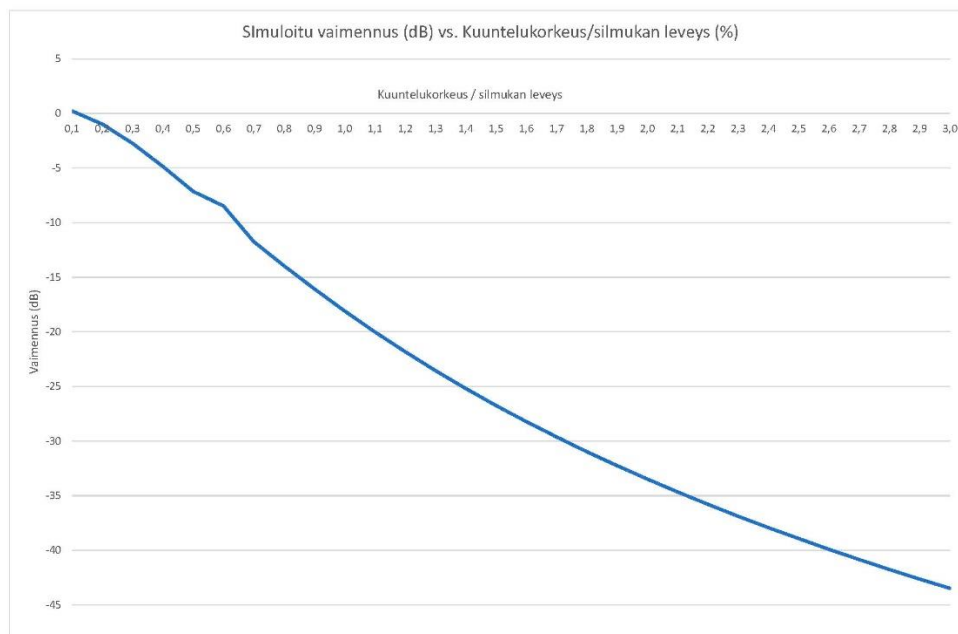
*Siis esimerkiksi 5 m x 5 m silmukan tapauksessa kuuntelukorkeus on 0.24 x jänneväli ja 5 m etäisyydellä silmukan asennustasosta vaimennus on n. 16.4 dB, kun se 10 m x 10 m tapauksessa on -18.08 dB. Kertoimesta 0.24 voidaan arvioida, että kuuntelukorkeudella vaimennus on $0.98 \text{ dB}_{0.2} + 0.4 * (2.74 \text{ dB}_{0.3} - 0.98 \text{ dB}_{0.2}) = 1.684 \text{ dB}_{0.24}$ ja silmukan jänneväliä vastaavalla korkeudella se on $18.08 \text{ dB} - 1.684 \text{ dB} = 16.396 \text{ dB} \sim 16.4 \text{ dB}$*

2 m x 2 m silmukalla vastaavasti 1.2 m kuuntelukorkeus on 60 % jännevälistä ja 2 m korkeudella vaimentuma 1.2 m korkeudella mitattuun signaalin voimakkuuteen verrattuna on $18.08 \text{ dB} - 8.46 \text{ dB} = 9.62 \text{ dB}$. 4 m korkeudella vaimentuma on 25 dB ja 6 m korkeudella jo noin 35 dB.

Taulukko 1 Pystysuora ylikuuluminen yksikkösilmukan leveyteen suhteutettuna (10 m x 10 m silmukka)

Kuuntelukorkeus / silmukan leveys	Signaalin voimakkuus (dB)
0,1	0,22
0,2	-0,98
0,3	-2,74
0,4	-4,85
0,5	-7,13
0,6	-8,46
0,7	-11,73
0,8	-13,94
0,9	-16,06
1,0	-18,08
1,1	-20
1,2	-21,81
1,3	-23,54
1,4	-25,17
1,5	-26,73

Kuuntelukorkeus / silmukan leveys	Signaalin voimakkuus (dB)
1,6	-28,21
1,7	-29,61
1,8	-30,96
1,9	-32,24
2,0	-33,46
2,1	-34,65
2,2	-35,78
2,3	-36,87
2,4	-37,91
2,5	-38,92
2,6	-39,89
2,7	-40,83
2,8	-41,74
2,9	-42,62
3,0	-43,47



Kuva 9 Pystysuora ylikuuluminen

15.1.4 Vahvistimen valinta

Induktiosilmukkajärjestelmässä käytetään induktiosilmukkajärjestelmään tarkoitettua erikoisvahvistinta. Vahvistinta ei pidä valita pelkästään tilan pinta-alan perusteella, vaan huomioon otetaan silmukan rakenteen, tilan muodon, rakennusmateriaalin ja talotekniikan vaikutukset. On siis huomioitava vahvistimen virranantokyky ja lähtöjännitteen dynaaminen alue. Lisäksi tulee huomioida tilassa käytettävän ohjelmasisällön luonne, jotta pystytään huomioimaan vahvistimen tehovaatimusten ja AGC-toiminnon sopiva mitoitus.

Raudoitetut rakenteet silmukkajohtimen läheisyydessä heikentävät magneettikentän kenttävoimakkuutta ja vääristävät taajuusvastetta. Tällöin tulee silmukkavahvistimen valinnassa varautua ylimääräiseen tehontarpeeseen

Ongelmaksi muodostuu se, että eri vahvistinvalmistajien datalehdissään ilmoittamat parametriarvot eivät ole vertailukelpoisia. Usein datalehdissä ilmoitetaan pelkästään asennuskohteen maksimi pinta-ala, mikä on tyypillisesti harhaanjohtava tieto, joka voi pitää paikkansa vain täysin ilman metalliosia rakennetussa juuri oikean muotoisessa tilassa. Usein vahvistinvalmistajan mitoitussuositus myös perustuu oletamaan, että silmukan kautta toistetaan pelkästään puhetta. Tällöin esimerkiksi musiikkia toistettaessa vahvistin helposti yllirasittuu ja vaurioituu.

Todellisuudessa datalehdessä ilmoitettu pinta-ala kannattaa jakaa vähintään kertoimella 2 ja vahvemman betoniraudoituksen tai teräsrunkoisen rakennuksen tapauksessa jopa kertoimella 5.

Vahvistinvaihtoehtoja vertailtaessa kannattaa keskittyä laitteisiin, joiden kaikki merkittävät tekniset parametrit on kuvattu riittävän tarkasti.

Vahvistimen teho valitaan pääsääntöisesti hieman ylimitoittaen, jolloin siinä riittää säätövaraa myös huonompiin olosuhteisiin. Käytännössä työsuorituksissa ja sopimuksissa on hyvä varautua siihen, että vahvistin tullaan vaihtamaan tehokkaampaan, jos se ei täyty vaadittuja arvoja mittauksissa.

15.2 Induktiosilmukkajärjestelmän asennus

Järjestelmän asennus koostuu seuraavista osista:

- sähköisten komponenttien ja kaapeloinnin asennuksesta
- AV-laiteasennuksesta ja käyttöönotosta.

Induktiosilmukan kaapeloinnissa noudatetaan tarkasti kaapelointipiirustuksen ohjeistusta. Mikäli jostain syystä katsotaan tarpeelliseksi poiketa ohjeista, on muutoksen toimivuus varmistettava silmukkarakenteen suunnittelijan kanssa.

Silmukkajohtoa ei tule asentaa muiden sähkö- ja laitejohtojen kanssa välittömästi vierekkäin, jotta häiriöt eivät siirry johtimien välillä. Silmukkajohdotusta ei myöskään tule kiinnittää betoniraudoitukseen vaan mahdollisuuksien mukaan siitä erilleen raudoituksen vaimentavan vaikutuksen vuoksi.

15.2.1 Asennustapoja

Silmukan vaatima johdotus asennetaan yleensä joko lattian tasoon tai kattoon, noin 2,5...2,8 m korkeuteen lattiasta. Suurissa tiloissa (leveys tai pituus tyypillisesti yli 5 m) silmukka toteutetaan tasaisemman kenttävoimakkuuden ja riittävän taajuusvasteen saavuttamiseksi useampilenkkisenä.

Silmukkajohdin voidaan asentaa esimerkiksi:

- asennusputkeen muiden sähköasennusten tapaan
- listoituksen alle, jolloin listaan jyrsitään ura silmukkajohtoa varten tai käytetään valmista johdotukseen tarkoitettua listaa
- foliojohdinta käyttäen listoituksen taakse tai alle
- lattiamateriaalin alle
- rakenteisiin, esimerkiksi betonivaluun tai alaslasketun katon tukirakenteisiin
- keraamisen laatan tai lattiamaton alle kiinnityslaastiin tai tasoitekerrokseen.

Jos asennustilaa on vähän, johdotus voidaan tehdä käyttäen tarkoitusta varten tehtyä lattakuparijohdinta, jonka kuparifolion paksuus on tyypillisesti 0,1 mm, minkä lisäksi johtimen paksuuteen on lisättävä n. 0.1 mm ... 0.2 mm eristekerros sekä kiinnitysteipin ja suojateipin paksuus. Lattiamaton alle asennettaessa tulee huolehtia riittävästä maton paksuudesta, jotta lattakupari ei erotu maton alta. Lattiapinnoitteen asentajan tulee ottaa silmukka-asennus huomioon lattiapäällystettä asentaessaan johdinvaurioiden välttämiseksi.



Kuva 10 Kuparifoliojohdin (Lähde: Univox)

Joissakin tapauksissa, etenkin valmiiseen tilaan asennettaessa, on käytännöllisintä työstää ura lattiamateriaaliin, esimerkiksi laattasaumaan, asentaa johdin uraan ja täyttää ura tasoitteella.

Jälkiasennuksessa silmukka voidaan asentaa esimerkiksi jalka- tai kattolistaan. Ovi-aukot voidaan kiertää myös yläkautta, mikäli johtoa ei voida piilottaa kynnyksen alle tai kiinnittää sen kylkeen.

Silmukkajohdotus muodostaa kuuntelutason kanssa yhdensuuntaisen tason, jonka korkeuden tulee yleensä olla noin 1,2 m kuuntelutason (eli sen vaakasuoran tason, jolla kuulokoje sijaitsee) ylä- tai alapuolella. Tämä tulee huomioida erityisesti tiloissa, joissa on nouseva katsomo.

Induktiosilmukka voidaan integroida esimerkiksi teräsrungon päälle rakennettuihin katsomoihin (erityisesti siirto/teleskooppikatsomot). Ratkaisu tulee suunnitella huolellisesti silmukka-, sähkö- ja rakennesuunnittelijan yhteistyönä. Erillisenä toteutuksena vaarana on, että katsomorakenne vaimentaa signaalia liikaa.

Jos suuressa tilassa ei ole mahdollista tehdä useampipenkkisiä silmukkajohdotuksia, esimerkiksi jos peruskorjauksen yhteydessä lattiamateriaaleja ei uusita, voidaan silmukkajohto sijoittaa seinälle jopa usean metrin korkeuteen. Tällöin tulee kiinnittää erityistä huomiota silmukkavahvistimen virransyöttökykyyn. Silmukkatason ja kuuntelutason välisellä etäisyydellä voidaan vaikuttaa kenttävoimakkuuden tasaisuuteen kuuntelutasossa. Hyvänä ohjearvona pidetään sitä, että huoneen reunalle asennettaessa silmukkajohtimen pystysuuntainen etäisyys kuuntelutasosta on noin 12...16 % silmukkalenkin leveydestä.

Suuriläpimittainen silmukka vaatii toimiakseen suuren virran, joka voi aiheuttaa häiriöitä muihin laitteisiin. Tätä ratkaisua tulee käyttää vain, jos tiheä johdotus on mahdoton toteuttaa.

Silmukkajohdon sijoitus tulee suunnitella huolellisesti laitetoimittajan tai sähkösuunnittelijan kanssa, jotta sähkömagneettisen kentän ominaisuudet saadaan maksimaalisesti hyödynnettyä.

Silmukkavahvistimen tarvitsema tila riippuu vahvistimen tehosta. Suuriin tiloihin tarkoitettut tehokkaat vahvistimet ovat yleensä ns. räkkikokoa. Silmukan syöttökaapelina käytetään kierrettyä paria, jolloin silmukkasignaalin vaikutus muihin laitteisiin minimoituu. Syöttökaapelin resistanssi tulee huomioida järjestelmän mitoituksessa.

Sijoituksessa otetaan huomioon, että vahvistimeen tulee päästä helposti käsiksi toiminnallisuuden ja kytkentöjen tarkistamiseksi. Asennustilan tuuletus tulee myös huomioida vahvistimen tuottaman lämmön vuoksi.

Liityntä silmukkavahvistimen lähdestä tilaan asennettuun silmukkaan tule aina tehdä joko tiukasti kierrettyä johdinparia tai sellaista syöttökaapelia käyttäen, missä syöttö- ja paluujohdin on kulkevat tiiviisti yhteen pakattuna, mieluummin toistensa ympäri kierrettynä parikaapelina.

15.3 Silmukkajärjestelmän säätö ja testaus

15.3.1 Tulosignaalin tason säätö

Vahvistimen tulosignaalinä pyritään aina käyttämään balansoitua linjatasoista signaalia (18.1, 22.4, 22.14), jolloin etuvahvistimen ja silmukkavahvistimen siirtotiehen kytkettyjen häiriöiden osuus saadaan minimoitua.

Vahvistimen tulokanavan herkkyys säädetään vahvistinvalmistajan ohjeita noudattaen siten, että AGC toiminto aktivoituu normaalilla voimakkuudella tyypillisellä puhe-etäisyydellä tuotetun puhesignaalin huippukohdissa. Tämä indikoidaan tyypillisesti merkikiedien avulla.

Tämän jälkeen on AGC toiminnon laatu vielä tarkastettava syöttämällä mikrofoniin signaali (esimerkiksi puhe) lyhimmältä käytännölliseltä puhe-etäisyydeltä ja kuuntelemalla signaalia kuuntelulaitetta ja hyvälaatuisia kuulokkeita käyttäen. Signaali ei saa säröytyä häiritsevästi.

Säätö voidaan tehdä tehokkaimmin ja tarkimmin ns. keinosuun avulla tuotetun 1 kHz taajuista sinisignaalia käyttäen, jolloin vastaavien merkikiedien tulee aktivoitua.

Esimerkiksi NTI Talkbox laitteen testisignaaliavalikoimassa on sekä 60 dB/m puhesignaali ja vastaavalla voimakkuudella toistettava 1kHz sinisignaali ja myös vaaleanpunainen kohinasignaali.

15.3.2 Sähkömagneettisen kentän voimakkuus

Kenttävoimakkuus mitataan kuuntelukorkeudella (1.2 m tai 1.7 m) siten, että vastaanotinkela on kuulolaitteessa olevan vastaanotinkelan tavoin pystyasennossa. Siis mitataan magneettikentän pystysuoran kentän voimakkuutta.

Kun toimitaan tilassa, missä tilaisuuksiin osallistutaan sekä istuen, että seisten, mitaus kannattaa tehdä molemmilla korkeuksilla sekä vahvimman, että heikoimman kuuluvuuden alueilla, mutta kuuluvuuskartta voidaan luoda kompromissina 1.45 m korkeudella tehtyjen mittausten perusteella.

Tarkin ja parhaiten toistettava tulos saavutetaan, kun säätöön käytetään jatkuvaa sinisignaalia. Toinen varsin hyvään tulokseen johtava testisignaali on International Speech Test Signal (ISTS) synteettinen puhesignaali, jonka voi ladata esimerkiksi osoitteesta <http://www.ehima.com/documents>

Ongelmaksi nousee usein se, että jatkuva sinisignaali kuormittaa vahvistinta normaalia puhe- tai musiikkisignaalia enemmän, jolloin vahvistin voi ylikuumentua ja sammua tai laskea lähtösignaalin tasoa. Jotkin vahvistimet myös tulkitsevat jatkuvan sinisignaalin äänen kierroksi ja laskevat lähtötehoa useilla desibeleillä.

Tällaisessa tapauksessa kannattaa käyttää matalampaa signaalin tasoa ja etsiä tilasta paikka, jossa signaali on voimakkain, ja tehdä lopullinen signaalin tason säätö mahdollisimman nopeasti tässä pisteessä 1 kHz sinisignaalia käyttäen.

Koska metallihäviöiden korjaus voi vaikuttaa myös 1 kHz taajuuden toistoon, kenttävoimakkuuden hienosäätö kannattaa tehdä metallihäviön korjauksen säätämisen jälkeen.

15.3.3 Metallihäviöiden korjaus / taajuusvasteen säätö

Silmukkavahvistimissa on mahdollisuus metallihäviön vaikutuksen kompensoimiseen korkeita taajuuksia korostavan taajuuskorjaimen avulla. Säätöpotentiometri on yleensä merkitty kirjainlyhenteellä MLC (Metal Loss Correction).

Signaalin taajuusvaste säädetään siten, että se on mahdollisimman tasainen tai hieman korkeita taajuuksia korostava ja täyttää silmukkastandardissa asetetun laatukriteerin:

Signaalin voimakkuus pysyy 1 kHz taajuudella mitatun signaalivoimakkuuteen verrattuna alueella ± 3 dB taajuusalueella 100 Hz – 5 kHz.

Säätö suoritetaan kytkemällä vahvistimeen vuorotellen 1 kHz ja 5 kHz testisignaali ja säätämällä taajuusvaste siten, että 5kHz taajuudella lähtösignaalin taso on alueella ± 3 dB (ref 1 kHz).

Joissakin kenttävoimakkuusmittareissa on myös mahdollisuus taajuusvasteen testaamiseen kohinasignaalia käyttäen. Tällöin järjestelmään syötetään vaaleanpunaista kohinaa, ja mittarin kytkimen avulla voidaan mitata erikseen 100 Hz, 1 kHz ja 5 kHz taajuuskomponenttien signaalin voimakkuudet. Tätä menetelmää voidaan käyttää myös siinä tapauksessa, että käytettävissä on spektrianalysaattori. Tällöin voidaan myös varmistaa se, että taajuusvaste pysyy standardissa määritettyjen raja-arvojen sisällä koko taajuusalueella, eikä siihen ole tehty vastetta vääristäviä korjauksia äänentoistojärjestelmässä.

15.3.4 Vahvistimen ylikuormitus / särö

SFS-EN 60118-4 standardissa ei määritetä hyväksyttävälle särölle varsinaista raja-arvoa, vaan hyväksyntäkriteerinä on joko se, että vahvistimen ylikuormituksen ilmaisin ei aktivoidu tai signaalissa ei oskilloskoopilla tarkasteltuna näy leikkautumista. Kyseessä siis ei ole kovin vaativa kriteeri.

Uusimmassa standardiversiossa määritetty testausprosessi:

Taulukko 1 Ylikuormitustestissä käytettävät testitaajuudet eri ohjelmatyypeillä

Tyypillinen signaali	Maximum power bandwidth ylärajataajuus	Testaustaajuus
Lyhytaikainen puhe (esim. palvelupiste tai kuulutus)	1,25 kHz	2,5 kHz
Puhe (oletus)	1,6 kHz	3,15 kHz
Musiikki	2,0 kHz	4,0 kHz

- Säädetään lähtösignaalin voimakkuus standardin vaatimukset täyttäväksi 1 kHz taajuudella (0 dB = 400 mA/m)
- Säädetään taajuusvaste standardin vaatimusten mukaiseksi
- Lasketaan silmukkavirran voimakkuutta 7 dB. Voimakkuutta säädettäessä ja tarkasteltaessa käytetään 1kHz sinisignaalia.
- Mitataan SNR
- Tarkastellaan silmukkavahvistimen lähdön jännitesignaalia
- Nostetaan sinisignaalin taajuutta kunnes:
 - Lähtöjännitteen amplitudi kaksinkertaistuu, tai

- ii. Taulukossa (Taulukko 1) määritelty testitaajuus saavutetaan (2.5 kHz, 3.15 kHz, 4.0 kHz)
 - 7. Testitaajuudeksi valitaan näistä korkeampi
 - 8. Vahvistimen ylikuormitus todetaan jollain seuraavista menetelmistä
- iii. SNR kasvaa 1kHz arvoon verrattuna merkittävästi (sharp increase in THD)
- iv. Vahvistimen mitattu lähtöjännite saavuttaa vahvistimelle ilmoitetun komplianssijännitteen (ilmoitettu vain harvoille vahvistintyypeille).
- v. Oskilloskoopilla tarkasteltu lähtösignaali leikkautuu
- vi. Vahvistimen lähdön ylikuormitusledi syttyy (clip indicator)
- 9.
- 10. Testin jälkeen palautetaan signaalin voimakkuus oikeaan arvoon (0 dB)

Tämä testi on varsin vaativa, eikä sitä voi suorittaa pelkkää kenttävoimakkuusmittaria käyttäen.

Yleinen kokemukseen perustuva näkemys on, että kuulolaitetta käyttävän henkilön tyypilliset kuulon ominaisuudet huomioiden musiikkisignaaleissa särö ei saa ylittää 2 % ja puhesignaaleissa 5 % tasoa. Laadukkaassa silmukajärjestelmässä standardin mukaisesti mitattuna nyrkkisääntönä voidaan pitää noin 1 % maksimiarvoa.

Kenttävoimakkuusmittareissa ei ole erikseen särömittaustoimintoa, joten tätä testiä varten tarvitaan edistyneempää testauskalustoa.

15.3.5 Häiriökentät

Häiriökentän voimakkuutta mitattaessa tulee käyttää A-painotusta, joka mallintaa ihmisen kuuloaistin matalia taajuuksia vaimentavaa toimintaa (22.3 A-painotus)

Häiriötaso tulee mitata tilassa kolmessa eri tilanteessa:

- 1. Silmukajärjestelmä ei ole toiminnassa
- 2. silmukajärjestelmä on toiminnassa, mutta siihen ei syötetä signaalia
- 3. Sekä silmukajärjestelmä, että äänentoistojärjestelmä ovat toiminnassa, mutta järjestelmään ei syötetä signaalia.

Tuloksia vertaamalla voidaan havaita, jos joko silmukajärjestelmä tai äänentoistojärjestelmä tuottaa liikaa häiriötä, tyypillisesti kohinaa tai hurinaa.

Testirajat:

- 4. Pitkäaikaiseen kuunteluun tarkoitettu tila, jossa signaalin esteettinen laatu on tärkeä (teatteri, konserttisali, luentosali, kirkko)

- a. Häiriösignaalin taso saa olla enintään $-47 \text{ dB}_{\text{ref. 400 mA/m}}$
 - tiloissa, missä akustinen taustamelu on tätä arvoa korkeampi, ei näin tiukkaa häiriötason vaatimus kuitenkaan ole aina realistinen, koska tällöin mikrofoniin kautta kytkeytyvä häiriösignaali tulee vallitsevaksi häiriöksi.
5. Tilassa, missä kommunikaation toimivuus on tärkeämpi kuin signaalin esteettinen laatu ja missä ei tyypillisesti kuunnella ohjelmaa pitkiä aikoja;
 - b. Häiriösignaalin taso saa olla enintään $-32 \text{ dB}_{\text{ref. 400 mA/m}}$
 - c. Tässä tapauksessa asiasta tulee raportoida tilassa toimivalle taholle ja muistuttaa, että tässä tilassa silmukkasignaalin kuuntelu on rasittavaa ja puheen ymmärrettävyys kärsii.
6. Lyhytaikaiseen kuunteluun tarkoitettussa tilassa (esim. palvelupiste);
 - d. Häiriösignaalin taso saa olla enintään $-22 \text{ dB}_{\text{ref. 400 mA/m}}$
 - e. Äänentoistojärjestelmään kytkeminen päälle saa kasvattaa häiriöiden tasoa enintään 1 dB.

15.4 Silmukkajärjestelmän asennuksen lopputarkastus ja luovutus käyttäjälle

Asennuksen valmistuttua suoritetaan lopputarkastuksena signaalin laadun testaukset SFS-EN 60118-4 standardissa määritellyjä menetelmiä käyttäen.

Lopputarkastuksessa tulee testata signaalitien toimivuus kaikista normaalisti käytettävistä äänilähteistä silmukkaan, sähkömagneettisen kentän voimakkuus, taajuusvaste, säröttömyys ja häiriöetäisyys koko kuuntelualueella.

Mittauksien perusteella tulee laatia standardin kappaleessa Annex. C2 kuuluvuuskartat, jotka sijoitetaan tilan ovien välittämään läheisyyteen samoin kuin silmukkasymboli ja järjestelmän toimivuudesta vastaavan henkilön yhteystiedot.

Lisäksi tilassa tulee olla saatavissa loppukäyttäjälle ohje järjestelmän käyttöohje; tyypillisesti silmukkasymbolin yhteyteen lisätty teksti, esim. ”Kytke kuulolaite T- tai MT-asentoon”



Kuva 11 Silmukkasymboli

Lopputestauksen tulokset tulee dokumentoida ja luovuttaa työn tilaajalle samoin kuin järjestelmän toteutukseen liittyvä dokumentaatio.

Tilaaja on koulutettava järjestelmän käyttöön ja hänelle on luovutettava selkeä käyttöohje ja ohjeistus menetelmistä, joilla järjestelmän toimivuus voidaan tarkastaa (kappale 15.5 Silmukkajärjestelmän ylläpito)

Esimerkkinä luovutusdokumentaation yhteenvedosta voidaan käyttää seuraavalla sivulla olevaa lomaketta.

	INDUKTIOSILMUKKAJÄRJESTELMÄN LOPPUTARKASTUSPÖYTÄKIRJA	
Tilan osoite:		
Tilan tunnistus:		
Asiakas		
Asentamamme induktiosilmukkajärjestelmä on suunniteltu, toteutettu ja testattu voimassa olevan SFS-EN 60118-4 standardin määrittelemällä tavalla ja täyttää tässä standardissa määritellyt vaatimukset, kuitenkin huomioiden alla esitetyt varaukset.		
Varaukset:	Induktiosilmukkastandardissa määritellyt vaatimukset eivät täysin toteudu seuraavissa kohdissa:	
1.		
Poikkeama		
Poikkeaman syy:		
2.		
Poikkeama		
Poikkeaman syy:		
Silmukkajohtimien sijainti:		
Silmukkajohtimien tyyppi ja resistanssi:		
Johdin 1:		
Johdin 2:		
Silmukkavahvistimen tyyppi:		
Silmukkavahvistimen sijainti:		
Mittauspöytäkirja:		
Merkinnät:		
Silmukkasymbolit:		
Kuuluvuuskartta:		
Yhteystiedot:		
Muita huomioita		
	Allekirjoitukset	Päiväys
Yritys:		
Suunnittelija:		
Asentaja: Silmukkakaapeli		
Asentaja: Silmukkavahvistin		
Testaaja:		

Kuva 12 Esimerkki lopputarkastuspöytäkirjasta

15.5 Silmukkajärjestelmän ylläpito

Silmukkajärjestelmän toimivuus on tarkastettava säännöllisesti, esimerkiksi ennen jokaisen tilaisuuden alkua. Tarkastus voidaan tehdä kuulokkeilla varustettua kenttävoimakkuuslaitetta tai pelkkää kuuntelulaitetta käyttäen, jos laitteen signaalin voimakkuuden säätö asetetaan aina samaan voimakkuuteen.

15.5.1 Tarkastusmittaus

Parasta on tehdä tarkastus aina samassa pisteessä ja samaa äänilähdettä käyttäen.

Äänilähde voi olla mikrofoniin puhuva henkilö tai myös ns. keinosuu tai joku muu vakioidulla äänenvoimakkuudella ääntä tuottava laite.

Signaalin voimakkuus tarkastetaan kenttävoimakkuusmittarin näytöstä tai pelkkää kuuntelulaitetta käytettäessä kuuntelemalla.

- Huom: signaalin voimakkuutta ei pidä testata kuulolaitetta käyttäen, koska kuulolaitteen oma AGC toiminto pyrkii korjaaman signaalin voimakkuuden halutulle tasolle.

Tämän lisäksi signaalin laatu tulee testata kuuntelemalla kuuntelulaitetta ja hyvälaatuisia kuulokkeita käyttäen, jotta voidaan havaita laitteiston vaurioitumisesta johtuva signaalin säröisyys tai ulkopuolisista häiriölähteistä kytkeytyvät häiriösignaalit.

15.5.2 Jatkuva-aikainen valvonta

IEC 62489-1 standardin mukaan kiinteästi asennetun induktiosilmukan toimintaa pitää tarkkailla reaaliajassa. Jatkuva monitorointi pitää toteuttaa siten, että se antaa reaaliaikaista informaatiota induktiosilmukan toiminnasta.

Silmukan toimintaa voidaan valvoa tehokkaasti asentamalla tilaan silmukkasignaalin laadusta kertova näyttölaite, joka ilmaisee silmukkastandardin voimakkuusvaatimuksen täyttävän sähkömagneettisen kentän valaisemalla tauluun sijoitetun silmukkasymbolin.

Myös muutamat vahvistintyyppit voidaan liittää internet-pohjaiseen ylläpitojärjestelmään, mikä mahdollistaa automaattisen kunnonvalvonnan.



Kuva 13 Aktiivinen silmukan toiminnan ilmaiseva silmukkasymboli
(Lähde. AB Transistor Sweden)

15.5.3 Dokumentaatio

Tehdyt mittaukset tuloksineen tulee kirjata ylläpitopäiväkirjaan, jotta mahdollisen vi-
kaantumisen ajankohta ja syy on mahdollista jäljittää.

15.6 Tyypillisiä ongelmia

15.6.1 Liian pienitehoinen vahvistin

Laitevalmistajat määrittelevät usein vain maksimi pinta-alan, johon vahvistin suositel-
laan asennettavan. Tämä on tyypillisesti erittäin optimistinen ja harhaanjohtava arvo,
joka voi pitää paikkansa juuri oikean muotoisessa tilassa, jonka rakenteissa ei ole mi-
tään tehohäviötä synnyttävää materiaalia ja silmukkajohdin on juuri oikeantyyppinen.

Oikeampi tapa on määritellä vahvistimen maksimi lähtövirta (RMS), maksimi lähtöjän-
nite (RMS), silmukkajohtimen sallittu resistanssialue ja mielellään myös maksimi in-
duktanssi. Ellei näitä parametreja ole ilmoitettu laitteen dokumentaatioissa, ei ky-
seistä laitetta kannata hankkia.

15.6.2 Silmukkajohtimen valinta

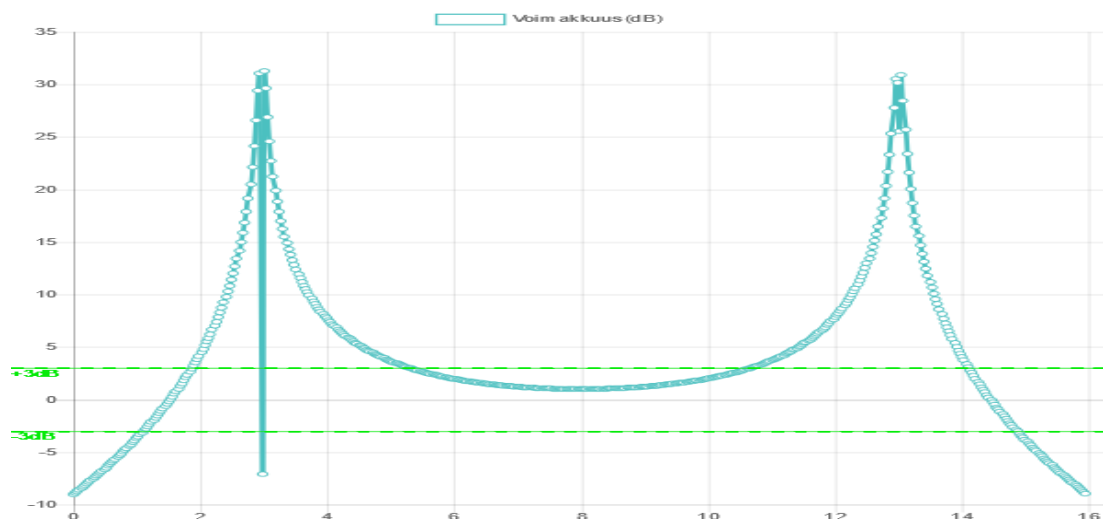
Silmukkajohtimen paksuus tulee valita siten, että sen DC resistanssi on vahvistimen
kuormaksi sopiva. Liian pieni resistanssi kuormittaa tarpeettomasti vahvistimen lähtö-
astetta ja liian suuri resistanssi silmukan induktanssiin yhdistettynä rajoittaa maksimi-
virtaa kuoman yli syntyvän jännitehäviön kasvaessa vahvistimen lähdön dynaamista
aluetta suuremmaksi aiheuttaen signaalin säröytymistä.

Modernit vahvistimet yleensä testaavat silmukan käynnistyessään mittaamalla sen
resistanssin ja jos se on liian pieni tai suuri, eivät käynnisty lainkaan.

Reunasilmukoissa kannattaa useimmiten käyttää kaksi- tai kolmikierrossilmukkaa, jol-
loin tarvitaan pienempitehoinen ja edullisempi vahvistin.

15.6.3 Silmukkajohtimen sijoitus väärälle korkeudelle

Joskus tapaa silmukka-asennuksia, joissa silmukkajohdin on sijoitettu seinään lähelle
kuuntelukorkeutta. Tässä tapauksessa pystysuuntainen kenttä vaimenee erittäin no-
peasti siirryttäessä johtimesta pois päin (Kuva 14). Kuvan tapauksessa silmukkajohdin
sijaitsee täsmälleen kuuntelukorkeudella.



Kuva 14 Silmukkasignaalin voimakkuus silmukkajohtimen sijaitessa kuuntelukorkeudella

Toinen yleisesti esiintyvä ongelma syntyy silloin, kun tilassa on nouseva katsomo, mutta silmukka-antenni sijoitetaan kattoon tai katsomon alle tasaiseen lattiaan. Tällöin sopiva signaalin voimakkuus on mahdollista luoda vain ensimmäisille penkkiriveille (lattia-asennus) tai ylimmille penkkiriveille (kattoasennus).

15.6.4 Tilajakoa ei ole huomioitu

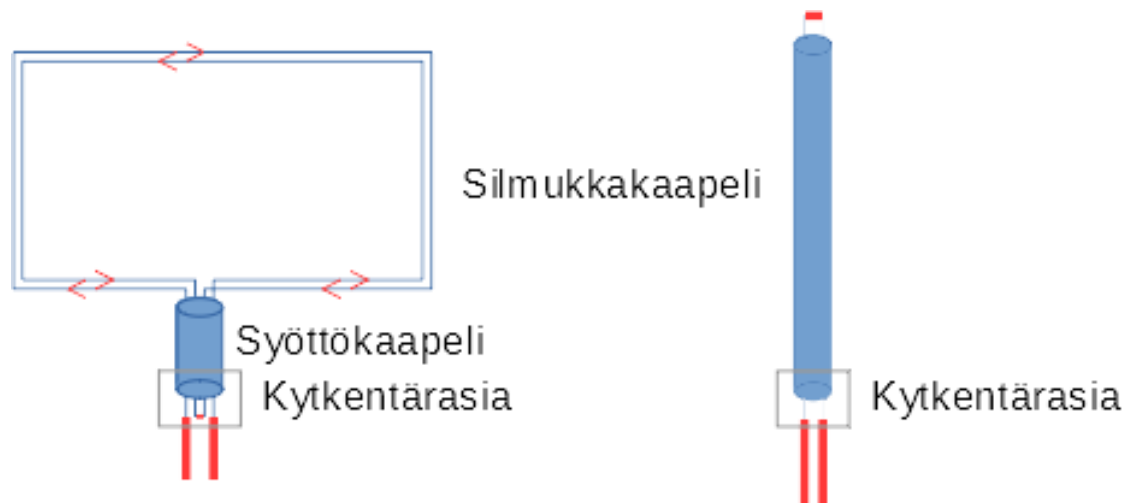
Mikäli tilaa on suunniteltu käytettävän sekä yhtenä tilana, että väliseinillä useaan tilaan jaettuna, on myös induktiosilmukka jaettava vastaaviin osiin ja tilan osien välinen ylikuuluminen estettävä oikein mitoitetta vaihesiirtorakennetta käyttäen.

15.6.5 Järjestelmän käyttöönotto on tekemättä

Yllättävän usein ilmenee tapauksia, joissa joko vahvistimen signaalikaapeli tai silmukkakaapeli on kytkemättä tai kaikki vahvistimen säädöt ovat tehdasasetuksissa, eli 'nollassa' mikä osoittaa, että järjestelmää ei ole voitu testata asennuksen yhteydessä. Asennuksesta ei useimmiten myöskään löydy mitään dokumentaatiota, käyttöohjetta eikä tarkastus- tai huolto-ohjetta.

15.6.6 Virheellinen silmukka-antennin rakenne tai virran suunnat

Joskus tapaa asennuksia, joissa kaksijohtiminen kaapeli on asennettu tilaan siten, että silmukkavirta kulkee kaapelin johtimissa vastakkaisiin suuntiin. Tällöin kokonaisvirta on nolla, eikä kaapelin ympärille synny sähkömagneettista kenttää. Tilanne voi syntyä esimerkiksi siten, että johtimien rinnankytkentä on tehty kytkentä-rasiassa väärin tai jopa siten, että parikaapelin johtimet yhdistetään kaapelin toisessa päässä ja vahvistin kytketään syöttämään virtaa kaapelin toisesta päästä.



Kuva 15 Usein tavattuja virheellisiä silmukka-antennin kytkentöjä

15.7 Silmukkavahvistimet

15.7.1 Perinteiset silmukkavahvistimet

Perinteiset silmukkavahvistimet ovat virtavahvistimia, eli ne tuottavat kuormaansa tulosignaalista riippuvan virtasignaalin. Kyseessä on siis ns. transkonduktanssivahvistin, eli jännitteellä ohjattu virtalähde. Perusteena tähän valintaan on se, että induktiosilmukka on tyypillisesti induktiivinen kuorma, jonka impedanssi on voimakkaasti signaalin taajuudesta riippuva. Virtavahvistin tuottaa kuormaimpedanssista riippumatta tietyllä tulosignaallilla aina samansuuruisen lähtövirran, eli sen taajuusvaste on suora myös induktiivisella kuormalla kuormitettuna.



Kuva 16 Suurehkossa tilassa käytettäväksi soveltuva induktiosilmukkavahvistin (lähde: Ampetronic)

Muita silmukkavahvistimen toiminnan kannalta tärkeitä piirteitä ovat AGC-toiminto ja metallihäviön kompensointi.

Vahvistimen tuloherkkyyden säätimen avulla tulosignaalin taso säädetään siten, että normaalilla äänenvoimakkuudella AGC toiminto aktivoituu. Tämä havaitaan yleensä LED merkkivalojen avulla. Kun signaalin voimakkuus nousee, AGC toiminto säätää lähtösignaalin voimakkuuden tietyn aikavakion mukaisesti samaan tasoon. AGC toiminnon säätöalue on tyypillisesti noin 40 dB.

Metallihäviön kompensointi on loiva taajuusvasteen säätötoiminto, jolla voidaan korostaa korkeita äänitaajuuksia. Näin voidaan kompensoida tilan rakenteissa olevien metallirakenteiden, esim. betoniraudoituksen, magneettikentän voimakkuuteen aiheuttamaa vaimentumaa.

Vahvistimen tärkein ominaisuus on sen kyky syöttää virtaa induktiiviseen kuormaan. Tähän vaikuttavat vahvistimen lähdön jännitealue, vahvistimen virransyöttökyky ja induktiosilmukan impedanssi, jotka tulee sovittaa yhteen siten, että vahvistin kykenee syöttämään koko taajuusalueella säröttömästi tarvittavan silmukkavirran.



Kuva 17 Kotikäyttöön soveltuva silukkavahvistin

Isommissa tiloissa ongelmaksi muodostuu useimmiten vahvistimen lähtöjännitealue. Jos silmukan impedanssi on liian suuri, sen yli tavoitevirralla muodostuva jännitehäviö kasvaa lähdon dynaamista aluetta suuremmaksi, signaali säröytyy ja rajoittuu tavoitearvoa pienemmäksi.

Pienissä tiloissa ongelmaksi muodostuu puolestaan silmukan pieni impedanssi, jolloin joko vahvistimen oikosulkusuojaus laukeaa tai vahvistin siitä syystä, että suurin osa tehohäviöstä tapahtuu vahvistimen lähtöasteen transistoreissa. Tämä johtaa vahvistimen vaurioitumiseen tai enneaikaiseen vanhenemiseen.

Silmukkajohdin siis tulee valita siten, että sen tuottama impedanssi sopii vahvistimen lähtöasteelle määritellyyn impedanssialueeseen. Valitettavasti kaikkien vahvistimien valmistajat eivät määrittele kuorman impedanssiarvoja datalehdissään.



Kuva 18 Juniin ja muihin liikennevälineisiin soveltuva silukkavahvistin

15.7.2 D-luokan vahvistimet

Viime vuosina on markkinoille julkaistu digitaaliseen signaalinkäsittelyyn perustuvia D-luokan lähtöasteella varustettuja silukkavahvistimia. Tällä rakenteella päästään kertaluokkaa parempaan hyötysuhteeseen, eli vahvistimet voidaan tehdä pienikokoisemmiksi ja kevyemmiksi. Koska D-luokan pääteasteen ohjaus on pulssimuotoinen, se soveltuu luontevasti digitaalisen signaalinkäsittelyketjun osaksi. Tästä syystä nämä vahvistimet ovat tyypillisesti digitaalisesti ohjattuja ja myös audiosignaali voidaan kytkeä siihen digitaalisesti. Nämä vahvistimet on joskus myös varustettu Ethernet-liitynnällä ja sen myötä etäohjaus- ja etädiagnostiikkatoiminnalla.



Kuva 19 Moderni D-luokan silmukkavahvistin (Lähde: Ampetronic)

15.8 Testauslaitteet

15.8.1 Kenttävoimakkuusmittari

Kenttävoimakkuusmittari on mittalaite, joka sisältää kuulolaitteen vastaanotinkelaa vastaavan vastaanotinkelan, signaalivahvistimen ja SFS-EN 60118-4 standardissa määritellyn 125 ms aikavakiota käyttävän RMS ilmaisimen sekä tyypillisesti ledipatsasnäytön.

RMS laskennan suodatuksessa käytetty 125 ms aikavakio on käytännössä ledinäytön selkeyden kannalta liian nopea, joten näytön toimintaa on yleensä hidastettu lisäsuodatuksella. Tämän takia esimerkiksi puhesignaalia ilmaistaessa eri mittarien näytöt voivat käyttäytyä toisistaan poikkeavasti.

Tästä syystä tarkkoja mittaustuloksia on vaikea saavuttaa puhesignaalia käytettäessä ja tarkimmat tulokset saavutetaan jatkuvaa sinisignaalia käyttämällä.

Mittarit mahdollistavat aina myös häiriösignaalin voimakkuuden testaamisen. Tätä testiä tehtäessä on huomattava, että mittari täytyy kytkeä käyttämään A-painotusta, jotta mittarin antamat signaalin voimakkuuslukemat pitävät paikkansa.

Mittaria käytettäessä on oleellista pitää laitetta pystysuorassa oikealla kuuntelukorkeudella (1.2 m tai 1.7 m). Vastaanotinkelan sijainti ja suunta on yleensä merkitty laitteen kanteen.



Kuva 20 Kenttävoimakkuusmitareita

15.8.2 Kuuntelulaite

Kuuntelulaite on saman tyyppinen laite kuin kenttävoimakkuusmittari, mutta se on tarkoitettu pelkästään induktiosilmukkasignaalin kuunteluun. Joissakin kuuntelulaitteissa voi olla yksi tai kaksi LED indikaattoria, jotka ilmaisevat sen, että silmukkasignaali on voimakkuudeltaan oikeaa suuruusluokkaa. Tällaista laitetta voi käyttää järjestelmän ylläpitotarkastuksissa.



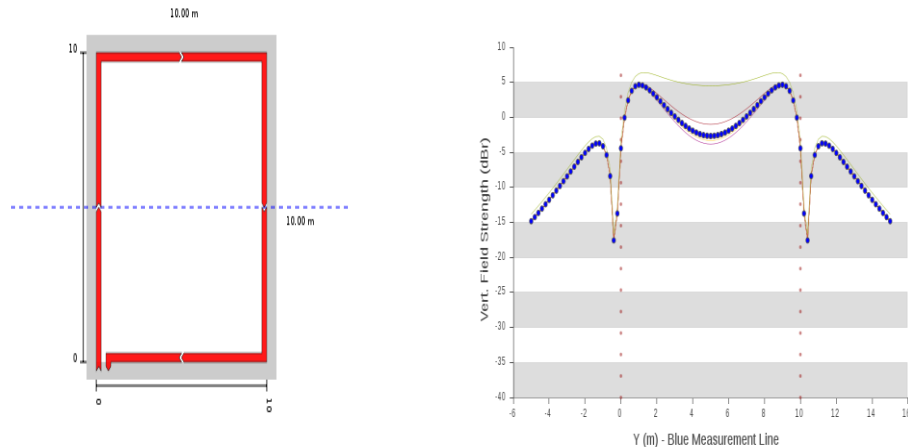
Kuva 21 Kuuntelulaite

15.9 Silmukka-arkkitehtuurit

Silmukkajohdotuksen muoto riippuu tilan koosta ja siitä, halutaanko silmukan kuuluvuusalueita johonkin suuntaan rajoittaa.

Kehittynein silmukka-arkkitehtuuri on vaihesiirtosilmukka, jota käsitellään kappalessa 15.10.

15.9.1 Yksinkertainen silmukka (reunasilmukka)



Kuva 22 Reunasilmukka ja sen tuottaman signaali-voimakkuuden jakauma

Yksinkertaisin silmukkarakenne on tyypillisesti tilan tai kuuntelualueen ulkoreunoja seuraava johdinlenkki. Tämä rakenne tunnetaan nimellä reunasilmukka.

Tämä rakenne toimii hyvin pienehköissä tiloissa, joiden kohdalla ei signaalin ylikuulumisesta ole haittaa.

Mikäli silmukan jänneväli (vastakkaisten reunojen välinen etäisyys) ylittää noin 5 m, tulee helposti ongelmaksi signaalin liiallinen vaimeneminen huoneen keski-osassa erityisesti korkeampien taajuuksien osalta. Tämä johtuu kahdesta seikasta:

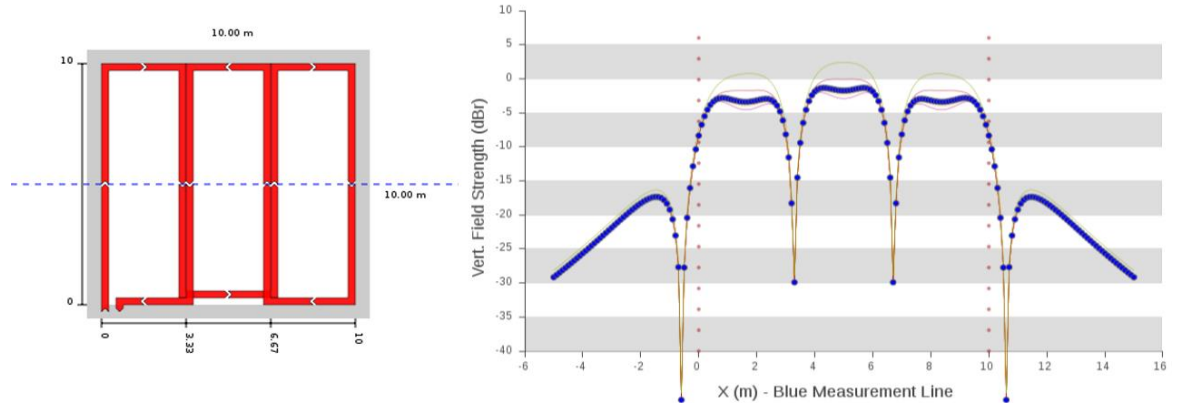
7. Etäisyys silmukkajohtimeen kasvaa niin suureksi, että magneettinen kenttä heikkenee.
8. Tilan rakenteissa oleva johtava materiaali, tyypillisesti betonirauditus heikentää magneettista kenttää.

Yllä olevassa kuvassa (simulointitulokset) silmukan jänneväli on 10 m ja tilassa oletetaan olevan normaalisti raudoitettu betonilattia. Tässä tapauksessa tilan keskellä signaali vaimenee tilan keskellä 1 kHz taajuudella noin 7.5 dB ja 5 kHz taajuudella noin 8.5 dB.

Puu- tai kivirakenteisissa tiloissa, joissa ei ole merkittäviä metallirakenteita ja ulkotiloissa maksimi käyttökelpoinen jänneväli on noin 10 m. Normaalisti raudoitettua betonilattiaa tapauksessa maksimi jänneväli on noin 5 m ja raskaasti raudoitettua rakenteen tapauksessa jopa alle 2 m.

15.9.2 Monilenkkinen silmukka (8-silmukka)

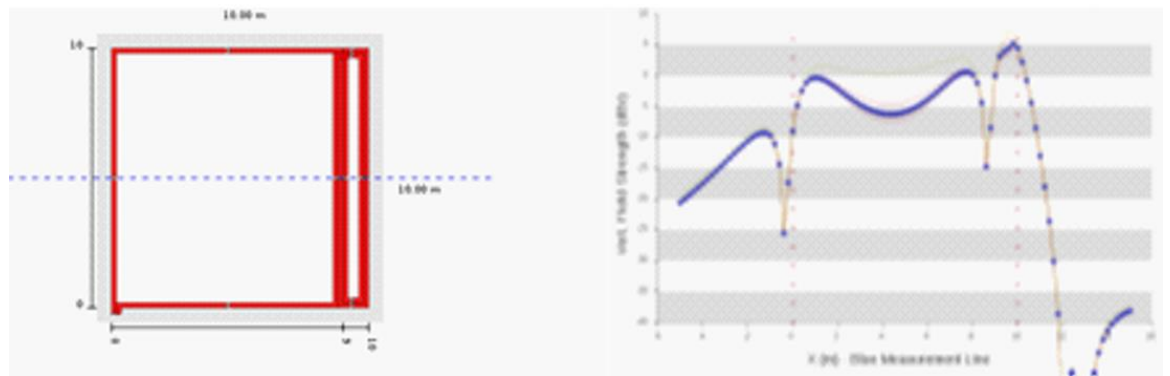
Huoneen koon kasvaessa silmukka voidaan rakentaa useista vierekkäisistä johdinlenkeistä. Tätä rakennetta kutsutaan kahdeksikkosilmukaksi (number eight loop). Tämän arkkitehtuurin etuna on reunasilmukan tavoin yksinkertainen rakenne ja soveltuvuus suuremmissa tiloissa käytettäväksi. Haittana on samoin reunasilmukan tavoin ylikuluminen ja lisäksi kaapelien kohdalla olevat signaalivoimakkuuden nollakohdat.



Kuva 23 Kahdeksikkosilmukka

15.9.3 Estosilmukka

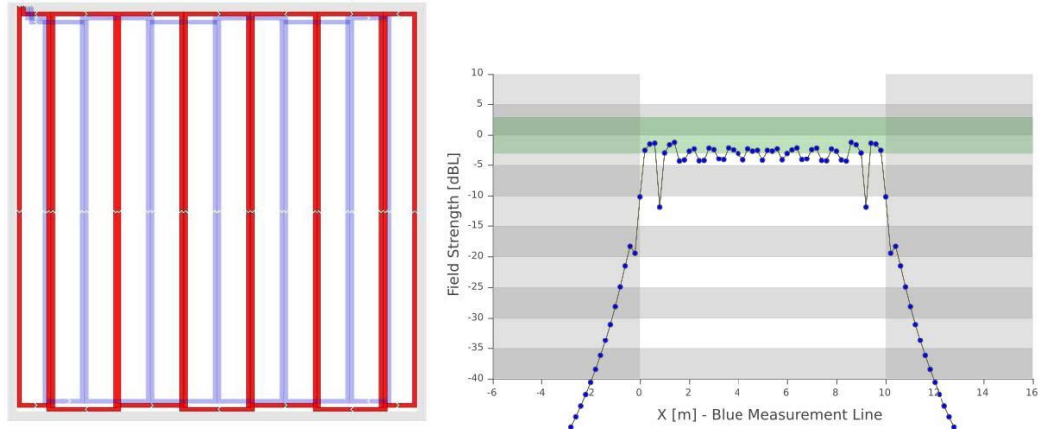
Mikäli silmukan kuuluvuutta johonkin suuntaan halutaan rajoittaa, voidaan sen reunaan suunnitella kapea silmukkalenkki, joka tehdään joskus vaimennuksen tehostamiseksi kaksinkertaisena lenkinä.



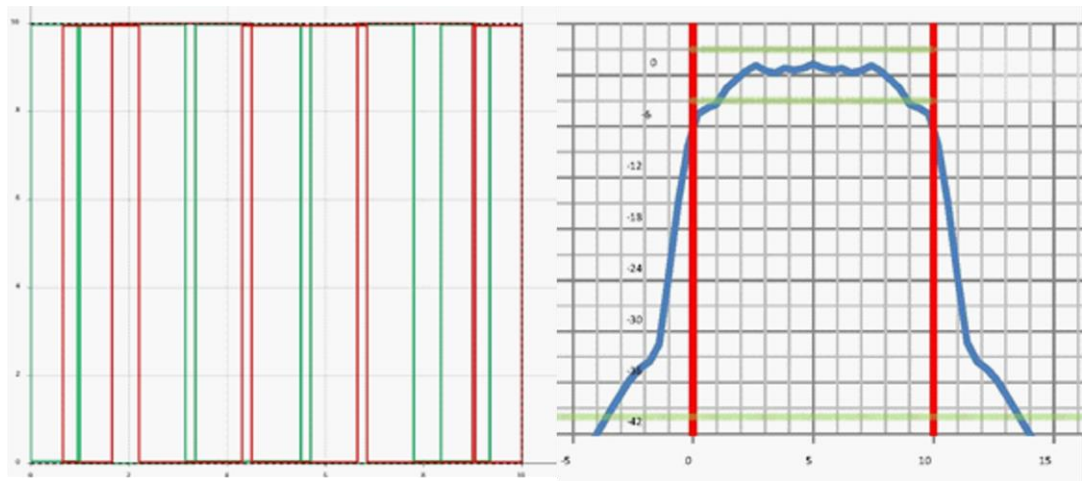
Kuva 24 Reunasilmukkaan lisätty kahdella johdinkierroksella toteutettu estosilmukka

15.10 Vaihesiirtosilmukka

Kun induktiosilmukajärjestelmän ylikuuluminen ja signaalin voimakkuus halutaan hallita tarkasti, käytetään kahden limittäin sijoitetun monilenkkisen silmukan järjestelmää, missä silmukkavirtojen välille luodaan erikoisvahvistimen avulla 90° vaihesiirto.



Kuva 25 Vaihesiirtoarkkitehtuuri (Lähde: Univox)



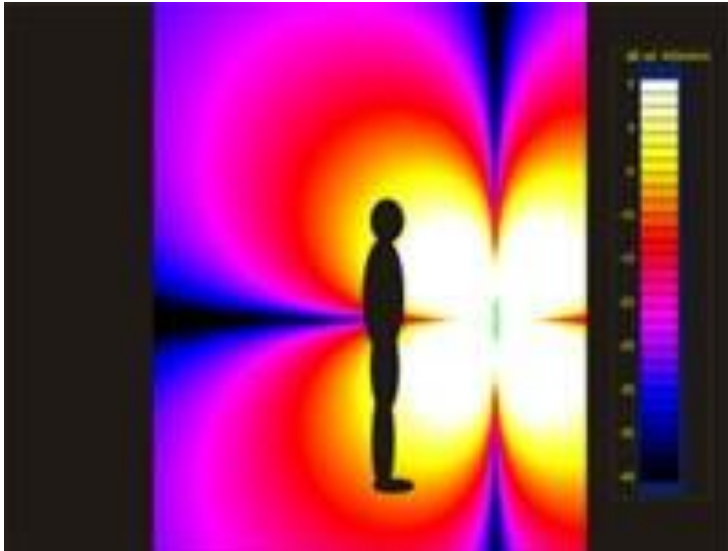
Kuva 26 Vaihtoehtoinen vaihesiirtoarkkitehtuuri (Lähde: Ampetronic)

Vaihesiirtosilmukan avulla voidaan induktiosilmukan ylikuuluminen ja kuuluvuusken-
tän tasaisuus hallita tarkasti. Esimerkiksi väliseinillä osiin jaettavan monikäyttötilan
eri osiin voidaan suunnitella erilliset silmukat, joita voidaan käyttää joko yhdessä tai
erikseen riippuen tilan käyttömuodosta ilman ylikuulumisesta aiheutuvia ongelmia.

15.11 Palvelupistesilmukka

Palvelupistesilmukka on yhden palvelupisteen kattava silmukka pankissa, postissa,
hotellin vastaanotossa tai vastaavassa palvelupisteessä. Se voi olla kiinteästi palvelu-
tiskin rakenteisiin asennettu, tai joissakin erityistapauksissa myös siirrettävä.

Palvelupistesilmukalla varustettu palvelupiste tulee testata ja merkitä SFS-EN 60118-
4 standardissa määritellyllä tavalla.



Kuva 27 Palvelupistesilmukan toiminta (Lähde: Ampetronic)

15.11.1 Kiinteä palvelupistesilmukka

Kiinteisiin palvelupisteisiin asennetaan palvelupisteen rakenteisiin kiinnitetty silmukka-järjestelmä. Se koostuu yleensä monikierroksisesta johdinsilmukasta, silmukkavahvistimesta ja mikrofonista. Hyvin meluisassa tilassa voi olla tarpeen asentaa myös asiakkaan puolelle mikrofonin, jolloin palveluisteella työskentelevä henkilö kuulee asiakkaan puheen joko kaiuttimen, kuulokkeiden tai induktiosilmukan avulla.

Silmukkajohdin asennetaan yleensä palvelupisteen työpöydän rakenteeseen siten, että silmukan tuottama magneettikenttä suuntautuu palvelupisteessä asioivan henkilön korvien suuntaan. Palvelupisteessä, missä asioidaan istuen, standardissa määriteltä kuuntelukorkeus on 1.2 m. Palvelupisteessä, missä asioidaan seisten, kuuntelukorkeus on 1.7 m. Näissäkin tapauksissa on huomioitava pyörätuolia käyttävät ja lyhytkasvuiset asiakkaat, joten myös 1.2 m korkeudella silmukan signaalin on oltava standardin mukainen.

Järjestelmän säädössä ja lopputestauksessa noudatetaan SFS-EN 60118-4 standardissa määriteltyjä menetelmiä ja laatukriteereitä.



Kuva 28 Kiinteästi työpöytään asennettu palvelupistesilmukka (Lähde: QLU Oy)

15.11.2 Siirrettävä palvelupistesilmukka

Joissakin tapauksissa, erityisesti väliaikaisesti käytössä olevissa palvelupisteissä tai esim. sairaalan potilashuoneissa voidaan käyttää myös siirrettävää induktiosilmukkaa.

Tällöinkin on parasta käyttää erillistä mikrofonia, jolloin saavutetaan paras mahdollinen äänenlaatu. Siirrettävän silmukkayksikön sijoittaminen vaatii sen toiminnan tuntemista, jotta magneettikenttä voidaan sijoittaa ja suunnata kuuntelijan kannalta parhaalla mahdollisella tavalla.



Kuva 29 Siirrettävä palvelupistesilmukka (Lähde: Opus Technologies)

15.12 Kaulasilmukka

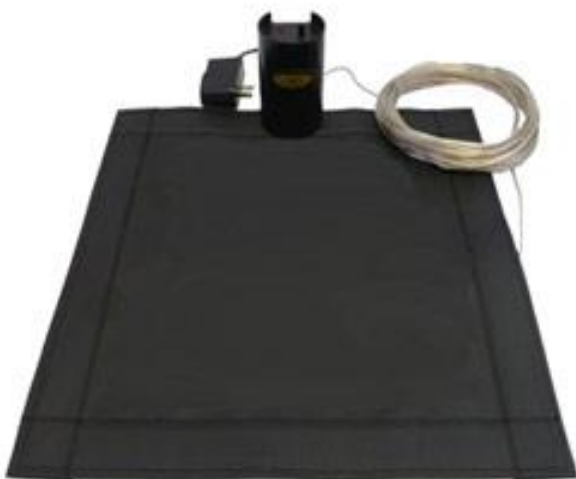
Kaulasilmukka on henkilökohtaiseen käyttöön tarkoitettu kaulaan ripustettava induktiosilmukka, jota kuulolaitetta käyttävä henkilö voi käyttää esimerkiksi puhelimen hands-free laitteena, infrapunajärjestelmän vastaanottimen tai musiikkisoittimen lisälaitteena.



Kuva 30 Puhelimen hands-free käyttöön suunniteltu kaulasilmukka (Lähde: Jentafon Oy)

15.13 Tyynysilmukka

Tyynysilmukka on henkilökohtaiseen käyttöön tarkoitettu, esimerkiksi tuolille asetettava induktiosilmukka, jonka avulla kuulolaitetta käyttävä henkilö voi kuunnella erilaisia äänilähteitä kuten TV, radio tai musiikkisoitin.



Kuva 31 Tyynysilmukka (Lähde Inloop)

16 Äänilähteet

16.1 Mikrofonit

Mikrofoni on akustosähköinen muunnin, joka muuttaa paineen tai ilman hiukkasnopeuden vaihtelut jännitesignaaliksi.

Herkkien kondensaattorimikrofonien herkkyys saattaa olla luokkaa 10 mV/Pa, epäherkempien dynaamisten mikrofonien n. 1 mV ... 2 mV/Pa.

Mikrofonista saatavan signaalin taso on pieni, n. 1 mV ... 30 mV. Siirrettäessä signaalia näin pienillä tasoilla on ongelmana herkkyys häiriöille. Tästä syystä mikrofoni-kaapeli pitempiä pyritään aina rajoittamaan mahdollisimman lyhyeksi ja käyttämään balansoitua siirtokaapelia (18.1, 22.4).

16.1.1 Dynaaminen mikrofoni

Dynaaminen liikkuvakelainen mikrofoni (moving coil microphone) toimii periaatteessa samalla tavalla kuin dynaaminen kaiutin, mutta päinvastaiseen suuntaan.

Dynaamisten mikrofonien herkkyys on pääsääntöisesti pienehkö. Dynaaminen mikrofoni on rakenteeltaan yksinkertainen, joten se voidaan rakentaa hyvin vahvaksi ja soveltuu siten hyvin keikkakäyttöön.

Äänenpaineen vaihtelun vaikutuksesta liikkuvaan kalvoon on kiinnitetty pieni johdinkela, joka on sijoitettu magneettisen materiaalin luomaan magneettikenttään. Kun kela liikkuu magneettikentässä, kelaajohtimeen indusoituu äänitaajuudella vaihteleva sähkövirta, joka muutetaan sarjavastuksen avulla jännitesignaalksi, joka vahvistetaan mikronivahvistimella.

Dynaamisten mikrofonien kohdalla ongelmaksi voi muodostua se, että mikrofonin kelaan läpi kulkiessaan silmukkasignaali indusoi kelaan virran, eli mikrofoni toimii induktiivisena vastaanottimena. Tällöin voi syntyä äänenkierto, joka yleensä sammuu, kun mikrofoni käännetään pois induktiosignaalin suunnasta.

Nykyisin mikrofonit on yleensä varustettu tehokkaalla magneettisella suojauksella, joten tämä ongelma on harvinaisen ja useimpia dynaamisia mikrofoneja voi käyttää turvallisesti myös induktiosilmukan yhteydessä.



Kuva 32 Dynaaminen mikrofoni-kapseli (lähde: www.neumann.com)

16.1.2 Kondensaattorimikrofoni

Kondensaattorimikrofonissa kalvona toimii ohut, metallista valmistettu tai metalloitu folio. Tämä muodostaa yhdessä kalvon välittömään läheisyyteen sijoitetun elektrodin kanssa kondensaattorin, jonka kapasitanssi vaihtelee kalvon ja elektrodin välisen

etäisyyden mukaan. Kun napojen välille tuodaan vastuksen kautta tasajännite (ns. polarisaatiojännite), saadaan äänisignaali "ratsastamaan" tasajännitteen päällä.

Kondensaattorimikrofoni tarvitsee siis toimiakseen aina ulkopuolisen jännitteen, ns. phantom jännitteen, joka on tyypillisesti 48 V.

Kondensaattorimikrofonin lähtöimpedanssi on erittäin suuri, joten signaali on vahvistettava hyvin korkean tuloimpedanssin omaavalla, tyypillisesti mikrofonin sisään asennetulla puskurivahvistimella.

Koska mikrofonikalvo voidaan valmistaa erittäin kevyeksi, mahdollistaa tämä rakenne erittäin tarkasti äänipaineen vaihtelua seuraavan mikrofonin valmistamisen. Tästä syystä kondensaattorimikrofonilla voidaan saavuttaa erinomainen äänenlaatu.

Vastaavasti heikkoudeksi muodostuu helposti herkkyys mekaanisille vaurioille.

Myös erittäin suuret äänenpaineet voivat vaurioittaa herkimpiä kondensaattorimikrofoneja.

16.1.3 Elektreettimikrofoni

Elektreettimikrofoni on kondensaattorimikrofonin erikoistyyppi, joka ei tarvitse polarisaatiojännitettä, koska kapseli on valmistettu pysyvästi polarisoidusta materiaalista. Mikrofoniin liittyvän etuvahvistimen vuoksi käyttöjännite kuitenkin tarvitaan, mutta se voi olla huomattavasti pienempi, esim. 5 V, mistä syystä tätä mikrofonityyppiä käytetään tyypillisesti tietokoneiden ja kannettavien laitteiden yhteydessä

16.1.4 Nauhamikrofoni

Nauhamikrofonit ovat käytännössä erityisellä tavalla toteutettuja dynaamisia mikrofoneja. Nauhamikrofonissa kalvona toimii voimakkaaseen magneettikenttään ripustettu ohut metallinauha, jonka päihin jännite muodostuu. Näin kalvoon ei tarvitse liittää erillistä kelaa, jolloin nauhan massa voidaan pitää pienenä. Nauhan impedanssi ja muodostuva jännite ovat hyvin pieniä, josta syystä rakenteeseen liittyy yleensä muuntaja.

16.1.5 Painevyöhykemikrofoni

Levymikrofoni eli painevyöhykemikrofoni (PZM, Pressure Zone Microphone, boundary microphone) on levymäinen mikrofoni. Se on tarkoitettu käytettäväksi suurehkolla pinnalla, tyypillisesti neuvottelupöydällä.

Suuntakuvio on tyypillisesti puolipallon muotoinen. Koska sekä suora ääni, että pöytäpinnasta heijastunut ääni saavuttavat mikrofonikapselin käytännössä samaan aikaan, mikrofonin herkkyys paranee noin 6 dB pelkän kapselin herkkyyteen verrattuna.



Kuva 33 Painevyöhykemikrofoni

16.1.6 Langattomat mikrofonit

Käytännössä kaikkia mikrofonityyppejä on saatavana myös langattomana. Tällöin mikrofoni on varustettu radiolähettimellä, joka lähettää signaalin äänentoistojärjestelmän yhteydessä olevaan vastaanottimeen.

Häiriöttömän signaalinsiirron varmistamiseksi kannattaa aina pyrkiä käyttämään ns. diversity -ominaisuuden omaavaa järjestelmää, joka on huomattavasti yksinkertaisempia järjestelmiä immuunimpi signaalin heijastumisesta aiheutuvan monitie-etene-
misen tuottamia häiriöitä vastaan.



Kuva 34 Langaton käsimikrofonijärjestelmä (AKG)

Tyypillisimmin käytetään langattomia käsimikrofoneja, 'madonnamikrofoneja' (head-set) ja 'kravattimikrofoneja' (lavalier/tie clip). Käsimikrofonissa radiolähetin on mikrofonirungon sisällä. Muissa malleissa lähetin on erillinen, esim. taskuun sijoitettava tai vaatteisiin kiinnitettävä lähetinyksikkö.



Kuva 35 Madonnamikrofoneja (Lähde: Sennheiser)



Kuva 36 Kravattimikrofonijärjestelmä (Sennheiser)

16.1.7 Erikoismikrofonit

Useimmista mikrofonityypeistä valmistetaan erityissovelluksiin optimoituja malleja, joilla pyritään optimoimaan mikrofoniin suuntakuviota, dynaamista vastetta yms. parametreja.

Yleisimmin käytettyjä ovat hyvin voimakkaasti suuntaavat superkardioidi, hyperkardioidi- ja haulikkomikrofonit, joilla esimerkiksi teatterissa pyritään poimimaan ääni kauempaa äänilähteestä.

Toinen yleisesti käytetty erikoismikrofoni on kontaktimikrofoni, joka reagoi kiinnitysalustansa, esimerkiksi soittimen kaikupohjan värähtelyyn.

Eräänlainen erikoismikrofoni on myös sähkökitaroissa käytetty 'magnetic pick-up'. Se ei reagoi lainkaan ympäristön ääniin, vaan suoraan teräskielen värähtelyyn mikrofoniin

luomassa magneettikentässä. Kyseessä on siis magneettinen vastaanotin, mikä tekee tästä mikrofonista erityisen herkän myös induktiosilmukan luomalle äänitaajuudelle magneettikentälle.

Uusi erikoismikrofonityyppi on aktiivinen suuntaava mikrofonimatriisi, jonka avulla voidaan automaattisesti poimia tietyistä suunnista tuleva ääni ja vaimentaa muut äänet. Tällaisia laitteita käytetään esimerkiksi neuvotteluhuoneissa etäkokouslaitteistojen yhteydessä.



Kuva 37 Aktiivinen suuntaava mikrofonimatriisi (lähde: Clearone Inc.)

16.1.8 Mikrofonien sijoittaminen

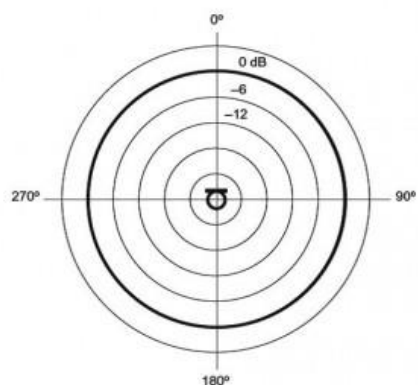
Koska äänensiirron perustehtävänä on erottaa hyötysignaali ympäristön häiriöäänistä, mikrofonit tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle puhujaa siten suunnattuna, että häiriöäänien ja huonekaiun kytkeytyminen järjestelmään on mahdollisimman vähäistä.

Joissakin asennuksissa äänensiirtojärjestelmä on kytketty kattoon tai seinään kiinnitettyyn ns. juorumikrofoniin. Tällaista järjestelyä tulee välttää, ja aina kun mahdollista tulee käyttää lähelle puhujaa sijoitettua riittävän suuntaavaa mikrofonia.

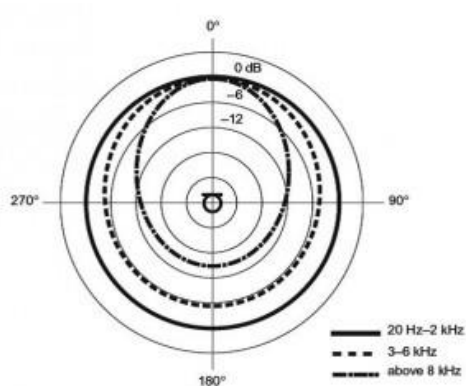
Mikrofonin suuntakuvio on tärkeää huomioida mikrofonin valinnassa, sijoittelussa ja suuntaamisessa. Esimerkiksi kampailmiö on huomioitava erityisesti pöytämikrofonien sijoittelussa (katso kappale 16.1.90)

Mikrofonin ja mikrofonikapselin rakenteella ja muotoilulla voidaan mikrofonin suuntakuviota muokata halutulla tavalla.

Yksinkertaisin herkkyysskuvio on pallomainen (omnidirectional), eli mikrofoni poimii kaikista suunnista tulevan äänen yhtä tehokkaasti. Todellisuudessa suuntakuvion muoto riippuu signaalin taajuudesta ja mikrofoni on tyypillisesti jonkin verran suuntaava suurilla taajuuksilla.

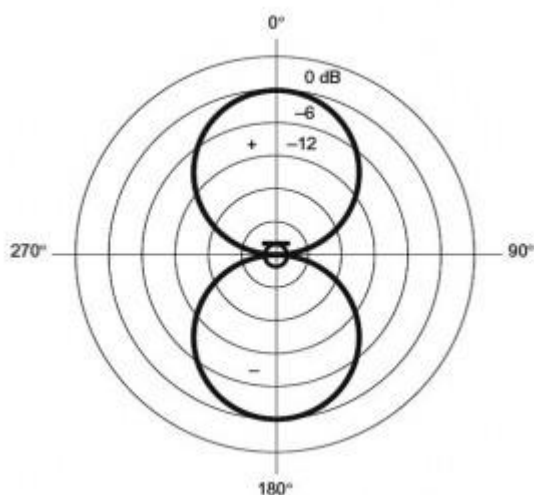


Kuva 38 Pallomainen (omnidirectional) suuntakuvio



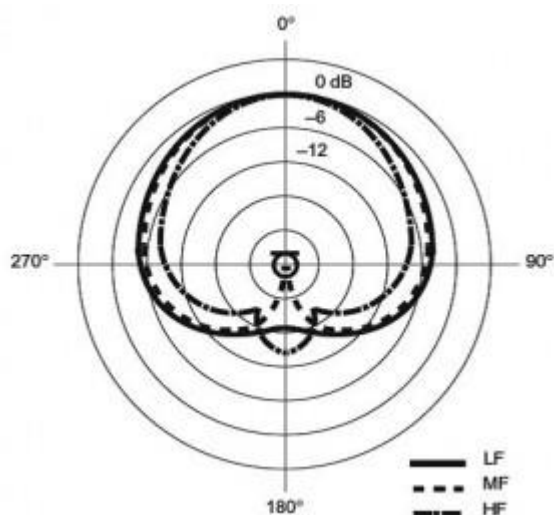
Kuva 39 Suuntakuvio eri taajuuksilla mitattuna.

Suuntakuvio voi olla myös ns. kahdeksikon muotoinen, eli se vaimentaa tehokkaasti sivusta tulevaa ääntä, mutta on herkkä sekä mikrofoniin edestä, että takaa tulevalle äänelle. Tämä kuvio on tyypillinen esimerkiksi nauhamikrofonille.

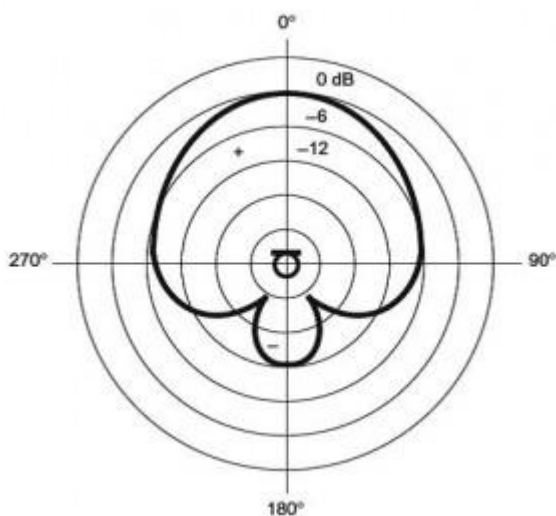


Kuva 40 Kahdeksikon muotoinen (numero eitiit) suuntakuvio

Kun tarvitaan suuntaavaa ratkaisua, voidaan käyttää kartioiden- tai superkardioidi- tai hyperkardioidi -tyyppistä mikrofonia.

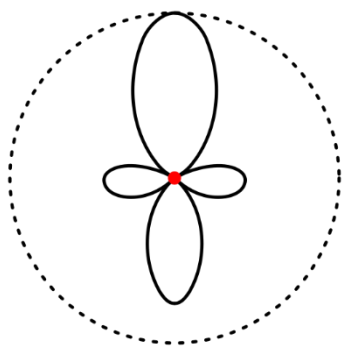


Kuva 41 Kardioidi suuntakuvio (Hertta)



Kuva 42 Hyperkardioidi suuntakuvio (Superhertta)

Äärimmilleen viety suuntaavuus saavutetaan ns. haulikkomikrofonilla, missä mikrofonin rungon muodolla ja siihen tarkasti sijoitetuilla aukoilla voidaan luoda erittäin kapea suuntakuvio. Haulikkomikrofoneille on tyypillistä se, että ne ovat varsin herkkiä myös suoraan takaa tulevalle äänelle, mikä on huomioitava mikrofonin sijoittelussa. Haulikkomikrofoneja käytetään usein teattereissa ja konserttisaleissa.



Kuva 43 Haulikkomikrofonin suuntakuvio

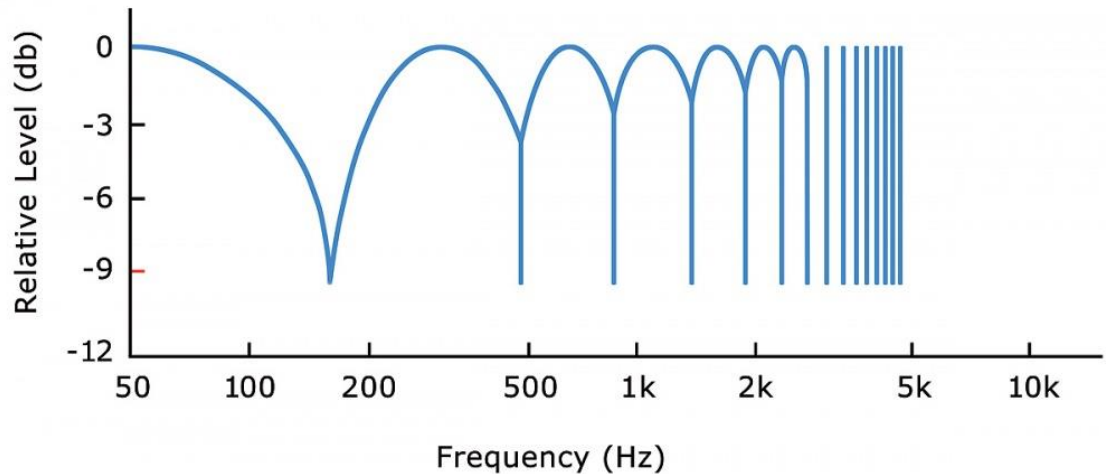


Kuva 44 Haulikkomikrofoni (Lähde: Sennheiser)

16.1.9 Kampailmiö

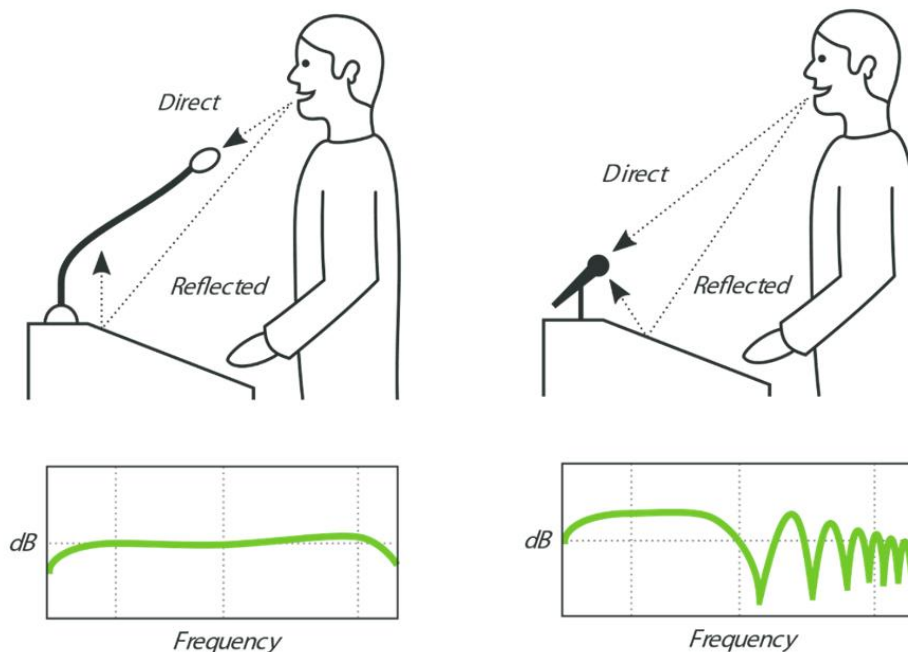
Kun signaali saapuu esimerkiksi mikrofoniin kahta reittiä siten, että signaalien viive-ero on täsmälleen puolet signaalin jakson pituudesta, signaalien välillä on 180° vaihe-ero ja summasignaali on vaimeampi kuin kumpikaan summautuvista signaaleista. Jos viive-ero on signaalijakson pituinen, ne summautuessaan vahvistavat toisiaan.

äh



Kuva 45 Kampasuodatus (lähde: <http://www.soundonsound.com>)

Tämä ilmiö syntyy esimerkiksi silloin, jos mikrofoni on lähellä pöydän pintaa siten, että pöydän pinnasta heijastuva ääni summautuu mikrofoniin suoraa tietä vastaanotettuun ääneen (Kuva 46)



Kuva 46 Kampailmiön syntymekanismi (Lähde; ISCE Induction Loop Design Course)

Äänen etenemisnopeus ilmassa on noin 343 m/s, mistä voidaan laskea:

f (Hz)	Jaksonpituus (s)	Aallonpituus λ (m)	$\lambda/2$ (m)
100	0,01	3,43	1,715
500	0,002	0,686	0,343
1000	0,001	0,343	0,1715
2000	0,0005	0,1715	0,0858
5000	0,0002	0,0686	0,0343
10000	0,0001	0,0343	0,01715

Tästä nähdään, että esimerkiksi 1 kHz taajuudella n. 35 cm ero signaalin kulkutien pituudessa vastaa yhtä signaalijaksoa ja n. 17 cm ero vastaa puolta signaalijaksoa.

Ongelmaa voidaan välttää valitsemalla sellainen mikrofoni, jonka suuntakuvio on kriittisellä taajuusalueella heijastuksen suuntaan riittävän vaimentava ja sijoittamalla mikrofoni siten, että mikrofoniin suuntautuvilta heijastuksilta vältetään.

16.1.10 Kriittinen etäisyys

Kriittinen etäisyys r_c on etäisyys, jolla heijastuvan äänen voimakkuus on sama kuin suoraan äänilähteestä tulevan äänen voimakkuus. Sitä voidaan arvioida seuraavalla kaavalla (neliöjuuren edessä oleva kerroin vaihtelee lähteen mukaan; 0.057 tai 0.1)

$$r_c \approx 0.057 \sqrt{\frac{QV}{\pi T_{60}}}$$

Q = äänilähteen suuntaavuus

V = tilan tilavuus (m³)

T₆₀ = jälkikaiunta-aika (s); aika, jonka kuluessa kaiun voimakkuus vaimenee - 60dB tasolle alkuperäisen signaalin tasosta. Arvo riippuu tilan koosta, muodosta, heijastavien pintojen laadusta, määrästä ja sijainnista.

Huom: Ihmisen puheen suuntaavuuskerroin on noin 2

Jälkikaiunta-aikaa voidaan arvioida Sabine kaavalla:

$$T_{60} = 0,161 \frac{V}{\sum \alpha_i S_i}$$

Missä V on tilan tilavuus, α = pinnan absorptiokerroin ja S on absorboivan pinnan pinta-ala. Sabine kaava ei kuitenkaan päde tilanteessa, jossa on yhdensuuntaisia vastakkaisia pintoja, joiden absorptiokerroin poikkeaa merkittävästi muista pinnoista.

Erityyppisille mikrofoneille suositeltuja maksimietäisyyksiä puhujasta:

Suuntakuvio	maksimi suositeltu etäisyys
Pallo	$0.5 * r_c$
Kardioidi, Superkardioidi	$0.75 * r_c$
Haulikko	max. noin 6 m

16.1.11 Mikrofonin puhuminen

Mikrofonin puhuttaessa etäisyys mikrofonin tulee pitää mahdollisimman muuttumattomana. Tilanteissa missä esimerkiksi käsikrofonin tai ns. madonnamikrofonin puhutaan lähietäisyydeltä, tulee välttää hengittämistä suoraan mikrofonikapseliin.

Kardioidin suuntakuvion omaavan mikrofonin kohdalla on myös huomioitava ns. proximity (läheisyys) ilmiö. Hyvin läheltä suoraan mikrofonin puhuttaessa matalat taajuudet korostuvat, jolloin puheen selkeys kärsii.

Toinen huomioitava ilmiö on suuntaavan mikrofonin suuntakuvion muuttuminen, jos mikrofonirungon aukot peitetään. Tyypillisesti kardioidi suuntakuvio muuttuu pallokuvion tyyppiseksi, jos mikrofonikapselin taustapuolella sijaitsevat rungon aukot peitetään.

Puheen normaali voimakkuus on 1 m etäisyydeltä mitattuna noin 70 dB SPL $\pm$ 10 dB.

Järjestelmä tulee siis pyrkiä mitoittamaan siten, että se toimii laadukkaasti, kun henkilö puhuu 1 m etäisyydellä 60 dB/m voimakkuudella tai 5 cm etäisyydellä 80 dB/m voimakkuudella. Oikein mitoitettu ja säädetty silmukavahvistimen AGC toiminto pystyy yleensä huolehtimaan tästä.

16.2 Muut äänilähteet

Kun käytettävissä on mikseri, on kaikkien äänilähteiden kytkeminen silmukavahvistimeen helppoa. Useissa vahvistimissa on myös useampia signaalituloja, joihin voidaan kytkeä tarvittavat laitteet. Joskus signaaleja voidaan joutua summaamaan myös esimerkiksi piensignaaliuuntajan avulla.

16.2.1 CD-, DVD-, BlueRay-soitin

Näissä laitteissa on yleensä AUX lähtö, joka voidaan kytkeä silmukavahvistimen linjatasoiseen tuloon.

16.2.2 Televisio ja Digiboxi

Televisioiden kytkemisessä induktiosilmukkaan voi joskus olla haastavaa, koska usein television oma vahvistin mykistyy, kun siihen kytketään toinen laite. Tämä on tilanne käytännössä aina, kun liittämiseen käytetään kuulokeliityntää.

Vanhemmissa televisioissa on usein linjatasoaine RCA-liittimillä varustettu stereofoninen audiolähtö ja uusissa televisioissa usein myös optinen audiolähtö.

Myös SCART liittimestä voidaan erottaa äänisignaali tähän tarkoitukseen suunniteltua adapteria käyttäen.

Uusissa televisioissa on tyypillisesti useitakin mahdollisuuksia ulkoisten vahvistinlaitteiden kytkemiseksi television oman äänentoiston rinnalle. Esimerkkeinä voidaan mainita S/PDIF (Sony/Philips Digital Interface Format), jonka kautta signaali voidaan siirtää digitaalisessa muodossa tällä liitynnällä varustettuun silmukkavahvistimeen. Tätä tiedonsiirtomuotoa käytetään myös optisessa TOSLINK-liitynnässä, joka myös löytyy muutamasta etenkin kotikäyttöön tarkoitetusta silmukkavahvistimesta. Lisäksi markkinoilla on tällä liitynnällä varustettuja muunninyksiköitä, jota käyttäen se voidaan liittää mihin tahansa silmukkavahvistimeen.

16.2.3 Tietokone

Tietokone voidaan liittää silmukkajärjestelmään välikaapelilla, jonka toisessa päässä on tietokoneen ääniulostuloon sopiva liitin, yleensä 3,5 mm stereoplugi ja toisessa päässä silmukkajärjestelmään sopiva liitin tai liittimet.

16.2.4 Kannettavat soittimet ja matkapuhelin

Kannettavissa soittimissa on usein ainoastaan kuulokelähtö, johon silmukkavahvistin kytketään 3.5 mm stereoplugilla varustetulla välilyhdolla.

17 Liittimet

Liitäntäjohtojen päissä on liitin, jolla johto liitetään laitteeseen. Seuraavassa on esitelty yleisimmät liittimet ja niiden kytkentä äänisignaalien osalta.

Osa liittimistä on jo poistunut tai poistumassa käytöstä, mutta vanhemmissa järjestelmissä niihin saattaa edelleen törmätä. Siksi on hyvä tietää, miten näitä liittimiä voidaan käyttää induktiosilmukkaa kytkettäessä.

17.1 XLR

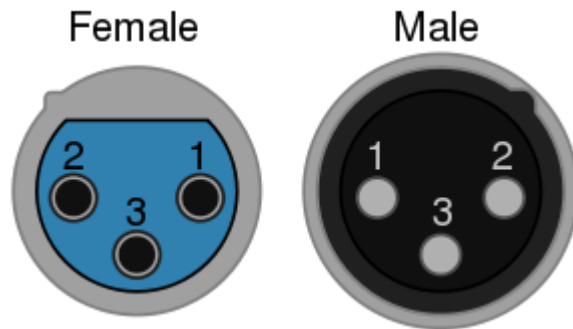
XLR-liitin on ammattitason äänentoistotekniikassa yleisimmin käytetty signaaliliitin. Esimerkiksi kädessä pidettävissä ns. kapulamikrofoneissa on usein XLR-liitin mikrofonikaapelin kytkemiseksi.



Kuva 47 XLR liittimien rakenne

XLR liittimen kytkennät

1. napa: maa (kaapelin vaippa)
2. napa: + vaihe (kuuma)
3. napa: – vastavaihe (kylmä)



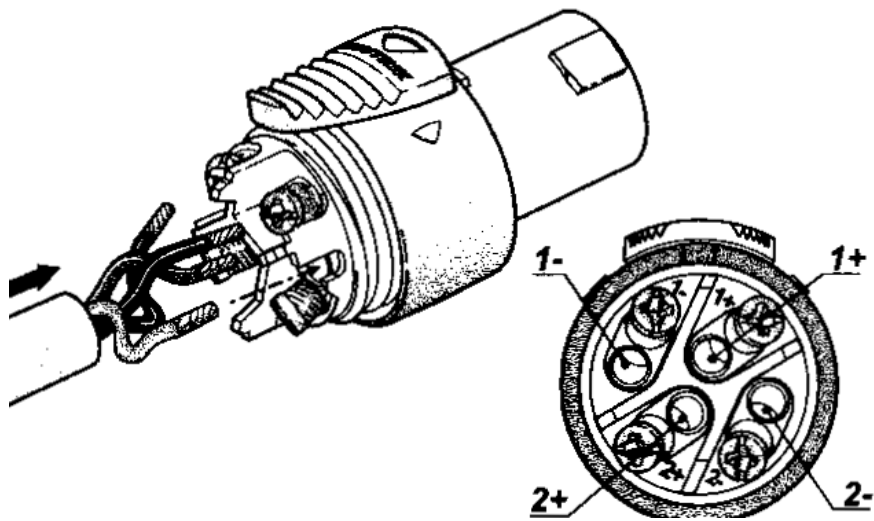
Kuva 48 XLR liittimien pinnijärjestys, naarasliitin vasemmalla ja urosliitin oikealla

17.2 Speakon

Speakon (SpeakON) on Neutrikin kehittämä kaapeleiden liitin, jota käytetään erityisesti ammattitason audiolaitteissa kaiuttimien kytkemiseen päätevahvistimeen. Sitä käytetään myös yleisesti silmukkavahvistimen silmukkalähdön liittämiseen silmukajohtimeen.



Kuva 49 Speakon liittimiä



Kuva 50 Speakon liitinjärjestys

17.3 Scart

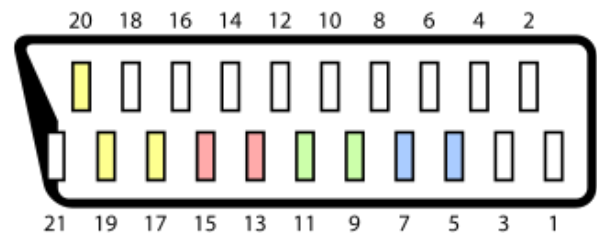
Scart-liitin on kodin viihde-elektronikassa käytetty kuva- ja äänisignaalin siirtämiseen tarkoitettu liitin.



Kuva 51 SCART liittimet

SCART-liittimessä on 21 nastaa, joista äänisignaalit sijoittuvat seuraavasti:

1. nasta: Oikea äänilähtö
2. nasta: Oikea äänitulo
3. nasta: Vasen/mono äänilähtö
4. nasta: Äänisignaalien maa



Scart liittimen nastasta 3 saadaan siis mono äänisignaali, joka soveltuu parhaiten induktiosilmukassa käytettäväksi. Signaaliyhteydessä käytettävä maasignaali löytyy nastasta 4.

17.4 RCA

RCA-liittimiä käytetään myös paljon erityisesti kodin viihde-elektroniikassa. Kyseessä on yksinapainen liitin, eli RCA kytkentää käytettäessä ei tule pyrkiä käyttämään mahdollisimman lyhyitä kytkentäkaapeleita.



Kuva 52 RCA liittimiä.

17.5 Plugi / jakki

Plugi on tappimainen liitin, jonka kärjessä on yksi (mono), 2 (stereo) tai kolme (stereo + mikrofoni) liitinrengasta ja jonka runkoon signaalimaa on kytketty. Näitä liittimiä on useita kokoja, joista 3.5 mm ja 7 mm ovat yleisimmin käytettyjä. Tässä ilmoitettu mitta on liittimen liitintapin läpimitta.

Stereoplugia käytetään joskus balansoidun signaalin kytkemiseen laitteiden välillä. Tällöin toinen signaalijohdin kytketään liittimen kärkikontaktiin, toinen rengaskontaktiin ja signaalimaa kytketään liittimen runkokontaktiin.

Joissakin laitteissa voi tavata myös 2.5 mm plugiliittimiä.



Kuva 53 Monoplugi



Kuva 54 Stereoplugi

Jakki on laitteen liitin paneeliin sijoitettava runkoliitin, johon plugi työnnetään.



Kuva 55 Jakkiliitin

17.6 Din-liittimet

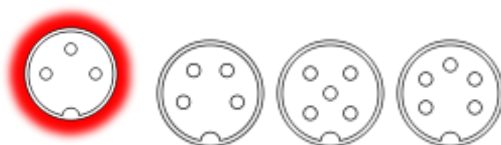
Din-liittimet ovat suurelta osin jääneet pois käytöstä.

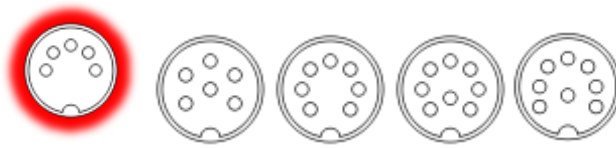
Din-liittimiä on hyvin monenlaisia. Kontaktipiikkien määrä vaihtelee kolmesta seitsemään ja niiden sijainti ja kytkennät vaihtelevat. Kytkentä täytyy siis tarkistaa aina laitteen asennusohjeesta.



Kuva 56 Viisinapainen DIN liitin.

Din-liitin koostuu pyöreästä holkista, jonka sisällä on piikkejä.





Kuva 57 Pyöreiden DIN liittimien pinnikuvia (yleisimmin käytetyt korostettu)

Joissain käytössä olevista silmukkavahvistimissa voi olla DIN-liittimiä.

Yleisimmin audiotekniikassa käytetään liittimiä, joissa 3 tai 5 pinniä on puoliympyrän muotoisessa kaaressa (5/180° tai 3//180°). Urosliittimessä, liittimen suuntaan katsottaessa pinnit on numeroitu vasemmalta oikealle 1-4-2-5-3 (3-pinnisessä vastaavassa liittimessä pinnit 4 ja 5 puuttuvat).

Monosignaalin kytkennässä käytetään vasemman kanavan pinnejä, eli signaali kytetään pinniin 3 ja signaalimaa kytketään pinniin 2. Koska tämä on useimmissa tapauksissa balansoimaton kytkentä, tulee DIN välijohtoa käytettäessä pyrkiä käyttämään häiriöiden minimoimiseksi mahdollisimman lyhyitä kaapeleita.

Application		Connector	Pin function				
			1	4	2	5	3
Vahvistin	Monophonic	 5/180°	Audio out		Screen/ return	Audio in	
	Left out		Right out	Right in		Left in	
Tape recorder	Monophonic		Audio in			Audio out	
	Stereophonic		Left in	Right in		Right out	Left out

ESIMERKKI:

PDA silmukkavahvistimissa on neljä vaihtoehtoista tapaa kytkeä tulosignaali 5-na-paista DIN liitintä käyttäen:

BALANSOIMATON, LINJATASO:

4: Signaali

2: Signaalimaa

5; Kytetty pinniin 2 (signaalimaa)

BALANSOITU, LINJATASO:

4: Signaali (HOT)

2: Signaalimaa

5; Signaali (COLD)

BALANSOIMATON, MIKROFONITASO:

- 1: Signaali
- 2: Signaalimaa
- 3; Kytetty pinniin 2 (signaalimaa)

BALANSOITU, MIKROFONITASO:

- 1: Signaali (HOT)
- 2: Signaalimaa
- 3; Signaali (COLD)

DIN liitäntää käytettäessä on siis erityisen tärkeää tutustua laitteen asennusohjeessa annettuihin kytkentäohjeisiin.

17.7 TOSLINK

TOSLINK on kuluttajaelektronikassa käytetty standardoitu valokuituyhteys. Kuiduissa käytetään edullista 1 millimetrin paksuista läpinäkyvää muovia, joten valmistuskustannukset ovat pienet.

Alun perin teknologian kehitti *japanilainen Toshiba*, mutta useat muutkin valmistajat ottivat tekniikan käyttöön.

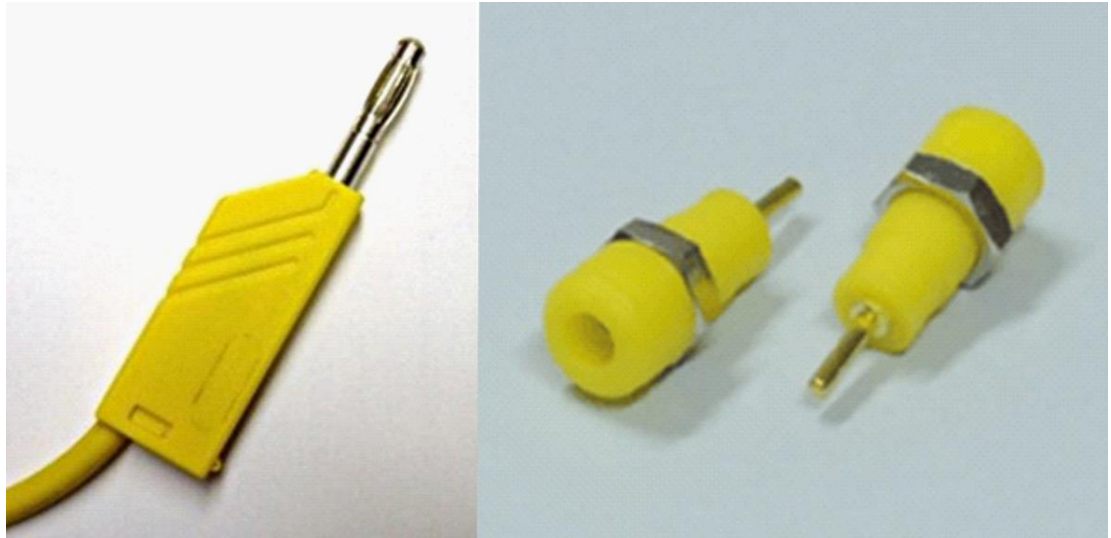
TOSLINK liitintä kutsutaan joskus myös F05-liittimeksi.



Kuva 58 TOSLINK liitin

17.8 Banaaniliitin

Banaaniliitintä ei juurikaan käytetä signaalien kytkemiseen. Joskus näkyy vanhoja silmukka-asennuksia, missä silmukkakaapelit on päätetty banaaniliittimiin.



Kuva 59 Banaaniliittimiä

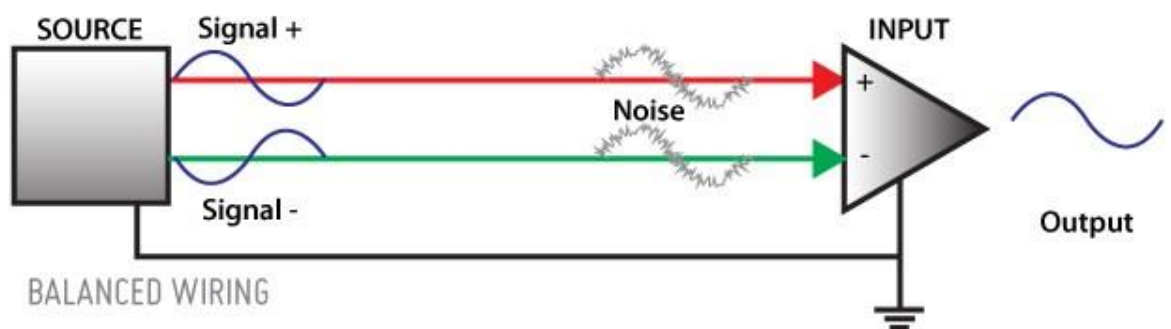
18 Signaaliakaapelit

Signaaliakaapelina tulee aina kun mahdollista käyttää suojattua balansoitua kaapelia.

18.1 Balansoitu kytkentä

Balansoidussa kytkennässä signaali syötetään kahtena vastakkaisvaiheisena signaalina kierrettyä paria käyttäen vastaanottimen differentiaaliseen tuloon, joka vahvistaa signaalijohtimen välisen jännitteen. Kierretty parikaapeli on yleensä suojattu suojavaipalla (kuparipunos), joka on maadoitettu toisesta päästä signaalimaahan.

Ulkopuolisten magneettikenttien indusoimat häiriösignaalit näkyvät molemmissa signaalijohtimissa saman vaiheisina ja samansuuruisina, joten vastaanottimen differentiaalinen tuloaste suodattaa sen pois ja vahvistaa vain tulojen erosignaalin.



Kuva 60 Balansoitu kytkentä (lähde: <http://www.aviom.com>)

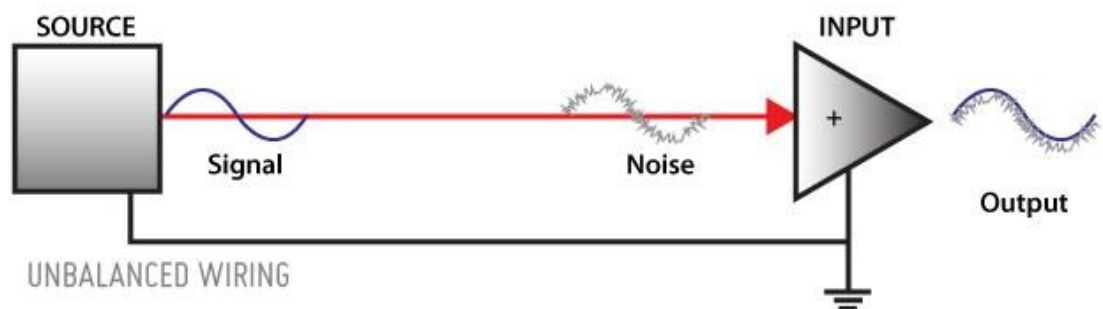
18.2 Balansoimaton kytkentä

Balansoimattomassa kytkennässä signaali syötetään yhtä signaali johdinta käyttäen vastaanottimen tuloon. Signaali johdin on usein kaapelin keskijohdin, jota ympäröi sig-

naalimaahan kytketty metallivaippa. Vaippa suojaa jonkin verran signaalijohdinta ulkopuolisilta häiriöiltä, mutta koska se toimii myös signaalimaana, siihen kytkeytyvä häiriö näkyy vastaanottimen tulossignaalina.

Ulkopuolisten magneettikenttien indusoimat häiriösignaalit indusoivat signaalijohtimeen häiriösignaalin, joka summautuu hyötysignaaliin.

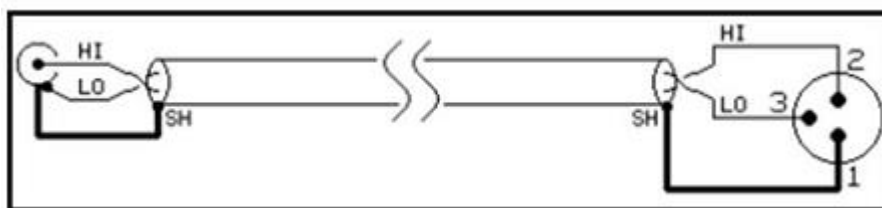
Usein signaalimaa ja signaalijohdin ovat kaapelin sisällä kierrettynä parina, ja kaapelin suojavaippa on kytketty signaalimaahan signaali syöttöpäässä, missä syöttävän vahvistimen pieni lähtöimpedanssi tarjoaa indusoituvalle häiriösignaalille pieniohmisen purkautumisreitit. Tällä kytkennällä voidaan vaimentaa signaalitielle kytkeytyviä häiriöitä.



Kuva 61 Balansoimaton kytkentä (lähde: <http://www.aviom.com>)

Balansoimaton signaalilähde voidaan kytkeä balansoituun tuloon seuraavalla tavalla.

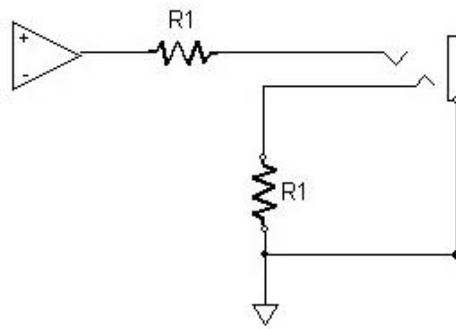
Käytetään suojattua kaksijohtimista kaapelia, missä suojavaippa kytketään signaalimaahan signaalin syöttöpisteessä ja balansoidun tulon signaalimaahan signaalin vastaanottopisteessä.



Kuva 62 Balansoimattoman signaalilähdön kytkentä balansoituun tuloon. (lähde: <https://www.presonus.com>)

Parempaan symmetriaan päästään seuraavalla kytkennällä.

Kaksijohtimisen suojatun kaapelin toinen signaalijohdin kytketään signaalin syöttöpisteessä signaalimaahan resistanssilla, jonka arvo on mahdollisimman lähellä syöttävän vahvistimen lähtöimpedanssia. Tätä menetelmää sanotaan impedanssibalansoinniksi.



Kuva 63 Impedanssibalansoitu signaalin syöttö (Lähde: <https://www.presonus.com>)

19 Kaiuttimet

Kaiuttimesta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä valmiiksi koottua järjestelmää koteloineen ja mahdollisine jakosuotimineen ja aktiivikaiuttimien tapauksessa päätevahvistimineen.

Tällainen yksikkö voi sisältää useampia kaiutinelementtejä. Irtonaista, koteloimatonta yksikköä nimitetään kaiutinelementiksi.

Kaiutinelementin rakentaminen siten, että se toistaa tasaisen laadukkaasti kaikkia äänitaajuuksia, on käytännössä mahdotonta. Jos äänenlaadulle (nimenomaan taajuuskaistan laajuudelle) ei aseteta kovin suuria vaatimuksia, voi kaiutin sisältää vain yhden elementin. Näin menetellään usein esimerkiksi pääasiassa puhekäyttöön tarkoitettujen kaiuttimien kohdalla.

Musiikkijärjestelmissä, joissa tavoitellaan laajakaistaista toistoa suurilla äänenpainilla, käytetään monitiejärjestelmiä. Tällöin signaali jaetaan jakosuotimessa useampaan taajuuskaistaan, jotka toistetaan näiden äänitaajuuksien toistamiseen optimoitujen kaiutinelementtien kautta.

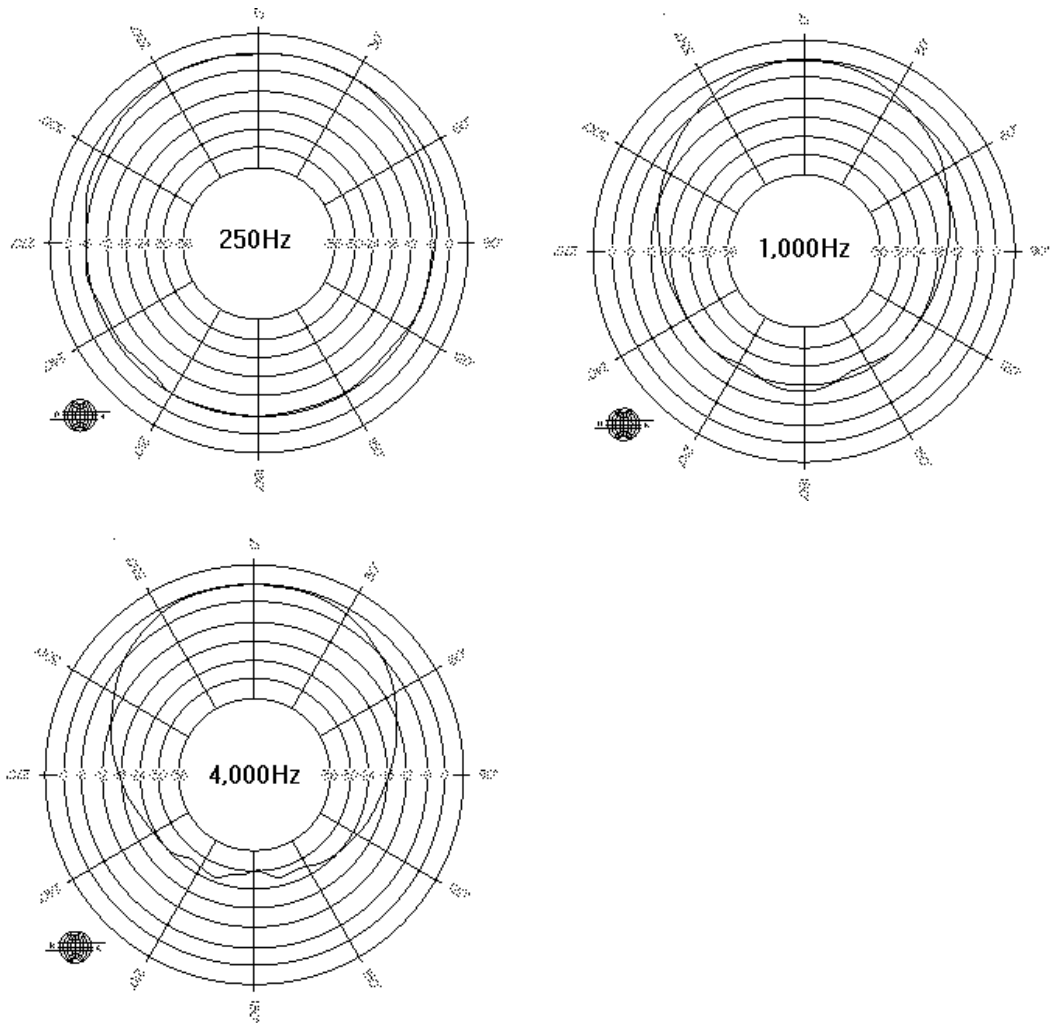
19.1 Kaiuttimen suuntaavuus

Kaiuttimen suuntaavuutta voidaan kuvata monilla eri tavoilla (Lähde; Esa Blomberg, Ari Lepoluoto; Audiokirja):

- Ilmoitetaan ne kulmapisteet asteissa, joiden kohdalla äänenpaine on laskenut 6 dB (joskus 10 dB) suoraan edestä päin mitattuun verrattuna, esim. 60° x 40°. Suuntaavuus voi olla hyvinkin erilainen pystysuunnassa ja vaakasuunnassa. Koska tulos yleensä riippuu taajuudesta, annetaan se eri taajuuksilla tai ilmoitetaan keskimääräinen, ns. nimellissuuntakuvio.
- Ilmoitetaan suuntaavuusindeksi (directivity index, DI), joka voidaan määritellä seuraavasti: DI on ero vapaassa kentässä suoraan edestä päin mitatun äänenpaineen ja sen teoreettisen äänenpaineen välillä, jonka kaiutin samalla hyötysuhteella antaisi, jos sen suuntakuvio olisi pallomainen. DI ilmoitetaan desibeleissä ja se riippuu yleensä taajuudesta.

- Ilmoitetaan ns. Q-luku, joka kuvaa sitä, miten suureen avaruuden osaan kaiutin säteilee. Täysin ympärisäteilevän kaiuttimen Q-luku olisi 1, puolipallon muotoiseen avaruuteen säteilevän 2, jne.

Suuntaavuus pystysuunnassa ja vaakasuunnassa voivat poiketa merkittävästi toisistaan etenkin useampielementtisissä kaiuttimissa. Äänilähteen suuntaavuus riippuu signaalin aallonpituudesta eli siis sen taajuudesta. Suuntaavuus on voimakkainta korkeilla taajuuksilla ja matalimmilla taajuuksilla suuntaavuus on yleensä lähes olematon. Seuraavassa kuvassa on kuvattu esimerkkikaiuttimen suuntakuviot kolmella eri taajuudella:



Kuva 64 Esimerkkikaiuttimen suuntakuviot kolmella eri taajuudella (lähde: <http://www.mcsquared.com>)

19.2 Aktiivikaiuttimet

Aktiivikaiutin sisältää etuvahvistimen, aktiiviset jakosuotimet ja yhden tai useamman kaiuttimelementin niitä ohjaavine päävahvistimineen. Aktiivikaiutin liitetään äänentoistojärjestelmän mikserin linjatasoiseen lähtöön. Modernia aktiivikaiutinta voidaan ohjata myös digitaalisesti CAT-kaapelin kautta.

Toimiakseen aktiivikaiutin tarvitsee oman teholähteen, ei sen sijoituspaikan lähellä tulisi olla myös verkkopistorasia.

19.3 Passiivikaiuttimet

Passiivikaiutin sisältää yhden tai useampia kaiutinelementtejä ja useamman elementin tapauksessa jakosuodattimen, joka varmistaa sen, että eri kaiutinelementteihin syötetään sen toistoalueeseen sopiva signaali. Passiivikaiutin liitetään erilliseen päätevahvistimeen.

19.4 Kaiuttimien sijoittelu

Kaiuttimien sijoittelussa tulee huomioida kaiuttimien suuntaavuus, tilan muoto ja sen akustiset ominaisuudet sekä kuuntelualueen sijainti tilassa.

Kaiuttimen suuntakuvion tunteminen on tärkeää, jotta voidaan taata vähintäänkin puhetaajuuksien tasainen kuuluvuus koko suunnitellulla kuuntelualueella. Tyypillinen toteutus yksinkertaista kaiutinta käytettäessä voi olla esimerkiksi sellainen, että kaiuttimen keskilinja suunnataan kuuntelualueen takaosaan ja kaiutin sijoitetaan sellaiselle korkeudelle, että sen -6dB vaimennuslinja asettuu kuuntelualueen etureunaan tyypilliselle kuuntelukorkeudelle.

Liiallisen huonekaiun välttämiseksi kaiuttimet pyritään myös suuntaamaan siten, että äänisignaali ei suuntaudu suoraan voimakkaasti heijastaviin seinäpintoihin.

20 Induktiosilmukan historiaa

Joseph Poliakoff patentoi 1937 menetelmän, missä puhelimen kuulokkeessa olevan kelan tuottama sähkömagneettista kenttää käytettiin signaalin siirtämiseen kuulolaitteessa olevan vastaanotinkelan avulla kuulolaitteen korvakappaleeseen. Tästä "Telephone Coil" nimestä periytyy vielä nykyisinkin käytettävät 'Telecoil' ja 'T-coil' termit.

Varhaisin induktiivista signaalin siirtoa käyttävä järjestelmä kuitenkin rakennettiin jo 1936 Washington DC:ssä. Kyseessä oli Tel-Audion suunnittelema putkivahvistimeen perustuva laite. Tätä laitetta valmistettiin vain yksi kappale, ja yritys ajautui konkurssiin vuonna 1938. Vastaanotinkela oli kooltaan noin 11,5 cm * 7,6 cm * 4,4 cm.

Josoph Poliakoffin yritys Multitone Electric Co. Ltd julkaisi vuonna 1937 ensimmäisen kannettavan kuulolaitteen (Vest Pocket Moodle, VPM), josta se julkaisi 1938 version, johon voitiin liittää vastaanotinkela.

Lähde: <http://www.hearingaidmuseum.com>



Kuva 65 Multitone VPM (lähde: <http://www.hearingaidmuseum.com>)

Seuraavassa kuvassa on avattuna vuonna 1953 Dictograph Products Corporationin julkaisema transistoritekniikkaan perustuva Acousticon A-310. Vastaanotinkela on laitteen keskellä näkyvä ruskea komponentti.



Kuva 66 Acusticon A-310

Merkittävistä silmukkavahvistinvalmistajista voidaan mainita 1965 perustettu ruotsalainen Bo Edin AB, joka valmistaa Univox vahvistimia. Se julkaisi ensimmäisen virtavahvistinperiaatteella toimivan silmukkavahvistimen vuonna 1969.

Toinen merkittävä silmukkavahvistinvalmistaja Ampetronic Ltd. perustettiin vuonna 1987.

Suomessa ensimmäiset induktiosilmukat rakennettiin kokoontumistiloihin tietojemme mukaan 1960-luvulla.

1980-luvulla otettiin laajemmin käyttöön kahdeksikkosilmukka-arkkitehtuuri ja ensimmäiset vaihesiirtosilmukat rakennettiin 2000-luvulla.

20.1 Muuntaja

Ensimmäisissä silmukka-asennuksissa käytettiin usein normaaleja audiovahvistimia ja silmukan vaatima virta aikaansaatiin muuntajakytkennällä, jolla tavallisen kaiuttimien syöttämiseen suunnitellun vahvistimen lähtöimpedanssi sovitettiin silmukan impedanssiin. Muuntajan avulla voidaan haluttaessa myös summata eri äänilähteiden tuottamia signaaleja. Tämä toteutus ei kuitenkaan yleensä ole äänenlaadultaan hyväksyttävä, koska muuntaja vaimentaa puheen ymmärrettävyyden kannalta tärkeitä korkeita taajuuksia.

20.2 Kuuntelusauva

Erityisesti kirkoissa käytettiin pitkään kuuntelusauvoja, missä on sisään rakennettu silmukkavastaanotin ja vahvistin, joka syöttää sauvan päässä olevaa kuuloketta.



Kuva 67 Kuuntelusauvoja

20.3 Silmukkavahvistin

Virtalähtöisiä silmukkavahvistimia tuli markkinoille 1960-luvun puolivälissä. Tällainen vahvistin on jännitesignaalia ohjattava virtageneraattori (transkonduktanssivahvistin), jonka kuormaan tuottama virta on ideaalitilanteessa kuormaimpedanssista riippumaton. Todellisuudessa tämä ehto toteutuu vain varsin kapealla impedanssialueella.

Tyypillisesti kuormaimpedanssin resistiivinen osuus, eli silmukkajohtimen DC-resistanssi voi vaihdella alueella 0.5Ω- 3.0Ω. Joillakin vahvistimilla tämä alue voi poiketa tästä huomattavastikin ollen esimerkiksi 0.1 Ω ... 1 Ω.

Tämän lisäksi on huomioitava silmukkajohtimen induktanssi, joka nostaa kuormaimpedanssin esimerkiksi 5kHz taajuudella tyypillisesti moninkertaiseksi.

Toinen silmukkavahvistimelta vaadittu tärkeä ominaisuus on riittävän laajalla tulosignaalin voimakkuuden vaihtelualueella toimiva AGC-toiminto. AGC toiminta-alueen oletetaan olevan vähintään 30 dB ja tyypillisesti noin 40 dB. Myös AGC -toiminnon aikavakioon kannatta kiinnittää huomiota.

Standardin IEC 62489-1 ohjeistuksen mukaan ns. 'attack -aika' on hyvin toimivassa AGC rakenteessa muutamia millisekunteja ja 'release -aika' on yli yhden sekunnin.

Silmukkavahvistimen valinnassa on huomioitava impedanssi, maksimi vaadittu silmukkavirta ja näiden parametrien perusteella laskettavissa oleva vahvistimen lähtöasteen jännitealue. Lisäksi kannattaa huomioida tilassa tapahtuvien toimintojen vaatimukset, eli käsitelläänkö pelkästään puhesignaalia vai myös musiikkia, ja musiikin tapauksessa myös musiikin luonne. Esimerkiksi kamarimusiikki tai klassinen laulumusiikki poikkeaa dynamiikaltaan merkittävästi rytmimusiikista tai esimerkiksi elokuvien tehosteäänistä.

21 Induktio-ilmion fysikaalinen tausta

Tässä kappaleessa esitellään fysikaalisia ilmiöitä ja lainalaisuuksia, joihin induktiosilmukan toiminta perustuu ja jotka sitä myös rajoittavat.

Sähkömagneettinen induktio on fysiikan perusilmiö, jossa muuttuva magneettikenttä indusoi sähköiseen johteeseen sähkömotorisen voiman. Kun johdinsilmukka on muuttuvassa magneettikentässä, silmukkaan syntyy sähkömotorinen voima, jonka suuruus on yhtä suuri kuin silmukan lävistävän magneettivuon muutosnopeus:

$$e = - \frac{d}{dt} \phi$$

missä:

e = indusoituva sähkömotorinen voima

Φ = silmukan lävistävä magneettivuon.

Miinusmerkki johtuu Lenzin laista, jonka mukaan indusoituneen jännitteen polariteetti on sellainen, että se pyrkii synnyttämään johdinsilmukkaan sellaisen sähkövirran, jonka synnyttämä magneettivuon silmukan sisällä kumoaa ulkoisen magneettikentän muutoksen.

Mikäli vuontiheys B on vakio silmukan sisällä, vuo on

$$\Phi = BA$$

A on silmukan poikkipinta-ala ja B on silmukan läpi kulkevan magneettivuon tiheys.

https://fi.wikipedia.org/wiki/Sähkömagneettinen_induktio

21.1 Sähkömagneettinen kenttä

Magneettikenttä on fysiikassa olio (kenttä), jonka aiheuttaa sähkövarausten liike (sähkövirta) tai muuttuva sähkökenttä. Sellainen on myös magneetin ympärillä, samoin useimpien taivaankappaleiden ympärillä, kuten esimerkiksi Maan magneettikenttä. Magneettikentän suuntaa ja suuruutta kuvataan joko magneettivuon tiheydellä $\mathbf{B}$ tai magneettikentän voimakkuudella $\mathbf{H}$.

Magneettikenttä aiheuttaa liikkuviin varauksiin voiman, joka on kohtisuorassa sekä varauksen liikesuuntaa, että magneettikenttää vastaan. Kenttä vaikuttaa myös magneetteihin, esimerkiksi kompassinneulaan, pyrkien kääntämään ne kentän suuntaiseksi.

Magneettivuon tiheyden yksikkö SI-järjestelmässä on tesla. Vanhempi CGS-järjestelmän mukainen yksikkö oli Gauss.

Suoran virtajohtimen synnyttämä magneettikenttä.

Amperen lain mukaan minkä tahansa suljetun polun C läpi kulkeva virta I_{enc} aiheuttaa magneettikentän, jonka suuruus on

$$\int_C \mathbf{B} \times d\mathbf{l} = \mu_0 I_{enc}$$

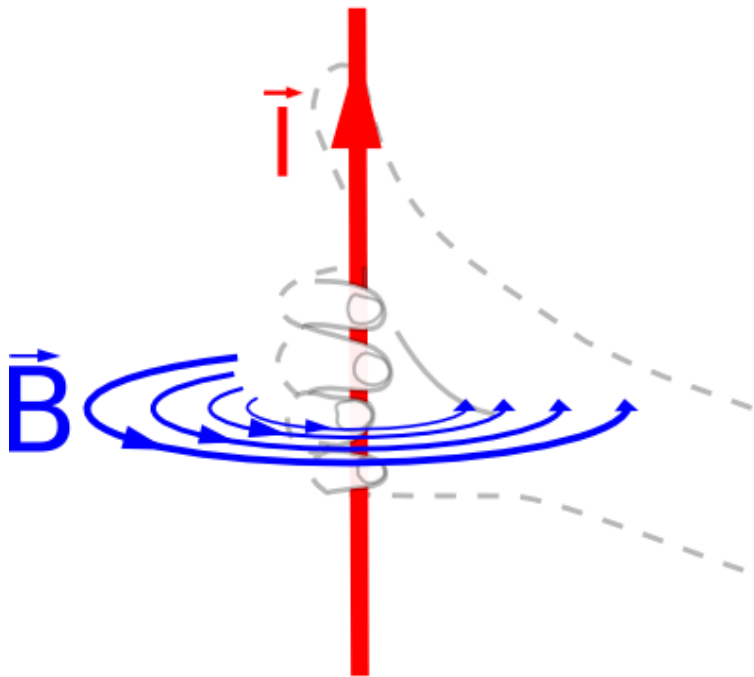
Kun tarkastellaan (kuvitteellista) ympyrän muotoista polkua, joka on johtimesta etäisyyden R päässä, saadaan polkuintegraalista

$$H \times 2\pi R = I$$

Magneettikenttä etäisyydellä R on siis

$$H = \frac{I}{2\pi R}$$

Magneettikentän suunta saadaan oikean käden säännöllä: kun oikea käsi asetetaan johtimen ympärille siten, että peukalo osoittaa virran kulkusuuntaan, magneettikentän kenttäviivat kiertävät johdinta sen ympärillä olevien sormien suuntaisesti.



Kuva 68 Oikean käden peukalosääntö

Lähde: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Magneettikenttä>

21.2 Sähkömagneettisen kentän voimakkuus silmukassa

Magneettikentän voimakkuus tietyssä pisteessä. Kenttävoimakkuuden mittayksikkö on A/m. Silmukkajohtimen tasossa silmukan keskipisteessä esiintyvä kenttävoimakkuuden saavuttamiseen vaadittava silmukkavirta voidaan laskea:

Suorakaiteen muotoinen silmukka:

$$I = \frac{\pi ABH}{2Dn}$$

missä:

H = haluttu kentän voimakkuus (A/m)

A ja B = silmukan sivun pituudet (m)

D = suorakulmion lävistäjän pituus: $D = \sqrt{A^2 + B^2}$

n = silmukan kierrosten lukumäärä

Ympyrän muotoinen silmukka:

$$I = \frac{2rH}{n}$$

missä:

H = haluttu kentän voimakkuus (A/m)

r = silmukan säde (m)

n = silmukan kierrosten lukumäärä

Siis ympyrän muotoisessa johdinsilmukassa, jonka halkaisija on 1 m ja jossa kulkee 1 A virta, ympyrän keskipisteessä magneettikentän voimakkuus on 1 A/m.

Vastaavasti 1 m * 1 m neliön keskipisteeseen syntyy 1 A/m kenttävoimakkuus 1.1107 A virralla.

22 Käsitteitä

Tässä kappaleessa esitellään muutamia käsitteitä, jotka voivat tulla esiin järjestelmän hankintaan, suunnitteluun ja ylläpitoon liittyvissä keskusteluissa.

22.1 AGC

Automaattinen vahvistuksen säätö, jonka tavoitteena on pitää järjestelmän lähtösignaalin voimakkuus vakiona tulosignaalin voimakkuudesta riippumatta. Induktiosilmukkavahvistimessa säätöalue on tyypillisesti noin 40 dB (1/100).

Säätöalueen lisäksi toiminnon perusparametreja ovat tason säädön reaktionopeus tulosignaalin tason muuttuessa. Tyypillisesti aikavakio tulosignaalin tason kasvaessa on millisekunteja (5ms ... 50 ms) ja tulosignaalin tason laskiessa yli 1 s.

22.2 Akustiikka

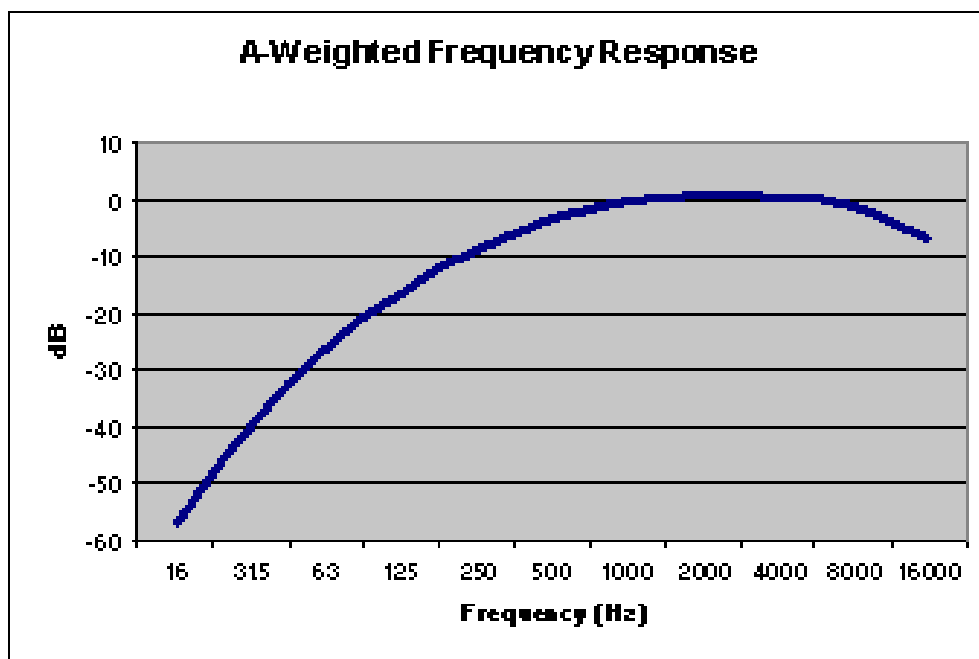
Akustiikka eli äänioppi on fysiikan alue, joka tutkii ääntä, mekaanista aaltoliikettä kaasussa, nesteessä ja kiinteän olomuodon väliaineessa.

Audioakustiikassa äänen taajuus on rajattu ihmiskorvalle kuultaviin ääniin eli taajuusalueelle 20 Hz – 20 kHz.

22.3 A-painotus

Taajuusvasteen korjaus, jolla pyritään mallintamaan ihmisen kuulon herkkyyttä eri taajuuksille.

<https://en.wikipedia.org/wiki/A-weighting>



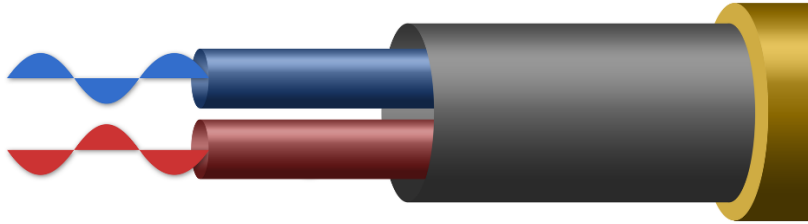
Kuva 69 A-painotus (Lähde: <https://www.noisemeters.com>)

Muita vastaavia painotusmenetelmiä ovat B, C, D ja Z-painotukset, joita käytetään äänenvoimakkuuden mittauksiin joissakin erikoistapauksissa. Esimerkiksi C-painotuksella pyritään mallintamaan kuulon toimintaa voimakkaalla äänenvoimakkuudella kuunneltaessa.

22.4 Balansoitu siirtotie

Balansoitu liitäntä mahdollistaa pitkien siirtokaapeleiden käyttämisen ilman merkittäviä ulkopuolisten magneetti- ja sähkökenttien tuottamia häiriöitä. Signaali ja sen kanssa vastakkaisvaiheiseksi käännetty signaali kuljetetaan toistensa kanssa kierretyissä johtimissa. Vierekkäisiin johtimiin ulkopuolelta indusoituvat sähkömagneettiset häiriöt ovat keskenään liki samansuuruisia ja saman vaiheisia. Yleensä kierretty pari

suojataan signaalimaahan kytketyllä vaipalla. Vastaanottimessa vahvistetaan vain johtimien jännitesignaalien erotus, jolloin molempiin johtimiin samanmuotoisena kytkytynyt yhteismuotoinen häiriösignaali vaimenee.



Kuva 70 Balansoitu siirtokaapeli (Lähde; Wikipedia)

22.5 dB -käsite

Desibeli (tunnus dB) on dimensioton yksikkö, joka kuvaa tehosuureiden suhteita logaritmisella asteikolla. Sitä käytetään tavallisimmin kahden signaalin välisen tehosuhteen ilmaisuun sekä vahvistimen tai vaimentimen vaikutuksen ilmaisemiseen.

Desibeliä käytetään erityisesti ääneen liittyviä ilmiöitä kuvattaessa siksi, että se kuvaa hyvin ihmisen kuuloaistin epälineaarisuutta.

Induktiosilmukkajärjestelmän tapauksessa suureella kuvataan yleisimmin kenttävoimakkuuden suhdetta referenssisitasoksi sovittuun 400 mA/m kenttävoimakkuuteen (dB L).

6dB muutos merkitsee kenttävoimakkuuden ja siis myös silmukkavirran kaksinkertaistumista ja -6dB muutos siis kenttävoimakkuuden (ja silmukkavirran) puolittumista.

Vastaavasti 3 dB muutos merkitsee kenttävoimakkuuden ja siis myös silmukkavirran kertomista kertoimella 1,41

22.6 dBu

Audiotekniikassa käytetty sähköisen signaalin voimakkuutta kuvaava yksikkö, jossa referenssitasona on:

$$0 \text{ dBu} = 0.7746 \text{ VRMS}$$

22.7 dBV

Audiotekniikassa käytetty sähköisen signaalin voimakkuutta kuvaava yksikkö, jossa referenssitasona on:

$$0 \text{ dBV} = 1.0 \text{ VRMS}$$

22.8 dB L

Signaalin voimakkuus standardin määrittelemään 400 mA/m suhteutettuna.

22.9 EHIMA

European Hearing Instrument Manufacturers Association.

Kuulolaitevalmistajien yhteistyöjärjestä. Vaikka tämä on virallisesti eurooppalainen järjestö, käytännössä kaikki merkittävät kuulolaitevalmistajat ovat sen jäseniä.

22.10 IHLMA

International Hearing Loop Manufacturers Association.

Induktiosilmukka-alan toimijoiden yhteistyöjärjestö. Jäseninä ovat merkittävimmät silmukavahvistinvalmistajat, suunnittelijat, asentajat, kouluttajat, ja konsultit.

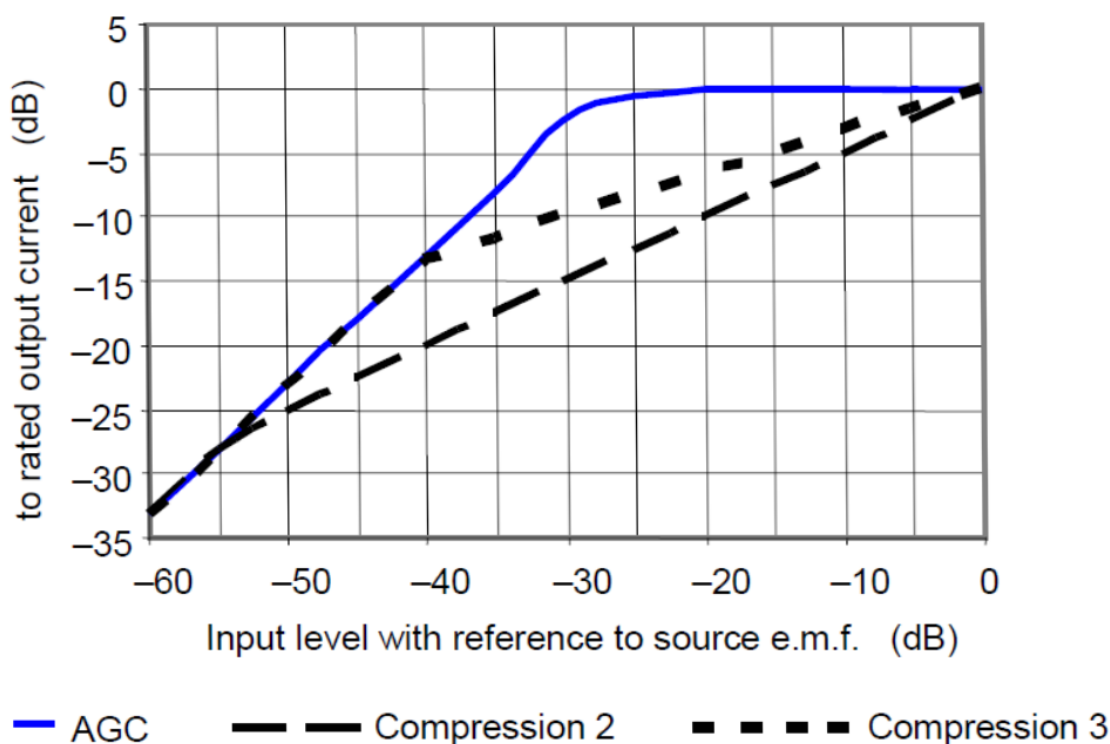
22.11 Kiertoilmiö

Jos vahvistimen lähtösignaali kytkeytyy riittävän voimakkaana ja saman vaiheisena takaisin vahvistimen tuloon, syntyy signaalin kiertoilmiö, mikä tyypillisesti ilmenee vin-kumisena tai juuri kiertoilmiön käynnistymisrajalla toimittaessa eräänlaisena soivana kaiuntana. Kierron syntymisen ehtona on, että kiertotien kokonaisvahvistus on suu-rempi kuin 1.

Kiertoa voi syntyä joko akustisesti (kaiuttimen toistama ääni kytkeytyy mikrofonin kautta vahvistimen tuloon) tai sähköisesti (esimerkiksi induktiosilmukan tuottama sig-naali kytkeytyy sähköisesti mikrofonisiin, mikrofonikaapeliin tai vahvistimen signaalikaapelointiin).

22.12 Kompressor

Lähtösignaalin tason säätö, jonka tavoitteena on lähtösignaalin tason vaihteluvälin reaaliaikainen rajoittaminen. Rakenne toimii siis hyvin samalla tavoin kuin AGC, mutta kompressor ei pyri pitämään lähtösignaalin tasoa täysin vakiona, vaan pienentämään sen riippuvuuden tulostulosta halutussa suhteessa.



22.13 Limitteri

Lähtösignaalin tason säätö, jonka tavoitteena on lähtösignaalin tason rajoittaminen haluttuun maksimivoimakkuuteen tulosignaalin voimakkuuden kasvaessa. Limitteri toimii siis hyvin samalla tavoin kuin AGC, mutta periaatteessa limitterin tulee estää lähtösignaalin tason kasvaminen tavoitetasoa suuremmaksi kaikissa olosuhteissa, kun taas AGC voi sallia säätöalueen ylittyessä lähtösignaalin tason seurata tulosignaalin tason muutosta.

22.14 Linjatasoinen signaali

Audiotekniikassa laitteiden välisessä signaalin siirrossa käytetty signaalitaso, jolla on itseasiassa kaksikin määritelmää

Ammattilaitteissa käsite 'Linjataso' kuvaa signaalitason	1.230 VRMS = + 4 dBu
Kuluttajaelektronikassa 'Linjataso' kuvaa signaalitason	0.316 VRMS = - 10 dBV
Kuluttajalaitteissa käytetään usein myös tasoa	0.245 VRMS = -10 dBu
Päätevahvistimissa yleinen tulojännite maksimitasolle:	0.775 VRMS= 0 dBu

22.15 Metallihäviö (metal loss)

Metallihäviö termiä käytetään kuvaamaan silmukan vaikutusalueella olevan johtavan materiaalin (tyypillisesti metalli) aiheuttamaa sähkömagneettisen kentän voimakkuuden vaimentumista.

Vaimentuminen johtuu muuttuvan magneettikentän johtavaan materiaaliin synnyttämästä pyörrevirrasta, jonka suunta on sellainen, että se pyrkii heikentämään kyseisen magneettikentän muutosnopeutta.

Induktiosilmukan tuottama äänitaajuinen magneettikenttä vaihtelee äänisignaalin mukana, ja sen muutosnopeus on siis sitä suurempi, mitä korkeampi on äänisignaalin taajuus. Tästä johtuen myös metallihäviön voimakkuus on taajuudesta riippuva, eli korkeat taajuudet vaimenevat matalia taajuuksia enemmän.

https://en.wikipedia.org/wiki/Eddy_current

22.16 Metallihäviön korjaus säätö

(Metal Loss Correction, Metal Loss Compensation, MLC)

Vahvistimen taajuusvasteen säätöpiiri, jolla voidaan korostaa korkeataajuisien signaalien vahvistusta ja näin kompensoida induktiosilmukan vaikutusalueella olevien metallirakenteiden näitä taajuuksia vaimentavaa vaikutusta, ns. metallihäviötä.

22.17 Mikrofonitasoinen signaali

Audiotekniikan mikrofoniliitännöissä käytetty signaalitaso.

Jännitealue: 0 ... 20 mV (mV = millivoltti = 1/1000 V)

Nimellistaso: 20 mV, vastaa tasoa - 32 dBu

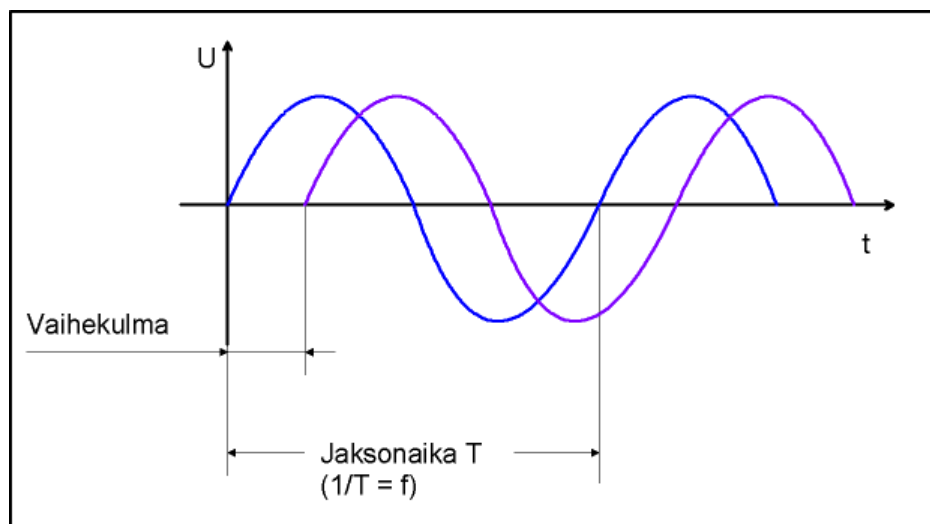
22.18 Taajuusvaste

Taajuusvaste kuvaa sitä, kuinka järjestelmän, esimerkiksi signaalivahvistimen, vahvistus riippuu järjestelmän tulosignaalin taajuudesta.

Induktiosilmukkajärjestelmän taajuusvaste saa vaihdella taajuusalueella 100 Hz ... 5000 Hz 1kHz referenssitaajuuteen verrattuna enintään ± 3 dB

22.19 Vaihevaste

Vaihevaste kuvaa sitä, kuinka järjestelmän, esimerkiksi signaalivahvistimen, tulosignaalin ja lähtösignaalin välinen signaalin vaiheen siirtymä riippuu järjestelmän tulosignaalin taajuudesta. Oheisessa kuvassa havainnollistetaan esimerkkinä kahden saman taajuisen sinisignaalin välinen 90° vaihe-ero, jota käytetään hyödyksi vaihesiirtoarkkitehtuurin mukaisesti toteutetuissa induktiosilmukoissa.



Kuva 71 Vaihesiirtymä 90°

23 Sanasto

Sanastoon on koottu induktiosilmukkatekniikassa käytettyjä käsitteitä selityksineen

Sana	Sanan selitys
Induktiosilmukka	Induktio-ilmiöön perustuva äänensiirtojärjestelmä.
Äänensiirto	Ääni siirretään jonkun muun menetelmän kuin ilmanpaineen vaihtelun välityksellä suoraan kuulijalle.
Äänentoisto	Ääni toistetaan kaiuttimista ja se siirtyy kuulijalle ilman välityksellä
Äänispektri	Äänen sisältämien eri taajuuksien jakauma.
Spektri	Eri taajuuksia sisältävän fysiikkaan liittyvän tapahtuman taajuusjakauma. → Äänispektri
Linjatasoinen signaali	Audiotekniikassa käytetty termi, jolla tarkoitetaan signaalin voimakkuutta 0,5 - 2,0 Volttia.