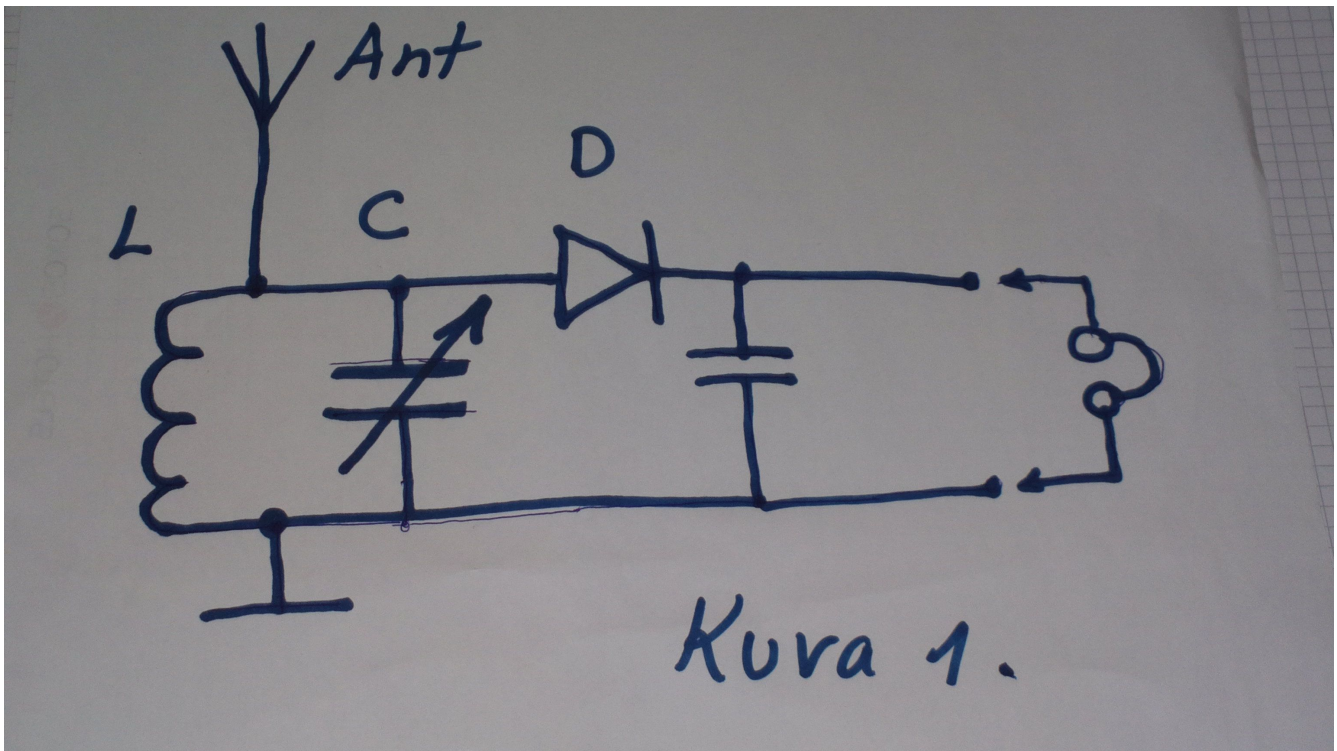


## Yleiskatsaus vastaanotintekniikan perusteisiin

Jukka Kinkamo OH2JIN  
oh2jin@yahoo.com  
+358 44 965 2689

### Suora vastaanotin

Suora yksipiirinen vastaanotin on yksinkertaisin tunnettu vastaanotintyyppi. Sen eräs variaatio, l. kansankielessä "kidekone" on esitetty kuvassa 1 ja sen pääosat ovat: selektiivinen virityspiiri sekä ilmaisain. Virityspiiri on rinnakkaisresonanssiipiiri, joka resonanssitaajuudellaan edustaa suurta impedanssia napojen välillä, so antennin ja maan välillä. Se siis estää antennin syöttämän resonanssitaajuuden suurtaajuuden pääsyn maahan. Resonanssitaajuutta suuremmat taajuudet oikosulkeutuvat maahan kondensaattorin C kautta ja resonanssitaajuutta matalammat puolestaan kelan L kautta. Näin resonanssitaajuinen jännite on korkea virityspiirin navoissa. Selektiivistä virityspiiriä ei kuitenkaan voida kuormittaa selektiivisyyden kärsimättä sekä resonanssitaajuuden muuttumatta kuin nimeksi, joten useinkin suora vastaanotin varustetaan suurtaajuusvahvistimella. Myös selektiivisiä virityspiirejä voi olla useampia, jolloin puhutaan kaksi- tai useampiipiirisestä suorasta vastaanottimesta. Kuvan 1 vastaanotin on yksipiirinen suora vastaanotin.



Virityspiirin resonanssitaajuutta voidaan muuttaa joko muuttamalla kondensaattorin kapasitanssia tai kelan induktanssia. Kuvan 1 vastaanottimessa vastaanottotaajuuden muuttaminen tapahtuu kondensaattorin kapasitanssia muuttamalla. Antennin ja maan välillä siis esiintyy radioasemien

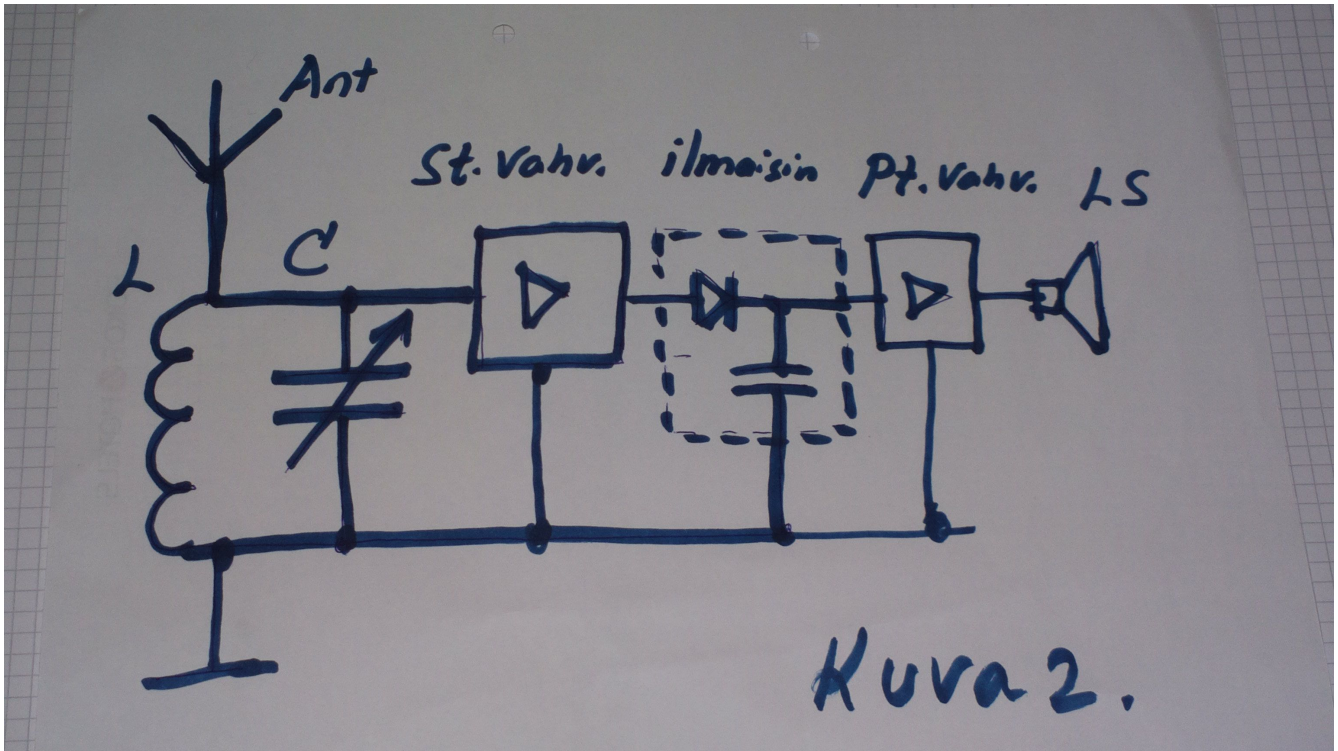
lähettämien radioaaltojen indusoima jännite. Järjestämällä antennin ja maan välille sopiva kytkentä, muodostuu suurtaajuuselle antennivirrälle suljettu virtapiiri ja antenni alkaa syöttämään tehoa kuormaan.

Antennin syöttämä signaalijännite johdetaan nyt virityspiirin navoista ilmaisimelle, joka on pienen kynnysjännitteen (n. 0,2 V) omaava germanium-diodi. Kuvan kytkennässä muodostuu ilmaisimessa kanta-aallon (verhokäyrän) positiivisten puolijaksojen aikana suljettu virtapiiri antennista ilmaisimen kautta maahan, koska antennijännitteen positiivinen puolijakso kykenee avaamaan ilmaisimen johtavaan tilaan. Näin muodostuu positiivisen puolijakson aikana tuo haluttu suljettu virtapiiri, joka on edellytys sille että antennin syöttämä teho saadaan tässä kytkennässä hyödynnettyä. Vastaavasti negatiivisten puolijaksojen aikana on ilmaisindiodi esijännitetty väärin päin ja se ei johda. Tällöin koko antennijännitteen negatiivinen puolijakso vaikuttaa diodin ylitse. Diodin kanssa sarjaan (ja kuulokkeiden kanssa rinnakkain) on suurtaajuusvirtapiiriin kannalta kytketty pieni kondensaattori (ehkä luokkaa n. 10...50 pF) ja sen tehtävänä on tarjota virtapiiriin osa kanta-aallon suurtaajuuselle virrälle ilmaisimen ja maan välille. Kuulokkeiden impedanssi l. vaihtovirtavastus on erittäin korkea suurtaajuudella, joten kytkentä ei kunnolla toimi ilman tuota kondensaattoria. Koska amplitudimoduloidussa läheteessä kanta-aallon amplitudi vaihtelee moduloivan äänitaajuuden määräämänä, vaihtelee tasasuunnattujen kanta-aallon positiivisten puolijaksojen amplitudi tuon moduloivan äänitaajuuden tahdissa. Moduloivan äänitaajuuden käyrämuodosta esitetään kuulokeliitintään näytteitä yhden radiotaajuuden jakson väliajoin ja näitä näytteitä edustavat positiivisten kanta-aaltopulssien huiput. Riittävän tiheästi toistuessaan hajakapasitanssit ja ihmiskorva muodostaa ja ymmärtää jatkuvan äänitaajuuden signaalin olemassaolon.

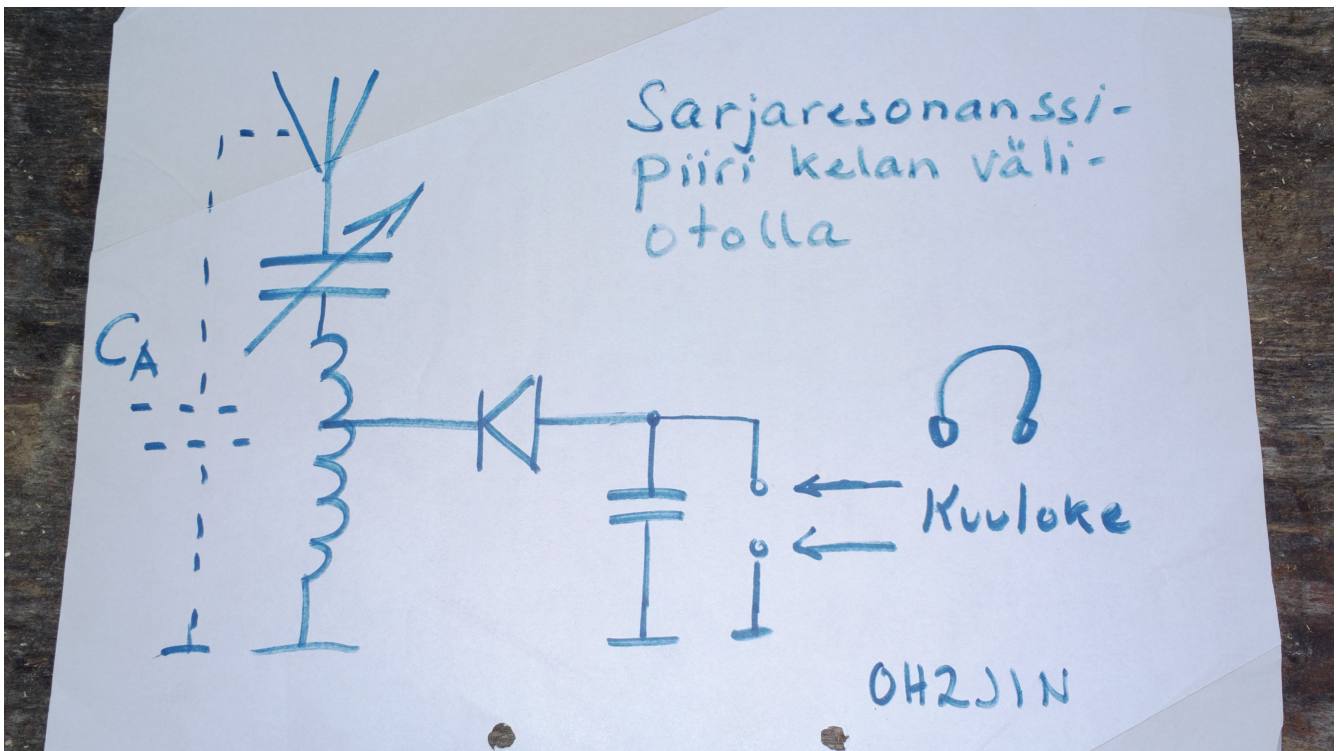
Kytettäessä suuri-impedanssinen kuuloke ilmaisimen ulostulon (diodin katodi) ja maan väliin, on mahdollista kuulla radioaseman amplitudimoduloitu äänitaajuinen lähete, mikäli virityspiiri on viritetty oikealle taajuudelle. Kytkentä ei ole kovinkaan selektiivinen, eli sen erottelutarkkuus on heikohko. Tämä johtuu virityspiirin kuormittumisesta. Näin siis kaksi tai useampiakin radioasemia saattaa kuulua samaan aikaan. Lisäksi antennin kapasitanssi vetää virityspiiriä sivuun. Toimiakseen kytkentä vaatii hyvän maadoituksen eli vastapainon, jotta lähetinaseman sekä vastaanottimen välille syntyy suljettu virtapiiri.

Haluttaessa parantaa suoran vastaanottimen toimintaa, voidaan ilmaisimen ulostuloon kytkeä erillisestä teholahteesta syötetty, mahdollisesti useampiasteinen pien- l. äänitaajuusvahvistin, jonka sisäänmenoimpedanssi on korkea. Näin saadaan riittävä signaalinvoimakkuus kaiuttimen kautta tapahtuvaan kuunteluun. Suoraa vastaanotinta voidaan edelleen parantaa lisäämällä siihen niin ikään erillisestä teholahteesta syötetty suurtaajuusvahvistin. Suurtaajuusvahvistin erottaa virityspiiriin ilmaisimesta, jolloin virityspiiri ei kuormitu. Tämä muutos parantaa selektiivisyyttä sekä ennen kaikkea vastaanottimen herkkyyttä.

Kuvassa 2 esitetyn melko tehokkaan suoran vastaanottimen yksinkertaistetun lohkokaaavioesityksen pääosat ovat virityspiiri, suurtaajuusvahvistin, ilmaisim, pientaajuusvahvistin sekä kaiutin. Huolimatta tehdyistä parannuksista on vastaanottimen heikkoutena nykyisten teknisten vaatimusten suhteen edelleenkin huono selektiivisyys sekä herkkyyys. Vastaanottimella kyetään kuitenkin hyvissä olosuhteissa ja oikeilla antenniratkaisuilla kuuntelemaan amplitudimoduloituja läheteitä jopa tuhansien kilometrien etäisyydeltä.



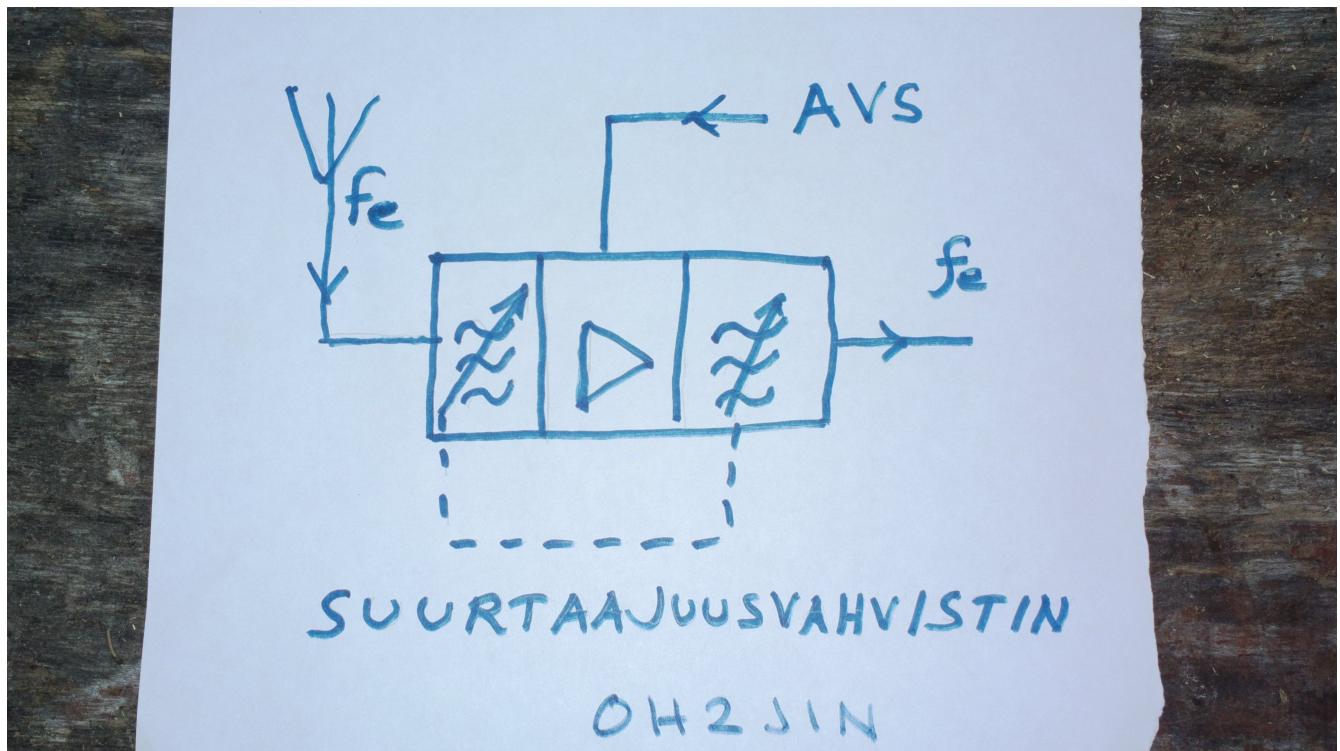
Virityspiiristä mainittakoon se, että radioteknisesti on mahdollista käyttää antennipiirissä myös sarjaresonanssipiiriä, jolloin kela ja kondensaattori ovat sarjassa. Eräissä tällaisissa rakenteissa antenni liitetään suoraan virityskondensaattorin toiseen napaan, toisen navan ollessa yhteydessä kelaan. Kelan toinen napa on puolestaan maadoituksessa. Suurtaajuinen antennisignaali otetaan kelaan tehdyn välioton sekä maadoituksen välistä.

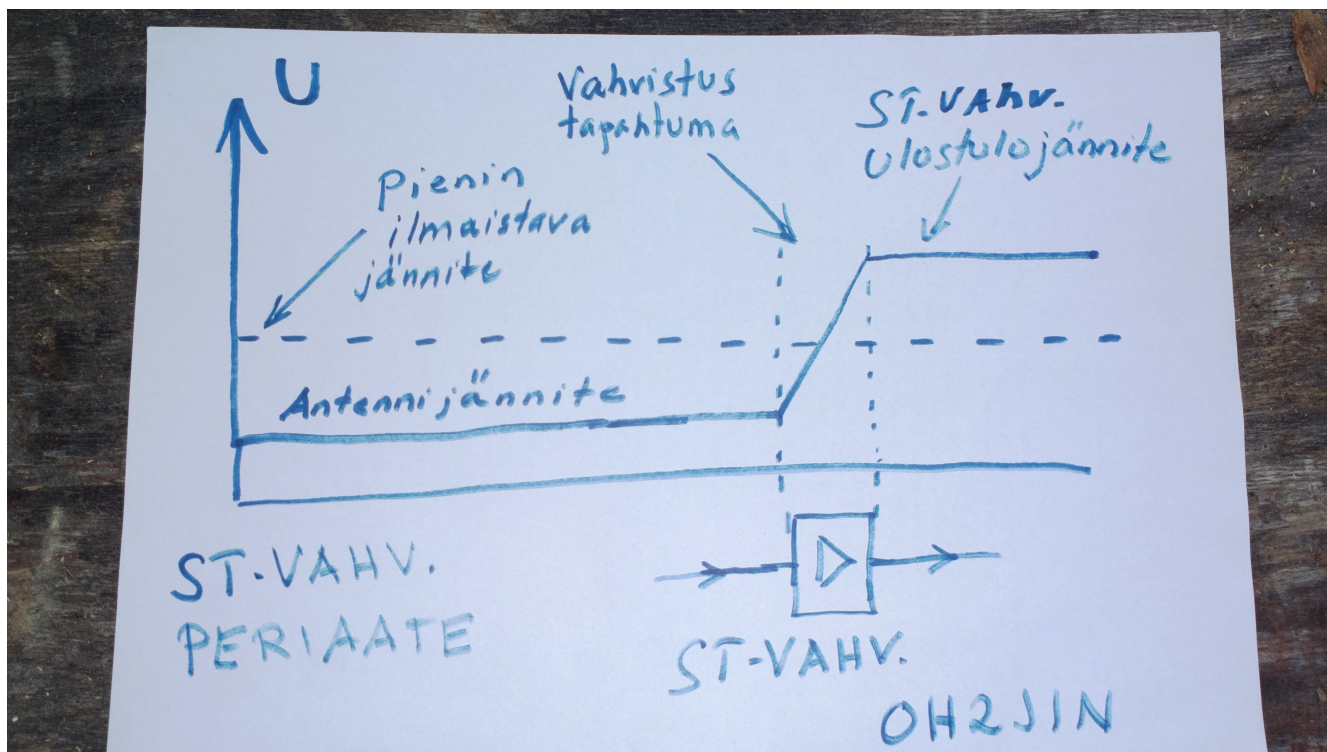




## Superheterodyne-periaate, suurtaajuusvahvistin

Superheterodyne-vastaanottimen antennipiiriin kuuluu selektiivinen suurtaajuusvahvistin. Vahvistimen suurtaajuussignaalien sisäänmeno- ja ulostuloporteissa on jatkuväsäätöisiä tai portaittain viritettäviä virityspiirejä, joiden avulla saadaan suodatettua yhtäältä antennin syöttöjohdosta tulevista eritaajuisista signaaleista haluttu taajuuskaista. Vastaavasti selektiivisen suurtaajuusvahvistimen ulostuloporttiin suodatetaan vahvistetusta signaalista edelleen kavennettu kaista, joten seuraava aste ei tule kuormitetuksi ylimääräisillä häiriösignaaleilla. Selektiivisyys saadaan aikaan sisäänmeno- ja ulostuloporttien signaaleita suodattavilla kaistanpäästöpiireillä. Suurtaajuusvahvistin voi olla useampiasteinen ja asteiden välissä on yleensä selektiivisyyden lisäämiseksi kaistanpäästöpiirejä, joiden toisena tehtävänä on asteiden välillä tapahtuva impedanssisovitus.





Suurtaajuusvahvistimen vahvistusta voidaan säätää ja tätä tarkoitusta varten vahvistimessa on toinen sisäänmenoportti automaattiselle vahvistuksen säädölle (AVS). Kysymyksessä on tasajännitesignaali, joka saadaan ilmaisimelta ja toimitetaan puskuroituna AVS-linjaa pitkin suurtaajuus- ja välitaajuusvahvistimille. Suurtaajuusvahvistimen selektiivisten virityspiirien viritys tapahtuu vastaanottimen virityksen yhteydessä aaltoalueen valitsimen (bandivalintakytkin) sekä paikallisoskillaattorin säädön (VFO) avulla. Molemmat mainitut säädöt voivat vastaanottimen rakenteesta riippuen vaikuttaa selektiivisen suurtaajuusvahvistimen sekä sisäänmeno- että ulostuloportteihin tai vain sisäänmenoporttiin.

Selektiivinen suurtaajuusvahvistin virityspiireineen pyritään mahdollisuuksien mukaan aina rakentamaan siten, että sen tietyille taajuuksille virityksessä suurtaajuudessa ulostuloportissa esiintyvät taajuudet ovat samat kuin suurtaajuuden sisäänmenoportissa. Selektiivinen suurtaajuusvahvistin on siten lineaarinen, joten sen ulostuloportissa voivat esiintyä vain ja ainoastaan sellaiset signaalit, jotka esiintyvät sen sisäänmenoportissa. Siinä ei siis saa tapahtua signaaleiden kertomista tai summaamista, vaan ainoastaan tehovahvistusta. Selektiivinen suurtaajuusvahvistin vahvistaa sen virityksellä määrätyn tietyn kapean taajuuskaistan signaalit ja syöttää ne ulostuloporttiinsa. Selektiivisessä suurtaajuusvahvistimessa tapahtuu sekä virta- että jännitevahvistus, joten se on tehovahvistin. Selektiivistä suurtaajuusvahvistinta voidaan siis kuormittaa eikä suunniteluissa rajoissa tapahtuva kuormitus vaikuta sen lineaarisuuteen eikä selektiivisyyteen. Selektiivinen suurtaajuusvahvistin ei kuitenkaan vahvista kaikkia sen sisäänmenossa esiintyviä taajuuskomponentteja tasaisesti, vaan sen virityspiirien virityksestä riippuen on ulostuloportissa tietyn taajuisten suurtaajuussignaalien amplitudi suurempi kuin toisten. Ollessaan selektiivinen vahvistin, vahvistaa se ideaalisesti tiettyä haluttua tai reaali maailmassa haluttuja taajuuksia enemmän kuin ei-toivottuja taajuuksia. Selektiivisen suurtaajuusvahvistimen ominaisuuksilla on osaltaan ratkaiseva merkitys vastaanottimen

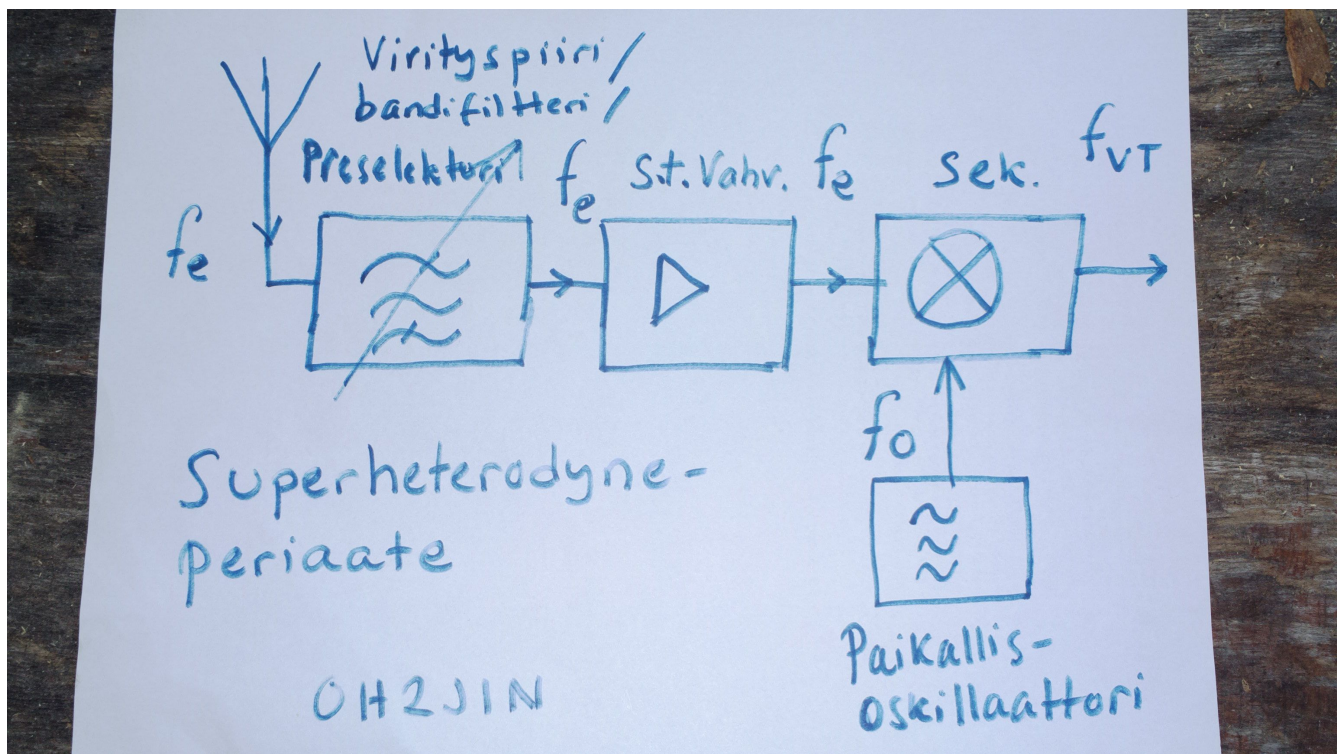


selektiivisyydelle.

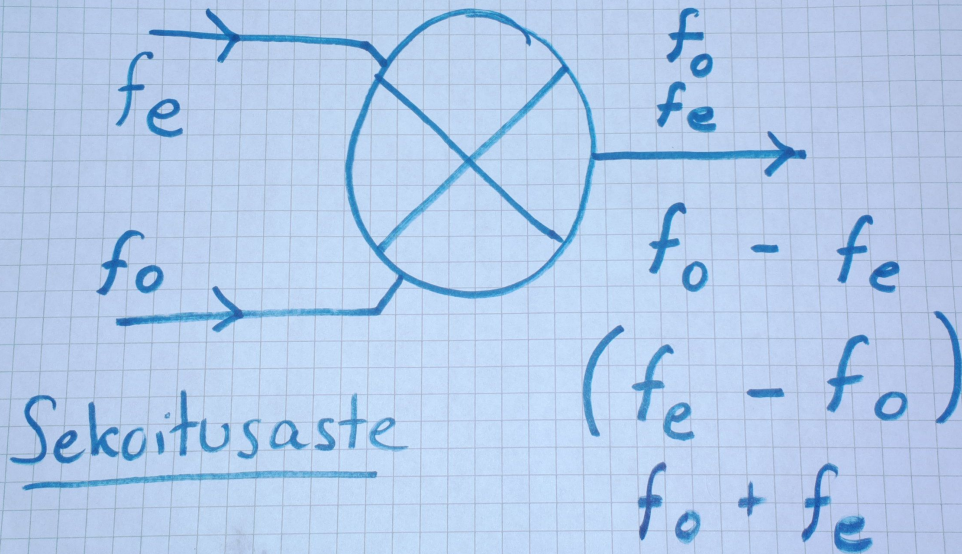
Suurtaajuusvahvistimessa on kaksi sisäänmenoporttia ja yksi ulostuloportti. Jo aiemmin käsitelty ensimmäinen sisäänmenoportti liittyy selektiivisten virityspiirien l. kaistanpäästösuotimien (bandisuotimet) kautta antenniin. Toinen sisäänmenoportti syöttää suurtaajuusvahvistimelle automaattisen säätöjännitteen vahvistuksen säädölle. Ilmaisin antaa yhdestä lähtöportistaan ulos säätöjännitteen, jonka avulla suurtaajuusvahvistimen sekä välitaajuusvahvistimen t. -vahvistinketjun vahvistusta säädetään. Suurtaajuusvahvistimen ulostuloportti syöttää selektiivisten virityspiirien kautta sekoitusastetta.

### Sekoitusaste sekä sen toiminta, katsaus sekoituksessa syntyviin häiriöihin

Superheterodyne-vastaanottimen toiminnan kannalta ehdottomasti keskeisin osa on sekoitusaste. Sen toiminnan ymmärtäminen on ehdoton edellytys nykyaikaisen vastaanotintekniikan opiskelussa ja siksi käytämmekin kohtuullisen paljon aikaa sekoituksen opiskelemiseen.



Antennin antennipiiriin ja edelleen selektiiviseen suurtaajuusvahvistimeen syöttämä suurtaajuinen energia, l. antennisignaali, syötetään sekoitusasteen toiseen sisäänmenoporttiin. Toiseen sisäänmenoporttiin syötetään paikallisoskillaattorin muodostama suurtaajuinen signaali. Sekoitustasen tehtävänä on suorittaa näiden syötettyjen sisäänmenotaajuuksien sekoitus. Ideaalinen sekoitusaste muodostaa antenni- ja paikallisoskillaattorin signaalien summan ja erotuksen. Käytännön sekoitusasteiden ulostuloportissa on aina summa- ja erotustaajuuksien lisäksi kummankin sisäänmenoportin taajuudet sekä joukko erinäisiä harhasignaaleita. Sekoitusaste toteutetaan jollain sopivalla, ominaiskäyrältään epälineaariseen komponenttiin perustuvalla kytkennällä.



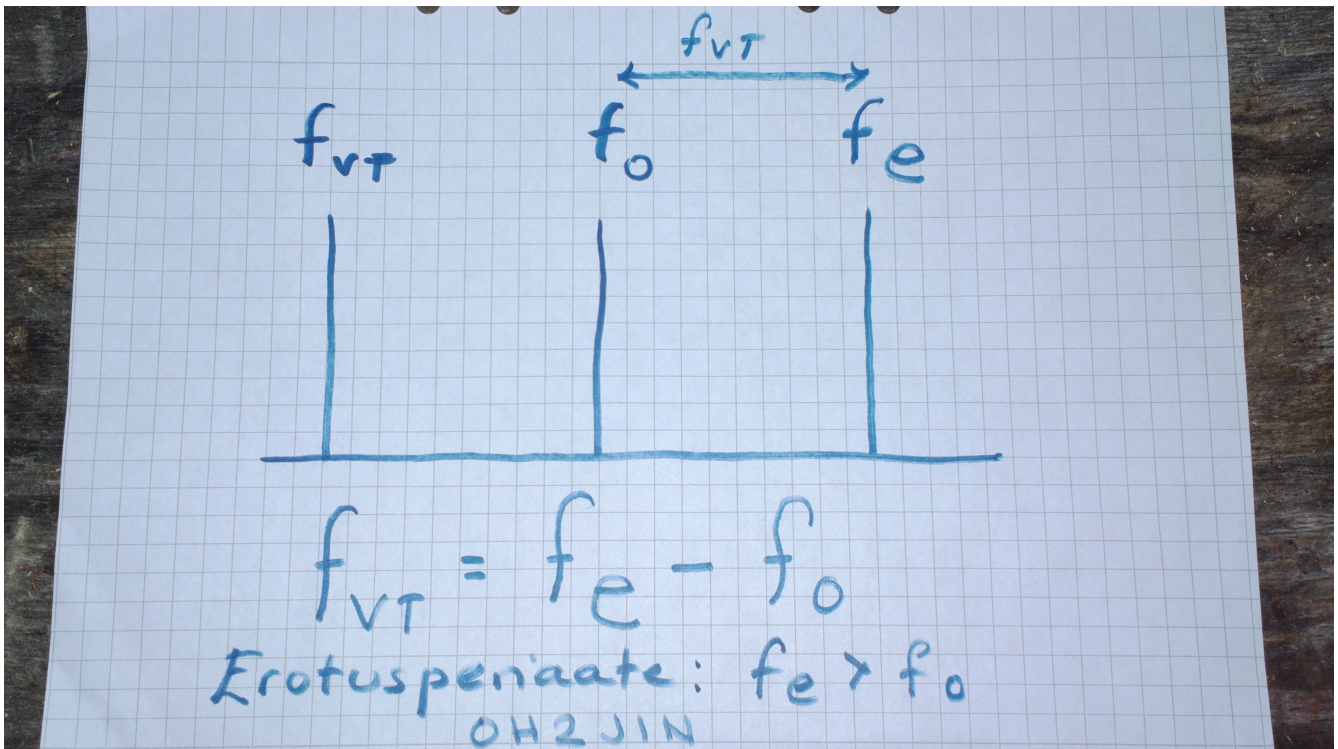
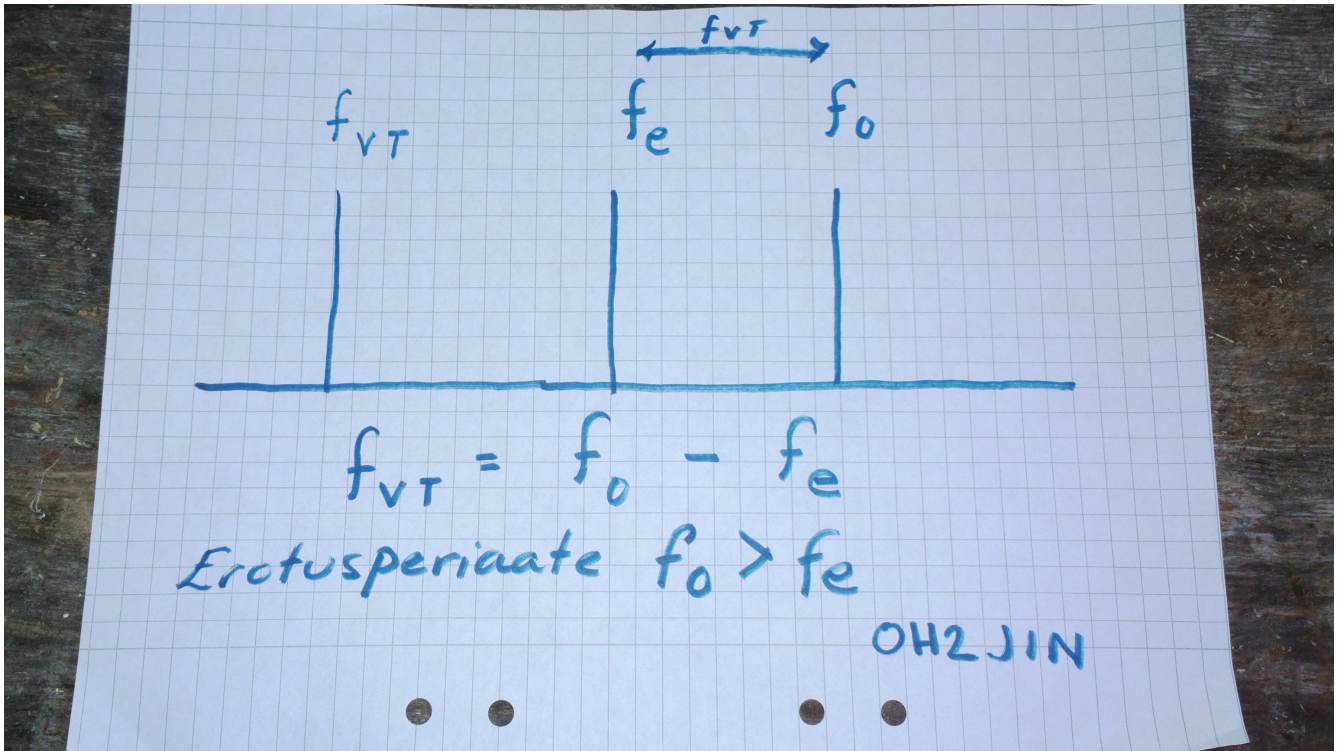
Sekoitusasteessa muodostetaan ja lähtöporttiin siirretään välitaajuus kuunneltavan taajuuden ( $f_e$ ) sekä paikallisoskillaattoritaajuuden ( $f_o$ ) summana tai erotuksena. Sekoitusaste voi toimia jollain seuraavista peruseriaatteista

- Välitaajuus on kuunneltavan taajuuden ( $f_e$ ) sekä paikallisoskillaattoritaajuuden ( $f_o$ ) summa
- Välitaajuus on kuunneltavan taajuuden ( $f_e$ ) sekä paikallisoskillaattoritaajuuden ( $f_o$ ) erotus

Lisäksi on mahdollista sijoittaa paikallisoskillaattoritaajuus ( $f_o$ ) joko

- Vastaanottotaajuuden ( $f_e$ ) yläpuolelle  $\Rightarrow f_o > f_e$
- Vastaanottotaajuuden ( $f_e$ ) alapuolelle  $\Rightarrow f_e > f_o$





Jokaisella yllä kuvatulla sekoitusasteen toteuttamistavalla on ratkaiseva merkitys pelitaajuuden muodostumisen sekä peilitaajuusvaimennuksen kannalta. Pääsääntönä suunnittelussa on se, että peilitaajuus ( $f_s$ ) sekä paikallisoskillaattorin taajuus ( $f_o$ ) on saatava mahdollisimman kauas välitaajuudelta. Toisaalta välitaajuus on saatava sellaiselle taajuusalueelle, missä on helppo rakentaa



superheterodyne-vastaanottimen vaatimat välitaajuusvahvistimet sekä -suodattimet.

Oletamme että sekoitusasteen ensimmäiseen sisäänmenoporttiin syötetään taajuus  $f_e$  ja toiseen sisäänmenoporttiin taajuus  $f_o$ . Tällöin sekoitusasteen ulostuloportissa esiintyy käytännössä neljä taajuutta  $f_{vt1}$ ,  $f_{vt2}$  sekä alkuperäiset  $f_e$  ja  $f_o$ . Tämän periaatetarkastelun kannalta oleellisia ovat sekoitusasteen summa- ja erotustulokset

(i)  $f_{vt1} = f_e + f_o \Rightarrow$  summasekoitus, kun välitaajuus muodostetaan summaperiaatteella

(ii)  $f_{vt2} = f_e - f_o \Rightarrow$  erotussekoitus, kun paikallisoskillaattori on kuunneltavan taajuuden alapuolella

(iii)  $f_{vt3} = f_o - f_e \Rightarrow$  erotussekoitus, kun paikallisoskillaattori on kuunneltavan taajuuden yläpuolella

Käytännössä kaksi viimeistä tapausta on siis sama tilanne erotuksella, että kuunneltava taajuus sekä paikallisoskillaattori-taajuus vaihtavat keskenään paikkaa taajuusakselilla. Oletamme edelleen porttiin 1 syötettävän taajuutta  $f_e = 10$  MHz ja porttiin 2 taajuutta  $f_o = 15$  MHz. Tällöin ulostuloportissa esiintyvät sekoitustuloksena taajuudet

$$f_{vt1} = f_e + f_o = 10 \text{ MHz} + 15 \text{ MHz} = 25 \text{ MHz}$$

$$f_{vt2} = f_e - f_o = 10 \text{ MHz} - 15 \text{ MHz} = -5 \text{ MHz}$$

$$f_{vt3} = f_o - f_e = 15 \text{ MHz} - 10 \text{ MHz} = 5 \text{ MHz}$$

$$f_e = 10 \text{ MHz}$$

$$f_o = 15 \text{ MHz}$$

Koska taajuus ei voi saada negatiivisia arvoja, poistamme mahdollisen negatiivisen etumerkin lopputuloksesta! Tällainen tilanne tulee vastaan erotusperiaatteella toimivan sekoitusasteen kohdalla esimerkiksi pitkäaaltoalueella, missä kuunneltava taajuus ( $f_e$ ) on pienempi kuin paikallisoskillaattorin taajuus ( $f_o$ ) ja käyttäisimme kaavaa (ii). PA-/KA-/LA-vastaanottimissa pyritään sijoittamaan välitaajuus pitkien- ja keskipitkien aaltoalueiden väliin, koska kansainvälisin sopimuksin on pyritty vt-jaksolle osuva taajuuskaista rauhoittamaan ylimääräisiltä läheteiltä. Näin siis voimme jättää huomiotta toisen kaavoista (ii) tai (iii) kun käytännön tasolla selvitämme sekoitustapahtumaa. Kysymys on ainoastaan siitä kumpi on suurempi, kuunneltava vai paikallisoskillaattorin taajuus. Itse välitaajuuden muodostus ei ole tästä riippuvainen, vaan se valitaan kaistanpäästösuoittimella joko erotus- tai summataajuudeksi.

Sekoitusasteen ulostuloportissa esiintyvistä summa- ja erotustaajuuksista valitaan käytännön vastaanottimissa toinen, yleensä erotustaajuus, jota kutsutaan välitaajuudeksi. Erotustaajuus valitaan yleensä siksi, koska välitaajuus pyritään saamaan taajuusalueelle, jonne on edullista rakentaa selektiivinen välitaajuusvahvistin. Valinta summa- ja erotussekoituksen välillä suoritetaan sekoitusasteen ulostuloportissa olevalla kiinteällä välitaajuudelle viritetyllä kaistanpäästösuoittimella, eli välitaajuussuoittimella (vt-suodin). Välitaajuusvahvistin tai vt-vahvistin on selektiivinen, kiinteästi viritetty yksi tai useampiportainen tehovahvistin. Joissain rakenteissa välitaajuusvahvistimen selektiivisten virityspiirien päästökaistan leveyttä voidaan säätää. Yleisradiovastaanottimissa, joissa on vain yksi sekoitus, käytetään yleisesti PA/KA/LA-taajuusalueilla n. 450...470 kHz paikkeilla olevaa välitaajuutta. Välitaajuusvahvistimen tai -vahvistimien sisäänmeno- ja ulostuloporttien selektiiviset

virityspiirit viritetään tälle taajuudelle siten, että vain ja ainoastaan tämä haluttu välitaajuus tulee vahvistetuksi.

Sekoitusasteeseen voi tulla voimakas pitkäaaltoalueen signaali, jonka toinen harmoninen saattaa syntyä sekoitusasteen epälineaarisissa osissa. Tällöin on mahdollista että syntyy sekoitustulos, joka kuuluu interferenssivihellyksenä. Myös paikallisoskillaattorin signaalin puhtauteen sekä amplitudiin on kiinnitettävä huomiota, jotta sekoitusastetta ei yliohjattaisi tai ylimääräisten taajuuskomponenttien vuoksi ei syntyisi ei-toivottuja sekoitustuloksia.

### **Sekoitusasteen toiminta, esimerkki 1**

Olettakaamme aluksi että teoreettisen superheterodyne vastaanottimemme välitaajuus on 470 kHz. Haluamme kuunnella taajuutta  $f_e = 1300$  kHz. Mikä on paikallisoskillaattorin taajuus  $f_o$ , kun sekoitusasteen ulostulo on sisäänmenoporttien erotustaajuus? Vastaanottimen paikallisoskillaattori värähtelee kuunneltavan taajuuden yläpuolella, so  $f_o > f_e$ .

$$f_{vt} = f_o - f_e \Rightarrow f_o = f_{vt} + f_e = 470 \text{ kHz} + 1300 \text{ kHz} = 1770 \text{ kHz, missä}$$

$f_{vt}$  = välitaajuus

$f_e$  = kuunneltava taajuus

$f_o$  = paikallisoskillaattorin taajuus

Toteamme että paikallisoskillaattori värähtelee tässä tapauksessa välitaajuuden verran kuunneltavan taajuuden yläpuolella. Kun sekoitusasteen ulostuloportin kaistanpäästösuodin viritetään taajuudelle 470 kHz, läpäisee se vain ja ainoastaan sekoitustuloksen, joka on paikallisoskillaattorin ja kuunneltavan taajuuden erotus.

Toki sekoitusasteen ulostulossa ennen kaistanpäästösuodatinta on välitaajuuden 470 kHz lisäksi kuunneltava taajuus  $f_e = 1300$  kHz),  $f_o = 1770$  kHz sekä summataajuus  $f_o + f_e = 3070$  kHz. Näistä sekoitusasteen ulostulossa olevista signaalijännitteistä on kuitenkin ehdottomasti päästävä eroon ennen ensimmäisen välitaajuusvahvistimen sisäänmenoa. Näin siksi, koska vt-vahvistinketjun epälineaarisissa komponenteissa saattaa muodostua ei-toivottuja sekoitustuloksia ja harhatoistoja. Ammattikielellä näitä sekoitusasteen ulkopuolella syntyviä kuin myös sekoitusasteessa itsessään syntyviä ei-toivottuja sekoitustuloksia kutsutaan birdie-signaaleiksi.

### **Sekoitusasteen toiminta, esimerkki 2**

Olettakaamme tässä esimerkissä että teoreettisen superheterodyne vastaanottimemme välitaajuus on edelleenkin 470 kHz. Haluamme jälleen kuunnella taajuutta  $f_e = 1300$  kHz. Mikä on paikallisoskillaattorin taajuus  $f_o$ , kun sekoitusasteen ulostulo on sisäänmenoporttien erotustaajuus? Paikallisoskillaattori värähtelee tässä vastaanottimessa kuunneltavan taajuuden alapuolella.

$$f_{vt} = f_e - f_o \Rightarrow f_o = f_e - f_{vt} = 1300 \text{ kHz} - 470 \text{ kHz} = 830 \text{ kHz, missä}$$

$f_{vt}$  = välitaajuus

$f_e$  = kuunneltava taajuus



$f_0$  = paikallisoskillaattorin taajuus

Kuunneltavan taajuuden ollessa suurempi kuin paikallisoskillaattorin taajuus, joudumme huomioimaan erotuslaskussa laskusuunnan, ts taajuus ei voi olla negatiivinen. Tässäkin sekoitusasteessa muodostuu myös summasekoitus  $f_0 + f_e = 830 \text{ kHz} + 1300 \text{ kHz} = 2130 \text{ kHz}$ , joka on ehdottomasti suodatettava pois sekoitusasteen ulostulossa ennen ensimmäistä välitaajuusvahvistinta. Käytännössä välitaajuuden valinnan suorittaa automaattisesti sekoitusasteen ulostuloportissa oleva halutulle kiinteälle välitaajuudelle (meidän tapauksessamme 470 kHz) viritetty kaistanpäästösuodin, joten tämä summasekoitus on tässäkin tapauksessa turha. Sinänsä siis sekoitusasteessa sen toimiessa muodostetaan kaiken aikaa taajuuksien  $f_e$  ja  $f_0$  summa sekä erotus. Muistisääntönä todettakoon että sekoitusasteen ulostuloporttiin on millä tahansa suurtaajuusvahvistimen ja paikallisoskillaattorin viritystaajuudella aina saatava kiinteä, radiovastaanottimelle ominainen välitaajuus, joka läpäisee kaistanpäästöperiaatteella toimivat välitaajuusketjun selektiiviset suotimet. Suurtaajuusvahvistimen sekä paikallisoskillaattorin taajuuksia tulee siis muuttaa sellaisessa suhteessa, jotta niiden (haluttu) sekoitustulos on radiovastaanottimen kiinteä välitaajuus. Ammattilaispiireissä puhutaan tasakäynnistä ja vastaanottimen kytkennässä on asianmukaiset säädöt, joilla tehtaalla määrätyt tasakäyntipisteet asetetaan kohdalleen. Näin taajuusasteikolla tapahtuvat poikkeamat korjataan tietyissä taajuusasteikon pisteissä.

### ULA-sekoitusasteen toiminta, esimerkki 3

Asiaa voidaan valaista lisää kolmannella esimerkillä. Olettakaamme että meillä on käytössämme ULA-vastaanotin, joka kuuntelee taajuutta  $f_e = 94,1 \text{ MHz}$  ja vastaanottimen välitaajuus  $f_{vt} = 10,7 \text{ MHz}$ . Mainittakoon että ULA-vastaanottimissa on käytetty myös 6,75 MHz ensimmäistä välitaajuutta, mutta se on harvinaisempi. Meidän on siis sekoitusasteessa sekoitettava taajuuden  $f_e$  kanssa sellainen taajuus, jotta niiden erotus on  $f_{vt} = 10,7 \text{ MHz}$

$$f_0 = f_e - f_{vt} = 94,1 \text{ MHz} - 10,7 \text{ MHz} = 83,4 \text{ MHz}$$

Lukijoille, jotka haluavat perehtyä erotussekoitukseen tarkemmin, voidaan tästä johtaa välitaajuuden laskemisen kaava:

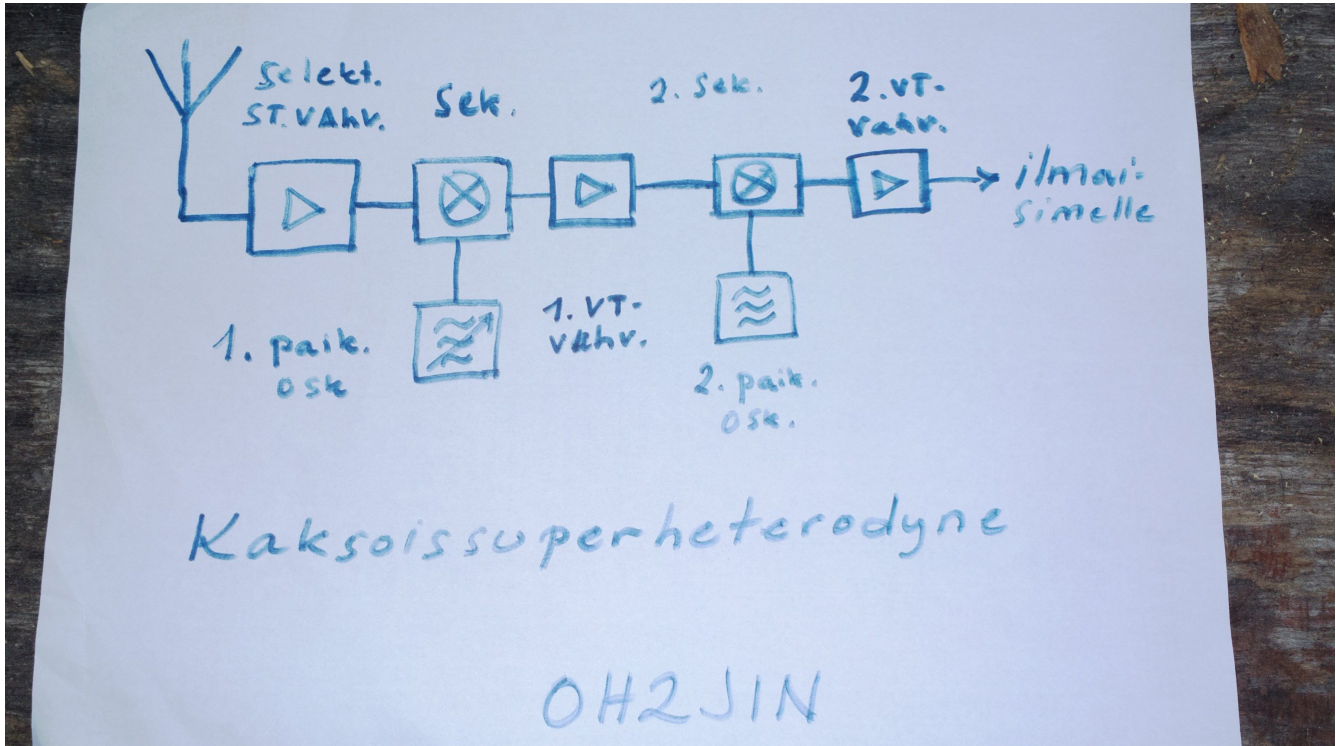
$$f_0 = f_e - f_{vt} \Rightarrow -f_{vt} = f_0 - f_e \Rightarrow f_{vt} = f_e - f_0$$

Tässä tulee huomioda se, että sekoitustuloksena syntyy myös summavälitaajuus  $f_{vt2}$

$$f_{vt2} = f_e + f_0 = 94,1 \text{ MHz} + 83,4 \text{ MHz} = 177,5 \text{ MHz}$$

Tämä on kuitenkin siksi kaukana välitaajuussuotimien päästökaistan ulkopuolella, ettei se enää käytännössä mene selektiiviseen vt-vahvistin ketjuun ja tulee suodatetuksi pois. Tätä summasekoitustulosta ei missään nimessä pidä sekoittaa ns. peilitaajuuteen, johon palaamme jäljempänä. Äskeisessä esimerkissä saatu ULA-vastaanottimien yleinen 10,7 MHz välitaajuus vahvistetaan ja sekoitetaan toisessa sekoitusasteessa, jolloin siitä saadaan matalampi toinen välitaajuus. Tähänkin palaamme myöhemmin käsiteltäessä ULA-vastaanottimen toimintaa. Tässä yhteydessä mainittakoon kuitenkin että ULA-vastaanotin on käytännössä aina kaksoissuperheterodyne-periaatteella toimiva, eli sen ensimmäisen välitaajuusketjun välitaajuus on 10,7 MHz, joka syötetään toiseen sekoitusasteeseen. Toinen sekoitusaste saa toiseen sisäänmenoporttiinsa kiinteän paikallisoskillaattorin signaalin, joka poikkeaa toisen välitaajuuden verran ensimmäisestä välitaajuudesta. Tämä on kaksoissuperheterodyne-periaatteen eräs tunnusmerkki. Toisen

paikallisoskillaattorin taajuus on kiinteä. Kaksoissuperheterodyne-vastaanottimen toisen sekoitusasteen sisäänmenoportteihin tulevat taajuudet ovat siis kiinteitä. Yleensä ULA-vastaanottimissa toinen välitaajuus on sama kuin vastaanottimen AM-osan välitaajuus, joten ULA-osan toisena välitaajuusketjuna toimii vastaanottimen AM-osan välitaajuusketju. Palaamme tähän rakenteeseen jäljempänä, mutta esitetään tässä yhteydessä lyhyesti kaksoissuperheterodyne-periaate lohkokaaviotasolla



## Peilitaajuuden muodostuminen

Tarkastelemme seuraavaksi peilitaajuuden muodostumista lyhytaaltoalueella ja keskitymme tarkastelussamme PA/KA/LA-aaltoalueiden sekoitusasteeseen. Olkoon kuunneltava taajuus  $f_e = 10$  MHz sekä paikallisoskillaattorin taajuus  $f_o = 9,53$  MHz (paikallisoskillaattori on tässä esimerkissä kuunneltavan taajuuden alapuolella!) ja näin ollen  $f_{vt} = 0,47$  MHz. Käytämme yksinkertaisuuden vuoksi MHz arvoja. Edellä opitun mukaisesti syntyy sekoitusasteessa myös summasekoituksena  $f_{vt2} = 10,47$  MHz. Tässä sekoitustulosta ei pidä sekoittaa käsitteeseen peilitaajuus, joka esiintyy aina kahden välitaajuuden päässä kuunneltavasta taajuudesta.

Peilitaajuuden muodostumismekanismi on seuraavanlainen. Kuuntelemme taajuutta  $f_e = 10$  MHz ja paikallisoskillaattorin taajuus  $f_o = 9,53$  MHz. Mikäli nyt kahden välitaajuuden päässä alempana (s.o. kohden paikallisoskillaattorin taajuutta  $f_o$ ) kuunneltavasta taajuudesta  $f_e = 10$  MHz on lähete, muodostaa se sekoitusasteessa välitaajuuden sekoitustuloksen  $f_{vt} = 0,47$  MHz.

$$f_s = f_e - 2 \cdot f_{vt} = 10 \text{ MHz} - 0,94 \text{ MHz} = 9,06 \text{ MHz}$$

Peilitaajuuden  $f_s$  ja paikallisoskillaattoritaajuuden  $f_o$  erotus on  $f_{vt}$

$$f_{vt} = |f_s - f_o| = |9,06 \text{ MHz} - 9,53 \text{ MHz}| = 0,47 \text{ MHz}$$



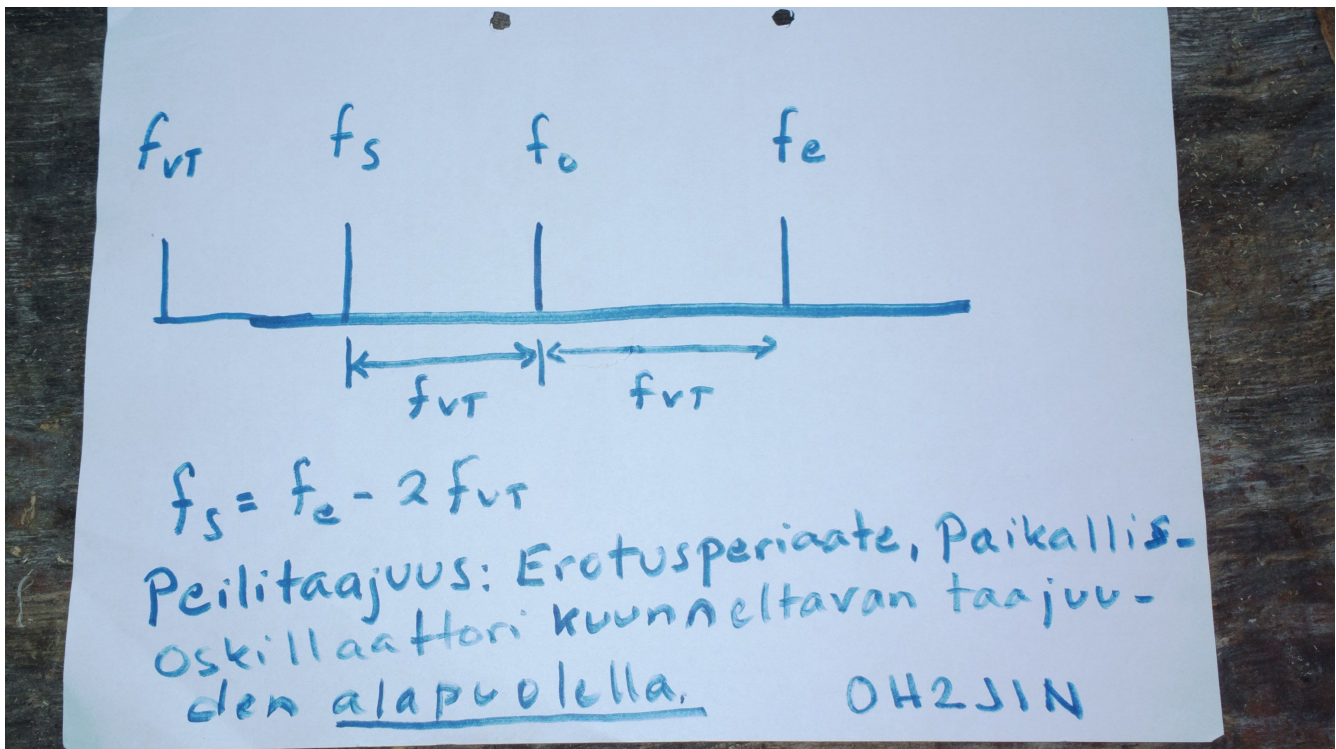
Edellinen tarkastelu osoittaa oikeaksi nimityksen peilitaajuus. Paikallisoskillaattorin värähtelytaajuus  $f_0$  on tasan puolivälissä kuunneltavan taajuuden ja peilitaajuuden välissä. Peilitaajuuden vaimentamisessa on keskeistä kyetä rakentamaan suurtaajuusvahvistimesta mahdollisimman selektiivinen, jolloin se kykenee vaimentamaan peilitaajuutta. Toinen vaihtoehto peilitaajuusvaimennuksen lisäämiseen on hyödyntää kaksoissuperheterodyne-periaatetta, joka on tuttu ULA-vastaanottimista.

Käydään seuraavaksi läpi peilitaajuuden muodostuminen ULA-vastaanottimessa. Edellisessä esimerkissä kuuntelimme taajuutta  $f_e = 94,1$  MHz ja välitaajuus  $f_{vt} = 10,7$  MHz. Paikallisoskillaattori värähtelee välitaajuuden verran alempana kuin kuunneltava taajuus, eli  $f_0 = 83,4$  MHz. Peilitaajuus voidaan laskea vähentämällä kaksi kertaa välitaajuus

$$f_s = f_e - 2f_{vt} = 94,1 \text{ MHz} - 21,4 \text{ MHz} = 72,7 \text{ MHz}$$

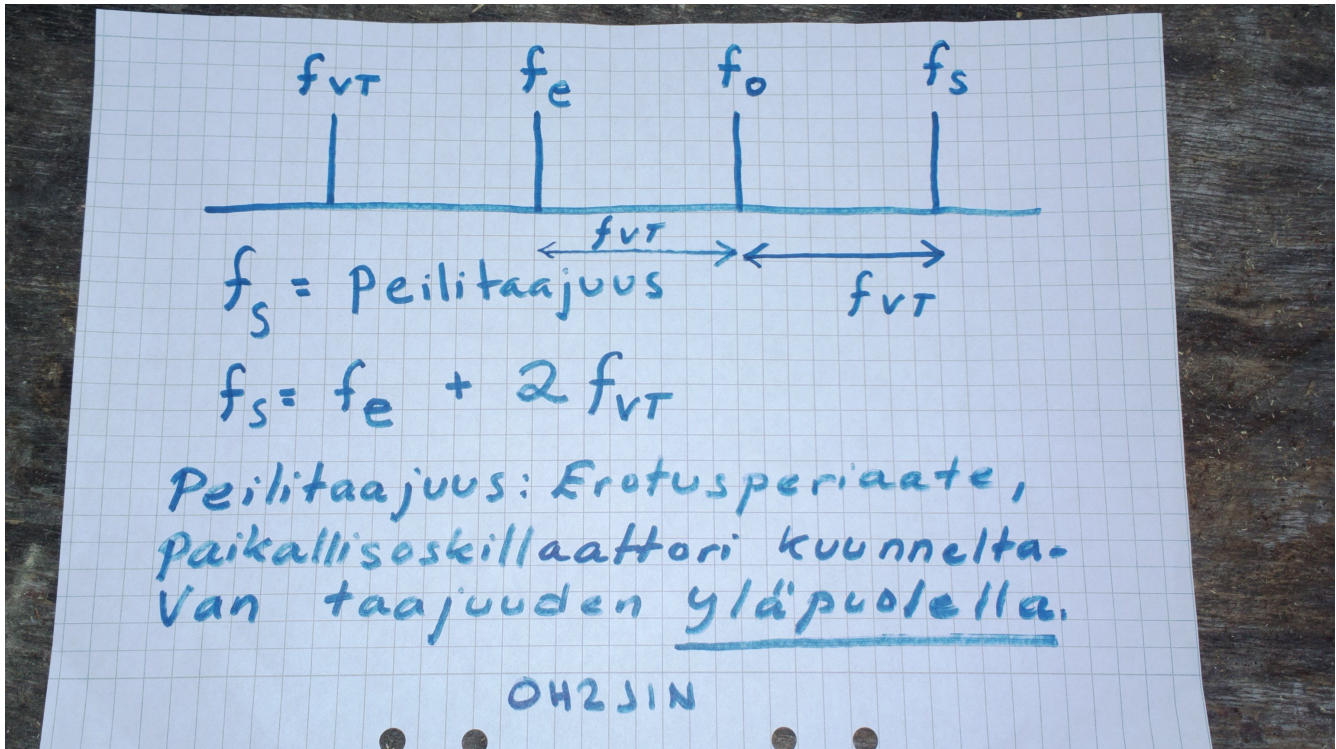
Voimme tarkistaa laskennan eli muodostamme peilitaajuuden  $f_s$  sekä paikallisoskillaattoritaajuuden  $f_0$  erotuksen

$$f_{vt} = f_0 - f_s = 83,4 - 72,7 \text{ MHz} = 10,7 \text{ MHz}$$



Otamme vielä yhden esimerkin, jossa käsittelemme peilitaajuuden muodostumista ULA-vastaanottimessa. Kuuntelemme taajuutta  $f_e = 94,1$  MHz ja välitaajuus  $f_{vt} = 10,7$  MHz. Paikallisoskillaattori värähtelee välitaajuuden verran ylempänä kuin kuunneltava taajuus, eli  $f_o = 104,8$  MHz. Peilitaajuus lasketaan nyt lisäämällä kaksinkertainen välitaajuus ( $f_{vt}$ ) kuunneltavaan taajuuteen ( $f_e$ )

$$f_s = 2f_{vt} + f_e = 21,4 \text{ MHz} + 94,1 \text{ MHz} = 115,5 \text{ MHz}$$



Huomamme että välitaajuuden, sekoitustuloksen sekä paikallisoskillaattorin taajuuden valinnalla on erittäin keskeinen vaikutus selektiivisyyden lisäksi peilitaajuusvaimennukseen sekä häiritasoon. Viime mainitusta johtuen tulee paikallisoskillaattorin taajuus valita siten, ettei se häiritse lähistöllä olevia vastaanottimia tai vastaanotinta itseään ja toisaalta paikallisoskillaattorin signaali ei saa missään tapauksessa karata antennipiirin kautta antenniin.