

Lähettimet ja vastaanottimet

OH3NE:n radioamatöörikurssi

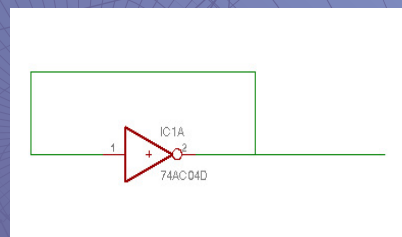
Aiheitamme tänään

- ♦ Kaiken perusta: värähtelijä eli oskillaattori
- ♦ Vastaanottimet:
 - värähtelijän avulla alas radiotaajuudelta
- ♦ Lähettimet:
 - värähtelijä tuottaa radiotaajuuden
- ♦ Modulaattorit ja demodulaattorit
 - eri lähetelajeille sama vastaanotin, eri demodulaattori
 - Modulaattori: informaation liittäminen kanta-aaltoon

Värähtelijä

- ♦ Värähtelee eli oskilloi tietyllä taajuudella
- ♦ Kiinteätaajuuksisia sekä säädettäviä (esim. VCO)
- ♦ Invertteriä voi käyttää värähtelijänä, mutta se on hallitsematon
 - Käytetään resonanssipiiriä (~suodatin) asettamaan taajuus
 - Vaihelukittu silmukka ja VCO
 - Taajuussyntetisaattori

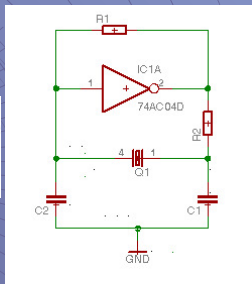
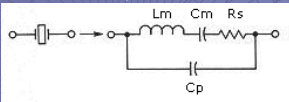
Inverttoiva vahvistin värähtelijänä



Kidevärähtelijä

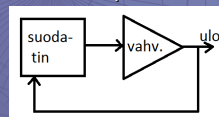
Kideoskillaattori:

Kiteen vastinkytkentä:



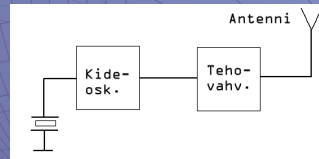
Muita oskillaattoreita eli värähtelijöitä

- ♦ Yhteen tai useampaan transistoriin perustuvat oskillaattorit
- ♦ Yhden taajuuden oskillaattorit: esim. kideoskillaattori
- ♦ Säädettävät: VCO = jänniteohjattu oskillaattori
- ♦ Kaikissa sama perusidea:



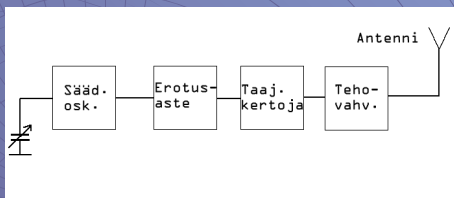
Lähettimet

- ♦ Lähetystaajuuden muodostamisen peruselementti on siniaalto-oskillaattori
 - vakaa taajuus
 - vakaa amplitudi
 - puhdas spektri
- ♦ Takaisinkytketty vahvistin



COPA, crystal oscillator – power amplifier
Kiinteätaajuuksinen kideoskillaattori

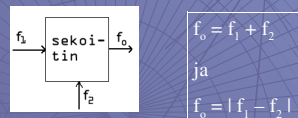
Taajuuskertojaan perustuva lähetin



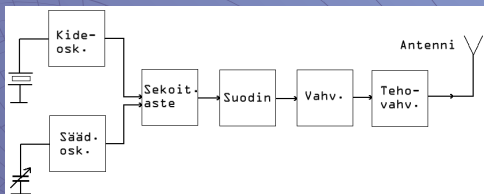
- Kertojan avulla päästään useille HF-bandeille, koska bandit ovat harmonisessa suhteessa toisiinsa.
 - Esim. $3,5 \text{ MHz} * 2 =$ neljäkymppiä bandi

Sekoittaminen

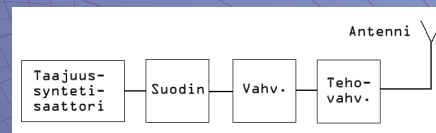
Kun kaksi taajuutta sekoitetaan, syntyy tuloksena sekä summa että erotus.



Sekoitukseen perustuva lähetin



- Sekoituseriaatteella toimiva
- VFO (variable frequency oscillator) toimii suht. matalalla taajuudella, esim. $5,0 \dots 5,5 \text{ MHz}$
- Kutakin aluetta varten oskillaattorissa oma kide
 - Vakaampi ja haluttu taajuus sekoituksen jälkeen
- Sekoitusteen jälkeen esim. $5,3 \text{ MHz} + 9 \text{ MHz} = 14,3 \text{ MHz}$
- Edelleen paljon käytössä, mm. SSB-lähetimissä



- Nykyaikaisin menetelmä
- Toiminnan perustana myös tarkka kideoskillaattori, johon säädettävän oskillaattorin taajuus lukitaan
 - Taajuussyntetisaattori kehittää siitä halutun taajuuden "matematiikan avulla"

($10 \text{ MHz}/10*3 + 10 \text{ MHz}/100*6 + 10 \text{ MHz}/1000*9 \dots$)

Lähettimien haasteita

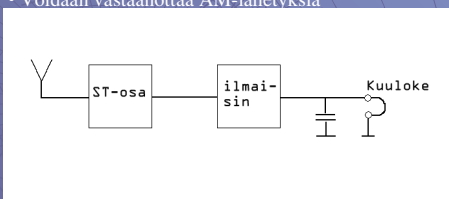
- ♦ Spektrin puhtaus, harhalähteet (harmoniset)
- ♦ Teho ja lineaarisuus tehoalueen yläpäässä
- ♦ Modulaation oikea määrä
- ♦ Avainiskut CW-lähettimessä
- ♦ Taajuuden stabiilius, ryömintäongelmat lämmitessä

Vastaanottimet

- ♦ Kidevastaanotin, suora vastaanotin
- ♦ Q-kertoja
- ♦ Suora superi
- ♦ Sekoittaminen
 - välitaajuus, peilitaajuus
 - paikallisoskillaattori
- ♦ Supervastaanotin

Kidevastaanotin

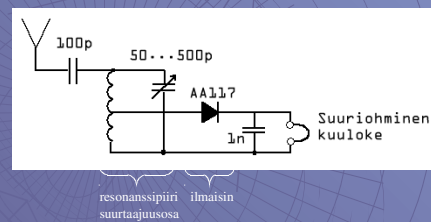
- Kaikkein yksinkertaisin vastaanotin.
- Ei tarvitse ulkopuolista virtaa toimiakseen
- Epäselektiivinen, hankala säädettävä
- Voidaan vastaanottaa AM-lähetyksiä



(ST = suurtaajuus)

Kidevastaanotin

Hyvin yksinkertainen vastaanotin:

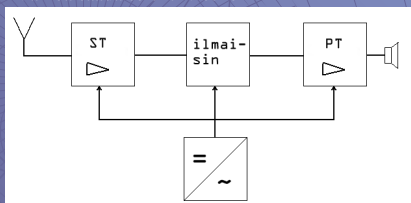


resonanssipiiri
suurtaajuusosa

ilmais-in

Suora vastaanotin

- Kidekoneesta hieman paranneltu versio, periaate sama
- Ilmaisu tapahtuu suurtaajuudella!
- Yksinkertainen
- Vaikea saada selektiiviseksi



ST =
suurtaajuus
PT =
pientaajuus

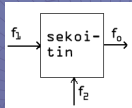
Tehon-
syöttö

Q-kertoja

- ♦ "Parannetaan" resonanssipiirin Q-arvoa tuomalla piiriin samanvaiheisenä suurtaajuusenergiaa
- ♦ Selektiivisyys paranee
- ♦ Q-kertoja on viritettävä vahvistinaste, joka kompensoi virityspiirissä tapahtuvia häviöitä
→ pienemmät häviöt → suurempi Q-arvo
- ♦ Käytännössä vanhentunutta tekniikkaa

Sekoittaminen (oli jo!)

Kun kaksi taajuutta sekoitetaan, syntyy tuloksena sekä summa että erotus.

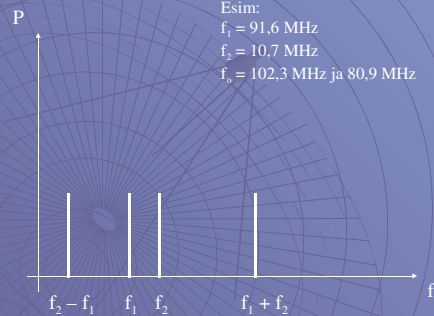


$$f_o = f_1 + f_2$$

ja

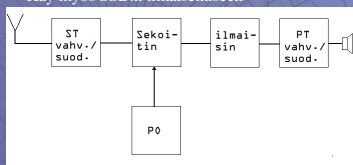
$$f_o = |f_1 - f_2|$$

Sekoituksen kaksi tulosta:



Suorasekoitusvastaanotin

- PO:n värähtely ja antennista tuleva signaali sekoitetaan
→ Saadaan taajuuksien erotus kuulolueella
- Asemien erottelu tehtävä ilmaisimen jälkeen (pt-aste)
→ Epäselektiivinen
- Käy myös SSB:n ilmaisemiseen

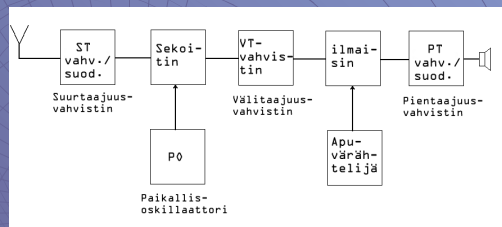


Ulkoiset tehonsyötöt jätetty kuvasta pois

(ST = suurtaajuus, PT = pientaajuus,
PO = paikallisoskillaattori)

Supervastaanotin

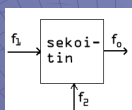
Superheterodynevastaanotin, superi



- AM:llä ja CW:llä verhokäyräilmaisoin, SSB:llä tuloilmaisoin
- Selektiivisyys välitaajuusosalla
- Voi olla useita välitaajuuksia
- "Nykyteknikkaa"

Apuvärähtelijä = BFO
= Beat Frequency
Oscillator

Superin ongelma, peilitaajuus



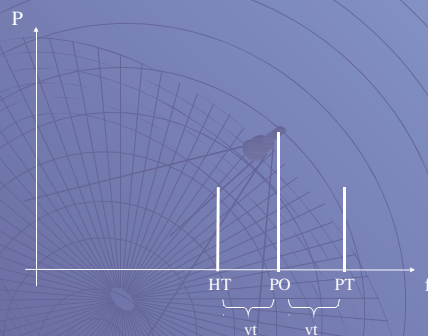
$$f_1 = 28 \text{ MHz}$$

$$f_2 = 27,550 \text{ MHz}$$

$$\rightarrow f_o = 450 \text{ kHz}$$

Mutta entä jos...
 $f_1 = 27,100 \text{ MHz}$?
 $\rightarrow f_o = 450 \text{ kHz}$?!?!??

Sekoituksen toinen, ei-haluttu tulos, on ns. peilitaajuus.



Peilitaajuus on välitaajuuden verran paikallisoskillaattorin taajuuden toisella puolella mitä hyötytaajuus

- Kaksoissuperi
- Kolmoissuperi
-

Vastaanottimien haasteita

- ♦ Harhatoistot (peilitaajuus, ylimääräiset sekoitustulokset radion sisällä)
- ♦ Herkkyys: kuinka pieniä signaaleja voidaan kuulla
- ♦ Lähellä olevien voimakkaiden signaalien sietokyky (tukkeutuuko) = selektiivisyys
- ♦ Omien sisäisten häiriöiden sietokyky:
 - välitaajuinen signaali voi olla 90 dB isompi kuin antennista sisään tuleva
 - huolellinen kotelointi ja osastointi!

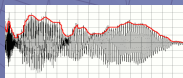
Seuraavaksi tietoa modulaatioista – sitten puhutaan siitä, miten lähetintä moduloidaan tai vastaanottimessa demoduloidaan.

Modulointi

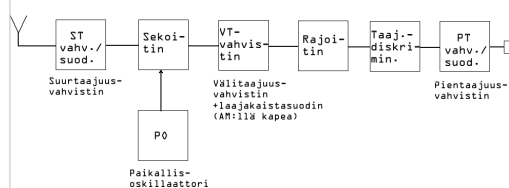
- ♦ Lisätään kanta-aaltoon informaatio
- ♦ Perinteiset
 - katkotaan kanta-aalto: CW
 - muutetaan kanta-aallon amplitudia (esim. vahvistimen biasta): AM
 - Tästä kehittyneempi: SSB
 - muutetaan kanta-aallon taajuutta (jänniteohjatuilla oskillaattoreilla): FM
- ♦ Digitaaliset
 - vaihemodulaatioihin tarvitaan vaihelukko (PLL), esim. IQ, QAM
 - useimmat digimodet voi tehdä moduloimalla SSB-lähete "robottiäänellä"

Modulointi ja demodulointi: AM ja CW

- ♦ Modulointi:
 - Yksinkertaisesti suurtaajuusvahvistimen vahvistusta säätämällä
- ♦ Demodulointi:
 - Verhokäyräilmaisu, esim. diodi-ilmaisín
- ♦ Huom:
 - Sähkötys nopeaa, saa olla nopea AGC (vahvistuksen säätö); AM:llä hidas
 - CW:llä voi käyttää jopa 100 Hz suodatinta



FM-vastaanotin diskriminaattorilla



- ♦ FM muita amatöörilähetteitä leveämpää
- ♦ Ilmaisuu taajuusdiskriminaattorissa
 - Eri taajuuksia vahvistetaan eri verran: joitakin taajuuksia sorsitaan eli diskriminoidaan

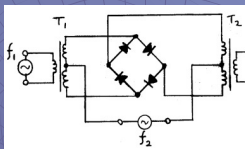
Modulointi ja demodulointi: SSB

- ♦ Modulointi:
 - Kantoaalto tukahdutetaan balansoidussa modulaattorissa → DSB
 - Toinen sivukaista tukahdutetaan kidesuodattimella → LSB tai USB
- ♦ Demodulointi:
 - Ilmaisus tuloilmaisimella (product detector) = sekoittimella (BFO kertaa SSB-signaali)
 - Tarvitaan apuoskillaattori (BFO) luomaan kantoaalto
- ♦ Huom: Ilmaisus mutkikasta, käytännössä aina välitaajuudella

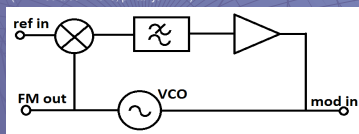
Modulointi ja demodulointi: FM

- ♦ Modulointi:
 - Esim. vaihelukitulla silmukalla, jossa moduloiva signaali summataan VCO:n ohjausjännitteeseen
- ♦ Demodulointi:
 - Ensin signaali limitoidaan (amplitudivaihtelut pois)
 - Diskriminaattorilla muunnetaan FM→AM, sitten ilmaistaan AM
 - Diskriminaattori: esim. suodatin, joka vaimentaa eri taajuuksia eri verran
 - Vaihtoehtona kvadratuuri-ilmaisus: signaali sekoitetaan viivästetyn itsensä kanssa

Modulointi ja demodulointi: kuvia



kaksoisbalansoitu sekoitin SSB:n modulointiin
(Wikimedia commons, piirtänyt Liffu)



PLL:llä toteutettu FM-modulaattori

Eri modulaatioiden vaatimuksia lähettimille

- ♦ SSB-moduloitu signaali pitää vahvistaa niin, että signaalin aaltomuoto pysyy kunnossa
 - Vaatii A-luokan vahvistimen (vahvistaa signaalin molemmat puolijaksot)
 - A-luokan vahvistimella huono hyötysuhde mutta kaunis ulostulosignaali
 - Pätee myös "SSB-moduloiduille" digilähetille
- ♦ CW-signaalin aaltomuodolla ei ole niin väliä
 - Voidaan vahvistaa C-luokan vahvistimella (vahvistaa vain osan puolijaksoa)
 - C-luokan vahvistimella hyvä hyötysuhde, mutta ulostulosta pitää suodattaa harhalähetettä pois

Eri modulaatioiden vaatimuksia vastaanottimille

- ♦ FM-vastaanottimen pitää olla tarpeeksi leveä

Nykyaikaa...

- ♦ DSP (digitaalinen signaalinkäsittely) mahdollistaa hyvin kapeat suodattimet
- ♦ Puolijohteilla saadaan jo kilowatin tehoja, mutta putket ovat silti yleisiä tehovahvistimissa ("linukoissa").
- ♦ Gigahertseille pääsee helpoimmin transvertterillä:
 - signaali tuotetaan 2 m radiolla
 - transvertterillä muodostetaan moduloidusta 2 m signaalista 10 GHz lähete

Kertaus: TX

- ♦ Lähettimessä pitää olla:
 - signaalilähde (oskillaattori)
- ♦ Lähettimessä kannattaa olla lisäksi:
 - modulaattori
 - päätevahvistin
 - suodatin (alipäästö-)
- ♦ Lähettimessä voi olla lisäksi:
 - sekoitin (kiinteä oskillaattori & säädettävä oskillaattori)
 - oskillaattorissa kide tai RC-piiri tai taajuuskertoja tai...

Kertaus: RX

- ♦ Vastaanottimessa pitää olla:
 - ilmaisim eli demodulaattori
 - ♦ Vastaanottimessa kannattaa olla lisäksi:
 - suodatin tai useita
 - oskillaattori tai useita kiteellä tai ilman
 - sekoitin tai useita
 - vahvistin tai useita (esivahvistin (voi olla erikseen), välitaajuusvahvistin, pientaajuusvahvistin ym.)
 - ♦ Vastaanottimessa voi olla lisäksi:
 - automaattinen vahvistuksen säätö AGC
 - kapea CW-suodin ym. herkkuja
- tunnistatko superin?

Vinkkejä tenttikysymyksiin

- ♦ Opettele laskemaan peilitaajuus. Piirrä vaikka kuva.
 - Peilitaajuus on $2 \times$ välitaajuuden päässä hyötytaajuudesta, paikallisoskillaattorin toisella puolella.
- ♦ Supervastaanottimesta kysytään aina jotakin.
- ♦ Sekoituksen idea
- ♦ A-/B-/C-vahvistinluokkien idea ja käyttö

Tenttikysymyksiä

Tavalliseen kideohjattuun lähettimeen kuuluu

- (+) pääteaste
- (-) ilmaisim
- (-) välitaajuusvahvistin
- (+) kideoskillaattori

Supervastaanottimessa suurtaajuisen signaalin muuttaminen välitaajuisiksi tehdään

- (+) sekoittimen ja paikallisoskillaattorin avulla
- (-) ilmaisimella
- (-) pientaajuusvahvistimella ja apuoskillaattorilla
- (-) vasta kuulokkeissa

Tenttikysymyksiä

Supervastaanottimen paikallisoskillaattorin taajuus on 450,100 MHz ja antennista tulevan signaalin taajuus on 432,100 MHz. Välitaajuus voi olla

- (-) 470 kHz
- (-) 9,100 MHz
- (-) 10,700 MHz
- (+) 18,000 MHz

Lähettimen päätevahvistin

- (-) vaimentaa antennisignaalin vastaanottimelle sopivaksi
- (+) vahvistaa pientehoisia suurtaajuussignaaleja
- (+) vahvistaa lähettimessä muodostetun suurtaajuussignaalin
- (-) värähtelee lähetystaajuudella