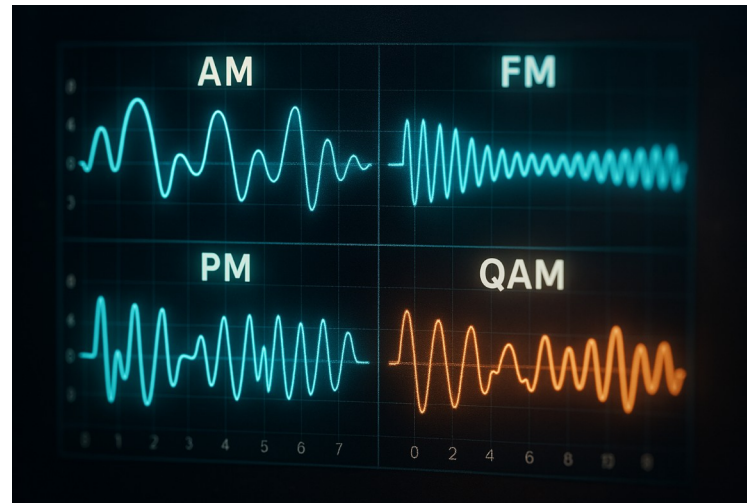


Radioamatöörikurssi 2025

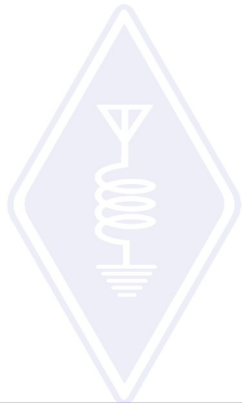
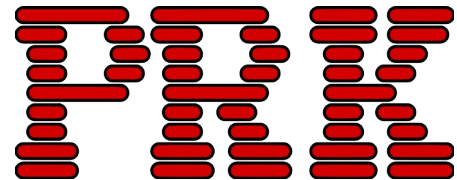
Luento 4: Modulaatiot

15.5.2025

Lassi, OH2CXV

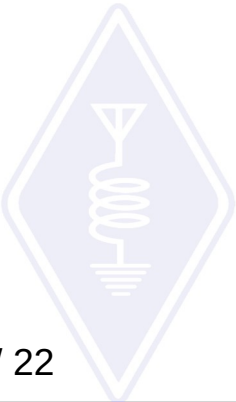
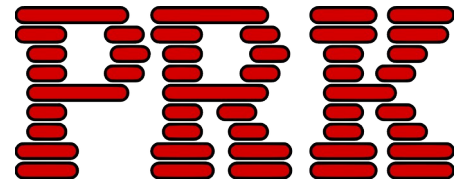


Copilot



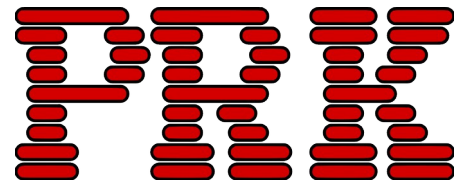
Luennon sisältö

- Osaamistavoitteet
- Modulaatio käsitteenä
 - Aika- ja taajuustasot
- Modulaatiotyypit
 - Lyhyt historia
 - Analogi
 - Digitaali
 - Modulaatioparametrit
- Yhteenveto (ja luento 6:sta)



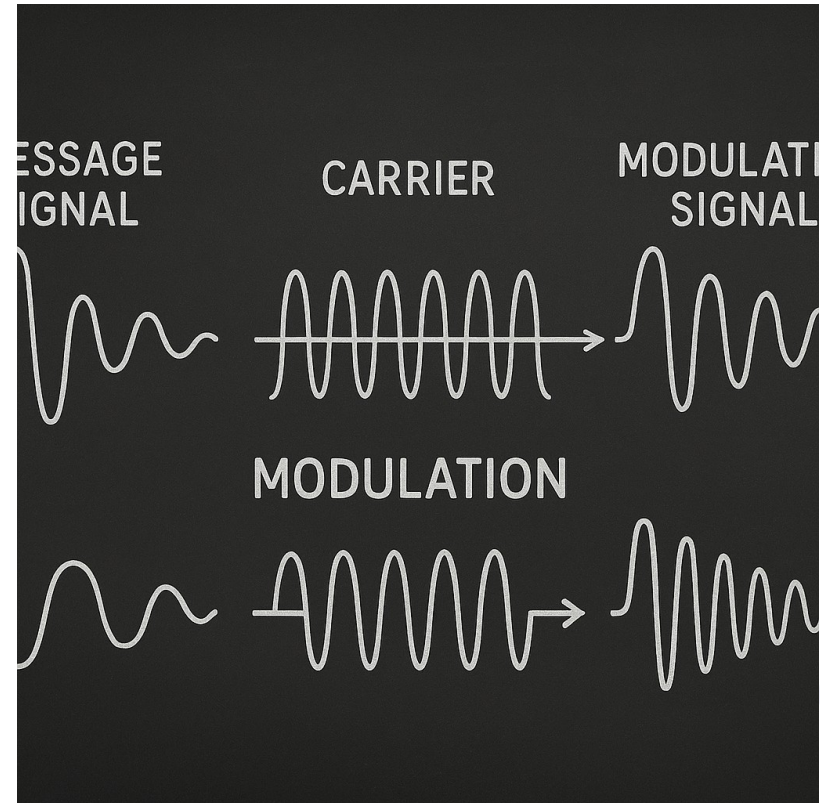
Osaamistavoitteet

- Luennon jälkeen oppilaat:
 - Hallitsevat:
 - Modulaatioiden merkityksen radioamatööritoiminnassa
 - Osaavat:
 - Tunnistaa eri modulaatiot
 - Eri modulaatioiden sovelluskohteet radioamatööritoiminnassa
 - Tuntevat:
 - Tärkeimmät modulaatioparametrit

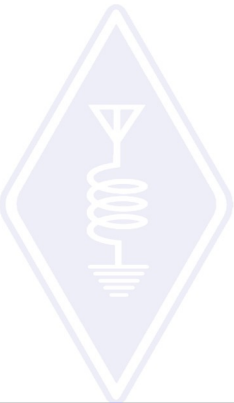


Modulaatio

PAK



Copilot



Modulaatio käsitteenä

- Modulaatio:

Lat. modus (tapa, menetelmä), modulus (rytmi, tahti)

- Prosessi, jossa jotain (radio)aallon ominaisuutta muutetaan informaation välittämiseksi
- Pelkkä jatkuva radioaalto ei sisällä informaatiota
- Moduloiva signaali muuttaa kantoaaltoa
- Kantoaalto yleensä paljon korkeampitaajuuksinen kuin moduloiva signaali

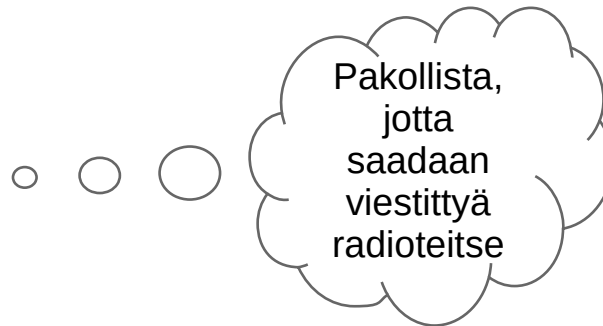
- Demodulaatio:

Suom. ilmaisu

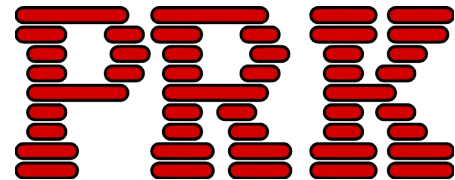
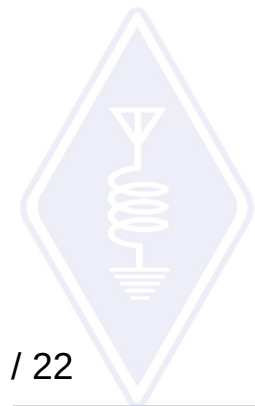
- Alkuperäisen signaalin palauttaminen moduloidusta signaalista

- Radiomodulaatioissa radiotaajuisista signaaleista muutetaan:

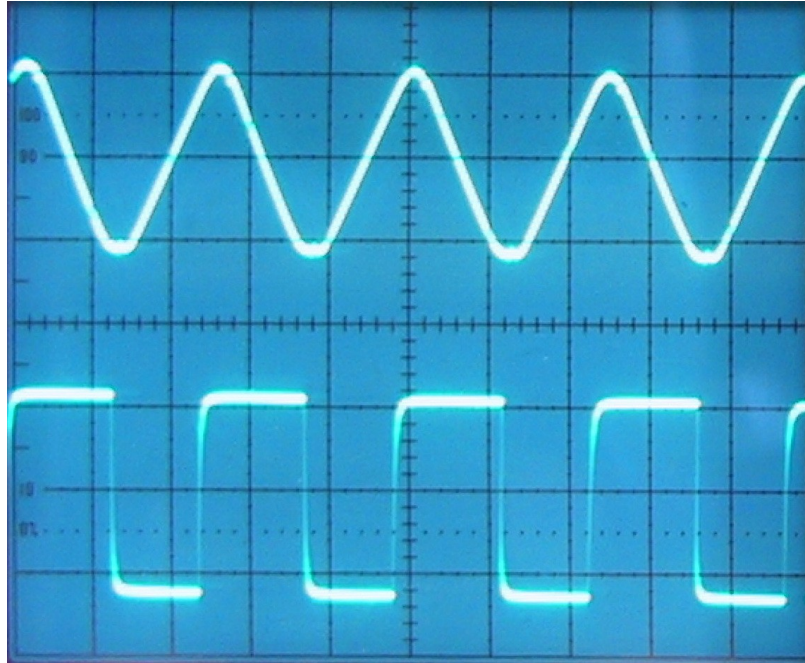
- Amplitudia
- Taajuutta
- Vaihetta
- Tai näiden yhdistelmiä kompleksimuotoisissa modulaatioissa



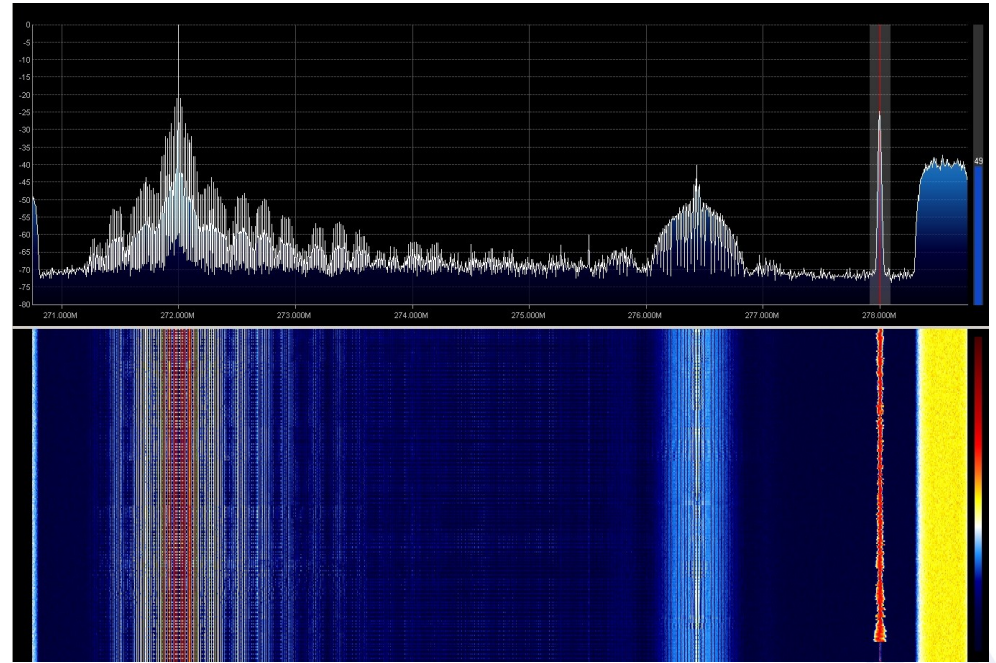
DEMO



Nopea kertaus aika- ja taajuustasosta



Fourier-
muunnos

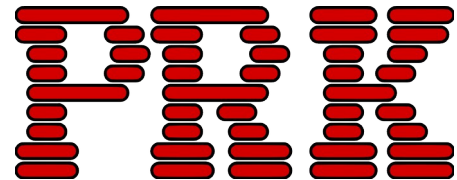
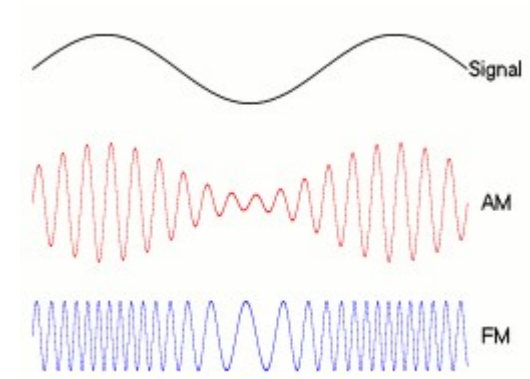


PRK



Modulaatiotyypit

- Analogiset modulaatiot (välitetään analogista informaatiota, esim. ääntä):
 - CW
 - AM
 - SSB (USB, LSB)
 - FM
 - PM
- Digitaaliset modulaatiot (välitetään digitaalista informaatiota, 1 tai 0):
 - ASK
 - FSK
 - PSK
 - QAM
 - 'Digipuhe'



Lyhyt historia

1800-luvun loppu:

CW:n käyttö
radiolennättimissä

1900-luvun alku:

Tyhjiöputken keksiminen
mahdollisti puheen
välittämisen AM:llä

1930-luku:

FM mahdollistaa paremman
signaalinlaadun ja pienemmät
häiriöt uusien
vastaanotinteknologioiden
ansiosta

1940-50 -luvut:

SSB parantaa kaistankäyttöä
ja tehokkutta pitkän
kantamatkan
kommunikaatiossa

1960-70 -luvut:

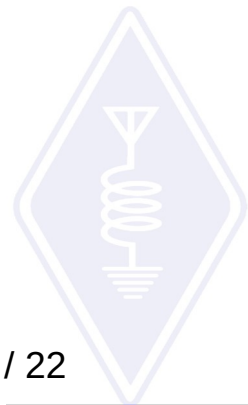
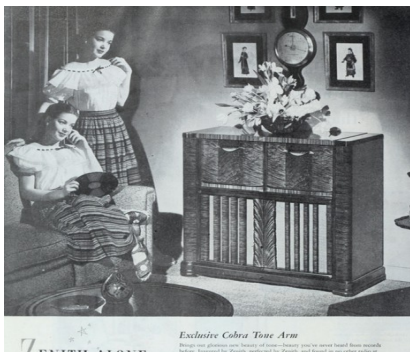
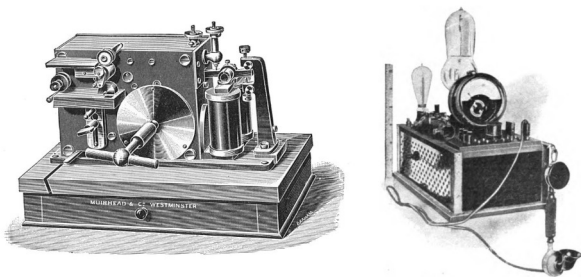
Transistori ja DSP mahdollistaa
PM:n ja digimodulaatiot,
johtaen tietokoneverkkojen
kehitykseen

1980-luku:

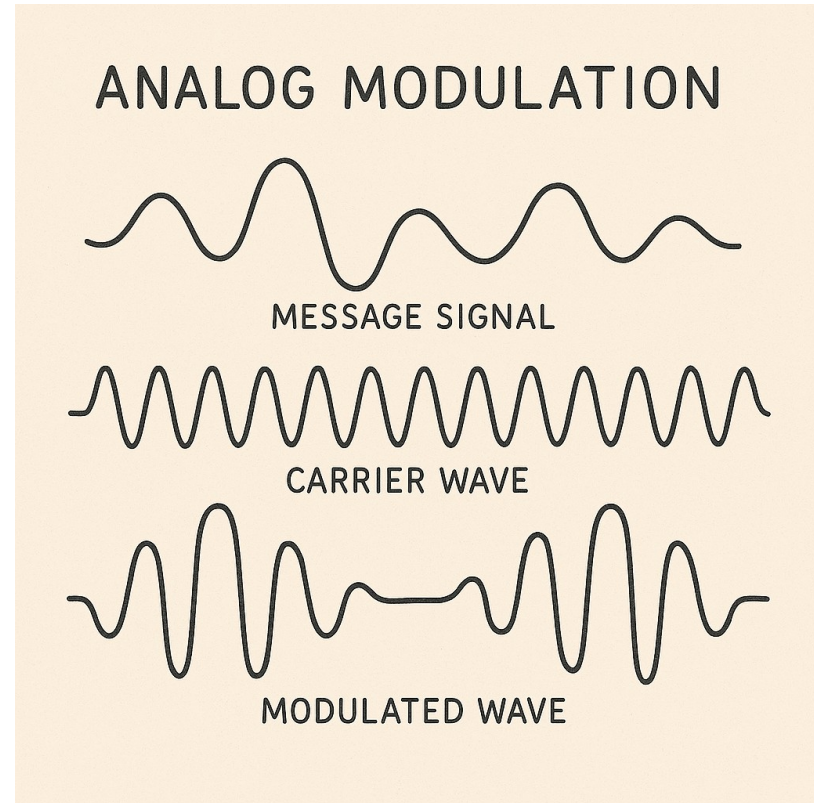
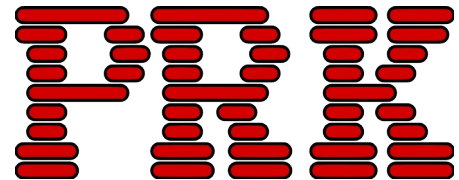
QAM:n ja PSK:n käyttö
mahdollistuu
mikroprosessorien avulla,
mahdollistaen tehokkaan
digitaalisen datansiirron

1990-luku ja eteenpäin:

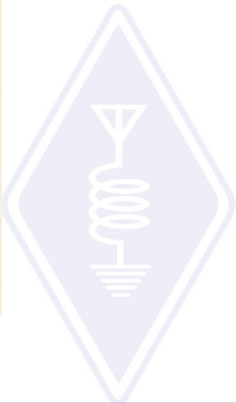
Modernit teknologiat
mahdollistavat luotettavan ja
laajakaistaisen
monikäyttöjäisen datansiirron
(WiFi, 4G, ...)



Analogiset modulaatiot

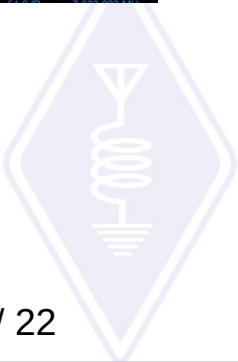
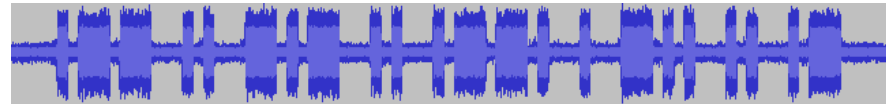
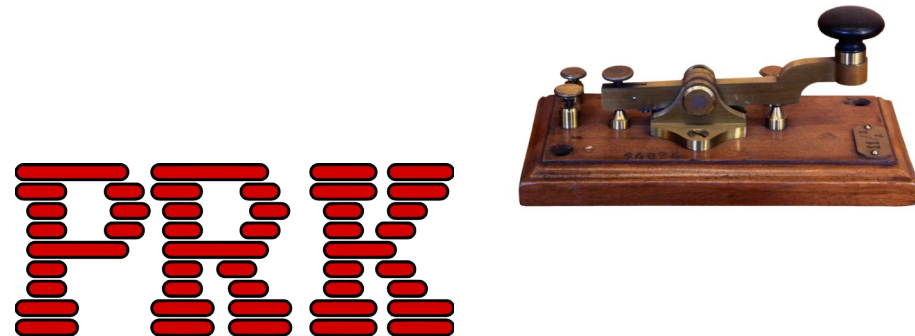
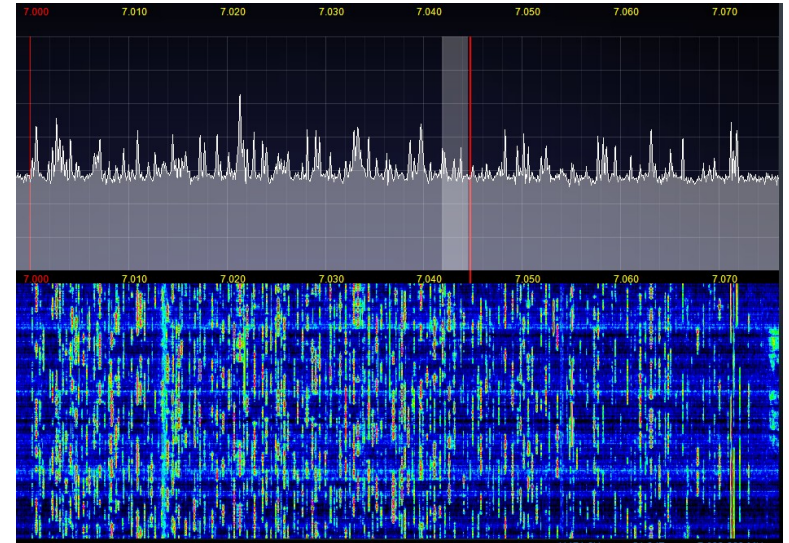


Copilot



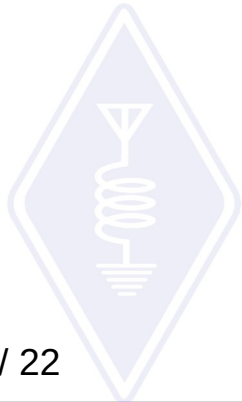
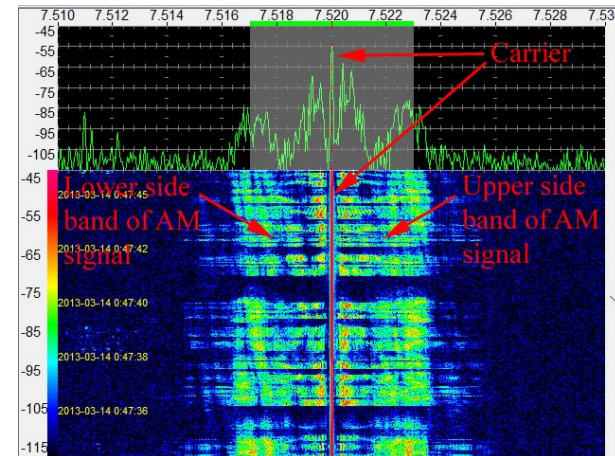
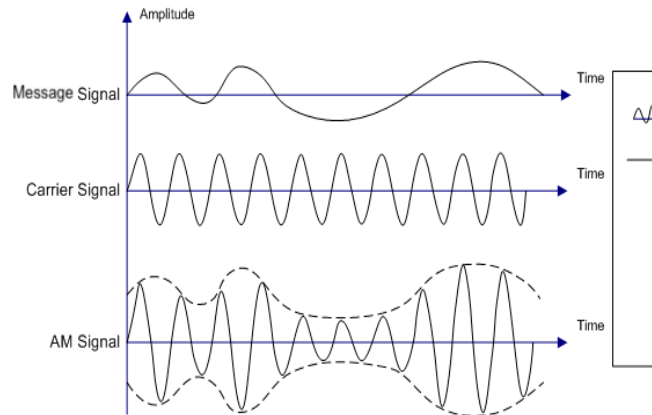
CW

- Continuous wave – *jatkuva aalto, suomeksi sähkötys*
- Yksinkertaisin modulaatio
 - Kytetään kantaaltoa päälle ja pois
- Erittäin kapeakaistainen
- Yleisesti lähetetään Morse-koodia



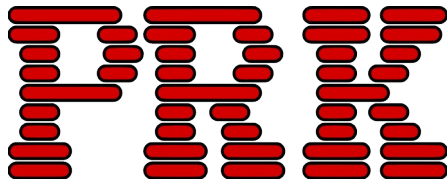
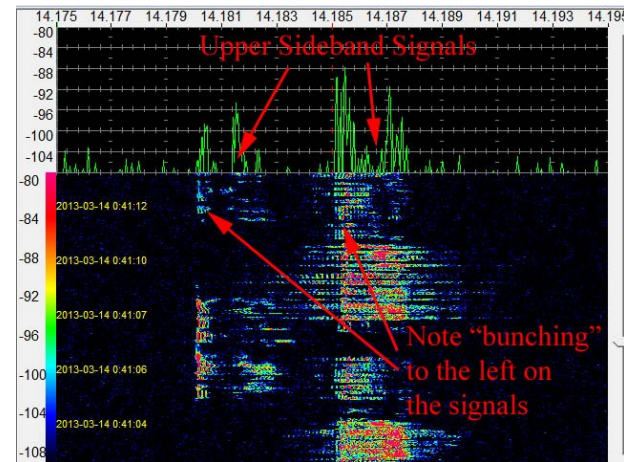
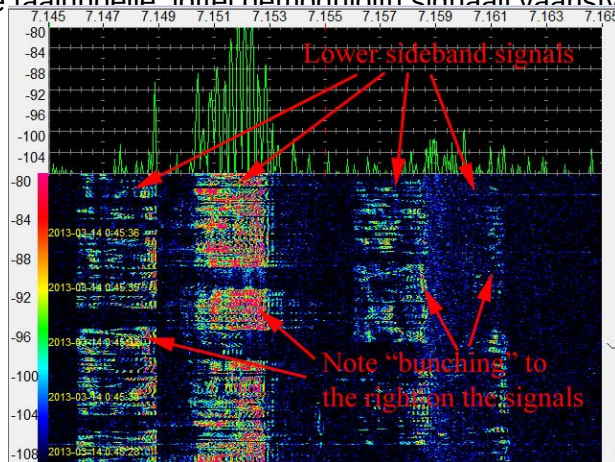
AM

- Amplitude modulation – *amplitudimodulaatio*
- Informaatio amplitudin vaihtelussa (verhokäyrässä)
- Tavanomainen kaistanleveys puheella 6 kHz
- SSB käytännössä kokonaan korvannut radioamatöörikäytössä
- (Pitkänmatkan) yleisradiolähetykset ja ilmailu käyttää yhä



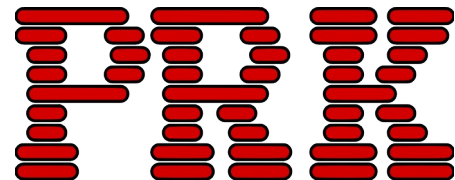
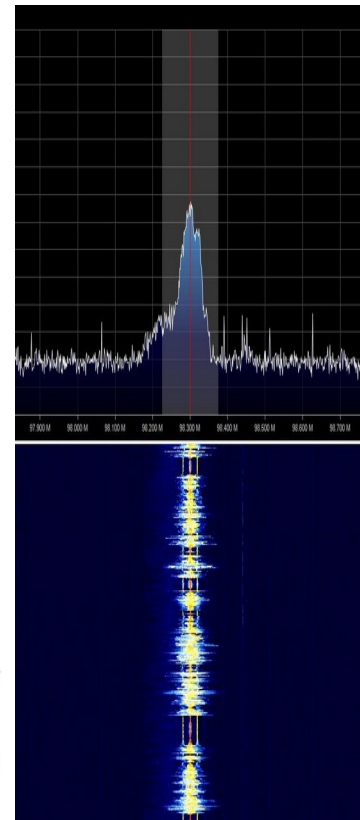
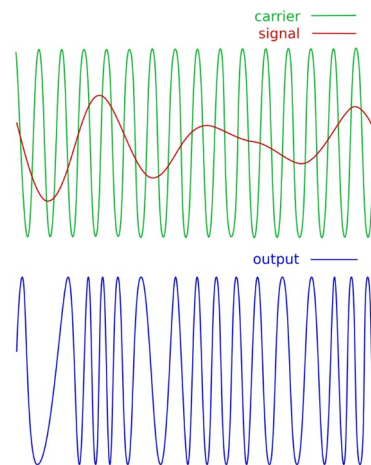
SSB

- Single-sideband – *yksisivukaistalähete*
 - USB: upper sideband – *ylempi sivukaista*
 - LSB: lower sideband – *alempi sivukaista*
- Periaate kuten AM:ssä, mutta kantoaalto ja toinen sivunauha suodatetaan pois
- Kapein analoginen puhelälähete, tavallisimmin 2,4 kHz
- Tehokkaampi kuin AM:
 - Koko alkuperäinen signaali saadaan demoduloitua pelkästään yhdestä sivukaistasta → Säästää kaistanleveyttä
 - Lähettimen tehoa ei tarvitse tuhlaa kantoaallon ja toisen sivunauhan lähettämiseen → Kuuluu pidemmälle samalla lähetysteholla AM:ään verrattuna
- Vastaanottimen oltava tarkasti viritetty samalle taajuudelle, jotta demoduloitu signaali vääristyy
- Käytössä pääasiassa HF:llä
 - Amatööri liikenne puheella
 - LSB alle 10 MHz
 - USB yli 10 MHz
 - Ammattiliikenteessä vain USB



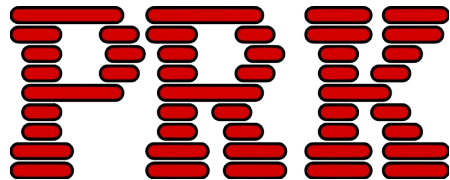
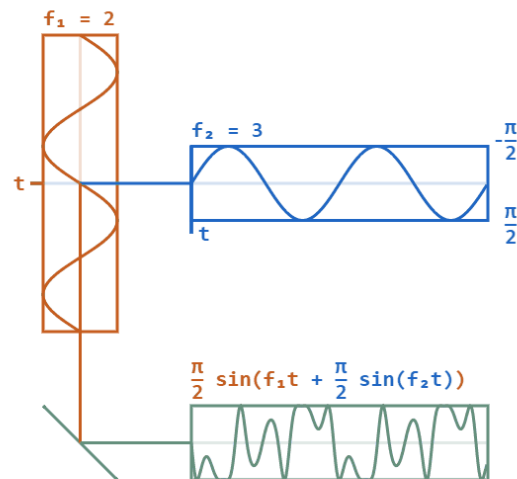
FM

- Frequency modulation – *taajuusmodulaatio*
- Amplitudi vakio, informaatio taajuuden vaihtelussa
- Kommunikaatiokäytössä NBFM (narrowband, kaistanleveys 15 kHz), yleisradiokäytössä WBFM (wideband, stereo 150 kHz)
- Parempi signaalinlaatu ja pienemmät häiriöt verrattuna AM:ään
 - Amplitudin vaihtelua aiheuttavat häiriöt eivät vaikuta
- Vakioamplitudi ei vaadi lineaarista vahvistinta
 - Helppo ja halpa toteuttaa
- Yleisin puhelähetelaji VHF:llä ja UHF:llä

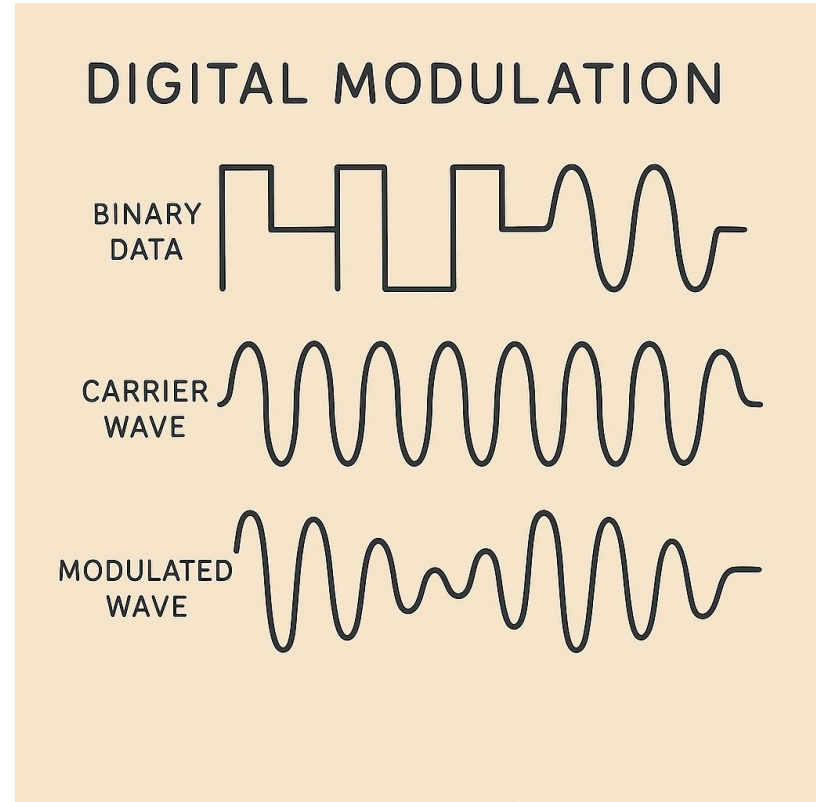
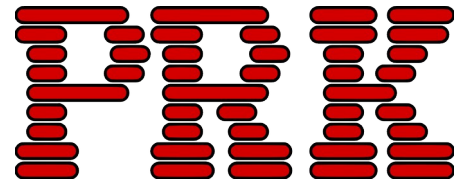


PM

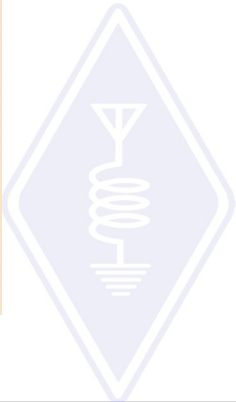
- Phase modulation – *vaihemodulaatio*
- Amplitudi vakio, informaatio signaalin vaiheen vaihtelussa
- Vähemmän käytetty radioamatööritoiminnassa
 - Joissain analogi-TV-lähetteisä kuvan väri-informaatio koodataan PM:nä
 - Jotkut tutkajärjestelmät tunnistavat vaihesiirtymiä heijastuneessa signaalissa PM:llä
- Samankaltaiset hyödyt FM:n kanssa
- Matemaattisesti yhteneväinen FM:n kanssa
 - PM voidaan muuttaa integroimalla FM:ksi
- Digitaalista versiota PSK:ta käytetään laajasti



Digitaaliset modulaatiot

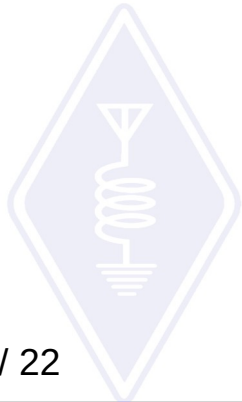
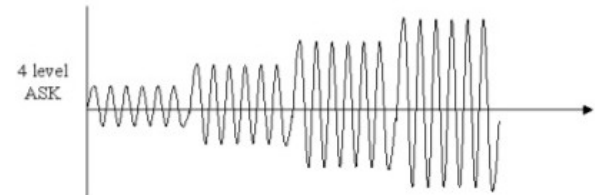
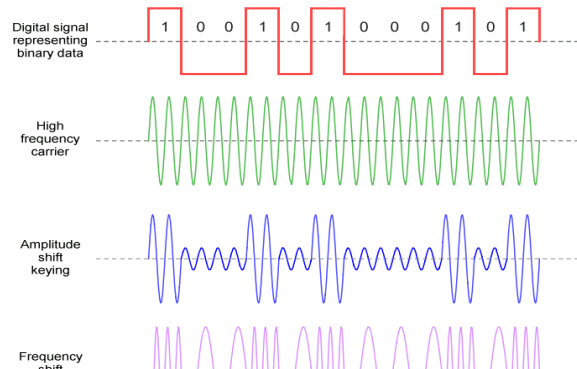


Copilot



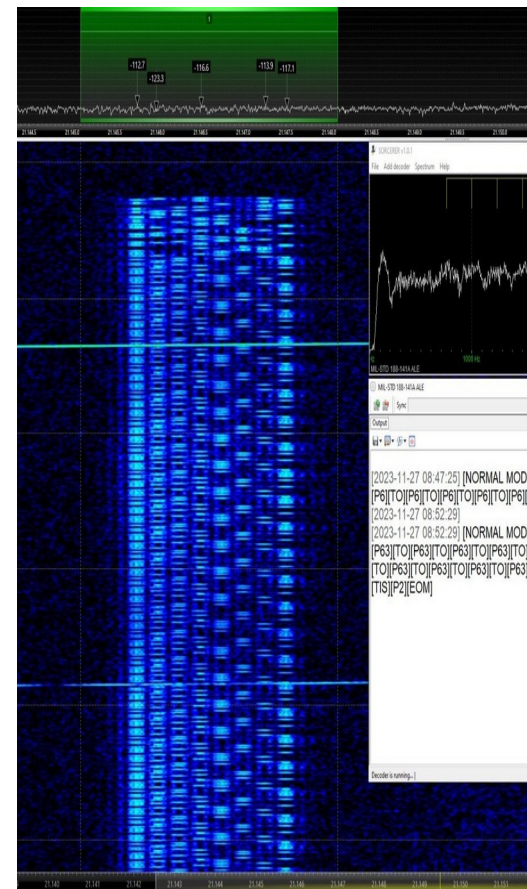
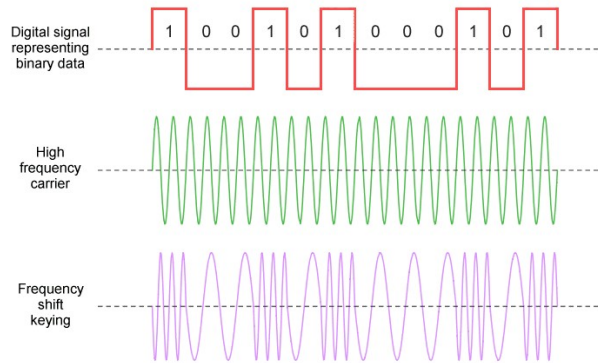
ASK

- Amplitude shift keying – *amplitudisiirtokoodaus*
- Yksittäisiä bittejä esitetään kanta-aallon tietyillä amplitudeilla
- Tasoja voi olla kaksi tai useampia
 - Useamman tapauksessa tunnetaan MASK:na (multiple amplitude shift keying), esim. 4-ASK
 - Tasot kuvaavaa bittiyhdistelmiä eli symboleja
- Harvemmin käytössä radioamatööreillä
 - Muuten käytössä esim. infrapunakaukosäätimissä ja valokuitukommunikaatiossa
- Vaatii lineaarisen vahvistimen, herkkä häiriöille. Vertaa AM:ään.



FSK

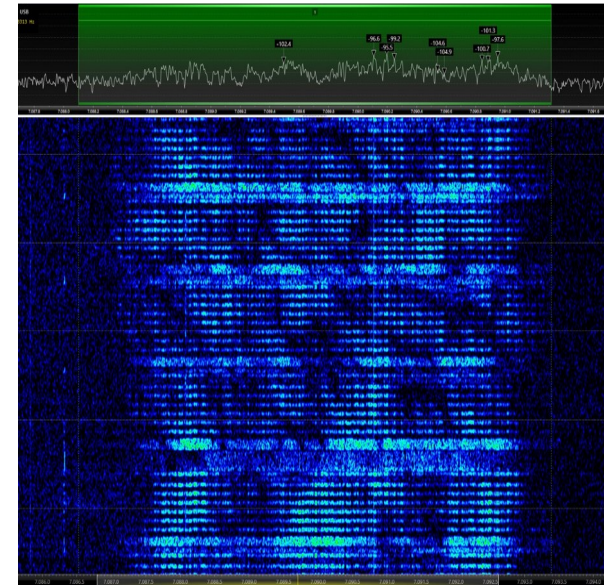
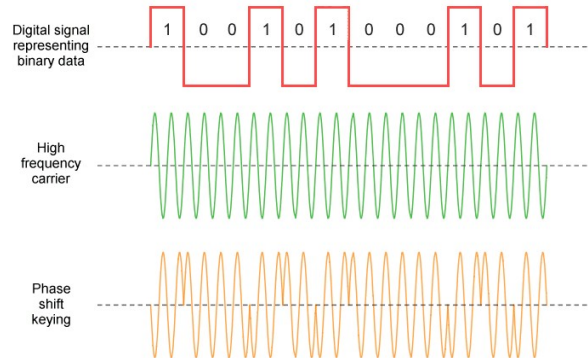
- Frequency shift keying – *taajuussiirtokoodaus*
- Yksittäisiä bittejä esitetään kantoaallon tietyillä taajuuksilla
- Taajuuksia voi olla kaksi tai useampia
 - Useamman tapauksessa tunnetaan MFSK:na (multiple frequency shift keying), esim. 4-FSK
 - Tasot kuvaavaa bittiyhdistelmiä eli symboleja
- AFSK:ssa (audio frequency-shift keying) moduloiva taajuus on audiotaajuuksilla (20 – 20 kHz)
 - Voidaan lähettää puheelle suunnitellulla radiolla
- Laajasti (amatööri)sovelluksia:
 - VHF/UHF-modeemit (2G)
 - Radiosondit
 - RTTY (radioteletype),



8-FSK VIDEO
AFSK DEMO

PSK

- Phase shift keying – *vaihesiirtokoodaus*
- Yksittäisiä bittejä esitetään kanta-aallon tietyillä vaiheilla
- Vaihesiirtoja voi olla kaksi tai useampia
 - Useamman tapauksessa tunnetaan MPSK:na (multiple phase shift keying), esim. 4-PSK
 - Tasot kuvaavaa bittiyhdistelmiä eli symboleja
- FSK:ta parempi spektrihyötysuhde
 - Samalla kaistanleveydellä enemmän dataa
- Laajasti (amatööri)sovelluksia:
 - Digimodet (PSK31, JT65, FT8): Toimivat heikollakin signaalilla, mahdollistavat pitkiäkin kontakteja

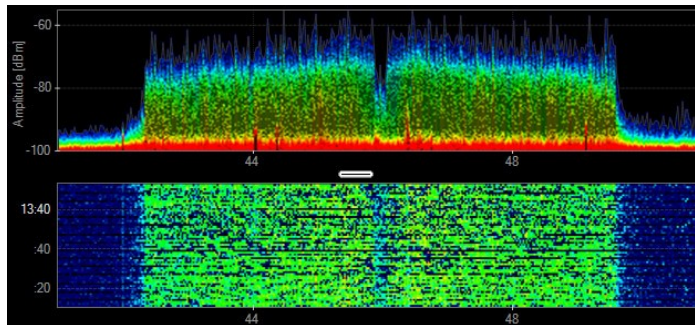
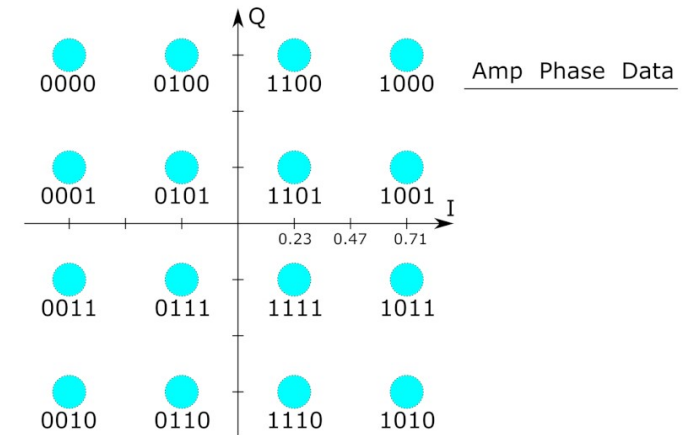


8-PSK VIDEO
PSK31 DEMO



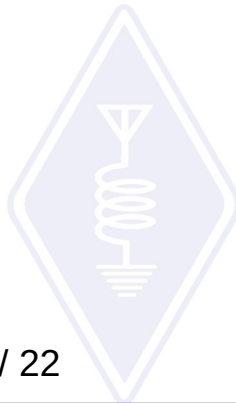
QAM

- Quadrature amplitude modulation – kvadratuuriamplitudimodulaatio
- Kahden samantaajuuksisen, mutta 90 asteen vaihe-eron kantoaallon amplitudia moduloidaan, ja ne summataan yhteen
 - Eli kompleksimuotoinen modulaatio
 - Synnyttää signaalin jossa sekä amplitudi että taajuus muuttuu
- Symbolit kuvataan tyypillisesti konstellaatiossa *Suom. tähtikuvio*, eli kompleksimuotoisessa koordinaatistossa
- Pisteiden määrä konstellaatiossa kertoo modulaatiotyyppin, esim. 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, ...
- QAM laajasti hyödynnetty modernissa digitaalisessa kommunikaatiossa
 - Erinomainen spektrihyötysuhde
 - WiFi (WiFi 7 4096-QAM), 4G (256-QAM), DVB-T, jne ...
- Kalliit ja monimutkaiset toteutukset
- Vaatii hyvän signaali-kohinasuhteen
 - Järjestelmät yleensä osaa pudottaa modulaatiotyyppiä yksikertaisempaan tarvittaessa



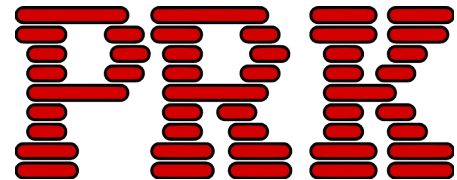
'Digipuhe'

- Eri radiovalmistajien omia tapoja muuttaa puhe digitaalseksi dataksi ja lähettää se radioteitse
- Mahdollistaa esim. tukiasemat, suuret verkot, ryhmäpuhelut, datan siirto, toiminnan myös kaapeliverkossa, toiminnan eri bandeilla, ...
- Varsinainen modulaatio yleisimmin jonkin sortin FSK tai PSK
- Puhe muutetaan dataksi puhekoodekillä eli vokooderilla
- Amatöörikäytössä erityisesti D-Star (Icom) ja DMR
- Ammattikäytössä ΔP25. MotoTRBO, TETRA



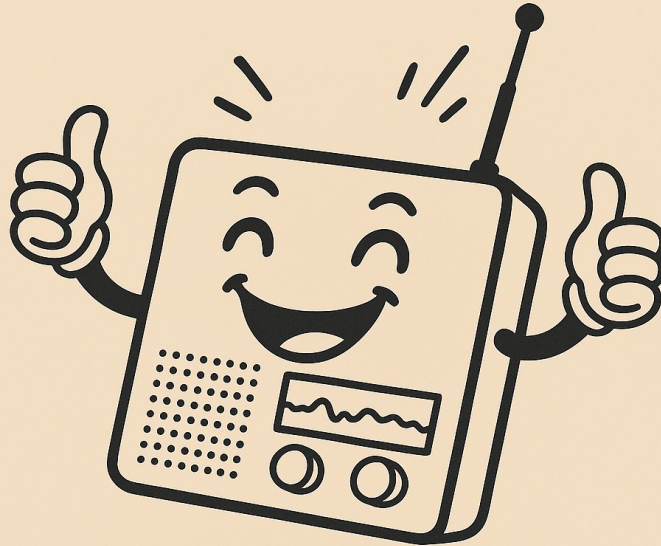
Yhteenveto ja luento 6:sta

- Mitä on modulaatio?
 - Informaation koodaaminen radioaaltoon tiedon siirtämistä varten
- Eri modulaatiotyypit
 - CW, AM, SSB, FM, ASK, FSK, PSK, QAM
- Modulaatioiden sovelluksia
 - SSB HF:llä, PSK digimodeissa, QAM wifissä, ...
- Kuinka modulaatiot toteutetaan radiossa?
 - Se selviää luennolla 6 :)



**KIITOS
de OH2CXV**

THANK YOU!



PAK

