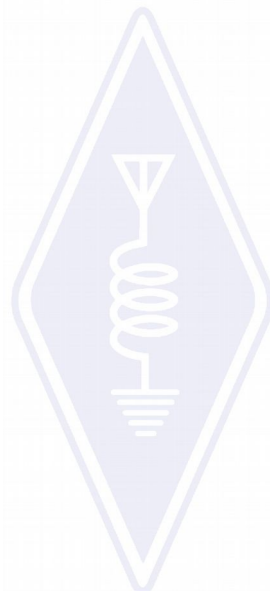
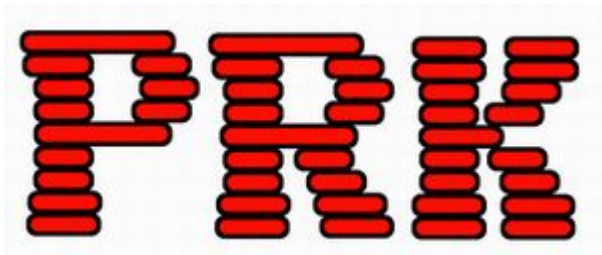


# Radioamatöörikurssi 2017

Polyteknikkojen Radiokerho  
Luento 4: Modulaatiot

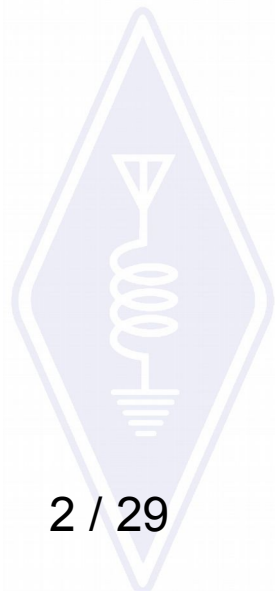
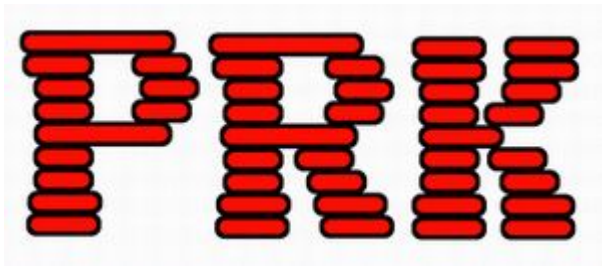
9.11.2017

Otto Mangs, OH2EMQ, [oh2emq@sral.fi](mailto:oh2emq@sral.fi)

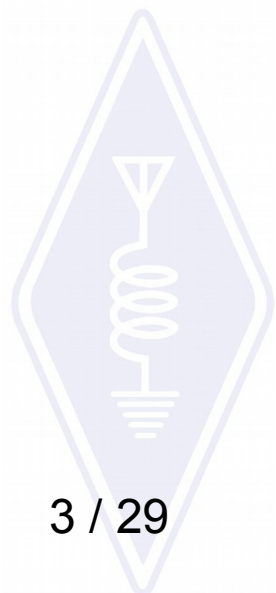
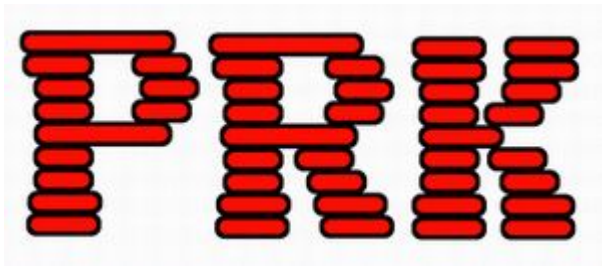


# Illan aiheet

1. Signaaleista yleisesti
2. Analogiset modulaatiot
3. Digitaalinen signaalinkäsittely
4. Digitaaliset modulaatiot
5. Demot

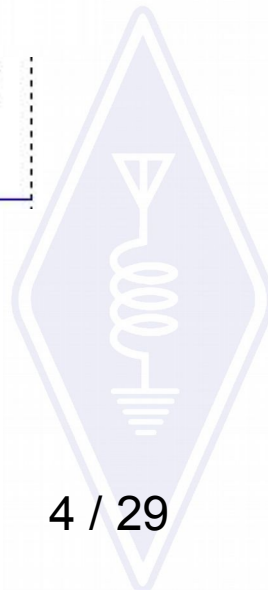
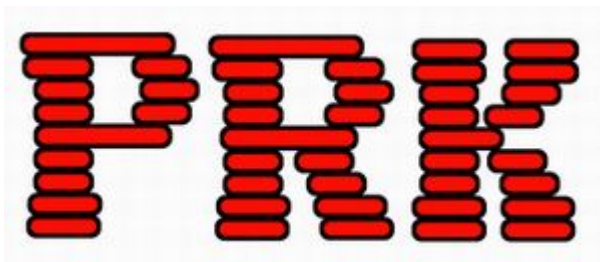
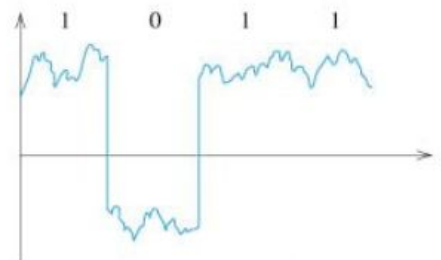
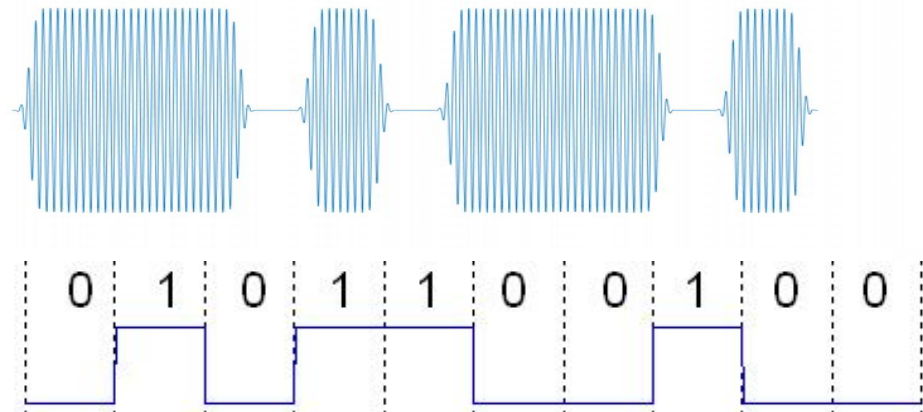
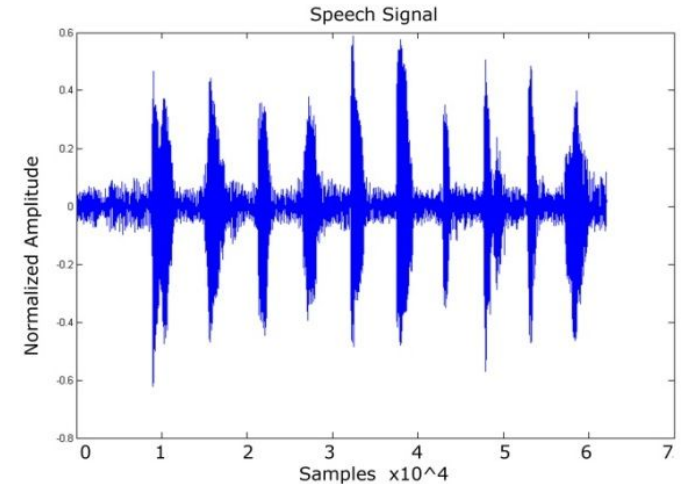


# 1. Signaaleista yleisesti



# (Sähköinen) signaali

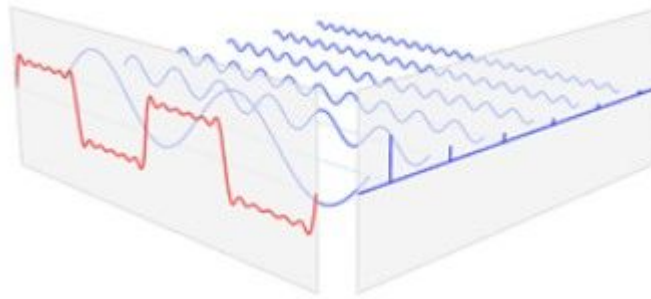
- Kuvaa jotain suuretta (useimmiten) ajan funktiona
  - Jännite, sähkökenttä, äänenpaine...
- Mitä tahansa informaatiota
- Puhe
- Sähkötys
- Data (bittejä)
- Häiriö
- Kohina, Signaali-kohinasuhde



# Spektri

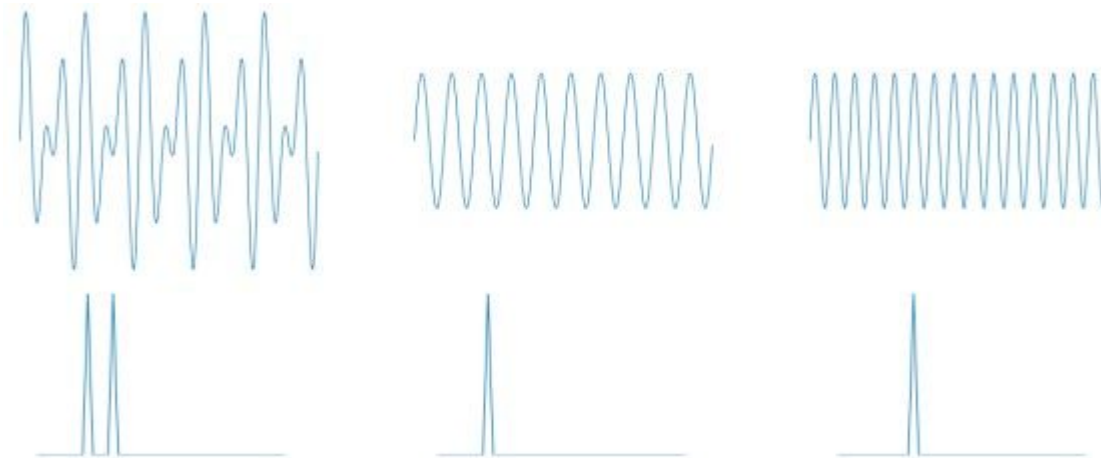


Aikataso

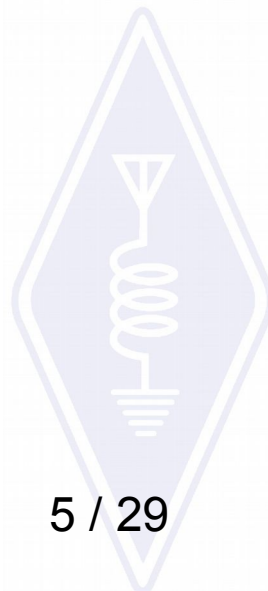
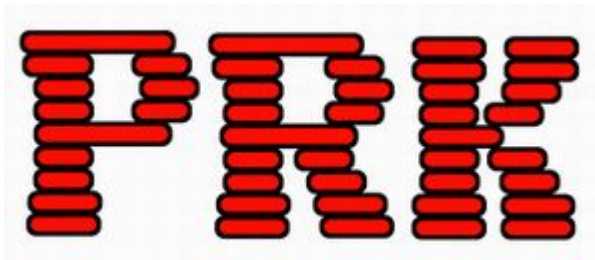


taajuustaso (=spektri)

- Mikä tahansa signaali voidaan esittää eritaajuisten siniaaltojen summana
- Spektri kertoo, kuinka paljon mitäkin taajuutta signaalissa on

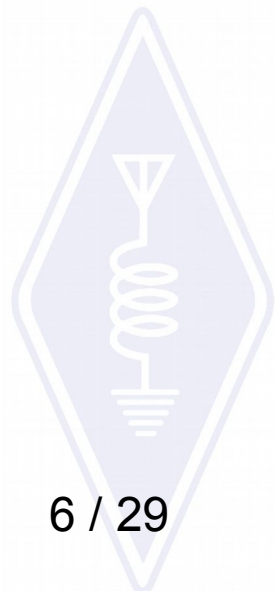
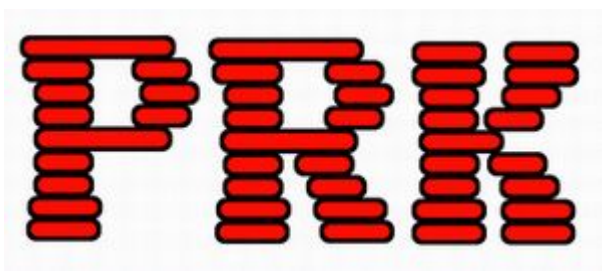


Signaalien summa aika- ja taajuustasossa



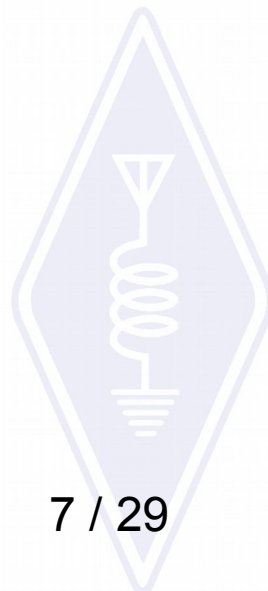
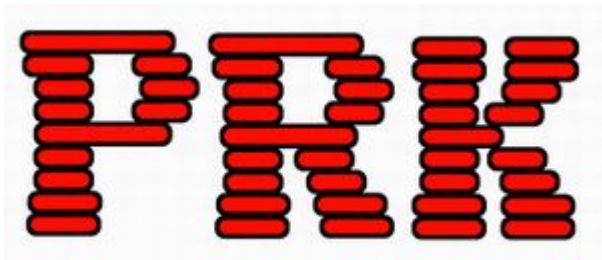
# Modulaatio

- (Radiotaajuista) signaalia eli kantoaaltoa ohjataan informaatio-signaalilla
  - Tuloksena radiotaajuinen informaatio-signaali
- Tarvitaan, koska perustaajuista signaalia ei voi (käytännössä) lähettää sellaisenaan radiolla
- Lähetin moduloi ja vastaanotin demoduloi

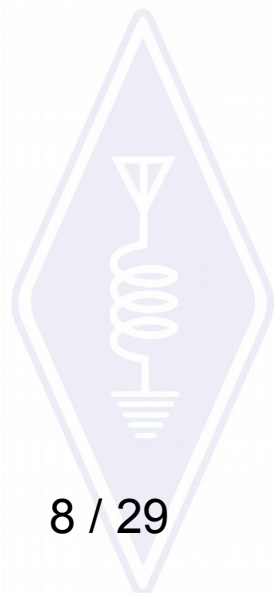
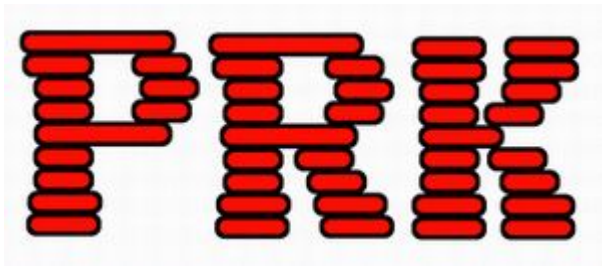


# Kanava radiotiellä

- Hyvin erilainen eri taajuualueilla
  - Vaikuttaa mm. käytettävään modulaatioon
- Näköyhteys (LOS)
  - Puhtain signaali
- Häipyminen
  - Etäisyys, esteet, sironta. Doppler-siirtymä: levittää signaalia taajuustasossa
- Monitie-eteneminen
  - Signaalin heijastumat summautuvat häiriöksi. Levittää signaalia aikatasossa
- Häiriöt, kohina



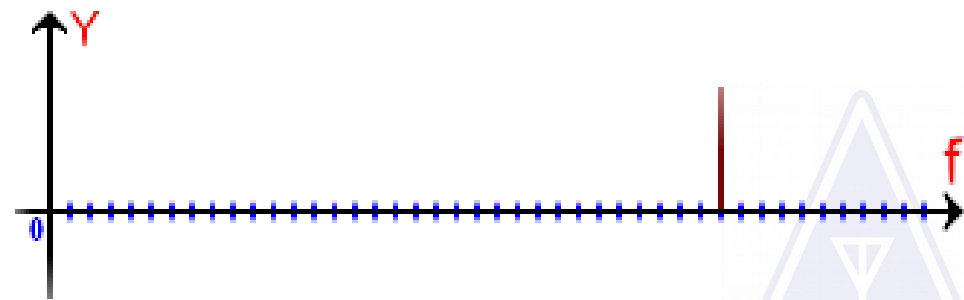
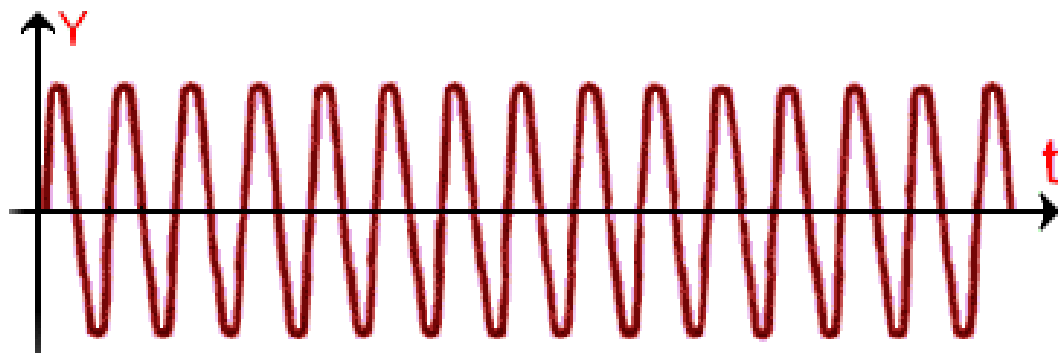
# 2. Analogiset modulaatiot



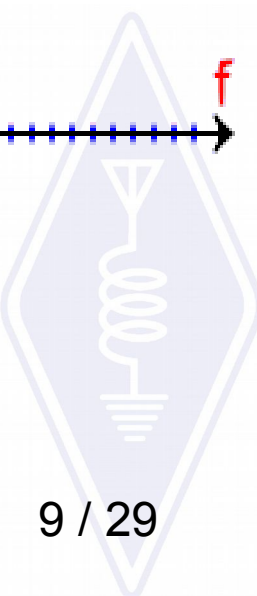


# Jatkuva siniaalto

- Vain yksi taajuus: spektrissä yksi piikki
- Ei informaatiota
- Täytyy moduloida jotenkin

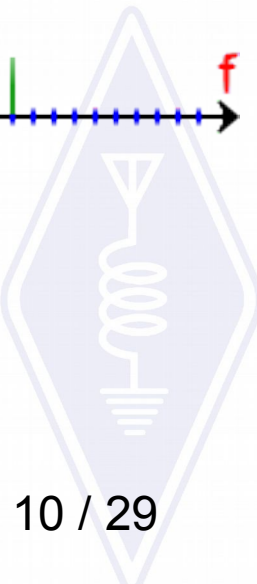
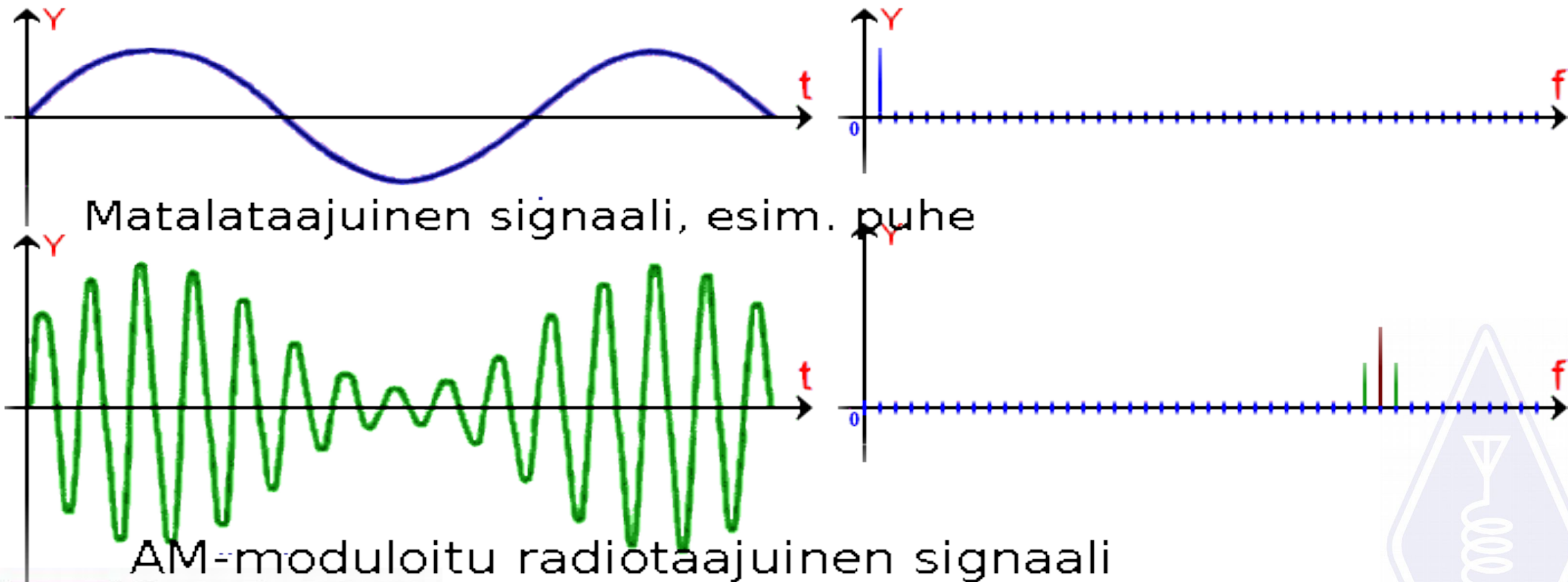


**PRK**



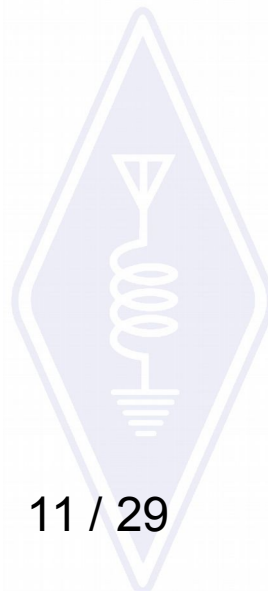
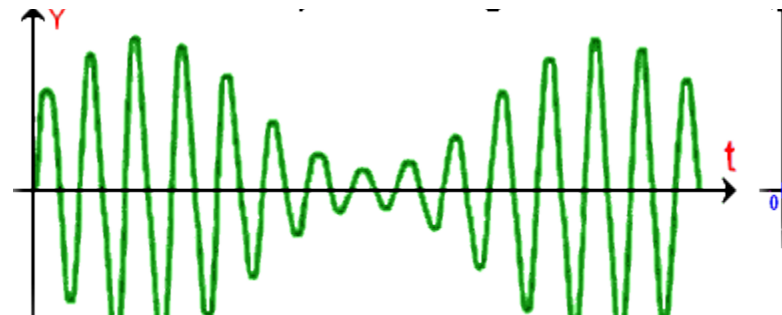
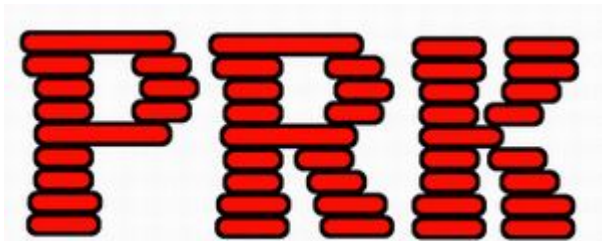
# Amplitudimodulaatio

- AM, amplitude modulation
- Amplitudia muutetaan puheen mukana
- Kantaalto keskellä lähetteen spektriä
- Sivunauhat spektrissä: Kaistanleveys on  $2 \cdot$  puheen kaistanleveys



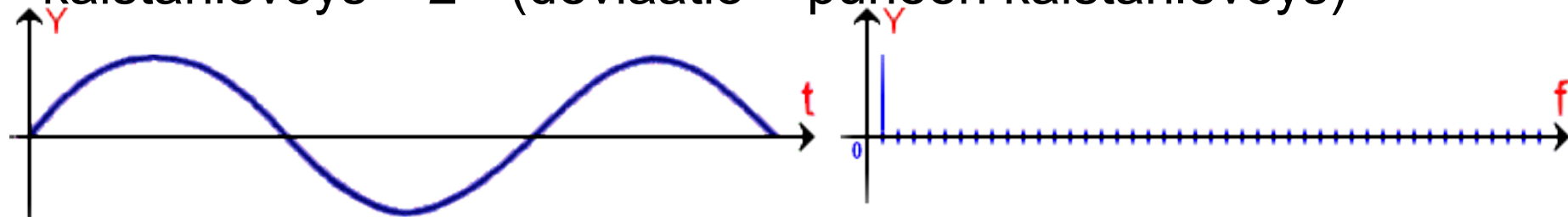
# Lisää amplitudimodulaatiosta

- 100% modulaatiolla modulaatiohuipputeho  
 $PEP = 4 * \text{kanta-aallon teho}$
- Suurin osa energiasta kantaaallossa  $\rightarrow$  ei niin energiatehokas kuin muut modulaatiot
- Nykyään ei kovin yleinen radioamatöörikäytössä
- Yksinkertainen lähetin ja vastaanotin

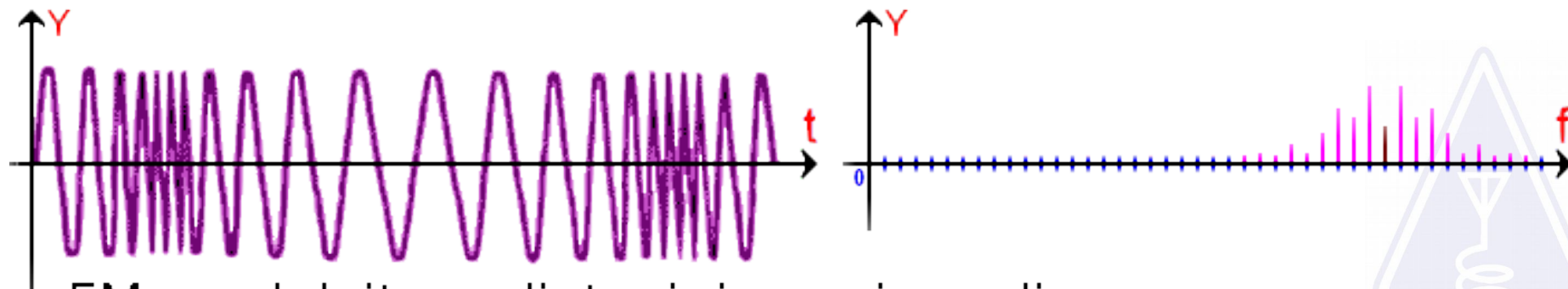


# Taajuusmodulaatio

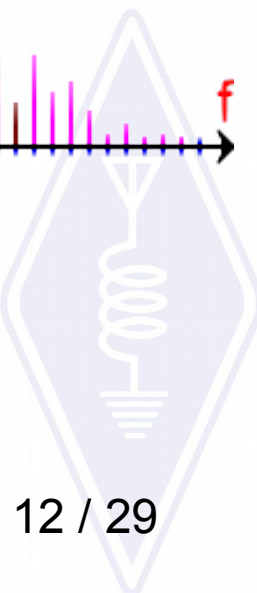
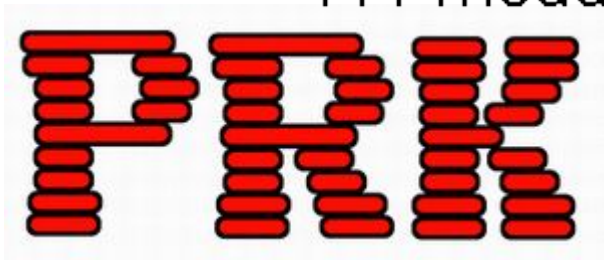
- FM, frequency modulation
- Taajuutta muutetaan puheen mukana
  - Deviaatio = kuinka paljon taajuutta muutetaan
  - Monimutkaisempi spektri, kaistanleveys  $\approx 2 * (\text{deviaatio} + \text{puheen kaistanleveys})$



Matalataajuinen signaali, esim. puhe

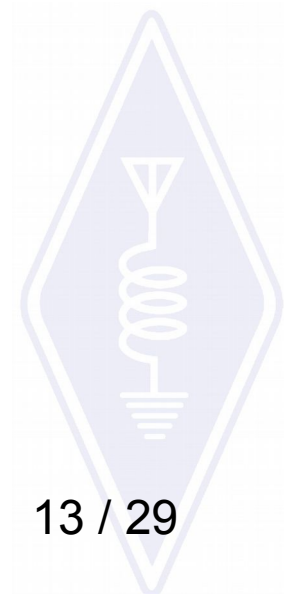
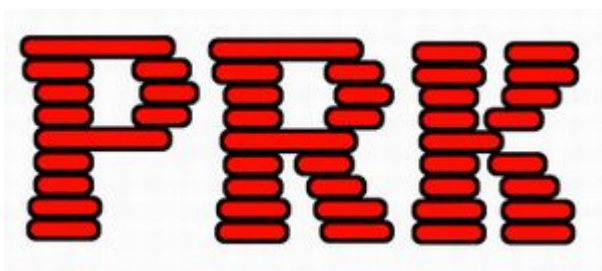


FM-moduloitu radiotaajuinen signaali



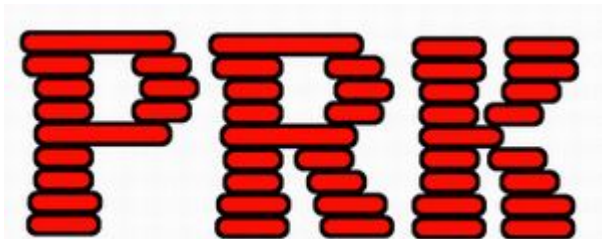
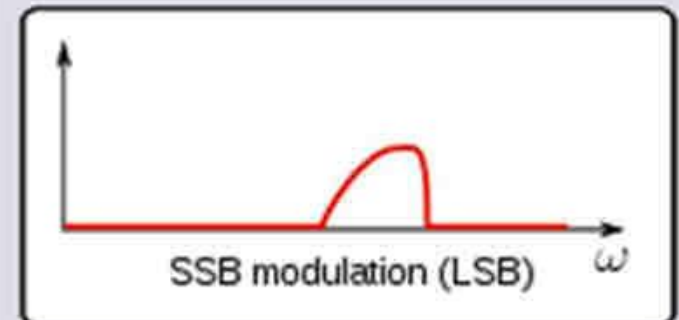
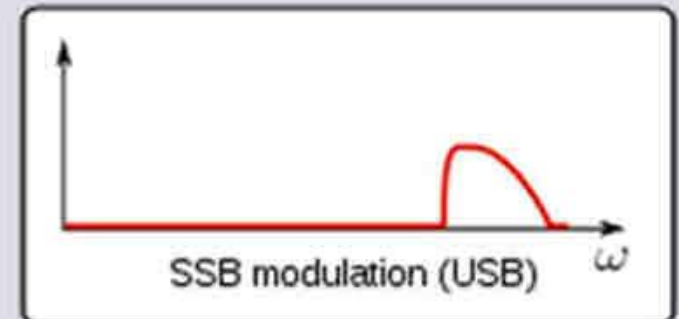
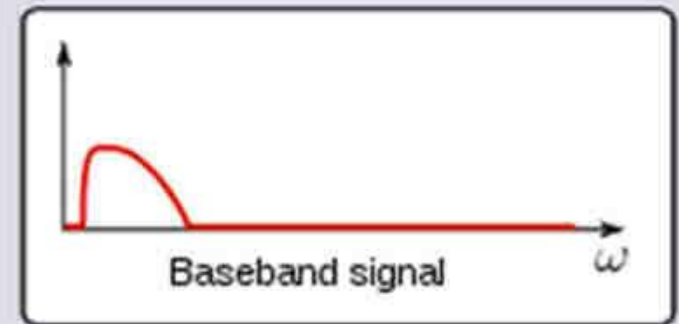
# Lisää taajuusmodulaatiosta

- Yleinen VHF- ja UHF-taajuuksilla (varsinkin 2m, 70cm), useimmat käsiradiot
  - Kaistanleveys on liian suuri HF:lle
- Amplitudi ja teho on vakio → helppo vahvistaa lähettimessä hyvällä hyötysuhteella
- Hyvä äänenlaatu voimakkaalla signaalilla



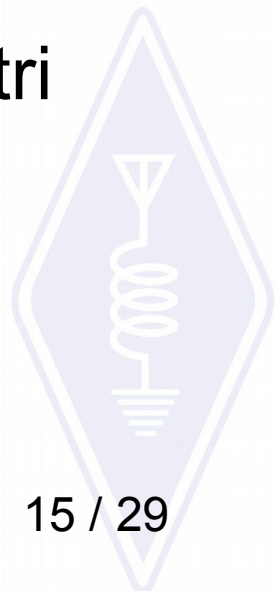
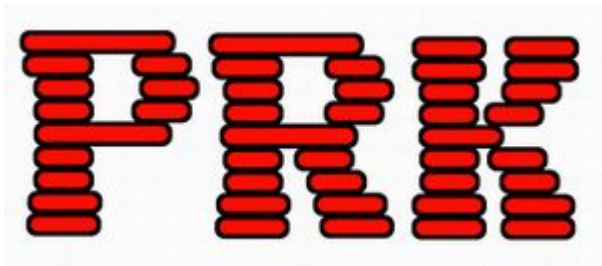
# SSB

- Single Side Band
- Spektrissä vain toinen AM:n sivunauhoista
  - LSB (lower sideband): alempi
  - USB (upper sideband): ylempi
- Riittää pienempi keskimääräinen teho kuin AM:llä, koska AM:llä suurin osa tehosta oli kantoaallon taajuudella
- Siirtää puheen spektrin suoraan palaksi RF-spektriä → kaistanleveys sama kuin puheen kaistanleveys (~ 2.4 kHz)



# Lisää SSB:stä

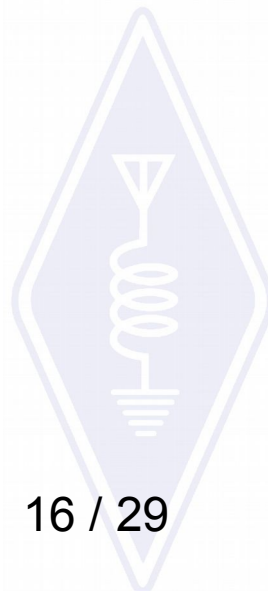
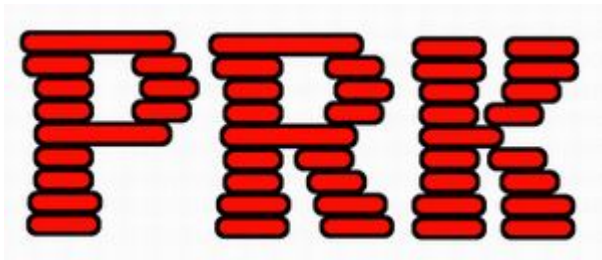
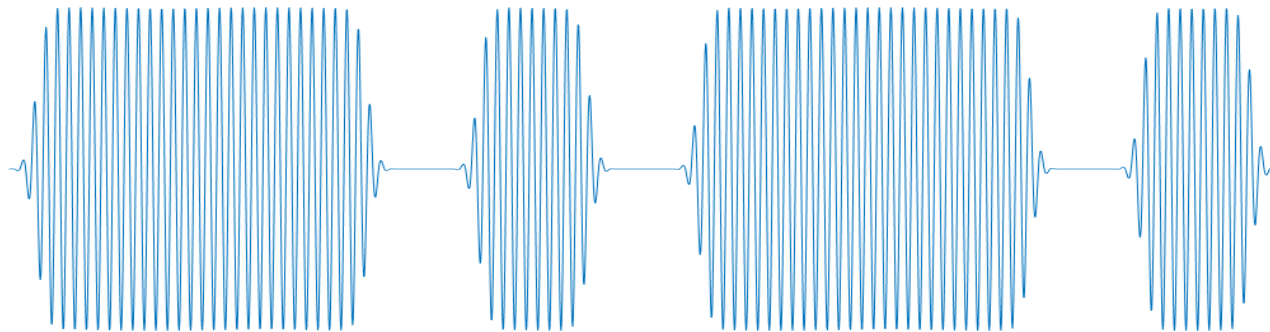
- Amatööri liikenteessä LSB alle 10 MHz ja USB yli 10 MHz taajuuksilla
- Radion taajuusvirhe tulee suoraan taajuusvirheeksi ääneen
  - Pitää virittää  $\approx 100$  Hz sisällä kohdalleen, että puheesta saa selvää
    - Väärällä sivunauhalla kuunneltuna äänen spektri ”ylösalaisin”





# CW

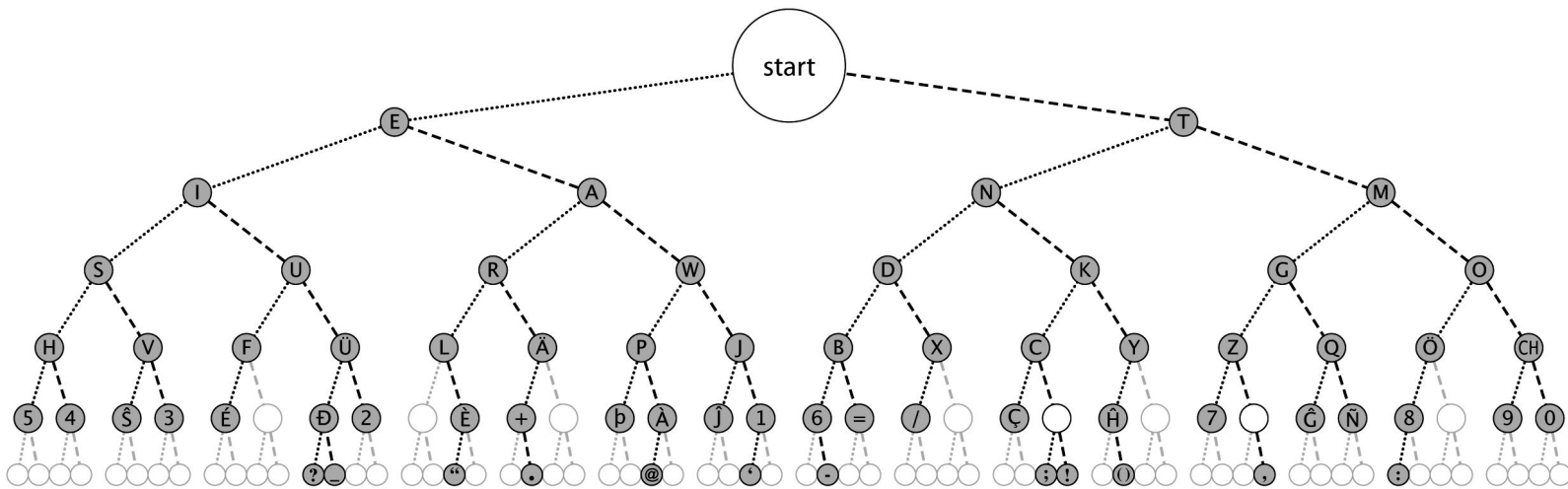
- Sähkötys, ”morsetus”
- Pätkitään päälle ja pois Morsen aakkosilla
- Kutsutaan yleensä CW:ksi (continuous wave, ”jatkuva aalto”), vaikkei se jatkuva olekaan
- Voidaan ajatella myös AM:nä tai OOK:na (on-off keying) / ASK (amplitude shift keying)



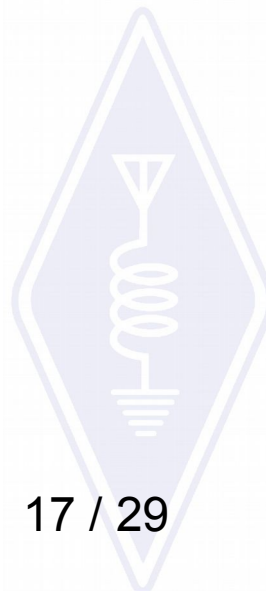
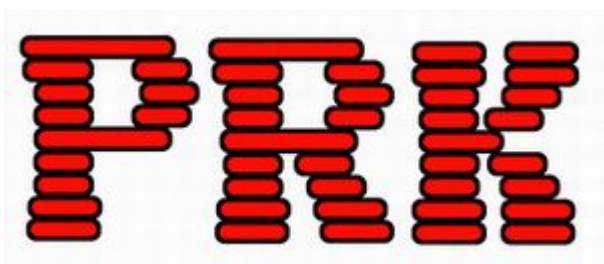


# Lisää CW:stä

- Kapea kaistanleveys,  $\approx 5\text{-}50\text{ Hz}$
- Kuuluu heikollakin signaalilla
- Yksinkertainen lähetin



A	● -	J	● - - -	S	● ● ●
B	- ● ● ●	K	- ● -	T	-
C	- ● - ●	L	● - ● ●	U	● ● -
D	- ● ●	M	- -	V	● ● ● -
E	●	N	- ●	W	● - -
F	● ● - ●	O	- - -	X	- ● ● -
G	- - ●	P	● - - ●	Y	- ● - -
H	● ● ● ●	Q	- - ● -	Z	- - ● ●
I	● ●	R	● - ●		

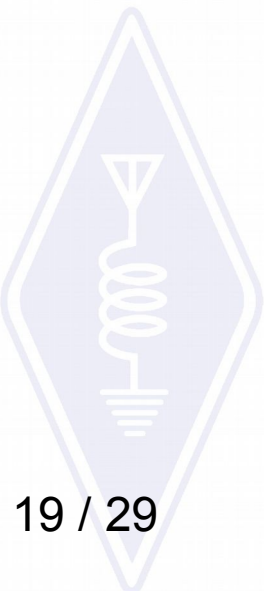
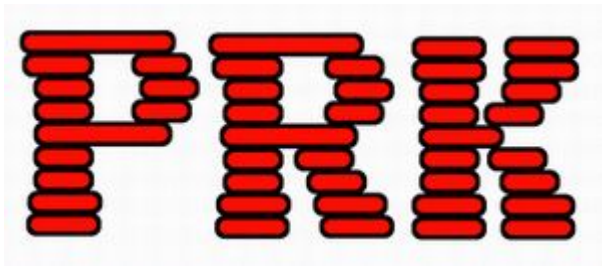


# Modulaatiot kootusti

	AM	SSB	DSB	FM	CW
Yleisimmät bandit	-	HF	-	2m/70m	HF
Muut bandit	HF	Kaikki	HF	VHF, UHF	Kaikki
Kaistanleveys	5/10kHz	2.4kHz	5/10kHz	6.25/12.5/25kHz	50Hz (500Hz)
Lineaarisuus	Lineaarinen	Lineaarinen	Lineaarinen	Epälin.	Epälin.
Taajuusvirheen vaikutus	pieni	erittäin suuri	riippuu	pieni	riippuu
AGC	nopeampi (~0.1-1 s)	hidas (~1-5 s)	hidas	ei tarvita	hidas
Modulaattori	VCA	Sekoitin + kaistanpäästö	Sekoitin	VCO	"on-off"
Demodulaattori	Verhokäyrä-ilmaisoin (yksinkertaisin: kidekone)	Kaistanpäästö + sekoitin	Costas-silmukka (tai SSB)	Diskriminaattori tai vaihelukittu silmukka	Sama kuin SSB

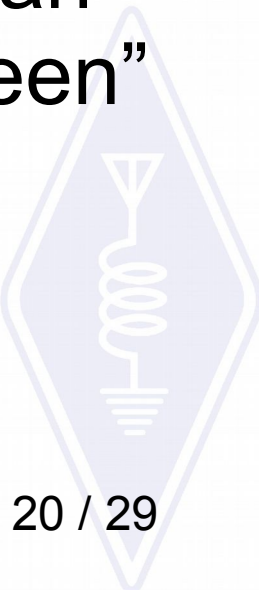
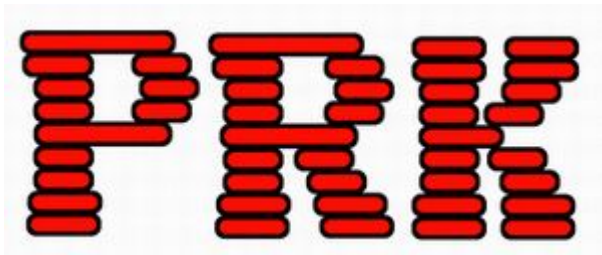


# 3. Digitaalinen signaalinkäsittely



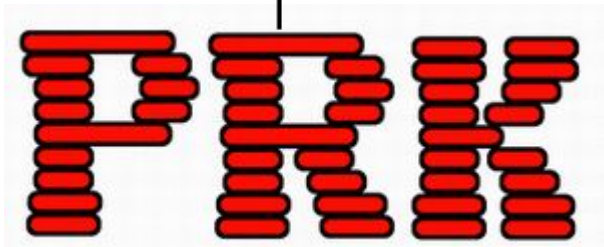
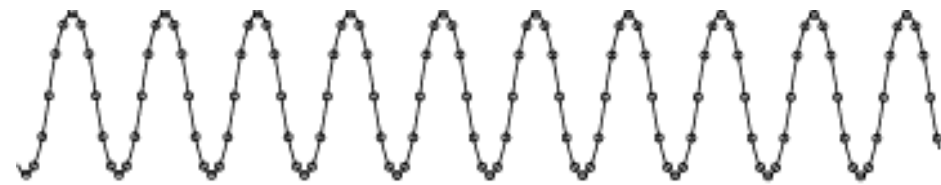
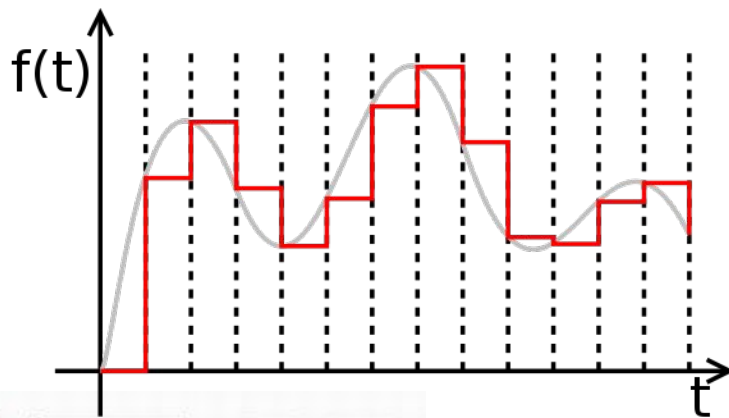
# DSP yleisesti

- Kaikki analogiset ja digitaaliset modulaatiot voidaan luoda digitaalisesti (=synteettisesti)
- Vastaanotossa perustaajuinen signaali näytteistetään AD-muuntimella, jonka jälkeen vasta demoduloidaan
- Lähetyksessä perustaajuinen signaali luodaan näytteistämällä ”ohjeet signaalin rakennukseen” DA-muuntimella

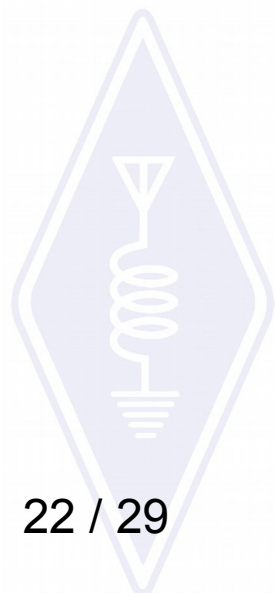
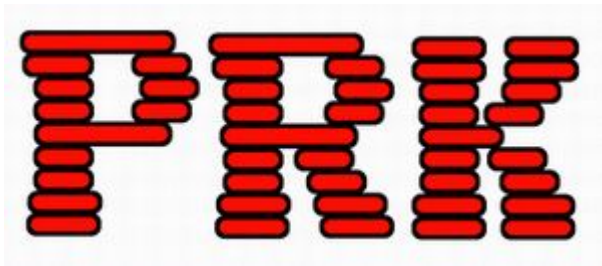


# Näytteistäminen

- Näytteenottotaajuus  $f_s > 2 \cdot B$  (kaistanleveys), Nyquistin teoreema
  - Liian pieni näytteenottotaajuus ei ehdi reagoimaan kaikkiin muutoksiin → Laskostuminen (aliasing)
- Näytteen resoluutio
  - Liian pieni resoluutio ei erota signaalitasoja toisistaan

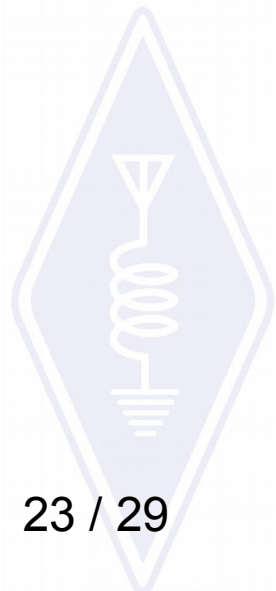
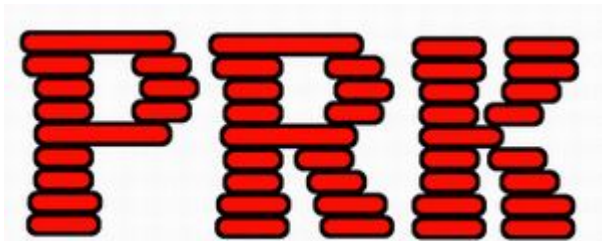
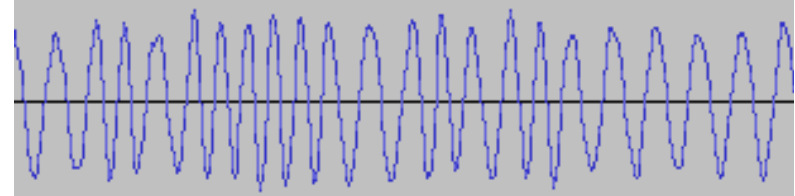


# 4. Digitaaliset modulaatiot



# 4. Digitaaliset modulaatiot

- Lähetetään bittejä tai yleisemmin symboleja
- FSK, frequency shift keying
  - Vaihetaan eri taajuuksien välillä
  - Radioamatööreille esim. RTTY
- ASK, amplitude shift keying (OOK)
- PSK, phase shift keying
  - Muutetaan vaihetta
  - Radioamatööreille esim. PSK31
- QAM, quadrature amplitude modulation
  - Sekä amplitudi että vaihe

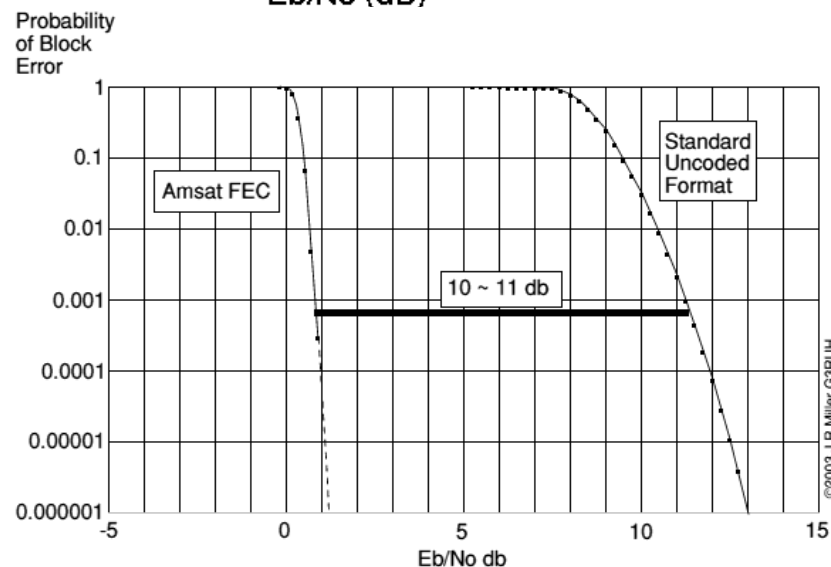
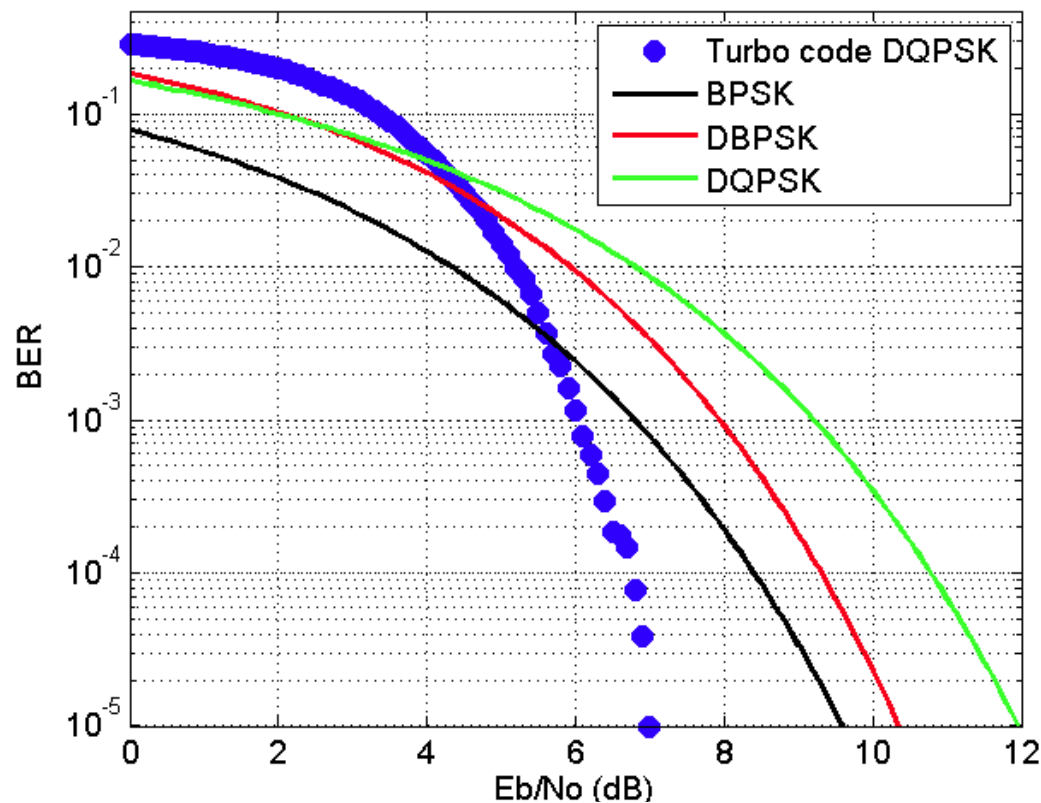




# BER ja FEC

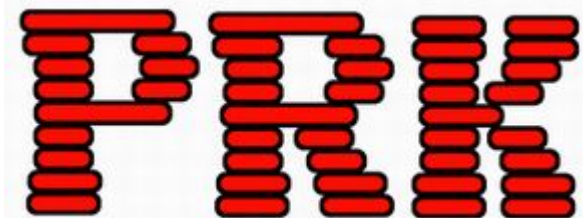
- Bittivirheet (BER) pilaavat tietyn pisteen jälkeen viestin luettavuuden
- Lähettämällä tieto "useaan kertaan" (eri tavoilla yhdisteltynä) jää varaa bittivirheille
  - Hyötydatanopeus laskee, mutta kanavan kapasiteetti voi kasvaa
  - Monenlaisia virheenkorjauskoodeja

Turbo code DQPSK BER versus Eb/No



Esimerkit: Block Error Rate vs Signal Quality, DPSK

<http://jontio.zapto.org/hda1/psk31-investigation.html>  
<http://www.amsat.org/amsat/articles/g3ruh/125.html>



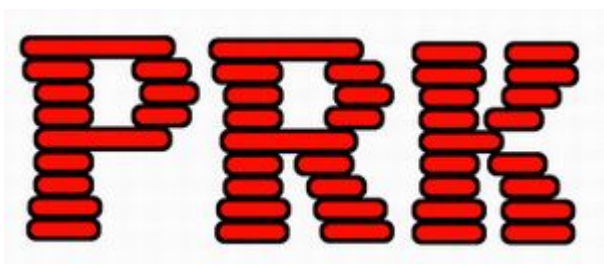
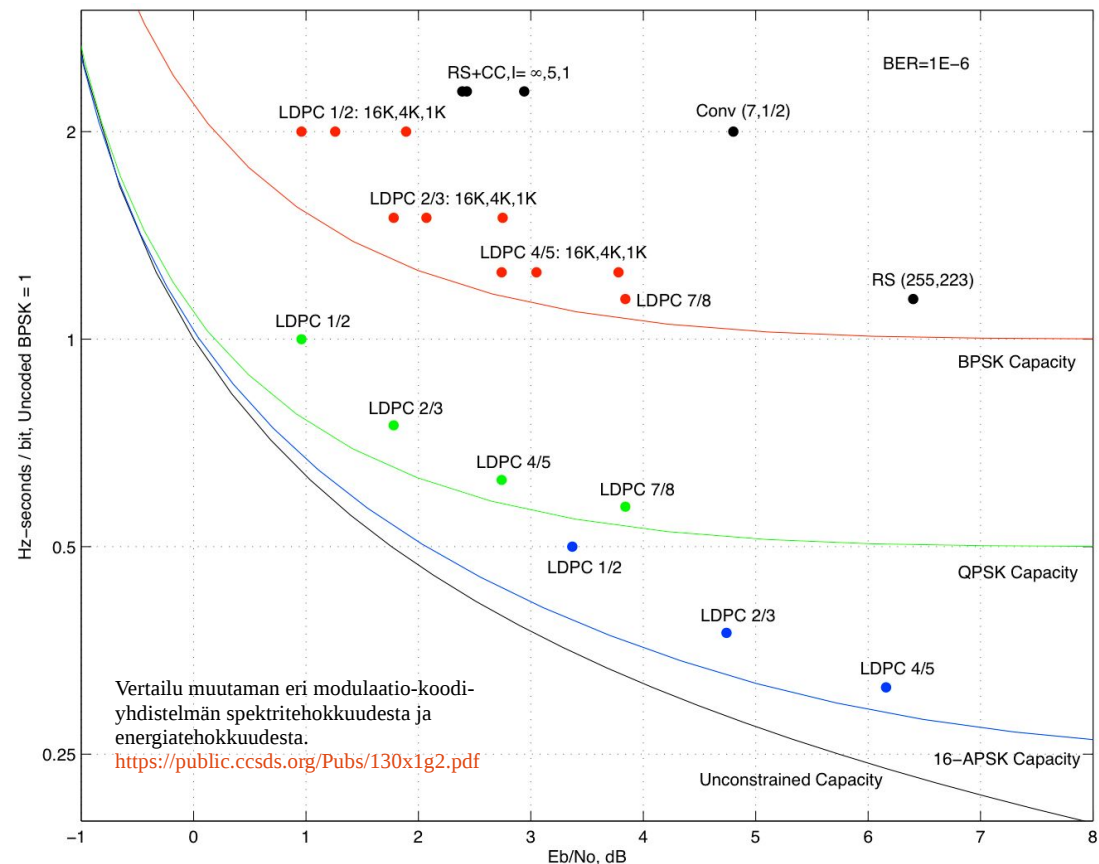


# Shannonin teoreema

- Kaistanleveys ja signaalikohinasuhde määrittävät kanavan maksimitiedonsiirtokyvyn

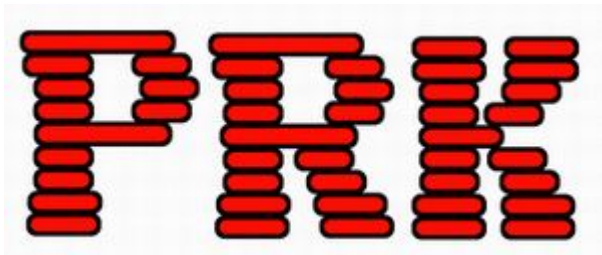
$$C = B \cdot \log_2(1 + \text{SNR})$$

- Modulaation ja virheenkorjauksen valinta määrää, kuinka lähelle tätä päästään
- Spektritehokkuus: bit/s/Hz
- Energiatehokkuus:  $E_b/N_0$   
(vastaanotettu energia informaatiobittiä kohti suhteessa taustakohinaan)



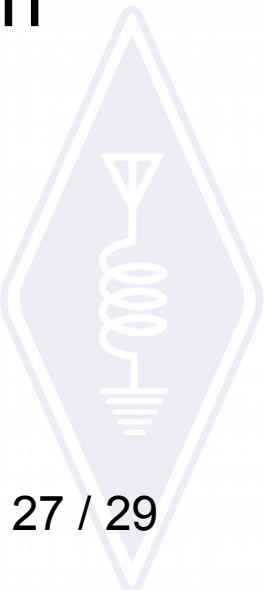
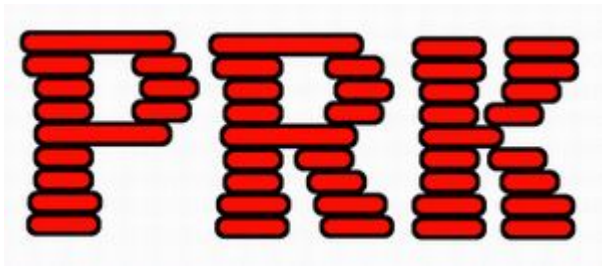
# Erilaiset digimodet

- Perinteiset radioamatöörien suosimat digimodet
  - Kapeakaistaisia ja soveltuvat HF-käyttöön
  - Ei virheenkorjausta, ei synkronointia (*RTTY*, *PSK31*)
- Edistyneemmät HF-digimodet (heikoille signaaleille)
  - *Olivia*, *JT65*, *WSPR*: Tietokoneet mahdollistaneet tehokkaan virheenkorjauksen
- Leveäkaistaisemmat digimodet
  - Muuallakin käytettäviä standardeja tai niiden variantteja
  - Kaistanleveys vaihtelee kilohertseistä jopa Wi-Fin 20MHz:n



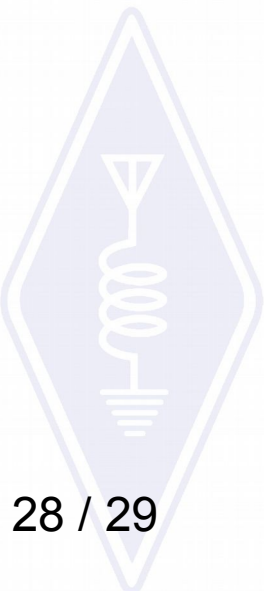
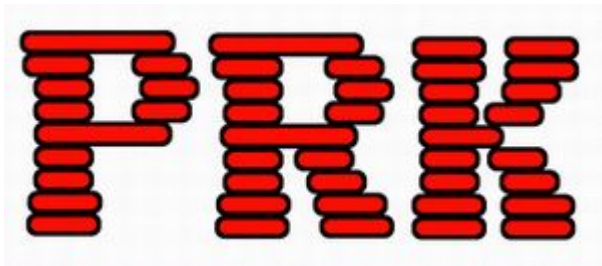
# DMR

- Radioamatöörien suosima digitaalinen radiojärjestelmä
  - Vain eräs käyttötapa standardille
- Käytännössä käsikapuloita ja toistimia
- Modulaatio: suodatettu 4-FSK, 4800 symbolia/s, kaistanleveys 12.5kHz, 2m/70cm
- Toistimet internetin yli kytketty toisiinsa



# 5. Demot

- Kuuntelunäytteet eri modulaatioista, taajuusvirheistä, häiriöistä,...



# Lähteet / suositeltavaa luettavaa

- Kalvot pohjautuvat Tatu OH2EAT:n kalvoihin
- Signaalit ja järjestelmät -kurssikirja

