

Analoga mobiltelesystem

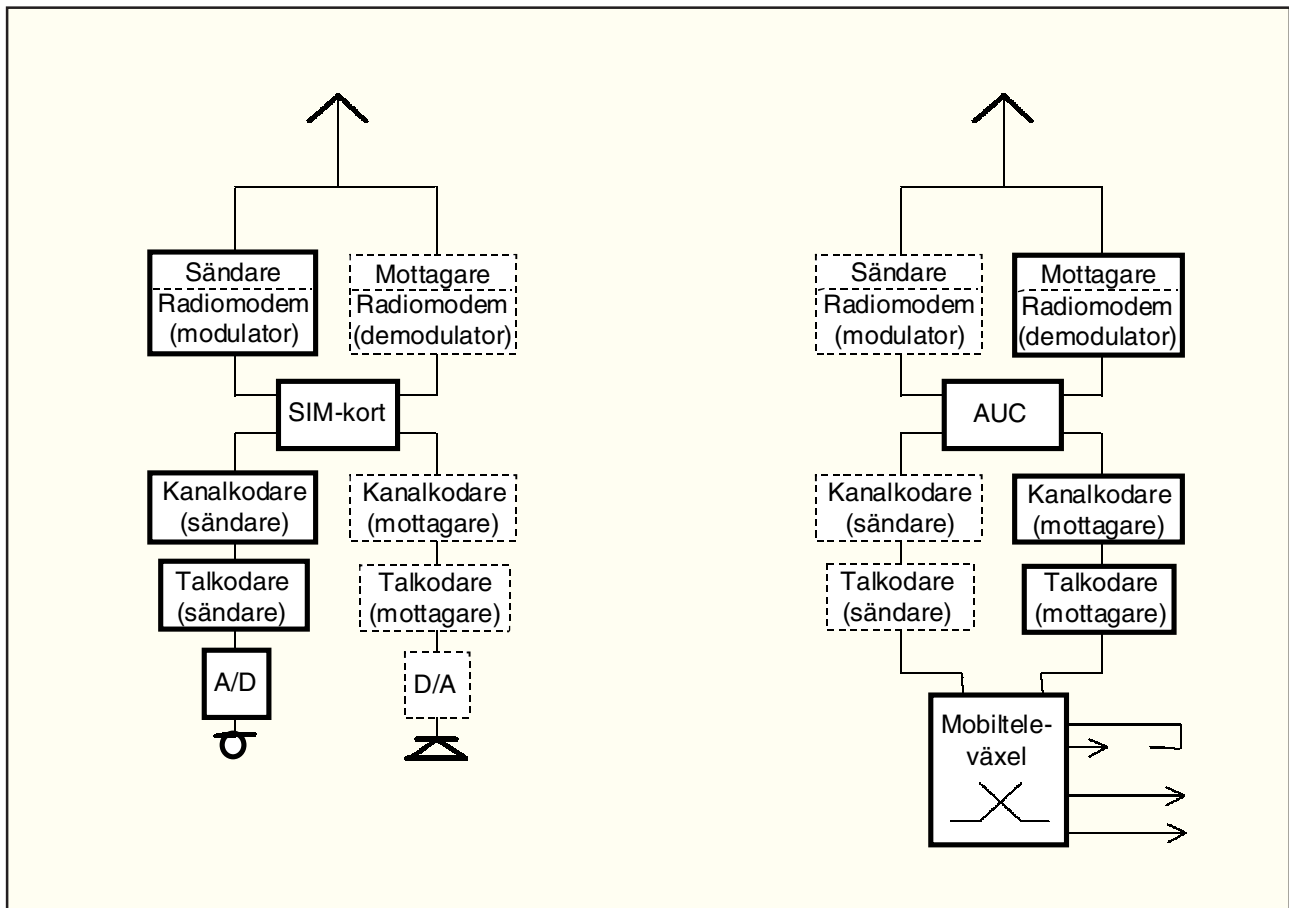
- **NMT 450** och **NMT 900**
- **AMPS** (Advanced Mobile Phone Service)
- **TACS** (Total Access Communication System)
- **CT1** (vanlig trådlös telefon)

Digitala mobiltelesystem

- **CT2** (2nd generation of Cordless Telephone)
- **GSM 900** (Global System for Mobile communications)
- **GSM 1800** (DCS-1800, GSM i 1800 MHz)
- **D-AMPS** (Digital AMPS, tidigare ADC, American Digital Cellular)
- **PDC** (Personal [Pacific] Digital Cellular, tidigare JDC, Japan Digital Cellular)
- **DECT** (Digital European Cordless Telecommunications)
- **CDMA, IS-95** (Code Division Multiple Access)
- **W-CDMA** (Wideband-DCMA)
- **DAB** (Digital Audio Broadcast)



1. Radiovågor, radiostrålning
2. Antenner
3. Hur långt når radiosignalen?
4. Vilken frekvens "är bäst"?
5. Vad händer när sikten är skymd?
6. Radiokommunikation, vad är problemet?
7. Att överföra "ettor" och "nollor" via radio
8. Hur stor bandbredd behövs?
9. Hur hög sändareffekt behövs?



10. Talspänningen från mikrofonen
11. Omvandling av talspänningen till "ettor" och "nollor"
12. "Talkodning" för att få lägsta möjliga "informationsmängd"
13. Kanalkodning för att kunna upptäcka och rätta bitfel

Lägesenergi



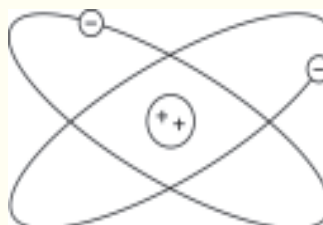
Rörelseenergi



Mekanisk pendel



Mekanisk pendel

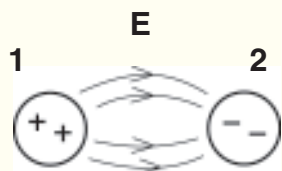
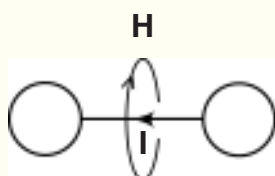
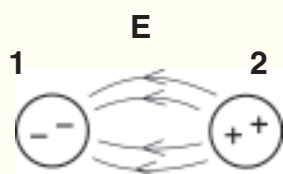
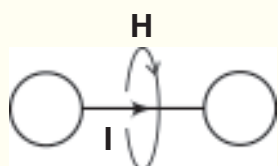
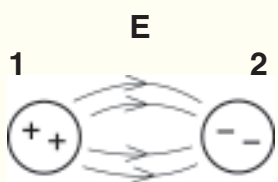


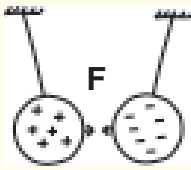
Pendel

Elektrisk pendel:

Elektronerna har
lägesenergi (elektriskt fält)

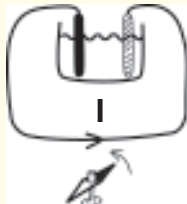
Elektronerna har
rörelseenergi (magnetfält)



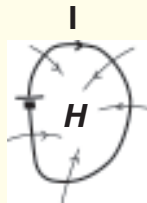


$$\nabla \cdot D = \rho$$

Lägesenergin beskrivs av
Coulombs lag

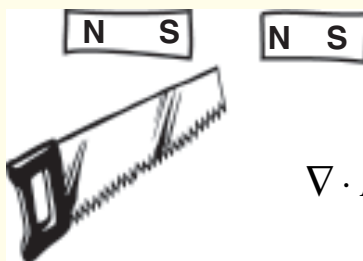


Ørsted's försök



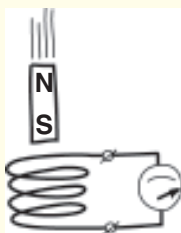
$$\nabla \times H = I$$

Ampères lag beskriver
rörelseenergin



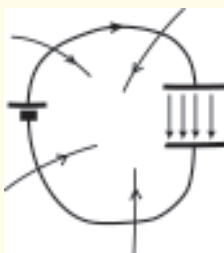
$$\nabla \cdot B = 0$$

Nord- och sydpol
uppträder alltid i par



$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

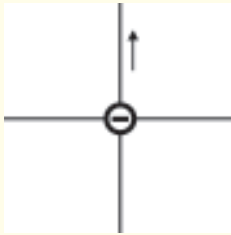
Faraday beskrev
omvandling från
magnetfält till elektriskt
fält



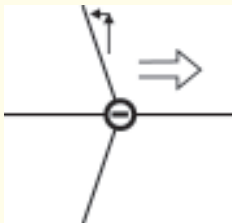
$$D = \epsilon \cdot E$$

$$\nabla \times H = I + \frac{\partial D}{\partial t}$$

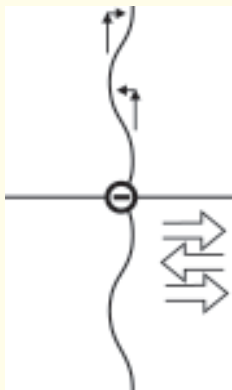
Maxwell kompletterade
Ampères lag för att
beskriva omvandling från
elektriskt fält till
magnetfält



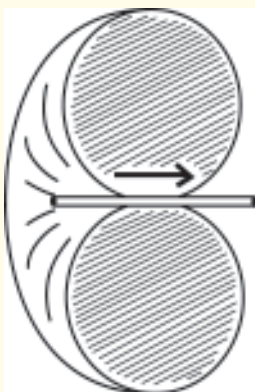
Runt en stillastående elektron finns raka fältlinjer



Om elektronen rör sig med konstant hastighet lutar fältlinjerna men är fortfarande raka (ingen strålning)



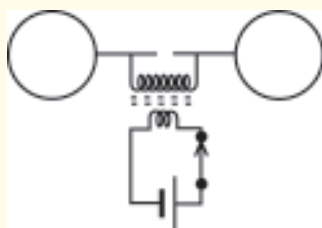
Om elektronen "gungar" fram och tillbaka slingrar sig fältlinjerna i sidled. Fältlinjernas sidorörelse är proportionell mot elektriska fältet i radiostrålningen.



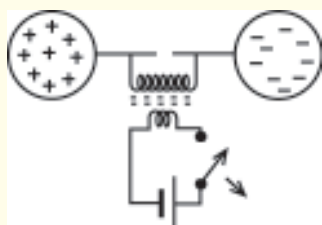
Riktningsdiagram som visar elektriska fältet i radiostrålningen.



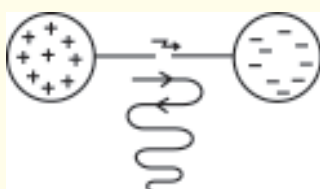
Motriktade strömmar motverkar strålning



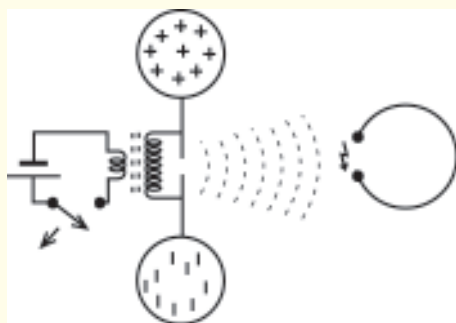
När brytarspensen sluts går hög ström genom tändspolen. Det byggs upp ett magnetfält i spolen.



När brytarspetsen öppnas stoppar strömmen och magnetiska energin omvandlas till (lik-)spänning som flyttar över elektroner till ena klotet.



När spänningen blir riktigt hög tänds en gnista i gnistgapet. Gnistan blir en strömbrytare som leder ström och pendlingen startar.



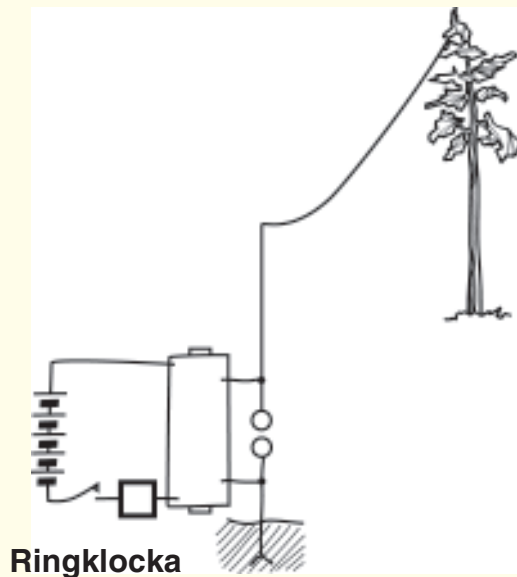
Mottagaren var ytterligare en pendel, hopvikt för att ändarna skulle komma nära varandra. Hertz tittade efter gnistor mellan ändarna.



Hertz parabolantenn



Popov använde husets åskledare som mottagarantenn och detekterade radiovågor vid åskväder med hjälp av en kohär.

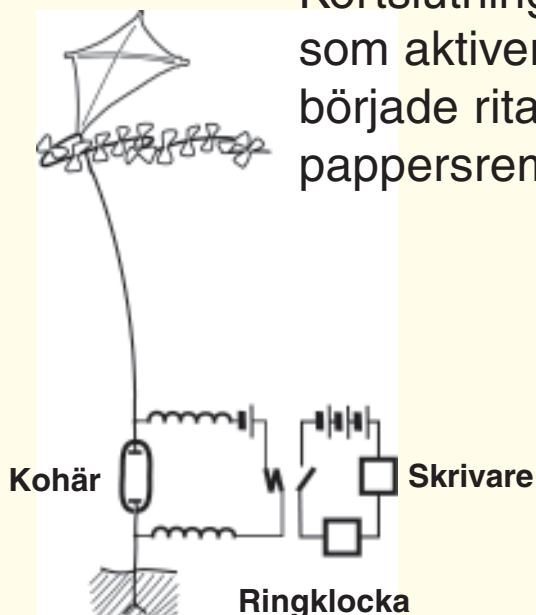


Marconi ersatte brytarspetsen med en ringklocka (som innehåller en brytare som öppnas och sluts i takt med ringningen).

I serie med ringklockan kopplade han en morsenyckel och kunde sända morsetelegrafi.

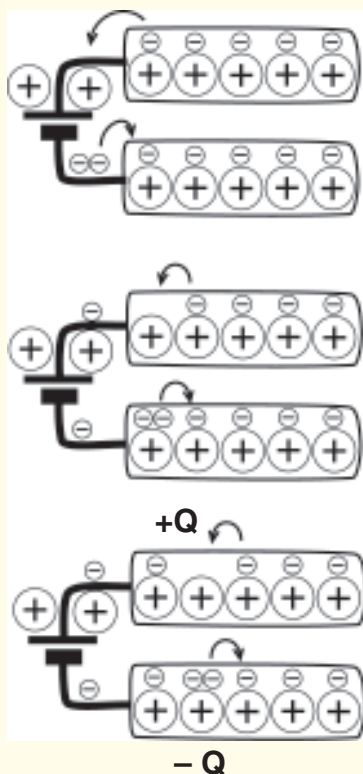
Antennen kopplades till en kohär som "kortslöts" när det kom radiosignal.

Kortslutningen styrde ett känsligt relä som aktiverade en skrivare som började rita en linje på en pappersremsa.

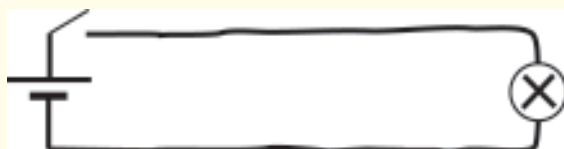


Men han behövde knacka på kohären. Då kompletterade han med ytterligare en ringklocka vars kläpp slog på kohären.

På pappersremsan skrevs morsetecknen som långa och korta streck.



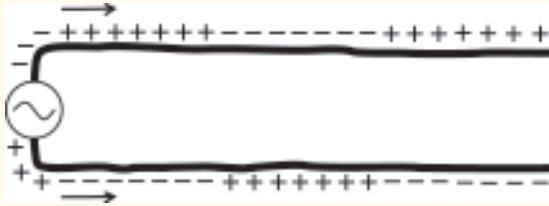
Elektronerna flyttar sig så att "laddning" rusar längs kabeln med ljushastigheten.



Hur lång tid tar det innan lampan tänds?
När släcks lampan om man öppnar strömbrytaren?



Vad händer när strömbrytaren sitter vid lampan?



Elektronerna går åt motsatt håll på kabelns båda ledare. Därför strålar inte kabeln.

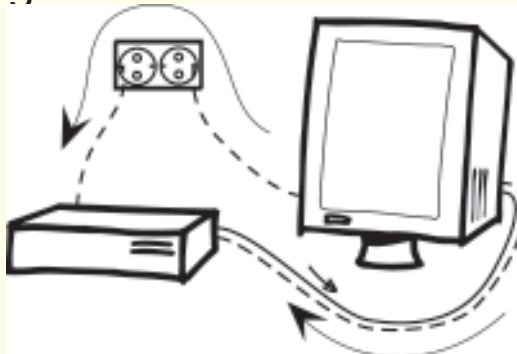


"Bandkabeln" ger viss strålning därför att ledarna ligger en bit från varandra.



Koaxialkabeln är strålningsfri därför att de båda strömmarna tycks gå i samma "linje".

Om strömmen går här bildas radiostrålning.



Strömmen skall gå här för att det inte skall bli radiostrålning.

Signalen till bildskärmen skall gå fram- och tillbaka i samma kabel så att de båda strömmarna ligger tätt ihop.

Om strömmen väljer nätkabeln som återledare får vi så långt avstånd mellan de båda strömmarna att vi får strålning.



När växelström går genom en spole kommer magnetisk energi att byggas upp och laddas ur i takt med växelströmsfrekvensen. Detta skapar "motstånd" för växelströmmen.



Om kabeln lindas som spole kommer de båda magnetfälten att ta ut varandra, om strömmarna är lika stora och motriktade. Vi får inget växelströmsmotstånd om strömmarna är lika stora.

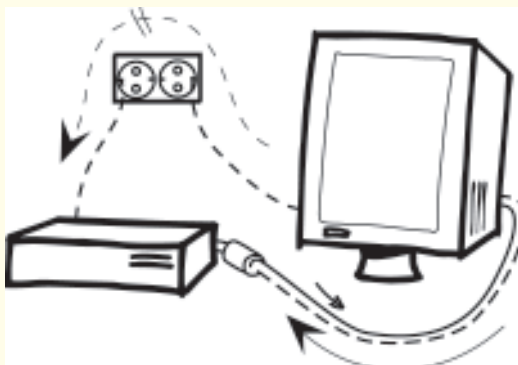


Om spolen förses med ferritkärna ökar växelströmsmotståndet. Det behövs inte lika många varv i spolen.

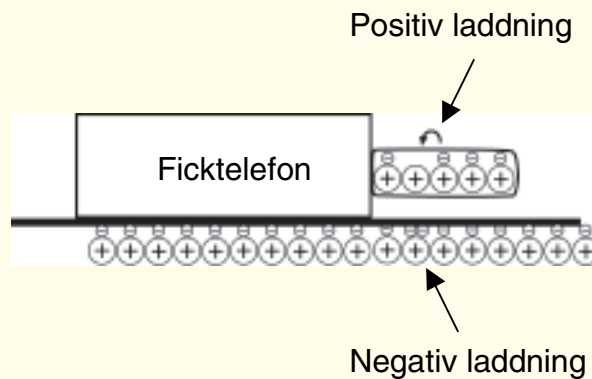


Med tillräckligt hög permeabilitet hos ferriten räcker det med ett varv.

Ferritkärnan släpper bara fram strömmar som är lika stora och motriktade. Obalansström stoppas.



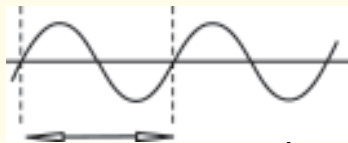
Ferritkärnan på
bildskärmskabeln tvingar
strömmen att gå här.



Naturen vill undvika strålning om den kan.

Om antennen placeras alltför nära elektriskt ledande material, t ex en plåt, kommer naturen att själv inducera den ström som behövs för att undvika radiostrålning.

En antenn måste sitta fritt från metall, annars är det inte en antenn!



periodtid T

$$f = \frac{1}{T}$$

Den sträcka radiovågen hinner när växelspänningen (-strömmen) genomlöper en period kallas våglängd

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} \approx \frac{300}{f[\text{MHz}]}$$

T = periodtid [s]

L = avstånd mellan antennens ändar [m]

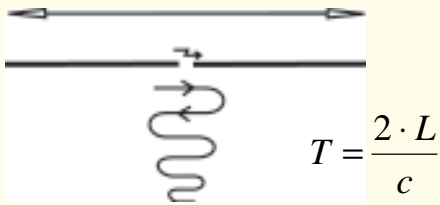
c = ljushastigheten $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s

f = frekvens [Hz]

λ = våglängd [m]

Frekvens	våglängd
100 MHz	3 m
450 MHz	67 cm
900 MHz	33 cm
1800 MHz	16 cm
12 GHz	2,5 cm

avstånd mellan antennens ändar L



$$L = \frac{1}{2} \cdot c \cdot T = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{f} = \frac{1}{2} \cdot \lambda$$

T = periodtid [s]

L = avstånd mellan antennens ändar [m]

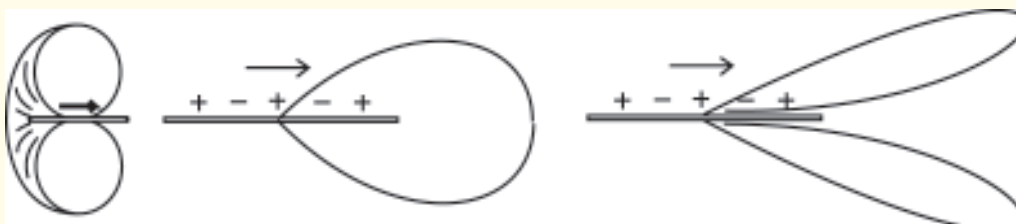
c = ljushastigheten $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s

f = frekvens [Hz]

λ = våglängd [m]

Den växelström som bildades på Hertz antenn fick den frekvens som svarade mot att antennen var i halvvågsresonans

Elektronerna skakar, den ena efter den andra



Elektronernas
riktningsdiagram

multipliserat med

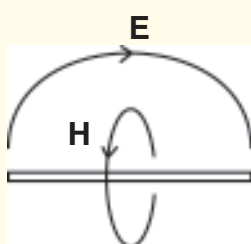
"ledarens"
riktningsdiagram

ger

verkligt
riktningsdiagram

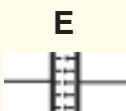
En lång antenn får ett riktningsdiagram som ser ut som en tratt runt antennledaren. Ett sådant riktningsdiagram är svårt att utnyttja.

Därför arbetar så gott som alla antenner i halvvågsresonans.

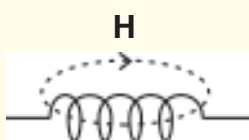


Halvvågsantennen bär sig åt som en elektrisk pendel, med lägesenergi (elektriskt fält) och rörelseenergi (magnetfält).

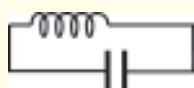
OBS att vi inte behöver någon pendel för att få radiostrålning!



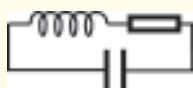
Elektriskt fält finns i en kondensator



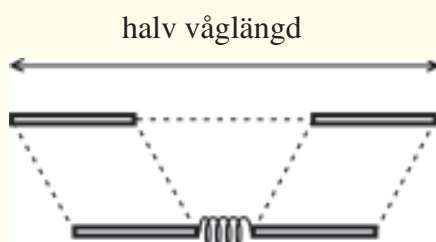
Magnetfält finns runt en spole



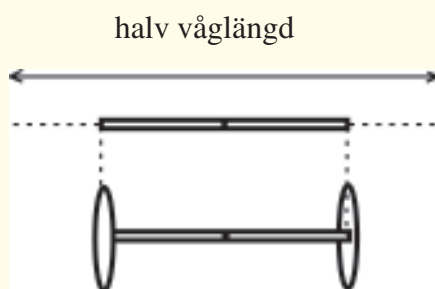
Om kondensatorn och spolen kopplas ihop till en resonanskrets kommer energin att pendla mellan elektriskt fält och magnetfält, men vi får ingen radiostrålning. Ledare med motriktade strömmar ligger tätt ihop.



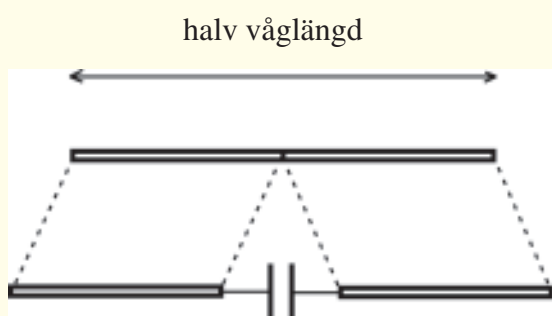
Ett motstånd i resonanskretsen kommer att absorbera den effekt som blir radiostrålning hos en verklig halvvågsantenn.



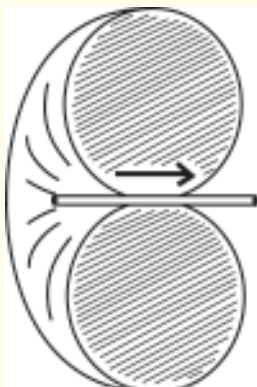
Om antennen är kortare än en halv våglängd kan antennen kompletteras med en del av resonanskretsen, t ex spolen ...



... eller en del av kondensatorn



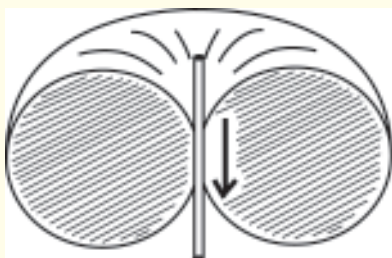
Om antennen är för lång förser man den med en "negativ spole",



HORISONTELL POLARISATION

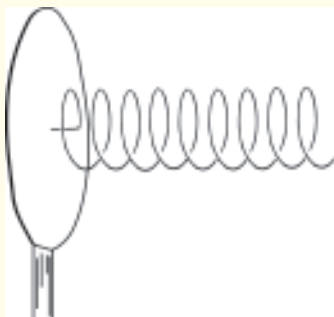
Om antennen sitter horisontellt så att strömmen går i horisontalplanet, kommer elektriska fältet i radiostrålningen att ligga horisontellt.

Magnetfältet ligger vertikalt.



VERTIKAL POLARISATION

Helixantenn – cirkulär polarisation



Om långtrådsantennen lindas i spiral med omkretsen EN VÅGLÄNGD kommer maxströmmen att överallt gå i samma riktning. Strålningen samverkar i spiralens riktning.

Samtidigt kommer maxströmmen att snurra i spiralen, ett varv på en period. Därför kommer polarisationen att snurra - CIRKULÄR POLARISATION.

Det finns vänstervriden och högvriden cirkulär polarisation. Sändar- och mottagarantennerna måste vara vridna åt samma håll.

När en vänstervriden cirkulärpolariserad våg reflekteras kommer den att bli högvriden.

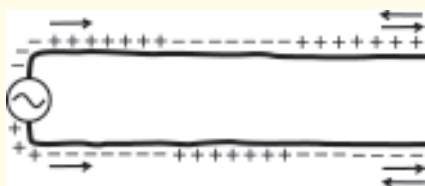
Cirkulär polarisation används bl a vid TV-sändningar i samband med idrottstävlingar när man vill undertrycka skuggbilder i TV-bilden.

ANPASSNING



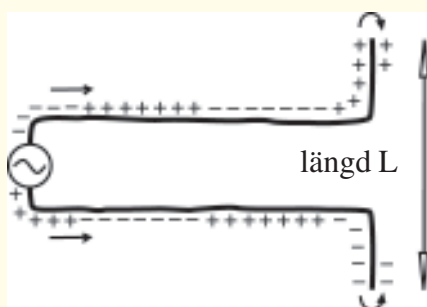
Om kabeln avslutas med en resistans lika med kabelns karakteristiska impedans får vi ingen reflekterad effekt.

ÖPPEN KABEL



Om kabeln lämnas öppen får vi reflekterad effekt.

När den framåtgående och reflekterade effekten samtidigt påverkar elektronerna kommer elektronerna att gunga "i takt", inte efter varandra.

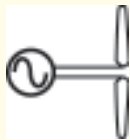
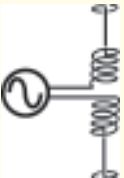
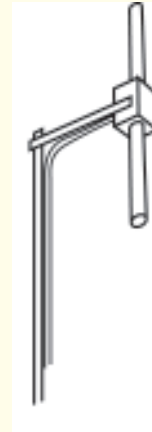


Om kabelns ledare viks isär kommer elektronerna att gunga i takt och radiostrålningen samverkar vinkelrätt mot antennen.

En liten del av effekten kommer att reflekteras i antennens matningsgap. Men om man gör antennlängden $L =$ en halv våglängd kommer den reflekterade effekten från antennändarna att hamna i motfas till den effekt som reflekteras i matningsgapet, och vi får ingen reflekterad effekt på kabeln. Halvvågsantennen är anpassad till kabeln.

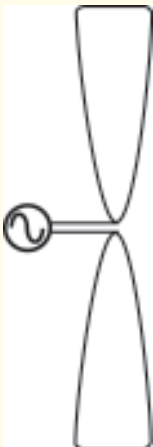


Halvvågsdipol



Förkortad halvvågsdipol

Både mittspole och
ändkapacitans

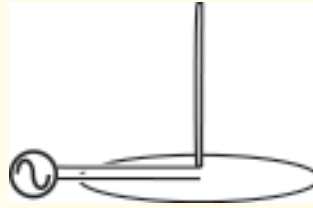
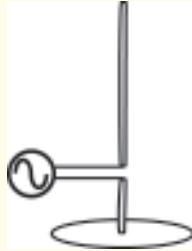
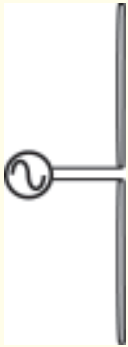


Bredbandig halvvågsdipol

Vanligaste sättet att åstadkomma en
broadbandig halvvågsdipol är att göra
antennbenen tjocka

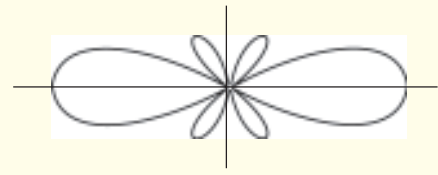
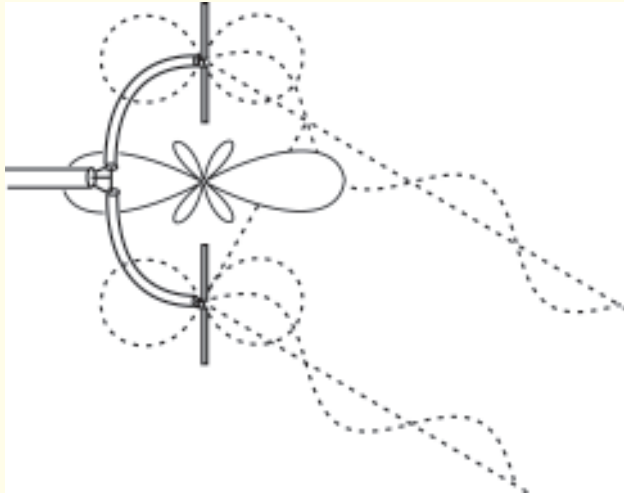


Ficktelefonen är en halvvågsdipol
där ena antennbenet är förkortat (själva
antennen) och andra antennbenet är
broadbandigt (hela eller delar av själva
ficktelefonchassit)



Antennen på biltaket kan förenklat ses som en halvvågsdipol där ena antennbenet är kraftigt förkortat med en stor ändkapacitans.

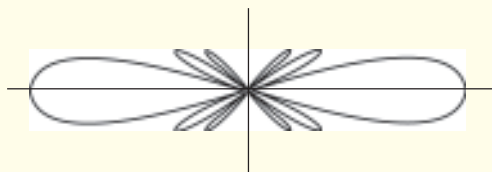
Ett riktigare synsätt är att se biltaket som en stor mängd långtrådsantennor som går radiellt ut från antennenmatningspunkten. Riktningsdiagrammet är summan av strålningen från det vertikala antensprötet och alla långtrådsantennor.



Om sändareffekten fördelas på två antenner kommer strålningarna att ta ut varandra (hamna i motfas) i vissa riktningar. Den effekt som skulle gått i dessa riktningar går i stället i de riktningar där strålningarna samverkar.



Med fyra antennelement finns fler riktningar dit det inte går någon signal.



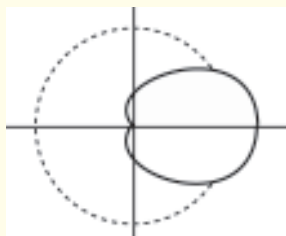
Då går mer effekt i maxriktningen. Vi får högre antennvinst.

28% av
sändar-
effekten

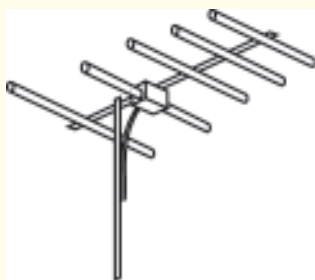


72% av
sändareffekten

Två antenner kan
kombineras så att antennen
bara strålar (tar emot) i en
riktning.



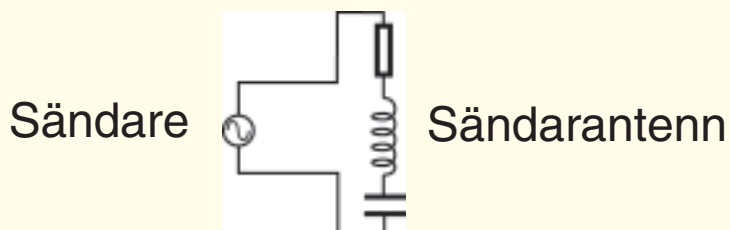
Antennelementen strålar in i
varandra. För att få lika stark
ström i båda antennerna
skall inte sändareffekten
delas lika.



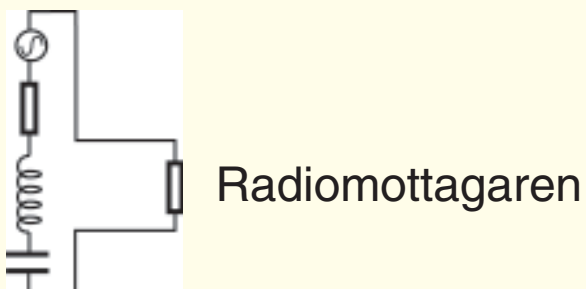
Horisontalpolariserad
Yagi-antenn



Vertikalpolariserad
Yagi-antenn

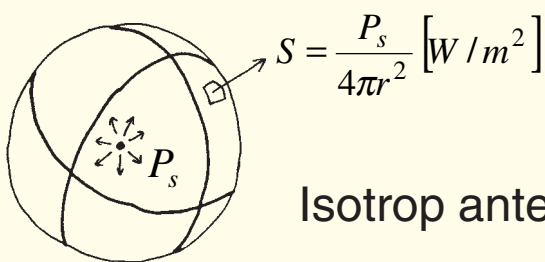


I antennen mottagen
(inducerad) spänning



När antennen ansluts till radiomottagaren
ökar resistansen i kretsen, vilket ger lägre Q-
värde, större bandbredd.

Antennen är bredbandigare när den används som
mottagarantenn än när den används som sändarantenn.



Isotrop antenn (helt rundstrålande)

Signalen (S) kan beskrivas som effekttäthet

$$S = \frac{E^2}{377}$$

Signalen (S) kan dessutom beskrivas som elektrisk fältstyrka E V/m. Det är lätt att räkna om från effekttäthet till fältstyrka.

$$A_i = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

När antennen används som mottagarantenn kan den ses som en mottagningsyta. All effekt som passerar inom denna yta fångas upp och matas till radiomottagaren.

$$P_m = S \cdot A_i = \frac{P_s}{4\pi r^2} \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

S = effekttäthet [W/m²]

P_s = sändareffekt [W]

r = avstånd [m]

E = fältstyrka [V/m]

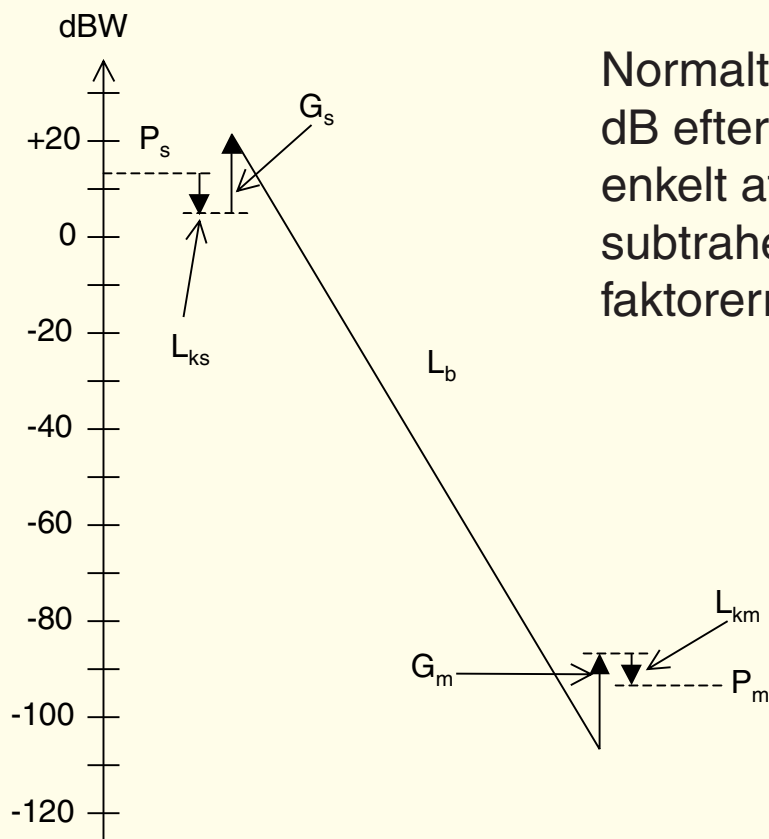
A_i = antenneyta för isotrop antenn [m²]

λ = våglängd [m]

P_m = mottagen effekt [W]

Den mottagna signalens styrka (effekt) beror på

- sändareffekten
- avståndet
- våglängden (frekvensen)



$$P_m [dBW] = P_s [dBW] - L_{ks} [dB] + G_s [dBi] - L_b [dB] + G_m [dBi] - L_{km} [dB]$$

$$P[dBW] = 10 \cdot \log P[W]$$

$$P_m [W] = 10^{\frac{P_m [dBW]}{10}}$$

$$P[dBm] = 10 \cdot \log P[mW]$$

$$P_m [mW] = 10^{\frac{P_m [dBm]}{10}}$$

Att räkna till respektive från dB

effekt	$P_s [dBW]$	$P_s [dBm]$
10 W	+10 dBW	+40 dBm
1 W	0 dBW	+30 dBm
100 mW	-10 dBW	+20 dBm
10 mW	-20 dBW	+10 dBm

Sändareffekten
omräknad i dBW
eller dBm

L_b [dB] vid olika frekvenser och avstånd:

Avstånd	450 MHz	900 MHz	1800 MHz	12 GHz
100 m	-65,5 dB	-71,5 dB	-77,5 dB	-94 dB
200 m	-71,5 dB	-77,5 dB	-83,5 dB	-100 dB
1000 m	-85,5 dB	-91,5 dB	-97,5 dB	-114 dB
5000 m	-99,5 dB	-105,5 dB	-111,5 dB	-128 dB
10 km	-105,5 dB	-111,5 dB	-117,5 dB	-134 dB
100 km	-125,5 dB	-131,5 dB	-137,5 dB	-154 dB
36000 km	-176,7 dB	-182,7 dB	-188,7 dB	-205 dB

Radiosystem	GSM	DECT
Sändareffekt	2 W +3 dBW	250 mW -6 dBW
mottagarkänslighet	-134 dBW	-116 dBW
antennvinst sändarantenn	+2,15 dBi	+2,15 dBi
antennvinst mottagarantenn	+2,15 dBi	+2,15 dBi
Högsta värde på L_b	-141,3 dB	-114,3 dB
Räckvidd i fri rymd	309 km	6,9 km

$$A_d = A_i \cdot 10^{\frac{2,15}{10}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot 1,64 \approx \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\lambda}{4}$$

Antennytan för en halv vågsdipol



Dubbla antennytan

Antennvinst innebär större mottagningsyta

$$A_{parabol} \approx 0,5 \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

Parabolantennen har en mottagningsyta som ungefär är hälften av dess tvärsnittsytan.

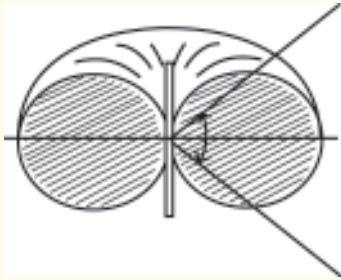
$$A_{parabol} = G_p[ggr] \cdot A_i$$

$$G_p[ggr] = \frac{A_{parabol}}{A_i}$$

Antennvinst är hur många ggr kraftigare signal som tas emot (eller sänds ut) i maxriktningen, jämfört med halv vågsdipol (dBd) eller isotrop antenn (dBi)

$$G_p[ggr] = \frac{A_{parabol}}{A_i} \approx \frac{0,5 \cdot \frac{\pi d^2}{4}}{\frac{\lambda^2}{4\pi}} = 0,5 \cdot \left[\frac{\pi d}{\lambda} \right]^2 = \frac{50 \cdot \pi^2}{9} d^2 f^2 [GHz]$$

$$G_p[dBi] \approx 17,4 + 20 \log d[m] + 20 \log f[GHz]$$



Öppnings-
vinkel

$$G_p[dBi] \approx 47,2 - 20\log(vinkel_{-3dB}^o)$$

Hög antennvinst innebär liten öppningsvinkel

$$G[dBi] = G[dBd] + 2,15$$

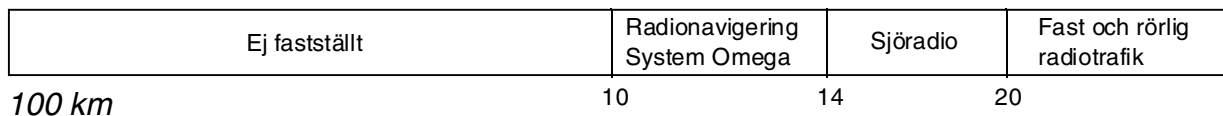
Antennvinst anges relativt halvvågsdipol (dBd) eller relativt isotrop antenn (dBi). Enda skillnaden är 2,15 dB. Se upp med detta.

$$P[dBW] = P[dBm] - 30$$

Effekt anges relativt 1 W (dBW) eller relativt 1 mW (dBm). Enda skillnaden är 30 dB. Se upp med detta.

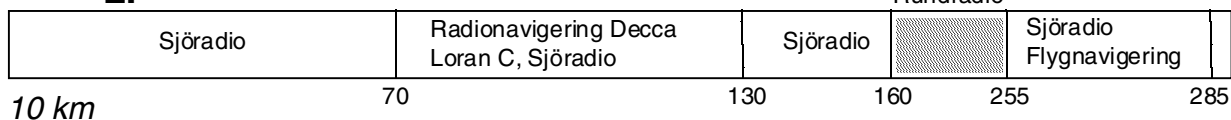
3 kHz **VLF**

30 kHz



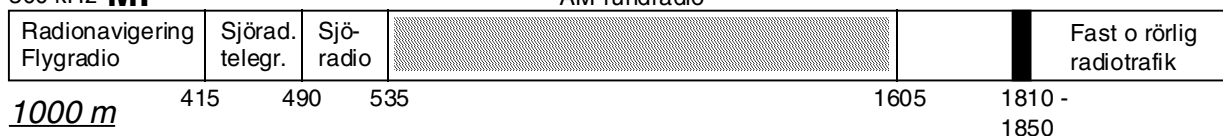
30 kHz **LF**

300 kHz



300 kHz **MF**

3000 kHz



3 MHz **HF**

Fast o rörlig radio. Rundradio

PR

30 MHz



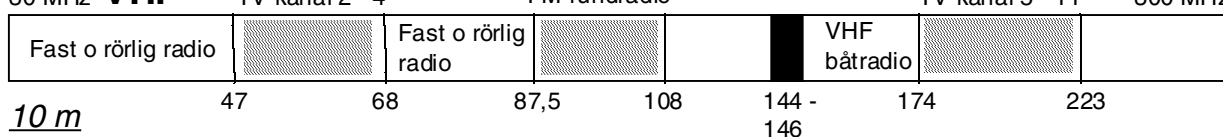
30 MHz **VHF**

TV kanal 2 - 4

FM-rundradio

TV kanal 5 - 11

300 MHz

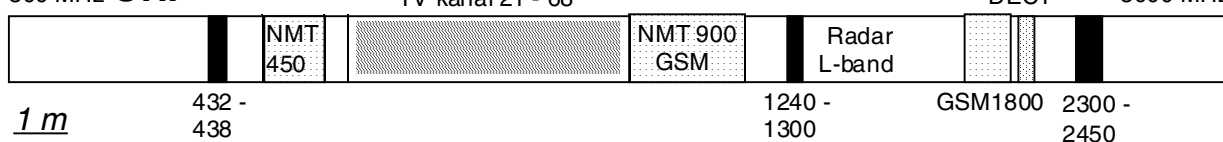


300 MHz **UHF**

TV kanal 21 - 68

DECT

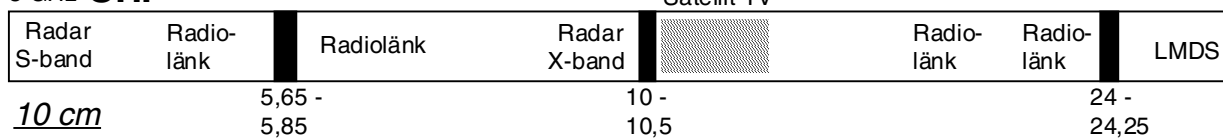
3000 MHz



3 GHz **SHF**

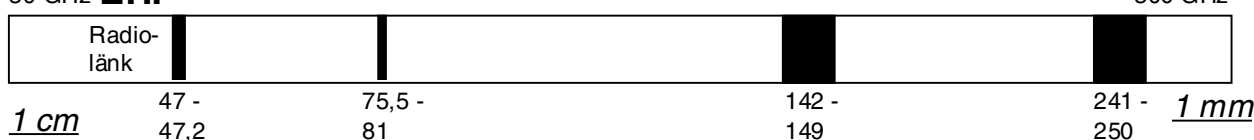
Satellit-TV

30 GHz



30 GHz **EHF**

300 GHz



Rundradio (ljudradio och TV)



Amatörradio



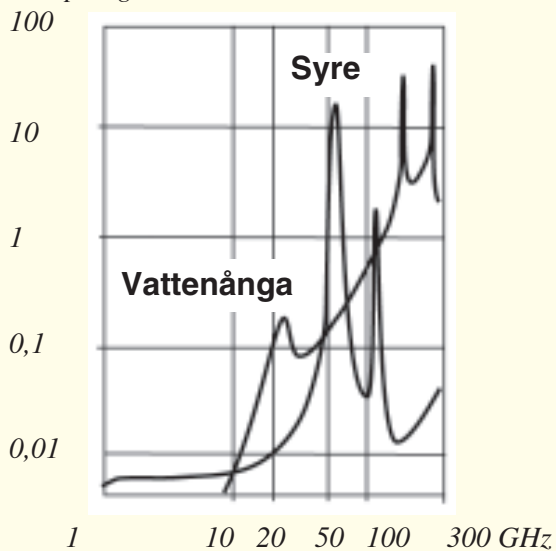
Mobiltelefoni

Länkbudget:

Sändarens uteffekt: + ____
 Antennkabelns dämpning: - ____
 Sändarantennens antennvinst: + ____
 Sträckdämpning mellan isotropa antenner: - ____
 Dämpning i atmosfärgaser: - ____
 Dämpning vid regn: - ____
 Dämpning om sikten är skyddad av träd: - ____
 Dämpning vid reflexion mot husväggar: - ____
 Fädningsmarginal (korta reflexer): - ____
 Mottagarantennens antennvinst: + ____
 Antennkabelns dämpning: - ____
 Summa effekt till radiomottagaren: ____

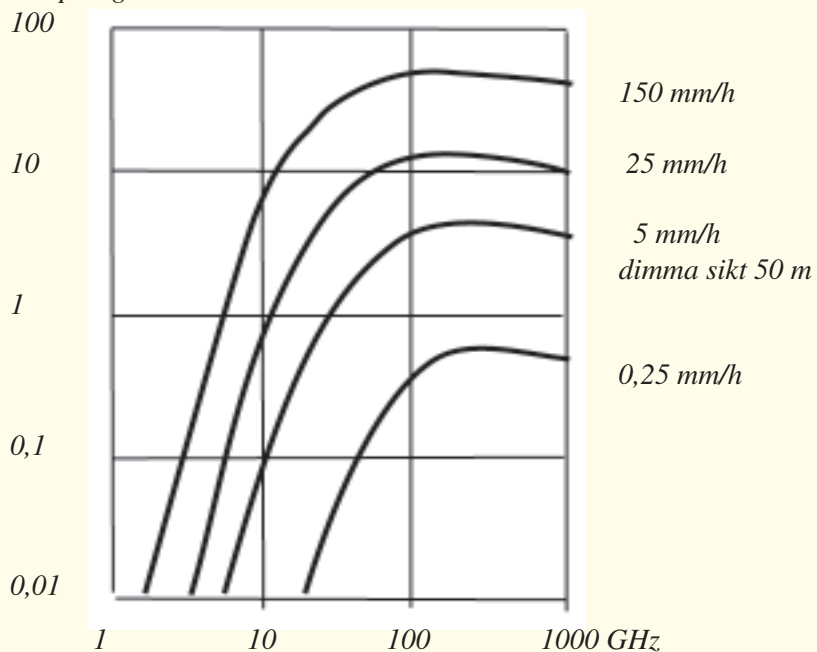
Atmosfärdämpning

Dämpning dB/km



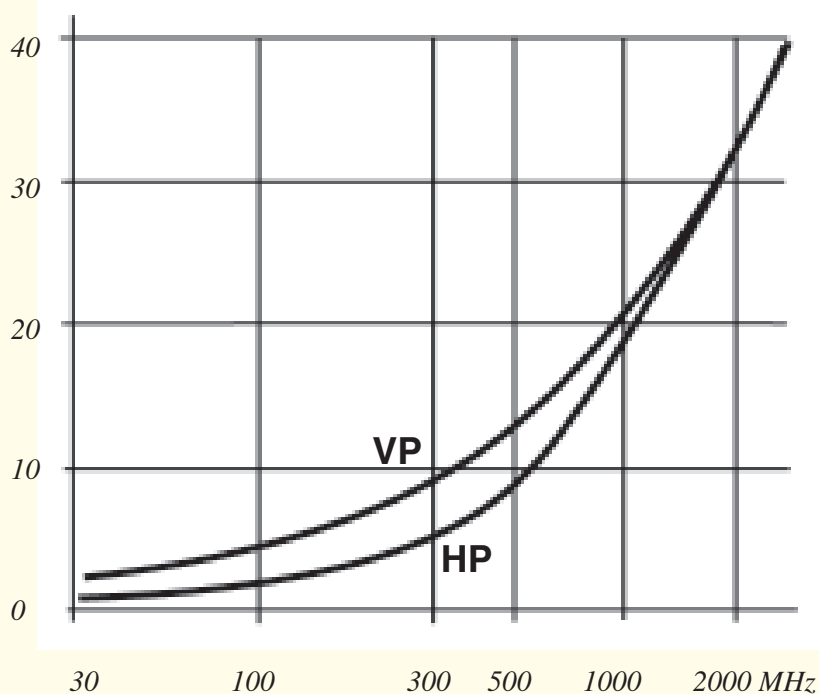
Dämpning vid regn, snö, dimma

dämpning dB/km



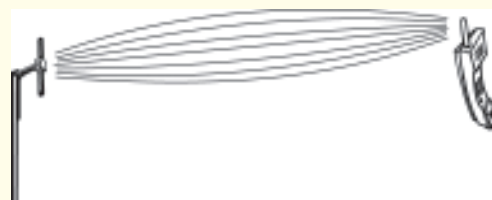
Dämpning i skog

dB/100 m

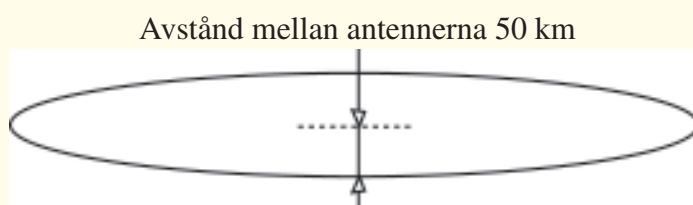




Signalen går som många strålar i en volym



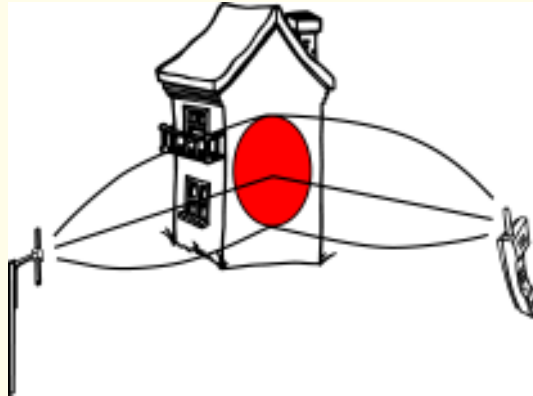
Volymen minskar vid högre frekvens



Avstånd mellan antennerna 50 km

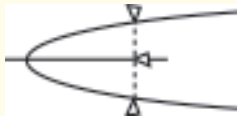
Höjd h för att 1:a Fresnel-zonen skall gå fri

Frekvens	Höjd h (m)
450 MHz	91,2 m
900 MHz	64,4 m
1800 MHz	45,6 m
6 GHz	25 m

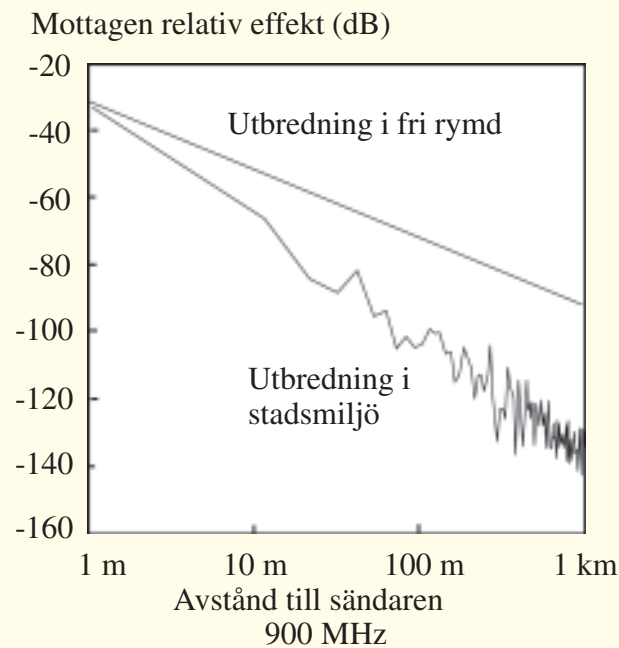


Vågutbredning i städer

1:a Fresnel-zonens diameter i närheten av någon av antennerna



Frekvens	diameter	
	avstånd 10 m	avstånd 100 m
450 MHz	2,6 m	8,2 m
900 MHz	1,8 m	5,8 m
1800 MHz	1,3 m	4,1 m
6 GHz	0,7 m	2,2 m
28 GHz	0,3 m	1 m



P_m proportionell mot r^{-2}

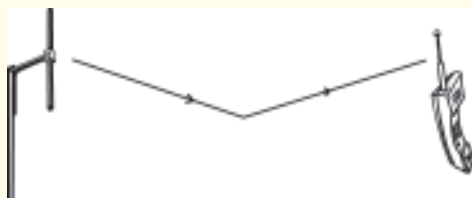
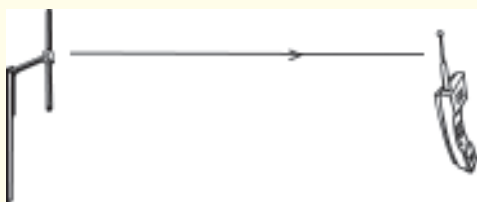
$$L_b[dB] = -32,4 - 20\log r[km] - 20\log f[MHz]$$

P_m proportionell mot $r^{-3,5}$

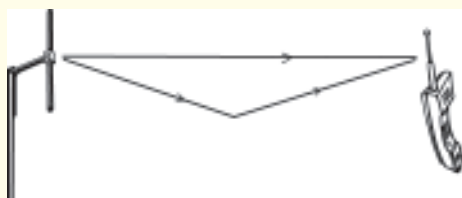
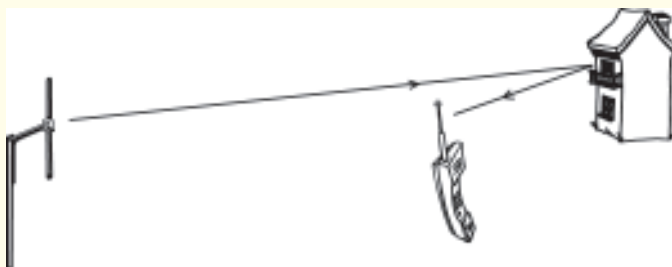
$$L_b[dB] = -32,4 - 35\log r[km] - 20\log f[MHz]$$

Radiosystem	GSM	DECT
Sändareffekt	2 W +3 dBW	250 mW -6 dBW
mottagarkänslighet	-134 dBW	-116 dBW
antennvinst sändarantenn	+2,15 dBi	+2,15 dBi
antennvinst mottagarantenn	+2,15 dBi	+2,15 dBi
Högsta värde på L_b	-141,3 dB	-114,3 dB
Räckvidd i fri rymd	309 km	6,9 km
Räckvidd i typisk stadsmiljö	26,5 km	3 km

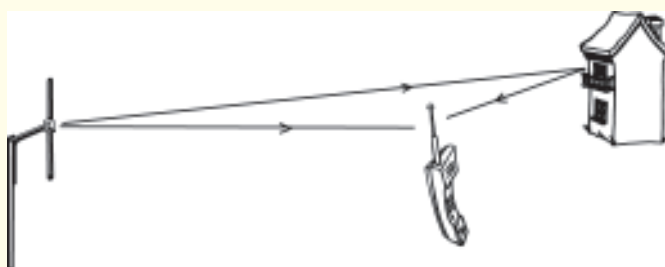
Radiosystem	DECT
Högsta värde på L_b	-114,3 dB
Dämpning i vägg	-20 dB
Fädningsmarginal (korta reflexer)	-20 dB
Typisk räckvidd inomhus	69 m



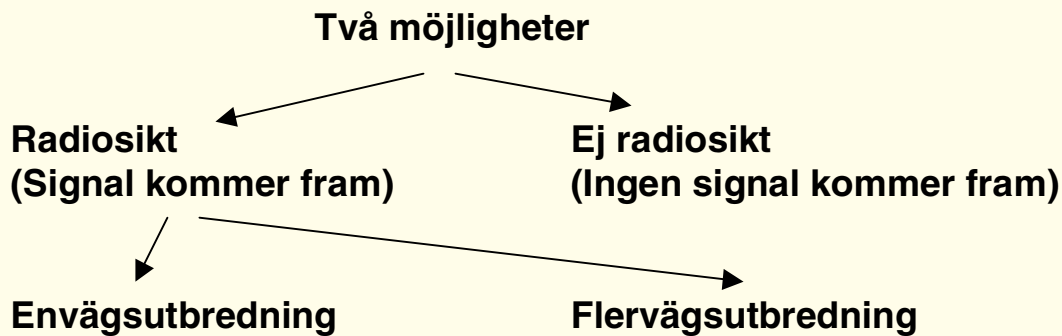
Olika exempel på
envägsutbredning



Flervägsutbredning —
kort reflex



Flervägsutbredning — lång reflex



Korta reflexer

Vid korta reflexer kan summasignalen från mottagarantennen variera kraftigt och ibland försvinna helt.

I analoga system får man trafikavbrott som är lika långa som signalbortfallet.

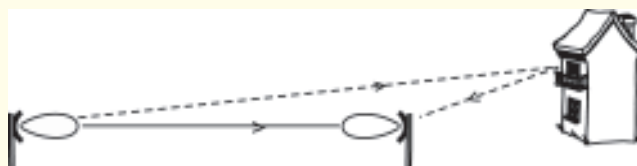
I digitala högkapacitetsradiolänkar kan man få breddning av avbrottet p g a att mottagarmodemet tappar synk. Digitala mobiltelesystem utnyttjar inte fasriktig detektering som behöver synkroniseras. Därför slipper man breddningen i trafikavbrottet.

Långa reflexer

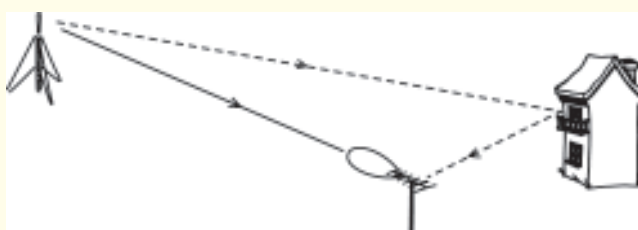
Långa reflexer gör att informationen kommer fram flera gånger men med så stor fördröjning att man uppfattar ekon.

I analoga system får man t ex skuggbild på TV.

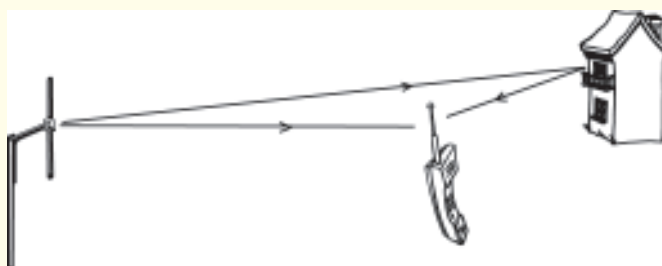
I digitala system går databitarna in i varandra, intersymbolinterferens (ISI).



Riktantenner ger skydd mot långa reflexer



Vid TV skyddar Yagi-antennen mot långa reflexer från sidorna och bakifrån.



Rundstrålande antenn: inget skydd mot långa reflexer vid analoga radiosystem (NMT mobiltelefoni, FM-rundradio)



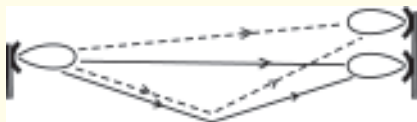
Kort reflex

Riktantenner ger inget skydd mot kort reflex



Frekvensdiversitet

Om man byter frekvens kanske inte huvudsignal och reflex hamnar i motfas



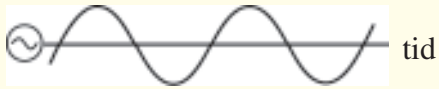
Rumsdiversitet

Om man flyttar på mottagarantennen kanske inte huvudsignal och reflex hamnar i motfas



Vinkeldiversitet

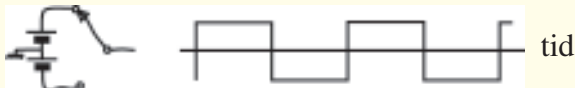
Med ett annat riktningsdiagram hos mottagarantennen kanske inte huvudsignal och reflex blir lika starka



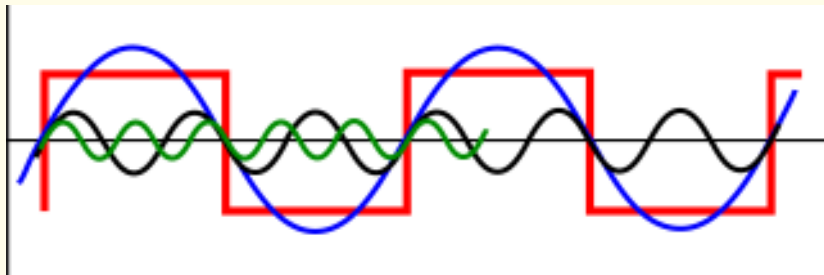
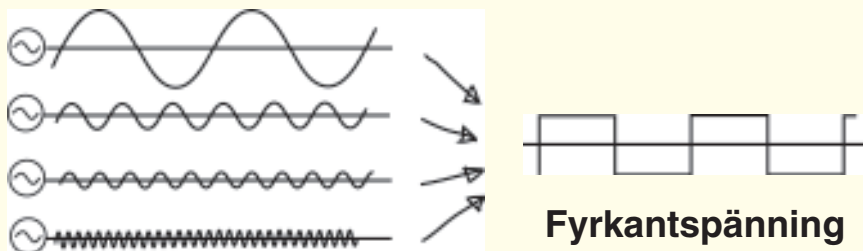
Sinusspänning – tidsaxel



Sinusspänning – frekvensaxel



Fyrkantspänning – tidsaxel

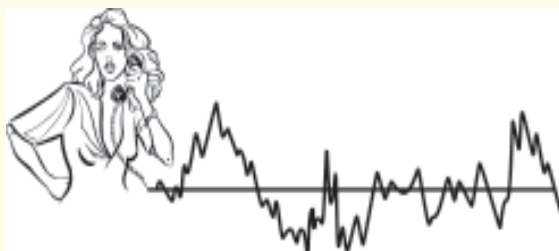


Fyrkantspänningen kan alstras genom att lägga ihop ett oändligt antal sinusspänningar med viss frekvens, amplitud och fas.

Två sätt att beskriva samma signal:



Fyrkantspänning i frekvensplanet.
Fyrkantspänningens
”frekvensspektrum”



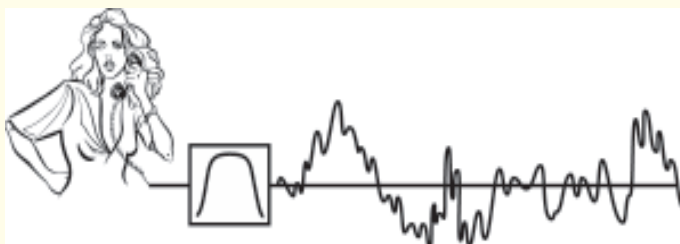
Talspänning från
mikrofonen i
tidplanet

Amplitud

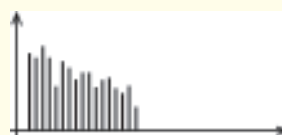


Talspänningens
frekvensspektrum

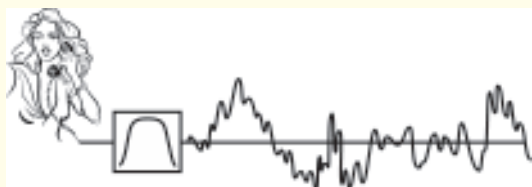
Växelspänning efter filtrering



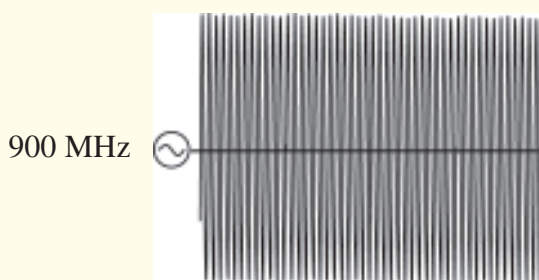
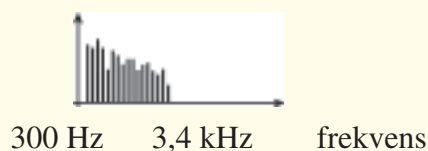
Talspänningen filtreras
300 Hz – 3400 Hz



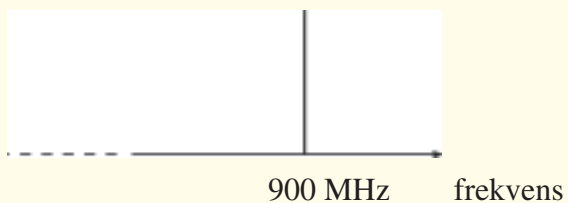
Frekvensspektrum efter
filtrering



Informationen -
nyttosignalen i
tidplanet och i
frekvensplanet

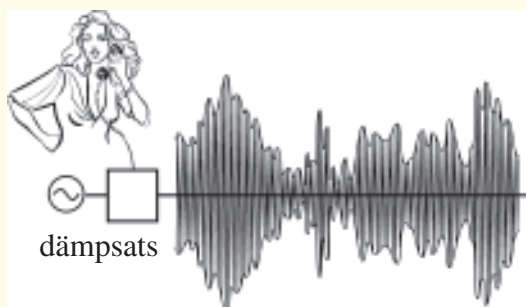


Radiosändaren i
tidplanet

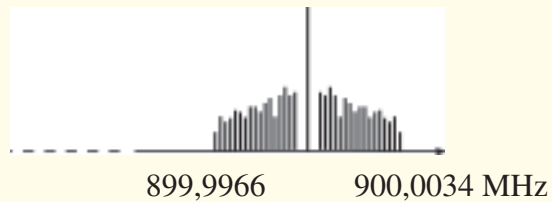


Radiosändaren i
frekvensplanet

AMPLITUDMODULERING



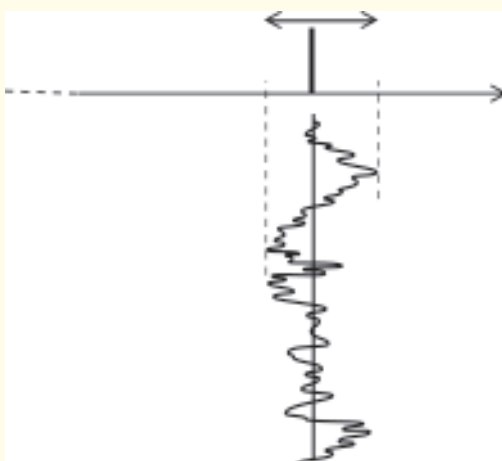
Bärvågens amplitud
ändras i takt med
talspänningen från
mikrofonen,
i tidplanet



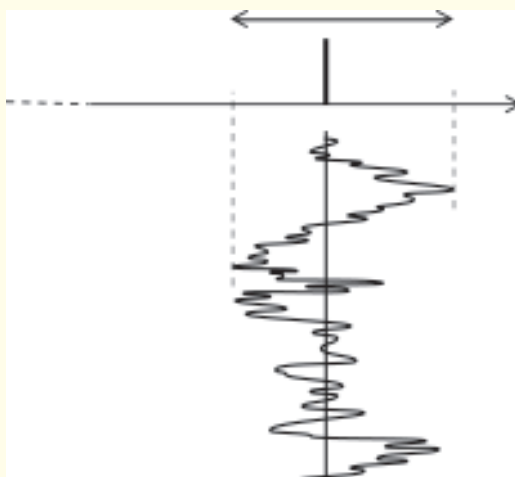
Amplitudmodulerade
bärvågens
frekvensspektrum

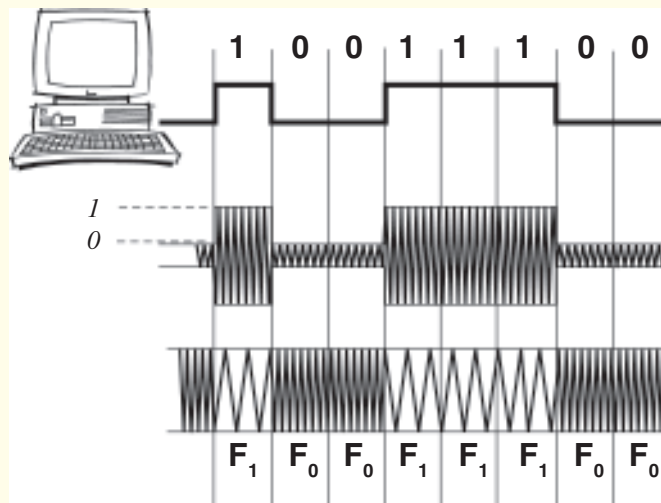
FREKVENSMODULERING

Bärvågens frekvens ändras i takt med talspänningen



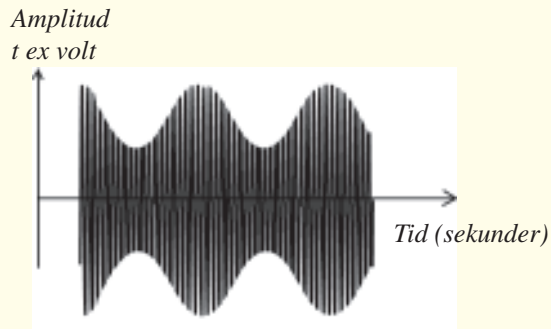
Större deviation ger brusfriare mottagning,
men belägger större frekvensutrymme



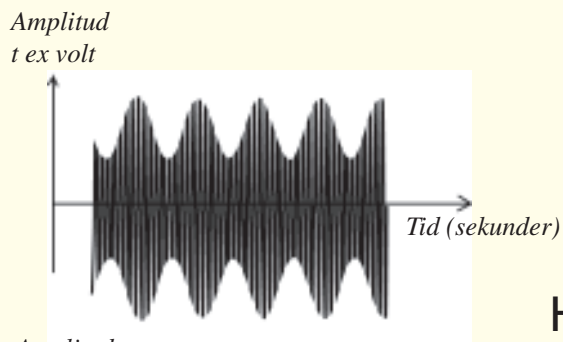
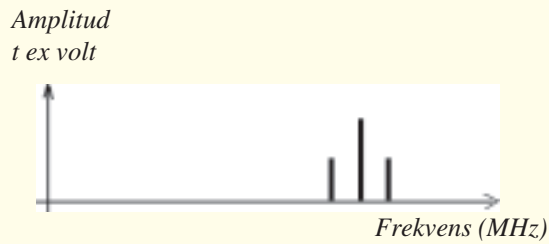


Bärvågens amplitud eller frekvens
ändras i takt med databitarna

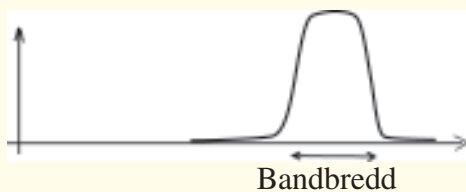
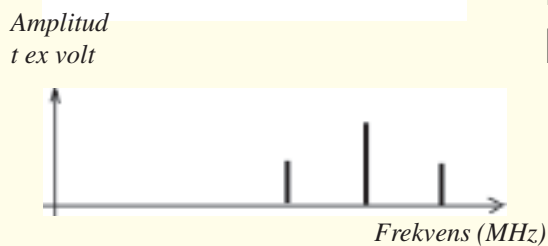
Signaleringshastighet mäts i baud
= symboler per sekund



Moduleringen kräver
bandbredd

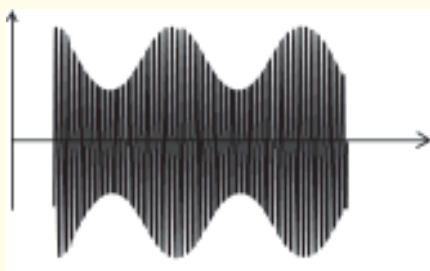


Hög signaleringshastighet
kräver stor bandbredd



Någonstans finns ett filter
som bara släpper igenom
viss bandbredd

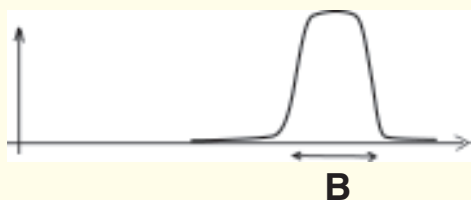
Den amplitudmodulerade signalen ändras av låg signaleringshastighet ...



... och får sidband som ligger nära bärvågen.



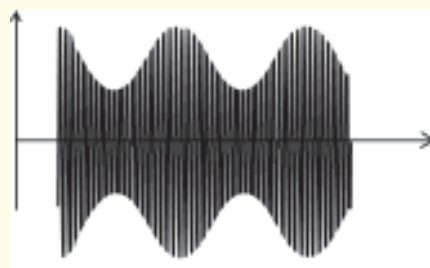
När denna signal matas in i filtret ...



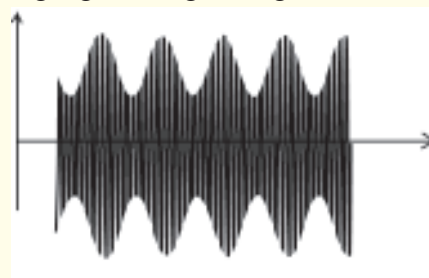
... kan såväl bärvåg som sidband passera.



Fram till mottagarens detektor kommer bärvågen modulerad med nyttsignalen.



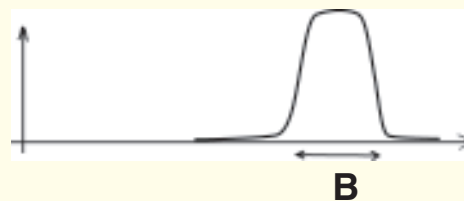
Den amplitudmodulerade signalen ändras av hög signaleringshastighet ...



... och får sidband som ligger långt från bärvågen.



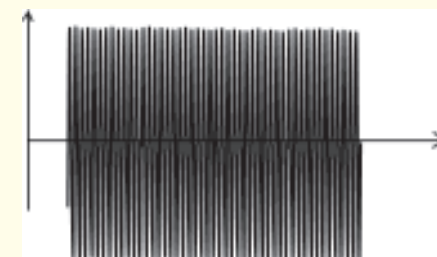
När denna signal matas in i filtret ...



... kan bara bärvågen passera.

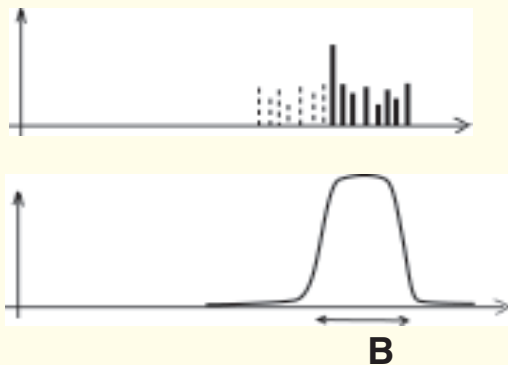


Fram till mottagarens detektor kommer bara bärvågen. Vi har förlorat nyttsignalen.





Bärvåg och två sidband
vid verklig dataöverföring

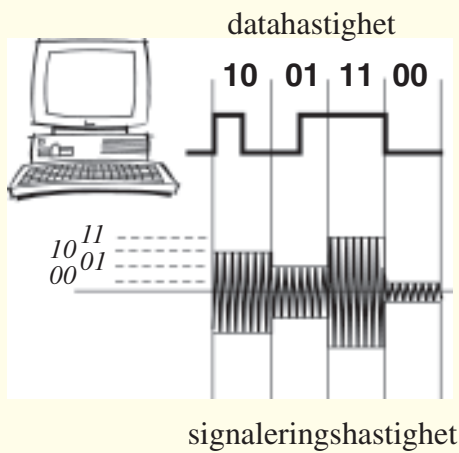


Vid amplitudmodulering
räcker att överföra ena
sidbandet

Hartleys lag

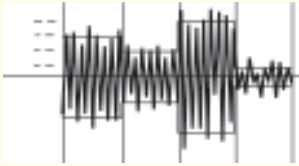
$$C[\text{baud}] = 2 \cdot B[\text{Hz}]$$

System:	Bandbredd:	Signaleringshastighet:
Telenätet	3,1 kHz	≈ 3,2 kbaud
Radiolänk	28 MHz	35 Mbaud
GSM	200 kHz	≈ 270 kbaud
D-AMPS	30 kHz	24,3 kbaud
PDC	25 kHz	21 kbaud
CT2	100 kHz	72 kbaud
DECT	1,728 MHz	1,152 Mbaud



Om radiosignalen kan se ut på fyra olika sätt kan två databitar överföras per symbol

2 utseenden	1	<i>Telefonmodem</i> 2400 Baud 2,4 kbit/s
	0	
4 utseenden	11	<i>Telefonmodem</i> 2400 Baud 4,8 kbit/s
	10	
	01	
	00	
8 utseenden	111	<i>Telefonmodem</i> 2400 Baud 7,2 kbit/s
	110	
	101	
	100	
	011	
	010	
	001	
	000	
16 utseenden	4 databitar/symbol	<i>Telefonmodem</i> 2400 Baud 9,6 kbit/s
32 utseenden	5 databitar/symbol	
64 utseenden	6 databitar/symbol	<i>Telefonmodem</i> 2400 Baud 14,4 kbit/s
128 utseenden	7 databitar/symbol	
256 utseenden	8 databitar/symbol	<i>Telefonmodem</i> 2400 Baud 19,6 kbit/s
512 utseenden	9 databitar/symbol	
1024 utseenden	10 databitar/symbol	



Bärvåg när den kommer fram till mottagaren



Mottagaren skall inte bara avgöra vilken nivå som avses ...



... mottagaren vet dessutom inte när sändaren växlar från en nivå till nästa.

Shannons lag

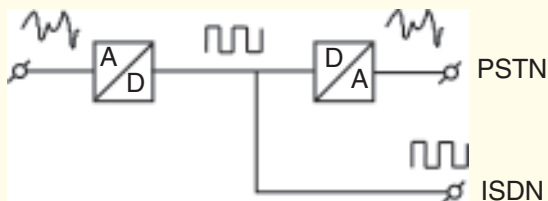
$$\text{Max bithastighet} = \frac{B \cdot \log \left(1 + \frac{S}{N} \right)}{\log 2}$$

B = transmissionskanalens bandbredd [Hz]

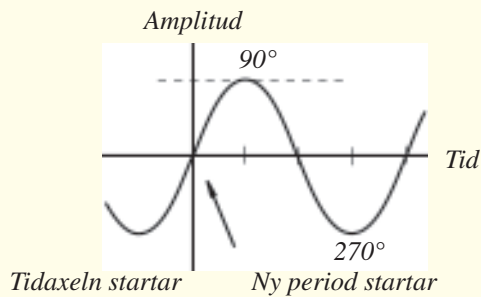
S/N = signal/brusförhållande (effekt-förhållande)



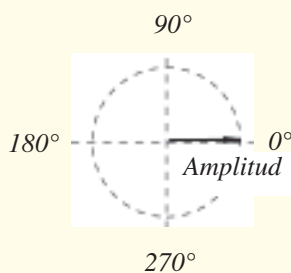
När modemsignalen når telefonstationen omvandlas den till en digital signal. Här sker ett avrundningsfel, som kallas kvantiseringsbrus eller kvantiseringsdistorsion. Det är detta "brus" som begränsar modemhastigheten i telenätet.



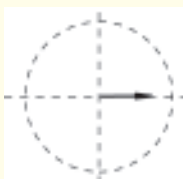
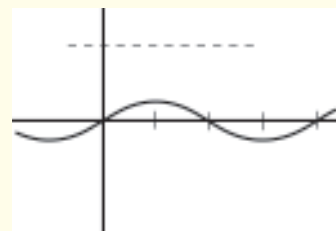
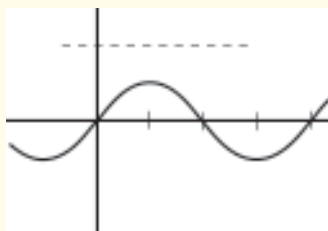
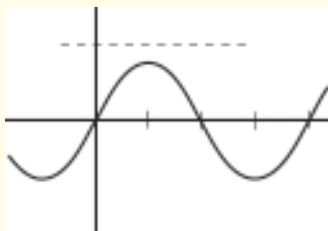
Vid 56 kbit/s-modem sker ingen omvandling från analog till digital signal. Sändande dator är ansluten direkt till digitala ISDN-nätet. Därför får man inget kvantiseringsbrus. Därför kan högre datahastighet överföras.



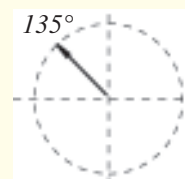
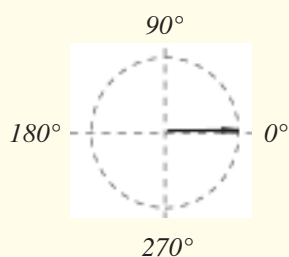
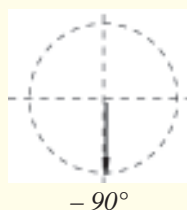
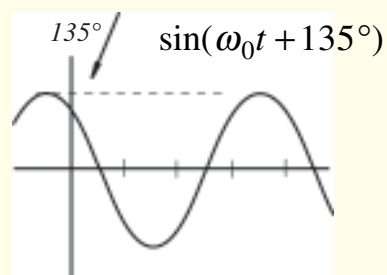
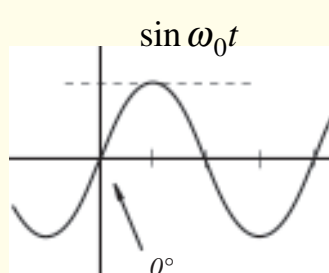
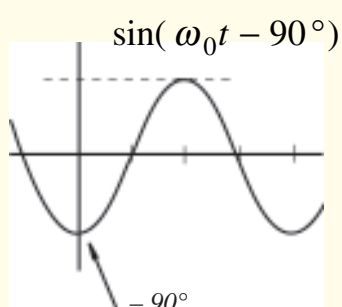
När växelspänningen börjar beskrivs av växelspänningens fasläge.



När växelspänningen visas som en spänningsvektor ser man amplitud och fasläge.



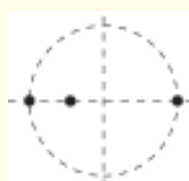
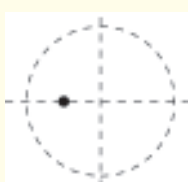
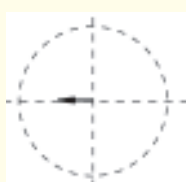
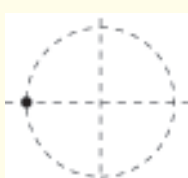
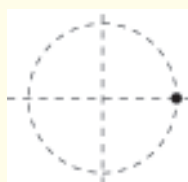
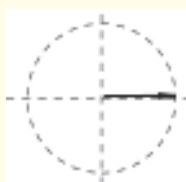
Växelspänningar med olika amplituder men samma fasläge.



Växelspänningar med samma amplitud
men olika faslägen.

$$A \sin(\omega_0 t \pm \varphi^\circ)$$

Fasmodulering

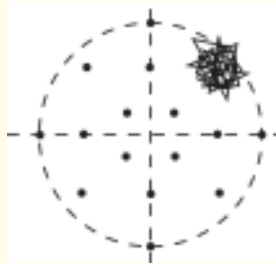


Dessa tre olika fas- och
amplitudlägen ...

... sammanfattas i en
bild, som punkter.

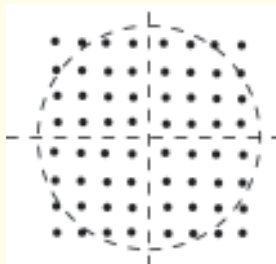


Spänningsvektorer som utgör de 16 olika utseendena vid telefonmodem 9,6 kbit/s (V.29)



Hur många punkter (hur tätt) beror på brusets storlek

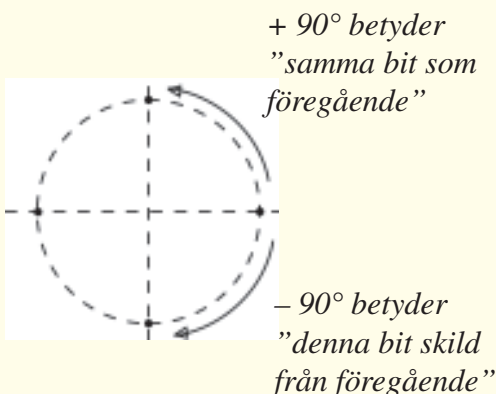
Mottagna signalen är brusig



Vid radiolänk är bruset lågt och man kan använda många olika utseenden på symbolen.

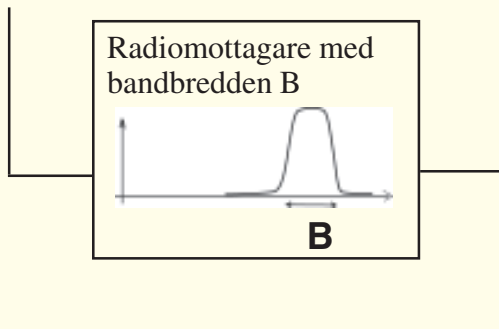
64 QAM

I GSM ligger informationen i vridningen för att vi skall slippa "exakt synkronisering".



GSM utnyttjar differentiell kodning. Alla datapaket inleds med 3 "nollor" så vi vet var vi börjar.

Bruskälla med
brustemperatur T



Bruseffekten $N = kTB$

N = bruseffekt [W]

k = Boltzmanns konstant $1,38 \cdot 10^{-23}$ [JK⁻¹]

T = temperatur i Kelvin

B = bandbredd [Hz]

Mottagarens
känslighet (förmåga
att uppfatta svaga
signaler) beror helt på
brusets styrka.

Brusets styrka
bestäms av
mottagarens
bandbredd.

$$P_m [\text{dBW}] = \frac{S}{N} [\text{dB}] + N_0 [\text{dBW}] + 10 \log B [\text{Hz}]$$

Mottagarkänsligheten beror av S/N,
brustätheten och bandbredden

$$P_m [\text{dBW}] = 18 - 204 + 10 + 10 \log 16 \cdot 10^3$$

$$P_m [\text{dBW}] = -134 [\text{dBW}]$$

NMT mobiltelefoni har
låg bandbredd och får
hög känslighet.

$$P_m [\text{dBW}] = 30 - 204 + 10 + 10 \log 200 \cdot 10^3$$

$$P_m [\text{dBW}] = -111 [\text{dBW}]$$

FM-rundradio har
större bandbredd och
får sämre känslighet.

$$P_m [\text{dBW}] = 30 - 204 + 5 + 10 \log 5,5 \cdot 10^6$$

$$P_m [\text{dBW}] = -101,6 [\text{dBW}]$$

TV har stor band-
bredd och får låg
känslighet.

$$P_m[\text{dBW}] = \frac{C}{I}[\text{dB}] - 204 + F[\text{dB}] + 10\log B[\text{Hz}]$$

Även vid digital kommunikation beror känsligheten på bandbredden ...

... men eftersom bandbredden beror på symbolhastigheten

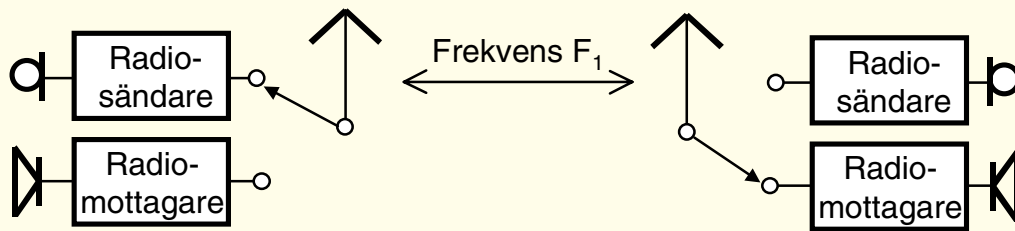
... och symbolhastigheten beror på datahastigheten och bruset,

kan känsligheten uttryckas direkt som funktion av datahastigheten.

$$P_m[\text{dBW}] = \frac{E_b}{N_0}[\text{dB}] - 204 + F[\text{dB}] + 10\log R[\text{b/s}]$$

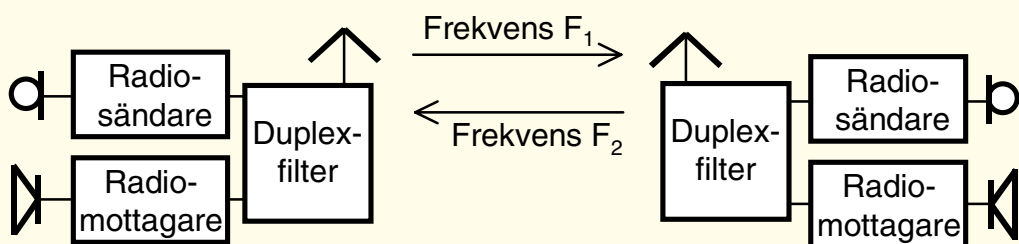
Hög datahastighet innebär alltid sämre mottagarkänslighet ...

... och då behövs högre sändareffekt för samma räckvidd.



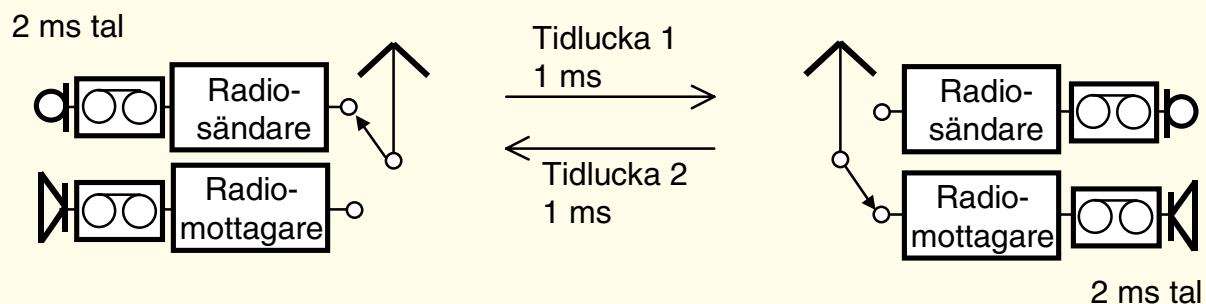
PRIVATRADIO:

Vid SIMPLEX sänder en i taget. Det räcker med en frekvenslucka.

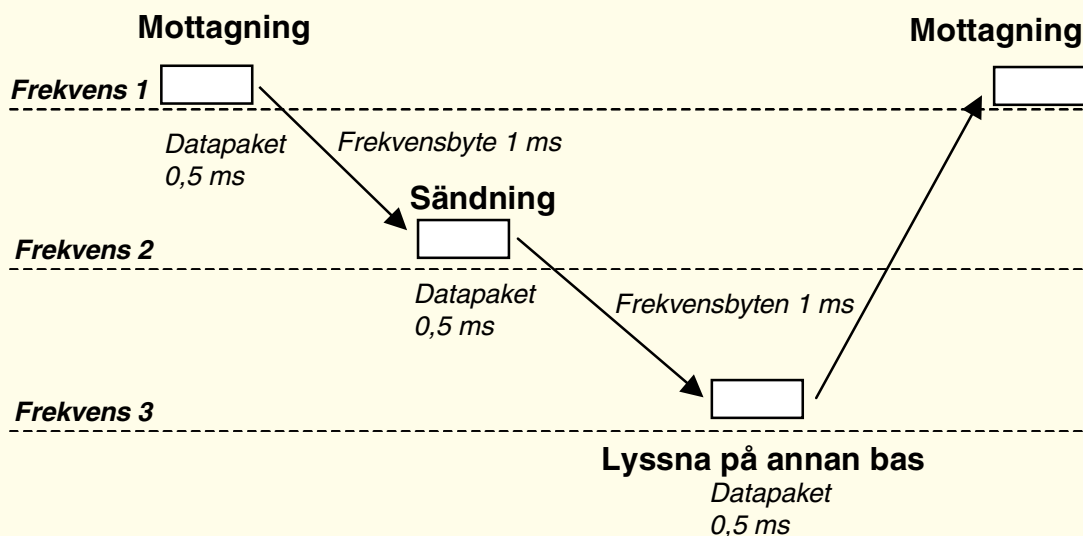


MOBILTELEFONI (NMT):

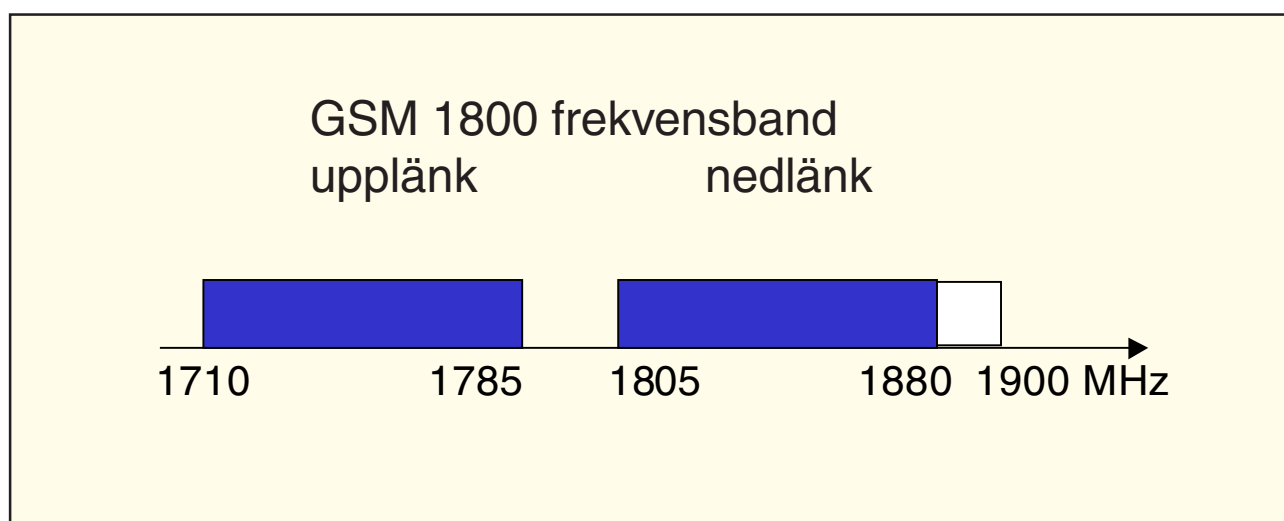
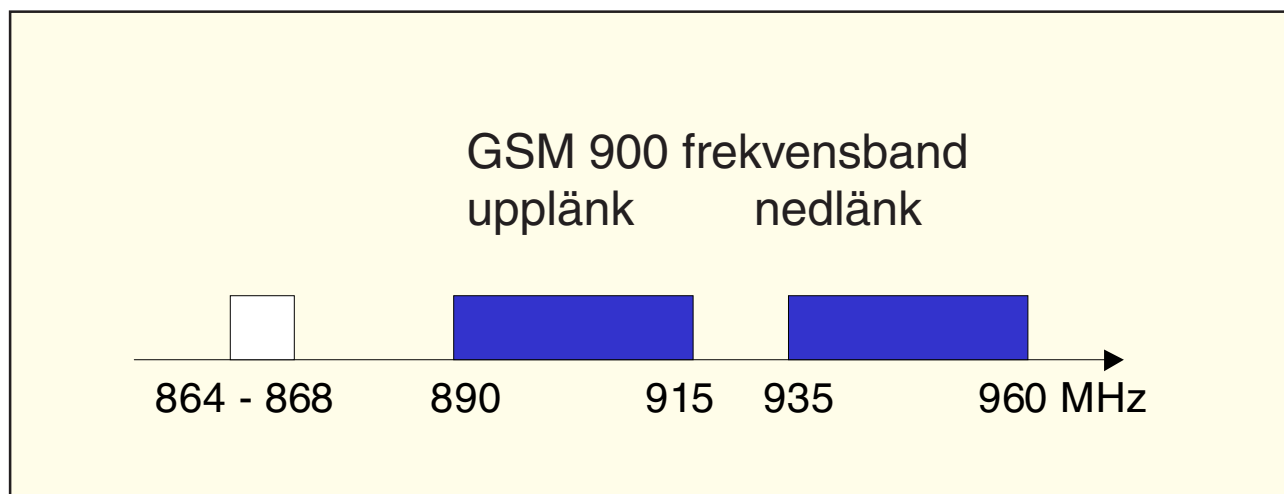
Båda skall kunna prata och lyssna samtidigt. Det behövs två frekvensluckor.



Om man spelar in talet på bandspelare, backar bandet och spelar upp med dubbla hastigheten ...
 ... då räcker en frekvenslucka
 ... men man får två TIDLUCKOR



GSM utnyttjar två frekvensluckor
 ... uppdelningen i tidluckor utnyttjas för att kunna ha
 flera samtidigt telefonsamtal på varje frekvenslucka.



Talkodare för mobiltelefoni skall ha låg bithastighet.

Dessutom krävs:

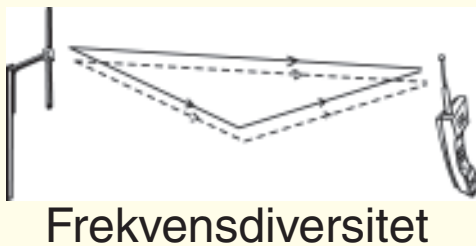
- God grundkvalitet för den avsedda talsignalen (god talkvalitet vid felfri bitöverföring)
- Robust mot bitfel (skall klara enstaka bitfel/skurfel utan att "helt balla ur")
- Robust mot bakgrundsstörningar (skall klara bakgrundsljud, flera som pratar, musik m m utan att spåra ur)
- Låg fördröjning (så det inte låter som satellitsamtal)
- Låg komplexitet (många programinstruktioner slukar energi, "drar ström")

Egentligen skulle man behöva hög bithastighet för att klara detta.

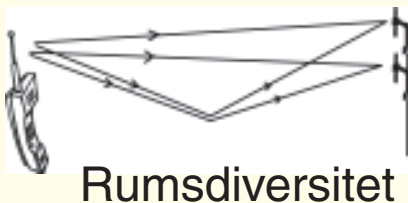
System:	Kodningsteknik	datahastighet
Telenätet	PCM	64 kbit/s
CT2	ADPCM	32 kbit/s
DECT	ADPCM	32 kbit/s
GSM	RPE-LTP (RELTP)	13 kbit/s
D-AMPS	VSELP (CELP)	7,95 kbit/s
PDC	VSELP (CELP)	6,7 kbit/s



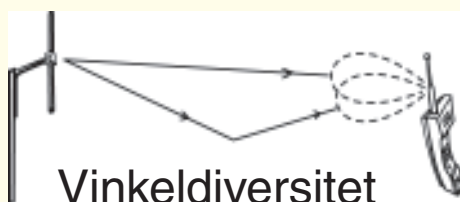
Vilka möjligheter finns att skydda sig mot kort reflex?



GSM byter frekvenslucka efter varje datapaket. Då minskar risken att få bitfel i flera på varandra följande datapaket.

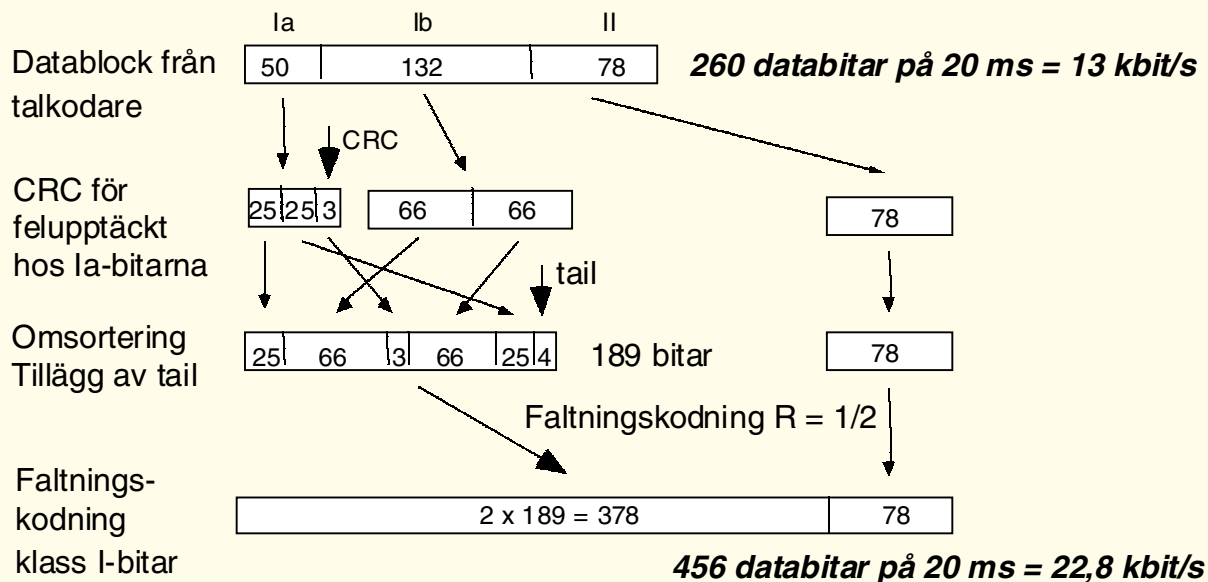


GSM utnyttjar rumsdiversitet, dubbla mottagarantennerna, på basstationen.

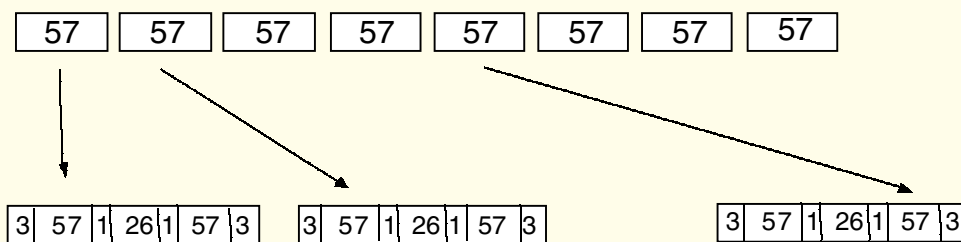


Japanska PDC har dubbla mottagarantennerna på ficktelefonen.

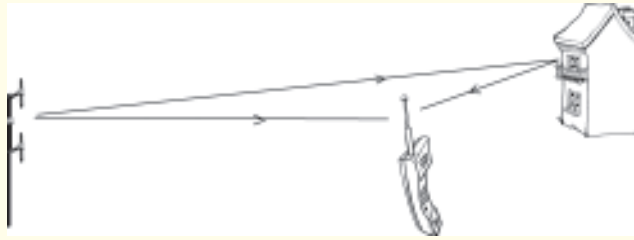
Kanalkodning i GSM



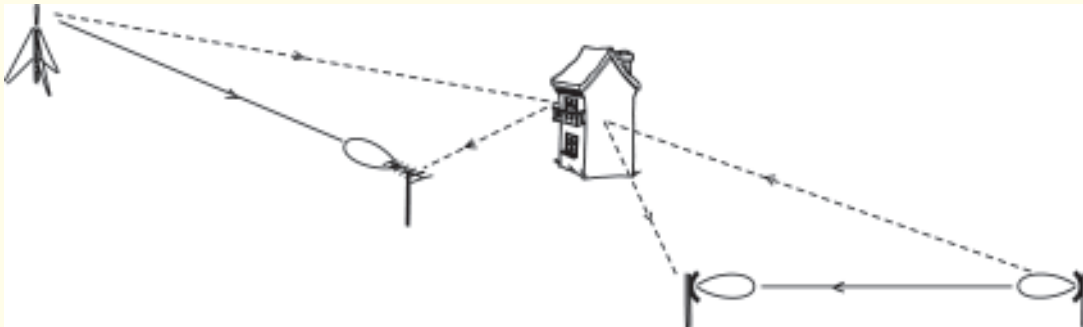
456 databitar "interleavade" i 8 datapaket ...



... som sprids ut på 8 tidluckor (ca 40 ms)



Lång reflex ger intersymbolinterferens



Riktantenn skyddar mot lång reflex vid TV och radiolänk

Ficktelefonen är för liten. Man får inte plats med riktantenn. Därför används en "utjämnare"

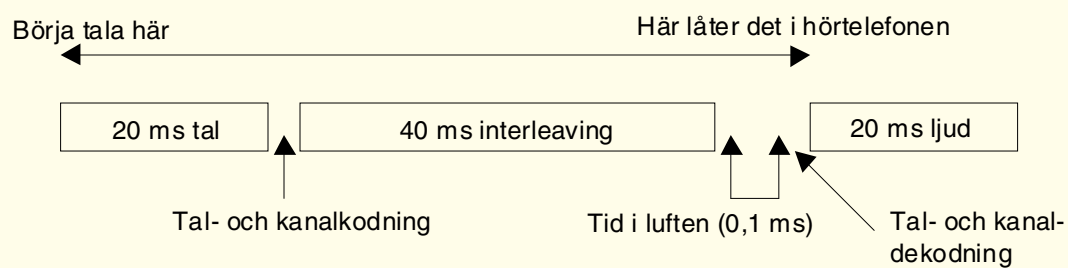
Lärsekvens



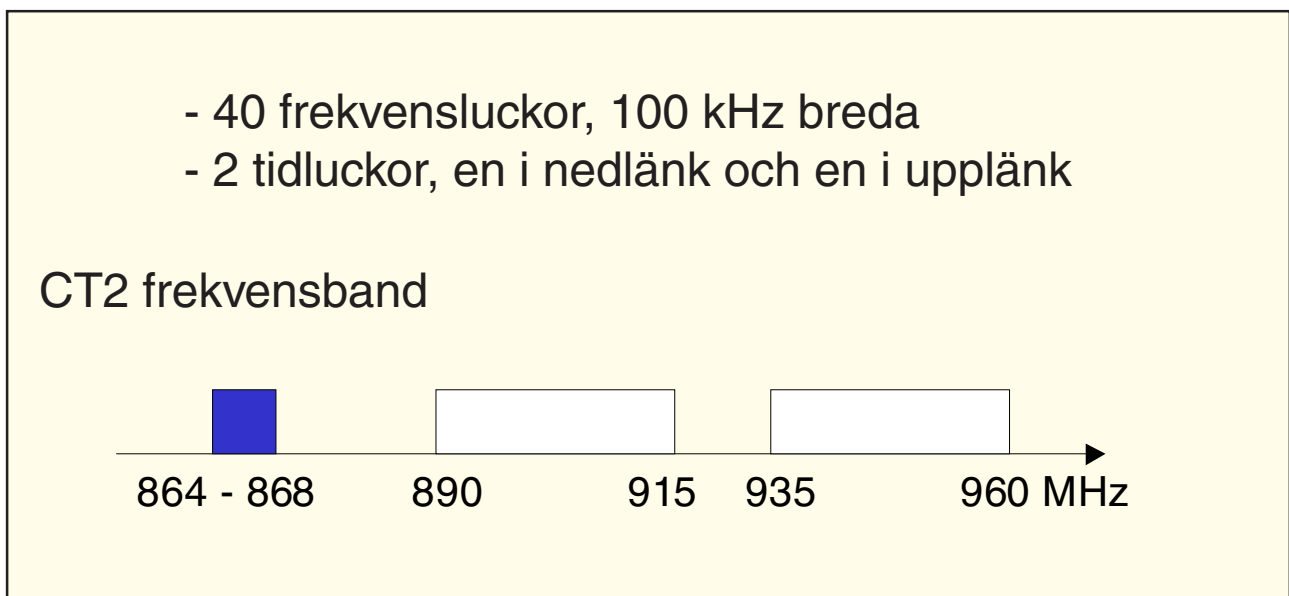
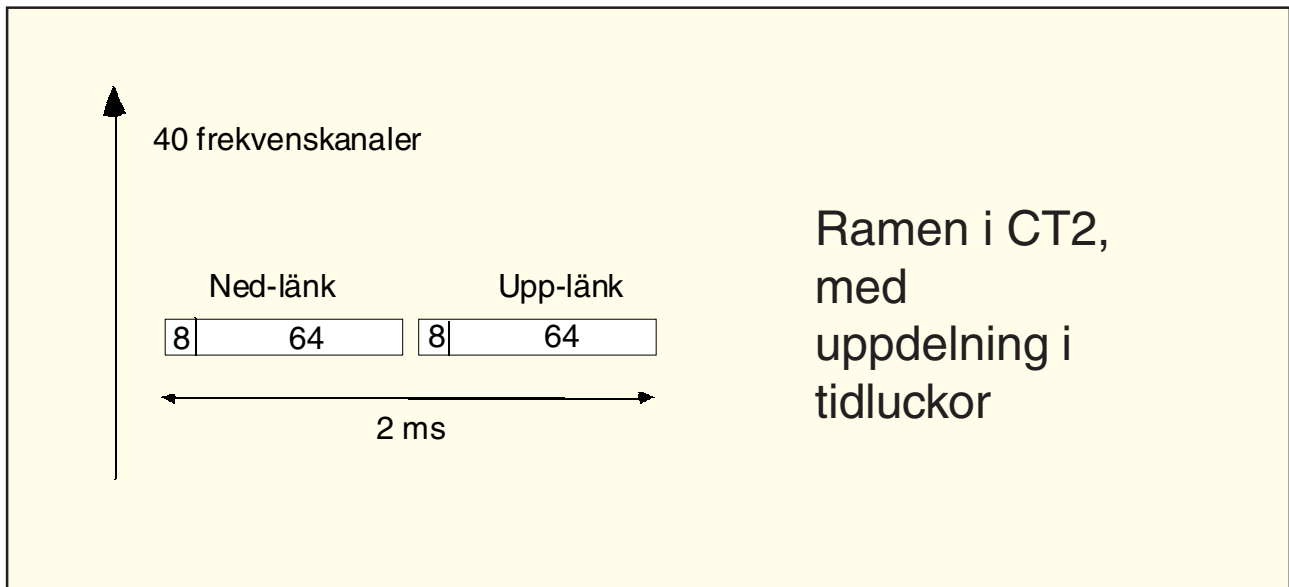
3	57	1	26	1	57	3
---	----	---	----	---	----	---

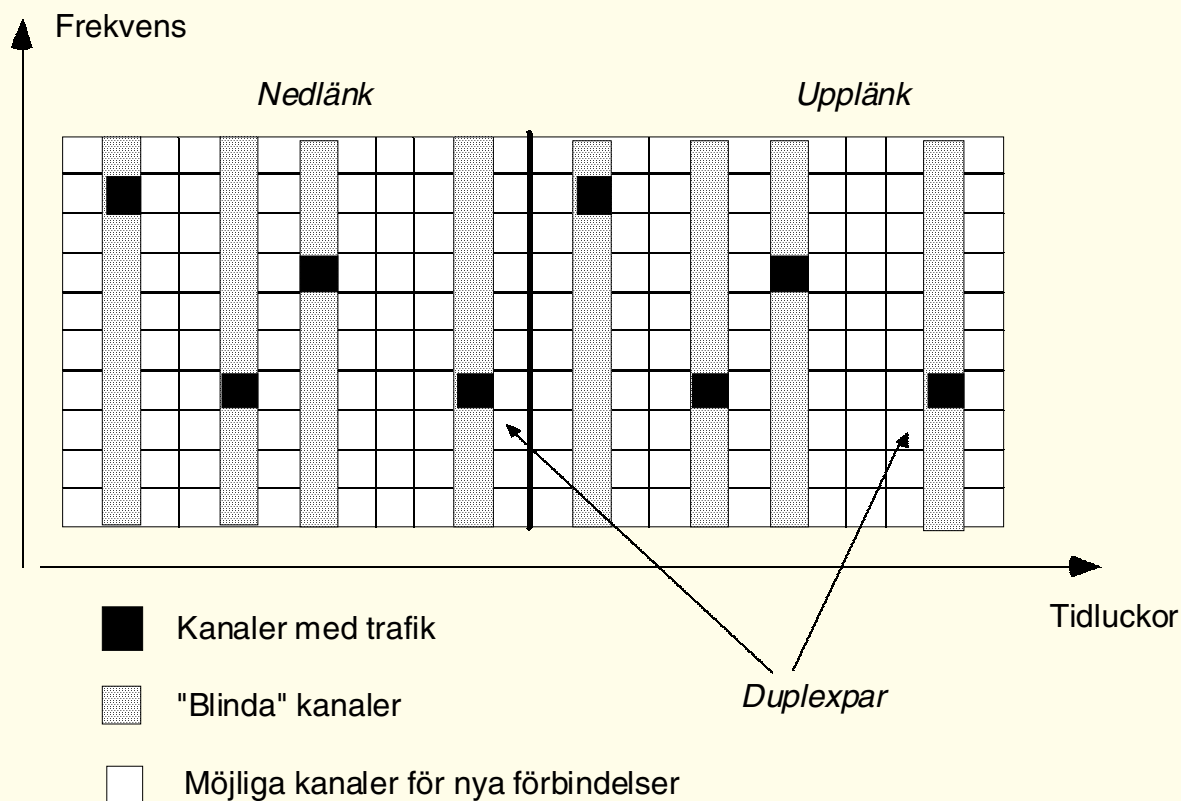
GSM-mottagaren "lär sig" hur ettor och nollor ser ut när de "går in i varandra"

	CT2	DECT	GSM	D-AMPS	PDC
Frekvensband (MHz):	864-868	1880-1900	890-915 935-960 1710-1785 1805-1880	824-849 869-894	810-826 940-956 1429-1441 1477-1489 1453-1465 1501-1513
Kanaldelning (kHz) Antal frekvenskanaler	100 40	1728 10	200	30	25
Uteffekt Medeleffekt	10 mW 5 mW	250 mW 10 mW	20 mW-2 W max 250 mW		
Duplex-metod	TDD	TDD	FDD	FDD	FDD
Multiple Access-metod	FDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA
Bithastighet, radiokanalen (kbit/s)	72	1152	271	48,6	42
TDMA-ram (ms)	2	10	4,615	20 (40)	20
Antal tidluckor/kanaler	2/1	24/12	8	3 (6)	3
Tidlucka (ms)	1	0,417	0,577	6,67	6,67
Talkodning Bithastighet (kbit/s)	ADPCM 32	ADPCM 32	RPE-LTP 13	VSLEP 7,95	VSLEP 6,7
Kanalkodad bithastighet (kbit/s)	—	—	22,8 (28)	13	11,2
Modulering	GFSK	GFSK	GMSK	p/4-DQPSK	p/4-DQPSK
Interleavingdjup (ms)	—	—	40	40	40



Talfördröjning i GSM, ADC och PDC

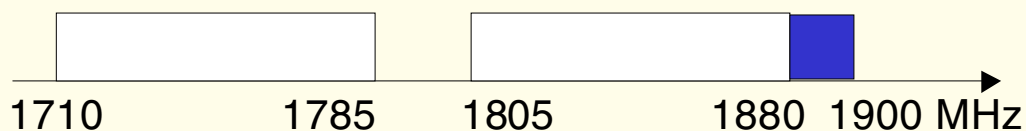


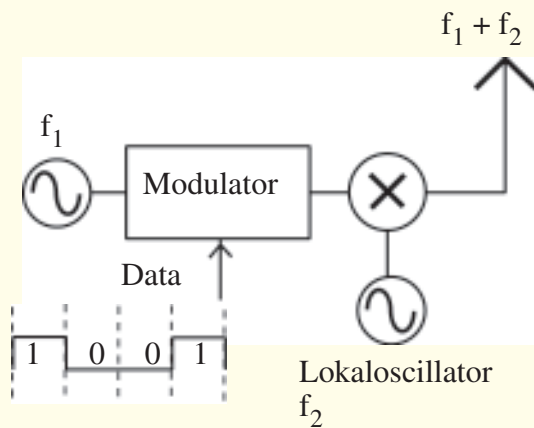


Tidluckorna i DECT

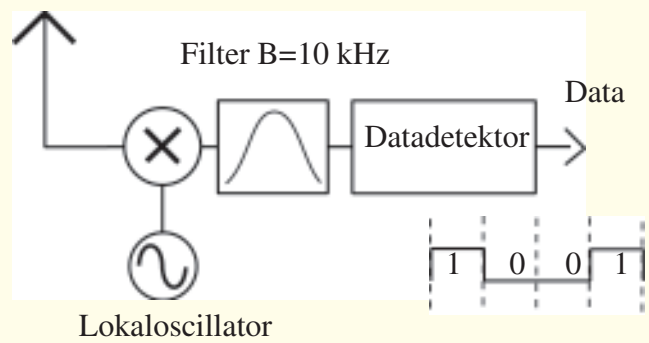
- 10 frekvensluckor, 1728 kHz breda
- 24 tidluckor, 12 i nedlänk och 12 i upplänk
- Ficktelefonen beordrar tidlucke- och frekvensbyte

DECT frekvensband

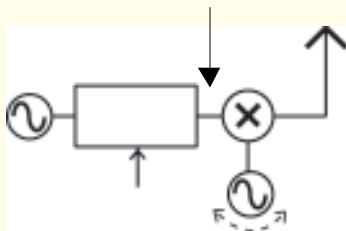




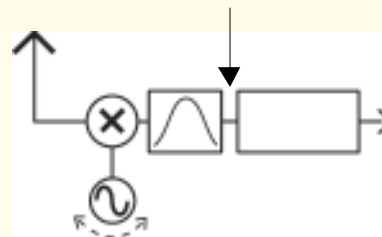
Sändarsignalen "blandas" till önskad sändningsfrekvens



Antennsignalen "blandas" till filterfrekvensen



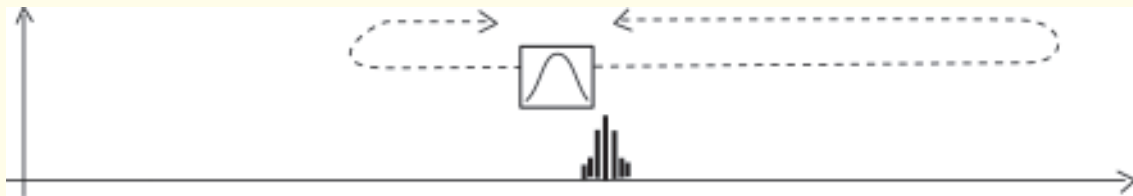
Vrid frekvensratten fram och tillbaka flera gånger under en databit



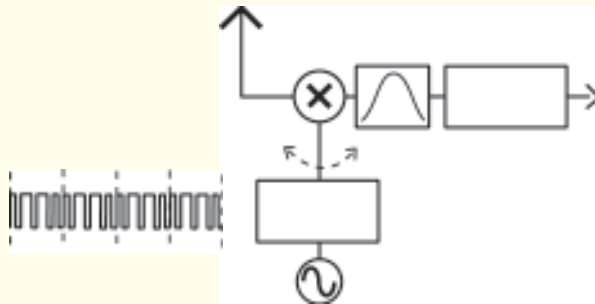
Vrid frekvensratten i takt med sändarens frekvensändring

Bredbandig sändning av en smalbandig signal

- Skydd mot korta reflexer (varje databit sprids ut över en bred frekvenslucka)
- Skydd mot långa reflexer (när ekot kommer fram har mottagaren bytt frekvens)
- Skydd mot smalbandiga störande signaler inom frekvensluckan



Störande signal kommer inte så ofta in genom filtret



Spridningssignal med hög bithastighet styr frekvensändringen via en modulator

Datasignal

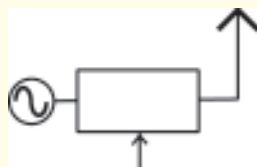


Spridnings-signal



Datasignal och spridningssignal kan kombineras före modulatorens ...

Spridnings-och data-signal



... och använda samma modulator.

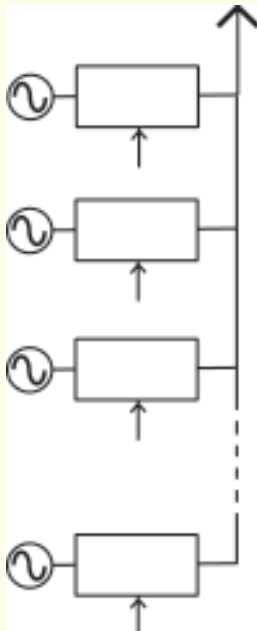


Spridnings-och data-signal

DS-CDMA

Direkt Sekvens CDMA

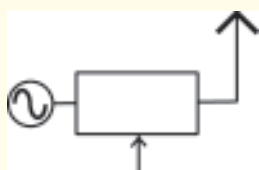
DAB (Digital audio broadcast)



I stället för att göra så här:

- 1536 samtidiga sändare
- 1550 bit/s
- 770 baud (1,3 ms)
- skyddslucka på 246 us mellan varje symbol (74 km)

1536 sändare



... gör så här:

- Beräkna frekvensspektrum för var och en av de 1536 sändarna
- Lägg ihop alla frekvenskomponenter
- Räkna baklänges hur den signal skall se ut på tidsaxeln som ger samma frekvensspektrum
- Modulera en sändare med denna signal