

MTA (1956 – 1969): Världens första helautomatiska mobiltelefonsystem, med 125 abonnenter i Stockholm och Göteborg

MTB (1965 – 1983): Efterföljaren till MTA med sammanlagt 660 abonnenter, i Stockholm, Göteborg och Malmö

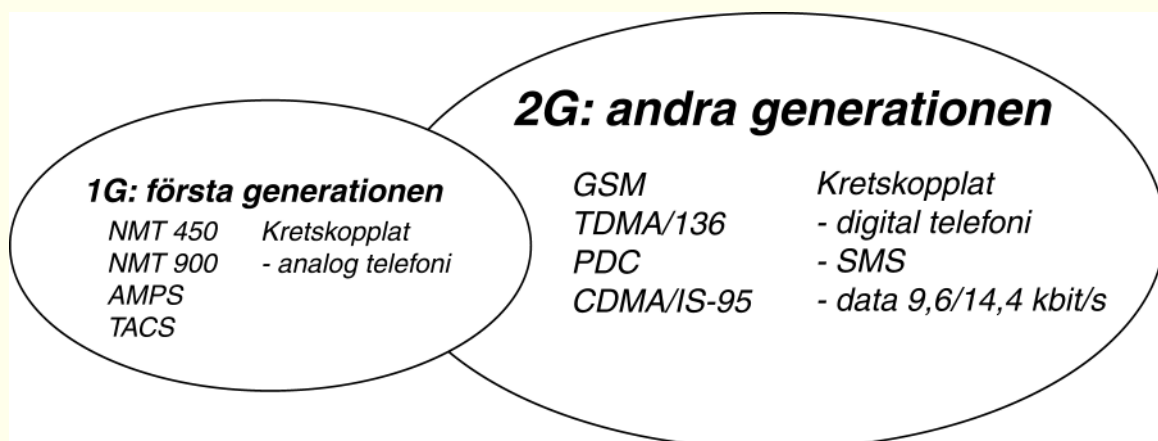
Privata manuella mobiltelenät (1964 – 1980): Hade 1969 ungefär 1500 abonnenter fördelade på 95 basstationer över hela landet

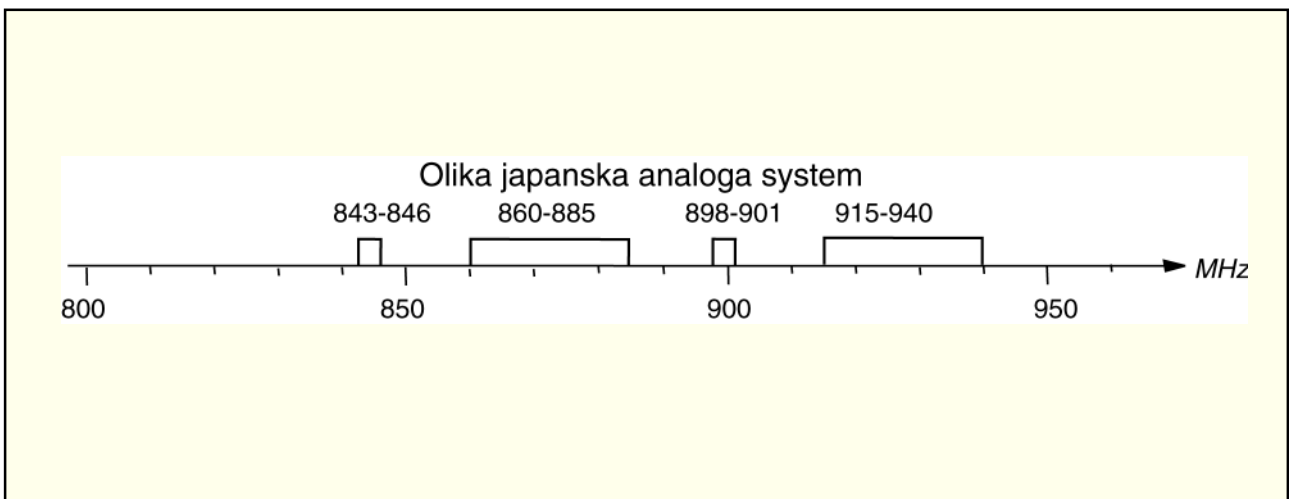
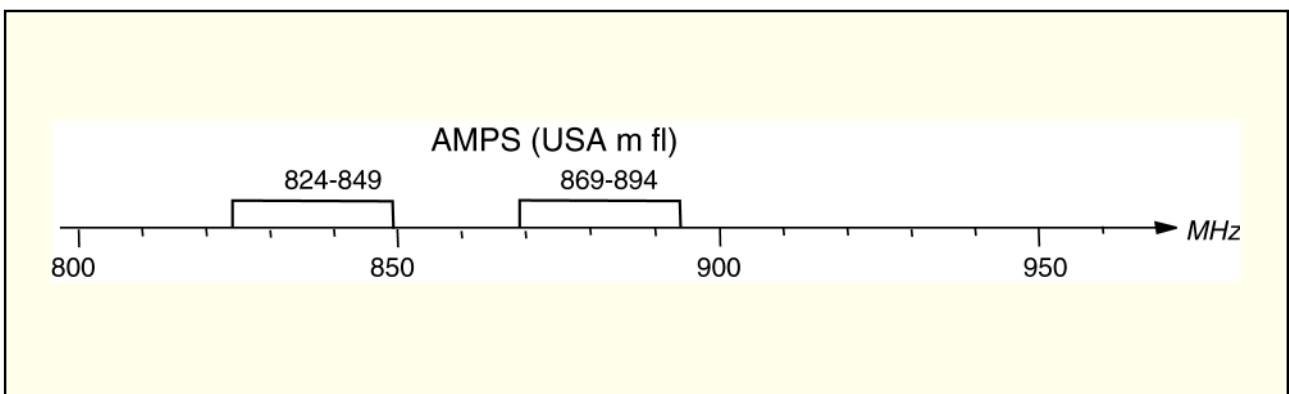
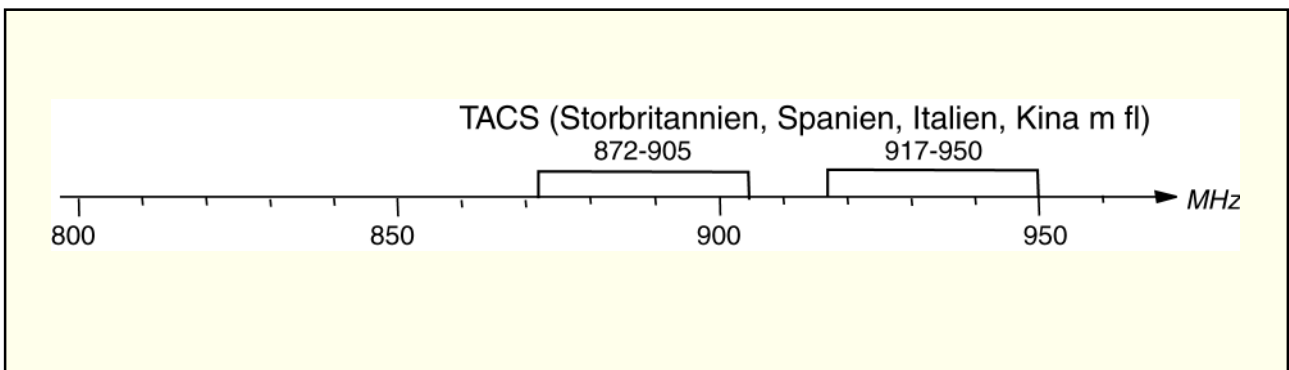
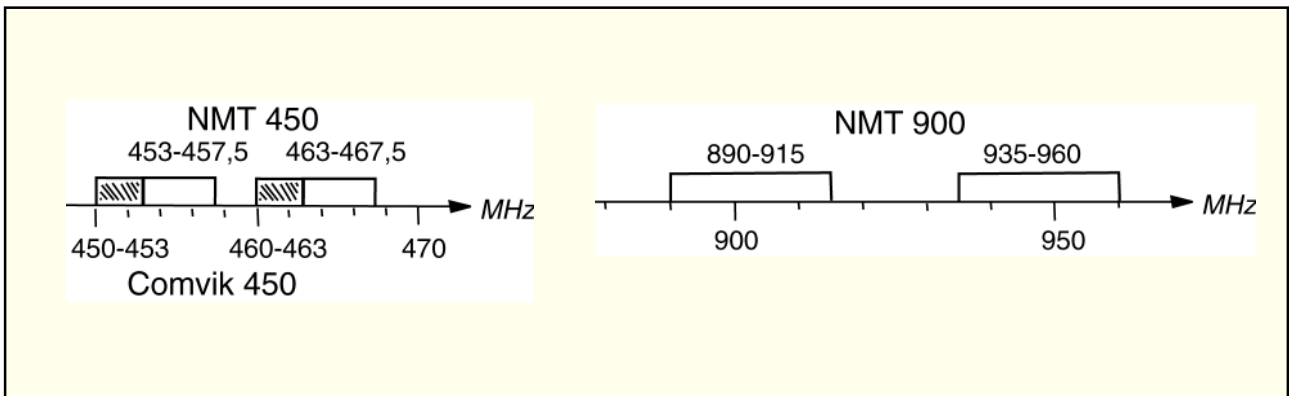
MTD (1970 – 1987): Televerkets manuella mobiltelenät för att konkurrera med de privata mobiltelenäten. MTD hade som max 19 500 abonnenter 1981

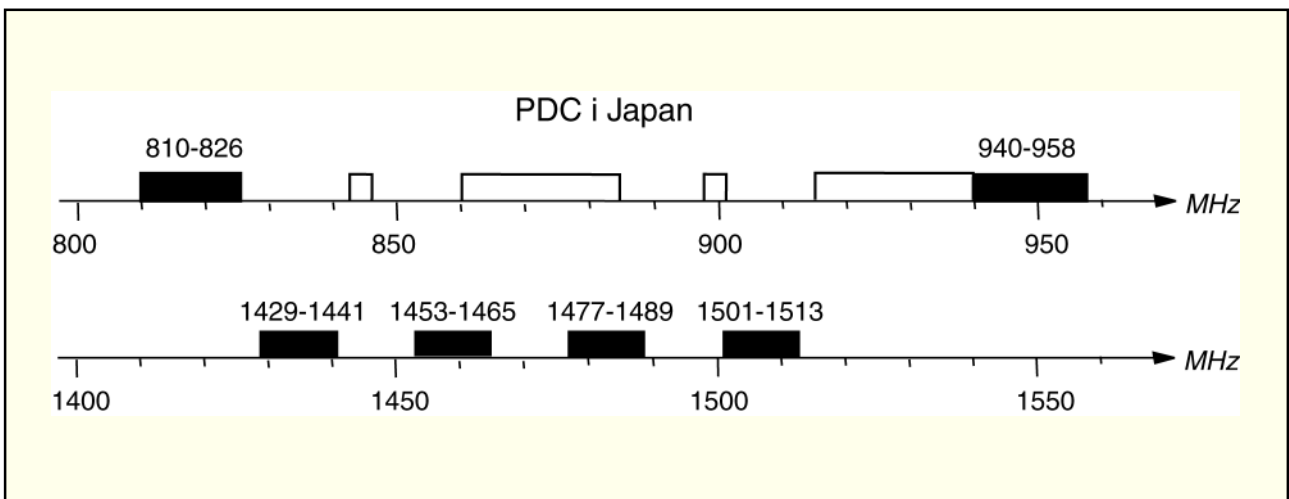
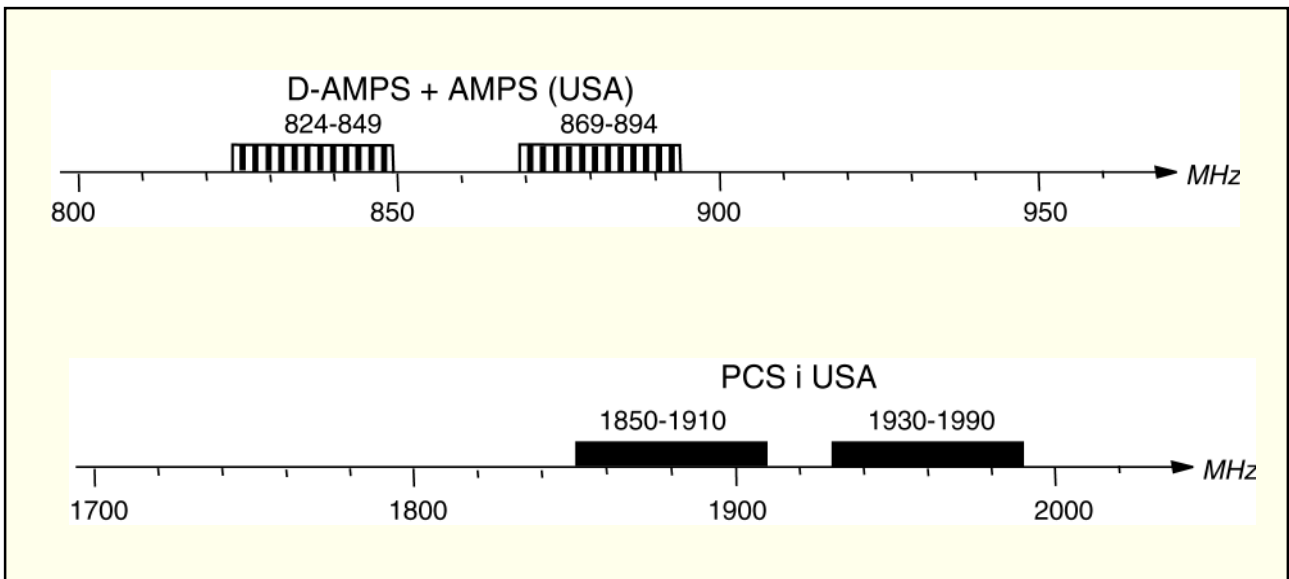
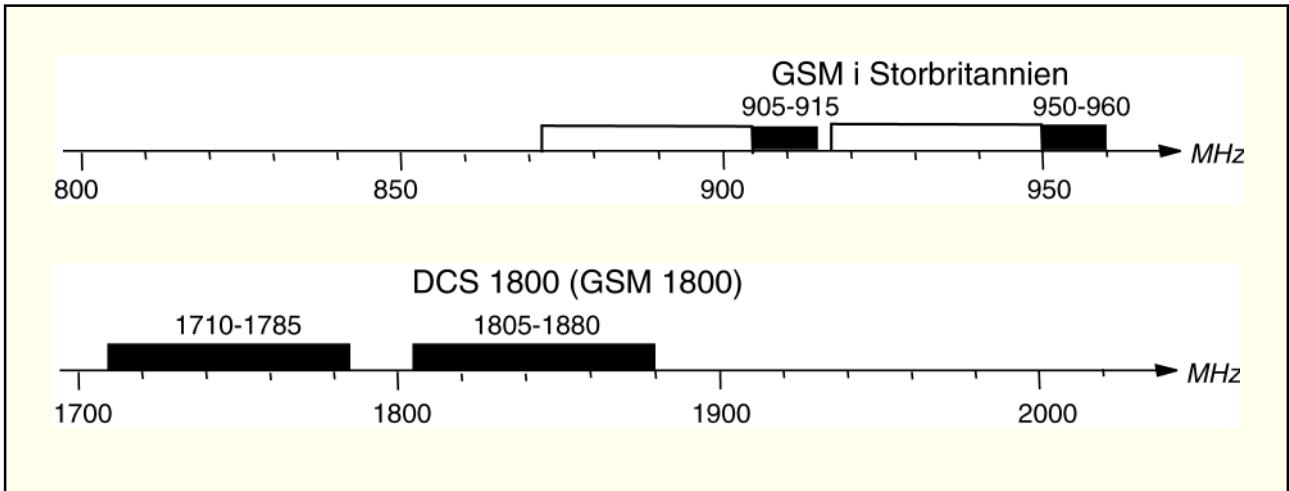
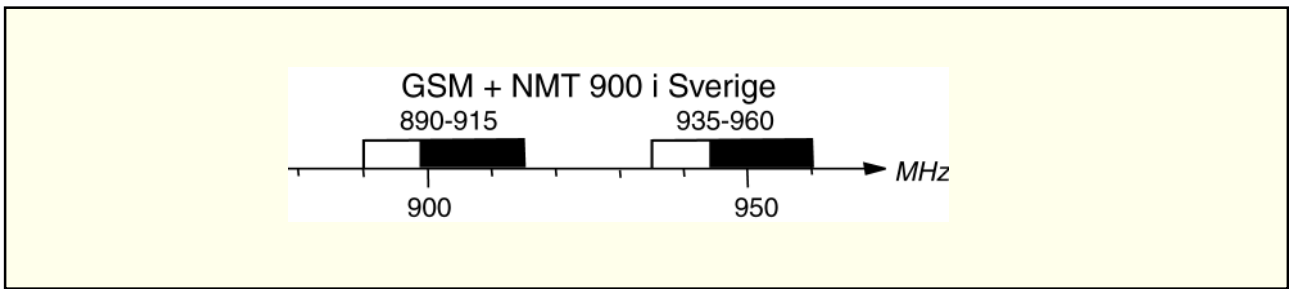
Comvik 450 (augusti 1981 – mars 1996): Helautomatiskt rikstäckande privat mobiltelenät

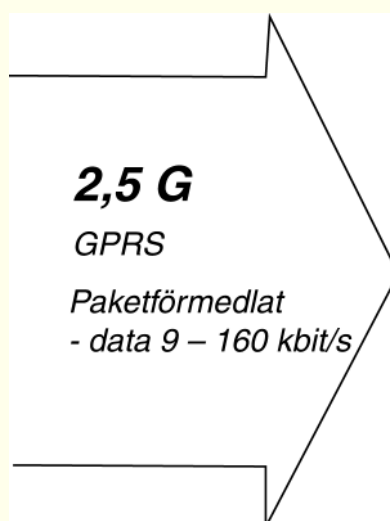
NMT 450 (oktober 1981 –): Televerkets rikstäckande helautomatiska mobiltelenät

NMT 900 (december 1986 – 31 december 2000): Televerkets NMT-nät på GSM-frekvenserna, i väntan på GSM







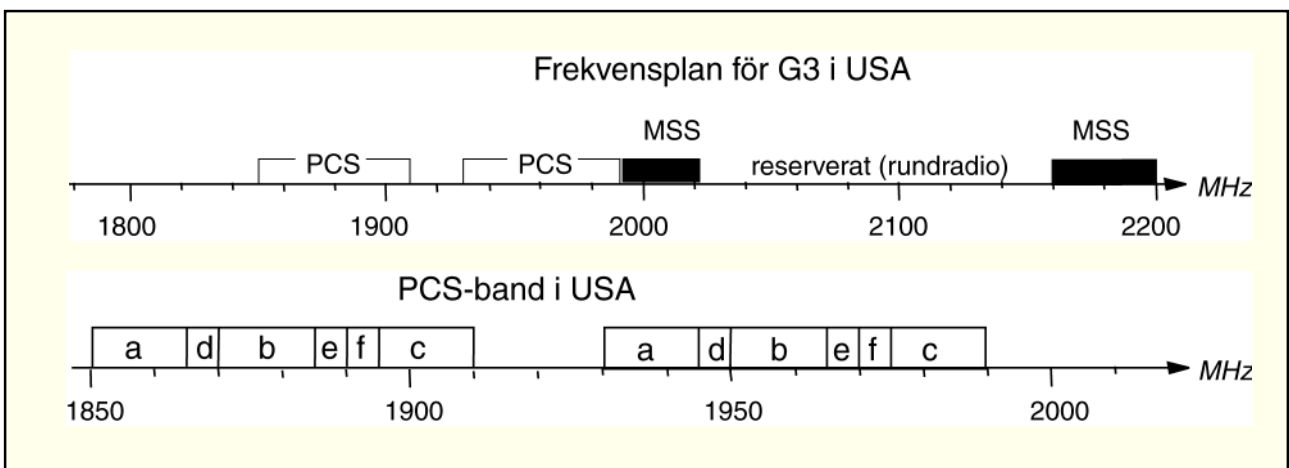
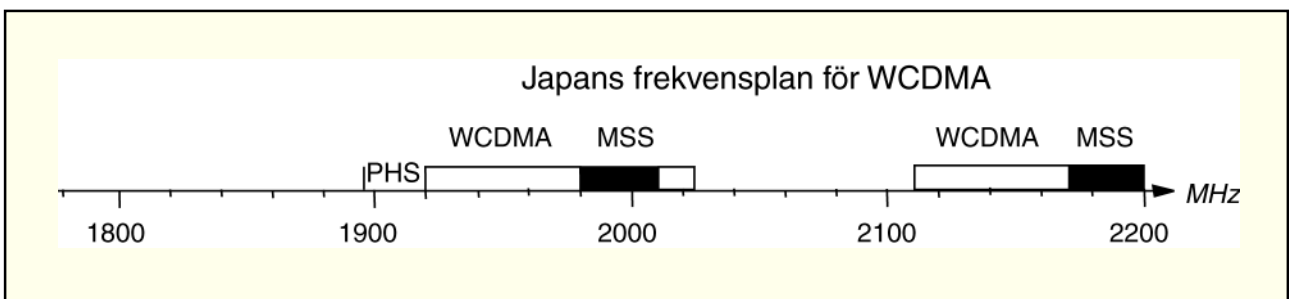
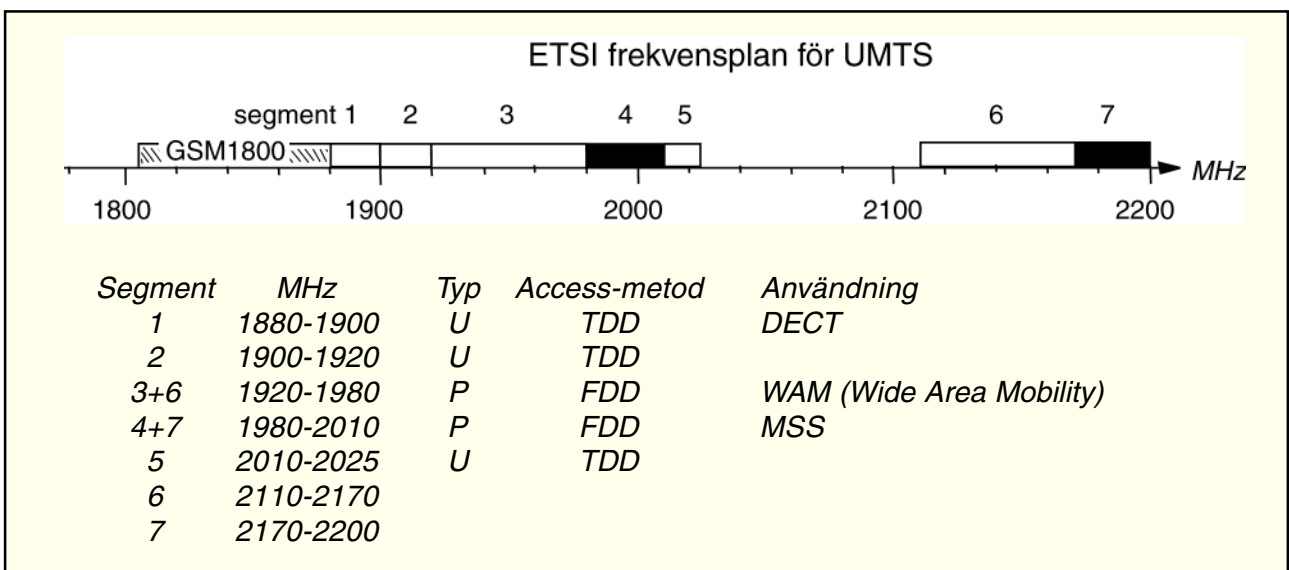
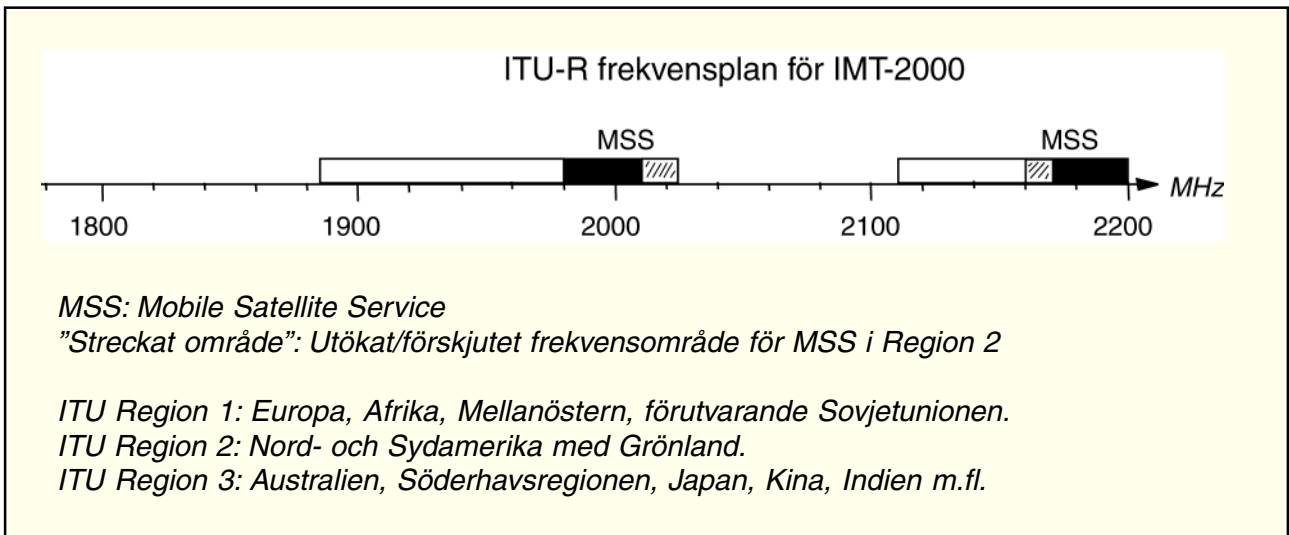


3G, tredje generationens mobiltelesystem

IMT-2000 minimiprestanda

Minimiprestanda för IMT-2000 är specificerade till följande:

- Inomhus, t.ex. kontorsmiljö, skall datahastigheten uppgå till 2 Mbit/s vid en bitfelshalt BER (Bit Error Rate) på 10^{-6} .
- Utomhus eller inomhus, när man är fotgängare, skall datahastigheten uppgå till 384 kbit/s vid BER som ovan.
- När man befinner sig i fordon i rörelse skall bit-hastigheten uppgå till 144 kbit/s vid BER som ovan.
- Vid kommunikation via satellit skall bit-hastigheten uppgå till 9,6 kbit/s vid BER som ovan.



GSM 450

- 450,4 – 457,6 MHz upplänk
- 460,4 – 467,6 MHz nedlänk

GSM 480

- 478,8 – 486 MHz upplänk
- 488,8 – 496 MHz nedlänk

GSM 850

- 824 – 849 MHz upplänk
- 869 – 894 MHz nedlänk

GSM 900, P-GSM

Standard GSM 900, eller primary GSM 900 (P-GSM).

- 890 – 915 MHz upplänk
- 935 – 960 MHz nedlänk

Utvidgat GSM 900, E-GSM

Utvidgat GSM-band, extended GSM 900 (E-GSM) är P-GSM som utvidgas 10 MHz nedåt i frekvens.

- 880 – 915 MHz upplänk
- 925 – 960 MHz nedlänk

Railways GSM 900, R-GSM

- 876 – 915 MHz upplänk
- 921 – 960 MHz nedlänk

DCS 1800

I ETSI:s egna publikationer, ser man ofta beteckningen GSM 1800.

- 1710 – 1785 MHz upplänk
- 1805 – 1880 MHz nedlänk

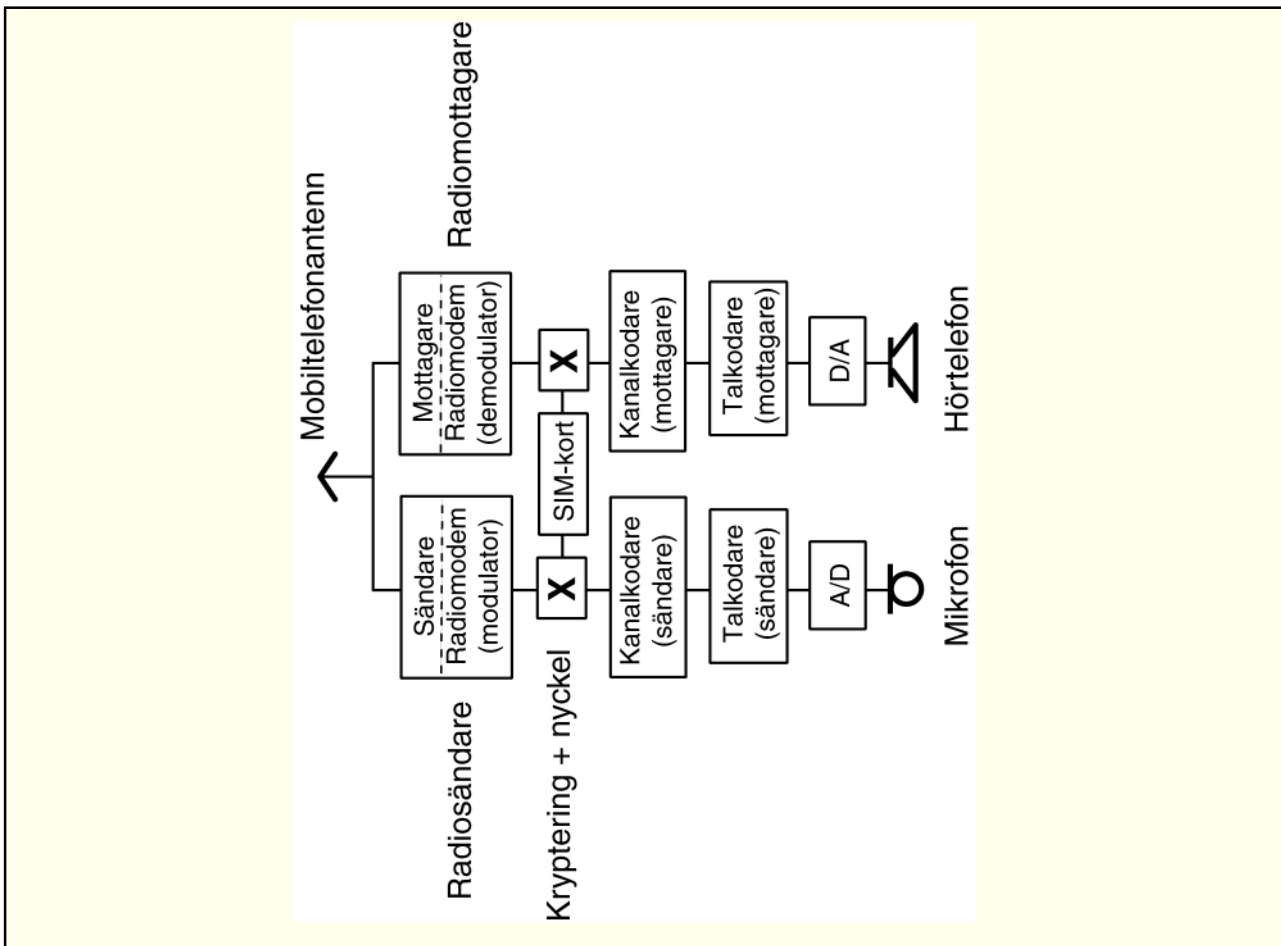
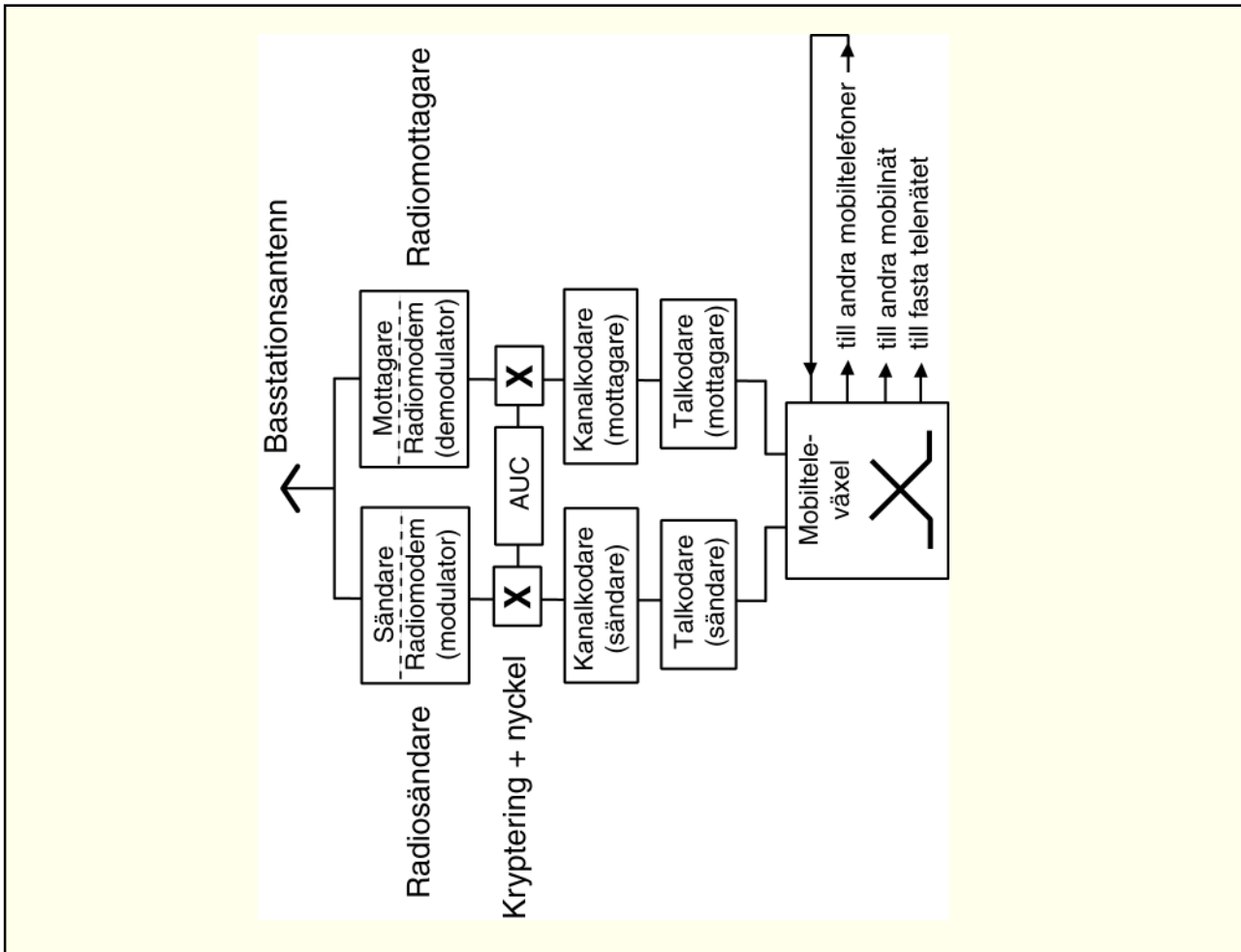
PCS 1900

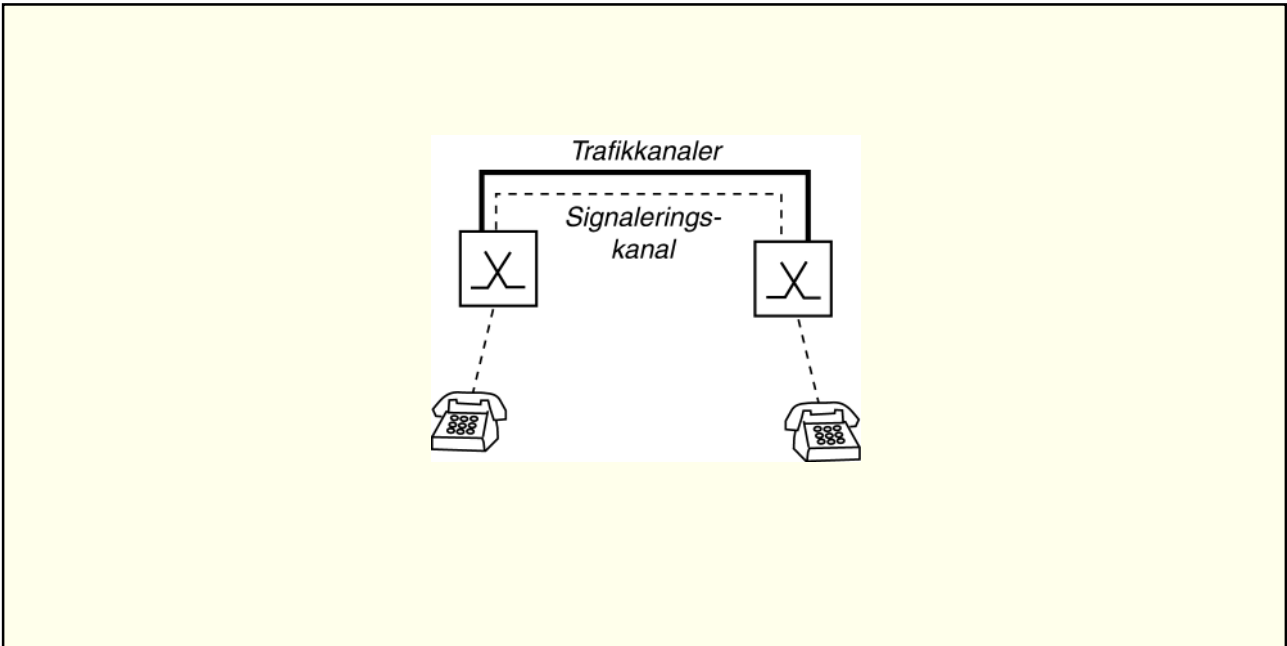
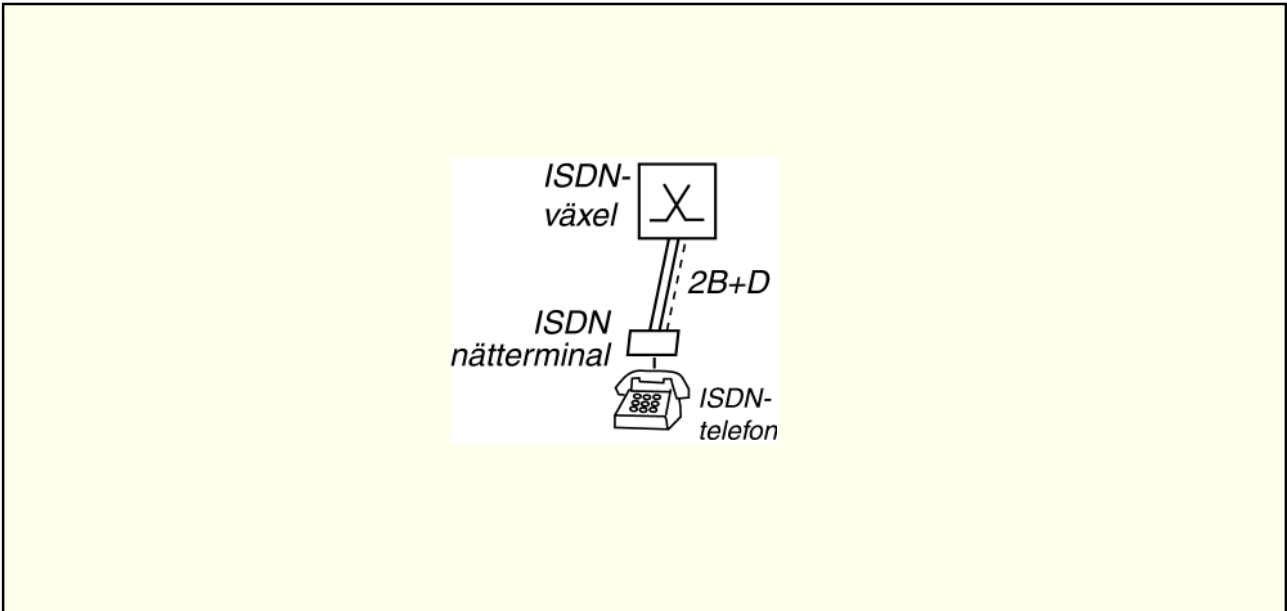
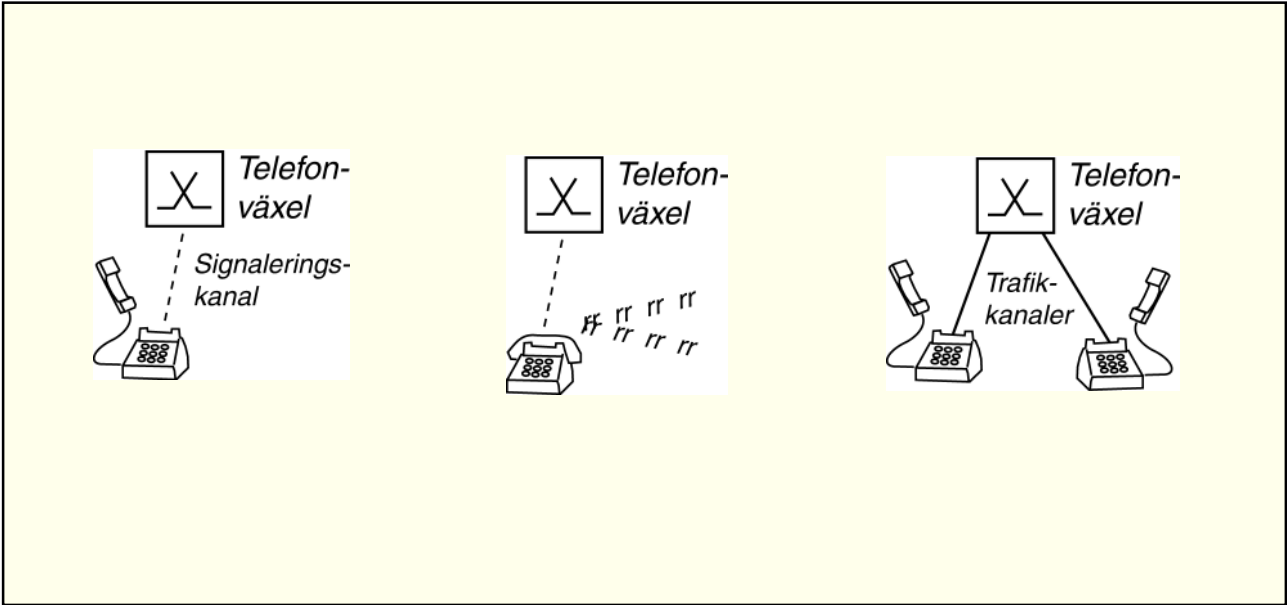
- 1850 – 1910 MHz upplänk
- 1930 – 1990 MHz nedlänk

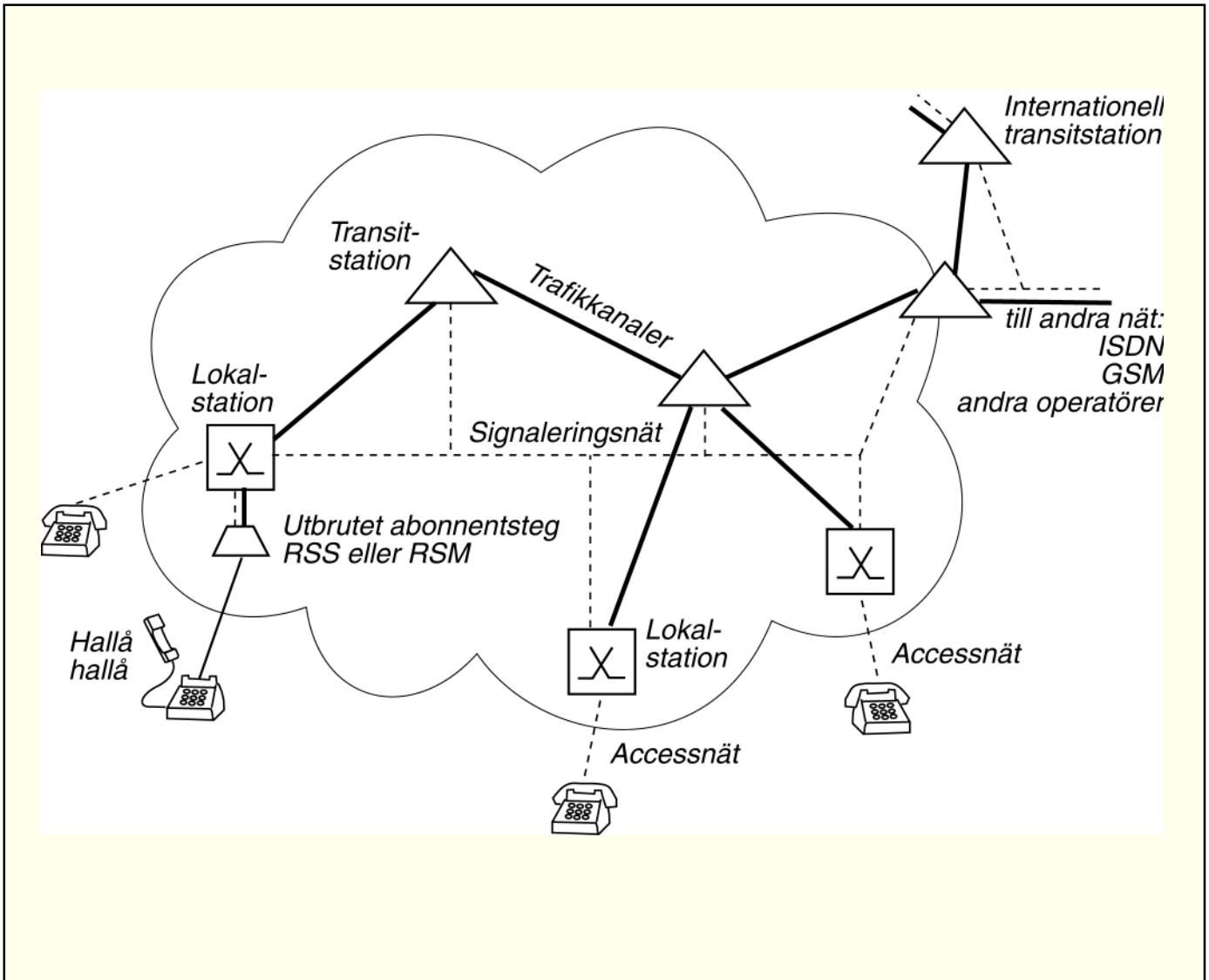
ARFCN

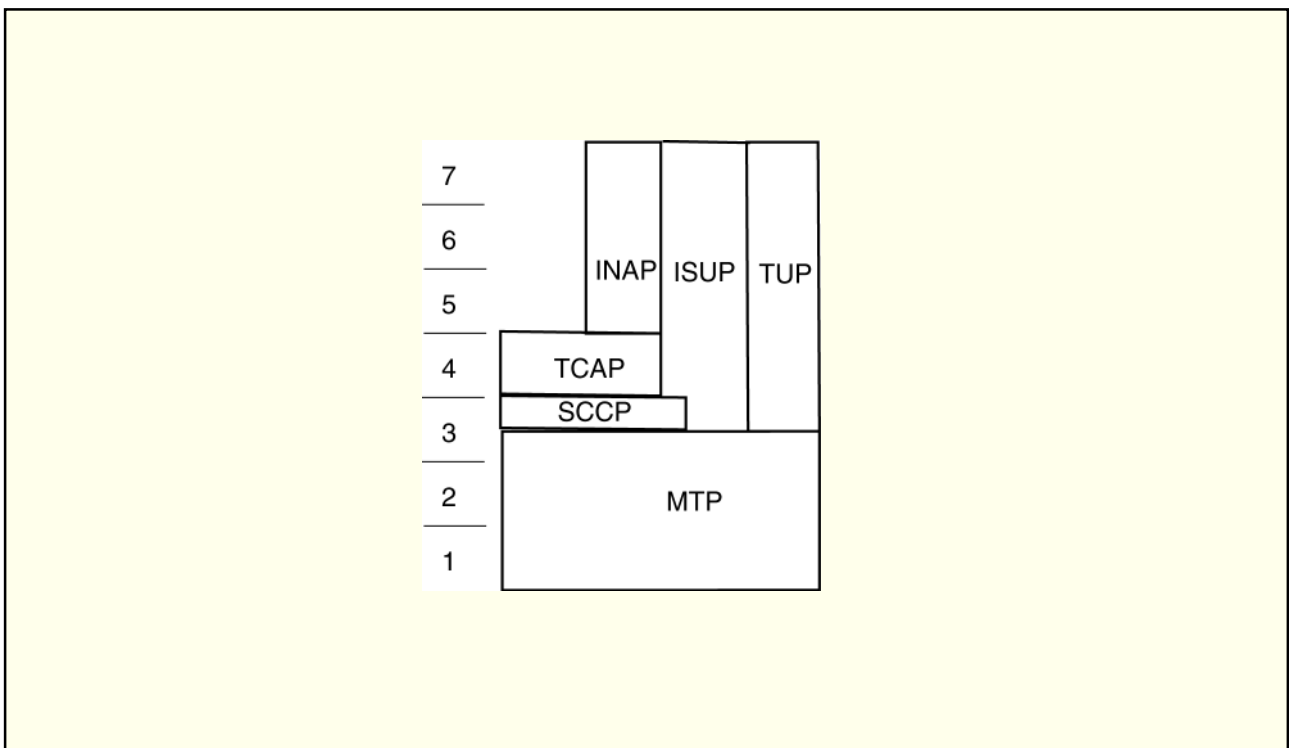
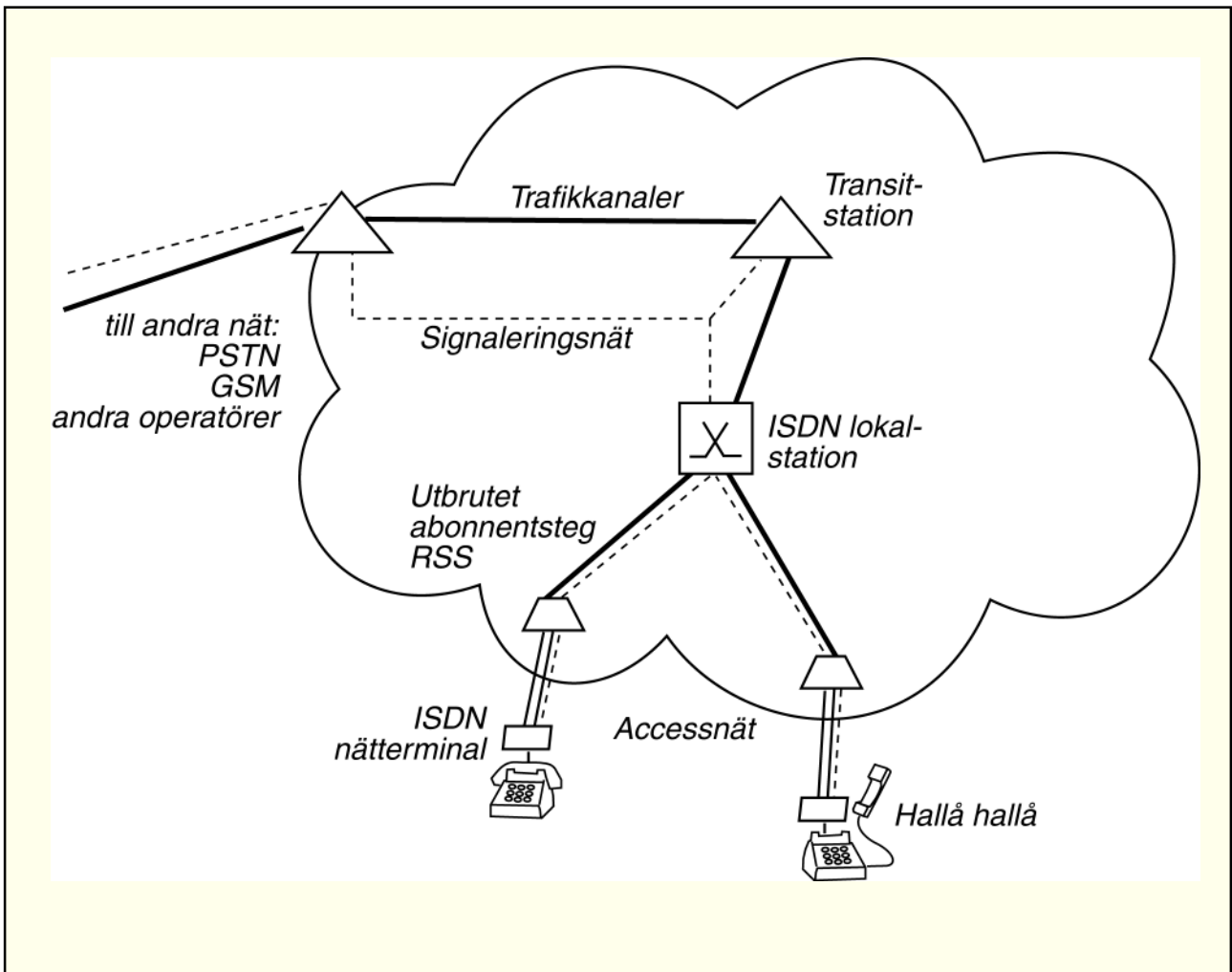
Inom GSM anges frekvensen med ett heltal, ett "Absolute Radio Frequency Channel Number" (ARFCN). I tabellen är $F_l(n)$ den lägre frekvensen (nedlänk) och $F_u(n)$ den övre frekvensen (upplänk). ARFCN anger inte bara frekvens utan även frekvensband, förutom för 1800 MHz- och 1900 MHz-banden, som delar på samma nummerserie.

P-GSM 900	$F_l(n) = 890 + 0,2n$	$1 \leq n \leq 124$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$
E-GSM 900	$F_l(n) = 890 + 0,2n$ $F_l(n) = 890 + 0,2n(n-1024)$	$0 \leq n \leq 124$ $975 \leq n \leq 1023$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$
R-GSM 900 P-GSM 900	$F_l(n) = 890 + 0,2n$ $F_l(n) = 890 + 0,2n(n-1024)$	$0 \leq n \leq 124$ $955 \leq n \leq 1023$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$
DCS 1800	$F_l(n) = 1710,2 + 0,2(n-512)$	$512 \leq n \leq 885$	$F_u(n) = F_l(n) + 95$
PCS 1900	$F_l(n) = 1850,2 + 0,2(n-512)$	$512 \leq n \leq 810$	$F_u(n) = F_l(n) + 80$
GSM 450	$F_l(n) = 450,6 + 0,2(n-259)$	$259 \leq n \leq 293$	$F_u(n) = F_l(n) + 10$
GSM 480	$F_l(n) = 479 + 0,2(n-306)$	$306 \leq n \leq 340$	$F_u(n) = F_l(n) + 10$
GSM 850	$F_l(n) = 824,2 + 0,2(n-128)$	$128 \leq n \leq 251$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$









3.5 Telefonnumret

CC + NDC + SN

CC = Country Code (Landskod)

NDC = National Destination Code (Områdesnummer)

SN = Subscriber number (abonnentnummer)

Vi får följande alternativ vid samtal inom de fasta telenäten

- **Utlandssamtal:**
"00" + CC + NDC + SN
- **Rikssamtal:**
"0" + NDC + SN
- **Lokalsamtal** (två möjligheter, valfritt):
SN
eller
"0" + NDC + SN

Områdesnummer inklusive inledande "0" för de svenska mobiltelenäten ("0" + NDC):

- *Comviq GSM: 0704, 0707, 0736, 0739*
- *Europolitan GSM: 0708, 0709, 0733*
- *Telia GSM: 0702, 0703, 0705, 0706, 0730*

- *Telia NMT 450: 0102, 0103, 0106, 0107*

4.1 Grundläggande krav

- Mobiltelefonen måste bli billigare
- Handtelefoner
- Kostnaden för mobiltelenätet skulle vara lägre
- Introduktion av nya tjänster: Tal och data integrerat
- Bättre transmissionskvalitet
- Högre säkerhet

4.2 GSM Association (GSMA), tidigare GSM MoU

4.3 Grundläggande funktioner, bastjänster

Bastjänster

- Internationell Roaming
- Skydd vid avlyssning (kryptering)
- Skydd av abonnenternas identitet
- Autenticering — äkthetskontroll

4.4 Bärartjänster och teletjänster

4.5 GSM Phase 1 (1992)

- Telefoni
- Nödsamtal (GSM säkerhetstelefon)
- SMS kortmeddelande, abonnent till abonnent
- SMS kortmeddelande, Cell Broadcast
- Telefax grupp 3
- Alternnerande tal/fax

Bärartjänster

GSM Mervärdestjänster

- Call forwarding unconditional
- Call Forwarding when busy
- Call forwarding on no reply
- Call Forwarding on mobile subscriber not reachable

Olika telefonnummer i samtliga vidarekopplingsfall

- Barring of outgoing calls
- Barring of outgoing international calls
- Barring of outgoing international calls except to the home GSM network
- Barring of all incoming calls
- Barring of incoming calls during roaming outside the home country GSM network

4.6 GSM Phase 2 (1994)

- Telefoni GSM Half Rate
- Förbättrad SMS
- Bärartjänster

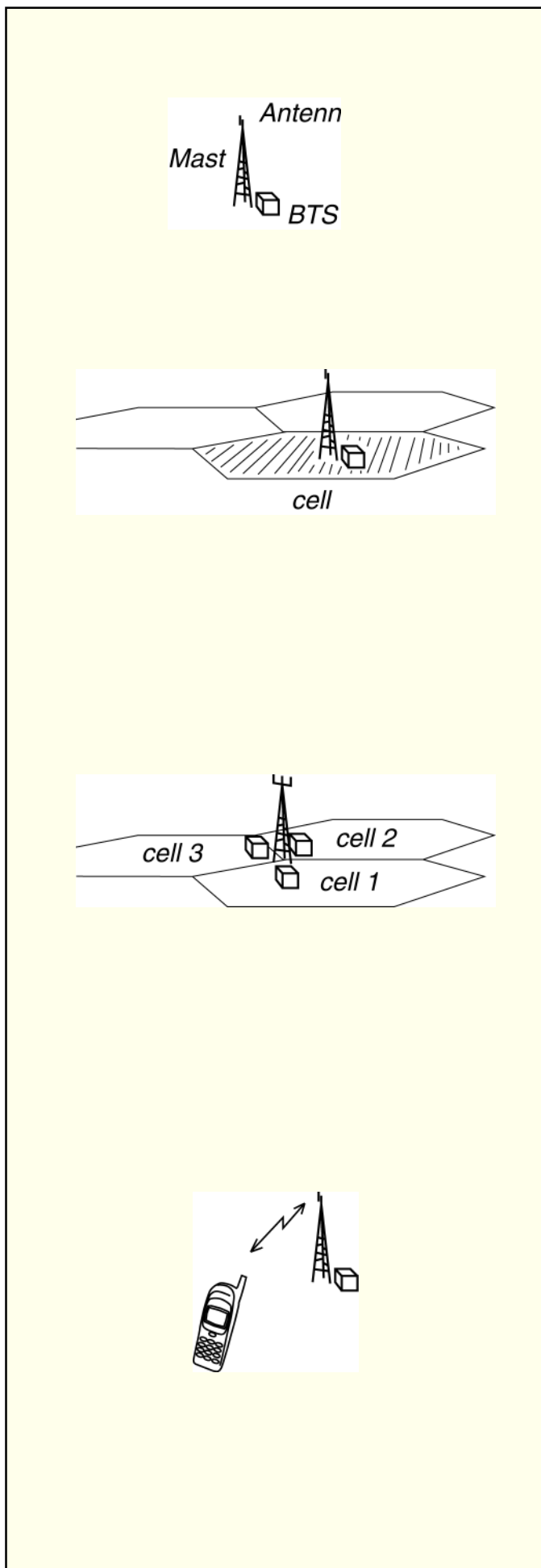
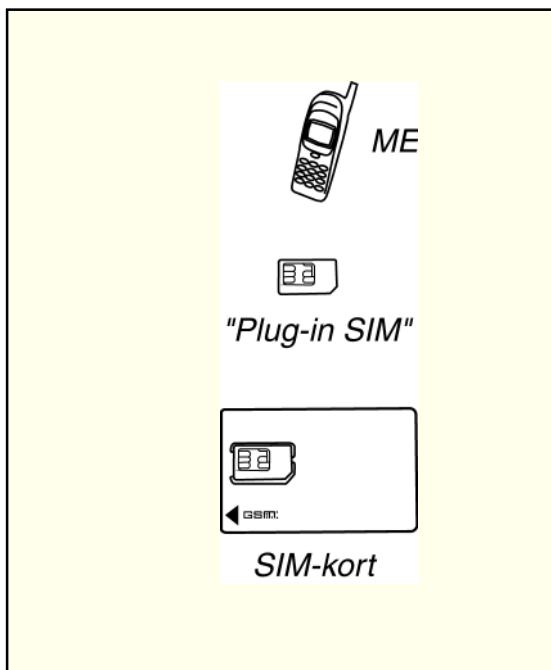
Bland bärartjänsterna tillkom synkron paketförmedlad tjänst 2400 – 9600 bit/s.

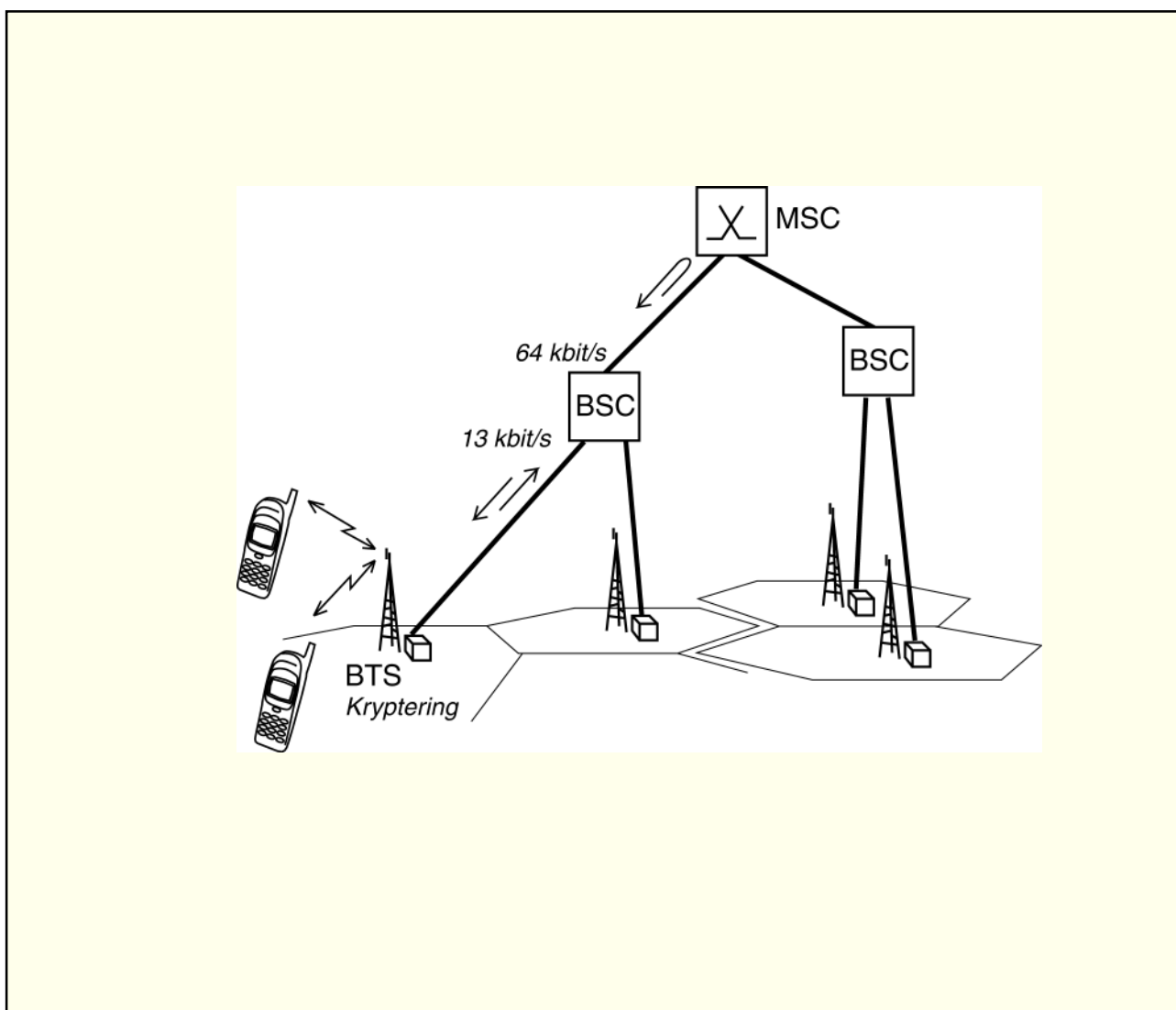
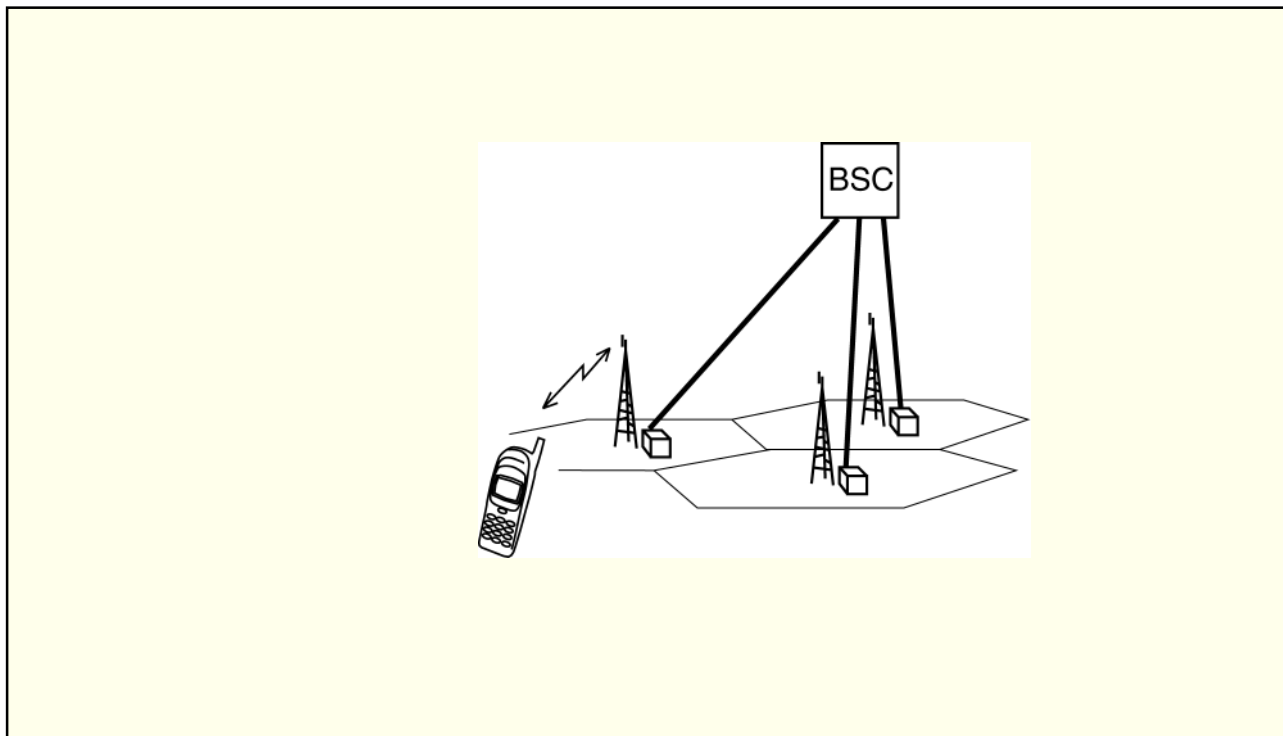
Följande mervärdestjänster tillkom:

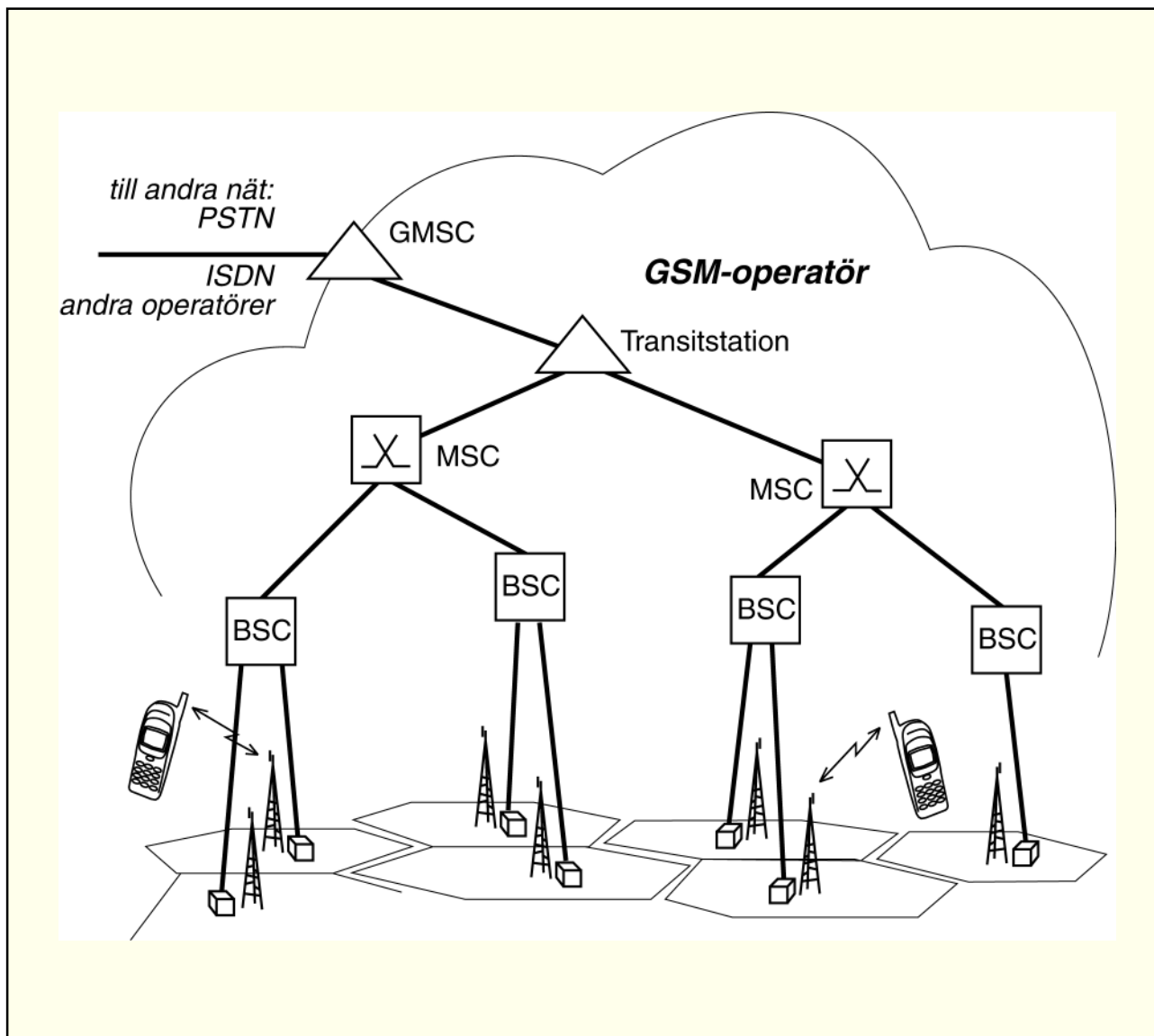
- Calling Line Identity Presentation
- Calling Line Identity Restriction
- Call Waiting
- Call Hold
- Multi Party Communication
- Closed User Group
- Advice of Charge
- Unstructured Supplementary Services Data
- Operator Determined Barring

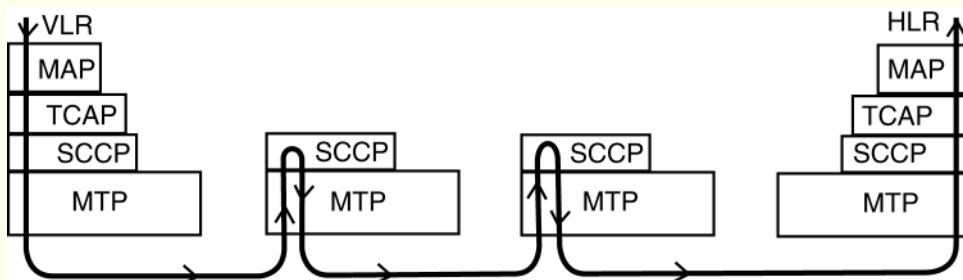
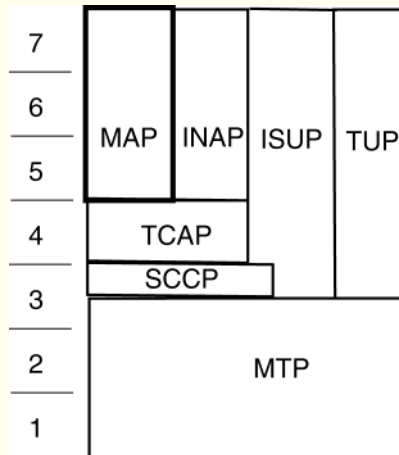
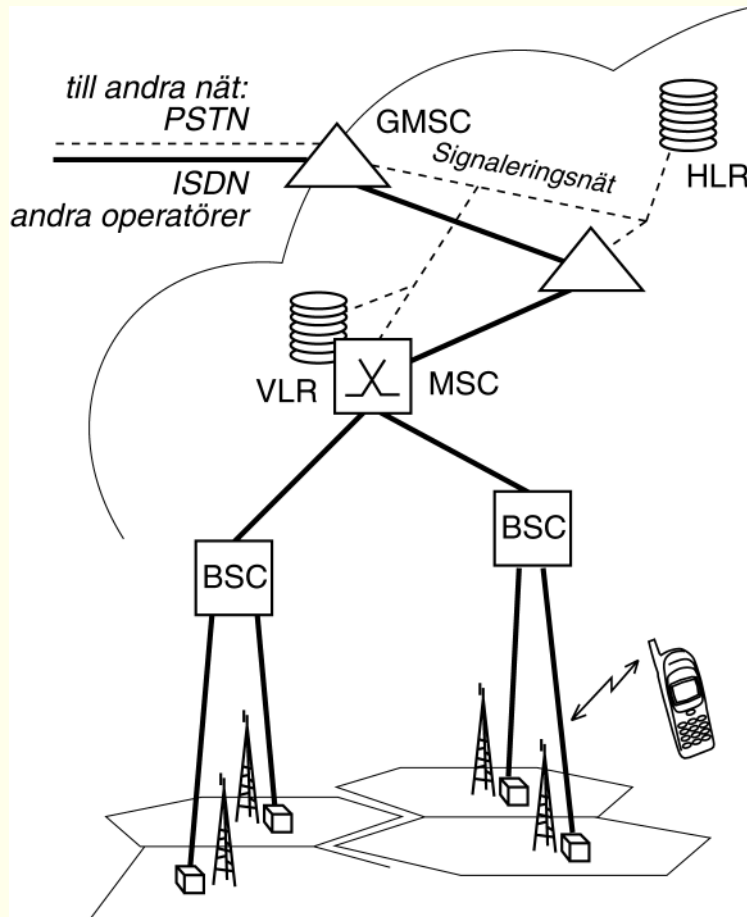
4.7 GSM Phase 2+

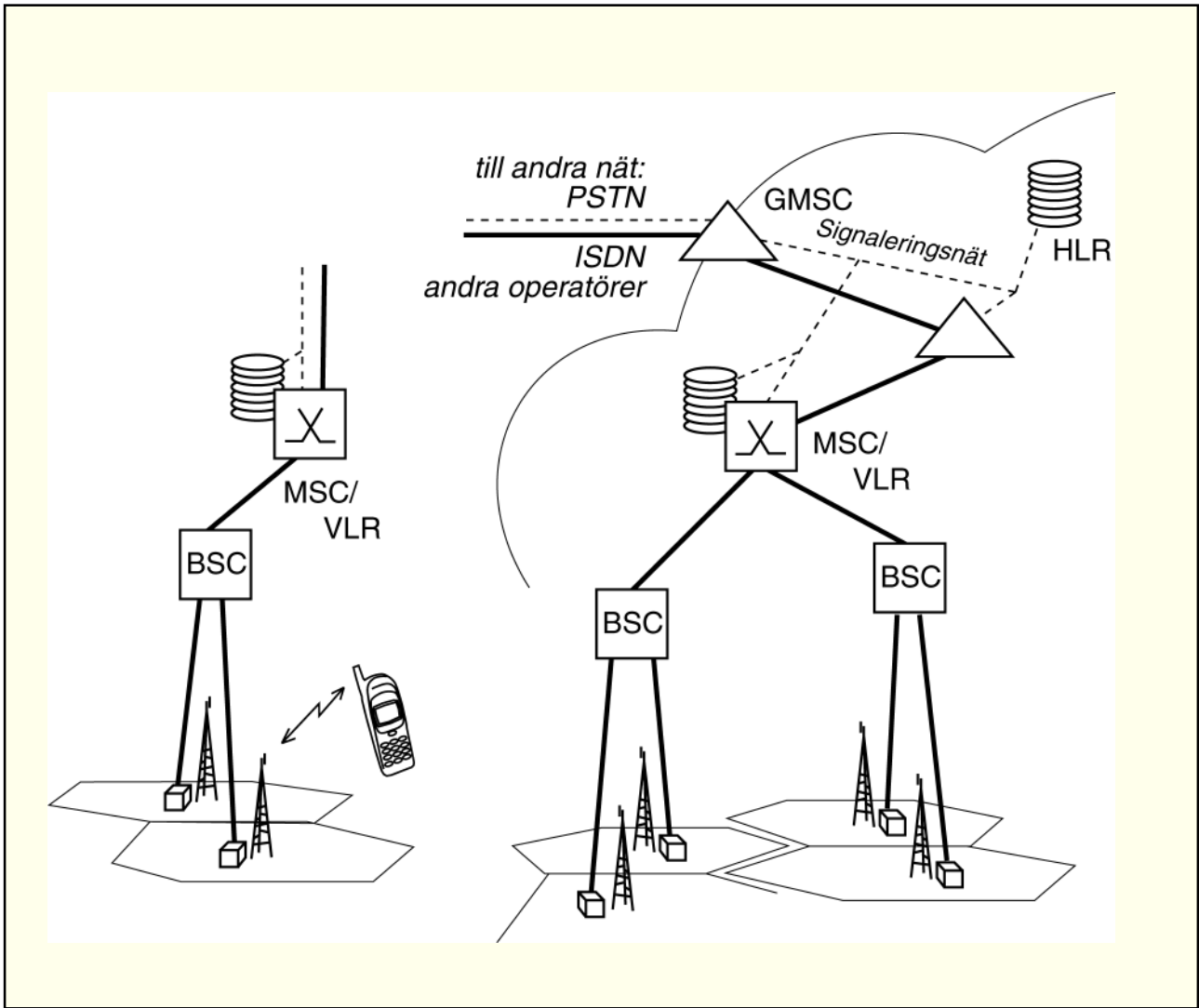
- GSM EFR (Enhanced Full Rate)
- Adaptiv GSM Half Rate-kodare
- 14,4 kbit/s
- HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)
- GPRS (General Packet Radio Service)











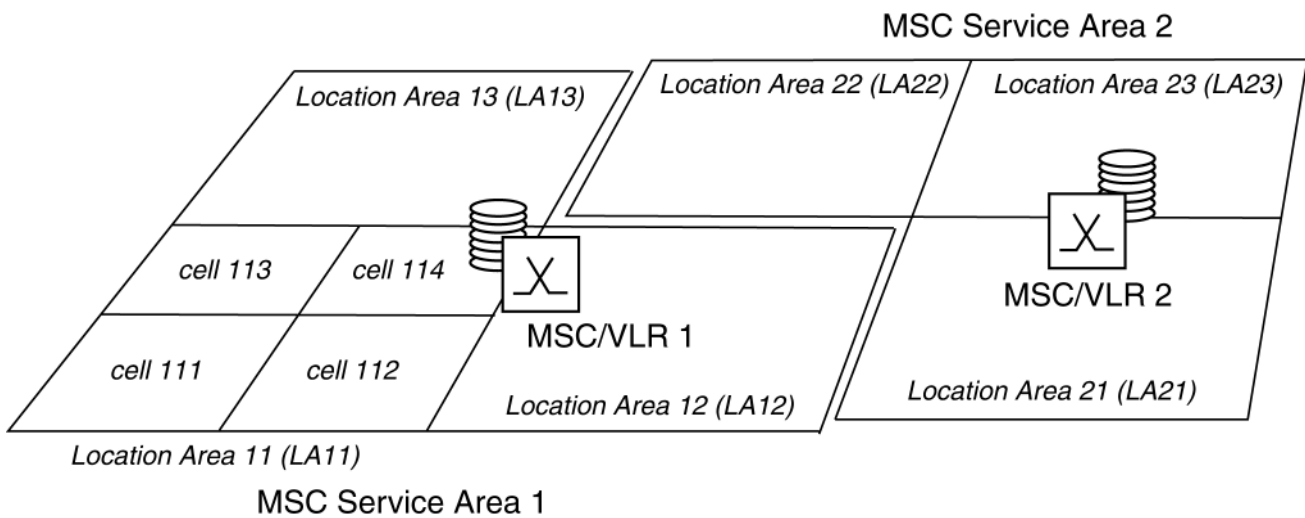


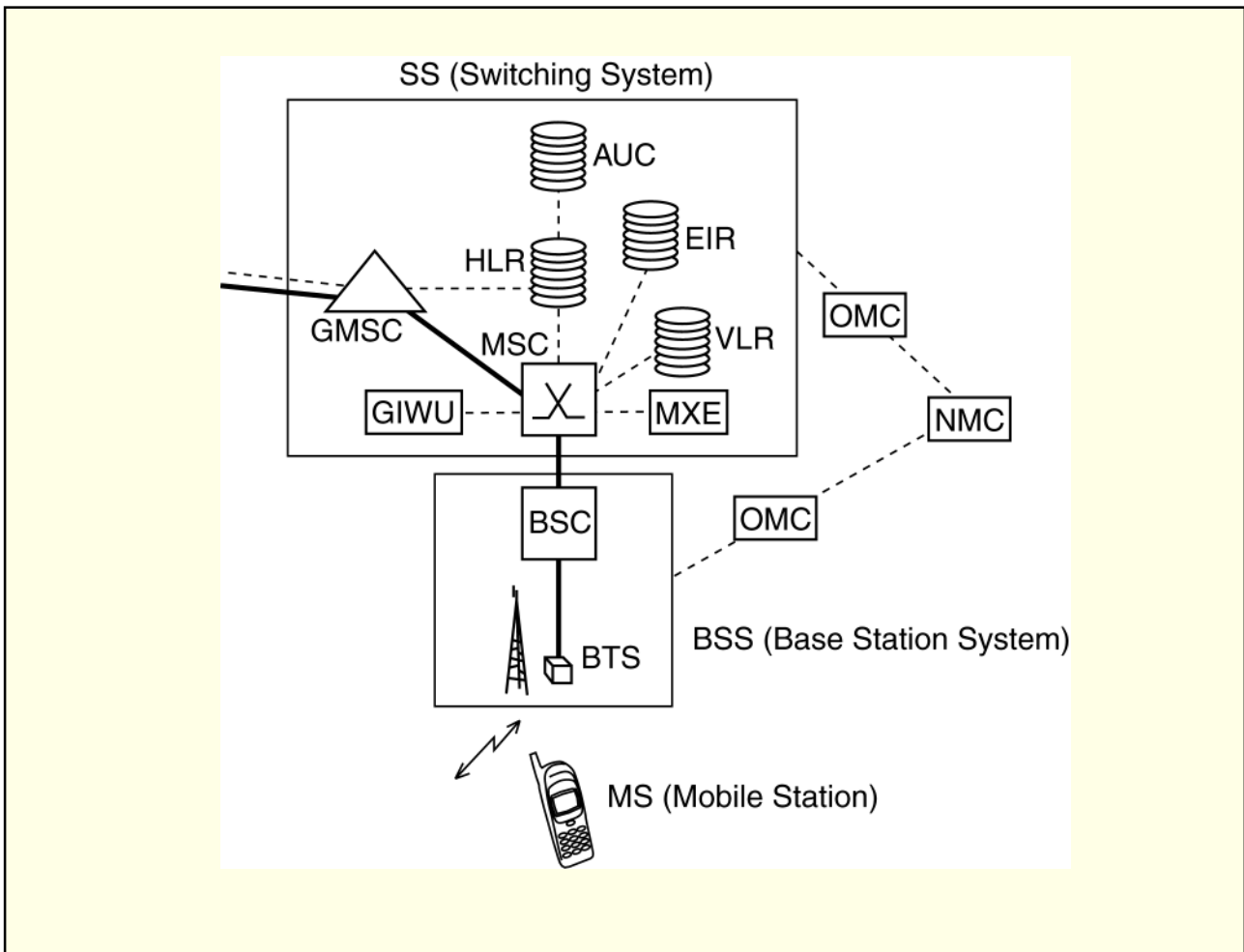
GSM Service Area



Operator Service Area

- MSC Service Area
- Location Area (Trafikområde)
- Cell





AUC	Authentication Centre
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CEIR	Central Equipment Identity Register
EIR	Equipment Identity Register
GIWU	GSM Interworking Unit
GMSC	Gateway MSC
HLR	Home Location Register
MS	Mobile Station
MSC	Mobile services Switching Centre
MXE	Message Centre
NMC	Network Management Centre
OMC	Operation and Maintenance Centre
VLR	Visitor Location Register

7.1 I fasta telenäten (PSTN och ISDN-näten)

- **Internationellt ISDN-nummer**

$CC + NDC + SN$

$CC =$ Country Code

$NDC =$ National Destination Code

$SN =$ Subscriber Number

7.2 I GSM-näten

- **MSISDN, Mobile Station ISDN Number**

$MSISDN = CC + NDC + SN$

$CC =$ Country Code

$NDC =$ National Destination Code (som anger GSM-nät, GSM-operatör)

$SN =$ Subscriber Number

- **MSRN, Mobile Station Roaming Number**

- **IMSI, International Mobile Subscriber Identity**

$IMSI = MCC + MNC + MSIN$

$MCC =$ Mobile Country Code (3 siffror)

$MNC =$ Mobile Network Code (2 siffror)

$MSIN =$ Mobile Subscriber Identity Number (max 10 siffror)

- **TMSI, Temporary Mobile Subscriber Identity**

- **IMEI, International Mobile station Equipment Identity**

$IMEI = TAC + FAC + SNR + sp$

$TAC =$ Type Approval Code (6 siffror), GSM typgodkännandenummer

$FAC =$ Final Assembly Code (2 siffror), identifierar tillverkaren

$SNR =$ Serial Number (6 siffror), identifierar enskild apparat inom TAC + FAC-grupp

$sp =$ spare for future use. Anger version av mjukvara i ficktelefonen (1 siffra)

- **LAI, Location Area Identity**

$LAI = MCC + MNC + LAI$

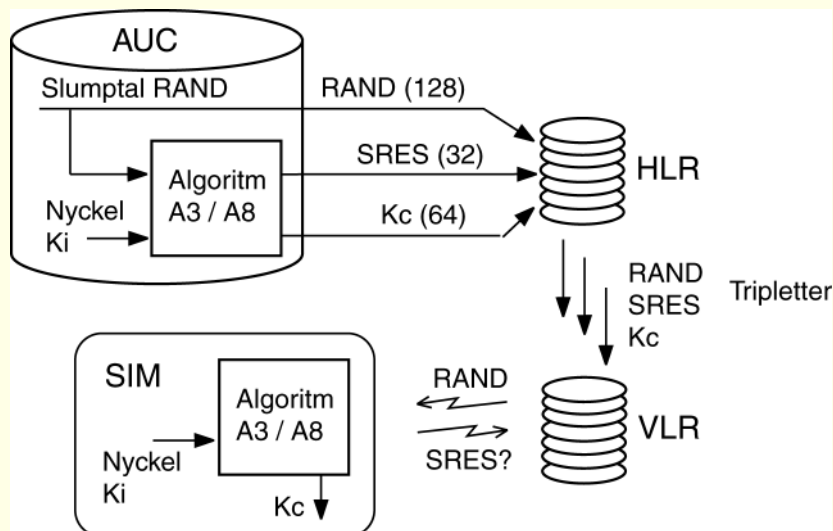
$MCC + MNC =$ se IMSI

$LAI =$ Location Area Code, max 16 bits, möjliggör 65 536 olika LA i ett GSM-nät.

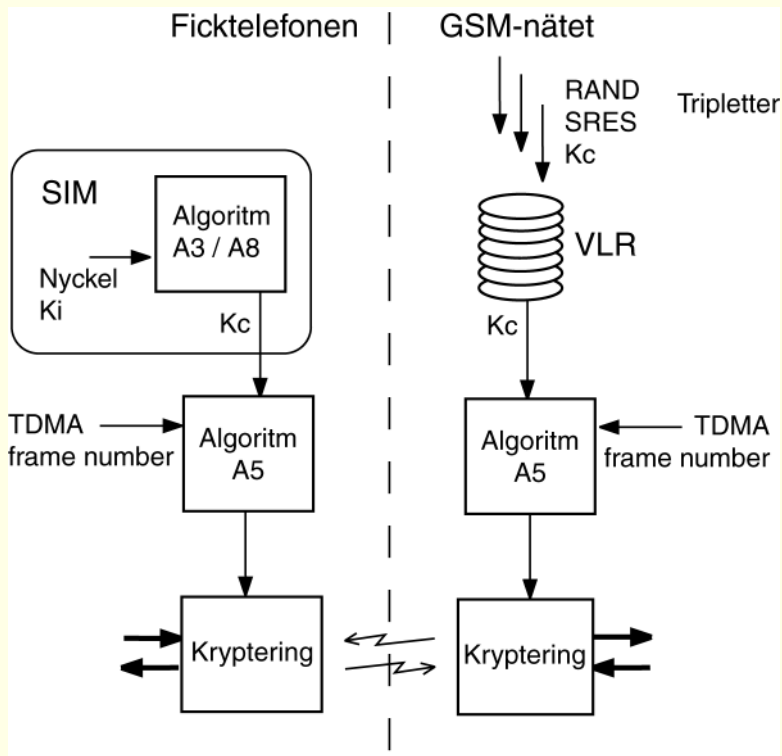
8.1 Säkerhetsfunktioner

- Autenticering av mobilabonnentens identitet
- Konfidentialitet för användarens information (tal och data) på radiosträckan
- Konfidentialitet för mobilabonnentens identitet
- Konfidentialitet för del av signaleringen på radiosträckan

8.2 Autenticering

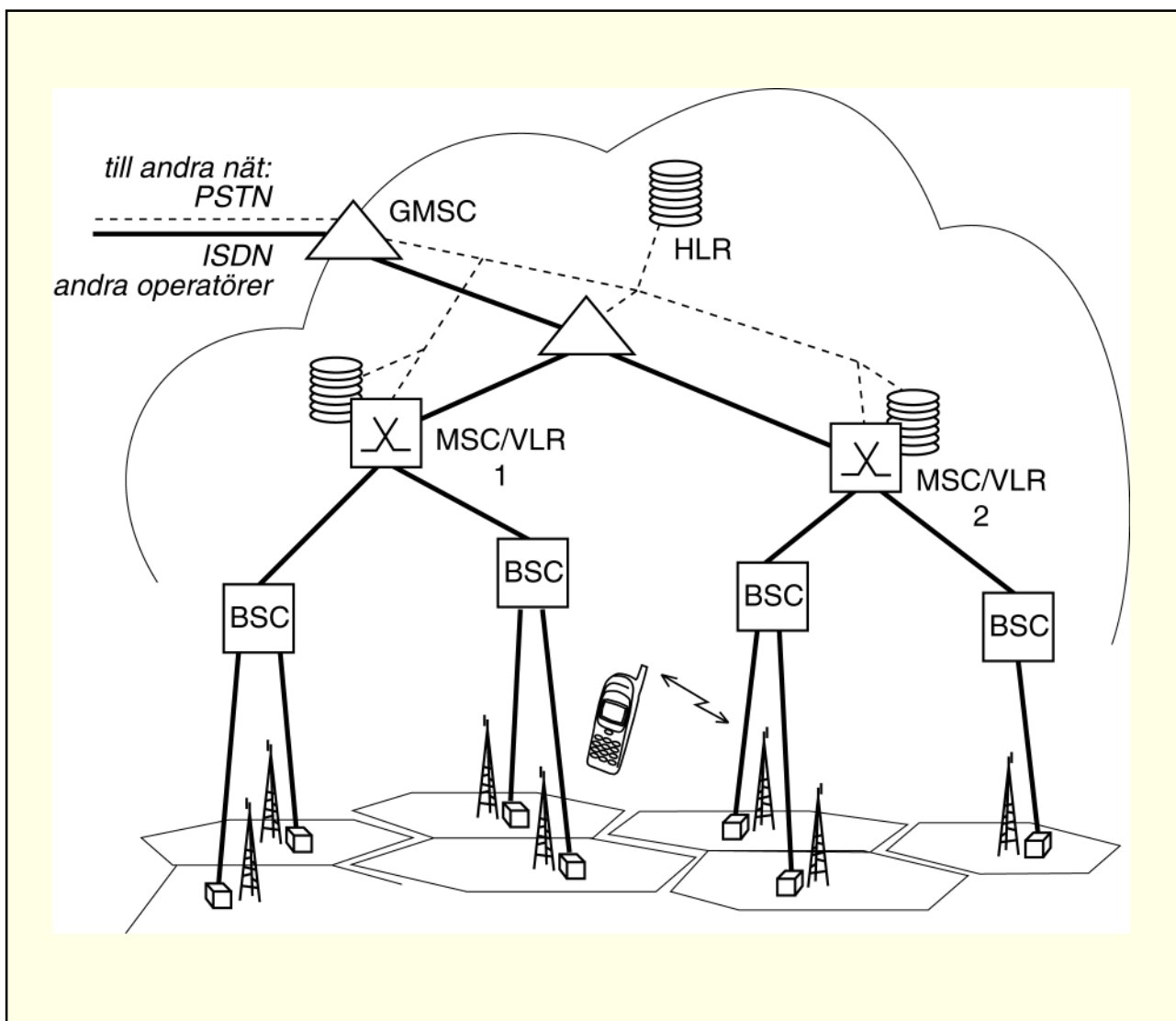


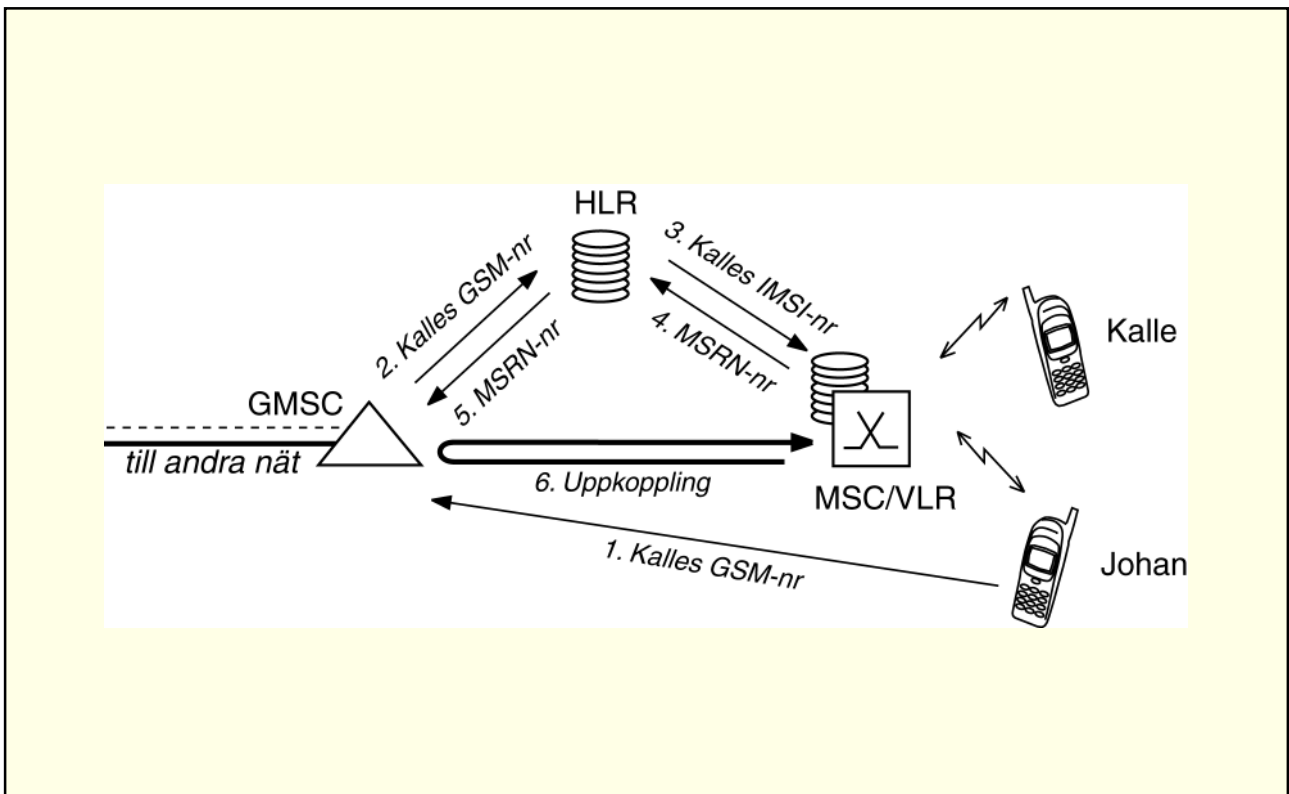
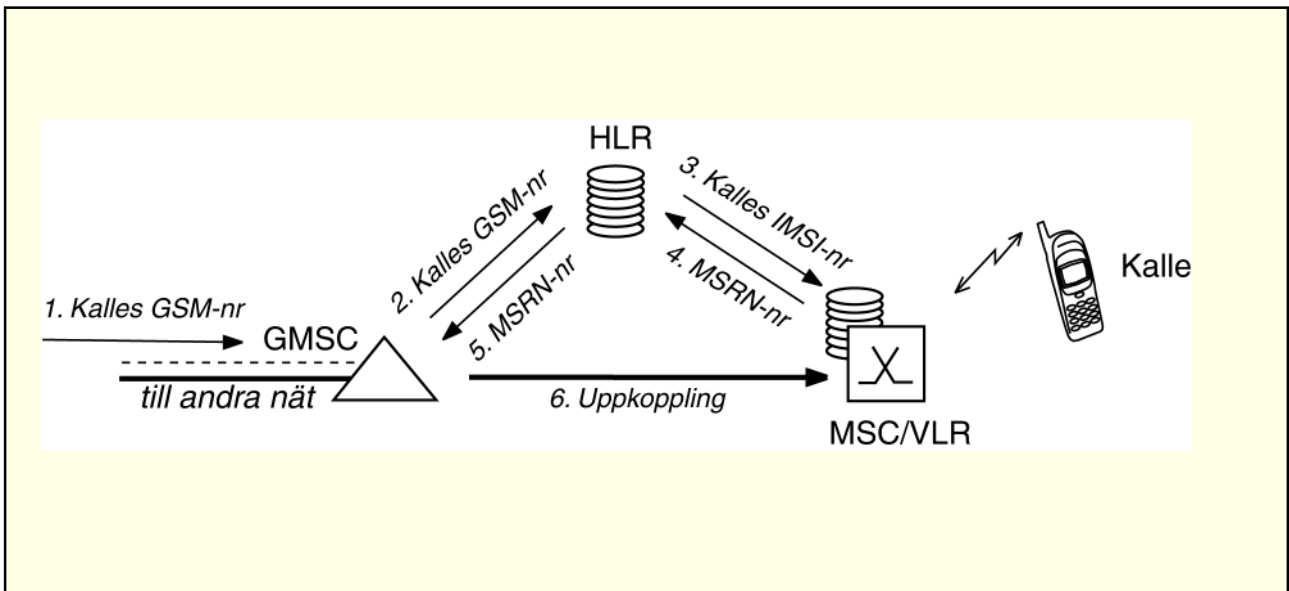
8.3 Kryptering

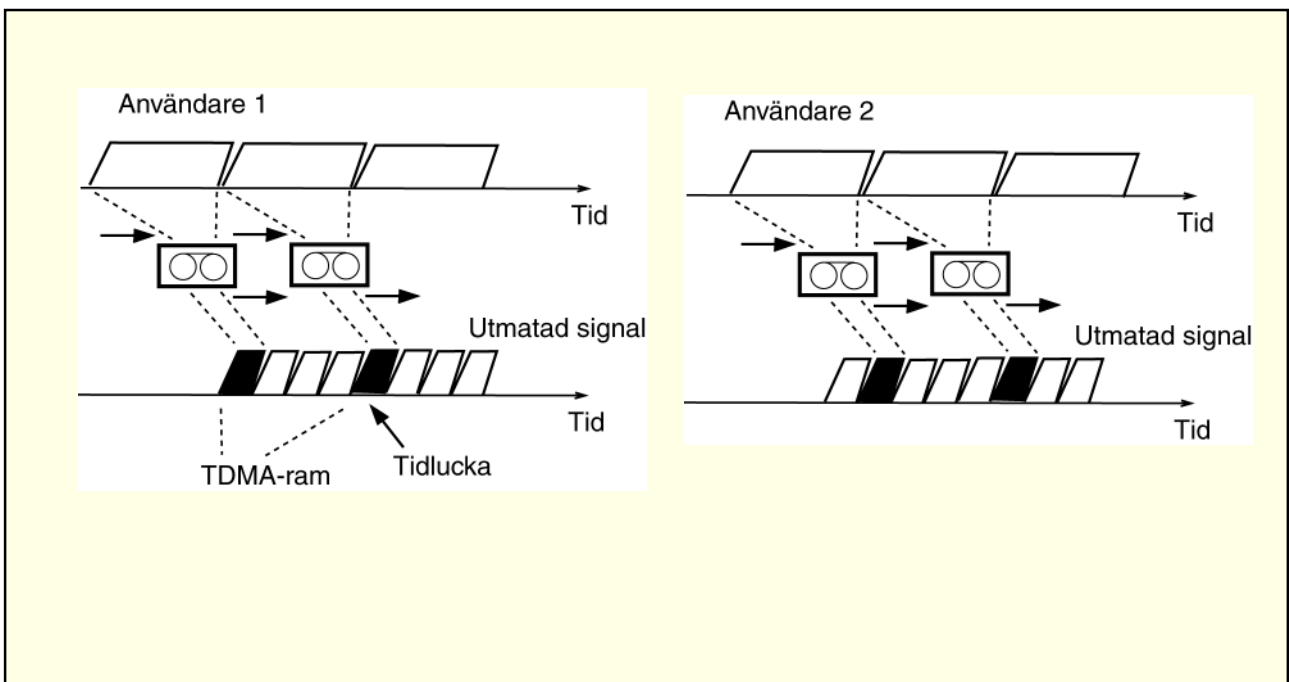
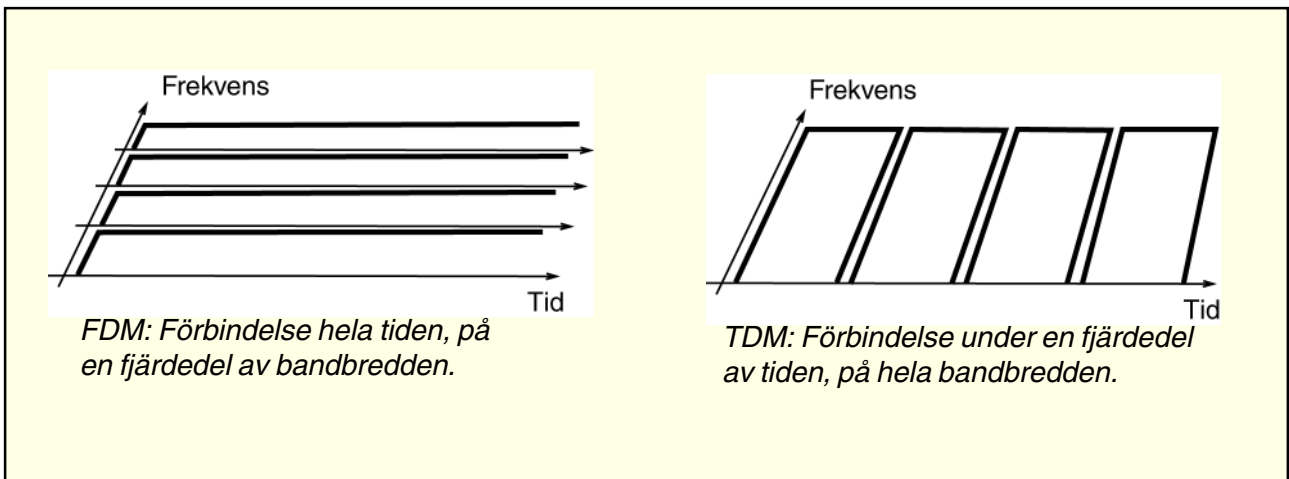
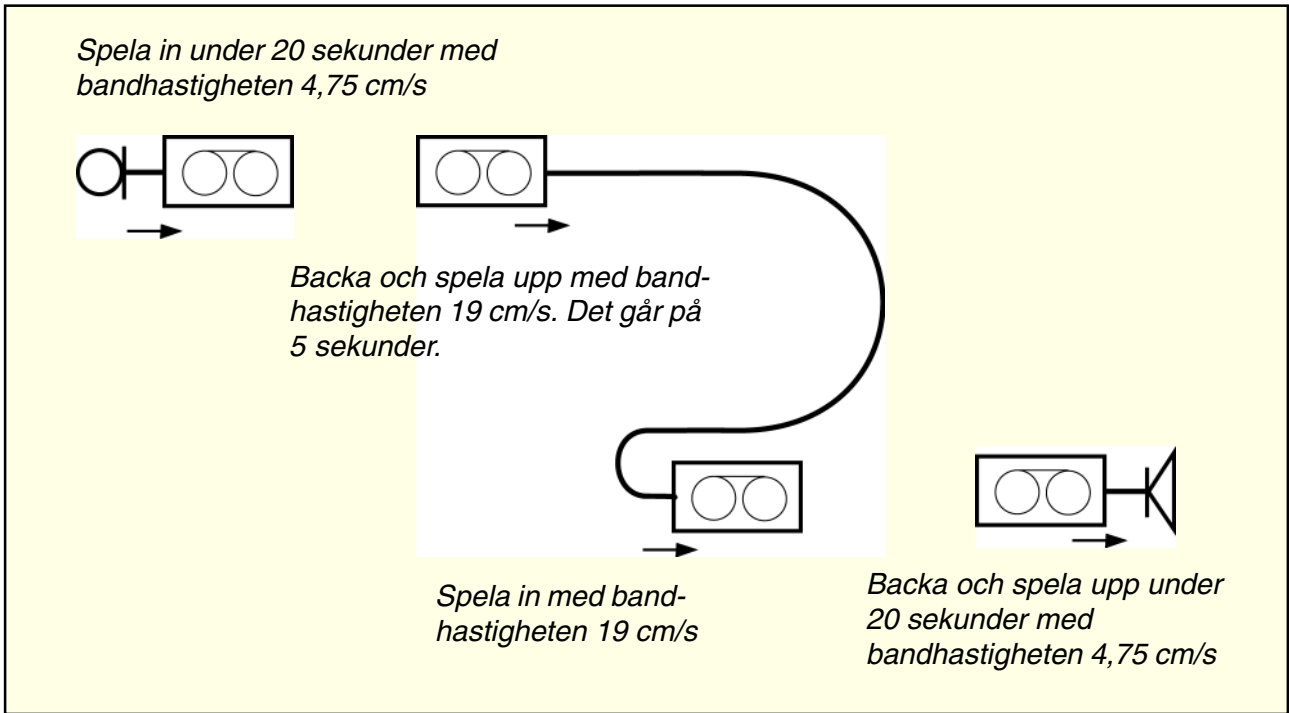


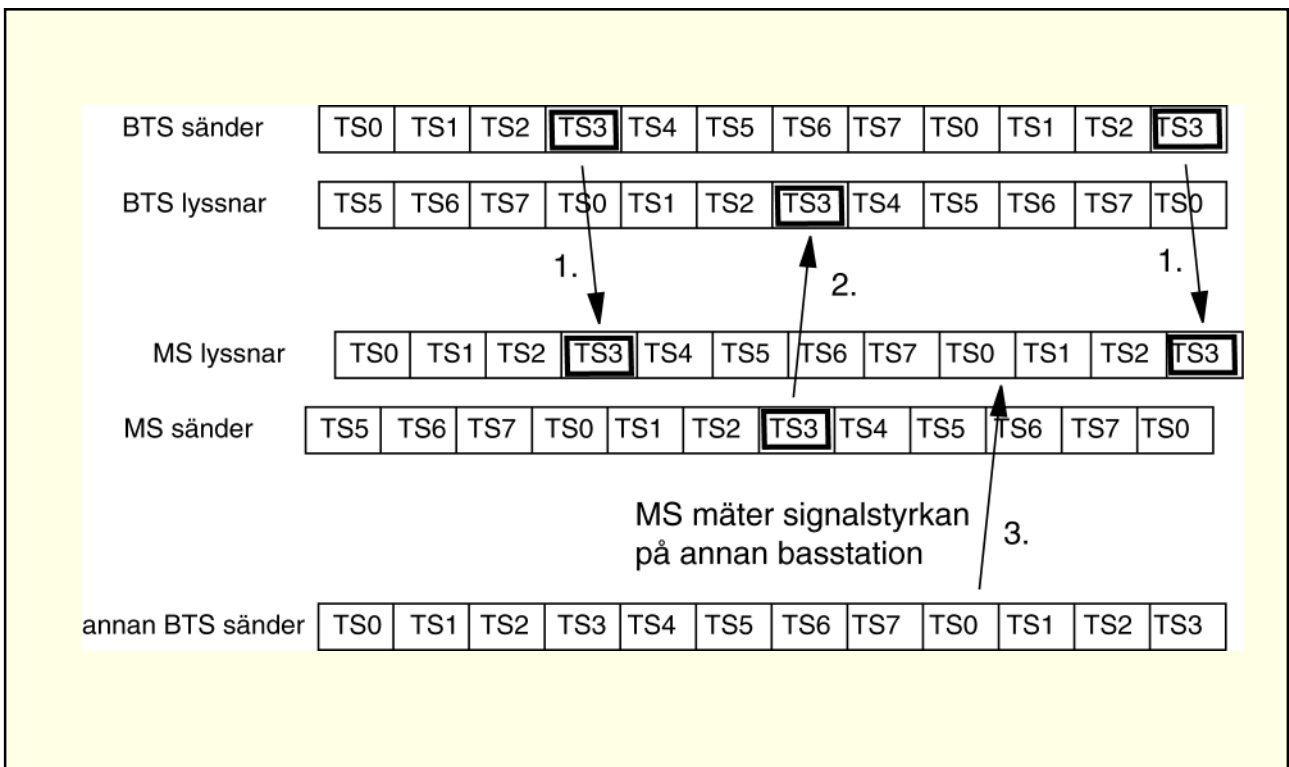
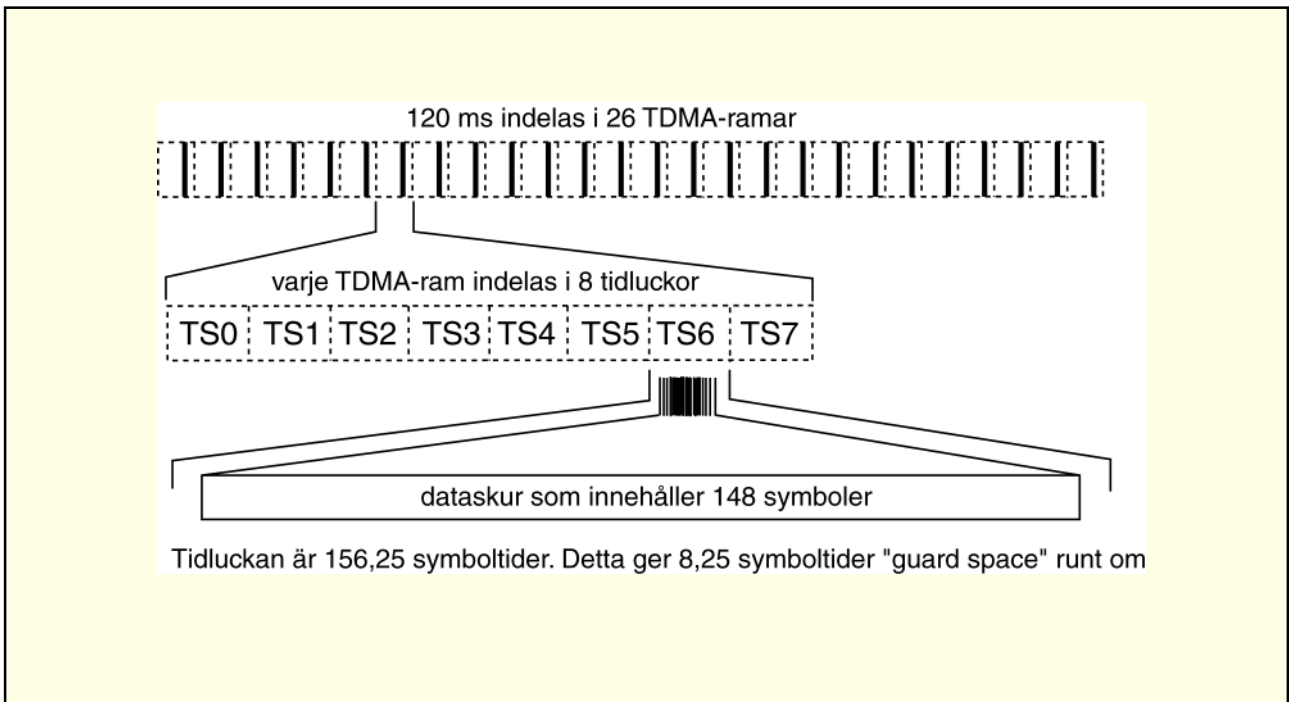
8.4 Identitetssekretess

- **TMSI**
TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)

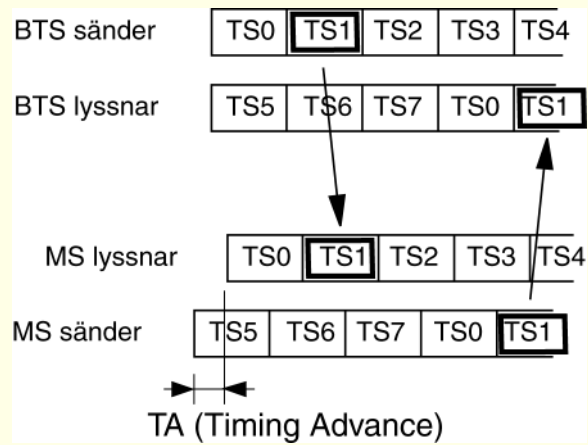
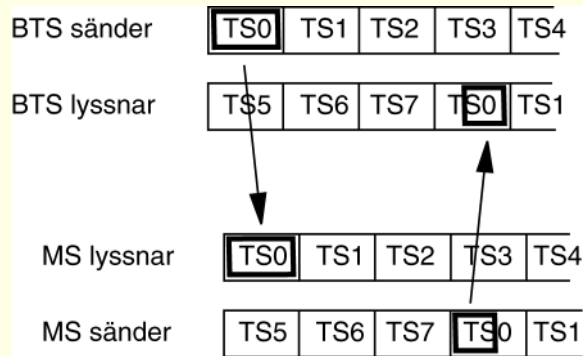


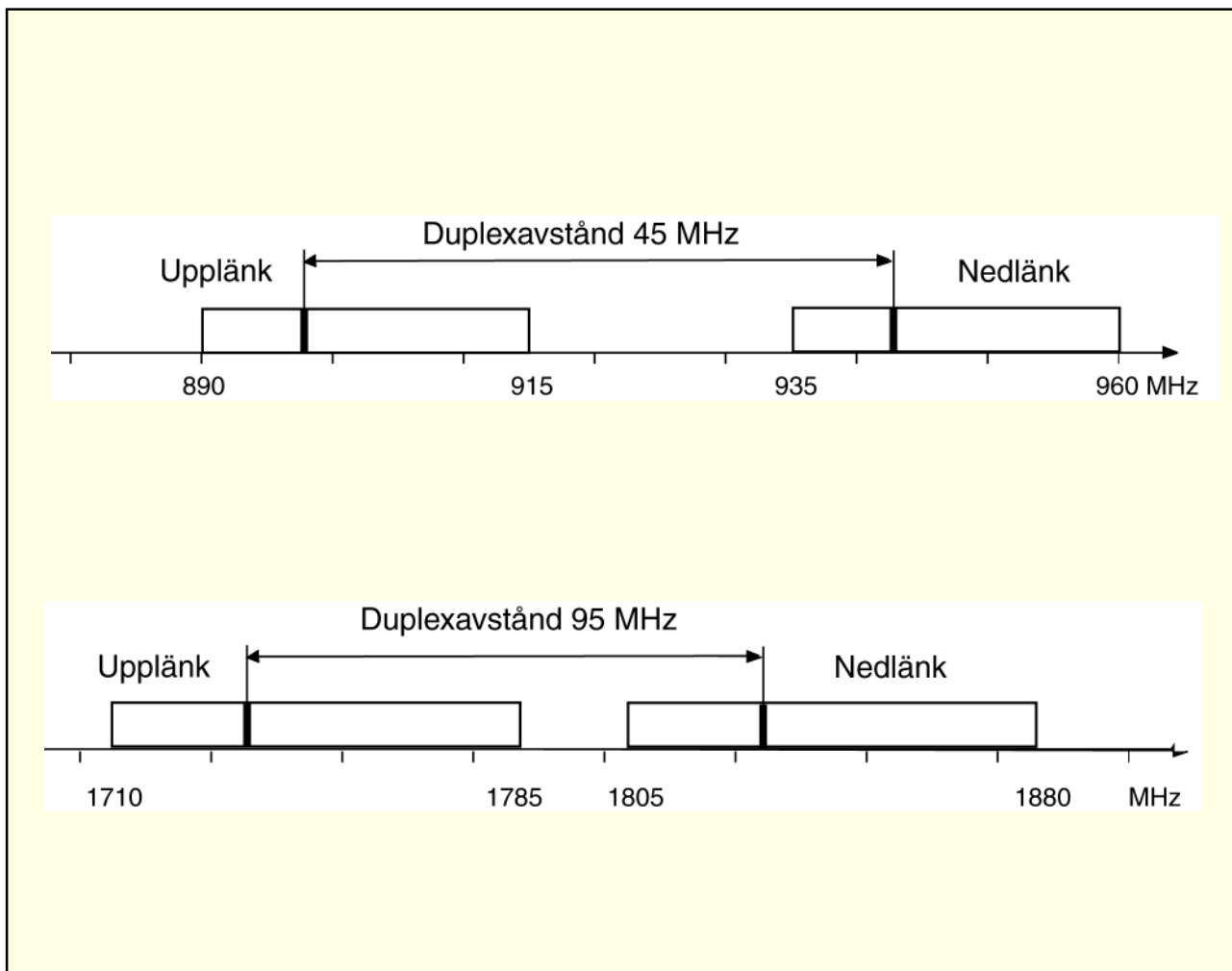




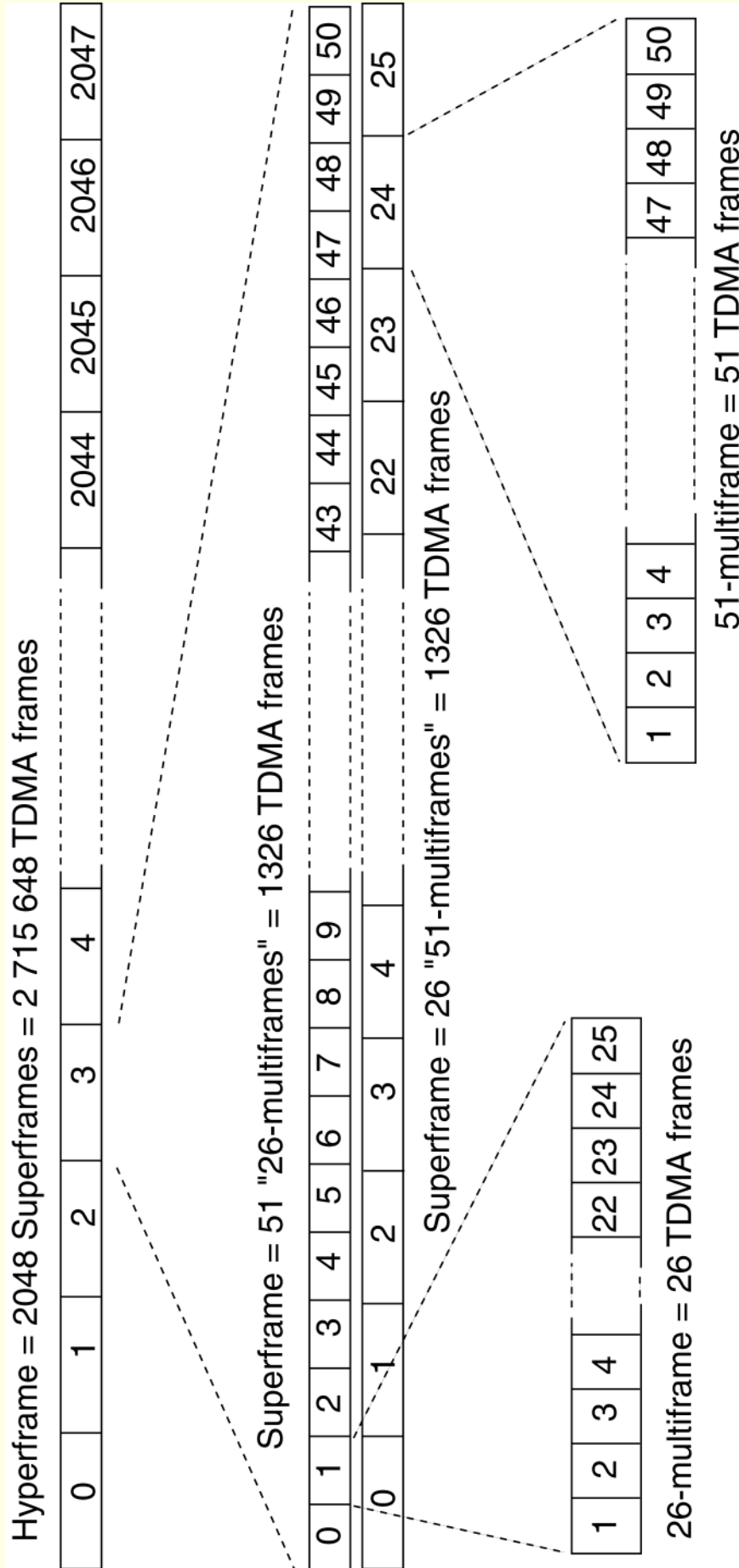


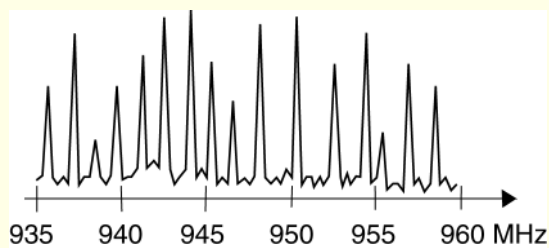
11.5 Timing Advance, TA





GSM tidluckor								
	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7
TRX1	C1	C2	T1	T2	T3	T4	T5	T6
TRX2	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
TRX3	C3	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21
TRX4	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29
TRX5	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37

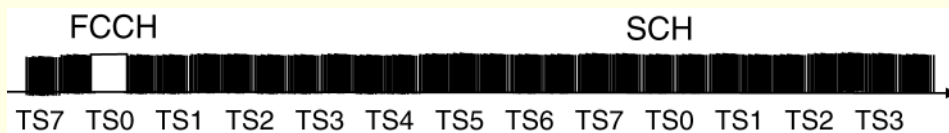
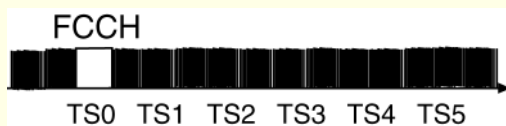


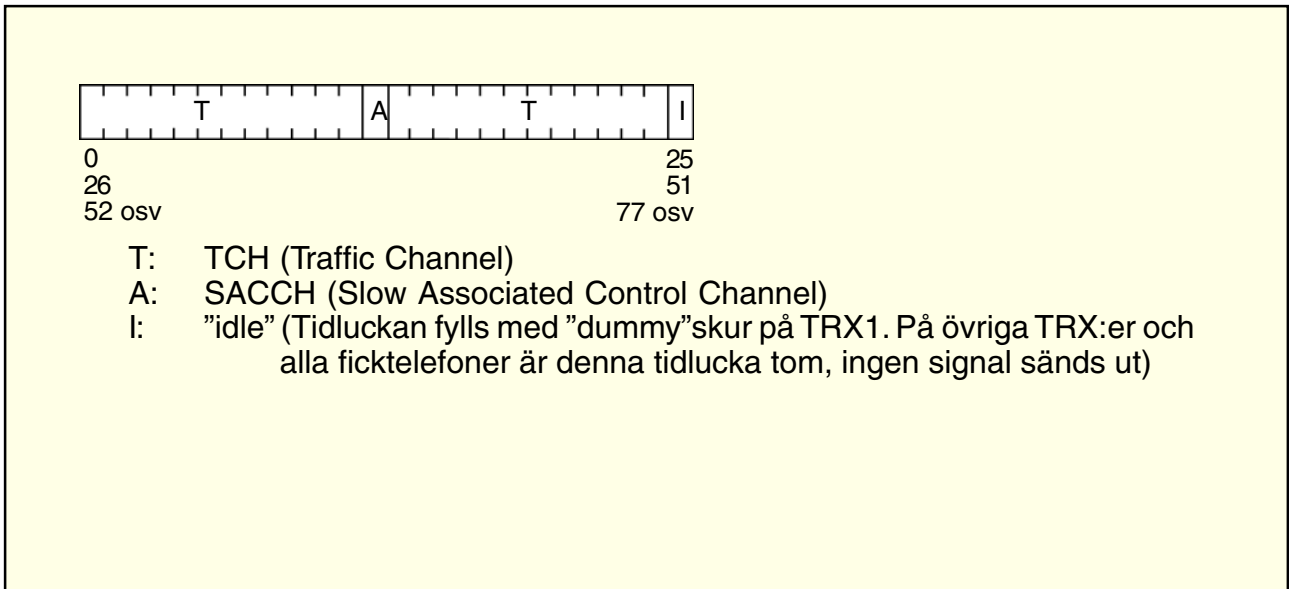
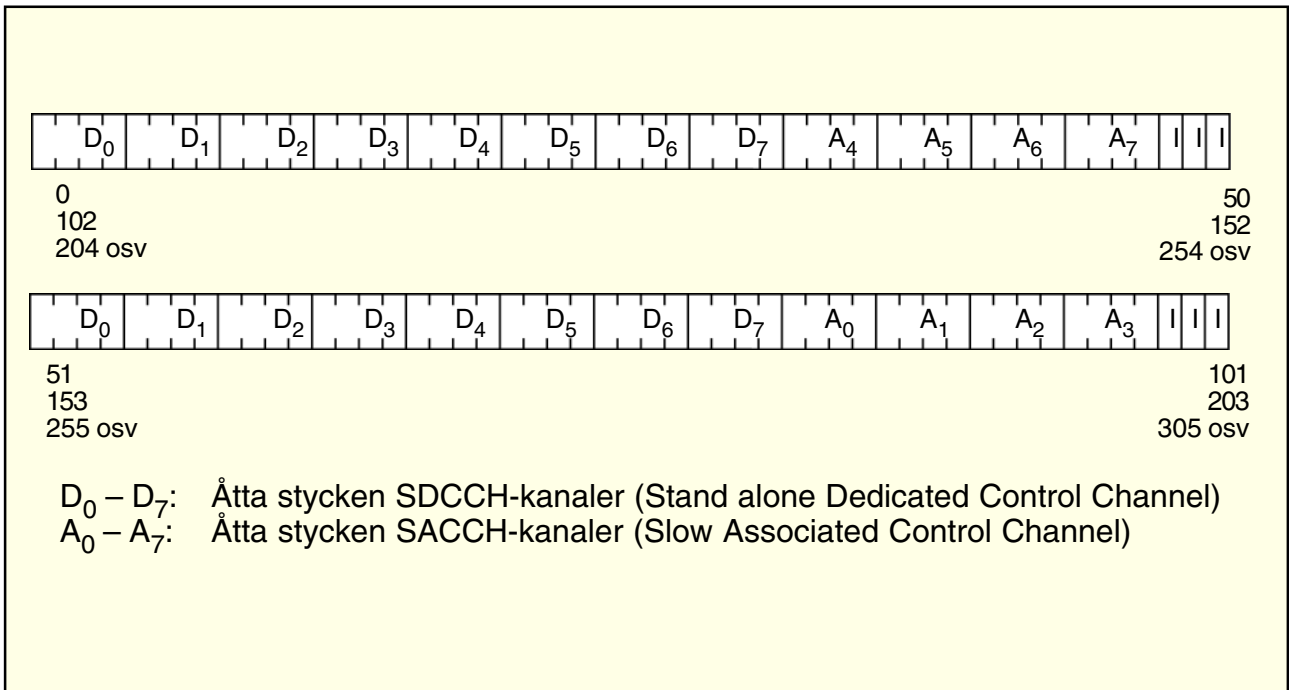
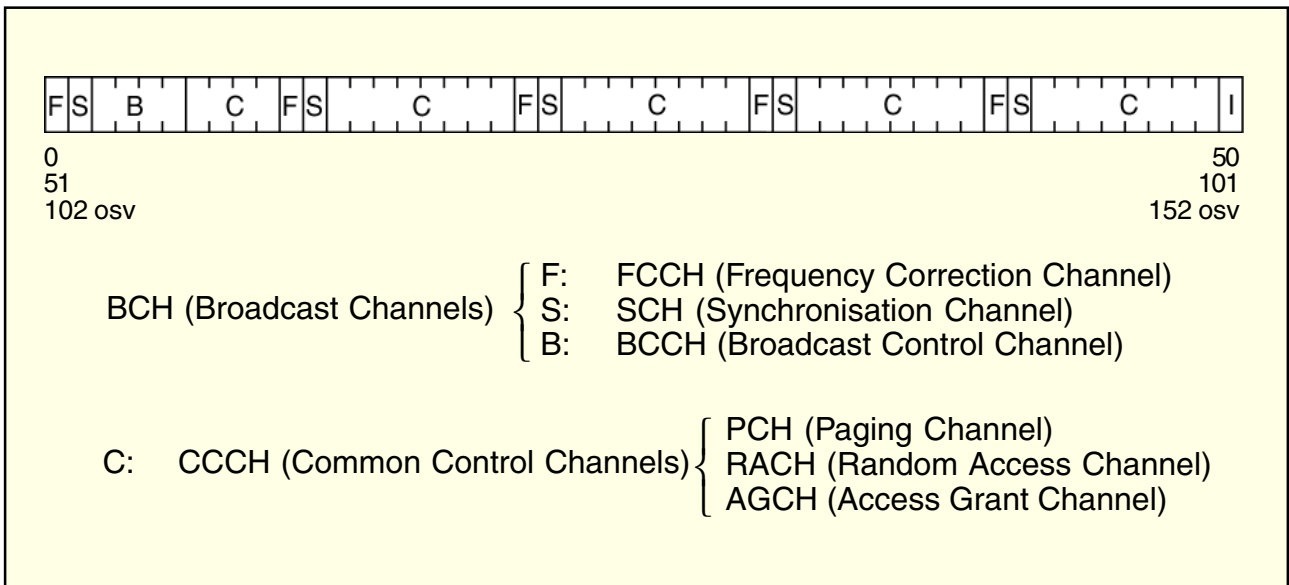


Detta är inte TRX1

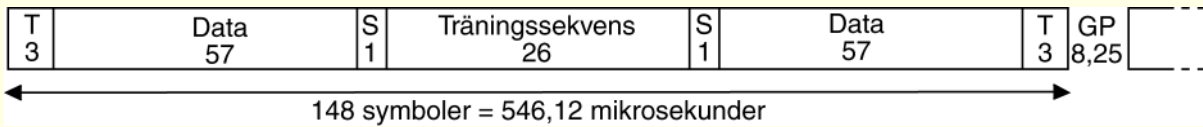


Detta är TRX1
Men var ligger TS0?

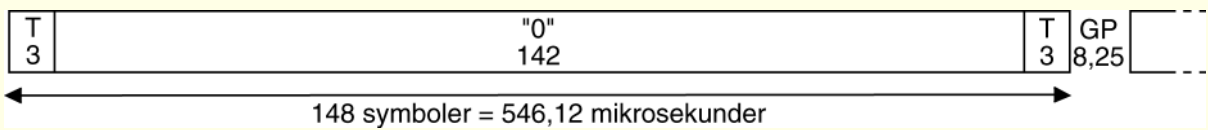




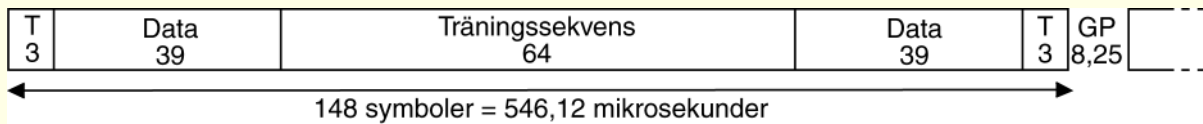
Normal burst (TCH, SDCCH, SACCH, FACCH, AGCH, "dummy burst")



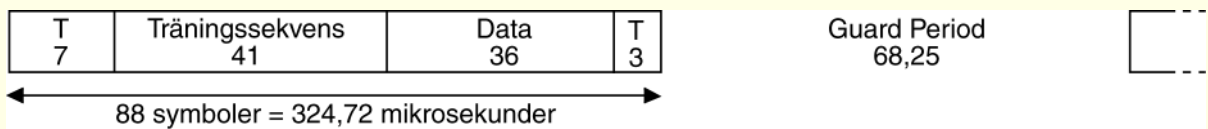
F-burst (FCCH)

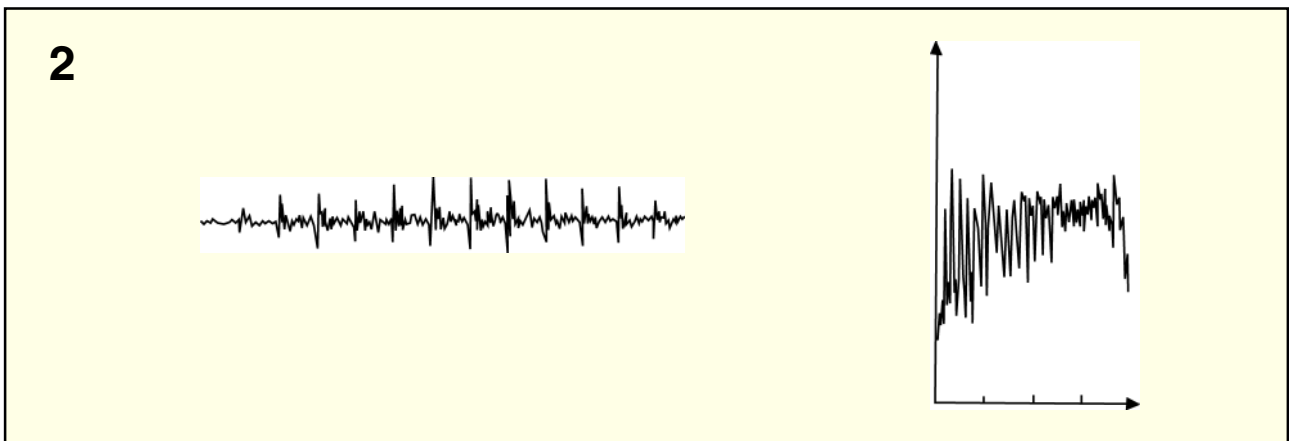
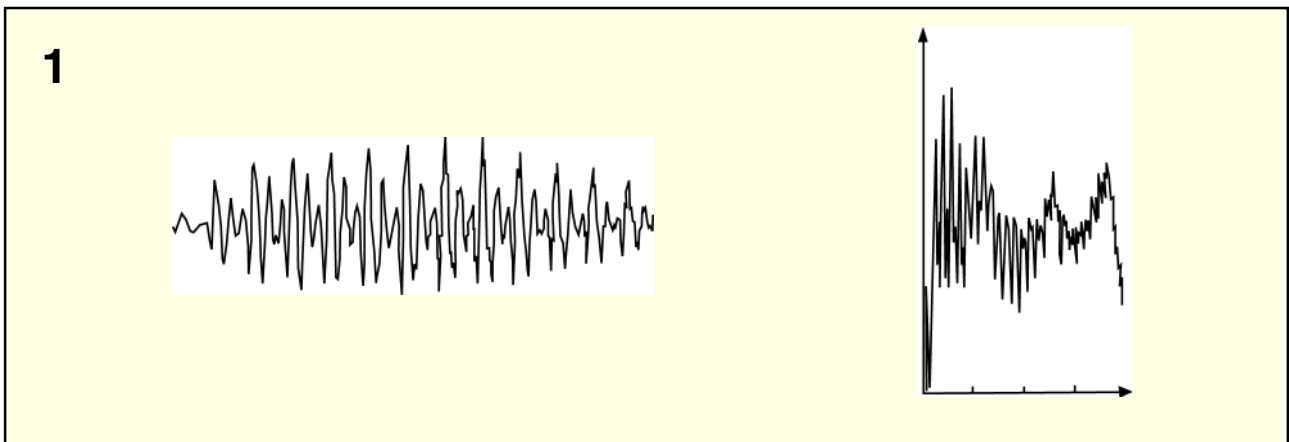
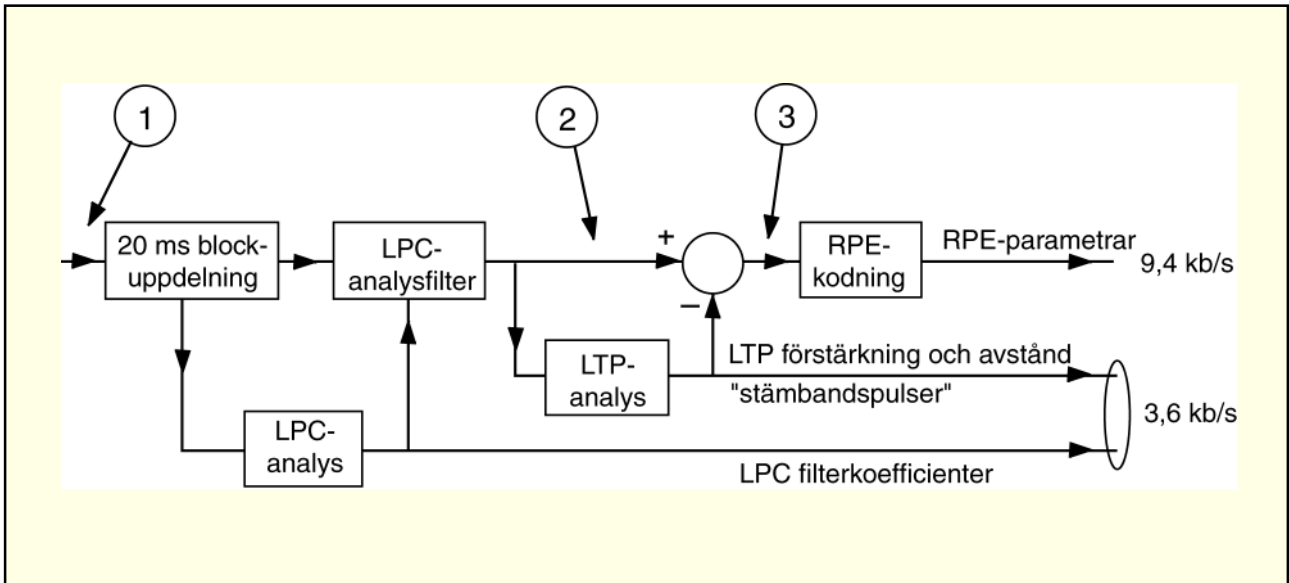


S-burst (SCH)



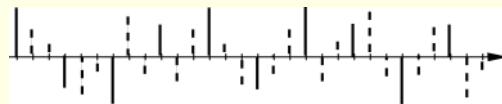
Access burst (RACH)



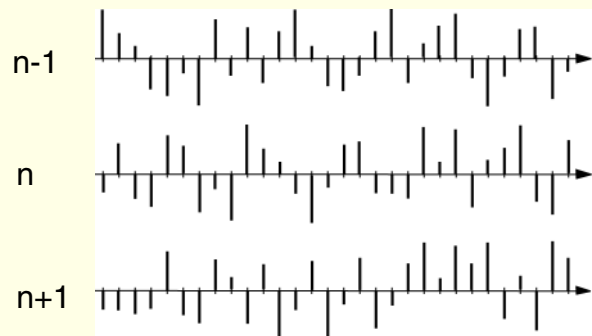


Standard för telefoni	Algoritm	kb/s
GSM FR (Full Rate)	RPE-LTP	13
GSM EFR (Enhanced Full Rate)	ACELP	13
GSM HR (old Half Rate)	VSELP	5,6
D-AMPS Full Rate	VSEPL	7,95
D-AMPS Enhanced Full Rate	ACELP	7,4
PDC Full Rate	VSELP	6,7
PDC Half Rate (40 ms sample)	PSI-CELP	3,6
IS/95-CDMA Variable Rate	CELP	1,2 - 9,6

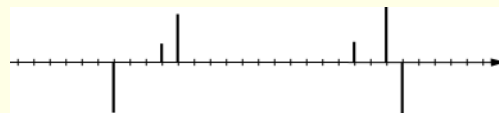
RPE: Välj ut pulser på jämnt avstånd och ange amplitud och läge.



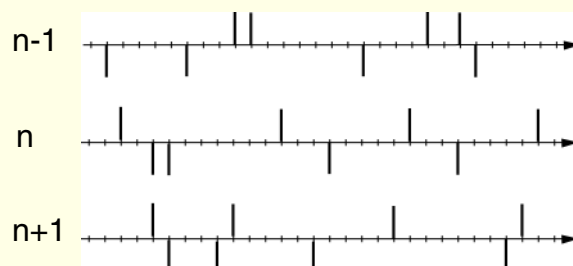
CELP: Skapa ett visst antal excitationssignaler att välja mellan. Välj den som är mest lik.



MPE: Välj de viktigaste pulserna ur excitationssignalen. Ange amplitud och läge.



ACELP: Simulera excitationssignalen med ett antal pulser med fast amplitud, +1 eller -1. Sortera möjliga excitationssignaler i kodbok och välj bästa kodord.

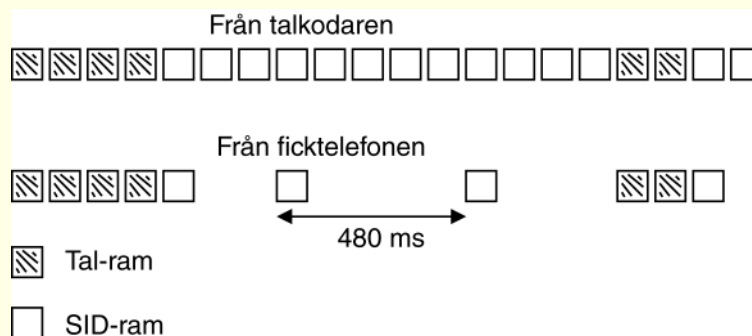


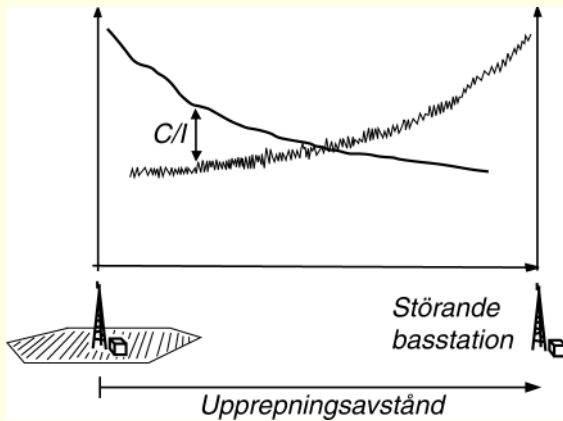
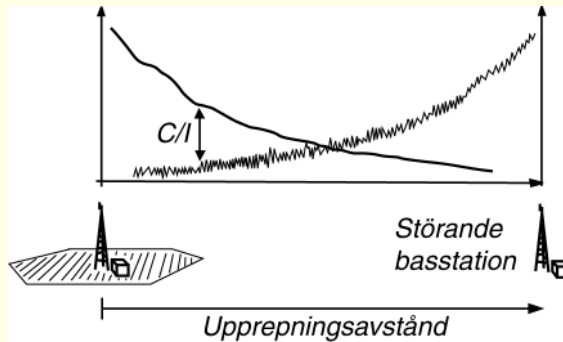
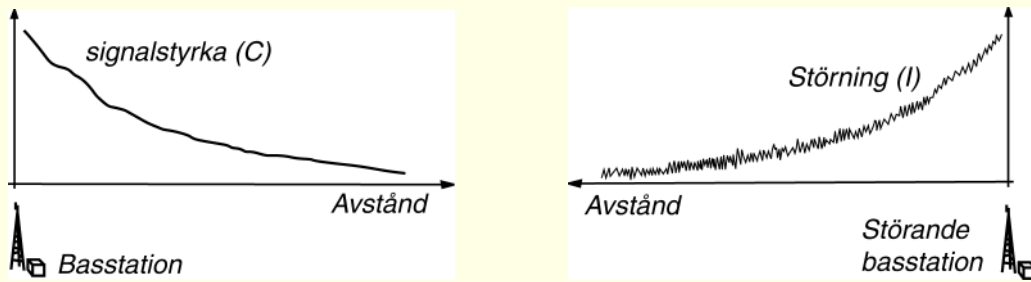
GSM FR (Full Rate, Phase 1)		
Parameter	bit/subram (5 ms)	bit/ram
LPC koefficienter	–	36
LTP förstärkning	2	8
LTP fördröjning	7	28
RPE grid positioner	2	8
RPE block max amplitud	6	24
RPE normaliserade sampel	13 x 3	156
Totalt per ram (20 ms)	–	260

GSM EFR (Enhanced Full Rate, Phase 2+)		
Parameter	bit/subram (5 ms)	bit/ram
LPC koefficienter	–	38
LTP förstärkning	4	16
LTP fördröjning	9 + 6 + 9 + 6	30
ACELP excitation	35	140
Excitationsförstärkning	5	20
Paritetsbitar	–	16
Totalt per ram (20 ms)	–	260

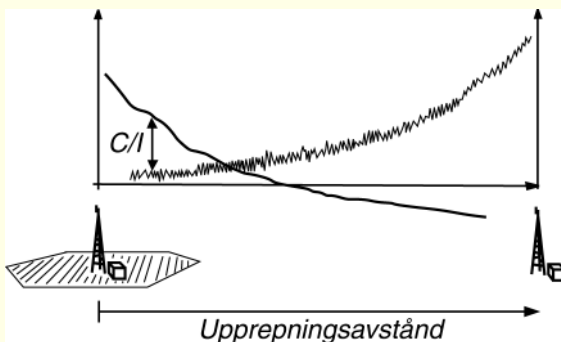
D-AMPS Full Rate		
Parameter	bit/subram (5 ms)	bit/ram
LPC koefficienter	–	38
Ramenergi	–	5
LTP fördröjning	7	28
VSELP excitation (2 kodböcker)	7 + 7	56
Excitationsförstärkning (VQ)	8	32
Totalt per ram (20 ms)	–	159

12.5 DTX (Discontinuous Transmission)



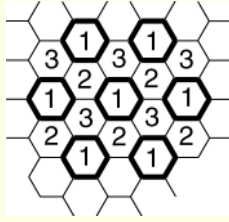
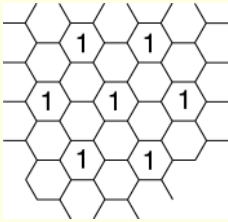


Hörge sändareffekt
påverkar inte
upprepningsavståndet

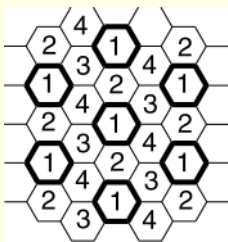


Med effektregering
stör man mindre

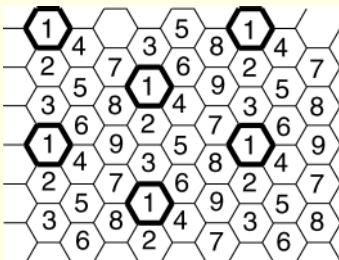
13.2 Cellmönster



Upprepningsavstånd:
ca 1,5 celldiametrar
Klusterstorlek (antal
kanalgrupper): 3

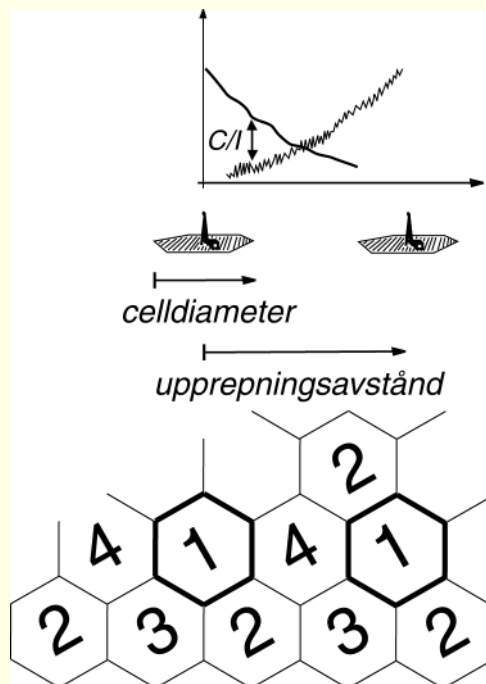
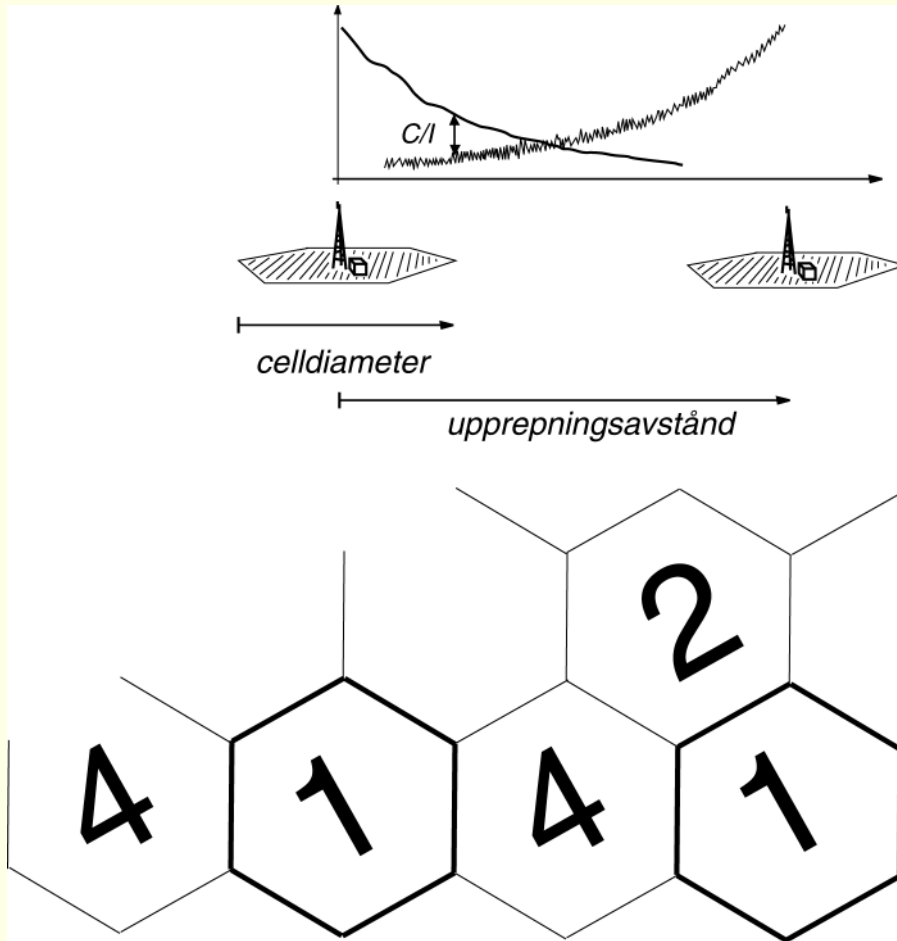


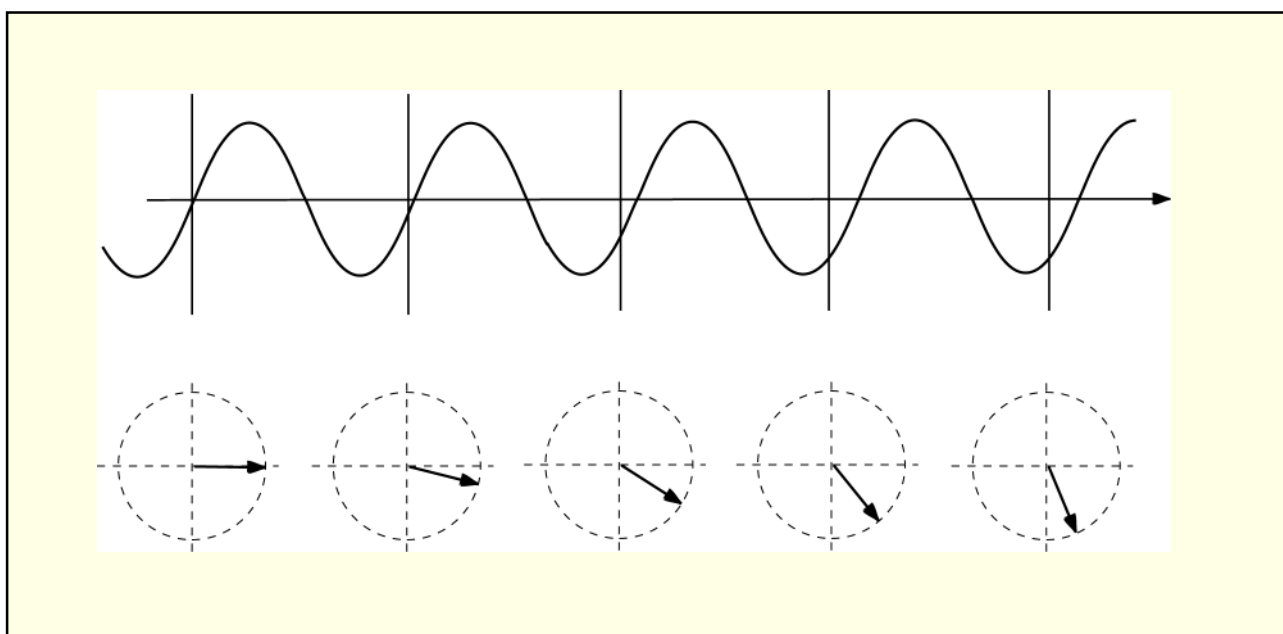
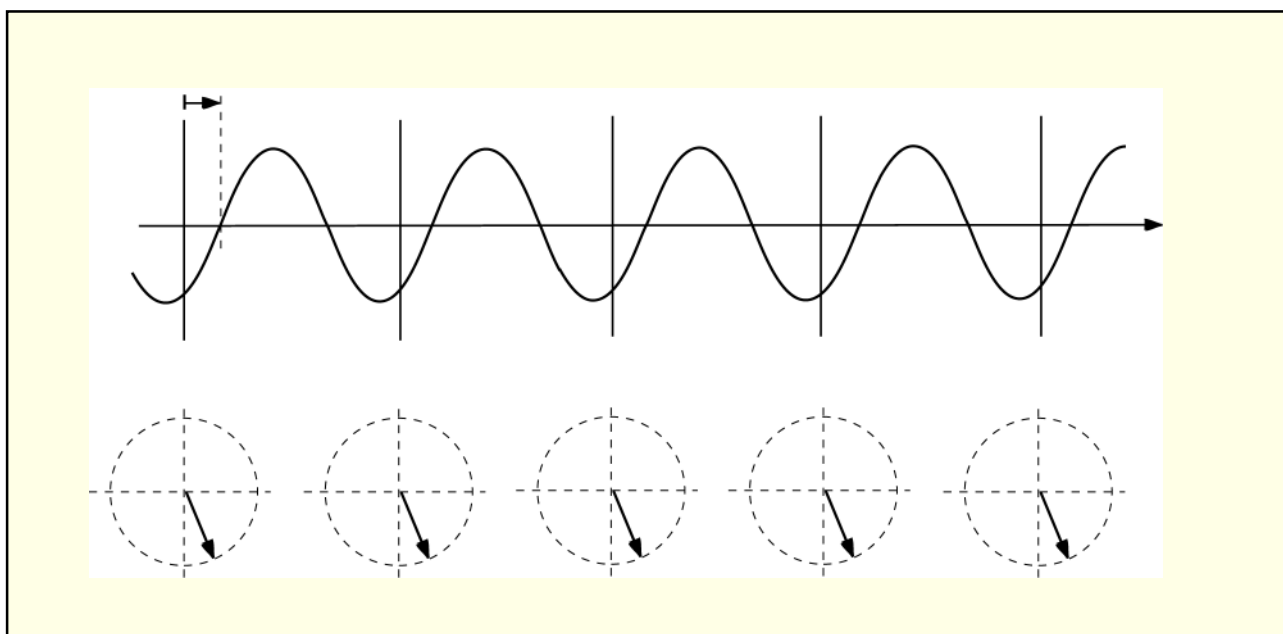
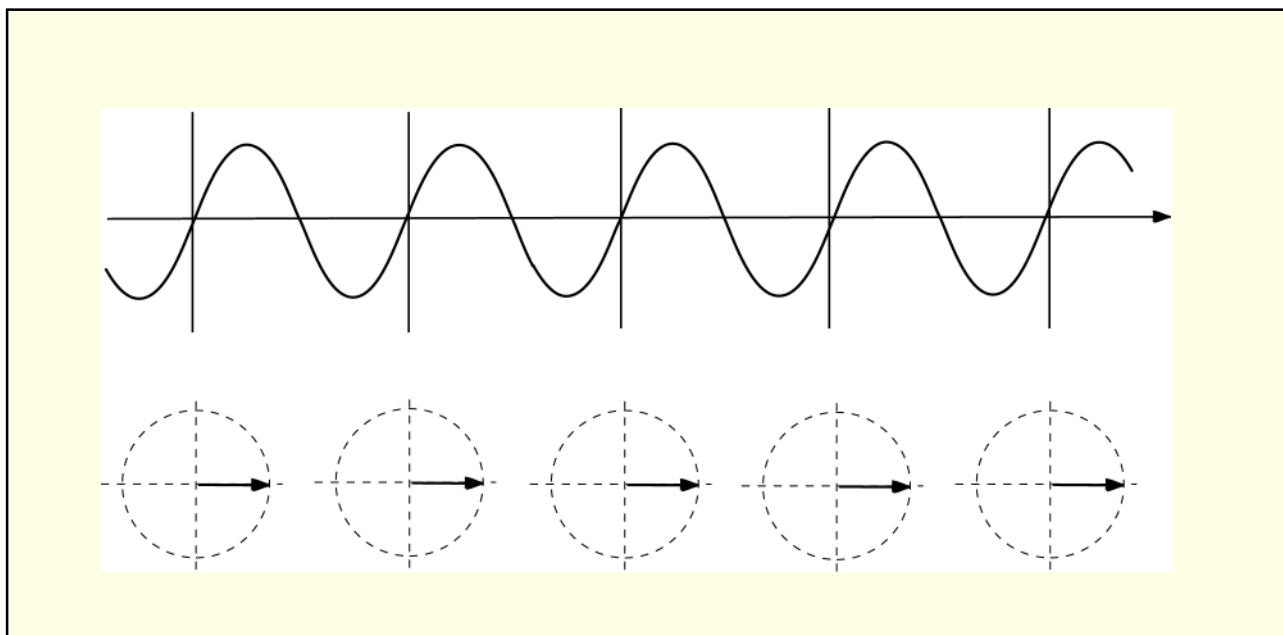
Upprepningsavstånd:
ca 2 celldiametrar
Klusterstorlek (antal
kanalgrupper): 4



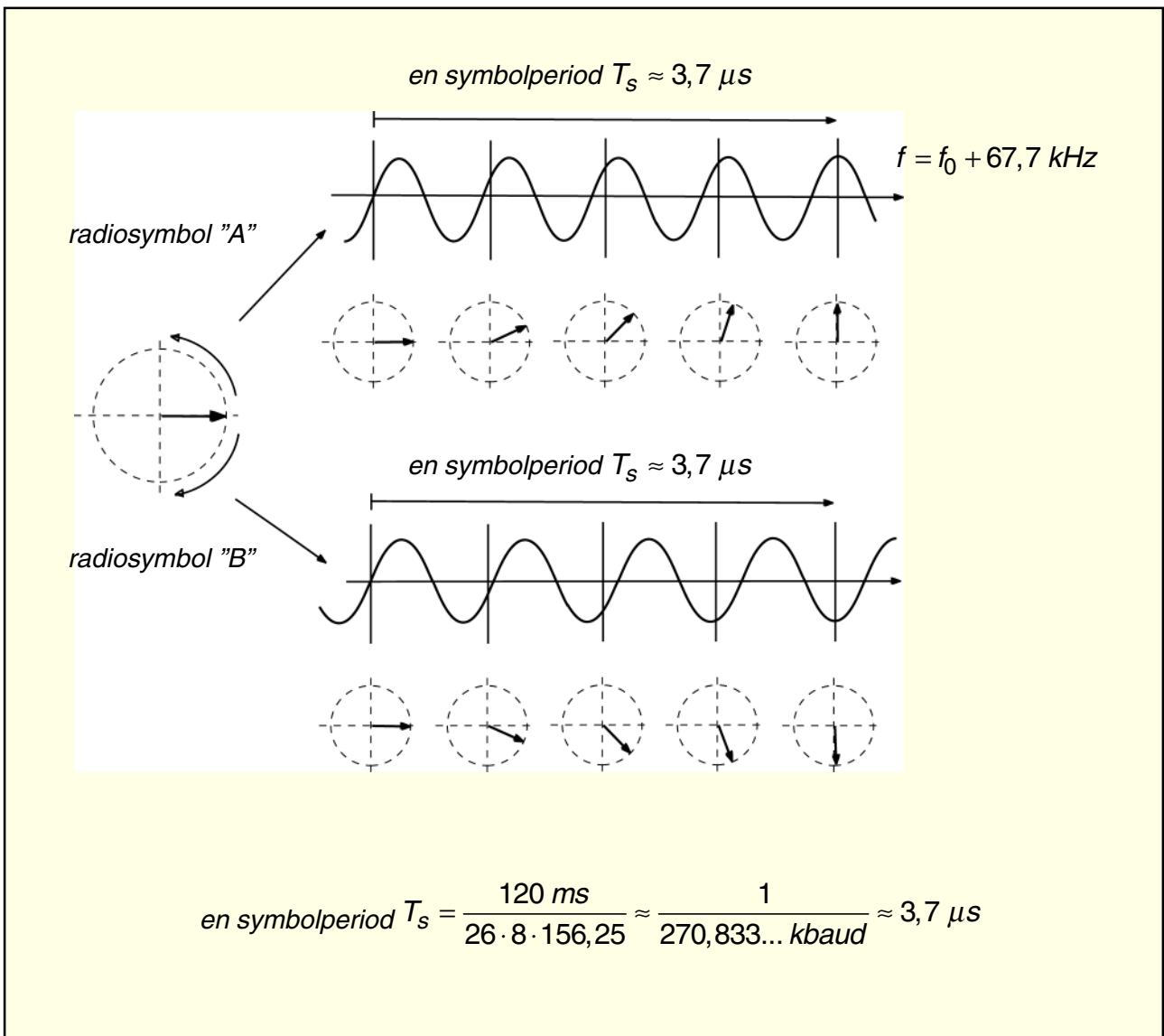
Upprepningsavstånd:
ca 3 celldiametrar
Klusterstorlek (antal
kanalgrupper): 9

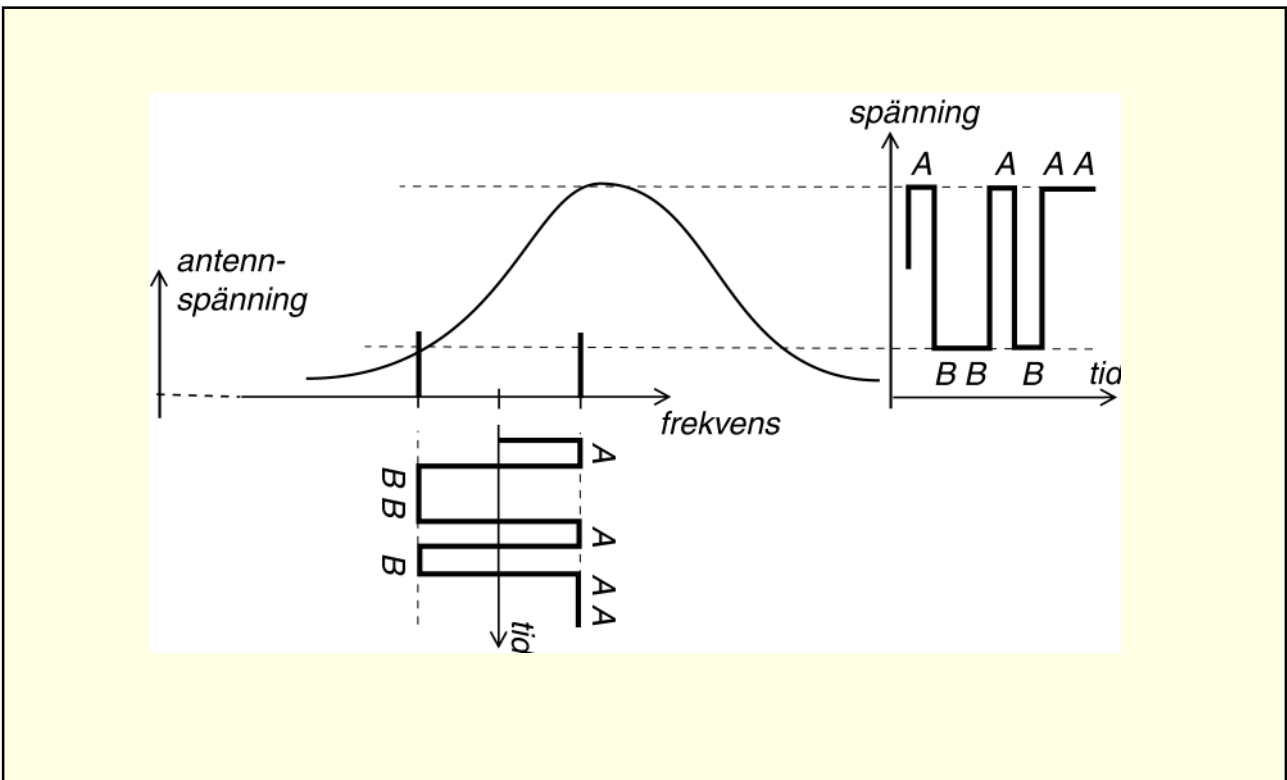
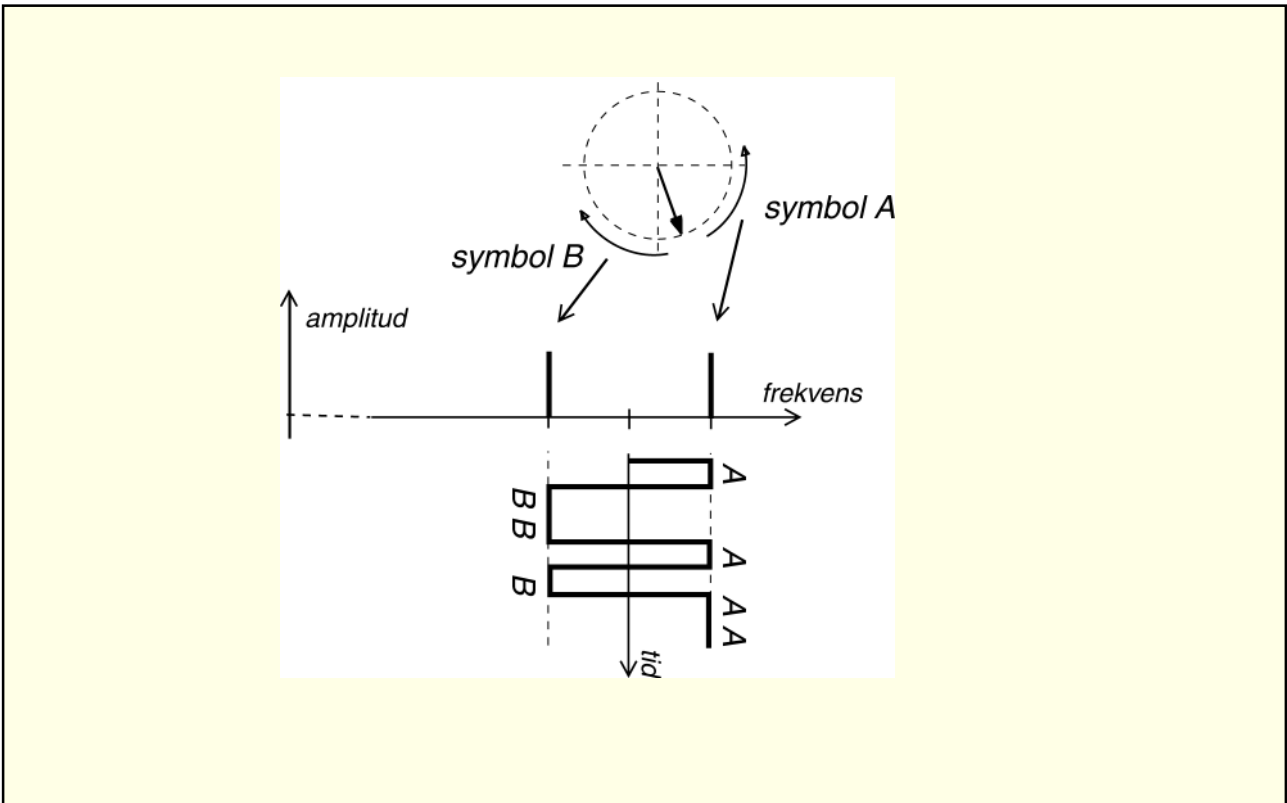
Upprepningsavstånd (celldiametrar)	Klusterstorlek (kanalgrupper)	
1	1	(CDMA)
1,5	3	
2	4	
2,5	7	
3	9	(GSM)
3,5	13	
4	16	
4,5	21	(NMT)



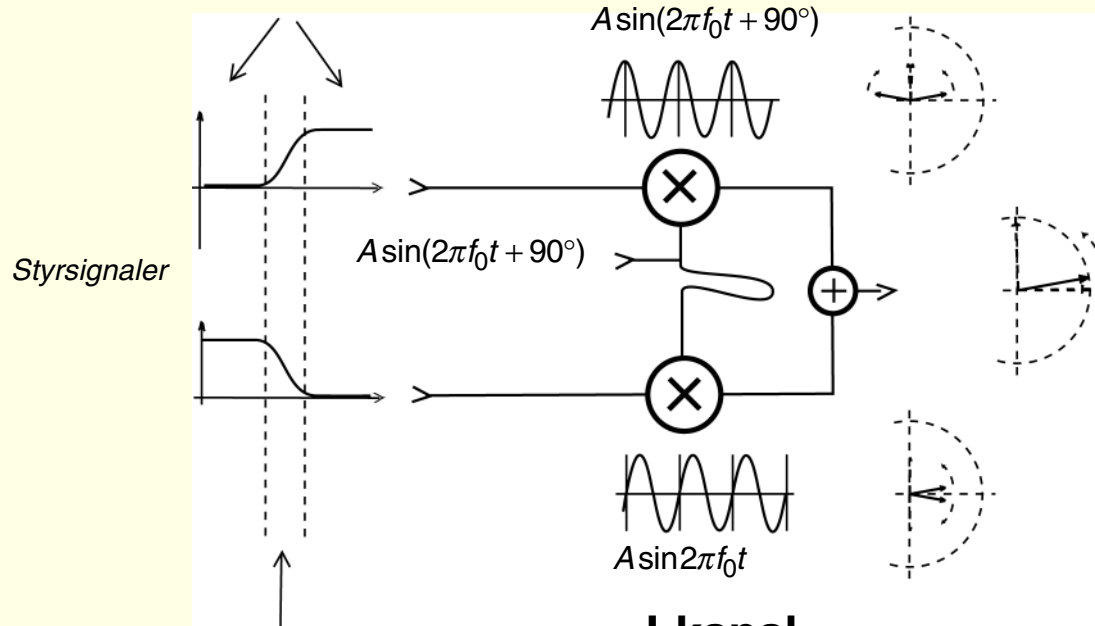


$$\frac{\pi}{2} = \varphi(T_s) = 2\pi\Delta f \cdot T_s \Rightarrow \Delta f = \frac{1}{4T_s} = \frac{26 \cdot 8 \cdot 156,25}{4 \cdot 120 \cdot 10^{-3}} = 67,70833... \text{ kHz}$$

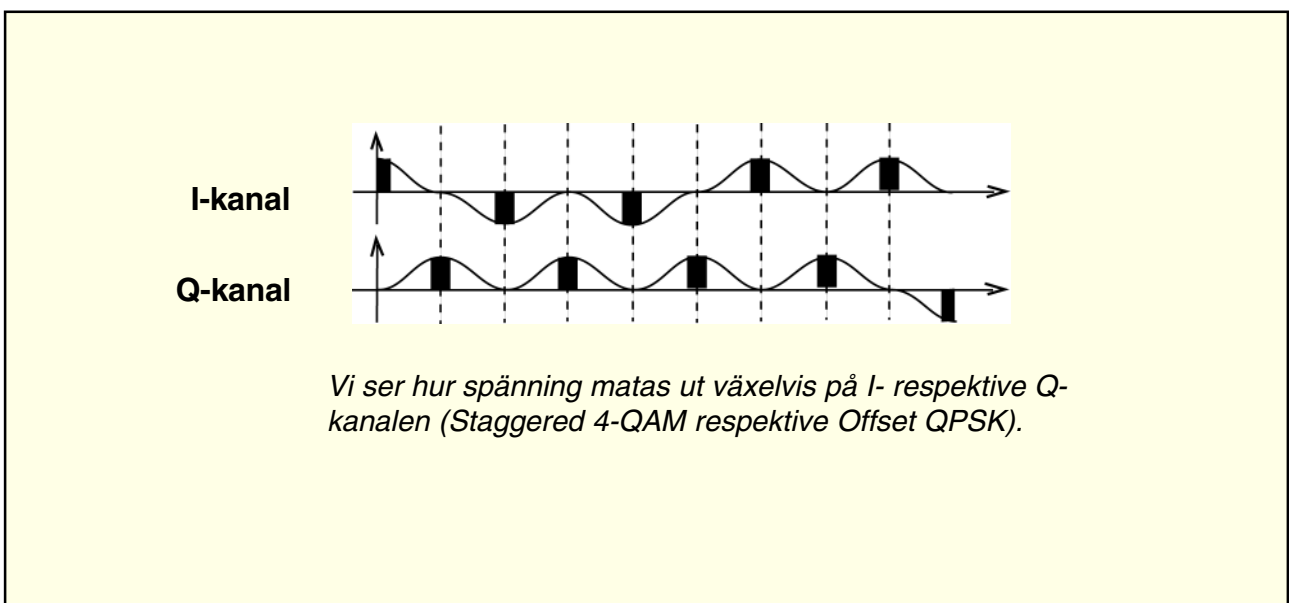
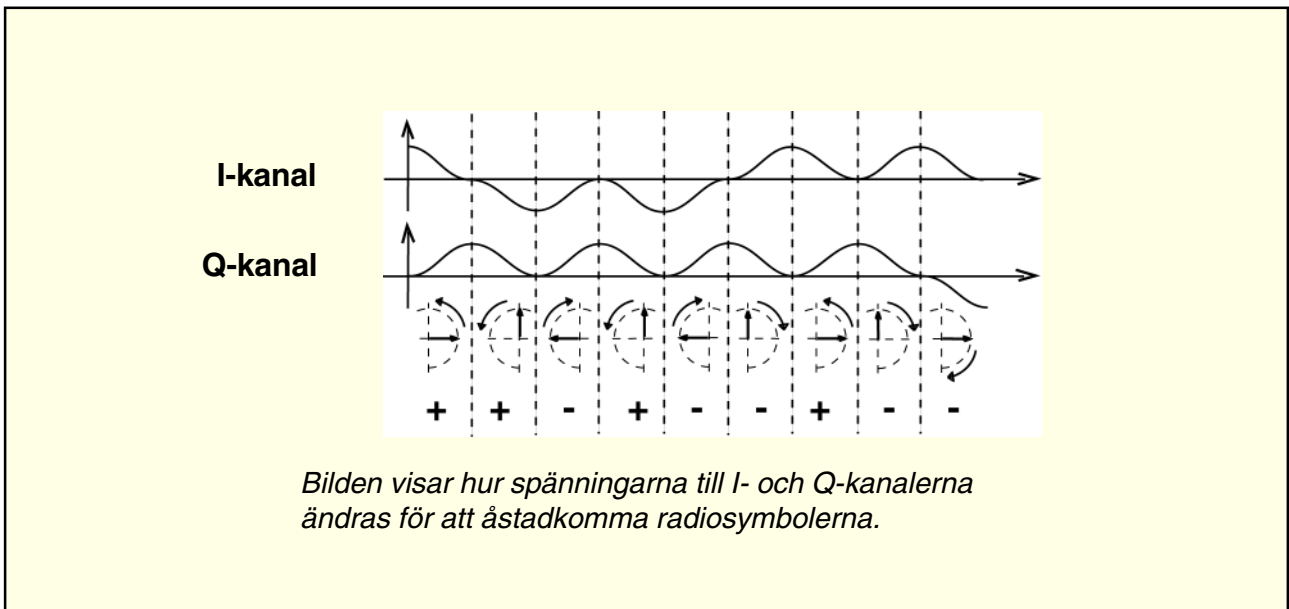
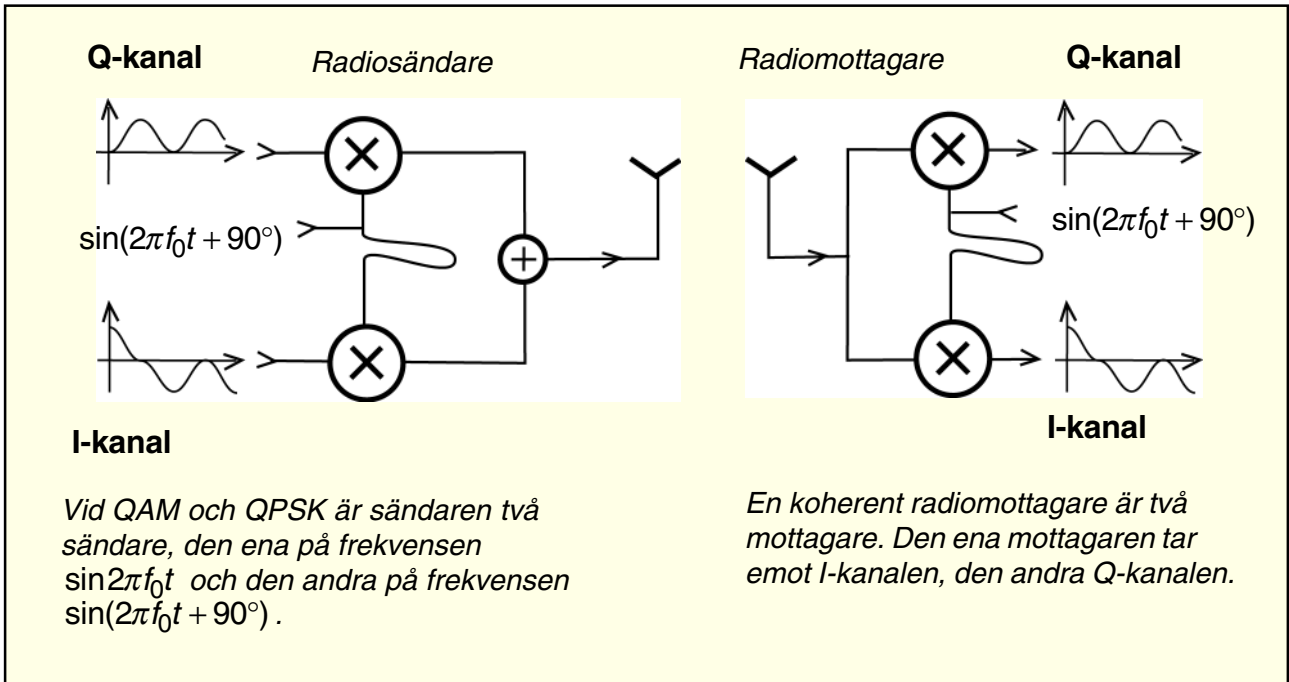


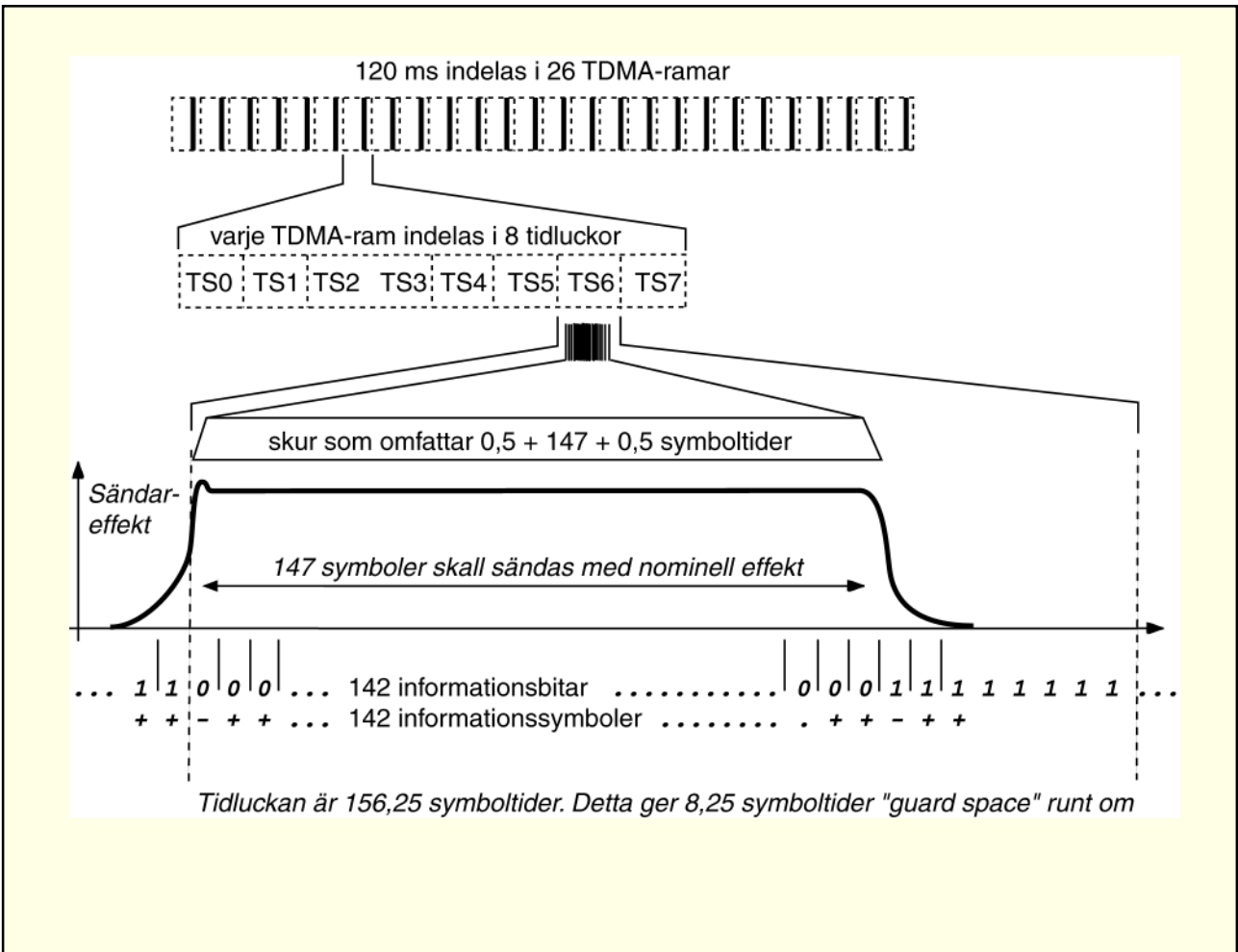
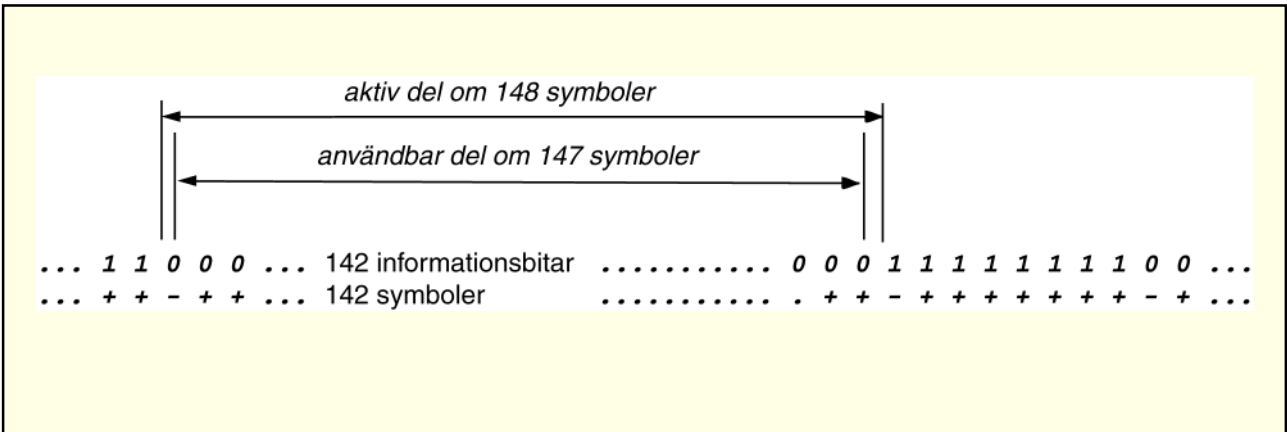
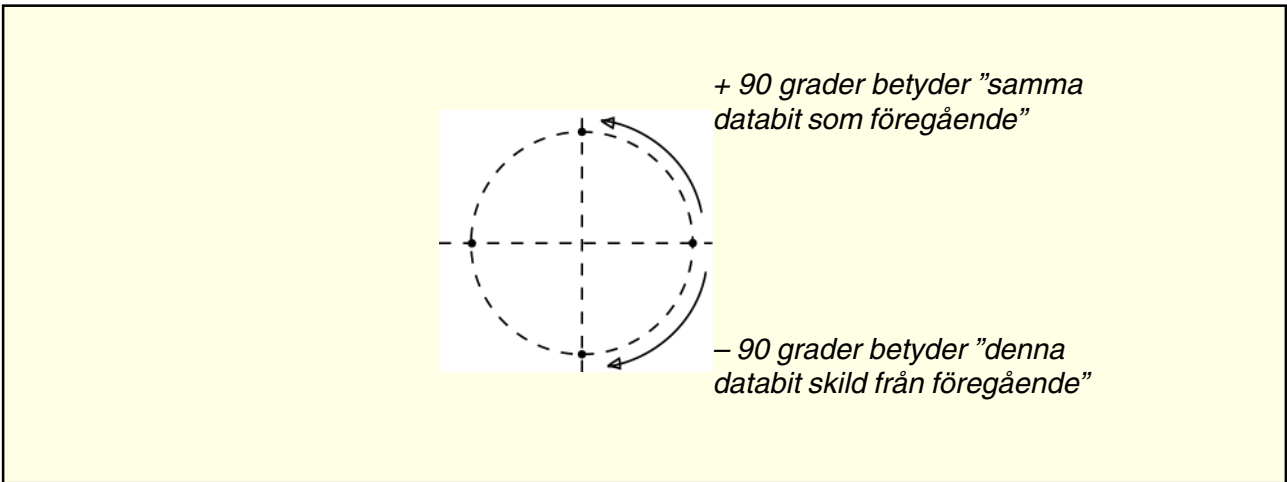


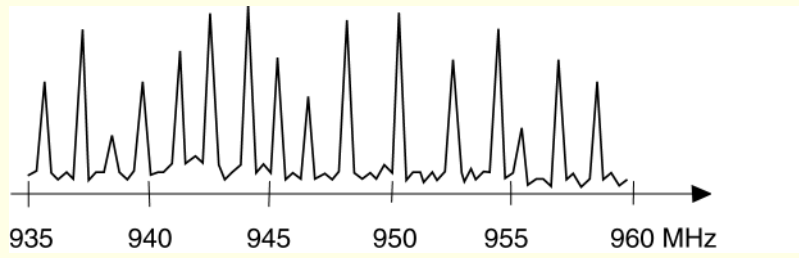
När styrsignalerna inte ändras ligger utsignalen på nominell kanalfrekvens.



Styrsignalerna ändras på sådant sätt att utsignalen fasvrids med konstant amplitud.

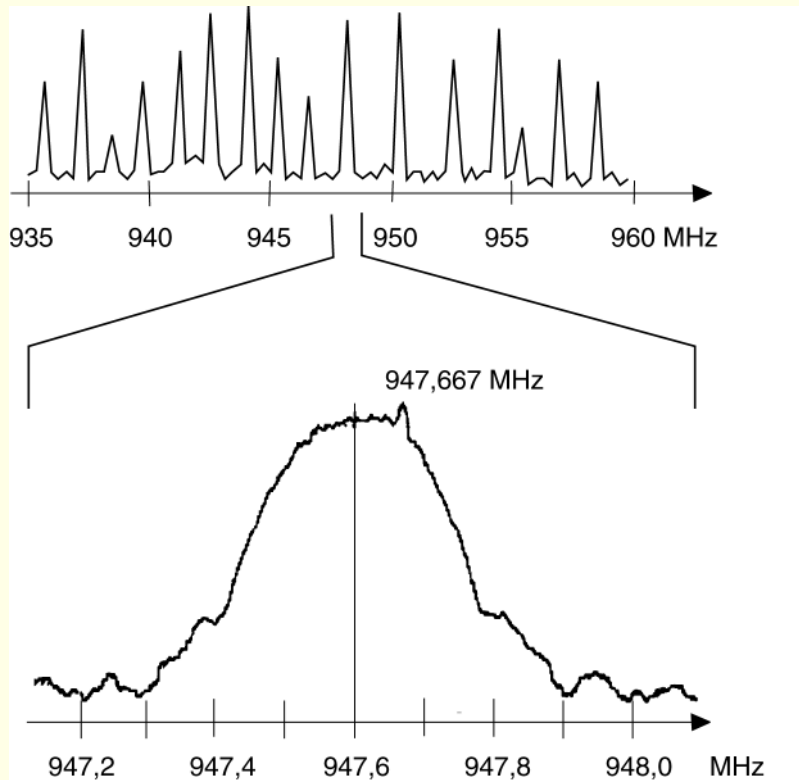


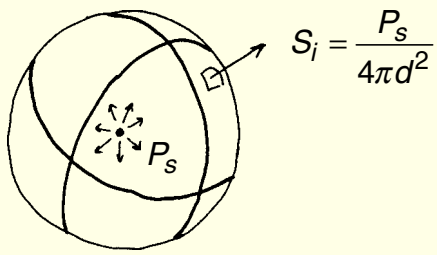




Detta är TRX1
Men var ligger TS0?

FCCH
Ibland har TS0 ett speciellt utseende



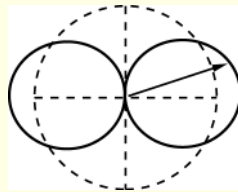


$$A_i = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

$$P_m = S_i \cdot A_i = \frac{P_s}{4\pi d^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi}$$



Halvvågsantennens strålningsdiagram (3-dimensionellt)



$G(\varphi, \phi)$

Antennvinst G i viss riktning anges av pilens längd

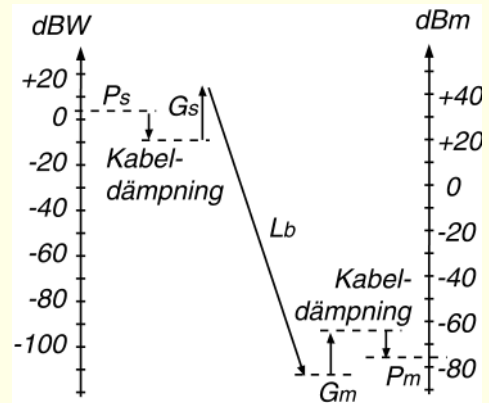
Halvvågsantennens strålningsdiagram relativt isotrop antenn

$$P_m = [S_i \cdot G_s(\varphi, \phi)] \cdot [A_i \cdot G_m(\varphi, \phi)] =$$

$$= \frac{P_s \cdot G_s(\varphi, \phi)}{4\pi d^2} \cdot \frac{\lambda^2 \cdot G_m(\varphi, \phi)}{4\pi}$$

$$P_s \cdot G_s(\varphi, \phi) \cdot \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \cdot G_m(\varphi, \phi) = P_m$$

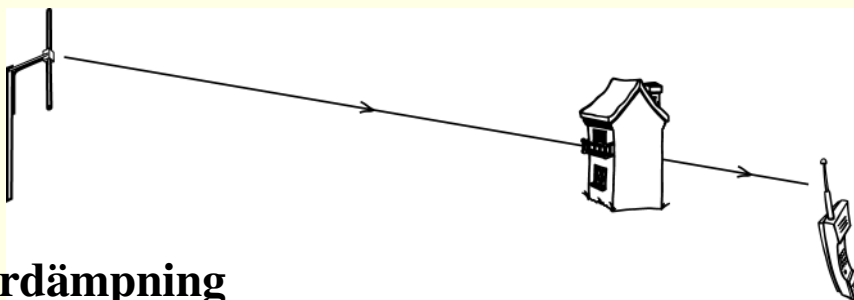
$$10 \cdot \log P_s + G_s [\text{dBi}] - L_b + G_m [\text{dBi}] = 10 \cdot \log P_m$$



$$L_b = 10 \cdot \log \left[\frac{4\pi d}{\lambda} \right]^2 = 32,4 + 20 \cdot \log d_{km} + 20 \cdot \log f_{MHz}$$

En "budget", länkbudget, för att beräkna vilken effekt som kommer fram till mottagaren.

Sändareffekt $10 \cdot \log P_s$	+ ____ [dBW]
Eventuell kabeldämpning	- ____ [dB]
Antennvinst vid sändaren $G_s(\varphi, \phi)$:	+ ____ [dBi]
Sträckdämpning L_b	- ____ [dB]
Antennvinst vid mottagaren $G_m(\varphi, \phi)$:	+ ____ [dBi]
Eventuell kabeldämpning	- ____ [dB]
Omvandling till dBm:	+ <u>30</u> [dB]
Summa effekt till radiomottagaren:	____ [dBm]



Hinderdämpning

Fysikaliska orsaken: Radiostrålen hindras.

Skuggfädning

Hur vi upplever signalen, signalen fädar, när vi åker in och ut ur "radioskugga".

Långsam fädning

Hur signalen upplevs i tiden. Avståndet mellan punkter där den mottagna signalen är svag är i storleksordningen tiotal meter. När man åker bil i skuggfädning kommer signalen att fäda relativt långsamt.

Log-normal fädning

Statistikerns sätt att beskriva det som fysikaliskt är hinderdämpning. Mottagna signaleffekten uttryckt i dBm eller dBW grupperar sig runt medelvärdet enligt normalfördelningen.

Om signalen helt försvinner?

Om hinderdämpningen är så hög att den mottagna signalen drunknar i bruset, helt försvinner, så finns inget annat botemedel än att sätta upp fler basstationer.

Vågutbredningsmodeller

Dämpningen mellan antennerna, den elementära transmissionsförlusten L_b .

Okumura

1968 presenterade Okumura en grafisk metod baserad på vågutbredningsmätningar i Tokyo i frekvensområdet 150 – 1500 MHz.

Utgår från frirumsdämpningen med korrektion för utbredning i stadsmiljö när basstationsantennen sitter på 200 m höjd och mobilens antenn befinner sig på 3 m höjd, varefter man korrigerar för verkliga antennhöjder. Därefter korrigerar man för hur gatunätet är orienterat, om det är förort eller landsbygd, om terrängen lutar, om det är en blandning av land och vatten, om terrängen är kuperad, om där finns enstaka höga berg.

Okumura-Hata

Okumuras metod är grafisk, bygger på kurvskaror. År 1980 överförde Hata dessa kurvor till matematisk form för att möjliggöra datorberäkning av täckningsområden.

COST231-Hata

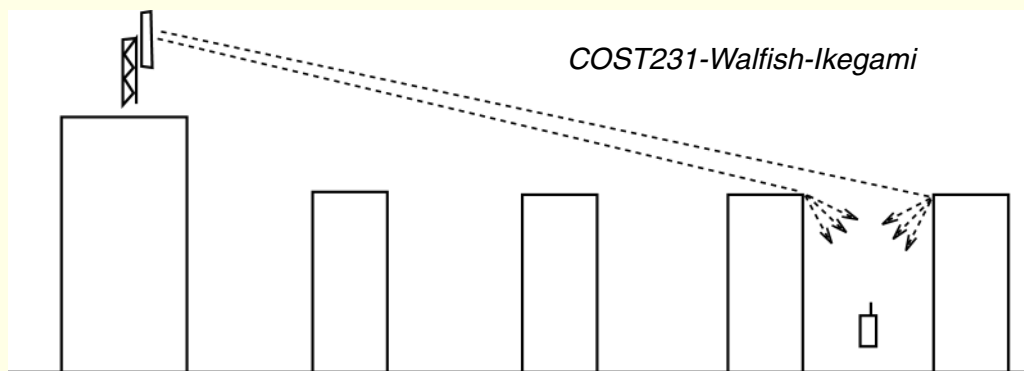
Europeiska COST-projektet har utvecklat en utvidgad Okumura-Hata-modell för frekvensområdet 1,5 – 2 GHz, ett önskemål för utbyggnaden av GSM 1800.

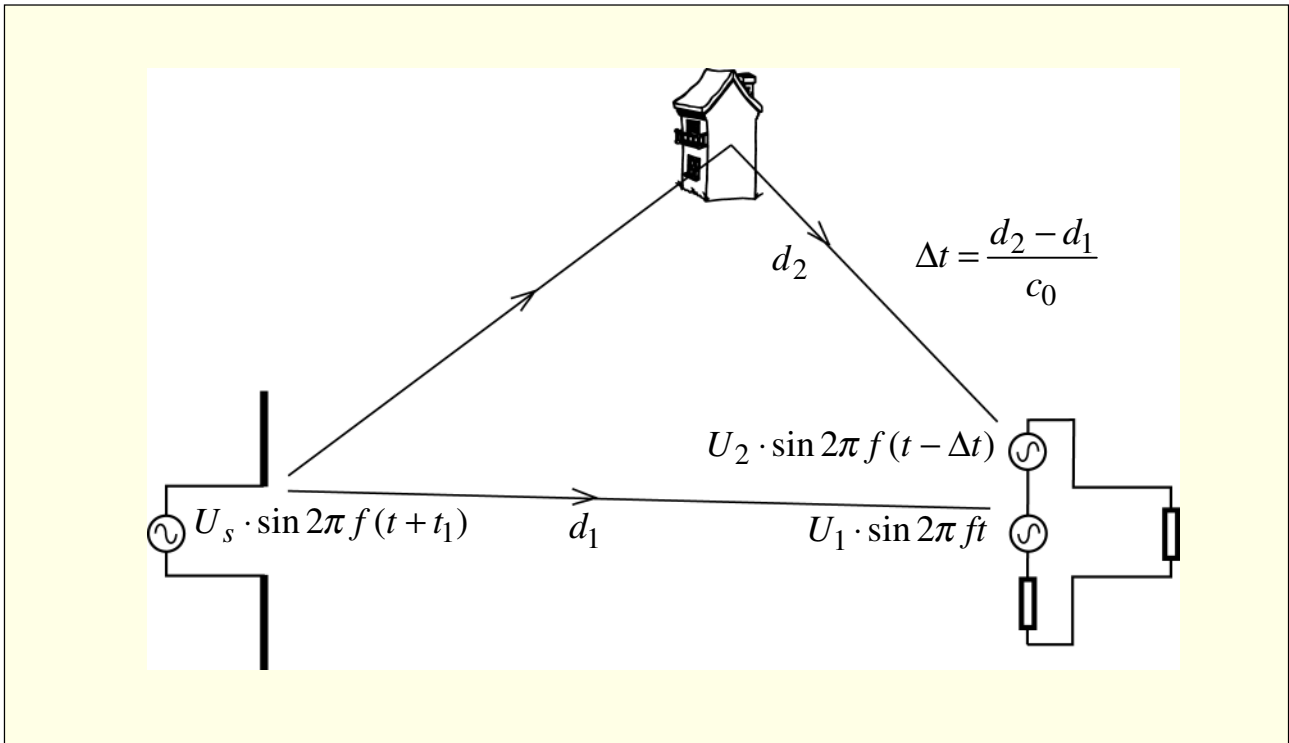
Diffraktionsmodeller, COST231-Walfish-Ikegami

Modellen tar hänsyn till frisiktsdämpning (free space loss), diffraktion och spridning från hustak till gatunivå (rooftop to street diffraction and scatter loss) och avskärmning (multiscreen loss).

3D-simuleringar

Genom att arbeta i tre dimensioner och summera direktgående strålar, reflekterade strålar och kniveggsbrutna strålar försöker man få fram matematiska metoder för en någorlunda rättvisande bild av vågutbredning främst på höga frekvenser i stadsmiljö respektive inomhus.





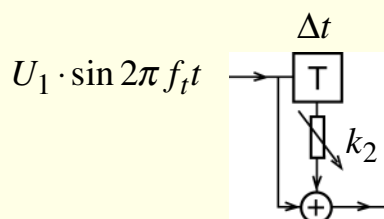
Reflexer

- Fältstyrkor kan inte adderas
- Kan spänningarna adderas? Ja, men man måste vara försiktig.

Har bägge sinusspänningarna verkligen samma frekvens?

$$U_1 \cdot \sin 2\pi f t + U_2 \cdot \sin 2\pi f (t - \Delta t) = ?$$

$$= U_1 \cdot \sin 2\pi f_t t + U_2 \cdot \sin [2\pi f_{t-\Delta t} t - 2\pi f_{t-\Delta t} \Delta t] = ?$$



$$U_1 \cdot \sin 2\pi f_t t + k_2 U_1 \cdot \sin 2\pi f_{t-\Delta t} (t - \Delta t) =$$

$$= U_1 \cdot \sin 2\pi f_t t + U_2 \cdot \sin [2\pi f_{t-\Delta t} t - 2\pi f_{t-\Delta t} \Delta t]$$

14.6 Korta reflexer

Reflexerna är korta när $\Delta t \leq 0,2 \cdot T_s$, dvs tidsfördröjningen är mindre än 20% av symboltiden. Vad är maxvärdet på Δd för att reflexen skall betraktas som kort? Vi gör beräkningarna för GSM där $T_s \approx 3,7 \mu s$.

$$\Delta t = \frac{d_2 - d_1}{c_0} = \frac{\Delta d}{c_0}$$

$$\Rightarrow \Delta d \leq c_0 \cdot \Delta t = c_0 \cdot 0,2 \cdot T_s \approx 3 \cdot 10^8 \cdot 0,2 \cdot 3,7 \cdot 10^{-6} \approx 220 \text{ m}$$

Summaspänning
om frekvenserna
är lika:

$$\begin{aligned} U_1 \cdot \sin 2\pi f_1 t + U_2 \cdot \sin[2\pi f_{t-\Delta t} t - 2\pi f_{t-\Delta t} \Delta t] &= \\ = U_1 \cdot \sin 2\pi f t + U_2 \cdot \sin[2\pi f t - 2\pi f \Delta t] &= \\ = U_1 \cdot \sin 2\pi f t + U_2 \cdot \sin[2\pi f t - \varphi] & \end{aligned}$$

Fasvinkeln beror på
gångvägsskillnaden
och frekvensen:

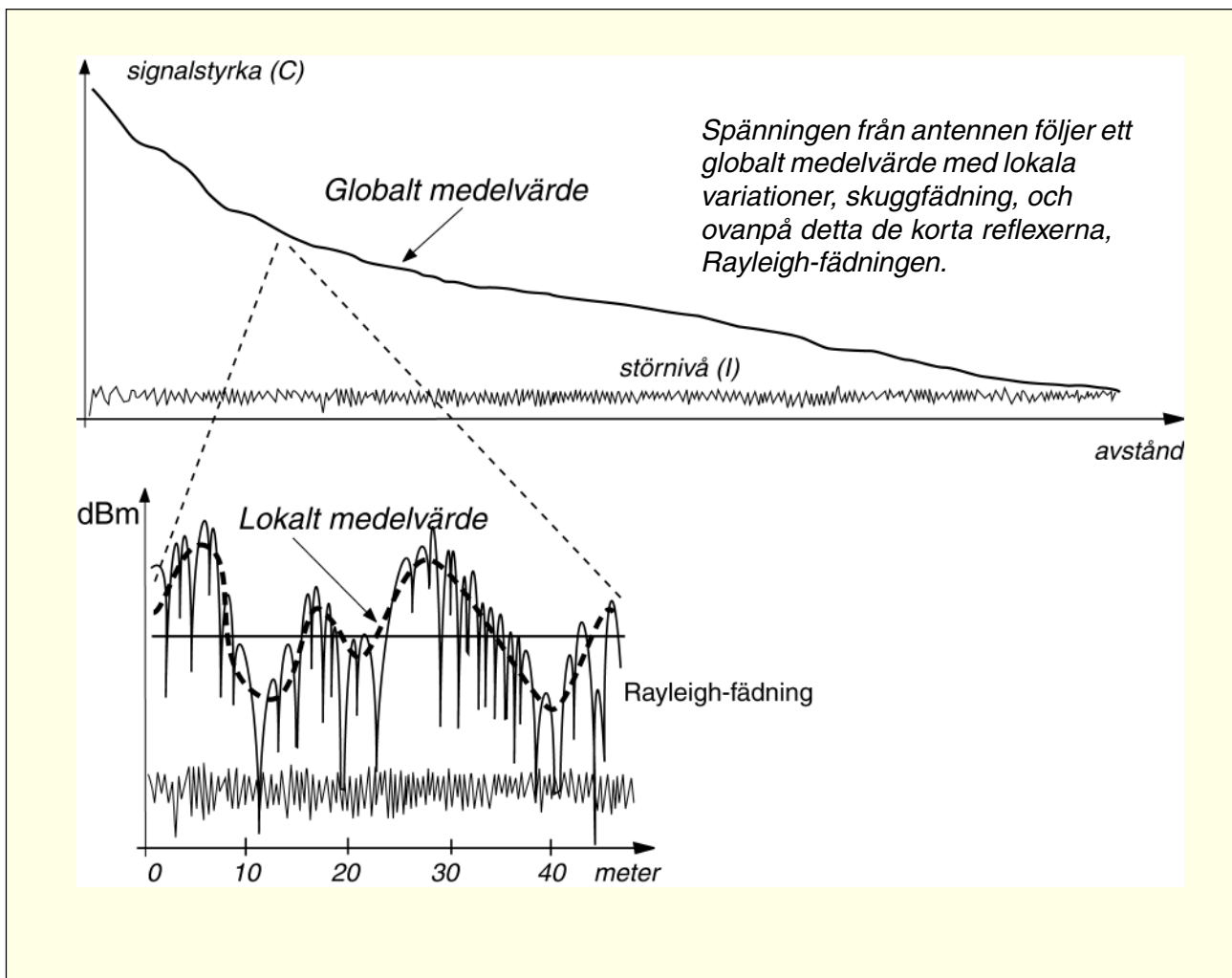
$$\varphi = 2\pi \frac{f \cdot \Delta d}{c_0} = 2\pi \frac{\Delta d}{\lambda}$$

$$\text{Våglängd: } \lambda = \frac{c_0}{f}$$

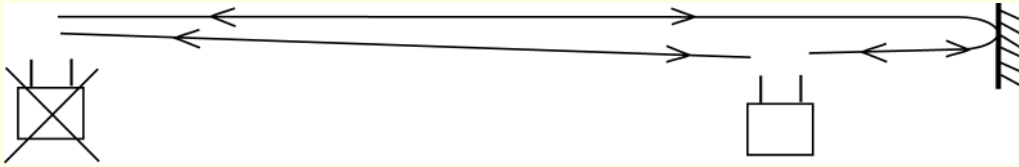
Kort reflex syftar på fysikaliska orsaken, att reflexen gått kort extra tid Δt , eller kort extra vägsträcka Δd jämfört med huvudstrålen.

Snabb fädning syftar på hur antennspänningen upplevs, att spänningens amplitud varierar snabbt, mellan brus och full amplitud, när vi går eller åker bil. Denna variation hördes i NMT. Vid GSM genereras bitfel.

Rayleigh-fädning syftar på att antennspänningen varierar enligt den statistiska Rayleigh-fördelningen om vi har många ungefär lika starka reflexer, eller enligt Nakagami-Rice-fördelningen om vi har en stark dominerande radiostråle (direktsignal) och dessutom många reflexer.

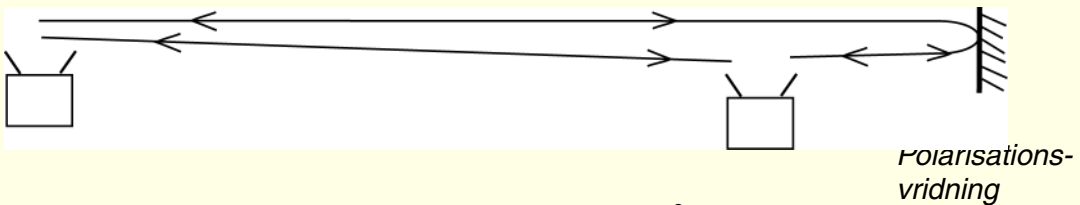


Rumsdiversitet



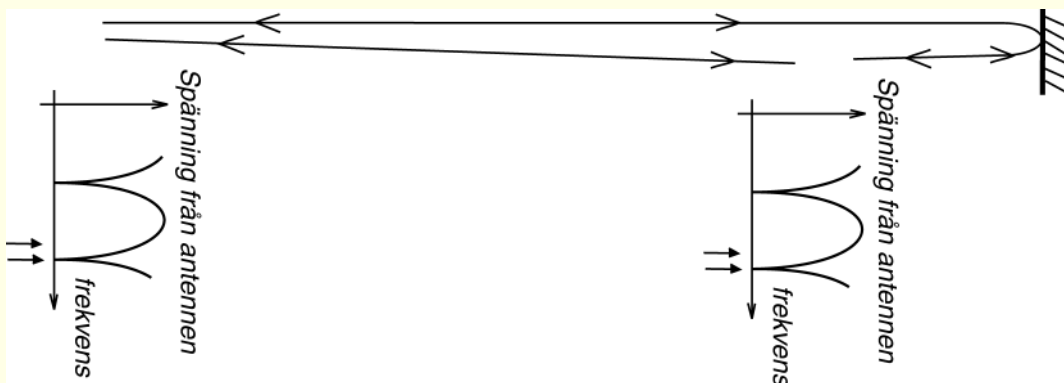
Rumsdiversitet fungerar bara om byte av antenn innebär förändring av Δd .

Polarisationsdiversitet



Polarisationsdiversitet fungerar i båda ändarna. Bygger på polarisationsvridning i reflexpunkten. Δd kan vara hur litet som helst.

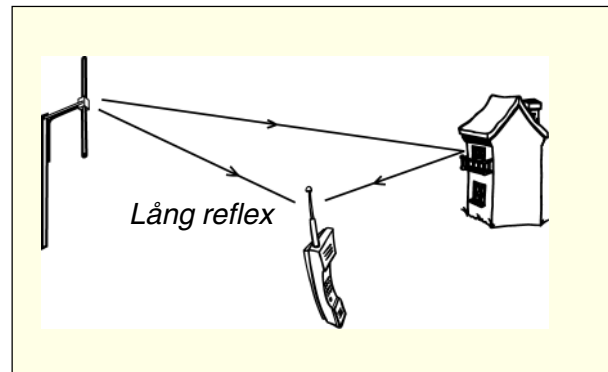
Frekvensdiversitet



”Filterkurvan” får samma utseende i båda riktningarna. Vid små värden på Δd krävs stor frekvensändring.

14.7 Långa reflexer

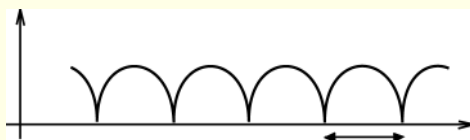
- **Långa reflexer** syftar på den fysikaliska orsaken, att vi har reflexer som gått lång extra tid, eller lång extra vägsträcka, jämfört med huvudstrålen.



- **Eko** syftar på hur vi upplever antennspänningen, nämligen som flera tidsförskjutna kopior av nyttsignalen.
- **Tidsdispersion**, eller **dispersion**, syftar på hur meddelandet ser ut när vi detekterat antennspänningen. När meddelandet består av symboler så kommer symbolerna att "breddas" i tiden, smetas ut.
- **Intersymbolinterferens (ISI)** innebär att dispersionen, utsmetningen, sker med en tidsfördröjning som uppgår till en eller flera symboltider. De olika symbolerna går in i varandra.
- **Korrelationsbandbredd (Coherence Bandwidth)**. Radiosträckan kan betraktas som ett filter, där flervägsutbredning ger en filterkurvamed begränsad bandbredd, smalare bandbredd ju längre reflex man har. Denna bandbredd kallas radiokanalens koherensbandbredd.



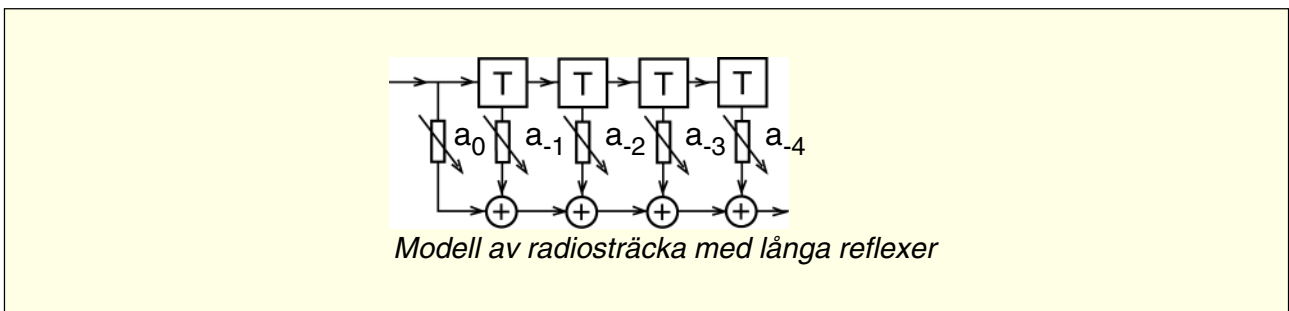
Intersymbolinterferens, ISI



Radiosträckan blir som ett filter med viss bandbredd

Om detta är huvudsignalen (den starkaste), ... så kommer reflexerna att vara svagare och ligga vridna i fas, beroende på tidsdifferensen. Om reflexen är samma symbol blir även summan samma symbol.

Om reflexen är den andra symbolen ... blir summan en visare där fasvridningarna tar ut varandra och vi i stället får amplitudmodulering.



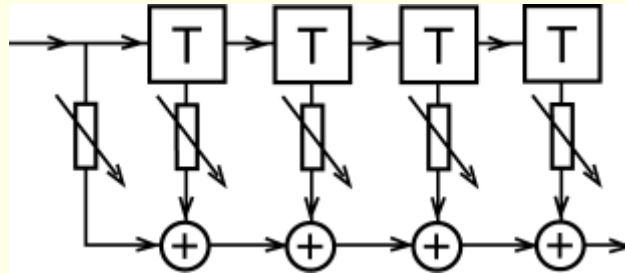
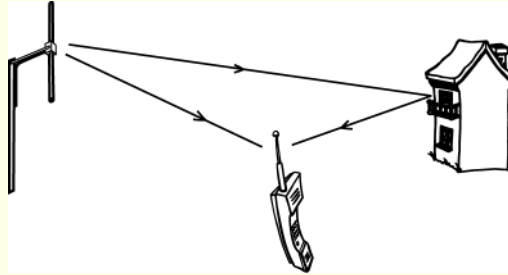
T 3	Data 57	S 1	Träningssekvens 26	S 1	Data 57	T 3	GP 8,25
--------	------------	--------	-----------------------	--------	------------	--------	------------

148 symboler = 546,12 mikrosekunder

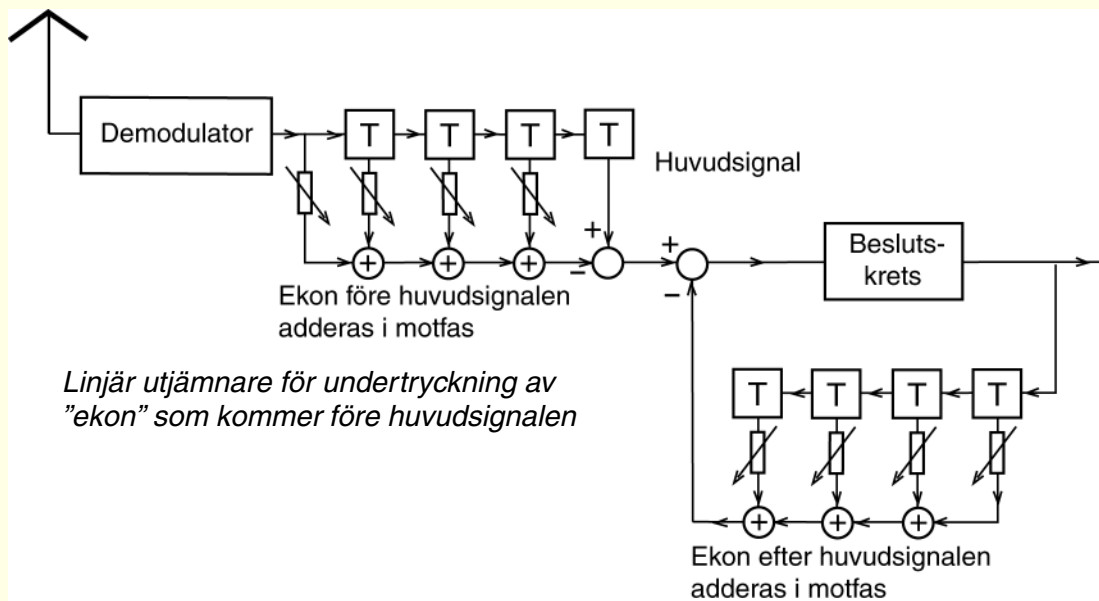
Normal dataskur

Mätning på träningssekvens när det inte finns långa reflexer

Mätning på träningssekvens när det finns lång reflex

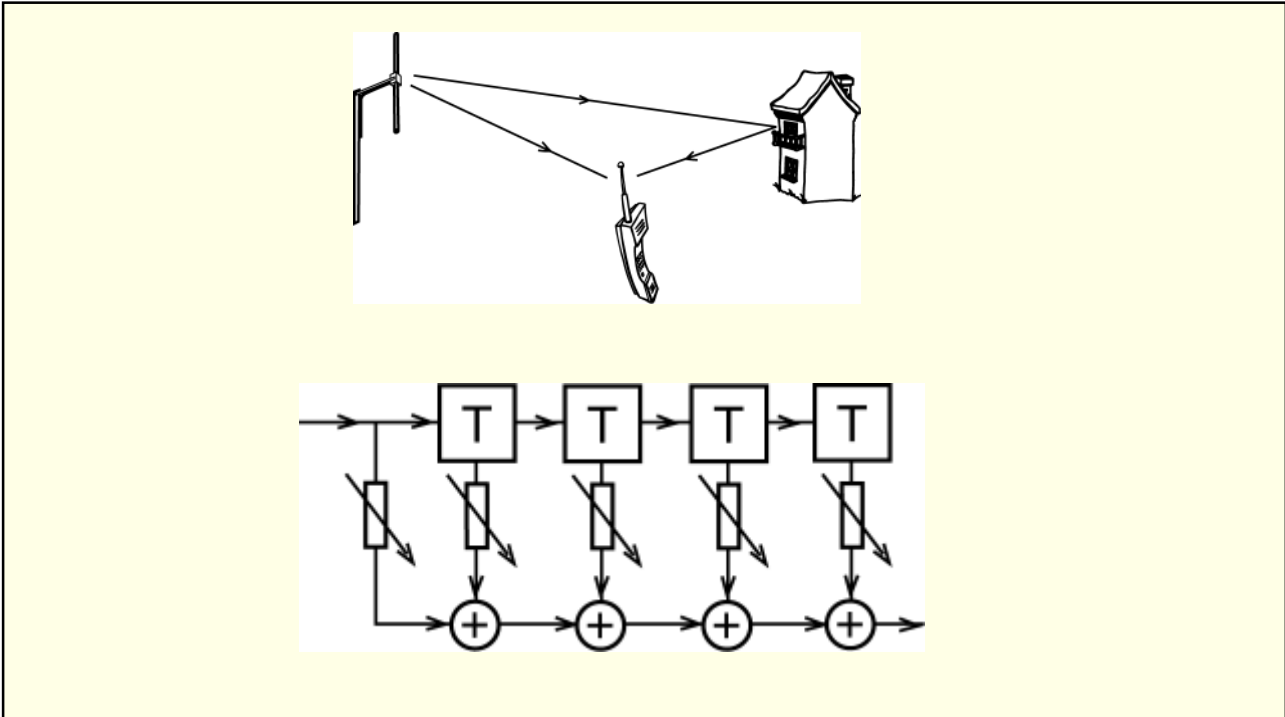


"Rensa" signalen från långa reflexer

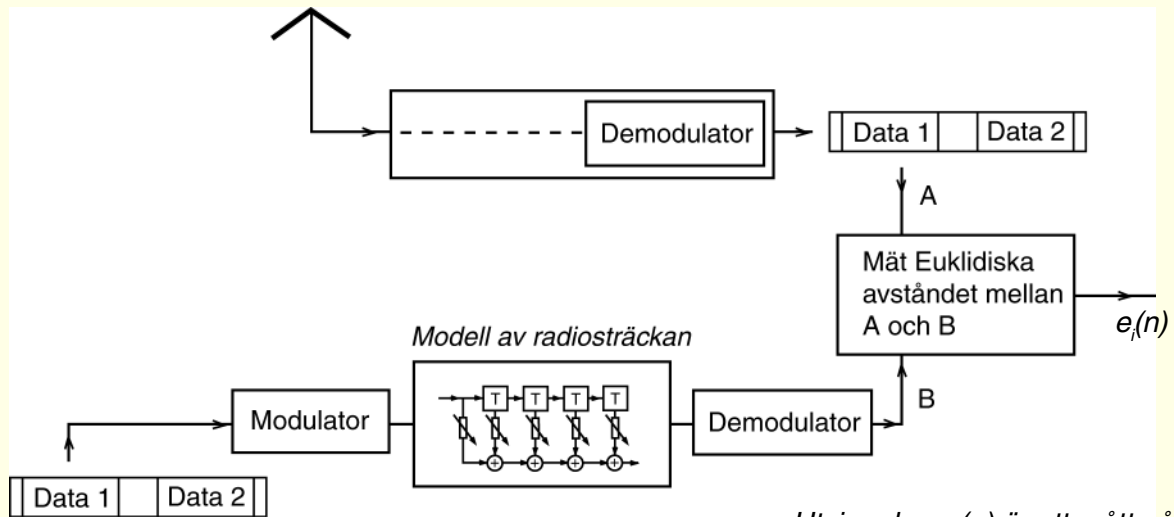


Linjär utjämnare för undertryckning av "ekon" som kommer före huvudsignalen

Beslutsmotkoppling för undertryckning av "ekon" som kommer efter huvudsignalen



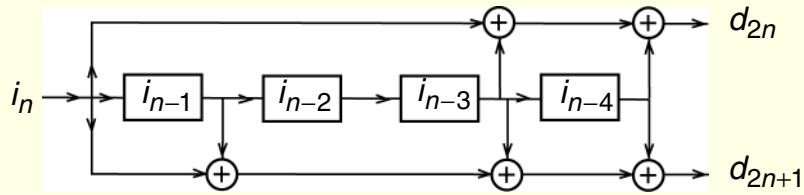
Skapa samma reflexer som på radiosträckan och jämföra antenssignalen med en "simulerad" signal



Ändra de 58 databitarna tills Euklidiska avståndet mellan Data1 (A) och Data1 (B) är minimum.

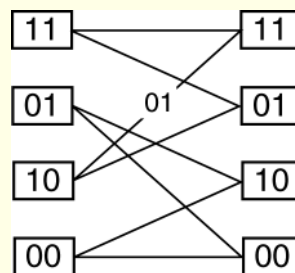
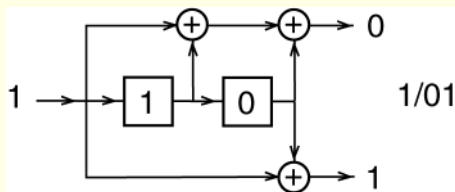
Utsignalen $e_i(n)$ är ett mått på avvikelsen hos varje symbol. Används för mjuk avkodning.

15.4 Felminimering med faltningskoder

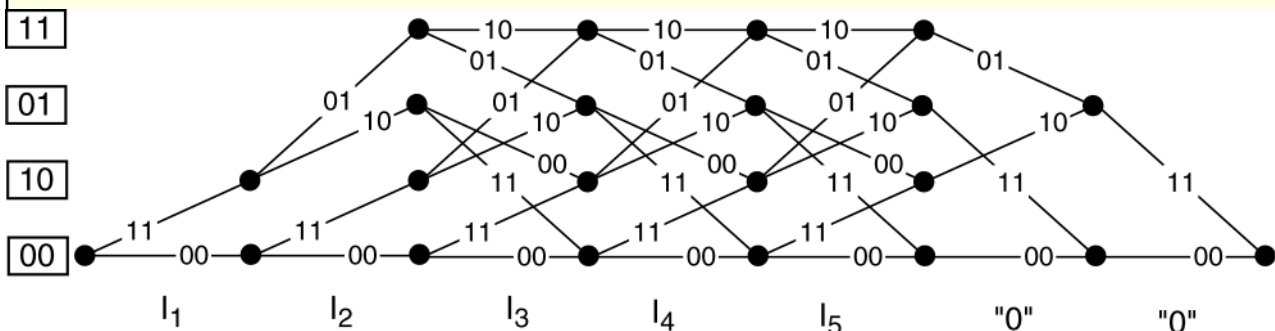
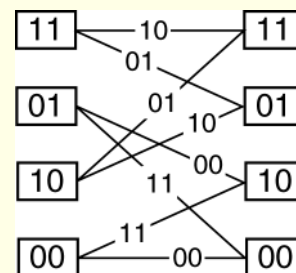


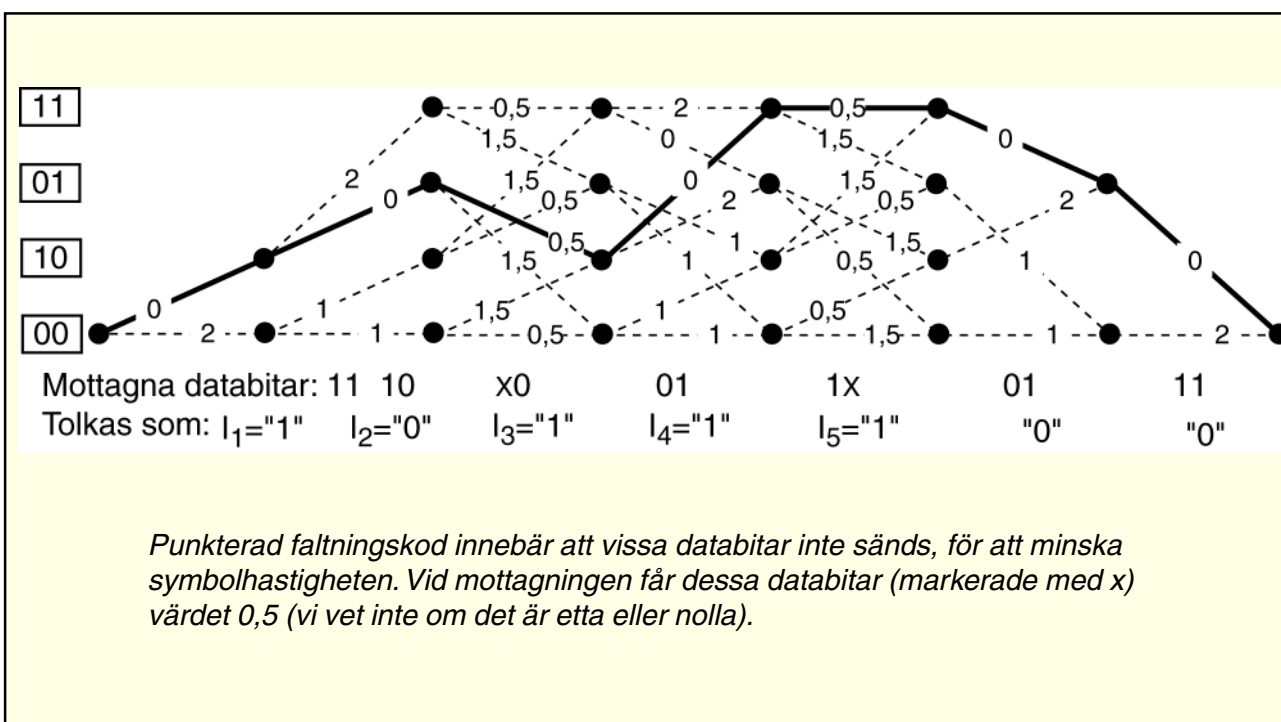
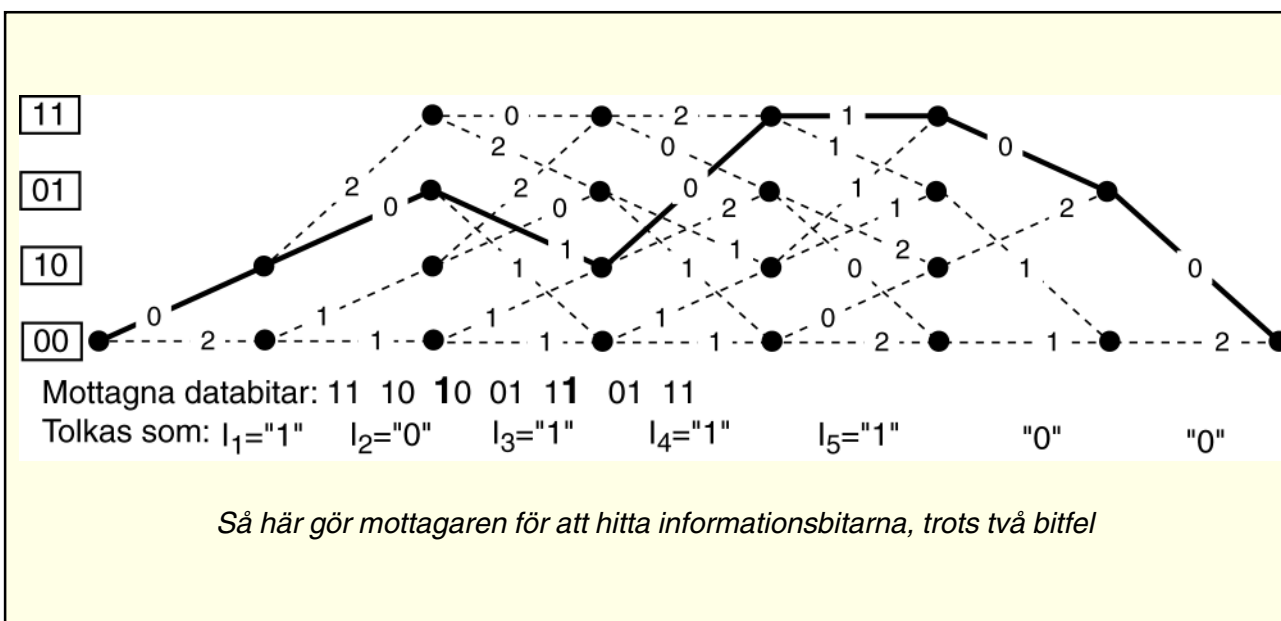
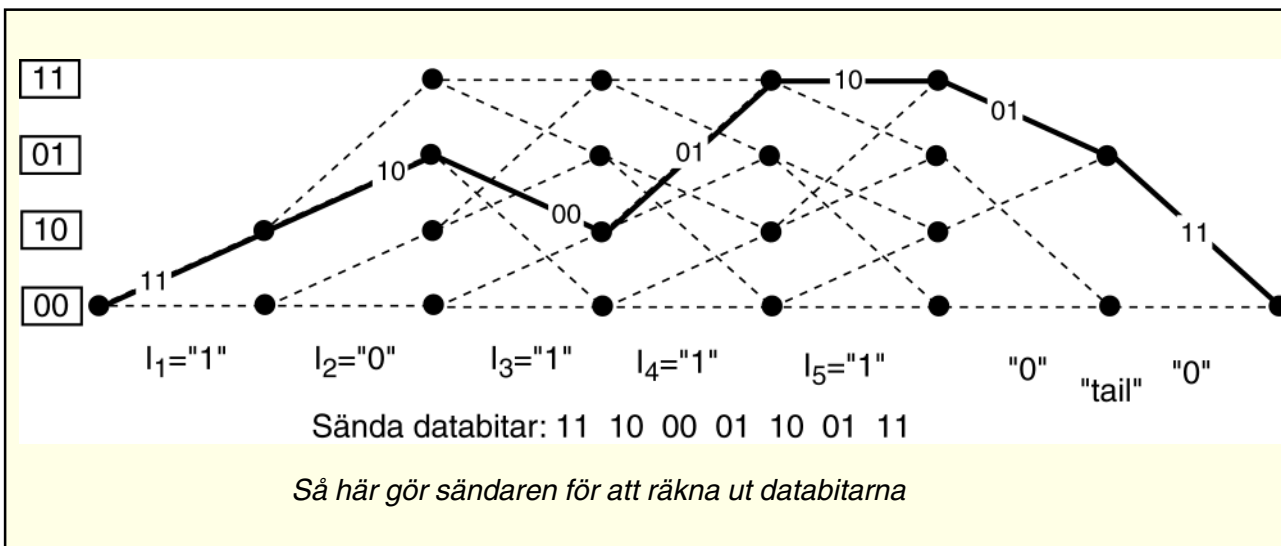
Faltningskodaren i GSM

Faltningskodning: exempel

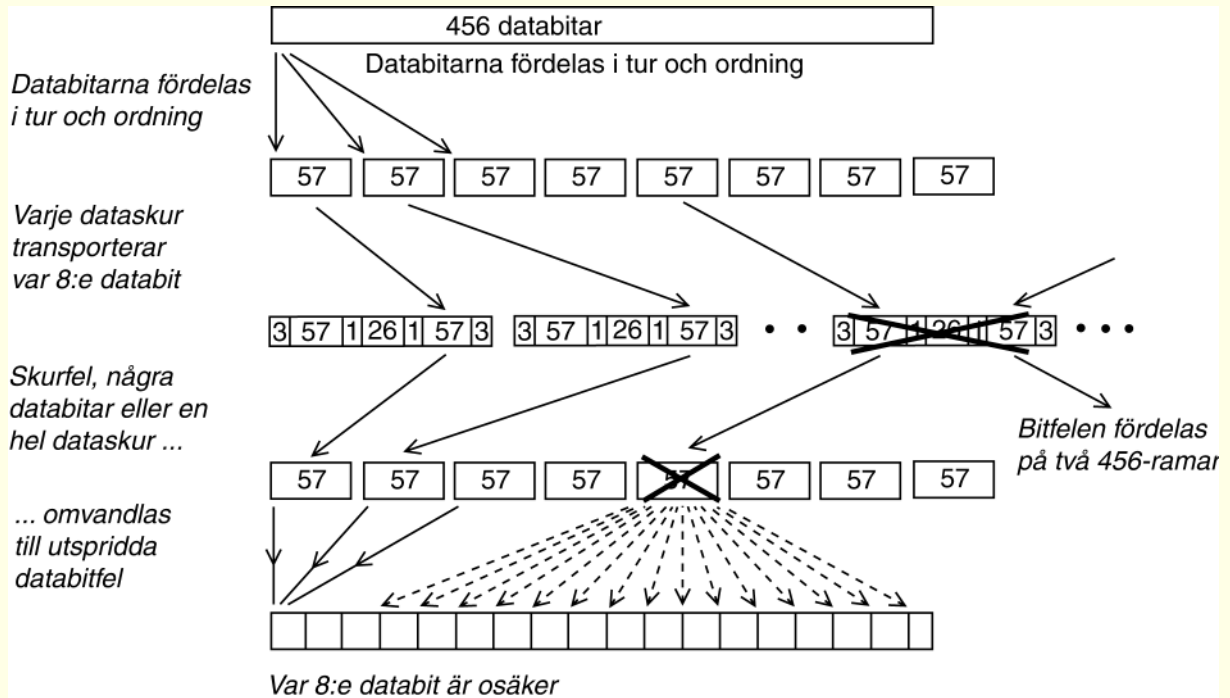


"Trellis"-diagram

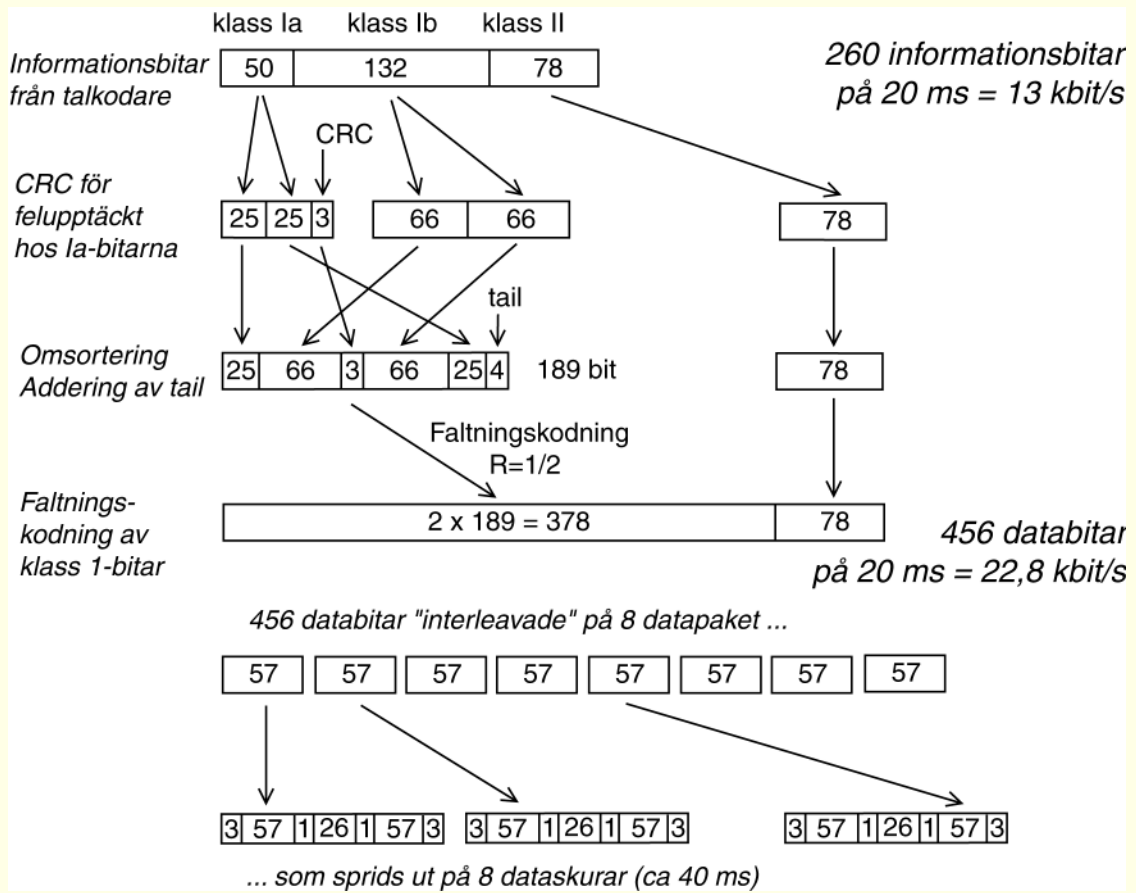




15.5 Interleaving och frekvenshopp

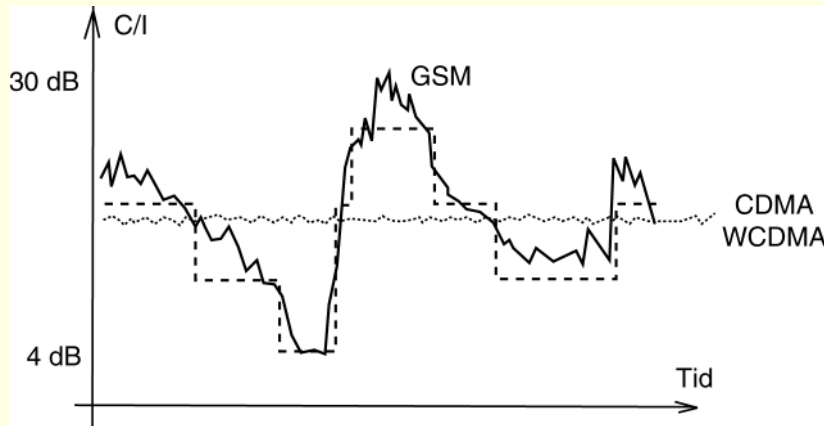
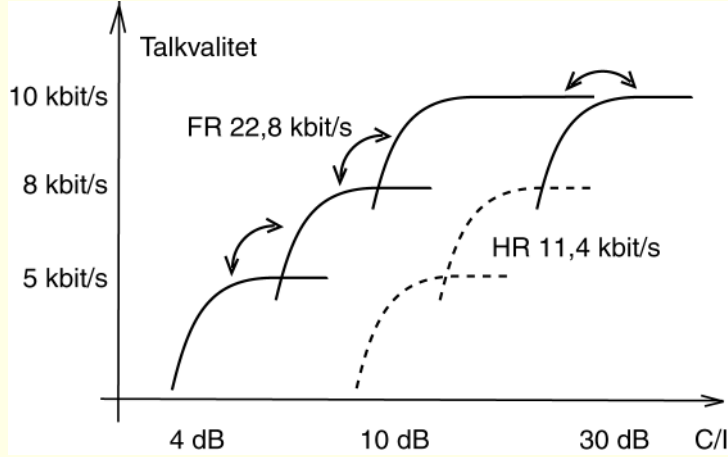


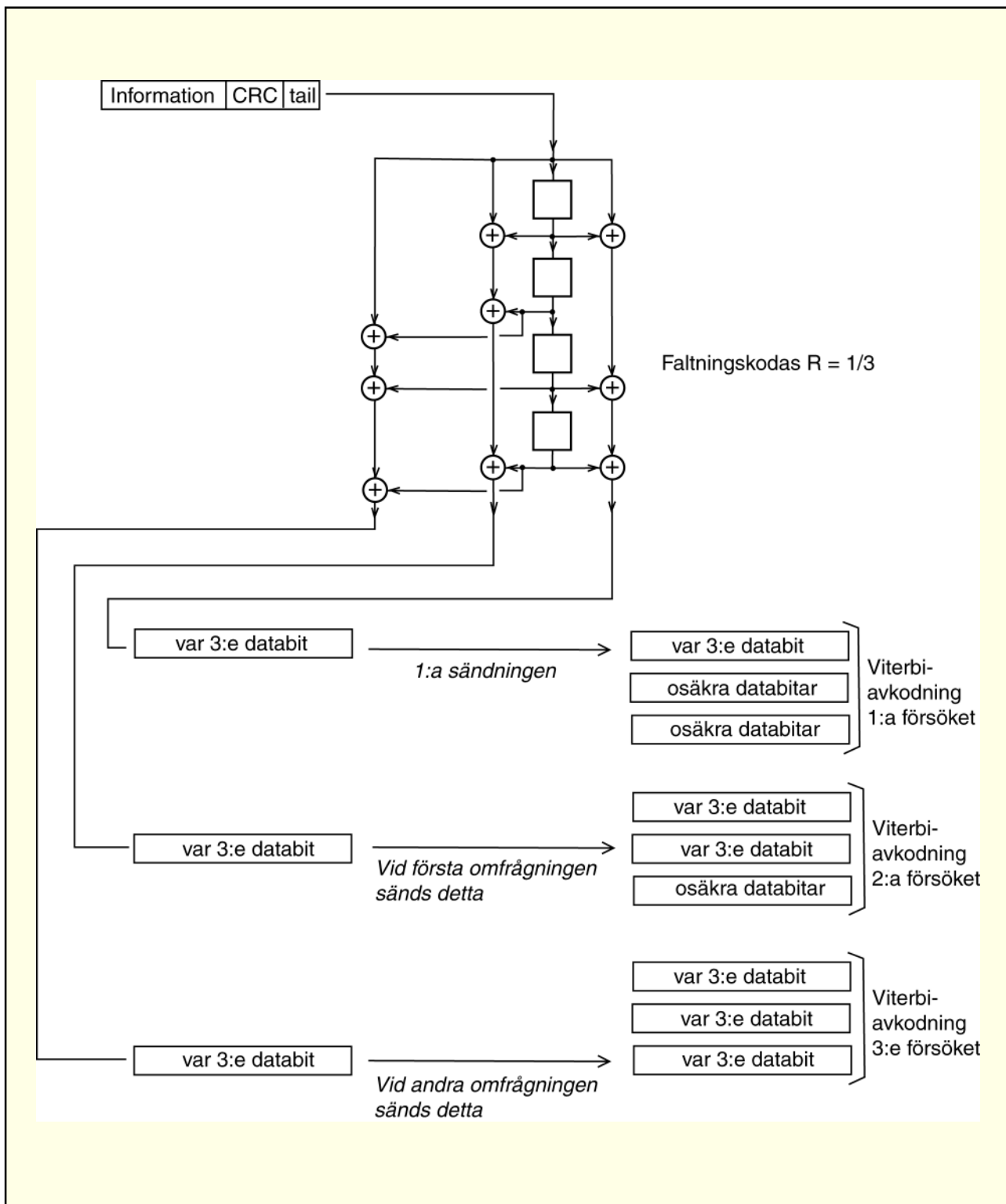
15.6 Kanalkodning vid GSM tal (full rate)



GSM-kanal	Input rate kb/s	Input block bits	Kodning	Output block bits	Interleaving
TCH	la	50	CRC (3 bits), Faltning 1/2	456	8 halv-bursts
	lb	132	Faltning 1/2		
	ll	78	ingen		
TCH/F9,6 TCH/H4,8	12 6	240	Faltning 1/2 punkterad 1 bit av 15	456	Ojämn fördelning på 22 bursts
TCH/F4,8	6	120	addera 32 null bits Faltning 1/3	456	Ojämn fördelning på 22 bursts
TCH/F2,4	3,6	72	Faltning 1/6	456	8 halv-bursts
TCH/H2,4	3,6	144	Faltning 1/3	456	Ojämn fördelning på 22 bursts
SCH		25	CRC (10 bits), Faltning 1/2	78	ingen (1 S-burst)
RACH		8	CRC (6 bits), Faltning 1/2	36	ingen (1 access burst)
FACCH (på TCH)		184	Fire-kod 224/184 Faltning 1/2	456	8 halv-bursts
SDCCH SACCH BCCH PCH, AGCH					4 hela bursts

15.8 AMR (Adaptive Multi Rate)





16.1 SMS — säker kommunikation

SMS-PP (Point to Point), abonnent till abonnent

SMS-CB (Cell Broadcast)

- Skickas på BCCH-kanalen till alla ficktelefoner i en cell

Kommunikation via CCITT #7, SS7

- Signaleringspaketens storlek sätter en övre gräns vid 140 oktetter (8-bitsord). För att få plats med så många tecken som möjligt så används 7-bitsalfabet. SMS består av 160 stycken 7-bitstecken. Ett kortare SMS fylls ut med blanksteg så att även det blir 160 tecken långt.

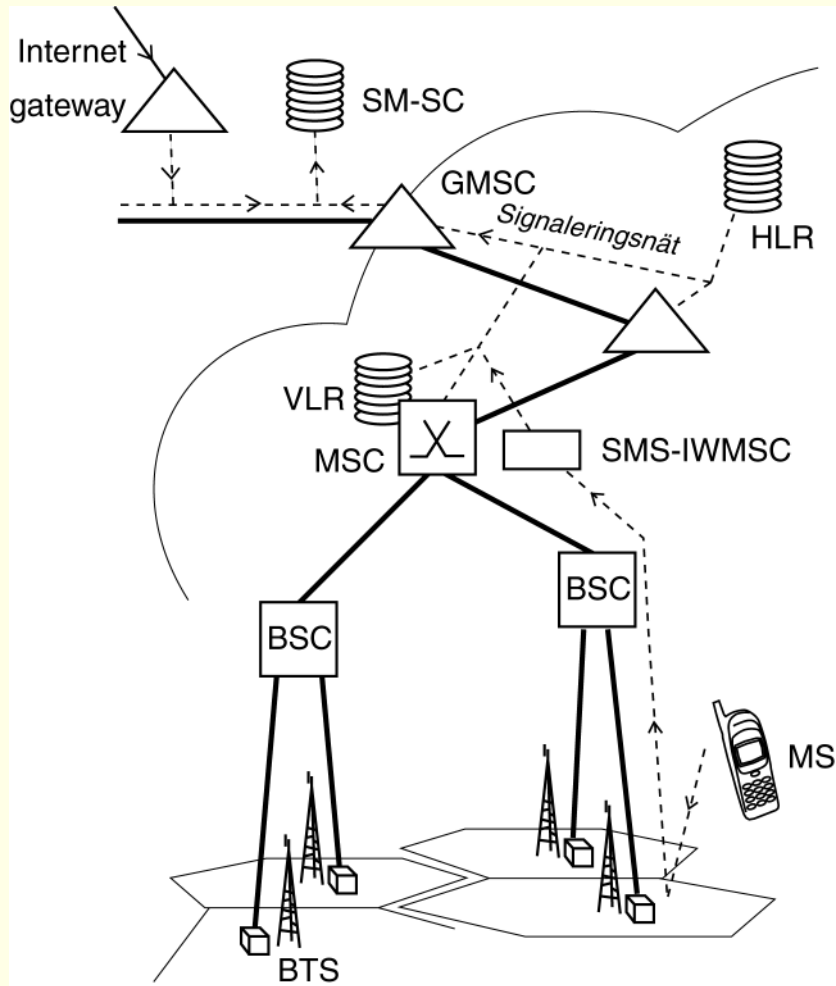
Säker kommunikation

Kommunikationen i signaleringsnätet liknar HDLC-protokollet.

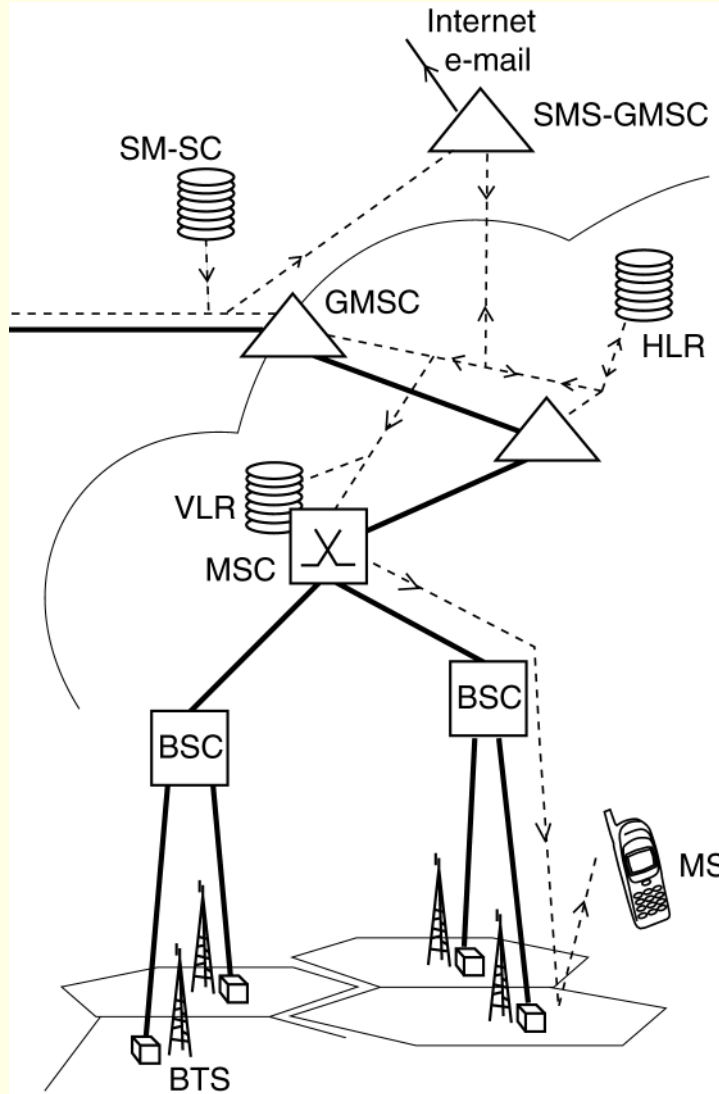
- flagga (0111 1110)
- "bit-stuffing"
- kontrollfält (UA-, I-, RR-ram)
- datafältet
- två byte kontrollsumma (FCS).

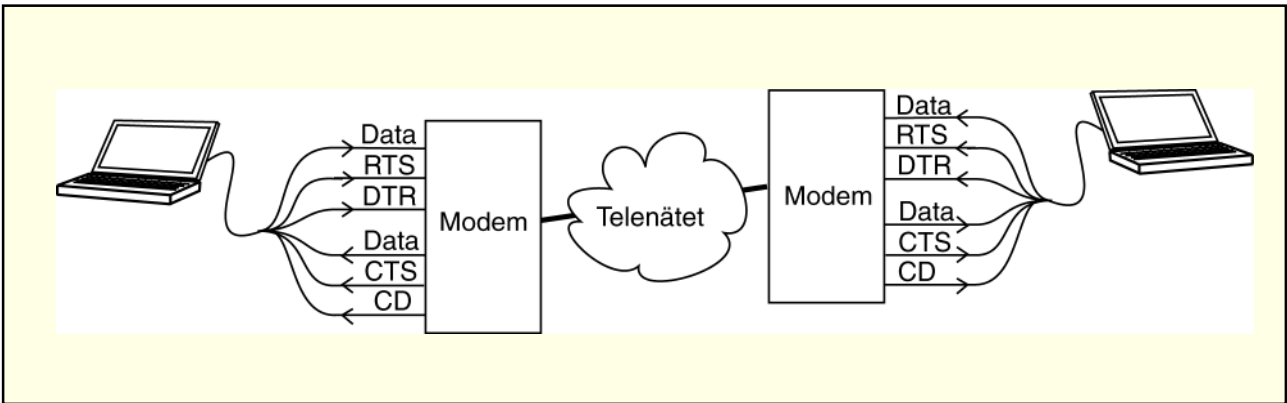
Hela detta signaleringspaket skickas till/från ficktelefonen, med undantag för flaggorna och bit-stuffingen som inte behövs på radiosträckan. Uppdelningen i dataskurar ger byte-synkronisering.

16.2 SMS från ficktelefonen, SMS-MO/PP

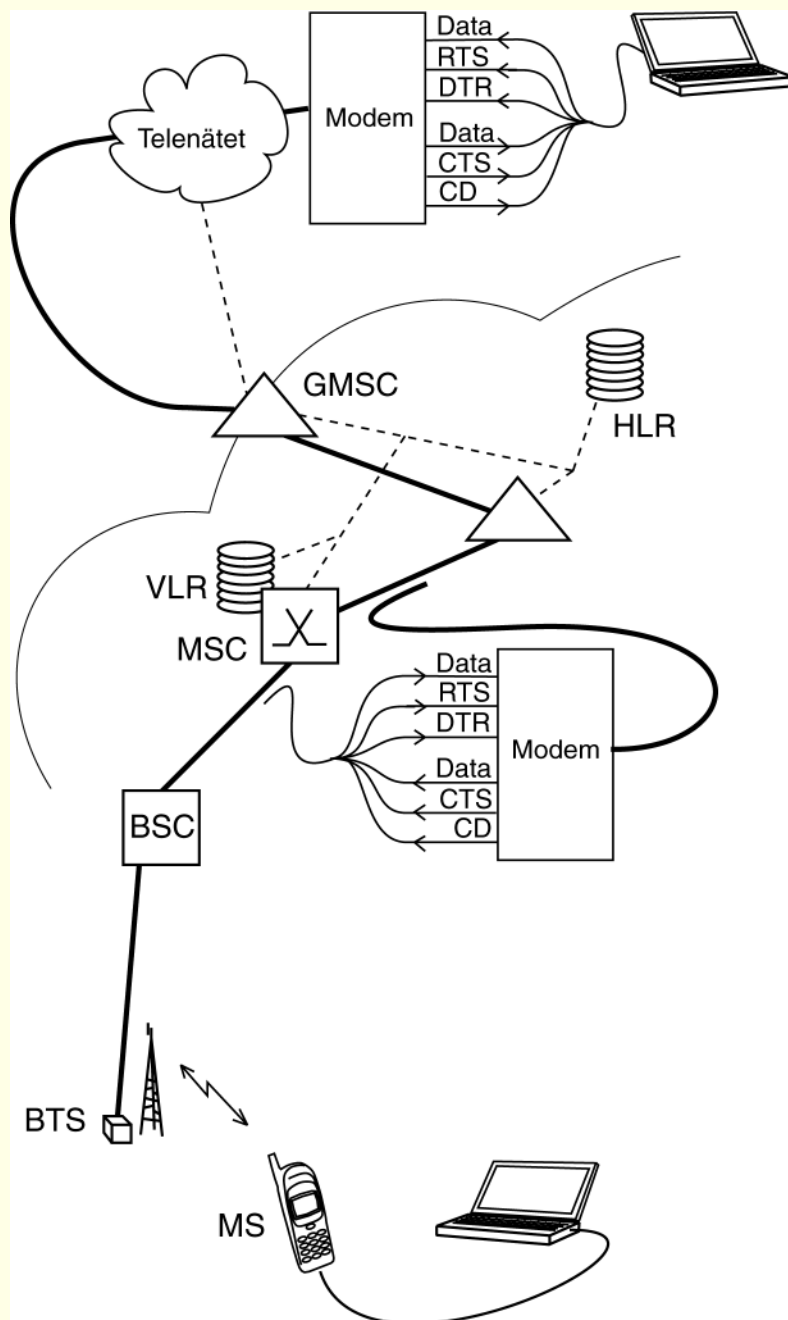


16.3 SMS till ficktelefonen, SMS-MT/PP





17.1 Datakommunikation 9,6 kbit/s och 14,4 kbit/s



456 databitar på 20 ms

Data 9,6 kbit/s

- 9,6 kbit/s = 192 informationsbitar på 20 ms.
- Datorn måste kunna prata med modemmet (DTR,CD,RTS,CTS). Därför lägger vi till 8 informationsbitar, totalt 200 informationsbitar.
- Bitfelsfritt med hjälp av ARQ. Vi måste ha en kontrollsumma, CRC, och ett "paketnummer" så att vi kan identifiera vilket paket som skall repeteras. Därför adderar vi 40 databitar som utgör CRC och paketnummer, och får totalt 240 informationsbitar.
- Vi adderar 4 nollor som tail och faltningskodar till 488 databitar, där var 15:e databit punkteras så att vi totalt får 456 databitar.

Data 14,4 kbit/s

- 14,4 kbit/s = 288 informationsbitar på 20 ms.
- Vi adderar 8 databitar för modemkommunikation
- 40 databitar för CRC och paketnummer, totalt 336 informationsbitar,
- som med 4 nollor tail blir 340 och med faltningskodning 680 databitar.
- Därefter sker en mycket kraftig punktering ner till 456 databitar, som nästan helt eliminerar faltningskodningens bitfelsminimerande förmåga.

Omfrågningar sänker datahastigheten

Om vår ficktelefon kan kommunicera med 14,4 kbit/s men det blir omfrågningar på hälften av paketen, så sjunker effektiva datahastigheten till 2/3, d.v.s. 9,6 kbit/s. Blir det omfrågningar på ännu fler paket så är det effektivare att övergå till 9,6 kbit/s med kraftfullare kanalkodning så att antalet bitfel och omfrågningar minskar. En sådan övergång utförs automatiskt av utrustningen.

17.2 HSCSD — High Speed Circuit Switched Data

Flera parallellt uppkopplade trafikkanaler TCH

Data 9,6 kbit/s

- Tre tidluckor på 9,6 kbit/s i nedlänk ger 28,8 kbit/s
- En tidlucka i upplänk ger 9,6 kbit/s på returkanalen

Data 14,4 kbit/s

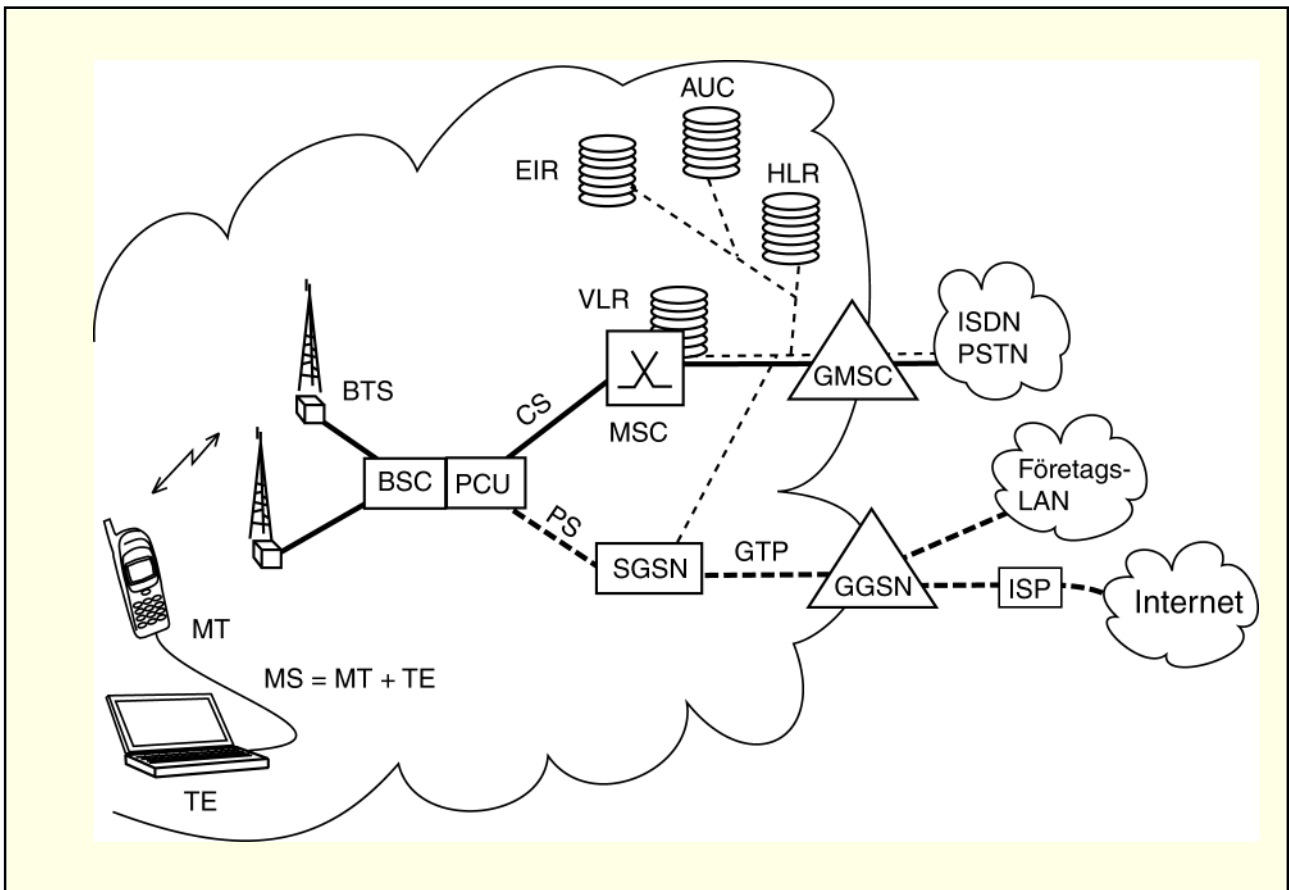
- Tre tidluckor på 14,4 kbit/s i nedlänk ger 43,2 kbit/s
- En tidlucka i upplänk ger 14,4 kbit/s på returkanalen

MSC begränsar bithastigheten till 64 kbit/s

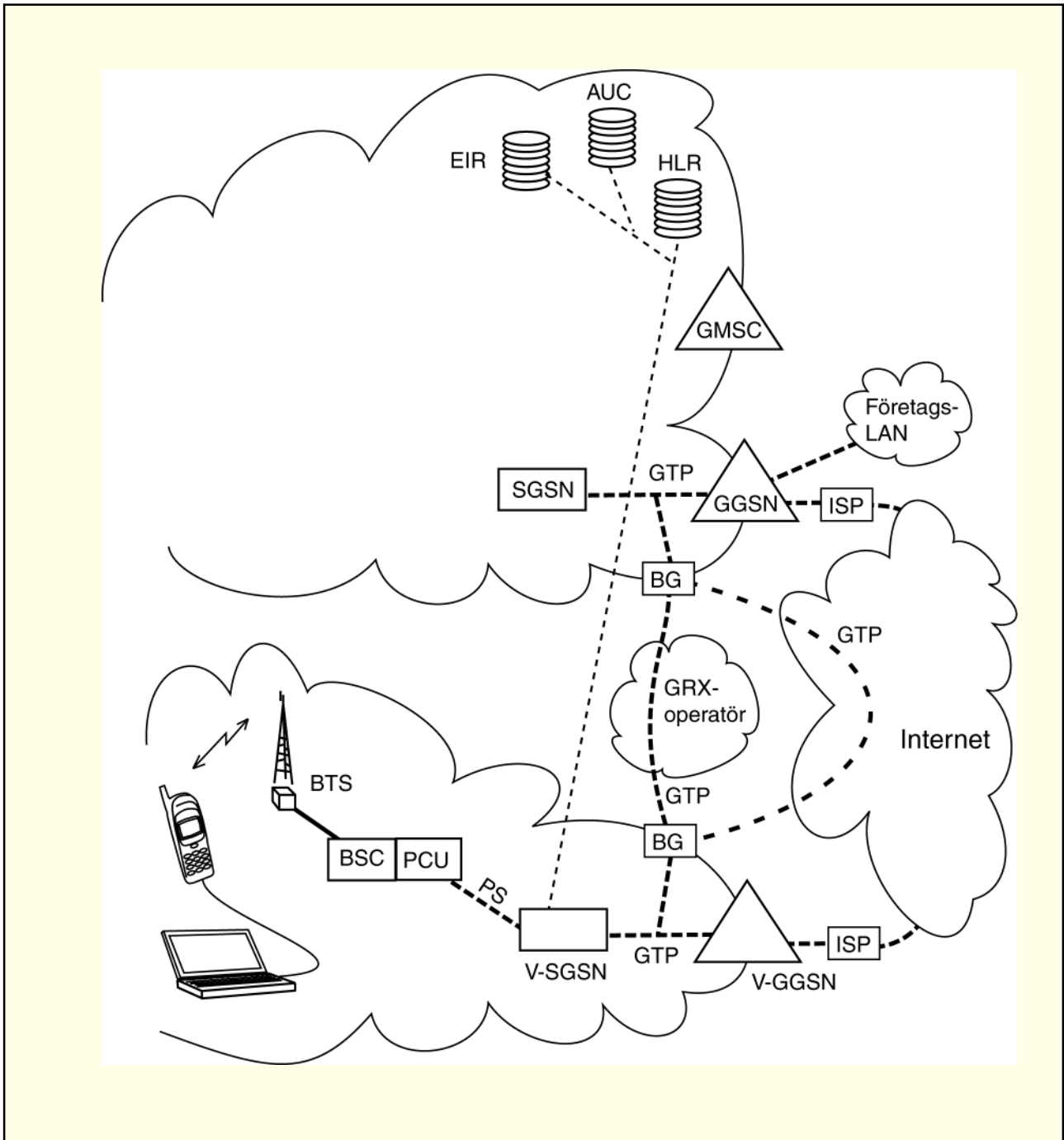
Högsta bithastigheten vid kretskopplad förbindelse är 64 kbit/s. Begränsningen ligger i MSC och kommunikationen BSC – MSC som inte klarar att hantera högre bithastighet än 64 kbit/s.

Fler än en tidlucka i upplänk ger värmeproblem

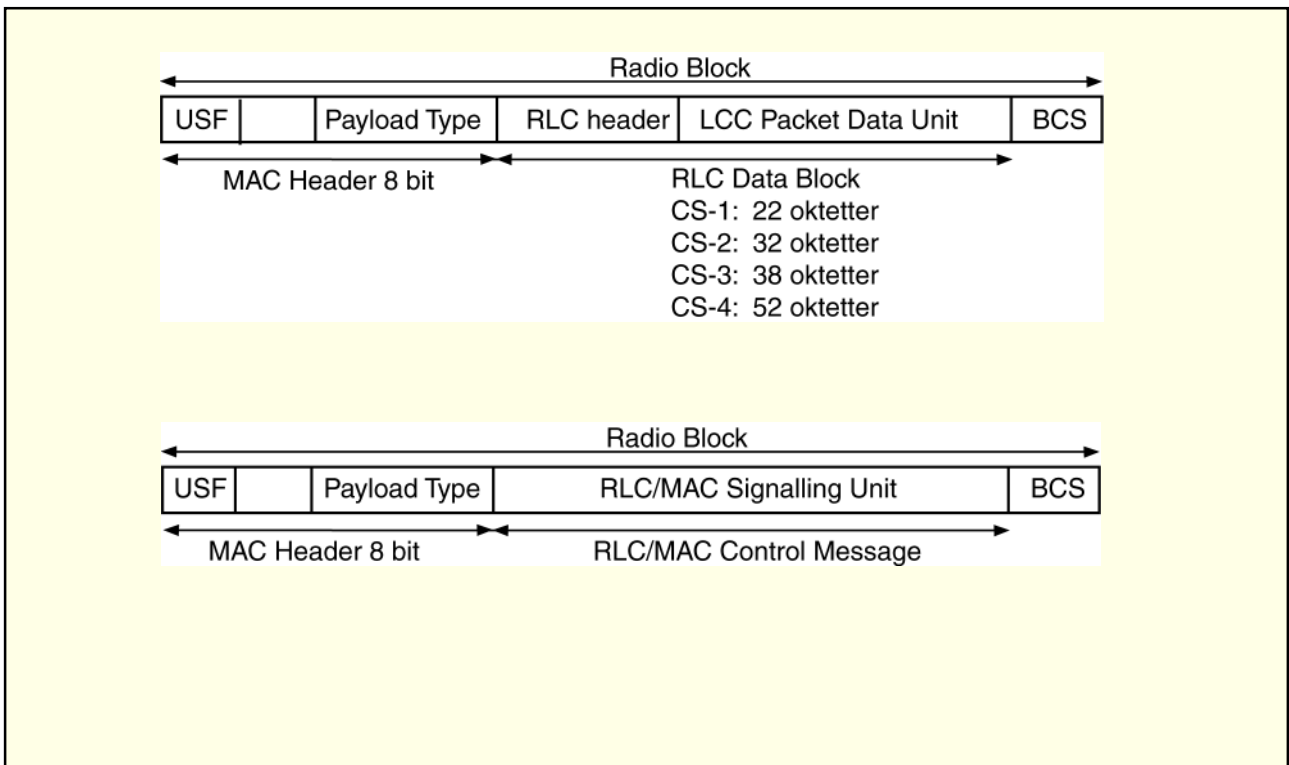
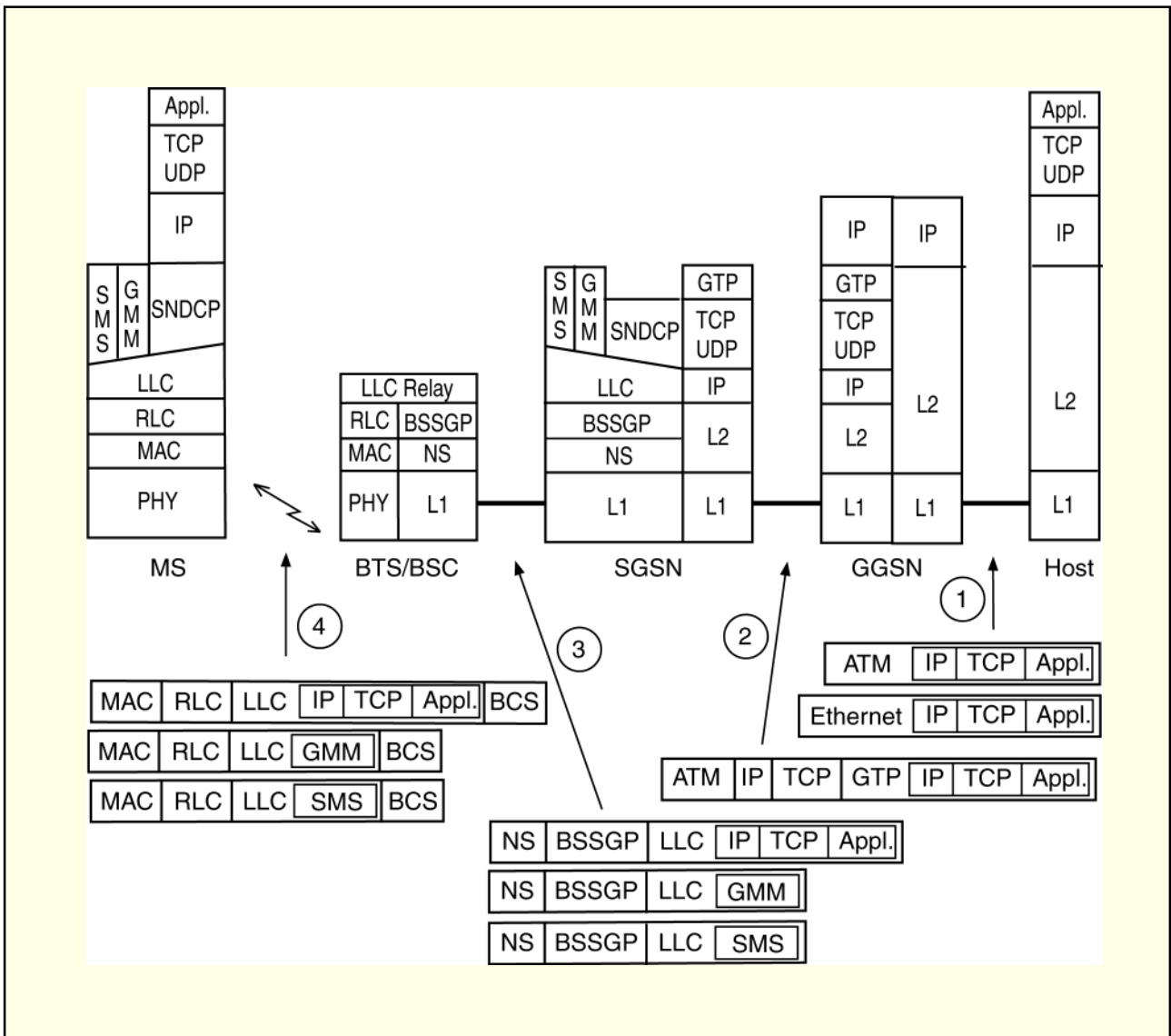
Om ficktelefonen skall sända på mer än en tidlucka av åtta, så ökar medeleffekten och ficktelefonens sändare behöver bättre kylning.

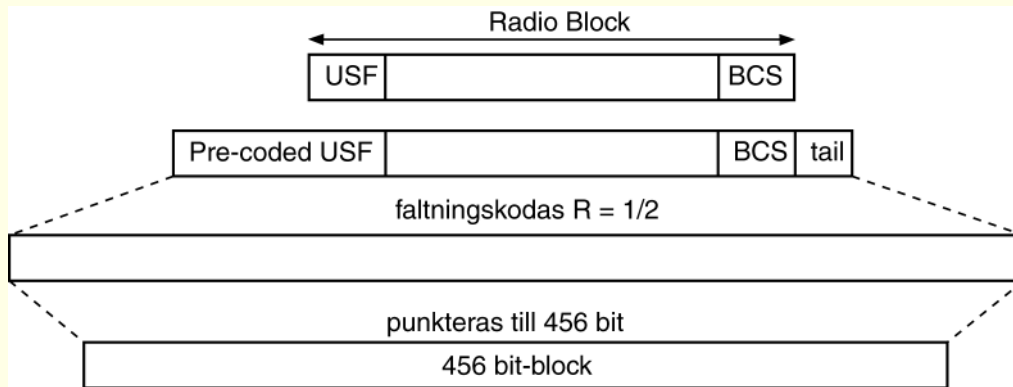


AUC	Authentication Centre
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CS	Circuit Switched Services
EIR	Equipment Identity Register
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GSMC	Gateway MSC
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HLR	Home Location Register
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
LAN	Local Area Network
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Services Switching Centre
MT	Mobile Terminal
PCU	Packet Control Unit
PS	Packet Switched Services
PSTN	Public Switched Telephone Network
SGSN	Serving GPRS Support Node
TE	Terminal Equipment
VLR	Visiting Location Register



- BG Border Gateway
- V-GGSN Visiting GGSN
- V-SGSN Visiting SGSN
- GRX GPRS Roaming eXchange





Kanal-kodning	Uplink State Flag	Pre-coded USF	Radio Block utan USF och BCS	Block Check Sequence	Tail	Kodade bitar	Punkterade bitar
CS-1	3	3	181	40	4	456	0
CS-2	3	6	268	16	4	588	132
CS-3	3	6	312	16	4	676	220
CS-4	3	12	428	16	-	456	-

Kanal-kodning	antal tidluckor							
	1 TS kbit/s	2 TS kbit/s	3 TS kbit/s	4 TS kbit/s	5 TS kbit/s	6 TS kbit/s	7 TS kbit/s	8 TS kbit/s
CS-1 (22 oktetter)	8,8	17,6	26,4	35,2	44	52,8	61,6	70,4
CS-2 (32 oktetter)	12,8	25,6	38,4	51,2	64	76,8	89,6	102,4
CS-3 (38 oktetter)	15,2	30,4	45,6	60,8	76	91,2	106,4	121,6
CS-4 (52 oktetter)	20,8	41,6	62,4	83,2	104	124,8	145,6	166,4

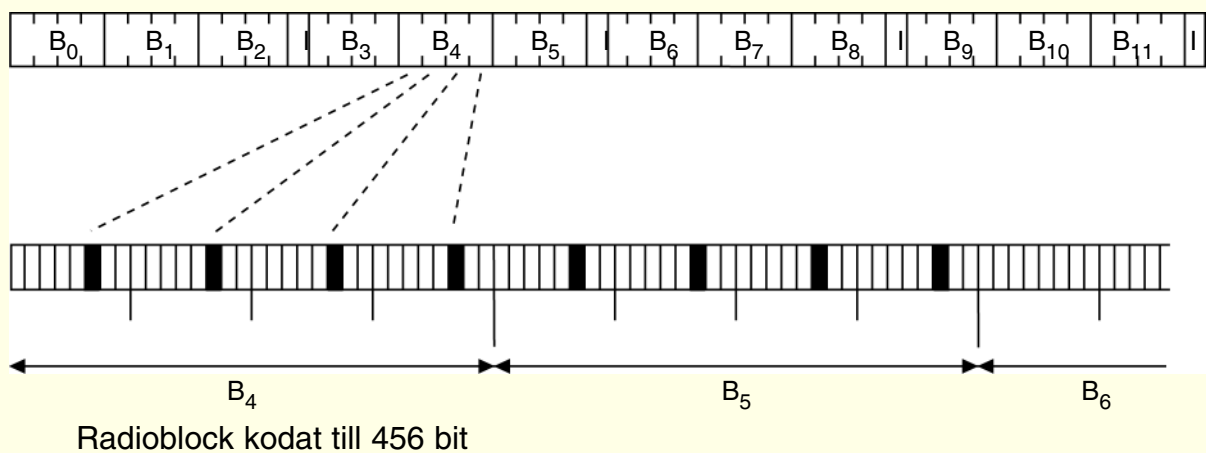
RLC Data Block bithastighet (RLC header + LLC Packet Data Unit)

18.6 Tidluckor i GPRS

GSM/GPRS tidluckor								
	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7
TRX1	C1	C2	T	T	T	T	T	T
TRX2	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D	D1	D2	D3
TRX3	C3	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D
TRX4	T	T	T	T	T	T	T	T
TRX5	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D	T/D

C1 = BCH (FCCH, SCH, BCCH) + CCCH (PCH, RACH, AGCH)
 C2, C3 = DCCH (SDCCH, SACCH)
 T = TCH, SACCH, FACCH
 D1, D2, D3 = fasta GPRS-tidluckor
 T/D = dynamiska GPRS-kanaler

18.7 52-multiframe i GPRS

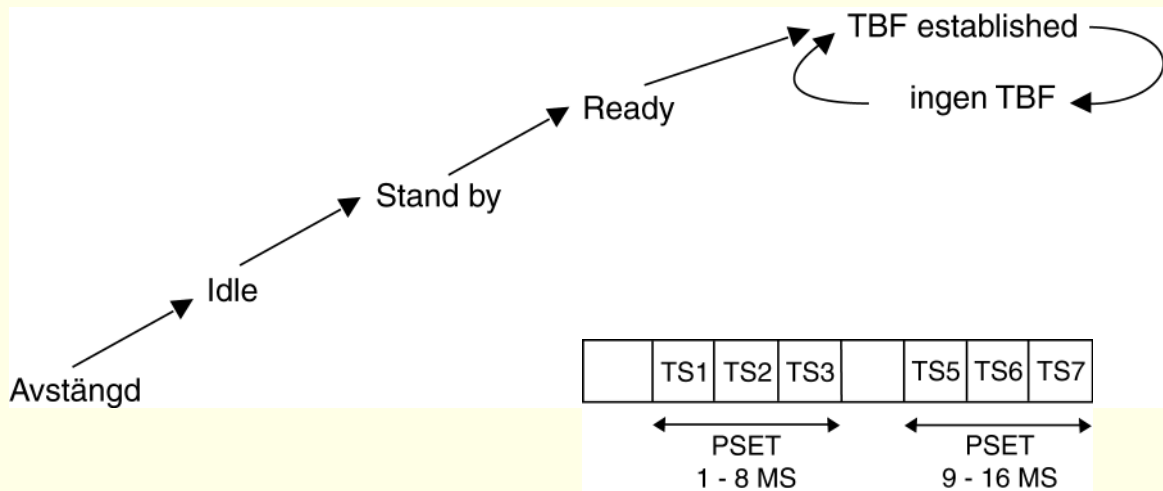


GPRS-telefonen begär PDP Context activation

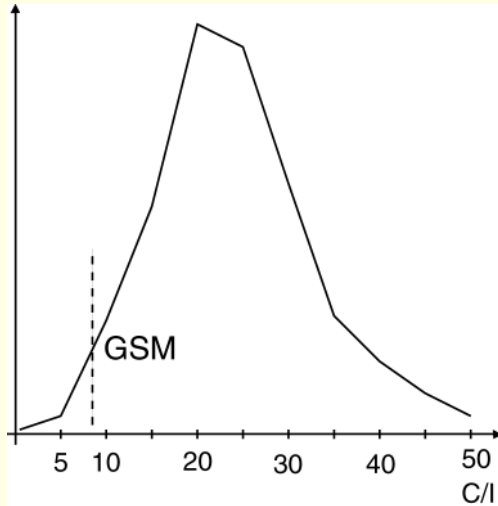
- GPRS-telefonen ställer upp en IP-förbindelse (loggar in hos Internet-operatören)
- GPRS-telefonen hamnar i läre Ready

GPRS-telefonen begär TBF

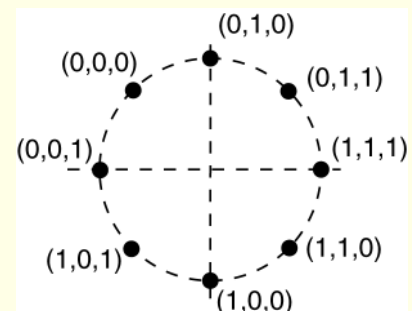
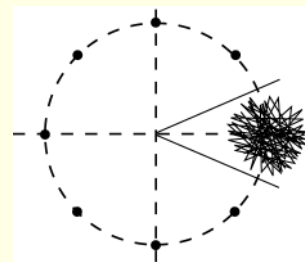
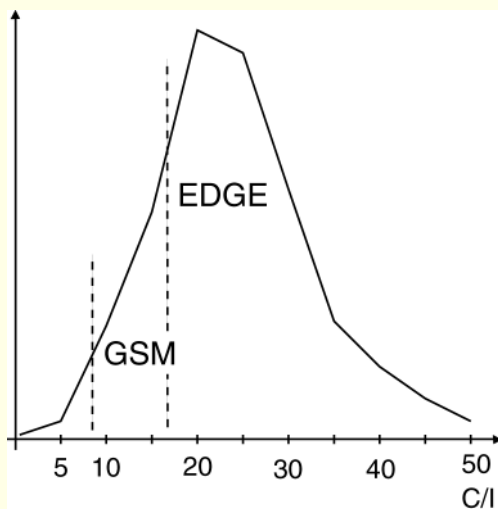
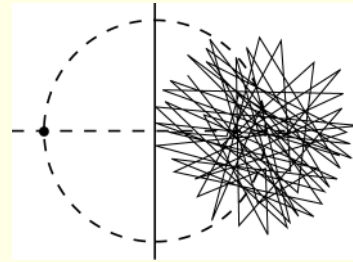
- När data eller signalering skall skickas eller tas emot begär GPRS-telefonen tidluckor i upp- eller nedlänk
- Alltid GPRS-telefonen som begär, även om data kommer från nätet (paging)
- GPRS-telefonen tilldelas ett PSET



19.1 EDGE — Enhanced Data rates for GSM and TDMA/136 Evolution

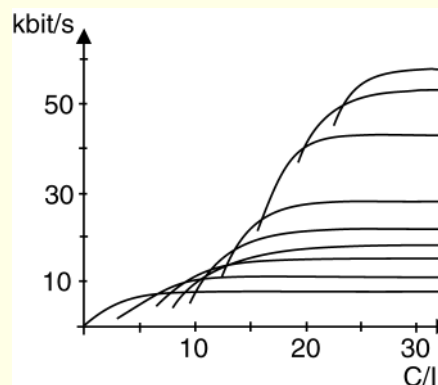


Många abonnenter i en cell har högre C/I än 8 dB



19.2 EGPRS — Enhanced GPRS

Kodnings-schema	Modulation	Max bit-hastighet kbit/s
MCS-9	8PSK	59,2
MCS-8		54,4
MCS-7		44,8
MCS-6		29,6
MCS-5		22,4
MCS-4	GMSK	16,8
MCS-3		14,8
MCS-2		11,2
MCS-1		8,4



MCS-1 – MCS-4 är kanalkodnings-schemorna i GPRS

Link Adaptation (LA)

- Inom 100 ms växlar EGPRS till det kanalkodningsschema som ger optimalt förhållande mellan nyttobitar och kanalkodning med hänsyn till C/I på radiosträckan

Incremental redundancy (IR)

- Se bild sid 219
- Informationen kanalkodas varefter det mesta av kanalkodningsbitarna avlägsnas genom punktering
- Vid omfrågning ARQ så sänder man inte samma block en gång till, utan en del av de kanalkodningsbitar som avlägsnats genom punktering
- Alla block används. Omfrågning ger kraftigare kanalkodning på det block som inte togs emot korrekt.

19.3 ECSD — Enhanced Circuit Switched Data

Kodnings-schema	Modulation	Max bit-hastighet kbit/s	Tjänst
ECSD TSC-1	8PSK	29,0	NT/T
ECSD TSC-2		32,0	T
ECSD TSC-3		43,5	NT
TCH/F2.4	GMSK	3,6	NT/T
TCH/F4.8		6,0	NT/T
TCH/F9.6		12,0	NT/T
TCH/F14.4		14,5	NT/T

TCH/F2.4 – TCH/F14.4 är de vanliga datatjänsterna i GSM

Flera parallellt uppkopplade trafikkanaler på samma sätt som vid HSCSD

MSC begränsar bithastigheten till 64 kbit/s

Högsta bithastigheten vid kretskopplad förbindelse är fortfarande 64 kbit/s. Begränsningen ligger i MSC och kommunikationen BSC – MSC som inte klarar att hantera högre bithastighet än 64 kbit/s.

Max hastighet 64 kbit/s uppnås med färre uppkopplade tidluckor

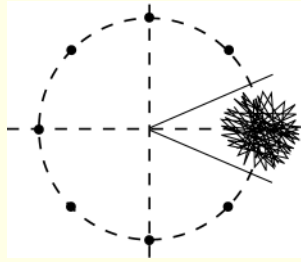
ECSD Link Quality Control

Antalet uppkopplade tidluckor varierar i takt med C/I för att erbjuda en tjänst med konstant bithastighet oberoende av C/I

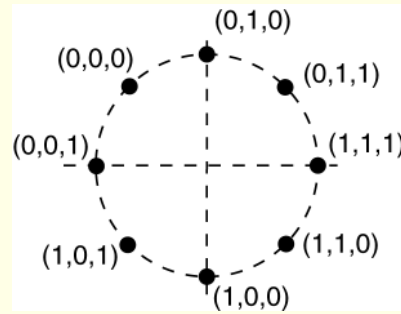
ECSD Fast Power Control

Sändareffekten varierar i takt med C/I-variationerna så att man uppnår konstant C/I trots variationer på radiosträckan.

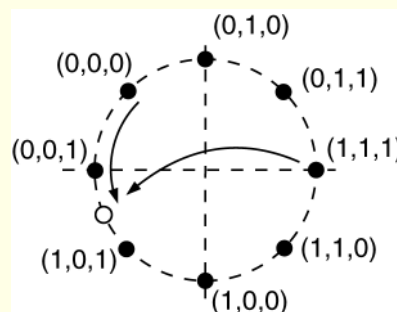
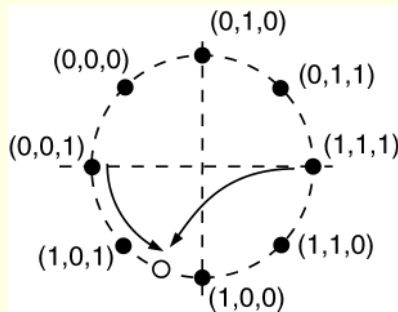
Liknande teknik utnyttjas i cdma.



Brus vid mottagning av 8PSK.

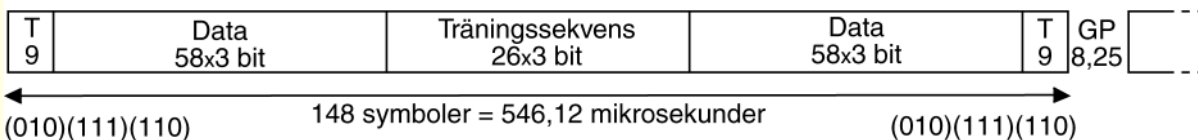


EDGE: 8PSK med Gray-kodning (bara ett bitfel vid avläsning av närliggande symbol)

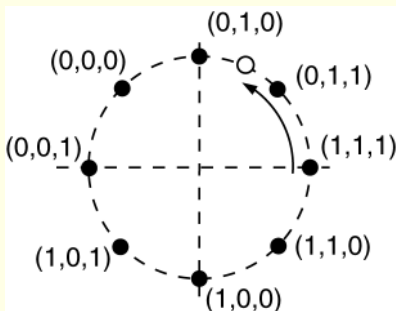


EDGE: 8PSK med fasvridning 67,5 grader under varje symbol för att undvika att amplituden går ner till noll vid växling till diametralt motsatt symbol.

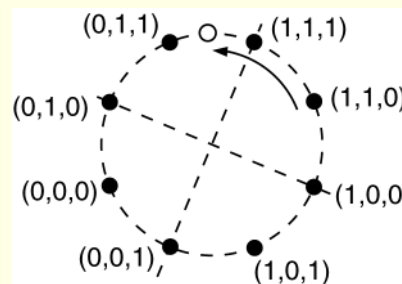
EDGE: Normal burst



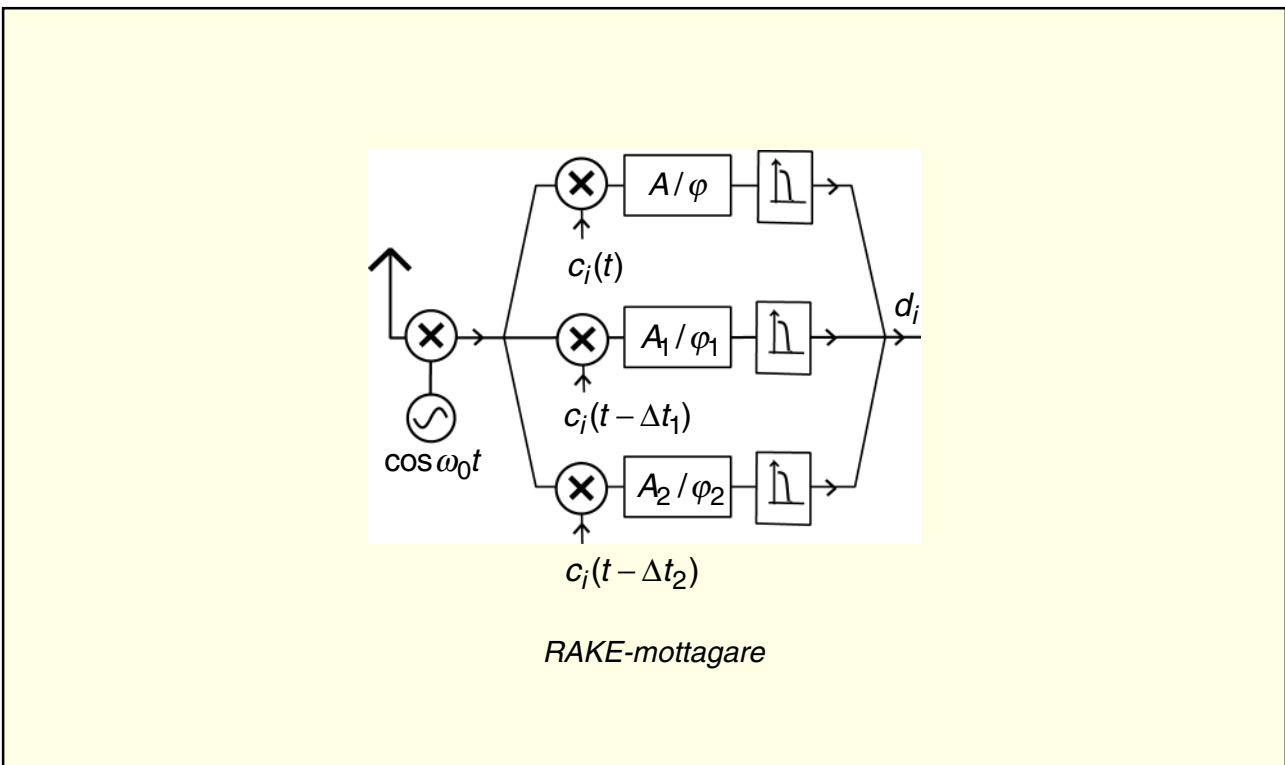
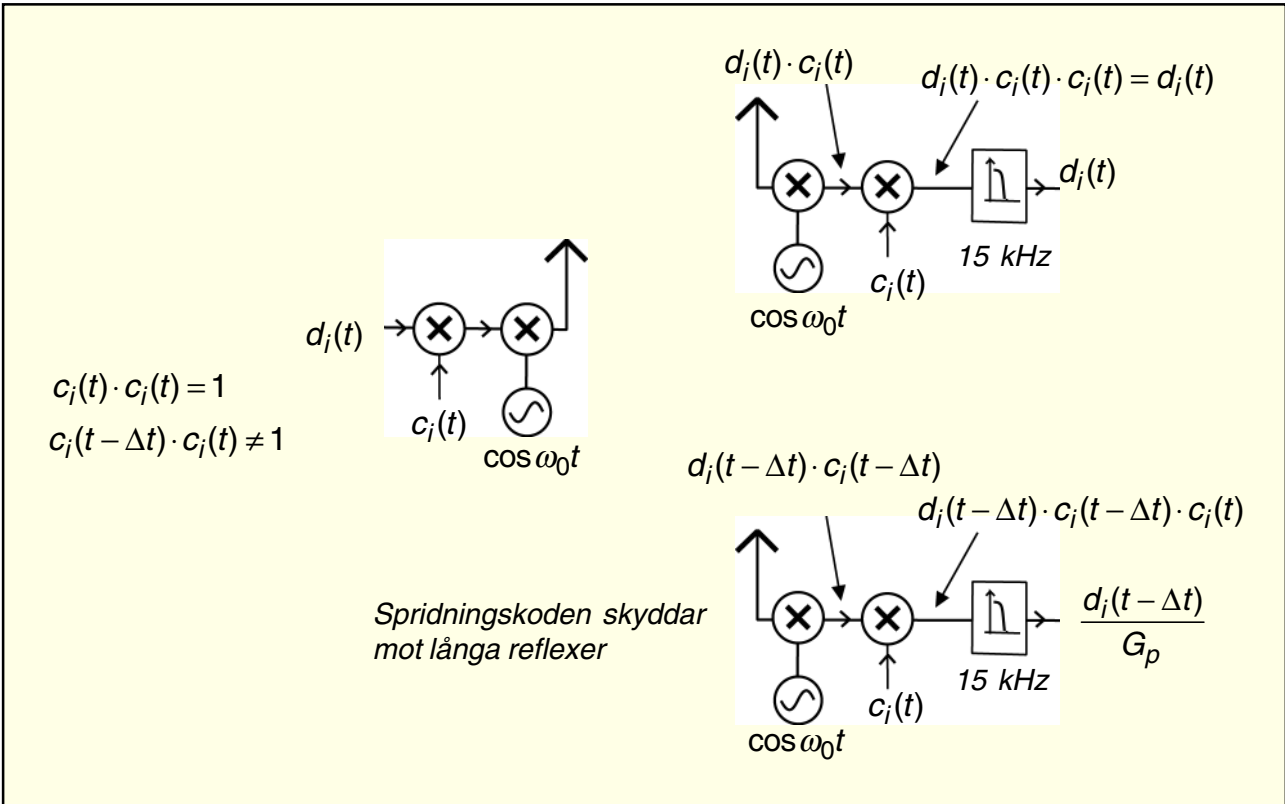
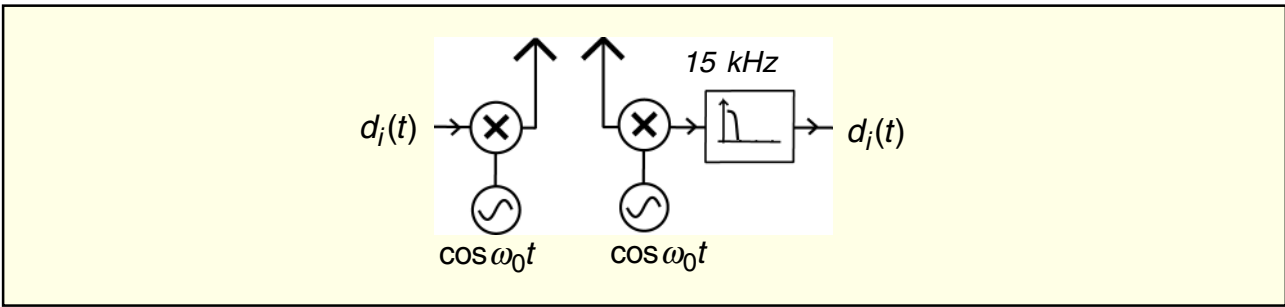
Tailbits (0,1,0) (1,1,1) (1,1,0) har valts för att visaren skall ligga still, frekvensen skall vara f_c när sändaren startas.



Tailbits (0,1,0) (1,1,1) innebär vridning -22,5 grader

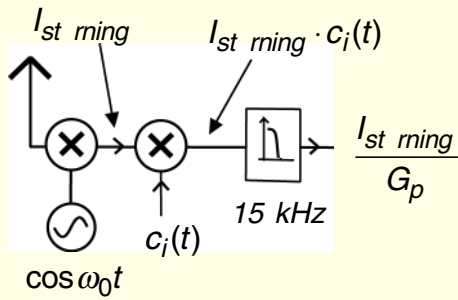


Tailbits (1,1,1) (1,1,0) innebär vridning +22,5 grader

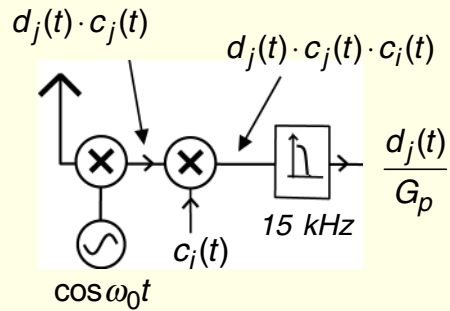


$$G_p = \frac{c_i}{d_i}$$

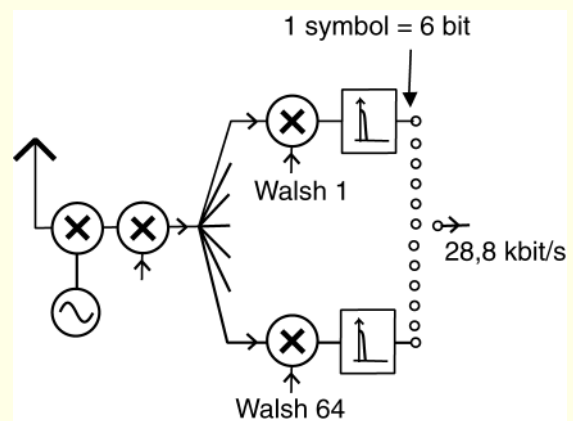
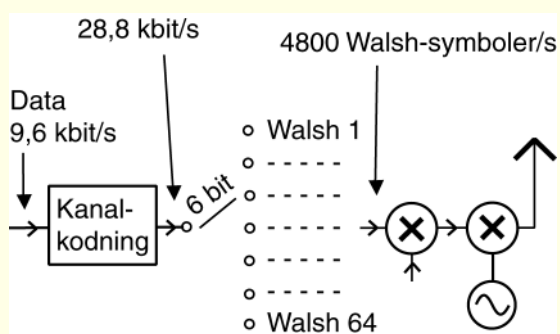
G_p = processing gain
 c_i = spridningskodhastighet
 d_i = datahastighet

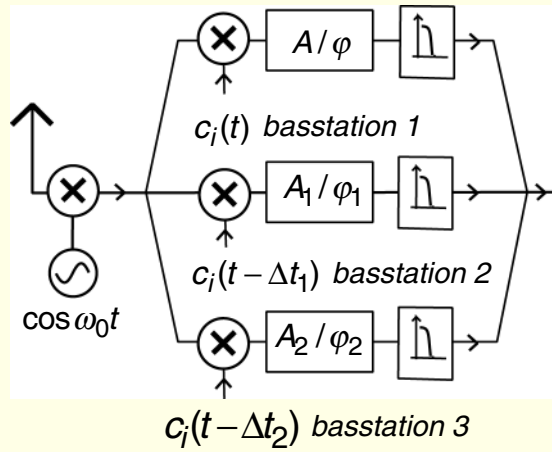


Spridningskoden skyddar mot störande signaler

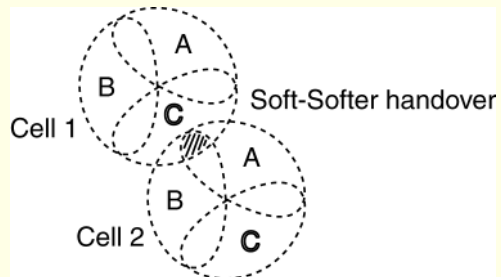
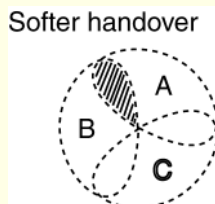
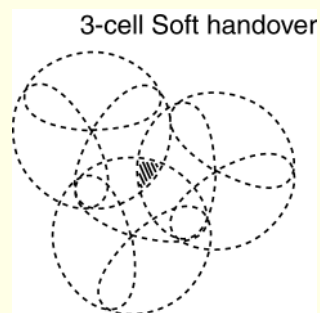
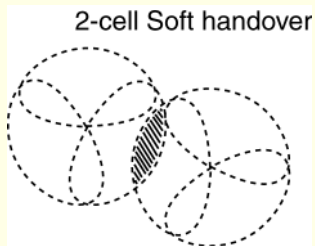


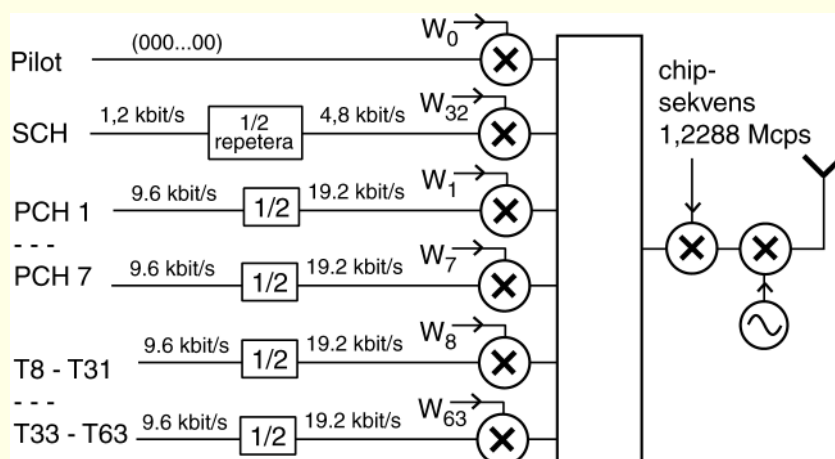
Spridningskoden skiljer ficktelefonerna åt



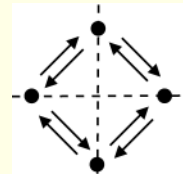
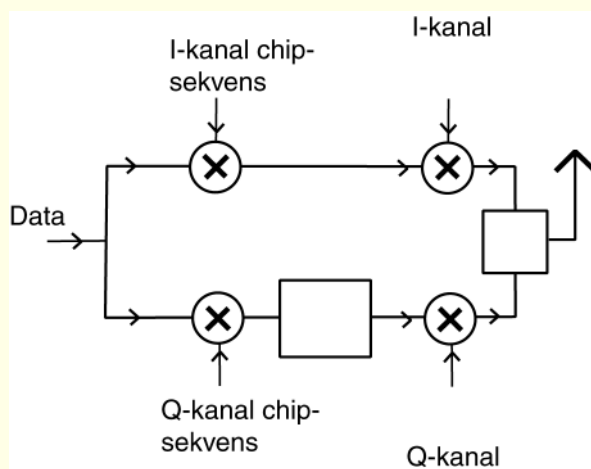
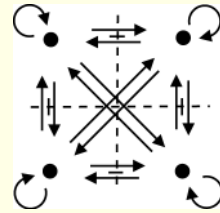


Soft handover mellan tre basstationer med RAKE-mottagare



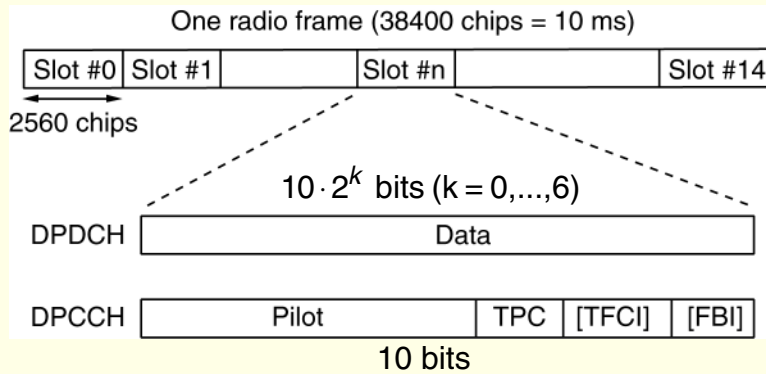
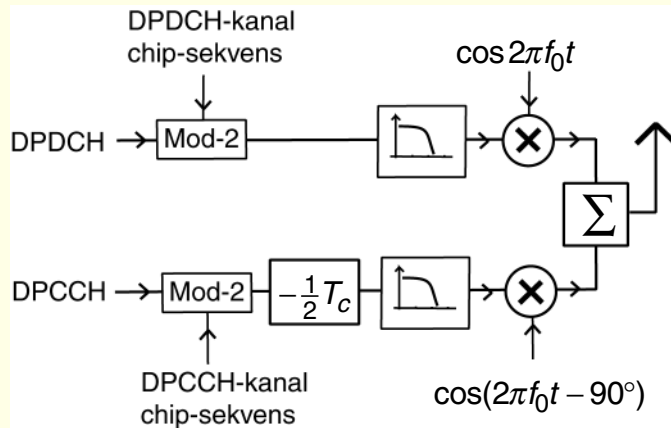


Vid QPSK kan signalen flytta sig mellan vilken punkt som helst i fas-amplitud-diagrammet.

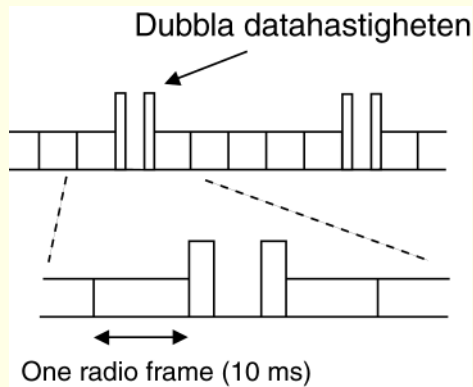


Vid OQPSK är amplitudvariationerna minimala

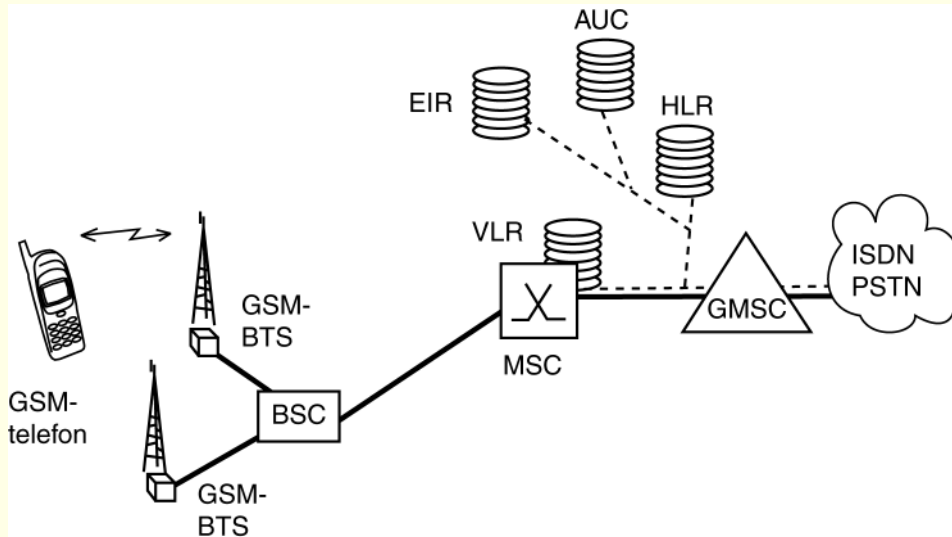
Offset QPSK (OQPSK)



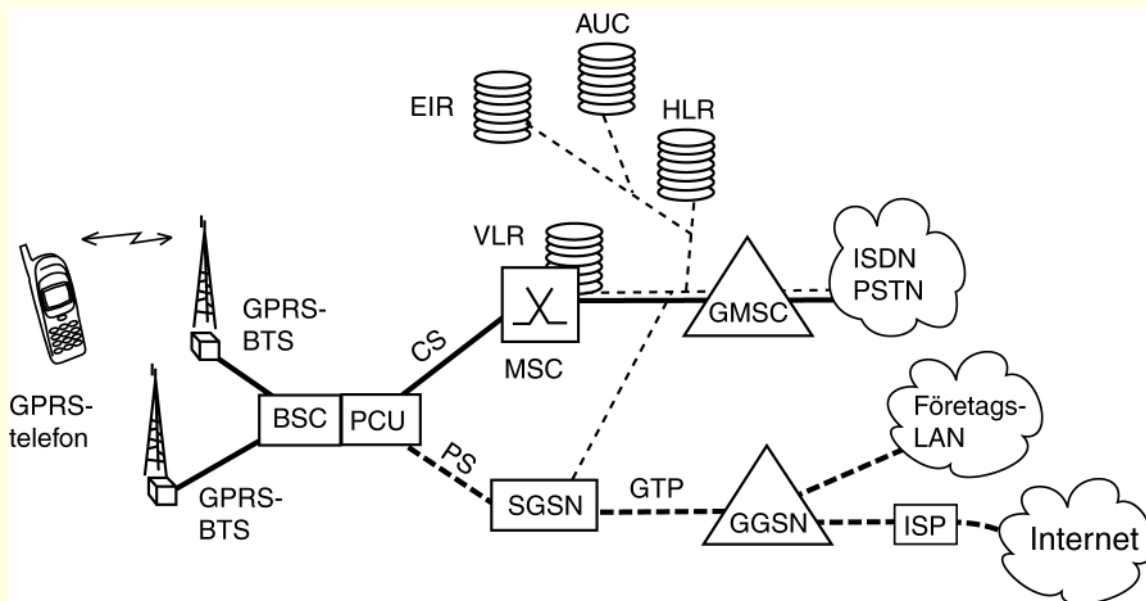
- TPC: Transmit Power Control Command
- TFCI: Transport Format Combination Indicator
- FBI: Feedback Information
- DPDHC: Dedicated Physical Data Channel
- DPCCH: Dedicated Physical Control Channel



Compressed Mode

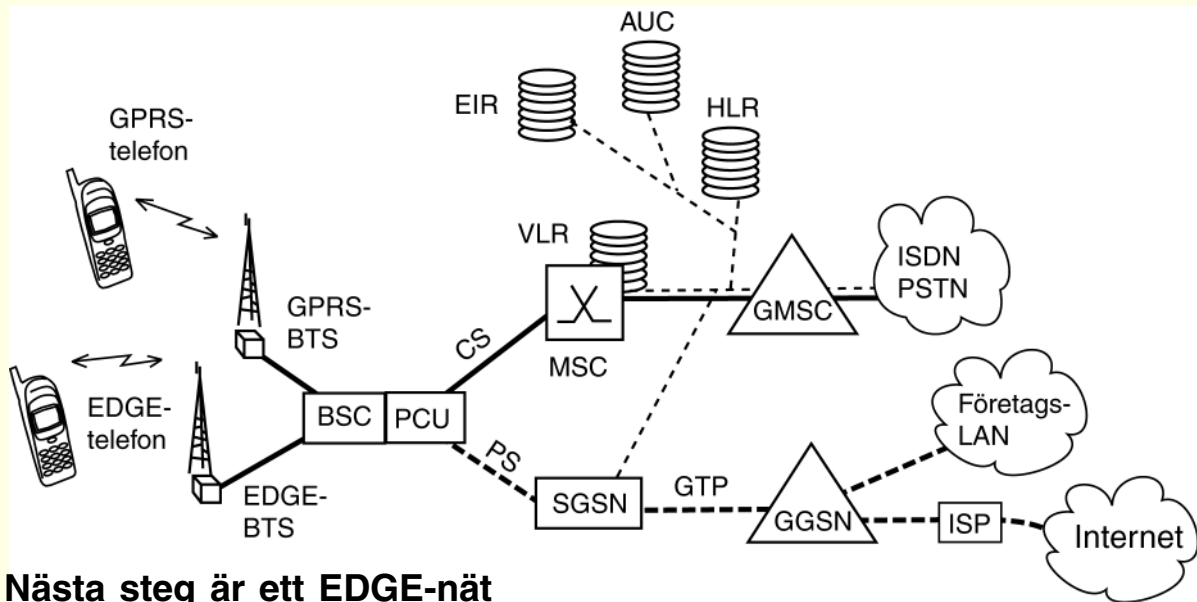


Vi börjar med ett vanligt GSM-nät ...



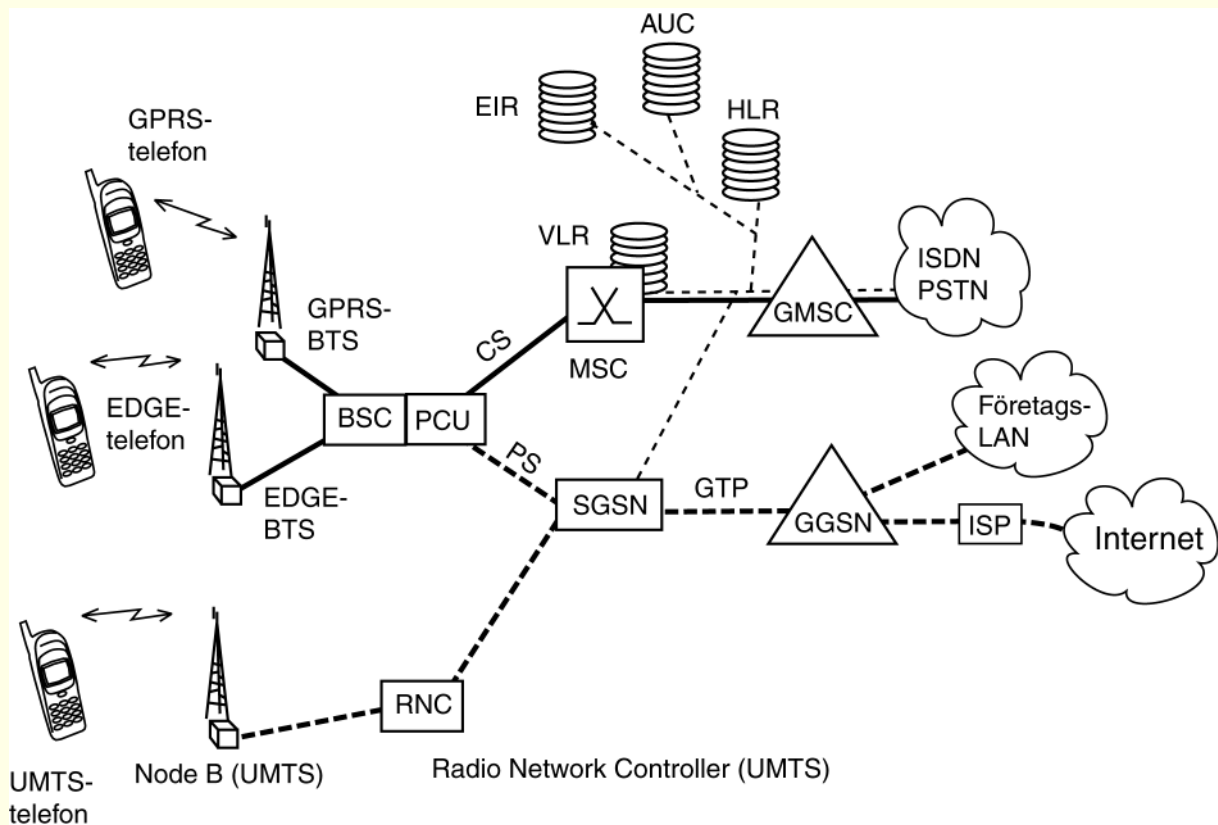
... som kompletteras till ett GPRS-nät

- Det behövs GPRS-telefoner
- Basstationerna måste moderniseras för GPRS
- BSC skall kompletteras med PCU
- Via SGSN och GGSN tar vi oss paketfördelat ut på Internet



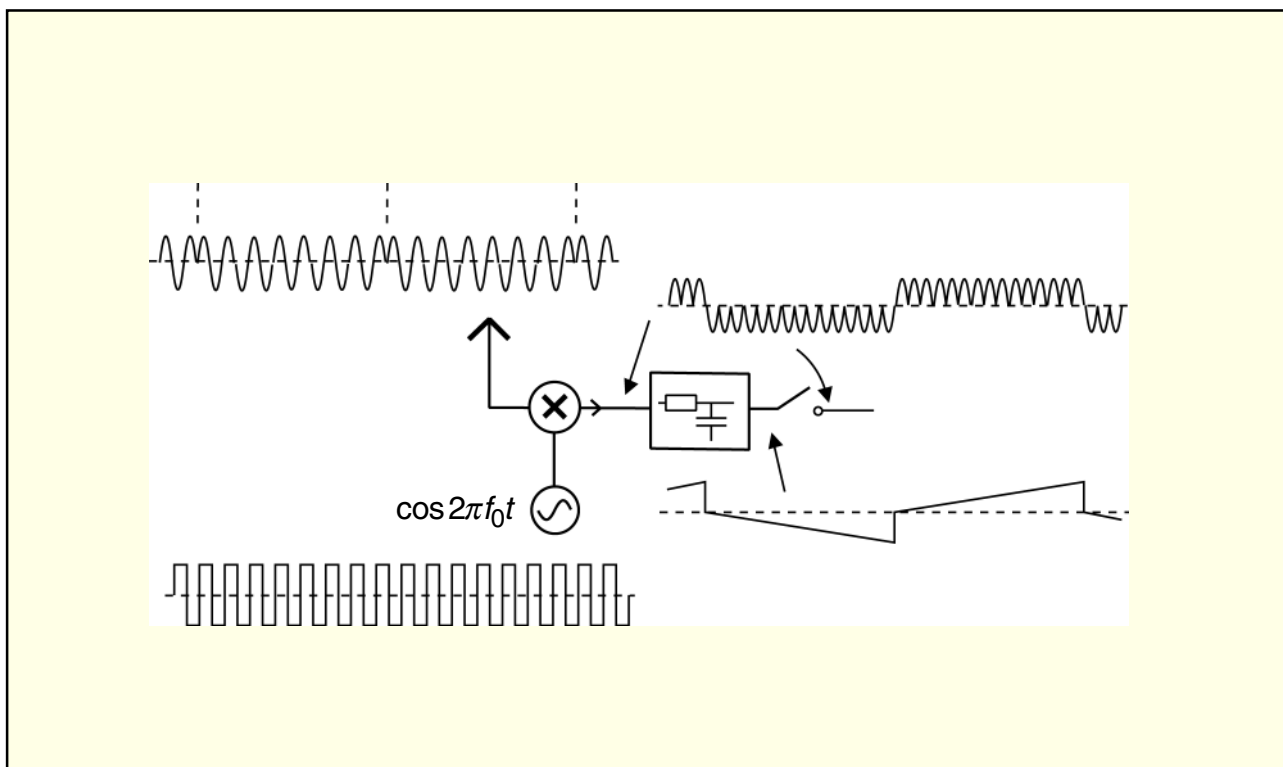
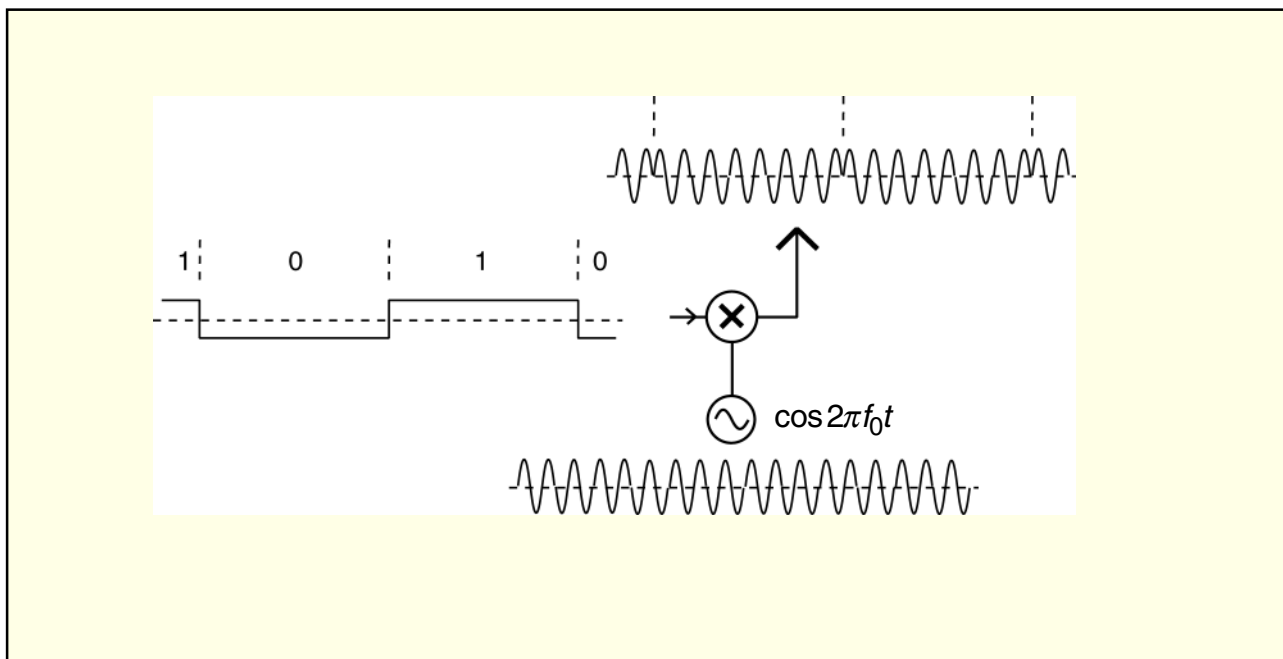
Nästa steg är ett EDGE-nät

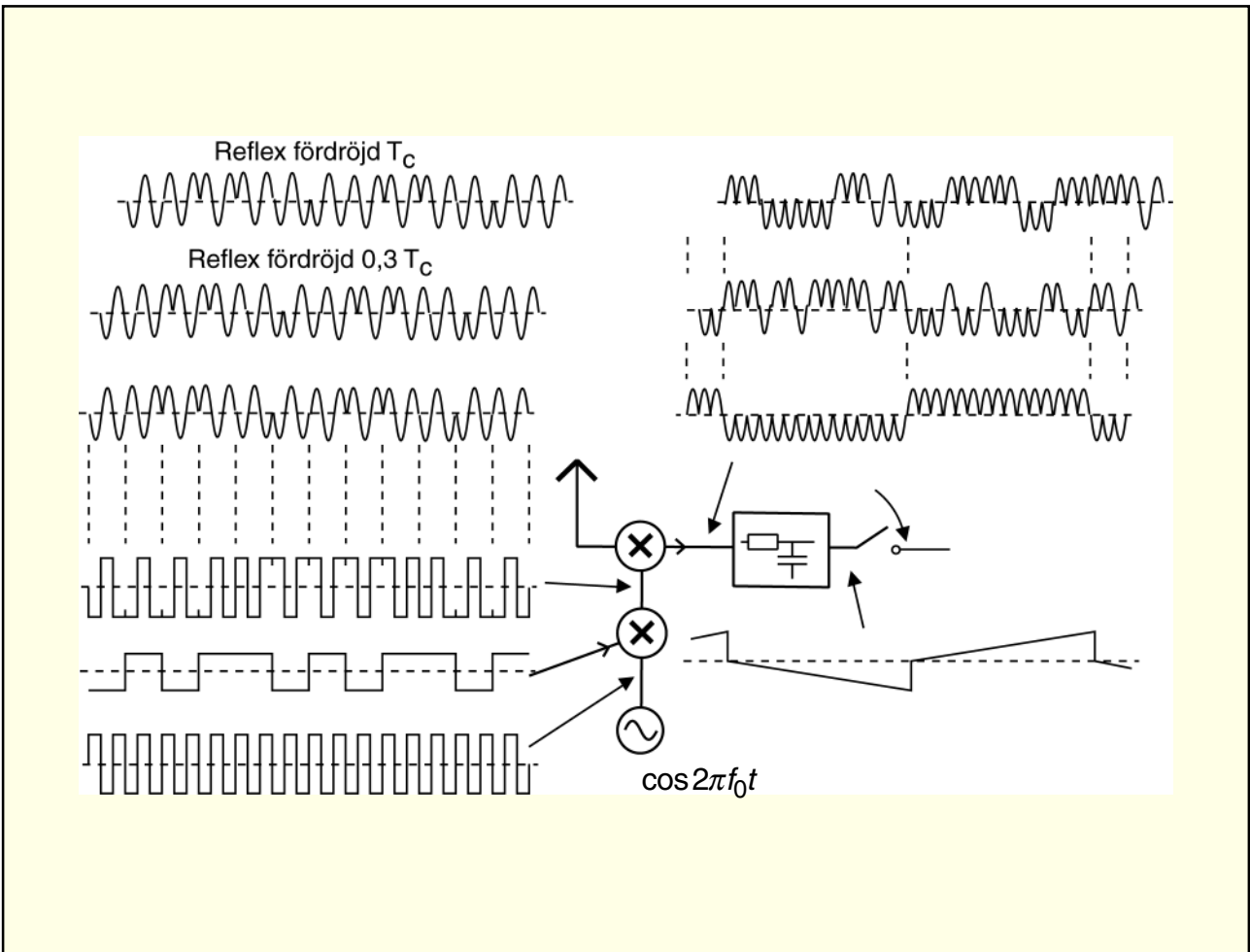
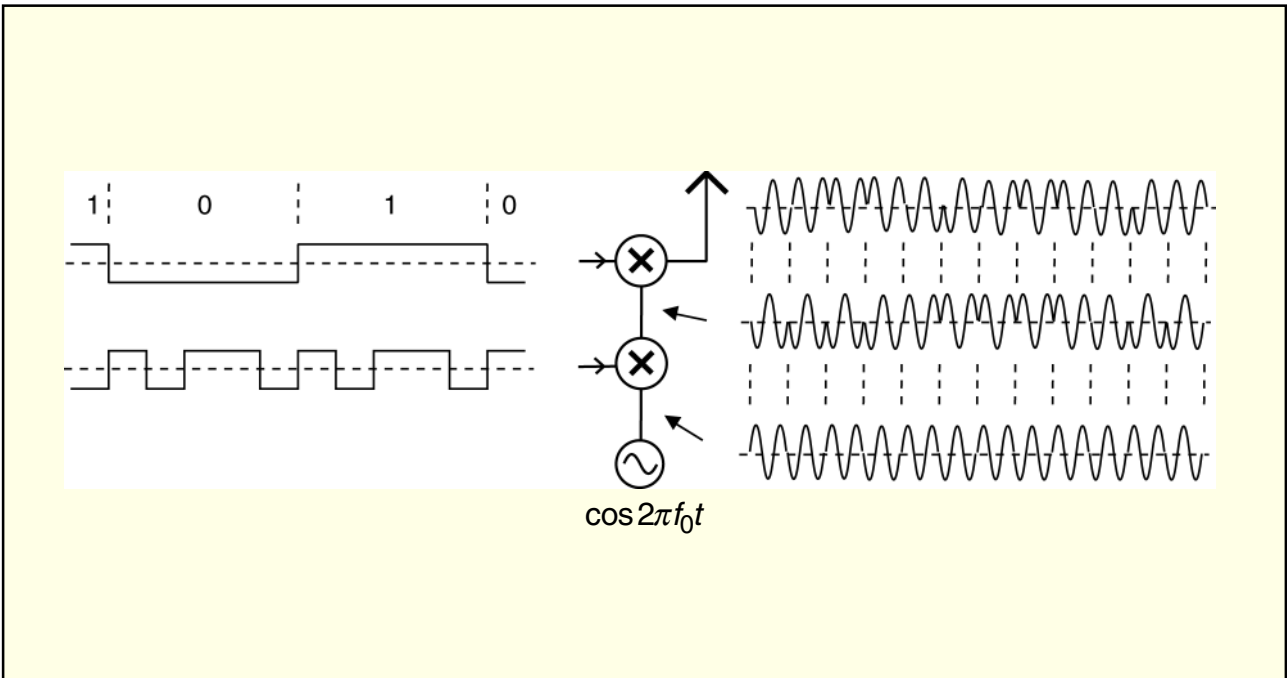
- Det behövs EDGE-telefoner
- Basstationerna måste moderniseras för EDGE-modulationen

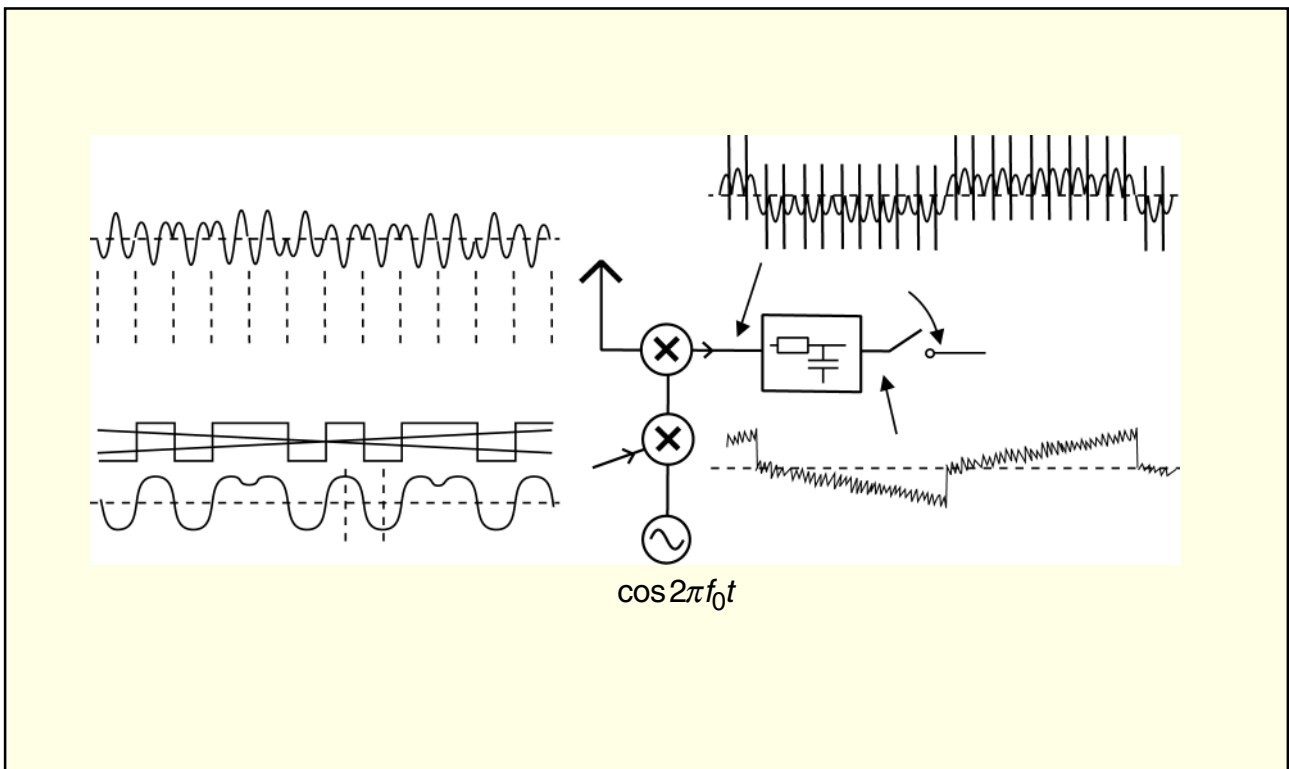
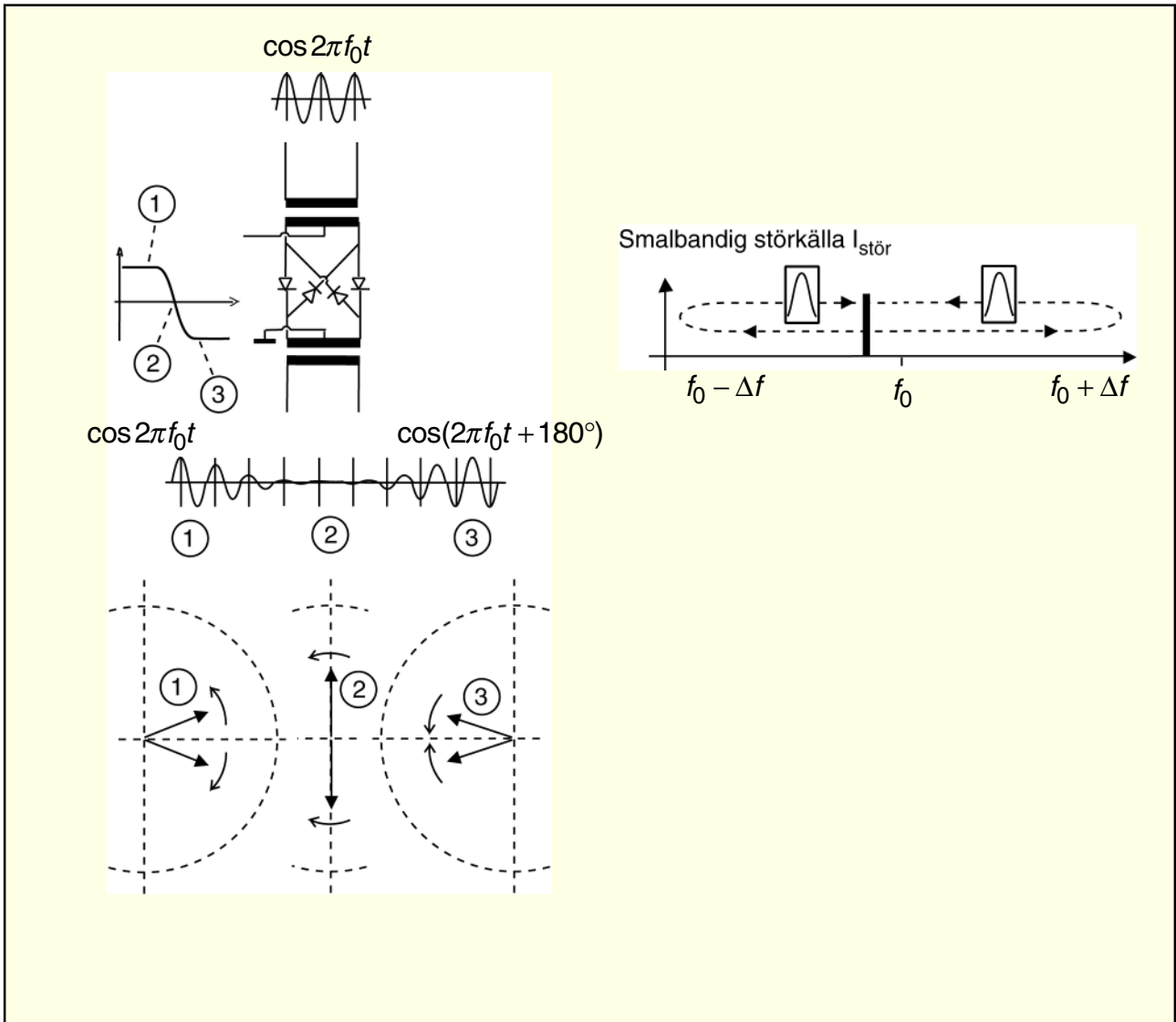


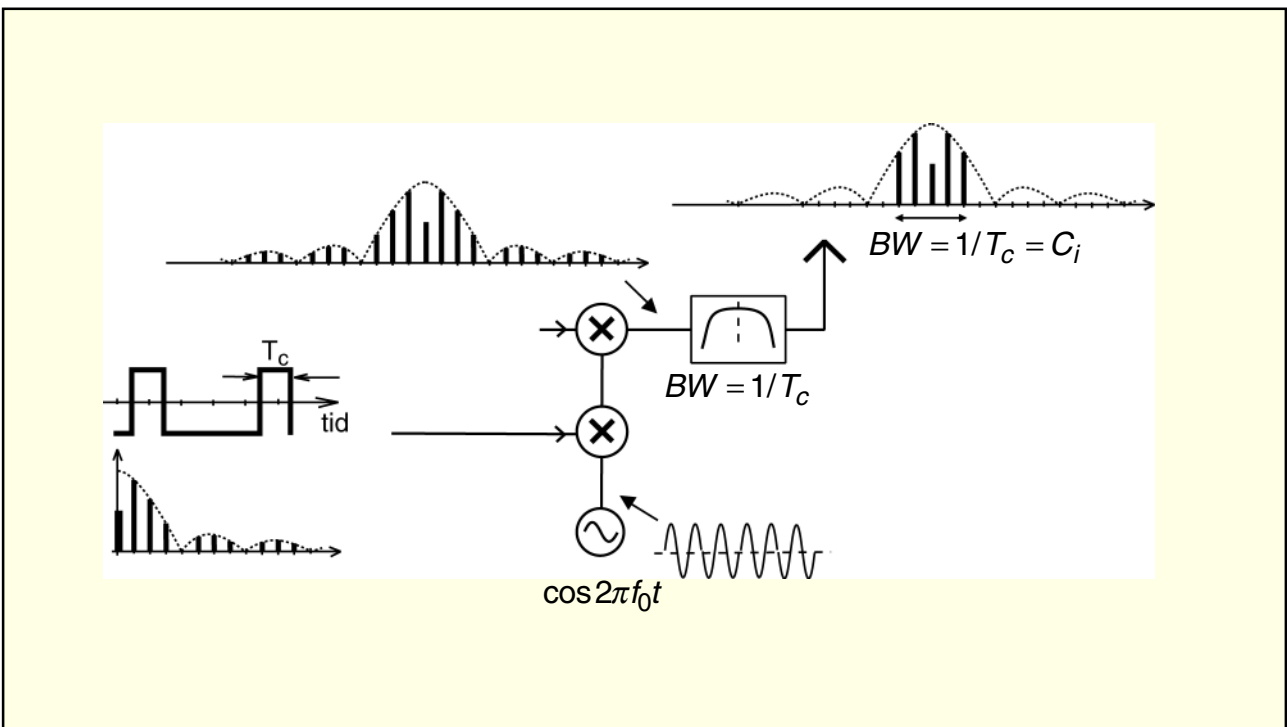
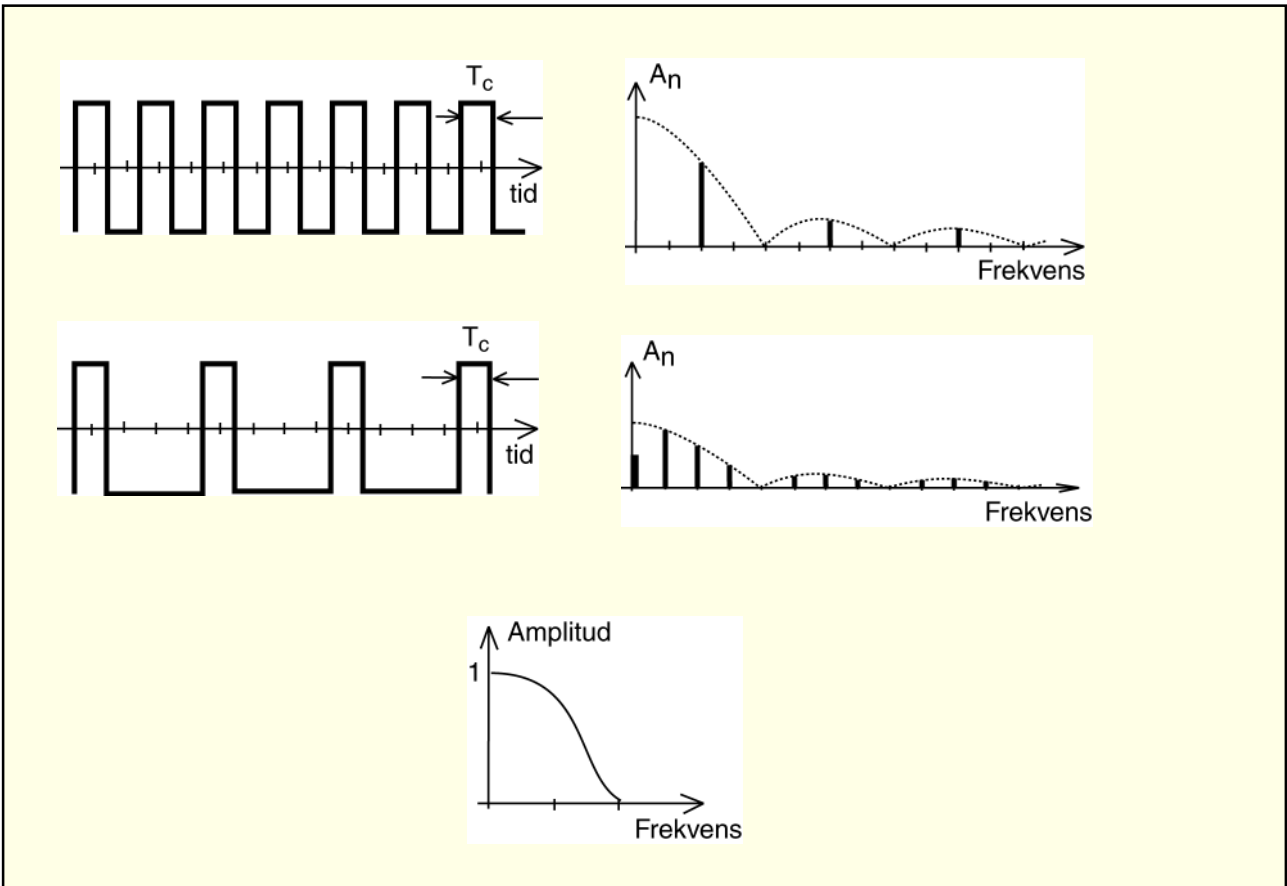
UMTS

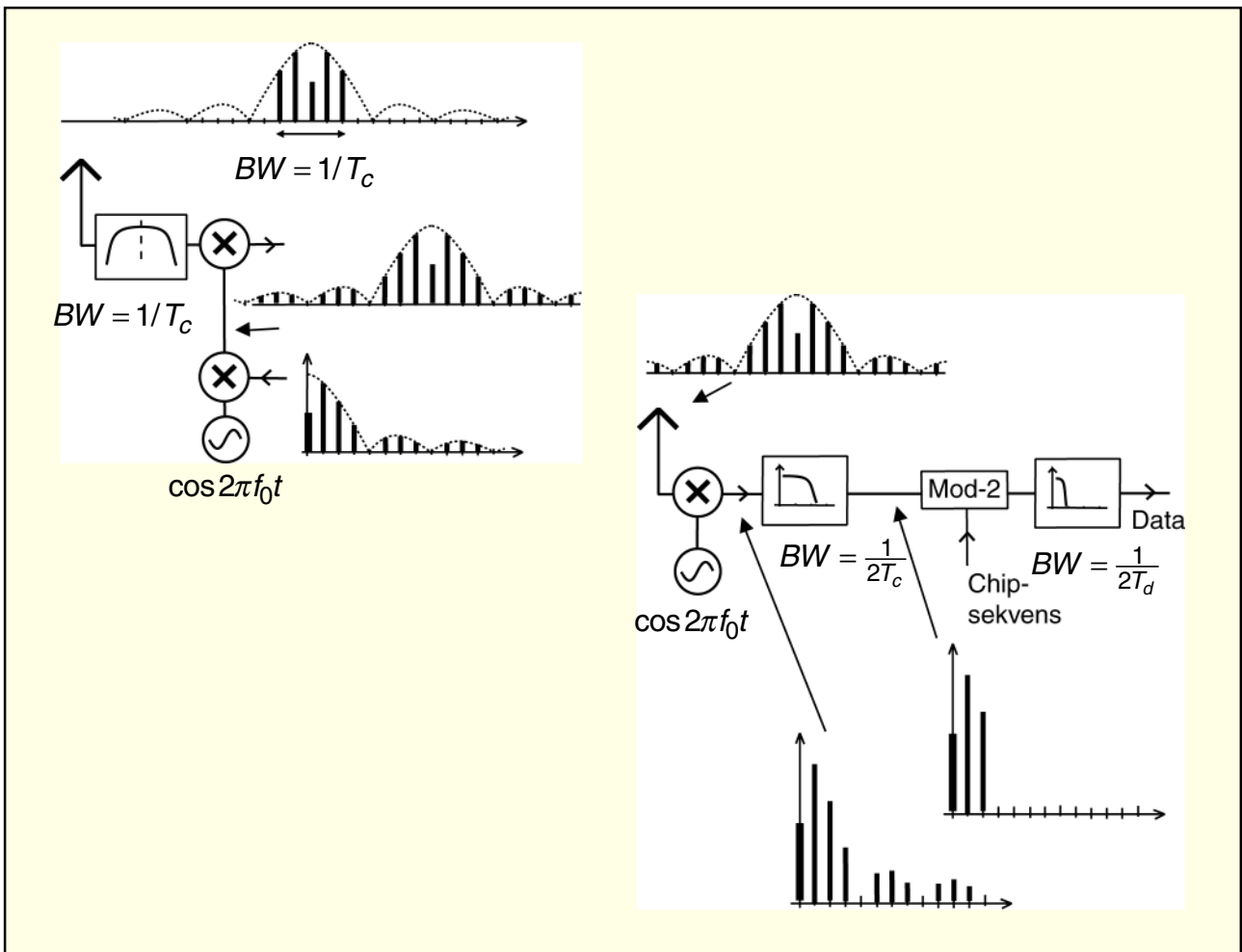
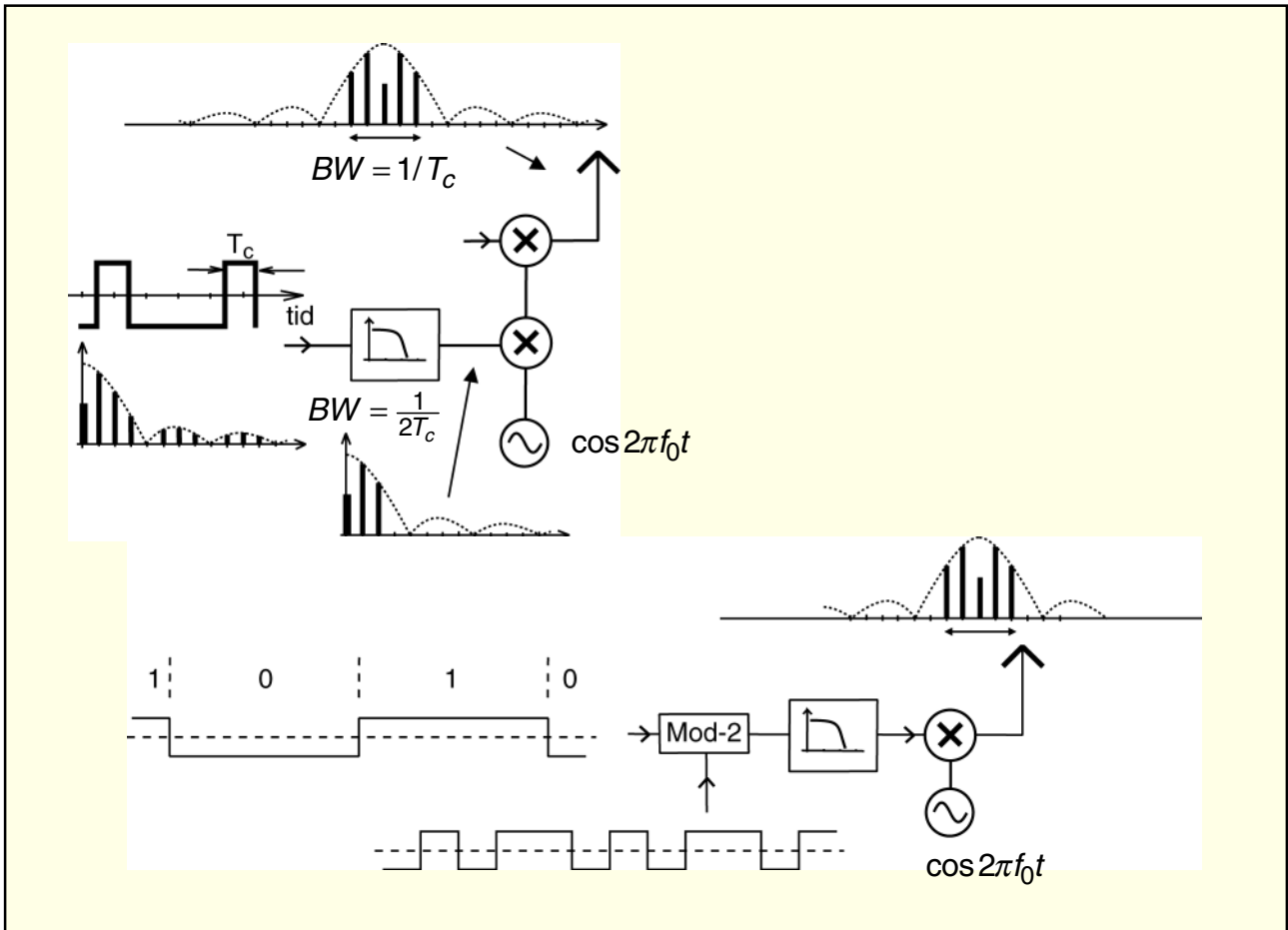
- Det behövs UMTS-telefoner
- Nya basstationer (Node B) för WCDMA-tekniken
- Ny BSC som i UMTS kallas för RNC
- Resten hämtar UMTS från GSM/GPRS-nätet











21.7 Ortogonala koder

