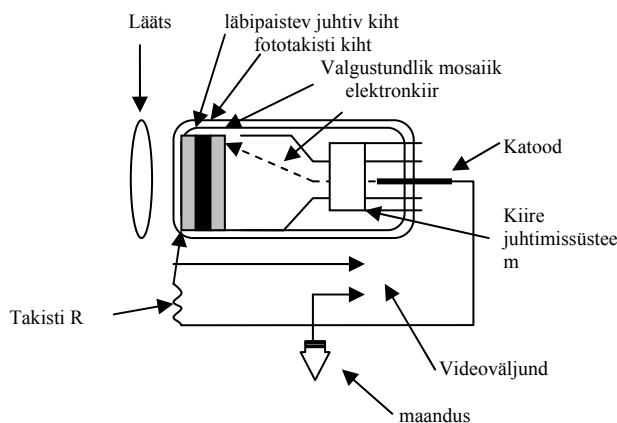


# Telekommunikatsioon

## 1. Analoo TV

- **Analoo-TV kanalite sagedusvahemikud**  
Telepilt moduleeritakse 4 MHz-se külgribaga üle kandesageduse, seega siis kogu kanali laiuseks kujuneks vähemalt 8 MHz, kuid sellise raiskamise (sellele mahuks sadu raadiojaamu) ära hoidmiseks on standardis ette nähtud kanali laiuseks 6 MHz. Erinevate standardite ja erinevate riikide kaupa on kanalite laiused tegelikult vahemikus 6..8 MHz
- **Vidikonkaamera ehitus, signaalid. Kaadri moodustamine: ülerealaotus ja progressiivne laotus. Rea laotusaeg.**

V  
i  
d  
i  
k  
o  
n  
k  
a  
a  
m  
e  
r  
a  
  
o  
n



levinuim tänapäeval kasutusel olev kaamera.

**Ehitus ja signaalid.** Nagu kõrvalolevalt jooniselt näha, siis on läätsest saabuv valgus fookuseeritud imeõhukestele plaadikestele, millest esimene on valgusele läbipaistev juhtiv kiht. Teise, pooljuht kihi, juhtivus on aga suures sõltuvuses peale langevast valgusest. Kolmas kiht koosneb miljonitest väikestest juhtivatest pikslitest. Iga piksel ühendub läbi teise kihi juhtivale kihile nagu **kondensaator**. Katoodilt kiirguv elektronkiir skanneerib mosaiki, laadides iga piksli (pisikondeka). Kui nüüd langeb keskmisele kihile valgus, siis see muudab kihi selles punktis juhtivamaks, lühistades vastava kondeka (mis koosneb esimesest kihist, teise kihi sellest punktist ja kolmanda kihi selle punkti vastas olevast pikslist). Selline leke on võrdeline pealelangeva valgusega ning tekitab vastava signaali ka väljundis.

**Ülerealaotus** – et hoida kokku kanali ribalaiuses, siis ei edastata vaataja silmale vajalikku 60 Hz-st signaali (see tähendab, et ekraani kirjutatakse üle 60 korda sekundis), vaid edastatakse 30 Hz signaali, milles sisalduvad vaheldumisi paaris ja paaritud read. See tähendab, et 1/60 sekundi jooksul skanneeritakse paaris read ja teise 1/60 sek jooksul skanneeritakse paaritud read

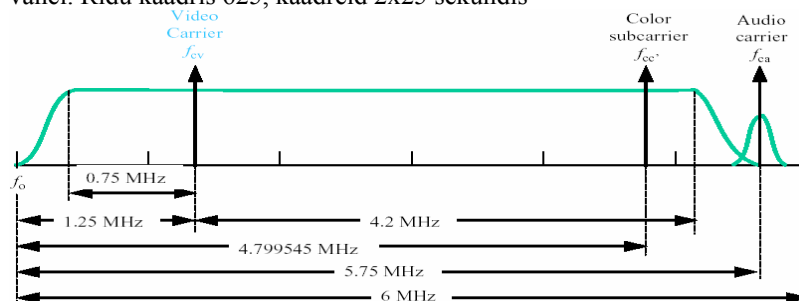
**Progressiivne laotus** – laotusviis, mille puhul laotatakse teleekraanile kõik read järjest (st 1-le järgneb 2. mitte 3.)

**Rea laotusaeg** – 64  $\mu$ s.

- **NTSC, PAL, SECAM pildi kaadrite ja ridade arv, video- ja heisignaali kandesagedused**  
NTSC – Kanal on jaotunud nii, et alumisest külgribast edastatakse ainult 1.25 MHz (ülemist otsa) ja ülejäänud

filtreeritakse välja. Teisest (ülemisest) külgribast kantakse üle terve 4 MHz. 5.5 MHz on heli kandesagedus, mis koos oma 25 kHz-ste FM külgribadega moodustab helikanali. Ridu on kaadris 525, kaadreid 2x30 sekundis

PAL – üldiselt on PAL süsteemis kanali laiuseks 6-8 MHz (olenevalt riigist, kus standardit kasutatakse) ja ka heli kandesagedus varieerub 4.5, 5.5 ja 6.5 vahel. Ridu kaadris 625, kaadreid 2x25 sekundis

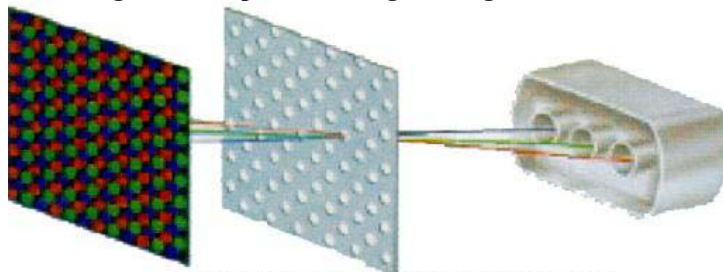


SECAM– heli kandesagedusel on 6.5 MHz ja pilt kantakse üle kahel sagedusel korraga: 4.2 MHz ja 4.4 MHz kanderibadega. (ühel saadetakse R-Y ja teisel B-Y signaalid, kusjuures esimest hilistatakse ajas, et teda koos esimesega töödelda). Ridu kaadris 625, kaadreid sekundis 2x25.

- **Kolm põhivärvust, nende maksimumide lainepikkused, RGB-signaali moodustamise skeem.**

Kolm põhivärvust on punane (R)  $\lambda_{\max}=670$  nm, roheline (G)  $\lambda_{\max}=570$  nm ja sinine (B)  $\lambda_{\max}=440$  nm RGB signaal moodustatakse nii, et läätsest sisenev valgus jagatakse kolmeks ja filtreeritakse vastavalt lainepikkustele välja kolm põhivärvi ja need skanneeritakse valgustundlike elementidega ning saadakse kolm ajas muutuvat elektrisignaali.

- **Värvikineskoobi ehitus ja koostisosad, maski otstarve. Mustvalge heledussignaali seos põhivärvussignaalidega RGB.**



Elektronkahur, mask ja luminofoorekraan

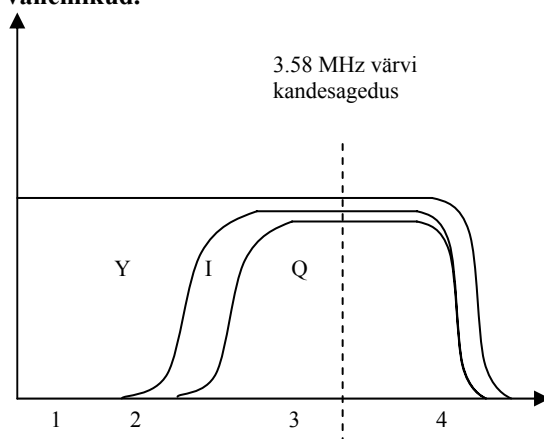
Värvikineskoop koosneb kolmest elektronkahurist, mille kulgu ekraanil juhitakse magnetitega. Nendest kahuritest kiiratavate elektronide hulk sõltub aga kahuritesse sisenevast RGB signaalist. Need kahurid fokuseeritakse korraga maski mingisse punkti. Maski taga asuvad luminofoorid, mis elektroni tabamusest helendama hakkavad (mida rohkem elektrone, seda rohkem helendab). Iga kiir fokuseeritakse nii, et tabab vastavat värvi luminofoori pihta. Selle kindlustamiseks ongi maski vaja, sest see ei lase elektronidel suvaliselt vale piksli pihta lüüa.

RGB signaalist saadakse teisenduste abil Y-signaal ehk heledussignaali, mis on nõ kohustuslik, et vastu saaks võtta pilti ka mustvalgena. Y-sign saadakse korrigeeritud RGB (korrektsiooniastmesse võetud, et tagada signaali õigsust) kaaluga liitmise teel. Teised saadetavad signaalid sõltuvad aga süsteemist, kas on I&Q, U& V või R-Y & B-Y.

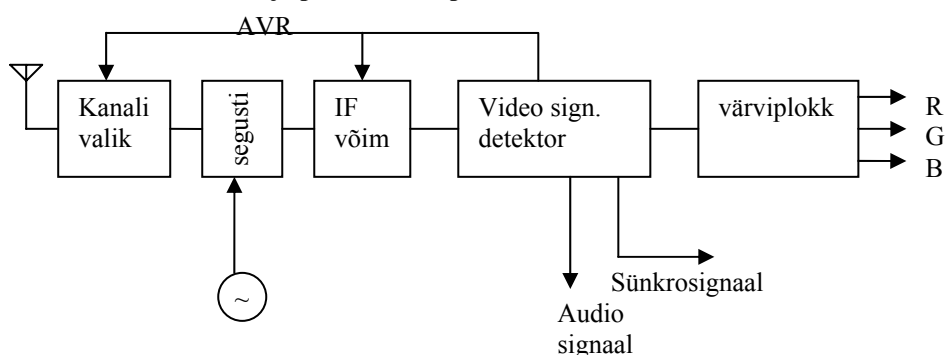
- **I ja Q värvussignaalid, nende seos põhivärvussignaalidega. Heledussignaali, I- ja Q-signaali moodustamise vajalikkus.**

I ja Q on NTSC süsteemi värvusdiferentssignaalid, nende moodustamine on vajalik selleks, et saada värvilist pilti. I ja Q signaalid on faasmoduleeritud 3.58 MHz-se värvi kandesagedusele ja mahutatud Y-signaali kõrvale samasse sagedusribasse, kasutades ära heledussignaali poolt mitte kasutatud „auke“.

- **TV komposiitsignaali spekter, selle komponentide spektraalsed vahemikud.**



- **Värvi TV-vastuvõtja plokskeem, plokkide funktsioonid.**



TV signaali antenniga vastuvõtmise järel valitakse sobiv kanal. Kohaliku ostsillaatoriga (~) genereeritakse vajalikud sagedused (mahasurutud värvi kandesagedus) ning vahesagedusvõimendis (IF võim) võimendatakse signaal nii, et sealt edasi kulgeks alati 1V tugevusega signaal. Sellise võimenduse peabki tagama AVR (Automaatne Võimenduse Regulaator). Videodetektoris eristatakse vajalikud signaali osad – audiosignaali (läheb edasi audiosüsteemidesse), sünkrosignaali (lähevad hälvitussüsteemidesse) ning RGB värvussignaali (lähevad elektronkahuritesse)

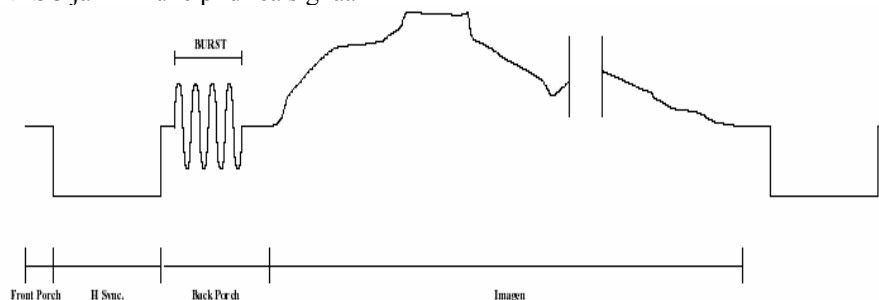
#### NTSC, PAL ja SECAM süsteemide võrdlev tabel

	NTSC	PAL	SECAM
Ribalaius (MHz)	6	6-8	8
Ridu/kaadris	525	625	625
Kaadrisagedus	2x30	2x25	2x25
Heli kandja (MHz)	4.5	5.5	6.5
Värvi kandja (MHz)	3.58	4.43	4.2, 4.4
Heledussignaali	Y	Y	Y
Värvisignaali	I, Q	$U=(B-Y), V=(R-Y)$	$(R-Y), (B-Y)$
Värvisignaali moduleerimise viis	Faas (90 kraadi erinevad)	Faas (90 kraadi erinevad, R-Y faas muutub üle rea 180 kraadi)	Sagedusmodulatsioon (R-Y ja B-Y eriridadel)

## 2. Videosignaali tüübid ja parameetrid

- Video- ja sünkrosignaali põhiparameetrid PAL ja NTSC standardi korral.

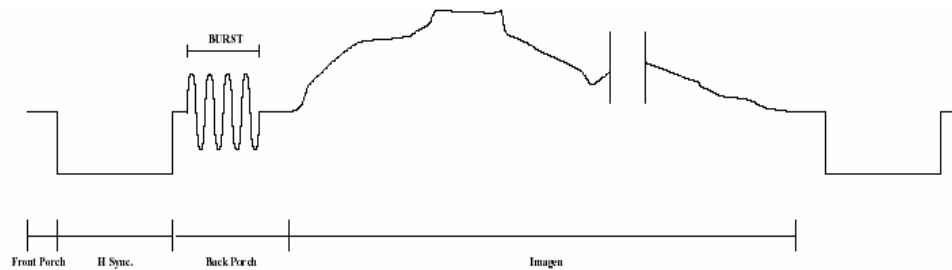
## NTSC ja PAL ühe pildirea signaal



PAL kui NTSC süsteemide korral on tegu sarnaste videosignaalidega, mis puutub ühe rea edastamise.

Enne ja pärast reasünkro (*H Sync*) saatmist peetud vahe nimetatakse **Front** ja **Back Porch**. Peale reasünkro tulva Back Porchi peal tuleb ka **Burst**, millega seatakse vastuvõtja ostsillaatori sagedus nullnivoole, mida suudetakse hoida veidi rohkem kui **64  $\mu$ s** ehk siis ühe rea laotusaja. Kõike seda kokku (F. Porch, H sync ja B. Porch) nimetatakse **Horizontal Blanking** ehk horisontaalpimendus ja see kestab **10.9  $\mu$ s**. Sellele järgneb **52.6  $\mu$ s** jooksul videoinfo (**Image**) ehk **Active Video**, mille lõppedes tuleb uus reasünkro ja kõik hakkab jälle algusest.

- Värvikorrektsioon kaameras ja monitoris, korrigeeritud komponent-videosignaalid (Y,Q,I JA Y,U,V), nende spektrid.**  
 nõ  $\gamma$ -korrektsioon: väljundsignaal= $(\text{sisendsignaal})^\gamma$ , st muudetakse signaali tugevust/heledust. Sellist korrektsiooni viiakse läbi aga ainult puhta **RGB** sisendi korral ja väljundisse saadakse korrigeeritud **RGB** ehk **R'G'B'**. **Kaamera** korral vähendatakse sign heledust ( $\gamma=0.45$ ) ja **monitoris** keeratakse see jälle üles tagasi (isegi veidi rohkem) ja  $\gamma=2.5$ . Komponent-signaalid saadakse R'G'B' kaaludega liitmise/lahutamise teel, kusjuures **Y,Q,I** moodustavad NTSC süsteemi videosignaali ja **Y,U,V** on PAL süsteemi videosignaali.
- NTSC, PAL ja SECAM signaalide kirjeldus, värvussignaali komponentide moodustamine, värvussignaali kandesagedus, audiosignaali.**  
**NTSC** – värvussignaali segustatakse heledussignaali sekka faasmodulatsiooniga, kusjuures **I** ja **Q** faasid erinevad **90 kraadi** võrra. Värv kandesagedus on **3.58 MHz**. Heli kandesagedus on **5.5 MHz**.  
**PAL** – NTSC süsteemis võib tekkida faasinihkest tulenevalt värvuse muutus (mille korrigeerimiseks on nts telekatel vastavad nupud), kuid PAL süsteemis hoitakse selline faasinihe ära järgneva meetodiga. PAL süsteemile omased värvissignaalid **R-Y** ja **B-Y** kantakse samuti üle **90-kraadise** faasierinevusega, kuid **R-Y** signaali kantakse iga teise rea korral üle **inverteeritult** (st 180-kraadise faasimuuduga) ja TV-vastuvõtjas on võimalik kaht rida hilistaja abil kombineerides tühistada kõik faasierinevused, mistõttu vead ilmnevad nõrgemates, aga ÕIGETES värvides. Inimese silm on aga värvi suhtes vähem tundlik, võrrelduna musta-valgega. **PAL** süsteemi värvi kandesagedus on **4.43 MHz**. Heli kandesagedus on **5.5 MHz**  
**SECAM** – **R-Y** ja **B-Y** signaalid kantakse üle kahel erineval sagedusel: **4.2** ja **4.4 MHz**. SECAM süsteemis edastatakse värvissignaalid R-Y ja B-Y vaheldumisi ridade ajal ning tervikliku pildi saamiseks hilistatakse R-Y signaali. Kuna SECAM süsteemis värvi edastamiseks kasutatakse sagedusmodulatsiooni, siis ei esine värvinihkeid. SECAMi helikandesagedus on **6.5 MHz**.
- Ühe pildirea signaali ajaline käik, NTSC ja PAL värvussignaali moduleerimisviisid. Videosignaali heledus- ja värvussignaali pingeväärtused, burst-signaali, selle otstarve.**  
 Ühe pildirea signaali ajaline käik:



NTSC ja PAL süsteemis moduleeritakse värvussignaaliid faasmodulatsiooniga.

Peale signaali detekteerimist seatakse valge (so maksimaalne väärtus) **760 mV** ja must (min väärtus) **0 mV**. Värvisignaali pingevahemikud on **-350 mV ... 350 mV**.

Burst on vajalik selleks, et seada vastuvõtja ostillaator saatja omaga sünkrooni. Burst koosneb **8-10**-st värvi kandesageduse vönkest.

### 3. Digitaalsignaali töötlemine

- **Diskreetimine ühtlase sammuga, kvantimismüra, Signaal-müra suhte sõltuvus kvantide ja bittide arvust, vajalik saatmiskiirus, Shannon-Hartley teoreem.**

Diskreetimisel ühtlase sammuga võetakse signaali lugemeid alati **kindla ajaintervalli** järel. Niiviisi saadud tulemus võib aga oluliselt erineda sisendist, juhul kui samm on liiga suur, võrreldes signaali käiguga. Sellest tulenevalt on **kvantimismüra** ehk **lugemi viga** tegeliku signaali ja diskreetimisel saadud signaali erinevus. Signaal-müra suhe detsibellides näitab seda, kui palju on signaal võimsam diskreetimisel tekkivast müras. Selle suhte annab valem:

$S/N = [1.76 + 6.02 \cdot n] dB$ , kus **n** on bittide arv. Nagu valemist näha, mida suurem **n**, seda väiksem müra saadakse, ehk siis seda suurem on signaal-müra suhe.

**Shannon-Hartley teoreem: vajalik saatmiskiirus** leitakse valemiga:

$C = BW \cdot \log_2(1 + S/N)$ , kus **C** on saatmiskiirus (bitti/s), **BW** on ribalaius (BandWidth, Hz), **S/N** on signaal-müra suhe (**n** biti korral  $2^n - 1$ ).

- **Diskreetimine ebaühtlase sammuga, A-law ja u-law seosed, diskreetimine läviga.**

Et saavutada väiksema müraga infot, tuleb diskreetimise samm võtta võimalikult väike. Selline protsess toodab aga määratult palju infot, mis osutub kasutuks, juhul kui signaal ise muutub ajas aeglaselt. Sellest lähtuvalt on välja töötatud **ebaühtlase** sammuga diskreetimise süsteem. Diskreetimise sammu pikkus valitakse **sõltuvalt signaali muutumise kiirusest**.

**A-law** (Euroopa): 
$$V_d = \frac{V_{skaala} \times \ln\left(1 + a \cdot \frac{|V|}{V_{skaala}}\right)}{\ln(1 + a)}$$
, kus **V** on sisendsignaali, **V<sub>skaala</sub>** on skaalaulatus ja **a** määrab diskreetimise sammu – kui **a=0** siis on tegu lineaarse diskreetimisega.

**μ-law** (USA, Kanada): 
$$V_d = V_{skaala} \times \frac{\ln\left(1 + \mu \cdot \frac{|V|}{V_{skaala}}\right)}{\ln(1 + \mu)} \times \text{sgn}(V)$$

**Diskreetimine läviga** – Kanali lugem diskreeditakse ainult siis, kui selle lugem ületab teatud lävi, vastasel korral loetakse lugem nulliks.

- **Kahemõõtmelise TV-kujutise diskreetimine, pikseli koostamine YUV 4:2:2 ja 4:2:0 korral, MPEG-2 pildiploki koostamine Y-, U- ja V-lugemitest.**

Kui on võimalik kasutada suuri infoedastuskiirusi (näit PC monitor), siis diskreeditakse iga värv (RGB) eraldi, kuid TV korral on värvussignaali U, V sagedusriba kitsam, kui heledussignaali Y oma. See tuleneb asjaolust, et inimese silm on värvi resolutsioonile vähem tundlikum, kui musta-valge korral, mistõttu võib mitme naaberpiksli jaoks kasutada sama värvussignaali, samas kus heledussignaali Y on iga piksli jaoks eraldi kvantitud (ja edastatud). Kahemõõtmelise diskreetimise korral diskreeditakse pilti korraga kahes ortogonaalses (risti) suunas.

Üks piksel koostatakse siis hiljem **Y, U ja V** lugemitest, aga **Y** lugemeid võetakse mitu korda tihedamalt (st samu **U ja V** lugemeid kasutatakse mitme piksli joonistamiseks, mistõttu värviresolutsioon langeb). Näiteks, kui võetakse **4 Y, 2 U ja 2 V** lugemid 4 piksli joonistamiseks, siis tähistatakse seda **YUV 4:2:2**, **YUV 4:2:0** korral aga võetakse **4** piksli joonistamiseks **4 Y, 1 U ja 1 V** lugem.

**MPEG-2** pildiplokk on näiteks **SAT-TV** kasutusel olev digitaalpildi edastamise standard. Selle korral on kasutusel **YUV 4:2:0** kvantimise meetod, mistõttu **MPEG-2** makroblokk koosneb infost nelja piksli koostamiseks ja on üles kirjutatud nii: **YYYYUV**, st 4 Y piksli 1 U ja 1 V piksli kohta. 8x8 pikslise pildi summaarne lugemite arv tuleb seega **256+64+64=384** lugemit.

- **Digitaallugemi kodeerimine, PCM, PWM, PPM. Manchesteri kood.**

Telekommunikatsioonis kasutatakse jadakoodi.

a) **PCM – Pulse Code Modulation.** Kvandi numbrilise väärtuse edastamiseks edastatakse tema kahendkoodi vaste, kusjuures ühe piti kestvus liinil on  $\tau$  seega edastuskiirus  $1/\tau$  bitti sekundis.

b) **PWM – Pulse Width Modulation.** Liinile lähevad bitid teatud perioodi  $T$

$$\tau = \frac{n \cdot T}{2^N}$$

järeel. Kuid iga biti kõrges olekus püsivuse aeg  $\tau = \frac{n \cdot T}{2^N}$ , kus  $n$  on biti kümnendväärtus ja  $N$  on kodeerimisel kasutatud bittide arv (näit 8 biti

$$\tau = \frac{n \cdot T}{256}$$

korral oleks valem:  $\tau = \frac{n \cdot T}{256}$ ). PWM signaali on lihtne muuta tagasi analoogsignaali (näiteks integraatori abil), kuid seda tüüpi manipulatsioon ei saa kasutada signaalide korral, mis muutuvad laiades piirides.

c) **PPM – Pulse Position Modulation.** Kvandi väärtusele vastab (lühikese) **biti alguse asukoht** perioodis. Selline signaal saadakse **PWM signaali diferentseerimisel**, st genereeritakse lühike impulss (**PPM bitt**) hetkel, mil PWM signaali bitt lõpeb.

d) **Manchesteri kood** – (kasut. näit PC klaviatuuri ühenduses arvutiga) Esmalt kodeeritakse info kahendkoodi. Manchesteri koodis edastatakse bitid perioodi  $T$  järeel, kuid nad teisendatakse nii, et bitt „0“ puhul esimese poolperioodi ajal on väljundis kõrge seisund ja teine poolperiood madal ning bitt „1“ korral vastupidi. Olenevalt rakendusest võib koodi väljund olla ka vastupidine, aga põhiline on see, et „0“ ja „1“ bitte eristatakse faasi järgi (neil on 180 kraadi faasierinevust). Näiteks siis selliselt

| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | - kahendkood

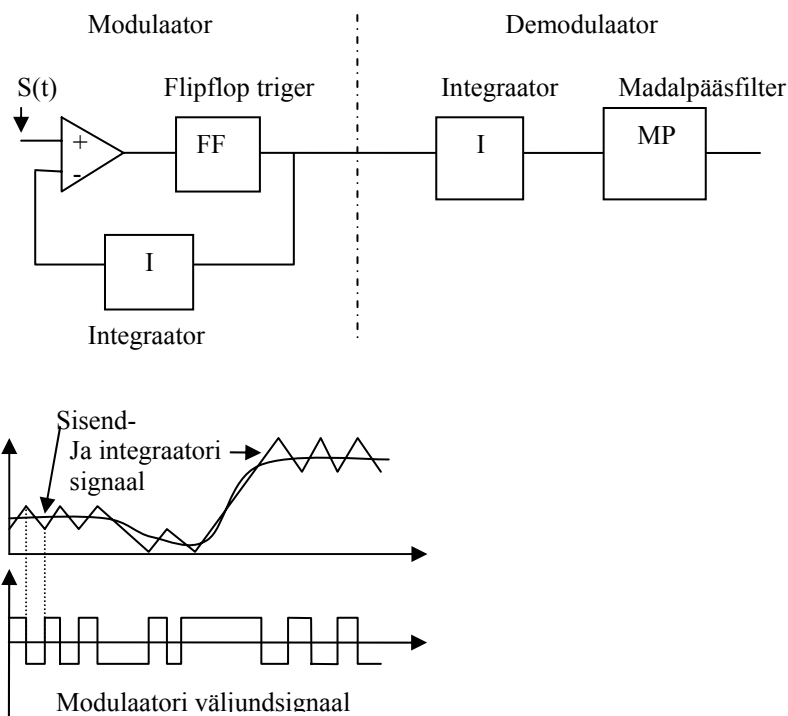


- Manchesteri kood

- **Audiosignaali deltamodulatsiooni põhimõte, modulaatori plokk skeem ja signaalid.**

Audiosignaali moduleerimiseks kasutatakse deltamodulatsiooni, mis kujutab endast analoogsignaali integraatori ja trigeri abil digisignaali saamist.

Plokk skeem:



#### 4. Andmete tarkvaraline kompressimine.

- **Kadudeta ja kadudega kompressimine. Sarikodeerimine (Run-Length Encoding).**

Kadudeta kompressimisel on võimalik taastada originaal, Kadudega kompressimisel originaali taastada pole võimalik.

Sarikodeerimine on kadudeta kompressimise viis, milles asendatakse nulliste lugemite jada nulliga ja sellele järgneva arvuga, mis loendab järjestikused nullid. Näiteks:

Lugem – 12 8 0 0 0 2 3 0 5 0 0 6 5 4

ja sarikodeeritud väljund – 12 8 0 4 2 3 0 1 5 0 2 6 5 4

- **ASCII ja Huffmani kood. Delta-kodeerimine**

**ASCII** (American Standard Code for Information Interchange) töötati esmalt välja telegraafides ning võeti hiljem kasutusele ka PC-de juures. ASCII-s on tähed, numbrid ja märgid viidud vastavusse kindla numbrilise väärtusega, mida on lihtne edasi kodeerida ja edastada. Esialgne ASCII koosnes 128-st märgist, hiljem võeti kasutusele laiendatud ASCII, mis koosnes 256-st märgist.

**Huffmani kood** – (baseerub keeleliste iseärasustele). Kood kus sümbol/täht asendatakse koodiga, mille pikkus on pöördvõrdeline tema esinemise tõenäosusega. St mida tihedamini seda sümbolit keeles esineb, seda lühem on kood, mis tema esitamiseks kasutatakse. See kood on iga keele jaoks võimalik (ja ka mõtekas) erinev teha.

**Delta kood** – kood, kus suurte numbrite edastamise asemel antakse jadas edasi muutused eelmise numbriga võrreldes. (esimene lugem antakse puhtal kujul edasi). Näit.

17 19 24 24 24 21 15 10 89 95 - lugemite jada

17 2 5 0 0 -3 -6 -5 79 6 - Delta kood

Delta koodist on kasu siis, kui on tarvis edastada suuri numbreid, mille kõikumine on suhteliselt väike (võrrelduna nende suurusega), sest kui vaja on edastada arve 0...256, siis tavalise edastamise tarvis kulub kuni 8 bitti, aga delta koodis võib tarvis minna kuni 9 bitti, näiteks kui on järjest 256 ja 0, ehk siis erinevus -256 (mille edastamiseks kulub 9 bitti).

- **JPEG-kompressimine, Ühe- ja kahemõõtmeline diskreetne kosinusteisendus (DCT), teisendusvalemid. DCT kasutamine pikselite**

**pildiploki teisendamiseks. Zig-Zag-esitus. Videosignaali töötuse plokk skeem.**

**JPEG** – (*Joint Photographic Experts Group*) kadudega kompressimise meetod. Inimese silma inertsust (kiirete muutuste märkamata jätmist) ära kasutades ühtlustatakse ühe **pildiploki (8x8 pikslit)** piires pikslite omavahelist kontrastsust, nii et järskudest üleminekutest madalatel tasemetel väga kõrgetele loobutakse ja asendatakse need sujuvate üleminekutega madalamatele lõppväärtustele (st pikslite väärtusi muudetakse, nii et kõrvuti asuvate pikslite erinevus oleks võimalikult väike, ning suurimate väärtustega pikslite väärtusi vähendatakse, hoides nii kokku edastatavat infolahka kuni **5 korda**).

**DCT** kasutamine pikselite pildiploki teisendamiseks - DCT kasutamisel saadakse  $N_1 \times N_2$  pildiploki asemele (üldiselt)  $N_1 \times N_2$  **DCT maatriks**, mis koosneb pikselite heleduste (ja ka värvide) koefitsientloenditest.

$$B(k_1, k_2) = \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} 4 \cdot A(i, j) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot k_1}{2 \cdot N_1} (2 \cdot i + 1)\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot k_2}{2 \cdot N_2} (2 \cdot j + 1)\right)$$

Kui pildipiksel on näiteks 8-bitine (st tema võimalikke väärtusi on 256 kokku), siis koefitsient võib omada väärtusi **-1024..1023**. Esmapilgul võib tunduda kasutu (ja isegi rumalana) teisendada andmeid väiksemamahulisest suuremahulisemaks, kuid süvenedes DCT maatriksi iseloomu, märkame, et pildi (inimsilmale) piisava kvaliteediga edastamiseks pole vaja nii suurt andmehulka terves tükis edastadagi. Nimelt koondub enamus pildi „olulisest“ informatsioonist DCT maatriksi ülemisse vasakusse nurka, mistõttu on võimalik admemahu vähendamise eesmärgil jätta üle kandmata maatriksi elemendid alt paremalt nurgast. Selle demonstreerimiseks koostas inimese QBASICu programmi, mis genereerib 8x8 pikslit koosneva pildikese (lihtsalt kindlas järjekorras 64 suvalist arvu 0...255) ning arvutab selle pildiploki DCT kujutise.

**8x8 pikselilise 8-bitise pildi**

**heledusmaatriks:**

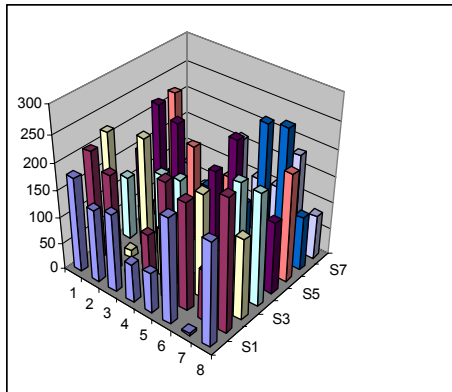
179	136	147	73	76	197	3	193
207	180	11	105	219	201	95	245
222	14	242	92	133	195	13	151
119	76	158	165	67	71	211	210
150	251	232	57	177	249	62	136
27	254	172	4	146	25	26	203
72	11	75	97	76	241	249	102
70	40	41	164	104	105	181	83

**sama pildi DCT**

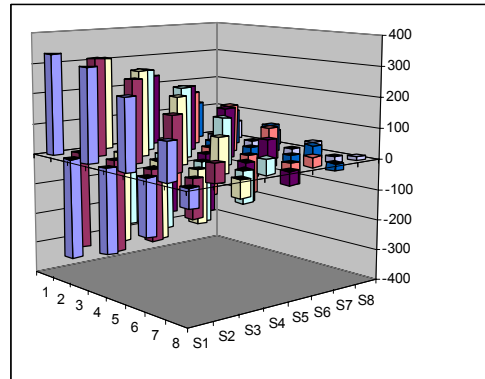
**maatriks:**

332	-326	306	-276	233	-183	124	-62
-326	319	-301	269	-229	178	-122	60
306	-301	282	-254	215	-169	114	-57
-276	269	-254	228	-194	151	-104	50
233	-229	215	-194	164	-129	87	-44
-183	178	-169	151	-129	100	-69	33
124	-122	114	-104	87	-69	46	-23
-62	60	-57	50	-44	33	-23	11

Nende maatriksite tulpesitus on järgmine:



8x8 Pildiblokk (heledused 0...255)

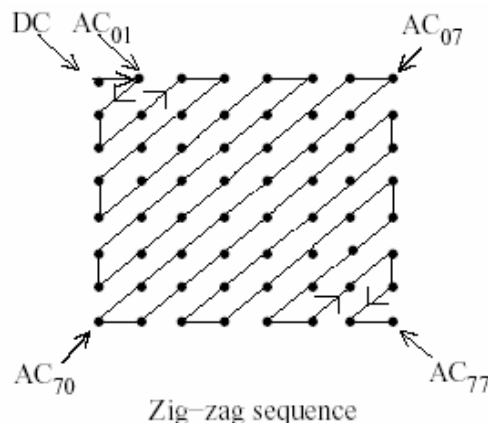


Eelmise pildi DCT maatriks (1,S1 on esimene element)

Kui sellest DCT maatriksist nüüd teha **Zig-Zag** esitus, siis on näha, et numbrite absoluutväärtused järjest kahanevad ehk siis nende osatähtsus pildi joonistamisel kahaneb (nendes sisalduv info „kaldub“ järjest enam peensustesse, mida pole alati vaja esitada).

Sellest tulenevalt: kui kantakse üle terve maatriks, on meil tegu **kadudeta kodeerimisega**, kui aga jäetakse lõpust elemente üle kandmata, siis on tegu **kadudega kodeerimisega** (st algpilti pole võimalik 100%-liselt taastada, vaid saadakse ainult selle lähendus). Üldiselt kasutatakse pildi kodeerimisel **8x8 pikseli** süsteemi, kus pilt jagatakse 8x8 pikselilisteks **blokkideks**, mis siis ühekaupa kõik DCT-ga kodeeritakse (näiteks **JPEG pildiformaat**). On näha, et iga pildiblokk teisendub suhteliselt iseseisvat ja seega ka erinevalt. Kui edastatakse liiga vähe koefitsientide (DCT maatriksi elemente), siis lähevad naaberblokkide vahelised erinevused liiga suureks ja pilt läheb „ruuduliseks“. Kõige paremini on DCT teisendust võimalik jälgida võimsamate graafikaprogrammide vahendusel, kus hea kvaliteediga (nt TIFF formaadi pildi) ümbersalvestamisel JPEG formaati saab JPEG kvaliteeti määrata. Tegelikult sellisel juhul siis määratakse salvestatavate koefitsientide arv. Ülejäänud koefitsiendid lihtsalt "visatakse minema", mis muudab hiljem pildi kvaliteedi tõstmise võimatuks.

**Zig-Zag esitus** - on DCT maatriksi elementide edastamine, järjestatuna mitte rea- ja veeruindeksite järgi (nagu harilikult), vaid ülemisest vasakust nurgast diagonaale pidi paremale alla. Idee on selles, et järjestada DCT maatriksi elemendid pildi vaadatavuse seisukohast tähtsusejärjekorda, kus esimesel kohal on kõige olulisemad koefitsiendid ja lõpus vähemolulisemad, mille ärajätmisel pildi kvaliteet (inimsilma jaoks) oluliselt ei kannata.



## 5. Diskreetsignaali moduleerimine.

- **Amplituudmanipulatsioon (ASK), sagedusmanipulatsioon (FSK ja BFSK), FSK signaali demoduleerimise skeemid.**  
**ASK (Amplitude Shift Keying)** - Lihtsamaid manipulatsioonimeetodeid on kandesageduse **amplituudi** muutmine, sõltuvalt edastatava biti seisundist.

$u(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t + \Phi_c)$ , kus  $\mathbf{m}(t)$  on bitiseisust  $t$  sõltuv amplituudi kordaja.

Enimlevinud AKS vorme on **OOK** ehk **On-Off-Keying** (sisse-väljamaniplatsioon ;)), kus biti "1" edastamiseks kasutatakse kandesageduse amplituudi väärtust  $A=A_0$  ja "0" biti edastamiseks amplituudi  $A=0$  ( $\mathbf{m}(t)=\{1,0\}$ ). Sellise edastamise korral aga ei saa näiteks tuvastada kaabliriket, sest vastuvõtja loeks signaali puudumise nullijadaks.

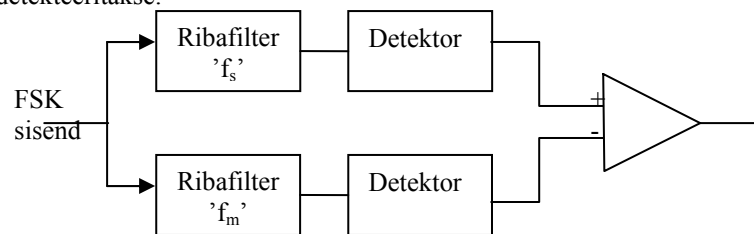
**FSK (Frequency Shift Keying)** ehk sagedusmanipulatsioon on manipulatsioonimeetod, mille korral kandesignaali sagedust muudetakse diskreetselt, sõltuvalt edastatavast bitist.

$$u(t) = A_c \cos\left(2\pi\left(f_c + \frac{m(t)\Delta f}{2}\right) \cdot t + \Phi_c\right)$$

FSK enimlevinud vorme: **BFSK**, **4-FSK** (4-ary FSK) ja **MSK** (Minimum Shift Keying - oma eeliste tõttu digiraadiotes väga eelistatud).

**BFSK (Binary Frequency Shift Keying)** ehk kahendsagedusmanipulatsioon on sagedusmanipulatsiooni eriliik, kus kandesagedust moduleeritakse kahe sagedusega. "1" biti edastamiseks kasutatakse tavaliselt kõrgemat sagedust, mida kutsutakse "mark" ja "0" biti edastamiseks kasutatakse tavaliselt madalamat sagedust, mida kutsutakse "space".

Demoduleerimisel filtreeritakse iga (oodatav) sagedus eraldi ning detekteeritakse.



- **Faasmanipulatsioon (PSK ja BPSK), moduleerimise ja demoduleerimise skeemid, signaalide faasorid.**

**PSK (Phase Shift Keying)** ehk faasmanipulatsiooni korral jääb kandesignaali sagedus samaks, kuid tema faas muutub vastavalt edastatavale bitile.

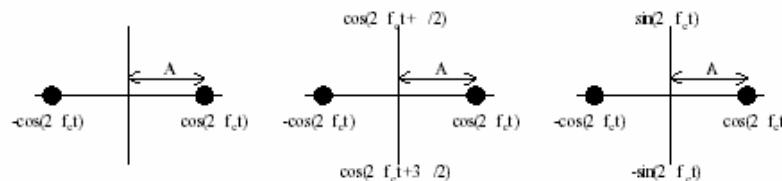
$$u(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \Theta_k)$$

$$\Theta_k = (\Theta_1 \Theta_2 \dots \Theta_M)$$

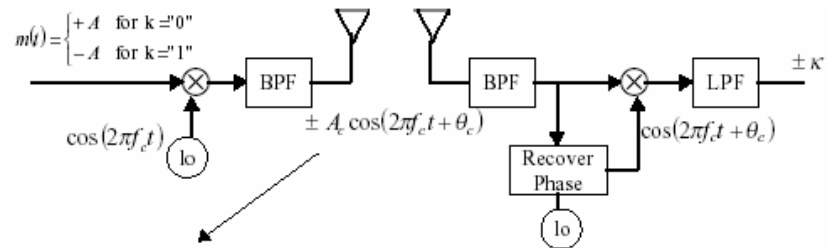
PSK levinumate vormide hulka kuuluvad: **BPSK**, **QPSK** ja **8-PSK**

**BPSK (Binary Phase Shift Keying)** ehk kahendfaasmanipulatsioon on faasmanipulatsiooni liik, kus kasutatakse kahte faasi. Suurima eristatavuse huvides on mõttekas valida nende faaside erinevuseks 180 kraadi (näit: "0" -  $\Theta=0$  ja "1" -  $\Theta=\pi$ ).

**Faasorid:**

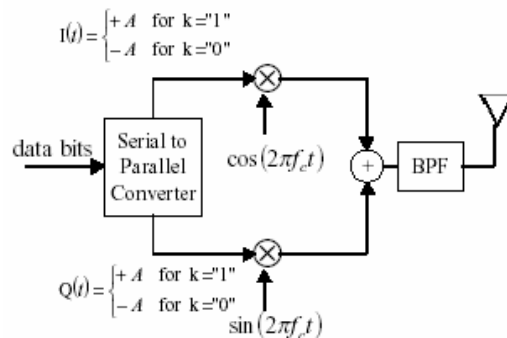


**modulaatori ja demodulaatori plokk skeem:**



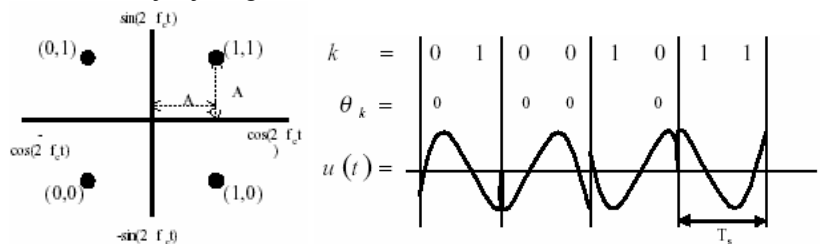
BPSK moduleerimisel korrutatakse kandesignaali sinusoidi +1/-1 ga vastavalt sellele, millise bitiga tegu on (näiteks: "0" - +1 ja "1" - -1) ning edastatakse terve periood kandesignaalist.

- Kvadratuur-faasmanipulatsioon (QPSK), signaalide ajadiagramm, modulaatori skeem, seisundite faasorid. 16-QAM signaali faasorid.**  
**QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)** ehk kvadratuur-faasmanipulatsioon on faasmanipulatsiooni liik, kus on kasutusel 4 erinevat kandesignaali faasi, millega edastatakse (juba) **bitipaariid** '00' -  $\Theta=\pi/4$ , '01' -  $\Theta=3\pi/4$ , '10' -  $\Theta=5\pi/4$ , '11' -  $\Theta=7\pi/4$ . Sellisel andmeedastusel kasvab edastuskiirus kahekordseks, sest üheaegselt edastatakse kaks bitti.

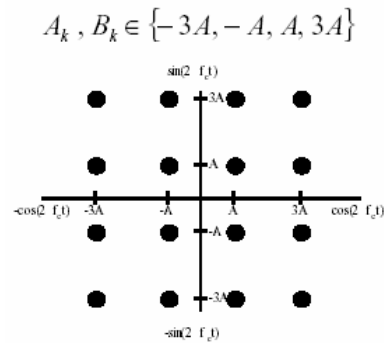


QPSK modulaatoris saadetakse kaks järjestikkust bitti paralleelkanalid pidi (kusjuures bitiväärtused asendatakse "0" : -A ja "1" : +A) korrutistesse, kus neist ühte korrutatakse kandesageduse koosinusoidiga ja teist selle sinusoidiga. Hiljem saadud signaalid liidetakse ja saadaksegi QPSK signaal, millesse on kaks järjestikust bitti moduleeritud.

QPSK Faasor ja ajadiagramm:



**16-QAM** on manipulatsioonimeetod, kus 4 järjestikust bitti (16 sümbolit - sellest ka nimi) saadetakse ühekorraga, kasutades nii 4 erinevat amplituudi, kui 4 erinevat faasi. Selline meetod kasvatab edastuskiirust 4 korda, sest üheaegselt edastatakse 4 bitti (tavalise 1 asemel).



## 6. Veakorrektsioon

Saatmisel tekkida võivate vigade avastamiseks lisatakse andmebittide hulka ka **kontrollbitid** (ceck bits). Vastuvõtmisel kontrollitakse algoritmidega andme- ja kontrollbitide vastavust, ning olenevalt meetodist, võib-olla parandatakse ka vigane andmesõna.

- **Andmesõna bittide paarsuskontroll, paarsuskontroll andmete matriksesituse korral.**

**Paarsuskontroll** on üks lihtsamaid veakorrektsioone, mille puhul lisatakse andmebittidele bitt "0" juhul kui andmebittides oli bitte "1" paarisarv ja bitt "1" vastupidisel juhul (seega kokku saadakse alati paarisarv bitte "1"). Kui nüüd vastuvõtmisel "1" bitte on paaritu arv, siis on andmesõnas viga. Loomulikult võib vigaseks osutuda ka kontrollbitt ise, kuid paarsuskontroll ei võimalda testida, milises bitis oli viga.

**Paarsuskontroll andmete maatriksesituse** korral (näit. kui on tegemist 8-bitise andmesõnaga) on võimalik näiteks, kasutades kahte 8-bitist kontrollsõna ridade ja veergude paarsuse kohta (ühe sõna iga bitt vastab ühe rea paarsusele ja teise sõna iga bitt vastab ühe rea paarsusele). Selline veakontroll on aga mõtetus, sest 16 kontrollbiti kaasamine 64 biti edastamiseks ei ole optimaalne (näiteks **Hammingi** koodi korral oleks terve 64-bitise andmesõna saatmiseks vaja vaid 7 kontrollbiti).

- **Hammingi kood, veakontrolliks vajalike bittide arv, kontrollbitide koostamisseosed, testlugemite (Syndrome Bits) seosed, vea avastamine nende põhjal. Bitiveategur (BER), selle läviväärtus veakorrektsioonil. Hammingi kood on veakorrektsiooni võimaldav kood (Forward Error Correcting Code ehk FEC Code), mis nimetati R. W. Hammingi järgi (varajane veakorrektsiooni süsteemide arendaja). See on kood, kus andmesõnale lisatakse mingi kindel arv korrektsioonibitte, mille alusel on võimalik vastuvõtjas **veakorrektsioon**, ilma andmete uuesti saamiseta (Eeldusel, et tekkinud on ainult **1 viga**). Vajalik kontrollbitide arv leitakse**

Hammingi reegli kohaselt:  $2^C \geq C + D + 1$ . Näiteks 4-bitise andmesõna Hammingi koodis edastamiseks on vaja 3-e kontrollbiti. Hammingi koodiga veaparandus näeb välja järgnev. Esmalt kodeeritakse andmesõna nii, et kontrollbitid asetatakse kindla järjekorra alusel andmebittide vahele, kusjuures iga kontrollbitt on kindlate andmebittide (ja mitte kõigi korruga) **paarsusbitt**. Vastuvõtmisel kontrollitakse iga kontrollbiti poolt esitatud andmebittide paarsust ja kui esineb viga, siis väärtustatakse vastav **Syndrome Bit** "1"-ga, muidu "0"-ga. Tekib mingi kindel veasõna (testitulemused asetatakse vastupidi järjekorda), mille kümnendväärtus on vigase biti järjekorranumber. Näiteks:

Olgu meil andmesõna 1101. Sellisel juhul on vaja 3-e kontrollbiti.

Järjestame nad järgmiselt

P1 P2 1 P3 1 0 1 kogu saadetav sõna

1 2 3 4 5 6 7 bitide järjekorranumbrid

Kui nüüd paarsusbitt P1 esitab bitte 3, 5, 7; P2 - 3,6,7 ja P3 - 5,6,7,

siis saame edastatavaks sõnaks:

1 0 1 0 1 0 1 saadetav sõna

1 2 3 4 5 6 7 bitide järjekorranumbrid

Esmalt, tekkigu meil viga bitis nr 5. Sel juhul saadakse vastuvõtjas veasõna: 101, mille kümnendvaste on 5, mistõttu on võimalik 5. bitt ära parandada.

Teiseks, olgu vigane hoopis 1. paarsusbitt. Sellisel juhul esimene test annaks väära tulemuse (st. 3,5,7 bitt on paaritud, kuid paarsusbitt on paaris olekus) seega veasõna noorimaks bitiks pannakse 1, teised testid annavad positiivse tulemuse, seega kogu veasõna kokku on siis 001, ja kümnendväärtusega 1, mistõttu jälle on võimalik vigane bitt ära korrigeerida (kuna aga see oli paarsusbitt ja andmesõna oli korrektne, siis jäetakse see ilmselt tegemata). Samamoodi annaks tulemused ka teiste paarsusbittide veakontrollid.

Tihti lisatakse vajalikele kontrollbittidele saatmisel ka nn **Overall bitt P**, mis esitab kogu sõna paarsust. Neljabitise andmesõna korral näeks edastatav sõna välja **A1 A2 A3 A4 P3 P2 P1 P** ja kontrollbitid koostatakse järgmiselt:

$$P3=(2)+(3)+(4)$$

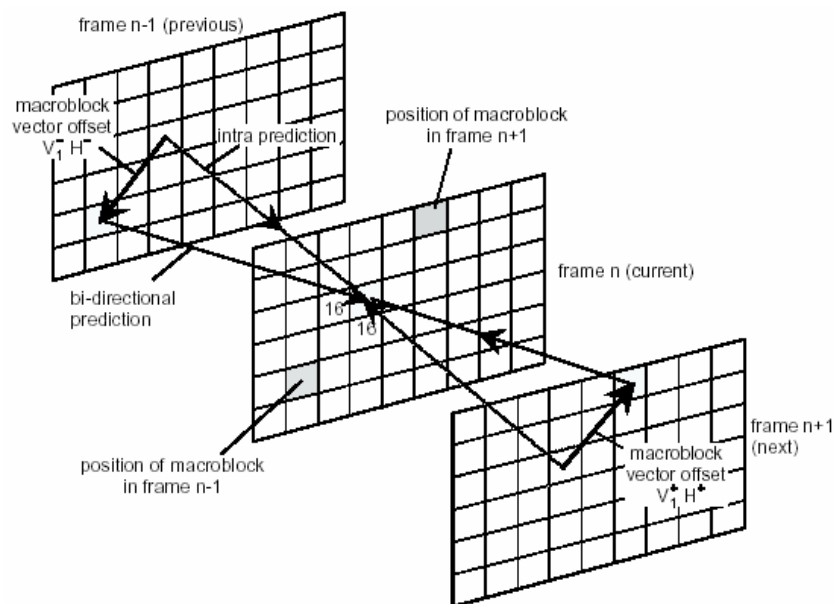
$$P2=(1)+(3)+(4)$$

$$P1=(2)+(3)+(4)$$

**BER (Bit Error Ratio)** Biti Veategur on mingit ülekandeliini/andmekandjat iseloomustav suurus, mis näitab, kui palju vigaseid bitte võib mingi antud arvu bittide ülekandmisel esineda.  $BER=(\text{vigased bitid})/(\text{kõik edastatud bitid})$ . BER läviväärtusest suuremate vigade arvu korral (vigased on korruga mitu bitti) ka parimad korrektsiooni algoritmid ei suuda vigu tuvastada.

## 7. DVB-S MPEG2 standard.

- **Pikselite arv kaadris formaadi 4:3 korral. Pikel, plokk ja makroplokk.** 4:3 formaadi korral on NTSC süsteemis kaadris (frame) **720x480** pikslit. **Pikel (Picture Element)** on pildi vähim osa, mille kohta edastatakse heledus-, tonaalsus- ja värviküllastuslugemid. Pikel määrab ühtlasi ka pildi detailsuse e. Eraldusvõime. **DVB-S** süsteemis kasutatakse piksli endmete edastamiseks **YUV 4:2:0** skeemi (st edastatakse heledust iga piksli ja tonaalsust/värviküllastatust iga 4 piksli kohta). **Plokk (block)** on 8x8 pikslist koosnev pildiosa, mida kasutatakse DCT andmete genereerimiseks ja hiljem vastuvõtjas DCT maatriksist saadakse taas plokk (mille kontrastsus võib küll originaalist erineda – kadudega kompressimine). **Makroplokk (macroblock)** 2x2 plokist koosnev pildiosa, millega vastuvõtjas pilti joonistatakse. Kaader (frame) koosneb seega **45x30** makroplokist.
- **Liikumisvektori (Motion Vector) mõiste, lõige, P-, I-, ja B-kaader.** **Liikumisvektor (Motion Vector)** on kaadrite vahetusel arvatav ühe makroploki muutus:  $(X_B-X_A, Y_B-Y_A)$ .



**Lõige (Slice)** on mitu üksteisele (horisontaalselt) järgnevat makrolokki, mis koos juhtumisbittidega (sünkro otstarbeks) moodustavad pildirea.

Digipildis pole vaja kogu ekraani üha uuesti arvutada (näiteks analoogi puhul pole televiisoris lihtsalt seadet, milles ekraanitäit infot salvestada), vaid piisab sellest, kui arvutada ainult ilmnenu muutused (st kui inimene liigutab kätt, siis pole vaja tema jalgade piksleid uuesti arvutada). Selle tõttu ei saadeti pidevalt täielikke kaadreid, vaid enamuse ajast saadetakse ainult muutusi. Saadetakse info jaguneb kolme gruppi P-, I- ja B-kaadrid:

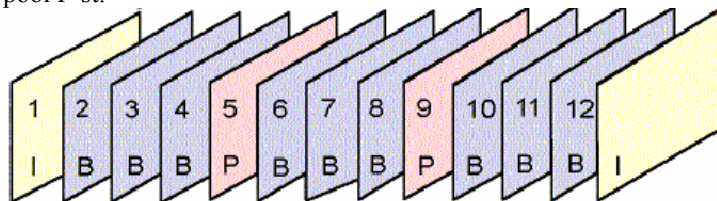
**I-kaader (Intra-frame)** on täielik kaader, mida edastatakse harva (kuni mõnesekundilise vahega).

**P-kaader (Predictive frame)** on põhiliselt aeglaselt ajas muutuva infost (st näiteks kui taustal pilved aeglaselt üle taeva ujuvad).

**B-kaader (Bidirectional frame)** on ajas kiiresti muutuva infost. Seda kaadrit edastatakse kõige tihedamini.

Iga I-kaadri kohta edastatakse ca 4 P- ja mitukümmend B-kaadrit.

I-kaader vajab umbes 3x rohkem bittide kui P-kaader ja B-kaader on ligikaudu pool P-st.



## 8. Satelliittelevisioon

- **Orbiidi elemendid, geostatsionaarne orbiit, kaugus merepinnast, tiirlemisperiood.**

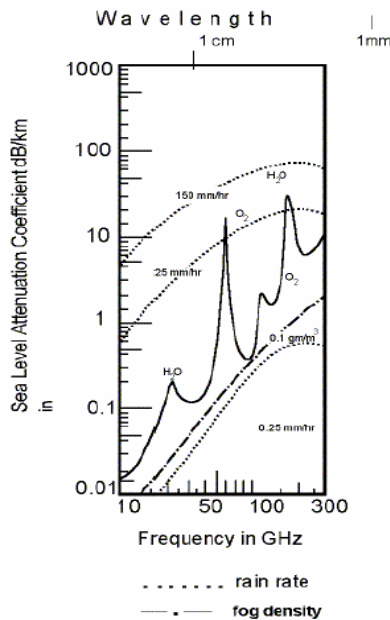
**Orbiidi elemendid:** kõrgus merepinnast, inklinatsioon ehk kaldenurk ekvaatoritasandist ja tiirlemisperiood.

**Geostatsionaarne satelliit** on selline satelliit, mis tiirleb Maaga samas suunas ja sama perioodiga (23h 56m) ja seetõttu Maalt vaadatuna paistab paigal olevat. Geostatsionaarne orbiit on kaldenurgaga 0 kraadi ja kõrgusega umbes 36 000 km.

- **Ringhäälingu SAT-TV sagedusalad, sagedusala valik, vee ja hapniku molekulide mõju signaali suubumisele erinevatel sagedustel.**

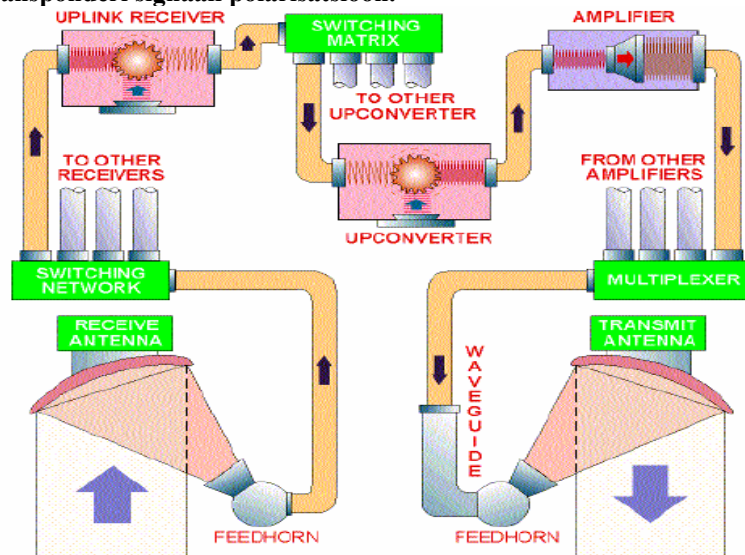
**Ringhäälingu** sagedusalad algavad paarist GHz-st ning lõpevad ca 20-40 GHz-i juures. Sellesse piirkonda jäävad eri ribade üles- ja allalingid.

	Up-Link	Down-Link (GHz)
C-Band	6	4
Ku-Band	14	12
Ka-Band	30	20



**Vee ja hapniku** molekulid neelavad satelliitside sagedusalas kiirgust erinevalt. Sellist subumist mõõdetakse **dB/km** ehk siis mitu dB signaal suubub 1 km vahemaa läbimisel õhus. Üldine dends on, et suuremat sagedust neelatakse rohkem, kuid vee ja hapniku molekulid eresonantsageduste tõttu teatud sagedused on väga suure neeldumiskoeffitsiendiga.

- **Transponderi plokkskeem, antenni suunakarakteristik ja EIRP dBW-des. Antenni külgribade ja maapinna müra mõju antenni temperatuurile. Transponderi signaali polarisatsioon.**



**SIGNAL FROM EARTH**

**SIGNAL TO EARTH**

Kuna ühte satelliiti on mõtekas kasutada rohkema kui ühe signaali edastamiseks, siis kiiratakse satelliidi vastuvõtjasse (Recieve Antenna) maalt erinevaid signaale, mis siis erinevate multipleksimismetoditega (FDMA, TDMA, CDMA) kindlaks tehakse, kellelt ja kuhu on mõeldud. Selle multipleksimise teostamiseks on Switching Network, mis suunab erinevad allikad erinevatesse töötlusharudesse. Üleslingi vastuvõtjad (Uplink Recievers) ja konverterid (Upconverter) muudavad antud signaali töötlemiseks vajalikku

formaati (sagedus jne). Järgmisena võimendatakse kõik edastatavad signaalid vajalikule tasemele ning multiplexorist läbi lastuna saadetakse Maale.

**EIRP (Effective Isotropic Radiation Power)** ehk Efektiivne Kerasse Kiirgamise Võimsus on transponderit iseloomustav suurus, mis nõitab, kui võimas peaks saatja olema, kui kiiratakse kerasse sama suure võimusega pinnauhiku kohta (mida kiiratakse Maale vastuvõtupiirkonda (**footprint**)). dBW-des mõõdetuna võrreldakse transponderi võimsust 1W-ga.

$1dBW = 10\log\left(\frac{P}{1W}\right)$ , kus P on tavaantenni võimsus. Näiteks EIRP 60 dBW tähendab, et tavaline saatja peaks olema 1 MW võimsusega, et tekitada (vastaval kaugusel) pinnauhiku kohta sellist kiirgusvõimsust.

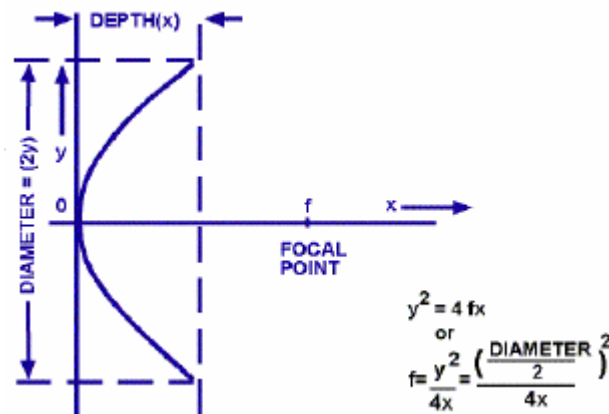
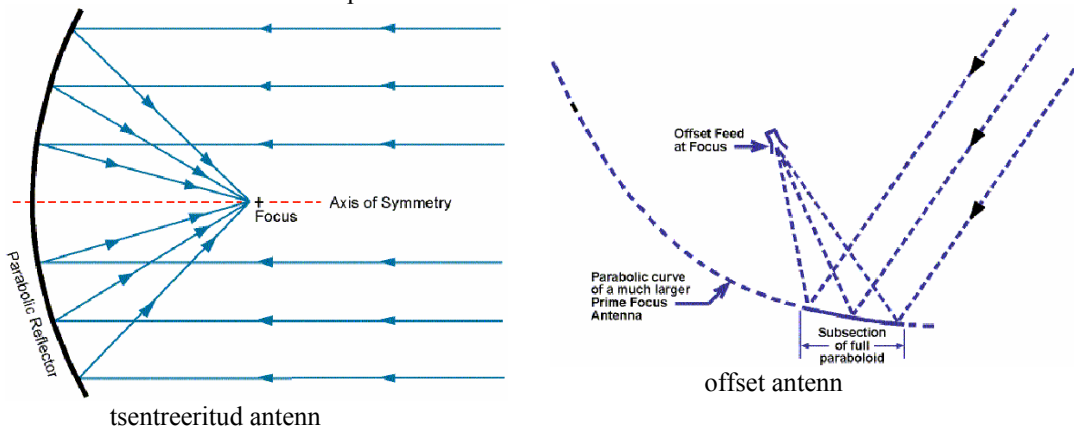
**Kuna iga paraboloidantenn** tekitab oma suunakarakteristikusse külgribad, siis madalaid satelliite vastu võttes (st antenn on suunatud madalale horisondi kohale) võtab antenn vastu ka maapinna müra. See aga (kuna Maa pinnatemperatuur on ca 290 K) on sageduselt ligilähedane SAT-TV sagedusele ning võetakse vatu mürana.

**Polarisatsioon** on EML-i E-vektori võnkesuunda ruumis näitav karakteristik. Kuna satelliite hakkab Maa ümber juba kenakesti palju siginema, siis hakkavad nad üksteis vastuvõttu häirima. Kanalite eristuse võimaldamiseks on väga ugav kasutada polarisatsiooni. SAT-sides kasutatakse 4 tüüpi polarisatsiooni:

1. vertikaalpolarisatsioon (E-vektor võngub risti maapinnaga)
2. horisontaalpolarisatsioon (võnketasand on maapinnaga paralleelne)
3. parema käe ringpolarisatsioon (võnketasand „keerleb“ ümber suunasirge paremakäe kruvi kohaselt)
4. vasaku käe ringpolarisatsioon (võnketasand muutub vasaku käe kruvi kohaselt)

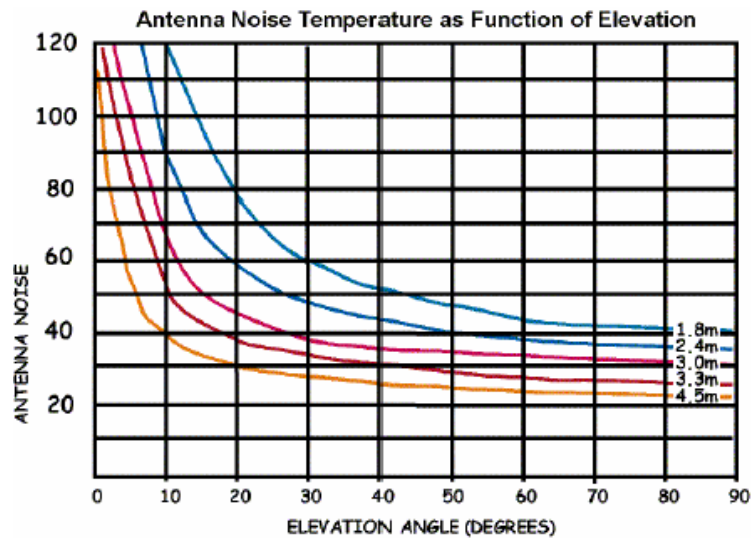
- **Kiirte käik vastuvõtu-paraboloidantennis, antenni arvutus, antenni müratemperatuur sõltuvalt f/D suhtest**

**Kiirte käik vastuvõtu-paraboloidantennis:**



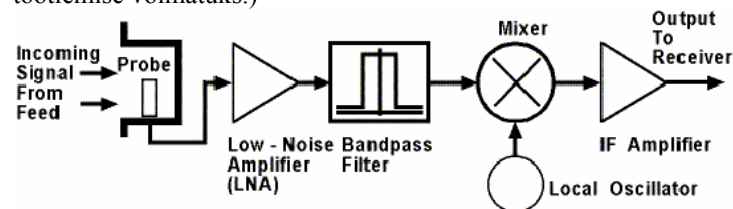
**Antenni arvutus:**

**Antenni müra** on funktsioon antenni Diameetrist ja kaldenurgast.



- **LNB plokkiskeem, mitme sagedusala vastuvõtt**

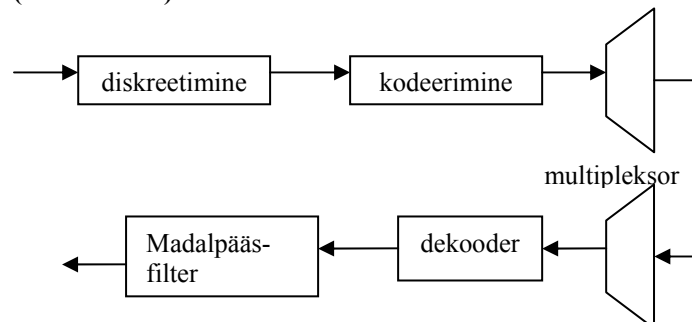
**LNB (Low Noise Block)** – elektroonikaplokk, mille ülesandeks on mikrolainete vastuvõtt, nende võimendamine ning võimalikult väikese mõraga edastamine. (Nimelt mikrolainete vastuvõtmisel on signaal tavaliselt väga nõrk ning koos signaaliga ka müra võimendamine muudab hilisema signaali töötlemise võimatuks.)



Plokk toimub kanalite eristamine erinevate sagedusvahemikega ostsillaatorite lülitamisega (Local Oscillator koha peale), mis genereerivad vajalikud sagedused, nii et segustis signaalide segustamisel lahutatakse sisendsignaalist ostsillaatori väljund, nii et tulemuseks on mõne (mitte mõnekümne) gigahertsine. Joonisel toodud LNA (Low Noise Amplifier) on eriline võimendi, mis „üritab“ müra mitte võimendada.

## 9. Optiline andmeedastus

- **Andmetöötlusskeem optilisel edastamisel, NRZ, RZ ja kahefaasiline (Manchester) kodeerimine.**



**Andmetöötlus** – analoogsignaali diskreetitakse ning kodeeritakse (joonisel PCM) ning saadetakse multipleksoris (seade, mis jagab ühte sidekanalit mitme sisendi vahel)

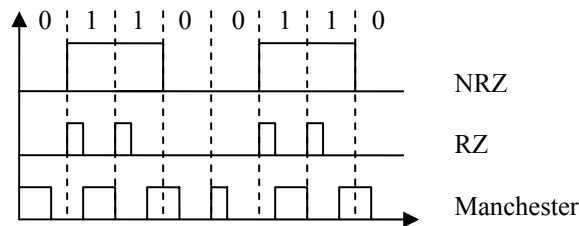
**Vastuvõtmisel** dekodeeritakse info, genereeritakse diskreetne (so siis mingi kandiline (neli- või kolmnurk-) signaal, millel on ka kõrgsageduslikud

komponendid. Madalpääsfiltriga kõrgete sageduste eemaldamisel jääb aga järgi meile vajalik analoogsignaal.

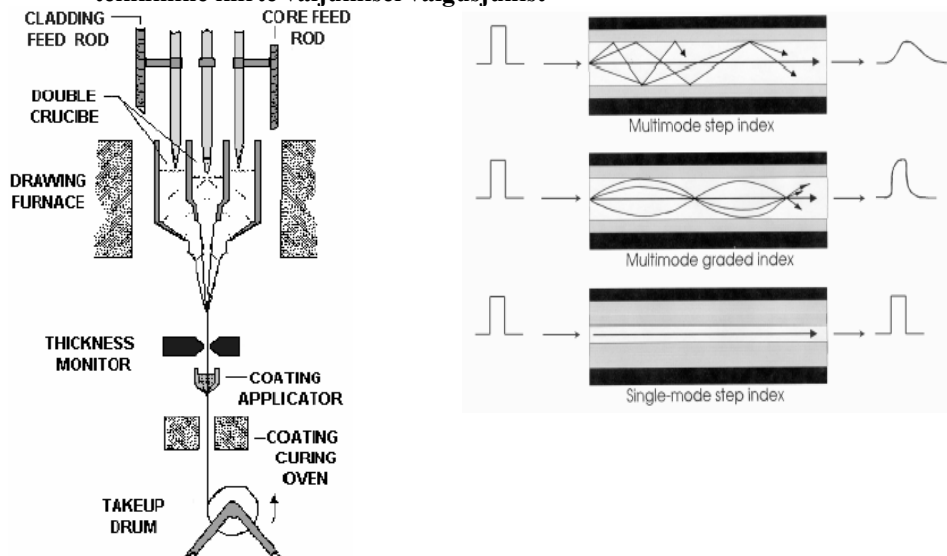
**NRZ (Not Return to Zero)** kodeerimisviis, mis on sarnane PCM koodile st bitid edastatakse kindla aja tagant ning kummalegi bitile vastab üks seisund.

**RZ (Return to Zero)** – kodeerimismeetod, kus „1“ bitt koosneb poolperioodilisest „kõrgest“ ja poolperioodilisest „madalast“ seisust ning „0“ bitt koosneb täisperioodist „madalast“ seisust. Sellise koodi nõrgaks küljeks on see, et detekteerimisel peab vastuvõtja olema piisaalt hästi saatjaga sünkroonis, et nulle „kokku lugeda“. Samamoodi ei saa eristada kaabliriket nullijadast.

**Kahefaasiline ehk Manchesteri kood** - on see, kus „1“ koosneb poolest perioodist „madalast“ ja poolest perioodist „kõrgest“ seisust ning „0“ korral on täpselt vastupidi.



- **Optilise kiu valmistamise (tõmbamise) skeem. Valguse levimine astmelise üleminekuga valgusjuhis. Sisepeegeldumise piirnurk, sõltuvalt murdumisnäitajast, kriitiline sisenemisnurk, apertuurarv, valguskoonuse tekkimine kiirte väljumisel valgusjuhist**



Astmelise valgusjuhi (joonisel ülemine – **Multimode Step-Index**) korral on valguse käik määratud tema sisenemise nurgaga. Kui see jääb alla kriitilise sisenemisnurga, siis valgus peegeldub piki südamiku siseseinu, ning väljub teisest otsast. Kui aga sisenenurk on kriitilisest nurgast suurem, siis valgus väljub läbi südamiku seina ning enam edasi ei levi. Kriitiline nurk on leitav apertuurarvu valemist.

Seega, mida suurem on murdumisnäitajate erinevus, seda suurema nurga all saame valgust sisestada.

**Apertuurarv** on maksimaalse sisenenurga siinus,

$$\text{ehk } NA = \sin \Theta_{in}(\max) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Sellest tulenevalt väljuvad kaabli teisest otsast kiired samuti nurga all, moodustades koonuse, tipunurgaga  $2\Theta_{in}(\max)$ .

- **Valguse levimismoodused valgusjuhis, mono- ja multimoodid, erinevate moodidega valgusjuhtide mõõtmed, valguskaod ja ribalaius.**

Erineva valmistamismeetodiga kaablites võib valgus levida kas peegeldudes südamik (Core) seintelt (**Multimode Step-Index**), paindudes sujuvalt südamiku piires (**Gradient**) või levida vaid sirgjooneliselt (**Single Mode Step-Index**).

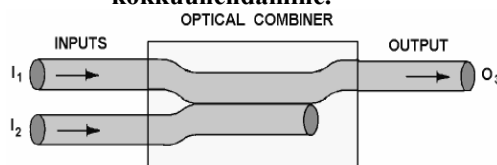
**Mono-mood** (Single-mode Step-index fibre) on kaabel, mille südamik on mõõtetega  $(4..7)\lambda$ . Selles kaablis levib valgus vaid sirgjooneliselt.

**Multi-mood (Multimode Step-index ja Graded index)** on kaabel, mille südamiku mõõt on  $50..100 \mu\text{m}$ . Selles kaablis levib valgus kas peegeldudes seintelt või sujuvalt murdudes, seega on hajuvus suurem ja ribalaius seega väiksem. Sellest tulenevalt ongi monomoodi eeliseks eriti suur ribalaius, kuid puuduseks on kasutamise seotud ebamugavused (raske ühendada, sest on vaja väga suurt täpsust).

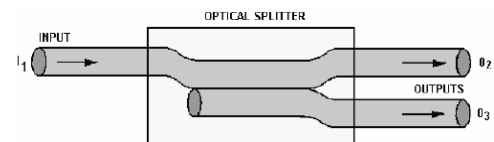
Olenevalt materjalist (mono-moodi kaablit saab muidugi ainult puhtast klaasist valmistada) on kaablite **kaod** erinevad, varieerudes ca 4 dB/km klaasi korral kuni 100~3000 dB/km täisplastiku korral. Monomoodi kaabli kaod on 0.5~1.5 dB/km.

**Ribalaius** on ka valmistussmaterjalist sõltuv, olles kõige parem muidugi klaasi korral, **astmelise** kaabli korral on riba laius imbes 20~60 MHz\*km, **gradientkaabli** korral 200~2000 MHz\*km ning **monomoodi** korral üle 10 GHz\*km.

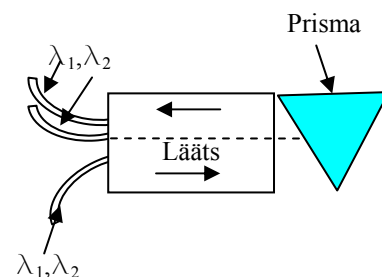
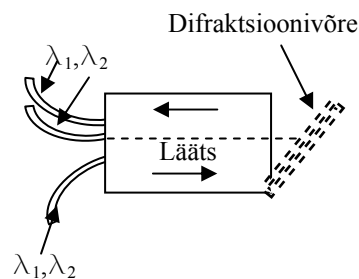
- **Signaalide jagamine ja liitmine valgusjuhtides. Erineva lainepikkusega signaalide eraldamine prisma ja difraktsiooni võrega. Valgusjuhtide kokkuühendamine.**



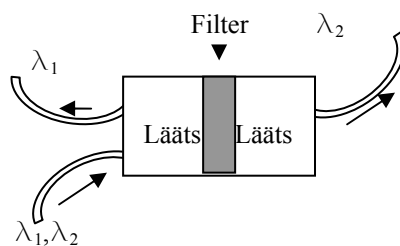
Optiline liitmine



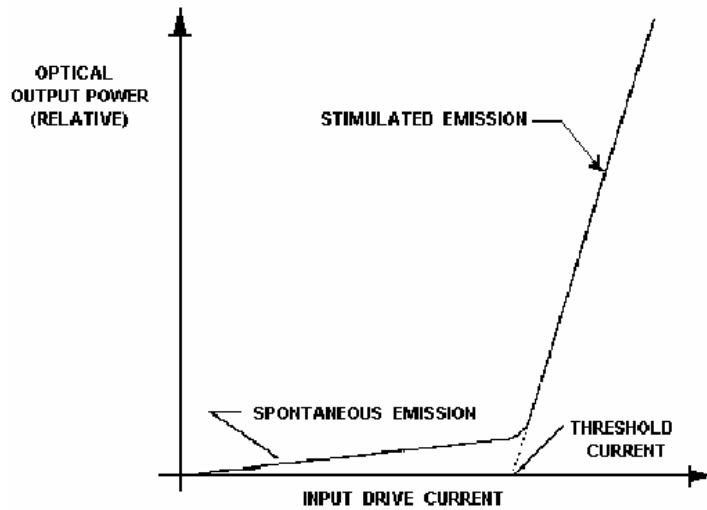
Optiline jagamine



Lainepikkuste järgi signaalide eraldamine



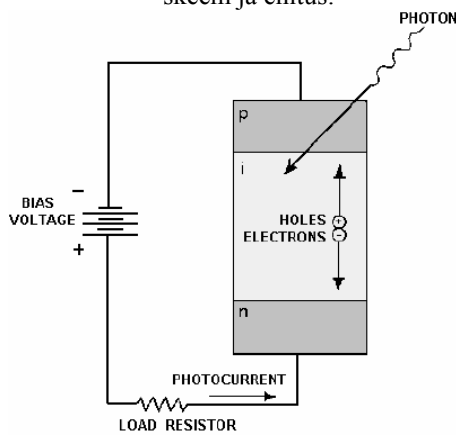
- **Pooljuhtlaseri ehitus, kiirgusvõimsuse sõltuvus voolust, monokromaatse stimuleeritud kiirguse spekter. PIN fotodiodi ehitus ja töötamis põhimõte.**



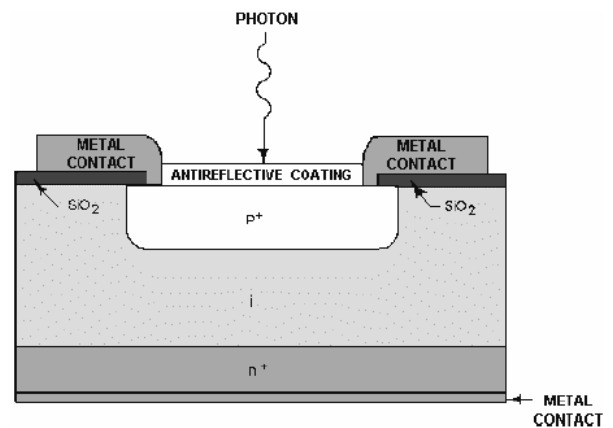
**Kiirguse sõltuvus voolust:** alates teatud voolutugevusest (**lävivool – Threshold Current**) tekib sundkiirgus ehk siis **laserkiirgus**, kuni selleni on tegemist **vabakiirgusega**.

**Monokromaatse sundkiirguse** spekter on üks suhteliselt kitsas kiirgusvahemik, mille korral on valgustugevus kümneid kordi suurem.

**PIN fotodiod** – on fotodiod, millel **P** ja **N** pooljuhtide vahele on lisatud ilma lisanditeta nn **I** pooljuht (**Intrinsic Semiconductor**). Fotodiodi juhitakse tavaliselt mõnevoldise **vastupingega**, mistõttu sellise diodi puhul eksisteerib ilma valguseta ka väike soojuslik vool – **pimevool (Dark Current)**. Selline vool on algselt (ilmselt) väike kuid seadme soojenedes kasvab. PIN fotodiodi skeem ja ehitus.



PIN fotodiodi skeem

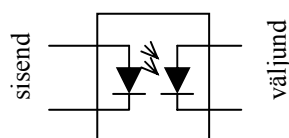


PIN fotodiodi põhimõtteline ehitus

PIN fotodiod on äärmiselt lineaarne (st väljundvool on lineaarselt sõltuv pealelangevast valgusest) ning püsib sellisena kümneid aastaid.

• **Optroni ehitus ja kasutamine, tahkisrelee.**

Optronid on elektroonikaplokkid, mis koosnevad valgusdioididest (**LED**) ja fotodiodidest (**Photodiode**). Selliste plokkide tavaliseks ülesandeks on kaitsta mingi seadme sisemisi süsteeme väliste tugevate vooluimpulsside eest, isoleerides kummagi vooluringi elektriliselt, kuid kandes signaali üle valgusega. Sellisel juhul ei juhtu seadmega midagi, kui tema sisendisse anda näiteks 100 V pinget. Optroni põhimõtteline ehitus:

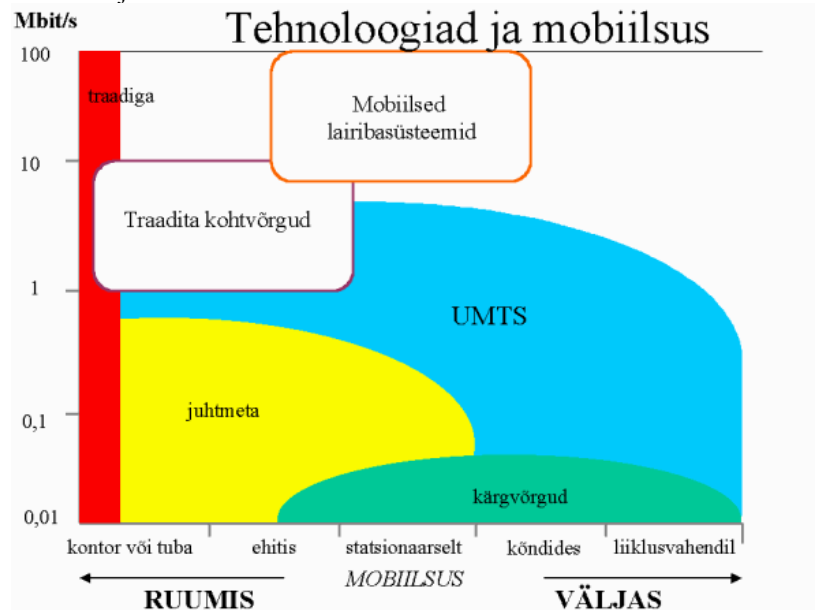


**Tahkisrelee** on oma ehituselt sama, mis optron, ainult, et ta on mõeldud suurematele võimsustele.

## 10. Mobiilside

- **GSM, WLAN ja UMTS sagedusalad, andmevahetuskiirus, kasutamine kohtsides ja mobiilsides. GSM kanalite ribalaiused, andmevahetus täisdupleksmeetodil, kasutatavate võimsuste suurusjärgud, võimsuse reguleerimine olenevalt levi tingimustest.**

Erinevate juhtmeta sidemeetodite kasutamine:



**GSM (Global System for Mobile communication)** side toimub kahes sagedusalas: **900 ja 1800 MHz**. Täpsemini: üleslaadimine (Upstream): 890..915 (1710..1785) ning allalaadimine (Downstream): 935..960 (1805..1880). GSM 900 korral on kasutusel **124 kanalit** (sest GSM-i esimene kanal on kaitsebuhvriks, et teised teenused, mis kasutavad madalaid sagedusi, ei saaks telefoni segada) ning kanali ribalaius on **200 kHz**. Täisdupleksmeetodil (**Full Duplex** – kasutusel on kaks sagedust) andmevahetuseks kasutatakse **45 MHz**-st sageduste vahet (st alla ja üles linkide sageduste vahe on 45 MHz-i).

**WLAN (Wireless Local Area Network)** töötab sagedusalas **2.4..2.5 GHz**.  
**UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)** – töötab sagedusalas 1800 MHz-i.

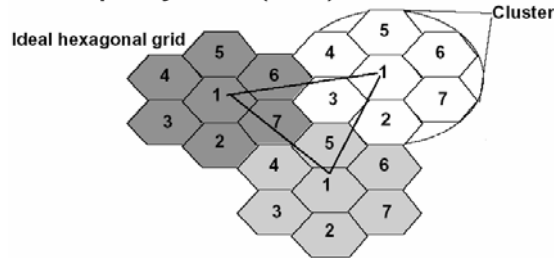
**GSM** telefonis on kasutusel võimsused 20 mW ... 2 W kusjuures ksautatakse võimalikult väikest võimsust. Kui telefon detekteerib halva levi, siis ootab ta tugijaamalt vastavasisulist korraldust, kas suurendada võimsust, vahetada sagedust või lausa tugimasti.

- **Leviala kãrgstruktuur, sageduste korduvuse (Frequency Reuse) mõiste, kiirguse suubumine avamaastikul ja linnas, interferents, Rayleigh feeding.**

**Interverents** on füüsikaline nähtus, kus kaks koherentset (sama lainepikkusega/sagedusega) lainet liituvad ning olenevalt nende omavahelisest faasist, kas võimendavad või kustutavad teineteist. Mobiilsides üldiselt on interferents soovimatu nähtus ning seetõttu on kasutusele võetud leviala kãrgstruktuur, et oleks võimalik kasutada sama sagedust uuesti.

**Kärgstruktuur** kujutab endast joonisel toodud skeemi järgi paigutatud saatjaid, saatja asub ploki (**Cluster**) keskel, kärjes nr 1. Igasse kärge suunatakse erineva sagedusega kiirgus ning sama numbriga (sama sagedusega) kärjed asuvad teineteisest piisavalt kaugel, et nende võimsused oleks nii palju langenud, et interferents poleks enam märgatav.

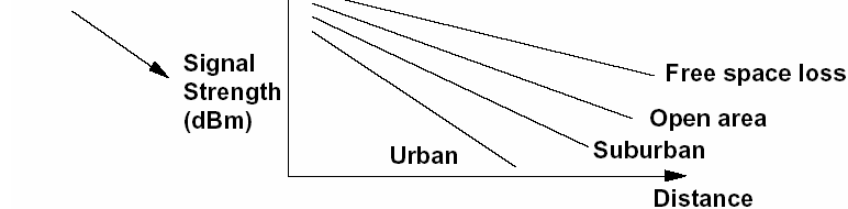
- **Frequency Reuse (N = 7)**



**Kiirguse suubumine** linnas ja avamaastikul. Kiirguse kadu on leitav

valemiga:  $C \approx R^{-\gamma}$ , kus  $\gamma=2$ , kui on tegu avamaastikuga ja  $\gamma=5.5$  linnas.

Rel. pwr of received signal compared to power at ref. distance from transmitter



**Rayleigh fading (Rayleigh fading)** on linnaoludes ilmnev kiire signaali tugevuse tukslemine – erinevaid teid (peegeldumine jne) saabunud signaalid interfereeruvad, vastuvõtja liikudes  $\lambda/2$  võrra (mis GSM 900 korral on ca 15 cm) võib signaali tugevus drastiliselt muutuda (kuni 30 dB) ja järgmisel hetkel jälle tagasi. Kujutlege nüüd mis saab, kui vastuvõtja autoga linnas sõidab... Selle ära hoidmiseks peab saatja võimsust olema tõstetud feedingu teguri („Fading margin“) võrra.

- **Ajajaotustik (TDMA) ja sagedusliik (FDMA) pöördus, sageduse vaheldamine (Frequency Hopping).**

**TDMA (Time Division Multiple Access)** ehk ajajaotuslik pöördus on meetod ühe sidekanali (sageduse) jagamiseks mitme kliendi vahel. Klientidel on konstantse edastusega allikas, mille info kliendid peavad konverteerima kõrgsageduslikuks purskeks (et oma ajapilus katta ka aeg, mil infot ei edastata) ning edastama selle oma ajapilus (**Time Slot**). Et kahe kliendi info vahel interferentsi ei tekiks, siis peavad ajapilud olema sõltuvuses kliendi kaugusega tugijaamast (ehk signaali edastamiseks kuluva ajaga). GSM standardis on ühes kanalisis maksimaalselt 8 ajapilu (kliendi). Oma purske ajal kasutavad kõik kliendid kogu võimalikku sagedusvahemikku.

**FDMA (Frequency Division Multiple Access)** ehk sageduslik pöördus on meetod ühe sidekanali jaotamiseks mitme kasutaja vahel. FDMA-s jaotatakse igale kasutajale kindel sagedus, millel ta saab **kogu aeg** oma signaali edastada (seetõttu ei pea see olema nii suure ribalaiusega, kuna edastus toimub pidevalt, mitte pursetena).

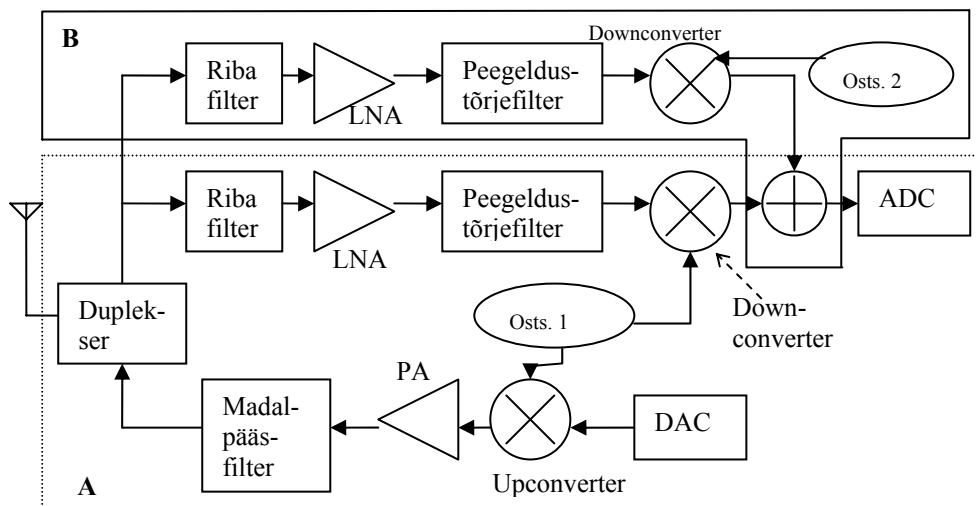
**Sagedus vaheldamine (Frequency Hopping)** – meetod mobiilsides kanalite jaotamiseks. TDMA ja FDMA süsteemides sageduste vaheldamist eriti „nähtavalt“ ei kasutata. CDMA-s aga näiteks võib koodiga telefonile kindla sageduste mustri ette anda, millel ta siis teatud aja jooksul hüpeldes oma infot saadab (st iga kindla ajaintervalli tagant vahetab sagedust, varem paika pandud plaani kohaselt).

- **Moduleerimine, binaarne (BPSK) ja kvadratuurfaasmanipulatsioon (QPSK), IQ-modulaator, signaalide faasorid.**

Mobiilsides kasutatakse moduleerimiseks faasmanipulatsiooni ehk täpsemini: binaarset (BPSK) ja kvadratuurset (QPSK) ning nendest on juttu olnud eespool.

**IQ-modulaator** – on seade info moduleerimiseks, et saavutada suuremat andmeedastuskiirust. **I-signaali** („In Phase“) on signaal, mis on kandesagedusega **faasis** ning **Q-signaali** („Quadrature component“) on kandesagedusega **risti**. Q ja I komponentidega „mängides“ saab väga paljusid erinevaid meetodeid rakendada (4-QAM, 16-QAM jne), sõltuvalt sellest, kui mitmeks osaks jagada nende signaalide amplituudid.

- **Ühe- ja kahesagedusliku transiiveri plokkskeemid.**



A – ühesageduslik  
A+B - kahesageduslik

Ühe ja kahesageduslikul transiiveril polegi muud vahet, kui et kahesageduslikul transiiveril on B osa juures, mille ribafiltriid ja Downconverter on teiste seadistustega.

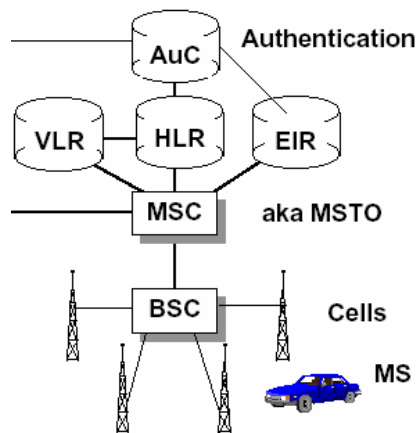
**Skeemi** selgitus: Antennist tulev kiirgus suunatakse **duplekseri** abil vastuvõtuplokki. Ribafiltriiga selekteeritakse välja vastava sagedusega signaali vahemik, mida **LNA (Low Noise Amplifier)** plokis võimendatakse.

Peegeldustõrje filter (**Image Reject Filter**) on oma olemuselt ribafiltri, mille ülesandeks on läbi lasta vaid see õige infosignaal. **Down converter** on segusti (**mixer**), mis muundab kõrgsagedusliku signaali madalsageduslikuks signaaliks, kasutades selleks kohaliku ostsillaatori genereeritavat sagedust. Ka B-osa kõrgema sagedusega signaal muundatakse alla sama sageduse juurde, et siis **ADC (Analog to Digital Converter)** plokki info edastada.

**Saatmisel** saadakse **DAC (Digital to Analog Converter)** plokist saadetav signaal, mis upconverteris kõrgsageduslikuks signaaliks muundatakse ning **PA-s (Power Amplifier)** võimendatakse. Madalpääsfiltriiga lõigatakse ära kõrgsageduslikud komponendid (st tehakse signaali „ümaramaks“) ja saadetakse ära. Jooniselt on puudu selle saatjaga analoogne saatja 1800 MHz jaoks, kuid see on täpselt samasugune, ainult teisel sagedusel.

## 11. GSM TDMA andmeedastus

- **GSM võrgu struktuur. Keskjaama (MSC) funktsioonid ja registrid. Tugijaama (BTS) transiiveri ja kontrolleri ülesanded.**



Silindritega on tähistatud registrid.

**Tähistused:**

**MSC (Mobile Switching Centre)** – on põhimõtteliselt ISDN-lüliti (**ISDN-switch**), mille ülesandeks on koordineerida mobiilile ja mobiililt kulgevaid telefonikõnesid.

**BSC (Base Station Controller)** – juhib raadiopoolt, allokeerides, vabastades ning suunates kanaleid.

**BTS (Base Transceiver Station)** – joonisel tähistatud mastidega. Tema ülesandeks on signaali saatmiseks valmis seadmine ning selle edastamine

**MS (Mobile Station)** – mobiiltelefon.

**Registrid:**

**AuC (Authentication Centre)** – salvestab kasutajate autentimisvõtmeid ning algoritme nende arvutamiseks – need edastatakse HLR-le

**HLR (Home Location Register)** – register, kus hoitakse püsivat ja poolpüsivat infot kasutajate kohta. Näiteks salvestatakse seal pidevalt infot telefoni asukoha kohta (eeldusel, et telefon on levis) ning nende andmete põhjal suunatakse tulev kõne.

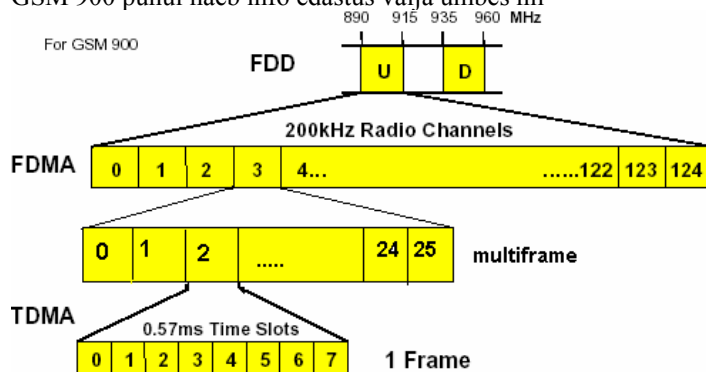
**VLR (Visitor Location Register)** – salvestab nii püsivat kui ka ajutist infot telefoni kohta, mis on vajalik telefoni asukoha määramiseks selle MSC levialas.

**EIR (Equipment Identity Register)** – register hoiab infot telefoni ja selle võimaluste kohta. Info küsimiseks kasutatakse IMEI (International Mobile Subscriber Identity) numbrit.

MSC ja registrid moodustavad **keskjaama** ning BSC ja BTS moodustavad **tugijaama**.

- **Multikaader (Multiframe), kaader (Frame) ja ajapilu (Slot).**

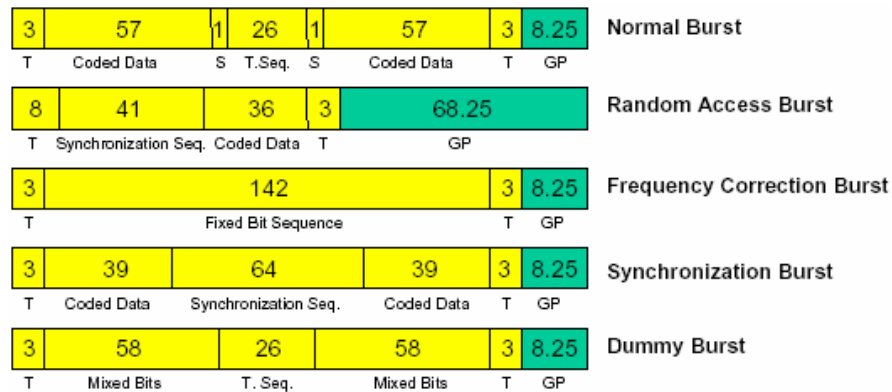
GSM 900 puhul näeb info edastus välja umbes nii



GSM mobiilsides kasutatakse nii FDMA kui TDMA pöördusi, et võimaldada suuremat hulka kasutajaid. FDMA-d kasutatakse, et jagada kogu GSM sagedusriba (25 MHz) kanaliteks (kokku **124**) ja seejärel jaotatakse iga kanal **120 ms**-listeks **multikaadriteks (Multiframe)**, mis omakorda jagunevad 26-

ks **kaadriks (Frame)**. Kaht neist kasutatakse kontrolleesmärkidel, seega 24 on liikluse jaoks avatud. Kaader on kogumik **purskeid (Burst)**, mis on ühe kasutaja ajapilul edastatud info. GSM süsteemis jaguneb kaader **8-ks** purskeks, seega ühes kaadris edastab 8 kasutajat oma infot. Purset nimetatakse ka **ajapiluks (Slot)**, sest see on ühtlasi ka selle telefoni jaoks TDMA-s eraldatud aeg, mis kestab umbes 0.5 ms, seega kogu kaader on ca 4.6 ms.

- **Normaalpurske (Normal Burst) ülesehitus, erinevate otstarvetega bittide järjestus purskes. Saatmisvõimsus purske ajal. Teised pursked, bittide järjestus, pursete otstarve.**



**“Physical Channel” - The time slot on a certain frequency.**

T. Seq. = Training Sequence  
T = Tail Bits  
GP = Guard Period

Normaalpurske on mõeldud harilikuks infovahetuseks. Kuid erinevate ülesannete täitmiseks on kasutusel vee neli eripurset.

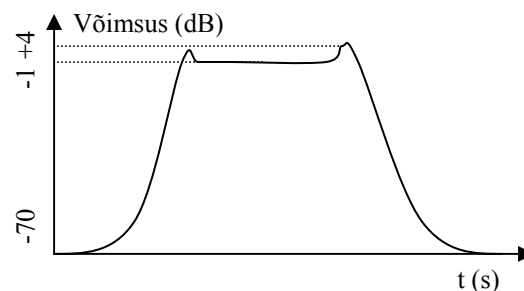
**Random Access Burst** on selleks puhuks, kui telefon alustab tugijaamaga sidet.

**Frequency Correction Burst** – selleks, et anda telefonile infot, millisel sagedusel toimub BCCH kanalis (juhtimiskanal) andmevahetus.

**Synchronization Burst** (ainult allalingis) – purskega seatakse telefonile andmed pursetevahelise ajaintervalli kohta ja purske alguse kohta juhul, kui telefon lülitub võrku.

**Dummy Burst** on märguanne telefonile, et algab andmevahetus. Purse ise infot ei sisalda.

**Purske saatmise** hetkel muutub telefoni võimsus järgnevalt:



## 12. Kooderistusega (CDMA) andmeedastus

- **Andmsõna kodeerimine, kodeeritud signalide autokorrelatsioon, koodi bittide arv ühe ja mitme kasutaja juhul. Saadetava signaali võimsus, aeg ja sagedus. Meetodid CDMA signaalide formeeriiseks: spektrit hajutav kood (DSSS) ja sageduse vaheldamine (FHSS).**

UMTS süsteemis kasutusele võetav pöördusviis, milles igale kasutajale omistatakse kindel kood. Olenevalt realisatsioonist, selle koodiga kas

moduleeritakse infosignaali (**DSSS**) või sooriatakse kindlaid võrguoperatsioone (**FHSS**).

Kui on tegu **FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)** moodusega, siis kasutatakse koodi, et määrata kindlaks teatud sageduste järjestus. Seda järjestust mööda hakkab mobiil oma infot edastades kandesagedusi vahetama. Et ei tekiks kokkupõrkeid, siis peab kood olema ortogonaalne, et tagada kahe telefoni valitud sageduste vahel piisavalt suur erinevus.

**DSSS (Direct Sequence Sprad Spectrum)** puhul moduleeritakse koodiga aga hoopis infosignaali ennast. DSSS kood on palju kiirema käiguga, kui andmed, mistõttu on DSSS ühenduse korral kasutusel tavalisest rohkem kui kaks korda laiemat riba.