

MODULATSIOON IRO0010

Loengumaterjal 10 - Faasmanipulatsioon
[I. Mürsepp, J. Berdnikova, A. Meister]

BINAARNE FAASMANIPULATSIOON

BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) kasutab sümbolite 0 ja 1 edastamiseks signaale, mis erinevad teineteisest 180° faasinihke poolest

$$a = 1 \quad s_1(t) = A \cos(\omega_c t), \quad 0 \leq t \leq D$$

$$a = 0 \quad s_0(t) = A \cos(\omega_c t + \pi), \quad 0 \leq t \leq D$$

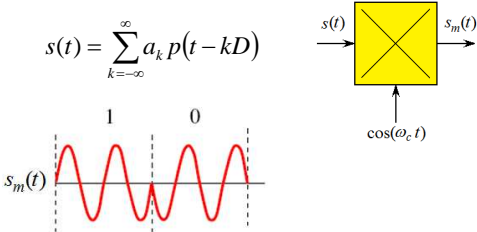
Või

$$a = 1 \quad s_1(t) = A \cos(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq D$$

$$a = 0 \quad s_0(t) = -A \cos(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq D$$

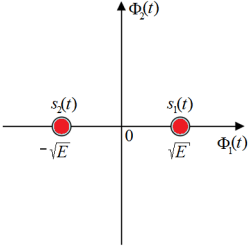
BINAARNE FAASMANIPULATSIOON

Kandesignaali korrutatakse bipolarses NRZ formaadis sisendsignaali (väärtused ±1). Kandesignaali amplituud moduleerimise käigus ei muutu.

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k p(t - kD)$$


KONSTELLATSIOONIDIAGRAMM

Ülevaatlikuks viisiks faasmanipuleeritud signaalide kujutamisel on **konstellatsioonidiagramm**.



$$\Phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{D}} \cos(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq D$$

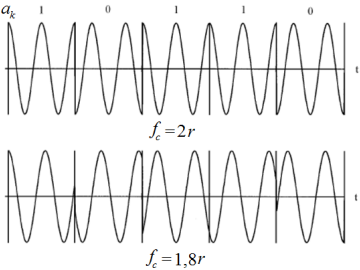
$$\Phi_2(t) = -\sqrt{\frac{2}{D}} \sin(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq D$$

Kus sümboli (biti) energia on

$$E = \frac{A^2 D}{2}$$

BINAARNE FAASMANIPULATSIOON

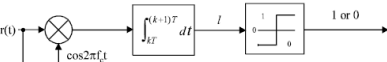
Vigade tekke tõenäosuse minimeerimiseks peab kandesignaali sagedus f_c olema edastuskiiruse r täisarvkoradne



BPSK DEMODULAATOR

Faasmanipulatsioon PSK edastab signaali faasi muutustena. Seetõttu saab demoduleerimine toimuda ainult koherentselt. Vastuvõtja vajab selleks täpse sagedusega ja faasiga tugipinget.

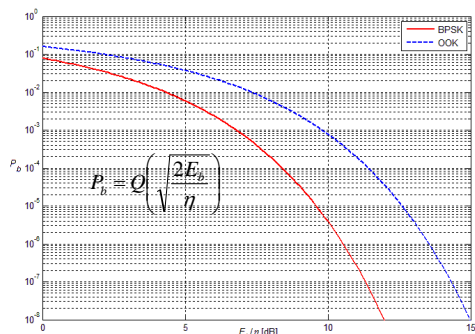
Koherentne demodulaator



carrier recovery (CR)

BPSK BITIVEA TÕENÄOSUS

BPSK bitivea tõenäosus koherentse demoduleerimise korral



7

BPSK BITIVEA TÕENÄOSUS

○ Mittekoherentse demoduleerimisel:

$$P_b = \frac{1}{2} e^{-\frac{E_b}{\eta}}$$

○ Diferentsiaalse modulatsiooni korral

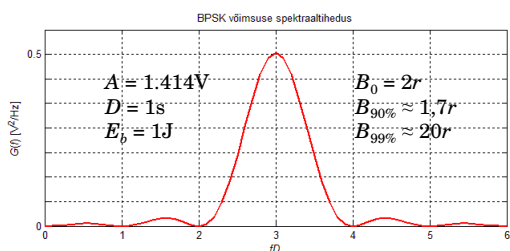
$$P_b = 2Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{\eta}}\right) \left[1 - Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{\eta}}\right)\right]$$

8

BPSK VÕIMSUSE SPEKTRAALTIHEDUS

BPSK võimsuse spektraaltihedus on

$$G_{BPSK}(f) = \frac{A^2 D}{2} \text{sinc}^2[(f - f_c)D]$$



9

M-TASEMELINE PSK

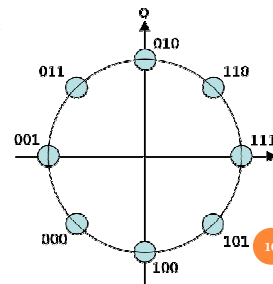
$$s_i(t) = A \cos(2\pi f_c t + \theta_i), \quad 0 \leq t \leq D$$

kus

$$i = 1, 2, \dots, M \quad \theta_i = \frac{(2i-1)\pi}{M}$$

Tavaline kood Gray kood

000	000
001	001
010	011
011	010
100	110
101	111
110	101
111	100



Joonis: www.wikipedia.org

10

QPSK



11

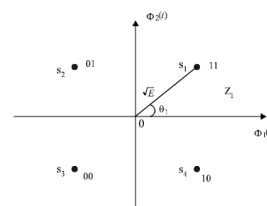
KVADRATUURNE FAASMANIPULATSIOON QPSK – QUADRATURE PHASE SHIFT KEYING

Kasutab edastuseks kandesignaali nelja erinevat faasi. See võimaldab ühe sümboliga edastada 2 bitti andmeid ($M=4$).

$$s_i(t) = A \cos\left(2\pi f_c t + \frac{(2i-1)\pi}{4}\right), \quad 0 \leq t \leq D$$

$i = 1, 2, 3, 4$

$$\theta_i \in \left\{ \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4} \right\}$$



Fuqin Xiong. Digital modulation techniques. Boston (Mass.) : London : Artech House, 2006

12

QPSK MODULAATOR JA DEMODULAATOR

Signaal moodustatakse kvadratuurmodulaatori (IQ-modulaatori) abil. See kasutab kandesignaali sünfasse (*inphase I*) ja kvadratuurse (*quadrature Q*) komponendi eraldi moduleerimist, misjärel saadud signaalid liidetakse.

$$s_i(t) = A \cos \theta_i \cos(2\pi f_c t) - A \sin \theta_i \sin(2\pi f_c t) = s_{i1}\Phi_1(t) + s_{i2}\Phi_2(t)$$

siin $\Phi_1(t)$ ja $\Phi_2(t)$ on ortonormaalset baasfunktsioonid ja

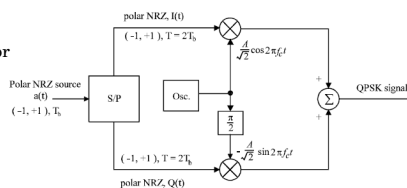
$$s_{i1}(t) = \sqrt{E} \cos(\theta_i) \quad E = \frac{A^2 D}{2}$$

$$s_{i2}(t) = \sqrt{E} \sin(\theta_i)$$

13

QPSK MODULAATOR JA DEMODULAATOR

Modulaator

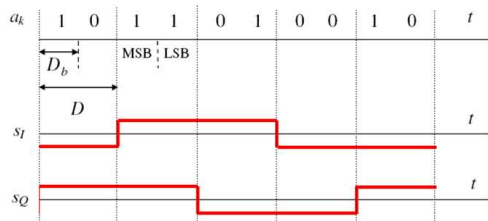


Binaarne sisendsignaal jagatakse järjestik-paralleelse koodimuunduri (*serial-to-parallel converter*) abil kaks korda aeglasemaks kaksikbitide jadaks. Igale kaksikbitile leitakse tabelist (*look-up table LUT*) vastavad signaalid, mille võimalikud väärtused on +1 ja -1. Need juhivad vastavalt sünfassest (koosinus) kanalit ja kvadratuurset (siinus) kanalit.

14

Fuqin Xiong, Digital modulation techniques, Boston (Mass.) : London : Artech House, 2006

QPSK MODULAATOR JA DEMODULAATOR



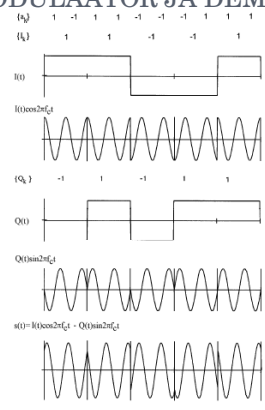
Kui kaksikbiti pikkus $D = 2D_b$

siis sümbolikiirrus on $r = \frac{r_b}{2}$

15

QPSK MODULAATOR JA DEMODULAATOR

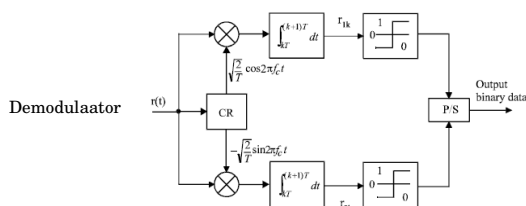
Näide:



16

QPSK MODULAATOR JA DEMODULAATOR

Vastuvõtja peab eristama nelja faasi. Selleks kasutatakse kahte sünkrodetektorit, mis eraldavad vastavalt signaalid s_I ja s_Q . Mõlema detektori filtri väljundpinge muutub olenevalt edastatavast sümbolist. Sümboli lõpphetkel määratud signaali järgi leiab loogika edastatava sümboli.



Fuqin Xiong, Digital modulation techniques, Boston (Mass.) : London : Artech House, 2006

QPSK BITIVEA TÕENÄOSUS

QPSK bitivea tõenäosus (koherentne QPSK)

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{\eta}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{\eta}}\right)$$

QPSK sümbolivea tõenäosus (*symbol error rate*)

$$P_s = 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{\eta}}\right) - \left[Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{\eta}}\right)\right]^2$$

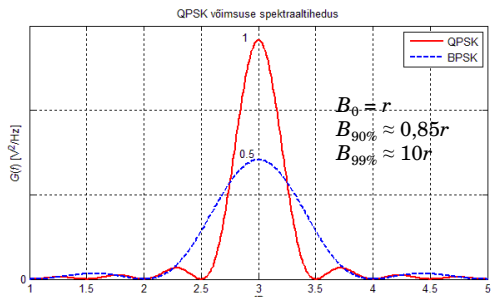
Suure SNR korral (tänu Gray koodi kasutamisele) kehtib

$$P_b \approx \frac{1}{2} P_s \approx Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{\eta}}\right)$$

18

QPSK VÖIMSUSE SPEKTRAALTIHEDUS

$$G(f) = A^2 D_b \text{sinc}^2(2f D_b)$$



19

VIITEGA QPSK (OFFSET QPSK, OQPSK)

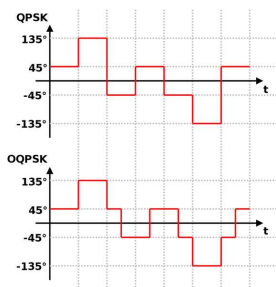
Viitega QPSK (offset-keyed QPSK, OQPSK) korral viiakse kvadratuurkanalisse ajaline viide, mis on poole sümboli pikkune: $D/2 = D_b$. Seetõttu ei muutu signaali komponendid S_I ja S_Q kunagi üheaegselt ja signaali amplituudi hüpe on väiksem. Samuti lihtsustub dekodeerimine diferentsiaalsel juhtumil.

$$s(t) = \frac{A}{\sqrt{2}} s_I(t) \cos(2\pi f_c t) - \frac{A}{\sqrt{2}} s_Q(t - \frac{D}{2}) \sin(2\pi f_c t) \quad -\infty < t < \infty$$

Bitivea tõenäosus ning võimuses spektraaltihedus on samad

20

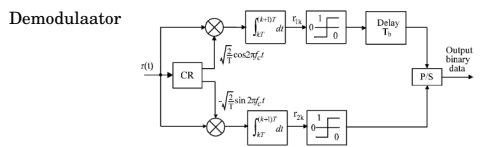
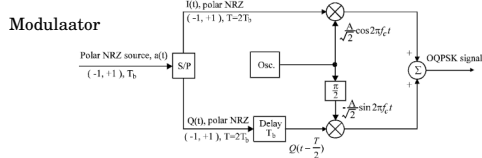
OQPSK



Allikas: www.wikipedia.org

21

OQPSK MODULAATOR JA DEMODULAATOR

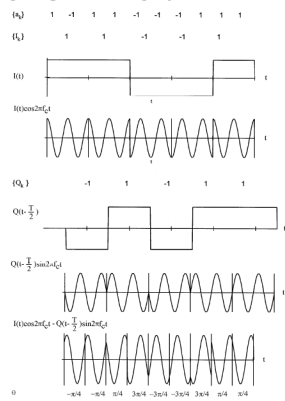


*Fuqin Xiong. Digital modulation techniques. Boston (Mass.); London: Artech House, 2006

22

OQPSK MODULAATOR

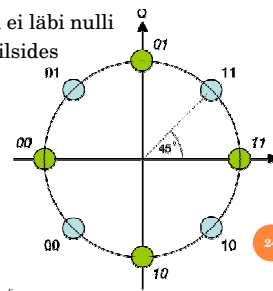
Näide:



23

π/4 - QPSK

- Kaks identset konstellatsiooni
- Vähendab faasihüpete suurust
- Ükski signaaligraafi haru ei läbi nulli
- Kasutatakse TDMA mobiilsides



24

Joonis: www.wikipedia.org

DIFERENTSIAALNE FAASMANIPULATSIOON

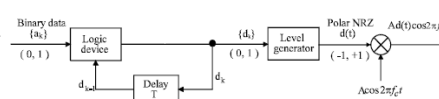
Faasmanipulatsioon edastab digitaalsignaali väärtusi kandja faasina. Vastuvõtul peab seetõttu kasutama faasitundlikku detektorit, mis vajab aga kandesignaali sageduse ja faasiga tugipinget. Kandja taastamise lülitused on analoogsed amplituudmodulatsiooni juures vaadeldud kvadraatoriga lülituse või Costase lülitusega (*Costas loop*). Nende omapäraks on aga faasi mitteühesus väljundis. Üleminek diferentsiaalsele faasmanipulatsioonile DPSK võimaldab kõrvaldada algfaasi määramatuse mõju. Sel juhul edastatakse vaid signaali muutusele vastav faasinihe, millest vastuvõtja taastab esialgse digitaalsignaali.

25

DPSK MODULAATOR

DPSK modulaator kasutab viitelüli, mis säilitab eelmise biti väärtuse. Loogikalülitus – summa mooduliga 2 – annab igal sammul välja signaali 0, kui sisendid on erinevad, ja signaali 1, kui sisendid on ühesugused. Edasi järgneb üleminek polaarsetele signaalile ± 1 ning faasmanipulatsioon.

DBPSK Modulaator



•Fuqin Xiong. Digital modulation techniques. Boston (Mass.); London: Artech House, 2006

26

DPSK MODULAATOR

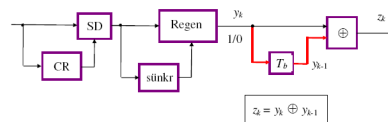
DBPSK näide:

Modulation	ref.	
Message a_k		1 0 1 1 0 0 0 1 1
Encoding $d_k = a_k \oplus d_{k-1}$		1 1 0 0 0 1 0 1 1 1
Signal phase θ		0 0 π π 0 0 π 0 0 0
Demodulation		
$\frac{1}{E_b} = \frac{1}{E_s} \int_{kT}^{(k+1)T} s_k(t) s_{k-1}(t) dt$		1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1
Demodulator output \hat{a}_k		1 0 1 1 0 0 0 1 1

27

DPSK DEMODULAATOR

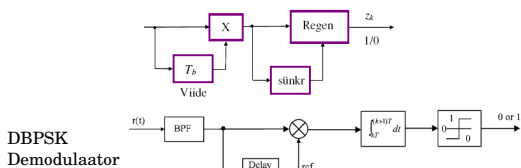
DPSK demodulaator kasutab kandja taastamislülitust CR (*carrier recovery CR*), mis tekitab demodulaatori tugipinget. Järgneb digitaalsignaali regenereerimine, mida juhib sümboli sünkrosignaali. Sellega taastatakse binaarsignaali y_k . Edasi järgneb veel DPSK dekodeerimine, kus on viitelüli ja loogikatehe summa mooduliga 2.



28

DPSK DEMODULAATOR

On võimalik ka diferentsiaalne dekodeerimine moduleeritud signaaliga. Selleks tuleb tekitada moduleeritud signaali viide biti pikkuse T_b võrra. Seda kasutades saab ühendada demodulaatori ja dekooderi üheks seadmeks.



BPF – bandpass filter

29

KOKKUVÕTE

- PSK (*PHASE SHIFT KEYING*) FAASMANIPULATSIOON
- BINAARNE FAASMANIPULATSIOON
- BPSK MODULAATOR JA DEMODULAATOR
- KÕRGEMAT JÄRKU (M-TASEMELINE) PSK
- KVADRATUURNE FAASMANIPULATSIOON QPSK
- VIITEGA QPSK (OQPSK)
- DIFERENTSIAALNE FAASMANIPULATSIOON

30

KIRJANDUS

- [1] A. Meister. **Modulatsioon**. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 1999.
- [2] F. Xiong . Digital modulation techniques . Boston (Mass.) ; London : Artech House, c2006.
- [3] Q-funktsiooni väärtuste tabel.
<http://www.usna.edu/EE/ee354/Handouts/Q-function.pdf> , 26.11.13

