

VILNIAUS UNIVERSITETAS
FIZIKOS FAKULTETAS
RADIOFIZIKOS KATEDRA
Telekomunikacijų sistemų laboratorija

Laboratorinis darbas Nr. 8
Minimaliosios (MM) ir Gauso minimaliosios (GMM) manipuliacijų
palyginimas ir sumodeliuotų signalų tyrimas

Vilnius, 2007

1. Darbo tikslas:

Sumodeliuoti ir palyginti minimaliosios ir Gauso minimaliosios manipuliacijos signalus.

2. Darbo uždutys:

1. Mokėti paaiškinti MM ir GMM moduliatorių veikimo principus.
2. Susipažinti su MATLAB programinio paketo pagrindinėmis funkcijomis ir mokėti paaiškinti tyrimams naudojamos programos veikimą.
3. Mokėti paaiškinti, kaip veikia kvadratūrinis GMM moduliatorius.
4. Mokėti paaiškinti, kaip veikia analogini GMM moduliatorius.
5. Išmatuoti impulso po Gauso filtro pločio priklausomybę, nuo juosta-trukmė faktoriaus. Kiek kaimyninių bitų šis impulsas įtakoja, kai $WT=2$, $WT=1$, $WT=0.5$, $WT=0.3$ ir $WT=0.15$?
6. Išmatuoti GMM signalo spektro plotį (-30dBr lygyje) nuo WT faktoriaus.
7. Kiek GMM signalo momentinis dažnis turi ekstremumų, kai $WT=0,3$? Pabandykite perskaityti perduodamą bitų seką su signalo po Gauso filtro ekstremumais.
8. Išmatuoti demoduliuoto GMM signalo klaidingų bitų spartos priklausomybę nuo signalo/triukšmo santykio, kai SNR 1-10 dB.
9. Gautus rezultatus pavaizduoti grafiškai ir palyginti su teorinėmis kreivėmis.

3. Teorinis įvadas

3.1 Pastovios gaubtinės moduliacija

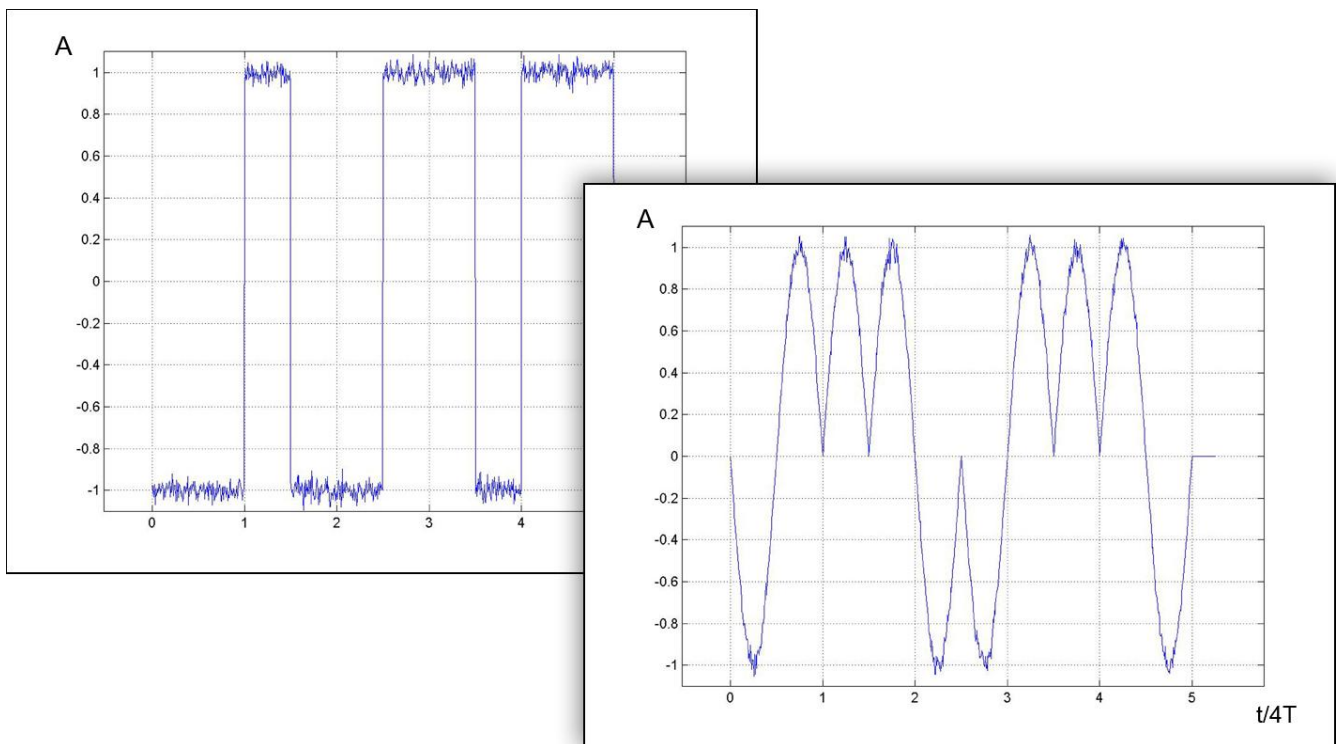
Tiesinių moduliatorių – DFM (dvilygė fazės manipuliacija, *angl.* – phase shift keying - PSK) ir KFM (keturlygė fazės manipuliacija, *angl.* – quaternary phase shift keying – QPSK) – signalų fazės simbolių sandūrose yra trūkios. Toks signalo fazių netolydumas lemia papildomus aukštadažnius sandus, kurie galios spektre sutelkti toli nuo nešlio – šoniniuose pliūpsniuose. Esant konkrečiam ryšio kanalui su ribota dažnių pralaidumo juosta, tokie šoniniai pliūpsniai yra nufiltruojami. Rezultate DFM ar KFM signalas tampa pulsuojuantis ir gaubtinės susilpnėjimo akimirkomis koherentinis imtuvas greičiau „pameta“ triukšmingo nešlio fazę. Kol fazė vėl pagaunama, atsiranda papildomų klaidų. Todėl tikslinga taikyti pastoviosios fazės arba pastoviosios gaubtinės moduliatorius. Minimaliosios (MM) bei Gauso minimaliosios manipuliacijų (GMM) signalai atitinka keliamus reikalavimus. Šių signalų spektrai pasižymi didesniu galios spektriniu tankiu ties pagrindiniu pliūpsniu ir mažesniais šoniniais lapeliais.

3.2 Minimaliosios manipuliacijos signalai

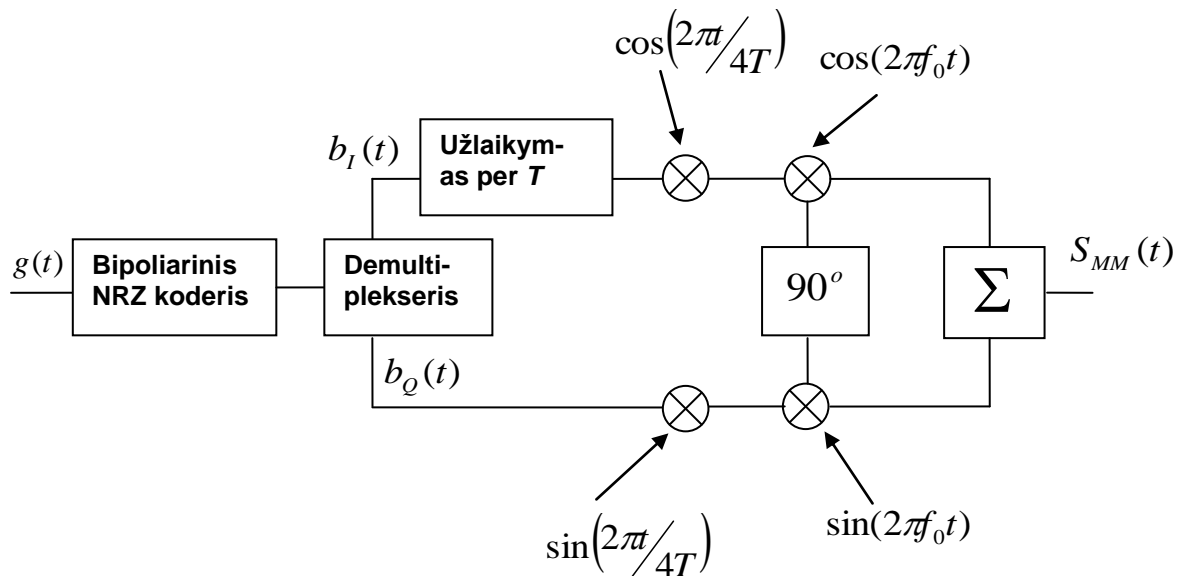
Viena iš paprasčiausių pastoviosios gaubtinės moduliacijos formų yra vadinamoji minimalioji manipuliacija (MM). Galimi keli MM signalo gavimo būdai – panaudojant koherentinį pastumtosios keturlygės fazės moduliatorių, arba analoginį dažninį moduliatorių.

3.3 MM signalo gavimas kvadratūriniu moduliatoriumi

MM gali būti nagrinėjama kaip pastumtoji keturlygė fazės manipuliacija (PKFM), kurioje moduluojančiame signale vietoje stačiakampių impulsų naudojami NC (nupjautos kosinusoidės/sinusoidės) formos impulsai (1 pav.).

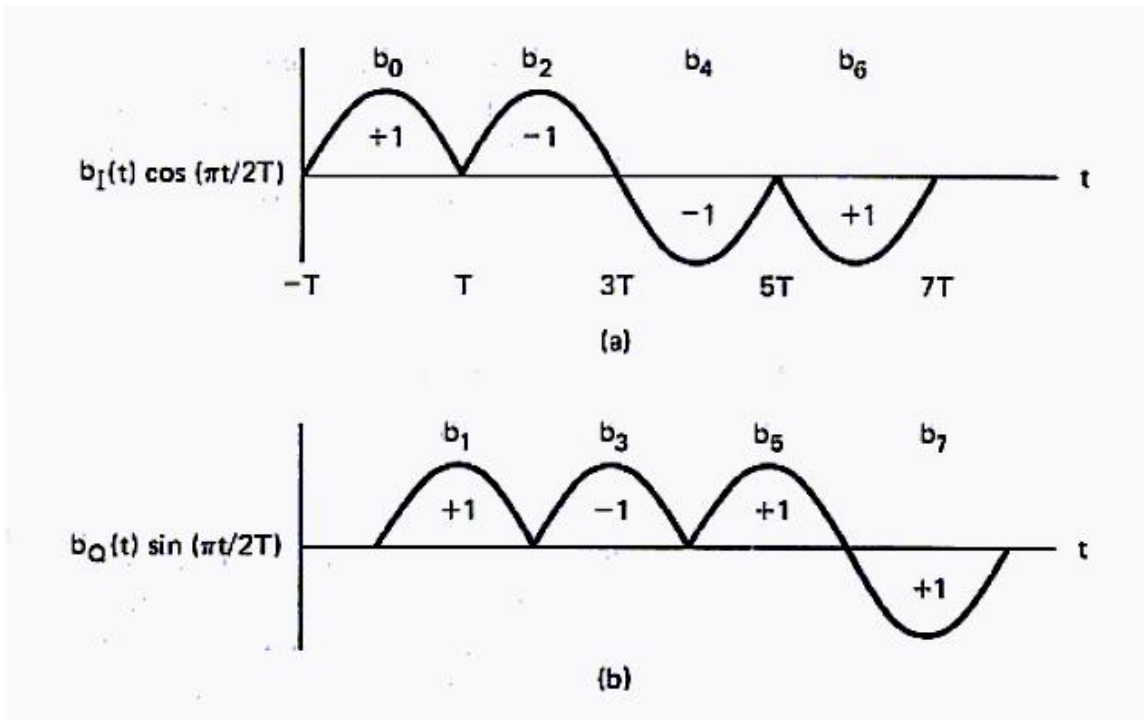


1 pav. MM nešlys moduluojamas ne stačiakampiais (KFM atvejis), o NC (nupjautos kosinusoidės/sinusoidės) formos impulsais.



2 pav. MM kvadratūrinio modulatoriaus schema

MM modulatoriaus struktūrinė schema yra parodyta 2 pav. Pirminė stačiakampių impulsų seka $g(t)$ skirstoma į dvi: lyginių bitų seką $b_I(t)$ ir nelyginių bitų seką $b_Q(t)$. Pirmoji dar vadinama I seka (*angl.* in phase – sinfazinis), antroji – Q seka (*angl.* quadrature – kvadratūrinis). Kaip ir pastumtosios KFM atveju, I seka užlaikoma bito trukme T . Dauginant abu NRZ signalus su harmoniniu signalu $s_h(t)$, kurio dažnis f_h yra du kartus mažesnis už NRZ signalų spartą, informacinių I ir Q signalų ($f_h = 1/4T$) dvipolės stačiakampių impulsų sekos pakeičiamos atitinkamomis NC impulsų sekomis. Kadangi I NRZ seka atsilieka nuo Q sekos bito trukme T , tai atitinkamai turi būti pastumti laike ir dažnio f_h signalai. Signalų $s_h(t)$ postūmis laike T yra ekvivalentus jo fazės posūkiui per $\pi/2$, todėl Q seka yra dauginama iš kosinusinio, o I seka – iš sinusinio harmoninio signalo.



3 pav. NC impulsų sekos: I seka (a) ir Q seka (b).

Kaip matyti 3 pav., I ir Q NC sekos yra tolydiniai signalai. Trūkius turi tik tų signalų išvestinės (loginės būsenos keitimosi akimirkomis). Natūralu, kad moduluotojo signalo kintantieji parametrai, kuriuos keičia moduluojantysis signalas, taip pat neturės trūkių.

MM signalą S_{MM} galime užrašyti taip:

$$S_{MM} = b_I(t) \cos\left(\frac{2\pi t}{4T}\right) \cos(2\pi f_0 t) + b_Q(t) \sin\left(\frac{2\pi t}{4T}\right) \sin(2\pi f_0 t). \quad (1)$$

Čia f_0 – nešlio dažnis. (1) lygybę galime perrašyti taip:

$$S_{MM} = x_1(t) \cos(2\pi f_0 t) + x_2(t) \sin(2\pi f_0 t) = x(t) \cos[2\pi f_0 t - \varphi(t)]. \quad (2)$$

Čia:

$$x(t) = \sqrt{x_1^2(t) + x_2^2(t)} \quad (3)$$

$$\varphi(t) = \operatorname{arctg} \frac{x_2(t)}{x_1(t)} \quad (4)$$

$$x_1(t) = b_I(t) \cos\left(\frac{2\pi t}{4T}\right) \quad (5)$$

$$x_2(t) = b_Q(t) \sin\left(\frac{2\pi t}{4T}\right) \quad (6)$$

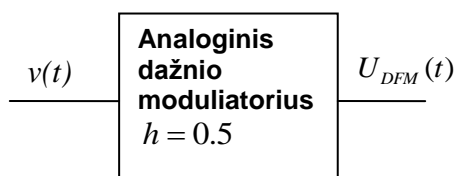
Taigi, signalo amplitudę galime išreikšti taip:

$$x(t) = \sqrt{x_1^2(t) + x_2^2(t)} = \sqrt{b_I^2(t) \cos^2\left(\frac{2\pi t}{4T}\right) + b_Q^2(t) \sin^2\left(\frac{2\pi t}{4T}\right)} = \sqrt{2}, \quad (7)$$

kadangi $b_Q(t)$ ir $b_I(t)$ gali įgyti tik ± 1 vertes.

3.4 MM signalo gavimas analoginiu dažniniu moduliatoriumi

Kitas MM signalo gavimo būdas – panaudojant analoginį dažninį moduliatorių (*angl.* voltage controlled oscillator – VCO). Tokio moduliatoriaus struktūrinė schema pavaizduota 4 pav.



4 pav. MM dažninio moduliatoriaus struktūra.

Matematiškai signalą moduliatoriaus įėjime galime aprašyti funkcija $v(t)$:

$$v(t) = \sum_{n=-\infty} b_n g(t - nT), \quad (8)$$

čia: $b_n = \pm 1$, $g(t)$ yra stačiakampis impulsas, aprašomas:

$$g(t) = \begin{cases} \frac{1}{2T}, & 0 \leq t \leq T, \\ 0, & t < 0, t > T. \end{cases} \quad (9)$$

Signalas moduliatoriaus išėjime:

$$U_{DFM}(t) = A_0 \cos \left[2\pi f_0 t + 2\pi h \int_{-\infty}^t v(\tau) d\tau + \phi_0 \right], \quad (10)$$

čia: ϕ_0 – pradinės fazės nuokrypis (gali būti laikoma lygi 0), h – deviacijos indeksas.

$$h = 2f_d T. \quad (11)$$

(10) lygybę galime perrašyti:

$$U_{DFM}(t) = A_0 \cos [2\pi f_0 t + \theta(t)], \quad (12)$$

čia $\theta(t)$ – momentinė fazė.

$$\theta(t) = 2\pi h \int_{-\infty}^t v(\tau) d\tau, \quad (13)$$

kai $0 \leq t \leq T$.

$$U_{DFM}(t) = A_0 \cos \left[2\pi f_0 t + \pi h \sum_{k=-\infty}^{n-1} b_k + b_n 2\pi h q(t') \right], \quad (14)$$

kai $(n-1)T \leq t \leq nT$, o $t' = t - (n-1)T$.

Jeigu $h = 0.5$, tai lygtis (14) atrodys taip:

$$U_{DFM}(t) = A_0 \cos \left[2\pi f_0 t + \pi h \sum_{k=-\infty}^{n-1} b_k + b_n \frac{\pi'}{2T} + \frac{\pi}{2} \sum_{k=-\infty}^{n-1} b_k \right], \quad (15)$$

kai $(n-1)T \leq t \leq nT$.

Taigi, loginius vienetą ir nulį atitiks MM signalo momentiniai dažniai $f_{+1} = f_0 + \frac{1}{4T}$ ir $f_{-1} = f_0 - \frac{1}{4T}$.

Pasirodo, deviacijos indeksas $h = 0,5$ yra mažiausias, kuriam esant simboliai su momentiniais dažniais f_{+1} ir f_{-1} gali būti ortogonalūs (tai labai svarbu, kadangi įgalina koreliacinių imtuvų naudojimą). Būtent iš čia yra kilęs minimaliosios manipuliacijos pavadinimas. Tokio tipo minimalioji manipuliacija kartais vadinama greitąja dvilyge dažnio manipuliacija GDDM (*angl.* fast frequency shift keying–FFSK). GDDM signale momentinis simbolio dažnis yra betarpiškai susijęs su perduodamo bito verte, tačiau GDDM signalo spektras, klaidų sparta ir kitos savybės yra visiškai tokios pat, kaip MM signalo, gauto kvadratūriniu moduliatoriumi.

3.5 Gauso minimaliosios manipuliacijos signalai

Praktikoje dažniau yra naudojama ne MM, bet jos forma–Gauso minimalioji manipuliacija (GMM). Tai yra susiję su gerokai mažesne siųstuvo šalutine spinduliuote, panaudojant palyginus nesudėtingus ir pigius moduliatoriaus konstrukcinius patobulinimus. Praktiškai pagrindinis naujas mazgas GMM moduliatoriuje, lyginant pastarąjį su MM moduliatoriumi, yra Gauso filtras.

Informacinio signalo apdorojimas Gauso filtru

Minimaliojoje manipuliacijoje stačiakampiai impulsai yra pakeičiami nupjautos sinusoidės (kosinusoidės) impulsais. Yra įmanomi ir kitokios formos impulsai. Minimaliojoje Gauso manipuliacijoje MM moduliatorius yra papildomas filtru, kurio impulsinis atsakas $h(t)$:

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma T}} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2 T^2}\right), \quad (16)$$

čia: $\sigma = \frac{\sqrt{\ln 2}}{2\pi BT}$, B yra įprasta filtro dažnių juosta 3dB lygyje. Kadangi į filtrą paduodami stačiakampiai T trukmės impulsai, tai impulso forma filtro išėjime $g(t)$ yra funkcijos $rect(t/T)$ ir $h(t)$ konvoliucija:

$$g(t) = h(t) * rect(t/T), \quad (17)$$

čia stačiakampis impulsas $rect(t/T)$:

$$rect(t/T) = \begin{cases} \frac{1}{T}, & |t| < \frac{T}{2}, \\ 0, & |t| > \frac{T}{2}. \end{cases} \quad (18)$$

Tuomet:

$$g(t) = \frac{1}{2T} \left[Q \left(2\pi BT \frac{t - T/2}{T\sqrt{\ln 2}} \right) - Q \left(2\pi BT \frac{t + T/2}{T\sqrt{\ln 2}} \right) \right]. \quad (19)$$

Funkcija $Q(t)$:

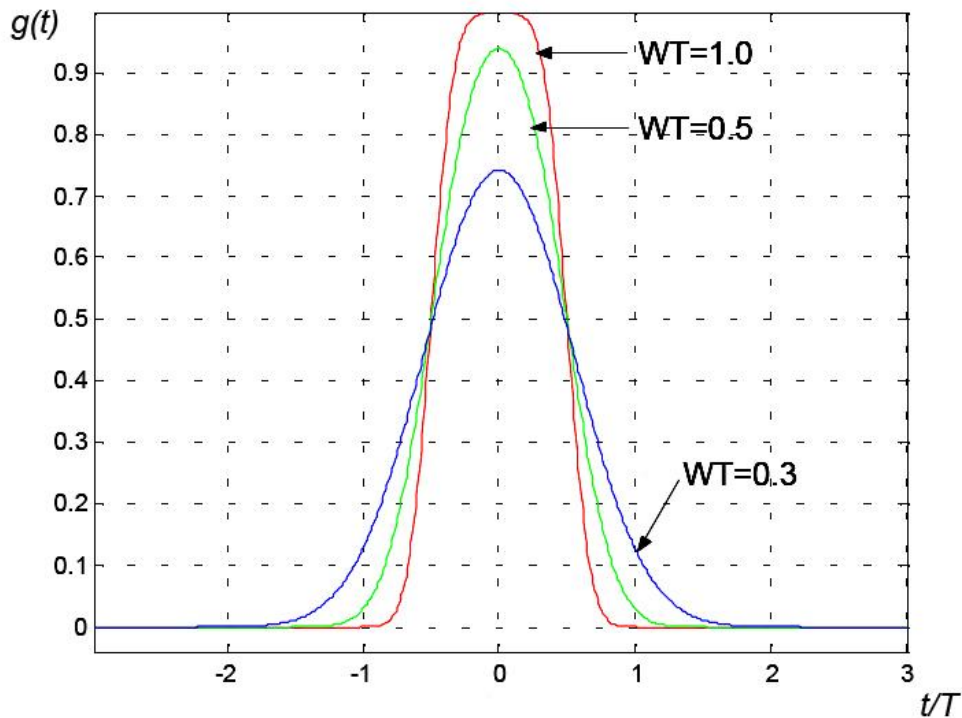
$$Q(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\tau^2/2\right) d\tau \quad (20)$$

Signalų fazė:

$$\theta(t) = \sum_i m_i \pi h \int_{-\infty}^{t-iT} g(u) du, \quad (21)$$

čia $m_i = \pm 1$ – NRZ informacinis signalas.

Kaip matyti 4 pav., impulso forma filtro išėjime priklauso nuo bedimensinio parametro WT (juosta–trukmė), kur W –filtro 3 dB juosta ir T –bito trukmė.



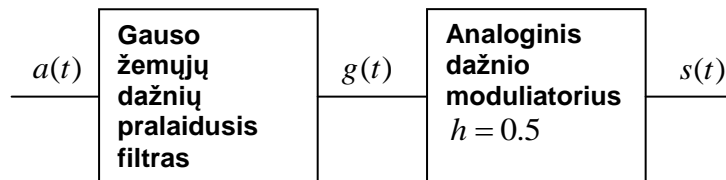
4 pav. Impulso forma Gauso filtro išėjime, esant įvairioms parametro juosta–trukmė vertėms.

Kai filtro juosta $W \gg 1/T = R$, t.y. filtro juosta yra daug didesnė už signalo spartą, filtras praleidžia beveik neiškraipytą stačiakampį impulsą. Signalų spartai didėjant (t.y. trumpėjant įėjimo impulso trukmei), išėjimo impulsas vis daugiau ir daugiau išplinta bei suapvalėja jo viršūnę.

Iš 4 pav. matyti, kad impulsas $g(t)$ netenkina priežastingumo principo, nes $g(-T/2) \neq 0$, t.y. jis turi nenulinę vertę dar prieš prasidedant filtro įėjimo impulsui $rect(t/T)$. Norint patenkinti priežastingumo principą, Gauso filtras turi veikti dar ir kaip užlaikymo linija, užlaikanti impulsą laiko intervalu τ . Tada filtro išėjimo impulso centras pasistumia į laikus $t = \tau$ ir, jei tik τ yra pakankamas, galima teigti, jog $g(-T/2) \approx 0$. Toks Gauso impulsų išplitimas sąlygoja impulsų persiklojimą, dar kitaip vadinamą tarpsimboline interferencija. Kai WT lygus begalybei, impulso forma atitinka nupjauto kosinuso formos impulsą (kaip MM)–tarpsimbolinė interferencija nepasireiškia. Nuo impulsų persiklojimų priklauso energijos, sutelktos šoniniuose galios spektrinio tankio pliūpsniuose, dydis. Didesnei tarpsimbolinei interferencijai tenka mažesnė šalutinė siūstovo spinduliuotė. Tai ir nulemia GMM signalo galios spektro pranašumą lyginant jį su MM signalo galios spektru.

3.6 GMM dažninis moduliatorius

GMM signalo siųstuvo struktūrinė schema, panaudojant analoginį dažninį moduliatorių, pavaizduota 5 pav. Pagrindinis skirtumas nuo MM dažninio modulatoriaus–Gauso žemadažnio filtro panaudojimas.



5 pav. GMM siųstuvus, taikant analoginį dažninį moduliatorių

Sistemos įėjime paduodamas stačiakampis impulsinis signalas $a(t)$:

$$a(t) = \begin{cases} \frac{1}{T}, & |t| < \frac{T}{2}, \\ 0, & |t| > \frac{T}{2}. \end{cases} \quad (22)$$

Signalas dažninio modulatoriaus įėjime aprašomas funkcija $g(t)$:

$$g(t) = h(t) * a(t), \quad (23)$$

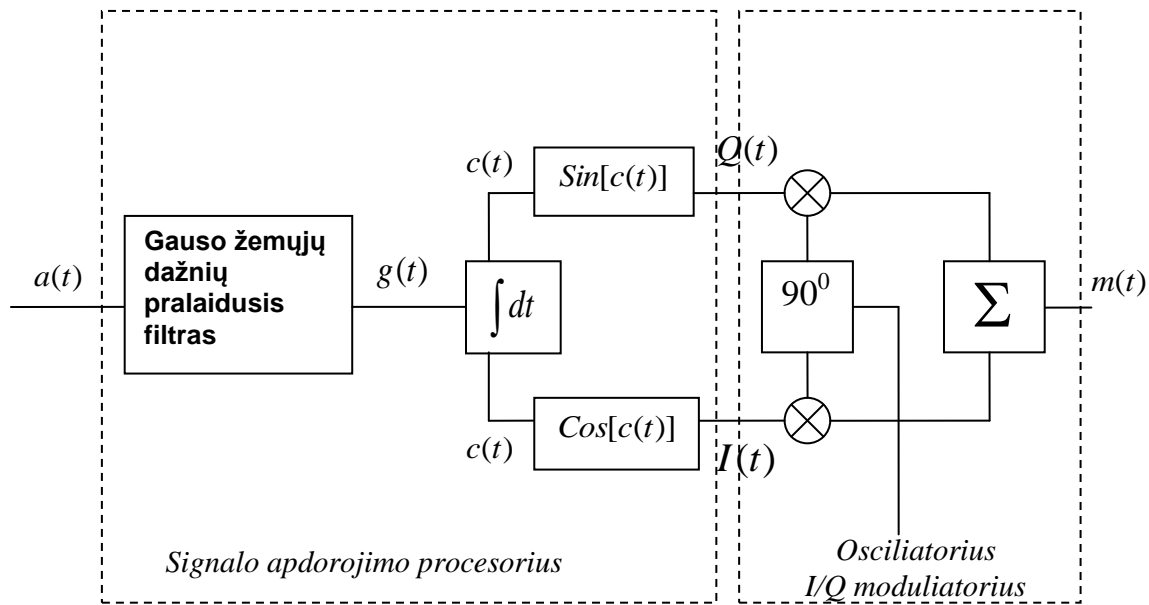
Ir galutinis GMM signalas $s(t)$:

$$s(t) = \sqrt{2E_b T} \cos(2\pi f_0 t + \theta(t) + z_0), \quad (24)$$

čia: E_b –vienam bitui tenkanti signalo energija, z_0 –pradinė fazė, kuri gali būti laikoma lygi 0.

Dėl griežtų reikalavimų mazgų parametrus, šis GMM moduliatorius, nors ir labai paprastas, tačiau nėra tinkamas koherentiniam moduliavimui. Tokio analoginio dažnio modulatoriaus deviacijos indeksas h turi būti labai tiksliai lygus 0,5, tačiau pirmojoje schemoje deviacijos indeksas yra jautrus temperatūriniais ir kitiems pašaliniais poveikiams ir bėgant laikui nukrypsta nuo savo pradinės vertės. Panaudojant kvadratūrinį moduliatorių, ši indekso vertė išlieka pastovi.

3.7 GMM siųstuvai su kvadratūriniais moduliatoriais



6 pav. GMM siųstuvai, taikant kvadratūrinį moduliatorių

Signalas $g(t)$ filtro išėjime suintegruojamas:

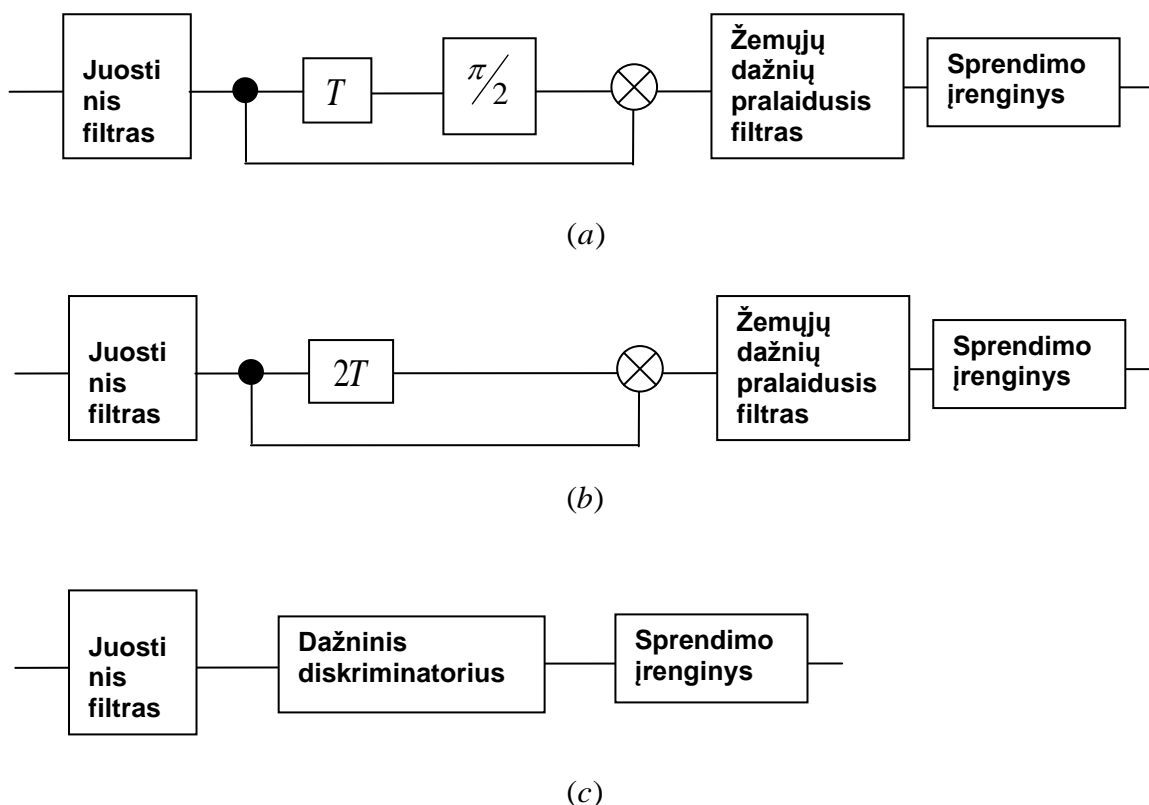
$$c(t) = \int_0^t g(t) dt \quad (25)$$

Toliau moduluojama kaip ir KFM atveju, t.y. signalas išskiriamas į sinfazinį $I(t)$ skaičiuojant funkcijos $c(t)$ kosinusą bei kvadratūrinį $Q(t)$, skaičiuojant funkcijos $c(t)$ sinusą. Tada vykdoma gautų signalų ir nešlių, kurių fazės skiriasi per $\pi/2$, daugyba. Moduluotieji $Q(t)$ ir $I(t)$ signalai susumuojami:

$$m(t) = \sin(2\pi f_0 t) I(t) + \cos(2\pi f_0 t) Q(t). \quad (26)$$

3.8 MM ir GMM signalų detekcija

Paprastai MM ir GMM signalai detektuojami vieno bito diferenciniu imtuvu (*angl.* one-bit differential detector), dviejų bitų diferenciniu imtuvu (*angl.* two-bit differential detector) arba dažniniu diskriminatoriumi (*angl.* frequency discriminator). Šių imtuvų struktūrinės schemos pateiktos 7 pav.



8 pav. GMM ir MM imtuvų struktūrinės schemos: vieno bito diferencinis imtuvas (a), dviejų bitų diferencinis imtuvas (b), dažninis diskriminatorius (c).

Jei MM ir GMM signalai gaunami kvadratūriniu moduliatoriumi, tai signalų detekcijai taikomi vieno ar dviejų bitų diferenciniai imtuvai. Pastarasis, užlaikantis signalą dviem bitų periodais, dažniau naudojamas GMM signalui detektuoti. Dažninis diskriminatorius naudojamas tada, kai minėtųjų signalų moduliatoriai–dažniniai.

Dekoduotą skaitmeninį signalą galime įvertinti klaidų tikimybe. Dydis $\frac{E}{N_0}$ įeina į klaidingų bitų spartos matematinę išraišką. N_0 - triukšmo spektrinis tankis, o energija E tenkanti vienam bitui, gali būti išreiškiama:

$$E = ST, \quad (27)$$

čia: S – signalo galia, o T – bito trukmė.

Tuomet:

$$\frac{E}{N_0} = \frac{ST}{N_0}, \quad (28)$$

Kai žinoma ryšio kanalo dažnių pralaidumo juosta B [Hz], o skaitmeninio signalo sparta [bit/s] lygi $R = \frac{1}{T}$, tai (28) išraiška perrašoma:

$$\frac{E}{N_0} = \frac{SB}{N_0RB} = \left(\frac{S}{N}\right) \cdot \left(\frac{B}{R}\right), \quad (29)$$

nes triukšmo galia $N = N_0B$.

Moduliacijų efektyvumas tarpusavyje gali būti palyginamas žinant signalo/triukšmo santykį, esant apibrėžtai klaidingų bitų spartos tikimybei. T.y. naudingesnis signalas bus tas, kurio signalo/triukšmo santykis bus mažesnis esant tai pačiai klaidingų bitų spartai.

Minimaliosios ir Gauso minimaliosios manipuliacijų signalams klaidingų bitų spartos tikimybė, juos aptinkant koherentiniu būdu, išreiškiama taip:

$$p(e) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\varepsilon E}{N_0}}, \quad (30)$$

čia ε parametras, priklausantis nuo Gauso filtro WT :

$$\varepsilon = \begin{cases} 0.68, & \text{kai } WT = 0.25, \\ 0.85, & \text{kai } WT = \infty \text{ (MM atveju)}. \end{cases} \quad (31)$$

4. MATLAB programinis paketas

MATLAB (MATrix LABoratory) yra programinis paketas, skirtas manipuliacijoms su matricomis. Tai techninė aukšto lygio skaičiavimo kalba, apimanti operacijas masyvais, vizualizavimą ir programavimą patogioje aplinkoje. MATLAB'as turi savitą lengvai perprantamą programavimo kalbą. Programą sudaro vadinamieji įskiepiai (*angl.* – toolboxes), kurie gali būti įdiegti priklausomai nuo sprendžiamos problemos specializuotumo. Pvz.: communications toolbox, filter design toolbox, statistics toolbox ir kt. Įskiepis – tai tekstinių failų (*angl.* – M files), kurie yra skirti atlikti konkrečią funkciją arba skaičiavimą, rinkinys. MATLAB'o bibliotekoje sukaupia įvairaus sudėtingumo matematinių algoritmų – nuo paprasčiausio sumavimo iki sudėtingų Furjė transformacijos skaičiavimų.

MATLAB programinis paketas yra patogus duomenų vizualizavimui, kadangi turi dvimačių ir trimačių grafikų kūrimo įrankius, priemones kurti animacijai bei vaizdo apdorojimo algoritmus.

Susipažinti su MATLAB valdymo kalba bei jos taikymo ypatybėmis padeda komandos „intro“ ir „demo“, įvedamos ties ženklu „>“. Sistemos aplinkoje galima dirbti dviem režimais:

- dialoginiu, kai skaičiavimai atliekami iš karto, užrašius komandą arba išraišką Matlab komandiniame lange (Command Windows);
- programiniu, kai uždavinio sprendimo algoritmas užrašomas Matlab programavimo kalba ir saugomas M-faile (M-file).

Komandiniame lange įvedimo vietą žymi simbolis `>>`. Užrašius išraišką ir paspaudus „enter“ ekrane išvedamas rezultatas.

Pagrindinis MATLAB kalbos elementas yra matrica. Skaliamas užrašomas kaip 1x1 dydžio matrica. Atmintis matricai skiriama automatiškai, tad išmatavimų nurodyti nereikia. Matricos elementai vienas nuo kito atskiriami tarpais arba kableliais, o eilutės–kableliais arba CR (Carriage Return). Vedami duomenys apgaubiami laužtiniais skliaustais.

Kableliataškis operatoriaus gale anuliuoja operatoriaus rezultato išvedimą į ekraną. Kintamųjų vardai formuojami iš raidės, po kurios seka raidės arba skaičiai (iš viso iki 19 simbolių). MATLAB skiria didžiąsias ir mažąsias raides. Funkcijų vardai rašomi mažosiomis raidėmis, pvz. `inv(A)`.

Aritmetinėse išraiškose naudojami šie aritmetinių operacijų ženklai: `+`, `-`, `*`, `/`, `\` (atvirkštinė dalyba), `^` (kėlimas laipsniu). Didžiausią prioritetą turi kėlimas laipsniu, po to daugyba ir dalyba, sudėtis ir atimtis. Vienodo prioriteto operacijos vykdomos iš kairės į dešinę. Norint pakeisti eiliškumą, naudojami skliaustai. Būtina apskliausti trupmenos skaitiklyje arba vardiklyje esančias išraiškas. Išraiškose galima naudoti vidines ir išorines funkcijas. Vidinės funkcijos saugomos Matlab bibliotekose, o išorinės (jas gali programuoti vartotojas) – M-failuose. Funkcijų argumentai rašomi skliausteliuose, pvz. `sin(x)`.

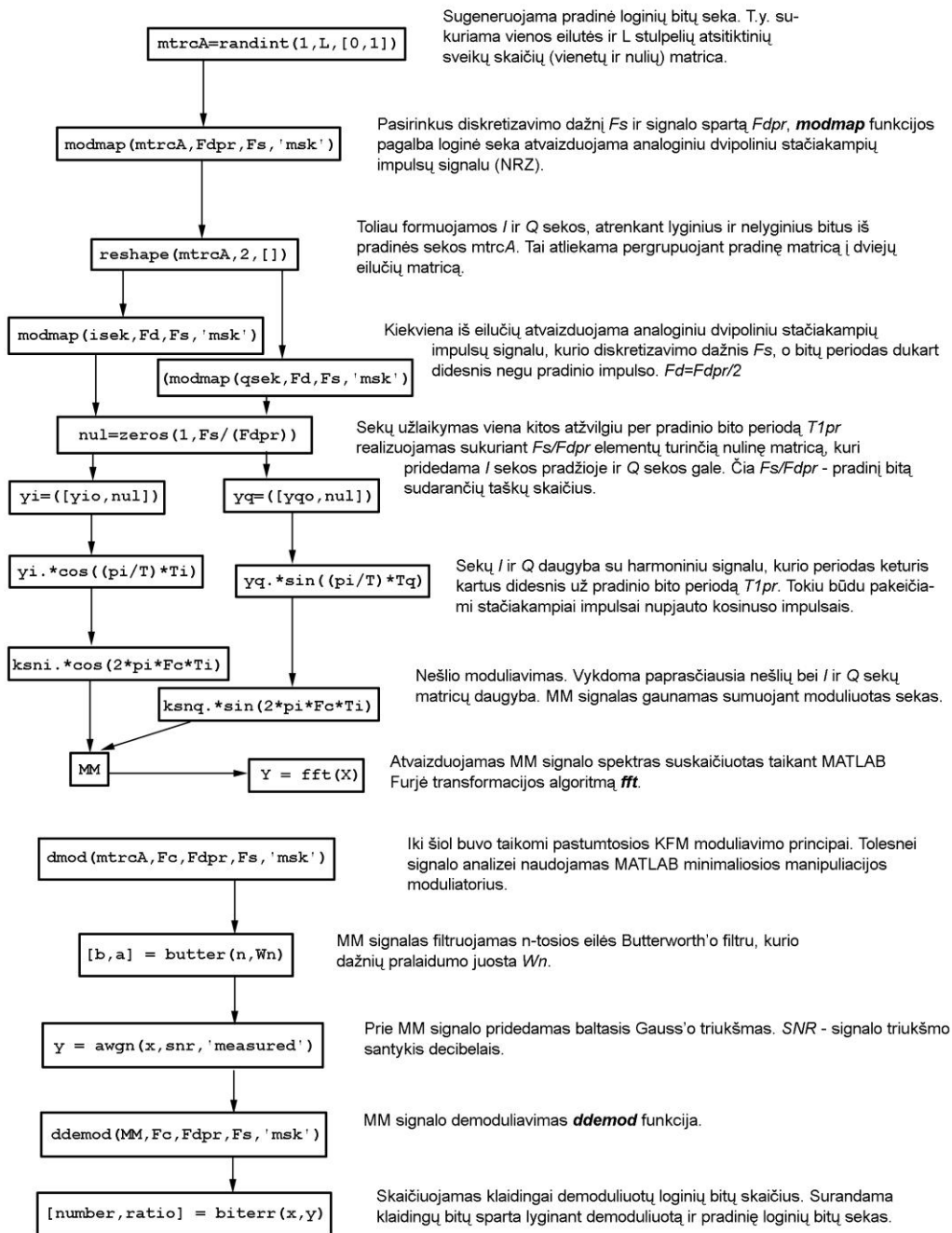
Matlab yra programavimo kalba, naudojama algoritmams koduoti. Operatorių seką galima surašyti į failą ir vykdyti kaip vieną komandą. Programa saugoma tekstiniame faile su prievardžiu „.m“, kuris sukuriamas „file menu“ komanda (New→M-file). M-failas gali būti tiek scenarijus (script), kuriame saugoma Matlab operatorių seka, tiek funkcija (function), priimanti argumentų reikšmes ir grąžinanti rezultatus.

Matlab kalboje yra du pagrindiniai skirtumai nuo kai kurių kitų algoritminių kalbų: nereikia aprašyti skaitinio tipo kintamųjų, masyvų ir matricų; nėra nukreipimo sakinio „goto“.

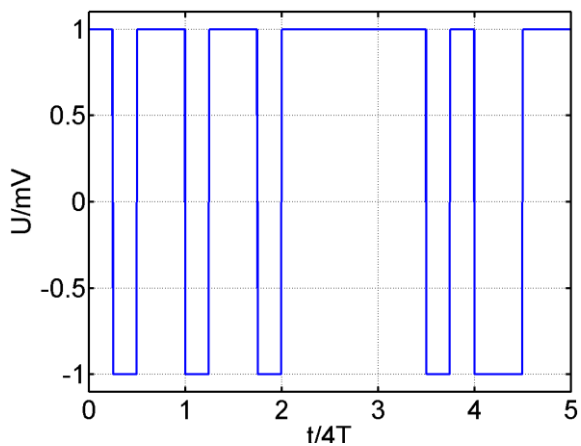
Informaciją apie esamas standartines funkcijas galima gauti komanda „help“. Pvz., užrašę „help dmod“, gausite informaciją, kaip naudoti funkciją „dmod“. „Help“ be jokių argumentų išveda visų standartinių funkcijų sąrašą.

5. Minimaliosios manipuliacijos signalo modeliavimas

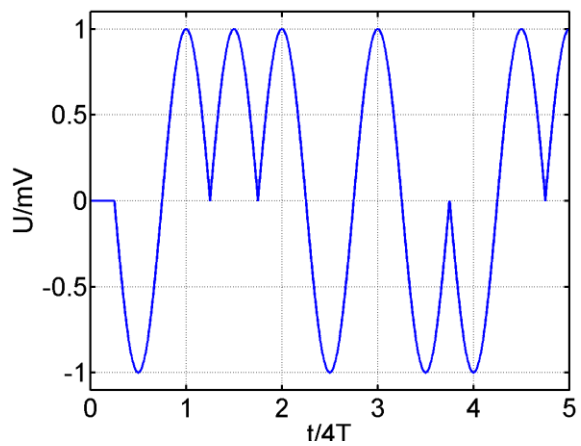
Signalų modeliavimo užduočiai įvykdyti pasirinktas anksčiau aprašytas MATLAB programinis paketas. Rašant programą dažniausiai buvo taikomos *communications* įskiepio aprašomos funkcijos – `modmap`, `fft`, `dmod`, `ddemod` ir kt. Programos struktūrinis aprašas pateiktas 9 pav., o tarpiniai rezultatai – 10, 11 ir 12 paveikslėliuose.



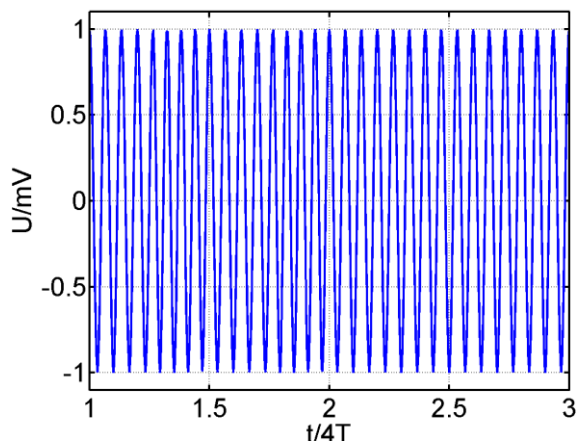
9 pav. MM signalo modeliavimo programos struktūrinis aprašas.



10 pav. Loginė seka, atvaizduota analoginiu dvipoliniu stačiakampių impulsų signalu (NRZ).



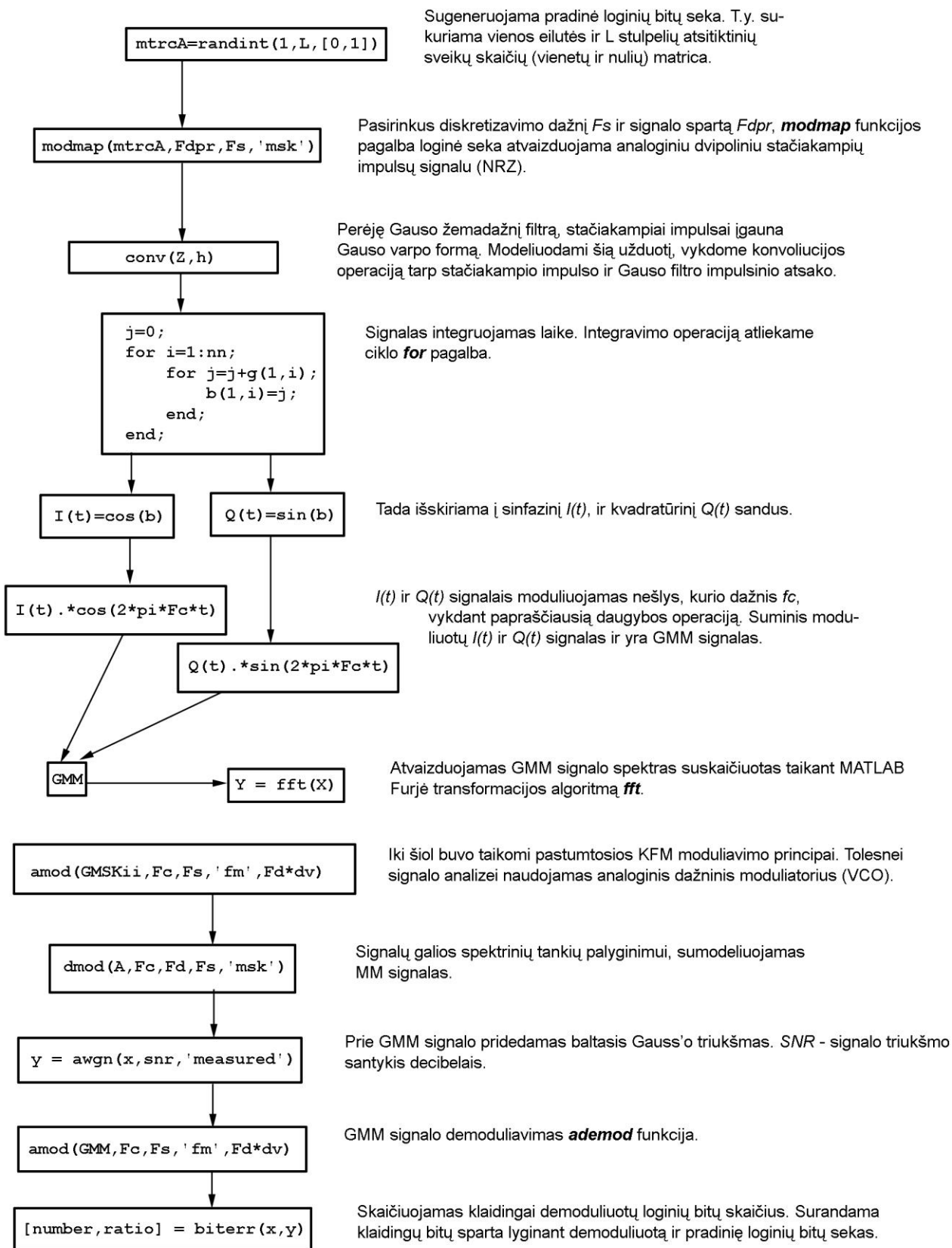
11 pav. I sekos nupjautosios kosinusoidės formos signalas.



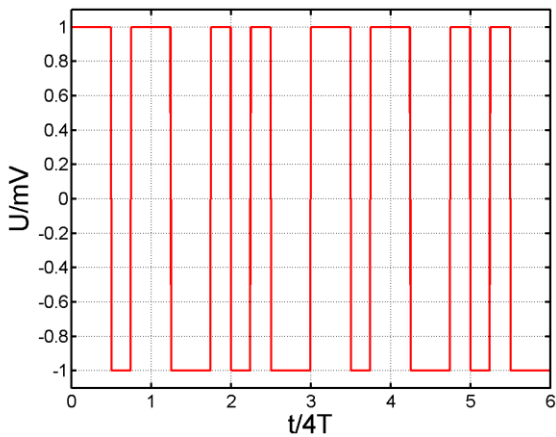
12pav. Sumodeliuotas MM signalas.

6. GMM signalo modeliavimas

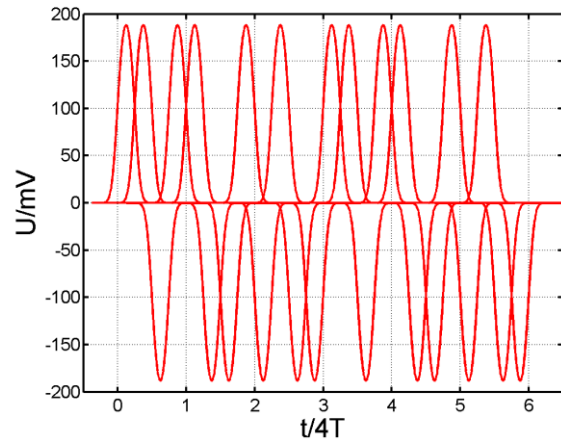
GMM signalo modeliavimo programos aprašas yra pateiktas 13 pav., o tarpiniai rezultatai – atitinkamai 14, 15, 16 ir 17 pav.



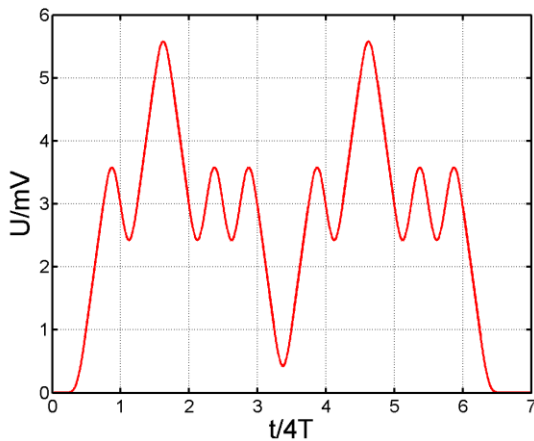
13 pav. GMM signalo modeliavimo programos struktūrinis aprašas.



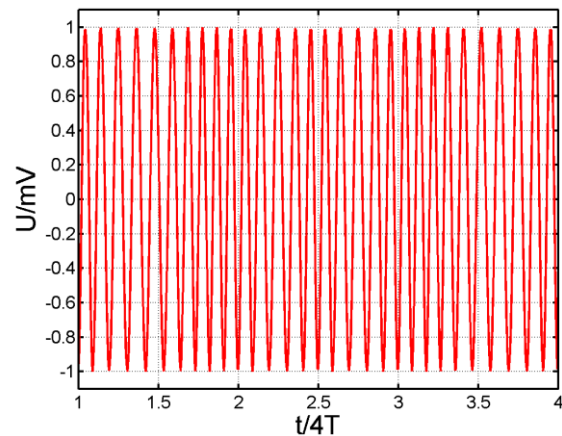
14 pav. Loginė seka, atvaizduota analoginiu dvipoliniu stačiakampių impulsų signalu (NRZ).



15 pav. Gauso impulsų seka filtro išėjime.



16 pav. Suintegruotas signalas.



17 pav. GMM signalas.

7. Metodiniai nurodymai

Nukopijuokite failus GMM.m ir MM.m į savo susikurtą sektuvą.

MM signalo modelis

Atsidarykite MM m-failą. Įveskite pagrindinius parametrus, kuriais valdoma programa:

N – informacinio signalo loginių bitų skaičius, lygus dvejeta laipsniui;

Fd – bitų sparta;

Fs – diskretizavimo dažnis;

Fc – nešlio dažnis;

filt.eil – Betervorto filtro eilė (2 – 20);

filt_dazn_juost – Betervorto filtro dažnių juosta (Fd eilės t.y. artima bitų spartai);

snr – signalo/triukšmo santykis, kurio skaitinės vertės atitinka dB.

Dažnių vertės atitinka hercus. Turi būti išpildyti reikalavimai: ($F_s > F_c > F_d/2$) ir F_s/F_d santykis turi būti teigiamas sveikas skaičius. Filtravimui pasirenkamas Betervorto (Butterworth) filtras.

Matuojant MM bei KFM klaidų spartas abiem atvejais tikslingiau būtų parinkti tuos pačius užduodamus parametrus (išskyrus filtro dažnių juostą) tam, kad gautas priklausomybes būtų galima palyginti. Be to, užduodamas bitų skaičius N turėtų būti bent jau 10^4 eilės, kad gautūsi tikslesni matavimai ir nubrėžtas priklausomybes būtų galima lyginti su teorinėmis.

GMM signalo modelis

GMM modeliavimo programa randama faile GMSK.m. Modulatoriaus pirminiai parametrai:

L – informacinio signalo loginių bitų skaičius, lygus dvejeta laipsniui;

F_d – skaitmeninio signalo bitų sparta [bit/s];

F_s – diskretizavimo dažnis [Hz];

F_c – nešlio dažnis [Hz] ($F_s > F_c > F_d/2$);

n – Butterworth'o filtro eilė;

snr – signalo triukšmo santykis dB;

$T = 1/F_d$ – periodas;

$W = 0.5/T$ – Gauso filtro dažnių juosta, 0,5 – parametras juosta-trukmė;

$dv = 1/2$ – analoginio dažninio modulatoriaus deviacijos indeksas;

$VCO = 2$ – analoginio dažninio demodulatoriaus parametras [Hz/V].

Atsidarykite „Matlab“ programą. Savo susikurtą segtuvą Matlab'o darbams perkeltite į „current directory“. „Matlab“ komandų lange surinkus komandą „KFM“ arba „MM“ modelis pradeda veikti.

8. Literatūra

- 1. Kežionis A. Radijo sąsaja šiuolaikinėse telekomunikacijų sistemose. Vilnius, 2008.**
2. A.B. Sergienko. Cifrovaja obrabotka signalov. Piter, 2002.
3. A. D. Poularikas. Signals and systems primer with MATLAB (2007, CRC Pres) ISBN 978-0-8493-7267-4.