

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2020 532**
(22) Paraiškos padavimo data: **2020-07-03**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2022-01-10**
(45) Patento paskelbimo data: **2022-05-25**

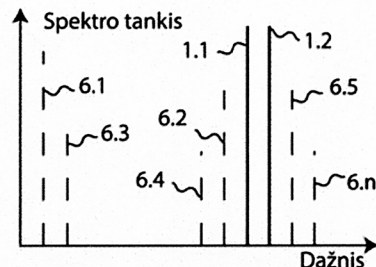
(73) Patento savininkas:
VILNIAUS UNIVERSITETAS, Universiteto g. 3, LT-01513 Vilnius, LT
(72) Išradėjas:
Saulius RUDYS, LT
Paulius RAGULIS, LT
Rimvydas ALEKSIEJŪNAS, LT
(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Jurga PETNIŪNAITĖ, 51, AAA Law, A. Goštauto g. 40B, Verslo centras „Dvyniai“, LT-03163 Vilnius, LT

LT 6913 B

(54) Pavadinimas:
Elektroninės įrangos nuotolinio trikdymo būdas

(57) Referatas:

Taikinio, turinčio elektroninės įrangos, elektroninės įrangos nuotolinio trikdymo būdas, apimantis daugiau negu vieno signalo generavimą ir išspinduliavimą per vieną arba daugiau antenų. Iš vienos arba daugiau antenų yra išspinduliuojami skirtingų dažnių signalai, kurie pasiekia taikinį nepakitę ir taikinio elektronikos komponentuose sužadina netiesinius dažnių maišymo procesus, kurie generuoja bent vieną signalą, kurio dažnis skiriasi nuo iš vienos arba daugiau antenų išspinduliuotų signalų dažnių ir atitinka taikinio elektroninės įrangos veikimo dažnius.



Pav. 1

TECHNIKOS SRITIS

Išradimas yra susijęs su elektroninės įrangos veiklos sutrikdymu nuotoliniu būdu, naudojant elektromagnetines bangas, o tiksliau su būdu, skirtu neutralizuoti elektroninę įrangą, naudojant nuotolinę radijo signalų generavimo ir tikslaus perdavimo į taikinį įrangą.

TECHNIKOS LYGIS

Nelegalus bepiločių orlaivių (BPO) naudojimas kelia vis daugiau rūpesčių visuomenei. Bene žymiausias pavyzdys – *Gatwick* oro uosto incidentas 2018 m. Norint apsaugoti teritoriją nuo BPO yra naudojamos ir elektroninės BPO neutralizavimo priemonės. Jų veikimas pagrįstas, tuo, kad į BPO siunčiamas pakankamai galingi radijo signalai tais dažniais, kuriais veikia sistemos, naudojančios radijo ryšį (navigacija, telemetrija, valdymas, vaizdo perdavimas, radarai), siekiant sutrikdyti šių sistemų veikimą. Kadangi šios sistemos veikia labai plačiame dažnių diapazone – įprastai yra naudojama keletas siųstuvų ir keletas atitinkamų antenų. Tačiau slopinant BPO ryšio įrangą daugelio dažnių ir (ar) plačiajuosčiais signalais, atsiranda pavojus, kad bus paveikti ir kiti orlaiviai, patekę į signalų trikdymo erdvę. Ypač tai svarbu palydovinės navigacijos (GNSS) sistemų atžvilgiu, nes šią sistemą naudoja ir civiliniai reisiniai lėktuvai. Esamos trikdymo sistemos spinduliuoja GNSS dažniais, šią galimybę suteikia tik minimaliai – kiek leidžia kryptinės antenos galimybės.

Įprastinėse elektroninės įrangos ryšio/valdymo nuotolinio trikdymo sistemose yra spinduliuojami tų dažnių signalai, kuriuos ir norima sutrikdyti. Norint sutrikdyti valdymo/ryšio signalus, kiekvienam dažnių signalui yra reikalingas atskiras generatorius ir stiprintuvas, o jų veikimo dažniai turi sutapti su elektroninės sistemos, kurios veikimą norima sutrikdyti, naudojamais dažniais. Toks būdas yra atskleistas JAV patente Nr. US10103835, kuriame aprašomas nešiojamas prietaisas ir būdas, skirtas slopinti bepiločių sistemų valdymo/ryšio signalams.

JAV patente Nr. US10451388B1 yra atskleistas orlaivių neutralizavimo būdas naudojant didelės galios energijos tankio impulsus. Būdas leidžia tam tikru atstumu nuo signalų perdavimo antenos generuoti ypatingai stiprius elektrinius laukus siekiančius oro pramušimo ribą. Tokio stipraus elektrinio lauko pilnai pakanką sunaikinti bet kokią elektroninę aparatūrą. Pagrindinis šios sistemos trūkumas - tokiems laukams pasiekti reikalingi n generatoriai, galintys generuoti ultra-

plačiajuosčius impulsus, kurių trukmė neviršija 1 ns. Taip pat generuojamas labai stiprus ir platus signalas, kuris gali pakenkti ir aplinkinių elektroninių prietaisų veikimui.

JAV patente Nr. US8905176B2 yra aprašytas prietaisas ir būdas skirtas nuotoliniam transporto priemonių sustabdymui, naudojant moduliuotą mikrobangų signalą. Norint sumažinti mikrobangų impulsų galią, prietaiso sustabdymui patente siūloma naudoti sistemą, susidedančią iš transporto priemonės atpažinimo įrenginio, duomenų bazės, mikrobangų signalo modulatoriaus ir stiprintuvo. Atpažinus transporto priemonės tipą iš duomenų bazėje esančių duomenų būtų parenkami tokie modulatoriaus parametrai: mikrobangų dažnis (L dažnių ruožo ribose 1,2 – 1,7 GHz), amplitudės moduliacija, impulso trukmė ir pasikartojimo dažnis, kuriems esant užtenka mažiausio galingumo mikrobangų impulso prietaiso sustabdymui. Pagrindinis tokio būdo trūkumas yra tai, kad pagal parinktą transporto priemonės tipą neutralizuojantis signalas yra suformuojamas neutralizavimo įrenginyje ir gali pakenkti ne tik tai specifinei transporto priemonei, bet ir panašioms transporto priemonėms. Taip pat yra reikalinga duomenų bazė tam, kad galima būtų selektyviai paveikti tam tikras transporto priemones.

JAV patente Nr. US7865152B2 yra aprašytas nuotolinis elektronikos prietaisų neutralizavimo naudojant mikrobangų signalus būdas ir prietaisas. Prietaisas susideda iš dviejų mikrobangų signalų generatorių, generuojančių skirtingus dažnius. Šie du skirtingi signalai yra paduodami į anteną, kurioje jie tarpusavyje sumuojasi: vieno dažnio nemoduluotas signalas yra sudedamas su kito dažnio nemoduliuotu signalu, tokiu būdu suteikiant bendram signalui amplitudinę moduliaciją su nuslopintu nešliu nenaudojant maišiklio ar modulatoriaus. Pagrindinis šio būdo trūkumas yra tai, kad dėl šių dviejų signalų sąveikos antenos išėjime yra gaunamas moduluotas, iš anksto paruoštas elektronikos prietaisų valdymo/ryšio dažnio impulsas, kuris ne selektyviai neutralizuoja taikinį. Išradimas neturi aukščiau išvardintų trūkumų susijusių su elektronikos įrangos neutralizavimo signalo spindulio dideliu plokščiui ir neselektyviu taikinių poveikiu.

IŠRADIMO ESME

Išradimas atskleidžia elektronikos prietaisų, ypač orlaivių, ar kitų transporto priemonių, elektronikos prietaisų, neutralizavimą elektromagnetinėmis bangomis, nuotoliniu būdu. Būdas apima bent dviejų signalų generatorių naudojimą ir tokių sugeneruotų signalų tiekimą į anteną. Signalai yra parenkami pagal papildomų

dažnių generavimo netiesinėse grandinėse dėsnius. Gali būti panaudojamas antros ir aukštesnių eilių netiesiškumas. Gali būti naudojami du ar daugiau dažnių.

Trikdymo signalų dažniai yra parenkami atsižvelgti į šiuos kriterijus:

- Dažniai, kuriuose yra nepageidaujamas spinduliavimas.
- Galimybė realizuoti papildomą erdvinę selekciją naudojant netiesiškumo efektus.
- Dažniai, kuriuose yra pageidaujamas tiesioginis (spinduliuojant dažniais, kuriais veikia elektroninė įranga) trikdymas.
- Dažnių juostos, kuriose yra galimas tiesioginis trikdymas ir trikdymas, naudojant netiesiškumą.
- Dažniai ar dažnių juostos, kuriuose reikia trikdyti.
- Kuo aukštesnės eilės netiesiškumas yra naudojamas – tuo silpnesnis signalas bus generuojamas netiesiniuose elementuose.

Atlikus spinduliuojamų signalų dažnių parinkimą, galime trikdyti ryšio įrangą, nespinduliuojant tos įrangos veikimo dažniais. Taip yra išvengiama nereikalingo trukdymo kitai, aplink spinduliavimo šaltinį esančiai ryšio/valdymo įrangai. Sugeneruoti signalai yra skirtingų dažnių ir tokie išlieka iki pat taikinio. Taikinį pasiekę signalai elektroninių įrenginių puslaidininkiuose komponentuose, pasižyminčiuose netiesiškumo reiškiniu (kai įtampa ir srovė kinta ne pagal tiesinį Omo dėsnį), sužadina netiesinius dažnių maišymo procesus. Tokie procesai yra: harmonikų generavimas, suminis/skirtuminis dažnių generavimas ir t.t. Tokiu būdu yra gaunami papildomų dažnių, kurie skiriasi nuo originalių signalų dažnių, signalai. Signalai generuojasi pačiame prietaiso elektroniniame grandyne, kurį ir siekiame paveikti. Kadangi papildomų dažnių generavimas remiasi netiesiškumo efektais, žinodami prietaiso veikimo dažnius, išorinių signalų dažnius galime parinkti taip, kad netiesiniuose elementuose sugeneruoti signalai atitiktų prietaiso, kurio veikimą ketiname trikdyti veikimo dažnius.

Būdas taip pat apima spektro trukdžių signalų spinduliavimą siauru kampu, išspinduliuojant bent dvi dažnių juostas aukštuose dažniuose.

TRUMPAS BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

Išradimo, kuris yra naujas ir neakivaizdus ypatybės yra pateikiamos apibrėžties punktuose. Tačiau išradimas gali būti geriausiai suprantamas remiantis šiuo išsamiau išradimo aprašymu, kuriame, neribojant išradimo esmės, aprašomi pavyzdiniai išradimo variantai yra pateikti kartu su pridedamais brėžiniais, kuriuose:

1 pav. yra pavaizduotas papildomų dažnių generavimas elektroninėje įrangoje, turinčioje netiesinių (kai įtampa ir srovė kinta ne pagal tiesinį Ohmo dėsnį) elementų (diodų, tranzistorių), elektroninę įrangą paveikus bent dviem skirtingų dažnių signalais. Žalia spalva yra pavaizduota antros-penktos eilės netiesiškumo sukurti signalai. Raudona spalva yra pavaizduoti spinduliuojami dviejų dažnių signalai. Papildomi dažniai galėtų būti trikdžių šaltinis ryšio navigacijos ar kitai elektronei įrangai.

2 pav. yra pavaizduota principinė būdo panaudojimo schema bepiločio orlaivio ryšio sistemos trikdymui skirtingų dažnių išoriniais elektromagnetiniais spinduliais.

3 pav. yra pavaizduotas grafikas, kuriame matosi kaip keičiasi sugeneruotų dažnių skaičius dėl netiesiškumo efekto, kai prietaisas yra apspinduliuojamas dvejais ir trejais išorinės spinduliuotės dažniais. Pavaizduotos amplitudės yra tik iliustraciniais tikslais, realiai sugeneruotos amplitudės gali skirtis nuo pavaizduotų paveiksle.

4 pav. yra pavaizduotas konkretus elektroninės ryšio (Wi-Fi ir telemetrijos) ir GNSS navigacijos įrangos trikdymo atvejis, kombinuojant tiesioginį trikdymą (Wi-Fi įrangos trikdymas) ir trikdymą, naudojant antros (0.4 GHz telemetrijos įrangos trikdymas) ir trečios eilės (GNSS įrangos trikdymas) netiesiškumus.

5 pav. yra pavaizduota principinė schema, kuomet vienas iš generuojamų signalų yra plačiajuostis, o antrasis siaurajuostis. Dėl šių dviejų signalų sąveikos netiesiniame elemente sugeneruojamas signalas taip pat yra plačiajuostis.

6 pav. yra pavaizduota principinė schema kuomet generuojami du siaurajuosčiai signalai. Jų dažniai sinchroniškai keičiami tokiu principu, kad netiesiniame elemente sugeneruoto trikdžio signalas būtų fazinės moduliacijos, o signalo spektras būtų norimo pločio.

Tinkamiausi išradimo variantai yra aprašyti žemiau su nuorodomis į brėžinius. Kiekviename paveikslėlyje yra pateikiama ta pati to paties ar lygiaverčio elemento numeracija.

IŠSAMUS IŠRADIMO ĮGYVENDINIMO BŪDŲ APRAŠYMAS

Turėtų būti suprantama, kad daugybė konkrečių detalių yra išdėstytos, siekiant pateikti pilną ir suprantamą išradimo pavyzdinio įgyvendinimo aprašymą. Tačiau srities specialistui bus aišku, kad išradimo įgyvendinimo pavyzdžių detalumas neapriboja išradimo įgyvendinimo, kuris gali būti įgyvendintas ir be tokių konkrečių nurodymų. Gera žinoma būdai, procedūros ir sudedamosios dalys nebuvo detalios aprašyti, kad išradimo įgyvendinimo pavyzdžiai nebūtų klaidinantys. Be to, šis aprašymas neturi būti laikomas apribojančiu pateiktus įgyvendinimo pavyzdžius, o tik kaip jų įgyvendinimas.

Nors išradimo įgyvendinimo pavyzdžiai, ar jų aspektai, taip kaip parodyti ir aprašyti, apima daugybę komponentų, kurie yra pavaizduoti esantys tam tikroje bendroje erdvėje ar vietoje, kai kurie komponentai gali būti ir nutolę. Taip pat turėtų būti suprantama, kad pateikti pavyzdžiai neapsiriboja tik aprašytais komponentais ir apima ir kitus, jų funkcionavimui ir sąveikai su kitais komponentais, reikalingus elementus, kurių buvimas yra savaime suprantamas, todėl nedetalizuojamas.

Elementų žymėjimas: „...*skaičius.n*“, žymi elementą, nuo nurodyto mažiausio iki didžiausio.

Būdas pagal išradimą yra skirtas nuotoliniu būdu trikdyti elektroninės įrangos veikimą plačiame dažnių diapazone, spinduliuojant santykinai siaurajuosčius aukšto dažnio signalus, siaurame spindulyje. Būdas apima bent dviejų nuotolinio signalų trikdymo sistemos skirtingų dažnių signalų šaltinių (2.1, 2.2,...2.n) naudojimą tam, kad būtų sukurti bent du skirtingų dažnių $f_{2.1}$, $f_{2.2}$,... $f_{2.n}$ trikdymo signalai (1.1, 1.2,...1.n). Sugeneruoti trikdymo signalai (1.1, 1.2,...1.n) yra siunčiami į bent vieną anteną (3.1, 3.2,...3.n), kuri pageidautinai yra kryptinė, minėtų signalų išspinduliavimui į taikinį (4). Taikinį (4) trikdymo signalai (1.1, 1.2,...1.n) pasiekia iš esmės nepakitę (išskyrus sumažėjusią amplitudę dėl natūralių elektromagnetinių bangų sklaidimo nuostolių erdvėje).

Naudojant vieną anteną (3.1), visų signalų spinduliavimui į taikinį (4), galima gauti kompaktiškesnę trikdymo sistemą. Naudojant atskiras antenas (3.1, 3.2,...3.n), kiekvienam skirtingų dažnių $f_{2.1}$, $f_{2.2}$,... $f_{2.n}$ signalui (1.1, 1.2, ...1.n), trikdymo sistema taptų didesnė, lyginant su vienos antenos (3.1) sistema, tačiau daugiau negu vienos antenos (3.1, 3.2, ...3.n) sistemoje nereiktų užtikrinti izoliacijos tarp skirtingų siųstuvų (2.1, 2.2, ...2.n). Izoliaciją tarp dviejų siųstuvų (2.1, 2.2) vienos antenos (3.1) sistemoje

galima realizuoti naudojant skirtingas signalų poliarizacijas ar naudojant dažnių filtrus. Esant trijų ir daugiau skirtingų trikdymo signalų (1.1, 1.2, 1.3, ...1.n) sąveikai su netiesiniais elementais (5), išauga generuojamų signalų (6.1, 6.2,...6.n) dažnių $f_{1.1}$, $f_{1.2}$... $f_{1.n}$ skaičius netiesiniuose elementuose (5).

Taikinį (4), tokį kaip nepilotuojamą arba pilotuojamą orlaivį, pasiekusiems dviem ar daugiau skirtingų dažnių $f_{2.1}$, $f_{2.2}$,... $f_{2.n}$ signalams (1.1, 1.2,...1.n), taikinio (4) elektroninės įrangos elementuose (5), dėl jų volt-amperinės charakteristikos netiesiškumo, susigeneruoja skirtuminiai/suminiai ir kombinaciniai signalų (6.1, 6.2,...6.n) dažniai $f_{1.1}$, $f_{1.2}$... $f_{1.n}$. Apspinduliuotoje taikinio (4) elektroninėje įrangoje yra gaunamas platus signalų (6.1, 6.2 ...6.n) spektras, kuris gali sukelti trikdžius įvairiuose dažnių diapazonuose veikiančiai ryšio įrangai. Parinkus spinduliuojamų signalų (1.1, 1.2, ...1.n) dažnius $f_{2.1}$, $f_{2.2}$,... $f_{2.n}$, galime trikdyti ryšio/valdymo įrangą, nespinduliuojant signalų (6.1, 6.2,...6.n), kurių dažnis $f_{1.1}$, $f_{1.2}$,... $f_{1.n}$ atitiktų tos įrangos ryšio/valdymo įrangos veikimo signalų dažnius $f_{1.1}$, $f_{1.2}$... $f_{1.n}$. Naudojant aukštesnio dažnio trikdymo signalus (1.1, 1.2,...1.n), to paties pločio antenų (3.1, 3.2...3.n) kryptingumas bus didesnis nei žemesnių spinduliuojamų dažnių atveju. Tokiu būdu taikiny (4) yra dar geriau išskiriamas erdvėje. Tai papildomai leidžia pagerinti taikinių erdvėje išskyrimą: aplink esantys kiti objektai lieka nepaveikti trikdančia spinduliuote. Tai ypač aktualu GNSS sistemų atveju, nes jas naudoja daug vartotojų ant žemės ir ore, įskaitant reisinius lėktuvus. Naudojant aukštesnį, pavyzdžiui keleto GHz dažnį, galime sukonzcentruoti spinduliavimo energiją į žymiai siauresnį spindulį nei naudodami šimtų MHz eilės dažnius (esant to paties dydžio antenai).

Dviejų ar daugiau trikdymo signalų (1.1, 1.2, ...1.n) dažnių $f_{2.1}$, $f_{2.2}$,... $f_{2.n}$ naudojimas leidžia laisviau parinkti spinduliuojamų trikdančių signalų (1.1, 1.2, ...1.n) dažnius $f_{2.1}$, $f_{2.2}$,... $f_{2.n}$, taip išvengiant svarbių kritinių dažnių, kurių signalų trikdymas aplink taikinį yra nepageidaujamas. Trikdymo signalai (1.1, 1.2,...1.n) yra parenkami pagal papildomų dažnių $f_{1.1}$,... $f_{1.n}$ generavimo netiesinėse grandinėse dėsnius. Gali būti panaudojamas antros ir aukštesnių eilių netiesiškumas.

Parinkant trikdymo signalų dažnius reikia atsižvelgti į šiuos kriterijus:

- Dažniai, kuriuose yra nepageidaujamas spinduliavimas.
- Galimybė realizuoti papildomą erdvinę selekciją naudojant netiesiškumo efektus.

- Dažniai, kuriuose yra pageidaujamas tiesioginis (spinduliuojant dažniais, kuriais veikia elektroninė įranga) trikdymas.
- Dažnių juostos, kuriose yra galimas tiesioginis trikdymas ir trikdymas, naudojant netiesiškumą.
- Dažniai ar dažnių juostos, kuriuose reikia trikdyti.
- Kuo aukštesnės eilės netiesiškumas yra naudojamas – tuo silpnesnis signalas bus generuojamas netiesiniuose elementuose.

Dažnių parinkimo būdas:

Vienu išradimo įgyvendinimo atveju, norint taikinio (4) ryšio/valdymo sistemos elektronikos komponentuose (5) sugeneruoti vieną trikdymo signalą (6.1), kurio dažnis $f_{1.1}$ atitiktų ryšio/valdymo sistemos veikimo signalo dažnį $f_{1.1}$, signalo nuotolinio trikdymo sistemos pirmajame ir antrajame signalų generatoriuose (2.1, 2.2) yra sugeneruojami skirtingų dažnių $f_{2.1}$, $f_{2.2}$ signalai (1.1, 1.2). Tokie signalai (1.1, 1.2) per anteną (3.1) ar antenas (3.1, 3.2,...3.n) yra siunčiami į taikinį (4) ir pasiekia jo ryšio/valdymo sistemos elektronikos komponentus (5) nepakitusio spektro, kur dėl antros ir trečios eilės netiesiškumo efektų yra sugeneruojamos atitinkamai antros arba trečios eilės harmonikos. Žinant norimą nuslopinti elektroninės įrangos veikimo signalo (6.1) dažnį $f_{1.1}$, yra parenkami generatorių (2.1, 2.2) generuojamų signalų (1.1, 1.2) dažniai $f_{2.1}$, $f_{2.2}$.

Harmonikų generavimas taikinio (4) elektronikos įrangoje yra nusakomas formule (7):

$$f_{2.1/2.2} = \frac{f_{1.1}}{m} \quad (7)$$

kur m – yra generuojamos harmonikos eilė. Šiuo atveju $f_{2.1}$ ar $f_{2.2}$ dažniai bus dviem ar daugiau kartų žemesni už $f_{1.1}$, todėl geresnės erdvinės selekcijos nepavyks realizuoti.

Norėdami pasinaudoti antros eilės netiesiškumu, dažnius $f_{1.1}$ ir $f_{2.1}$ pasirenkame taip, kad būtų tenkinama lygtis (8):

$$f_{1.1} = |f_{2.1} \pm f_{2.2}| \quad (8)$$

Suminių $f_{2.1}$ ir $f_{2.2}$ dažnių atvejis reiškia, kad abu šie dažniai bus mažesni už $f_{1.1}$, todėl nepavyktų gauti siauresnio spindulio (geresnės erdvinės selekcijos),

naudojant nustatyto pločio anteną. Geresnės erdvinės selekcijos atvejį atitiktų lygtis (9):

$$f_{1.1} = |f_{2.2} - f_{2.1}| \quad (9)$$

Šiuo atveju $f_{2.1}$ ir $f_{2.2}$ gali būti ženkliai aukštesni už $f_{1.1}$.

Bendruoju atveju, dažniai $f_{2.2}$ ir $f_{2.1}$ gali būti labai įvairūs, tačiau praktikoje gali egzistuoti dažniai, kur pašalinės spinduliuotės spinduliavimas gali būti ypač nepageidautinas, bet dėl nevienareikšmiškos $f_{1.1}$ priklausomybės nuo $f_{2.1}$ ir $f_{2.2}$, yra galimybė išvengti spinduliavimo tuose nepageidaujamuose dažniuose.

Kitu išradimo įgyvendinimo atveju, norint sutrikdyti ryšio/valdymo sistemą, kuri veikia daugiau negu vieno dažnio $f_{1.1}, f_{1.2} \dots f_{1.n}$ signalais, vienas generuojamas trikdymo signalas (1.3) yra tokio pat dažnio $f_{2.1}$, kaip ir vienas iš ryšio/valdymo sistemos veikimo dažnių $f_{1.2}$, t.y. yra tiesioginis trikdymo signalas. Kito spinduliuojamo trikdymo signalo (1.4) dažnis $f_{2.2}$ skiriasi nuo tiesioginio trikdymo signalo (1.3) dažnio $f_{2.1}$ ir nuo bet kurio kito ryšio/valdymo sistemos veikimo dažnio $f_{1.1}, f_{1.2} \dots f_{1.n}$. Minėto kito spinduliuojamo trikdymo signalo (1.4) dažnis $f_{2.2}$ yra parenkamas pagal formulę (10):

$$f_{2.2} = |f_{2.1} \pm f_{1.1}| \quad (10)$$

Sumą ar skirtumą formulėje pasirenkame atsižvelgę į aukščiau minėtus kriterijus – erdvinę selekciją ir dažnių, kuriose trikdymas labai nepageidautinas buvimą.

Aukščiau minėtu atveju, gali iškilti situacija, kai tiesioginis trikdymas $f_{2.1}$ dažniu, pageidaujamas plačiame dažnių diapazone, o $f_{1.1}$ dažnių diapazonas yra siauras. Jei pagal formulę (9) dažnis $f_{2.2}$ bus siaurajuostis (tik nešlys) signalas, o $f_{2.1}$ – plačiauostis, tai $f_{1.1}$ bus toks pat plačiauostis, kaip $f_{2.1}$, o tai gali būti nepageidautina, nes mažės trikdymo efektyvumas. Siekiant išspręsti šią problemą, tiesioginį trikdymą plačiame dažnių diapazone galima įvykdyti greitai keičiant siaurajuosčio signalo $f_{2.1}$ dažnį plačiame dažnių diapazone, taip užtikrinant tiesioginį trikdymą ir kartu sinchroniškai keičiant $f_{2.2}$ dažnį pagal formulę (10). Šiuo atveju $f_{2.2}$ dažnis nekis, bet, priklausomai nuo $f_{2.1}$ ir $f_{2.2}$ dažnių kitimo greičio, plėsis $f_{1.1}$ spektras dėl atsiradusios fazinės moduliacijos. Keičiant $f_{2.1}$ ir $f_{2.2}$ dažnių kitimo greitį galima gauti norimo pločio $f_{1.1}$ spektrą.

Norėdami slopinamą dažnį sugeneruoti pasinaudojant trečios eilės

netiesiškumu galime panaudoti formules (11, 12):

$$f_{1.1} = 2f_{2.1} - f_{2.2} \quad (11)$$

$$f_{1.1} = 2f_{2.2} - f_{2.1} \quad (12)$$

Naudojant tuos pačius principus, kaip antros eilės netiesiškumo atveju – galima išvengti nepageidaujamų trikdyti dažnių ir kartu realizuoti tiesioginį trikdymą.

Kai $f_{2.2} > f_{2.1}$ geriau naudotis formule (11) nes šiuo atveju $f_{1.1}$ bus mažesnis už $f_{2.1}$ ir $f_{2.2}$, todėl galima susiaurinti siunčiamo signalo spindulį.

Naudojant tris skirtingus generatorius ir norint sugeneruoti dažnį kylantį iš antros eilės netiesiškumo, netiesiniuose elementuose sugeneruotas dažnis $f_{1.1}$ gali būti randamas pagal lygtį (13):

$$f_{1.1} = |f_{2.i} \pm f_{2.j}|, \text{ kai } i \neq j \quad (13)$$

Turint omenyje, kad gali būti situacijų, kai elektronikos trukdymui bus naudojami trys generatoriai, tuomet jų generuojami dažniai $f_{2.1}$, $f_{2.2}$ ir $f_{2.3}$ turi tenkinti tokią sąlygą (14):

$$f_{1.1} = f_{2.i} + f_{2.j} \pm f_{2.k}, \text{ kai } i, j \neq k, \quad (14)$$

kur $i, j, k = 1; 2; 3$ yra generatorių (2.1, 2.2, ... 2.n) generuojami dažniai, $f_{1.1}$ yra trijų išorinių dažnių sąlygotas trečios eilės netiesiškumo dažnis.

Kiti išradimo įgyvendinimo pavyzdžiai:

Standartinis orlaivių elektroninės įrangos ir ypatingai komunikacijos įrangos veikimo sutrikdymo ir trikdymo būdas yra siųsti trikdį GNSS ir valdymo sistemos dažniais ir taip blokuoti BPO navigacijos ir valdymo sistemas.

Trikdžių GNSS dažniais siuntimas oro uosto teritorijoje yra visiškai nepriimtinas, nes GNSS sistemomis naudojasi civiliniai lėktuvai. Pagal išradimo įgyvendinimo pavyzdį ir kaip pavaizduota 4 paveiksle, radijo signalų spinduliai (1.5, 1.6), kurių dažniai yra 2 GHz ir 2.4 GHz, yra nukreipiami į orlaivį. Taikinio (4) komunikacijų elektronikos komponentuose (5) susiformuoja signalas (6.3), kurio dažnis blokuoja 400MHz dažnio taikinio (4) valdymo ar telemetrijos dažnį (antros eilės netiesiškumas $2.4 - 2 = 0.4$ GHz). Taip pat yra blokuojamas 1.6 GHz dažnio GNSS signalas (trečios eilės netiesiškumas $2 \times 2 - 2.4 = 1.6$ GHz) ir tiesiogiai blokuojamas 2.4 GHz taikinio (4) valdymo ir telemetrijos diapazonas. Kadangi GNSS signalas

nepinduliuojamas, tokiu būdu yra išvengiama nepageidaujamų GNSS navigacijos sistemos trikdžių keleiviniams lėktuvams ir aplink esantiems vartotojams. Siekiant maksimalaus trikdymo efektyvumo, turėtų būti parenkama atitinkama spinduliuojamų signalų moduliacija.

Kitu išradimo įgyvendinimo atveju, parenkami išorinių signalų (1.7, 1.8) dažniai yra $f_{2.3} = 2.0\text{GHz}$ ir $f_{2.4} = 2.4\text{ GHz}$. Tokiais signalais (1.7, 1.8) paveikus netiesinį elementą (5), jame yra generuojami papildomai $f_{1.3} = 0.4\text{ GHz}$ (antros eilės netiesiškumas) ir $f_{1.4} = 1.6\text{ GHz}$ (trečios eilės netiesiškumas $2 \times 2\text{ GHz} - 2.4\text{ GHz} = 1.6\text{ GHz}$) signalai (6.3, 6.4). 1.6 GHz dažnis apytiksliai yra GNSS sistemų L1 dažnių diapazonas. Tai ypač aktualu GNSS sistemos atveju, nes ją naudoja daug vartotojų ant žemės ir ore, įskaitant reisinius lėktuvus.

Siekiant slopinti Wi-Fi ir GNSS dažnius, yra susiduriame su problema - Wi-Fi diapazonas yra platus – apie 100 MHz, o GNSS – siauras – apie 1 MHz. Naudojant plačiajuostį (tarkim, 100 MHz juostos pločio) 2.4 GHz signalą (1.10) ir monochrominį 2 GHz signalą – susigeneravęs netiesiniuose elementuose atsakas bus plačiajuostis, todėl GNSS trikdymo efektyvumas sumažės. Norint išspręsti šią problemą, 2.4 GHz Wi-Fi diapazono trikdymui reiktų naudoti siaurajuostį, bet kintamo dažnio (kintančio 100 MHz ribose) signalą. Greitai šuoliuojant 100 MHz ribose (*frequency hopping*), galima slopinti signalus visame Wi-Fi diapazone. Pasikeitus vieno iš dviejų signalų dažniui – keisis ir netiesinio atsako dažnis, todėl abiejų signalų dažnius turime keisti sinchroniškai, taip kad gautume reikiamą netiesinio atsako dažnį. Reikiamą GNSS, ar kito trikdomo signalo spektrą galime gauti moduliuojant vieną iš dviejų dažnių, arba (ir) keičiant dažnių kitimo (šuoilavimo) greitį. Kuo didesnis šuoilavimo greitis - tuo platesnis spektras.

Dar kitu išradimo įgyvendinimo atveju, vienas ar daugiau skirtingų dažnių $f_{2.1}, f_{2.2}, \dots, f_{2.n}$ trikdymo signalų (1.1, 1.2, ..., 1.n) yra generuojami ne elektroninės įrangos nuotolinio trikdymo sistemoje, turinčioje vien ar daugiau signalų generatorių (2.1, 2.2), o kitų įrenginių, tokių kaip netoli esančios radijo ar televizijos transliavimo stotys, radarai ir kiti stipraus radijo signalo šaltiniai, signalų generatoriuose (2.3, ..., 2.n), kurių generuojami signalai yra išspinduliuojami per antenas (3.3, ..., 3.n) ir pasiekia taikinį (4). Tokiu atveju, žinant kokio dažnio $f_{2.1}, f_{2.2}, \dots, f_{2.n}$ signalai (1.1, 1.2, ..., 1.n) pasiekia taikinį (4), elektroninės įrangos nuotolinio trikdymo sistemoje, turinčioje vien ar daugiau signalų generatorių (2.1, 2.2), būtų generuojamas vienas arba daugiau papildomų

signalų, kurių dažniai būtų tinkami taikinio (4) elektroninės įrangos elementuose (5), dėl jų volt-amperinės charakteristikos netiesiškumo, susigeneruoti trikdymo dažnių dažniai $f_{1.1}$, $f_{1.2} \dots f_{1.n}$ skirtuminius/suminius ir kombinacinius signalus (6.1, 6.2, ..., 6.n). Trikdymo signalų charakteristikos yra apskaičiuojamos tokiu pačiu būdu kaip nurodyta aukščiau, pagal formules (7)-(14).

Nors išradimo aprašyme buvo išvardinta daugybė charakteristikų ir privalumų, kartu su išradimo struktūrinėmis detalėmis ir požymiais, aprašymas yra pateikiamas kaip pavyzdinis išradimo išpildymas. Gali būti atlikti pakeitimai detalėse, ypatingai medžiagų formoje, dydyje ir išdėstyme nenutolstant nuo išradimo principų, vadovaujantis plačiausiai suprantamomis apibrėžties punktuose naudojamų sąvokų reikšmėmis.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Taikinio (4), turinčio elektroninės įrangos, elektroninės įrangos nuotolinio trikdymo būdas, apimantis daugiau negu vieno signalo (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10 ...1.n) generavimą ir išspinduliavimą per vieną arba daugiau antenų (3.1, 3.2, ...3.n) b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad iš vienos arba daugiau antenų (3.1, 3.2, 3.3 ...3.n) yra išspinduliuojami skirtingų dažnių $f_{2.1}, f_{2.2}, f_{2.3}, f_{2.4}, \dots, f_{2.n}$ signalai (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10 ...1.n), kurie pasiekia taikinį (4) nepakitę ir taikinio (4) elektronikos komponentuose (5) sužadina netiesinius dažnių maišymo procesus, kurie generuoja bent vieną signalą (6.1, 6.2, 6.3, 6.4, ...6.n), kurio dažnis $f_{1.1}, f_{1.2}, f_{1.3}, f_{1.4}, \dots, f_{1.n}$ skiriasi nuo iš vienos arba daugiau antenų išspinduliuotų signalų (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10 ...1.n) dažnių $f_{2.1}, f_{2.2}, f_{2.3}, f_{2.4}, \dots, f_{2.n}$ ir atitinka taikinio (4) elektroninės įrangos veikimo dažnius $f_{1.1}, f_{1.2}, f_{1.3}, f_{1.4}, \dots, f_{1.n}$.

2. Būdas pagal 1 punktą, kur taikinio (4) elektronikos komponentuose (5) yra sužadinama harmonika pagal formulę (7):

$$f_{2.1/2.2} = \frac{f_{1.1}}{m} \quad (7)$$

kur m – yra generuojamos harmonikos eilė, $f_{1.1}$ yra taikinio elektronikos komponentuose (5) sugeneruoto signalo (6.1) dažnis, $f_{2.1}$ ir $f_{2.2}$ - pirmojo ir antrojo išorinio generatoriaus (2.1, 2.2, 2.3) generuojami dažniai.

3. Būdas pagal 2 punktą, kur slopinimo dažnis $f_{1.1}$ yra sugeneruojamas pasinaudojant antros eilės netiesiškumu.

4. Būdas pagal 3 punktą, kur išspinduliuojamų skirtingų dažnių $f_{2.1}, f_{2.2}$ signalai (1.1, 1.2) apima dažnius $f_{2.1}, f_{2.2}$, tenkinančius lygtį (8):

$$f_{1.1} = |f_{2.1} \pm f_{2.2}| \quad (8)$$

kur $f_{1.1}$ yra taikinio elektronikos komponentuose (5) sugeneruoto signalo (6.1) dažnis, $f_{2.1}$ ir $f_{2.2}$ - pirmojo ir antrojo išorinio generatoriaus (2.1, 2.2, 2.3) generuojami dažniai.

5. Būdas pagal 3 punktą, kur išspinduliuojamų skirtingų dažnių $f_{2.1}, f_{2.2}$ signalai (1.1, 1.2) apima dažnius f_2, f_3 , tenkinančius lygtį (9):

$$f_{1.1} = |f_{2.1} - f_{2.2}| \quad (9)$$

kur $f_{1.1}$ yra taikinio elektronikos komponentuose (5) sugeneruoto signalo (6.1)

dažnis, $f_{2.1}$ ir $f_{2.2}$ - pirmojo ir antrojo išorinio generatoriaus (2.1, 2.2, 2.3) generuojami dažniai.

6. Būdas pagal 3 punktą, kur taikinio (4) elektronikos komponentuose (5) sugeneruotas dažnis $f_{1.1}$ gali būti randamas pagal lygtį (13):

$$f_{1.1} = |f_{2.i} \pm f_{2.j}|, \text{ kai } i \neq j \quad (13)$$

o $i, j = 1, 2$, kur $f_{1.1}$ yra taikinio elektronikos komponentuose (5) sugeneruoto signalo (6.1) dažnis, $f_{2.1}$ ir $f_{2.2}$ - pirmojo ir antrojo išorinio generatoriaus (2.1, 2.2, 2.3) generuojami dažniai.

7. Būdas pagal bet kurį vieną iš 1-5 punktų, kur vienas arba daugiau iš išspinduliuotų signalų (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10 ...1.n) dažnių $f_{2.1}, f_{2.2}, f_{2.3}, f_{2.4}, \dots, f_{2.n}$ yra toks pat kaip ir taikinio (4) elektroninės įrangos veikimo dažnis $f_{1.1}$, o du arba daugiau iš išspinduliuotų signalų (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10 ...1.n) dažnių $f_{2.1}, f_{2.2}, f_{2.3}, f_{2.4}, \dots, f_{2.n}$ skiriasi nuo taikinio (4) elektroninės įrangos veikimo dažnio $f_{1.1}, f_{1.2}, f_{1.3}, f_{1.4}, \dots, f_{1.n}$.

8. Būdas pagal 7 punktą, kur vienas iš spinduliuojamų dažnių $f_{2.1}$ yra tiesioginio trikdymo dažnis, o kitas spinduliuojamų dažnis $f_{2.2}$ turi vertes, pagal formulę (10):

$$f_{2.2} = |f_{2.1} \pm f_{1.1}| \quad (10)$$

kur $f_{2.2}$ yra taikinio elektronikos komponentuose (5) sugeneruoto signalo (6.1) dažnis, $f_{2.1}$ yra tiesioginio trikdymo dažnis, sugeneruotas pirmojo išorinio generatoriaus (2.1), $f_{1.1}$ – taikinio elektronikos komponentuose (5) atsirandantis trikdymo dažnis.

9. Būdas pagal 2 punktą, kur slopinimo dažnis $f_{1.1}$ yra sugeneruojamas pasinaudojant trečios eilės netiesiškumu.

10. Būdas pagal 9 punktą, kur išspinduliuojamų skirtingų dažnių $f_{2.1}, f_{2.2}$ signalai (1.1, 1.2) apima dažnius $f_{2.1}, f_{2.2}$, tenkinančius lygtį (11):

$$f_{1.1} = 2f_{2.1} - f_{2.2} \quad (11)$$

kur $f_{1.1}$ yra taikinio elektronikos komponentuose (5) sugeneruoto signalo (6.1) dažnis, $f_{2.1}$ ir $f_{2.2}$ - pirmojo ir antrojo išorinio generatoriaus (2.1, 2.2) generuojami dažniai.

11. Būdas pagal 9 punktą, kur išspinduliuojamų skirtingų dažnių $f_{2.1}, f_{2.2}$ signalai (1.1, 1.2) apima dažnius $f_{2.1}, f_{2.2}$, tenkinančius lygtį (12):

$$f_{1.1} = 2f_{2.2} - f_{2.1} \quad (12)$$

kur $f_{1.1}$ yra taikinio elektronikos komponentuose (5) sugeneruoto signalo (6.1) dažnis, $f_{2.1}$ ir $f_{2.2}$ - pirmojo ir antrojo išorinio generatoriaus (2.1, 2.2) generuojami dažniai.

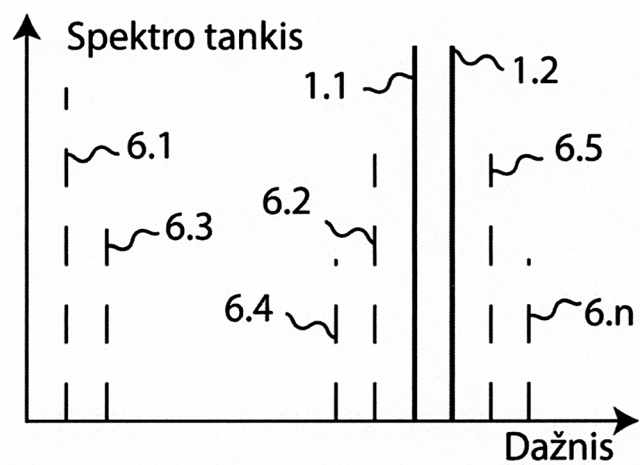
12. Būdas pagal 9 punktą, kur taikinio (4) elektronikos komponentuose (5) sugeneruotas dažnis $f_{1.1}$ gali būti randamas pagal lygtį (14):

$$f_{1.1} = f_{2.i} + f_{2.j} \pm f_{2.k}, \text{ kai } i, j \neq k, \quad (14)$$

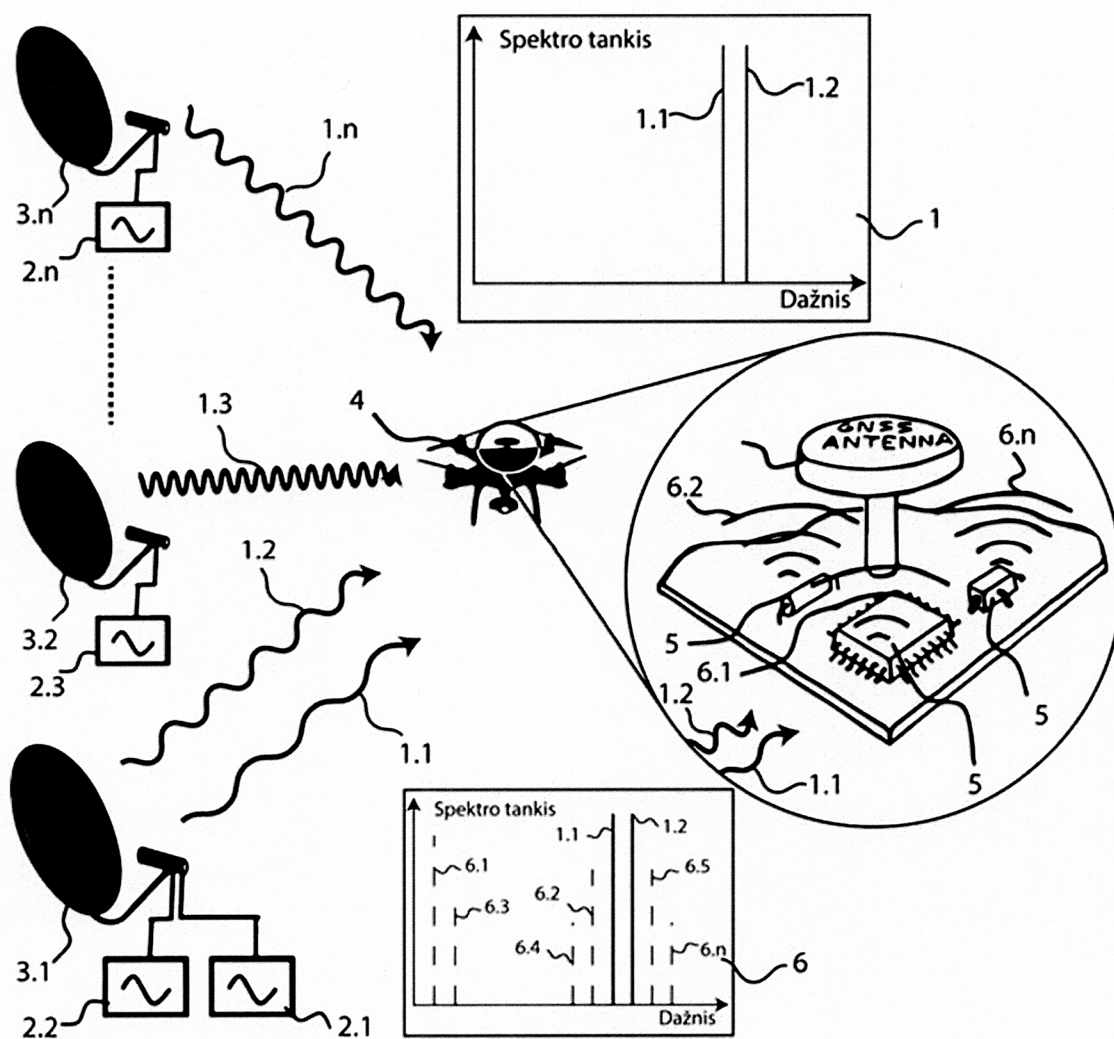
kur $i; j; k = 1; 2; 3$ yra generatorių (2.1, 2.2, 2.3) generuojami dažniai, $f_{1.1}$ yra trijų išorinių dažnių sąlygotas trečios eilės netiesiškumo dažnis.

13. Būdas, pagal bet kurį ankstesnį punktą, kai sugeneruoto signalo netiesiniuose elementuose signalo spektras yra gaunamas dėl fazinės moduliacijos, atsirandančios sinchroniškai, tam tikra sparta keičiant spinduliuojamų signalų dažnius.

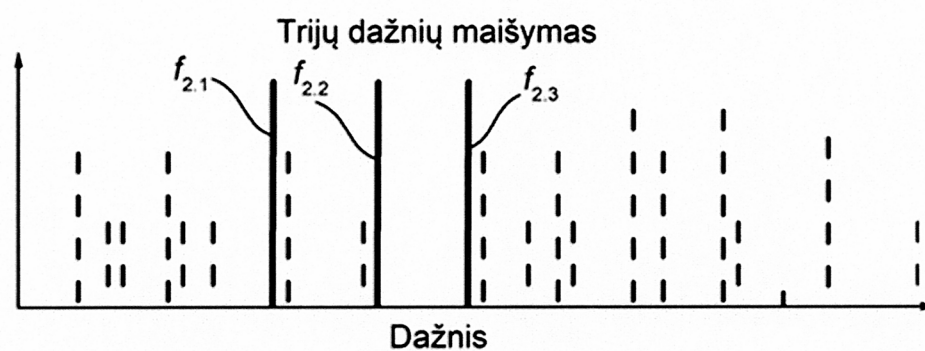
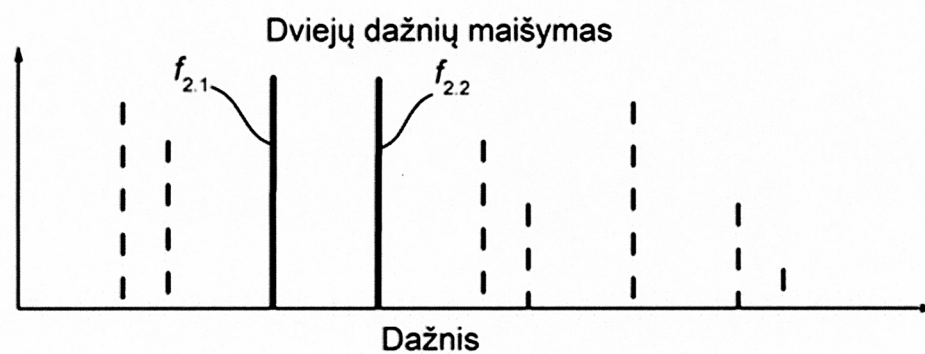
14. Būdas, pagal bet kurį ankstesnį punktą, kai sugeneruoto signalo netiesiniuose elementuose signalo spektras yra gaunamas dėl generatorių (2.1, 2.2, ..., 2.n) generuojamų signalų dažniais $f_{2.1}, f_{2.2}, f_{2.3}, f_{2.4}, \dots, f_{2.n}$ moduliacijos.



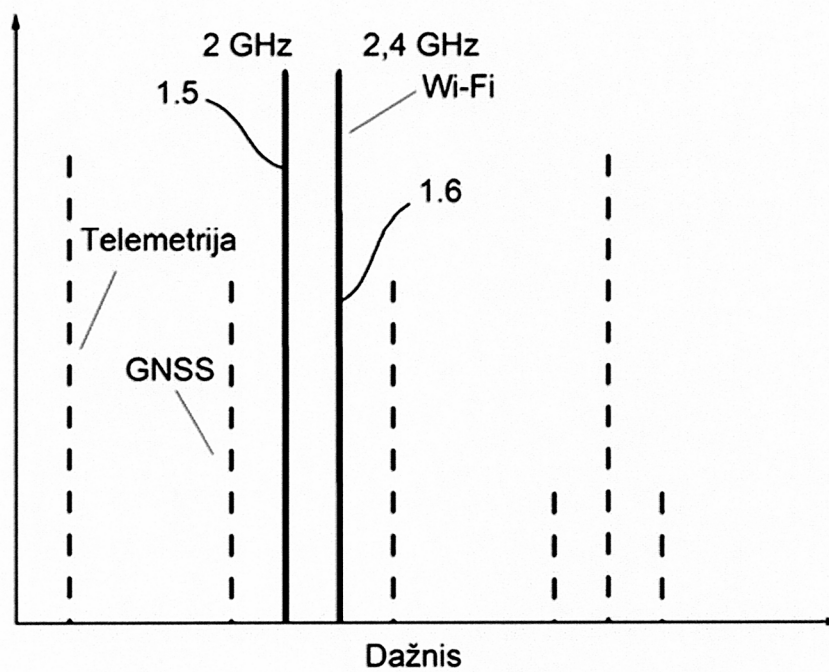
Pav. 1



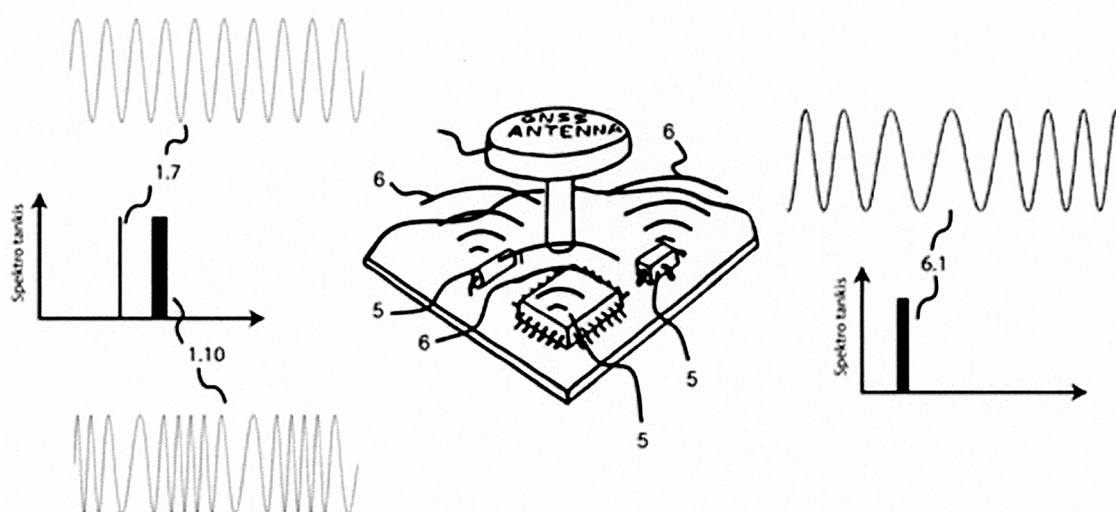
Pav. 2



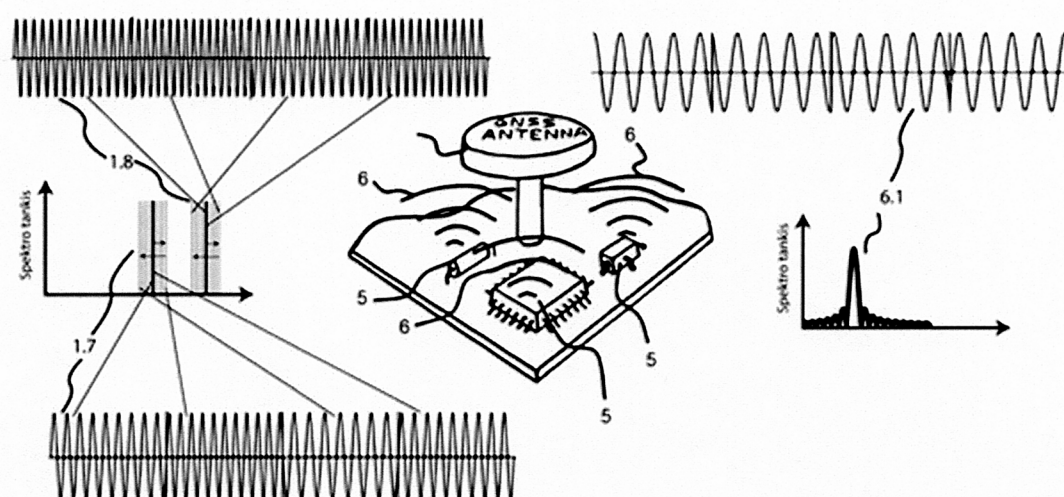
Pav. 3



Pav. 4



Pav. 5



Pav. 6