

Darbības programma: “Uzņēmējdarbība un inovācijas”
Prioritātes numurs un nosaukums: 2.1. “Zinātne un inovācijas”
Pasākuma numurs un nosaukums: 2.1.1. “Zinātne, pētniecība un attīstība”
Aktivitātes numurs un nosaukums: 2.1.1.1. aktivitāte "Atbalsts zinātnei un pētniecībai"

PROJEKTS Nr.2014/0052/2DP/2.1.1.1.0/14/APIA/VIAA/031

Projekta nosaukums: ”Tehnoloģija nanoimpulsu kiberfizikālas sistēmas izveidei zemes virsējo slāņu neinvazīvai apsekošanai” (NanoKS)

Līguma noslēgšanas datums: 26.09.2014.g.

Projekta sākuma datums: 26.09.2014.g.

Projekta beigu datums: 31.08.2015.g.

Eiropas Reģionālās attīstības fonda finansējuma saņēmējs:
Elektronikas un datorzinātņu institūts (EDI)

ZINĀTNISKĀ PĒTĪJUMA PROGRESU APLIECINOŠĀ DOKUMENTĀCIJA

Pārskata numurs Nr.1. par periodu no 26.09.2014.g līdz 30.11.2014.g.

Projekta zinātniskais vadītājs: Rolands Šāvelis, Dr.sc.ing., pētnieks.

Projekta izpildītāju saraksts: Vad.pētn. Dr.habil.sc.comp. Evalds Hermanis
Pētn. Dr.sc.ing. Vladimirs Aristovs
Pētn. Dr.phys. Ivars Driķis
Pētn. Dr.sc.ing. Oļegs Ņikišins
Pētn. Gatis Šūpols
Zin.asist. Rūdolfs Cīrulis
Zin.asist. Mārtiņš Liepiņš
Zin.asist. Aivars Ševerdaks

Anotācija

NanoKS ir Eiropas Reģionālās attīstības fonda līdzfinansēts projekts zinātnei un pētniecībai. Projekta vispārīgais mērķis ir sekmēt zinātnes un ražošanas integrāciju un pētniecības rezultātu komercializāciju atbilstoši valstī noteiktajām prioritārajām tautsaimniecības nozarēm un prioritārajiem zinātnes virzieniem. Projekta ietvaros plānots izstrādāt jaunu inovatīvu tehnoloģiju, kas padarītu zemes virsējo slāņu radiozondēšanas metodi (tehnoloģiju) plašāk pieejamu un pielietojamu, pateicoties kombinētai vairāku devēju datu ieguvei, izmantojot komparatora tipa pārveidotāju, un iegūto rezultātu uzlabotai vizualizācijai un interpretācijai.

Projekts ietver sekojošas aktivitātes: 1) rūpnieciskais pētījums; 2) rūpnieciskā pētījuma tiesību nostiprināšana; 3) projekta vadība un publicitāte.

Projekts tiek īstenots sadarbībā starp Elektronikas un datorzinātņu institūtu un SIA „Infoserv-Rīga”.

Īstenošanas ilgums – 12 mēneši.

Šajā dokumentā dots pārskats par projekta pirmajā periodā (26.09.2014.-30.11.2014.) veiktajiem pētniecības darbiem un šobrīd sasniegtajiem rezultātiem.

Ievads

Zemes virsējo slāņu (līdz 10 m) un apakšzemes objektu neinvazīvai apsekošanai izmanto radiolokācijas metodes, kurai pamatā ir impulsveida elektromagnētiskā viļņa izstarošana zemē un zemes radītā atstarojuma uztveršana un pētīšana. Iekārtas, ar kurām veic šos mērījumus, sauc par zemes zondēšanas radariem jeb GPR (no angļu valodas – Ground Penetrating Radar). Šo radiolokācijas metodes var izmantot zemē esošo resursu apzināšanai (piemēram, kūdras, kaļķakmens un grants atradņu lokācijai un daudzuma analīzei), kā arī būvniecībā būvkonstrukciju un ceļu stāvokļa apsekošanai, apakšzemes energotīklu (gāzes, ūdens vadu) un komunikāciju tīklu precīzai kartēšanai un stāvokļa apsekošanai u.c.

Problēma, kas līdz šim ir kavējusi tehnoloģijas plašu izmantošanu ir tehnoloģijas sarežģītība, kas liedz nespeciālistam saprotamā veidā veikt kvalitatīvus mērījumus un mērījumu rezultātā iegūto datu apstrādi un interpretāciju. Problēmas risināšanai projekta ietvaros plānots izstrādāt jaunu tehnoloģiju zemes virsējo slāņu neinvazīvai apsekošanai, kas izmantos nanosekunžu un subnanosekunžu impulsu raidītājus objektu izšķirtspējai līdz 10 cm. Lai nodrošinātu apsekošanas dziļumu līdz 2 m, tiks kombinētas antenas ar šauru virziendarbību un platu virziendarbību, kā arī tiks veikta gan kontakta (piemērota dziļāku objektu apsekošanai), gan bezkontakta mērīšana un izstrādāta metodika optimālā risinājuma iegūšanai. Lai mērījumos iegūtos datus padarītu vieglāk interpretējamus, tiks izstrādāti atbilstošie signālapstrādes algoritmi un izmantots kiberfizikālās sistēmas modelis no fizikālās pasaules iegūtās informācijas sasaistei ar datorsimulāciju rezultātā iegūtajiem vides modeļiem.

Šajā projekta pārskata posmā ir veikti darbi un sasniegti rezultāti aktivitātes „Rūpnieciskie pētījumi” sekojošos pētījumos:

- datu apstrāde (pētījumi Nr.1);
- vides kiberfizikālās sistēmas modeļa izveide (pētījumi Nr.2);
- raiduztvērēju moduļu izveide (pētījumi Nr.3);
- datu pārraides arhitektūras un datu glabāšana (pētījumi Nr.4).

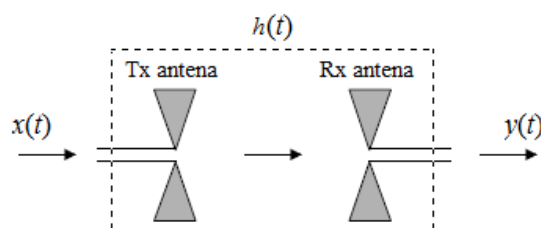
Rezultātu kopsavilkums

Pētījumi Nr.1. Ar radiolokācijas metodi iegūto zemes virsējo slāņu zondēšanas datu apstrādes algoritmu izpēte, lai apstrādātu dažādos reālos apstākļos iegūtus zemes virsējo slāņu lokācijas datus (attēlus).

Pārskata periodā veikti sekojoši darbi saistībā ar ģeolokācijas radaru (GPR) signālu apstrādi:

- veikta literatūras analīze par mērījumu veikšanu, datu interpretāciju un signālapstrādes metodēm GPR tematikā (signālu filtrācija, dekonvolūcija, datu migrācija u.c.);
- izstrādāts algoritms antenu izstarotā UWB signāla optimizēšanai, summējot divus vai vairākus laikā nobīdītus antenu ierosmes impulsus;
- ar Vīnera dekonvolūcijas metodi iegūta antenu impulsa reakcija;
- veikta eksperimentāli iegūto datu apstrāde ledus biezuma noteikšanai.

Signālu dekonvolūciju izmanto, lai noteiktu sistēmas impulsa reakciju $h(t)$, zinot sistēmas ieejas un izejas signālus $x(t)$ un $y(t)$ (1.1. att.).



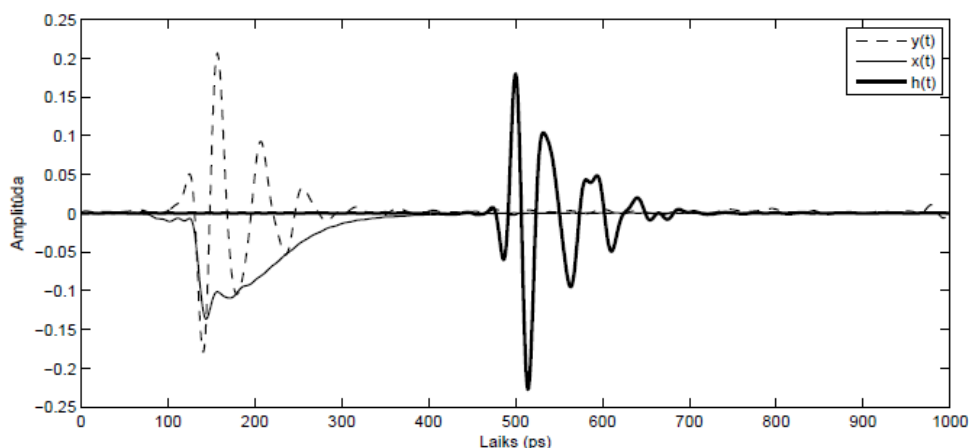
1.1. att. Raidošās un uztverošās antenas kopējā impulsa reakcija $h(t)$

Tā kā uztvertais signāls $y(t)$ satur arī troksni $n(t)$, kas nāk no apkārtējās vides un nav atkarīgs no ieejas signāla $x(t)$, tad $y(t)$ apraksta izteiksme $y(t) = x(t) * h(t) + n(t)$. Dekonvolūcijas uzdevums šajā gadījumā ir, zinot $x(t)$, $y(t)$ un trokšņa $n(t)$ parametrus, atrast funkciju $g(t)$ tā, lai iegūtā impulsa reakcija $\hat{h}(t) = y(t) * g(t)$ pēc iespējas precīzāk atbilstu patiesajai funkcijai $h(t)$. Risinot šo uzdevumu pēc mazāko kvadrātu metodes, iegūst $g(t)$ izteiksmi frekvenču apgabalā

$$G(f) = \frac{1}{X(f)} \left[\frac{|X(f)|^2}{|X(f)|^2 + 1/\text{SNR}(f)} \right],$$

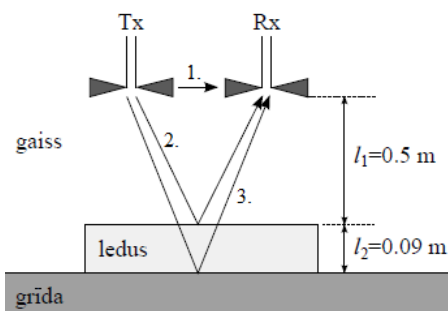
kas sakrīt ar Vīnera dekompozīcijas filtra pārvades funkciju. Lielums $\text{SNR}(f)$ apzīmē signāla-trokšņa attiecību, kas atkarībā no frekvences maina filtra pārvades koeficienta $G(f)$ vērtību.

Vīnera dekompozīcijas metode tika pielietota, lai noteiktu izveidoto antenu moduļu kopējo impulsa reakciju. Iegūtie rezultāti parādīti 1.2. attēlā. Zinot šo funkciju, ir iespējams noteikt, kā atkarībā no antenu ierosmes impulsa $x(t)$ mainīsies uztvertais signāls $y(t)$, kas ir svarīgi pie noteiktu formu $x(t)$ un $y(t)$ sintēzes.

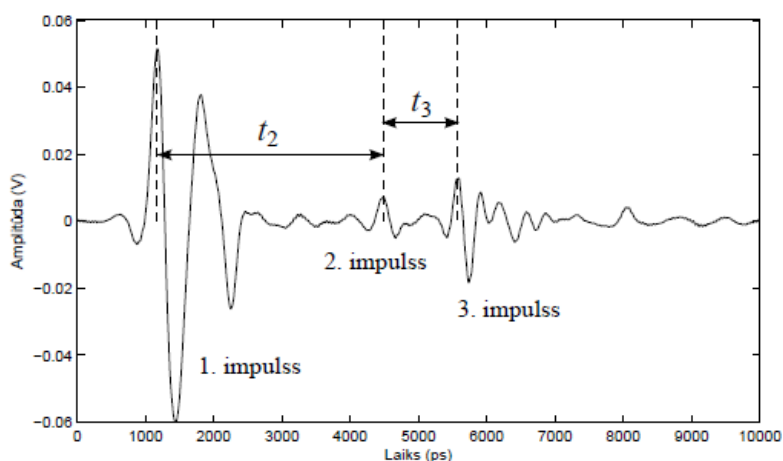


1.2. att. Raidošās antenas ierosmes impulss $x(t)$, uztverošās antenas uztvertais signāls $y(t)$ un no $x(t)$ un $y(t)$ atrastā antenu impulsa reakcija $h(t)$ (uzskatāmībai impulsa reakcija ir attēlota ar nobīdi pa laika asi)

Pēc ierosmes impulsu formētāja un antenu moduļu izveides tika veikti eksperimenti ledus biezuma noteikšanai no antenu raidītā un uztvertā signāla (1.3. attēls). Mērījumu rezultātā iegūtais signāls parādīts 1.4. attēlā.



1.3. att. Eksperimenta ilustrācija ledus biezuma l_2 noteikšanai (1. – tiešais vilnis, 2. – no ledus virsmas atstarotais vilnis, 3. – no grīdas atstarotais vilnis)



1.4. att. Eksperimentā uztvertais signāls

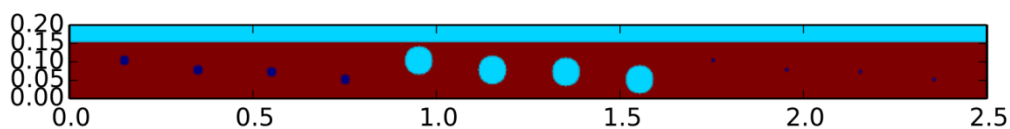
Pirmais impulss laika intervālā no 1000 līdz 2500 ps ir tiešais signāls, kas uztverošajā antenā nonāk pa gaisu. Otrais impulss rodas, signālam atstarojoties no robežvirsmas gaiss-ledus. Savukārt trešais impulss atbilst signāla atstarojumam no robežvirsmas

ledus-grīda. Nosakot impulsu maksimumu laika pozīcijas un zinot ledus dielektrisko caurlaidību $\varepsilon_{ledum} = 4$, tika noteikts attālums no ledus līdz antenām $l_1 = \frac{ct_2}{2} = 0.497$ m un ledus biezums $l_2 = \frac{ct_3}{2\sqrt{\varepsilon_{ledum}}} = 0.087$ m, kas labi sakrīta ar eksperimenta datiem. No 1.4. attēla arī redzams, ka trešā impulsa amplitūda ir lielāka nekā otrajam impulsam, kas skaidrojams ar to, ka ledus virsma bija nedaudz izliekta, rezultātā daļa no izstarotā viļņa enerģijas tika safokusēta un pēc atstarošanās no grīdas nonāca atpakaļ uztverošajā antenā.

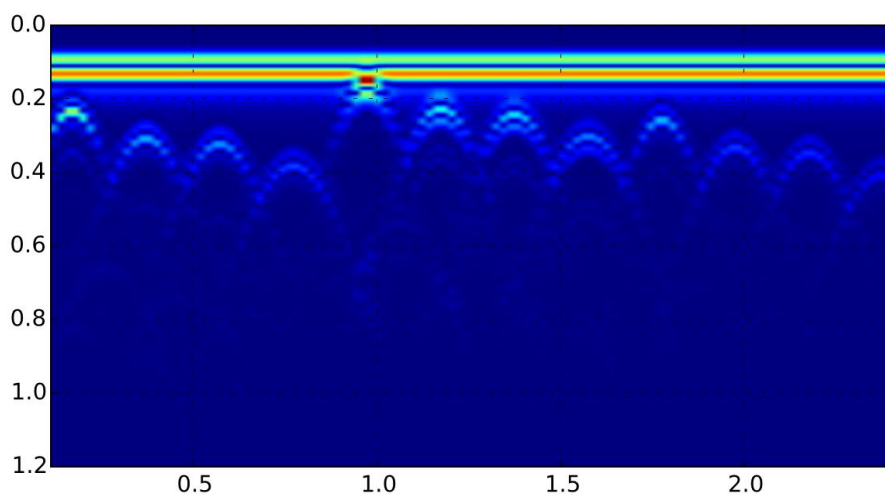
Pētījumi Nr.2. Vides kiberfizikālās sistēmas modeļa izveide.

Pārskata periodā veikti sekojoši darbi saistībā ar vides kiberfizikālās sistēmas modeļa izveidi:

- Veikta publikāciju un rakstu meklēšana par zemes virsslāņu neinvazīvām apsekošanas datorsimulāciju metodēm.
- Veikta iepazīšanās ar COMSOL Multiphysics® programmatūru.
- Modelēta radioviļņu izplatīšanās zemes virsslāņos ar COMSOL Multiphysics® programmatūru.
- Iepazīšanās ar gprMax radioviļņu izplatīšanās simulācijas programmatūru.
- Radioviļņu izplatīšanās zemes virsslāņos modelēšana ar gprMax programmatūru.
- Programmas izveide Python vidē gprMax programmatūras aprēķinu rezultātu pēcapstrādei.



2.1. att. gprMax2D programmas vides modeļa attēlojums



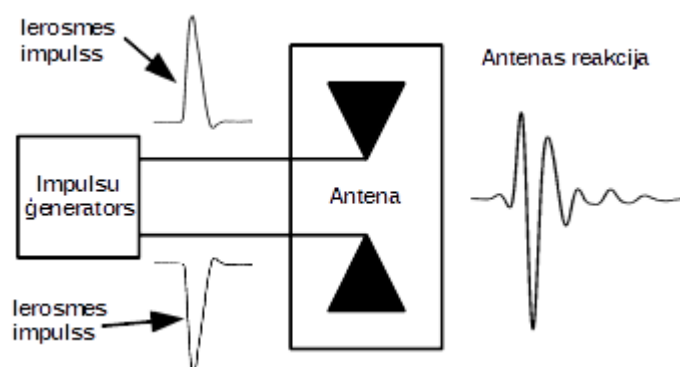
2.2. att. gprMax2D programmas vides modeļa datora simulācijas rezultāts

Pētījumi Nr.3. Raiduztvērēju moduļu izveide un uzlabošana.

Pārskata periodā veikti sekojoši darbi antenu moduļu izveidošanai un uzlabošanai:

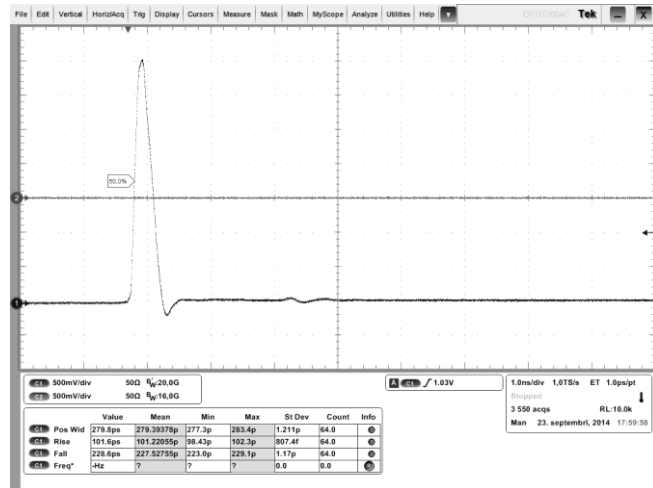
- Iepazīšanās ar pieejamiem materiāliem par antenu ierosmes impulsu ģeneratoru realizācijas veidiem.
- Izveidoti antenu ierosmes impulsu ģeneratori, antenu testu mērījumu vajadzībām.
- Veikta antenu ierosmes impulsu ģeneratoru parametru uzlabošanas iespēju izpēte.
- Veikta zinātnisko rakstu analīze par izmantoto antenu veidiem plašā frekvenču diapazonā.
- Veikti eksperimenti ar antenu moduļu izstarotajiem un uztvertajiem signāliem tukšā telpā.
- Pētīts metālisku objektu klātbūtnes iespaids, antenu moduļu tuvajā darbības zonā.
- Izstrādāti optimālie reflektori antenu moduļiem.
- Salīdzināta antenu moduļu darbība, ja tos slogo ar rezistīviem elementiem.
- Veikti pētījumi par izstaroto un uztverto elektromagnētisko impulsu formas izmaiņām atkarībā no izmantotā ierosmes signāla.
- Pārbaudīta antenu moduļu slogošana ar magnētiskajiem materiāliem, tos ievietojot antenu moduļu tuvajā darbības zonā.

Atkarībā no tehnoloģijas specifiskiem pielietojumiem ir nepieciešams izveidot konkrētam pielietojumam atbilstošus raiduztvērēju moduļus. Raidītāja moduļi sastāv no antenas ierosmes impulsu ģeneratora un antenas (3.1. attēls).



3.1. att. Antenas triecienierosmes radio impulsu ieguves metode

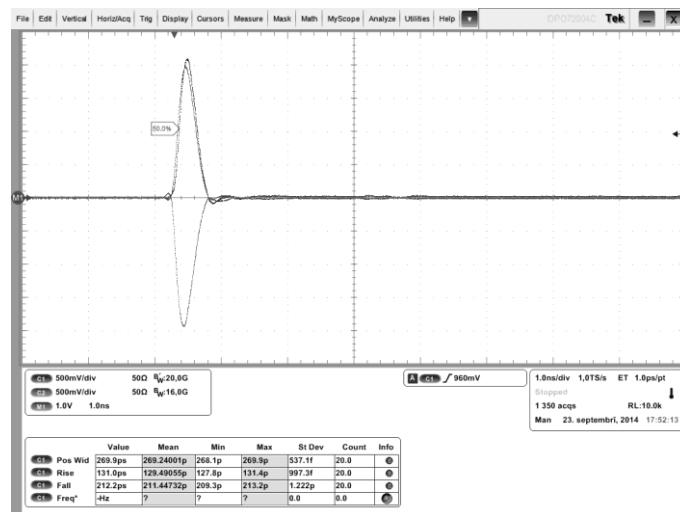
Tika izveidots nesimetriskas antenas ierosmes impulsa ģenerators ar sekojošiem parametriem: Impulsa augošā fronte: 101 ps. Krītošā fronte: 228ps. Impulsa pīķa vērtība = 3.5V (3.2. attēls).



3.2. att. Antenas ierosmes impulss

Simetrisku antenu ierosmei tika izveidots diferenciālu impulsu ģenerators ar sekojošiem parametriem (3.3. attēls):

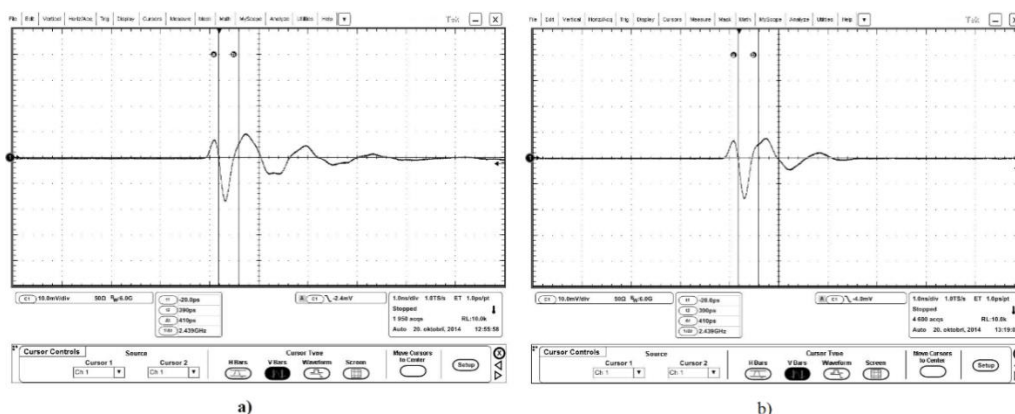
- Pozitīvam impulsam: Augošā fronte = 131ps. Krītošā fronte = 212ps. Impulsa pīķa vērtība = 2.1V;
- Negatīvam impulsam: Krītošā fronte = 113ps. Augošā fronte = 223ps. Impulsa pīķa vērtība = 2V.



3.3. att. Diferenciālas antenas ierosmes impulsi

Antenu moduļu precīzai noskaņošanai un pārbaudei, nepieciešams veikt eksperimentus, kur antenu moduļu darbību neietekmētu apkārtējie objekti. Izstarotie nanoimpulsi uztverošajā antenu modulī var nonākt pa dažādiem izplatīšanās ceļiem, līdz ar to uztvertais signāls var būt kā superpozīcija no vairāku izstarotu nanoimpulsu summas. Jāņem vērā arī augstfrekvences nanoimpulsu izplatīšanās īpatnības koaksiālajos kabeļos, kas nesniedz pilnīgu ekranēšanu un rada papildus izplatīšanos ceļu līdz uztverošajam antenu modulim. Precīza eksperimenta veikšana ir būtiska pareizu rezultātu iegūšanai. Lai palielinātu antenu moduļu lietderību, ierobežotu to virziendarbības diagrammu un ekranētu no ārējiem elektromagnētiskajiem avotiem, tika veikti pētījumi par optimālu reflektoru izmantošanu.

Izstarotais elektromagnētiskais impulss atstarojas no reflektora un summējas ar laikā nobīdītu izstaroto impulsu. Tādā veidā reālais izstarotais impulss ir superpozīcija no tiešā izstarotā impulsa un atstarotā. Atkarībā no reflektora formas un novietojuma, summēšanās rezultātā izstarotais elektromagnētiskais nanoimpulss var tikt izkropļots, pastiprināts vai vājināts, tādēļ nepieciešams atrast optimālo risinājumu. Izstaroto nanoimpulsu formu lielā mērā nosaka izmantoto antenu moduļu parametri. Lai paaugstinātu impulsu zondēšanas izšķirtspēju, nepieciešams panākt pēc iespējas īsākus izstarotos impulsus. Ideālajā gadījumā tas būtu viena sinusoidāla monosvārstība. Antenu moduļi tiek ierosināti no impulsu formētāja shēmas, taču antenu moduļi pēc ierosmes impulsa procesu beidz ar rimstošām pašsvārstībām. Tā kā no pašsvārstībām nav iespējams pilnībā atbrīvoties, ja antenu moduļus nedarbina uzspiestu svārstību režīmā, tad nepieciešams pašsvārstības maksimāli vājināt. To iespējams panākt ieviešot antenu moduļos papildus rezistīvus zudumus, kas samazina antenu moduļu labumu un nospiež rezonanses pīķus amplitūdu frekvenču raksturlīknē. Izstarotā nanoimpulsa formas izmaiņas pie dažādām slodzes vērtībām. Tika veikti eksperimenti, kuru nolūks bija praktiski noteikt optimālo pretestību, kas efektīvi nospiež pašsvārstības, bet maz vājinātu izstaroto impulsu. 3.4. attēlā parādīts eksperimentāli iegūtie uztvertie impulsi no antenu moduļu sistēmas, ja netiek izmantota sloģošana a) un ja antenas tiek sloģotas ar 200 Ω aktīvo pretestību b).



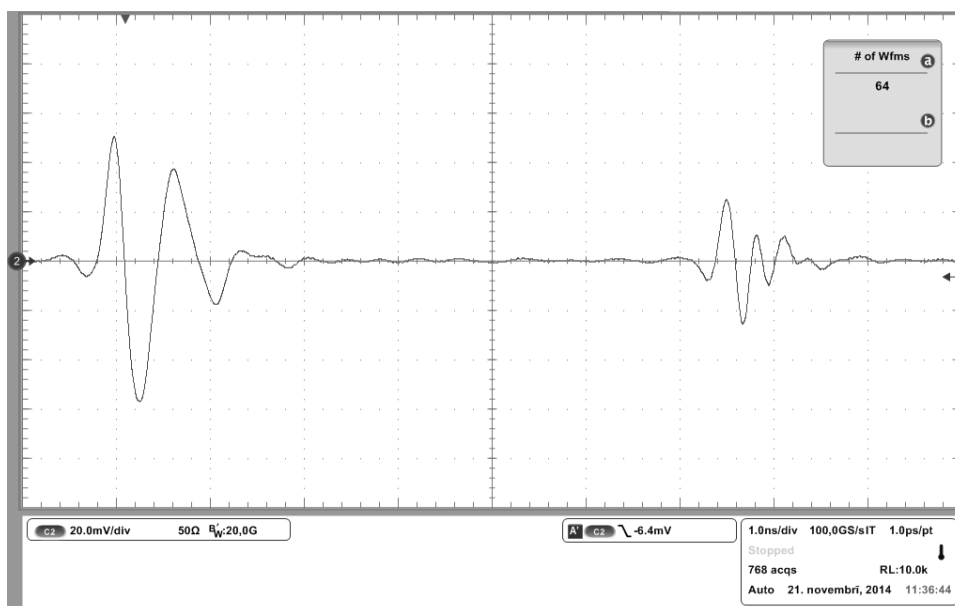
3.4. att. Izstarotā nanoimpulsa formas izmaiņas pie dažādām slodzes vērtībām.

Optimālā pretestības vērtība tika mēģināta novērtēt arī no reflektometrijas ainām. Taču no reflektometrijas ainām nebija iespējams iegūt viennozīmīgi interpretējamus rezultātus, kuri noteiktu izmantoto sloģošanas optimumu.

Rezistīva sloģošana priekš frekvenču apgabala virs 1 GHz izrādījās neefektīva, jo pārāk lielu iespaidu radīja rezistīvo elementu pievadu parazitiskie parametri. Tas nozīmē, ka nepieciešams sloģošanu veikt ar materiālu, kam pretestība vienmērīgi izkliedēta pa visu tilpumu. Lai izvairītos no šādu materiālu izgatavošanas, tika pārbaudīta iespēja zudumus antenu moduļos ievest citādā veidā. Kā viena no pētāmajām iespējām bija materiālu, ar augstiem magnētiskajiem zudumiem, ievietošana antenu moduļu tuvajā darbības zonā. Magnētiskie zudumi kalpo līdzīgi kā aktīvie zudumi, nospiežot antenu moduļu pašsvārstības.

Kā materiāls, ar augstiem magnētiskajiem zudumiem, tika izmantoti ferrīta gredzeni. Iegūtais izstarotā un uztvertā elektromagnētiskā nanoimpulsa piemērs redzams 3.5.

attēlā. Uzņemtajā oscilogrammā redzams iegūtais signāls, kurš izstarots no raidošā antenu moduļa, atstarots no metāliskas plāksnes un uztverts ar uztverošās antenas moduli. Papildus tam sākumdaļā redzams, ka daļa no enerģijas nonāk uztverošās antenas modulī pa īsāko ceļu no raidošās antenas moduļa.



3.5. att. Iegūtais atstarotais nanoimpulss ar antenu moduļiem, kuri slogoti ar magnētisku materiālu.

Pētījumi Nr.4. Datu pārraides arhitektūras (topoloģijas, protokoli) un datu glabāšanas (datu bāzes), attālinātas vadības risinājumu izveide.

- Veikta iepazīšanās ar zemes virsējo slāņu zondēšanas iekārtu datu pārraides topoloģijas veidiem.
- Pētītas Gredzenveida, zvaigznes un datu kopnes topoloģiju izmantošanas iespējas.
- Veikta iepazīšanās ar zemes virsējo slāņu zondēšanas iekārtu datu pārraides protokolu veidiem.
- Veikta zemes virsējo kārtu apsekošanas iekārtām piemērotu vadu datu pārraides protokolu izpēte.
- Veikta iepazīšanās ar zemes virsējo slāņu zondēšanas iekārtu datu glabāšanas veidiem un datu formātiem.