

Antennien miniatyrisointi

Mikroliuska-antenneja on perinteisesti miniatyrisoitu kasvattamalla substraattimateriaalin eristevakiota. Antennin hyötysuhde heikkenee kuitenkin substraattiin syntyvien pinta-aaltojen vaikutuksesta. Käyttämällä EBG-antennirakenteita voidaan pinta-aaltojen eteneminen estää ja parantaa hyötysuhdetta.

Pasi Raunonen, Mikko Keskilampi, Lauri Sydänheimo ja Markku Kivikoksi

EBG-rakenteet (Electromagnetic Band Gap, sähkömagneettinen kaistanleveys) ovat jaksollisia rakenteita ja niillä on erityisominaisuuksia, joita luonnosta löytyvillä materiaaleilla ei ole. Niillä voidaan hallita sähkömagneettisten aaltojen etenemistä ja käyttäytymistä monin eri tavoin.

Erään määritelmän mukaan EBG-rakenteissa on tasa-aineeseen alustaan säännöllisin välein istutettu materiaalia, jolla on eri permittiivisyys kuin alustalla. Materiaali-implanttien koko on verrannollinen toimintataajuuden aallonpituuteen. Implantit ovat yleensä dielektrisiä tai metallisia, mutta ne voivat olla myös magneetto-dielektrisiä, ferromagneettisia tai aktiivisia.

Jaksollisilla rakenteilla tarkoitetaan sitä, että niissä toistuu sama rakenne yhdessä, kahdessa tai kolmessa suunnassa. Voidaan puhua 1-D, 2-D ja 3-D EBG-rakenteesta tai -hilasta. Jaksollisuuden mitta on yleensä noin aallonpituuden puolikkaan kertaluokkaa, mutta erityisrakenteilla ja materiaaleilla, kuten metallidielektrisillä rakenteilla, tätä mitta voidaan reilusti lyhentää. Esimerkkinä tällaisesta rakenteesta on korkeaimpedanssinen niin sanottu Sievenpiper-pinta.

Rakenteen ominaisuudet EBG-rakenteiden tärkein ominaisuus on niiden kyky estää sähkömagneettisten aaltojen etenemisen rakenteessaan tietyllä taajuuskaistalla. Tähän taajuuskaistaan, jossa aaltojen eteneminen on estetty, viittaa myös termi band gap. Rakenteen kyky estää aaltojen etenemisen eri suuntiin ja eri polarisaatioilla riippuu tietysti rakenteesta itsestään, mutta erityisesti sen dimensiosta.

Yksiuotteiset EBG-rakenteet voivat estää aallon etenemisen vain yhdessä suunnassa, kaksiuotteisilla rakenteilla on mahdollista estää eteneminen tasossa kaikilla polarisaatioilla. Hyvin suunnitellulla kolmiuotteisella rakenteella voidaan estää aaltojen eteneminen kaikkiin suuntiin ja kaikilla polarisaatioilla.

EBG-rakenteen band gap voidaan määrittää tarkalleen laskeamalla rakenteen dispersiodiagrammi. Se kertoo eri aaltovektoreiden sallitut taajuudet. Siitä voidaan suoraan nähdä taajuuskaista, jolla yksikään aaltovektori ei ole sallittu, ja siten aallon eteneminen mahdotonta.



EBG-rakenteilla voidaan myös hallita taso-aallon vaiheen muutosta, sen heijastuessa rakenteen pinnalta. Kun taso-aalto heijastuu EBG-rakenteen pinnalta, sen vaihe voi muuttua miten tahansa, mutta voi olla myös muuttumatta. Tämä samassa vaiheessa pysyminen on tärkeä ominaisuus, joka tekee EBG-rakenteista hyviä maatasoja monille antenniratkaisuille. Se mahdollistaa hyvin matalaprofiiliset antenniratkaisut, eli tietyissä tilanteissa antenni voidaan tuoda hyvin lähelle maatasoa.

EBG-rakenteet toimivat käytännössä mikro- ja millimetriaaltoalueelta aina optisiin taajuuksiin saakka. Suuremmilla taajuuksilla ongelmaksi tulee rakenteiden pieni koko, koska rakenteen periodisuus on aallonpituuden puolikkaan kertaluokkaa. Itse asiassa myös optisilla taajuuksilla EBG-rakenteiden teko on hyvin vaikeaa. Pienemmällä taajuuksilla ongelmana on taas rakenteiden suuri koko.

Sievenpiper-pinta

Monet EBG-rakenteiden soveluksista perustuvat Sievenpiper-pinnan käyttämiseen. Tämä korkeaimpedanssinen sähkömagneettinen pinta koostuu metallisista elementeistä, tilkuista, jotka muodostavat jaksollisen kaksiuotteisen rakenteen. Tilkut on oikosuljettu substraatin toisella puolella olevaan metallitasoon.

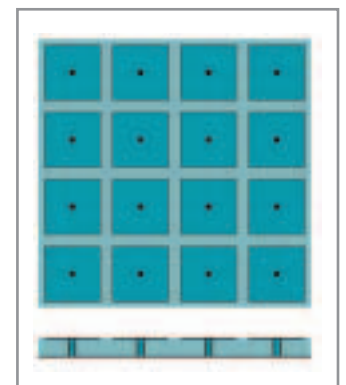
Yleensä pinnassa käytettävät elementit ovat muodoltaan neliöitä tai kuusikulmioita, mutta niiden muoto voi olla mitä tahansa, millä saadaan aikaan pinnan toistuva kuviointi. Rakenteesta voidaan helposti tehdä myös mo-

nikerroksinen. Elementtien mitat riippuvat eristeen paksuudesta, dielektrisyysvakioista, elementtien välisestä etäisyydestä sekä tietysti toimintataajuudesta.

Sievenpiper-pintaa voi mallintaa yksinkertaisen resonaattorimallin avulla, jossa on kapasitanssi ja induktanssi rinnankytkettynä. Mallilla kuvataan rakenteen korkeaa pintaimpedanssia. Sillä voidaan laskea myös rakenteen resonanssitaajuus ja kaistanleveys (band gap). Mallissa kapasitanssi syntyy elementtien läheisyydestä ja induktanssi rakenteen virtasilmukoista.

Tasomaiset antennit

Substraattilevyllä rakennettujen tasomaisien antennien, esimerkiksi dipoli tai solmuke, ongelma on antennin substraattiin säteilemä teho. Tämä teho on moninkertainen ilmaan säteileeseen tehoon, jos käytetään korkean eristevakio omaavaa alustaa. Toinen ongelma on teho, joka säteilee



Sievenpiper-pinnan rakenne.

The structure of Sievenpiper surface.



Antennas with EBG structures

The research project will develop methods and models for the size reduction (miniaturization) of RFID readers' antennas and antenna arrays. The objective is the reduction in size of RFID readers, which enables the implementation of operational hand-held devices.

In antenna miniaturization, improved EBG solutions are studied in both rigid planar models and flexible 3D models. The integration of the RF part is studied by methods, which also enable the integration of the RF part with the antenna element when using adaptive antenna arrays. The model developed in the research work can also be scaled for other applications with the beam control of a miniaturized antenna array, e.g. in 4G communicators.

The topic is studied in MiniRFID project, part of the ELMO program of the National Technology Agency of Finland (TEKES). Participants are the Tampere University of Technology (research), Hollming Elektroniikka, Oras and Comprog (industry).

The writers of the article work in the Department of Electronics and Rauma Research Unit at the Tampere University of Technology. The contact person for this project is Mikko Keskilampi (mikko.keskilampi@tut.fi).

substraattiin kulmalla, jolla se jää loukkuun sen sisälle. Tämä loukkuun jäänyt teho muodostaa substraattimoodeja.

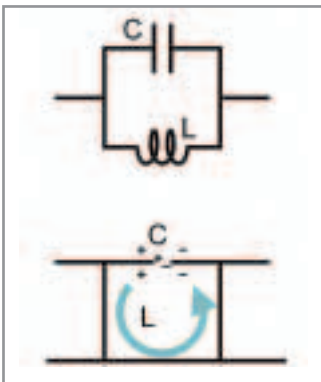
Kolmanneksi antennit säteilevät pinta-aaltoja, jotka etenevät substraatin ja ilman rajapinnalla ja säteilevät substraatin reunoilta ja suurentavat näin sivu- ja takakeiloja antennin suuntakuviassa. Lisäksi substraattimoodit ovat poissa hyötykäytöstä. Substraatin epäideaalisuudesta johtuen substraattimoodit ja pinta-aallot muuttuvat osittain lämmöksi, joten ne vähentävät suuresti antennin suuntaavuutta ja säteilyhyötysuhdetta.

Käyttämällä 3D EBG -rakennetta alustana tasomaiselle antennille, voidaan säteilyn etenemistä substraattiin estää ja näin antenni säteilee suurimman osan tehosta ilmaan, parantaen antennin suuntaavuutta ja säteilyhyötysuhdetta.

Mikroliuska-antennit

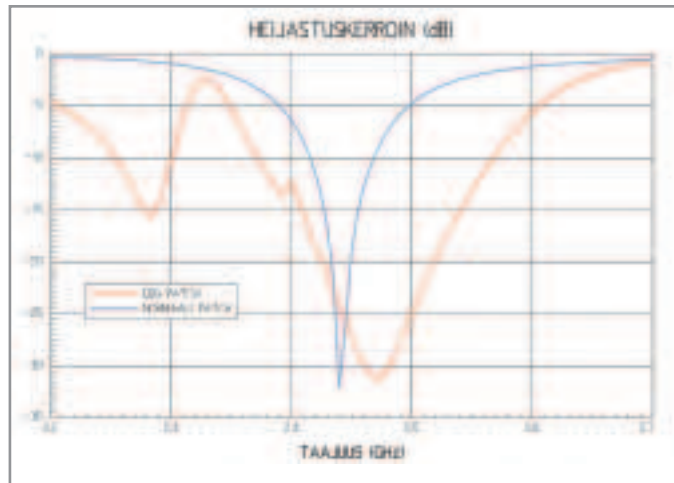
Mikroliuska-antennien ja tasomaisten antennien erona on substraatin toisella puolella oleva metallitaso. Ne kuitenkin säteilevät tehoa substraattiin samoin, kuin tasomaiset antennit ja kun säteilyn kulma on tiettyä arvoa suurempi, jää teho loukkuun substraattiin. Pohjassa oleva metallitaso heijastaa osan tehosta takaisin ilmaan, eli oikeaan suuntaan, mutta kaikki levyssä etenevät aallot, substraattimoodit, pinta-aallot ja pohjasta takaisin ilmaan heijastuvat aallot aiheuttavat häviöitä substraatin epäideaalisuudesta johtuen.

Ohuilla substraattilevyillä, joissa tosin on vähän substraattimoodeja, pohjan metalli aiheuttaa heijastuksessa 180 asteen vaihesiirron, jolloin takaisin heijastunut aalto kumoaa suurelta osin kentät syöttöpisteen kohdalla. Tämän seurauksena antennin resistanssi on pieni ja sovitus ja säteilyhyötysuhde laskevat. Lisäksi pinta-aallot säteilevät substraatin



Sievenpiper-pinnan yksinkertainen resonanttiorimalli.

Equivalent circuit of Sievenpiper surface.



Mikroliuska-antennin simuloinnissa on kaistanleveyttä saatu kasvatettua lisäämällä elementin ympärille Sievenpiper-pintaa. Antennin rakenne näkyy artikkelin aloituskuvassa.

Simulated results for patch antenna where Sievenpiper surface is applied around the antenna element. The frequency band of the antenna is broadened. The structure of the antenna is presented on the first page of the article.

reunoilta ja lisäävät näin sivu- ja takakeilojen kokoa. Tämä teho on pois halutusta suunnasta ja vähentää näin myös suuntaavuutta. Pinta-aallot myös lisäävät samalle substraattilevyllä tehtyjen mikroliuska-antennien välistä kytkeytmistä.

Koska EBG-rakenteet estävät pinta-aaltojen etenemisen ja substraattimoodit, kun niiden taajuus on rakenteen kaistanleveyden sisällä, tarjoavat ne erään ratkaisun tähän ongelmaan. Kun 2D EBG -rakenteet ympäröivät mikroliuska-antennia substraattilla tai ovat sen alla maatasossa, voidaan vahvistusta parantaa, sivu- ja takakeiloja pienentää, kaistanleveyttä kasvattaa ja antennien välistä kytkeytmistä pienentää.

Lanka-antennit

Lanka-antennit tarvitsevat yleensä maatasoinen toimiaukseen halutulla tavalla. Lisäksi dipoli- ja muut lanka-antennit voivat käyttää metallitasoa maatasoina tai heijastavana elementtinä, joka lisää antennin suuntaavuutta.

Jos monopoli on pystysuorassa maatasoonsa nähden, se kytkee maatasoon pinta-aaltoja. Koska maataso on todellisuudessa äärellisen kokoinen, niin pinta-aallot säteilevät ilmaan maatasoin reunoilta ja näin saavat aikaan rippeliä suuntakuviassa ja lisäävät takasäteilyä. Lisäksi pinta-aallot lisäävät kytkeytmistä samalla maatasolla olevien antennien välillä.

Kun aalto heijastuu hyvin johtavasta pinnasta sen vaihe muuttuu 180 astetta. Jos aallon lähde eli johtavan tason suuntainen antenni on hyvin lähellä tätä pintaa, niin heijastuva aalto on lähes vastakkaisessa vaiheessa anten-

nista säteilevän aallon kanssa, jolloin ne kumoavat toisensa. Tästä seurauksena on säteilyn voimakas vaimentuminen ja siten antennin säteilyresistanssin lasku. Seurauksena on antennin huono impedanssisovitus ja säteilyhyötysuhde.

Ratkaisu tähän ongelmaan on antennin profiilin eli antennielementin ja johtavan tason välisen etäisyyden kasvattaminen. Tällöin heijastuvan aallon vaihe ei ole enää vastakkaisessa vaiheessa. Jos tason ja antennin välinen etäisyys on aallonpituuden neljäsosa, silloin heijastuvan aallon vaihe on antennielementin kohdalla samassa vaiheessa, jolloin aallot vahvistavat toisiaan. Seurauksena on säteilyn vahvistuminen ja siten säteilyresistanssin ja säteilyhyötysuhteen kasvu. Ratkaisun huono puoli on kuitenkin antennin korkea profiili.

Matala profiili

EBG-rakenteet heijastavat aaltoja lähes yhtä hyvin kuin hyvät johdemateriaalit, joten niitä voidaan käyttää heijastavana elementtinä ja maatasoina lanka-antenneille. Koska EBG-rakenteet estävät pinta-aaltojen etenemisen, niin käyttämällä niitä antennin maatasoina, voidaan parantaa huomattavasti esimerkiksi pystysuoran monopoli-antennin suuntakuviota. Tällöin takasäteily pienenee huomattavasti ja rippeli vähenee suuntakuviosta. Lisäksi pinta-aaltojen estäminen vähentää kytkeytmistä samalla maatasolla olevien antennien välillä.

EBG-rakenteilla, jotka toimivat AMC-pintoina (Artificial Magnetic Conductor), heijastuvan aallon vaihe ei muutu tai muuttuu vähän. Tästä johtuen, käyttämällä niitä maatasoina ja heijastavana

elementtinä tason suuntaisille lanka-antenneille, voidaan itse antennielementti laskea hyvin lähelle EBG-rakenteen pintaa, jopa melkein kiinni. Antenni voi olla hyvin lähellä rakenteen pintaa, sillä heijastuva aalto on samassa vaiheessa antennista säteilevän aallon kanssa. Säteilyresistanssi pysyy korkeana ja siten impedanssisovitus ja säteilyhyötysuhde hyvinä.

Antennitutkimus TTY:ssa

Tampereen teknillisessä yliopistossa on erityisesti tutkittu Sievenpiper-pintoja antennirakenteissa. Paksuilla ja korkean permittiivisyyden levyillä pinnan elementtien koko saadaan helposti alle 15 prosenttiin aallonpituudesta, jopa muutama prosentti. Tällainen rakenne on helppo toteuttaa piirilevyllä.

Sievenpiper-pintoja on käytetty substraattina ja maatasoina mikroliuska-antenneille sekä dipolija muille lanka-antenneille. Toitettuissa prototyypeissa on saatu parannettua kaistanleveyttä ja hyötysuhdetta. Samalla antennien kokoa suhteessa ominaisuuksiin on saatu pienennettyä sekä joidenkin antennirakenteiden profiilia madallettua. ■

Aiheesta enemmän

Projektin kotisivut:

www.rauma.tut.fi/projects/Mini_RFID/index.html

Introduction to Band Gap

Materials:

<http://cetaweb.mit.edu/pier/pier41/pier41.html>

Sievenpiper, D., Lijun Zhang, Broas, R.F.J., Alexopolous, N.G., Yablonovitch, E.: High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band, Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on , Volume: 47 Issue: 11 , Nov. 1999.

Taustat

Kirjoittajat: Pasi Raumonon, tutkimusapulainen, DI Mikko Keskilampi, tutkija, DI Lauri Sydänheimo, erikoistutkija, projektin vastuullinen johtaja, TTY, Elektronikan laitos, Rauman tutkimusyksikkö ja Professori Markku Kivikoski, TTY:n Elektronikan laitoksen johtaja.

Yhteyshenkilö:

mikko.keskilampi@tut.fi

Tutkimus: MiniRFID (Antennien miniaturisointi ja RF-osan integrointi)

Yhteistyössä: TTY, Hollming Elektronikka Oy, Oras Oy, Comprog Oy

Teknologiaohjelma: ELMO