

Холографске антене за милиметарски опсег

Павле Ђондовић, Милош Радовановић, Бранка Јокановић

Сажетак—Овај рад приказује дизајн холографске антене у опсегу од 57 - 64 GHz која користи унипланарни извор површинског таласа (лансер) који се простире у TM_0 моду. Лансер се састоји од антене са прорезима напајане копланарним таласоводом, директора и рефлектора у технологији са изрезима или слот технологији. Димензије лансера су оптимизоване на учестаности од 60 GHz и он је коришћен као побуђивачки елемент три холографске антене које се међусобно разликују по облику холограма. Употријебљени су холограми са тракама једнаке ширине (модел 1) са тракама најширим на крају холограма (модел 2) и са најширим тракама у средини холограма (модел 3). Најбоље укупне карактеристике показује модел 2, мада модел 3 има највеће појачање од око 17 dBi, али његов дијаграм зрачења има велике лобове. Променом фреквенције у опсегу од 57 - 64 GHz главни сноп антене се скенира за 16° у XY-равни, тј. у равни која је у правцу простирања површинског таласа.

Кључне ријечи — површински талас, јаги-уда антена, холограм, холографска антена

I. УВОД

Саставни дио антена са цурећим таласом (*leaky-wave antenna*) јесу антене са прорезом или антене израђене у технологији таласовода интегрисаних у супстрату (*substrate-integrated waveguides* - SIW). У њих спадају и холографске антене чији је принцип рада установљен шездесетих година претходног вијека и за чији се развој последњих петнаестак година поново заинтересовао велики број истраживача након паузе због неуспјелих истраживања прије двадесет до тридесет година.

Холографске антене, које спадају у класу антена са цурећим таласом, се употребљавају највише у радиолокацији прије свега у фреквенцијски модулисаним радарима са континуалним таласом (*frequency-modulated-continuous-wave* - FMCW) као јефтина солуција мјерења раздаљине и угла позиције мете. Такође, посједују велики пропусни опсег система за мјерење обје димензије што их чини интересантним за употребу у развоју радара који базирају рад на милиметарском опсегу.

Главна предност оваквих антена јесте могућност реализације побудног елемента и његовог напајање без вија, док је побудни елемент реализован прорезима који

представљају копланарне водове (*coplanar-waveguide* - CPW) и који могу бити реализовани у различитим технологијама као што је танкослојна фотолитографија [1]. Структурно ове антене нису комплексне и посједују добру могућност интегрисања што је значајно за дизајн интегрисаних кола пошто су погодне за рад на високим фреквенцијама. Осим наведених ствари, као предност се истиче да холографске антене имају мање губитке ако узмемо у обзир да немамо дистрибутивну мрежу која би их повећала.

Као неке од мана оваквих антена јесу лоше прилагођење и лоше потискивање бочних лобова, као и одступање од *broadside* зрачења. Такође, раније се као проблем јављала тешка реализација напајања при коришћењу екстерне хорн антене због чега је дошло и до застоја у истраживању које је 1969. године започео Чессасци.[2] Такође, ману представља и велика међусобна зависност појединачних елемената антене тј. побуђивачког елемента (лансера), и дифракционе решетке која представља холограм.

Разлози због којих се јављају поједине мане у раду антене и како их је могуће превазићи биће представљене у овом раду. Холографска антена је пројектована за рад на опсегу између 57 GHz и 64 GHz. Осим увода, рад је подијељен у још пет поглавља. У другом поглављу је представљен кратак теоретски преглед принципа рада антене. Треће и четврто поглавље садрже додатни теоретски приказ лансера и холографских антена, респективно, као и основе дизајна. У трећем поглављу ће бити приказана два модела лансера и детаљно описана њихова улога и дизајн док ће у четвртном бити представљен дизајн холографске антене за чији побуђивачки елемент је искоришћен један од лансера који су представљени у претходном поглављу. Четврто поглавље ће такође дати приказ три типа холографске антене који се разликују у дизајну холограма на основу чега ћемо моћи да закључимо који од датих модела холограма, циркуларног изгледа, најбољи. Пето поглавље садржи резултате тј. дијаграме рефлексије, зрачења и расподјеле струја холографских антена. У последњем поглављу су сумирани резултати рада.

II. ТЕОРЕТСКО РАЗМАТРАЊЕ

Основни принципи на којима раде холографске антене постављени су давне 1948. у [3], који су примјењени на првим холографским антенама дизајнираним од стране Чессасци [2].

За разлику од осталих микроталасних уређаја, антена и сл. при чијем дизајну покушавамо да избјегнемо појаву површинског таласа, код холографских антена нама је у

Павле Ђондовић – Институт за физику, Универзитета у Београду, Прегревица 118, 11080 Београд, Србија (e-mail: pdjondovic@ipb.ac.rs).

Милош Радовановић – Институт за физику, Универзитета у Београду, Прегревица 118, 11080 Београд, Србија ,

Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, Булевар Краља Александра 73, 11020 Београд, Србија. (e-mail: rnilos@ipb.ac.rs)

Др Бранка Јокановић – Институт за физику, Универзитета у Београду, Прегревица 118, Београд, Србија (e-mail: brankaj@ipb.ac.rs).

интересу да талас, који се простира кроз диелектрик, искористимо.

Да би смо генерисали површински талас, као побудни елемент, користимо лансере као што су Антиподални Вивалди лансер, Уда-Јаги или Квази-Јаги лансере. По генерисању површинског таласа, неким од наведених побудних елемената, потребно је да исти искористимо. То се постиже тако што се са супротне стране диелектрика, гледано у односу на страну на којој је побудни елемент, постави дифракциона решетка која представља холограм и која може да буде различитих облика, зависно какве перформансе желимо да постигнемо. Дифракциону решетку у овом случају представљају металне трачице које могу бити кружне, елипсоидне или праве, паралелно распоређена једна у односу на другу и могу бити исте или различите дебљине.

Напајањем холограма могуће је креирати било који правац главног лоба. Идеални холограм представља интерферирајући облик између површинског таласа и зрачећег ТЕМ таласа. Због немогућности потпуног репродуковања интерференције са фазном и амплитудском информацијом на врху супстрата, металне траке се користе да би кориговале електрично поље на крајевима интерференције[1].

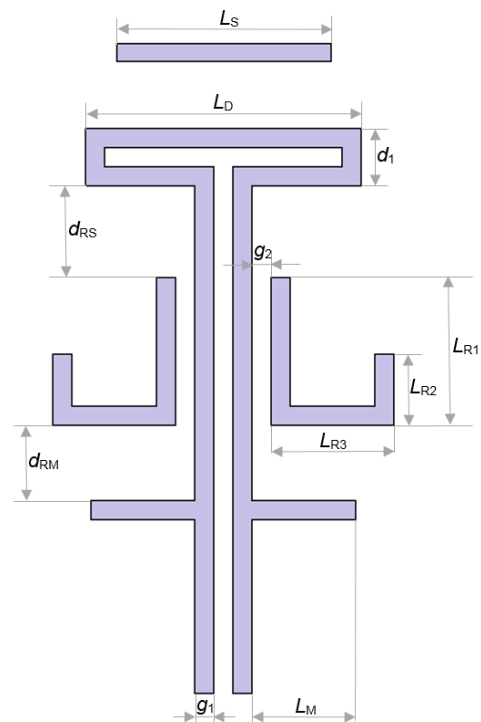
Као што је већ наведено, сам лансер служи за побуду површинског таласа и да креира кружне фазне фронтове са радијалним растојањем r од извора.

Да би се побудио одговарајући површински талас осим избора лансера потребно је, да би генерисали жељени мод површинског таласа, одабрати и материјал високе диелектричне константе и дебљина супстрата треба да буде већа од $\lambda_{\text{eff}}/10$, гдје λ_{eff} представља ефективну таласну дужину одговарајућег мода површинског таласа[1]. Одабир дебљег супстрата са већом диелектричном константном утиче и на бољи опсег скенирања, а такође, осим захтјева да супрат има што већу диелектричну пермитивност потребно је и да тангенс угла губитака буде што мањи ради повећања радијационе ефикасности. Као добри кандидати међу материјалима који задовољавају ове спецификације се истичу прије свега алумина и неки дуроиди попут Rogers RT 6010. Могу се користити и два тања супстрата као што је случај у овом раду, гдје се за први користи супстрат мање диелектричне константе на коме се налазе лансер и холограм, на супротним странама, а затим се преко холограма ставља супстрат веће диелектричне константе.

Код наведеног типа антене може се истаћи да се формирају два основна пропациона мода, а то су ТЕ и ТМ мод. Који од наведених модова ће се формирати зависи да ли се лансер налази на рефлектујућој равни или не. У случају да се лансер налази на рефлектујућој равни у диелектрику се формира ТМ мод. У овом раду ће бити разматрани лансери који формирају ТМ мод.

III. ЛАНСЕРИ

Као што је наведено у претходном поглављу, у раду ће бити представљени лансери који генеришу ТМ мод, а то може бити постигнуто на два начина тј. помоћу уграђене хорн антене у SIW технологији се користи до W опсега (за милиметарски опсег се јављају проблеми у реализацији физичког модела) и планарних антена са изрезима - слотовима. С обзиром да нам је од интереса милиметарски опсег учестаности, коришћена је Квази-Јаги антена са изрезима, слика 1, која је представљена у [5]. Линија за напајање је пројектована као копланарни таласовод, а ова антена има мањи пропусни опсег него антене са ТЕ модом јер су мала растојања у дијелу гдје је напајање па долази до појаве резонанси. Овај лансер представља врсту лансера са савијеним рефлекторима.



Сл. 1. Планарни лансер са савијеним рефлекторима.

На слици 1 је приказан лансер са савијеним рефлекторима, који је коришћен у дизајну цијеле антене, на коме су приказани геометријски параметри од важности. Лансер се састоји од главног зрачећег изреза L_S чија дужина је потребно да буде реда $\lambda/2$ за копланарни таласовод, затим рефлектора чија је укупна дужина исто $\lambda/2$, L_{R1} , L_{R2} , L_{R3} , прореза за прилагођење дужине $\lambda/8$, на слици означеног са L_M , директора незнатно краће дужине, L_D , него што је главни, зрачећи изрез. Геометријске вриједности ознака су приказане у табели I.

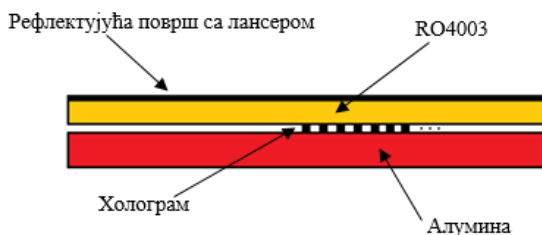
ТАБЕЛА I
ГЕОМЕТРИЈСКИ ПАРАМЕТРИ ЛАНСЕРА

Ознака	Вриједност
L_S	1,45 mm
L_{R1}	0,78 mm
L_{R2}	0,4 mm
L_{R3}	0,5 mm
L_M	0,4 mm
L_D	1,13 mm
g_1	0,1 mm
g_2	0,05 mm
d_{RM}	0,145 mm
d_{RS}	0,48 mm
d_1	0,3 mm

IV. ХОЛОГРАФСКЕ АНТЕНЕ

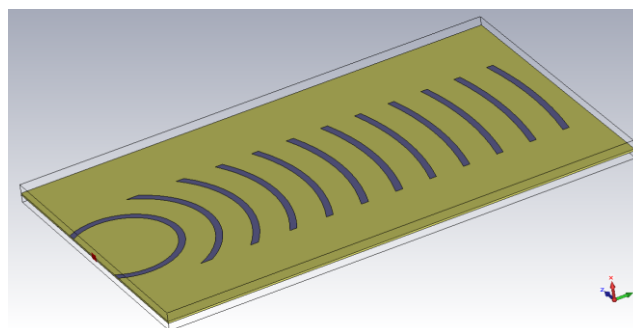
Из раније приложеног може се видјети да је лансер дизајниран у виду прореза у техници копланарних водова тј. прорези су направљени у рефлектујућој равни што доводи до потискивања пропагације таласа у ТЕ моду и простирања таласа кроз диелектрик у ТМ моду. Додавање холограма на овакву структуру може бити извршено додавањем паралелних металних трачица које су право, кружно или елипсоидно распоређене по супротној страни супстрата. Према [1] ширина трачица треба да је већа него што је то случај у дизајну холографске антене у којој талас има ТЕ мод. Највећа ширина трачица коришћена у раду је 0,72 mm. Ипак, и поред додавања холограма, структура антене са континуалном рефлектујућом равни на којој се налази побуђивачки елемент има зрачење у правцу дужине антене па да би се постигло *broadside* зрачење потребно је додати додатну рефлектујућу површ, а то је диелектрик велике диелектричне константе. У овом случају је за дати диелектрик одабрана алумина.

Као основни диелектрик узет је дуroid RO4003 диелектричне константе $\epsilon_r = 3,55$ и дебљине $d_{RO} = 0,2$ mm, док је други диелектрик, алумина, диелектричне константе $\epsilon_r = 9,9$ и дебљине $d_{AL} = 0,254$ mm. На слици 3 је приказан попречни пресјек антене на ком се види распоред слојева у дизајну антене.

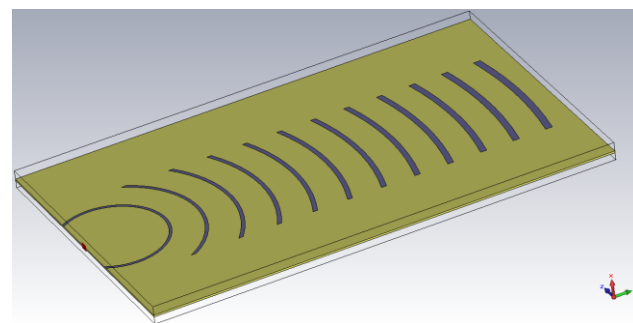


Сл. 2. Приказ попречног пресјека слојева холографске антене

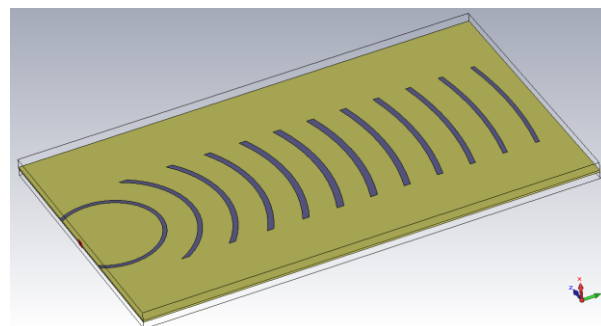
У овом раду су представљене три врсте холографских антена које раде на централној учестаности од 60 GHz и разликују се према дизајну холограма. Разлика у холограму јесте таква да у антени, слика 3а, трачице холограма имају исту ширину $w = 0,72$ mm; код антене на слици 3б ширина трачица холограма се разликују и крећу се од ужих ка ширим на крају тј. $w_1 = 0,28$ mm до $w_{12} = 0,72$ mm са кораком од 0,04 mm; док код антене на слици 3в трачице холограма на крајевима су најуже $w_1 = 0,42$ mm, а у средини су најшире $w_6 = 0,72$ mm и њихова ширина се мијења са кораком од 0,06 mm. Антена има укупну дужину 49 mm, а ширину 30 mm. Број холограма антене је $N = 12$ и они имају облик кружница. Полупречник прве кружнице је $r = 5,5$ mm док центар кружница има координате $x = 0$ mm и $y = 5,5$ mm. Растојање између кружних трачица холограма је константно и износи $p = 3,45$ mm.



(а) Модел 1



(б) Модел 2



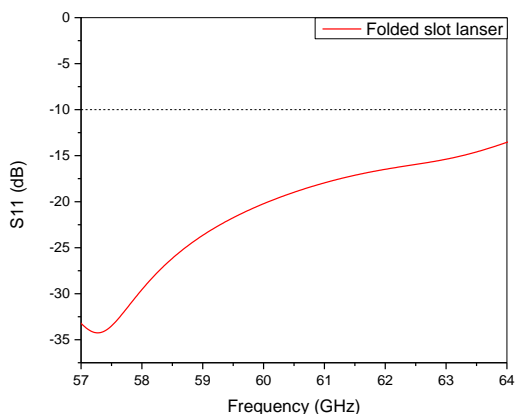
(в) Модел 3

Сл. 3. Холографска антена којој су трачице холограма (а) исте ширине, (б) најшире на крајевима, (в) најшире на средини.

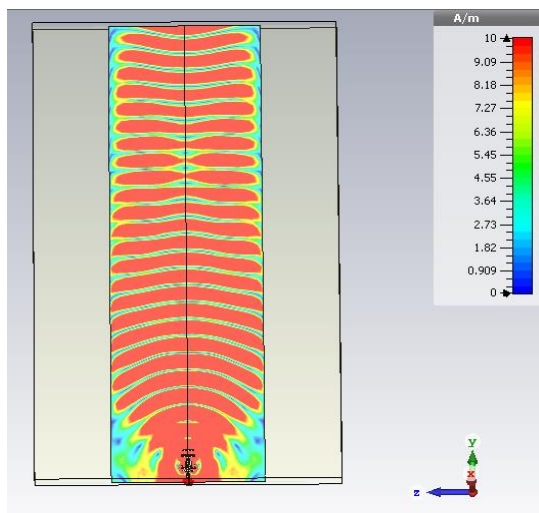
V. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У овом поглављу ће бити приказани резултати истраживања, прво лансера, а затим комплетне холографске антене.

Лансер је пројектован да ради у опсегу учестаности од 57 GHz до 64 GHz и приказани су његови параметри рефлексије као и простирање поља кроз диелектрик.



Сл. 4. Кофицијент рефлексије лансера са савијеним рефлектором који је пројектован за опсег од 57 GHz до 64 GHz.

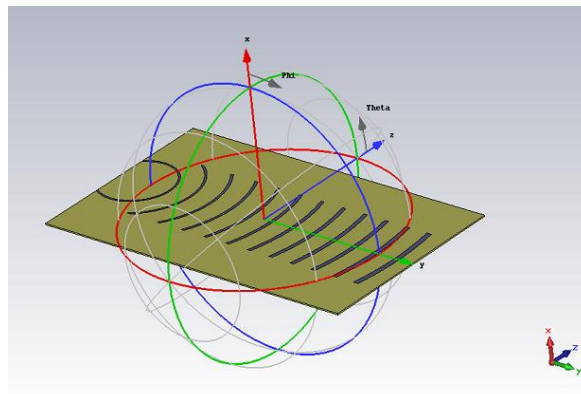


Сл. 5. Простирање таласа кроз диелектрик пројектованог лансера.

Према Сл. 5 можемо извести закључак или чак препоруку за пројектовање лансера, а то је да се траке холограма постављају према простирању таласа кроз диелектрик тј. да се постављају на мјеста формираних прстенова при простирању таласа који представљају минимуме.

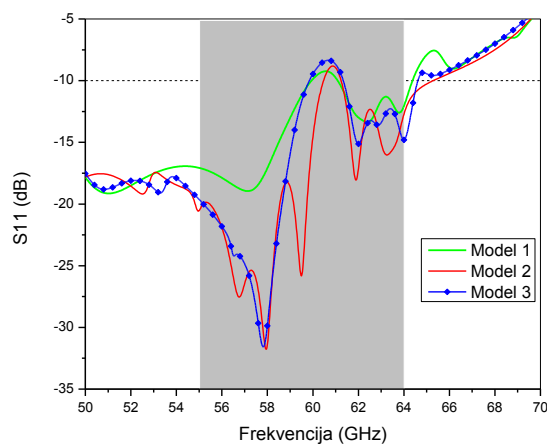
На следећим сликама ће бити приказано зрачење антена и биће закључено који модел дизајна холограма је најбољи. Антене су на графицима означене као Модел 1, 2 и 3 и представљају холограм са истом дебљином трачица, холограм код ког су трачице најдебље на крају и холограм чије су трачице најдебље на средини, респективно.

Прије него представимо дијаграме, на Сл. 6 ће бити представљен изглед координатног система у коме је антена постављена као и равни у којима се посматра дијаграм зрачења.

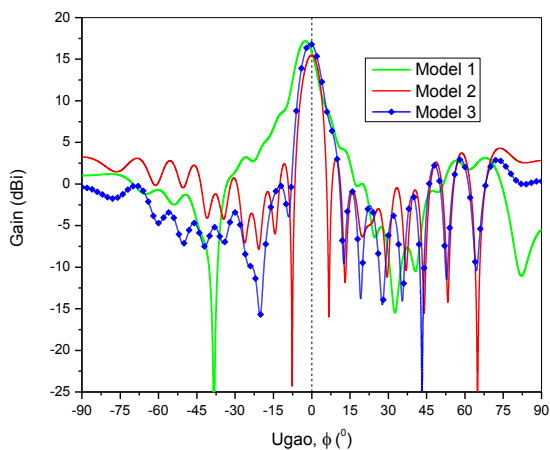


Сл. 6. Координатни систем у ком се налази антена.

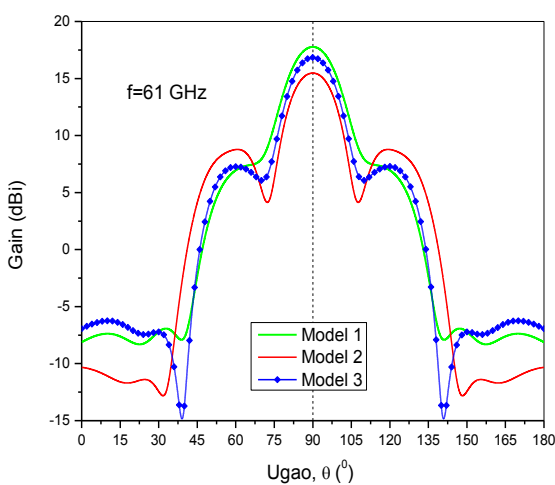
Наредне слике представљају параметре рефлексије и дијаграме зрачења холографских антена. Прво ће бити приказани параметри рефлексије, слика 7, након чега сл. 8 приказује зрачење антене у скенарној равни што представља раван у којој је $\Theta = 90^\circ$ док се Φ мијења. Слика 9 представља приказ дијаграма зрачења у супротној равни гдје је угао Φ константан, а Θ се мијења. Дијаграми су приказани на фреквенцији од 61 GHz.



Сл. 7. Кофицијент рефлексије холографских антена са означеним радним опсегом.



Сл. 8. Дијаграм зрачења антене у скенирајућој XY- равни на учестаности од 61 GHz.



Сл. 9. Дијаграм зрачења антене у XZ равни (константан угао Φ) на учестаности од 61 GHz.

Према овим дијаграмима зрачења, а и гледајући цијели опсег скенирања, од 57 GHz до 64 GHz, закључујемо да је укупно најбољи модел антене онај у коме су трачице холограма најдебље на крајевима тј. модел 2 антене.

Појачање антене за модел 2 у скенарном опсегу евалуира 2,4 dB тј. између 14,9 dBi и 17,3 dBi. Укупни угао скенирања антене је 14,9°. За разлику од овог модела трећи модел има највећи гејн, 19,5 dBi али је у укупном посматрању модел 2 бољи.

VI. ЗАКЉУЧАК

У овом раду су приказана три модела холографске антене са различитим дизајном трачица холограма. Такође је представљен основни концепт пројектовања лансера, побудног елемента холографске антене, као и пројектовање и предлози за боље пројектовање саме антене.

Након детаљне анализе резултата свих представљених модела антене може се закључити да је при пројектовању холографске антене најбоље користити други модел тј. онај модел код ког су трачице холограма најдебље на крајевима антене, а трачице холограма треба да се постављају према прстеновима који се формирају при простирању таласа кроз диелектрик, онако како је то описано на почетку претходног поглавља. Такође је закључено, да иако није најбољи, трећи модел даје највећи гејн и у зависности од захтјева које антена треба да испуњава и он се може искористити.

ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад је реализован на пројектима TP32024 и ИИИ45016 који су финансирани од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Christian Rusch, *Student Member, IEEE*, Jochen Schäfer, *Student Member, IEEE*, Heiko Gulian *Student Member, IEEE*, Philipp Pahl, *Student Member, IEEE*, and Thomas Zwick, *Senior Member, IEEE*, "Holographic mmW-Antennas With TE and TM Surface Wave Launchers for Frequency-Scanning FMCW-Radars," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 4, pp. 1603, April, 2015.
- [2] P. Checcacci, V. Russo, and A. Scheggi, "Holographic antennas," *Proc. IEEE*, vol. 56, no. 12, pp. 2165-2167, December, 1968.
- [3] D. Gabor, "A new microscopic principle," *Nature*, vol. 161, no. 4098, pp. 777-778, 1948.
- [4] P. Checcacci, V. Russo, and A. Scheggi, "Holographic antennas," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 18, no. 6, pp. 811-813, November, 1970
- [5] S. Podilchak, A. Freundorfer, and Y. Antar, "Surface-wave launchers for beam steering and application to planar leaky-wave antennas," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 57, no. 2, pp. 355-363, February 2009.
- [6] ECC Recommendation (09)01 – Use of the 57 –64 GHz Frequency Band for Point-to-point fixed Wireless Systems, Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (Recommendation approved by the Working Group "Spectrum Engineering" (SE)), pp.1 –2.