

آنتن همه جهته با قطبش افقی با استفاده از فراسطح استوانه‌ای برای کاربردهای نقطه به چند نقطه

مصطفی خنجریان^۱، محمد سلیمانی^۲، وحید نبیری^۳

۱- دانشجوی دکتری مخابرات میدان، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲- استاد گروه مخابرات، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۳- دانشیار گروه فناوری ماهواره، دانشکده فناوریهای نوین، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۷/۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۸/۱۶

چکیده

در این مقاله به طراحی، شبیه سازی آنتن همه جهته با قطبش افقی پرداخته ایم. ایده به کارگرفته شده در این آنتن استفاده از فراسطح استوانه‌ای شکل جهت چرخش قطبش عمودی به افقی می‌باشد. استفاده از این روش قابلیت طراحی آنتن‌های همه جهته با قطبش افقی و بهره بالا را ارائه خواهد کرد. این آنتن برای فرکانس کاری 5.8GHz که فرکانس ارتباطی نقطه به نقطه و یا نقطه به چند نقطه است، طراحی شده است. آنتن طراحی شده دارای حداکثر بهره بیش از 4dB و تلفات بازگشتی کمتر از -15dB می‌باشد.
واژه‌های کلیدی: آنتن همه جهته، فراسطح، قطبش افقی

Omnidirectional Antenna with Horizontal Polarization Using Cylindrical Metasurface for Point-to-Multipoint Applications

Mostafa Khanjarian¹, Mohammad Soleimani² and Vahid Nayyeri³

1- Ph.D. Student, Department of electrical engineering, Iran University of Science and Technology

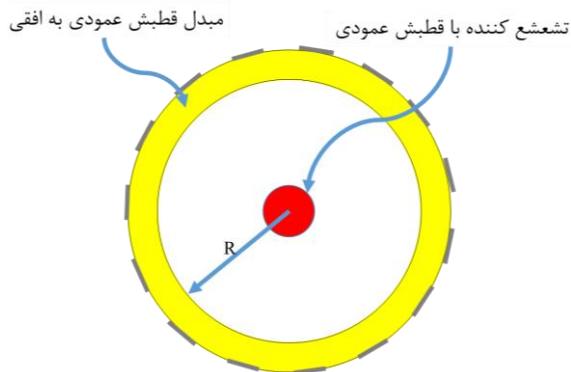
2- Prof. Department of electrical engineering, Iran University of Science and Technology

3- Associate Prof. School of Advanced Technologies, Iran University of Science and Technology

Abstract

This article, we have designed and simulated an omnidirectional antenna with horizontal polarization. The idea used in this antenna is to use cylindrical metasurfaces to rotate the vertical to horizontal polarization. Using this method will provide the ability to design omnidirectional antennas with horizontal polarization and high gain. This antenna is designed for the working frequency of 5.8GHz, which is a point-to-point or point-to-multipoint communication frequency. The designed antenna achieves a maximum gain of more than 4dB and a return loss less than -15dB.

Key words: Omnidirectional antenna, Metasurface, horizontal polarization



شکل ۱ - طرح واره ساختار آنتن همه جهته با قطبش افقی

ایده اصلی این طرح مطابق شکل ۱ می باشد. در این شکل در مرکز ساختار یک تشعشع کننده دلخواه همه جهته با قطبش عمودی قرار می گیرد. در پیرامون این تشعشع کننده یک مبدل قطبش عمودی به افقی با استفاده از فراسطح طراحی می شود. با عبور موج تشعشع شده از ساختار مبدل قطبش، در همه جهته های صفحه سمت موج با قطبش افقی منتشر می گردد.

در ابتدا به ارائه نتایج شبیه سازی مبدل قطبش عمودی به افقی خواهیم پرداخت. سپس نتایج آنتن همه جهته با قطبش عمودی ارائه خواهد شد. و در بخش آخر نتایج شبیه سازی آنتن همه جهته با قطبش افقی ارائه می گردد.

۲- طراحی مبدل قطبش عمودی به افقی

تا کنون مقالات مختلفی جهت طراحی مبدل های قطبش خطی طراحی و ساخته شده است. استفاده از فراسطوح برای طراحی مبدل قطبش در دهه های اخیر گسترش یافته است. با استفاده از فراسطح توانایی طراحی انواع مبدل های قطبش خطی به خطی، خطی به دایروی، دایروی راستگرد به چپ گرد [20-25] خواهیم داشت. در این بخش به طراحی و بهینه سازی یک نمونه مبدل قطبش خطی عمودی به قطبش خطی افقی که طرح واره آن در شکل ۲ نمایش داده شده است، پرداخته ایم. در این شکل موج تابشی با قطبش عمودی به ساختار تابیده شده و موج عبوری با قطبش افقی عبور خواهد کرد. ساختار این مبدل قطبش در شکل ۳ نمایش داده شده است. مدار معادل سلول واحد این مبدل مشابه شکل ۴ می باشد. این سلول واحد از دو رزوناتور حلقوی با شکاف^۶ (SRR) تشکیل شده است. با اعمال موج با پلاریزاسیون خطی عمودی به SRR جلوی سلول واحد (میدان تشکیل شده در شکاف SRR موازی با میدان تابشی یا بازتابشی است.) میدان القایی موجب

۱- مقدمه

در چند دهه اخیر، آنتن همه جهته^۱ توجه قابل توجهی را به خصوص برای ارتباطات بی سیم به خود جلب کرده است، زیرا دارای مزیت پوشش کامل در سمت^۲ را دارد. [1-4] آنتن های همه جهته کاربردهای فراوانی از جمله مخابرات تلفن همراه، سیستم های مخابراتی ایستگاه زمینی، جنگ الکترونیک، جهت یابی^۳ و سیستم های تشخیص هدف را دارند. [1-13] استفاده از آنتن های با قطبش افقی و عمودی موجب افزایش کارایی سیستم یا به عبارت دیگر ظرفیت کانال می شود. [3, 5] عموماً از دو آنتن با قطبش مختلف یابک آنتن با قطبش دوگانه استفاده میشود. ساده ترین آنتنهای همه جهته با قطبش افقی و عمودی به ترتیب آنتنهای حلقوی و دوقطبی هستند. عمده عیب آنتن های همه جهته در برخی از کاربردها بهره پایین آنها می باشد. از این رو ارائه ساختارهای همه جهته با قابلیت طراحی برای بهره بالا یک مزیت محسوب می شود.

هدفمادراینمقاله ارائه روشی برای طراحی آنتن های همه جهته با قطبش افقی می باشد. ایده اصلی در این طراحی استفاده از فراسطوح می باشد. فراسطح^۴ نسخه ای سطحی فرامواد است. به صورت دقیقتر یک فراسطح آرایه ای متناوب یا غیر متناوب از پراکنده گرهای الکترومغناطسی^۵ مشابه یا متفاوت است که به منظور ایجاد یک رفتار الکترومغناطسی غیر معمول سودمند، در یک سطح توان توزیع شده اند. لازم به ذکر است که این پراکنده گرها لزوماً خیلی نازک نبوده و دارای ضخامت و شکل دلخواه هستند ولی ابعاد آنها در برابر طول موج خیلی کوچک هستند. [14]

فراسطح از فرکانس های میکروویو تا فرکانس های نوری کاربردهای متنوعی دارد. از جمله کاربردهای فراسطح می توان به موارد ساخت لنز^۶ (در فرکانس های میکروویو و نوری) [15]، طراحی موجبر [16]، کاهش سطح مقطع راداری^۷ [17]، طراحی آنتن [18]، بهبود مشخصات آنتن [19] اشاره کرد.

در این مقاله با استفاده از خاصیت چرخش قطبش^۸ فراسطوح ما به طراحی آنتن همه جهته با قطبش افقی پرداخته ایم. این آنتن برای فرکانس کاری 5.8GHz طراحی شده است. آنتن دارای حداکثر بهره همه جهته بیش از 4 dB می باشد.

^۶Lens

^۷ Radar Cross Section

^۸Polarization Rotation

^۹Split-Ring Resonator

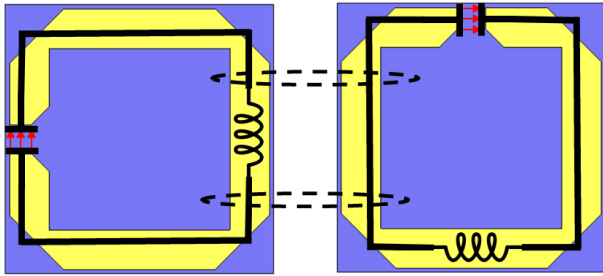
^۱Omni Directional Antenna

^۲Azimuth

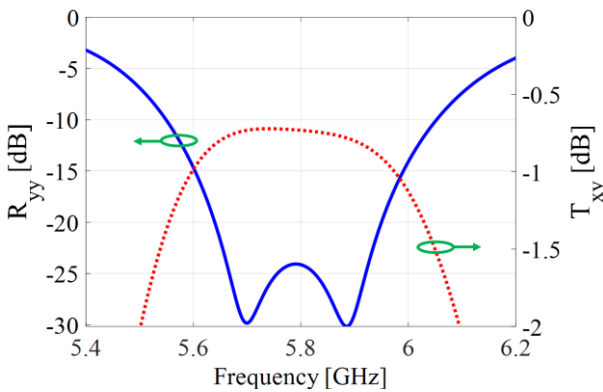
^۳Direction Finding

^۴Metasurface

^۵Electromagnetic Scatterers



شکل ۴- مدار معادل سلول واحد.



شکل ۵- تلفات عبوری و تلفات بازگشتی

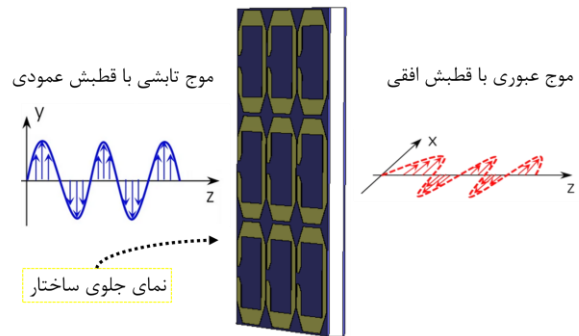
جدول ۱- مشخصات ابعاد سلول واحد

نام پارامتر	a	p	g	b	e	c
ابعاد (میلیمتر)	14.5	15	1.6	4.25	1.41	10.1

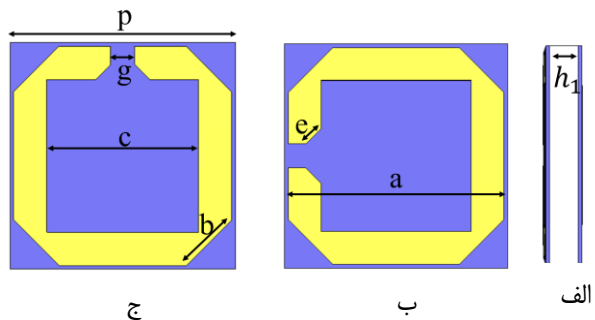
۳- طراحی آنتن همه جهته با قطبش عمودی

یکی دیگر از اجزای تشکیل دهنده آنتن همه جهته با قطبش افقی عنصر تشعشع کننده در مرکز آنتن می باشد. این عنصر تشعشع کننده یک آنتن همه جهته با قطبش عمودی می باشد. متناسب با بهره مورد نیاز از انواع آنتن های همه جهته با قطبش عمودی می توان استفاده نمود. برای داشتن آنتن همه جهته با قطبش افقی با بهره بالا نیازمند آنتن همه جهته با قطبش عمودی با بهره بالا هستیم. از این رو انتخاب آنتن با قطبش عمودی نقشی اساسی را ایفا می کند. از جمله انواع آنتن با قطبش عمودی می توان به مواردی همچون آنتن همه جهته Colinear کواکسیال، آنتن همه جهته میکرو استریپ و آرایه دیپل اشاره کرد. [26-33] ما در این مقاله از آنتن آرایه دوقطبی خطی میکرو استریپی [31] با ساختار شکل ۶ استفاده کرده ایم. این آنتن بر روی زیر لایه FR4 با ضخامت 16mil طراحی شده است. جدول ۲ ابعاد این ساختار را نشان می دهد.

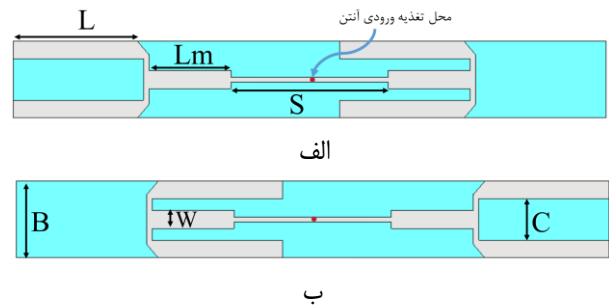
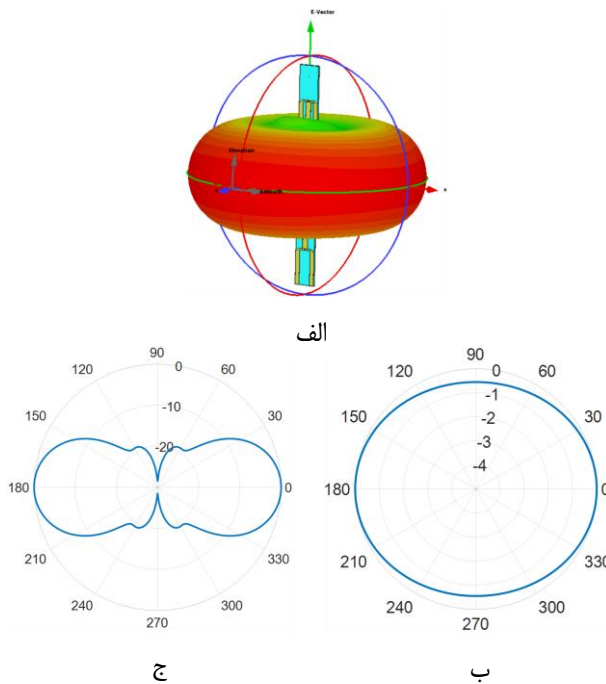
ایجاد جریان در حلقه رزوناتور می شود. این جریان با توجه به کوپلینگ بالا بین SRR جلو و پشت سلول واحد موجب ایجاد جریانی مشابه در SRR پشتی سلول واحد می گردد. ایجاد جریان متناوب در SRR پشتی موجب تشعشع از سطح سلول واحد خواهد شد. موج تشعشع شده موازی با میدان الکتریکی در شکاف SRR خواهد بود. این میدل از دو زیر لایه FR4 با ضریب دی الکتریک 4.2 و تانژانت تلفات 0.027 و یک زیر لایه تفلون با ضریب دی الکتریک 2.1 طراحی شده است. برای شبیه سازی و بهینه سازی این میدل از نرم افزار CST استفاده شده است. شبیه سازی این فراسطح با استفاده از شبیه سازی سلول واحد بر مبنای تئوری فلکه انجام شده است. قابل ذکر است که برای شبیه سازی این ساختار یک موج با قطبش خطی عمودی در راستای محور y مطابق شکل ۲ تابیده می شود. ابعاد نهایی بهینه شده برای داشتن کمترین تلفات عبوری و بیشترین پهنای باند در فرکانس مرکزی 5.8GHz مطابق جدول ۱ است. در شکل ۵ نتایج شبیه سازی تلفات عبوری و بازگشتی نشان داده شده است. لازم به ذکر است که این میدل قطبش با تلفات عبوری 1.1dB و تلفات بازگشتی کمتر از -15dB در پهنای باند بیش از 400MHz در فرکانس مرکزی 5.8GHz دارای عملکرد مناسبی جهت استفاده به در کاربرد میدل قطبش است.



شکل ۲- طرح واره ساختار میدل قطبش خطی عمودی به قطبش خطی افقی



شکل ۳- سلول واحد ارائه شده برای چرخش قطبش عمودی به افقی. (الف) نمای جانبی (ب) نمای جلو (ج) نمای پشت.

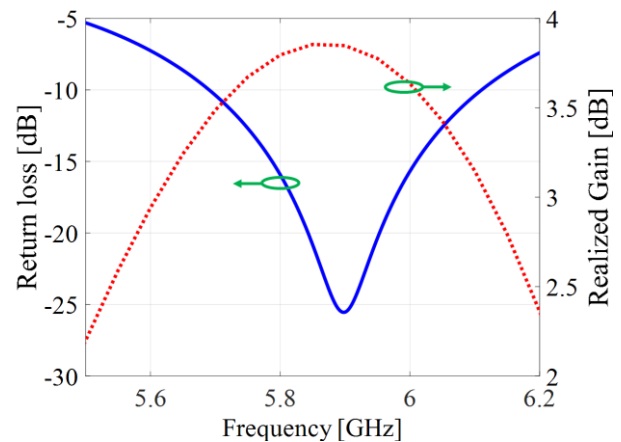


شکل ۶- آنتن همه جهته با قطبش عمودی. الف) نمای جلو ب) نمای پشت.

جدول ۲- مشخصات ابعاد آنتن با قطبش خطی

نام پارامتر	L	Lm	S	W	B	C
ابعاد (میلیمتر)	8.8	5.76	26.6	1.28	5.4	2.92

با شبیه سازی این آنتن در نرم افزار CST نتایج مطابق با شکل های ۷ و ۸ استخراج شده است. شکل ۷ نتایج شبیه سازی پارامترهای تلفات بازگشتی و بهره را نشان می دهد. آنتن پهنای باند فرکانسی بیش از ۳۰۰ مگاهرتز برای تلفات بازگشتی کمتر از ۱۰dB- را دارا می باشد.



شکل ۸- بهره و تلفات بازگشتی

شکل ۷- پترن تشعشعی در فرکانس 5.8GHz الف) ۳ بعدی ب) سمت ج) ارتفاع

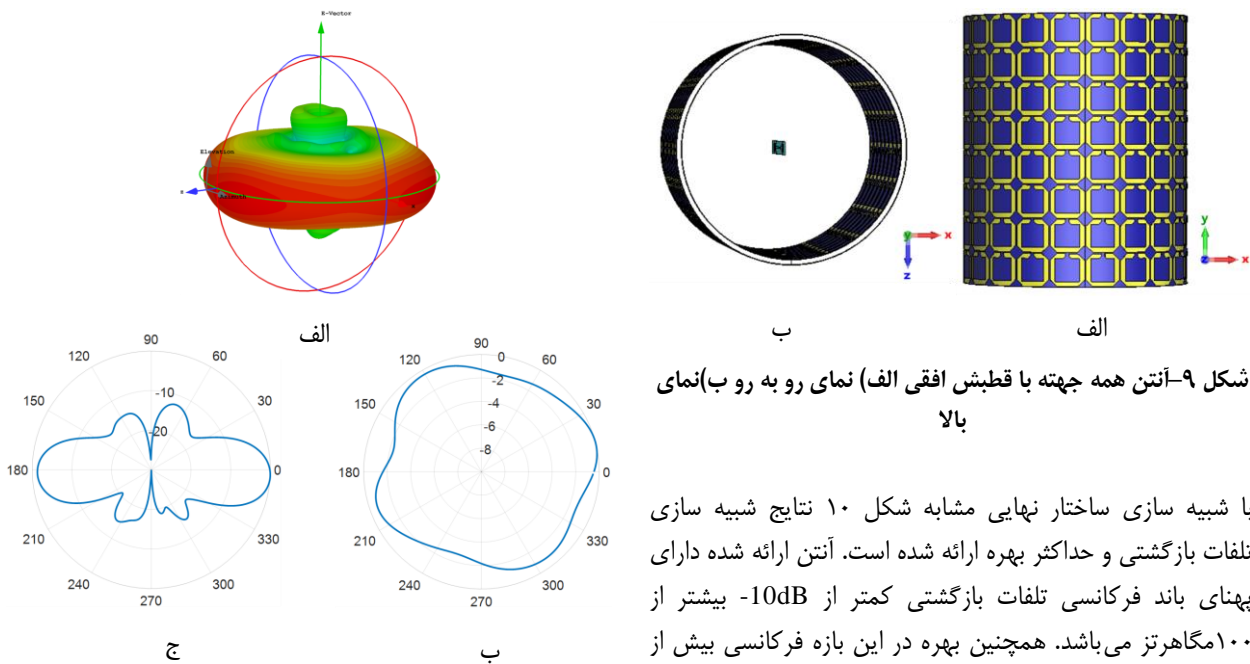
همچنین در این بازه بهره بیش از 3.7dB می باشد. با توجه به طراحی مبدل با پهنای باند ۴۰۰ مگاهرتز، مبدل قطبش و آنتن همخوانی مناسبی از نظر پوشش فرکانسی دارند.

در شکل ۸ پترن تشعشعی سه بعدی و دو بعدی برای صفحات سمت و ارتفاع ترسیم شده است. آنتن طراحی شده دارای ریبیل 0.6dB در صفحه سمت می باشد. این ریبیل به علت ساختار نامتقارن آنتن در همه جهت است. اما با این حال در بسیاری از کاربردها این ریبیل قابل قبول است.

لازم به ذکر است داشتن ریبیل در آنتن تشعشع کننده مرکزی موجب ایجاد ریبیل در آنتن نهایی می گردد. که برای حل این مشکل باید از ساختارهای با تقارن بیشتر استفاده نمود. از جمله این ساختارها می توان به آنتن های COCO اشاره کرد.

۴- شبیه سازی آنتن همه جهته با قطبش افقی

با طراحی مبدل قطبش و المان تشعشع کننده در مرکز آنتن مطابق شکل ۱، آنتن همه جهته با قطبش خطی افقی جهت شبیه سازی مطابق شکل ۹ در نرم افزار CST طراحی می شود. قابل ذکر است که شعاع مبدل قطبش از پارامترهای اثر گذار بر مشخصات آنتن تشعشعی می باشد. ما با استفاده از تنظیم این پارامتر شعاع مبدل را 47 میلیمتر انتخاب کردیم.



شکل ۹- آنتن همه جهته با قطبش افقی (الف) نمای رو به رو (ب) نمای بالا

با شبیه سازی ساختار نهایی مشابه شکل ۱۰ نتایج شبیه سازی تلفات بازگشتی و حداکثر بهره ارائه شده است. آنتن ارائه شده دارای پهنای باند فرکانسی تلفات بازگشتی کمتر از -10dB بیشتر از 100MHz می باشد. همچنین بهره در این بازه فرکانسی بیش از 4.5dB می باشد. افزایش بهره نسبت به آنتن با قطبش عمودی ناشی از اثرات لنزگونه ساختار فراسطح است.

شکل ۱۱- پترن تشعشعی آنتن همه جهته با قطبش افقی در فرکانس 5.8GHz (الف) ۳ بعدی (ب) سمت ج) ارتفاع

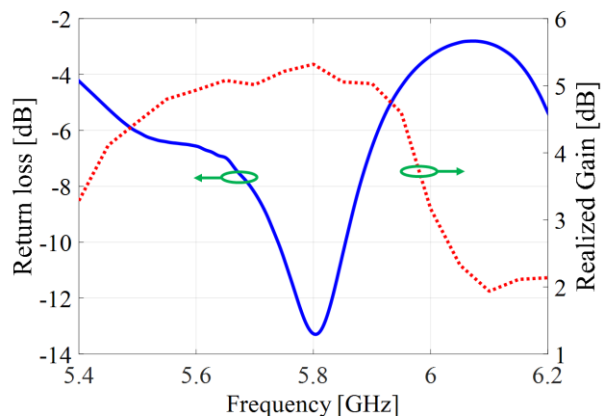
در شکل ۱۱ پترن تشعشعی سه بعدی و پترن تشعشعی آنتن برای صفحات سمت و ارتفاع ارائه شده است. لازم به ذکر است که ریبیل آنتن در صفحه افقی به علت ریبیل آنتن تشعشع کننده و همچنین دقت شبیه سازی می باشد. که برای حل مشکل اول می توان از آنتن های با تقارن بیشتر استفاده نمود.

۵- نتیجه گیری و بحث

در این مقاله به طراحی، شبیه سازی آنتن همه جهته با قطبش افقی پرداخته ایم. استفاده از فراسطح استوانه ای شکل و طراحی مبدل پلاریزاسیون عمودی به افقی منجر به طراحی آنتن همه جهته با پلاریزاسیون افقی شد. استفاده از این روش قابلیت طراحی آنتن های همه جهته با قطبش افقی و بهره بالا را ارائه می دهد. این آنتن برای فرکانس کاری 5.8GHz طراحی شد. آنتن طراحی شده دارای حداکثر بهره بیش از 4.5dB و تلفات بازگشتی بهتر از 15dB می باشد.

۶- مراجع

- [1] Liang Hua Ye, Y. Zhang, Xiu Yin Zhang, and Q. Xue, "Broadband Horizontally Polarized Omnidirectional Antenna Array for Base-Station Applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 67, no. 4, pp. 2792–2797, Apr. 2019
- [2] Y. Yu, J. Xiong, and W. Ren, "A Wideband Omnidirectional Antenna Array With Low Gain



شکل ۱۰- بهره و تلفات بازگشتی آنتن همه جهته با پلاریزاسیون افقی

- Antennas and Propagation*, vol. 71, no. 5, pp. 3845–3855, May 2023
- [14] S. Anantha Ramakrishna and T. M. Grzegorzczak, *Physics and Applications of Negative Refractive Index Materials*. CRC Press, 2008.
- [15] Q. Yang *et al.*, "Efficient flat metasurface lens for terahertz imaging," *Optics Express*, vol. 22, no. 21, pp. 25931–25939, Oct. 2014.
- [16] Z. Liu and B. Bai, "Ultra-thin and high-efficiency graphene metasurface for tunable terahertz wave manipulation," *Optics Express*, vol. 25, no. 8, p. 8584, Apr. 2017.
- [17] J. Han *et al.*, "Broadband Radar Cross Section Reduction Using Dual-Circular Polarization Diffusion Metasurface," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 6, pp. 969–973, Jun. 2018.
- [18] Mostafa Khanjarian, M. Soleimani, Vahid Nayyeri, Mohamed El Badawe, S.-F. Babazadeh, and O. M. Ramahi, "A circularly polarized, high aperture efficiency metasurface antenna," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 63, no. 12, pp. 3027–3034, Aug. 2021.
- [19] Md. M. Hasan *et al.*, "Gain and isolation enhancement of a wideband MIMO antenna using metasurface for 5G sub-6 GHz communication systems," *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, Jun. 2022.
- [20] Y. Ye and S. He, "90° polarization rotator using a bilayered chiral metamaterial with giant optical activity," *Applied Physics Letters*, vol. 96, no. 20, p. 203501, May 2010.
- [21] A. Abdullah, B. Khan, S. Ullah, and B. Kamal, "Design and Analysis of a Wide Band Cross-Polarization Converting Metasurface," Mar. 2019.
- [22] C. Ni, M. S. Chen, Z. X. Zhang, and X. L. Wu, "Design of Frequency-and Polarization-Reconfigurable Antenna Based on the Polarization Conversion Metasurface," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 1, pp. 78–81, Jan. 2018.
- [23] Mondeep Saikia, S. Ghosh, S. Bhattacharyya, and Kumar Vaibhav Srivastava, "Broadband polarization rotator using multilayered metasurfaces," Dec. 2015.
- [24] S. Wang *et al.*, "Arbitrary polarization conversion dichroism metasurfaces for all-in-one full Poincaré sphere polarizers," *Light: Science & Applications*, vol. 10, no. 1, Jan. 2021.
- [25] Y. Li *et al.*, "Achieving wide-band linear-to-circular polarization conversion using ultra-thin bilayered metasurfaces," *Journal of Applied Physics*, vol. 117, no. 4, p. 044501, Jan. 2015.
- [26] Y. Li *et al.*, "High performance planar sleeve dipole array antenna with directional radiation," *Progress in Electromagnetics Research C*, Jan. 2011.
- [27] Davoud Zarifi and A. Ahmadi, "AN OMNIDIRECTIONAL PRINTED COLLINEAR Variation," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 386–389, Dec. 2016.
- [3] Y. Fan, X. Liu, B. Liu, and R. Li, "A Broadband Dual-Polarized Omnidirectional Antenna Based on Orthogonal Dipoles," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 1257–1260, Jan. 2016.
- [4] Y. Cui, P. Luo, Q. Gong, and R. Li, "A Compact Tri-Band Horizontally Polarized Omnidirectional Antenna for UAV Applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 4, pp. 601–605, Apr. 2019.
- [5] B. Zhou, J. Geng, X. Bai, L. Duan, X. Liang, and R. Jin, "An Omnidirectional Circularly Polarized Slot Array Antenna With High Gain in a Wide Bandwidth," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 14, pp. 666–669, Jan. 2015
- [6] X.-W. Dai, Z.-Y. Wang, C.-H. Liang, X. Chen, and L.-T. Wang, "Multiband and Dual-Polarized Omnidirectional Antenna for 2G/3G/LTE Application," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp. 1492–1495, 2013
- [7] D. Guo, K. He, Y. Zhang, and M. Song, "A Multiband Dual-Polarized Omnidirectional Antenna for Indoor Wireless Communication Systems," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 290–293, 2017.
- [8] Y. Yu, F. Jolani, and Z. Chen, "A Wideband Omnidirectional Horizontally Polarized Antenna for 4G LTE Applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp. 686–689, 2013.
- [9] Omid Manoochehri, Amin Darvazehban, Mohammad Ali Salari, Seiran Khaledian, D. Erricolo, and B. Smida, "A dual-polarized biconical antenna for direction finding applications from 2 to 18 GHz," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 60, no. 6, pp. 1552–1558, Apr. 2018.
- [10] X. Quan and R. Li, "A Broadband Dual-Polarized Omnidirectional Antenna for Base Stations," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 2, pp. 943–947, Feb. 2013.
- [11] Golak Santra and P. N. Patel, "Horizontally Polarized Omnidirectional Antenna Using Slotted Rectangular Patch and Defected Ground Structure," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 22, no. 4, pp. 704–708, Apr. 2023.
- [12] S. Wu, J. Xu, and Q. Chen, "High-Gain Omnidirectional Horizontally Polarized Dipole Array for Sub-6 Base Station," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 22, no. 7, pp. 1652–1656, Jul. 2023.
- [13] Hui Dong Li and Z. Li, "Dual-Frequency High-Gain Horizontally Polarized Omnidirectional Leaky-Wave Antenna," *IEEE Transactions on*

- MICROSTRIP ANTENNA ARRAY," *Progress in Electromagnetics Research Letters*, vol. 75, pp. 33–38, Jan. 2018.
- [28] Y. Yu and W. Dang, "A High Gain Omnidirectional COCO Antenna Array," Jan. 2018.
- [29] R. Bancroft and B. Bateman, "An Omnidirectional Planar Microstrip Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 11, pp. 3151–3153, Nov. 2004.
- [30] W. Cao and Y. Ma, "Ku-band Omnidirectional High Gain Antenna," Nov. 2020.
- [31] J.-H. Lu and S.-W. You, "Novel Dual-Band Design of Planar Dipole Array for 4G LTE/WiMAX Access Points," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2011.
- [32] J. Tang, L. Fang, and C. Hu, "A low sidelobe and high gain omni-directional COCO antenna array," *Proceedings of 2014 3rd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation*, Jul. 2014.
- [33] K.-L. Wong, F.-R. Hsiao, and T.-W. Chiou, "Omnidirectional Planar Dipole Array Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 2, pp. 624–628, Apr. 2004.