

بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. ۱۳۹۸ بهمن ۱۳۹۸



طراحی و شبیه سازی مجموعه شبه اپتیک غیر کروی سامانه تصویربردار در ۲۲۰ گیگاهر تز

فائزه جدیدی'، محمد اسدنژاد'، عبدالله اسلامیمجد"، علیرضا عرفانیان'، سید حسین محسنی ارمکی⁴

۲ Jadidi87@yahoo.com مالک اشتر Jadidi87@yahoo.com پژوهشگر وزارت نیرو
۳ m.asadnejad@tpph.ir
۳ m.asadnejad@tpph.ir
۳ m.asadnejad@tpph.ir
۵ Erfanian@mut.ac.ir

چکیده – در این مقاله یک سامانه شبهاپتیک تصویربردار موج میلیمتری در فرکانس مرکزی ۲۲۰ گیگاهرتز طراحیشده است. ایـن سامانه شامل ترکیب مناسبی از یک عدسی دیالکتریک غیرکروی جهت کانونی کردن پرتو و یک هـورن مخروطـی جهـت ایجـاد تفکیکپذیری کمتر از ۲۰ میلیمتر در فاصله ۲/۵ متری است. پارامترهای کلی این سامانه با استفاده از روش اپتیک هندسی محاسبه شده است و از نرمافزار طراحی اپتیکی ZEMAX برای شبیهسازی عدسی استفاده شده است. عدسی دیالکتریـک از پلـیاتـیلن بسیار چگال تشکیل شده است و قطر دهانه ورودی این سامانه نیز ۲۱ سانتیمتر است. سپس یک هورن مخروطی بهینه با بهـره ۲۰ دسیبل طراحیشده است و مقطر دهانه ورودی این سامانه نیز ۲۱ سانتیمتر است. سپس یک هورن مخروطی بهینه با بهـره ۲۰ CST انجام شده است و نتایج نشان میدهد که ترکیب آن با عدسی دیالکتریک جهت تصویربرداری در فرکانس ۲۰۲ گیگاهرتز بـا تفکیکپذیری بالا مناسب است.

كليد واژه- اپتيك هندسي، شبهاپتيك، عدسي غيركروي، تصويربرداري موج ميليمتري، هورن.

Design and simulation of an aspheric quasi-optical millimeter wave imaging system in 220 GHz

Faeze jadidi, A.Eslami Majd, A. Erfaniyan and S. H. Mohseni Armaki

Department of Electrical and Computer Engineering, Maleke-ashtar University of Technology, Tehran.

Abstract- In this paper, a quasi-optical millimeter wave imaging system is designed at central frequency of 220 GHz. This system includes a combination of an aspheric dielectric lens in order to focus the beam and a conical horn to form resolution less than 20 mm at distance of 2.5 meters. The general parameters of this system are calculated using the geometrical optics method and the optical design software ZEMAX was utilized to simulate the lens. The designed dielectric lens is made of High Density Polyethylene and the aperture diameter of the system is 21 cm. Then, an optimum conical horn with gain 20 dB is designed that couple the concentrated radiation to detector. The simulation of the horn is performed using the commercial softwares FEKO and CST and the simulation results indicate that its combination with dielectric lens is appropriate for imaging in 220 GHz with high resolution.

Keywords: Aspheric lens, Geometrical optics, Horn, Millimeter wave imaging, Quasi-optics.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

ماتریس انتقال ABCD و روش ترکیبی است[۱۰]. در این پژوهش از روش اپتیک هندسی برای طراحی عدسی، یافتن اندازه دهانه و مکان قرارگیری هورن (نوعی موجبر فلزی بازشونده) استفاده شده است. با کانونی شدن پرتوی ورودی توسط عدسی، یک لکه کوچک بهدست میآید که باید در مرکز فاز هورن قرار گیرد تا با استفاده از موجبر به آشکارساز تزویج شود. بهدلیل وجود ابیراهی و پراش، پرتوی کانونی شده در صفحه تصویر پخش و موجب تارشدگی تصویر می شود. تفکیک پذیری سامانه طبق معیار رایلی برابر است با:

$$s = R \frac{1.22\lambda}{D} \tag{1}$$

همچنین در سامانه محدود به پراش، قطر لکه برابر است با:

$$B_{diff} = 2.44\lambda(F/\#)$$
(Y)

که λ فرکانس مرکزی عملکرد، R فاصله تصویربرداری و S تفکیک پذیری است[۱۱]. بنابراین برای تفکیک پذیری ۲۰ میلیمتر در فاصلهی ۲/۵ متر، اندازه دهانه ورودی باید ۲۱ سانتیمتر باشد. به دلیل کاهش حجم سامانه، #/۲ برابر سانتیمتر باشد. به دلیل کاهش حجم سامانه، ترابر این متر باشد. به دلیل کاهش حجم سامانه، ترابر برابر که ۲/۳ متر کانونی با استفاده از رابطه (۲)، برابر با ۳mm هورن است. نشان دهنده کوچکترین اندازه مجاز دهانه هورن است.

۱- شبیهسازی عدسی غیر کروی

در اپتیک غیرکروی، افزایش درجههای آزادی در شکل سطح، میتواند توانایی طراح را در کاهش ابیراهیها، افزایش دهد. فرمول طراحی عدسی غیرکروی به صورت رابطه (۳) است:

$$Z = \frac{c^{-1}r^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^{-2}r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \alpha_4 r^8 + \alpha_5 r^{10}$$
(٣)

که در آن c انحنا، r مختصه شعاعی و k ثابت مخروطی است[۱۲]. با داشتن پارامترهای اولیه و انجام محاسبات

مقدمه

امواج میلیمتری در محدوده طول موجی ۱ تا ۱۰ میلیمتر طيف الكترومغناطيسي قرار دارند كه متناظر با فركانس ۳۰-۳۰ گیگاهرتز است[۱]. در پنجرههای اصلی که در فرکانس های ۳۵، ۹۴، ۱۴۰ و ۲۲۰ گیگاهرتز قرار دارند، جذب گازها و مواد تشکیل دهنده اتمسفر کمینه است[۲]. این امواج از مواد دیالکتریک مانند پلاستیک یا لباس عبور میکنند و توسط مواد فلزی بازتاب میشوند. این ویژگی در کاربرد امنیتی و آشکارسازی سلاحهای مخفی زیر لباس و چمدان مسافران در فرودگاه و نقاط مرزی مطلوب است[٣]. پارامترهای کلیدی شامل انتخاب فركانس موردنظر، روش روشنایی (فعال یا غیرفعال)، فاصله هدف شامل فاصله دور(بیش از ۱۰ طولموج) و فاصله نزدیک(کمتر از ۱۰ طولموج)، چیدمان آشکارساز(تک آشکارساز، آشکارساز آرایهای یک یا دوبعدی) و پردازش تصوير مي باشد. انتخاب فركانس با توجه به يک قانون ساده صورت می گیرد: انتخاب فرکانس پایین تر برای داشتن عمق نفوذ بیشتر و اپتیک با دهانه بزرگتر، یا انتخاب فركانس بالاتر براى تفكيك پذيرى بهتر [۴]. تاریخچه فناوری موج میلیمتری به سال ۱۸۹۰ برمی گردد و اولین فعالیت مهم در این زمینه در ۱۹۳۰ انجام شد [۵]. دیچفیلد و انگلند، اولین سامانه تصویربرداری موج میلیمتری در بریتانیا را در سال ۱۹۵۵ ارائه نمودند[۶]. از آن زمان، این فناوری با پیشرفت سریع ادامه یافته است[۷]. رابرتسون و همکارانش طراحی و ساخت یک سامانه تصویربردار موج میلیمتری را در سال ۲۰۱۶ در فركانس ۲۲۰ گیگاهرتز گزارش كردهاند [۸ و۹].

طراحي سامانه

روشهای طراحی شبهاپتیک سامانه تصویربرداری موج میلیمتری شامل اپتیک هندسی، روش پرتوی گاوسی،

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

مربوطه، با نرمافزار ZEMAX به طراحی سامانه اپتیکی پرداخته شد. سپس با تعریف توابع شایستگی مناسب، عملیات بهینهسازی انجام گرفت. با توجه به قطر زیاد عدسی و حجم آن، تابع شایستگی طوری تعریف شد که عدسی دارای لبه mm ۱۰ (جهت امکان نگهداری با نگهدارندههای اپتومکانیکی) باشد. میداندید این سامانه نگهدارندههای اپتومکانیکی) باشد. میداندید این سامانه برابر با ۱۰ درجه (معادل فضای ۵۰×۵۰ سانتیمتری از هدف در فاصله ۲/۵ متری) است. سامانه اپتیکی عبوری شبیهسازی شده توسط نرمافزار XEMAX، با استفاده از پلی اتیلن بسیار چگال (HDPE) با ضریب شکست پلی اتیلن در فرکانس ۲۲۰ گیگاهرتز، در شکل (۱) آمده است.



شکل ۱. عدسی غیرکروی طراحی شده در ZEMAX

مقادیر ثابتهای سطح غیرکروی در جدول (۱) آمده است. D و d بهترتیب برابر با قطر و ضخامت عدسی هستند.

عدسي غيركروي	پارامترهای	.١	جدول
--------------	------------	----	------

سطح ۲	سطح ۱	ثابت
-ΔΥΥ	۲۰۸	с
- 129/T•T	•/49٣	k
-1/88e-••4	۱/ <i>۸۶</i> е-۰۰۸	α1
-1/8/e••/	۱/Ae-۰۰۸	α2
-1/80e-•18	-4/18e-•17	α ₃
4/•4e-•11	-۶/٩e-・١٨	α_4
۲۶۰(mm)		D
۶/۹(mm)		d

وزن این سامانه حدود ۱/۹ کیلوگرم و فاصله کانونی آن نیز برابر با ۲۷/۱ سانتیمتر است. شکل (۲) منحنی لکهای سامانه طراحی شده را برای ۷ حالت مختلف (از نظر میدان دید) نشان می دهد. در این سامانه ابیراهی ها اصلاح شدهاند و میانگین مربع شعاع لکه در بدترین حالت در انتهای میدان دید ۱/۶ میلی متر است.



شکل ۲. منحنی لکهای عدسی دیالکتریک غیرکروی

۲- طراحی هورن

معمولا در سامانههای شبهاپتیک از هورنهای مخروطی و هرمی استفاده میشود. در این پژوهش هورن مخروطی، شکل (۳)، انتخاب شده است که ساخت آن آسان است و با استفاده از موجبر دایروی به آشکارساز تزویج میشود. با در نظر گرفتن بهره و θ_{-10dB} مناسب، هورن مخروطی با قطر دهانه mm ۶ و طول mm /۶ برای این سامانه تصویربردار مناسب است که به موجبر دایروی مناسب متصل شده است. این هورن از جنس رسانای کامل و ضخامت آن برابر ۱ mm



شكل ٣. هورن مخروطي طراحي شده و الگوى تابشي سهبعدي أن

سامانه شبهاپتیک بهمنظور تصویربرداری در فرکانس ۲۲۰ گیگاهرتز استفاده نمود.

مرجعها

- [1] C. T. Taylor, "Enhancement of Imagery From Passive Millimetre-wave Systems for Security Scanning"; Ph.D. Thesis, The University of Manchester, Manchester, 2015.
- [2] M. Sayed , F. Anderson, "50-to-110-GHz High-Performance Millimeter Wave Source Modules", Hewlett-Packard Journal, Vol. 42, No. 2, pp.50-64,1991.
- [3] D. M. Sheen, D. L. McMakin, T. E. Hall, "Near field imaging at microwave and millimeter wave frequencies," Proc. of IEEE IMS, pp. 1693–696, 2007.
- [4] S. Oka, H. Togo, N. Kukutsu, and T. Nagatsuma, "Latest trends in millimeter-wave imaging technology", Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 1, pp. 197–204, 2008.
- [5] J. C. Wiltse, "History of Millimeter and Submillimeter Waves"; IEEE T. Microw. Theory., 32, pp. 1118-1127,1984.
- [6] C. Ditchfield, T. England, "Passive Detection at Q band"; RRE. Memo., pp. 1124, 1955.
- [7] R. Appleby, R. N. Anderton, "Millimeter-wave and Submillimeter-wave Imaging for Security and Surveillance"; P. IEEE, 95, pp. 1683-1690, 2007.
- [8] A. Robertson, G. Macfarlane1, T. Bryllert, "220 GHz wideband 3D imaging radar for concealed object detection", technology development and phenomenology studies, Passive and Active Millimeter-Wave Imaging XIX, Proc. of SPIE Vol. 9830, 983009, 2016.
- [9] D.A. Robertson, D.G. Macfarlane, "A 220 GHz 3D imaging radar with sub-cm3 voxel resolution for security applications", EuMA, 978-2-87487-043-9, 2016.
- [10] Q. Jing-Hui, W. Nan-Nan, Z.Yi-Chi, Y.Cai-Tian, D.Wei-Bo, "Research on Quasi-optics and Feed Antenna for Millimeter Wave Imaging System"; in Proc. of the 9th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory, pp. 45-48, 2010.
- [11] R. E. Fischer, B. Tadic-Galeb,; P. R. Yoder, R. Galeb, B. C. Kress, S. C. McClain, "Optical System Design", Citeseer, 2000.

Zemax group, Zemax Optical Design Program User's Manual, 2013, 1-765.

شبیه سازی این هورن با استفاده از نرمافزار FEKO صورت گرفته است و الگوی میدان دور آن در شکل (۴) آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود این هورن تقارن الگوی مناسبی در دو صفحه E و H دارد. تقارن الگوی بهتر معادل با خطای فاز و ابیراهی اپتیکی کمتر است.



شکل ۴. الگوی میدان دور هورن مخروطی طراحیشده در فرکانس ۲۲۰ گیگاهرتز

درنهایت مرکز فاز هورن، در کانون سامانه قرار می گیرد که با استفاده از نرمافزار CST محاسبه شده و برابر با ۳/۵ میلی متر به دست آمده است. با توجه به اندازه قطر عدسی و فاصله کانونی آن، زاویه باز شدگی عدسی، θ_0 ، برابر با فاصله کانونی آن، زاویه باز شدگی عدسی، م0، برابر با فاصله کانونی آن، زاویه باز شدگی مدسی، م0، برابر با میدهد که ماصله آن برابر با ۴۲ درجه است که هم خوانی مناسبی دارد و ترکیب آن ها با یکدیگر مناسب است.

نتيجهگيرى

سامانه شبه اپتیک تصویربردار موج میلی متری با استفاده از روش اپتیک هندسی طراحی و با استفاده از نرم افزارهای FEKO ،ZEMAX و CST شبیه سازی و بررسی شده است. عدسی غیر کروی طراحی شده برای دوربین موج میلی متری یک سامانه با کیفیت بالا است که ابیراهی های آن به خوبی اصلاح شده اند. منحنی های کیفیت تصویر نیز نشان دهنده کیفیت بالای سامانه طراحی شده است. با توجه به نتایج شبیه سازی می توان نتیجه گرفت ترکیب عدسی و هورن طراحی شده با یکدیگر مناسب است و می توان از این