

طراحی آرایه آنتن ماریچی مود محوری برای سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای

سید پیام عباسی نیا زارع^۱
عباس رضانی^۲، امید منوچهری^۳، سید پیمان عباسی نیا زارع^۴

چکیده

در این مقاله طراحی و ساخت یک آرایه چهارتایی آنتن ماریچی مخروطی با بارگذاری دی‌الکتریک به منظور استفاده در وسایل نقلیه سیار جهت ارتباط با ماهواره اینمارست-M ارائه شده است. در این طراحی سعی بر کوچک بودن آرایه در عین داشتن بهره بالا، سطح لوب کناری (SLL) پایین و نسبت محوری (AR) مناسب برای استفاده در مخابرات ماهواره‌ای شده است. برای بهبود خواص تشعشی آرایه از دی‌الکتریک در فضای داخلی ماریچ‌ها استفاده شده است. این آرایه می‌تواند بهره ۱۵/۱ دسیبل، الگوی تشعشی مود محوری با سطح لوب کناری ۲۱- دسیبل و یک نسبت محوری ۳ دسیبل با پهنای باند ۱۵٪ تولید کند. طول محوری عناصر آرایه، نحوه ساخت و مشخصه نسبت محوری نسبت به نمونه‌های قبلی مشخصات تشعشی، تطبیق و پهنای باند بهتری دارد. آرایه مورد نظر ساخته شده است و نتایج اندازه‌گیری آن در تطابق با نتایج اندازه‌گیری می‌باشد.

کلیدواژه

آرایه آنتن، آنتن ماریچی، مخابرات ماهواره‌ای

^۱ کارشناس ارشد برق، دانشگاه تربیت مدرس p.abbasnia@gmail.com

^۲ دانشجوی کارشناسی فناوری اطلاعات، دانشگاه صنایع معادن

^۳ کارشناس ارشد برق، دانشگاه تربیت مدرس

^۴ کارشناس برق، دانشگاه آزاد کرج

مقدمه

ماهواره اینمارست-M^۵ در تمام دنیا وظیفه سرویس‌دهی و موقعیت‌یابی را برای ناوگان دریایی و زمینی و هوایی دارد. این ماهواره در سال ۱۹۹۲ با استفاده از تکنولوژی مخابرات دیجیتال ساخته شد. در ۲ محدوده فرکانسی ۱۵۵۹-۱۵۲۵ مگاهرتز برای ارتباط پایین‌رو و ۱۶۶۰/۵-۱۶۲۶/۵ مگاهرتز برای ارتباط بالا‌رو صدا و داده را مخابره می‌کند. آنتنی که برای ارتباط با این ماهواره بکار برده می‌شود، باید دارای قطبش^۶ دایروی با بهره‌ای^۷ در محدوده بین ۱۶-۱۳ دسیبل باشد. معمولاً ارتباط این ماهواره با وسایل متحرک صورت می‌گیرد، لذا آنتن پیشنهادی می‌بایست کوچک و سبک باشد [۱]. چندین آنتن و آرایه برای استفاده در این سیستم پیشنهاد شده است [۲-۴].

آنتن مارپیچی^۸ به دلیل داشتن پهنای باند وسیع قطبش دایروی و ساختار متناوب ساده‌اش در ارتباطات مخابرات ماهواره‌ای دارای کاربرد بسیاری است. [۵-۷].

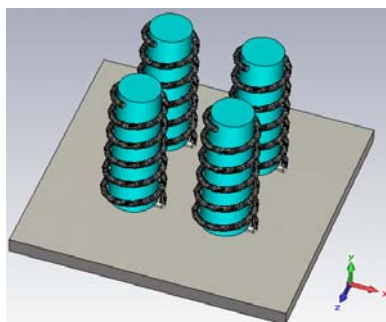
در این مقاله با استفاده از آنتن مارپیچی مخروطی با بارگذاری دی‌الکتریک^۹ یک آرایه آنتن برای سیستم اینمارست-M پیشنهاد شده است. به وسیله بهینه‌سازی قطر سیم مارپیچ و طول تغذیه (ارتفاع مارپیچ از سطح زمین)، تطبیق امپدانس^{۱۰} ایجاد گردید. هم‌چنین نسبت محوری^{۱۱} به طور هم‌زمان به وسیله اضافه کردن دور غیر صحیح بهینه‌سازی شده در انتهای مارپیچ و مخروطی کردن آهسته ساختار مارپیچ بهبود داده شد. شبیه‌سازی با استفاده از نرم افزار MICROWAVE CST STUDIO انجام گرفته است. آرایه مورد نظر ساخته شده است و نتایج اندازه‌گیری آن در تطابق کامل با نتایج شبیه‌سازی می‌باشد.

طراحی، شبیه‌سازی و ساخت آرایه آنتن

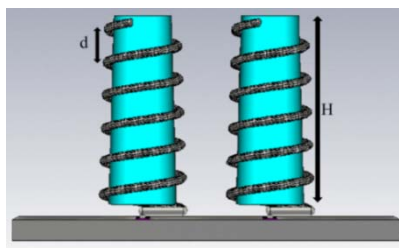
این آرایه در محدوده فرکانسی ۱۶۶۰/۵-۱۵۲۵ مگاهرتز برای مود محوری طراحی شده است. دلیل استفاده از آرایه چهارتایی افزایش بهره به منظور ارتباط با ماهواره می‌باشد. ساختار این آرایه در شکل ۱ نشان داده شده است. مارپیچ‌ها به صورت راستگرد حول یک مخروط ناقص (تفلون) دی‌الکتریک با ضریب دی‌الکتریک ۲/۱ پیچیده شده‌اند. مقدار تلفات دی‌الکتریک ناچیز می‌باشد.

Inmarsat-M^۵
 polarisation^۶
 Gain^۷
 Helical Antenna^۸
 Dielectric Loaded^۹
 Impedance Matching^{۱۰}
 Axial Ratio^{۱۱}

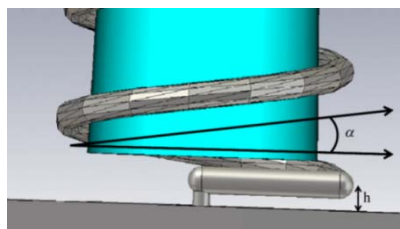
استفاده از دی‌الکتریک علاوه بر آنکه موجب استحکام ساختار آنتن می‌شود، فرکانس تشدید آنتن را کمی کاهش می‌دهد. این امر در کوچک‌سازی آنتن موثر است. همچنین بهره آنتن به دلیل اثر موجبری دی‌الکتریک بهبود می‌یابد. چون موج در درون آن پراکندگی کمتری در جهات غیر از جهت اصلی دارد که این روش در طراحی آنتن‌های آرایه‌ای هم استفاده می‌شود [۸]. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، ماریچ‌ها در راستای محور Y عمود بر صفحه زمین ایده آل $(X-Z)$ قرار دارند. در جدول ۱ مقادیر بدست‌آمده و بهینه‌سازی شده برای ابعاد فیزیکی و پارامترهای تعریف شده در آرایه آنتن داده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱. آرایه 2×2 آنتن ماریچی مود محوری مخروطی با بارگذاری دی‌الکتریک به همراه صفحه زمین مربعی.
(الف) نمای سه بعدی (ب) نمای جانبی (ج) نحوه تغذیه عناصر

خواص تشعشعی آنتن بوسیله کنترل ابعاد فیزیکی آنتن با یک نسبت مناسب از طول موج می‌تواند تنظیم گردد. اندازه محیط اولین دور مارپیچ که با پارامتر C انتخاب شده است، تقریباً برابر λ می‌باشد که طول موج در فضای آزاد در فرکانس $1/575$ گیگاهرتز است. آنتن مارپیچی یک موج با قطبش دایروی در جهت محوری تشعشع می‌کند، اگر مقدار C بین مقادیر $\frac{4}{3}\lambda < C < \frac{3}{4}\lambda$ انتخاب گردد که λ طول موج در فضای آزاد می‌باشد [۹]. محاسبات اولیه در طراحی با توجه به روابط داده شده در مرجع [۵] انجام شده است. توان بوسیله یک مقسم توان ۱ به ۴ با طول کابل‌های کاملاً برابر برای آنتن‌ها فرستاده می‌شود. کابل استاندارد (LMR400) برای این منظور استفاده شده است. مغزی کابل به آنتن و زره آن به صفحه زمین متصل شده است. زاویه بین سیم صاف و نقطه ابتدای آنتن در جهت مثبت محور X ها برابر صفر درجه می‌باشد.

جدول ۱. پارامترهای بدست‌آمده و بهینه‌سازی شده مارپیچ‌ها

نماد	پارامتر	ابعاد بهینه	ابعاد اولیه
C	محیط مارپیچ	19cm	22cm
h	ارتفاع مارپیچ از سطح زمین (طول تغذیه)	6 mm	10mm
α	زاویه گام (پیچش)	7.34°	10°
H	طول محوری	14 cm	19.8cm
d	فاصله بین دورها	0.13C (2.45cm)	0.18C (3.96cm)
ϵ_r	ضریب دی‌الکتریک	2.1	2.1
R	شعاع سیم مارپیچ	3 mm	2.5mm
r	نسبت شعاعی	0.85	0.7
N	تعداد دور	5.7	5

$$R_{in} = 140 \frac{C}{\lambda} \quad (1)$$

$$|AR| = \frac{2N + 1}{2N} \quad (2)$$

این روابط برای حالت ماریچی استوانه‌ای است. که برای حالت مخروطی به صورت دقیق صادق نمی‌باشد [۵]. ولی چون ضریب مخروطی شدن کم می‌باشد می‌توان به صورت حدودی در طراحی اولیه از این روابط استفاده کرد. به منظور تطبیق امپدانس آنتن ماریچی روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است [۱۱-۱۰]. یک روش متداول صاف کردن سیمی است که در نزدیکی نقطه تغذیه آنتن به کار می‌رود [۱۴-۱۲]. برای آنتن‌هایی که به صورت محوری تغذیه می‌شوند، اضافه کردن یک هادی نوار مستطیلی در حد فاصل شروع ماریچ و تغذیه نیز پیشنهاد شده است [۱۵]. در این مقاله تطبیق امپدانس بوسیله بهینه‌سازی قطر سیم ماریچ و ارتفاع ماریچ از سطح زمین (طول تغذیه) بدست آمده است. این روش نسبت به روش‌های قبلی به دلیل ساده و موثر بودن بیشتر مورد توجه قرار دارد. متداول‌ترین روش برای بهبود نسبت محوری مخروطی کردن انتهای ماریچ می‌باشد [۱۶-۱۷] و [۹]. همچنین با تغییرات نمایی در زاویه گام آنتن و یا استفاده از یک حلقه کوچک در انتهای آنتن که موجب کاهش جریان‌های برگشتی می‌شود، می‌توان نسبت محوری را بهبود داد [۱۸].

بررسی اثر پارامترهای فیزیکی

با توجه به فرکانس و محدوده بازه $\frac{4}{3}\lambda < C < \frac{3}{4}\lambda$ که در مراجع تعیین می‌شود حدود C بدست می‌آید. برای تعیین گام مقدار اولیه آن در حدود 10 درجه بهینه می‌باشد که با توجه به ساختار مخروطی آنتن می‌توان برای افزایش دور، گام را تا حدود $7/8$ درجه کاهش داد. دلیل دیگر آن این است که از دی‌الکتریک در مرکز ماریچ‌ها استفاده شده است و میدان را در مرکز تمرکز می‌دهد. امپدانس بدست آمده در رابطه ۱ برای حالت بدون دی‌الکتریک است که با اعمال دی‌الکتریک به اندازه $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$ کاهش می‌یابد.

با توجه به $C \approx \lambda$ مقدار امپدانس ورودی در حدود 90 اهم می‌باشد. با توجه به اینکه هر یک از ماریچ‌ها توسط کابل کوکسیال از محورشان تغذیه می‌گردند. یک سیم صاف اتصال بین تغذیه کوکس در مرکز ماریچ و ابتدای سیم ماریچ که در ارتفاع h بالاتر از سطح زمین قرار دارد را برقرار کرده است. مقدار h در تطبیق امپدانس آنتن موثر است. باید توجه داشت که دی‌الکتریک باعث کاهش فرکانس تشدید با ضریب $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$ می‌گردد.

رفتار مارپیچی با افزایش یا کاهش قطر سیم به صورت یکنواخت نیست. اما در حالت کلی افزایش قطر باعث می‌شود که پترن پهن‌تر باشد و تغییرات شدید نداشته باشد، ولی افزایش بیش از حد باعث افزایش تزویج بین دورها می‌شود که رفتار آنتن را تغییر می‌دهد. میزان مخروطی شدن در حالت عملی نباید بیشتر از ۳۰ درجه باشد. چون پهنای باند آنتن به شدت کاهش می‌یابد و پترن دارای صفرهای ناخواسته می‌گردد. فاصله بین عناصر آرایه در دو جهت $0/5\lambda$ انتخاب شده است تا از ایجاد لوب‌های ناخواسته^{۱۲} جلوگیری شود و میزان تزویج^{۱۳} بین عناصر آرایه کم باشد. با توجه به این که صفحه زمین تاثیر زیادی بر روی بهره و نسبت محوری آنتن به دلیل تئوری تصویر دارد، در این طراحی یک صفحه مربعی به طول ۳۰ سانتیمتر از جنس آلومینیم به کار رفته است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که با مخروطی کردن ساختار آنتن با نسبت شعاعی^{۱۴} کوچک و اضافه کردن دور غیر صحیح در انتهای مارپیچ به صورت همزمان، نسبت محوری بهبود قابل توجهی می‌یابد. مقدار بهینه برای طول تغذیه ۶ میلی‌متر و شعاع سیم آنتن ۳ میلی‌متر بدست آمده است. همچنین بهترین پاسخ برای نسبت محوری در تعداد دور ۵/۷ و نسبت شعاعی $0/85$ از آرایه نتیجه شد. در جدول ۱ مقادیر بهینه داده شده است. شکل ۲ آرایه آنتن مارپیچی ساخته شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲. آرایه ۲×۲ آنتن مارپیچی مود محوری ساخته شده

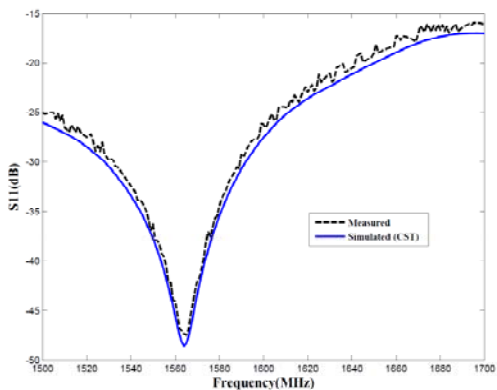
ساخت و نتایج تحلیل

شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تلف برگشتی^{۱۵}، نسبت محوری و بهره آرایه و الگوی تشعشعی راه دور آن بوسیله نرم افزار CST MICROWAVE STUDIO انجام شده است. شکل ۳ ضریب انعکاس شبیه سازی و اندازه‌گیری یک عنصر آرایه چهارتایی آنتن ماریچی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که اندازه $|S_{11}|$ در بازه فرکانسی ۱۶۶۰/۵-۱۵۲۵ مگاهرتز کمتر از ۲۰- دسیبل می‌باشد. همچنین فرکانس تشدید آنتن در حدود ۱۱ مگاهرتز به دلیل استفاده از دی‌الکتریک کاهش یافته است.

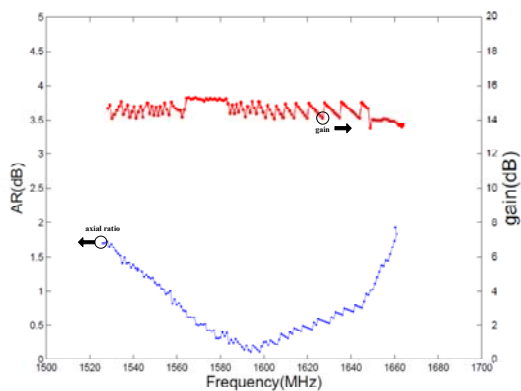
در شکل ۴ نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مقدار نسبت محوری کل آرایه در محدوده فرکانسی ۱۵۲۵-۱۶۶۰/۵ مگاهرتز کمتر از ۳ دسیبل می‌باشد. کمترین مقدار نسبت محوری در فرکانس ۱۵۹۴ مگاهرتز در حدود ۰/۱ دسیبل می‌باشد. مقدار پهنای باند ۳ دسیبل برای نسبت محوری در حدود ۱۵ درصد بدست می‌آید که برای کاربرد ارتباطی با ماهواره اینمارست-M بسیار مناسب است.

در شکل ۵ مقدار نسبت محوری شبیه‌سازی و اندازه‌گیری کل آرایه بر حسب زاویه ارتفاع^{۱۶} در فرکانس مرکزی ۱۵۴۲ مگا هرتز برای باند پایین رو نمایش داده شده است. محدوده زاویه‌ای که در آن نسبت محوری زیر ۳ دسیبل است، برای نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی به ترتیب ۸۲ و ۸۵ درجه می‌باشد. این مقدار تقریباً نصف نیم صفحه بالایی را که الگوی تشعشعی در آن قرار دارد، پوشش می‌دهد و می‌تواند به راحتی قطبش دایروی تولید کند. در نمودار شکل ۴ بهره کل آرایه شبیه‌سازی شده بر حسب فرکانس نشان داده شده است که مقدار ماکزیمم آن در حدود ۱۵/۱ دسیبل می‌باشد. در شکل ۶ الگوی تشعشعی راه دور اندازه‌گیری و شبیه‌سازی کل آرایه در فرکانس ۱۵۴۲ مگاهرتز رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، الگو دارای یک پرتو اصلی با پهنای پرتو نیم توان حدود ۳۸/۸ درجه و سطح لوب کناری^{۱۷} ۲۱- دسیبل می‌باشد. تغذیه آرایه بوسیله یک تقسیم کننده توان انجام شد که در شکل ۷ نمایی از آن دیده می‌شود.

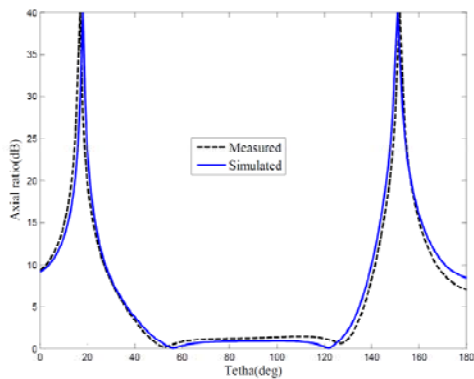
Return Loss^{۱۵}
Elevation^{۱۶}
Side Lobe Level^{۱۷}



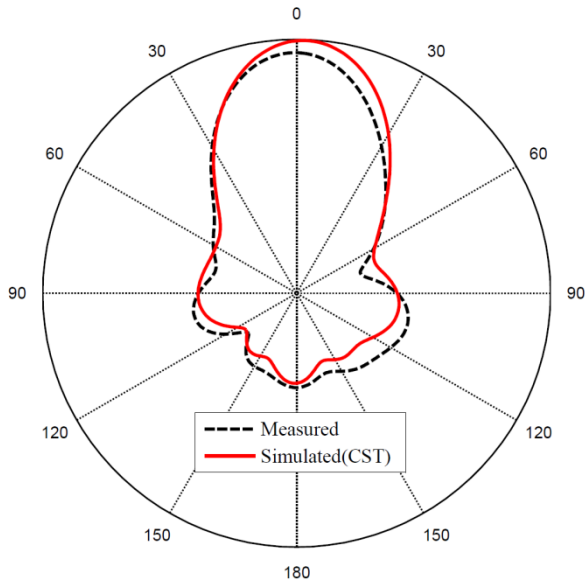
شکل ۳. تلف برگشتی عناصر آرایه



شکل ۴. نتایج شبیه‌سازی بهره پهلو آتش و نسبت محوری کل آرایه بر حسب فرکانس



شکل ۵. نسبت محوری بر حسب زاویه ارتفاع در فرکانس‌های ۱۵۴۲ مگاهرتز



شکل ۶. الگوی تشعشعی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری راه دور کل آرایه آنتن در فرکانس ۱۵۴۲ مگاهرتز در صفحه E



شکل ۷. یک تقسیم‌کننده توان ۴ خروجی برای تست آرایه چهارتایی آنتن مارپیچی

نتیجه گیری

طراحی، شبیه سازی و ساخت یک آرایه آنتن 2×2 از نوع مارپیچی مخروطی شکل در باند فرکانسی L با بارگذاری دی الکتریک جهت استفاده در ماهواره اینمارست-M ارائه شد. این آرایه از لحاظ ساختاری کوچک است و بهره بالا، پهنای باند نسبت محوری ۳ دسیبل و تطبیق امپدانس بسیار خوبی دارد. با بهینه سازی ارتفاع مارپیچها از سطح زمین و قطر سیم مارپیچ تطبیق امپدانس ایجاد گردید. همچنین با مخروطی کردن مارپیچها با نسبت شعاعی $0.85/1$ و اضافه کردن دور غیر صحیح به انتهای مارپیچها ($0.7/1$ دور) پهنای باند ۳ دسیبل ۱۵ درصد برای نسبت محوری حاصل شد و تقریباً نیم صفحه بالایی آرایه با قطبش دایروی تشعشع می کند. این آرایه بهره در حدود $15/1$ دسیبل و سطح لوب کناری ۲۱- دسیبل را دارد. نتایج شبیه سازی در تطابق کامل با نتیجه اندازه گیری می باشد.

مراجع

- [1] S. Ohmori, "Maritime Antennas for Satellite Communications," Handbook of Antennas in Wireless Communications, 2001, p. 43.
- [2] S. Ohmori, S. Miura, K. Kameyama, and H. Yoshimura, "An improvement in electrical characteristics of a short backfire antenna," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 1983, vol. 31, pp. 644-646.
- [3] T. Shiohara and Y. Karasawa: "Array Antenna Composed of 4 Short Axial-Mode Helical Antenna", Trans. IECE, Japan, 1982, J65-B, pp. 1267.
- [4] H. Hui, E. K. N. Yung, C. Law, Y. Koh, and W. Koh, "Design of a small and low-profile 2×2 hemispherical helical antenna array for mobile satellite communications," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 2004, vol. 52, pp. 346-348.
- [5] J. D. Kraus and R. J. Marhefka, "Antenna for all applications," McGraw Hill, 2002.
- [6] H. Nakano, Helical and spiral antenna-A numerical approach. Research Studies Press, New York, Wiley, 1987.
- [7] H. Nakano, H. Takeda, T. Honma, H. Mimaki, and J. Yamauchi, "Extremely low-profile helix radiating a circularly polarized wave," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 1991, vol. 39, pp. 754-757.

- [8] Y . A. HO, H. T. Hui, E,K,N. Yung, "A 1×2 dielectric-loaded helical antenna array", Antenna and Propagation Society International Symposium, 1996.AP-S.Digest Volume 3, Issue , 21-26 Jul 1996 page(s):1962-1965 vol.3.
- [9] S. Abbasniazare, K. Forooraghi, A. Torabi, and O. Manoochehri, "Mutual Coupling Compensation for a 1×2 Short Helical Antenna Array Using Split-Ring Resonators (SRRs)," Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2013, vol.33, pp.1-9.
- [10] J. Wong and H. King, "Broadband quasi-taper helical antennas," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 1979, vol. 27, pp. 72-78.
- [11] D. Angelakos and D. Kajfez, "Modifications on the axial-mode helical antenna," Proceedings of the IEEE, 1967, vol. 55, pp. 558-559.
- [12] J. Kraus and R. Marhefka, "The helical antenna: axial and other modes, Part II," Antennas: For All Applications, 3rd ed.(McGraw-Hill, 2003), pp. 251-258.
- [13] C. A. Balanis, "Traveling wave and broadband antennas," Antenna Theory Analysis and Design, 2005, pp. 488-540.
- [14] J. Kraus, "A 50-ohm input impedance for helical beam antennas," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 1977, vol. 25, pp. 913-913.
- [15] C. Chen, B. Hu, Z. Wu, and E. Yung, "A self-matching hemispherical helical antenna," in Antennas and Propagation Society International Symposium 2006, IEEE, 2006, pp. 4709-4712.
- [16] U. R. Kraft and G. Monich, "Main-beam polarization properties of modified helical antennas," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 1990, vol. 38, pp. 589-597.
- [17] H. Nakano, Y. Samada, and J. Yamauchi, "Axial mode helical antennas," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 1986, vol. 34, pp. 1143-1148.
- [18] C. H. Chen, E. Yung, B. J. Hu, and S. L. Xie, "Axial mode helix antenna with exponential spacing," Microwave and Optical Technology Letters, 2007, vol. 49, pp. 1525-1530.