JSST
Journal of Space Science & Technology

Vol. 1, No. 2, Winter 2009

Designing and Constructing of Inverted F Antennas on a Space Bound Vehicle for Telemetry Transmission

F. Sadeghikia[1*], S. Amini[2], K. Raisi[3], M. Bahrami[4]

1. Electrical Eng. Dept, Iran Univ. of Science and Tech. (IUST), and Aerospace Research Institute
2. Aerospace Research Institute
3, 4 Aerospace Engineering Amirkabir University of Technology and Aerospace Research Institute

* Narmak- Tehran

sadeghikia@ii.iust.ac.ir

This paper provides an instruction for designing and building of an Inverted F antenna mounted on a cylindrical conducting body with a conical nose. Designed antennas were simulated using a full wave simulator HFSS based on the finite element method and their radiation patterns and return loss were studied. The simulated data were compared with measurement results.

Keywords: Inverted F Antenna, Radiation, Pattern, Voltage Standing, Wave Ratio, Bandwidth, Sounding Rocket

JSST
فصلنامهٔ علمی - پژوهشی علوم و فناوری فضایی

جلد ۱/ شمارهٔ ۲/ زمستان ۱۳۸۷
ص. ص ۵۷-۶۰

مقاله کوتاه

طراحی و ساخت آنتن F معکوس روی راکت کاوش برای ارسال تله‌متری

فاطمه صادقی‌کیا[۱]*، سمانه امینی[۲]، کامران رئیسی[۳]، و محسن بهرامی[۴]

۱- دانشگاه علم و صنعت، دانشکدهٔ برق و پژوهشگاه هوافضا
۲- پژوهشگاه هوافضا
۳- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی هوافضا
۴- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و مجری طرح پژوهشگاه هوافضا

* تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی برق
sadeghikia@ii.iust.ac.ir

در این مقاله، روش طراحی و ساخت آنتن F معکوس (Inverted F antenna)، که به‌منظور برقراری ارتباط بین فرستندهٔ تله‌متری راکت کاوش با ایستگاه زمینی، بر روی راکت کاوش نصب می‌شود تشریح می گردد. الگوی (pattern) تشعشعی آرایه‌ای و میزان انرژی برگشتی (Return loss) آنتن‌های F معکوس روی یک سطح استوانه‌ای فلزی با دماغهٔ مخروطی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده است. شبیه‌سازی آنتن با نرم‌افزار HFSS (High Frequency Structure Simulator) که بر پایهٔ روش المان محدود است، انجام گرفته است. اندازه‌گیری مشخصات آنتن‌های ساخته شده نشان می‌دهد که تطبیق خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه گیری وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: آنتن F معکوس، الگوی تشعشعی، انرژی برگشتی، پهنای باند، راکت کاوش

مقدمه

اخیراً مطالعات زیادی در زمینهٔ تله‌متری راکت کاوش انجام شده است. تله‌متری یکی از مهم‌ترین واحدها در راکت کاوش است. حسگرها، پارامترهای مختلفی اعم از دما، فشار، شتاب، مکان و ... در طول حرکت راکت جمع‌آوری می‌کنند و برای پردازش به کامپیوتر پرواز می فرستند. داده‌های به‌دست آمده از فرستندهٔ تله‌متری فریم‌بندی شده و برای مخابره به ایستگاه زمینی به آنتن‌های روی بدنه فرستاده و از آنجا به ایستگاه زمینی مخابره می‌شوند. آنتن تله‌متری نقش مهمی در انتقال این اطلاعات برعهده دارد و نوع الگوی تشعشعی آن برای برقراری لینک ارتباطی اهمیت زیادی دارد. با انتخاب آنتن نامناسب، اطلاعات جمع‌آوری شده از دست خواهند رفت.

آنتن F معکوس نوعی آنتن سیمی و از خانوادهٔ آنتن‌های مونوپل[1] است. این آنتن از نوع رزونانسی است و پهنای باند امپدانسی آن بسیار اندک و حدوداً ۳ تا ۴ درصد است[۱]. مطالعات زیادی در زمینهٔ استفاده از آنتن‌های مونوپل روی بدنهٔ استوانه‌ای فلزی نظیر موشک یا سکوهای پرتاب ماهواره انجام شده است [۲-۳]. انتخاب آنتن F معکوس برای تله‌متری سیستم‌های راکت کاوش انتخاب مناسبی است؛ چرا که اندازه آن کوچک و الگوی تشعشعی آن همه جهته[2] است و از نظر مشخصه آیرودینامیکی عملکردی مطلوب ارائه می‌کند [۱ و۴]. کیم نوعی آنتن F معکوس برای سکوی پرتاب ماهواره پیشنهاد کرده است[۵].

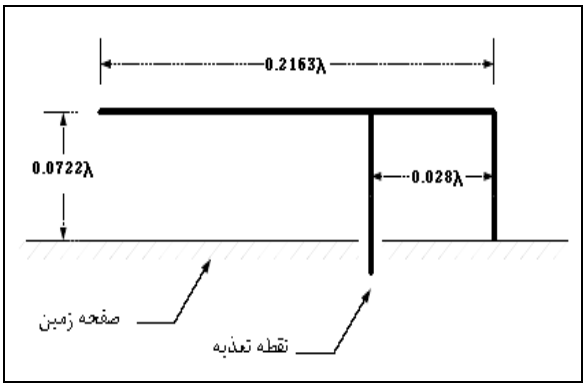
1. monopole
2. omnidirectional

مطالعاتی که تاکنون روی آنتن‌های مونوپل یا حتی F معکوس برای سطوح استوانه‌ای فلزی انجام شده است در زمینهٔ تحلیل تئوری این آنتن‌هاست و بحثی راجع به الگوی تشعشعی آنها نمی‌شود. درحالی‌که برای برقراری لینک ارتباطی مناسب، الگوی تشعشعی نقش مهمی دارد. به علاوه سطوحی که تا کنون مطرح شده اند، استوانه‌ای بودند؛ حال آنکه سطح راکت کاوش ترکیبی از بدنهٔ استوانه‌ای و دماغهٔ مخروطی یا مشابه مخروطی است.

در این مقاله، نوعی آنتن F معکوس برای بدنهٔ راکت های کاوش معرفی شده و الگوی تشعشعی آرایهٔ دوتایی از آن، روی بدنهٔ مزبور شبیه سازی می‌شود. سپس پهنای باند و بهرهٔ آنتن‌های F معکوس را بررسی کرده و برای افزایش پهنای باند، در مواردی نظیر تله‌متری تصویر که پهنای باند بیشتری برای آنتن مورد نیاز است، دو راهکار ارائه می‌گردد [۱]. در ادامه، نکاتی در زمینهٔ ساخت آنتن‌های F معکوس برای استفاده و نصب بر روی بدنهٔ راکت کاوش بیان می‌شود. برای تأیید صحت نتایج به دست آمده، آنتن‌های F معکوس در دو باند فرکانسی ساخته شده و میزان انرژی برگشتی و الگوی تشعشعی آنها با نمونه شبیه‌سازی شده مقایسه می‌شود. در پایان نکاتی در زمینهٔ ساخت آنتن‌های F معکوس برای استفاده و نصب بر روی بدنهٔ راکت کاوش بیان می‌شود.

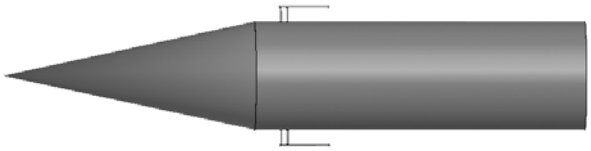
آنتن F معکوس روی بدنهٔ راکت کاوش

شکل کلی این آنتن به صورت F معکوس است و ارتفاع به علاوهٔ طول بازویی از آن که موازی سطح افق است، در فرکانس مرکزی حدود ربع طول موج می‌شود [۲-۴]. ساختار و ابعاد آنتن F معکوس که برای بدنهٔ راکت کاوش مورد نظر طراحی شده، در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- ساختار آنتن F معکوس

شکل (۲) ساختار آنتن‌های F معکوس به صورت آرایهٔ دوتایی روی بدنهٔ راکت کاوش در سیمولاتور HFSS را نشان می‌دهد. آنتن ها در دو طرف راکت متقارن هستند و به صورت هم فاز و هم دامنه تحریک می‌شوند. از آنجاکه راکت در حین حرکت عمودی، دارای حرکت چرخشی به دور محور خود نیز هست، برای ارتباط مستمر با ایستگاه زمینی و عدم ایجاد اختلال در این ارتباط، لازم است آرایه ای از آنتن‌های F معکوس با تعدادی زوج دور تا دور بدنه استفاده شود. استفاده از حداقل دو آنتن روی بدنه نیز کفایت می‌کند. در راکت کاوش مورد نظر نیز، حداقل تعداد آنتن ها، یعنی دو آنتن در دوطرف بدنه انتخاب شده است.



شکل۲- آنتن‌های F معکوس روی بدنهٔ راکت کاوش در سیمولاتور HFSS

ابعاد صفحهٔ زمین نقش مهمی در عملکرد آنتن‌های F معکوس ایفا می‌کند. میدان الکترومغناطیسی با تحریک آنتن و تصویر آن زیر صفحهٔ زمین شکل می‌یابد و این رفتار زمانی صورت مناسبی به خود می‌گیرد که ابعاد صفحهٔ زمین بی‌نهایت باشد. در عمل چنانچه اطراف آنتن به شعاع ربع طول موج زمین باشد، می توانیم به عملکرد نسبتاً مطلوبی دست یابیم. در باندهای فرکانسی پایین (کمتر از ۱ گیگاهرتز) میزان ربع طول موج، مقدار خوبی است و در نتیجه طراحی آنتن با ابعاد دقیق راکت کاوش رابطهٔ مستقیم دارد و با تغییر محل آنتن روی بدنهٔ عملکرد آن تغییر می‌کند. لکن در فرکانس‌های بالاتر، با کوچک‌شدن طول موج، حساسیت به تغییر محل آنتن روی بدنه کمتر می‌شود.

دو معیار مهم بررسی صحت طراحی آنتن عبارتند از: الگوی تشعشعی و میزان انرژی برگشتی. الگوی تشعشعی آنتن فرستنده باید به گونه‌ای باشد که محدودهٔ آنتن گیرنده را پوشش دهد و بالعکس. میزان انرژی برگشتی نیز در حالت ایده‌آل باید کمتر از ۳۰dB- باشد. در عمل مقدار کمتر از ۲۵dB- نیز برای آن پذیرفته شده است.

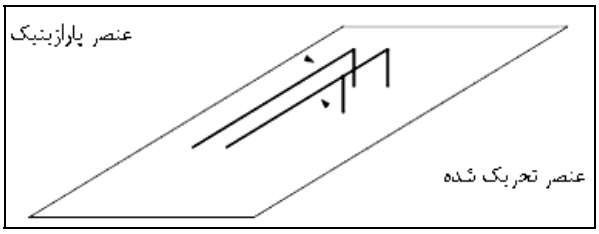
پهنای باند و بهرهٔ آنتن‌های F معکوس

پهنای باند آنتن F معکوس حدوداً سه تا چهار درصد فرکانس مرکزی آن است. برای برخی کاربردها این میزان پهنای باند کفایت می‌کند؛ لکن در مواردی که پهنای باند بیشتری مورد نیاز است استفاده از این آنتن امکان‌پذیر نیست. مثلاً فرستندهٔ تصویر، پهنای باندی بیش از فرستنده داده نیاز دارد. چنانچه فرکانس انتخابی برای فرستندهٔ تصویر به اندازه‌ای کم باشد که پهنای باند چهار درصد آنتن کمتر از پهنای باند فرستنده باشد، این آنتن قابلیت ارسال تصویر با

کیفیت مناسب را نخواهد داشت.

در مواردی که پهنای باند آنتن F معکوس برای کاربرد خاصی کم باشد دو پیشنهاد برای بهبود و ارتقای پهنای باند ارائه می‌شود. در روش اول، با استفاده از یک عنصر پارازیتی در جوار آنتن F معکوس که طول آن کمی از طول آنتن کمتر است می‌توان پهنای باند را تا حدود دو درصد افزایش داد. به چنین آنتنی، آنتن F معکوس دوگانه[1] می‌گویند. این آنتن در شکل (۳) نشان داده شده است. پیشنهاد دوم آن است که المان میله‌ای آنتن که موازی صفحه افق است را برداشته و به جای آن صفحه‌ای موازی با صفحهٔ زمین و با ابعادی معین قرار داده شود. در مرجع معرفی شده، ابعاد این صفحه کاملاً تشریح شده است. بدین ترتیب پهنای باند تا هشت درصد افزایش می‌یابد و آنتن به‌دست آمده آنتن F معکوس صفحه ای[2] نام دارد. البته پیشنهاد اخیر برای عملکرد روی بدنهٔ راکت کاوش، به دلیل محدودیت‌های اعمال شده بر اثر نوع حرکت راکت و احتمال عدم ثبات آن تحت شرایط جوی توصیه نمی‌شود.

پس از محاسبهٔ پهنای باند آنتن‌های F معکوس تله‌متری تصویر و دادهٔ راکت کاوش و نیز پهنای باند فرستنده‌های آنها به این نتیجه رسیدیم که پهنای باند آنتن‌ها از فرستنده‌ها بیشتر است و عملکرد هر دو فرستنده در محدودهٔ پهنای باند مجاز آنتن های F معکوس طراحی شده قرار دارد و نیازی به عناصر پارازیتیک یا راهکار دیگری برای افزایش پهنای باند نداریم.



شکل۳- آنتن F معکوس دوگانه

آنتن‌های F معکوس بهرهٔ زیادی ندارند و اندازهٔ آن حدود سه تا چهار دسی بل است. با توجه به اتلاف مسیر در مسافتی که راکت طی می‌کند، و بهرهٔ اندک آنتن‌های F معکوس، لازم است برای افزایش میزان سیگنال به نویز اولاً توان فرستنده تا حد زیادی افزایش یابد و ثانیاً آنتن‌های ایستگاه زمینی بهرهٔ بالایی داشته باشند تا بهرهٔ کم آنتن‌های فرستنده را جبران کنند و میزان سیگنال به نویز لینک ارتباطی در محل ایستگاه زمینی به حد قابل قبولی برسد.

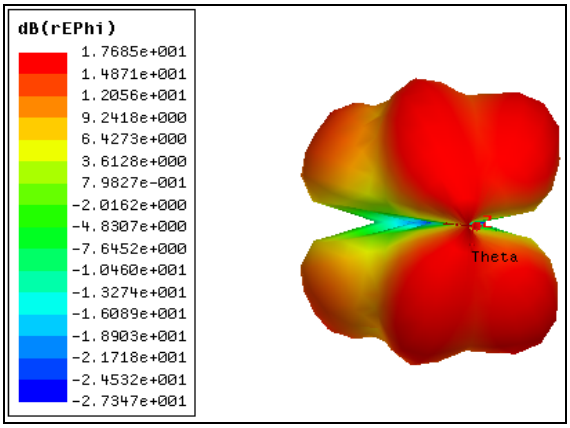
1. dual inverted F antenna
2. planar inverted F antenna

ساخت آنتن‌های F معکوس

با توجه به نوع کاربرد این آنتن که کاربردی فضایی است، لازم است با توجه به فرآیندهای جوی جنس آن استحکام خوبی داشته باشد. به علاوه اتصالات آن به گونه‌ای باشد که در حین حرکت با شتاب و سرعت بالا قطع نشوند. جنس آنتن طرح شده از برنج با شعاع شش میلی‌متر انتخاب شد و روی آن آبکاری کروم انجام شد. از یک یا دو اسپیسر[3] از جنس دی الکتریک برای اتصال قسمت انتهایی آنتن به پایه استفاده می‌شود تا بر اثر شتاب و سرعت راکت، میلهٔ آنتن از جا کنده نشود. در انتهای آنتن از یک پیچ قابل تنظیم با طول یک سانتی‌متر با تعدادی مهره به ضخامت یک میلی‌متر استفاده می‌شود تا درصورتی‌که روی بدنهٔ راکت به هر دلیلی رزونانس آنتن تغییر کرد، با کم و زیاد کردن مهره‌ها بتوان آن را مجدداً تنظیم کرد. پس از ساخت آنتن‌ها با مشخصات مذکور و نصب آنها روی بدنهٔ راکت کاوش، به وسیلهٔ دستگاه تحلیل‌گر شبکه و کم و زیاد کردن تعداد مهره‌ها فرکانس رزونانس آنتن‌ها تنظیم شدند و الگوی تشعشعی آنها در اتاق آنتن اندازه‌گیری شدند.

نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری

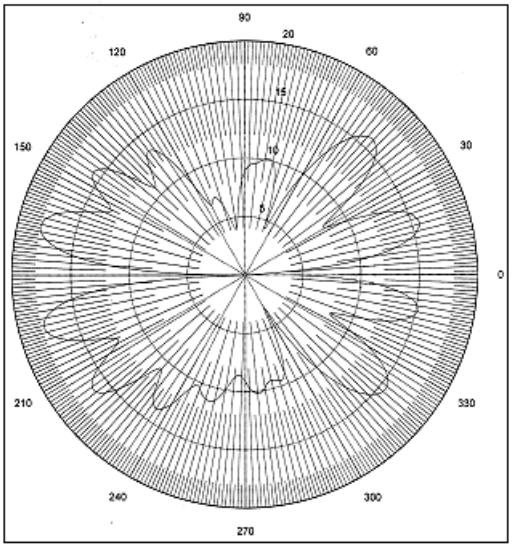
در شکل‌های (۴) و (۵) نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری الگوی تشعشعی دو آنتن F معکوس در اتاق آنتن، که به صورت هم فاز و هم دامنه تحریک شده‌اند، نشان داده شده است. میزان انرژی تشعشعی در دو قسمت چپ و راست (دو انتهای آنتن) نسبت به سایر نقاط بیشتر است و این همان الگوی مطلوب در سناریوی حرکت راکت کاوش است. زیرا حرکت راکت در حالت رفت یا برگشت به صورت عمودی است و لازم است در این دو حالت بتواند با ایستگاه زمینی ارتباط داشته باشد.



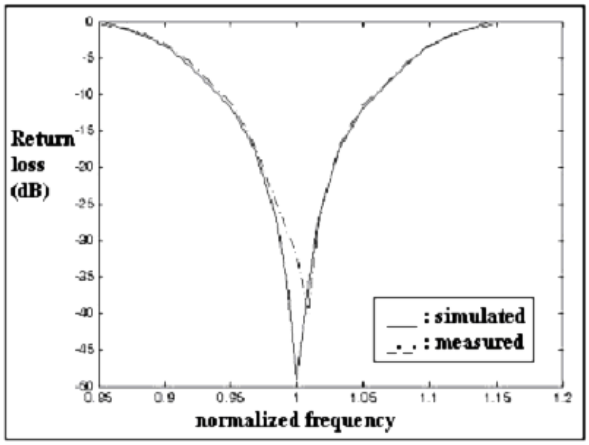
شکل۴- الگوی تشعشعی آنتن‌های F معکوس آرایه‌ای در سیمولاتور HFSS

3. spacer

در شکل (۶) نمودار میزان انرژی برگشتی در آنتن F معکوس نصب شده روی بدنهٔ راکت به دو طریق شبیه‌سازی و اندازه‌گیری با دستگاه تحلیل‌گر شبکه[1] نشان داده شده است. این نمودار نسبت به فرکانس مرکزی نرمالیزه شده است. نمودار بیانگر تطبیق خوبی بین نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری است. از روی این نمودار به وضوح می توان دید که پهنای باند امپدانسی حدود چهار درصد است.



شکل۵– الگوی تشعشعی آنتن‌های F معکوس آرایه‌ای با اندازه‌گیری اتاق آنتن



شکل۶– میزان انرژی برگشتی آنتن‌های F معکوس آرایه‌ای با اندازه‌گیری و شبیه‌سازی

نتیجه‌گیری

الگوی تشعشعی و میزان انرژی برگشتی آنتن‌های F معکوس آرایه ای نصب شده روی بدنهٔ راکت کاوش شبیه‌سازی و تحلیل شده است. برای قابلیت حفظ ارتباط راکت با ایستگاه زمینی از دو آنتن در دو طرف راکت استفاده شده است که با دامنه و فاز یکسان تحریک شده‌اند.

پس از ساخت این آنتن‌ها در دو فرکانس مجزا و اندازه‌گیری الگوی تشعشعی و میزان انرژی برگشتی، تطبیق خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مشاهده شده است.

مراجع

[1] Nathan P. Cummings, Low profile integrated GPS and cellular Antenna, M. S. thesis, Virginia polytechnic Institue and state university, 2001.

[2] King, R., Harrison, C. W. and Denton, D. H. "Transmission- line missile antenna", *IRE Trans. Antennas and propagate.* , No.8, pp. 88-90, 1960.

[3] Fahmy, M. N. I. and Botros, A. Z., "Radiation from quarter wavwlength monopoles on finite cylindrical, conical, and rocket shaped conducting bodies", *IEEE trans. Antennas and propagate*, Vol. 27, No. 5, pp. 615-623, 1997.

[4] L. Weeks, Walter, *Antenna engineering*, McGraw-Hill Electronic science series, 1960.

[5] Kim, Tea-Hyun and Kim, sung-Wan, "Analysis of radiation pattern of inverted F antenna on cylindirical conducting body like a satellite luncher", *IEEE Microwave Conference Proceedings,* Vol. 2, 4-7, Page(s):4 pp, 2005.

[6] Huynh, M. C. and stutzman, W., "Ground plane effects on planar inverted –F antenna performance", *IEE proc. Microwave antennas propagate.*, Vol. 150, No.4, aug pp.208-213, 2003.

1. network analyzer