

طراحی، تحلیل و ساخت آنتن دو بانده برای یک ماهواره LEO کوچک

شروین امیری^۱

الهام شریفی مقدم^۲

۱- سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

۲- مرکز تحقیقات مخابرات ایران، تهران، ایران

Separated turnstile:

LEO

واژه های کلیدی : آنتن Separated Turnstile – آنتن دو

بانده - پلاریزاسیون دایروی - روش ممان - ماهواره LEO.

VHF UHF

Abstract :

Separated Turnstile (ST) Antenna has many applications in small Low Earth Orbit (LEO) satellites. Ability of dual-band operation and circular polarization are the main features of this antenna. The purpose of this paper is design and analysis of a Separated Turnstile antenna, which can work in UHF and VHF band simultaneously. The antenna has saddle-shaped radiation pattern in UHF band for data and message communications and omnidirectional pattern in VHF band for Control and monitoring of the satellite especially in the case that the antenna is not oriented to the earth. The antenna model is analyzed by using moment method. Effects of satellite body on the radiation pattern are studied in this paper. For the antenna optimization, analysis is iterated and results are compared with the desired results. Antenna's physical parameters are changed in each stage and iteration is continued until the proper result is achieved. Engineering model of the antenna which is mounted on the satellite is constructed and its radiation properties are measured. In the final section, test results are compared with analysis results and validity of the design is confirmed.

UHF

VHF

Key words: Separated Turnstile Antenna, Dual-band Antenna, Mement method, Low earth Orbit Sattelite

۱- مقدمه

شده در این مقاله، از دی پل هایی با بازوهای خم شده به اندازه 45° تشکیل شده است.

در [4] از شبکه Turnstile جدیدی برای تغذیه آنتن دی پل متقاطع استفاده شده است. این شبکه از بازوهای فازی کواکسیالی تشکیل شده و تغذیه آن از یکی از پورتهایی که به چهار مونوپل متصلند صورت می گیرد. این شبکه VSWR مناسبی دارد و پلاریزاسیون دایروی خوبی ایجاد می کند.

هدف اصلی مقاله حاضر بررسی روش طراحی آنتن ST دو بانده ای است که پرتوی زینی شکل برای تبادل اطلاعات مخابراتی در باند UHF داشته باشد و به طور همزمان پرتو تشعشی همه جهته (نزدیک به کروی) برای تبادل اطلاعات کنترل و مانیتورینگ ماهواره در باند VHF ایجاد کند. مطالعه اثر تغییر پارامترهای فیزیکی آنتن بر پرتو تشعشی آن بخش بعدی مقاله است که می تواند راهنمایی برای طراحی های بعدی باشد.

مقایسه نتایج تست و اندازه گیری پرتو تشعشی آنتن ساخته شده با نتایج حاصل از آنالیز برای تأیید صحت طراحی آنتن در بخش نهایی مقاله آورده شده است و شامل بررسی نتایج اندازه گیری مؤلفه عمودی و افقی پرتوی تشعشی آنتن و ارائه پارامترهایی همچون SWR آنتن در دو باند VHF و UHF و نیز Axial Ratio آنتن جهت بررسی پلاریزاسیون این آنتن میباشد.

۲- تعیین پرتو مناسب برای آنتن Separated Turnstile

در محاسبات بودجه لینک ماهواره، افت فضای آزاد عاملی است که با تغییر فاصله ماهواره از ترمینال زمینی تغییر می کند. برای ایجاد بودجه توانی یکنواختی در تبادل اطلاعات مخابراتی در ناحیه پوشش ماهواره، تغییر افت فضای آزاد باید به نحوی جبران شود. با توجه به فرمول بودجه لینک در رابطه (۱) تنها عوامل جبران کننده تغییر افت فضای آزاد، گین آنتن های زمینی و ماهواره هستند [7].

ماهواره های LEO1 کوچک که اغلب در ارتفاع مداری زیر ۱۴۰۰ کیلومتر به دور زمین می چرخند، جهت انجام مأموریت هایی چون سنجش از دور، تبادل Email و پیام های کوتاه، جمع آوری و تبادل اطلاعات، هواشناسی، تحقیقات علمی و آزمایشی در فضا قرار می گیرند. این دسته از ماهواره ها عموماً در باند UHF و VHF کار کرده و به دلیل تخصیص پهنای باند کم با نرخ بیت پایینی تبادل اطلاعات می کنند. نزدیکی این ماهواره ها به زمین و فرکانس پایین آنها، باعث کاهش افت فضای آزاد شده و با توجه به محاسبات بودجه لینک ۲ نیاز به استفاده از آنتن های با گین بالا منتفی و امکان بهره برداری از آنتنهای با پرتوی بهتر با هدف ایجاد پوشش مخابراتی بیشتر فراهم می گردد.

آنتن (ST) Separated Turnstile از جمله آنتن هایی است که به دلیل ویژگی های خاص خود از جمله دو بانده بودن و پلاریزاسیون دایروی میتواند در ماهواره های LEO کوچک بکار گرفته شود. این آنتن از چهار مونوپل تشکیل شده که به صورت متقارن در چهار طرف ماهواره نصب می شوند و با یکدیگر به صورت چرخشی اختلاف فاز 90° دارند [1].

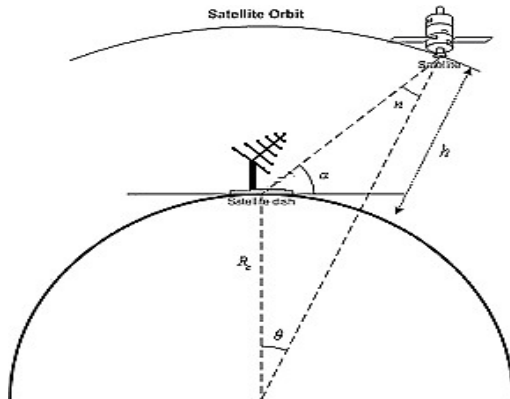
در [2] نتایج آنالیز و طراحی یک آنتن Turnstile مماسی شرح داده است. این آنتن در واقع یک آنتن Quadrifilar Helix کوتاه شده است که پلاریزاسیون دایروی دارد و پرتو مناسبی را برای یک ماهواره ایجاد می کند.

در [3] آنتن دی پل متقاطعی که به صورت متقارن با چهار میله احاطه گشته، بررسی شده است. این آنتن برای رسیدن به پرتوی کروی با گین بالا بهینه گشته و برای بهینه سازی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در این مقاله برای بدست آوردن نتایج طراحی ها در هر مرحله از روش عددی ممان استفاده شده است و برای بیان قابلیت های الگوریتم ژنتیک نتایج عددی با نتایج حاصل از تست نمونه واقعی مقایسه شده است. آنتن دی پل متقاطع که چهار میله در اطراف آن قرار دارد، به عنوان المان تشعشی یک آرایه نیز بکار می رود. آنتن دی پل متقاطع طراحی

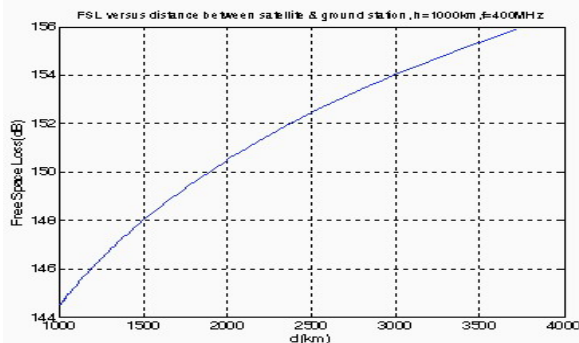
¹ Low Earth Orbit

² link budget

نموداری در شکل (۲) آورده شده است. اگر حداقل زاویه رؤیت ترمینال زمینی ۲۰ درجه در نظر گرفته شود، ماکزیمم زاویه حوض ماهواره با استفاده از رابطه (۲) برابر ۵۴ درجه و اختلاف افت فضای آزاد بین زوایای $n=0^\circ$ و $n=54^\circ$ با استفاده از روابط (۱) و (۳) برابر ۶/۵ dB خواهد شد. با فرض یکنواخت بودن پرتوی تشعشی آنتن ترمینالهای زمینی، تمامی اختلاف افت فضای آزاد در نقاط مختلف ناحیه پوشش باید توسط شکل دهی پرتوی آنتن ماهواره جبران گردد. در این حالت اختلاف گین آنتن ماهواره بین این دو زاویه باید در حدود ۶/۵ dB باشد. ادامه تحلیل در سایر زوایا بیانگر ضرورت طراحی آنتنی با پرتوی تشعشی زینی شکل ۵ برای ماهواره را نمایان میسازد.



شکل (۱): پارامترهای هندسی مدار ماهواره



شکل (۲): افت فضای آزاد بر حسب فاصله ماهواره از ترمینال زمینی

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{dB} = P_r - P_n + 10 \log \frac{B}{R_b}$$

$$P_r = P_t - L_{ft} + G_t - L_s + G_r - L_{fr} \quad (1)$$

$$P_n = 10 \log(KTB)$$

$L_s = 20 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)$

نسبت توان سیگنال به نویز در هر بیت، P_r توان سیگنال دریافتی در گیرنده بر حسب dBW، P_n توان نویز در گیرنده بر حسب dBW، L_s تلفات فضای آزاد، R_b سرعت ارسال دیتا در کانال، B پهنای باند کانال، P_t توان فرستنده بر حسب dBW، L_{fr} ، L_{ft} تلفات خطوط تغذیه در فرستنده و گیرنده و G_r و G_t بهره آنتن های فرستنده و گیرنده و d فاصله فرستنده و گیرنده بر حسب کیلومتر میباشد.

شکل (۱) پارامترهای هندسی مدار ماهواره را نشان می دهد. n زاویه حوض ماهواره ۳، α زاویه رؤیت ۴ ماهواره توسط ترمینال زمینی نسبت به افق، h ارتفاع مدار ماهواره و R_e شعاع زمین (برابر ۶۳۷۸ کیلومتر) میباشد. زوایای حوض و رؤیت ماهواره توسط رابطه هندسی زیر به یکدیگر مرتبط میباشد:

$$\sin(n) = \frac{R_e}{(R_e + h)} \cos(\alpha) \quad (2)$$

همچنین فاصله بین ماهواره و ترمینال زمینی را میتوان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$d = \sqrt{r^2 - R_e^2 \cos^2 \alpha - R_e \sin \alpha} \quad ()$$

بعنوان نمونه روند تغییرات افت فضای آزاد با تغییر فاصله ماهواره و ایستگاه زمینی برای ماهواره ای در ارتفاع ۱۰۰۰ کیلومتر و در فرکانس مرکزی ۴۰۰ مگاهرتز در باند UHF به صورت

³ Nadir Angle
⁴ Elevation Angle

⁵ saddle-shaped

۳- طراحی آنتن separated turnstile برای یک ماهواره LEO

طراحی آنتن separated turnstile شامل تعیین پارامترهای فیزیکی آن به گونه ای است که پرتوهای تشعشعی مناسب در هر دو باند UHF و VHF را ایجاد کند. از سویی طراحی آنتن باید به نحوی باشد که امکان جمع شدن آن در حین پرتاب ماهواره فراهم شده و پس از جدا شدن ماهواره از موشک بطور خودکار باز شود. بنابراین آنتن باید به صورت نواری شکل و از جنس فلزی با قابلیت انعطاف زیاد ساخته شود. سایر پارامترهای فیزیکی آنتن شامل طول و پهنای مونوپل ها و زاویه نصب آنهاست. طول و زاویه نصب مونوپل ها در شکل (۳) نشان داده شده است. ابتدا آنتن برای ایجاد پرتو زینی شکل مناسب در باند UHF بهینه می شود و سپس در باند VHF آنالیز شده و پرتو آن بررسی می گردد.

NEC

()

NEC MATLAB

MATLAB

NEC

MATLAB

$\varphi=0^\circ$

$5.8 \leq \Delta G \leq 7.2$

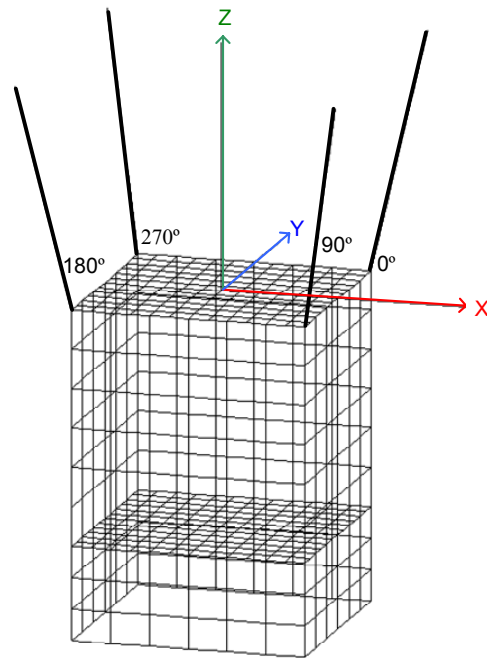
$$\Delta G = G_{\theta=54^\circ} - G_{\theta=0^\circ}$$

$\Delta G=6.5\text{dB}$

$\beta=85^\circ$ L=65cm

()

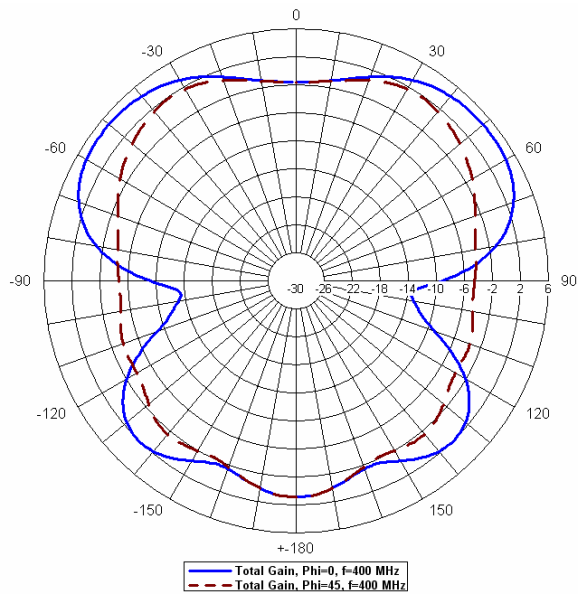
nadir



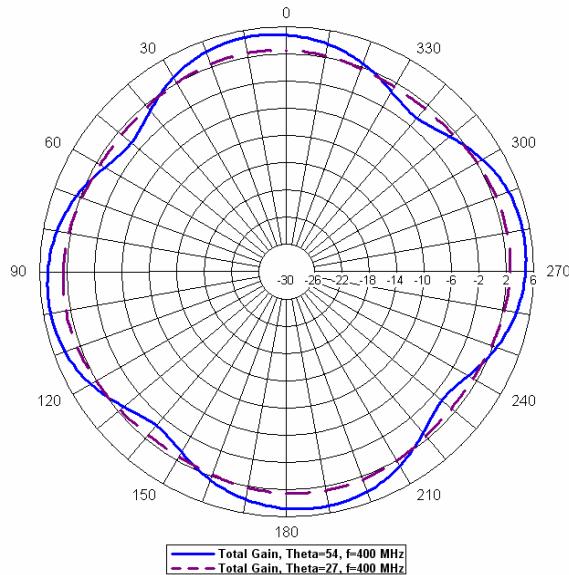
(الف)

شکل (۳) : آنتن ST روی بدنه ماهواره

()



شکل (۵): گین مجموع بر حسب زاویه ϕ در صفحات $\phi=0^\circ$ و $\phi=45^\circ$



شکل (۶): گین مجموع بر حسب زاویه ϕ در صفحات $\theta=27^\circ$ و $\theta=54^\circ$

$$E = \sqrt{E_{1m}^2 + E_{2m}^2} = \sqrt{E_L^2 + E_R^2} \quad (1)$$

$$E_{2m} \quad E_{1m} \quad E$$

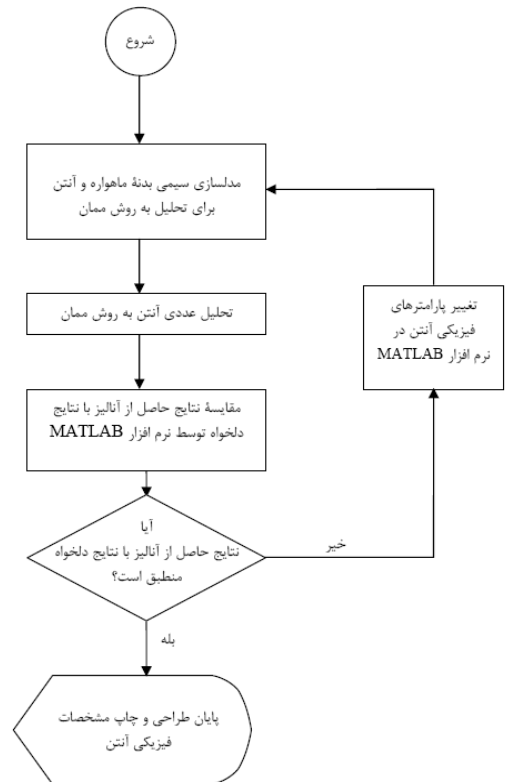
$$E_R \quad E_L$$

$$n \quad ()$$

$$UHF \quad \phi=45^\circ \quad \phi=0^\circ$$

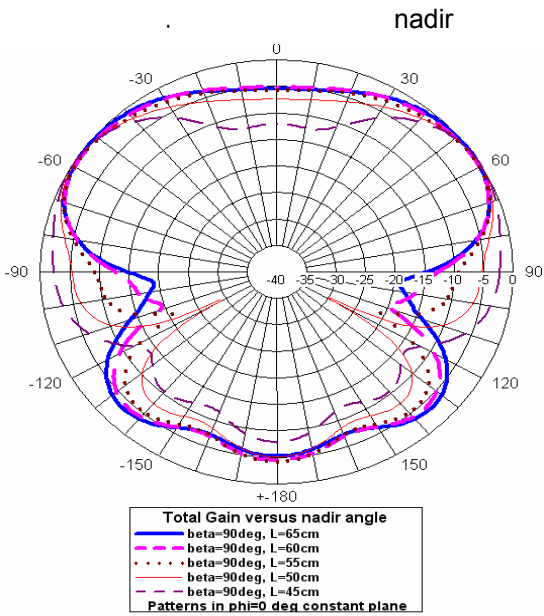
$$/ \quad n=0^\circ \quad n=54^\circ \quad \phi=0^\circ$$

dB



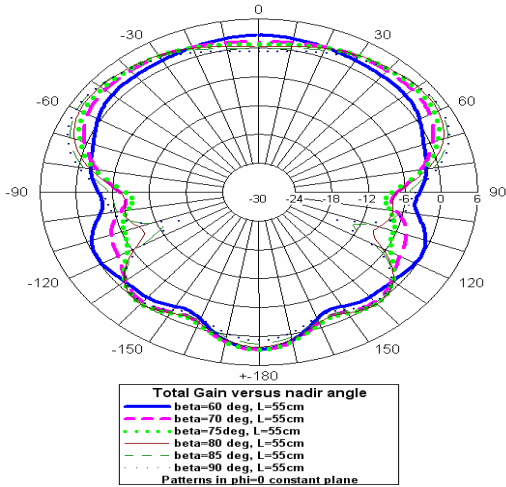
شکل (۴): فلوجارت مراحل طراحی آنتن

nadir
() UHF



شکل (۸): پرتو گین آنتن هایی با طول های مختلف در فرکانس

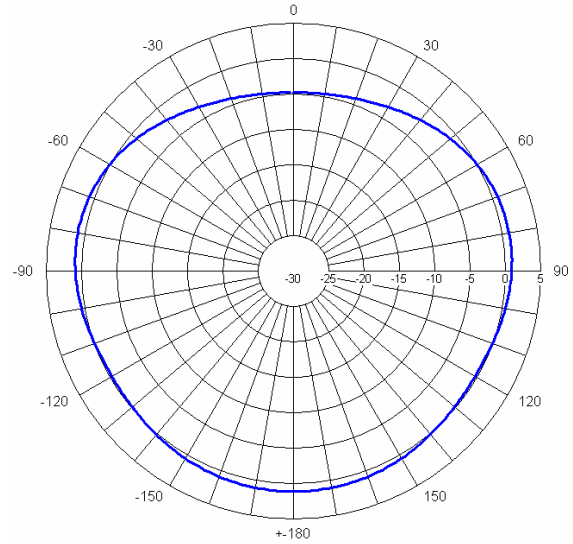
مرکزی باند UHF



شکل (۹): پرتو گین آنتن هایی با زوایای نصب مختلف در فرکانس

مرکزی باند UHF

ϕ
() VHF
 $\phi=0^\circ$
 θ
 θ



شکل (۷): گین آنتن با $L=65\text{cm}$ و $\beta=85^\circ$ بر حسب زاویه θ در صفحه $\phi=0^\circ$ در باند VHF

۴- بررسی اثر پارامترهای فیزیکی آنتن پرتو
تسعهشی آن

LEO

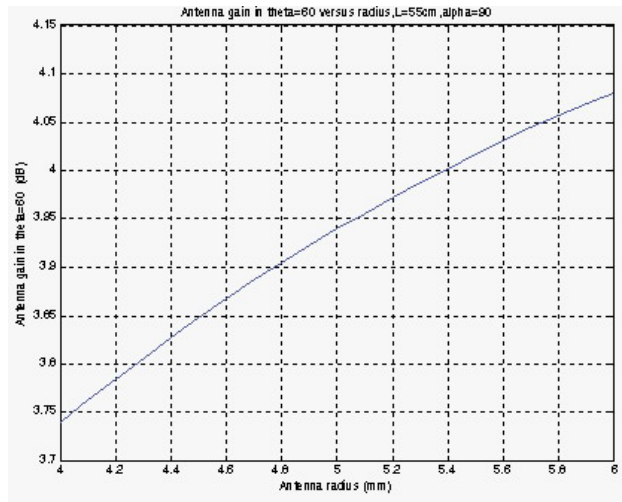
() UHF

() [6]

[7] 30dB

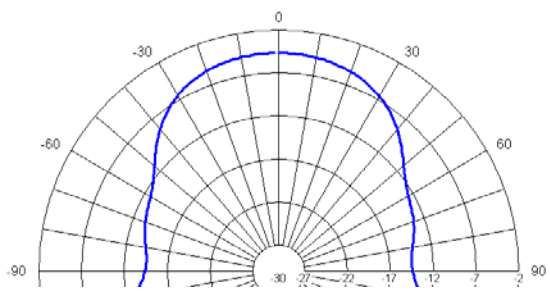
0.3dB

nadir

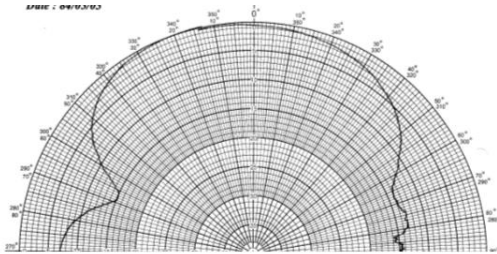


شکل (۱۰): گین آنتن در زاویه $n = 60^\circ$ بر حسب تغییر شعاع آن برای آنتنی با $L=65\text{cm}$ و $\beta=85^\circ$

۵- مقایسه نتایج حاصل از تست پرتو مدل مهندسی آنتن با نتایج حاصل از آنالیز آن



()



()

شکل (۱۲): مؤلفه عمودی پرتو تشعشعی در فرکانس مرکزی باند UHF



شکل (۱۳):

UHF

9dB nadir=0° nadir=54°

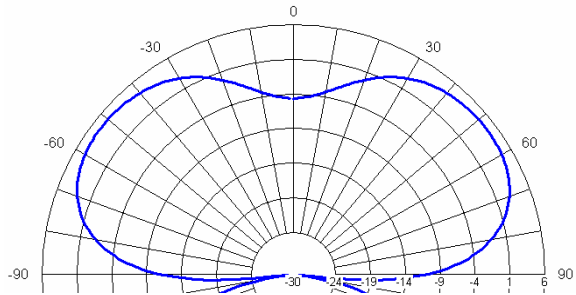
()

() ()

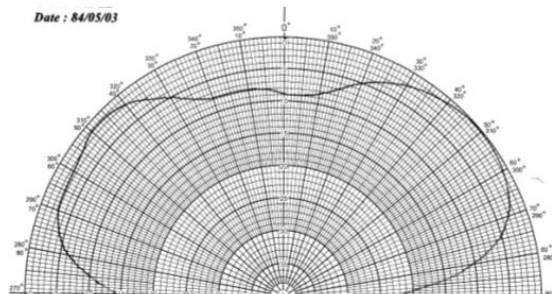
nadir=54° nadir=0°

8dB

() 7.14dB



()

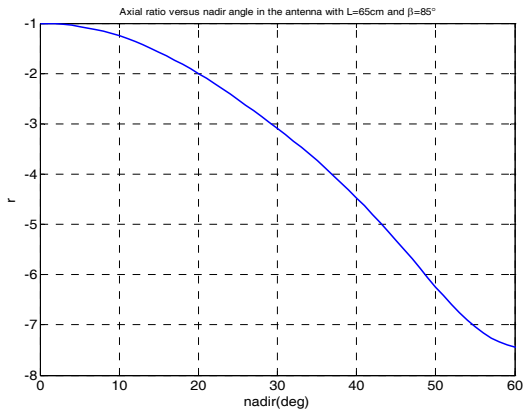


()

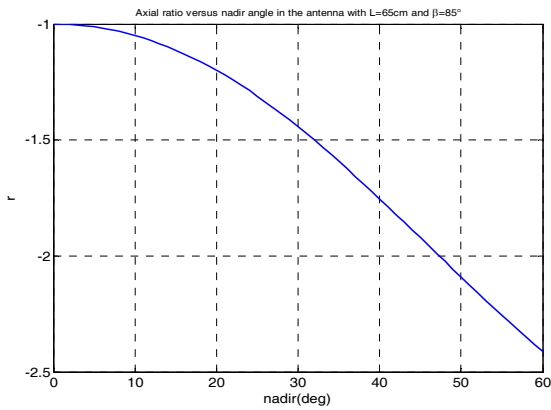
شکل (۱۱): مؤلفه افقی پرتو تشعشعی در فرکانس مرکزی باند

UHF

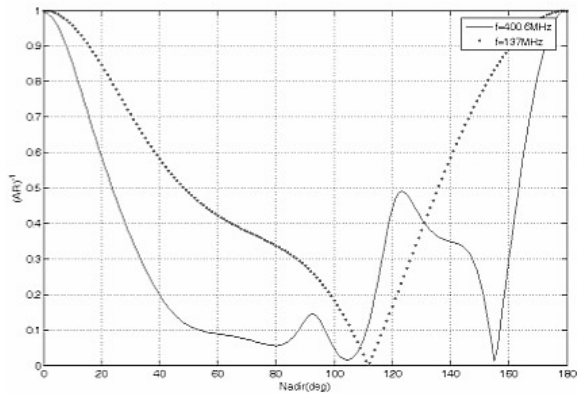




شکل (۱۴-۱): نسبت محوری بر حسب زاویه n در فرکانس 400MHz



شکل (۱۴-۲): وری بر حسب زاویه n در فرکانس 137MHz



شکل (۱۵): نسبت محوری پلاریزاسیون اندازه گیری شده برای آنتن ST ساخته شده

۷- اندازه گیری VSWR ورودی مدل مهندسی آنتن ماهواره در اتاق بدون انعکاس VSWR

Separated

Turnstile

90°

RFDU

$\lambda/4$ $\lambda/2$ $3\lambda/4$ λ

() ()

(Axial Ratio)

VHF UHF $\phi=0^\circ$ nadir

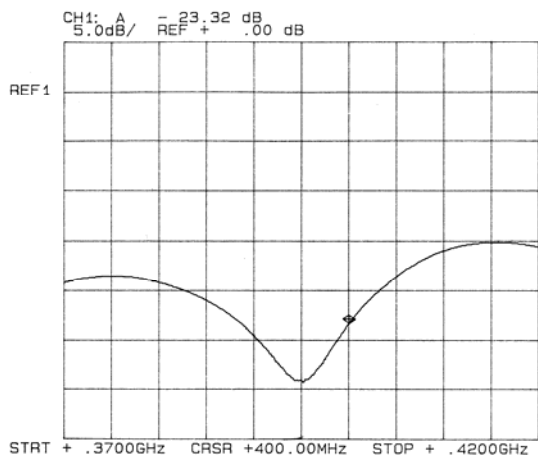
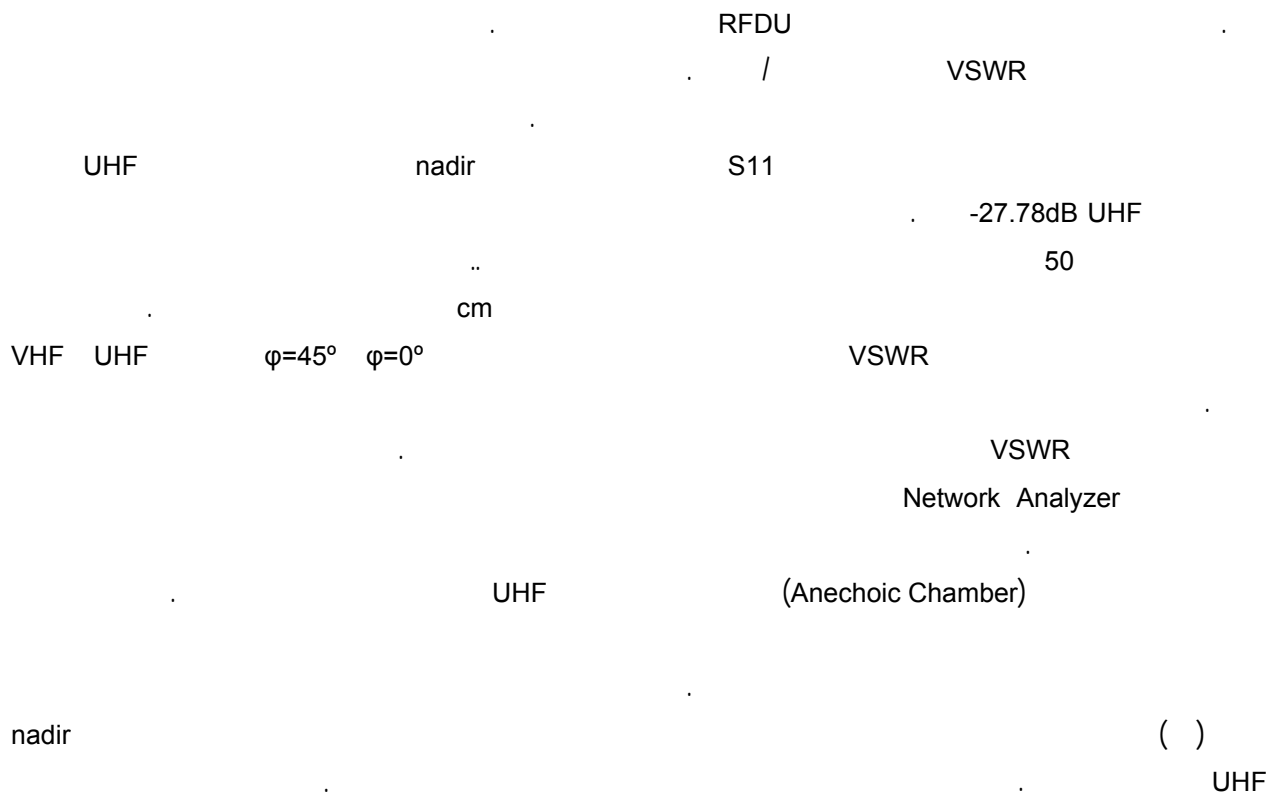
nadir

137MHz 400MHz

400MHz

()

UHF VHF



شکل (۱۶): S_{11} اندازه گیری شده در دهانه ورودی تغذیه آنتن بر حسب فرکانس

۸- نتیجه گیری
ST

مراجع

[1] A.W. Rudge, K. Milne, A. D. Olver and P. Knight, The Handbook of Antenna Design, 1983.

[2] W.S.Gregorwich, WDL Division, "A Tangential Turnstile Antenna For Spacecraft", IEEE International Symposium of Antenna and Prorogation, pp 207-209, vol. 12, Jan. 1974.

[3] Cheng-Nan Hu, Ching-Song Chuang and Der- Chorng Chou, "Design of the Cross-Dipole Antenna with Near-Hemispherical Coverage in Finite-Element Phased Array by Using Genetic Algorithms", IEEE International

VHF UHF

Conference on Phased Array Systems and Technology, 2000.

[4] Robert K. Zimmerman, Jr., "Crossed Dipoles Fed with a Turnstile Network", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 46, No.12, December 1998.

[5] Proakis, Digital Communications, Third edition McGraw-Hill, 2001.

[6] Robert S. Elliott, Antenna Theory and Design, Prentice-Hall, 1981.

[7] David M. Pozar, Microwave Engineering, Addison-Wesley Publishing Company, 1990

[8] Y. T. Lo and S. W. Lee, Antenna Handbook, Vol 4, Van Nostrand Reinhold, 1993.