순차적 급전을 이용한 위성 통신용 SIW 2×4 배열 안테나

SIW-Based 2×4 Array Antenna with a Sequential Feeding for X-Band Satellite Communication

정은영 · 이재욱 · 이택경 · 이우경

Eun-Young Jung · Jae-Wook Lee · Taek-Kyung Lee · Woo-Kyung Lee

요 약

본 논문에서는 순차적 급전을 이용한 위성 통신용 2×4 균일 배열 안테나(uniform array antenna)와 각 안테나 소자로 균등 급전을 하기 위한 8분기 전력분배기 구조를 제안하였다. 제안된 배열 안테나는 배열 구조에 의한 전계 상쇄 현상을 방지하고, 순도 높은 원형 편파(RHCP)를 발생시키기 위하여 순차적 급전 방식을 적용하였다. 각각의 안테나 소자에 90도 위상 지연 선로를 첨가하여 순차적 급전을 이루었고, 각각에서 발생하는 전계의 방향도 일치하도록 하였다. 설계된 위성 통신용 2×4 배열 안테나의 반사 손실은 -10 dB 기준 대역폭이 760 MHz(7.90~8.66 GHz), RHCP 이득은 8.3 GHz에서 14.3 dBic, 3 dB 축비 대역폭은 600 MHz(8.15~8.75 GHz)의 특성을 나타내었고, 전력분배기는 8개의 port에서 -9.2 dB의 동일한 전달 특성을 나타내었다.

Abstract

In this paper, SIW-based 2×4 uniform array antenna with a sequentially fed 8-way power divider with an equal division characteristic is proposed for an application of X-band satellite communication. In particular, sequential feeding structures with a progressive phase difference of 90 degrees between the nearest elements have been suggested to protect the cancellation of electric fields due to the array alignments and to enhance the purity of RHCP(Right-Handed Circular Polarization). The obtained results according to the return loss bandwidth, RHCP antenna gain, axial ratio bandwidth are 760 MHz ranging from 7.90 to 8.66 GHz under the criterion of less than -10 dB, 14.3 dBic at 8.3 GHz, and 600 MHz from 8.15 to 8.75 GHz, respectively. In addition, it is observed that the equal-division characteristic of SIW-based 8-way power divider is approximately -9.2 dB in all ports.

Key words : X-Band, SIW, Array, Sequential, RHCP

I. 서 론

위성 통신 산업에 대한 관심이 높아지면서 이와 관련된 다른 나라의 선진 기술 습득 및 이해를 위한 노력이 이루어지고 있다. 아직은 발사체부터 위성에 탑재되는 부품들까지 외부 기술에 대한 의존도가 높으나, 자체 기술 개발에 대한 연구도 진행 중이다.

위성에 탑재되는 X-band 안테나는 고용량 데이터를 지상국으로 전송하는 임무를 수행하는데, 우리나라의 다목적 실용위성 2호에는 마이크로스트립 안테나, 3호에는 혼 안테나가 장착되었다. 또한, 과학기술 위성(1, 2호)과 같은 소형 위성에서도 마이크로스트립 안테나를 사용하였는데, 과학기술 위성 1호의 X-band 안테나 제원을 바탕으로 설계한 안테나

「이 연구는 2010학년도 국토해양부 「하늘프로젝트」 지원으로 연구되었음.」

한국항공대학교 전자 및 항공전자공학과(Department of Electronic Engineering and Avionics, Korea Aerospace University)

· 논문번호 : 20101001-02S

· 교신저자 : 이재욱(e-mail : jwlee1@hau.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 12월 21일

표 1. 과학기술 위성 1호

Table 1. STSAT-1.

Center frequency	8,127 MHz	8,327 MHz
Frequency bandwidth	> 100 MHz	> 100 MHz
VSWR	< 1.5 over the passband	
Gain	6.5 dBi on axis	
Axial ratio	5 dB Max.	

의 동작 주파수(8.0~8.5 GHz) 및 전기적 특성 목표치를 설정하였다.

표 1은 과학기술 위성 1호의 안테나 제원을 보여준다.

설계한 위성 통신용 2×4 배열 안테나는 마이크로 스트립 선로와 도파관의 장점인 경량성과 저손실 특성을 갖는 SIW(Substrate Integrated Waveguide) 구조를 이용하였다^{[1],[2]}. 또한, 전력분배기와 안테나가 각각 다른 층에 존재하는 적층 구조로 전력분배기에서 전체 급전이 이루어지고, 천이 구조(via transition)를 통해 각각의 안테나에 2차적으로 급전되는 방식을 사용하였다. 2×4 배열 안테나 설계에 앞서 X-band에서 동작하고 우수 원형 편파(RHCP) 특성을 갖는 단일 안테나와 이를 이용한 2×2 배열 안테나를 설계하여 전기적 특성을 살펴보았다^[3].

그림 1에서 알 수 있듯이 단일 안테나와 2×2 배열 안테나 모두 설정한 동작 주파수인 8~8.5 GHz에서 -10 dB 이하의 반사 손실 특성을 나타내었다. 이러한 결과를 토대로 2×2 배열 안테나의 구조를 변형하여 2×4 배열 안테나의 구조를 설계하였다.

II. 순차적 급전 방식

본 논문에서 설계한 2×4 배열 안테나의 구조를 살펴보면 안테나와 전력 분배기에 위상 지연 선로가 위치해 있는데, 이것은 순차적 급전^{[4],[5]}을 위한 구조이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 8개의 안테나를 배열하기 위하여 안테나 소자 2개씩 동위상이 되도록 쌍(set_A, B, C, D)을 이룬 후 각각 4개의 쌍(set_A, B, C, D)을 90도씩 차이가 나도록 회전하여 배열하였다.

이러한 구조를 적용하게 되면 회전각 90도에 의해 안테나에서 발생되는 E-field 방향이 서로 반대가

(a) 단일 안테나

(a) Single antenna

(b) 2×2 배열 안테나

(b) 2×2 array antenna

그림 1. 위성 통신용 X-band 안테나

Fig. 1. X-band antenna for satellite communication.

그림 2. 위상 지연 선로 삽입 전 E-field 방향

Fig. 2. The generated E-field direction without phase-delay lines.

되어 상쇄되는 E-field가 생기게 된다. 그림 2에서는 set_A와 set_C에 의해서 발생된 E-field가 서로 상쇄되고, set_B와 set_D에 의해서 발생된 E-field가 상쇄되는 것을 보여 준다. 이와 같은 E-field 상쇄 현상을 방지하기 위해 적용한 방법이 위상 지연 선로를 이용한 순차적 급전이다. 안테나 회전으로 생긴 90도 차이를 보상하기 위하여 90도 위상 지연 선로를 삽입하여 회전하기 전의 상태로 만들어 주는 원리이다.

즉, 각 안테나에서 발생되는 E-field의 방향이 일치하도록 하는 것이다. 또한, E-field 상쇄 현상이 방지되면서 2×4 배열 안테나의 원형 편파가 제대로 형성되어 축비 특성에도 좋은 영향을 주는 것이다.

(a) 안테나(윗층)
(a) Antenna(top)

(b) 전력분배기(아래층)
(b) Power divider layer(bottom)

그림 3. 90도 위상 지연 선로
Fig. 3. 90° phase delay line in two layers.

그림 3은 설계한 2×4 배열 안테나에 적용된 90도 위상 지연 선로를 보여주고 있다. 예를 들어, set_A에서 두 안테나는 동위상이 되어야 하기 때문에 동일한 길이의 위상 지연 선로($adl_1 + pdl_1 = adl_2 + pdl_2$)가 삽입되었고, set_B의 두 안테나도 마찬가지이다. 그러나 set_A와 set_B 사이에는 90도의 위상 차이($adl_1 + pdl_1 < adl_3 + pdl_3$)가 나도록 위상 지연 선로의 길이가 결정되었다.

III. 전력 분배기 및 안테나 구조

3-1 8분기 전력분배기

설계한 8분기 전력분배기의 구조는 그림 4와 같다. 전력 분배기의 동작 주파수는 중앙 급전점과 guiding via 사이의 거리(f_d)에 의해 결정되고, guiding via는 전력이 각 부분으로 균등 분배되도록 도와준다^[6]. 본 전력분배기의 S-parameter 특성은 그림 5에 나타내었다. 반사 손실은 -10 dB 기준 대역폭이 1.4 GHz(7.34~8.74 GHz)로 광대역 특성을 보였고, 전달 특성($S_{21} \sim S_{91}$)도 -9.2 dB로 전력 균등 분배가 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

3-2 2×4 배열 안테나

전체 적층 구조에서 배열 안테나는 윗층에 위치하고 있는데, 그림 6은 배열 안테나의 구조를 보여주고 있다. 2×4 배열 안테나는 방사체 역할을 하는 8개의 원형 패치와 슬롯, SIW 구조를 만들기 위한

그림 4. 8분기 전력분배기 구조
Fig. 4. The structure of 8-way power divider.

그림 5. 8분기 전력분배기 S-parameter 특성

Fig. 5. S-parameters of 8-way power divider.

그림 6. SIW 구조의 적층형 2×4 배열 안테나 구조

Fig. 6. SIW-based 2×4 array antenna with two layers.

via 배열, 원형 편파를 형성하기 위한 shorting via(A), 임피던스 정합에 필요한 guiding via(B), 급전을 위한 via transition(C), 그리고 순차적 급전을 위한 위상 지연 선로 등으로 구성되어 있다.

설계한 안테나의 동작 주파수는 원의 내부 반지름에 의해서 결정되는데, 식 (1)을 이용하여 단일 안테나가 8.25 GHz에서 동작하도록 하는 원의 반지름을 구하였고, 배열 후 최적화 과정을 통해 $r=6.2$ mm로 결정하였다^[7].

$$f_{r11} = \frac{K_{11} \cdot c_o}{2\pi r_e \sqrt{\epsilon_{eff}}} - CF, \quad K_{11} = 1.8412 \quad (1)$$

2×4 배열 안테나는 위상 통신에 유리한 우수 원형 편파(RHCP)를 형성하기 위해 via를 사용하였다. 원

(a)

(b)

그림 7. (a) 제작한 2×4 배열 안테나, (b) 반사 손실

Fig. 7. (a) The photograph of 2×4 array antenna, (b) The measured and simulated return losses.

형 패치 내부에 위치한 via에 의해 이중 공진이 형성되면서 원형 편파가 발생하게 된다. 패치의 중심을 기준으로 via가 어느 방향에 있는지에 따라 RHCP와 LHCP가 결정된다. 제안한 안테나는 중심으로부터 왼쪽에 via를 위치시켜 우수 원형 편파(RHCP) 특성을 얻었다.

그림 6에서 B는 위에서 언급한 것과 같이 임피던스 정합을 위한 구조로 일반 도파관의 비대칭 유도성 격막 구조로 증가될 수 있다^{[8],[9]}. 배열된 via는 도파관 전송 선로에 연결된 병렬 인덕터로 표현되어, via의 개수에 따라 병렬 서셉턴스 값이 변하게 되고, 이 결과로 임피던스 정합이 가능하게 되는 것이다.

그림 7은 실제 제작한 2×4배열 안테나와 반사 손실 그래프이다. 제작한 안테나 구조에서 적층 구조

(a) 8.2 GHz

(b) 8.3 GHz

그림 8. 2×4 배열 안테나 방사 패턴

Fig. 8. The radiation patterns of 2×4 array antenna.

임을 고려하여 나사를 이용하여 체결하였다.

측정된 2×4 배열 안테나의 반사 손실은 시뮬레이션을 통해 얻은 반사 손실과 유사한 특성을 보이는 것을 알 수 있다. -10 dB 대역폭은 시뮬레이션 결과, 620 MHz(7.85~8.47 GHz), 측정 결과, 760 MHz(7.90~8.66 GHz)로 설정한 동작 주파수 범위를 거의 만족하였다. 또한, 측정한 방사 패턴도 시뮬레이션을 통해 얻은 결과와 동일하였다.

RHCP 이득은 8.3 GHz에서 14.3 dBic로 15.1 dBic를 얻었던 시뮬레이션 결과에 비해 다소 감소하였으나 1 dB 이내의 손실에 불과하다. 좌수 원형 편파(LHCP) 역시 $\theta=0^\circ$ 에서 우수 원형 편파(RHCP) 이득과의 차가 17 dB 이상으로 우수 원형 편파(RHCP) 편파가 우세함을 확인할 수 있다. 이에 따른 축비는 8.3 GHz($\theta=0^\circ$)에서 2.5 dB, 3 dB 축비 대역폭은

600 MHz(8.15~8.75 GHz)의 결과를 얻었다. 그림 8은 8.3 GHz에서의 방사 패턴 그래프이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 위성 통신용 2×4 배열 안테나를 SIW 기술을 적용하여 설계하였다. 특히 선행 연구로 진행했던 X-band에서 동작하는 단일 안테나와 2×2 배열 안테나, 본 논문의 2×4 배열 안테나까지 모두 마이크로스트립의 경량성과 도파관의 저손실 특성을 갖는 SIW 구조를 이용하였다. 또한, 축비 특성을 향상시키고 E-field 상쇄 현상을 방지하기 위하여 90도 위상 지연 선로를 이용한 순차적 급전 방식을 적용하였다. 제작된 2×4 배열 안테나의 반사 손실은 -10 dB 기준 대역폭이 760 MHz(7.90~8.66 GHz)로 설정한 동작 주파수 범위를 만족하였고, RHCP 이득은 8.3 GHz에서 14.3 dB로 시뮬레이션 결과와 비교했을 때 1 dB 이내의 오차를 보였다. RHCP와 LHCP 사이에는 17 dB의 차이를 보여 2×4 배열 안테나는 초기에 설정한 RHCP를 발생시킨다는 것을 확인하였다. 또한, 3 dB 축비 대역폭은 600 MHz로 순차적 급전이 제대로 적용되고 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] F. Xu, K. Wu, "Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 53, no. 1, pp. 66-73, Jan. 2005.
- [2] D. Deslandes, K. Wu, "Substrate integrated waveguide leaky-wave antenna: Concept and design considerations", in *2005 Asia-Pacific Microwave Conf. Proc.(APMC'05)*, Dec. 2005.
- [3] E. Y. Jung, T. Y. Seo, J. H. Kang, J. W. Lee, T. K. Lee, and W. K. Lee, "A novel circular-polarized array antenna based on substrate integrated waveguide for satellite communication", *4th European Conference on Antenna and Propagation(EuCAP2010)*, Apr. 2010.
- [4] P. S. Hall, "Application of sequential feeding to wide bandwidth, circularly polarised microstrip patch arrays", *IEE Proc. H.*, vol. 136, no. 5, pp. 390-

- 398, Oct. 1989.
- [5] P. S. Hall, J. S. Dahele, and J. R. James, "Design principles of sequential fed, wide bandwidth, circularly polarised microstrip antenna", *IEE Proc. H*, vol. 136, no. 5, pp. 381-389, Oct. 1989.
- [6] T. Y. Seo, J. W. Lee, and C. S. Cho, "Radial guided 4-way equal power divider using substrate integrated waveguide with center-fed structure", in *2009 Asia-Pacific Microwave Conf. Proc. (APMC'2009)*, Dec. 2009.

- [7] R. Garg, Ed., *Microstrip Antenna Design Handbook*, Norwood, MA : Artech House, 2000.
- [8] N. Mzrcuvitz, *Waveguide Handbook*, McGraw-Hill, 1951.
- [9] D. Kim, J. W. Lee, C. S. Cho and T. K. Lee, "X-band circular ring-slot antenna embedded in single-layered SIW for circular polarization", *Elect. Lett.*, vol. 45, pp. 668-669, 2009.

정 은 영

2009년 2월: 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학과 (공학사)
2009년 3월~현재: 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파, 배열 안테나 설계 및 해석, UWB 안테나 설계 및 신호 분석

이 택 경

1983년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1985년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1990년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1990년 5월~1991년 4월: Univ. of Texas at Austin, Post-Doctoral Fellow
1991년 9월~1992년 2월: 한국과학기술원 정보전자연구소 연구원
2001년 7월~2002년 7월: Univ. of Illinois, Urbana-Champaign, Associate Visiting Research Professor
1992년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수
[주 관심분야] 마이크로파, 안테나, 전자파 해석, 레이더

이 재 욱

1992년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1998년 3월~2004년 2월: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 전파기반연구그룹
2004년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부, 전자 및 항공전자 전공 교수
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 능, 수동 소자 해석 및 설계, EMI/EMC 대책 기술, 고출력 증폭기 및 고출력 안테나 설계

이 우 경

1994년 2월: 한국과학기술원(KAIST) 전자공학과 (공학사)
1996년 2월: 한국과학기술원(KAIST) 전자공학과 (공학석사)
1999년 12월: 영국 런던대학교(UCL) 전자공학과 (공학박사)
2000년 12월~2002년 12월: 한국과학기술원(KAIST) 인공위성센터 선임연구원, 연구교수, 과학위성 1호 통신시스템 팀장
2003년 1월~2004년 8월: 삼성종합기술원 책임연구원
2004년 9월~현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수
[주 관심분야] 위성 시스템, 무선 통신 시스템, 레이더, 광역 신호 시스템(UWB), 신호 처리, SAR