

탐지 레이다용 헬릭스 진행파관 증폭기 지연파구조 특성 연구

Applicable Study on Helix TWT of Slow-Wave Structure for Surveillance RADAR

윤인철*, 김희식

서울시립대학교 전기전자컴퓨터공학부

요약

본 논문에서는 탐지레이더용 진행파관증폭기(TWTA: Traveling Wave Tube Amplifier)의 개발을 위한 지연파 구조 특성을 제안한다. 지연파구조 특성 및 이론적 해석을 위해 증폭기 설계 및 구현시 HFSS Code와 LMSuite Code를 활용 하였다. 나선형 저속파 진행파관 증폭기의 절단 및 시뮬레이션을 통하여 제안한 측정값이 설계규격을 만족시키는 결과를 얻었다. 본 논문에서 제안한 규격은 매우 유용하며 따라서 차후 유사장비 개발시 적용 가능할 것으로 판단된다.

Abstract

This paper suggests an applicable study on Helix TWT of Slow-Wave Structure for Surveillance RADAR. In order to improve Slow-Wave Structure performance and analysis, we design and realizer a Helix TWTA using a HFSS Code and LMSuite Code, Through the cutting and simulation of Helix TWTA, this parameter satisfies the design specifications, Therefore, this specifics is very useful and can be used to develop the similar equipments

Key Words : TWTA 'Traveling Wave Tube Amplifier', TPM, HVPS

1. 서 론

탐지레이더 응용목적으로 TWT(Traveling Wave Tube)에 대한 수요가 증가하면서 광대역 특성을 갖는 헬릭스 회로와 이를 사용한 TWT에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 TWT의 개발에는 다음 세가지 초점을 맞춰 발전해가고 있는데, 첫째는 물론 성능(효율, 이득과 소음 정도 등)이고, 둘째로는 크기이며, 마지막으로 무게이다. 점점 더 복잡해 가는 시스템에 통합이 되어가고 지상뿐만 아니라 항공 및 우주에서의 응용 분야가 늘어나면서 더욱더 작고 가벼운 전자파 발생장치에 대한 수요가 늘고 있다. 또한 TWT의 성능을 미리 예측해서 경비와 시간을 절약할 뿐 아니라 적정화된 TWT를 제작하기 위해 컴퓨터를 이용한 전자파 발생장치 모델링이 어느 때보다 활발하다. 지난 50년간 세계 선진국가들은 TWT의 효율, 이득(Gain), 주파수 범위, 소음 정도, 선형 정도(Linearity), 수명 및 크기, 무게를 최적화하여 각종 전자전 무기체계, 레이더 무기체계 및 장거리 통신용 등의 현장에서 쓰고 있다.

본 연구는 Helix TWT의 분해 및 단면 절단(Cut)을 통해 나선형 저속파 구조에서 이론적인 해석과 분석적인 이론을 개발하고 컴퓨터 모델링을 수행, TWT 동작의 최적조건에 필요한 제한 물리적인 상수를 이론적으로 결정하는 기술을 확보하는 것으로 나선형 저속파 구조에서 정규화된 위상속도에 대한 이론적인 해석과 HFSS 코드를 이용한 시뮬레이션, 측정을 통해 결과를 비교하였다. 또한 정확하고 세밀한 측위로 나선형 저속파 구조를 모델링 했을때 시뮬레이션에서 얻은 분산특성과 측정으로 구한 분산특성이 매우 비슷함을 확인 하였다. 저속파 구조에서 변수인 나선 반지름(r),나선피치각도(ψ),유전체 로딩 (유전체 크기)에 따라 분산특성과 상호작용 임피던스의 특성이 어떻게 변화되는지를 알아보기 위해 Ansoft사에서 개발한 HFSS코드를 사용하였다. 나선의 두께는 0.254 mm이고 나선의 안쪽 반지름과 바깥 반지름은 각각 0.653mm, 0.907mm이다.

2 진행파관 증폭기 설계 및 특성

2.1 지연파 구조 (Slow-Wave Structure)

TWT의 특성은 저속파 구조에 따라 크게 영향을 받기 때문에 저속파 구조에 대한 이해는 TWT설계에서 필수적인 사항이다. 저속파 구조 설계에 있어서 중요한 세가지cold 변수가 있는데, 위상속도(phase velocity), 상호작용 임피던스 (interaction impedance), 감쇠(attenuation)이다. 설계에서는 위의 세가지 변수 중에서도 정확한 위상 속도가 요구되는데 저속파 구조에 대한 3차원 모델링과 측정치의 비교값과 실험치를 비교 하였다. TWT

에서 신호의 증폭은 저속파 구조 내에서 전자빔의 속도와 전자파의 축 방향 위상속도가 유사할 때 발생된다. 만약 설계된 저속파 구조에서 전자파의 축 방향 위상속도가 주파수에 따라 변화되어 전자빔의 속도로부터 멀어지게 된다면 TWT의 이득은 줄어들 것이다. 그래서 광대역 주파수 특성을 갖는 TWT설계에서는 원하는 주파수 대역에서 전자빔과 전자파의 속도가 서로 동기를 이루는 저속파 구조를 설계하는 것이 매우 중요하다.

2.2 상호작용 회로(Interaction Circuit)

본 논문에서 다룬 나선형 진행파관 증폭기의 핵심 부분인 지연파 구조 (Slow-Wave Structure)에 대한 이론적 시뮬레이션 결과 파라미터 값과 실제 동작조건 특성을 비교 분석함으로써 이러한 조건의 특성을 필요로 최대 이득 및 출력 특성을 갖는 진행파관 증폭기를 설계 및 제작하고자 연구하였다. 제작된 Teledyne사의 나선형 진행파관 증폭기의 전체 분야 중 지연파 회로를 분리하여, 해당 부분에 대한 회로 파라미터 값을 얻기 위해 마이크로소프트 현미경 촬영을 실시하여 각종 파라미터 값을 얻었고, 2차 실제 지연파 구조 단면 절단(Cutting) 그림1을 회로 파라미터 값을 구하여, 이를 통해 얻어진 값과 회로 분석을 통한 시뮬레이션 구현을 실행하였다. 저속파 구조의 회로 파라미터는 현미경 측정을 통해 얻어진 값과 회로 단면적 절단(Cutting)을 실시하여 시뮬레이션 최종 회로 파라미터의 값을 그림5 와 같이 얻게 되었다.

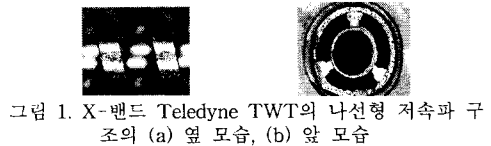


그림 1. X-밴드 Teledyne TWT의 나선형 저속파 구조의 (a) 옆 모습, (b) 앞 모습



그림2. 나선형 저속파 구조의 최종회로 파라미터

일반적으로 나선형 진행파관 증폭기의 분산 특성은 양의 분산특성을 갖고 있으며, 낮은 주파수 대역에서 파장의 길이가 나선형 사이의 거리에 비해 짧고, RF 신호가 전자빔을 그냥 통과 하거나 또는 전자빔과 상호작용이 일어나더라도 대역의 중간 주파수에서와 같은 상호작용이 일어나지 않는다. 따라서 사용주파수 대역폭이 감소된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 더 넓은 주파수 특성을 갖도록 하기 위해서는 진행파관 증폭기의 음의 분산 (Negative Dispersion)특성을 갖도록 나선형 진행파관을 설계하여야 한다. 이러한 특성을 토대로 광대역, 고출력 이득을 얻

저자 소개

* 윤인철 : 서울시립대학교 電氣電子컴퓨터工學科 博士課程

고, 전자빔과 RF 신호와 더욱 강한 상호 작용이 일어날 때 전력 증폭기로서의 그 기능을 더한 것이다. 위와 같은 이론적 사실을 바탕으로 장점이 많은 음의 분산 특성을 갖는 증폭기를 본 논문에서 사용하게 된 것이다. 그림3, 에서의 음의 분산특성 기율기와 광대역 주파수 대역에서 전자빔 -14.2Kv 와 RF 신호 그림4 에서 위상속도가 일정한 속도로 진행됨을 확인하였다.

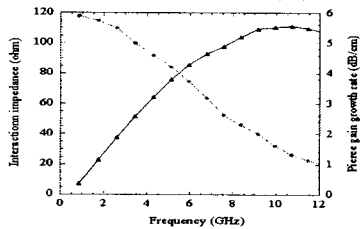


그림 3. X-밴드 나선형 저속과 구조의 상호작용임피던스

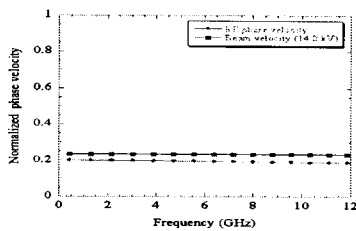


그림 4. X-밴드 나선형 저속과 구조의 측상 위상속도

- * helix pitch (p) = 0.1905 cm
- * helix inner radius (ri) = 0.11841 cm
- * helix outer radius(ro) = 0.14357 cm
- * barrel radius (rb) = 0.23103 cm
- * width of dielectric supporting rods(dw1)= 0.1 cm
- * width of dielectric supporting rods(dw2)= 0.05039 cm
- * height of dielectric supporting rods(dh1)= 0.06796 cm
- * height of dielectric supporting rods(dh2)= 0.0195 cm
- * helix width(w)= 0.073 cm
- * helix thickness(ro-ri) = 0.02516 cm

그림5 나선형 저속과 구조의 회로 파라미터

3. 1-D LMSuite 비선형 시뮬레이션

3.1 구동곡선

나선형 TWT는 전자빔과 전자파 간의 비선형적이고 큰 신호 해석을 하기 위해 비선형 코드를 사용한 해석이 일반적이다. 비선형 특성은 주로 포화영역에서 전자의 복잡한 행동에 의해 발생되기 때문에 TWT설계에서 비선형 이론이나 코드를 이용한 해석은 TWT의 정확한 예측을 위해서 필요하다. 본 연구에서는 TWT의 비선형 특성 분석을 위해 비선형 시뮬레이션 코드인 LMSuite 코드를 사용하였다.

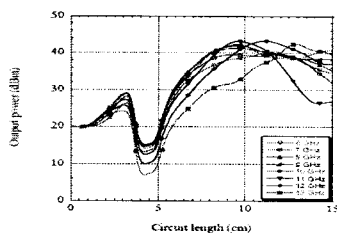


그림 6. 구동 곡선

나선의 지지대의 물질(material) 알아보면 열 전도율이 좋은 BeO 로서, 모양은凸와 같은 쉘기형 모양으로 나선을 지지하는 부분의 길이는 0.05 cm 이며, 원통(barrel) 부분을 지지하는 길이는 0.1 cm 크기의 유전체로서 위상속도변조 및 손실(Loss)을 감안하여 제작됨을 알 수 있다. 그림6 은 9.0-9.5 GHz 주파수 대역을 대상으로 구동곡선(Drive curve)을

시뮬레이션 한 결과 해당 주파수 대역에서 입력전력 9.5dBm 일때 최대 포화 전력은 69.19 dBm을 확인 하였다.

3.2 이득 및 대역폭

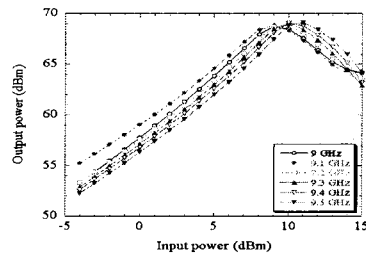


그림 7. 포화 전력 대역폭 및 이득 (Bandwidth & Gain)

구동 곡선 시뮬레이션 결과에 따른 그림 8 에서 보는바와 같이 이론적 시뮬레이션 결과값에 대한 포화전력 및 이득특성과 실험 측정치에 대한 실험 결과값이 거의 일치함을 확인할 수 있다. 최종 결론은 이론적 시뮬레이션결과 값과 실험 데이터 다소 미세한 값의 차이는 요소별 오차범위내로 결론하였다.

입력주파수	입력 전력	캐소드전압	출력 전력
9.0 GHz	9.0 dBm	-14.2 kV	66.9 dBm
9.1 GHz	9.0 dBm	-14.2 kV	68.2 dBm
9.2 GHz	9.0 dBm	-14.2 kV	67.8 dBm
9.3 GHz	9.0 dBm	-14.2 kV	66.4 dBm
9.4 GHz	9.0 dBm	-14.2 kV	64.9 dBm
9.5 GHz	9.0 dBm	-14.2 kV	68.4 dBm

표 1 제작된 진행파관 증폭기 실험 동작결과
* 1,200(H) 가동 운용 수치임.

4. 결론 및 향후 연구 방향

지연과 구조의 단면 질단을 통한 이론적 회로 파라미터 구하였고, LMSuite코드를 이용하여 상호작용 임피던스를 구하기 위하여 시뮬레이션 한 결과 9.0 - 9.5 GHz대역에서 30Ω이하로 광대역 상호작용 특성이 매우 활발히 이루어짐을 확인하였다.

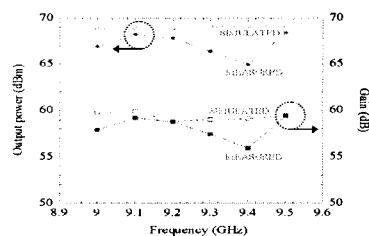


그림 8 포화 전력 대역폭 및 이득

이론적 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실험 측정은 9.0 - 9.5 GHz 주파수 대역을 중심으로 구동곡선에 대한 포화전력은 해당 주파수 범위내 입력전력 9.5 dBm일때 최대 포화전력은 69.16 dBm이 측정되었다. 위 측정치를 바탕으로 전체의 효율을 알아본 바 17.55%(실험치)로 특성이 매우 우수한 진행파관 증폭기를 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] J. R. Pierce, "Traveling-Wave Tubes", D. Van Nostrand Company Inc., 1950.
- [2] A. S. Gilmour, "Principles of Traveling Wave Tubes", Artech House, 1994.
- [3] 윤인철, 김희식, "탐색레이더 진행파관 증폭기 정비장비개발" 서울시립 대학교 KIEE, IEEK, 2006 정보 및 제어학술 회의 논문집