

전치왜곡방식의 Ku-band 선형화 증폭기

Ku-band Linearized Amplifier of Pre-distorter Type

김운섭 이승준

(광운대, 석사과정)

홍상표

(한국항공우주연구원)

나극환

(광운대, 교수)

Key words: Linearized Channel Amplifier, Predistorter, ALU(Automatic Level Control)

목 차

I. 서론

II. 선형화 이론

III. 설계 및 결론

IV. 결론

참고문헌

I. 서론

1990년대 국내 통신방송위성 1, 2, 3호의 성공적인 발사에 따라 국내의 위성통신 산업도 비약적인 발전을 하였다. 하지만 현재까지는 지상장비의 개발에만 한정되어 있으며, 고신뢰성을 요구하는 방송 위성 탑재체 및 위성 통신 부품을 자체 개발하는 단계에는 이르지 못하고 있다. 통신방송위성의 개발을 선도하는 선진국들은 위성통신의 중요성 및 타 산업에 미치는 영향을 인식하여 오래전부터 방송 위성 탑재체 및 부품 개발이 활발히 진행되고 있다. 이는 고신뢰성 부품 및 시스템 개발이 모든 산업발전의 원동력이 되며, 그 나라의 기술수준을 결정하는 척도가 되기 때문이다. 위성 통신 부품은 15년 이상 우주환경에서도 정상 동작하여야 하므로 그 제조기술의 신뢰도가 매우 중요하다. 회로적으로는 이미 검증이 완료된 기술을 사용하는데 반해 구현 방법에 있어 잠재적인 불량을 줄일 수 있는 체계적인 관리 및 통일된 공정에 의한 설계, 제조, 시험, 인증 등이 이루어져야 한다.

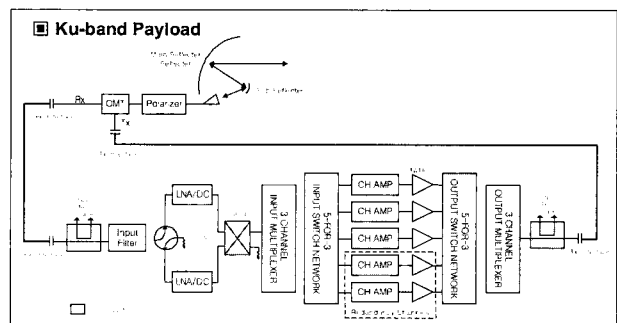
<그림. 1> 은 Ku-Band 위성탑재체의 기본 구성이다.

그림에서 나타낸 것처럼 위성 탑재체(Payload)는 Antenna, Receiver, Input/output Multiplexer, Switch, Linearized Channel Amplifier, TWTA (Traveling Wave Tube Amplifier) 등으로 구성되어 있으며 그중 본 논문이 선택한 Linearized Channel Amplifier는 Main 증폭기의 비선형성을 선형화시키기 위해 Main 증폭기 전단에 위치하여 RF신호를 선형화시키는 기능과 ALC(Automatic Level Control)기능을 하는 증폭기이다. 즉, 위성 탑재체내에서 TWTA앞단에 위치하며, 각 채널별로 TWTA에 적합한 출력전력을 조절하는 역할을 한다. 채널증폭기는 동작상태에 따라 FG 모드(Fixed Gain Mode)와 ALC모드로 나뉘어진다. FG 모드 상태에서 채널증폭기는 지상명령(Tele-command)에 의해 정해지는 이득

을 갖는 증폭기로 동작하며 ALC 모드에서는 입력전력의 변화에 상관없이 일정한 출력 레벨을 만들게 된다. 따라서 채널 증폭기는 지상명령을 해석하고 응답하는 제어회로와 이득을 정밀하게 제어하기 위한 감쇄기 회로, 입력전력의 변화에 상관없이 일정한 전력을 출력하기 위한 ALC loop회로 등이 포함된다.

국내에서는 Ku-대역의 상업용 증폭기 기술은 성숙단계에 있으나 위성 탑재체용 채널증폭기와 같이 고신뢰도를 요구하는 시스템에 대한 연구는 미비하다. 이러한 채널증폭기는 Tesat, NEC, Alcatel, Alenia 등의 외국 기업이 기술을 독점하고 있는 상태이며, 자국의 기술보호를 위하여 기술 이전 자체를 꺼리고 있다. 앞으로 국내의 위성통신 기술 및 고신뢰성 RF 부품기술을 발전시키기 위해서는 이에 대한 국산화가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 이러한 Ku-Band Linearized Channel Amplifier Module (Amplifier, Linearizer, TM/TC Board, RF 입력력, Isolator)의 기본블록을 정의하고, 우주 환경에 대한 블록별 규격 및 전체 시스템 규격을 설정하기 위한 설계과정을 거침으로써 최적화를 이루는 적합한 설계를 하였다.

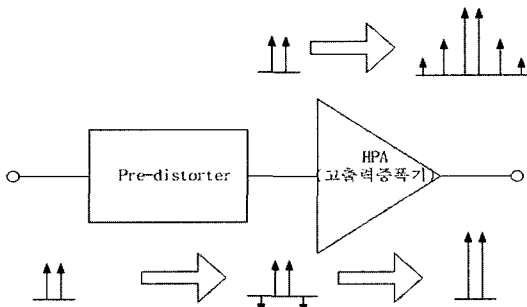


<그림 1> Ku-Band Payload Configuration

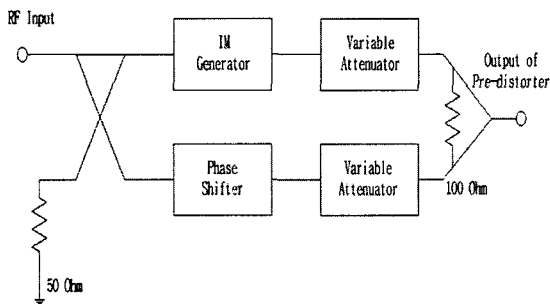
II. 선형화 이론

비선형 특성으로 인해 발생하는 인접채널의 영향과 송출되는 신호에 있어서의 진폭왜곡 및 위상 왜곡 현상을 최소화하기 위해 선형화 방식을 적용하여 설계한다. 일반적으로 적용되는 선형화 방식은 Back-off 방식, 전치왜곡(Pre-distorter) 방식, Feed Forward 방식이 적용된다. 고출력 증폭기의 비선형 왜곡 특성은 포화점 근처에서 동작하기 때문에 발생한다. 그러므로 Back-off 방식은 출력 특성이 포화점에서 동작하지 않고 선형지역에서 동작하도록 충분히 큰 출력의 전력 트랜지스터를 사용하는 방식이다. Back-off 방식은 선형화 방식 중에서 제일 간단한 구조를 갖지만 출력 전력 효율이 나쁘며, 제품의 가격이 높아지는 단점을 갖는다. 전치왜곡 방식은 회로도 간단하며, 효율이 높고, 제품의 가격도 낮지만 선형성 개선에 한계가 있다. 그러므로 약간의 선형성 개선 위주의 설계가 필요할 때에 일반적으로 적용되는 방식이다. 전치 왜곡 방식의 선형화 방식은 <그림 2>의 구조를 갖는다. 고출력 증폭기의 입력은 상호 변조왜곡 신호의 출력을 갖지만 고출력 증폭기 앞에 전치 왜곡기를 위치시켜서 출력되는 상호변조 신호들에 대한 역위상 되는 왜곡 신호를 만들게 된다.

그러므로 전치 왜곡기의 역할은 역 위상 된 상호 변조 왜곡 신호를 만들어 고출력 증폭기에 입력 시켜주는 것이며, 역 위상된 입력신호는 고출력 증폭기에서 출력되는 상호변조 왜곡 신호와 합성되어 제거될 수 있도록 하는 방식이다. <그림 2>에 제시된 전치 왜곡기는 <그림 3>과 같이 최적화 되어 구성될 수 있다.



<그림 2> 전치왜곡 선형화 방식

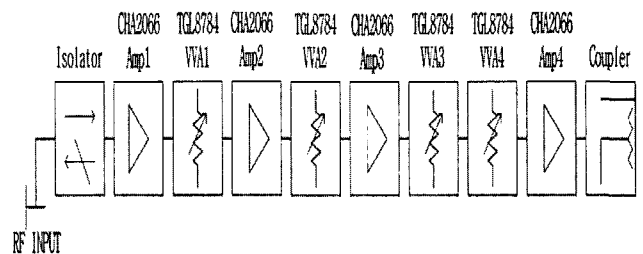


<그림 3> 전치 왜곡기 구조

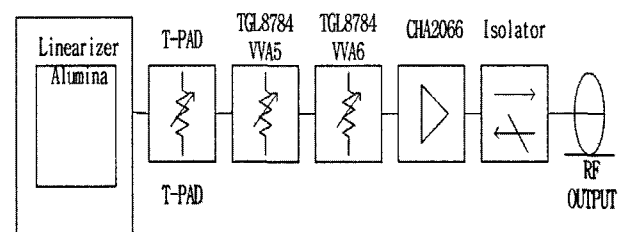
출력에서 상호 변조 왜곡 신호를 제거하기 위해 전치 왜곡기는 RF 신호입력을 받아서 고출력 증폭기에서 출력되는 상호 변조 왜곡 신호를 역 위상 시켜서 출력하여야 한다. 이를 위해서 전치 왜곡기의 구조는 <그림 3>과 같이 2개의 경로로 구조화 되어야 한다. 상호 변조 왜곡 신호를 발생시키고 왜곡 신호의 레벨이 조정되도록 하는 경로와 입력되는 신호의 위상을 가변 시킨 후 레벨을 조정하는 경로의 2개의 경로로 구성되어 전치왜곡기의 출력이 고출력 증폭기의 출력의 상호 변조 왜곡 신호에만 역 위상 되는 왜곡 신호를 발생 시킬 수 있도록 하는 것이다. 마지막으로 Feed Forward 방식은 회로도 복잡하고, 제품의 가격이 높지만 효율성 개선에 탁월한 능력을 갖는다.

III. 설계 및 결론

본 논문에서의 Ku-band Linearized Channel Amplifier는 Amplifier, VVA(Variable voltage Attenuator), Linearizer, Coupler & Detector, Bias & Control Board 의 설계가 필요하며 <그림 4>, <그림5> 는 Linearized Channel Amplifier RF Block 이다.



<그림 4> Channell Amplifier 부



<그림 5> Linearizer 부

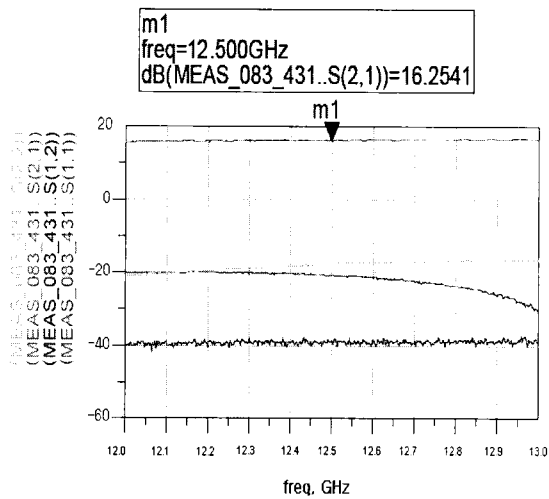
1) Amplifier Carrier Design

먼저 Amplifier Carrier 의 규격은 표 1-1에 나타내었으며, CHA2066 Device의 S-Parameter를 기본으로 Amplifier Carrier를 설계하였다.

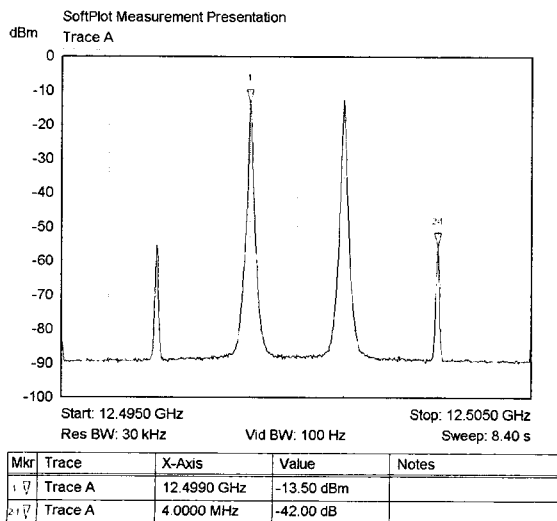
Carrier	Gold Coated Kovar
Substrate	Alumina (15 mil)
Device	CHA2066
Frequency Band	10 ~16 GHz
NF	2.0
Gain	~19 dB
Gain Flatness (Any 36 MHz)	± 0.02
P1dB	10 dBm
In/Out Return Loss	15 dB

<표 1-1> Amplifier Carrier Specification

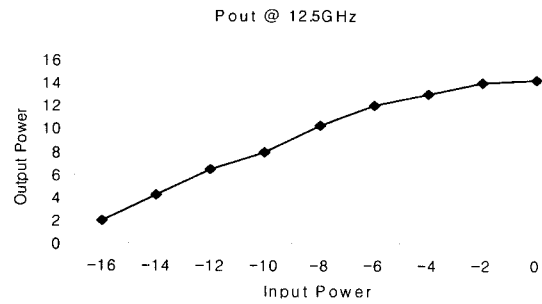
중심주파수 12.5GHz에서 약 16dB의 이득을 가지며, 약 20dB의 입출력 반사손실 그리고 10dBm의 1dB Compression Point특성을 확인하였다.



(a) Amplifier Carrier Gain

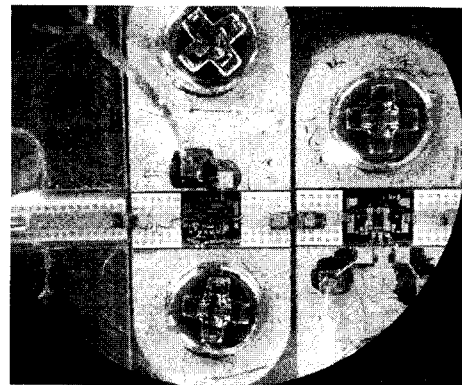


(b) IMD

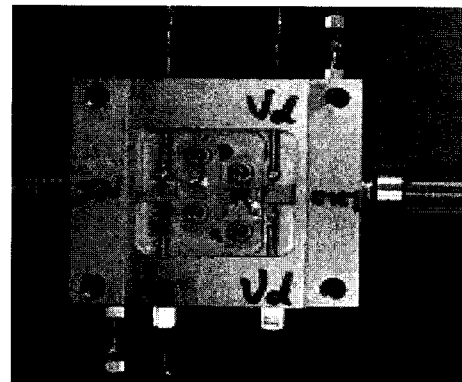


(C) P1dB @ 12.5 GHz

<그림 6> Amplifier Carrier Test Result



(a) Amplifier Carrier 확대 사진



(b) Test Fixture 실장 사진

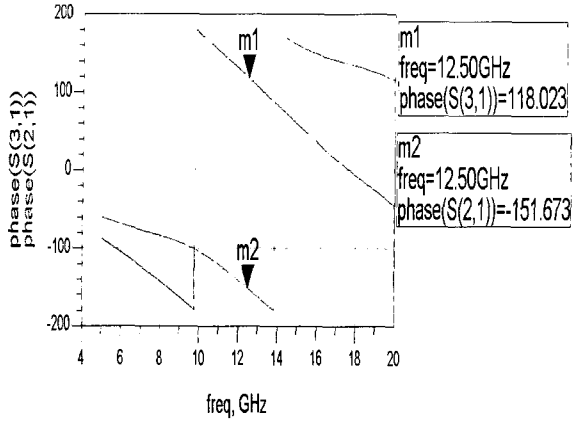
<그림 7> Amplifier Carrier 실물 사진

2) Linearizer Carrier Design

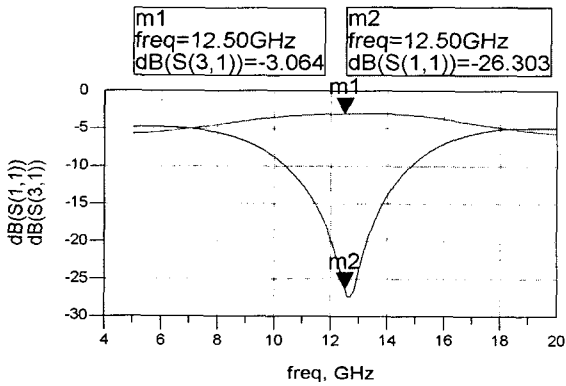
Carrier	Gold Coated Kovar
Substrate	Alumina (15 mil)
Device	HSCH-5318
Frequency Band	12.25 ~12.75 GHz
Insertion Loss	4.5 dB
Gain Flatness (Any 36 MHz)	± 0.02
In/Out Return Loss	15 dB

<표 1-2> Linearizer 의 Specification

위의 <표 1-2>는 Linearizer의 규격을 나타내었으며, <그림 8>은 Branch Line Hybrid Coupler를 이용한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 시뮬레이션 측정 결과 약 3-dB의 Coupling 과 180° 의 위상차를 나타내었다.



(a) Phase

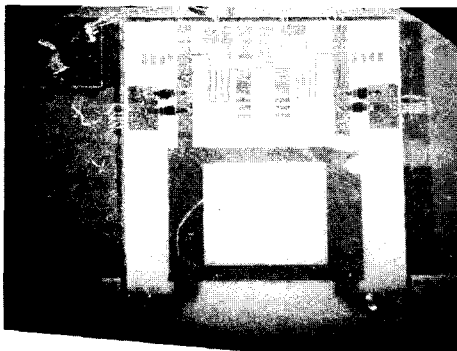


(b) Amplitude

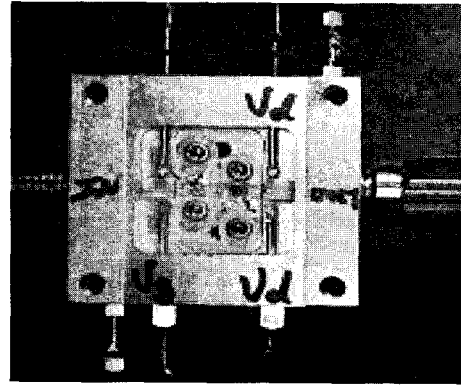
<그림 8> Simulated Results of Branch Line Hybrid Coupler

<그림 9>는 시뮬레이션을 바탕으로 제작한 사진이고, <그림 10>은 그 결과를 나타내고 있다.

측정 결과 12.5GHz 대역에서 -5~10 dBm Range에서 선형적으로 동작하는 것을 확인할 수 있다.(단, Test Fixture의 Loss는 무시하였다.)

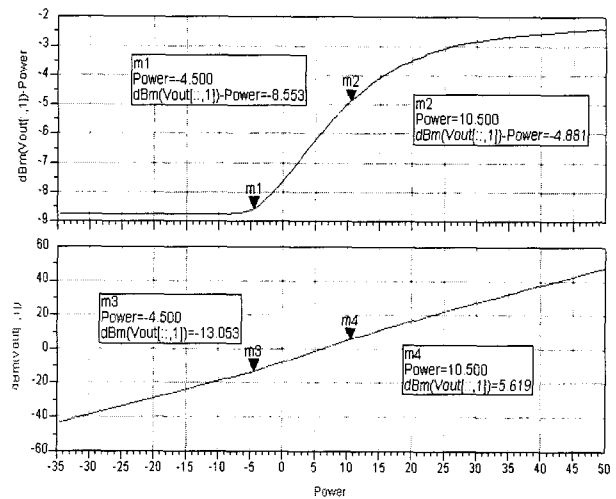


(a) Linearizer Carrier 확대 사진



(b) Carrier 실장 사진

<그림 9> Linearizer Carrier 실물 사진



<그림 10> Experiment Result of Pre-distorter

IV. 결론

비선형 특성으로 인해 발생하는 인접 채널의 영향과 송출되는 신호에 있어서의 진폭 왜곡 및 위상 왜곡 현상을 최소화하기 위해 선형화 방식을 적용하여 설계하였다.

일반적으로 증폭기는 포화점에서 동작함으로써 비선형 왜곡이 발생하여 신호의 왜곡을 일으키며 인접 채널에 영향을 미친다. 이에 본 논문에서는 선형화 방법 중 하나인 Pre-distorter 방식을 적용한 Ku-band 선형화 채널 증폭기를 설계 및 제작 완료하였다. 또한 Carrier Level에서의 종합적인 성능 검증과 우주환경에 적합한 공정 절차를 실시하여 생산성을 향상시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] P.B. Kenington, "High Linearity RF Amplifier Design", Artech House Inc., Norwood, MA, 2000, p. 341-420.
- [2] L. Maloratsky, "Branch-Guide Directional Couplers," IEEE Transactions Microwave Theory Tech., Vol.

MTT-16, Feb. 1968, p.80-89. 12., "The Basics of Print Reciprocal Dividers/Combiners," Microwave Journal, vol. 43, No. 9, September 2000, p. 108-124.

[3] P.B. Kerington, , "Methods Linearizer RF Transmitters and Power Amps (Part 1), Microwaves & RF, vol. 37, no. 13, December 1998, p. 102-116.

[4] M. Moazzam, R. and C. S. Aitchison,, "A Low Third Order Intermodulation Amplifier with Harmonic Feedback Circuitry", IEEE MTT-S Digest, June 1996, p. 827-830.

[7] D. Jing, Chan, S. W. , S. S. M. Li, and C. W. Li, "New Linearization Method Using Interstage Second Harmonic Enhancement," IEEE Microwave and Guided Letters, vol. 8, no. 11, November 1998, p. 402-404.