

《主 題》

위성통신 부품기술

전 완 중 · 민 준 기
(한국통신 위성사업단)

■ 차

■ 례

I. 개 요

II. 위성통신 시스템 구성부품

III. 위성통신 핵심부품 발전동향

IV. 결 론

I. 개 요

1945년 영국의 A.C. Clark에 의하여 정지위성통신의 가능성이 예고되고 세계 최초의 인공위성인 Sputnik-1호가 소련에 의해 발사된 후 인공위성을 이용한 통신에는 많은 연구와 기술개발이 이루어 졌다.

그 후 많은 통신위성의 발사가 계속되며 발전이 뒤 결과 1963년에 최초의 정지궤도위성인 Syncom 2호에 의해 미국과 유럽간의 위성통신이 가능해 졌으며 1964년에 이르러 SYNcom 3호에 의해 동경 올림픽이 생중계되었다. 1965년 국제간 상용위성인 Early Bird가 새로 발족된 국제위성통신기구(INTELSAT)에 의해 발사 운용되게 됨에 따라 본격적인 위성통신의 장 점으로는 회선구성의 유연성 및 신속성, 내재해성, 광역성·동보성·다원 접속성 및 난시청지역 해소 및 방송 주파수 자원 증대 등이 있으며 단점으로는 전파지연, 암호화의 필요성, 반향 현상, 지구국 시설의 고가격, 정지궤도의 유한성이 있다.

위성통신시스템은 크게 나누어 지상 35,800km에서 지구의 자전주기와 같은 속도로 회전하고 있는 위성체와 이 위성체를 지상에서 제어하는 관제시설과 위성을 이용하는 통신을 하는 지상설비로 나누어 진다.

위성체는 페이로드 시스템과 버스 시스템으로 나누어 지는데 페이로드 시스템은 위성 임무수행을 위

해 탑재된 장치이며 버스 시스템은 기능에 따라 여러 개의 서브 시스템으로 구성되는데 위성의 전력 공급을 위한 전원계, 위성의 위치 및 동작 파악을 위한 원격 명령추정계, 위성체를 유지하기 위한 구조계, 위성의 궤도상의 위치 및 자세제어를 위한 자세제어계, 각 부품의 열적 안정을 위한 열제어계 및 위성궤도 위치유지를 담당하는 추진계로 나뉘어 진다.

위성관제시설은 위성체를 감시하고 필요한 경우 명령을 보내어 제어하는 시설로 TT&C시설, 위성제어센터(SOC: Satellite Control Center) 및 통신망제어센터(NOC: Network Control Center)로 나누어 진다.

지상에서 위성을 안테나, 송·수신계, 신호처리장치 등으로 나누어 진다.

본 고에서는 위성통신시스템의 페이로드부분, 지구국 장비에 대하여 구성과 기능 및 동향에 대하여 고찰한다.

II. 위성통신시스템 구성 부품

1. 페이로드 시스템

페이로드 시스템은 지구국으로부터 송신된 신호를 수신하고 재송신하기 위한 안테나와 수신된 신호를 증폭하고 주파수 변환하기 위한 증계기(Transponder)로 나누어 진다.

1.1 중계기 구성

위성안테나에 수신된 신호는 대단히 미약하기 때문에 지구국으로 재송신하기 위해서는 그것을 증폭하고 주파수를 변환하여 재송신하여야 한다. 그림 1은 일반적인 통신위성의 중계기 구성도를 보여주고 있다.

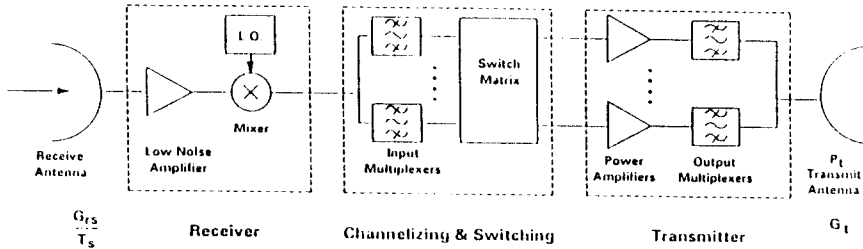


그림 1. 일반적인 통신위성 중계기 구성도

중계기는 저잡음 증폭기(LAN: Low Noise Amplifier), 주파수 변환기(Frequency Converter), 멀티플렉서(Multiplexer)와 디멀티플렉서(Demultiplexer) 및 고출력 증폭기(HPA: High Power Amplifier)로 구성되며 여러채널을 동시에 제공해 주기 때문에 여러개의 중계기를 병렬로 연결하여 사용한다.

위성안테나에 수신된 신호는 매우 약하여 신호를 잡음으로 부터 분리 하기 위해서는 수신시스템의 잡음온도를 낮추어야 한다. LAN는 이를 위하여 Pre-amplifier로 사용되며 LAN로는 보통 C-band, Ku-band에서는 GaAs FET Amplifier가 많이 사용되며 10GHz이상에서는 MESFET, HEMT기술이 계속 개발되고 있다. HEMT는 Transconductance가 기존의 MESFET에 비해 높으므로 이득대역폭이 높고, 잡음저항이 적어 전원입퍼턴스의 변동에 따른 잡음지수의 변화가 적기 때문에 광대역 저잡음 증폭기에 적합할 뿐만 아니라 협대역 저잡음 증폭기에서도 튜닝이 필요치 않기 때문에 저잡음 증폭기의 능동소자로 적합하다. 그러나 HEMT소자는 온도에 민감하기 때문에 온도 보상회로를 필요로 한다.

HPA로는 TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)가 고출력을 얻는데 오랜동안 쓰이고 있다. 그러나 TWTA의 경우 전송출력의 증대를 위해 증폭기가 포화점 가까이 에서 동작하고 있으며 입출력 특성이 아닐로그 전송의 경우 채널 반송파간의 혼변조 잡

음이 발생하며 디지털 전송의 경우 부호간 간섭이 발생하므로 고출력을 요구하는 경우 Linearizer를 써야 한다. 또한 한개의 HPA로 충분한 이득을 얻기가 어렵기 때문에 일반적으로 다단 증폭기를 사용하는데 RF-IF-RF중계기는 이중으로 주파수 변화하는 구성을 갖는 것으로 고출력 증폭기내에서의 레환에 의한

발진현상을 피할수 있으나 RF-RF형에 비하여 구성이 복잡해 진다.

멀티플렉서는 서클레이터와 협대역 여파기로 구성되며 입력된 신호를 협대역 신호로 분리한다. 협대역화하는 이유는 전체 주파수 대역을 분할하여 채널당 공통 증폭기는 신호수준을 감소시켜 통신품질에 악영향을 주는 혼변조 잡음을 줄이기 위한 것이다. 멀티플렉서는 6~8차의 Chebyshev 또는 elliptic function 도파관 여파기를 사용하게 되는데 최근의 위성은 대부분이 균지연 특성은 약간 떨어지나 대역의 차단특성이 좋은 elliptic형 여파기를 사용하고 있다. 균지연 특성보상을 위하여 등화기를 외부에 부착해 왔으나 최근에는 자기등화방식을 사용하고 있다.

고출력 증폭된 각 채널신호는 도파관형 스위치를 통과한 후 디멀티플렉서에 의해 다시 결합된다. 디멀티플렉서는 고출력 증폭된 신호를 결합하므로 열적변동에 상하고, 삽입손실이 가능한 직어야 한다. 따라서 여파기의 차수도 4차 또는 5차 정도로 낮은 elliptic형으로 설계하며, 서클레이터 결합방식을 사용하지 않고 도파관으로 구성하며, short circuit manifold를 통하여 적은 손실로 결합시킨다.

1.2 안테나 구성

안테나에는 지상으로부터 전송된 신호를 수신하여 이것을 중계기에서 주파수 변환된 증폭하여 지상으로

로 재송신하기 위한 송·수신 안테나계 및 위성을 지상에서 원격조작하기 위해 필요한 지령신호를 수신하고, 또한 위성의 운용상황을 지상에서 감시제언하는 코맨드/텔레메트리용의 송·수신 안테나계, 그리고 지상에서 위성의 거리측정신호를 송신하는 안테나계가 있다. 그림 2는 INTELSAT V의 위성 안테나 구성을 나타내었다.

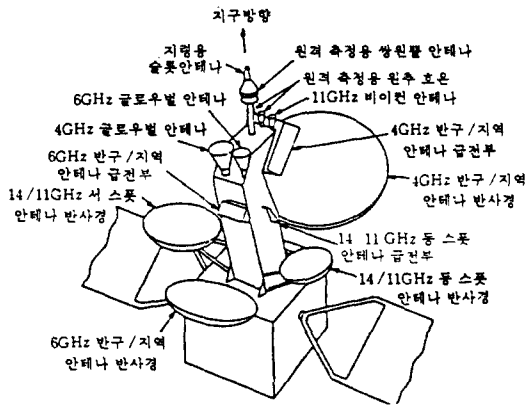


그림 2. 위성 안테나 구성도

통신위성의 안테나는 통신주파수, 요구되는 안테나 이득, 통신범위(coverage)의 세가지 요소에 의해 설계된다. 안테나의 종류에는 선형안테나, 혼 안테

나, 반사판(reflector)안테나, 배열(array)안테나가 있으며 이중 상업통신위성에는 주로 반사판 안테나가 쓰인다.

국내 위성빔과 같은 좁은 빔 커버리지를 위한 스폿(spot) 빔 안테나에는 대부분 위성의 경우와 같이 offset-feed방식의 파라볼라 반사판 안테나를 사용한다. 스폿빔용 위성 안테나의 반사판에 사용되는 재료는 Aluminum honey comb고 낮은 열팽창 계수를 갖는 Graphite fiber composite가 사용된다. 높은 안테나 이득이 필요하며 동시에 넓은 범위의 통신이 필요한 때는 직경이 큰 안테나 접시를 쓰고 다중 피드 배열을 사용함으로써 다중빔을 만들어 통신범위를 넓힐 수 있다. 다중빔 안테나는 여러개의 피드홀 구조체와 하나의 반사판으로 구성되며 피드홀의 각각이 동일한 방향의 독립된 빔을 갖게 된다. 또, 다중빔 안테나를 쓰는 목적은 주파수 재사용(reuse)에 있으며 이는 다중빔을 이용하여 주파수를 여러지역에 재사용하면 전체 통신채널이 늘어나게 된다.

2. 지구국 장비

지구국은 통신위성과 직접신호의 송수신을 행하는 지상의 전송시스템을 의미한다. 지구국은 기본적으로 송신기, 수신기 및 안테나로 구성되어 있으며 위성에 있는 중계기를 통하여 다른 지구국과 링크 기능을 수행한다. 지구국의 크기는 일반적으로 안테나 크기를 말하며 초기의 지구국의 안테나 크기는 그 직경

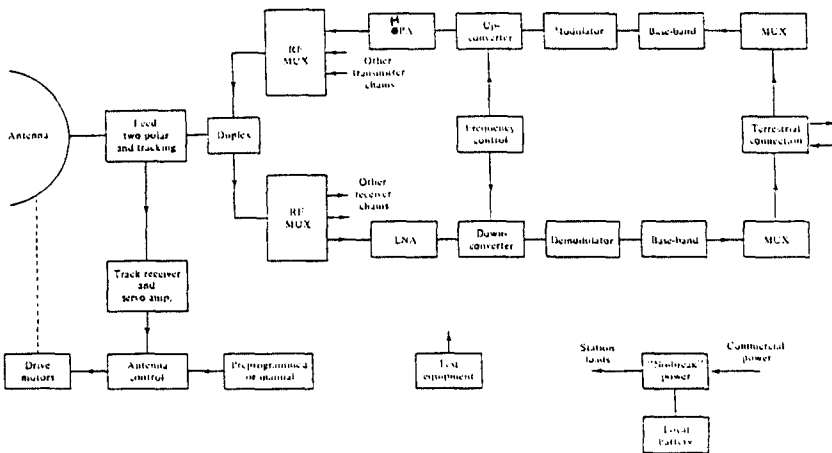


그림 3. 전형적인 지구국 시스템 구성도

이 30m나 되었으나 최근에는 위성의 송신전력 증가와 더높은 주파수를 사용하므로써 안테나 직경이 3.5m 정도로 소형화되고 있다. 또한 통신위성체가 대형화되고 저잡음 증폭 기술의 발전으로 안테나 직경이 1m인 VSAT(Very Small Aperture Terminal)이 사용되고 있으며 또한 직경이 30cm 정도인 안테나로도 위성으로부터 직접 방송신호를 수신할 수 있는 기술로 발전되고 있다. 지구국의 장치는 통신시스템, 지상전송시스템, 전위시스템과 통제센터로 구성되며 통신시스템, 지상전송시스템, 전위시스템과 통제센터로 구성되며 통신시스템은 안테나계, 고효율 송신계, 저잡음 수신계, 송·수신 변환계, 지상 방송계 및 통신 제어계로 구분되며 전형적인 지구국의 구성도를 그림 3에 나타내었다.

위성통신용 안테나로는 주로 카세그레인형이 많이 이용되고 있으나 여러개의 위성과 1개의 안테나로 통신할 수 있는 토러스형 안테나도 있다. 위성 안테나는 지상망과 상호 혼신을 고려하여 C-Band에서는 지표면과 안테나가 위성을 바라보는 각도(앙각)가 5도이상 Ku-Band에서는 10도이상으로 운용하고 있다. 한편, 지구국 안테나는 지구국 설치장소의 효율적 이용을 위하여 한 안테나에서 여러 위성과 동시에 접속할 수 있는 안테나의 Multi-Beam화가 연구중이며 현 기술로는 4도 차이로 있는 두 위성을 동시에 접속할 수 있는 Dual Beam 안테나가 실용화 되고 있다. 송·수신 변환계는 기지신호를 위성 주파수로 변환 또는 역변환하는 장치로 기지신호를 IF로 변환하는 변조기, IF신호를 위성 주파수로 변환하는 Up Converter가 있으며 역의 경우에는 위성 주파수를 Down Converter에서 IF신호로 변환하고 변환된 IF신호를 복조기가 기지신호로 변환하게 된다. 고효율 송신계에서는 송신 신호를 위성으로 전송가능하게 증폭하여 주며 저잡음 수신계에서는 위성에서 수신된 신호 잡음을 억제하고 원하는 신호만을 증폭하여 준다.

Ⅲ. 위성통신 핵심부품 발전동향

1. MMIC를 이용한 페이로드

GaAs(Gallium Arsenide) 소재를 이용한 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) 기술의 발전은 페이로드(Payload)의 구조와 microwave switching, on-board signal regeneration, 그리고 사중빔을 이용한 빔의 reconfigurability와 steering에 많은 공헌을 했다. 다시 말

하면 GaAs를 이용한 MMIC 기술의 출현이 가져온 변화는 이미 15년전에 예견 되었지만 MMIC 기술을 이용한 페이로드의 개발은 최근에야 실현되고 있는 추세이다. 정교한 소자회로 모델링(device circuit modeling) 통계공정기술(Statistical Process Control)을 이용한 설계와 제조기법의 발달 그리고 엄격한 기준의 우주시험(Space Qualification)을 통과한 MMIC는 지난 10년간 이 분야에서 이룩한 업적들이다. 페이로드를 구성하는 수신기(receivers), microwave switch matrix(msm) array, active single 혹은 다중빔 위상배열 안테나(phased array antenna), 고효율의 Solid State Power Amplifiers(SSPA)에 MMIC기술이 활용되고 있다.

2. TWTA

TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)는 수명이나 신뢰도 그리고 성능에 영향을 주지 않는 범위 안에서 높은 효율성, 부개의 경량화, 소형화를 목표로 개발되고 있다. 95% 이상의 효율성을 갖는 EPC(Electronic Power Condition)와 60% 이상의 효율성을 TWT의 출현으로 TWTA의 효율성을 한층 개선되어 가는 추세에 있으며 신뢰화와 자동 재개시(auto-matic restart)의 성능도 TWTA에 추가되고 packaging과 접속(interface)방법에 있어 선택의 여지가

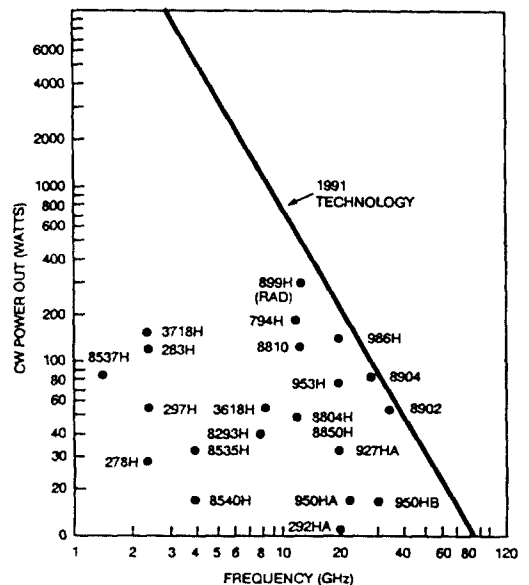


그림 4. Power trends for space TWT applications at all frequencies.

넓어지고 있다. TWTA 기술의 발달 추세는 그림 4와 같이 넓은 주파수 범위내에서 고출력을 유지하는 방향으로 나아가고 있다.

Hughes Electronic Dynamics Division에서는 130W 출력에 59%의 효율을 갖는 TWT를 연결해서 하향출력 250TWT를 12.25~12.75GHz 범위에서 얻고 있다. USDBS 위성에서 사용한 TWT(8810HA)의 크기와 성능을 그림 5와 표 1에서 보여주고 있다.

표 1 KEY CHARACTERISTIC FEATURES OF THE 8810HA TWT FOR USDBS

Parameter	Value
Frequency	12.25-12.75GHz
Output Power	120W
Saturated Gain	55dB
Efficiency	59%
Mass	2.07lbs.
Size	12.7L×2.7W×2.5H

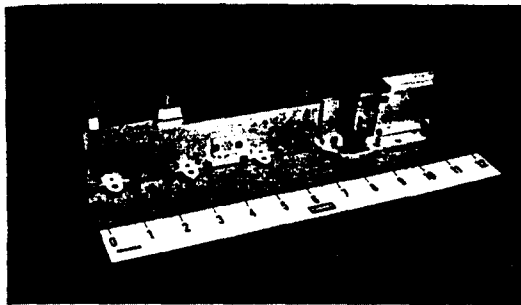


그림 5. 120 W TWT for USDBS satellite.

표 2는 반송파 / 3차 modulation 값을 가지고 신형 8810HA와 구형 8804HA의 Link-performance를 비교해 나타내고 있다.

TWT의 크기와 무게는 위성체 설계자에게는 항상 중요한 문제가 되어왔다. 보다 무게가 작고 크기가 작은 TWT의 설계가 당혹적인 목표이지만 최근의 보고된 연구에 의하면 RF 출력이 증가함에 따라 밑판 침판(base plate)을 통한 열 유입량(thermal flux)이 증가해 앞서 언급된 USDBS의 경우 TWT의 무게를 약간 증가시켜 열 유입량을 낮추게 설계되었다. 따라서 Ku-Band TWT의 경량화를 목표로한 설계기술은 위성체 성능의 최적화를 얻기위해 열 분산기술과 병

표 2 CARRIER TO 3RD ORDER INTERMODULATION PRODUCTS OF CURRENT GENERATION TWTs

		8810HA	8804H
Output Backoff for each of 2 Carriers (dB)	Output Backoff for sum of 2 Carriers (dB)	New TWT C / 31M (dB)	Old TWT C / 31M (dB)
4.55	1.55	11	11
5	2	14.6	14.5
6	3	17.8	17
7	4	20.2	19
8	5	22.2	21
9	6	24.5	23.3
10	7	27	25.4
11	8	29	28

행해서 개선되어지고 있다. 그림 6은 USDBS에 사용된 120W TWT가 ASTRAIC에 사용한 65W TWT와 비슷한 구조로 설계되었지만 열 유입은 효율적으로 분산시키고 있음을 보여주고 있다. TWT의 성능은 매아지고 있지만 출력 효율 등 TWT 변수의 산포도 역시 매우 중요하다. 왜냐하면 한 두개의 성능좋은 TWT 변수의 산포도 역시 매우 중요하다. 왜냐하면 한 두개의 성능좋은 TWT를 만들 수 있다고 해서 다량의 성능이 좋은 똑같은 TWT를 만드는 것은 또 다른 차원의 문제이기 때문이다. 컴퓨터의 도움으로 성능변수와 산포도 데이터는 쉽게 얻어질 수 있다.

표 3은 엄격한 제조공정의 결과 얻어질 수 있는

표 3 PARAMETER DISPERSION FOR 50 W KU-BAND TWT

Model 8850HA

Power Output : 50W

Nominal Eff : 58%

Rate : 8 / Mo.

Qty in Build : 98

	Min.	Max.	σ	\bar{X}
Output Power(W)	52.12	54.45	0.36	52.97
Efficiency(%)	55.39	58.87	0.72	57.18
Gain(dB)	50.88	54.18	0.67	52.35
Cathode Voltage(V)	-5890	-5590	49	-5783

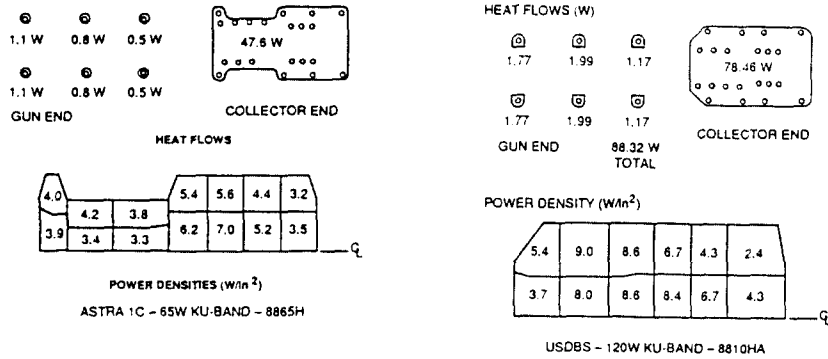


그림 6. Platform power density TWT only.

TWT 성능변수의 산포도를 나타내고 있다. 여러개의 TWT를 병렬로 연결해서 출력을 높이는 경우 개개의 TWT 성능을 갖게 제조하는 것은 매우 중요하다. 왜냐하면 병렬연결에서 오는 출력의 손실은 개개 TWT의 출력차이와 위상차에 관계가 있기 때문이다. Hughes에서는 위상차가 3도 이하인 경우 위상차에서 오는 병렬연결 손실을 0.005dB 이하까지 낮추고 있다. 현 시점의 TWT개발경향은 현존하는 TWT의 소재를 가지고 더욱 정교한 설계기법과 통계학을 이용한 공정기법을 이용해 TWT의 무게와 크기를 25% 이상 줄이고 효율을 60%가 훨씬 상회하게 높이는 추세로 나아가고 있다.

3. SSPA

SSPA(Solid State Power Amplifier)는 여러단의 FET 증폭기를 Cascade로 연결한 고출력 증폭기로서 Helix Structure 구조에 따른 TWTA에 비해 비선형 특성, 신뢰도 및 한시적 수명 등을 비교할 때 우월한 성능을 가지며 또한 DC소비전력이 적고 질량 및 부피도 적어서 최근에는 주로 위성체의 통신용 고

출력 증폭기로 사용되고 있다. S SPA는 일반적인 고출력 증폭기가 가지는 비선형 왜곡 특성-AM-to-Am Conversion, AM To-PM Conversion, Harmonics, Intermodulation Product 이 TWTA에 비해 양호한 특성을 가진다.SCPC, VSAT 시스템 등에서도 같이 Multicarrier가 입력될 때 적절한 레벨의 신호 대 혼변조 적(C/I3)을 보장하기 위하여 TWTA 경우에는 Output Saturation Power Level에서 보통 3~8dB 정도 Back-Off 시켜 동작시키므로 출력 전력을 효율적으로 사용하지 못하는 결점이 있으나, SSPA는 진폭 및 위상의 선형성이 뛰어나서 이런 결점을 다소 해결할 수 있어 상대적으로 출력전력의 효율성을 높일 수 있다.

SSPA를 구동시키기 위해서는 저전압 공급기만을 필요로 하므로, EPC에 의해 전원을 공급받는 TWT에 비해 dc 소비전력이 적고 또한 부피 및 질량도 적게 나가기 때문에 제한된 Power Budget내에서 dc 전력을 효과적으로 사용할 수 있고 또한 부품의 용적 및 질량의 감소로 위성체의 가격 절감에 기여할 수 있으므로 현재 통신용 고출력 증폭기로서 TWTA 대

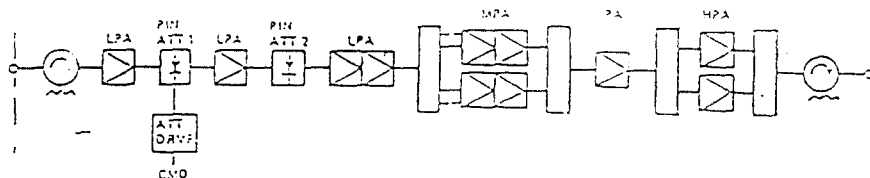


그림 7. SSPA의 Block Diagram

신으로 사용되고 있는 추세이다. 실제로 1982년 C-Band 8.5Watt급 SSPA가 최초로 Satcom 5에 탑재된 이후, INTELSAT VII의 경우에는 10Watt급 7개, 16Watt급 13개, 20Watt급 7개 및 30Watt급 10개가 실장되어 있다. SSPA는 몇개의 증폭기 모듈이 Cascade로 연결되어 있으며, 또한 이득 제어를 위한 PIN Diode Attenuator 및 전원 공급장치로 구성되어 있다. 그림 7는 일반적인 SSPA의 Block Diagram이다. 그림 7에서 SSPA는 2개의 PIN Diode Attenuator와 6개의 증폭기 모듈, Attenuator Controller 및 EPC로 구성되어 있다.

SSPA에서 문제시되는 것으로는 출력 전력을 얻기 위해 여러단의 증폭기 모듈을 Cascade로 연결할 때 최소 잡음지수를 갖기 위한 입출력 정합으로서 첫번째 PIN Diode Attenuator는 Command 신호에 의해 Attenuator Driver로 지정된 이득 상태에서 잡음지수를 최소화하는 역할을 하며, 두번째 PIN Diode Attenuator는 SSPA의 최대 이득을 얻기위한 감쇄조건 설정 및 온도 보상용으로 사용된다.

각각의 Low Power Amplifier는 두개의 FET를 Hybrid로 연결시킨 Balanced형 증폭기로서 각 단사이의 Isolation을 높이도록 설계되며, Medium Power Amplifier 및 Power Amplifier도 이득 안정 및 광대역 특성 보장을 위하여 Balanced형의 구조로 되어 있다.

SSPA의 EPC는 Pulsewidth Modulated DC/Dc Converter로서 PIN Diode 및 FET에 안정된 전원을 공급한다.

IV. 결 론

위성통신 부품기술은 발사비용의 감소를 고려한 안테나등 다양한 통신장비의 소형화 및 경량화를 목표로 하는 한편 다른 편에서는 성능과, 내구성, 효율

등을 고려해야 하기때문에 이와같이 서로 다른 두가지 조건을 타협해서 최적의 상태를 찾아내는 방향으로 나아가고 있다. 이러한 최적화 조건은 최근에 들어 획기적으로 발달된 통계 및 컴퓨터를 이용한 제조공정에서 얻어지고 있다. GaAs를 이용한 MMIC기술은 점차적으로 급속히 위성통신 부품에 도입되어 성능과 내구성을 향상시키고 소형화와 경량화에 중요한 역할을 하고 있기때문에 앞으로 위성통신 부품기술은 MMIC기술을 어느정도로 광범위하고 정교하게 이용하는가에 따라 발달의 속도가 결정될 것이다.

참 고 문 헌

1. Proceedings of the 14th International Communication Satellite Systems Conference and Exhibit, Part 1, 1992
2. Proceedings of the 14th International Communication Satellite Systems Conference and Exhibit, Part 2, 1992.
3. Proceedings of the 14th International Communication Satellite Systems Conference and Exhibit, Part 3, 1992.
4. Proceedings of Pacific Telecommunications Council fifteenth Annual Conference, 1993.1.
5. 이명수, "무궁화 위성의 기술적 특성과 운용계획 (I)," 경영과 기술, 한국통신, 92년 10월
6. 장정욱, "무궁화 위성의 기술적 특성과 운용계획 (II)," 경영과 기술, 한국통신, 92년 10월
7. "위성통신 특집," 전자공학회지, 1992.10.
8. "통신방송위성 무궁화호 시스템," 한국통신 위성사업단.
9. "우주개발을 위한 핵심기술 연구 및 계획수립," 과학기술처



전 완 증

- 1955년 1월 7일 생
- 1980년 9월 : 고려대학교 전기공학과 학사
- 1987년 6월 : 일리노이 주립대 시카고 전기 및 전자 공학과 석사
- 1992년 5월 : 일리노이 주립대 시카고 전기 및 전자 공학과 박사
- 1980년 8월 ~ 1983년 5월 : 현대건설
- 1992년 8월 ~ 현재 : 한국통신 위성사업단 지상연구 부장



민 준 기

- 1963년 11월 22일 생
- 1985년 2월 : 연세대학교 전기공학과 학사
- 1987년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
- 1987년 2월 ~ 현재 : 한국통신 위성사업단 지상연구 부 선임연구원