

《主 題》

윤 영 철

(관동대학교 전자공학과)

■ 차 례 ■

I. 서론

II. 안테나 및 다이플렉서

III. 중계기 수신부

IV. 중계기 송신부

V. 고전력 증폭기 및 선형화기

VI. 통신중계기의 발전 전망

I. 서론

위성체는 지구국과의 통신을 담당하는 탑재장치(payload)와 위성 제어장치, 텔레메트리 명령계 및 추진계 등으로 구성된다. 이 중 탑재장치는 크게 안테나와 위성중계기(Transponder 또는 Repeater)로 나눌 수 있으며, 지상으로부터 보내진 미약한 마이크로파 상향 신호를 안테나로 받아들여 수신부에서 저잡음 증폭하여 하향 링크 주파수로 변환한 후 송신부에서는 이를 고출력으로 한번 더 증폭하여 안테나를 거쳐 지구국으로 보내는 기능을 수행한다.

대부분의 통신위성에서 가장 널리 사용되는 주파수 대역은 C-band(6/4 GHz)와 Ku-band(14/12 GHz) 등이며 통신량의 증가로 이제는 Ka-band(30/20 GHz)의 밀리미터파 대역까지 사용되고 있다. 마이크로파의 주파수 대역폭은 대부분 300-1,200MHz 범위 내에 있으며 그 중에서 40MHz/ch을 12개씩, 2개의 서로 다른 직교 편파를 사용하는 500MHz/24ch의 대역폭이 가장 많이 쓰인다. 그러나 최근의 대형화, 고급화하는 탑재장치는 채널 당 요구하는 점유 대역폭도 점점 넓어져가면서 밀리미터파인 Ka-band의 사용이 활발해질 것으로 기대되는데, 여기에서는 120-150MHz/ch에서 3,500MHz의 대역폭까지도 사용가능하므로 대용량, 고품질의 통신이 가능하다.

위성 탑재장치는 지상 중계장치와는 달리 운용 중에 고장 수리 및 유지 보수를 할 수 없고, 열악한 우주 환경에서 장기간(약 10년-20년) 원활히 동작하여야 하며 중계기의 부품은 크기를 최대한 줄인 상태로 조립되어야 하므로 고신뢰성이 요구되며 열 전달 계통의 설계도 매우 중요하다. 또한 무게는 가능한 한 가볍고 전력 소모도 작아야 한다. 이러한 마이크로파 및 밀리미터파 대역 위성중계기에서 필요한 부품의 회로 설계에는 고도의 기술이 필요한데, 이를 요약해 보면

- 밀도미터파 전송선로 설계 기술
 - 위상 배열 안테나 설계 기술
 - 도파관형 필터 설계 및 고정밀 가공 기술
 - 저잡음 증폭기 및 증폭기의 자동 이득 제어 기술
 - 비선형 회로 설계 기술
 - 고안정 주파수 변환 기술
 - 반도체 고전력 선형 증폭기 설계 기술
 - 열 전달 계통 설계 기술
 - 전자파 간섭 제어 기술
- 등을 들 수 있다.

위성 탑재장치의 일반적인 구성도를 그림1에 나타냈다. 지상으로부터의 상향전자파를 수신하고 다시 주파수 변환된 하향 전자파를 내보내는 안테나 시스템과, 안테나로부터 급전된 신호로부터 주파수를 변

환하고 채널을 분리한 후 증폭하고 이를 다시 합하여 안테나로 급전하는 중계기 시스템으로 구분된다. 위성중계기는 다시 미약한 상향 신호를 수신 대역 통과 필터(300-3,500MHz)를 거쳐 저잡음증폭기로 증폭하여 주파수를 변환하는 수신부와, 변환된 신호로부터 채널을 분리 증폭하고 다시 결합하여 내보내는 송신부로 나뉘어진다.

주파수를 변환하는 방식에는 RF-RF 방식과 RF-IF-RF 방식으로 구분할 수 있는데 RF-RF형 중계기는 하나의 신호혼합기만으로 수신주파수를 송신주파수로 하향변환(down-conversion)한 후 증폭하므로 구조가 간단하다. 반면에 RF-IF-RF 방식에서는 수신신호를 IF로 하향변환한 후 이를 다시 송신신호가 상향변환(up-conversion)하기 때문에 주파수변환을 두번 해야 하지만 시스템이 안정되고 위상 특성 등이 향상되는 등 통신 품질은 좋아지는 반면에 구성이 복잡하고 이로 인하여 신뢰도가 떨어진다는 단점이 있다.

이제부터 위성 탑재장치 내의 마이크로파 및 밀리미터파 위성중계기의 구성도로부터 동작 원리와 합

계 각종 구성 부품의 종류와 특성 및 이를 설계하는 방법등에 대하여 살펴보기로 한다.

II. 안테나 및 다이플렉서

1. 안테나

안테나의 기본 목적은 전기 신호를 자유공간의 매질을 통하여 전달하기 위해 전자파 에너지로 바꾸는 또는 역으로 자유공간 상의 전자파를 전기신호로 바꾸는 역할을 하는 일종의 에너지 변환기이다. 인공위성에 탑재된 위성안테나는 지구국 또는 다른 위성체간에 신호를 서로 송·수신하여 위성중계기에 신호를 입·출력시키는 것이 주요 임무이다. 위성 탑재 안테나가 일반 안테나와 다른 점은 매우 먼 장거리의 통신을 해야하므로 높은 이득을 필요로 하며, 안테나가 위성체의 외부에 위치하므로 우주 환경에 맞는 기계적, 열적 조건을 모두 만족하여야 한다. 이러한 위성 안테나 시스템의 기본적인 구조로는 신호를 송·수신하는 혼 안테나와 파라볼라 반사판, 이들과 중계기 사

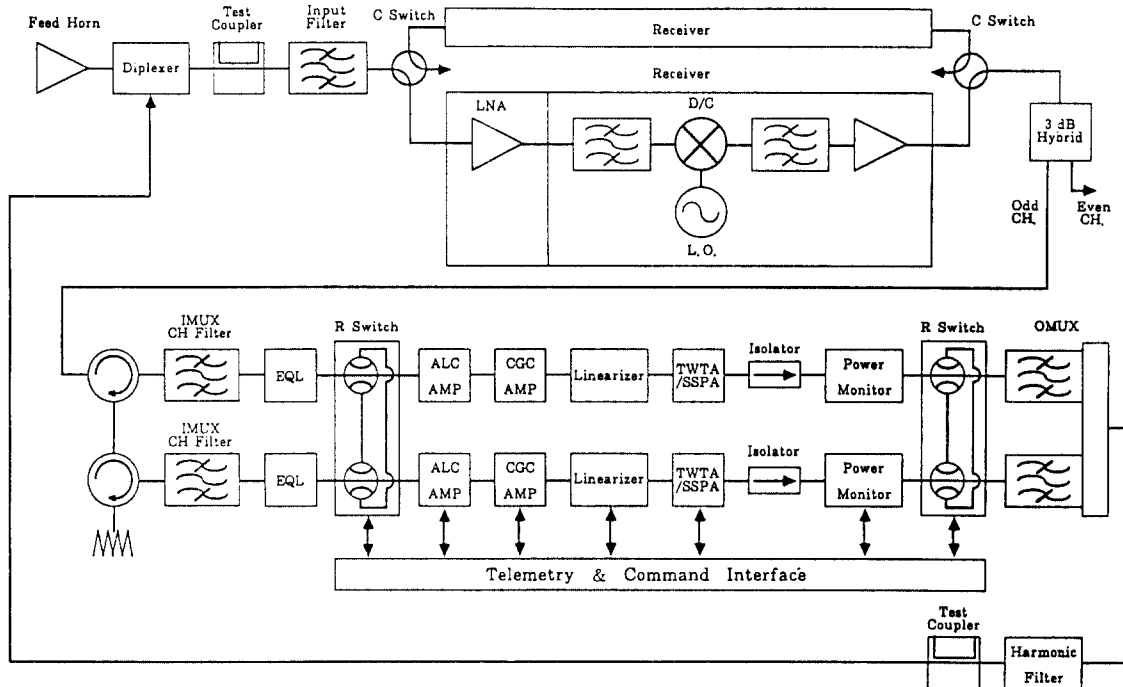


그림 1. Ku-/Ka-Band 위성 중계기의 구성도

이에 신호를 연결하여 주는 급전기, 안테나를 지지하는 구조물 등으로 구별할 수 있다. 또한 위성 안테나는 통신 용량의 증가에 따라 같은 주파수 대역폭 내에서도 서로 다른 편파의 신호로 송·수신함으로써 사용가능한 채널 수를 2배로 늘리는 주파수 재사용 방식을 사용하므로 우수한 편파 특성과 높은 교차편파 분리도를 지녀야 한다.

반사판이 없는 혼 안테나는 위성에서 보이는 지구 전체를 포함할 수 있는 넓은 범위의 광역빔(global beam)의 특성을 가지며 다중 모드를 사용하여 양호한 교차편파 특성과 낮은 사이드 로브, 광대역의 주파수 특성을 얻는다. 무공화 위성과 같은 우리나라만을 통신 구역으로 할 경우에는 스폿빔(spot-beam)의 특성을 갖는 측면 급전방식(offset-fed)의 파라볼라 안테나를 사용한다. 이는 앞면 급전방식(front-feed)에 비하여 빔의 차단 및 산란이 적으며 급전 시스템을 위성체에 부착하여 연결 도파관의 길이를 줄일 수 있으며 발사시 로켓 내의 탑재가 유리하다. 그림2는 Ku-band 및 Ka-band를 동시에 사용하는 위성중계기의 안테나 관벵과 중계기 관벵의 설치 모습이다.

성형빔(sharped-beam)안테나는 여러 개의 피드혼을 사용하거나 반사판의 모양을 변형시켜 빔을 성형하여 안테나의 효율을 높일 수 있다. 또한 다중빔(multi-beam)안테나는 여러개의 피드혼이 각각 독립된, 지향성이 매우 높은 빔을 갖게되므로 EIRP와 G/T를 증대시켜 통신 용량의 증가와 지구국 안테나의 경량, 소형화 효과를 가져온다. 앞으로 전망되는 안테나로서는 능동형 직접 방사 위상 배열로 구성되는 빔으로 매우 빠른 속도로 빔의 모양, 방사 지역 등을 재구성할 수 있어 융통성 있는 통신 서비스가 가능하다. 다만 많은 부품이 소요되며 전체 무게와 제작 비용이 기존의 안테나보다 크게 증대되지만 MMIC 집적 기술의 발전에 따라 실용 가능성이 매우 높다.

반사판 안테나 시스템에서 많이 쓰이는 급전기로는 원추형 또는 사각형의 혼안테나와 corrugate 혼 안테나가 있으며 이들은 모두 구조가 간단하고 제작이 용이하며 특성 예측이 쉬운 장점이 있다. 특히 corrugate 원추형 혼 안테나는 E 및 H 평면의 빔 패턴이 거의 일치하여 양면의 빔 폭이 같아 반사판에서의 교차 편파율이 매우 낮고 사이드 로브 값이 낮으며 spill-over 손실이 적어 높은 안테나 개구면 효율을 지닌다. 또한 주파수나 편파에 대한 혼 안테나의 위상 중심점(phase center)의 변화가 적어 광대역의 특성을 지니고 있으며 혼의 개구면에서 반사판 초점에서의 빔 패

턴에 가장 잘 일치하는 위성용 안테나에 적합한 급전기이다.

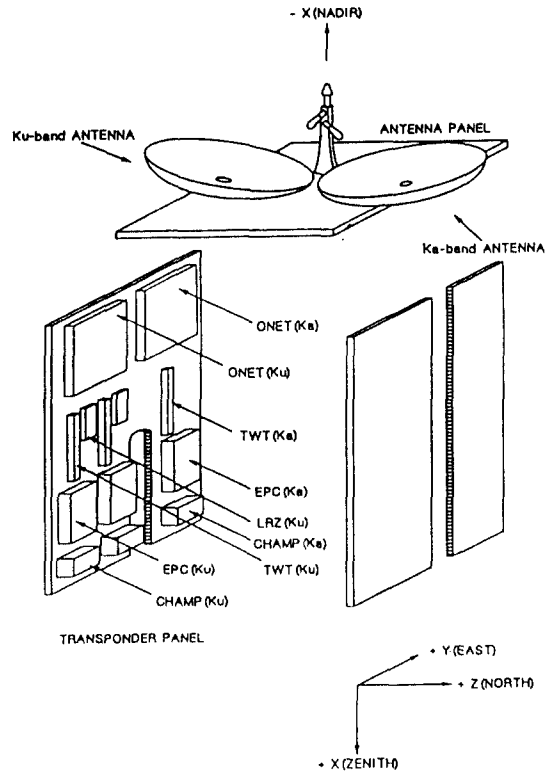


그림 2. Ku /Ka band 위성중계기 안테나 외형도

위성체 안테나의 사용재료는 가볍고 강도가 높으며 열적 변형이 적고 태양열 등의 방사에 강해야 하며 진공 속에서 낮은 out-gas 특성을 지녀야 한다. 현재 혼 안테나에는 알루미늄 합금인 6061을 사용한다. 그리고 내면은 전기적으로 conductive chromate conversion coating(Irridite)을 하고 외벽은 black anodizing 처리를 한다. 반사재는 알루미늄 허니콤 구조에 낮은 열팽창 계수를 갖는 graphite fiber composite가 사용된다. 이 외에 고전력을 다루는 안테나에서는 전자파의 방전에 의해 부품에 중대한 손상을 주는 multipactor 현상과 도파관이나 콘덴터 등과 같은 수동 소자에서의 혼변조(passive intermodulation, PIM)도 통신의 품질을 떨어뜨릴 수 있으므로 고도의 설계 기술이 요구된다.

다이플렉서(Diplexer)

다이플렉서는 송신과 수신 신호를 안테나 단자와 결합시키며 상향 신호와 하향 신호를 격리시킨다. 무선송 경로에는 주로 Chebyshev 필터를 사용한다. 위성체를 비롯한 안테나 시스템에서 송신과 수신용으로 한개의 안테나만을 사용하는 경우에 송신신호와 수신신호 간의 상호 간섭을 최소로 하기위하여 서로 간의 주파수 대역을 다르게 하거나 주파수를 편파시켜 사용하게 되는데 다이플렉서는 안테나로부터 들어온 신호만을 수신 시스템으로 전달하고, 송신 시스템의 출력신호는 안테나로만 보내어 수신신호의 증폭시 송신신호가 유입되는 것을 억제한다. 여기에는 직교모드 변환기(orthomode transducer, OMT)가 사용되는데 OMT는 혼 안테나로부터 원형도파관을 통하여 연결되며 분리된 2개의 직교모드는 구형도파관을 통하여 연결되며 필름 따라서는 원형도파관 뒤에 편파기(polarizer)가 삽입된다. OMT는 수신부의 LNA 앞에 놓이는 수동소자이므로 수신기의 잡음지수를 줄이기 위한 저손실의 설계가 요구되며 두 편파 사이의 cross polarization discrimination 특성도 우수해야 한다.

Ⅲ. 중계기 수신부

위성통신에 있어서 상·하향 신호 사이의 간섭을 없애는 방법 중에는 서로간의 주파수 대역을 달리는 방법과 직교편파를 이용하는 방법이 있다. 주파수 대역을 달리하여 상·하향 상호간의 간섭을 없애는 방법을 사용할 경우 일반적으로 상향주파수가 하향 주파수보다 높다. 따라서 위성중계기로 입력된 상향 주파수 대역을 하향 주파수 대역으로 낮추어 주어야 하는데 이 기능을 수행하는 부품을 하향 주파수 변환기(down converter)라 하며, 낮은 잡음지수와 높은 주파수 안

정도를 갖기 위한 광대역 입력 필터와 저잡음증폭기 및 국부발진기의 설계가 중요하다.

그림3에 수신부의 구성도를 보이는데, 일반적으로 안테나로부터 입력된 신호는 수신필터에서 대역외 주파수는 걸러지고 LNA를 거쳐 신호는 주파수 혼합기에서 국부발진 신호와 섞인 후 두 주파수의 차 성분만을 필터를 통해 하향 변환시킨다. 그리고 다시 증폭기를 통하여 필요한 만큼의 신호를 만들어 낸다. 이때 증폭기 모듈 사이와 출력단에는 아이솔레이터를 연결하여 정합 특성과 임·출력 격리도를 개선한다.

- 수신부의 설계 및 제작에 요구되는 주요 기술에는
- 도파관형 입력 필터의 저손실화 기술
- 저잡음 증폭 및 평탄도 개선 기술
- 소형, 경량화 기술
- 넓은 온도범위에서의 안정된 동작을 위한 열 보호 및 성능 보정 기술
- 국부 발진기의 주파수 안정도 개선 기술
- MMIC 비선형 회로 설계 기술

등이 있으며, 특히 MMIC 설계 기술은 마이크로파 및 밀리미터파 대역 부품의 신뢰도를 높이고 소형, 경량화하는데 매우 중요한 최첨단 기술이다.

1. Test Coupler

Test coupler는 이득 특성을 포함하는 성능 시험을 위하여 신호의 일부를 추출해내는 역할을 한다. 주로 간단한 도파관 형태의 결합기인 cross-guide coupler 등을 사용하며 삽입손실은 무시할 수 있을 정도로 매우 작다.

2. 입력 대역 통과 필터

이는 안테나를 통하여 들어오는 신호 중 상향 링크 대역의 신호만을 저손실로 통과시키고 대역외의 신

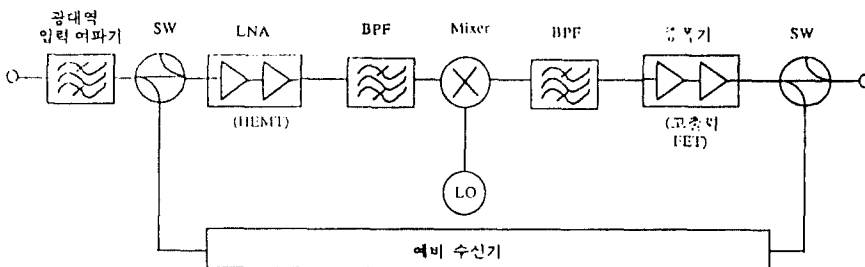


그림 3. 위성중계기의 수신부 구성도

호는 차단함으로써 대역의 신호가 증폭단 및 신호혼합기에 들어와 간섭을 일으키지 못하도록 방지하는 역할을 한다. 이는 수신부의 LNA 앞에 위치하게 되어 자체의 손실분 만큼 수신기의 전체 잡음지수를 높이므로 이를 최소화할 수 있는 도파관 형태를 사용한다.

3. C-스위치

C-스위치는 4-port와 2-state를 갖는 스위치로서 위성 중계기의 신호도 개선을 위하여 예비로 설치하는 부품들 간의 전환을 목적으로 한다. 이는 위성 중계기를 구성하는 부품들 중 능동소자는 수동소자에 비하여 고장 확률이 높으므로 위성통신, 특히 방송 시스템의 신뢰도를 향상시키기 위한 예비 부품들이 필요하다. C-스위치는 수신부의 고장시 예비용 부품으로 신호 전달 경로를 바꿔주기 위한 것이며 이 역시 LNA 앞에 위치하게 되어 자체의 손실 만큼 수신기의 전체 잡음지수를 높이므로 이를 최소화할 수 있는 도파관 형태를 사용한다.

4. 저잡음증폭기(Low-Noise Amplifier, LNA)

위성 안테나로 수신되는 신호는 매우 미약하여 이를 잡음으로부터 분리하기 위해서는 위성 안테나의 잡음온도에 대한 이득과 비(G/T)가 커야 하며 G/T를 크게하기 위해서는 안테나의 크기를 키우던가 수신 시스템의 잡음온도를 낮추어야 한다. 수신기의 잡음지수는 위성중계기의 수신 G/T 성능을 결정하는 중요한 인자로서 안테나와의 연결 도파관, OMT, 도파관형 수신 필터 및 스위치 등의 삽입손실과 LNA의 잡음지수와 이득 등으로 계산된다.

증폭소자로는 파라메트릭 소자, 터널 다이오드 또는 GaAs MESFET 등이 사용된다. 과거에 많이 사용되던 파라메트릭 소자는 이제는 거의 사용하지 않고 있으며 최근에 개발된 MESFET인 HEMT 소자가 저잡음 증폭기용 능동소자로 널리 사용되고 있다. 다만 반도체 소자의 공통된 특성으로 온도 변화에 따른 동작점의 안정과 특성 변동을 줄이기 위하여 온도 보상 회로를 필요로 한다. 증폭기의 기판으로는 열적 특성이 우수한 알루미늄(Al_2O_3)가 주로 사용되며 캐리어로서는 알루미늄이나 열 팽창 계수가 비슷하여 기계적 파손을 최대한 줄일 수 있는 니켈과 철이 합금인 Kovar를 사용한다.

DC 차단용 주파수가 높아지면서 커패시터의 기생 성분은 피할 수 없기 때문에 일반적으로 마이크로스

트립 결합신호를 이용한 DC-block으로 대신하며 정합 특성과 임·출력 격리도를 높이기 위하여 증폭기는 2단을 하나의 모듈로하여 임·출력단 및 증폭기 모듈 사이에는 drop in 형태의 아이솔레이터를 삽입하는 것이 원칙이다.

5. 마이크로스트립 대역통과 필터

마이크로스트립 형태의 대역 통과 필터는 신호 혼합기의 임·출력단에 삽입되어 불필요한 신호를 제거하는 목적으로 사용되며 밀리미터파 대역에서 충분히 동작할 수 있는 전송선로를 택하여 제작한다. 그러나 주파수가 높아지면서 마이크로스트립의 non-TEM 모드로의 변환, 분산효과 등에 의하여 설계는 까다로워진다. 주파수가 높으므로 평행 결합 신호를 이용하여 단순한 형태가 바람직하다.

6. 주파수 혼합기(Mixer)

주파수 혼합기는 다이오드 또는 MESFET의 비선형성을 이용하여 2개의 입력신호에 대하여 합과 차의 주파수를 갖는 출력 신호를 발생시키는데 이로부터 대역통과 필터를 연결하여 필요한 주파수만을 선택하여 증폭하게 된다. 중계기 내에서는 국부발전기, 송신부의 고전력 증폭기와 더불어 대표적인 비선형 회로로서 필요한 주파수 성분 이외의 혼변조 곱(inter-modulation products)을 최소화하고, 불필요한 spurious신호를 줄이는 것이 매우 중요하다. 앞단에 위치하는 LNA의 이득이 충분하다면 혼합기에서의 주파수 변환 손실에 의한 잡음지수의 저하는 무시할 수 있지만 출력이 줄어든다.

회로의 구성은 일반적으로

Single-ended Mixer

Balanced Mixer

Double-balanced Mixer

등으로 구성되며 다이오드를 많이 사용하는 double-balanced 방식에서는 보다 큰 국부발전 출력을 요구한다. 다만 밀리미터파 대역에서는 발전기의 출력이 충분하지 못할 수도 있으므로 쇼트키 장벽이 낮은 다이오드를 선택하고, 외부 바이어스의 공급도 고려하여야 한다. MESFET을 이용하는 능동형 혼합기에서는 비교적 작은 발전 출력으로도 충분히 동작하면 신호 포트간의 격리 특성도 우수하다. 더우기 비선형 회로 설계 기법의 발달로 최근에 많이 사용하고 있으며, dual gate 소자를 사용한 경우 설계는 더욱 용이해진다.

7. 국부발진기(Local Oscillator, LO)

밀리미터파 대역에서의 국부발진기로는 YIG, 또는 유전체 공진기를 이용한 MESFET OSC의 설계가 바람직하며 최근의 HEMT 소자를 이용한 경우 40GHz 이상까지 발진 가능하다. 그러나 MESFET의 경우 bipolar TR에 비하여 1/f 잡음이 크며 위상 잡음 역시 증가한다.

주파수 안정도를 높이기 위하여 온도 보상된 크리스탈 발진기에 의한 PLL을 추가로 사용하여 1ppm/day를 유지하여야 하며, 부하 임피던스의 변화에 의한 주파수의 변동을 억제하기 위하여 출력에 완충 증폭기를 추가하거나 아이솔레이터를 삽입한다.

8. 아이솔레이터

정합특성을 향상시키며 입·출력 포트 사이의 격리도를 높여 spurious 신호의 발생을 최대한 억제하고 국부 발진기의 주파수 안정도를 높이기 위하여 사용한다. 일반 마이크로파 시스템에서는 이를 생략하거나 감쇄기 등으로 대체하는 경우가 많으나 위성중계에서는 신뢰도 등을 고려하여 시스템의 잡음지수와 출력이 허용하는 범위내에서 사용하는 것이 바람직하며, 주로 마이크로스트립 drop-in형을 사용한다.

IV. 중계기 송신부

송신부는 도파관형 입·출력 멀티플렉서와 스위치, 채널 증폭기 및 고출력 선형증폭기로 이루어지며 혼변조 곱(intermodulation products)이 만들어지지 않도록 설계되어야 한다. 특히 3차 혼변조 특성은 송신부의 비선형 특성을 나타내는 성능지표로서 이것이 좋지 않으면 혼변조에 의한 잡음이 증가하여 통신품질을 크게 떨어뜨린다. 이는 수신부의 주파수 혼합기에서도 나타나는 대표적 비선형 회로 특성으로 이에 대한 해석이 가능해야만 선형화기(linearizer)의 설계가 가능하다.

송신부의 기본 구성도는 그림4와 같으며, 이를 설계하는 데는 다음과 같은 기술이 필요하다.

- IMUX, OMUX에서의 소형, 경량화, 저 삽입손실, 열 변동에 따른 주파수 편이의 최소화, 대역외의 높은 차단 특성, 대역 가상사리에서의 균지연 특성 개선
- 채널 증폭기(CGC, ALC)에서의 평탄도 개선, 열 변동에 따른 특성 변동 개선
- ALC 증폭기의 출력 안정도 개선, 다이내믹 영역

(dynamic range)의 개선, 응답속도의 최소화 고전력 증폭기의 고효율화, 고출력화, 선형성 증대 등

열전도, PIM 및 Multipactor 대책

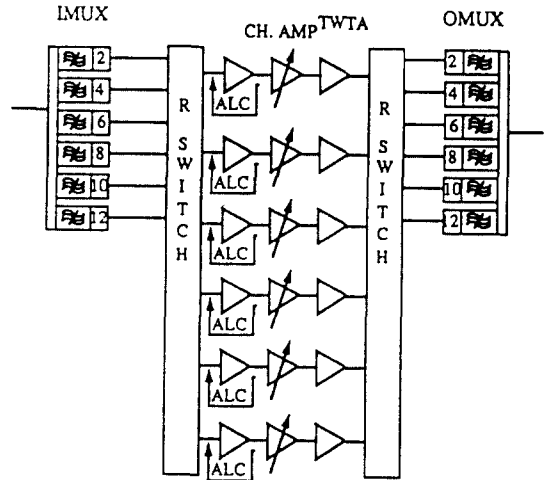


그림 4. 위성중계기의 송신부 구성도

1. 멀티플렉스/디멀티플렉서

수신부로부터 입력된 신호는 hybrid coupler를 거쳐 서큘레이터와 채널 필터로 구성되는 입력 디멀티플렉서(input demultiplexer, IMUX)를 통해 각각의 채널별 주파수대로 나누는 다수의 선택성 여파기로 구성된다. 이렇게 채널별로 험대역화 하는 이유는 채널당 공통 증폭되는 신호 수를 감소시켜 혼변조 잡음을 줄이기 위한 것이다. IMUX는 이웃하는 채널들로부터 multiple path를 감소시키며 위성중계기에서 발생하는 왜곡을 원하는 수준 이하로 낮추기 위하여 필요하다. 멀티플렉서용 필터에서는 이웃하는 채널과의 높은 분리도를 요구하므로 36MHz의 신호 대역폭을 갖는 채널에 대하여 일반적으로 6-8단 정도의 Chebyshev나 elliptic 필터를 사용하는데 최근의 위성에서는 대부분 균지연 특성은 약간 떨어지나 대역외 차단 특성이 우수한 elliptic 필터를 사용한다.

이러한 여러 개의 채널 필터를 결합하는 방법으로는

- 서큘레이터형
- 방향성결합기형
- 정재파 결합형

등이 있으나 위성 탑재용으로는 전송손실이 작고 소

형, 경량인 결합 공동체(circular cavity resonator)의 2중모드(dual-mode) 필터를 사용하여 정재파 결합형으로 구성한다.

멀티플렉서용 필터는 통과 대역폭이 매우 좁아서 중심 주파수가 변하면 곤란하므로 열팽창 계수가 극히 적은 Invar 36(열팽창 계수 = $1.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) 재질을 사용하나 가공성이 좋지 않으므로 비교적 온도 변화에 의한 영향을 덜 받는 부분은 알루미늄 합금으로 만들어지며, 이들은 carbon fiber composit platform(열팽창 계수 = $4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)위에 설치된다. 이렇게 여러가지의 성질이 다른 물질들로 이루어지는 부품이기 때문에 각각의 열팽창율의 차이로 인하여 이러한 영향을 최소화하는 기구적인 설계가 무엇보다 중요하다.

출력 멀티플렉스(output multiplexer, OMUX)는 고출력 증폭기 다음에 위치하여 신호 대역별로 증폭된 여러 채널 신호들을 통합하여 하나의 송신 대역으로 만드는 역할을 한다. 따라서 앞의 IMUX와 비교하여 주파수 선택도보다는 저손실의 열적변동이 적은 특성이 요구되지만 대역폭이 좁을 경우 손실 사체를 피할 수는 없으므로 4-5단 정도로 단수를 낮은 elliptic 필터로 설계하며 시퀀레이터를 사용하지 않으며 도파관으로 이루어진 short-circuit manifold를 통하여 결합한다.

지상에서 사용하는 기기에서는 체적, 중량이 제한되지 않기 때문에 팬 또는 물에 의한 강제 냉각 방식을 취할 수 있지만 위성 탑재용의 경우에는 일진도에 의한 배열밖에 사용할 수 없기 때문에 손실을 가능한 작게하여 발열 사체를 줄이는 것이 가장 중요하다. 여기에 고전력에서도 충분히 안정된 구조로 설계하여야 한다.

2. 시퀀레이터

시퀀레이터는 각 포트 사이에 한 방향으로만 전력을 전달하는 multi-port junction 부품이다. 일반적으로 시퀀레이터는 3단자 또는 4단자로 되어 있으며, 케라이트의 Faraday rotation 성질을 이용한 대표적 비가역성 회로이다.

이러한 시퀀레이터는 신호를 한 방향으로 흐르게 하는 부품으로서 입력 채널 필터와 더불어 주파수 변환을 거친 광대역의 수신 신호를 각각의 채널로 나누는 역할을 한다. 이들 신호를 채널별로 분리하지 않고 증폭할 경우 고전력 증폭기(TWTA 또는 SSPA)의 비선형 특성에 의하여 신호들 사이에 간섭이 발생한다. 따라서 이들 신호를 채널별로 분리하여 증폭하여야

하며 이를 위해 시퀀레이터가 사용된다.

3. 고전력 R-스위치

수채널부와 예비로 설치하는 부 채널부를 전환시키는 4 port와 4-state를 갖는 스위치이다. R-스witch는 수신부를 제외한 TWTA를 포함한 채널부의 예비용 부품들간에 사용된다. TWTA를 가진 각 채널 출력단의 고전력 신호를 전환하기 위하여 동축선로보다 도파관을 사용한다.

4. 등화기(Equalizer, EQL)

전송 시스템에 입력된 신호가 여파기, 증폭기, 전송선로 등 여러 부품을 거치는 동안 각 소자의 불균일한 전송 특성에 의해 신호의 진폭 및 위상에 왜곡이 발생하게 된다. 따라서 왜곡된 진폭 및 군지연 특성을 통과대역내에서 균일하게 보상해주기 위해 진폭 등화기와 군지연 등화기가 필요하게 된다. 특히 진폭 등화기는 전송 시스템에서 신호의 파형을 보존하기를 원하는 곳, 예를들어 필터, 케라이트, 증폭기 등의 출력단에 사용되며 응답 특성에 따라

선형 기울기 등화기(linear slope equalizer)

정현 등화기(sinusoidal equalizer)

결합형 등화기(hybrid equalizer)

등으로 나뉜다. 이들 중 수동소자의 진폭 보상에 주로 사용되는 선형기울기 등화기는 간단하게 주 도파관의 측면에 병렬로 반파장 공진기를 부착시켜 공진 주파수의 변화로 대역폭 내에서 진폭 특성의 기울기를 선형적으로 가변할 수 있으며 또한 주 도파관에 감쇄기를 첨가하여 전체 응답 특성의 감쇄를 조절한다.

5. 자동 출력 제어 증폭기(Automatic Level Control Amplifier, ALC)

주로 방송 채널의 경우 감쇄 등으로 인한 상향 링크 신호의 레벨 변동을 보상하기 위하여 입력신호의 크기가 변화해도 항상 일정한 출력을 유지하는 장치이다. 이러한 채널은 상향 링크 신호의 변화를 보상하기 위하여 결합 가능한 자동출력 제어 증폭기를 갖추고 있다. 이때 입력신호는 1초당 1dB 이상 변화하지 않는다.

6. 채널 이득 조절 증폭기(Channel Gain Control Amplifier, CGC)

CGC 증폭기는 통신 채널 이득의 장기간에 걸친 변화를 보상하기 위하여 지상의 명령에 의하여 각 채널

의 이득을 조절하여 고효율증폭기(TWTA 또는 SSPA)에 일정한 입력 레벨의 전력을 공급하는 장치이다. 그림5는 CGC 증폭기의 기본 구성도로서 PIN 다이오드에 의한 감쇄기, 출력 감쇄기 등으로 이루어지며 정합 특성을 좋게하기 위하여 입·출력단에 아이솔레이터를 삽입한다.

주로 예비 증폭기의 절환에 따른 이득 변동의 조정, 서비스 전환에 따른 이득 조정을 위해 사용한다. 각 통신 채널에 대한 채널 이득은 포화 전력 밀도 지정 범위의 최대, 최소 이득 사이인 30dB 이상의 범위내에서 약 1dB 단위로 지상의 명령에 의해서 독립적으로 조정된다. 이때 이득의 조정은 위성의 이득 안정 요구 조건과 포화 전력 밀도 값의 범위가 위성의 설계 수명동안 유지될 수 있도록 통신 채널 이득의 장기간에 걸친 변화를 보상한다.

7. 고조파 억압 필터(Harmonic Filter)

OMUX를 통하여 취합된 최종 출력 신호에는 TWTA 또는 SSPA로부터 발생된 비교적 큰 전력의 2차, 3차 고조파 성분들이 포함되어 있다. 이러한 대역외 주파수는 인접한 위성 시스템 및 지상 시스템에 잡음 또는 간섭 신호 역할을 하므로 정상적인 통신에 방해를 준다. 따라서 최종 출력단에는 고조파 억압 필터를 삽입하여 대역외의 불필요한 고조파 성분을 제거하며

수신 대역에서의 잡음 전력도 줄여주는 역할을 한다.

도파관의 evanescent 모드를 이용하는 ridged-waveguide 저역 통과형 필터를 주로 사용하며 위성중계기 내에서 전력이 전달되는 부품이므로 통과 전력의 양에 따라 적절한 구조를 택하여 설계되어야 내전력을 넘어서는 방전 현상을 방지할 수 있다. 사용 재질 중 특히 Invar는 열 팽창 계수가 작아 온도 특성은 좋은 반면 가공성 및 열 전도도가 나쁘므로 필터의 공진기 등에 사용하는 것은 적절하지만 iris 판과 같이 대전류가 흐르는 곳에 사용하는 것은 바람직하지 않다.

V. 고전력 증폭기 및 선형화기

위성중계기용 고전력 증폭기는 주로 광대역, 고이득, 고효율, 고효율의 이점을 갖는 진행파관 증폭기(traveling Wave Tube Amplifier, TWTA)가 주로 사용되고 있지만, 최근의 위성파 및 밀리미터파 대역에서는 저출력(약 5-10W 급)의 증폭기에 고전력 MESFET 소자를 이용한 반도체 전력 증폭기(Solid-State Power Amplifier, SSPA)를 채택하는 경향이 늘고 있다. SSPA는 소형, 경량, 선형성, 신뢰성, 저전력등의 많은 이점이 있지만 아직은 TWTA에 비하여 낮은 효율과 저출력이라는 단점이 있다.

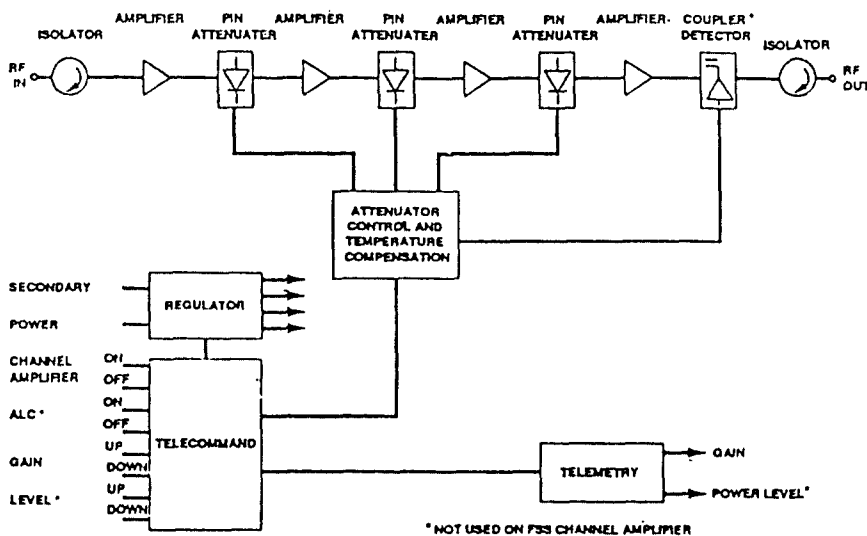


그림 5. CGC 증폭기의 구성도

1. TWTA

대부분의 통신, 방송 위성에서 사용하는 출력 증폭기로서 10W-100W 또는 그 이상의 출력을 갖고 있으며 동작 주파수도 C-band에서 Ka-band 이상까지 거의 전대역에서 사용 가능하다. 다만 부피가 크고 전원 공급장치가 복잡하나, 효율은 50% 이상으로 높은 편이며 동작 수명도 15년 이상이다. 그러나 반도체 기술의 발달로 저출력이 경우는 SSPA로 대체하는 경향이 있다.

효율을 높이기 위하여 포화 전력이 증폭하는 경우 이득이 비선형성에 의한 혼변조 특성이 나타나므로 이를 보상하기 위한 선형화기가 앞단에 삽입된다.

2. SSPA

SSPA는 여러단의 MESFET 증폭기를 직결한 반도체 고출력 증폭기로서 TWTA에 비하여 비선형 특성, 신뢰도 및 한시적 수명 등을 고려할때 우월한 특성을 가지며 또한 DC 소비전력이 적고 질량 및 부피도 적어서 최근에는 주로 위성체의 통신용 출력 증폭기로 사용되고 있다.

SSPA는 일반적인 고출력 증폭기가 가지고 있는 비선형 왜곡 특성인

- AM-to-AM Conversion
- AM-to-FM Conversion
- Harmonics
- Inter-modulation Product

등이 TWTA에 비하여 양호한 특성을 갖고 있다.

SCPC, VSAT 시스템 등에서와 같이 다중 반송파가 들어올 때 적절한 레벨의 신호 대 혼변조 적(C/I)을 보장하기 위하여 TWTA의 경우에는는 최대 포화 전력 레벨에서 보통 3-8dB의 back-off 상태에서 동작시키므로 출력 전력을 효과적으로 사용하지 못하는 결

점이 있으나 SSPA는 진폭 및 위상의 선형성이 뛰어나서 이러한 결점을 다소 해결할 수 있어 상대적으로 출력 전력의 효율을 높일 수 있다.

SSPA를 구동시키기 위해서는 저전압 공급기만 있으면 되므로 EPC로부터 전원을 공급받아야 하는 TWTA보다 DC 소비전력이 적고 또한 부피 및 질량도 적게나가기 때문에 제한된 전력을 효과적으로 사용할 수 있고 위성체의 가격 절감에 도움이 되므로 현재의 통신용 고출력 증폭기로서 TWTA 대신으로 사용되고 있는 추세이다. 실제로 1982년 C-band 8.5W급의 SSPA가 SATCOM 5에 탑재된 이후 INTELSAT VII의 경우에는 10W급 7개, 300W급 10개가 실장되어 있다.

SSPA는 몇개의 증폭기 모듈이 직결되어 이득을 높이며, 또한 이득을 제어하기 위한 PIN Diode 감쇄기 및 전원 공급 장치로 구성되어 있다. 그림6은 일반적인 SSPA의 구성도이다. 감쇄기는 감쇄 조건 설정 및 온도 보상으로 사용한다. 전력 증폭기 모듈은 이득 안정 및 광대역 특성을 위하여 평형 증폭기의 구조로 되어 있다. 전원 공급장치는 pulse-width modulated DC/DC converter로서 PIN 다이오드 및 MESFET에 전원을 공급한다.

3. 선형화기(Linearizer)

현재 실지에도 상에서 운용되고 있는 통신, 방송 위성체 내의 고출력 증폭기로서는 질량 및 효율면에서 우수한 성능을 가지는 TWTA, 또는 신뢰성이 높은 반도체 SSPA를 주로 사용하고 있다. 그러나 TWTA나 SSPA는 포화점 영역에서는 AM-to-AM, AM-to-PM, 각 신호의 고조파, 혼변조곱 등의 비선형 특성을 가지고 있다. 이러한 비선형 특성으로 인해 고전력 증폭기의 포화점 영역에서는 단일 반송파를 전송하는 TDMA 통신 시스템의 경우에는 부호간 간섭(inter-symbol interference)을 발생시키며 SCPC, VSAT시스템 등에서와 같이 다중 반송파가 인가 될 경우 각 신호에 의한 혼변조가 심각해지므로 포화 출력 전력 레벨에서 보통 3-8dB 정도 back-off 시켜 비교적 선형 증폭이 가능한 지점에서 동작시키고 있다. 그러나 이 경우 위성체의 출력은 상대적으로 낮아지게 되어 지구국의 수신 출력 레벨에 영향을 주어 지구국 안테나의 크기, 직잡음 수신기의 이득 등 전반적인 전력 레벨에 영향을 받게 된다. 이에 비해 위성중계기 내에 TWTA나 SSPA의 비선형 특성을 보상하는 선형화기를 탑재할 경우에 이들이 가지는 진폭 및 위상의 비선형 특성을

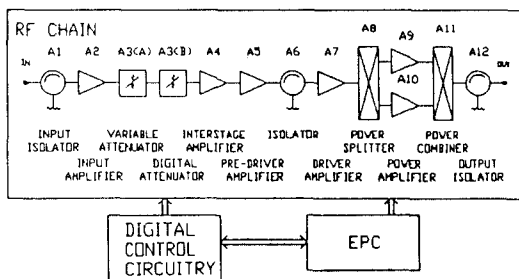


그림 6. SSPA의 기본 구성도

개선시켜 통신 시스템에서 요구되는 C/I를 얻기 위해서 상대적으로 출력 back-off 량을 줄일 수 있으므로 출력 전력을 보다 효율적으로 이용할 수 있게 된다.

현재까지 선형화기에 대한 연구는 독일의 ANT, 미국의 Hughes, General Electric Aero Space Division, 영국의 Marconi, 프랑스의 Thomson Tubes Electroniques, 일본의 NEC, KDD등 일부 선진국의 위성 관련 연구 기관 등에서 추진되어 오고 있다. 위성 지구국용, 이동통신 기지국용, 지상 M/W 중계기용 등으로 개발된 선형화기의 구성형태는 크게

- Feed-Forward 방식
- Negative Feedback 방식
- Pre-Distortion 방식

등의 3가지 형태로 분류 된다.

Feed-Forward 방식은 주로 지구국의 고출력 증폭기의 개선용으로 사용되고 있으며, 동일한 진폭 및 위상 특성을 갖는 두개의 고출력 증폭기와 이상적인 지연회로 등이 필요하며 그 회로 구성이 복잡하여 부피가 크게 되는 단점이 있다.

Negative Feedback 방식이 선형화기는 일반 증폭기에서 사용되는 부귀환 방식을 이용한 기법으로서 전송 대역폭에 따른 시간 지연을 보상하기 위한 장치가 요구되어 협대역의 전송에 국한하여 사용되며, 회로 구성의 복잡성으로 인해 용적이 크게 되는 단점이 있다.

Pre-Distortion 방식의 선형화기는 입력 신호가 고출력 증폭기에서 받는 왜곡을 고려하여, 이것과 역의 특성을 갖는 Pre-Distortion 회로를 고출력 증폭기의 입력측에 부가하여 고출력 증폭기의 특성에 의한 왜곡을 상쇄시키는 방식으로, 그 구성회로는 주로 Schottky diode, MESFET 등을 이용하며 광대역의 넓은 동작 범위를 갖는 특성에 회로의 구성이 간단하여 경량, 소형으로 구현시킬 수 있어서 위성중계기 탑재용으로 주로 사용되는 방식이다.

4. Test Coupler

출력단에 붙는 test coupler는 입력단에서와 마찬가지로 출력 레벨을 감시하기 위한 도서관 결합기로서 TWT나 SSPA가 과포화 상태를 넘어서지 않고 적절한 포화출력을 유지할 수 있도록 이에 대한 정보를 제공한다.

VI. 위성중계기의 발전 전망

탑재장치는 예비 설계 검토 및 세부 설계 검토를 통해 설계가 완료되면 구성부품을 제작하고 조립한 후 시험에 통과되면 위성체에 탑재하여 최종적인 시험을 기친 후 발사하게 된다.

INTELSAT-1(1965)는 2개의 중계기를 실장하여 전체 대역폭이 50MHz로서 음성전환급 240회선의 전송용량에 불과하였으나 INTELSAT-VI(1989)에서는 48개의 중계기를 실장하여 전체 대역폭이 3200MHz로서 음성전화 33,000회선과 TV 2회선을 전송할 수 있게 대용량화가 되어가고 있으며, 사용 주파수대는 6/4GHz, 14/12GHz 대역이 가장 널리 이용되고 있으나 대용량 통신을 위해서는 3500MHz의 대역폭을 사용할 수 있는 30/20GHz대의 주파수 이용이 활발해질 것이다.

국내의 마이크로파 및 밀리미터파 관련 기술은 아직 선진국 수준에는 못미치나 현재 활발히 발전되고 있는 실정이며 기술 도입에 의한 마이크로파 대역에서의 저급 부품 및 모듈의 국산화가 가능하다. 그러나 지상 시스템과는 다르게 탑재장치용 부품은 고 신뢰성을 보장할 수 있는 설계 방식 또는 제작에 따른 직접적인 관련 기술이 전무한 상태이며 이러한 고급 기술은 선진국에서도 기술 전수를 꺼리는 부분이므로 보다 철저한 기술 분석이 이루어져야만 자체 설계가 가능할 것이다.

위성중계기의 기술적인 측면에서의 차세대 발전

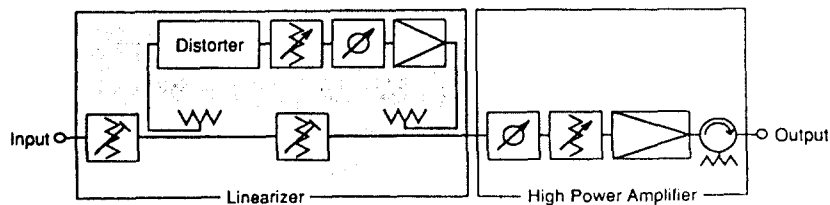


그림 7. SSPA 선형화기의 구성도

추세를 살펴보면 밀리미터파 회로 설계기술과 MMIC 설계 기술, 위성체간 통신 링크 기술, 능동형 직접방사 안테나 기술 등의 발달로 복합 서비스용 초대형 위성으로의 발전 가능성을 들 수 있다. 이들중 상당한 분야는 아직 우리의 기술이 부족한 상태이나 무궁화 위성의 발사로 전송 및 통신분야에서 마이크로파 및 밀리미터파 분야는 새로운 전기를 맞이하리라 본다.

참 고 문 헌

1. E. A. Wolff and R. Kaul, *Microwave Engineering and Systems Applications*. John Wiley & Sons : New York, 1988.
2. A. W. Love, ed., *Electromagnetic Horn Antennas*. IEEE Press : New York, 1976.
3. A. W. Love, ed., *Reflector Antennas*. IEEE Press : New York, 1978.
4. K. C. Gupta and A. Benalla, *Microstrip Antenna Design*. Artech House : Norwood, 1988.
5. P. Bhartia, K. V. S. Rao, and R. S. Tomar, *Millimeter-Wave Microstrip and Printed Circuit Antenna*. Artech House : Boston, 1991.
6. G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*. McGraw-Hill : New York, 1964.
7. L. Young, *Microwave Filters Using Parallel Coupled Lines*. Artech House : Dedham, 1972.
8. G. F. Craven and R. F. Skedd, *Evanescent Mode Microwave Components*. Artech House : Boston, 1987.
9. J. A. G. Malherbe, *Microwave Transmission Line Couplers*. Artech House : Norwood, 1988.
10. H. Fukui, ed., *Low-Noise Microwave Transistors & Amplifiers*. IEEE Press : New York, 1981.
11. R. S. Pengelly, *Microwave Field Effect Transistors-Theory, Design, and Applications*. Research Study Press : New York, 1982.
12. F. Ali, I. Bahl, and A. Gupta, ed., *Microwave and Millimeter-Wave Heterostructure Transistors and their Applications*. Artech House : Norwood, 1989.
13. J. M. Gillio, *Microwave MESFETs and HEMTs*. Artech House : Boston, 1991.
14. T. Itoh, ed., *Planar Transmission Line Structures*. IEEE Press : New York, 1987.
15. P. Bhartia, and P. Pramanick, *E-Plane Integrated Circuits*. Artech House : Norwood, 1987.
16. T. Laverghetta, *Microwave Materials & Fabrication Techniques, 2nd ed.* Artech House : Boston, 1991.
17. J. Frey and K. B. Bhasin, *Microwave Integrated Circuits*. Artech House : Dedham, 1985.
18. R. A. Pucel, ed., *Monolithic Microwave Integrated Circuits*. IEEE Press : New York, 1985.
19. R. Soares, ed., *GaAs MESFET Circuit Design*. Artech House : Norwood, 1988.
20. R. Goyal, *Monolithic Microwave Integrated Circuits Technology & Design*. Artech House : Norwood, 1989.
21. E. L. Kollberg, ed., *Microwave and Millimeter-Wave Mixers*. IEEE Press : New York, 1984.
22. S. A. Maas, *Microwave Mixers, 2nd Ed.* Artech House : Boston, 1993.
23. L. R. Whicker, *Ferrite Control Components*, Artech House : Dedham, 1974.
24. J. Helszajn, *Nonreciprocal Microwave Junctions and Circulators*. John Wiley & Sons : New York, 1975.
25. D. K. Likhart, *Microwave Circulator Design*, Artech House : Norwood, 1989.
26. W. P. Robins, *Phase Noise in Signal Sources*. Peter Peregrinus : London, 1982.
27. D. Kajfez and P. guillon, ed., *Dielectric Resonators*. Artech House : Dedham, 1986.
28. R. G. Rogers, *Low Phase Noise Microwave Oscillator Design*. Artech House : Norwood, 1991.
29. E. Holzman, *Solid-State Microwave Power Oscillator Design*. Artech House : Boston, 1992.
30. T. Berceci, *Nonlinear Active Microwave Circuits*. Elsevier : New York, 1987.
31. S. A. Maas, *Nonlinear Microwave Circuits*, Artech House : Norwood, 1988.
32. G. D. Vendelin, A. M. pavio, and U. L. Rohde, *Microwave Circuit Design Using Linear and Nonlinear Techniques*. John Wiley & Sons : New York, 1990.
33. K. E. Mortenson and J. M. Borrego, *Design Performance and Applications of Microwave semiconductor Control Components*. Artech House : Dedham, 1972.

윤 영 철

- 1956년 2월 15일생
- 1978년 2월 : 서강대학교 전자공학과 공학사
- 1982년 2월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 공학 석사
- 1989년 2월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 공학 박사
- 1987년 9월 ~ 현재 : 관동대학교 전자공학과 부교수
- 관심분야 : 마이크로파 및 밀리미터파 회로설계