

## SUMMARY

## I. 서 론

A design of 2 stage S-DLVA (successive detector log video amplifier) was studied to detect wide dynamic radar pulse ranging from  $-70$  dBm to  $0$  dBm. A basic design idea was focused on the linear detection in logarithmic scale of wide dynamic range radar pulses from noise-like weak power of  $-70$  dBm to relatively high power  $0$  dBm. It is highly formidable, since it requires high speed detection less than  $10$  nsec over the operating frequency ranges from  $6$  to  $18$  GHz. A limiter diode, a tunnel diode and an L17-C were used as a protecting device, a detector diode and a log video amplifier in companion as a single stage detector to give voltage output proportional to the input power of about  $35$  dB dynamic range. A prototype of 2-stage DLVA having one more single stage detector was fabricated with a  $32$  dB low noise amplifier and a  $3$  dB hybrid coupler to provide total  $70$  dB dynamic range detection.

The logging characteristics were measured to have log slope of  $25$  mV/dB against  $70$  dB logging range from  $-55$  dBm to  $+15$  dBm, the log linearity of within  $\pm 1.5$  dB, and tangential sensitivity was at  $-63$  dBm. The pulse dynamics of rise time and recovery time were measured as  $50$  nsec and  $1.2$   $\mu$ sec, respectively. The reason might be due to the parasitic capacitances of packaged limiter, tunnel diode, and L17-C.

광대역 고감도 DLVA(Detector Log Video Amplifier)는 전투환경에서 적의 레이더나 미사일 탐색기로부터 도래하는 약  $100$  nsec 수준의 고해상도 펄스 신호를 실시간으로 탐지 분석하는 초고주파 전력 검파 소자이다. 미약 펄스 신호를 순차적으로 증폭하여 수 개의 다이오드로 검파하고 검파된 비데오 신호를 합하여 주는 S-DLVA(Successive DLVA) 기술이 이용된다. 주로 전자전 장비의 순시 방향탐지 수신기 및 디지털 주파수 수신기에 이용된다.

본 연구는  $2$  옥타브 이상의 넓은 주파수 대역에서  $100$  pico-watt ( $-70$  dBm)의 열잡음 수준의 전력을 갖는 미약 펄스 신호를 왜곡 없이 빠른 rise time으로 검파하는 광대역 고감도 고속의 DLVA를 국산화 개발하는 데 목적이 있다.

본 연구의 주요 내용으로는 광대역 고감도 고속 S-DLVA를 위한 시스템 설계 기술과, 미약 펄스를 순차적으로 저잡음 증폭하는 데 쓰이는 MMIC LNA와 넓은 범위의 입력 전압을 좁은 범위의 전압으로 변환하기 위한 LVA (Logarithmic Video Amplifier) 등 2개 핵심소자를 개발하고 이들을 리미터, 커플러 등과 연동 패키징하여 S-DLVA를 하이브리드 소자로 제작하는 패키징 기술 및 전기적 성능시험 등의 기술을 습득하는데 목적이 있다.

주요 연구 내용에 대한 이해를 돕기 위하여 기본 개념을 알아보기로 하자.

첫째, DLVA의 Detector에 대한 의미로서 공중파

전파의 세기를 측정하기 위한 검파(detection)는 고주파 다이오드에 대한 개념이다. 공중파 전력을 측정하기 위한 검파의 수단으로 맨 처음 응용한 것은 2차대전 중에 실리콘 반도체 크리스탈 양편에 고양이 수염같은 도선을 접합시켜 만든 점접합(point contact) 다이오드를 만들어 공중파 신호를 검파(detector) 및 혼합(mixing)한 데서 비롯되었다<sup>[1]</sup>. 다이오드의 기본적 특징은 p형 반도체가 n형 반도체와 만나 junction을 이룬 pn접합 다이오드에서와 같이 valence band와 conduction band로 양자화된 에너지 준위를 형성하는 접합 구조이며, 양단에 인가하는 바이어스의 유무와 종류에 따라 흐르는 전류의 관계는 대부분 비선형성이다. 그러므로, 공중파 전력을 안테나로 수신하여 다이오드에 인가하면 많은 고조파 신호를 만들어 낸다. 여기서, 반송파(carrier)와 그 이상의 주파수를 갖는 고조파를 제거해 낸 것이 검파이다. 예를 들면, 라디오의 AM 변조, 군용의 펄스변조 레이더 신호 등에서는 반송파를 제거해 내고 저주파의 포락선을 찾는 것이며, 또 다른 중요한 군용 레이더 신호인 지속파 신호에서는 캐리어 주파수를 제거하고 DC 성분만 골라낸 것이다.

Cowley와 Sorensen<sup>[2]</sup>은 여러 종류의 다이오드를 이용하면서 검파회로의 장단점을 분석하였다. 주로 Schottky 다이오드<sup>[3]</sup>와 Tunnel 다이오드<sup>[4]</sup>가 이용되며, 접합용량과 바이어스에 따라 검파 가능한 최소 신호세기, 선형검파 구간 등이 다이오드마다 다르므로 본 연구에서는 이들 물성의 차이를 우선 검토하고, 바이어스가 불필요하며 검파 동적범위가 넓고 온도에 대한 안정도가 좋은 Tunnel 다이오드를 검파소자로 사용한다<sup>[5]</sup>.

둘째, Successive DLVA 개념이다. 다이오드에 의한 검파 전압은 입력전력의 크기에 따라 충분히 넓은 영역에서 선형적이지 못하고 대부분의 다이오드는 주로  $-15$  dBm 이하 입력에 대해서는 출력 전압은 입력 전력 즉 전압의 제곱에 비례하므로 square

law region이라 하며 대부분의 다이오드 검파는 이 영역에서 이루어진다.  $-10$  dBm 이상은 개방된 다이오드 양단의 출력 전압이 입력 전압에 비례하므로 linear detection region 이라 한다. 본 연구와 같이  $-70$  dBm 수준의 낮은 전력 신호에서부터  $0$  dBm까지와 같이 입력 전력의 변화폭이 매우 클 때, 검파 단수를 여러 단으로 나누고 각 단에서는 저잡음 증폭기를 두어 순차적으로 저잡음 증폭해 오면서 선형 구간인 square law region에서 검파하고 검파된 각 단의 비디오표를 합하여 주는 S-DLVA (successive DLVA) 기술<sup>[6]</sup>이 필요하다.

셋째, 로그 비디오 증폭기(LVA: Log Video Amplifier)<sup>[7],[8]</sup>가 필요하다.  $70$  dB 동적범위의 전력을 선형 검파하였다 할지라도  $-70$  dBm 때 출력 전압이 예를 들어  $100 \mu$ 였다면,  $0$  dBm에 대한 출력은  $70$  dB 높은  $1$  KV 수준이 되어 다루기 힘든 신호임에 틀림없다. 이는 square law region을 이용하여 입력 전력에 비례하는 전압을 얻었기 때문이며, 입력전압에 로그를 취하여 다루기 쉬운 수  $mV$ 에서 수  $V$  수준의 전압으로 바꾸어 주는 로그 비디오 증폭기(LVA)가 필요해진다. 또, 아예 linear region을 써서 LVA 필요 없이 S-DLVA를 구현하는 방법도 있으나 상대적으로 선형구간이 짧아 단수가 많아지므로 인하여 회로가 복잡해지는 단점이 있다.

입력 신호에 대하여 단순히 로그 증폭만 하는 LVA는 사용하는 주파수 대역이 낮은 상용의 이동통신 및 무선통신 수신기에서 넓은 동적범위를 갖고 수신되는 입력신호의 세기를 측정하는 Receiver Signal Strength Indication (RSSI) 기능으로 수 종이 개발되었으며, 이때, 이와 같이  $80$  dB,  $90$  dB 및  $100$  dB 수준의 넓은 동작 범위의 입력 신호를 다루기 좋은 좁은 범위의 전압 신호로 얻은 다음 고정된 문턱치와 비교하여 가변 이득 제어기의 이득을 조절함으로써 자동 이득 조절을 얻는 AGC 루프 회로로 사용되었으며, 또한, 넓은 가변 범위를 갖는 송신 전

력을 제어하기 위하여 그 출력 모니터 회로 등에 적용되었다<sup>[9]</sup>.

그러나, 본 연구에서와 같이 6~18 GHz의 초고주파 대역에서의 공중파 전력 검파를 위해서는 LVA 앞단에 위치한 검파 다이오드의 square law region의 선형구간을 늘리기 위한 보상회로와 로그 증폭 기능을 함께 구비한 LVA IC의 구현이 S-DLVA의 단수를 줄이는 데 요긴함을 알 수 있다. 이를 위하여 개발된 것이 미국 ANADYNE 사의 L17-C이다<sup>[10]</sup>. 본 연구에서는 L17-C를 일단 구매하여 DLVA를 제작, 실험 및 분석함과 동시에 국내개발을 시도하고 있으며 저잡음 증폭기의 MMIC화를 통한 국내개발을 병행하고 있다.

DLVA는 레이더 펄스 신호의 세기를 측정하는 LVA 출력 외에 리미트된 RF 출력을 내도록 되어 있고, 신호의 세기는 리미트 되더라도 위상정보는 유지되므로 방향탐지(direction finding) 장치에 이용되어 도래하는 레이더 펄스의 방향을 찾는 데 이용된다<sup>[11]</sup>. 또, IFM 수신기, Superheterodyne 수신기, 레이더 경보 수신기, DTO, Phase Detector 등 고부가가치의 군용 고주파 모듈 및 장치들에 필수적으로 사용되는 핵심 부품이다. 수신기 초단 소자이므로 DLVA가 기능을 상실하면 전투능력을 상실하는 것과 마찬가지이다. 뒷단에 아무리 훌륭한 무장을 갖고 있다 할지라도 무용지물에 해당한다. 그러나, 현재 개발중인 합정용 전자전 체계에 30여개의 S-DLVA가 소요된다.

연구개발 내용으로는 MMIC LNA<sup>[21]~[24]</sup> 및 LVA의 2개의 핵심 chip을 개발하며, 미국 등 선진국의 상용 부품들을 통하여 하이브리드화된 DLVA를 개발하고 문제점을 파악함과 동시에 2개 핵심 chip의 연구도 병행하였다.

## 2. DLVA 기술 개요

### 2-1 검파 다이오드

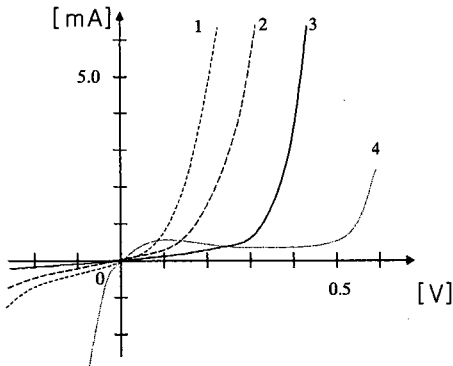
비디오 검파 회로는 마이크로파 수신기에 도래하는 고주파 신호의 변조 성분이나 비디오 혹은 반송파상의 포락선을 검파한다. Cowley와 Sorensen 등<sup>[2],[5]</sup>은 여러 종류의 다이오드를 이용하면서 검파회로의 장단점을 분석하였다.

그에 따르면, Schottky-Barrier 다이오드<sup>[3]</sup>는 생산 반복성이 우수한 점 외에도 Point Contact 다이오드에 비해  $1/f$  잡음이 낮고 burnout rating이 우수하다. Schottky-Barrier 다이오드는 n형 반도체/금속 구조의 고장벽형이나 p형 반도체/금속 구조의 저장벽형 어느 것이라도 무방하며, 저장벽형은 감도가 좋아 -70 dBm 수준의 미약 전파를 검파할 수 있고, 고장벽형은 최대 감도를 얻으려면 DC 바이어스를 가하여야 한다.

검파에는 주로 Schottky 다이오드와 Tunnel 다이오드가 이용되며, 접합용량과 바이어스에 따라 검파 가능한 최소 신호세기, 선형검파 구간 등이 다이오드마다 다르므로 본 연구에서는 이들 물성의 차이를 우선 검토하고, 바이어스가 불필요하며 검파 동적범위가 넓고 온도에 대한 안정도가 좋은 Tunnel 다이오드를 검파소자로 사용한다<sup>[2],[4],[5]</sup>.

금속-반도체 접합을 이용한 일반적인 Schottky-Barrier 다이오드를 검파용 다이오드로 사용할 경우 [그림 1]의 전압-전류 특성과 같이 영정원 영역에서 다이오드의 내부 저항이 크므로 약 수십  $\mu A$ 의 바이어스 전류를 인가하여 사용하게 된다. 이때 다이오드의 바이어스에 따라 전류가 증가하면 다이오드 내부 저항과 캐패시턴스가 줄어들어 고주파 특성이 좋아지게 된다.

Schottky-Barrier 다이오드를 적절한 방법으로 제작하여 다이오드 포화 전류가 일반적인 Schottky-Barrier 다이오드보다 약 10~100배 정도 크게 하여 전류를 인가하지 않은 상태에서 고주파 특성을 개선한 검파 다이오드를 Zero-Bias 검파 다이오드라



[그림 1] 검파 다이오드의 종류별 전압-전류 특성

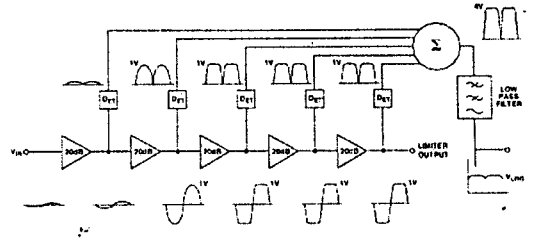
한다. [그림 1]에서 Zero 바이어스 Schottky-Barrier 다이오드의 전압-전류 특성을 보여 준다. 가는 금속 선을 이용하여 기계적으로 반도체 표면에 접합을 형성하여 고주파 검파기로 사용할 수 있는 다이오드가 점접점(Point-Contact) 다이오드이다.

검파 다이오드의 검출 가능한 입력 전력의 동적 범위를 확장하기 위하여 p-n 접합을 갖는 Tunnel 다이오드의 부성저항 특성을 이용하여 검파기로 이용한 다이오드를 Backward 다이오드라 한다. 일반적으로 Schottky-Barrier 다이오드는 검파 민감도는 우수하나 바이어스 전류가 필요하고 바이어스 전류의 크기 변화에 따른 drift 등의 영향이 크다.

본 연구에서는 바이어스가 없어도 검파를 주는 backward 영역이 넓고 온도 특성이 우수한 tunnel 다이오드를 사용하기로 한다.

## 2-2 LVA(Log Video Amplifier)

로그 비디오 증폭기란 문자 그대로 입력 전압이나 전류의 로그에 비례하는 출력을 주는 증폭기라 할 수 있다. 그러나, 보다 정확히는 순간적으로 입력의 변화에 대해 로그 출력을 주는 개념은 true log amp의 범주에 속하는 것이고, 통상의 로그 비디오 증폭기는 고주파 혹은 반송파 성분은 제거해 낸 포



[그림 2] 로그 비디오 증폭기의 동작 원리

락션 검파 비디오에 대한 로그 출력을 준다<sup>[2]</sup>.

로그 비디오 증폭기의 원리는 다음과 같다. [그림 2]에서와 같이 20 dB 즉 전압으로 10배 증폭기가 5단 증첩된 회로를 생각하고, 진폭이 작은 정현파 신호가 입력되었다고 가정하자. 처음 1번 증폭기에서 10배 증폭된 다음 full wave 정류되고, 다음 2번 증폭기에서 또 10배 증폭된 다음 full wave 정류되고, 다음 3번 증폭기에서부터는 증폭되면서 신호의 세기가 너무 커서 1V로 clipping 되어 있다. 각각의 정류된 비디오 전압을 합하여 저대역 여파기를 통한 출력은 4V 조금 넘는 신호를 출력함을 알 수 있다.

이때, 만일 입력 신호가 10배 감소된다면 즉 전압으로 20 dB 작은 신호가 입력된다면 4번째 증폭기에서부터 clipping이 일어나 3 V 넘는 값을 준다. 또, 20 dB 더 줄어든다면 2 V 조금 넘는 값을 준다. 이것이 로그 비디오 증폭기의 동작원리이며, 이 경우 매 입력의 10배(20 dB) 변화에 대해 1 V의 출력 변화를 주므로 로그 증폭기의 기울기는 50 mV/dB가 된다. 이때, 증폭기의 증폭비는 보통 10 dB( $\times 3.162$ )에서 20 dB( $\times 10$ ) 사이에서 정해지며, 아무 값이나 회로상으로 구현하기 용이한 증폭비를 정하면 되고, 또한 각 증폭기의 포화 전압값 또한 자유로이 설계할 수 있다.

용도로는 넓은 범위의 수신기에서 변하는 입력신호의 변조 정보는 무시하고 그 세기를 측정하는 Re-

ceiver Signal Strength Indication (RSSI) 기능으로 개발되었으며, 이때, 다루는 입력 신호의 범위는 80 dB, 90 dB 및 100 dB까지 이른다. 이와 같이 넓은 동작 범위의 입력 신호를 다루기 좋은 좁은 범위의 전압 신호로 얻은 다음 고정된 문턱치와 비교하여 가변 이득 제어기의 이득을 조절함으로써 자동 이득 조절을 얻는 AGC 루프 회로로 사용되었으며, 또한, 넓은 가변 범위를 갖는 송신 전력을 제어하기 위하여 그 출력 모니터 회로<sup>[9]</sup>에 적용되었다.

그리고, QPSK 등과 같이 위상변조를 이용하는 무선 수신장치에서 로그 비디오 검파 출력은 RSSI 기능을 제공하는 데 이용됨과 동시에, 신호가 clipping되더라도 신호의 위상은 유지된다는 점을 이용하여 리미터 출력은 위상변조 혹은 주파수 변조 정보를 복조하는데 쓰인다<sup>[9]</sup>. 군용의 전자전 장비에서도 로그 비디오 검파 신호는 진폭변조 방향탐지 장치에 사용되고, 리미터 출력은 위상비교 정밀방향탐지 장치에 이용된다<sup>[11]</sup>.

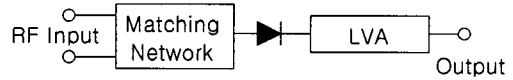
미국의 Analog Device 사<sup>[12]</sup>는 2.5 GHz 이하의 주파수에서 이루어지는 상용의 이동통신 및 무선통신 분야로의 적용을 위하여 양산화 체제가 잘 갖추어져 있는 실리콘 공정으로 다양한 모델을 출시하고 있다.

### 3. 연구 내용

#### 3-1 DLVA 설계 개요

##### 3-1-1 1-Stage DLVA

고주파 신호의 세기를 검출하는 경우, 고주파 신호를 직접 지수함수로 변환하는 회로는 구현하기가 어렵다. 이때에는 위에서 설명된 다이오드 검파기를 이용하여 고주파 신호를 저주파 전압으로 변환한 다음 LVA를 이용하여 지수함수를 변환하여 검출하게 되며, 이러한 증폭기를 DLVA라 한다. DLVA의 구성은 [그림 3]에서 보여 주고 있다. 이때에 검출



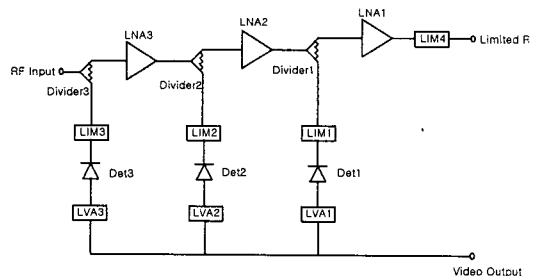
[그림 3] 1-Stage DLVA의 구성

가능한 주파수 영역은 검파 다이오드의 동작에만 의존하게 되며, 증폭기의 동작 범위는 다이오드의 동작범위와 LVA의 동작범위의 관계에 의해서 결정된다.

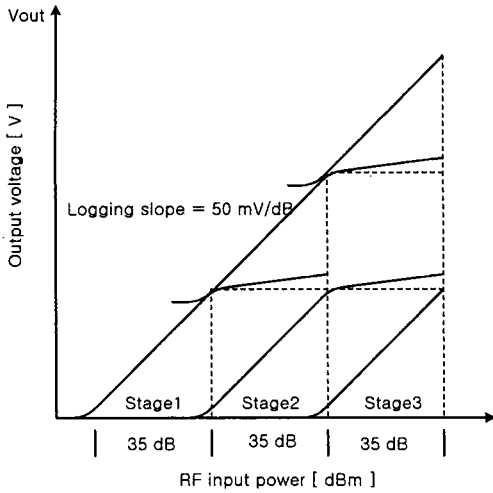
##### 3-1-2 S-DLVA (Successive DLVA)

검출하고자 하는 고주파 영역의 신호 세기의 변화가 검파 다이오드의 검출 범위(약 25 dB)보다 클 경우, 여러 개의 DLVA와 낮은 입력신호를 검파 가능한 전력으로 증폭해 주는 고주파 증폭기를 연결하여 동작범위를 크게 한 로그 비디오 증폭기를 S-DLVA라 한다. S-DLVA의 기본적인 구성을 [그림 4]에서 보여 주고 있다.

[그림 5]는 S-DLVA의 동작을 설명하고 있으며, 입력된 고주파 신호는 분배기를 통하여 DET3와 LVA3로 구성된 DLVA3와 고주파 증폭기 LNA3로 분배되며 입력 전력이 클 경우에는 DLVA3에 의해 출력이 검출되나, 신호의 세기가 작을 경우에는 증폭기에 의하여 증폭된 신호가 같은 방법으로 DLVA2나 DLVA1에서 검출된다. 각 DLVA단의 출력은 합하여져 출력되므로 동적범위가 커지게 된다. 이때, 각단 DLVA의 동적범위가 25 dB이고 고주파



[그림 4] 3-Stage S-DLVA의 구성



[그림 5] 3-Stage S-DLVA의 동작원리

증폭기의 이득이 25 dB인 증폭기를 3단으로 구성하면 검출가능한 입력 전력의 범위는 75 dB로 확장되게 되는 것이다.

### 3-2 L17C를 이용한 6~18 GHz 대역 DLVA 개발

본 연구에서는 Anadyne 사의 L17C LVA와 Advanced Control Component사의 ACTM-1058 NM12 고주파 검파용 Tunnel 다이오드를 이용한 6~18 GHz 대역에서 40 dB의 검출 범위를 갖는 DLVA의

제작 및 JCA 사의 6~18 GHz 영역에서 이득이 32 dB인 저잡음 증폭기 JCA 618~3119와 분배기를 조합하여 70 dB 검출 범위를 갖는 S-DLVA의 하이브리드화된 DLVA를 제작하고 측정하였다.

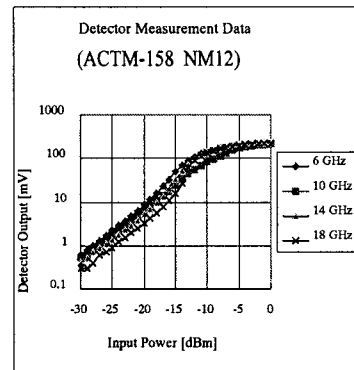
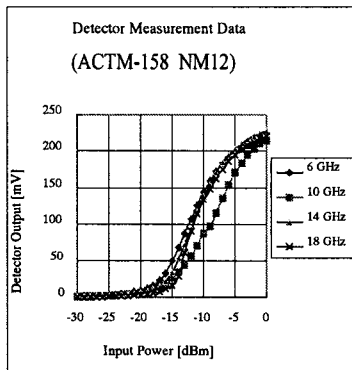
#### 3-2-1 검파용 다이오드 특성 실험

검파 다이오드로 사용한 Advanced Control Component사의 ACTM-1058NM12은 6~18 GHz 영역에서 동작하는 Tunnel 다이오드로써 TSS 레벨은 약 -45 dBm이고, 검파 감도는 약 1000 mV/mW인 소자이다. [그림 6]은 ACTM-1058NM12의 RF 입력 레벨에 대한 출력 전압의 특성 곡성을 보여 주며, Square Law 영역은 입력신호가 -12 dBm 이하인 것을 알 수 있으며, 주파수에 따른 검출 특성은 대략 ±1.5 dB 정도의 오차가 있는 것을 볼 수 있다.

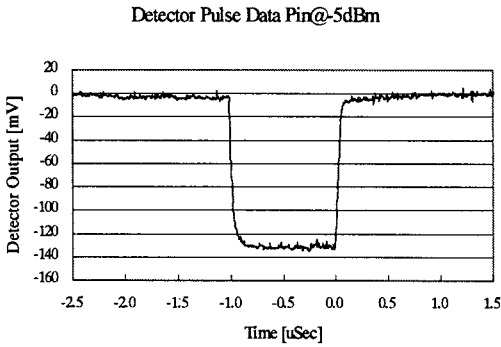
ACTM-1058NM12의 10 GHz 펄스 신호에 따른 출력전압의 변화를 [그림 7]에서 보여 주고 있으며, Rising Time은 약 70 ns, Recovery Time은 약 50 ns 정도로 측정되었다.

#### 3-2-2 L17C를 이용한 1-Stage DLVA 제작 및 실험

[그림 8]은 본 연구에서 사용된 Anadyne사의 L17C의 블록도를 보여 주고 있다. L17C는 검파 다이오



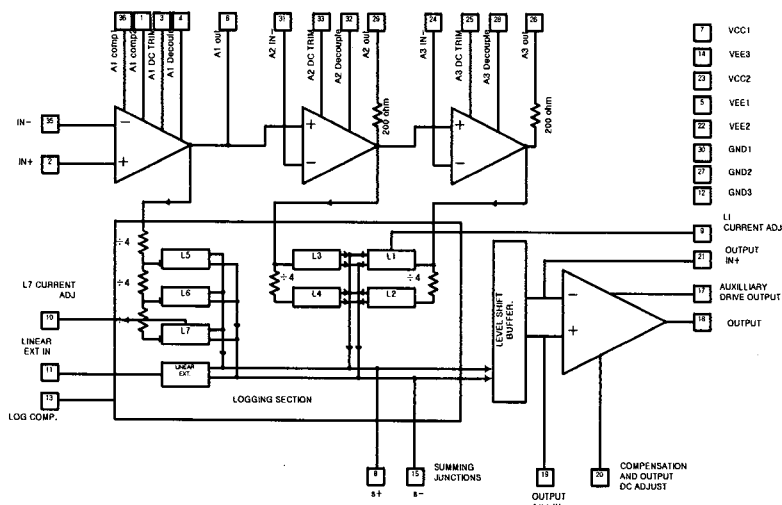
[그림 6] ACTM-1058NM12의 주파수에 따른 특성



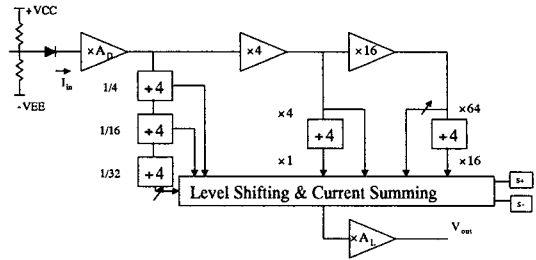
[그림 7] ACTM-1058NM12의 10 GHz 펄스 응답 특성

드의 감도의 차이를 보정하기 위한 초단 증폭기 A1과 출력 전압이 0.4~0.5 V로 제한된 이득이 4인 A2, 이득이 16인 A3인 Limiting 증폭기와 각 증폭기의 출력 전압을 1/4의 비례의 전류로 변환하는 7개의 Logging단과 Logging단의 전류를 합하는 Summing 회로, 출력 특성의 Log Slope를 보정하기 위한 출력 증폭기로 구성되어 있다.

[그림 9]는 L17C의 로그 비디오 증폭기로서의 개념을 설명하고 있다.



[그림 8] L17C의 블록도



[그림 9] L17C의 동작 개념도

즉, 검파 다이오드의 전류에 대한 출력 전압은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{out} \propto A_L A_D (4^{-3} + 4^{-2} + 4^{-1} + 4^0 + 4^1 + 4^2 + 4^3) i_i$$

$$i_i \sim 0$$

$$V_{out} \propto A_L A_D (4^{-3} + 4^{-2} + 4^{-1} + 4^0 + 4^1) i_i + 0.5V$$

A3 출력 포화

$$V_{out} \propto A_L A_D (4^{-3} + 4^{-2} + 4^{-1}) i_i + 1.0V$$

A2, A3 출력 포화

...

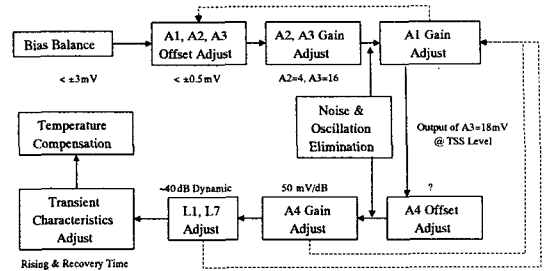
따라서, 출력 전압은 입력 전류에 대하여 log 4를 취한 값에 근사화 되게 된다.

L17C는 DLVA를 구현하기 위한 특별히 설계된 소자로써 검파 다이오드의 Square Law 영역에서는 직접적인 지수함수 특성을 가지며 신호의 세기가 작은 TSS 레벨 근처일 때 Logging 단  $L7(4^{-3})$ 을 보정하여 비선형 특성을 보정하고, 신호 레벨이 큰 선형 영역에서는 Logging 단  $L1(4^3)$ 과 외부 전류 인가 단자를 이용하여 지수함수적인 특성을 갖도록 조정 가능하도록 설계되었다. 따라서, 검파 다이오드를 이용한 DLVA는 다이오드의 Square Law 영역인 약 15~25 dB의 지수함수 특성을 얻게 되나 L17C의 경우는 약 40 dB의 입력신호 변화폭을 갖는 DLVA의 구현이 가능하다. 또, L17C는 S-DLVA를 구현할 때 두 개의 DLVA의 출력을 간단히 합할 수 있게 하기 위한 Logging 단 전류를 합할 수 있는 단자(S+, S-)를 가지고 있다(pinout#40 Model).

[그림 10]은 L17C를 이용하여 40 dB의 검출 영역을 갖는 1-Stage DLVA를 위한 회로제작의 흐름도를 보여 주고 있다.

정리하여 보면,

- 가. L17C 초단 증폭기는 전류 증폭기이므로 전원 ( $\pm 6\text{ V}$ )으로부터 검파 다이오드에 전류를 가하기 위한 저항을 연결하며 저항에 의하여 분배되는 전압은 반드시  $\pm 3\text{ mV}$  이내가 되도록 하여야 한다(Bias Balance). 이때, 전원 양단은 전체회로가 소모하는 전류를 흘려 부하에 따른 변화를 고려해 주기 위해  $200\ \Omega$ 의 임시 저항을 단 상태에서 [그림 8]에서와 같이 검파 다이오드 입력단의 바이어스 저항 값을 바꾸어 조정한다.
- 나. L17C의 모든 증폭기는 바이폴라 트랜지스터로 구성되어 있으므로 전원에 대한 Offset 전압의 조정이 필요하며, 먼저 증폭기 A1, A2, A3의 전원에 대한 Offset 전압이  $\pm 0.5\text{ mV}$  이하가 되게 한다.
- 다. 증폭기 A2와 A3의 이득이 각각 4, 16이 되도록



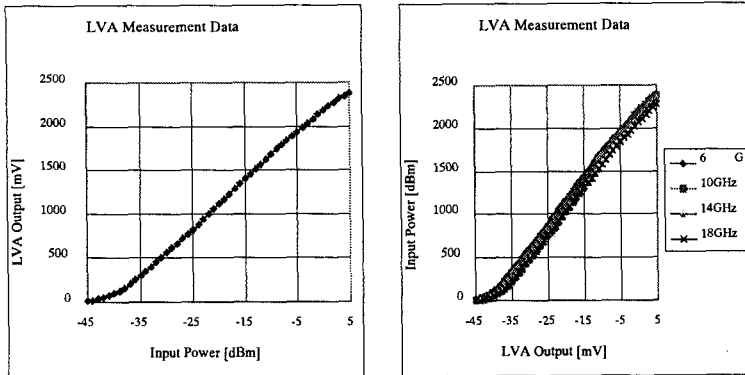
[그림 10] L17C를 이용한 1-Stage DLVA 제작 순서

록 피드백 저항 값을 조정한다.

- 라. 검파 다이오드의 민감도(Sensitivity)에 따른 검파 특성을 보정하기 위하여 A1 증폭기의 이득은 대략 4~8 정도를 가지게 되는데, 검출을 원하는 최소 입력(TSS 레벨 근처)이 인가되었을 때 A3의 출력 전압이 18 mV가 되도록 A1 증폭기의 이득을 조정한다.
- 마. A2, A3 증폭기의 Offset 전압을 확인 조정하고 4번의 단계를 반복한다.
- 바. A4 증폭기의 Offset 전압을 조정한다.
- 사. 입력 신호의 레벨이 검파 다이오드의 Square Law 영역 내에서 출력 전압이 원하는 로그 기울기를 갖도록 A4 증폭기의 이득을 조정한다.
- 아. 입력 신호의 레벨이 Square Law 영역밖에 있을 때 출력 전압이 지수함수 특성을 가질 수 있도록 L1, L7의 전류량을 조정한다.
- 자. 출력 전압이 원하는 로그 기울기를 가질 수 있도록 7번 단계와 8번 단계를 반복한다.
- 차. 출력에서 발진 현상을 제거하고 원하는 Rising Time이나 Recovery Time을 가질 수 있도록 Speed Up 부가 회로의 저항과 캐패시터를 결정한다.
- 카. 온도 보정을 위한 각 단 증폭기의 온도 보정용 저항을 결정한다.

[그림 11]은 위의 순서로 제작된 40 dB의 검출 특성을 갖는 6~18 GHz 대역의 1-Stage DLVA의





[그림 11] 제작된 1-Stage DLVA의 측정 결과

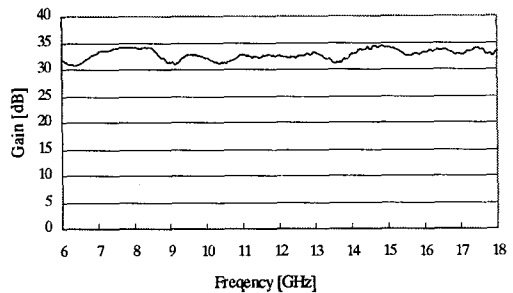
10 GHz 입력에 대한 측정 결과와 입력 주파수에 따른 출력 전압의 특성을 보여 주고 있다. 이때 제작된 DLVA의 로그 기울기는 약 55 mV/dB로 측정되었으며 입력신호의 레벨이 -37 dBm에서 +3 dBm 영역에서 출력이 선형 특성을 보이고 있으며, 주파수에 따른 출력전압의 변화폭은 로그 기울기에 대하여 약  $\pm 1.5$  dB 정도이다. 주파수에 따른 출력의 변화는 [그림 6]의 검파 다이오드의 특성을 그대로 반영하고 있는 것을 알 수 있다.

### 3-2-3 미약신호 검출을 위한 DLVA 구성

[그림 12]는 6~18 GHz 대역의 낮은 입력신호를 DLVA를 이용하여 검출하기 위하여 저잡음 증폭기인 JCA사의 JCA 618~3119의 전달특성(S21)을 보여주고 있다. JCA 618~3119 증폭기의 이득은 약  $32 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$  정도이다.

미약 신호를 검출하기 위하여 JCA 618-3119 증폭기에 L17C를 이용한 제작된 DLVA를 연결하였을 때의 RF 신호에 대한 출력 특성을 [그림 13]에서 보여 주고 있으며, 전력 분배기 및 Limiter<sup>[15]~[17]</sup>를 포함하여 측정하였다. 이때 출력특성은 -60 dBm의 미약 신호 레벨에서 -25 dBm 이상의 신호에 대해서도 잘 동작하는 것을 볼 수 있다. 이때의 주파수

Amplifier (JCA 618-3119)



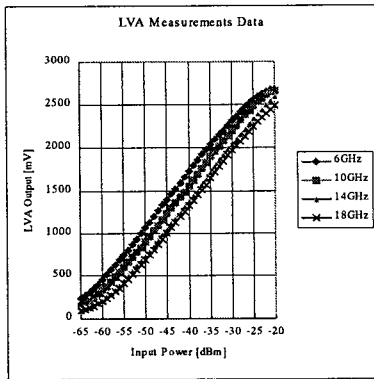
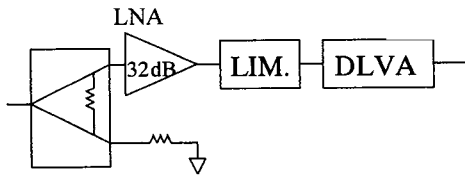
[그림 12] 저잡음 증폭기 JCA 618-3119의 S21 특성

에 따른 출력의 변화량은 약  $\pm 2.5$  dB 정도가 됨을 알 수 있다.

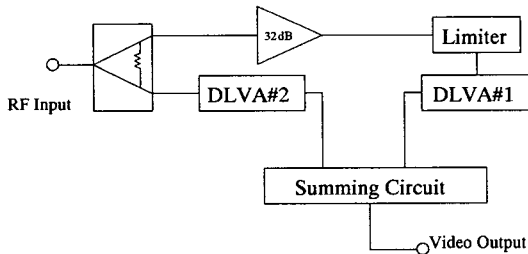
### 3-2-4 2-Stage S-DLVA 제작 및 실험

위에서 제작된 40 dB의 입력 전력 범위에서 동작하는 1-Stage DLVA 2개를 직렬 연결하여 70 dB의 검출 범위를 갖는 2-Stage S-DLVA의 구성을 [그림 14]에서 보여 주고 있다.

이때의 각단 DLVA의 출력을 합하는 회로는 L17C의 Summing Junction인 S+, S- 단자[그림 8]를 이용한 것이 아니라 각단의 출력을 고속 OP-Amp.를 이용한 합산회로를 사용하였다.



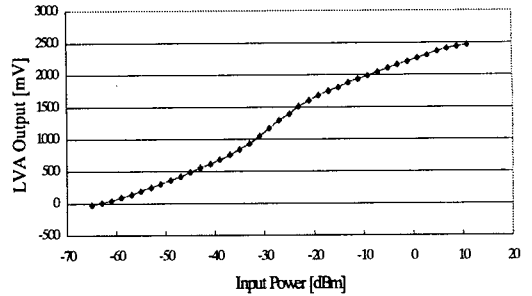
[그림 13] Coupler, LNA, Limiter 및 1-Stage DLVA를 직렬시 출력 특성



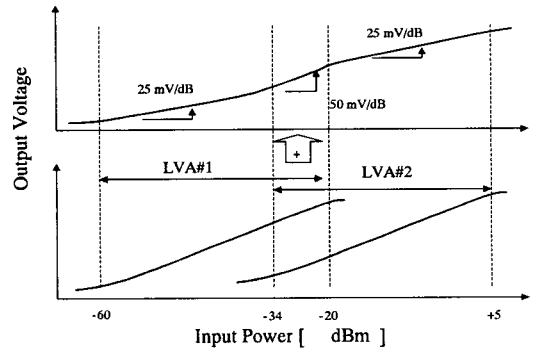
[그림 14] 2-Stage S-DLVA의 구성

제작된 2-Stage의 S-DLVA의 특성은 [그림 15]에서 보여 주고 있다. 입력 신호의 레벨이  $-32$  dBm에서  $-20$  dBm 영역에서 로그 기울기의 변화가 비정상적으로 나타나는데, 이것은 [그림 16]에서 알 수 있듯이 DLVA#1의 최대 검출 입력 신호레벨과 DLVA#2의 최소 입력신호 레벨이 일치하여야 하나, 제작된 S-DLVA의 경우는 전단 DLVA의 최대 검출 입력 레벨은 약  $-22$  dBm 정도이고[그림 13], 후단

LVA Measurement Data(2 Stage)



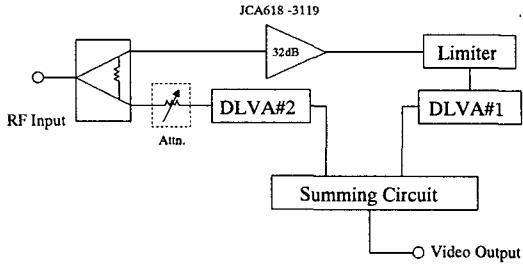
[그림 15] 2-Stage S-DLVA의 검파 특성 측정



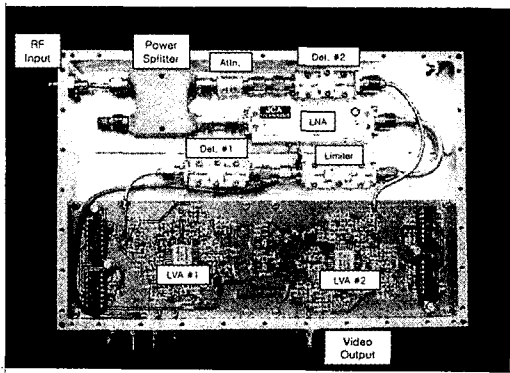
[그림 16] 2-Stage S-DLVA의 검파특성 : Stage 합산 영향 분석

DLVA 최소 검출 입력 레벨은 약  $-37$  dBm [그림 11]이기 때문에 생기는 현상이다.

따라서, DLVA#1의 최대 입력 레벨과 DLVA#2의 최소 입력 레벨을 일치 시키기 위하여서는 DLVA#1에 연결된 증폭기 이득을 크게 하여 최대 검출 레벨을 낮추는 방법과 DLVA#2 입력에 감쇄기를 삽입하여 최소 입력 레벨을 높이는 방법을 이용할 수 있다. 일반적으로 고주파 증폭기의 이득은 용이하게 변화시킬 수 없고, 본 실험에서는 기 제작된 상용 증폭기를 이용하였으므로 감쇄기를 이용하여 DLVA#2의 최소 입력 레벨을 높이는 방법을 이용하였고, [그림 17]과 같이 구현하였다.



(a) 구성도



(b) 기구도면  $200 \times 140 \times 25\text{mm}^2$

[그림 17] 최종 제작 2-Stage S-DLVA

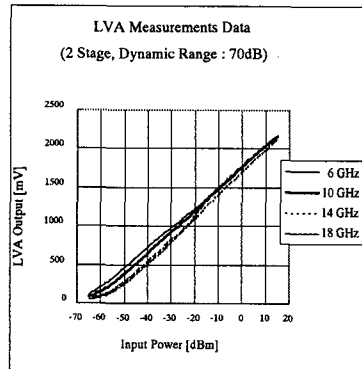
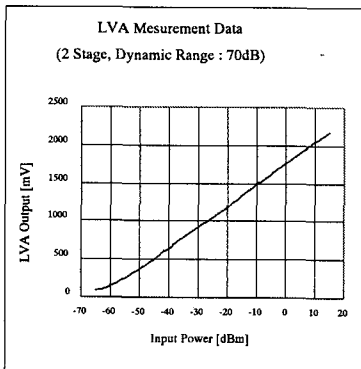
본 연구에서는 일단 상용 제품으로 구입 가능한 LNA와 하이브리드 결합기를 이용하여 2-Stage DLVA의 전기적 특성을 구현 및 실험하면서 문제점을 파

악하고자 하였으므로 최종 제작된 2-Stage DLVA의 기구적 치수는  $200 \times 140 \times 25\text{mm}^3$  으로 다소 큰 편이다. 각각의 소자를 Package된 상태에서 커넥터를 포함한 소자로 구성하였기 때문에 커넥터의 크기 및 동축선로의 여유공간을 필요로 하여 크게 설계되었다.

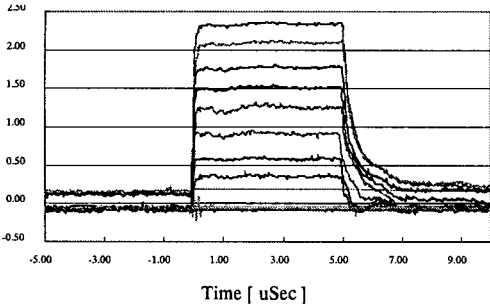
이때에 사용된 감쇄기는 대략 15~20 dB 정도의 감쇄를 갖고 있다. [그림 15]와 [그림 16]에서 알 수 있듯이 제작된 DLVA로부터 S-DLVA를 구현할 때는 각단의 DLVA에 입력되는 전력의 세기의 차를 15 dB 이상 더 주어야 하는 것을 볼 수 있다. 이렇게 제작된 S-DLVA의 측정결과를 [그림 18]에서 보여 주고 있다.

제작된 2-Stage S-DLVA는 6~18 GHz 대역 내에서 최소 -55 dBm, 최대 +15 dBm의 70 dB 입력 신호에 대하여 Log Linearity는  $\pm 1.5$  dB 이내, 주파수에 따른 최대 Deviation은 9 dB 이하에서 동작하는 S-DLVA임을 알 수 있었다.

5  $\mu\text{s}$ 의 폭을 갖는 펄스로 변조된 고주파 신호 입력에 대한 제작된 2-Stage S-DLVA의 출력 특성을 [그림 19]에서 보여 주고 있다. 입력신호의 주파수는 10 GHz이고 신호의 전력 세기는 -65 dBm에서 +15 dBm까지 10 dBm의 간격으로 측정하였다. 측정된 결과는 CW입력의 경우와 같이 전력의 세기에 대하



[그림 18] 최종 제작 2-Stage S-DLVA의 검파 특성 측정



[그림 19] 최종 제작 2-Stage S-DLVA의 펄스 응답 특성 측정 (Input Power : -65 dBm ~ +15 dBm, 10 dB Step)

여 선형적인 출력을 내고 있는 것을 볼 수 있으며, S-DLVA의 동작 속도를 확인하기 위해 입력이 10 GHz 주파수에서 전력의 세기가 -5 dBm일 때의 측정된 Rising Time( $T_r$ )은 약 50 ns이고 Recovery Time( $T_f$ )은 약 1.2  $\mu$ s 정도로 측정되었다. 검파 다이오드 측정결과인 70 ns Rising Time과 50 ns Recovery Time을 비교하여 볼 때, 제작된 2-Stage S-DLVA의 결과는 Rising Time은 개선되었으나, Recovery Time은 많이 증가하였다. 이러한 결과는 좀더 개선을 필요로 하는 사항이며, 그 원인을 검토하여 보면 제작된 각단의 DLVA에서 발생하는 기본적인 전원 잡음이나, 발진 현상을 제거하는 과정에서 DLVA의 펄스 입력에 대한 특성의 변화를 준 것으로 보인다. 또, 검파 다이오드의 부하특성을 보정하는 과정에서 보면 본 과제에서 사용된 L17C에 적합한 다이오드를 사용하여야 하거나, 펄스 특성이나 잡음, 발진 등이 개선된 사양의 LVA의 개발이 필요하다.

#### IV. 결론 및 검토

본 연구는 6~18 GHz 대역의 DLVA를 Anadyne사의 L17C LVA와 Advanced Control Component사의 6~18 GHz 대역의 검파용 Tunnel 다이오드

ACTM-1058NM12를 이용한 40 dB 검출 영역을 갖는 DLVA의 제작 및 70 dB 검출 검출범위를 갖는 2-Stage S-DLVA를 제작하였으며, 제작된 DLVA는 실제의 방탐 장비에 적용하기에는 특성의 미흡한 부분이 있고, 시제품 자체의 크기 및 개별 제작품의 성능의 균일성을 보장하는 측면에서는 문제가 있는 상태이다. 그러나, 본 연구의 결과를 볼 때 사용된 검파 다이오드 등의 부품 선정 및 신뢰성 있는 핵심 부품인 저잡음 증폭기 및 비디오 지수함수 증폭기의 개발과 DLVA 구성상의 제반의 문제점에 관한 연구가 이루어지면 성능이 우수한 고감도 DLVA의 개발이 가능할 것이다. 실제 사용 가능한 고감도 DLVA의 개발을 위한 문제점을 정리하면 다음과 같다.

첫째, DLVA를 제작하기 위하여 사용된 LVA인 L17C의 주변회로의 구성이 복잡하고, 조정 부분(Offset 조정 부분 등)이 너무 많아서 일관된 작업으로 DLVA를 구성하기가 매우 어려웠다. 특히, L17C는 전원에 대한 영향 및 잡음을 제거하는데 많은 노력과 시간을 필요로 하고 있으며, 앞에서 설명된 L1, L7의 인가 전류량 조정과 출력 증폭기의 이득 조정 등을 이용한 로그 기술기 오차를 줄이는 방법이 까다롭고 소자간의 특성의 차이가 심해서 개별 DLVA간의 균일성을 확보가 매우 어려운 문제를 갖고 있다.

둘째, 목표성능을 대비해 볼 때, 검파기로 사용된 Tunnel 다이오드주파수별 특성의 변화와 펄스 입력에 대한 응답 특성이 목표성능을 만족하지 못하고 있다. 이는 일반적으로 패키징된 검파 다이오드는 패키지 자체가 갖는 기생 소자에 의하여 펄스 응답 특성이 열화되게 된다. 펄스 응답 특성이 우수한 검파 다이오드를 사용하거나 기생소자들에 의한 특성의 열화를 최소화 할 수 있는 Die 형태의 다이오드를 사용하는 제작 공정 등을 고려하여야 한다.

셋째, 2-Stage S-DLVA의 출력특성을 고려하면,

입력신호가 낮은 영역과 입력 신호가 높은 영역간의 주파수별 특성의 변화가 큰 것을 볼 수 있는데, 이는 낮은 입력레벨을 증폭하는 저잡음 증폭기의 주파수에 따른 전달 특성이 균일한 소자를 사용하여야 한다.

넷째, 제작된 DLVA의 환경 영향에 따른 특성의 변화를 확인하기 위한 시험을 수행하지 못하였는데, 환경영향 특성을 측정하기 위한 설비 장치의 검토와 L17C의 온도 보정을 위한 주변 회로의 영향들의 시험을 필요로 한다.

### 참고문헌

- [1] W. Alan Davis, *Microwave Semiconductor Circuit Design*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1984.
- [2] Cowley and Sorenson, "Quantitative comparison of solid-state microwave detectors," *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-14, Dec., 1966.
- [3] P. A. Szente, S. Adam and R. B. Riley, "Low-barrier Schottky diode detectors," *Microwave Journal*, p. 42, Feb., 1976.
- [4] C. A. Burrus, "Backward diodes for low level millimeter wave detection," *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-11, pp. 357-362, Sep., 1963.
- [5] S. Serren, *Schottky versus tunnel diode detectors in crystal video applications*, Aertech Application Note.
- [6] S. Capasso, "Log Amplifier scales 100 dB Dynamic Range," *Microwaves & RF*, Sep., 1994.
- [7] D. Sheingold and F. Pouliot, "The hows and whys of log amps," *Electronic Design* 3, p.52, 1 Feb., 1974.
- [8] A. Helfrick, "Build high-gain, wide-range log amps," *Electronic Design* 6, p.116, 15 March, 1974.
- [9] Barrie Gilbert, "Demodulating Logamps Bolster Wide-Dynamic-Range Measurements", *Micro-waves and RF*, March, 1998.
- [10] ANADYNE L-17C Application Manual.
- [11] 이규송 외, "자체동조형 방향탐지기술," 국방과학연구소 주최 통신전자학술대회, pp.248-259, 10월 1997년.
- [12] <http://www.analogdevice.com>
- [13] J. Tsui and R. Shaw, "Sensitivity of EW Receivers," *Microwave Journal*, pp.115-120, Nov., 1982.
- [14] W. J. Lucas, "Tangential Sensitivity of a detector video system with r.f. preamplification," *Proc. IEEE*, vol. 113, pp. 1321-1330, Aug., 1966.
- [15] R. V. Garver and J. A. Rosado, "Broad-band TEM diode limiting," *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-10, pp. 302-310, Sep., 1962.
- [16] M. J. Rodriguez, and D. Weissman, "A microwave power limiter," *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-10, pp. 219-220, May, 1962.
- [17] J. J. Jones, "Hard limiting of two signals in random noise," *IEEE Trans. Information Theory*, vol. IT-9, pp. 34-42, Jan., 1963.
- [18] *Dynamic range extension of Schottky detectors*, Hewlett-Packard, Application Note 956-5.
- [19] *Impedance matching technique for mixer and detectors*, Hewlett-Packard, Application Note 963.
- [20] *The 33800 series mixer/detector module*, Hew-

---

lett-Packard, Application Note 921.

- [21] M. W. Pospieszalski, "On the measurement of noise parameters of microwave two-ports", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 34, 456, 1986.
- [22] D. A. Abbott, and H. V. Shrumer, "Automatic noise fime measurements with computer control and correlation", *Raidio Electron Eng.*, 52(10), 468-474, 1982.

- [23] J. B. Beyer, W. T. Wilser, T. T. Kritzer and R. R. Pereira, "On theory and performance of solid-state microwave distributed amplifiers", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 31, 447, 1983.
- [24] Riaziat, M., Zubeck, I., Bandy, S. and Zdasiuk, G., "Coplanar waveguides used in 2-18GHz distributed amplifier", *IEEE MTT Symp. Dig.*, p. 337, IEEE, New York, 1986.

≡ 필자소개 ≡

김 상 기

1984년 2월: 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업  
1986년 2월: 한국과학기술원 초고주파/안테나 석사학위 취득  
1992년 8월: 한국과학기술원 초고주파/안테나 박사학위 취득  
1986년 3월~1997년 9월: 국방과학연구소 근무  
1997년 10월~현재: (주) 감마누 대표이사 재직

조 현 룡

1987년 2월: 국민대학교 전자공학과 졸업  
1989년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사학위 취득  
1994년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사학위 취득  
1994년 2월~1998년 3월: 현대전자 근무  
1998년 4월~현재: (주) 감마누 부설연구소 연구소장 재직

이 정 문

1989년 2월: 방송통신대학교 전자계산학과 졸업  
1994년 8월: 아주대학교 산업대학원 컴퓨터공학과 석사학위 취득  
1974년 6월~1998년 3월: LG정밀(주) 연구소 근무  
1998년 4월~현재: (주) 감마누 이사 재직

김 재 연

1993년 2월: 수원전문대학교 금형설계학과 졸업  
1992년 11월~1998년 2월 태평양시스템 등 근무  
1998년 2월~현재: (주) 감마누 부설연구소 주임연구원 재직

김 상 진

1997년 2월: 경북대학교 전자공학과 졸업  
1999년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 석사학위 취득  
2000년 3월~현재 영남대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정  
1999년 7월~현재: (주) 감마누 부설연구소 연구원 재직

이 두 훈

2000년 2월: 호남대학교 전파공학과 졸업  
2000년 2월~현재: (주) 감마누 부설연구소 연구원 재직