Clamping Op-Amp를 이용한 광대역 로그 비디오 증폭기의 선형성 개선에 관한 연구

Study on the Development of Linearity of Broad-Band SDLVA Using Clamping Op-Amp

박 종 설 · 김 종 건* · 김 점 식**

Jong-Sul Park · Jong-Geon Kim* · Jum-Sik Kim**

요 약

본 논문은 0.5~2.0 GHz에서 -70~0 dBm의 동적 범위를 갖는 로그 비디오 증폭기(Successive Detecting Log Video Amplifier, 이하 SDLVA)를 설계 및 제작하였다. 제작된 SDLVA는 5단의 증폭기를 이용한 고주파 출력부, 2단의 로그검파기 그리고 선형성 개선을 위하여 클램핑 연산증폭기를 이용한 가산 회로로 구현하였다. 제작된 SDLVA의 측정 결과는 73 dB 이상의 소신호 이득과 10.1~12.2 dBm의 고주파 포화 출력 특성을 갖는다. 그리고 -70~0 dBm 입력 시 25 mV/ dB $\pm$ 1.0 mV의 기울기를 갖고 $\pm$ 1.5 dB 이하의 선형 특성을 갖는 비디오 신호를 출력한다.

Abstract

This paper describes a design and fabrication of SDLVA. The SDLVA operates 0.5~2.0 GHz with -70~0 dBm dynamic range. The SDLVA is consisted of 5-stage RF block, 2-stage detector block and summation circuit using clamping op-amp to improve video linearity. The result of measure, SDLVA of RF path has over 73 dB small-signal gain and 10.1~12.2 dBm saturation power. The video path has 25 mV/ dB $\pm$ 1.0 mV and under $\pm$ 1.5 dB video linearity.

Key words : SDLVA, DLVA, Radar, Logarithmic, Amplifier

I. 서 론

1-1 전자전 동향

현대의 전쟁은 전자 통신 장비를 이용하는 전자전 양상을 띄고 있다. 적 위협 무기에서 사용되는 RF, IR, 레이저 등의 모든 스펙트럼에 대한 탐지, 분석, 경보능력을 갖추고, 이에 대해 전자 공격 신호를 방사하는 통합 전자전 체계로 발전하고, 재밍 효과의 극대화를 위하여 적 레이더망을 탐색 단계부터

대응하여 플랫폼 생존성을 보장하는 광역전자전 체계, 적 지휘/무선 통신망을 교란하는 통신 전자전 체계와 함정, 항공기, 무인기 등 다양한 형태의 플랫폼에 탑재가능하도록 발전하고 있다^[1]. 이러한 점에서 전파 방향 탐지에 관한 연구는 꾸준히 계속되고 있으며, 그 중요도 역시 증가하고 있다. 전파 방향 탐지 시스템은 여러 가지 부품으로 구성되어 있으며, 넓은 동적 범위의 신호를 감지할 수 있는 SDLVA는 그 중 핵심 부품이라 할 수 있다^[2].

(주)유텔(U-Tel. Co, Ltd)

*국방기술품질원 서울센터 전투물자연구팀(Combat Materiel Research Team, Seoul Center, Defense Agency for Technology and Quality)

**LIG 넥스원 구미연구소(Gumi R&D Center, LIG Nex1)

· 논 문 번 호 : 20110311-022

· 교 신 저 자 : 박종설(e-mail : jspark@u-tel.co.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 6월 14일

표 1. SDLVA 설계 규격

Table 1. SDLVA design Specification.

순번	항목	규격
1	Frequency	0.5~2.0 GHz(Step: 0.25 GHz)
2	Dynamic range	-70~0 dBm(Step: 1 dB)
3	Log linearity	±1.0 dB 이하
4	Log slope	25 mV/dB±1.0 mV
5	Log flatness	±1.5 dB 이하
6	RF output power	10~14 dBm
7	T.S.S	-73 dBm 이하
8	Temperature	-30 °C ~+85 °C

1-2 SDLVA를 이용한 방향 탐지

전파의 방향을 측정하는 방법에는 여러 가지가 있지만 위상 비교와 진폭 비교를 이용한 전파 방향 탐지가 주로 쓰인다. 위상 비교 전파 방향 탐지는 2 개 이상의 SDLVA를 이용하여 SDLVA에서 출력되는 고주파 신호의 위상차를 이용한다. 또한, 진폭 비교 전파 방향 탐지는 SDVLA의 비디오 신호의 진폭 크기를 이용하여 방향을 탐지한다. 이때 전파 방향 탐지 오차를 줄이기 위해서는 비디오 출력의 고(高) 선형성과 빠른 응답 속도 그리고 일정한 세기의 고 주파 출력 신호 특성이 요구된다^[3]. 그 중 선형성은 광대역 증폭기의 이득 특성 및 전력분배기의 특성 로그검파기의 입력 임피던스 특성 등 여러 가지 요인에 영향을 받는다. 표 1은 설계 및 제작하고자 하는 SDLVA의 목표 규격을 나타내며, 순번 1과 순번 2의 측정 간격은 외국사 상품의 특성을 목표로 하여 성능 점검에 적용하였다.

II. 본 론

2-1 SDLVA 설계

SDLVA의 기본 개념은 그림 1과 같이 여러 단의 로그검파기로 이루어진다. 각 단의 로그검파기의 개별 응답 특성을 보면 그림 2와 같이 시작(threshold) 구간부터 포화(saturation) 구간으로 나타난다^[4].

그림 2와 같은 개별 응답 특성을 갖는 로그검파기가 여러 단 가산된 SDLVA의 비디오 응답 특성은 그림 3과 같다.

그림 1. SDLVA 기본 개념도

Fig. 1. Basic concept of SDLVA.

그림 2. 로그검파기 응답 특성

Fig. 2. Response curve of detector.

그림 3. SDLVA 응답 곡선

Fig. 3. Response curve of SDLVA.

그림 3에서 보는 것과 같이 이상적인 곡선(best fit line)과 실제 응답 곡선과의 오차가 발생한다. 이 오차는 선형성 특성으로 정의되며, 계산식은 식 (1)과 같이 SDLVA 입력 전력에 대한 출력 전압의 측정된 데이터와 최소 자승법에 의한 이상적인 곡선(best fit line)의 차를 원하는 응답의 기울기로 나눈 값이 된다^[5].

$$\text{선형성 (Linearity)} = \frac{\text{측정데이터} - \text{이상적인곡선 (Best Fit Line)}}{\text{원하는기울기 (mV/dB)}} \quad (1)$$

그림 4. SDLVA 구성도

Fig. 4. SDLVA block-diagram.

여러 단을 사용하여 넓은 동적 영역을 확보하는 방법은 가산되는 중첩 구간에서 선형성이 저하되는 현상이 발생한다. 또한, 개별 온도 보상 회로가 추가적으로 필요하여 본 논문에서는 그림 5의 비디오 출력 가산 개념도와 같이 약 40 dB 선형 구간을 갖는 상용품을 2단 사용하였다. 적용된 SDLVA 구성도는 그림 4와 같다. 크게 고주파 증폭부와 비디오 출력부로 구성되며, 고주파 증폭부는 -70 dBm 고주파 신호 입력 시 3 dBm 이상의 출력 특성을 갖기 위해 73 dB 이상의 소신호 이득을 가지며, $-60 \sim 0$ dBm 고주파 신호 입력 시 $10 \sim 14$ dBm의 출력 특성을 갖는 limiting 기능을 포함한 증폭부로 설계하였다. 비디오 출력부는 $-70 \sim 0$ dBm 입력 시 ± 1.5 dB 이하의 선형 특성을 갖고 25 mv/ dB ± 1.0 mV의 기울기 특성을 갖도록 2단 로그검파기 및 비디오 가산기의 구조 설계하였다.

2-2 고주파 증폭부 설계

SDLVA의 고주파 증폭부는 -70 dBm 이상의 신

그림 5. 비디오 출력부 가산 개념도

Fig. 5. The adding concepts of video output.

그림 7. 고주파 증폭부 소신호 이득 곡선

Fig. 7. RF amplifier small-signal gain curve.

호 입력 시 3 dBm 이상의 출력 특성을 갖도록 73 dB 이상의 선형 이득을 갖도록 그림 6과 같이 설계하였다. 증폭단에 사용된 증폭기는 AVAGO사의 증폭기로써 20 dB의 소신호 이득을 갖는 증폭기 5단을 이용하여 그림 7과 같이 0.5~2.0 GHz 대역에서 77 dB 이상의 선형 이득을 갖도록 설계하였으며, 주파수별 $-60 \sim 0$ dBm의 신호 입력 시 그림 8과 같이 $10 \sim 14$ dBm의 출력 포화 특성을 갖도록 설계하였다. 또한, 20 dBm의 신호 입력에도 부품에 이상이 없도록 하

그림 6. 고주파 증폭기 구성 회로도

Fig. 6. RF amplifier block circuit.

그림 8. 고주파 증폭부 포화 특성 곡선
Fig. 8. RF amplifier saturation curve.

그림 9. 초단 제한기 특성
Fig. 9. First stage limiter characteristics.

기 위해 그림 9와 같이 20 dBm 세기 입력 시 15 dBm 출력 특성을 갖는 제한기를 적용하였다.

2-3 고주파 검출부 설계

본 논문에서는 다이오드 검파기와 로그 증폭기를 결합된 Hittite사의 로그 검파기를 사용하였다. 사용된 로그 검파기는 그림 10과 같이 $-50 \sim -10$ dBm

그림 10. Hittite사의 로그검파기 특성
Fig. 10. Hittite's log detector characteristics.

그림 11. 로그검파기 1의 입력 신호 세기
Fig. 11. Detector 1's input signal power.

그림 12. 로그검파기 2의 입력 신호 세기
Fig. 12. Detector 2's input signal power.

의 입력 영역에서 주파수별 ± 0.5 dB 이하의 오차 특성을 갖는다. 그림의 선들은 온도별(파란색: -40°C , 검정색: 25°C , 빨간색: $+85^\circ\text{C}$) 특성을 나타낸다.

SDLVA는 그림 6과 같이 로그검파기 입력 단을 설계하고 시뮬레이션 한 결과, 각각의 로그검파기 입력의 신호 세기는 그림 11, 12와 같이 고주파 $-70 \sim -35$ dBm 입력 시 로그검파기 1은 $-45 \sim -10$ dBm이며, 고주파 $-35 \sim 0$ dBm 입력 시 로그검파기 2는 $-45 \sim -10$ dBm의 신호가 입력될 수 있도록 하였다. 그림 11에서 나타나는 -35 dBm 이상의 대역내 주파수별 신호 입력 시 발생하는 비선형 요소를 제거하는 방법은 고주파부의 제한기 기능을 이용하는 방법도 있으나, 본 논문에서는 비디오회로의 로그검파기 출력에서 클램핑 연산증폭기를 이용하는 방법을 적용하였다.

2-4 가산 회로 설계

그림 11, 12의 로그검파기 입력에 따른 출력은 각

그림 13. 클램핑 연산증폭기 회로도
Fig. 13. Clamped op-amp circuit.

그림 16. 비디오 출력 곡선
Fig. 16. Video output curve.

III. 제작 및 측정 결과

3-1 고주파출력 특성 측정 결과

SDLVA 제작은 그림 17와 같이 유전율 3.38의 RO-4003 12 mil 기판과 입출력 단자로 SMA 커넥터를 이용하였으며, 고주파부와 비디오부 사이의 격리 특

그림 14. 클램핑 처리된 로그검파기 1의 출력 전압
Fig. 14. Clamped detector 1's output voltage.

그림 15. 클램핑 처리된 로그검파기 2의 출력 전압
Fig. 15. Clamped detector 2's output voltage.

각 연산증폭기를 이용한 가산 회로의 입력이 된다. 이 때 그림 11의 비선형 출력 부분과 그림 12의 입력 신호 -35 dBm 이하의 출력 값은 그림 13과 같은 클램핑 연산증폭기를 이용하여 V_H 값과 V_L 값 사이에서 클램핑한다. 따라서 실제 가산되는 전압값은 그림 14, 15와 같이 선형적인 특성만을 가지게 되며, 최종 비디오 출력은 그림 16과 같다.

① RF 출력부 ② RF 검출부 ③ Sum 회로 ④ 전원부

그림 17. 제작된 SDLVA 사진
Fig. 17. Fabricated SDLVA picture.

그림 18. SDLVA 고주파 특성 출력 결과
Fig. 18. Measured RF output power result.

성을 높이기 위하여 격벽을 이용하여 차폐하였다.
 측정된 SDLVA의 고주파 출력은 그림 18과 같이 -70 dBm의 신호 입력 시 3.2 dBm 이상의 출력을 나타내고 $-60 \sim 0$ dBm 신호 입력 시 10.1~12.2 dBm의 출력 특성을 보여준다.

3-2 비디오 출력 특성 측정 결과

그림 19. 클램핑 연산증폭기 사용 전 비디오 출력 곡선
 Fig. 19. Video output before use clamping op-amp.

그림 20. 클램핑 연산증폭기 사용 전 선형성 곡선
 Fig. 20. Linearity curve before use clamping op-amp.

그림 21. 클램핑 연산증폭기 사용 후 비디오 출력 곡선
 Fig. 21. Video output after using clamping op-amp.

그림 22. 클램핑 연산증폭기 사용 후 선형성 곡선
 Fig. 22. Linearity curve after using clamping op-amp.

SDLVA의 비디오 출력은 그림 19, 21과 같이 고주파 입력 대비 비디오 출력의 응답으로 표현된다. 선형성은 계산된 식을 차트로 표현하여 그림 20, 22와 같이 나타내었다. 클램핑 연산증폭기의 사용 후의 선형성은 ± 1.0 dB 이하의 목표치를 만족하고 있다. 그러므로 고주파부의 포화 특성의 영향을 클램핑 연산증폭기의 사용으로 제거하였을 때 비디오 출력의 선형성이 개선되었음을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 0.5~2.0 GHz에서 사용 가능한 SDLVA를 설계 및 제작하였다. $-70 \sim 0$ dBm의 입력 동적 범위를 가지며, 25 mV/dB ± 1.0 mV의 기울기 특성과 ± 1.0 dB 이하의 비디오 선형 특성을 갖는다. 클램핑 연산증폭기를 사용한 비디오 가산 회로의 적용으로 진폭 비교 전과 방향 탐지의 중요 요소인 선형성 특성이 개선되었다. 위상 비교 전과 방향 탐지를 위한 고주파 단자의 출력 특성은 -70 dBm 입력 시 최소 3 dBm 이상의 출력 특성을 나타내고, $-60 \sim 0$ dBm 입력 시 10.1~12.2 dBm의 포화 출력 특성을 갖는다. 향후 본 논문에서 연구 개발한 0.5~2.0 GHz SDLVA 설계 기술을 바탕으로 광대역 증폭기 및 광대역 고주파 검출기 연구를 지속하여 2~6 GHz, 6~18 GHz, 2~18 GHz의 SDLVA를 개발할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 장우진, 김성일, 주철원, 이경호, 김해천, 국방전자 분야 기술 동향, 전자통신 동향 분석, 24(6),

2009년 12월.

- [2] James J. Komiak, Robert Actis, Wendell Kong, and Kirby Nichols, "Broadband SDLVA, SGA, SDGV-GA, and vector modulator elements for intelligent RF microsystems", *IEEE MTT-S International*, vol. 2, pp. 809-812, 2004.
- [3] 이일근, 박동철, 유태선, 명로훈, 임중수, 조용희,

강희창, 레이더 공학과 전자전 응용, 대영사, pp. 258-267, 2006.

- [4] 양정숙, "Detector logarithmic amplifier 설계", 충남대학교 공학석사 논문, pp. 9-16, 2000년 12월.
- [5] 김민지, "넓은 dynamic range를 갖는 RF Detector의 설계", 서강대학교 공학석사 논문, pp. 16-19, 2000년 12월.

박 종 설

1990년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년~2000년: (주)케이엠더블유 연구소 근무
 2000년 1월~현재: (주)유텔 연구소 근무
 [주 관심분야] 초고주파 레이더, 마이크로웨이브 무선 통신

김 점 식

1995년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 1995년 4월~현재: LIGNEX1 구미 연구소 수석연구원
 [주 관심분야] 초고주파 회로 설계, 능동 위상 배열 시스템

김 종 건

1998년 2월: 국방대학원 무기체계 (공학석사)
 1990년 2월~현재: 국방기술품질원 서울센터 전투물자연구팀 선임연구원
 [주 관심분야] 레이더 시스템, 레이더 신호 처리, M&S