

## LPA용 캐비티 지연 필터 모듈의 신호 상쇄 특성 연구

권영만, 이기희, 서태원\*, 구경현

인천대학교 전자공학과 전화: (032) 770-8446 / 팩스: (032) 761-9961

\* 에이스테크놀로지 전화: (032) 810-2450 / 팩스: (032) 810-3939

### Signal Cancellation Characteristics of Cavity Delay Filter Module for LPA

Young Man Kwon, Ki Hoy Lee, Tae Won Seo, and Kyung Heon Koo

Dept. of Electronics Eng., Univ. of Incheon, Incheon, 402-749, Korea

E-mail : ymking@aceteq.co.kr

### Abstract

A cavity delay filter module for IMT-2000 LPA has been developed with 0.9dB insertion loss, 0.1dB/0.6° gain/phase flatness. Broadband signal cancellation of the module has been simulated using the measured S parameter, and gain, phase and group delay have been matched to satisfy the signal cancellation of the module. In the experiment, the value of designed parameters are used and 40dB signal cancellation has been obtained over 100MHz bandwidth. Also the sampling cancellation has been shown to be the similar performance of the feedforward output cancellation.

### I. 서론

선형 전력 증폭기시장이 GSM, PCS, IMT-2000에서 WCDMA로 확대되면서 피드포워드 증폭기 시스템에 사용되는 고출력의 지연 소자가 요구되고 있다. 기존에는 동축케이블을 이용하여 지연 구조를 만들었으나, 최근 캐비티 지연 필터를 이용 매우 다양한 형태의 필터 모듈을 이용한 피드포워드 증폭기로 개발되고 있는 상황이다. 캐비티 지연 필터의 경우 제작하기가 어려우나, 동축케이블과 비교하여 우수한 삽입 손실 특성을 갖기 때문에 시스템 업체 및 선형 전력 증폭기 제조 부품 업체에서도 그 수요가 증가하고 있다[1][2].

피드포워드 지연 소자로서 캐비티 지연 필터 모듈은 지연 값이나 요구되는 방향성 결합기의 개수

및 요구특성에 따라 매우 다양하다. 그러나 캐비티 지연 필터 모듈의 핵심 구조는 공동 지연 필터와 에러인가 결합기, 샘플링 결합기로 구성된다. 이러한 캐비티 지연 필터 모듈은 피드포워드 궤환 루프의 위상 및 이득 제어를 통해 IMD 제거용으로 피드포워드 출력단에 장착된다. 파일럿 신호를 이용하는 피드포워드 증폭기 시스템의 경우 파일럿 신호 상쇄에 따른 제어 파라미터를 이용함으로써 캐비티 지연 필터 모듈에서 파일럿 샘플링 결합기의 광대역 신호 상쇄 특성 또한 중요한 비중을 차지하고 있다.

### II. 피드포워드 증폭기 해석

낮은 IMD 규격에 따라 다양한 피드포워드 설계

방식이 제시되었지만 고전력 및 저전력 증폭부의 지연 특성을 형성하는 케환 루프의 구조는 매우 유사하다. 피드포워드 방식은 그림 1에 나타나 있는 블럭도처럼 두 개의 케환 루프를 이용하여 왜곡된 신호를 제거한다. Loop 1에서는 예러 인가시 왜곡 신호의 감쇄를 위해 -30dB 이상 주신호를 제거하여야 한다. Loop 1에서는 IMD 모니터링용 파일럿 신호가 인가된다. Loop 2에서는 주신호와 왜곡신호를 결합시켜 최종 왜곡 성분을 제거한다[1][2].

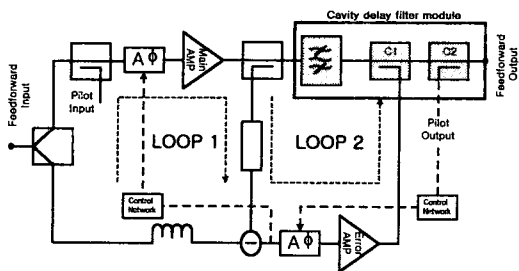


그림 1 피드포워드 증폭기 블럭 다이어그램

피드포워드 증폭기 출력단에서 신호 감쇄 레벨 (suppressed signal level)은 진폭과 위상의 부정합 ( $\Delta A$ 와  $\phi$ ) 및 주신호 제거량의 함수로서 표현된다 [1][2][3][4].

$$R(dB) = 10 \cdot \log \left( \left| 1 + 10^{\frac{\Delta A(dB)}{20}} - 2 \cdot 10^{\frac{\Delta A(dB)}{20}} \cdot \cos(\phi) \right| \right) \quad (1)$$

그림 2에서는 이득과 위상 차이에 따른 신호 상쇄 관계를 나타내었다. 일반적으로 피드포워드 증폭기의 경우 -20dB에서 -40dB 범위의 IMD 감쇄량을 가지며, 0.1dB의 이득 부정합과 약 1°의 위상 부정합인 경우 -40dB 신호 상쇄를 얻을 수 있다[2].

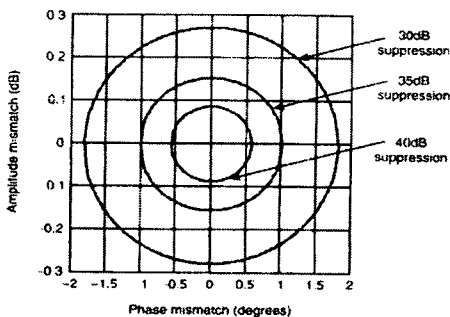


그림 3 이득과 위상차이에 따른 상쇄 특성

그러므로 광대역의 신호 상쇄를 구현하기 위해서는 그림 1에 나타나 있는 케비티 지연 필터 모듈 경로와 Loop 2 경로 사이에 다음 조건을 만족시켜야 한다.

- ▶ 동일한 이득
- ▶ 180°의 위상차
- ▶ 동일한 지연 특성

회로의 지연 특성은 주파수에 따른 위상의 변화율로 정의된다[1][5][6].

$$\tau = - \frac{\Delta\phi}{\Delta\omega} \quad (2)$$

피드포워드 증폭기의 경우 시간 지연 특성의 오차가 발생할 경우 좁은 주파수 대역에서만 신호 상쇄 특성이 나타나므로 샘플링 포트의 파일럿 신호 상쇄 특성을 정확히 파악할 수 없다.

### III. 케비티 지연 필터 모듈 설계

일반적으로 동축케이블과 케비티 지연 필터 [5][6][7]가 지연 소자로서 사용된다. 동축케이블은 동작온도와 고출력에 있어 안정적이면서 선형적인 위상 특성을 가진다는 장점 때문에 많이 이용되었다[8]. 그러나 최근에는 케비티 지연 필터의 경우 이와 같은 신뢰성 측면이 많이 개선되었고, 반면에 큰 부피와 높은 삽입손실 그리고 접지의 어려움등 동축케이블이 지니는 단점을 보완하였다.

표 1. 지연 소자에 따른 삽입 손실 비교

종류	케비티 필터	Delay Line (Coaxial cable)		비고
		F141	F85	
손실(dB)	0.3	1.0	2.8	$\tau = 13 \text{ ns}$ at 2140MHz

표 1에서는 13ns의 케비티 지연 필터와 세미리지드 동축케이블의 삽입 손실을 비교하였다. 그림 3에는 제작된 케비티 지연 필터의 이득 및 위상특성이 나타나 있다.

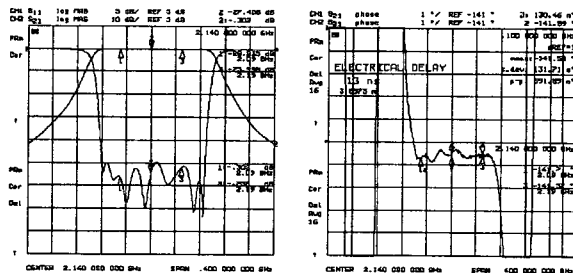


그림 2 케비티 지연 필터의 주파수 특성

본 연구에서 설계된 캐비티 지연 필터 모듈은 캐비티 지연 필터와 에러인가 및 파일럿 검출용 방향성 결합기로 설계하였으며(그림 4), 100MHz의 대역폭과 0.9dB 이하의 삽입손실, 13ns의 지연특성을 가지며, 전 대역에서 0.1dB 이하의 이득 평탄도 및 1도 이내의 위상 선형성을 갖도록 제작하였다. 그림 5는 모듈의 주파수 응답 특성이다.

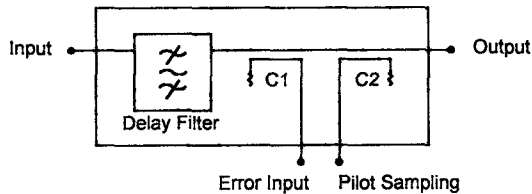


그림 4 캐비티 필터 모듈의 블록 다이어그램

각각의 방향성 결합기는 인접한 방향성 결합기 사이의 신호 누설(Leakage) 및 접지 문제에 의해 야기 될 수 있는 불필요한 상호간섭(cross-talk)을 방지하기 위해서 각 부품들을 구조적으로 완전히 격리하고자 하였다. 이를 통하여 파일럿 신호 검출 시 야기될 수 있는 대역내 주파수 응답 오차를 제거하였다[9].

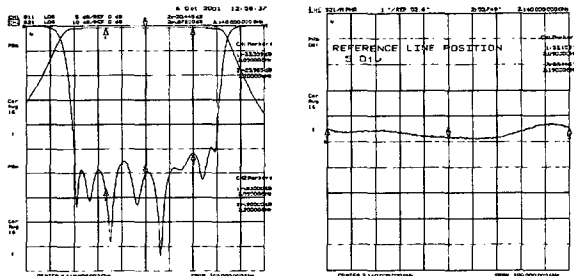


그림 5 필터 모듈의 주파수 특성

#### IV. 광대역 신호 상쇄

캐비티 지연 필터 모듈의 광대역 신호 상쇄 특성에 따라 피드포워드 증폭기의 성능이 결정되므로, 제작한 모듈로 아래와 같은 특성을 검증하였다. 첫째로 모듈의 광대역 신호 상쇄가 일어나는가? 둘째로 출력포트와 샘플링 포트의 신호 상쇄 경향이 동일하게 일어나는가?

첫 조건을 만족시키기 위해서 그림 1의 Loop 2 부분을 시뮬레이션하였다. 실제 모듈의 S parameter를 이용 시뮬레이션한 결과 -40dB 광대역 신호상쇄 특성을 얻기 위해 -128도의 위상 값과 -9.1dB의 이득 조절이 필요하였다(그림 6).

두 번째 조건을 만족시키기 위해서는 샘플링 방향성 결합기가 에러인가 결합기와 상호 간섭이 일어나지 않도록 완전 격리시켜 주 전송 선로만을 통해서 결합이 일어나도록 설계하였다.

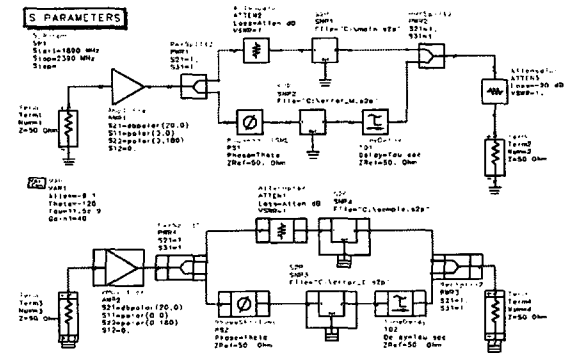


그림 6. 시뮬레이션 블록 다이어그램

그림 7의 시뮬레이션 결과 -40dB 신호 상쇄가 가능하였으며, 샘플링 결합기의 광대역 신호 상쇄 특성은 매우 작은 신호에서 검출되어 측정된 S 파라미터의 이용으로 다소의 오차가 있으나 두 번째 조건이 만족되는 것을 알 수 있다. 측정에서는 이를 보완하기 위하여 그림 8과 같이 모듈 앞에 증폭기를 장착하여 작은 결합단자의 출력을 측정하였다. 그림 9에 모듈의 출력단과 샘플링 출력단의 광대역 신호 상쇄 결과를 제시하였다. 여기서 위에 있는 모듈 출력단의 광대역 신호 상쇄 응답과 아래쪽의 샘플링 출력단의 응답이 약 5dB 차이로 일정하다. 이 차이는 샘플링 결합기의 결합계수와 신호 감쇄기의 결합계수의 차에 따른 값이다.

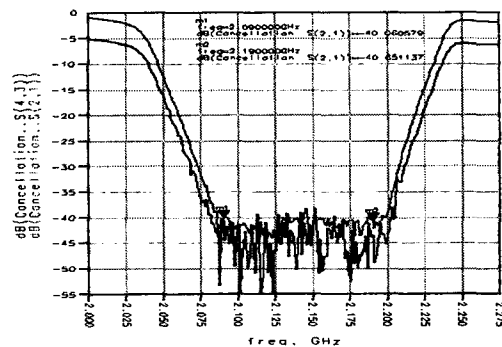


그림 7. 시뮬레이션을 통한 광대역 신호 상쇄 결과

#### V. 결론

본 연구에서는 100MHz 통과 대역 내에서 0.9dB의 삽입손실과 0.1dB의 이득평탄도 및 13ns의 군지

연과 1°의 위상평탄도를 갖는 캐비티 필터 모듈을 설계 제작하여 광대역 신호 상쇄 특성을 얻었다.

제작한 모듈의 S 파라미터를 이용한 시뮬레이션 결과 위상과 이득이 -128도 및 -9.1dB일 경우 40dB 이상의 광대역 신호 상쇄가 일어난다. 이 값을 토대로 피드포워드 증폭기 출력과 파일럿 출력의 광대역 신호 상쇄 특성을 구현하였으며, -40dB 이하로 시뮬레이션 결과와 동일한 결과를 얻었다.

본 연구에서 시뮬레이션을 통해 얻어진 데이터는 피드포워드 증폭기에서 요구되는 위상 및 이득 제어 회로에 대한 정합 기준으로 유용하게 이용될 것으로 기대된다.

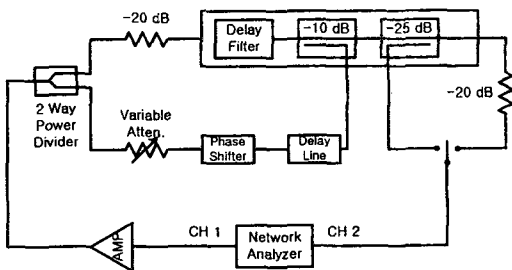


그림 8. 광대역 신호 상쇄 측정 셋업

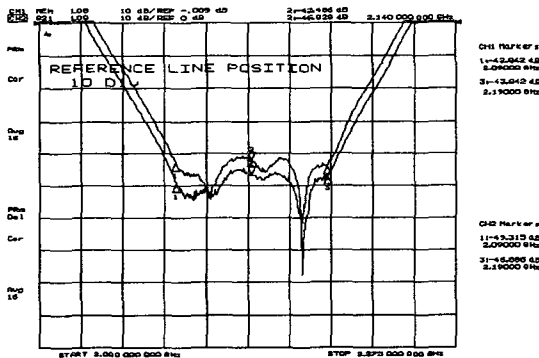


그림 9. 캐비티 지연 필터의 광대역 신호 상쇄 특성

[4] William T. Thornton, Lawrence E. Larson, "An improved 5.7GHz ISM-Band feedforward amplifier utilizing vector modulators for phase and attenuation control," *Microwave Journal*, Dec. 1999.

[5] John B. Ness, "A unified approach to the design, measurement and tuning of coupled-resonator filters," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 46, No. 4, April. 1998.

[6] John B. Ness, "Alignment of cross-coupled resonator filters using the group delay technique," *Microwave and optical technology letters*, Vol. 18, No. 3, June 20 1998

[7] 박규호, 강택현, 안달, "선형증폭기용 지연선 여파기 개발," 2000년도 춘계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, Vol. 23 No. 1 2000/5/20

[8] K&L Microwave Inc, "Cavity and surface-mount delay line filters for feedforward power amplifiers," *Microwave Journal*, Sept. 1999.

[9] Barney Arntz, "Second order effects in feedforward amplifiers," *Applied Microwave & Wireless*, Jan, 2000.

### 참고 문헌

[1] Nick Pothecary, *Feedforward Linear Power Amplifiers*, Artech House, 1999.

[2] 권영만, 이기희, 서태원, 구경현, "광대역 LPA 신호 상쇄용 지연선 필터 모듈 개발에 관한 연구," 2001년도 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, Vol. 24, No. 1 2001/5/12

[3] Jianyi Zhou, Limin Feng, Xiaowei Zhu, Wei Hong, "Design of an ultralinear wideband feedforward amplifier using EDA tools," *Microwave Journal*, Jan. 2000.