

동일 군속도 지연 신호상쇄기를 이용한 광대역 Feedforward 증폭기 설계

정용채*, 안달**, 김홍기***, 김철동***, 장익수****

*전북대학교 공과대학 전자정보공학부, **순천향대학교, ***세원텔레텍㈜, ****서강대학교
전화: (063) 270-2458 / 팩스: (063) 270-2461

A Design of Ultra Wide-Band Feedforward Amplifier using Equal Group-Delayed Signal Canceller

Yong-Chae Jeong, Dal Ahn, Hong-Gi Kim, Chul-Dong Kim, Ik-Soo Chang

*School of Electronics & Information Eng., Chonbuk National University,

Soonchunhyang University, *Sewon Teletech Inc., ****Sogang University

E-mail : ycjeong@chonbuk.ac.kr

Abstract

In this paper, a new signal canceller that matches the out-of-phase and the same group delay between two path signals simultaneously is proposed. The simultaneous matching of the out-of-phase and the group delay time between two paths can make wideband signal cancellation possible. Feedforward linearizing power amplifier that adopt the proposed signal cancellers is fabricated on IMT-2000 band. The main signal cancellation loop of the fabricated feedforward amplifier with the proposed signal cancellers cancel input signal more than 26.3dB and the intermodulation distortion signal cancellation loop cancel more than 15.2dB for 200MHz bandwidth.

I. 서론

언제, 어디서나, 누구든지 원하는 정보를 주고 받기를 원하는 통신의 진화는 이전보다 광대역 채널 대역폭과

선형화된 변조 방식을 요구하게 되었다. 특히 최근 사용되고 있는 이동 통신 시스템은 한정된 주파수 자원의 효율적 사용을 위해 QPSK, QAM 과 같은 선형 변조 방식 등을 사용한다. 이런 변조 방식들은 RF 신호의 최대 전력 대 평균 전력비가 크고, 포락선 변동이 심한 특성을 가지고 있어서 선형성이 좋은 전력증폭기를 필요로 한다. 그러나 전력증폭기를 설계할 때에는 높은 효율과 높은 출력 전력을 얻기 위해 증폭기의 비선형 특성이 강한 포화 영역 근처에서 동작시키는 것이 일반적이는데, 이로 말미암아 전력증폭기의 선형성이 나빠지게 된다. 이는 매우 좋은 선형성을 요구하는 통신 규격의 진화와 배치되는 것으로 매우 좋은 전력 효율과 선형성을 갖는 전력증폭기 설계 기술을 요구하게 된다 [1][2].

중전에도 Feedforward 전력증폭기의 동작 주파수 대역폭을 넓히기 위해 군속도 지연 선로에 위상 왜곡이 있게 하는 방법을 시도하였다. 그러나 동작 대역폭이 넓지 않았고, 구현 자체도 쉽지 않았으며, 전력 증폭기의 위상 왜곡 특성이 동작 조건에서 일정하지 않으므로 항상 일정한 선형화 개선 효과를 기대하기 힘든 단점이

있다^[3]. 또한 여러 단의 하이브리드 결합기를 신호 상쇄기로 사용하는 연구도 있었으나, Feedforward 전력 증폭기의 첫째 루프에만 적용하였고, 더 넓은 대역폭을 요구하는 둘째 루프 결합기에는 적용되지 않았다^[4]. 이는 결합기가 높은 전력을 다룰 수 있어야 했고, 결합기의 삽입손실과 큰 부피가 문제가 되기 때문이다.

본 논문에서 Feedforward 선형전력증폭기를 구현할 때 간과하고 있는 두 경로 사이의 군속도 지연(Group delay) 불일치에 의한 동작 대역폭의 한계점을 제시하고, 이를 해결할 수 있는 새로운 신호상쇄기를 제안하였다. 또한 제안된 상쇄기의 효용성을 보이기 위해 광대역 Feedforward 전력증폭기를 구현하여 기존보다 동작대역의 확장이 일어남을 보일 것이다.

II. 광대역 Feedforward 증폭기 설계

1) Feedforward 등가 루프 분석

기본적으로 Feedforward 방식 선형화기는 동일한 동작원리를 갖는 두 개의 루프로 구성되어 있으며, 동일한 주파수 성분을 갖는 신호 성분들을 제거하는 것으로 성격을 정의할 수 있겠다. 주 신호 상쇄 루프와 혼변조 신호 상쇄 루프로 이루어진 Feedforward 전력증폭기를 효과적으로 분석하기 위해 그림 1 과 같은 등가 루프를 제안할 수 있다. 이때 두 경로의 신호들은 τ_1 과 τ_2 만큼의 시간 지연 후에 신호 상쇄기에 인가된다고 가정하자.

$$\begin{aligned} V_1 &= V_{1m} \cos(\omega_o t - \phi), \\ V_2 &= V_{2m} \cos(\omega_o t - \theta) \end{aligned} \quad (1)$$

이때, $\phi = \omega_o \tau_1$ 이고 $\theta = \omega_o \tau_2 = \phi + \pi + \Delta\phi$ 이다. 경로 1 과 경로 2 사이에 $\tau_2 = \tau_1 + \Delta\tau$ 만큼의 지연 시간차가 있다면, 신호 상쇄기에서의 완전 신호 상쇄조건은 다음과 같다.

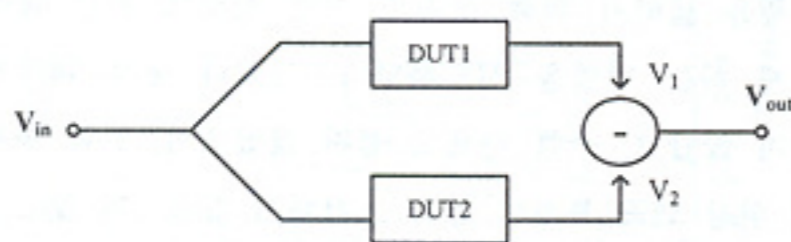


그림 1. Feedforward 선형전력증폭기의 등가 루프

$$V_{1m} = V_{2m} \quad (2)$$

$$\theta - \phi_{\Delta\phi=0} = \pi = \omega_o(\tau_2 - \tau_1) = \omega_o \Delta\tau \quad (3)$$

중심주파수에서 완전 신호 감쇄를 위한 두 경로간의 군속도 시간차는 다음과 주어진다.

$$\Delta\tau = \pi/\omega_o = 1/2f_o \quad (4)$$

만약 신호 주파수가 바뀐다면, 완전 신호 상쇄를 위한 경로간 군속도 지연시간 역시 바뀌어야 한다. 따라서 대역폭을 갖는 신호들을 선형 증폭해야 하는 Feedforward 증폭기인 경우, 역위상과 군속도 지연을 동시에 만족시킬 수 없어 신호상쇄에 있어 주파수 제한 특성이 제기된다.

2) 동일 군속도 지연 신호상쇄기 설계

이전에는 Feedforward 증폭기의 신호 상쇄기로 주 신호제거 루프에서는 Wilkinson 결합기나 3dB 하이브리드가, 혼변조 왜곡 신호 제거 루프에서는 약한 결합도를 갖는 하이브리드들이 주로 사용되었다. 그러나 이러한 회로들로는 모든 동작 주파수 대역에서 역 위상과 군속도 지연을 동시에 만족시킬 수 없다.

그림 2 는 종단이 단락 및 개방된 전송선로를 보이고 있다. 만약 전송선로의 전기적 길이가 같다면, 입력 단의 반사 신호들을 살펴보면 각각 $1e^{j2\theta}$, $-1e^{-j2\theta}$ (또는 $1e^{j(2\theta+\pi)}$)이 된다. 그러나 동일한 군속도 지연을 경험하게 된다. 이때 입력 신호의 조건과 전송선로의 전기적 관계없이 항상 역 위상을 얻을 수 있다.

그림 3(a)는 본 논문에서 제안하는 주 신호 상쇄기 회로를 보이고 있다. 동일 진폭과 위상을 갖는 두 입력 신호는 결합단(coupling port)과 전송단(through port)이 각각 단락 및 개방된 3dB 하이브리드 회로에 인가된다. 인가된 신호는 격리단(isolation port)으로 전달되며, 출력된 신호들을 동위상 결합기에 인가하면

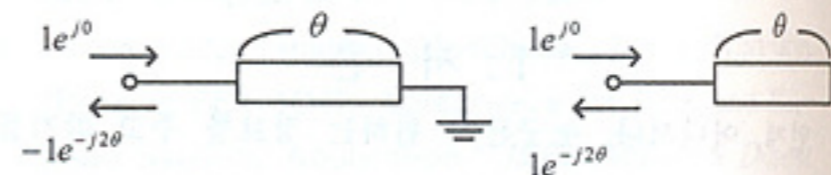
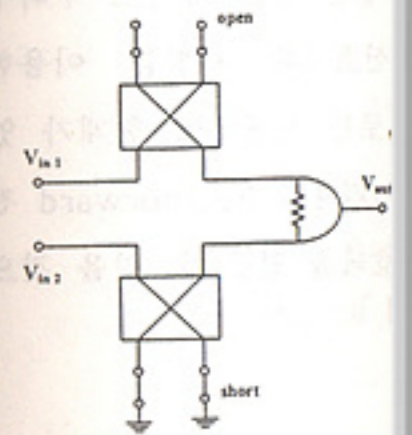


그림 2. 단락 및 개방 전송선로의 반사 신호 비교

출력 단에서는 입력 신호와 동위상 결합기에 인가된 3dB 하이브리드 회로를 가산 상쇄기 회로와 입력 단에 커패시턴스 정합을 위한 것이다.

그림 3(b)는 본 논문에서 제안하는 신호 상쇄기 회로를 보이고 있다. 동일 삽입 손실의 차만큼 진폭은 결합단과 전송단이 각각 3dB 하이브리드 회로에 인가된다. 이 때 출력된 결합단과 전송단도 지연을 얻으며 합성된다.



(a)

그림 3. (a) 제안하는 주 신호 상쇄기 회로 (b) 제안하는 혼변조 신호 상쇄기 회로

III. 실험 결과

본 논문에서 제안한 동위상 상쇄기를 이용한 Feedforward 전력증폭기 위해 중심 주파수를 1GHz로 하여 여러 증폭기, 가변 감쇠기, 가변 위상기, 그리고 혼변조 신호 상쇄기, 그리고 혼변조 왜곡 신호 상쇄기를 제작하였다. 또한 종래의 Feedforward 전력증폭기와의 비교를 위해 주 신호 상쇄기, 혼변조 왜곡 신호 상쇄기, 가변 감쇠기, 가변 위상기, 비교의 편차를 0.1dB로 하여 특성 비교를 제작된 주 증폭기와 비교하였으며, 동작 대역에서 0.1dB 이하의 반사계수를 얻었다. 가변 감쇠기와 가변 위상기

(2) 출력 단에서는 입력 신호가 완전히 상쇄된다. 이때
 (3) 3dB 하이브리드 회로를 사용한 것은 제안한 주 신호
 상쇄기 회로와 입력 단에 존재하는 다른 회로와의 임피
 던스 정합을 위한 것이다.
 (4) 그림 3(b)는 본 논문에서 제안하는 혼변조 왜곡 신
 호 상쇄기 회로를 보이고 있다. 결합기의 결합 계수와
 삽입 손실의 차만큼 진폭 차이가 나는 두 입력 신호들
 은 결합단과 전송단이 각각 단락 및 개방된 3dB 하이
 브리드 회로에 인가된다. 인가된 신호는 격리단으로 전
 달되는데 이때 출력된 결합기에서 역위상 및 동일 군속
 도 지연을 얻으며 합성된다.

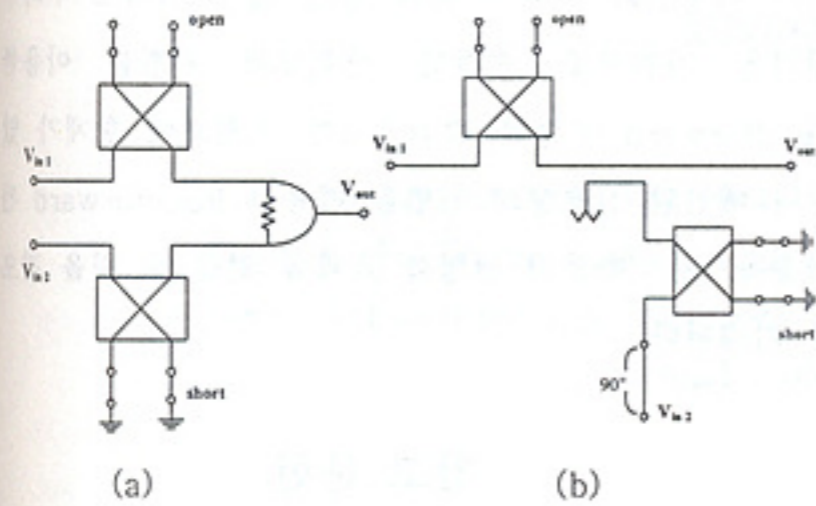


그림 3. (a) 제안하는 주 신호 상쇄기의 회로도
 (b) 제안하는 혼변조 신호 상쇄기의 회로도

III. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 동일 군속도 지연 신호상쇄기들
 을 이용한 Feedforward 전력증폭기의 타당성을 보이
 기 위해 중심 주파수를 2.14GHz 로 하는 주 증폭기,
 예러 증폭기, 가변 감쇠기, 가변 위상변환기, 제안한 주
 신호 상쇄기, 그리고 혼변조 왜곡 신호 상쇄기를 제작
 하였다. 또한 종래의 Feedforward 전력증폭기와 특성
 비교를 위해 주 신호 상쇄를 위한 Wilkinson 결합기와
 혼변조 왜곡 신호 상쇄를 위한 10dB 결합기를 아울러
 제작하였다. 비교의 편의성을 위해 대역폭은 ± 100
 MHz로 하여 특성 비교를 하였다.

제작된 주 증폭기와 예러 증폭기는 4 단으로 구성되
 으며, 동작 대역에서 44.7 ± 0.3 dB 이득과 -14 dB
 이하의 반사계수를 얻었다. 1dB 압축점은 28.7dBm 이
 었다. 가변 감쇠기와 가변 위상 변환기를 제작하였는데

3dB 하이브리드를 사용하여 반사형으로 구현하였는데
 이는 광대역에서 좋은 반사특성을 얻기 위한 것이다.
 가변 감쇠기는 15dB의 감쇠 범위를 가지며, 가변 위상
 변환기는 120° 의 위상 변환 범위를 가진다.

그림 4는 측정에 사용된 Feedforward 전력 증폭
 기의 블록도를 보이고 있다. 상용 Feedforward 전력증
 폭기의 루프 군속도가 평균 15nsec 정도라서 실제의
 상황과 맞추기 위해 주 신호 제거루프와 혼변조 왜곡
 신호 제거 루프의 공통 경로에 군속도가 10nsec 인 동
 속케이블을 두어 각 루프의 군속도 지연 시간이
 16nsec 정도가 되게 하였다.

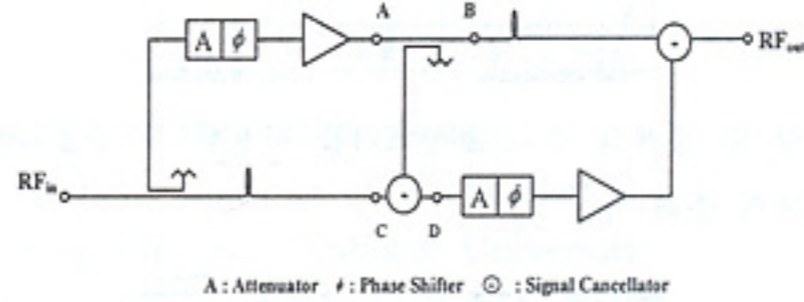


그림 4. 제작된 Feedforward 증폭기의 블록도

그림 5는 종래의 주 신호상쇄기를 사용하여 주 신호
 제거 루프의 신호 제거 특성을 보인 것이다. 측정 결과
 ± 100 MHz 대역에서 16.4dB 이상의 신호 상쇄를 얻었
 다. 그림 6은 제안된 주 신호상쇄기를 사용한 주 신호
 제거 루프의 신호 제거 특성을 측정한 것으로 \pm
 100MHz 대역에서 26.3dB 이상의 신호 상쇄 효과를
 얻었다. 특히 20dB 이상의 신호 상쇄를 얻는 대역폭이
 300MHz 이상이 되었다. 그림 7은 종래의 혼변조 왜
 곡 신호상쇄기를 사용하여 혼변조 왜곡 신호 제거 루프
 의 신호 제거 특성을 회로망 분석기로 측정한 것으로
 측정 결과 ± 100 MHz 대역에서 11.7dB 이상의 신호
 상쇄를 얻었다. 그림 8은 제안된 혼변조 왜곡 신호상
 쇠기를 사용한 혼변조 왜곡 신호 제거 루프의 신호 제
 거 특성을 측정한 것으로 ± 100 MHz 대역에서 15.2dB
 이상의 신호 상쇄를 얻었다. 특히 20dB 이상의 신호
 상쇄를 얻는 대역폭은 종래의 94MHz 에서 173MHz
 로 확대되었다.

IV. 결론

본 논문에서는 새로운 형태의 신호 상쇄회로를 제안하였다. 이 상쇄 회로는 원천적으로 전력, 역 위상, 그리고 군속도 지연 정합을 동시에 만족시키는 것이 가능하며 따라서 광대역 Feedforward 전력증폭기의 구현에 적합하다. 현재 통신 서비스가 임박한 IMT-2000,

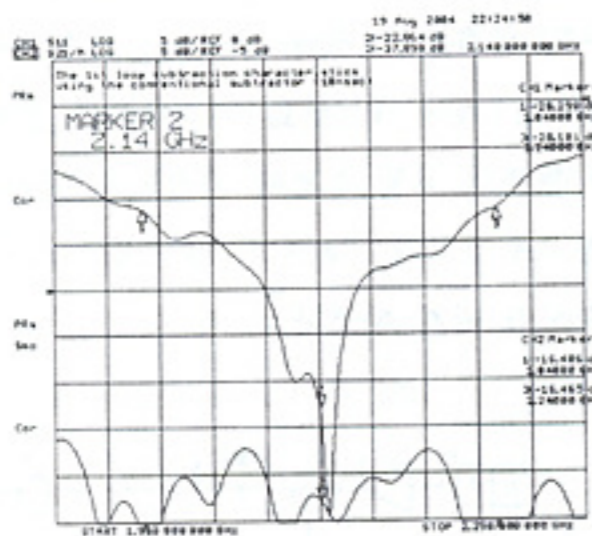


그림 5. 종래의 주 신호상쇄기를 사용한 주 신호 제거 루프의 출력 특성

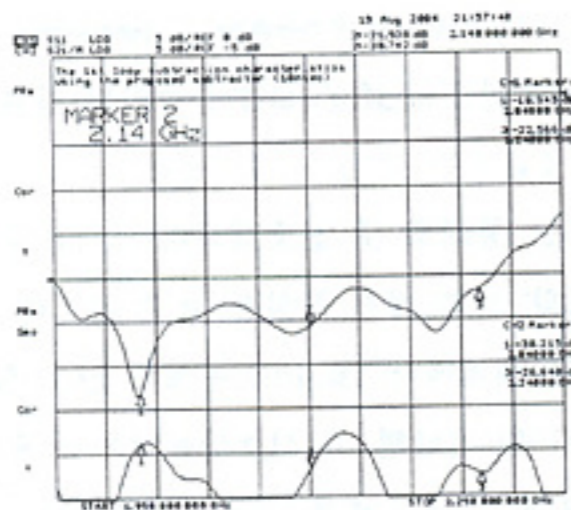


그림 6. 제안된 주 신호상쇄기를 사용한 주 신호 제거 루프의 출력 특성

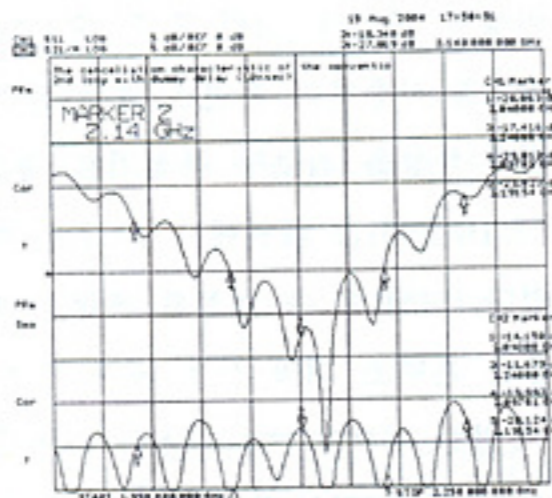


그림 7. 종래의 혼변조 왜곡 신호상쇄기를 사용한 혼변조 왜곡 신호 제거 루프의 출력 특성

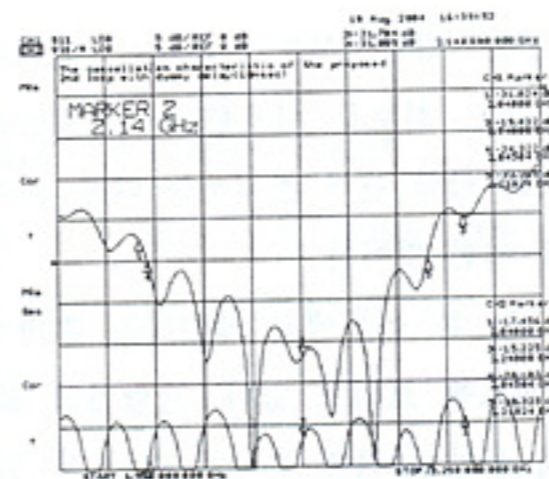


그림 8. 제안된 혼변조 왜곡 신호상쇄기를 사용한 혼변조 왜곡 신호 제거 루프의 출력 특성

휴대 인터넷, OFDM 을 이용한 Wireless LAN 등은 종전의 이동전화 서비스 보다 훨씬 넓은 서비스 주파수 대역을 가지므로 종전의 신호상쇄 기법을 이용한 Feedforward 선형화 방식으로는 선형화에 한계가 있으나 제안된 신호상쇄 기법을 적용한 Feedforward 전력증폭기는 충분히 선형화 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Fredric H. Raab, Peter Asbeck, Steve Cripps, Peter B. Kennington, Zoya B. Popovic, Nick Pothecary, John F. Sevic, Nathan O. Sokal, "Power Amplifiers and Transmitter for RF and Microwave," *IEEE Trans. on MTT*, vol. 50, no. 3, pp. 814-826, Mar. 2002.
- [2] 정용채, "이동통신기지국용 대전력 증폭기 설계 기술," 전자파기술, 14 권, 4 호, pp. 39-49, 2003년 10월.
- [3] Y. K. Gary Hau, Vasil Postoyalko, John R. Richardson, "Design and Characterization of a Microwave Feed-Forward Amplifier with Improved Wide-Band Distortion Cancellation," *IEEE Trans. on MTT*, vol. 49, no. 1, pp. 200-203, Jan. 2001.
- [4] Jim Cavers, "Wideband Linearization: Feedforward plus DSP," MTT-S 2004 WMD Workshop proceeding, 2004.

주요

국립금오공과대

A Design o

K
Dept. F
* Dept. o

In this paper, a 1 frequency down-con The harmonic gene generates the second distortion signals. used the extracted These signals are degree phase differen method, we tested 1FA signals. The IMD is improved Also, for CDMA adjacent channel 6.4dB at ±750KHz

최근 이동 통신