

# 적응성 간섭잡음제거기를 이용한 동일 주파수 중계기

김선진<sup>o</sup>, 이제영, 이종철, 김종현, 이병계, 김남영

광운대학교 전자공학과 RFIC Center

미션 테크놀로지 연구센터

E-mail : [nykim@daisy.kwangwoon.ac.kr](mailto:nykim@daisy.kwangwoon.ac.kr)

## On-Frequency Repeater using Interference Cancellation System

S. J. Kim<sup>o</sup>, J. Y. Lee, J. C. Lee, J. H. Kim, B. Lee, and N. Y. Kim

Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University RFIC Center

Mission Technology Research Center

### Abstract

In this paper, the cancellation or suppression of the feedback interference from Tx antenna using the same frequency is studied. The major problems on the wireless communication system using the same frequency or on-frequency repeater(OFR) are the coupling and isolation between Rx and Tx antenna. In order to increase the isolation between Rx and Tx antenna and to prevent the self-oscillation of the receiver system, this paper is verified the possibility of the application of interference cancellation system and proposed the design method of the OFR using interference cancellation system.

**Keyword** : interference, on-frequency repeater, interference cancellation, repeater

## 1. 서론

송신신호의 케환은 동일 주파수를 사용하여 송수신을 행하는 모든 무선통신 시스템에서 발생하는 현상이며, 이러한 케환신호는 무선통신장치의 기능을 약화시키는 주요한 원인이 된다. 특히, 동일 주파수를 사용하는 중계기(on-frequency repeater)가 가지는 중요한 결함의 하나는 동일한 주파수를 사용하기 때문에 발생하는 안테나 상호간의 결합을 문제이며, 결합을 문제를 해결하기 위하여 다양한 기법이 제안되고 있다.

본 논문은 송신 안테나로부터 출력된 무선 송신신호의 진폭, 위상 및 지연시간 변수가 지속적으로 변화하면서 수신단으로 케환된 케환신호를 제거할 수 있는 적응성 간섭잡음제거기에 관한 기술이며, 특히 동일 주파수 중계기(OFR)에서 안테나 상호간의 분리도를 향상하기 위하여 간섭잡음제거기를 이용할 수 있음을 검증하고

간섭잡음제거기를 이용한 동일 주파수 중계기의 설계 방안에 대한 연구이다.

## 2. 동일 주파수 중계기의 분리도

동일 주파수를 사용하는 중계기(on-frequency or the same frequency repeater)는 무선통신에서 발생하는 음영지역을 보완하거나 RF 신호영역에서 발생하는 공백(gap)을 보완하는 기능을 한다.

중계기는 주파수 제어(controlled)된 광대역 선형 RF 증폭기로서, 무선채널로부터 관련된 주파수 스펙트럼을 선택하여 증폭하고 필요한 음영지역으로 재방사(re-radiate)하는 기능을 가진다. 이러한 기능을 수행하는 중계기에서 고려하여야 할 주요한 요소는 다중 반송파 부하를 위한 전력, 안테나 상호간의 결합(coupling), 동시방송(simulcast), 서비스 영역(coverage), 시스템

균형 및 원근효과 등이다. 특히, 주파수 변환 및 복조 증계에 비하여 동일 주파수 증계기(OFR)가 가지는 중요한 결함의 하나는 동일한 주파수를 사용하기 때문에 발생하는 안테나 상호간의 결합율이다.

또한, 증계기의 최대 이득은 요구규격에 의한 제한 보다는 설치 및 운용에서 실현 가능한 안테나 사이의 분리도(isolation), 즉 도너 안테나(donor antenna)와 재방사 안테나(re-radiate or slave antenna) 사이의 분리도에 의하여 제한된다. 분리도를 결정하는 변수는 안테나의 전후방 비율(front-to-back ratio), 안테나 사이의 무선채널 감쇄량 및 안테나 사이의 지형지물이나 구조물에 의하여 발생하는 차폐 등이다.

동일한 주파수를 사용하여 송수신을 하는 증계기는 입력과 출력 안테나 사이의 주파수 분리도는 없으며, 수신신호와 재환된 재환신호의 결합에 의하여 발생하는 입력전압과 출력전압의 상관관계는 다음과 같다.

$$v_o(t) = \frac{F_g}{1 - F_g \cdot R_g} v_i(t) \quad (1)$$

$F_g, R_g$  은 각각 순방향 및 역방향의 전압 이득(gain)을 나타내며, 그림(1)은 OFR의 간단한 부궤환 블록도이다.

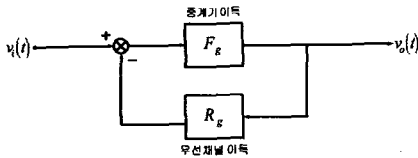


그림 1. OFR의 등가 부궤환 블록도

상기의 식에서 순방향 경로의 이득은 증계기의 이득과 동일하다고 가정하면 출력특성은 역방향 경로의 이득에 의하여 결정되며, 역방향 경로 신호가 순방향 경로 신호의 반파장 길이에 근접하거나 또는 안테나 결합율이 충분히 크지 않으면 재환간섭이 발생하여 수신기에 영향을 주게 된다. 즉, 식(1)에 의하면,  $|F_g^* \cdot R_g| \cong 1$  이 되는 경우에는 발진이 발생하게 된다.

이와같이 OFR의 설계 및 설치/운용에 있어서 직면한 주요한 문제는 시스템의 안정성을 위하여 송신기와 수신기 사이의 충분한 분리도를 확립하는 것이다.

분리도는 시스템의 안정도 여유(stability margin)로 알려진 변수로서 증계기의 전기적 이득보다 더 커야하며 무조건적 안정성을 가지기 위하여는 10~20 dB 정도가 커야만 한다. 그러므로, 안테나의 분리도는 증계기의 최대 이득을 제한하는 요인이 되며, 다음과 같은 상호

관계식을 가진다.

$$I > G + SM \quad (2)$$

단,  $I, G, SM$  은 안테나 분리도(dB), 증계기 이득(dB) 및 안정도 여유(dB)를 각각 나타내며, 안테나 분리도를 향상하기 위한 방안으로 제안된 간섭잡음제거기에 대한 최초의 적용 시스템은 Plessey의 군용 단일채널 증계기 Groundsat이며, 각도변조(angle-modulated) 방식이다.

### 3. 기존 방식의 간섭잡음제거기

그림(2)는 동일 주파수를 사용하는 증계기(OFR)의 송신 안테나에서 수신단으로 재환되는 재환간섭잡음을 제거하기 위하여 재환신호의 크기와 위상이 동진폭 및 역위상의 특징을 가지는 신호, 즉 재환신호를 제거하기 위한 대응신호(counterpart signal : 제거신호 또는 상쇄신호)를 생성하는 간섭잡음제거기와 이를 응용한 무선 증계기의 개략적 블록도이다.

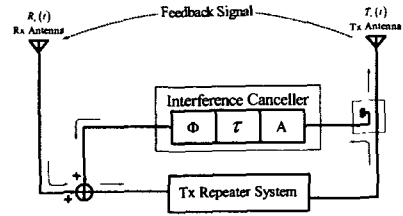


그림 2. 기존 방식의 무선증계 시스템

그림(2)의 구성 방식은 대응(상쇄)신호에서 설정한 고정변수에 의하여 설정한 대응신호와 동일한 진폭, 동일한 위상(역위상) 및 동일한 시간지연을 가지는 재환신호만을 제거할 수 있기 때문에 다양한 무선환경의 변화, 입출력신호의 진폭 및 위상의 변화 등에 적용하여 재환신호를 제거하는 것은 불가능하다.

### 4. AF-ICS의 구현 및 실험결과

#### 1. 신호결합기 및 상쇄율

신호의 상쇄기법을 이용한 신호결합기의 기본적 동작원리는 그림(3)과 같이 두개의 신호가 입력되는 경우에 하나의 입력신호를 기준신호로 하고 다른 하나의 신호는 기준신호에 대하여 동진폭 및 역위상을 취하여 입력하는 경우, 두 입력신호는 결합점에서 상호상쇄되어 출력신호가 나타나지 않는 효과를 이용한 것이다.

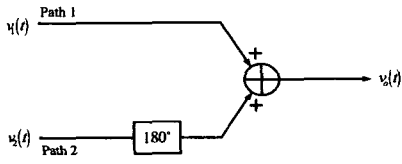


그림 3. 신호결합기의 개념도

그림에서 주경로 및 보조경로의 입력신호를  $v_1, v_2$  로 정의하는 경우, 입력신호의 동진폭, 역위상의 조건을 만족하면 다음의 식과 같이 출력은 “0”이 된다.

$$\begin{aligned}
 v_o(t) &= v_1(t) + v_2(t) \\
 &= A_1 \cos(\omega t + \theta_1) + A_2 \cos(\omega t + \theta_2) \Big|_{\substack{A_2=A_1 \\ \theta_2=\theta_1+180^\circ}} \quad (3) \\
 &= A_1 \cos(\omega t + \theta_1) - A_1 \cos(\omega t + \theta_1) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

그림(4)는 식(3) 및 그림(3)에 대한 실험결과로서 약 51 dB의 상쇄량을 얻을 수 있었으며, 변수의 미세한 제어에 의하여 약 70 dB 정도까지 상쇄가 가능하다.

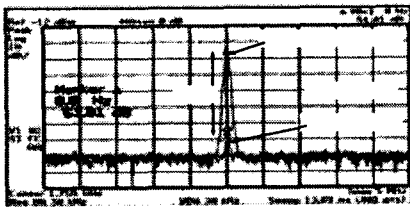


그림 4. 신호결합기의 실험결과

## 2. 시스템 블록도 및 모의실험

적응성 제한간섭잡음제거기(AF-ICS)는 신호분배기, 적응성상태감시제어기, 상쇄신호생성기, 적응성검출기로 구성되어 있으며 블록도는 그림(5)와 같다.

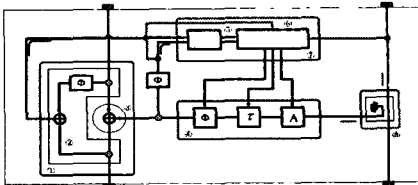


그림 5. 적응성 제한간섭잡음제거기 블록도

적응성검출기를 구성하는 오차신호검출기의 오차계수 및 상쇄신호검출기의 상쇄계수는 상호 일치하여야 하며 상쇄계수에 의하여 오차계수의 성능이 결정되므로 상쇄계수가 일정하고 안정하게 설계하여야 한다.

그림(6)은 적응성검출기의 개념도이며, Agilent Tech.의 ADS simulation tool을 이용하여 그림(7)과 같이 시스템 모의시험 설계도를 구현하고, 적응성검출기의 기능검증을 위한 모의실험한 결과는 표(1)과 같다.

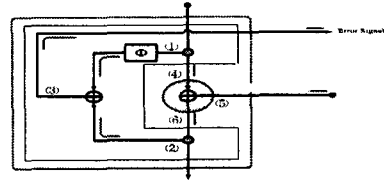


그림 6. 적응성검출기 개념도

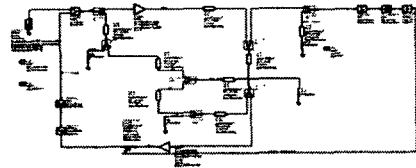


그림 7. ADS 시스템 모의실험 설계도

표 1. 적응성검출기의 모의실험 결과

주파수(GHz)	상쇄계수(dB)	오차계수(dB)
1.760	40	44
1.770	40	44

AF-ICS 결합 전/후에 대한 출력신호의 변화상태에 대한 모의실험을 위하여 1.770 및 1.760 GHz에 -41 dBm의 CW-tone을 인가하여 실험한 결과는 표(2)와 같으며, 그림(8)은 주신호(1.760 및 1.770 GHz) 출력전력의 변화상태이다. 또한, 그림(9)은 표(2)에서는 나타내지 않았으나 인가된 주신호에 의하여 나타나는 측대파(IM) 신호의 변화상태를 나타내고 있다.

표 2. 적응성검출기의 모의실험 결과

FBL (dB)	AF-ICS 결합 전		AF-ICS 결합 후	
	1.76GHz	1.77GHz	1.76GHz	1.77GHz
100	41.05	41.05	40.04	40.04
90	43.93	44.03	40.14	40.14
80	44.25	44.70	40.22	40.23
70	28.38	28.41	40.26	40.29

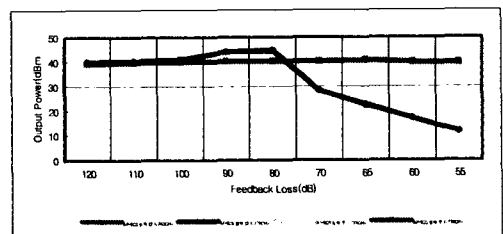


그림 8. AF-ICS 결합 전/후 출력신호 변화(주신호)

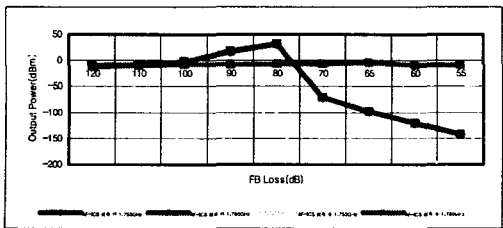


그림 9. AF-ICS 결합 전/후 출력신호 변화(IM 신호)

신호제거 변수 중에서 시간지연(delay time)에 따른 영향 즉, 지연시간부정합에 따른 출력신호의 변화상태를 확인하기 위한 실험의 결과는 그림(10)과 같다.

상쇄신호생성경로의 지연시간 T1과 케환신호경로의 지연시간 T2를 설정하고, 기준신호의 중심점(T1=10 nsec)을 기준으로 상하로  $\pm 0.1$  nsec의 오차단위를 가지는 시간에서 출력신호의 변화상태를 나타내고 있다.

그림(10)에 의하면 출력신호의 변화는 일정한 반복주기를 가지고 있으며, 반복적 변화주기는 약 0.6 nsec이며, peak-to-peak의 진폭편차는 약 6 dBm이다. 따라서, 최적 상쇄율을 얻기 위하여 약  $\pm 0.15$  nsec 이내의 지연시간 오차를 가지도록 조정하여야 한다.

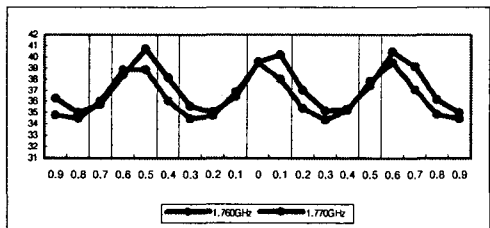


그림 1. 지연시간부정합에 의한 출력특성 변화

### 3. 발전 및 발전제거 실험

케환된 케환신호는 원하는 신호와 혼합하여 수신기에 입력하는 경우, 수신기에서는 발전현상을 나타낸다.

그림(11)은 중계증폭기가 도통(on) 상태에 있을 때, 출력 noise floor를 케환손실 150 dB로 설정하여 감쇄한 후 케환입력된 경우의 출력특성을 나타내며, 그림(12)는 동일한 실험조건을 이용하여 케환손실을 85 dB로 설정한 경우의 실험결과이며, 그림(13)은 케환손실을 84 dB로 설정한 경우의 실험결과로 중계증폭기의 On 상태에서의 발전특성을 보여주고 있다.

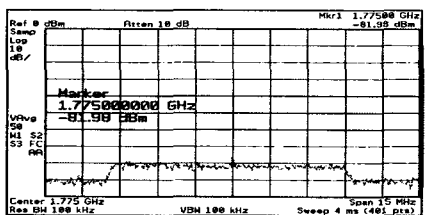


그림 11. 대역내 noise floor 특성(FBL=150 dB)

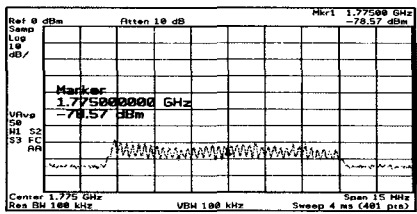


그림 12. 대역내 noise floor 특성(FBL = 85 dB)

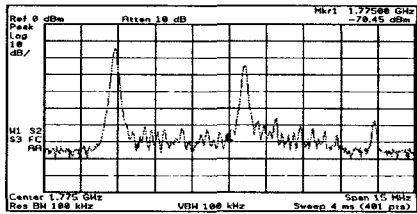


그림 13. 대역내 noise floor 특성(FBL=84 dB)

그림(14)는 -58 dBm의 입력신호와 동일한 크기의 케환신호가 혼합되어 입력되는 경우의 출력특성이며, 그림(15)는 그림(14)의 발전특성을 제거하기 위하여 AF-ICS를 동작하여 케환신호를 제거한 경우의 출력특성이며, 그림(16)은 중계증폭기의 출력신호로서 발전의 제거 및 신호의 복원을 비교하기 위한 자료이다.

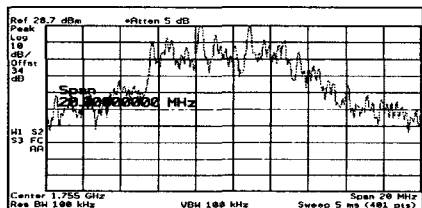


그림 14. 동일크기의 입력과 케환신호에 의한 발전

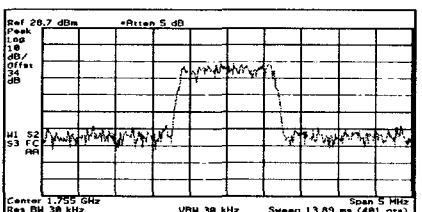


그림 15. 적응성 동작에 의하여 복원된 출력신호

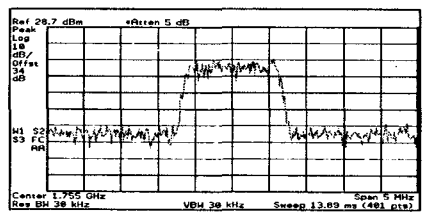


그림 16. 정상적인 중계증폭기의 출력특성

상기의 실험은 송신신호의 왜곡에 의한 영향을 확인하기 위한 실험으로, 발진특성을 나타내는 출력상태가 AF-ICS의 결합에 의하여 왜곡신호를 상쇄한 결과의 출력은 발진을 나타내지 않으며 정상적인 증폭기의 출력특성과 유사한 특성을 보여주고 있다.

실험결과와 같이 동일 주파수를 사용하는 시스템에서 발생하는 발진특성은 왜곡신호를 제거하므로써 발진을 방지할 수 있으며, 왜곡신호를 수신기에 입력되기 전에 제거하기 위한 방안으로 간섭잡음제거기를 사용하는 것이 가능하며, AF-ICS는 왜곡신호에 실시간 적응하여 상쇄신호를 생성하며, 생성된 상쇄신호를 이용하여 신호결합기(상쇄신호검출기)에서 왜곡신호를 상쇄시켜 준다는 것을 알 수 있다.

### 5. OFR의 설계 및 통합시험

광대역 왜곡신호를 제거하기 위한 변수조건은 동진폭, 역위상 및 동일한 지연시간이다. 따라서, 수신단으로 왜곡하는 왜곡신호를 제거하기 위하여 신호결합기의 기능을 가지는 상쇄신호검출기에서 상기의 변수조건이 성립되어야 한다.

그림(17)은 AF-ICS를 응용한 OFR의 구성도이며, 95 dB의 이득 및 20 Watts의 전력증폭기를 사용하고 있는 OFR에 대하여 왜곡손실(FBL) 90 및 95 dB에서 AF-ICS의 적응성 동작특성 및 최대출력전력의 변화를 확인하고 AF-ICS 결합 전/후의 출력전력과 요구규격의 값을 비교하여 적응성 동작이 이루어 질 수 있는 적절한 왜곡손실점을 확인하기 위한 실험으로 1.865 GHz의 중심주파수를 기준으로 10 MHz 대역내의 CDMA 신호원에 대한 출력전력의 측정결과는 표(3)과 같다.

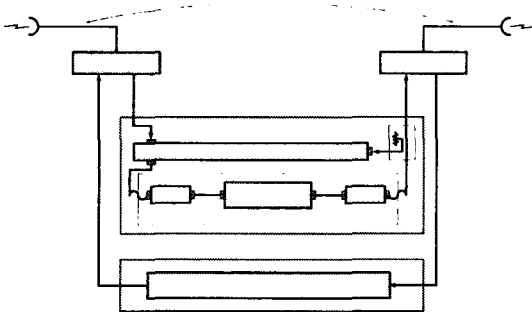


그림 17. AF-ICS를 응용한 중계기 구성도

표 3. OFR의 적응성 출력특성 결과(dBm/10MHz)

FA	FBL(dB)	AF-ICS		CH pwr (dBm)
		결합 전	결합 후	
3	95	42.91	40.13	40.98
	90	44.30	40.19	
4	95	42.03	39.36	39.66
	90	43.38	39.90	

### 6. 고찰 및 결론

AF-ICS의 구현 및 결과실험에서는 약 13~15 dB의 적응성검출기 성능지수를 얻을 수 있었다. AF-ICS의 적응성 동작에 의하여 동일 주파수 중계기(OFR)의 이득과 동일한 왜곡손실(95 dB)을 가지는 왜곡신호는 완전제거가 가능하며, 발진특성도 제거되어 시스템의 특성규격에 만족한다. 약 5 dB가 작은 왜곡손실(90 dB)에서는 출력특성의 복원 가능성을, 10 dB가 작은 왜곡손실(85 dB)에서는 특성의 복원이 불가능함을 확인하였다.

이와같이 AF-ICS의 적응성에 의하여 왜곡신호를 제거할 수 있고, 왜곡신호 제거에 의하여 발진을 방지할 수 있으며, 요구규격에 적합한 출력전력을 나타낼 수 있음을 증명 하였다. 그러므로, OFR의 분리도 향상 및 발진방지, 지속적인 최대출력을 유지하기 위하여 AF-ICS 관련 기술의 응용이 가능함을 알 수 있다.

왜곡손실이 90 dB 보다 작은 왜곡신호에서 특성의 불완전성 및 출력신호의 복원 불가능에 대한 원인은 적응성검출기의 성능지수 때문이다. 따라서, 성능지수 향상을 위한 지속적인 연구, 왜곡손실과 안테나의 결합율 및 분리도의 상관관계와 관계식을 유도하기 위한 연구를 진행하고 있다.

### 참고문헌

- [1] Slingsby, W.T. and McGeehan, J.P., "A high-gain cell enhancer", Vehicular Technology Conference 1992, IEEE 42nd, 1992
- [2] Wang, T.N.C., "On application of cellular or PCS off-air on-frequency repeaters", IEEE Micro. Conferences, APMC '97, 1997
- [3] Jakubowski, R.J., "A new generation of high-power cellular repeaters", VTC, IEEE 40th, 1990
- [4] Drucker, E.H., "Development and application of a cellular repeater", Vehicular Technology Conference 1988, IEEE 38th, 1988
- [5] Bavafa, M.R. and Xia, H.H., "Repeaters for CDMA systems", VTC 98, vol.2, IEEE, 1998
- [6] 고성선, "인접 송수신 안테나간의 무선 주파수 간섭제거 시스템", 한국특허, 특허등록번호 100226360000, 1999
- [7] 김선진, "적응성 왜곡간섭제거장치", 한국특허, 특허등록번호 1003420020000
- [8] R.N. Ghose, "Interference mitigation theory and application", IEEE Press Inc., 1996