

ATSC 지상파 DTV 시스템의 등화형 디지털 동일채널 중계기를 위한 궤환신호 제거기

서기환*, 박성익**, 음호민**, 김흥묵**, 김형남*

*부산대학교 전자전기공학과, **한국전자통신연구원 지상파전송기술연구팀

Feedback Canceller for the Equalization Digital On-Channel Repeater in the ATSC Terrestrial DTV System

Ki-Hwan Suh*, Sung Ik Park**, Homin Eum**, Heung Mook Kim**, and Hyoung-Nam Kim*

*Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Pusan National University,

**Radio & Broadcasting Research Division, ETRI

hknkim@pusan.ac.kr

Abstract: ATSC 지상파 디지털 방송이 서비스됨에 따라 제한된 방송 주파수의 이용 효율을 높임과 동시에 서비스 지역 내에서 발생하는 음영지역을 해소할 수 있는 디지털 동일채널 중계기의 도입이 요구되고 있다. 지상파 DTV 시스템의 단일 주파수 망 구성을 가능하게 하는 등화형 디지털 동일채널 중계기는 블라인드 DFE(Decision Feedback Equalizer)를 이용하여 출력 신호의 품질을 높여주고 수신기의 성능열화의 원인이 될 수 있는 지연 시간을 최소화 하는 장점이 있으나, 송/수신 신호가 동일한 주파수를 사용함으로써 생기는 궤환 신호로 인하여 송신 출력이 크게 제한되는 단점을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 송신 출력이 제한되는 등화형 디지털 동일채널 중계기의 단점을 보완하기 위하여 IF 형 궤환신호 제거 방법을 소개한다. 모의실험을 통해 제안된 기법을 이용하여 동일채널 중계기에서 발생하는 궤환신호를 효과적으로 제거 할 수 있음을 보이고, 이를 위한 적절한 파라미터 값을 제시한다.

Keywords: ATSC, Terrestrial DTV, EDOCR, feedback canceller

I. 서론

현재 우리나라에서 전국적으로 서비스되고 있는 ATSC(Advanced Television Systems Committee) 지상파 디지털 방송은 2012년 이후 기존의 지상파 아날로그 방송을 모두 대체하게 된다. 이에 따라 지상파 방송은 바야흐로 아날로그 시대에서 디지털 시대로 완전한 전환이 일어나게 된다. 그러나 주파수 사용의 비효율성 및 서비스 지역의 제한과 서비스 영역 내에서 존재하는 음영 지역 등의 문제가 아직까지 완전한 지상파 디지털 방송으로의 전환에 있어 걸림돌로 작용하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 제한된 방송

주파수의 이용 효율을 높일 뿐만 아니라, 방송 영역 내에서 안정적인 전파 세기를 보장할 수 있는 디지털 동일채널 중계기(Digital On-channel Repeater, DOCR)의 도입이 필요하다. 동일채널 중계기를 도입하여 단일 주파수 망(Single Frequency Network: SFN) 구성이 가능해지면, 같은 주파수를 재사용 할 수 없는 기존의 복수 주파수 망(Multiple Frequency Network: MFN)에 비해 매우 효율적으로 주파수를 관리할 수 있다. 그러나 기존의 동일 채널 중계기로 단일 주파수 망을 구성 할 경우 중계기는 수신신호를 단순히 증폭시켜 재전송하므로 주 송신기와 중계기사이의 전송 채널에 의해 야기된 잡음 및 다중경로에 의한 왜곡된 신호가 그대로 증폭되는 단점을 가지고 있다. 이러한 출력 신호의 품질이 떨어지는 문제점을 보완하기 위하여 등화형 동일 채널 중계기(Equalization Digital On-Channel Repeater: EDOCR)가 제안되었다[1].

EDOCR은 ATSC 지상파 DTV 시스템에서 SFN 구현을 가능하게 하는 매우 핵심적인 기술이자, 주 송신기와 DOCR 사이의 전송 채널에 의해 야기된 잡음 및 다중경로 신호를 제거 할 수 있어, DOCR의 출력 신호 품질을 높여 준다. 또한 복조, 등화, 재변조의 과정에서 일어나는 시간을 최소화 함으로써 수신기의 수신 성능 열화의 원인이 되는 시간 지연을 최소화 하였다. 그러나 동일채널 중계기의 경우 주 송신기의 송신신호와 중계기의 재전송신호가 동일한 주파수를 사용하므로 DOCR의 출력신호가 다시 입력으로 들어오는 궤환 신호 문제가 발생한다. 이로 인해 중계기의 재전송 안테나의 출력이 송/수신 안테나의 이격(isolation) 수준 정도로 제한되는 문제점을 가지고 있다. 이러한 단점을 해결하기 위한 방법으로 궤환신호 제거기에 대한 연구가 진행되었으나[2]~[5] 아직까지 지상파 DTV를 위한 궤환신호 제거기법에 관한 연구는 부족한 실정이다. 본 논문에서는 ATSC 지상파 DTV 시스템에 적용 가능한 IF형 궤환 신호 제거방법을 제시하고 제시된 IF형 궤환 신호 제거기의 성능을 분석한다.

본 논문 구성은 다음과 같다. II장에서 기존에 제

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2006-S-016-03, 지상파 DTV 분산중계기술 개발]

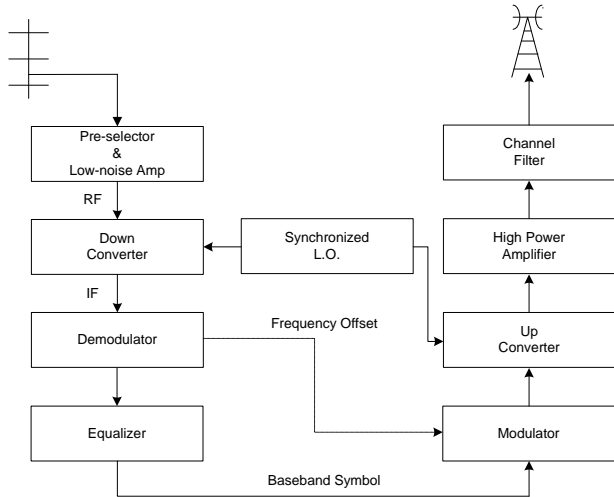


그림 1. EDOCR 의 구조

안된 동일채널 중계기에 대해 설명하고 ATSC 지상파 DTV 중계기의 왜환신호 제거기의 구조와 제거기법을 III장에 제시한다. IV장에서는 모의실험을 통해 왜환 채널환경 하에서 왜환신호 제거기의 성능을 분석하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 등화형 디지털 동일채널 중계기

주송신기의 전송 영역을 확장하고 방송 신호가 미약한 난 시청 지역을 해소하는 동일채널 중계기는 일반적으로 수신안테나, 수신부, 디지털 신호처리부, 송신부, 그리고 송신 안테나로 구성 된다. 이러한 동일채널 중계기는 다음과 같은 3가지 조건을 만족하여야 한다. 첫째 수신신호와 송신신호의 주파수가 완전히 동일해야 하며 둘째, 짧은 시간지연을 가져야 한다. 마지막으로, DOCR의 송/수신 안테나의 이격이 보장되어야 한다. 만약 송/수신 안테나의 이격이 충분히 확보되지 못하면, 재송신 신호가 수신 안테나로 왜환되어 결국 중계기가 발산하게 된다. 따라서 동일채널 중계기의 중요한 성능 지표 중 하나인 재송신 신호의 출력 전력은 송/수신 안테나의 이격 정도에 의해 결정 된다[1].

현재까지 제안된 방법 중 위와 같은 조건을 가장 잘 만족하는 지상파 DTV를 위한 중계기는 등화형 디지털 동일채널 중계기(Equalization Digital On-Channel Repeater: EDOCR)이며 그 구조는 그림 1과 같다[1]. EDOCR은 Pre-selector, LNA(Low Noise Amplifier), 주파수 하향 변환기, 복조기, 등화기, 변조기, 주파수 상향 변환기, HPA(High Power Amplifier), 그리고 채널 필터로 구성 된다. EDOCR의 주요 특징은 FEC(Forward Error Correction) 복호 및 부호화부를 사용하지 않기 때문에 입력 신호와 출력 신호가 다른, 모호성(ambiguity) 문제를 가지지 않으며 인접 채널 제거 능력이 우수하다. 또한 TBD(Trellis Back Depth)가 1인 트렐리스 복호기를 판정 장치(decision device)로 가지는 블라인드 DFE(Decision Feedback Equalizer)를 사용하여 주송신기와 중계기사이의 전송 채널에 의해 야기된 잡음 및 다중경로 신호를 제거 할 수 있어, 동일채널 중계기의 출력 신호 품질을 향상시킬 수 있다 [1]. 그러나 EDOCR은 별도의 왜환신호를 제거기가 포함되어 있지 않아 안테나 이격이 보장되지 않을 경우,

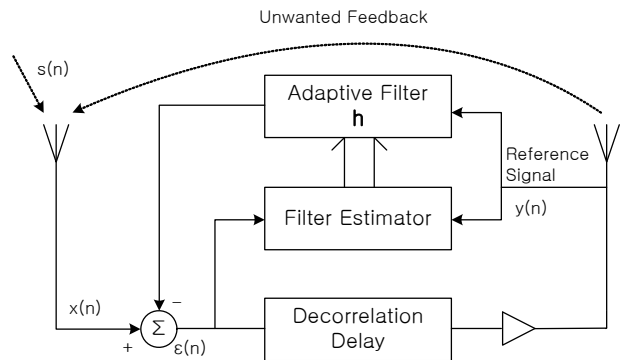


그림 2. IF 형 왜환신호 제거기의 구조

출력 전력을 수신신호 대비 +5dB만 높여도 발산하게 된다. 즉 등화형 동일채널 중계기는 송/수신 안테나의 이격 수준에 의해 송신 출력이 제한되는 한계를 지니고 있다. 따라서 제한되는 송신신호의 출력 전력을 극복하여 방송 영역을 보다 확장하고 난시청 지역을 원활하게 해소하기 위해서는 등화형 동일채널 중계기 내부에 별도의 왜환신호 제거기를 추가하여 보다 높은 출력 이득을 확보하여야 한다.

III. 등화형 디지털 동일채널 중계기를 위한 IF 형 왜환신호 제거기 설계

IF 형 왜환신호 제거기의 구조는 그림 2 와 같다. 필터의 충격 응답 h 는 중계기의 재전송 신호, $y(n)$ 과 입력신호 $s(n)$ 사이의 상관관계가 없다고 가정하면 상관관계 방법 (correlation method)을 이용하여 완벽하게 추정될 수 있다[2]. 이때 h 는 왜환 채널의 충격 응답과 같으며 이를 이용하여 왜환신호가 인가된 중계기의 수신신호 $x(n)$ 에 포함되어 있는 왜환 신호에 의한 왜곡을 보상해 준다. IF 형 왜환신호 제거기의 내부에 포함된 지연기(decorrelation delay)는 중계기의 재전송 신호 와 입력신호 사이의 상관관계를 제거하는 역할을 담당한다. 이때 decorrelation delay 에 의한 지연이 길어질수록 $y(n)$ 과 $s(n)$ 사이의 상관관계가 줄어들어, 왜환 채널의 추정 정확도와 왜환신호 제거능력이 높아지나, 왜환신호 제거기를 포함한 중계기의 최대 지연시간의 제약으로 인해 왜환신호 제거기 내부 지연은 일정 시간으로 제한된다[2].

IF형 왜환신호 제거기의 필터 계수를 추정하기 위한 적응 알고리즘으로는 가장 간단하면서도 효과적인 방법으로 알려져 있는 LMS 알고리즘을 이용한다. 왜환신호 제거기의 입력 신호를 $x(n)$, 출력 신호를 $y(n)$ 이라 할 때 왜환 신호 제거기의 출력 오차, $\epsilon(n)$ 은 아래와 같이 정의 된다.

$$\epsilon(n) = x(n) - \mathbf{h}^T \mathbf{y}_n \quad (1)$$

여기서 h 는 적응 필터의 계수이며 \mathbf{y}_n 은 적응필터와 동일한 길이를 가지는 출력 벡터이다. $x(n)$ 에서 이상적으로 중계기의 출력신호인 $y(n)$ 이 완전히 제거 되면, 왜환신호 제거기의 출력 오차 $\epsilon(n)$ 은 최소화 되며, 이

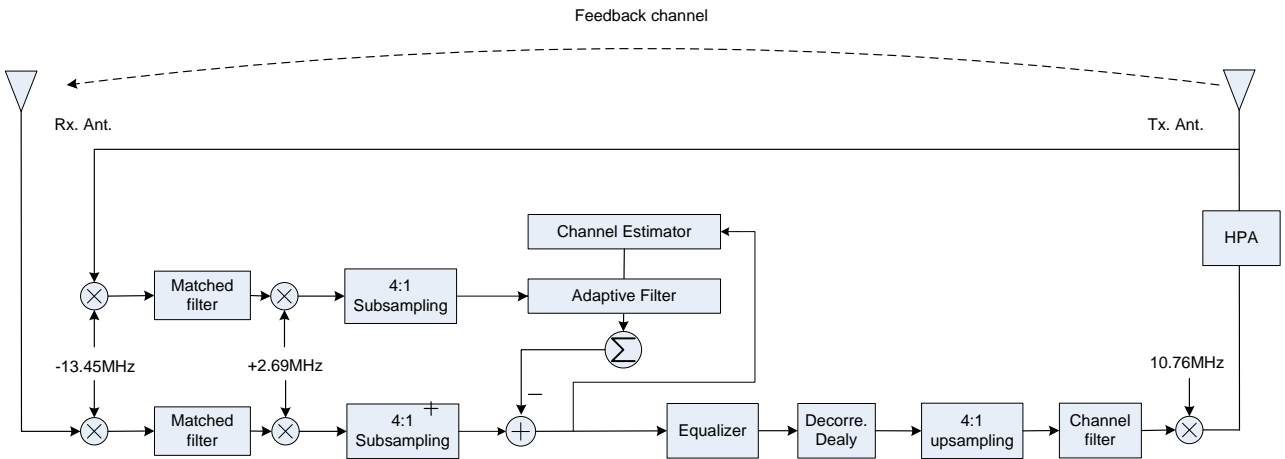


그림 3. 케환신호제거기를 포함한 등화형 디지털 동일채널 중계기의 블록 다이어그램

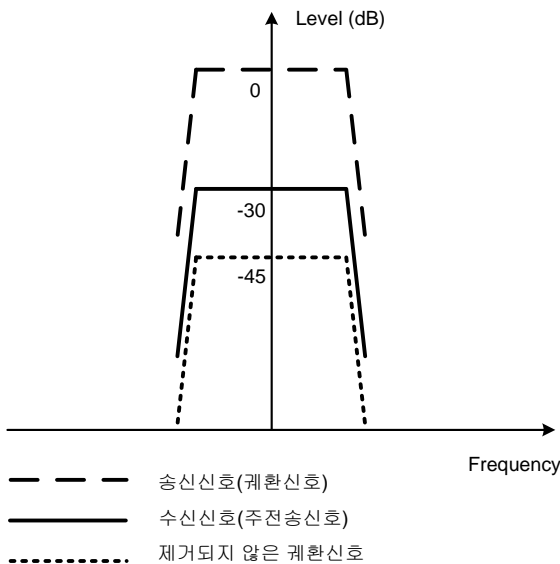


그림 4. 케환 신호 제거성능 조건

때의 $\varepsilon(n)$ 은 $s(n)$ 과 같다. LMS 알고리즘에 의해 적응 필터 \mathbf{h} 의 갱신 식을 유도하면 다음과 같다.

$$\mathbf{h}_{n+1} = \mathbf{h}_n + \lambda \varepsilon(n) \mathbf{y}_n^* \quad (2)$$

여기서 λ 는 LMS 적응 알고리즘의 스텝사이즈이다. 스텝사이즈 λ 의 값이 커질수록 수렴하는 속도는 빨라지나 수렴 후의 케환신호 제거 성능은 줄어드는 반면, λ 의 값이 작을수록 느린 수렴속도를 가지는데 비해 수렴 후의 성능은 좋아진다. 동일채널 중계기의 송신 신호 품질을 향상시키기 위해서는 케환신호 제거기의 스텝 사이즈 λ 가 작을수록 유리하나, 느린 수렴속도로 인해 중계기에서 발생하는 케환채널의 변화에 빠르게 적응하지 못해 시스템이 발산할 가능성이 있다. 반대로 큰 λ 값을 이용하면 빠르게 케환채널을 추정해 나가므로 케환채널이 빠르게 변화하더라도 효과적으로 대응할 수 있으나, 중계기의 신호 품질이 떨어지는 단점이 있다.

따라서 안정적이면서도 높은 신호품질을 가지는 출력신호를 보장하기 위해서는 적절한 λ 값이 설정 되어야 한다.

그림 3은 본 논문에서 제안하는 케환신호 제거기를 포함한 등화형 디지털 동일채널 중계기의 구조이다. 기존의 EDOCR의 구성요소인 주파수 하향 변환기, 복조기, 등화기, 변조기, 주파수 상향 변환기, HPA, 채널 필터 외에 케환신호 제거를 위한 케환채널 추정기와 적응 필터로 구성되어 있다.

중계기에 의한 서비스 지역의 확장을 통해 음영지역을 효과적으로 해소하기 위해서는 재전송신호의 출력이 높아야 한다. 그림 4와 같이 중계기의 출력이 주 전송신호의 수신신호 전력대비 +30 dB라고 가정할 경우 기존의 EDOCR에 이러한 신호가 케환되면 시스템이 발산하게 되며 이를 방지하기 위해서는 재전송신호의 출력이 주 전송신호의 수신신호 전력대비 +5 dB 이하로 제한되어야 하는 한계를 가지고 있다. 그러나 제안된 케환신호 제거기를 이용하면 케환된 재전송 신호에 의한 왜곡을 효과적으로 보상해 줄 수 있으므로 중계기의 출력제한의 한계를 극복하여 높은 출력으로 신호의 재전송이 가능하게 되며 이를 통해 ATSC 지상파 DTV의 수신기의 안정적인 수신 성능을 보장할 수 있게 된다.

IV. 시뮬레이션 결과

등화형 디지털 동일채널 중계기를 위한 IF형 케환신호 제거기의 케환신호 제거 성능을 분석하기 위해 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험에서 사용된 케환 채널로는 IF 신호 240 샘플 지연을 가지는 single-path feedback channel을 사용하였다. 케환신호 제거 성능 평가를 위한 지표는 다음과 같이 정의하였다.

$$REP = 10 \log \left(\frac{e(n)e(n)^*}{\|s(n)\|^2} \right) \quad (3)$$

REP(Residual Echo Power)는 주 전송신호 전력대비 잔여 케환신호 전력을 의미하므로 REP가 낮을수록 케

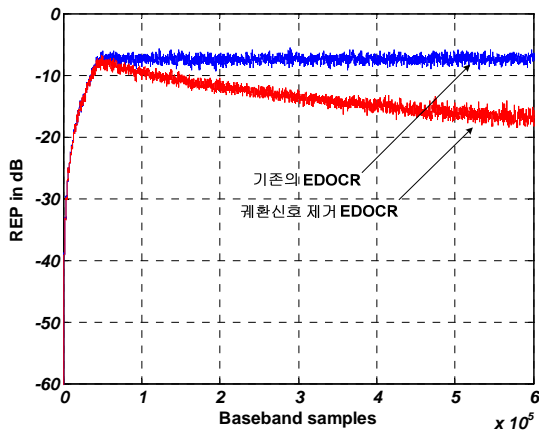


그림 5. EDOCR 에서의 궤환신호 제거기 성능

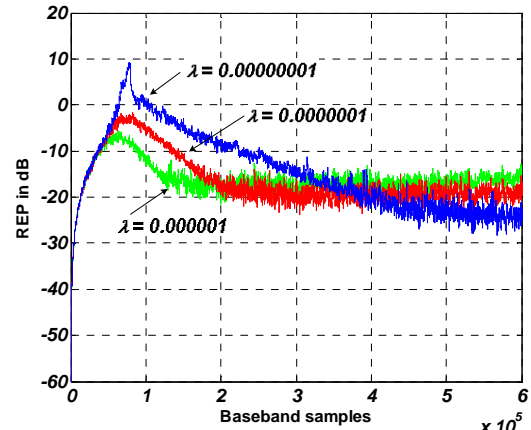


그림 6. 스텝사이즈에 따른 궤환신호 제거기의 REP

환신호 제거기의 성능이 높다는 것을 의미한다.

그림 5는 기존의 EDOCR과 궤환신호 제거기를 추가한 제안된 EDOCR의 궤환신호 제거 능력을 비교한 그림이다. HPA(High Power Amplifier)의 전력이득을 IF 신호 샘플당 0.00001씩 최대 +5 dB까지 증가시켰을 때의 REP를 비교하였으며 그림 5에서 보듯이 기존의 EDOCR은 등화기에 의한 궤환신호 제거효과로 인해 시스템이 발산하지는 않았지만 잔여 궤환신호 전력이 -15 dB이하로 떨어지지 않기 때문에 지상파 DTV의 안정적인 수신 성능을 보장하지 못한다. 반면 제안한 궤환신호 제거기를 추가한 EDOCR의 경우는 효과적으로 궤환신호를 제거하여 REP를 -15 dB이하로 수렴시킴으로써 안정적인 수신 성능을 보장한다.

그림 6은 단일경로 궤환채널 환경하에서 스텝사이즈에 따른 궤환신호 제거기의 궤환신호 제거 성능을 나타낸 것이다. HPA의 전력이득을 IF 신호 샘플당 0.00001씩 최대 +30 dB까지 올렸을 때의 REP를 나타내었으며 기존의 EDOCR은 시스템이 발산하기 때문에 결과에서 제외하였다. 그림 6에서 보듯이 스텝사이즈인 λ 가 작아질수록 수렴속도는 떨어지나 수렴 후의 REP는 낮아지며 반대로 λ 가 클수록 수렴속도는 빠르나 수렴 후 REP가 높아지는 것을 확인할 수 있다. $\lambda = 0.00000001$ 보다 더 작은 스텝사이즈로 설정한 경우 모의실험의 환경상에서 궤환 채널의 gain이 늘어나는 채널 변화를 따라가지 못해 궤환신호를 제거하지 못하고 시스템이 발산하였다. 따라서 중계기의 출력을 주 전송신호 전력대비 +30 dB로 높이는 경우, 스텝 사이즈는 0.00000001로 설정하는 것이 타당함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 ATSC 지상파 DTV 시스템의 등화형 디지털 동일채널 중계기를 위한 IF형 궤환신호 제거 기법에 대해 소개하고 모의 실험을 통하여 그 성능을 분석하였다. 본 논문에서 제안된 IF형 궤환신호 제거기의 구조를 등화형 디지털 동일채널 중계기에 적용한 경우 기존의 중계기가 가지는 송신 출력의 제한을 극복하여 보다 나은 송신 품질의 신호를 확보 할 수 있으므로 ATSC 지상파 DTV의 방송 지역을 확장하고 음영지

역을 해소하는 데 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Y.-T. Lee, S. I. Park, H. M. Eum, J. H. Seo and H. M. Kim, "A Design of Equalization Digital On-Channel Repeater for Single Frequency Network ATSC System," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 53, no. 1, pp. 23-37, March, 2007.
- [2] A. Wiewidrka and P.N. Moss, "Digital on-channel repeater for DAB," BBC R&D White Paper WHP 120, Sept. 2005.
- [3] Hiroyuki HAMAZUMI, Koichiro IMAMURA, Naohiko IAI, Kazuhiko SHIBUYA and Makoto SASAKI, "A Study of a Loop Interference Canceller for the Relay Stations in an SFN for Digital Terrestrial Broadcasting," in *Proceedings of the IEEE GLOBECOM 2000 Conference*, San Francisco, CA, USA, Dec 2000, Vol. 1, pp. 167-171.
- [4] Koichiro Imamura, "Verification of Performance of Coupling Loop Interference Canceller for On-Air Relay in an SFN - On-Channel Repeater for ISDB-T," *56th Annual IEEE Broadcast Symposium*, Washington D.C., USA, Sept. 2006.
- [5] 이영준, 음호민, 이용태, 김형남, "지상파 DMB 중계기를 위한 IF형 궤환신호 제거 방법의 성능 분석," *제20회 신호처리합동학술대회논문집*, 대구, 2007년 10월, p. 110.
- [6] 서영우, 김영민, 목하균, 권태훈, 이상길, 박성익, 이용태, 음호민, 서재현, 김홍목, 김승원, "국내 DTV 방송에서의 디지털 동일채널중계기의 적용," *방송공학회논문지*, 제10권 제4호, 2005년 12월, pp. 587-598