

지상파 디지털 TV 방송용 송신기에서 변조기의 위상오차 보상에 관한 알고리즘 구현

정희원 오인열*, 양경석**, 이철*, 목하균**, 오성환*

Implementation of Phase-Error Compensation Algorithm in Terrestrial Digital TV Modulator

Inn-yeal Oh*, Kyung-seok Yang**, Chul Lee*, Ha-Kyun Mok**, Seong-hwan Oh *

Regular Members

요 약

본 논문은 최근 지상파 디지털TV 표준 방식으로 정해진 8VSB(8 Levels Vestigial Side Band) 방식의 변조기에 관련된 내용이다. 디지털TV 시스템 개발에 있어서 가장 어려운 문제점 중 하나는 위상오차를 해결하여 얼마나 디지털 신호를 왜곡 없이 사용자에게 전송할 수 있는가? 이다. 그러나 설계상의 문제, 환경변화, 부품의 열화등의 원인에 의해 발생할 수 있는 위상오차는 VSB 방식의 변조기에서의 I, Q 데이터에 왜곡을 일으키게 하거나, 1KW 이상의 송신을 하는 방송 장비에 유기되어 타 인접 채널에 심각한 영향을 일으키기도 한다. 이와 관련하여 본 논문에서는 위상오차 원인 중의 하나인 8레벨의 디지털 신호에서 IF(Intermediate Frequency) 주파수대로 변환될 때에 발생하는 위상오차를 분석하였고, 이에 대한 보상 알고리즘을 제안하였고, 이를 적용한 결과를 논하였다.

ABSTRACT

In this paper, we have studied the 8 VSB (8 Vestigial Side Band) method which is decided as the standard of modulators for next generation digital TV System. In developing digital TV System, one of the difficult problems is how digital signal can be transmitted to the receiver without any phase distortion. But, phase error is liable to occur by imperfect design, circumstance variation and device degradation. These characteristics result in distortion of I, Q signal of modulator and interference in adjacent channels. In particular, the interference in modulator of a high power amplifier result in serious problems in adjacent channels.

Here we analyzed problems of phase error which are occurred when 8 levels digital signals are modulated to IF signal. And we suggested phase error compensation algorithm and discussed the results for adaptation of the algorithm

I. 서론

최근 국내 지상파 디지털 TV 방송의 표준화가 이루어짐으로 해서 보다 깨끗한 방송을 볼 수 있게 되어 또 한번의 일대 방송 전환기를 맞이할 수 있게 되었다. 8VSB 방식은 미국 Zenith사의 원천

기술을 바탕으로 이미 미국 ATSC(Advanced Television System Committee)에서 표준안이 작성되었고, 미국 연방통신위원회(Federal Communication Commission)가 이를 디지털TV 표준으로 받아 들였다. 디지털TV 방송은 MPEG-2의 영상 압축 기술과 AC-3의 음성압축기술을 이용하여 제작된 신호를 다중화하여 MPEG2-Transport Stream(이후

* LG 정보통신(주) 중앙연구소 이동통신단 (blight@lgic.co.kr)

** KBS 기술연구소

논문번호: 98459-1015, 접수일자: 1999년 3월 28일

MPEG2-TS) 형태로 전송하고 송신기에서 단일 방송파의 8VSB 전송 방식의 구조를 가지고 있다. 우리나라는 2000년부터 시험방송을 시작하여 2001년부터는 디지털TV 방송을 서비스할 예정이며, 산학이 모두 이 분야에 관심을 갖고 개발을 서두르고 있다. 특히 수신기 분야는 진전된 업적이 많이 나오고 있지만 방송사에 설치하여야 할 송신기 분야는 취약한 상태이다. 이는 송신기가 깨끗한 방송을 제공하기 위해서는 압축된 데이터가 왜곡 없이 전송되어야 하는 사양을 만족해야 하는데, 이에 관련한 송신기의 여러 사양이 고도의 기술을 필요로 하기 때문이다. 디지털TV가 HDTV급 영상 서비스를 만족시키기 위해서는 채널 코딩 과정, 디지털 필터링 과정을 거쳐 잡음에 강하도록 데이터를 처리하고 있고 다시 이를 왜곡 없이 전송하기 위해 위상 왜곡을 고려하여 설계하여야 한다. 전송에 있어서 무엇보다도 먼저 고려해야 하는 것은 동작점이 포화점에서 동작하는 고풍력 증폭기의 비선형성으로 인해 나타나는 위상 왜곡이다. 그러나 이 내용까지 다루기는 너무 광범위하여 여기에서는 디지털TV용 송신기의 변조기에 국한시켜 발생할 수 있는 위상 성분만을 고려해주었다. 이와 관련하여 본 논문의 제2장에서는 위상성분을 분석하고, 제3장에서는 환경변화에 따른 위상 오차의 정도를 실험하였다. 그리고 이때 발생하는 위상오차의 보상을 위한 구조를 제안하고, 제4장에서는 실험결과를 나타내었다. 그리고 제5장에는 결론으로 향후 8VSB 변조기의 발전 가능성을 제안하였다.

II. 디지털TV 변조기의 위상성분 분석

1. 디지털TV 변조기의 구성

디지털TV용 송신기에서 변조기의 구조는 크게 채널 코딩부, 디지털 필터링부, VSB 파형 형성(Waveform)부로 나누어 진다. 보통 NTSC 신호의 정보보다 4~6배 큰 19.39Mbps급으로 입력되는 MPEG2-TS 신호는 공중파 에러에 강하도록 채널 코딩을 해 주며, NTSC 신호의 동기 신호와 같은 세그먼트 동기신호, 필드 동기신호가 첨가됨으로써 32.28Mbps로 확장되어진다. 확장된 데이터는 심볼 단위로 처리되는데 8VSB에서는 3비트가 하나의 심볼을 이루어 10.76 Msps로 전송하게 되며, 심볼 단위의 데이터는 디지털 필터링 과정을 거치고

변조되어 VSB Waveform으로 형성 되는데 송신 시스템에서 초과 대역율 α ($= 0.1152$)를 고려한 Raised cosine 필터를 통과시키고 NTSC Analog TV와 같은 6MHz 대역폭에 신호를 압축하여 전송하게 된다.

그림1은 디지털TV 변조기를 간략하게 나타낸 그림으로써 입력신호를 VSB 방식의 특징인 힐버트변환(Hilbert Transform)을 한 후 여기서 만들어진 I, Q 신호를 변조시켜 공중파로 전송한다. VSB 방식은 정보의 크기에 비해 주파수 대역폭을 약간 더 할당함으로써 정보의 2배의 주파수를 사용하여 전송하는 DBS나 AM보다도 훨씬 효율적인 주파수 사용이 가능하도록 하여 데이터 전송 효율을 높인 방식이다.

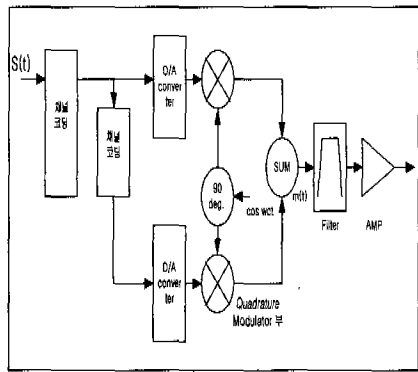


그림 1. 디지털 TV 변조기의 간략도

2. 위상에러 성분분석

일반적으로 모든 시스템은 잡음 성분을 가지고 있기 때문에 완전하게 위상에러가 없는 시스템은 존재하지 않는다. 그러므로 디지털 신호는 변조기에서의 위상에러와 복조기에서의 위상에러 성분이 합쳐져서 나타난다. 변조될 때의 주 위상에러는 HPA(High Power Amplifier)의 비선형 특성 때문에 발생하는데, 여기서는 이상적인 HPA를 사용한다고 가정하면 위상에러는 Quadrature 변조부와 관련된 패턴의 구조나 변조부의 소자 열화등으로 인해 발생한다.

VSB 시스템에서 전체 잡음 성분을 포함한 신호가 변조되어 공중파로 송출되는 신호성분은 (1)식과 같다.

$$E_{DBS}(t) = [m_1(t)\cos(\omega_c t + \theta) + m_2(t)\sin(\omega_c t + \theta)] + [n_c(t)\cos(\omega_c t + \theta) - n_s(t)\sin(\omega_c t + \theta)] \quad (1)$$

$2\sin(\omega_c t + \theta + \phi(t))$ 의 반송파로 원래의 신호를 복조하여 LPF(Low Pass Filter)를 거치면 출력은 (2)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_D(t) = [m_1(t) + n_c(t)] \cos \phi(t) \\ [m_2(t) + n_s(t)] \sin \phi(t) \quad (2)$$

그러므로 에러성분은 " $\epsilon = m_1(t) - y_D(t)$ "가 된다. 이 에러성분을 mean-square 에러로 다시 나타내어 간략화 하면 (3)식과 같다.

$$\epsilon^2 = m_1^2 - 2m_1^2 \cos \phi + m_1^2 \cos^2 \phi + \\ m_2^2 \sin \phi + n^2 \quad (3)$$

위 성분들을

$$n_c^2 = n_s^2 = N_0 B_T = \sigma_n^2 = n^2 \\ m_1^2 = m_2^2 = \sigma_m^2 \text{ 으로}$$

나타낼 수 있으므로 위 mean-square 에러를 정규화(normalize) 시켜 다시 나타내면 최종적으로 정규화된 mean-square 에러는 (4)식과 같은 결론을 얻을 수 있다.

$$\epsilon_{NQ}^2 = \sigma_\phi^2 + \sigma_n^2 / \sigma_m^2 \quad (4)$$

반면 DSB(Double Side Band) 또는 AM 시스템에서의 정규화된 mean-square 에러는 식 (5)와 같다.

$$\epsilon_{NQ}^2 = \frac{3}{4} \sigma_\phi^4 + \sigma_n^2 / \sigma_m^2 \quad (4)$$

그러므로 VSB 또는 SSB(Single Side Band) 시스템이 DSB, AM 등의 시스템보다 위상오차에 대해 더 큰 영향을 받게 됨을 알 수 있으며, 특히 VSB 시스템은 $n_c^2 = n_s^2 = N_0 B_T$ 에서 B_T 가 SSB 보다 더 커서 이에 대한 보상회로를 고려하여야 한다.

3. 위상에러에 의한 영향

디지털TV 송신기에 있어서 채널 왜곡의 종류로는 백색잡음, 위상잡음, 충격잡음, 심볼과 샘플링간 시간 오차에러, 간섭에 의한 파이롯 톤 오프셋(Pilot tone Offset)의 흔들림등과 화면상의 고스트(Ghost) 성분을 발생시키는 동일채널간섭, 인접채널간섭, 다중경로와 페이딩, 비선형채널 왜곡등이 있다. 여기서 백색잡음과 충격 잡음을 제외하고는 모두 위상

성분 왜곡으로 생각할 수 있다.

이러한 위상오차는 높은 산이나 외진 곳에 위치해 있는 기지국의 환경을 고려할 때, 온도, 습도 등의 환경 변화가 심하고 이에 따라 부품의 열화가 더욱 증가하여 위상오차가 더 심화될 수 있다. 이로 인해 I 신호와 Q 신호에 심각한 왜곡을 일으키거나 인접 채널에 영향을 미치게 되는 현상이 나타난다. 특히 방송국 송신기는 1 KW 이상의 큰 출력을 갖기 때문에 인접채널에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

III. 위상에러 제거 알고리즘

1. 위상에러의 환경 실험

위상에러의 환경 실험을 위해 보드에 내장되어 있는 2.69 MHz의 I 신호와 이 신호의 힐버트변환 형태인 Q 신호를 만들어 Quadrature 변조부에 입력시킨다. 만일 이 변조기의 I, Q가 정확한 위상차를 갖는다고 가정한다면 반송파(여기서는 46.69 MHz 주파수)에 의해 유효 채널폭인 41MHz에서 47MHz 대역에 있는 44MHz에서만 신호가 발생하고 유효채널 밖의 대역에 있는 49.38 MHz 신호는 전혀 발생하지 않는다. 그러나 Quadrature 변조부에서 I, Q의 위상오차가 발생한다면 이에 비례하여 불협화신호 성분인 49.38 MHz 신호 레벨이 커지게 된다.

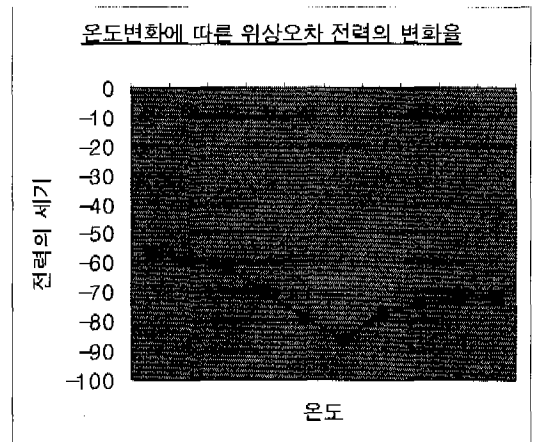


도표 1. 온도변화에 의한 위상오차 전력 변화

위 도표1은 -30°C에서 +60°C까지의 온도 변화에 따른 전력의 변화를 측정된 것이다. 전력의 변화는 온도 변화에 의해 가장 민감하게 반응하는 Quadrature 변조부의 위상변화 때문에 주로

발생한다.

위 도표를 통해 온도의 영향에 따라 -55dBm에서 -87dBm까지, 약 32 dB 정도의 전력 변화가 위상오차 때문에 나타났음을 알 수 있다. 이러한 성분은 인접 채널에 커다란 영향을 미치게 된다.

특히 이 논문에 적용되는 디지털 TV 송신기용 변조기는 RF단의 고출력 증폭기에 의해 발생할 수 있는 비선형 성분을 보상해 주기 위해 비선형 오차 보정회로가 Quadrature 변조부 앞단에 삽입되어 있기 때문에, 이 변조부 뒤의 IF 증폭단에서는 비선형 오차 수정 성분이 손상되지 않도록 유효 채널의 2배인 38 MHz에서 50 MHz까지의 모든 신호가 그대로 필터링 되고 증폭되어 RF단에 입력된다. 그러므로 Quadrature 변조부의 위상오차에 의해 발생하는 불협화신호는 제거되지 않고 고출력 증폭단에서 증폭되어 출력되므로 인접채널에 심각한 간섭을 일으키게 된다. 따라서 변조기에서의 위상에러를 고려한 설계는 매우 중요하다.

2. 위상에러 감지 원리

앞에서 언급했듯이 디지털TV 송신기용 변조기는 RF 단의 고출력 증폭기에 의해 발생할 수 있는 비선형 성분을 보상해 주기 위해 Quadrature 변조부 이후부터는 유효 채널에 2배의 신호를 그대로 여과 없이 증폭하여 RF단에 입력시키므로, IF 출력단에서는 위상에러 성분에 의해 발생하는 불협화신호를 감소없이 감지할 수 있게 된다. 그러므로 이 신호로부터 협대역 필터와 증폭기를 사용하여 위상에러 성분을 추출할 수 있다.

이를 위하여 일정한 (여기서는 2.69MHz의 하나의 주파수) I 신호와 이에 대한 힐버트변환 형태가 되는 Q 신호를 발생시키는 테스트신호를 FPGA 내부에서 만들어 주었다. 이 신호를 D/A 변환기를 통해 Quadrature 변조부에서 변조시키게 되면 반송파(46.69 MHz)로부터 떨어져있는 44MHz 신호가 출력으로 나타나는데, 그 외의 위상오차 때문에 나타나는 49.38MHz 신호는 제거되어야 할 신호이다. 이 49.38MHz 신호가 최소가 되도록 변조기를 최적화 시키는 것이 이 알고리즘의 핵심 사항이다. 이 위상에러 상태를 감지하기 위해서 협대역 필터와 증폭기가 필요하며, 감지된 전력의 세기를 디지털 레벨로 만들어 줄 수 있도록 하기 위해서는 Logarithm 증폭기와 A/D변환기가 필요하다. 이렇게 얻어진 위상오차의 값을 중앙처리장치가 받아서 위상보상 값을 결정하도록 하였다.

3. 최적의 위상에러 보상 알고리즘

위상에러에 대한 불협화신호를 중앙처리장치가 감지하여 LMS(Least Mean Square)에 의해 최적의 위상보상 값을 찾을 수 있도록 알고리즘을 구현하였다.

알고리즘을 통해 찾은 위상보상값을 원래의 디지털 입력신호인 I 신호에 곱하고(Multiply) Q 신호에 더하여 위상오차가 생긴만큼 Q 신호를 미리 전치왜곡 시킴으로써 Quadrature 변조부에서 생기는 위상오차값을 상쇄하도록 하는 것이다. 이 알고리즘은 변조기의 전원을 켜거나 초기화(Reset) 할 때마다 수행될 수 있도록 하였으며, 또한 디지털TV 송신기용 변조기의 운용 상태에서 컴퓨터를 이용하여 테스트모드로 전환한 후 알고리즘을 수행시켜 열화나 환경변화로 인한 위상 오차정도를 언제나 보상할 수 있도록 하였다. 다시 말하면 알고리즘을 통해 위상보상값을 바꾸면서 제일 작은 불협화음(49.38 MHz)을 갖는 지점을 찾아 이 때의 위상 보상값을 선택하고 자동적으로 고정하여 변조기의 최적상태를 유지할 수 있도록 하였다.

예를 들면, 기존 변조기는 I, Q의 디지털 신호가 Quadrature 변조부에 입력되면 여기에서 기저대역신호를 중간주파수대역으로 변환시킨다. 그러나 본 논문은 처음 전원을 켤 때나 운용상태에서 테스트모드 전환 시에 이 알고리즘이 수행되게 하여 기존 변조기의 위상오차에 의해 발생하는 불협화음(여기서는 49.38 MHz)을 감지하여 위상오차를 추출하는 기능을 첨가함으로써 중앙처리장치가 자동으로 위상오차를 조정하게 하였다. 즉 처음 전원을 켤 때에는 8비트의 위상보상값을 0에서부터 하나씩 증가 시키면서 위상오차로 발생하는 불협화음(여기서는 49.38 MHz)의 세기인 위상오차값을 첨가된 회로를 통해 감지해 나간다. 이 위상오차값이 양의 정수로 선언을 한 상태이므로 256가지의 모든 경우를 감지하여 가장 최적의 보상값을 찾게 된다. 또한 운용 상태에서 테스트모드 전환 시에는 전환 후 컴퓨터 제어로 알고리즘을 수행하게 하는 방법이 있는데 이 때에는 전원을 켜었을 때 얻은 위상보상값을 초기값으로 이용하였다. 이 위상보상값으로부터 최적의 위상보상값을 찾게 됨으로 효율적인 알고리즘이 될 수 있도록 하였다.

그림2와 같이 기존의 변조기로부터 위상오차를 감지하여 디지털 신호로 변환하였다. 여기서 얻어진 불협화 신호를 중앙처리장치에 입력시켜 위상보상값의 크기를 결정한다.

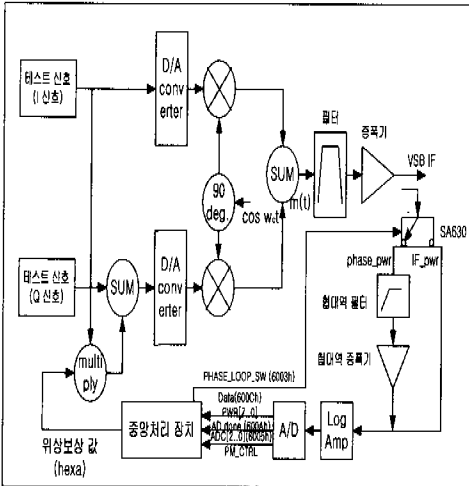


그림 2. 디지털TV 변조기 위상에러 보상회로

Quadrature 변조부 내부에서는 정확하게 90도 위상차를 만들어 주도록 각각의 I, Q 신호가 변조되기 전에 Duty cycle regenerator와 Frequency Doubler를 사용하여, I 신호는 Rising edge에서 동작하도록 하고 Q 신호는 Falling Edge에서 동작하도록 하여 보다 정확한 VSB 파형이 되도록 하였지만 환경 변화나, 동작상의 열화로 현저한 오차가 발생함을 알 수 있었다. 이때 발생하는 위상에러량은 Q 성분

$$Q \times \text{Sine}(\text{error phase}) \quad (7)$$

(7)식 만큼 오차가 발생하며, 이를 Q 성분에서 발생된 위상오차만큼 Q 성분에서 뺄으로써 위상에러를 보상토록 구성하였다. 반면 디지털TV 방송에서 수신기의 중요한 수신신호인 I신호를 변형시키는 것은 위험도가 크므로 여기에서는 Q성분에 더해진 위상에러 요인을 Q성분에서 제거하는 방법을 택하였다. 즉 변형된 Quadrature 변조기의 입력 신호인 Q 신호는 (8)식과 같다.

$$Q' = Q + I \times (-\cos(\text{error})) \quad (8)$$

Q : 보상되기 전 신호

Q' : 보상된 신호

위의 보상회로를 하드웨어로 구현하였는데 이를 그림2에 나타내었다.

즉 신호의 힐버트변환 성질을 이용하기 위해 곱셈기(위상보상값 × I)와 가산기(중간변수값 + Q)를 사용하여 위상에러를 보상하게 되는데 먼저, I의 출력 레벨이 2048(Q의 입력값 = 0x000h)에서 얼마나

멀어져 있는지를 파악하여 이에 상응한 중간변수값 (최종 위상보상값을 얻기 위해 I에 의해 산출되는 변수 값 : I 신호와 위상보상값의 곱셈기의 결과)을 추출하여 가산기에서 Q 신호와 더해 주어 Q신호를 위상에러 오차만큼 전치왜곡 시킨다. 가산기에서는 I 값의 MSB가 1 또는 0 이냐에 따라 더하거나 빼도록 하는데, 즉 I의 꼭선이 2048 위에 있으면 Q에 중간변수값을 더해준다. 중간변수값은 I의 위치에 따라 그 정도의 값을 구해 준 값이므로 Q에 적당한 값을 더하게 되면 위상보상 시킨 Q값을 구할 수 있게 되는 것이다. 마찬가지로 I의 꼭선이 2048 아래에 있으면 Q에 중간변수값을 빼서 위상을 보상시킨 Q값을 만들어 낸다. 이런 방법으로 변조기에서 발생한 위상에러만큼 입력신호에 전치왜곡을 시키는 방법을 적용한다.

4. 위상에러 보상을 위한 소프트웨어 구현

그림2에서 보듯이 8비트의 위상보상값을 이용하여 위상오차값을 줄여 나가는 방법을 사용하였다. 소프트웨어에서의 위상에러의 보상 모듈은 Main() 함수 밖에 부함수로 만들어서, 변조기의 전원을 켜거나 테스트모드에서의 명령어 수행으로 실행되도록 하였다. 주요 위상에러보상 부함수는 그림3과 같다.

```

phase_compensation( ) {
    if((CTRL_norm_or_tst_mode
        && Select_pwr_or_phase) {
        Select_pwr_or_phase = 0;
        Test_signal_generator(No Signal);
        Read_power_value( );
        if(level < 0x4d) {
            Test_signal_generator(2.69MHz);
            Read_power_value( );
            if(level > 0x4d) {
                Select_pwr_or_phase = 1;
                PM_phase_res = 0x00;
                V_old=ad_volts();
                for(PM_phase_res;0xFF;+1) {
                    V_new=ad_volts();
                    if(V_new > V_old)
                        break;
                    else
                        V_old = V_new;
                }
            }
        }
    }
}
    
```

그림 3. 위상에러 보상값 설정 프로그램

먼저 소프트웨어가 실행이 되기 위해서는 테스트 모드로 설정되어 있어야 하는데, 그림2에서 나타난 것처럼 출력 부분의 스위치가 IF_power 쪽이 아닌 Phase_power 쪽으로 되어 있어야 한다. 이러한 조건이 성립된 상태에서 이 부함수가 수행되면 변조기가 정상 동작하고 있는 상태인지를 소프트웨어 자체에서 먼저 검증하게 된다. 만약 변조기가 출력쪽에 문제가 있는 상태라면 위상에러보상 부함수의 실행은 무의미하기 때문이다.

이를 위해 FPGA 내부에서 I, Q 디지털 신호의 입력으로 사용되는 테스트신호를 발생시켜서 변조기의 정상 상태를 검사한다. 다음은 그림3과 같이 최적의 위상 에러보상값을 찾는 과정에 들어가기 전에 정상상태 검사가 수행되도록 한다. 이후 정상적인 동작을 하고 있다고 확인 되면 위상에러 보상값을 찾아 나가게 된다. 소프트웨어에서는 PM_phase_res 라는 플래그를 사용하여 하나씩 증가 시키면서 알고리즘에 적용되는 위상보상값을 찾아 내는 것이다. 이 위상보상값은 Q신호에 위상을 바꿔주는 역할을 하게 된다.

IV. 실험 결과 및 분석

본 논문은 VSB방식의 디지털TV 송신기용 변조기에 관한 것으로 특히 환경변화나 부품의 열화 또는 각 소자가 가지고 있는 제 각각의 그룹지연(Group Delay) 특성으로 인해 위상오차가 발생되고 있고 이로 인해 상호잡음성분이 발생하여 디지털 영상과 음성데이터에 치명적인 영향을 주게 된다. 제작된 변조기에서는 이러한 성분을 초기화 시마다 또는 명령어로 알고리즘이 수행되게 함으로써 이를 보상하여 변조기의 최적의 상태를 유지하도록 하였다. 환경시험에서 보듯이 55°C에서 가장 큰 불협화 신호가 발생함을 볼 수 있는데, 제안된 알고리즘을 적용하면 불협화신호를 0°C와 비슷한 -80 dBm 이하로 줄일 수 있음을 확인하였다. 그림4는 제작된 변조기에서 제어부를 담당하는 부분과 위상에러보상이 적용되어 있고, 기저대역에서 중간주파수로 전환하는 변조부가 구현되어 있는 IMU(IF & Microcontroller Unit) 보드의 실물 사진이다. 그리고 그림5는 디지털TV 송신기용 변조기의 전체 실물 사진이다.

언급된 알고리즘을 통해 제작된 디지털TV 송신기용 변조기는 환경변화에 의한 위상에러오차만큼 이를 보상하여 최적의 변조기가 되도록 하였으며 인접채널 간섭을 줄이는데 효과적인 결과를 얻었다.

그림6은 변조기의 최종 출력에서 얻은 벡터신호분석기(Vector Signal Analyzer : HP89441A)의 측정도이며, 이 출력도에서 볼 수 있듯이 뚜렷한 8레벨 신호와 Eye Diagram을 얻을 수 있었고, 1.21%의 EVM(Error Vector Magnitude)과 39.1dB의 좋은 S/N비를 얻은 것을 볼 수 있다.

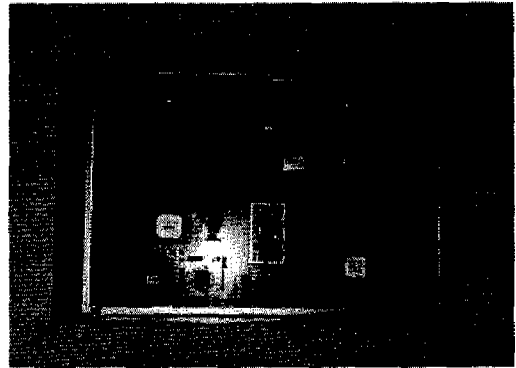


그림 4. IMU(IF&Microcontroller Unit)보드의 실물사진

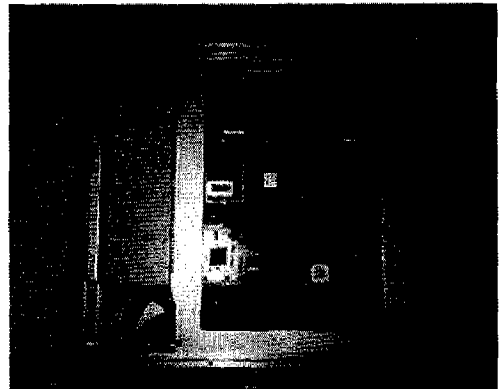


그림 5. 제작된 디지털TV 송신기용 변조기 실물 사진

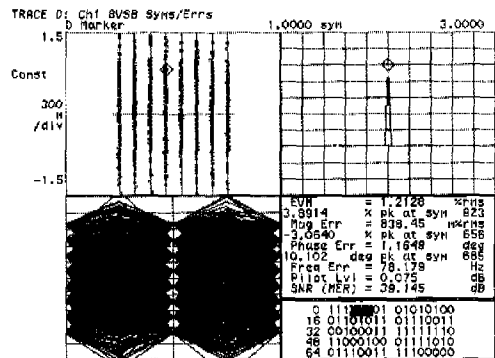


그림 6. 디지털TV 변조기의 HP89441A의 측정결과

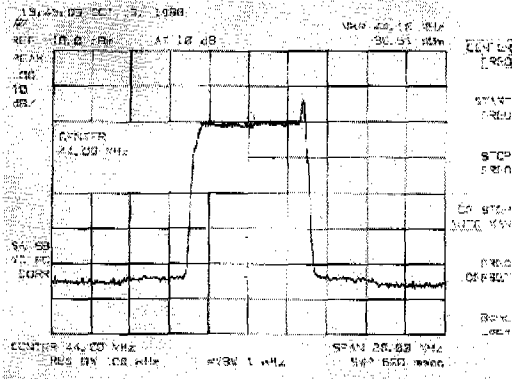


그림 7. 스펙트럼분석기 출력결과

특히 제작과정에서 D/A 변환기의 출력인 I, Q 신호는 변조부까지의 신호선에서조차도 위상성분의 특성이 민감하여서 모든 신호선이 설계 구조상 평형을 이루어야 한다. 이를 만족하지 않고 있을 때는 알고리즘이 수행되더라도 불협화신호를 개선하는데 한계가 있음을 발견하였다. 평형을 이루고 있지 않는 구조에서는 스프리어스 특성이 30dBc를 만족시키지 못할 것이다. 또한 더 좋은 특성을 얻기 위해서 디지털 접지와 아날로그 접지를 분리해 줄 수 있도록 하는 것이 IF 신호 특성을 개선 시킬 수 있으며, 디지털 접지 잡음의 영향에서 격리시킬 수 있다. 그리고 IF 신호선은 기판의 다른 Layer를 사용하여 타 신호선과 격리 시켰다. 이렇게 제작된 변조기의 스프리어스 특성을 고찰하기위해 스펙트럼분석기(Spectrum Analyzer : HP8593E)를 이용하여 측정한 결과 그림7과 같이 45dBc의 결과를 얻어 ATSC 표준안보다도 훨씬 좋은 결과를 얻었다.

그리고 제작된 변조기를 이용한 영상 실험은 그림8과 같이 디지털TV 시스템 구성도를 꾸며 주어 적합한 영상 데이터가 송신이 되고 있음을 확인하였다.

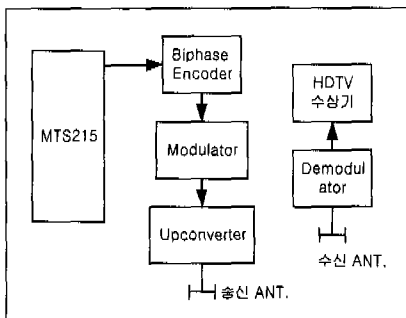


그림 8. 디지털TV 변조기의 영상실험 구성도

그림8의 영상실험 구성도에서 보여지는 것처럼 방송국에서 송출하는 영상장비로서는 Tektronics의 MTS(MPEG Test System)215를 사용하여 MPEG2-TS 신호를 변조기의 입력신호로 사용하였으며 또한 최근 디지털TV의 권위있는 표준화 그룹인 SMPTE(Society of Motion Picture and Television Engineers)에서 결정된 방송국 송출 신호는 바이페이즈-마크코드(Biphase-Mark code)로 표준화 되었기 때문에 제작된 변조기에는 Biphase-Mark code를 수신할 수 있도록 설계되었다. 그러나 MTS215 계측기는 Biphase-Mark Code를 출력하고 있지 않고 있기 때문에 Biphase Mark Encoder를 별도로 제작하여 MTS215와 변조기 사이에 넣어서 실험하였다. 변조기를 거쳐 만들어진 41MHz~47MHz의 6MHz 신호는 다시 TV 15번 채널로 만들어 주기위해 신호발생기(Signal Generator)와 혼합기(Mixer)를 이용하여 476MHz~482MHz로 주파수상향변환(Upconverting)하여 안테나를 통해 전송하였다. 수신기쪽에서는 수신안테나를 통해 입력된 신호가 복조기에 입력되는데, 복조기는 최근 LG전자에서 제작한 셋톱박스(Set-top Box)를 이용하였으며, 수상기는 16:9 사이즈인 HDTV급을 사용하여 선명한 화질을 볼 수 있었다. 그리고 제작된 변조기는 모든 기능의 정상수행 여부를 한눈에 볼 수 있도록 하기위해 모든 기능을 LED 표시로 나타낼 수 있도록 하였으며, 중요하다고 생각되는 최종출력, 반송파주파수, 내부 온도 등은 중앙처리장치를 통해 항상 감시할 수 있도록 설계하였다.

도표2의 측정결과 비교표는 미국 표준화 기구인 ATSC에서 정한 변조기의 주요 규격과 제작된 변조기의 측정결과를 비교한 것이다.

도표 2. ATSC규격과 제작된 변조기의 측정결과 비교

비교 내용	ATSC규격	제작된 변조기
주파수	41MHz~47MHz	41MHz~47MHz
IMD 스프리어스	-37dBc	-45dBc(IF출력)
Pilot Leakage	-50dBc	-75dBc
S/N	28.3dB	39.1dB

V. 결론

본 논문에서 적용된 알고리즘은 단지 변조기에서 발생할 수 있는 성분만으로 국한시켰지만, 송신기 전체에서 가장 크게 영향을 미치는 HPA(High

Power Amplifier)의 비선형 성분을 향상시키는 데에도 응용될 수 있어서 기술향상의 새로운 전기가 마련될 수도 있을 것이다.

제작된 8VSB방식과 더불어 16VSB 방식은 디지털TV 송신기에서 뿐만 아니라 CATV, DBS, VOD에도 적용이 가능하다. 특히 미국은 Cable TV에서 16VSB를 이용하여 한 채널에 2개의 HDTV급 영상을 송신 하는 실험에 성공하였으며, 이를 통해 기존에 적용된 64QAM 변복조 방식보다 33 ~ 50%의 더 많은 데이터를 서비스 할 수 있음을 보였다 한다. 조만간 여러 응용 분야에 실용화될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] ATSC Standard A/53, ATSC Digital Television Standard, Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., 1995
- [2] ATSC Standard A/54, Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard, Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., 1995
- [3] ATSC Standard A/64, Transmission Measurement and Compliance for Digital Television, Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., 1997
- [4] International Standard, Information Technology Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems, ISO/IEC 13818-1, 1996,04,15
- [5] Ronald B. Lee, Larry E. Nielsen, Frame Sync Signal For Digital Transmission System, United States Patent 5619269, Zenith Electronics Corporation, Apr. 8, 1997
- [6] Richard W. Citta, Carl G. Eilers, Co-channel Interference Reduction System For Digital High Definition Television, United States Patent 5086340, Zenith Electronics Corporation, Feb. 4, 1992.
- [7] Richard W. Citta, Ronald B. Lee, TV Signal Transmission Systems and Methods, United States Patent 5111287, Zenith Electronics Corporation, May 5, 1992.
- [8] S. Merrill Weiss, Issues in Advanced Television Technology, Focal Press, 1996

- [9] Jerry Whitaker, DTV, McGraw Hill, 1998
- [10] MPEG/HDTV용 ASIC 설계교육, 전자부품 연구소, 1998.9.24
- [11] Michael Robin, Michel Poulin, Digital Television Fundamentals, McGraw Hill Video/Audio Professional, 1998
- [12] R.E. Ziemer, W.H. Tranter, Principles of Communications Systems, Modulation, and Noise, Houghton Mifflin Company in Boston, 1990

오 인 열(Inn-yeal Oh)

정회원



1993년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1996년 8월 : 광운대학교 전자공학과 졸업(석사)
 1996년 7월~현재 : (주)LG정보통신 중앙연구소 디지털TV 송신기팀 연구원

<주관심 분야> 이동통신, 디지털방송기술
 blight@lgic.co.kr

양 경 석(Kyung-seok Yang)

정회원

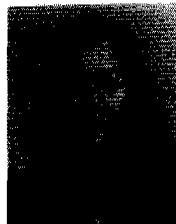


1983년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1987년 1월~현재 : KBS 기술연구소

<주관심 분야> HDTV, 지상파 디지털 TV
 yks@tri.kbs.co.kr

이 철(Chul Lee)

정회원



1989년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1990년 8월~현재 : (주) LG정보통신 중앙연구소 신입연구원

<주관심 분야> 무선통신, 디지털TV, RF 기술
 leefe@lgic.co.kr

목 하 균(Ha-Kyun Mok)

정회원



1980년 : 서울공대 전기공학과
졸업

1982년 : 한국과학기술원 전기
및 전자 공학과 졸업

1982년 : 한국방송공사 기술연구
소 입사

1992~1995 : 무궁화 위성(통신 방송 위성)
Payload 시스템 현장 연수(영국,
미국)

<주관심 분야> 지상파 디지털 방송, 위성방송, 마
이크로 웨이브 및 전파전파

Mok@tri.kbs.co.kr

오 성 환(Seong-hwan Oh)

정회원



1979년 2월 : 한양대학교 전자통
신공학과 졸업(학사)

1995년 2월 : 한양대학교 산업대
학원 전자통신공학과
졸업(석사)

1981년 8월 : (주)금성전기 연구
소 입사

1993년 7월~현재 : (주)LG정보통신 중앙연구소 채
임연구원

<주관심 분야> 이동통신시스템, 무선 멀티미디어
통신기술, 디지털 방송기술

osh@lgic.co.kr