

디지털 방식 FM 합성 신호 발생기의 구현

正會員 정 도 영*, 김 대 용**, 유 영 갑*

Implementation of a Digital FM Composite Signal Generator

DoYoung Joung*, DaeYong Kim**, Younggap You* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기(FM stereo composite signal generator)의 구현 결과를 제시하였다. 직접 디지털 주파수 합성기(DDFS)를 응용하여 단일 칩으로 디지털화 하였으며, 1.0 μ m CMOS 게이트-어레이 기술로 구현하였다. 설계 결과는 시뮬레이션을 통해 신호 발생 과정을 검증하였고, 디지털 칩을 실장한 평가용 인쇄회로기판을 제작하여 신호 발생 값을 비교 분석하였다. 측정 결과 디지털-아날로그 변환기의 비트 수가 12비트일 때 신호 대 잡음비가 74dB가 측정되었으며, 이는 아날로그 회로보다 14dB 더 우수한 것이다. 범용 스테레오 입출력으로 16비트 디지털-아날로그 변환기를 사용할 경우 아날로그 방식보다 훨씬 우수한 스펙트럼 순수도를 얻을 수 있을 것으로 기대한다. 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기는 신호 대 잡음비, 정확도, 튜닝 안정성, 그리고 집적도 측면에서 기존의 아날로그 회로보다 우수한 특성을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, presented is the result of a digital implementation of a FM stereo composite signal generator. The chip utilizing DDFS(Direct Digital Frequency Synthesizer) architecture is implemented using 1.0 μ m CMOS gate-array technology thereby replacing analog componentry. To verify the process of generating composite signals a conventional logic simulation method was used. The processed chip was mounted on an evaluation PCB to test and analyze to signals. According to the measurement result obtained by using a 12-bit DAC, the digital FM composite signal generator produces a 74dB spectrally pure signal over its entire tuning range, which is superior to that of analog counterpart by 14dB in its spectral response. And further enhancements of the spectral response is expected to be achieved by using a high resolution digital to analog converter, such as a 16-bit DAC. The resulting signals is superior to the signal of the analog circuitry typically used, in major characteristics such as S/N ratios, accuracy, tuning stability, and signal separation.

*충북대학교 정보통신공학과

**한국 전자 통신 연구원

論文番號: 97477-1229

接受日字: 1997年 12月 29日

I. 서 론

과거 10여년 동안 정보(방송)통신기기의 기능 개선과 성능 향상을 위해서 아날로그 회로를 디지털 회로화하여 개선하려는 경향이 일반적인 추세이다. 특히, 디지털 신호처리기술은 오디오(audio)와 비디오(video) 시스템의 고성능화를 이끌어 왔으며, 음성부문에서는 디지털 사운드(digital sound)로 표준화되어 발전하고 있다¹⁾. 일반적으로 아날로그 회로는 디지털 방식에 비해 신호 대 잡음비가 저하되고, 많은 부품을 필요로 하며, 안정성과 정확도가 떨어진다. 그리고 디지털 시스템은 모든 신호들을 디지털 신호 처리함으로써 쉽게 인터페이스 시킬수 있는 장점과 데이터를 프로그래머블하게 변경할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 이러한 디지털화 추세는 상당기간 지속될 전망이다.

이러한 추세에 따라서, FM 합성 신호 발생기의 회로 설계 문제는 그 원리가 이미 잘 알려져 있는 반면, 구현 회로의 구성과 실측 데이터의 평가에 대하여는 알려진 바가 지극히 미약하므로 본 논문은 디지털 방식 FM 합성 신호 발생기를 구현하고 측정 결과를 제시하여 그 활용 가능성을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 디지털 방식의 FM 스테레오 합성 신호 발생기는 안정성과 정확도 그리고 변조 기능이 우수한 직접 디지털 주파수 합성기(Direct Digital Frequency Synthesizer) 구조를 응용하여 설계하였으며, 1.0 μm CMOS 게이트-어레이 기술로 구현하였다. 고해상도의 직접 디지털 주파수 합성기는 기존의 아날로그 회로에서 발생하는 파일럿 신호와 부반송파간의 위상 지연 문제를 제거하였으며, 단일 시스템 클럭은 음성 입력 신호를 정확한 동기에 맞추어 변조시킴으로써 신호 지연이 전혀 없는 합성 신호와 변조 신호를 각각 출력하도록 하였다. 따라서 단일칩화된 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기는 아날로그 회로보다 개선된 신호 대 잡음비, 높은 정확성 및 튜닝 안정성, 그리고 집적도를 갖게 된다.

본 논문의 구성은 2절에서 직접 디지털 주파수 합성기의 기본 구조와 변조 방법, 그리고 일반적인 FM 스테레오 아날로그 합성 신호 발생기를 기술한다. 3절에서는 디지털 FM 시스템 회로에서 직접 디지털 주파수 합성기의 응용과 디지털 FM 스테레오 합성

신호 발생기를 설명한다. 그리고 4절에서는 칩의 공정과 구현 과정, 5절에서는 시뮬레이션 및 측정 결과를 분석하며, 6절에서는 결론을 맺는다.

II. 직접 디지털 주파수 합성기와 아날로그 FM용 합성 신호 발생기

본 절에서는 직접 디지털 주파수 합성기의 기본 구조와 변조 방법을 설명한다. 그리고 일반적인 아날로그 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 구조와 동작원리, 문제점과 개선점을 기술한다.

1. 직접 디지털 주파수 합성기 구조

직접 디지털 주파수 합성기는 디지털 주파수 조정 워드를 입력하면, 이에 해당하는 아날로그 파형의 주파수를 합성하는 장치로서 짧은 천이 시간과 연속적인 위상 변화 그리고 높은 정밀도 및 안정성을 제공한다²⁾. 그림 1은 일반적인 직접 디지털 주파수 합성기의 기본 구조로서, 위상 변화를 누적하는 위상 누산부와 위상 변화에 따른 사인 값을 계산하는 사인 함수 계산부, 그리고 발생된 디지털 정현파를 아날로그 신호로 변환시키는 디지털-아날로그 변환부로 구성된다.

위상누산기는 주파수 조정 워드를 입력받아 선형적으로 증가하는 디지털 위상값을 발생시킨다. 위상누산기의 출력 값은 주파수의 위상 정보이며, 위상값에 대한 진폭값이 저장된 룬의 어드레스로 사용된다. 룬에서 출력된 샘플 값은 디지털-아날로그 컨버터를 통해 아날로그 형태의 계단 파형이 형성되며, 저역통과 필터를 통해 합성하고자하는 정현파의 주파수가 출력된다. 직접 디지털 주파수 합성기에서 합성 주파수를 발생시키기 위한 출력 주파수와 위상 증가의 관계는 식 (1)과 (2)와 같다.

$$F_{out} = (F_{clk} \times W) / 2^N \quad (1)$$

$$F_{res} = F_{clk} / 2^N \quad (2)$$

여기서 F_{out} 은 출력 주파수이며 F_{res} 는 주파수 해상도이다. 그리고 F_{clk} 는 직접 디지털 주파수 합성기에 입력되는 클럭 주파수이며 W 는 주파수 조정워드값, N 은 위상 가산기의 비트수 이다. 예를 들어 32비트

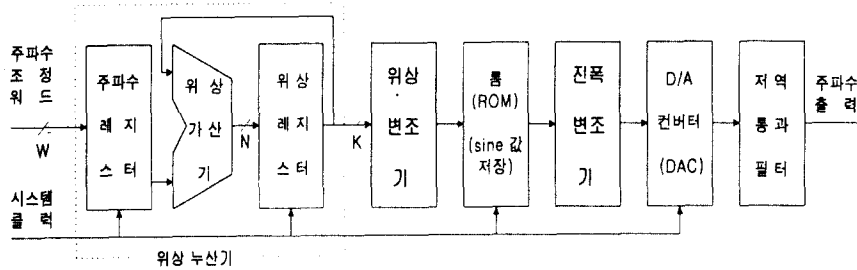


그림 1. 일반적인 직접 디지털 주파수 합성기의 구조와 변조 방법

Fig. 1 The structure of a conventional DDFS digital modulation

위상 누산기와 기준주파수 F_{clk} 이 50MHz일때, F_{res} 는 식(2)에 의해 1.64Hz의 해상도를 갖는다.

그림 1에서 직접 디지털 주파수 합성기를 이용한 위상 변조와 진폭 변조를 보이고 있다^[2]. 위상 변조는 위상누산기와 사인lookup 테이블 사이에 위상 변조기를 부가하여 선형적으로 증가하는 위상 어드레스를 쉬프트 시킨다. 쉬프트된 비선형적인 위상 어드레스는 롬에 접근하는 불규칙한 어드레스가 되어 출력되는 정현파의 위상을 변조한다. 롬과 디지털-아날로그 컨버터 사이에 위치한 진폭 변조기는 롬에서 출력된 일정 진폭을 가진 정현파에 신호를 곱하여 정현파의 진폭을 변조시킨다. 따라서 일반적인 직접 디지털 주파수 합성기의 출력신호 $A \sin(\omega t + \phi)$ 를 진폭, 주파수, 그리고 위상 변조하였을 때, 출력 신호 $S(t)$ 는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$S(t) = A(a) \sin[\omega(W)t + \phi(b)] \quad (3)$$

여기서 (a)는 진폭 변조, (W)는 주파수 변조, (b)는 위상 변조의 파라미터이다.

2. FM 스테레오 합성 신호 발생기

FM 스테레오 합성 신호 발생기는 스테레오 방송을 위해 좌측 및 우측 신호 두개를 동시에 단일파로 전송할 수 있도록 양립성을 갖는 신호를 합성하는 기능을 한다^[3,4]. 양립성을 갖는 신호는 모노 수신기로 스테레오 신호를 수신하였을 때, 모노 신호를 수신할때와 동일한 진폭과 위상을 갖는 신호를 의미한다. 따

라서 양립성이 유지되지 않으면, 모노 수신기로 스테레오 신호를 수신할 경우 왜곡된 신호를 복조하게 되며 일그러진 신호를 청취하게 된다. FM 스테레오 신호는 주파수 편이를 75kHz로 하고 있으며, 음성 신호의 대역폭을 15kHz로 하고 있다.

일반적인 아날로그 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 구조는 그림 2의 합성 신호 발생부와 같다. 외부에서 입력되는 좌측신호 L과 우측신호 R이 가산과 감산을 하는 매트릭스 회로를 통해 $L + R$, $L - R$ 신호로 만들어진다. $L + R$ 은 그대로 주파수 변조기에 의해 주파수 변조되는데, 이 신호는 모노 수신기로 스테레오 방송을 수신할 때 수신하는 신호로 모노 방송신호와 동일한 신호이며, 따라서 양립성을 갖게 된다. $L - R$ 신호는 스테레오에 대한 부가신호로서 38kHz의 부반송파를 반송파 억압 진폭 변조(suppressed carrier AM) 한다. 수신측에서는 송신측에서 사용한 부반송파와 같은 주파수, 같은 위상을 갖는 부반송파를 만들어낼 필요가 있는데, 이 부반송파를 만드는 역할을 하는 것이 부반송파의 1/2에 해당하는 19kHz 파일럿 신호이다. 수신측에서는 이 파일럿 신호를 추출하여 두배로 체배됨으로써 송신측의 38kHz와 동기를 맞출 수 있다. 따라서 FM 스테레오 합성 신호는 다음과 같다.

$$S(t) = (L + R) + (L - R) \sin \omega_s t + p \sin \frac{\omega_s}{2} t \quad (4)$$

여기서 ω_s 는 부반송파의 각 주파수로 $2\pi \times 38\text{kHz}$ 이며, 주파수가 19kHz인 $\sin(\omega_s/2)t$ 는 파일럿 신호이고

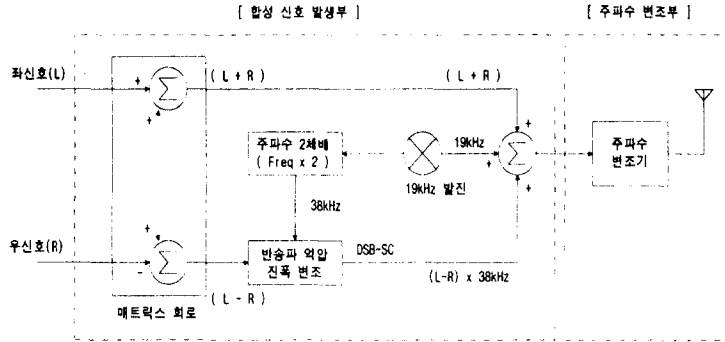


그림 2. 아날로그 FM 스테레오 합성 신호 발생기 구조

Fig. 2 The structure of an analog FM stereo composite signal generator

μ 는 파일럿 신호의 레벨 값이다. 그러나, FM 스테레오 합성 신호 발생기에서는 신호의 지연 및 동기 맞춤의 어려움 등이 문제점으로 발생한다. 38kHz는 국부 발진기 19kHz를 2배배하여 합성하는데, 이 과정은 두 주파수간의 위상 지연을 발생시킨다. 위상 지연은 정확한 위상에서의 신호 합성을 어렵게 하며, 수신측에서도 왜곡된 합성 신호를 복조하게 한다. 또한 정확한 신호 합성을 위해 신호간 지연을 통한 동기화가 필요하며, 이를 위해 정교한 RC회로의 튜닝을 요구한다. 이러한 문제점들은 디지털 신호 처리하여 개선할 수 있다. 두 개의 주파수 합성은 직접 디지털 주파수 합성기를 사용하여 주파수간의 위상 지연 없이 동시에 합성할 수 있으며, 신호의 지연은 단일 시스템 클럭을 사용하여 동기시킴으로써 정확한 신호 합성을 할 수 있다.

Ⅲ. 디지털 방식 FM 스테레오 합성 신호 발생기 설계

본 절에서는 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기에서 직접 디지털 주파수 합성기의 응용을 소개한다. 그리고 기존의 아날로그 회로를 디지털 신호 처리하여 단일칩화한 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 구조와 로직 시뮬레이션 결과를 설명한다.

1. 직접 디지털 주파수 합성기의 응용

고해상도의 직접 디지털 주파수 합성기는 파일럿

신호와 부반송파를 합성 및 진폭 변조를 위해 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기에서 사용되었다. 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기는 3종류의 신호 주파수 즉, 19kHz 파일럿 신호와 38kHz 부반송파 그리고 내부모드 주파수를 발생시킨다. 3종류의 서로 다른 주파수 합성을 위해 3개의 위상누산기와 한 개의 뮌을 구성하였으며, 합성된 주파수를 진폭 변조한다. 고해상도를 유지하기 위해 각각의 위상누산기는 32비트의 주파수 조정워드, 32비트의 위상가산기, 32비트 위상 레지스터로 구성되었으며, 한 개의 뮌을 각각의 해당 위상 어드레스가 접근 할 수 있도록 다중화기를 구성하였다. 그리고, 16비트 입출력 단자를 갖는 뮌의 출력 뒷 단에 16비트 곱셈기를 부가하여 진폭 변조가 되도록 구성하였다. 파일럿 신호와 부반송파를 합성하기 위해 직접 디지털 주파수 합성기의 주파수 조정워드를 각각 16진수 09BA5E35와 1374BC6A로 하였다. 따라서, 식 (1)과 (2)에 의하여 19kHz 파일럿 신호 출력 F_{pilot} , 38kHz 부반송파 출력 F_{38kHz} , 그리고 주파수 해상도 F_{res} 는 다음과 같다.

$$F_{pilot} = (0.5MHz \times 163208757) / 2^{32} \quad (5)$$

$$F_{38kHz} = (0.5MHz \times 326417514) / 2^{32} \quad (6)$$

$$F_{res} = (0.5MHz / 2^{32}) = 0.12 \times 10^{-3} Hz \quad (7)$$

여기서 F_{clk} 는 16MHz 시스템 클럭을 32분주한 0.5MHz를 기준 클럭으로 사용한다. 3개의 위상누산기에서 출력되는 위상 어드레스는 그림 3과 같이 클럭

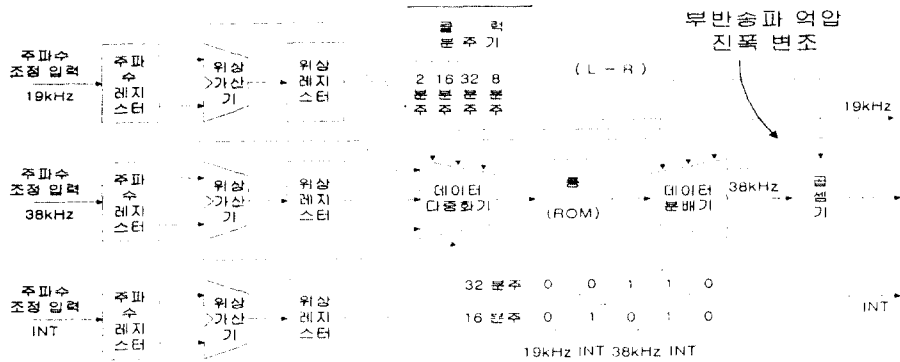


그림 3. 디지털 합성신호 발생기에서 직접 디지털 주파수 합성기의 응용
 Fig. 3 Application of DDFS in a digital composite signal generator

분주기중 16분주와 32분주 출력의 조합에 의해 신호가 다중화 되며, 1μs 간격으로 해당 주파수의 위상 어드레스가 출력된다. 그리고 분배기는 롬에서 출력된 주파수를 클럭에 동기시켜 주파수를 출력하며, 분배기 뒤에 위치한 곱셈기는 부반송파 억압 진폭 변조를 한다. 따라서, 이러한 다중화 기법과 동기에 의한 일괄적 신호의 분배 기능은 아날로그 회로에서 부반송파를 합성하기 위해 파일럿 신호를 2채배 하는 동안에 생기는 주파수 위상 지연을 제거하며, 정확한 동기에 의한 진폭 변조와 합성 신호를 출력하도록 하는 장점을 가진다.

2. 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기 설계

디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 기능별 블록도는 그림 4와 같이 구성하였다. 각 블록간의 데이터 흐름은 클럭을 분주한 신호와 분주된 클럭 주파수의 조합된 신호로 제어하였으며, 정현파를 디지털 샘플링한 디지털 값을 상용 롬(27C512 EPROM)에 저장하였다. 입력 데이터 변환기 블록은 아날로그-디지털 컨버터를 통해 들어온 좌측음향 L과 우측음향 R에 대해, 부호 비트가 음수인 경우 '1', 양수인 경우 '0'으로 변환시키고, 입력데이터를 체크하여 음수 0에 대하여 양수 0으로 0의 값을 보정하며, 연산이 용이하도록 음수 값은 2의 보수 형태로 만들어 출력시킨다.

주파수 발생기 및 신호 가감 연산기 블록은 아날로그

그에서의 매트릭스 회로와 같이 (L + R)과 (L - R) 연산을 수행하며, 직접 디지털 주파수 합성기를 사용하여 19kHz와 38kHz의 해당 위상 어드레스를 출력시킨다. 롬의 입력 값이 되는 위상 어드레스는 고정된 32비트 스텝 값을 연산하는 위상가산기의 32비트 출력 중 상위 16비트만을 유효한 어드레스로 한다. 주파수 다중화기는 클럭 분주기를 이용하여 19kHz와 38kHz의 어드레스값을 출력한다. 롬으로부터 출력되는 19kHz와 38kHz의 해당 위상값들은 주파수 다중화기와 마찬가지로 클럭 분주기의 제어하에 주파수 분배기로 들어가게 된다.

레벨 조정기 블록은 8비트의 제어 데이터를 입력받아 파일럿 신호, 즉 19kHz의 진폭의 레벨을 조정하게 된다. 미 연방 통신위원회(FCC)는 스테레오 방송에서 최대 주파수 성분의 10%를 19kHz 파일럿 신호에, 나머지 90%를 (L + R)과 (L - R)에 할당하도록 규정하고 있다¹⁾. 반송파 억압 진폭 변조기 블록에서는 (L - R)신호를 부반송파에 반송파 억압 진폭 변조하여 출력시킨다. 데이터 래치기는 반송파 억압 진폭 변조기와 레벨조정기 블록에서 출력이 나올 때까지 (L + R) 연산값을 유지시켜 출력시킨다. 데이터 래치기는 아날로그 회로에서 매트릭스 회로의 출력 신호중 (L + R) 신호가 합성기에 입력될 때까지 다른 신호와 동기를 맞추기 위해 신호를 지연시키기 위한 튜닝의 어려움을 제거하였다. 신호 합성기 블록은 (L + R), (L - R)

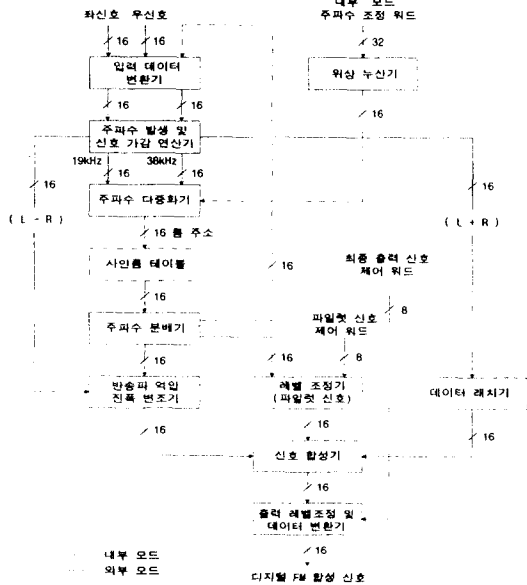


그림 4. 디지털 FM 스테레오 합성신호 발생기의 블록도
Fig. 4 Block diagram of the digital FM stereo composite signal generator

$\sin \omega_s t, p \sin(\omega_s/2)t$ 의 더한 값을 출력하며, 출력 레벨 조정 및 데이터 변환기 블록에서는 출력값의 레벨을 조정함과 동시에 출력값이 디지털-아날로그 컨버터의 입력으로 들어가도록 부호 비트 값을 변환한다.

그림 5는 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 시뮬레이션

이선 결과로써, 그림 4의 로직틀러에서 좌(Left) 신호와 우(Right) 신호 입력포트의 입력 데이터에 대한 합성결과(L+R)ADD인 Ackt 출력포트의 출력결과와 데이터 변환기인 Fout출력포트의 출력결과를 나타낸다⁶⁾. 초기 입력값으로 L과 R을 동일값 '8F0F', 파일럿 신호의 레벨 값과 최종 레벨 조정 값을 각각 '60'과 '08'로 하였다. (L+R)과 (L-R)값은 각각 '0F0F'와 '0000'로 계산되며, 롬에서 읽은 38kHz의 값 '26E9'는 (L-R)과 연산되어 진폭 변조한다. 19kHz의 값 '1374'는 레벨조정값 '60'과 곱셈 연산되어 진폭 값이 조정되며, 최종 출력 값도 '08'과 곱셈 연산되어 진폭 값이 조정된 후 '8059'의 값을 출력함을 보인다.

IV. 구현 과정

설계 완료된 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 디바이스 레이아웃과 공정은 1.0 μ m CMOS 게이트 어레이 기술을 이용하여 칩을 구현하였다. 디바이스 레이아웃은 상용 회로 설계 도구(VLSI Tech.의 COMPASS)의 게이트 컴파일러를 이용하였고, 베이스 어레이는 12,000게이트의 VGT300039(6.562 \times 6.562mm²) 원판을 이용하였다. 상위 레벨 회로에 대한 배치/배선(Placement & Routing)을 수행한 후 시뮬레이션을 통해 정상 동작함을 확인하였으며, 웨이퍼 제작 후 기능 확인을 위해 웨이퍼상에서 다시 한번 테스트를 수행하여 160핀 MQFP 타입으로 패키징을 하였다. 공정이 끝

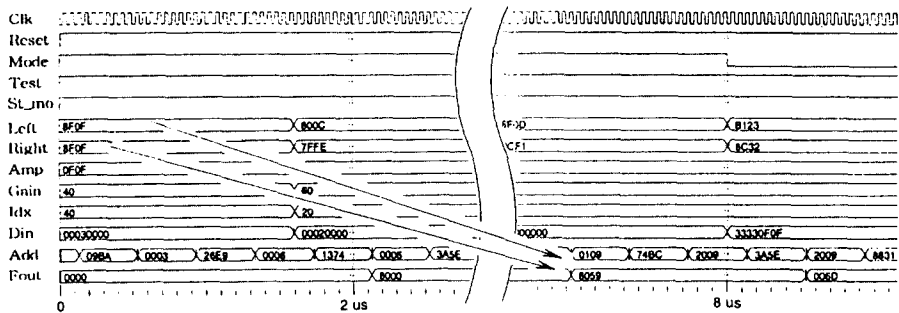


그림 5. 디지털 FM 스테레오 합성신호 발생기의 시뮬레이션 결과

Fig. 5 Simulation result of the digital FM stereo composite signal generator

난 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기 디바이스의 특성 측정 결과를 표1에 나타내고 있으며, 모든 동작하는 디바이스들은 동일한 특성을 얻을 수 있었다.

표 1. 디지털 합성 신호 발생기의 특성 요약

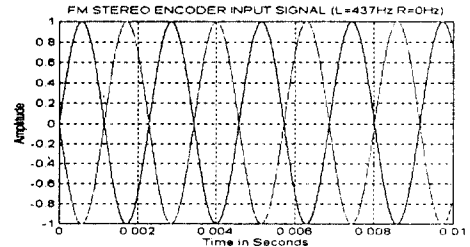
Table 1. Digital FM stereo composite signal generator chip specifications

Technology	1.0 μ m One Poly, Two-Metal CMOS Gate-array
Die Size	6.562 \times 6.562mm ²
총 게이트 수	1,1694
Power Consumption	I _{cc} (dynamic current)=191.42mA @5V, 16MHz
Clock Freq.	16MHz
주파수 해상도	0.12 \times 10 ⁻³ Hz
Output Word Length	16-bit

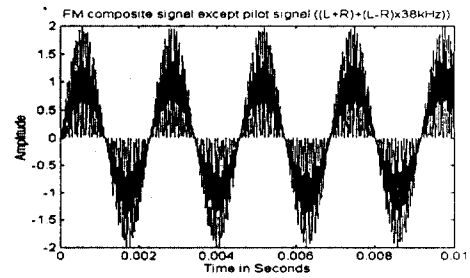
V. 시뮬레이션 및 측정 결과 분석

디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기를 실장하기 전에, 디바이스에서 출력될 파형과 스펙트럼을 분석하기 위하여 수식 계산 도구(Matlab)으로 시뮬레이션한 결과가 그림 6과 같다. 그림 6은 시뮬레이션의 초기 입력 값으로 좌측 신호와 우측 신호에 각각 437Hz와 0Hz의 정현파를 입력하여 출력한 신호 파형과 스펙트럼을 나타낸다. 그림 6a는 매트릭스 회로에서 출력되는 (L+R)과 (L-R) 신호이며, 그림 6b는 (L+(L-R) \times 38kHz)의 신호, 즉 파일럿 신호를 제외한 베이스 밴드 신호와 부반송파 억압 진폭변조의 합성된 출력 신호이다. 그리고 그림 6c는 FM 스테레오 합성 신호이며, 그림 6d는 그림 6c의 스펙트럼이다. 그림 6d는 식 (1)에서 예측한 바와 같이 (L+R) 신호가 0~15kHz 사이에 존재하며, 19kHz에는 파일럿 신호, 그리고 (L-R) 신호는 38kHz에서 진폭 변조되어 38kHz를 중심으로 양측파대가 존재하고 있음을 보인다.

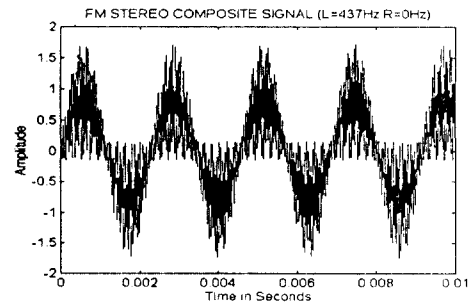
시뮬레이션 결과와 디지털로 구현된 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 출력 비교 및 특성 측정을 위해 평가 인쇄 회로 기판을 제작하였다. 그림 6은 구현된 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기 칩을 실장한 평가용 인쇄 회로 기판이다. 평가용 보드는 OP-Amps, 아날로그-디지털 컨버터, 디지털 FM 스테레오 합성



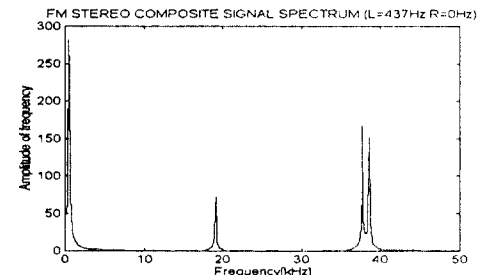
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6. FM 합성신호 발생기의 출력 파형 및 스펙트럼 (L = 1kHz, R = 500Hz): (a) 매트릭스 회로의 출력 파형; (b) 파일럿 신호를 제외한 FM 합성 신호 파형; (c) FM 합성 신호 파형; (d) FM 합성 신호 파형의 출력 스펙트럼

Fig. 6 The wave and spectrum of FM composite signal (L = 1kHz, R = 500Hz): (a) matrix circuit output waveform; (b) FM composite signal waveform except pilot signal; (c) FM composite signal waveform; (d) spectrum of FM composite signal

신호 발생기, 롬(27C152), 디지털-아날로그 컨버터, 16MHz 오실레이터, 회전 스위치, TTLs 등으로 구성하였다. 제작한 평가 인쇄 회로 기판의 측정을 위해, 측정 장비는 HP54504A, Lecroy 9374 오실로스코프와 HP3562A 스펙트럼 분석기 그리고 HPI163C 로직 분석기를 각각 사용하였다.

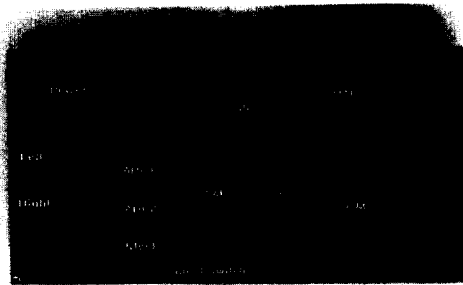


그림 7. 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 평가용 인쇄 회로
 Fig. 7 Test board of the digital FM stereo composite signal generator

디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 출력 신호를 가변 시키기 위해 좌신호와 우신호가 각각 다른 경우와 동일한 경우를 입력하였으며, 각 입력에 대하여 8비트와 12비트 디지털-아날로그 변환기를 사용하여 측정하였다. 이를 수행하기 위해, 첫째 디지털 합성 신호 발생기의 입력을 시뮬레이션과 동일한 주파수를 가지는 437Hz의 삼각파와 0Hz 신호를 입력하여 그림 8의 출력 신호를 얻었으며, 둘째, 좌신호와 우신호를 각각 동일한 2.062kHz의 정현파를 입력하여 그림 9의 출력 신호를 얻었다.

그림 8a는 파일럿 신호를 제외한 FM 스테레오 합성 신호로 그림 6b와 동일하며, 그림 8b는 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 출력 신호로서 그림 6c와 동일한 결과 값이 출력되고 있음을 보인다. 그리고 그림 8c는 그림 8b의 스펙트럼을 나타낸다. 437Hz에서 (L + R) 신호가 존재하며, 19kHz에 파일럿 신호, 그리고 38kHz를 중심으로 반송파 억압 진폭 변조된 신호가 각각 37.563kHz와 38.437kHz에서 양측파대를 형성하고 있다. 그림 8c에서 1.311kHz, 2.185kHz 등

과 같이 437Hz의 홀수배가 되는 곳에서 주파수 성분이 발생하는데, 이는 삼각 파형을 푸리에 변환하였을 경우 주파수의 크기는 n^2 에(n 은 $2\pi fa$, f 는 437Hz, a 는 홀수)반비례 하며, $\cos nt$ 에서 주파수 성분이 각각 존재하기 때문이다. 따라서 반송파 억압 진폭 변조된 신호의 양측파대에서도 똑같은 주파수 성분이 존재한다. 그러나 정현파를 푸리에 변환하였을 경우 반송파로부터 주파수 성분만큼 떨어진 곳에서 신호 성분이 존재하므로 그림 9와 같은 스펙트럼을 얻는다. 또한 38kHz를 중심으로 양측파대가 나타나지 않는 것은, 좌신호와 우신호가 동일하기 때문에 (L - R) 신호가 0이 되고, 따라서 38kHz에서 진폭변조가 발생하지 않는다.

아날로그 방식과 디지털 방식의 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 특성을 비교 분석하기 위하여 아날로그 방식의 FM 모듈의 스펙트럼을 측정하였다¹⁾. 그림 10은 좌신호와 우신호에 각각 1kHz와 0Hz의 정현파 입력을 가한 아날로그 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 출력 스펙트럼을 나타낸다. 아날로그 회로에서는 신호대 잡음비가 60dB로 측정되었다. 그러나 그림 8과 그림 9에서와 같이 디지털 방식 합성 신호 발생기에서는 8비트와 12비트 디지털-아날로그 변환기 출력에서 각각 51dB와 74dB의 신호 대 잡음비로 측정되었으며, 아날로그 방식 보다 14dB 개선되었음을 보이고 있다. 그리고 디지털 합성 신호 발생기 칩 자체에 대한 노이즈 레벨이 -117dB가 측정되었으며, 노이즈의 대부분은 디지털-아날로그 변환기에 의존함을 알 수 있었다.

그림 8과 그림 9에서 디지털-아날로그 변환기의 출력 비트 수가 증가함에 따라 신호대 잡음비가 개선되는 것은 직접 디지털 주파수 합성기의 특성과 밀접한 상관관계를 가진다. 직접 디지털 주파수 합성기 구조에서 위상 어드레스와 디지털-아날로그 변환기의 출력 스펙트럼을 비교하기 위해 수학적으로 해석한 FFT(Fast Fourier Transformation) 시뮬레이션 결과에서, 디지털-아날로그 변환기의 비트 수가 하나씩 증가할 때마다 스펙트럼의 순수도가 6dB/bit 개선됨을 보이고 있다²⁾(어드레스와 디지털-아날로그 변환기의 비트 수가 동일할 경우). 또한 고정된 어드레스 비트 수에 대하여 출력 비트 즉 디지털-아날로그 변환기 비트 수가 증가하여도 직접 디지털 주파수 합성

기의 출력 스펙트럼은 더 이상 개선되지 않음을 보인다. 그러므로 16비트의 어드레사와 범용 스테레오 출력 비트로 16비트 디지털-아날로그 변환기를 사용하였을 경우 90dB 이상의 우수한 스펙트럼 순수도를 예상할 수 있다.

그리고, 그림 10의 아날로그 FM 스테레오 합성 신호의 출력 스펙트럼은 38kHz에서 주파수 성분이 존재하고 있음을 나타낸다. 38kHz는 반송파 억압 진폭 변조를 하였기 때문에, 스펙트럼상에서 주파수 성분이 나타나지 않아야 한다. 그러나 아날로그 회로에서는 좌신호와 우신호와의 분리도가 55dB~60dB 발생하게 된다⁷⁾. 즉, 좌신호와 우신호간의 주파수 간섭과 스위칭하는 주기가 발생하여 38kHz의 주파수 성분이 나타나게 된다. 이를 제거하기 위해 아날로그 회로에서는 신호의 밸런스 조정을 위한 회로 튜닝과 필터링을 고려하게 되지만 여전히 누설 전류에 의해 존재하게 된다. 그러나 디지털 방식에서는 동기에 의한 신호 변조와 합성을 하도록 설계되었으므로, 신호에 대한 간섭 및 스위칭을 고려할 필요가 없다. 그림 8과 그림 9에서와 같이 디지털 방식은 38kHz 성분이 출력 스펙트럼에서 전혀 나타나지 않고 있다. 따라서 디지털 방식이 기존의 아날로그 방식보다 월등히 우수한 신호 분리도를 갖고 정확한 신호를 발생시킨다. 또한 튜닝의 안정성 측면에서도 RC 들로 조정하는 아날로그 방식 보다 안정적임을 보인다.

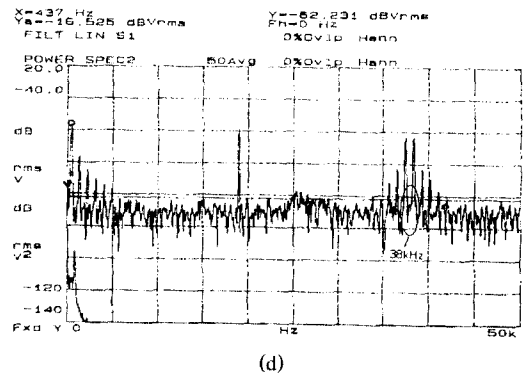
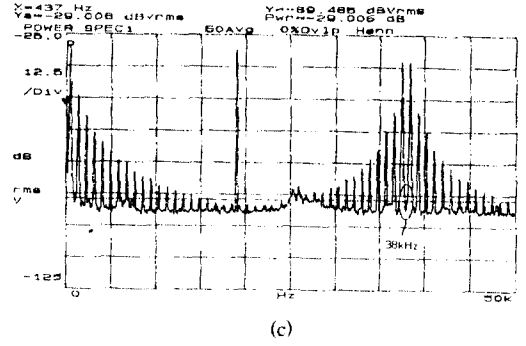
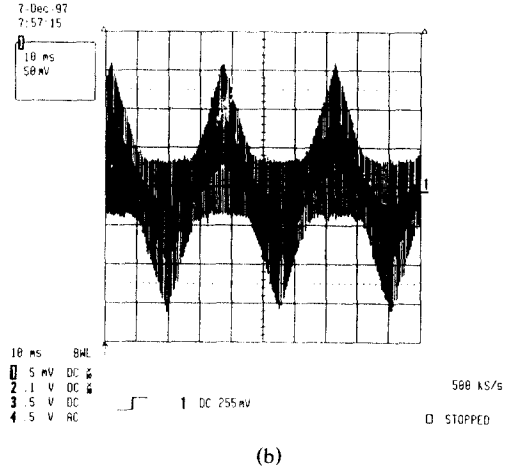
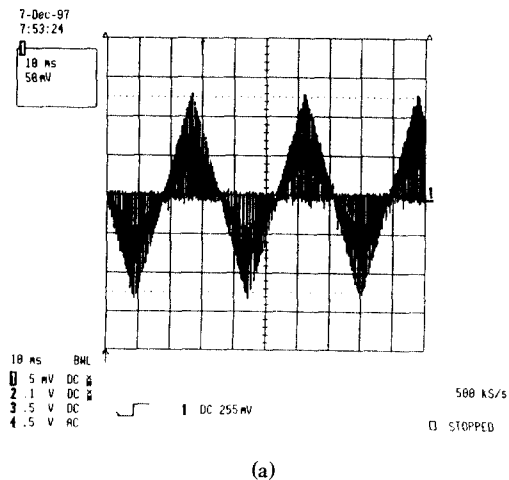
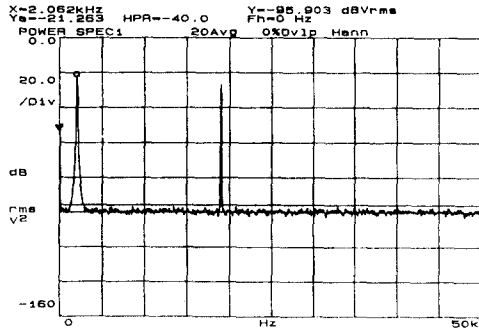
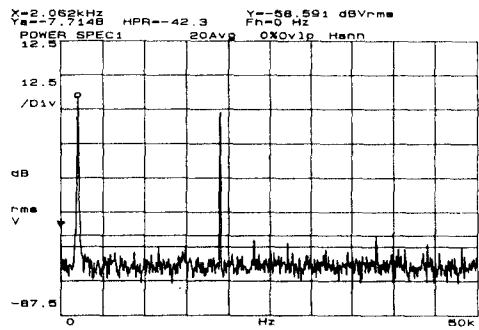


그림 8. 서로 다른 신호(L=437Hz, R=0Hz) 입력 디지털 FM 합성신호 발생기의 출력 파형 및 스펙트럼:(a) 파일럿 신호를 제외한 FM 합성 신호 파형;(b) FM 합성 신호 파형;(c) 12비트 디지털-아날로그 변환기의 출력 스펙트럼;(d) 8비트 디지털-아날로그 변환기의 출력 스펙트럼

Fig. 8 The wave and spectrums of the digital FM composite signal generator for different inputs(L=437Hz, R=0Hz):(a) FM composite signal waveform except pilot signal;(b) FM composite signal waveform;(c) 12bit DAC output spectrum;(d) 8bit DAC output spectrum



(a)



(b)

그림 9. 동일한 신호(L=R=2.062kHz) 입력 디지털 FM 합성 신호 발생기의 출력 스펙트럼:(a) 12비트 디지털-아날로그 변환기의 출력 스펙트럼;(b) 8비트 디지털-아날로그 변환기의 출력 스펙트럼

Fig. 9 The spectrum of the digital FM stereo composite signal generator for same inputs(L=R=2.062kHz):(a) 12bit DAC output spectrum;(b) 8bit DAC output spectrum

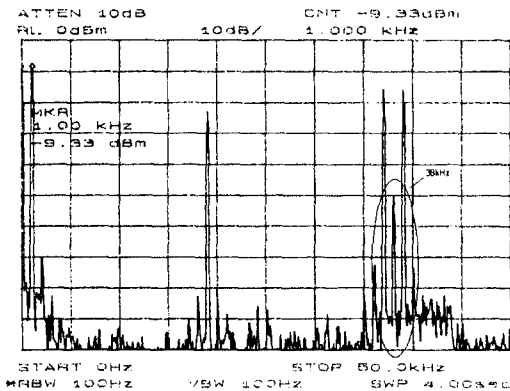


그림 10. 아날로그 FM 합성 신호 발생기의 스펙트럼

Fig. 10 The spectrum of the analog composite signal generator output

표 2. 디지털과 아날로그 FM 합성 신호 발생기의 특성
Table 2. Digital and analog FM composite signal generator specifications

구 분	디지털 FM 합성 신호 발생기	아날로그 FM 합성 신호 발생기
신호 대 잡음비 (S/N ratios)	8bit DAC:51dB 12bit DAC:74dB 16bit DAC:90dB (이상 예상)	60dB
신호 분리도 (signal seperation)	L:437Hz R:0Hz 일때, R의 출력:DC=0V	L:1kHz R:0Hz 일때, R의 출력:DC=(L 대비 약 1/1000V 출력, 즉 50~60dB)
파일럿 신호 (pilot signal)	19kHz±(0.12×10 ⁻³ Hz)	19kHz±2Hz

VI. 결 론

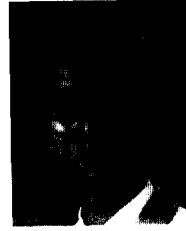
본 논문에서는 디지털 FM 스테레오 합성신호 발생기를 설계 제작하였으며, 그 측정결과를 제시하였다. 스테레오 방송용 시스템 및 디지털 신호 발생기 등에 사용되는 디지털 FM 스테레오 방식 합성 신호 발생기는 직접 디지털 주파수 합성기의 구조를 응용하여 설계하였으며, 1.0 μ m CMOS 게이트-어레이 기술로 구현하였다. 0.12×10⁻³ Hz(@ F_{clk}=0.5MHz)의 고해상도와 고정밀도를 가지는 직접 디지털 주파수 합성기는 파일럿 신호를 체배하여 부반송파를 합성하는 동안 발생하는 주파수간의 위상 지연을 제거하였으며, 진폭 변조와 신호 합성 기능을 하였다. 또한 직접 디지털 주파수 합성기에서 발생하는 모든 주파수 성분의 디지털 데이터 값은 단일 시스템 클럭에 의해 동기되므로, 신호의 동기를 위한 튜닝의 어려움을 제거하였으며, 동기에 의한 정확한 신호를 발생하였다.

디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기의 출력을 각각 8비트와 12비트 디지털-아날로그 변환기를 사용하여 각각 51dB와 74dB의 신호 대 잡음비가 측정되었다. 12비트 디지털-아날로그 변환기의 출력 결과는 일반적으로 60dB 정도가 측정되는 기존의 아날로그 회로보다 14dB의 신호 대 잡음비가 개선됨을 보였다. 또한 좌신호와 우신호간의 주파수 간섭에 의해 발생하는 38kHz의 주파수 성분을 제거함으로써 아날로그

회로부터 우수한 신호 분리도를 얻었다. 따라서 디지털로 구현된 디지털 FM 스테레오 합성 신호 발생기는 기존의 아날로그 회로부터 높은 신호 대 잡음비, 우수한 신호 분리도, 정확도, 튜닝 안정성을 갖는다.

참 고 문 헌

1. Robert Orban, "Digital audio processing for FM: system considerations", *NAB, Proc. Broadcasting Engineering Conf.*, pp. 90-97, 1992.
2. Bar-Giora Goldberg, *Digital Techniques in Frequency Synthesis*, McGraw-Hill, New York; 1996.
3. 김광수, *FM 스테레오 수신기 설계*, 송산출판사, 1971.
4. Ferrel G. Stremier, *Introduction to Communication System*, Addison-Wesley, Reading, Mass; 1990.
5. Martin S. Roden, *Analog and Digital Communication System*, 3rd Ed., Prentice-Hall, New York; 1991.
6. 정도영, 이종선, 유영갑, 김대용, "FM 스테레오용 디지털 Composite 신호 발생기의 설계 연구", *대한전자공학회 추계학술회 논문집*, 제 19권, B편, 제 2호, 908-911쪽, 1996년 11월.
7. "JSG-1101B FM stereo/FM-AM signal generator manual", 정진전자(주), 1997.
8. 김대용, 이종선, "1.0 μm CMOS SOG로 구현한 적집 디지털 주파수 합성기의 성능에 관한 고찰", *전자공학회지*, 제 34권, D편, 제 3호, 41-51쪽, 1997년 3월.
9. 구기준, *무선통신기기*, 광명출판사, 1996.



정 도 영(DoYoung Joung) 정회원
 1971년 2월 12일생
 1996년: 충북대 컴퓨터공학과 졸
 1998년: 충북대 정보통신공학과 대학원 통신소자 전공 졸
 1997년 8월~1998년 1월: 한국 전자통신 연구원 ASIC 설계실 위촉 연구원

현재: 미국 Halfomesystems사에 재직중
 ※주관심분야: 고속 ASIC 설계

유 영 갑(Younggap You) 정회원
 한국통신학회논문지 96-12 Vol. 21 No. 12 참조
 현재: 충북대학교 전기전자공학부 교수

김 대 용(DaeYong Kim) 정회원
 한국통신학회논문지 96-12 Vol. 21 No. 12 참조
 현재: 한국전자통신연구원 책임연구원