

DIFM 수신기의 성능향상 결정요소 분석

구기영*, 최현철**, 안현관^{0***}, 박철순****, 임중수*****
*국방품질관리소, **경북대학교, ***(주)빅텍,
****국방과학연구소, *****천안대학교
E-mail : hkan@victtek.co.kr

The Analysis of important factors for improving the performance of DIFM Receiver

Ku Ki-Young*, Choi Hyun-Chul**, An Hyeon-Kwan^{0***},
Park Cheol-Sun****, Lim Joong-Soo*****
*DQAA, **Kyungpook Nat'l Univ., ***VICTEK,
****ADD, *****Cheonan Univ.

Abstract

An engineer prefers DIFM receiver which is superior to instantaneous response rather than superheterodyne receiver which has a scan rate in normal wide band receiver designing. But DIFM receiver has weak point in sensitivity and continuous wave signal because of special environments. In this paper we propose the method which is certificated through simulation and prototype testing to improve sensitivity of DIFM receiver. And we analyze the important factors of DIFM receiver from our results.

주요기술용어 : DIFM(Digital Instantaneous Frequency Measurement), 주파수측정회로 (DFD:Digital Frequency Discriminator), 호모다인, 코릴레이터, 임계레벨 문턱점(Threshold)

1. 서론

모든 형태의 수신기의 성능을 결정하는 요소 중 수신 범위 내에서 신호를 완벽히 분석하도록 구현하는 것은 매우 어려운 일이다. 특히 감도범위 최소점에서 신호분석 효과를 개선시키는 것은 수신기를 설계하는 중요한 요소가 된다.

일반적인 슈퍼헤테로다인 수신기의 감도는 -80dBm 이하의 감도를 가지고 있고 전자전 장비에 사용되는 DIFM 수신기는 순시대응능력 및 광대역의 주파수범위를 처리하는 능력이 우수하지만 지속파 대응능력과 수신감도에 취약한 특성이 있다. 그러나 DIFM 수신기는

광대역 주파수의 전자전용 수신기로서 중요한 장비이므로 취약점을 개선시키기 위해 여러 가지 분석과 요소들을 적용시켜왔다.^{[1][2]}

본 논문에서는 개선된 DIFM 수신기를 설계하는데 있어 수신감도를 개선을 위해 초단 증폭기 및 Dual Driving Local Oscillator를 추가 하였고 정확한 신호측정능력 향상을 위해 2단계 임계레벨 문턱점(Threshold)을 설정하였다. 또한, 지속파신호처리를 위해 BPF와 BRP 추가하여 신호처리능력 향상 등 초기설계요소와 시뮬레이션, 실험결과를 토대로 기술하였다. 또한 이러한 결정요소로 인한 DIFM 수신기의 개선효과를 비교 및 분석하였다.

2. 순시 주파수 측정 수신기 구성

2-1. 기본적인 DIFM 수신회로^{[3][4]}

광대역의 주파수범위를 가지는 회로를 구현할 때 주파수를 기저대역으로 낮추기 위해 Local Oscillator(이하 LO)를 사용하는데 이때 생기는 2nd Harmonic이 수신감도를 저하시키는 중요한 요인이 되므로 광대역의 수신기를 설계하기는 어렵다. 그러나 DIFM 수신구조에서는 Local Oscillator값이 주파수범위내에 존재하지 않도록 구성하거나 입력되는 주파수의 위상차를 직접 측정함으로써 광대역의 주파수 범위를 측정할 수 있다. DIFM 수신회로를 구성하는 방식은 크게 두 가지가 있는데 하나는 호모 다인 수신방식을 이용한 자체동조형 방식이고, 다른 하나는 위상 코릴레이터를 이용한 방식이다.

자체동조형 수신방식은 수신된 RF 신호의 주파수에 관계없이 그 출력은 항상 LO의 주파수가 된다. 이 수신방식에 있어서 Image Rejection(IRJ) Mixer의 입력 LO 주파수는 그림 1에서 보는바와 같이 수신된 RF 주파수와 IF Oscillator 주파수의 합이다. 이 방식은 수신된 RF 신호의 주파수에 관계없이 IF Oscillator의 주파수가 항상 일정하므로 광대역 시스템에 유리하지만 수신감도가 나빠지는 단점이 있다.

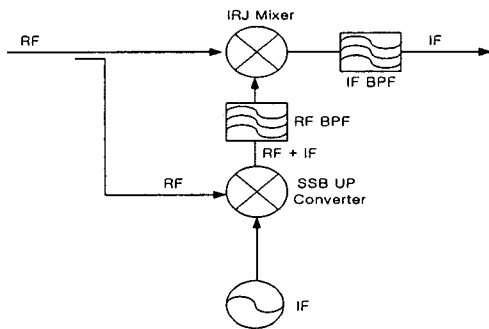


그림 1. 자체 동조형 수신회로 (Single Driving 방식)

위상 코릴레이터를 이용한 DIFM 수신기는 수신된 고주파를 IF 신호로 변환하지 않고 직접 기저대역으로 변환시켜 이때 생성되는 I/Q 신호를 이용하여 위상을 측정하는 방식이다.

고주파를 IF 대역으로 전환하지 않기 때문에 자체 동조형 수신회로보다 부품이 적게 들고 소형화가 가능하지만 고주파를 직접 기저대역으로 변화하기 때문에 상대적으로 위상측정 오차가 커지는 단점이 있다. 그림 2는 위상 코릴레이터를 이용한 DIFM 수신회로 구성도

이다.

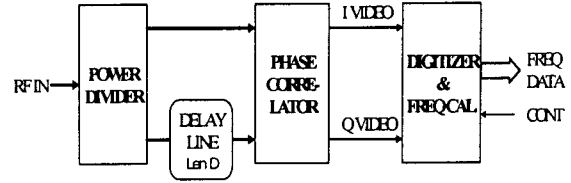


그림 2. 위상 코릴레이터를 이용한 IFM 수신회로

2-2. DIFM 수신기 취약점 개선방안 (접근방법.)

일반적으로 DIFM 수신기는 주파수 측정회로인 DFD(Digital Frequency Discriminator)와 인터 펄스(Inter Pulse) 분석이 가능한 신호측정 장치로 구성된다. 그리고 필요에 따라 인트라 펄스(Intra Pulse) 분석이 가능한 일부회로도 조합되어 구성된다. 실제 회로 구성 시 순시주파수를 측정하기 위해 구성해놓은 DFD가 갖는 수신감도는 IFM 장치를 구성할 때 중요한 감도 결정요소가 된다.

3장에서는 입력단 LNA 추가 및 Dual Driving 방식을 이용하여 수신감도를 개선한 결과, 임계레벨 문턱점처리 능력강화로 이미 계산된 감도점에서 신호처리능력을 향상 시킨 결과 및 지속파 처리능력 향상효과를 실험데이터를 통해 입증하였다. 그림 3은 구성된 DFD와 신호측정회로를 포함한 DIFM 수신기의 구성이다.

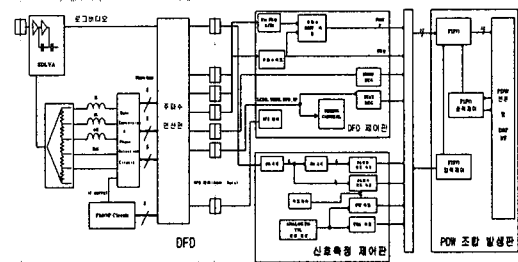


그림 3. DIFM 수신기의 구성

3. 개선된 DIFM 방식의 실험결과

3-1. LNA와 Dual Driving LO 를 이용한 감도 향상 방안.^[5]

DIFM 수신기의 가장 중요한 문제점은 순시 주파수 대역폭이 너무 넓어 결과적으로 감도가 저해된다는 것이다. 일반적인 수신기의 이론을 토대로 감도에 대한 분석을 하면 6 ~ 18 GHz 정도의 넓은 순시

대역폭에서 -65 dBm 정도의 구현을 하기라 매우 어려운 일이다. 이와 같이 넓은 순시 대역폭을 갖는 수신기의 감도를 개선시키기 위하여 2.8 dB 이하의 잡음지수를 갖는 초단 저잡음 증폭기를 통해 30 dB 이상 증폭함으로써 시스템의 신호대 잡음비를 향상시켰다.

그림 4는 제안된 DIFM 입력단 회로구현 실험 구성도이며 그림 5는 시뮬레이션과 실험결과이다. 결과를 보면 일반적인 -60dBm 정도의 수신감도를 가지는데 별다른 추가회로를 구성치 않고 LNA를 초단에 구성하여 4dB이상의 성능개선효과를 거두었다고 판단 할 수 있다.

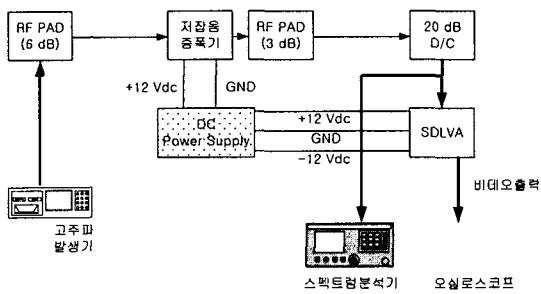


그림 4. 입력단 LNA를 이용한 감도개선 실험 구성

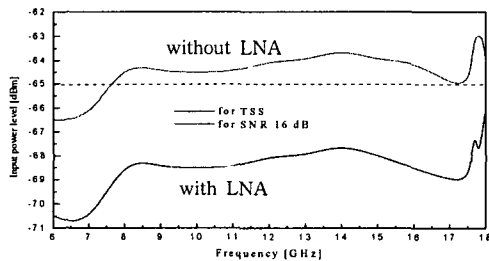


그림 5. LNA를 이용한 감도개선 실험결과

위의 실험결과에서 알 수 있듯이 LNA 추가시 LNA가 없을때보다 4 dB 낮은 입력에서도 신호검출이 가능함을 알 수 있다. 즉, 입력초단 LNA를 이용하여 수신기에 필요한 구성회로의 손실값을 실제로 포함하여 실험한 결과 필요한 전 대역에서 3.5dB 이상의 수신감도 개선효과를 낼 수 있었다.

그림 6은 초단 LNA를 추가하기 전, 후의 실제 주파수를 측정하는 DFD가 가지는 수신감도를 실험한 결과이다. DFD의 수신감도는 DIFM 시스템 전체의 수신 감도를 결정하는 중요한 요소가 되며 이에 따라 이미 계산상으로 결정된 절대적인 수신감도를 포함하여 수신기의 신호대 잡음비를 향상시켜 주파수

정확도를 개선한 결과이다.

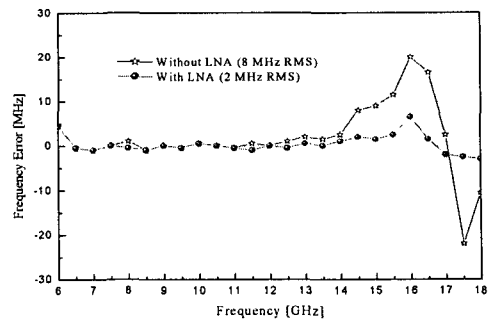


그림 6. LNA 추가 전후의 주파수 정확도

또한 Dual Driving LO를 이용하여 주파수 범위내에 LO로 인한 2차 고조파 성분을 처리 주파수 범위 밖에 존재하게 하여 이로 인한 오차를 줄였다. 그림 7은 DIFM 입력단 회로구현 Dual Driving LO구성도이다.

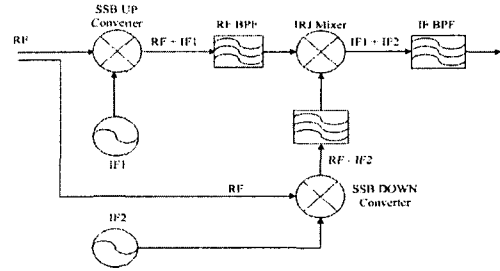


그림 7. 자체 동조형 수신회로 (Dual Driving 방식)

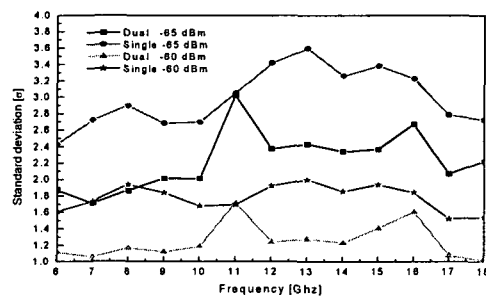


그림 8. Dual LO 와 Single LO 정확도 비교

그림 8은 각 모드에서의 입력신호 레벨에 따른 신호측정 표준편차를 나타낸 것으로 실제 Dual Driving 방식이 Single Driving 방식보다 좀더 정확한 정확도를 구현함을 알 수 있다.

3-2. 감도점에서의 임계레벨 문턱점과 성능향상^[5]

모든 형태의 수신기를 설계 및 구현함에 있어 양호한 입력 신호를 전제로 구성하는 경우는 없을 것이고 충분한 신호레벨에서 신호처리를 한다는 목적으로만 수신기를 설계한다면 큰 오류를 범할 수 있다. 또한, 모든 수신기는 감도점에서 입력잡음, 열잡음 및 하모닉 등에 의해 완벽한 신호처리를 수행 할 수 없다.

실제 초단 회로에서나 IF변환소자와 로그비디오 증폭기(이하 LVA)등이 갖는 신호대 잡음비는 배제할 수 없을 만큼 중요한 요소이다. 일차적으로 기저대역 잡음은 LVA를 거쳐서 비디오 신호로 변환된다. 이때 이미 설정해 놓은 문턱점은 노이즈로 인해 순수 비디오 신호를 인식하지 못하는 결과로 나타난다.

특히 문턱점이란 모든 신호존재의 유무를 판단하는 중요한 트리거 신호를 만들어 내는 결정요소이다. 펄스 신호의 TOA, PW등의 정확한 제원을 측정하기 위해 2 단계 문턱점 회로를 구현하였다. 신호존재 유무를 판단하여 신호처리시간을 알려주는 신호여기 신호는 주파수 측정시작 신호와 함께 이때 존재하는 신호제원을 측정하기 위하여 주파수 측정기에 신호여기신호를 만들도록 구성하였고 감도점에서 신호의 분석이 가능하도록 감도점 신호처리를 목적으로 하였다. 그림 9에 이러한 회로의 구성 개념을 나타내었다.

표 1에서 보는바와 같이 전파 신호의 존재 시 노이즈나 하모닉으로 인한 비디오 옵션의 영향을 받지 않도록 구성하여 신호측정의 시작을 알리는 전파 신호여기 신호가 발생할 수 있도록 구성하였다.

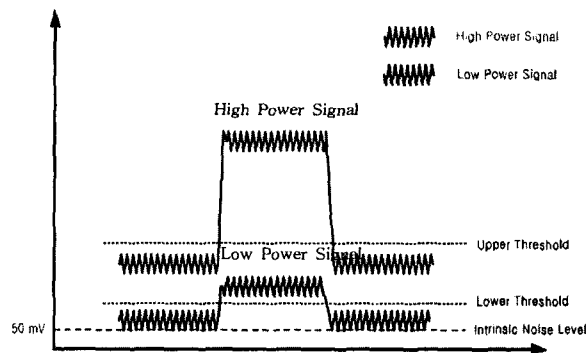


그림 9. 감도점 임계레벨 신호처리 개념

표 1. 신호여기발생 임계레벨 문턱점 구성

	Low. Th.	Up. Th.	출력 결과
Case I	Low	Don't care	SP Low
Case II	High	Low	Low. Th. 출력용 SP로
Case III	High	High	UP. Th. 출력용 SP로

펄스 신호제원(TOA, PW, PA)을 측정하기위한 신호 측정 회로에서는 초단 비디오 처리를 목적으로 하는 주파수 측정기에의 신호여기와 달리 신호가 충분할 때 생기는 신호자체의 잡음 또는 신호의 왜곡을 판단해야 하므로 이를 위해 DLVA TSS감도 보다 12 dB와 16 dB 높은 지점에 임계레벨 문턱 점을 별도로 설정하여 보조 판단회로를 구성함으로써 펄스폭 측정의 오류를 방지할 수 있도록 구성하였다.

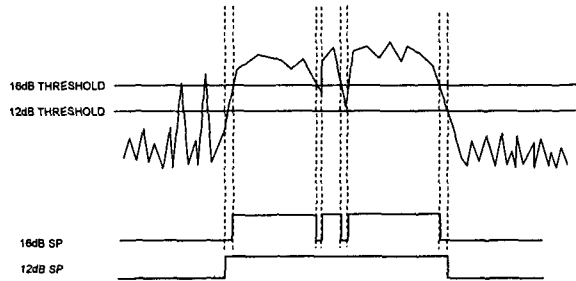


그림 10. 펄스제원측정 신호처리 개념

그림 10에서와 같이 신호의 왜곡 현상이 일어 날 때 임계레벨 문턱점을 12dB, 16dB 2단계 임계레벨 문턱점으로 설정해놓고 임계레벨에서 두 신호가 동시에 존재할 시에만 펄스세기 신호측정이 가능하도록 구현하였으며 70ns이하의 신호는 글리치신호로 판단하여 노이즈로 인한 신호측정오류를 줄였다.

3-3. 지속파 신호처리능력 개선^[5]

DIFM 수신기에서 지속파 신호는 수신기를 완전히 포화시킴으로써 치명적인 결과를 발생시킬 수 있다. 이때 지속파신호가 존재하는 곳에 대역저지 필터를 이용하여 신호를 걸러낸다면 나머지 신호대역에서는 신호측정이 가능하다. 이는 신호 측정 시 존재유무 분석이 가능하고 다른 신호의 분석도 가능하다. 그리고 특별히 미약신호가 주파수 대역 상위에 존재하여 감도를 높일 필요가 있을 때 대역통과 필터를 이용하여 주파수를 측정하여 수신감도를 4 dB 이상 높일 수 있었다 특히 측정 주파수 범위 내에서 저주파수 보다는 주파수가 올라갈수록 감도 개선효과가 나타남을 알 수 있었다.

그림 11은 구현회로이며 신호검출회로 초단에 여러 가지 모드를 설정하여 필요시 신호의 환경에 맞게 여러 가지 모드를 선택할 수 있도록 하였다.

단일 신호 수신감도 향상을 위해 대역통과 필터로 초단 입력처리를 하여 그림 12와 같이 감도 개선 효과를 볼 수 있었다.

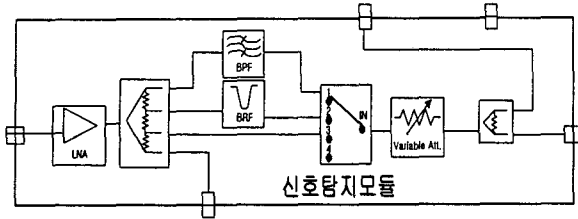


그림 11. BPF를 이용한 지속과 처리능력개선 회로구성

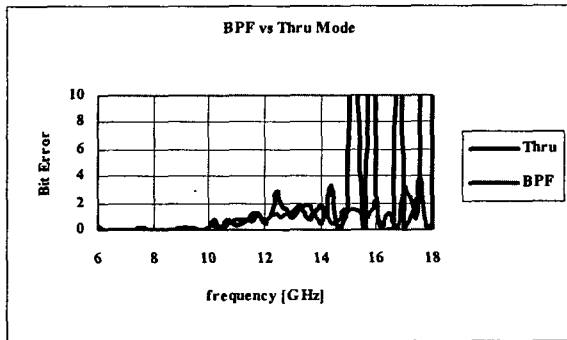


그림 12. 감도점(-65dBm)에서 BPF모드 감도 및 정확도 개선효과

4. 결 론

지금까지 마이크로웨이브 대역용 전자전 장비에서 DIFM 수신기는 부속 시스템으로서의 활용도가 매우 높았다. 그러나 초기 DIFM 수신기의 저밀도환경에서 대응능력에 비해 현재 복잡 다양화되는 환경에서 주 수신기로서 역할을 하기 위해 고가의 보조수신기를 복합하여 구성할 수밖에 없었다. 그럼에도 불구하고 DIFM수신기의 자체 성능향상을 위해 많은 노력을 해왔다. 본 논문에서는 DIFM 수신기가 단일로도 신호 존재유무만 판단하지 않고 이미 계산된 감도 범위 내에서 충분한 성능구현이 가능하도록 하는 방안을 제시하고 실험데이터를 통해 개선될 수 있는 요소를 도출하여 적용하였다.

본 논문에서 도출한 LNA추가와 Dual Driving LO를 이용한 감도향상 방법, 2단계 임계레벨 설정, 지속과 제거 방법 등은 국방과학 연구소 전자정보탐기

술 시험장치대 응용개발에서 DIFM 수신회로에 실제 구성한 후 적용하여 그 성능을 충분히 입증하였다.

참고문헌

- [1] James Tsui, *Microwave Receivers with Electronic Warfare Applications*, John Wiley & Sons, 1986.
- [2] James Tsui, *Digital Techniques for Wideband Receivers*, Artech House, 1995.
- [3] 안현관, 조원상, “디지털주파수(DFD) 개발에 관한 연구”, *전자통신학술대회* 논문, 10. 2002.
- [4] 안현관, 조원상, 오갑환, 김관태, 유병석, 김종민, 임중수, “초소형 디지털 주파수 측정기에 관한 연구”, *통신/전자 CAISR 학술대회* 논문, 10. 2003.
- [5] (주) 빅텍 “전자정보탐기시험장치대 광역탐지부 성능시험결과 보고서”, 10. 2002.
- [6] 박철순, 장원, 나선필 “멀티베이스라인 방탐기법 성능 분석 및 장치설계”, 4. 2001.