

온도보상을 고려한 디지털 주파수 측정기 설계에 관한 연구

임중수* · 채규수

A Study on the Design of Digital Frequency Discriminator with Temperature Compensation

Joong-Soo Lim* and Gyo-Soo Chae

요 약 전파의 특성을 측정하기 위해서 사용되는 디지털 주파수 측정기는 안테나를 통해서 수신기에 입력된 고주파 신호의 주파수를 측정하는 장치로써, 전파 정보 수집 장비의 중요한 구성품 중 하나이다. 이 분야는 고주파 기술이 발달된 미국이나 유럽에서 대부분의 장비를 개발해 왔으나 금년에 설계 제작된 주파수 측정기는 온도보상 등을 고려하여 정밀하게 설계제작 함으로써 수신 감도 -70dBm에서 펄스폭이 100ns 이상인 펄스 신호와 지속파(CW) 신호의 주파수를 정확하게 측정하였다.

Key Words : 주파수 측정기, 딜레이 라인, 온도보상

1. 서 론

디지털 주파수 측정기(Digital Frequency Discriminator : 이하 DFD)는 전파정보 수신 장비의 핵심적인 구성품 중 하나로서, 입력 고주파 신호의 주파수를 전파 지연 회로(delay line)를 사용하여 고속으로 측정해주는 장치이다.

전파수신 또는 전자정보탐지용으로 사용되는 장비들의 사용 주파수 대역폭이 넓기 때문에, 이를 위한 DFD는 넓은 주파수 대역을 감당할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 0.5-2 GHz대역(이하 C/D-대역) DFD의 설계개념과 주요 구성회로, 측정 알고리즘, 온도 보정방법, 측정 성능을 기술한다.

2. 주파수 측정 원리 및 구성도

고주파신호의 주파수를 측정하는 방법에는 수퍼헤테로다인 방식, 순시주파수측정 방식, 채널라이즈 방식, 브레그셀 방식 등이 있다. 여기에서 넓은 주파수 대역의 신호를 동시에 측정하기 위해서는 순시주파수 측정 방식과 채널라이즈 방식이 좋다, 구성이 간단한 장점이 있는 순시주파수 측정방식 수신기에 사용되는 디지털 주파수 측정기는 고주파 신호의 위상차를 이용하여 주파수를 측정한다.

DFD의 원리는 그림 1과 같이 수신된 고주파 신호를 전력분배기를 이용해 2개로 분리한 다음 한쪽 방향의 신호선(signal line)에만 별도의 지연선(delay line)을 이용하여 한 신호를 일정시간 만큼 지연시키고 나서 두 신호를 비교하면 지연선을 사용한 채널의 위상지연을 측정할 수 있다. 위상지연은 지연선과 주파수의 함수이므로 지연선의 길이와 위상지연을 알면 주파수를 계산할 수 있다. 이러한 기능을 수행하는 것을 위상 변별기(phase correlator)라 한다.

DFD는 입력되는 고주파 신호를 여러 개의 위상변별기를 이용하여, 각 경로의 신호들을 서로 다른 양만큼 지연시킨 다음, 서로 다른 지연 시간으로 인해 초래되는 신호들간의 위상차를 측정하고, 이 위상차와 지연 시간을 근거로 하여 입력된 신호의 주파수를 산출한다. 사용되는 지연 채널의 수는 요구되는 주파수 정확도와 모호성 해결에 따라 결정된다.

그림 2의 구성도에 보인 바와 같이, 입력된 고주파 신호는 고주파 검파 및 로그 비디오 주파수 증폭기

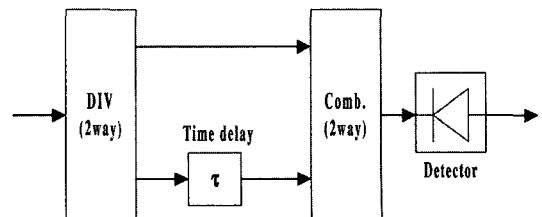


그림 1. 위상 변별기 회로 개념도

*천안대학교 정보통신학부
E-mail : jslim@cheonan.ac.kr

(DLVA)를 거치면서 로그 비디오 신호와 제한된 고주파 신호로 분리되며, 각각 주파수 연산판과 전력 분배기로 공급된다. 전력 분배기에 공급된 고주파 신호는 기준 채널과 위상 지연 채널을 거친 후 중간주파수(IF)로 변환되며, 위상 변별기에서 위상차를 측정한다. 주파수 연산판은 이렇게 측정된 위상차 데이터로부터 신호의 주파수를 계산한다.

그림 2에서 위상 지연 채널은 1λ, 8λ, 64λ의 총 3개로 구성되어 있다. 각종 신호 제원을 측정하기 위한 로그 비디오 신호와 Signal Present 신호가 제공되며 장치의 제어는 주파수 연산판에서 수행한다.

3. DFD 주요 구성 회로 및 알고리즘

3.1. 자체동조형 고주파 수신부

DFD 고주파 수신부에서는 입력되는 고주파 신호를 중간주파수로 변환하기 위해서 자체동조형 (Homodyne) 수신 방식을 이용하고 있다.

고주파 신호를 IF로 변환하는 과정에는 순시 주파수 측정 (이하 IFM) 방식[1]을 사용하기도 하는데, IFM 수신방식은 고주파 코릴레이터(correlator)를 이용하여 고주파를 직접 기저대역으로 전환하여 수신하는 방식이다. IFM 수신방식은 고주파 회로가 간단하고 상대적으로 많은 지연 채널을 구성할 수 있으나 고성능의 SDLVA를 필요로 하고 상대적으로 높은 고주파 신호의 신호대 잡음비(SNR)를 요구하는 단점을 갖는다.

본 논문에서 사용된 자체 동조형 방식은 수신감도를 높이기 어렵다는 단점을 극복해야 하기는 하지만, 수신하려는 고주파 신호의 주파수에 관계없이 발진기의 주

파수를 일정하게 유지할 수 있어서 광대역 시스템에 유리하다는 장점을 갖는다.

자체동조형 수신회로의 구성개념은 그림 3에 보인 바와 같으며 IRJ Mixer의 LO 주파수는 수신된 신호의 주파수와 발진기 주파수의 합이다. IRJ Mixer와 SSB Mixer 사이에 drive 증폭기를 추가하였고, 국부 발진기의 주파수는 IF와 같다.

3.2. 지연선

신호들의 위상차를 측정하기 위해서 신호들을 원하는 만큼 지연시키기 위해 사용하는 지연선(delay line)의 길이는 비 모호성 대역폭과 요구되는 주파수 정확도에 의해 결정된다. 비 모호성 대역폭은 출력 비트수와 분해능의 곱으로 결정된다. C/D대역의 경우에는 출력 비트수와 분해능 요구치를 감안하면 비모호성 대역폭을

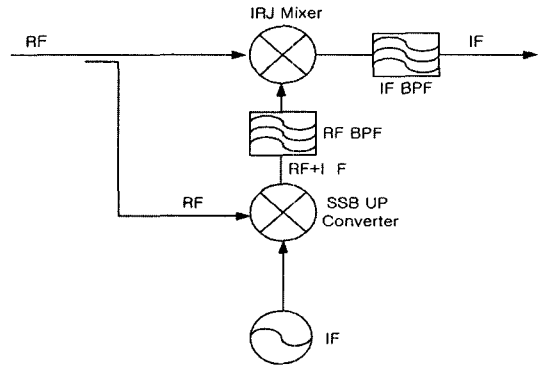


그림 3. 자체 동조형 수신회로

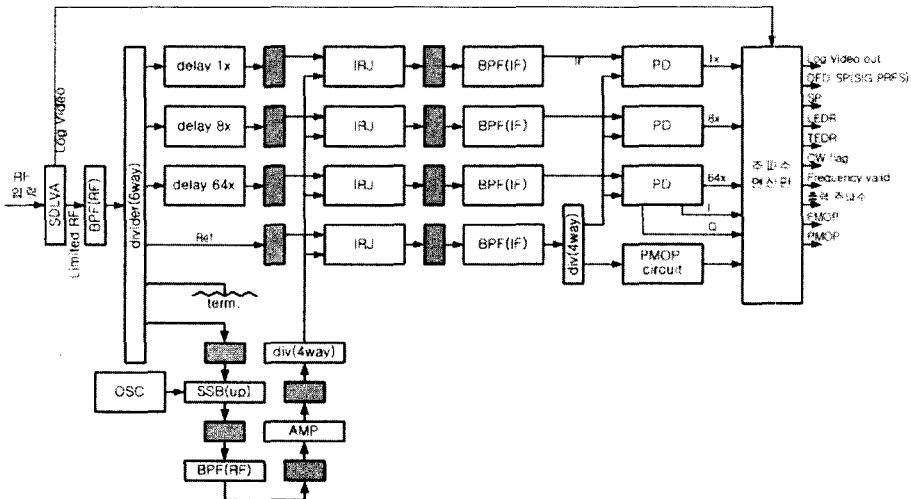


그림 2. 디지털 주파수 측정기 구성도

산출할 수 있다. 그러나 한 파장(1λ) 지연선이 360도를 표현할 수 있어야 한다는 점까지를 감안하여 최종적인 지연선 설계주파수를 결정하였다. 또한 설계된 지연선 채널수가 3개이므로 각 채널당 1:8의 비율을 적용하여 최종적인 지연선 길이를 설계주파수의 1λ, 8λ, 64λ로 하였다.

그림 1에서 사용된 지연선은 온도변화에 따른 위상 변화량이 가능한 적은 특성을 갖는 고주파 케이블(Low Density PTFE)을 이용하는 것이 좋고, 그림 4에는 온도 변화에 따른 64λ 지연선의 위상 변화량을 나타내었다. 또한 이러한 온도에 따른 위상변화를 보상회로를 사용하여 보상함으로써 주파수 측정 정확도를 개선하였다.

3.3. 위상대 주파수 변환 알고리즘

주파수 연산판에서는 3개의 위상차 정보를 이용해서 주파수를 계산해야 하는데, 주파수 연산에 소요되는 연산 논리 회로 및 메모리 사용을 최소화으로 줄일 수 있는 주파수 연산 관계식을 찾아야 한다. 위상 대 주파수 관계를 고정 구간법(Fixed range method) 또는 부동 구간법(Floating range method)을 이용해서 형성할 수 있지만, 본 논문에서는 표 1 부동 구간법이 개발 목적에 적합하다고 판단하고 선택하였다.

지연선의 각 길이비가 1:8:64이므로 1λ에는 360, 8λ는 360도가 정확히 8번 발생하게 된다. 따라서 8λ의 위상표현 방식을 0~360도 범위로 할 경우 8번의 모호성이 발생하므로 8λ의 위상표현 방식을 1λ의 변화에 따라 0~2880(=360*8)도로 변화하도록 설계한다. 8λ와 64λ의 관계는 그 비율이 1:8이므로 1λ와 8λ의 관계와 동일하다. 위상 확장 개념도를 그림 5에 나타내었다.

이와 같은 개념을 적용하여 최종적으로 얻어진 위상 대 주파수 연산 관계식은 다음과 같다.

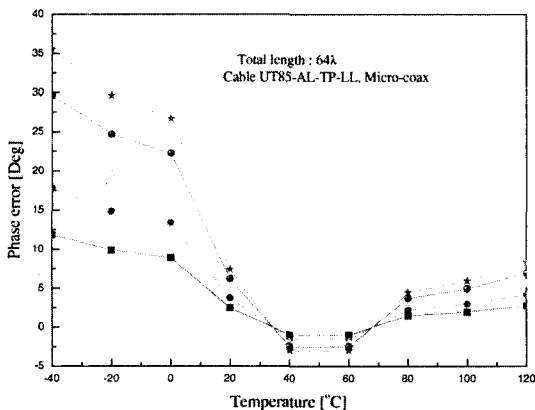


그림 4. 온도변화에 따른 지연선 위상변화량

3.4. FMOP 측정

펄스폭 내에서 신호의 주파수에 변화를 주는 펄스내 주파수 변조(FMOP)를 탐지하는 것은 매 샘플링마다 측정되는 주파수 정확도가 충분하다면 어렵지 않게 구현할 수 있다.

펄스의 존재시 매 샘플링 구간마다 미리 설정된 주파수 편차 값과 측정된 된 값의 주파수가 증가 또는 감소를 지속적으로 이룰시 1비트 값으로 나타내도록 하였다.

3.5. 온도보상

온도가 변화하면 지연선의 길이가 달라져 이것이 주

표 1. 부동 구간법의 특성

	부동구간법
필요채널수	3~4(수신회로 단순)
연산방법	메모리 이용 (보정 알고리즘을 이용하여 tuning 오차 제거)
연산시간	over 150 ns
모호성발생 오차 허용범위	±30도 이하(채널수에 의존)
정확도	양호
연산알고리즘	Complex
사용처	채널수 4곳 미만

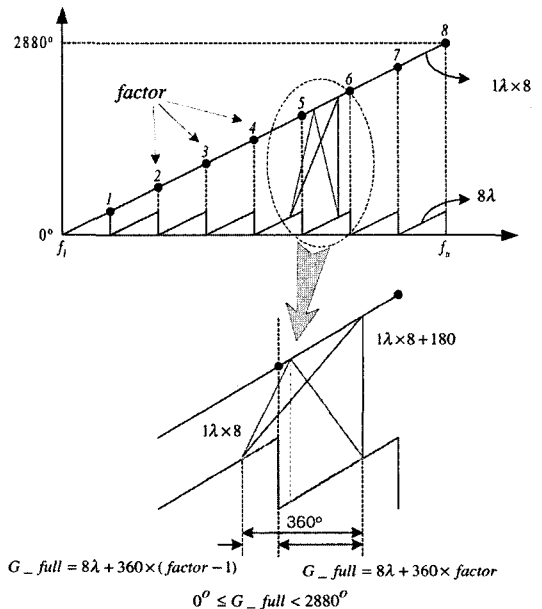


그림 5. 8λ위상 확장 개념도

파수 측정 오차로 나타나게 된다. 이를 보상하기 위해 별도의 온도센서를 이용하여 온도변화에 따른 주파수 편차를 보상해 준다.

4. 보정 및 성능 측정

4.1. 채널 위상 오차

실제 구현 과정에서는 각 채널 부품간 차이와 SNR 등에 따라 위상오차가 발생하게 된다. 일반적으로 위상 offset이 발생하게 되는데 이는 메모리에서 적절하게 보상할 수 있다. 제작된 DFD의 최대 허용 위상오차는 각 채널당 ± 22.5 도이며, 발생하는 오차가 이 범위를 초과하지 않는다면 모호성은 발생하지 않는다. 각 채널의 위상오차 (이론값 대 측정값)를 그림 6~8에 보였다.

4.2. 주파수 측정 성능

제작된 C/D-대역, E/F-대역 DFD에 대해서 주파수 측정 성능을 측정한 결과를 그림 9, 10에 보였다.

측정 데이터를 분석한 결과, 개발된 C/D-대역 DFD의 주파수 측정 정확도, 펄스내 주파수 및 위상 변조 특

성 추출 등을 비롯한 성능들이 매우 양호한 것으로 판단되었다. 이는 최신 세계수준의 장치들이 제시하는 제반 성능을 상회하는 것으로 분석되고 있다. 최신 해외

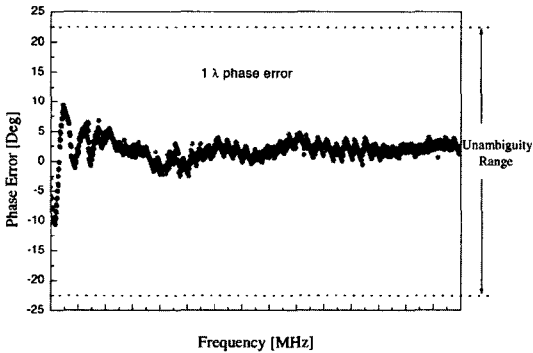


그림 6. 1λ 위상오차

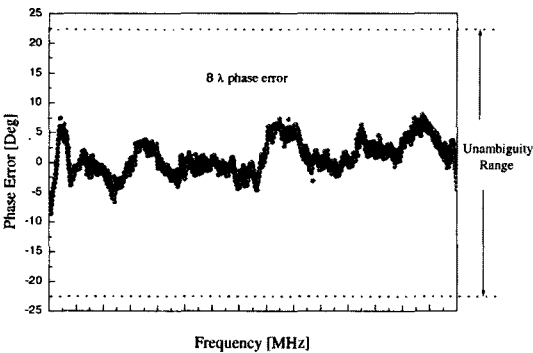


그림 7. 8λ 위상오차

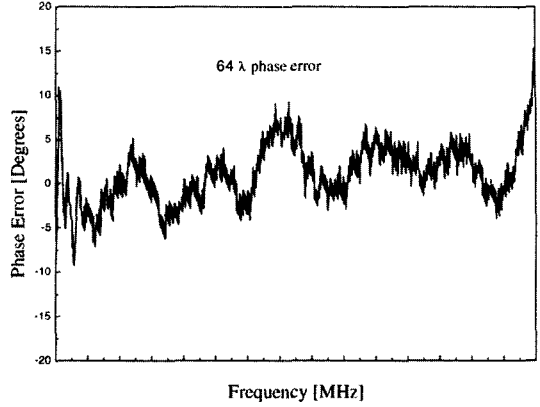


그림 8. 64λ 위상오차

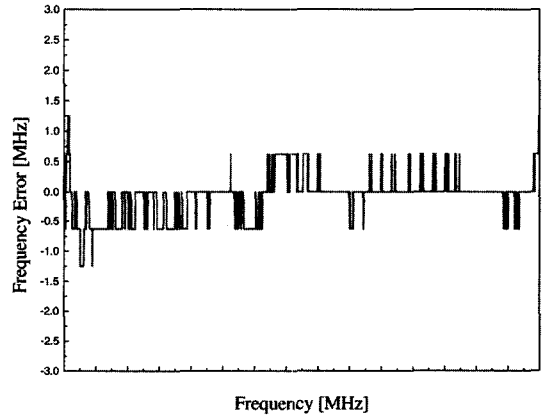


그림 9. C/D-대역 주파수 측정 정확도

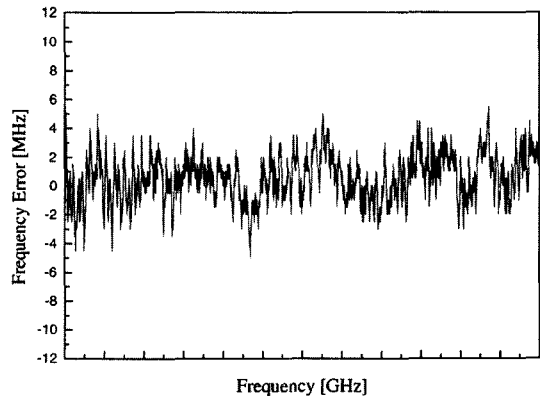


그림 10. E/F-대역주파수 측정 정확도

장비들이 주파수 측정 정확도로 제시하는 것은 C/D-대역 DFD의 경우 1 MHz RMS 정도의 수준이다.

5. 결 론

본 논문에서는 전자정보 장비의 핵심 구성품중 하나인 DFD의 개발에 사용된 주요 내용을 기술하고 측정된 성능을 예시하였다.

금번 DFD는 C/D대역을 담당할 수 있도록 넓은 주파수 대역을 처리하는 능력에 초점을 두고 설계와 제작이 되었으며 주파수 측정 성능, 펄스내 주파수 및 위상 변

조 특성 추출 성능 등을 평가한 결과는 C/D-대역에서 1 MHz RMS 이하로 해외 개발 장치에 비해 동등 이상의 성능을 달성한 것으로 판단되었다.

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] 임중수의 2인, 위상정합레이더에 대한 EA 분석 타이밍 신호 발생기, 39-2권, 전자공학회 논문집, 2002. 3