

모노펄스 수신기의 채널간 정합에 관한 연구

A Study on the gain and phase matching between channels in the Monopulse Receiver

공 덕 규*
Kong, Deok-Kyu

ABSTRACT

In this paper, the monopulse channel receiver which can be matched between channels through a wide bandwidth has been proposed. The effects of the gain and phase imbalance between channels on the slope of monopulse error signal were analyzed. Also, the matching method between channels in a wide bandwidth was proposed, by which monopulse slope could be stabilized. Using the implemented monopulse radar system the monopulse slope was measured in the anechoic chamber which include the moving horn antenna and the target signal generator. The results show that the wide band matching method is useful and applicable to various channel receivers

주요기술용어 : Monopulse Receiver(모노펄스 수신기), Monopulse Slope(모노펄스 기울기), Agile Mode(주파수 기만 모드), Phase Imbalance(채널간 위상 오차), Gain Imbalance(채널간 이득 오차), Electrical Length(전기적인 길이)

1. 머리말

모노펄스 시스템은 각 펄스로부터 표적의 정확한 각 정보를 추출하는 레이더 시스템으로써 안테나, 송신기, 수신기, 모노펄스 검출기, 주파수 합성기로 구성된다.

안테나는 표적의 반사 신호를 4개의 안테나와 모노펄스 비교기를 통해 합신호와 차신호로 형성한다. 송

신기는 고전력의 펄스를 송신하는 역할을 하며 수신기는 안테나로부터 인가된 합신호(S신호)와 차신호(D신호)를 이용하여 합+차신호(S+D신호)와 합-차신호(S-D신호)를 형성하고 주파수를 중간주파수(IF)로 하향시키며 증폭 및 필터링의 과정을 통하여 신호를 처리한다. 최종적으로는 감도(Sensitivity)를 높이기 위하여 로그 증폭기를 사용하여 수신기에 출력되는 전력에 상응하는 전압인 비디오 신호를 출력한다. 한편, 주파수 합성기는 주파수 기만 기능을 갖는 광대역 신호의 발생 장치로서 그 출력 신호는 송수신기의 주파

* 국방과학연구소 연구원

수 상하향을 위한 COHO(Coherent Oscillator)와 시스템 기본 클럭으로써 사용된다. 모노펄스 처리기는 수신기의 S+D, S-D의 비디오 신호를 입력으로부터 추정각을 구한다.

모노펄스 시스템은 대부분 두 개 이상의 채널을 필요로 한다. 따라서 두 개 이상의 신호가 서로 다른 채널에 인가되며 서로 다른 채널을 통과한 신호는 각 채널의 이득 및 위상 특성을 그대로 가진 채로 모노펄스 처리기에서 처리된다. 처리된 신호는 추정각의 오차를 유발하며 결국 시스템의 정확도를 감소시킨다. 모노펄스 시스템의 주 성능은 표적의 방위각에 대한 합신호와 차신호의 비로 표현되는 모노펄스 에러 신호(Monopulse Error Signal)로써 나타낼 수 있다. 모노펄스 에러 신호는 안테나의 주엽 내에 기울기를 가진 직선으로 나타나며 그 기울기의 정도에 따라 시스템의 추정각 오차(Estimated Angle Error)와 각 추적 오차(Angle Tracking Error)가 결정된다. 추정각 오차란 표적이 실제로 존재하는 방위각에 대하여 레이더가 추정하는 방위각의 오차이며 각 추적 오차란 움직이는 표적에 대하여 추적을 할 때 나타나는 방위각상의 오차를 말한다. 모노펄스 시스템은 모노펄스 기울기가 1 일 때 최적의 성능을 나타내며 모노펄스 검출기에서 안테나 패턴의 비에 정규화 상수(K)를 곱하여 1로 만든다.

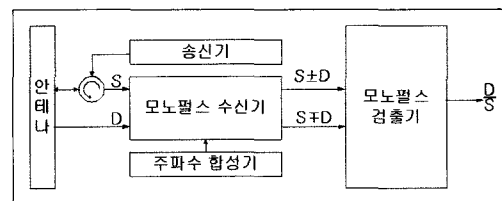
따라서 본 논문에서는 채널간 정합도가 높은 두 채널 모노펄스 수신기의 설계 방법을 제안하고 채널간 오차와 모노펄스 기울기의 관계를 분석하였으며 광대역 채널 정합 방법을 통하여 모노펄스 기울기를 1에 근사시킬 수 있음을 구현된 시스템의 측정 결과로써 증명하였다.

2. 모노펄스 시스템

모노펄스 시스템의 기본적인 구조는 그림 1과 같다. 안테나, 모노펄스 수신기, 모노펄스 검출기, 송신기, 주파수 합성기로 구성되며 최종적인 출력은 모노펄스 에러 신호라 불리는 합신호와 차신호의 비이다.

본 논문의 모노펄스 시스템에 사용되는 안테나는 4개의 안테나로 구성되는 위상 비교 방식이며 각각의 패턴이 합쳐져 합패턴을 구성한다. 차패턴의 경우는 방위각(Azimuth Angle)과 고각(Elevation Angle)으로 나뉘어 지며 좌우상안의 차는 방위각의 차패턴, 상하상안의 차는 고각의 차패턴이다. 모노펄스 시스템의 용도에 따라 다르나 본 논문에서는 방위각의 경우에 대해서만 언급하기로 한다. 안테나는 안테나 자체와 모노펄스 비교기로 구성되며 합패턴과 차패턴을 합성하여 합신호(S신호)와 차신호(D신호)를 수신기에 인가한다.

모노펄스 수신기는 안테나로부터 인가된 S신호와 D신호를 이용하여 S+D, S-D 신호를 합성하고 로그 증폭기로서 비디오 신호를 형성하여 모노펄스 검출기에 보낸다. 모노펄스 검출기는 S+D와 S-D의 비디오 신호를 이용하여 D/S의 모노펄스 에러 신호를 구하는 기능을 가지며 A/D 변환기, 채널 교번기, 적분기, 차동 증폭기 등으로 구성되어 있다. 모노펄스 에러 신호를 추출하는 방법을 보면 인가된 S+D와 S-D 신호로부터 D/S의 값을 하드웨어로써 구현하는 것이 실



[그림 1] 모노펄스 시스템의 구조

제적으로 불가능하므로 다음의 근사식 (1)을 이용한다. $D/S \ll 1$ 라고 가정하고 로그를 취한 수신기의 출력의 차를 구하면, 다음의 (1)식과 같다.

$$\begin{aligned} \ln(S+D) - \ln(S-D) &= \ln\left(1 + \frac{D}{S}\right) - \ln\left(1 - \frac{D}{S}\right) \quad (1) \\ &\approx \frac{D}{S} - \left(-\frac{D}{S}\right) \\ &= 2 \cdot \frac{D}{S} \end{aligned}$$

따라서 모노펄스 검출기는 수신기로부터 입력되는 두 신호의 차를 구함으로써 간단히 모노펄스 에러 신호를 추출한다.

3. 모노펄스 수신기

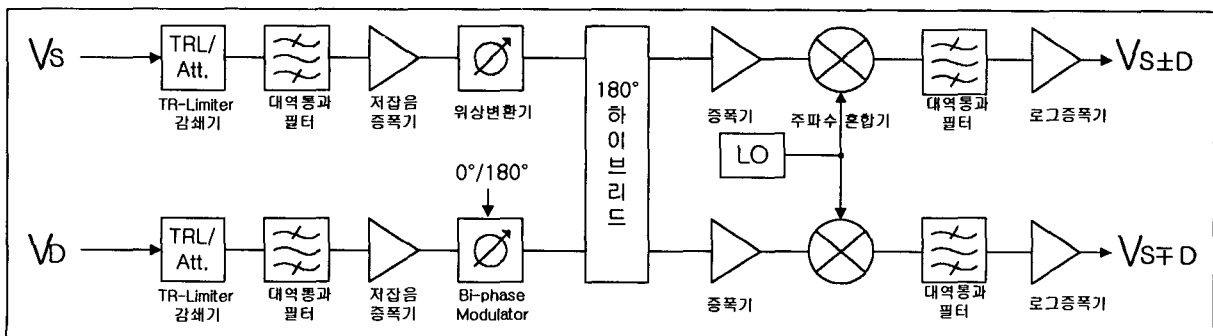
모노펄스 수신기의 구조는 그림 2와 같다. 수신기는 주파수 혼합기를 중심으로 RF 초단부, IF부, 로그 증폭기로 구성되며 안테나로부터 입력되는 신호는 180° 하이브리드에 의해 합성되므로 하이브리드 전단은 S, D채널, 후단은 S+D, S-D채널로 구분된다.

RF 초단부는 그림 2와 같이 수신기보호기, 감쇄기,

대역 통과 필터, 저잡음 증폭기, 180° 하이브리드 등으로 구성되어 있으며 각 소자들은 채널간 이득 및 위상 정합을 위하여 동일한 특성을 갖는 소자로 배열되어 있으며 두 입력과 두 출력을 갖는 180° 하이브리드도 채널간 이득 및 위상 불균형이 작은 부품을 선정한다.

수신기 보호기는 고전력 송신시 안테나의 반사 특성상 수신기로 누설되는 전력, 혹은 재머로부터 유입되는 고전력으로부터 수신기를 보호하는 역할을 하고 편 다이오드로 구성된다. 감쇄기는 수신 신호의 크기를 감쇄시키며 수신기의 동적 영역(Dynamic Range)을 확장하기 위한 소자로써 사용된다. 대역 통과 필터는 원하는 대역의 신호만을 수신기로 인가시키기 위한 것이며 수신기의 스퓨리어스 성능을 향상시킨다. 저잡음 증폭기는 시스템의 잡음 지수를 결정하는 중요한 소자로써 이득이 크고 잡음지수가 낮은 부품을 선정해야 하며 이득이 너무 큰 소자는 시스템의 동적 영역을 감소시킬 수 있으므로 시스템에 적절한 소자의 선정이 중요하다.

위상 변환기는 180° 하이브리드로 인가되는 두 신호의 위상을 정합하기 위한 소자이며 Bi-phase Modulator는 하이브리드 후단의 이득 정합을 위한 소자로써 매 펄스마다 0°, 180°로 제어된다.



[그림 2] 모노펄스 수신기의 블록도

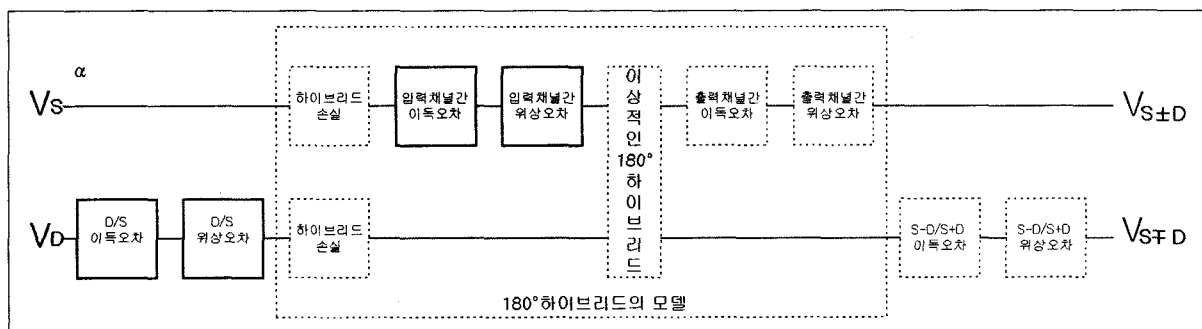
180° 하이브리드는 두 개의 입력단과 두 개의 출력 단으로 구성된 수동 소자로써 이상적인 하이브리드인 경우에는 제 1 입력 신호는 두 출력에 같은 진폭과 같은 위상의 신호로 출력되며 제 2 입력 신호는 두 출력에 같은 진폭과 180°의 위상차를 갖는 신호로 출력된다. 따라서 S신호와 D신호는 180° 하이브리드에 의해 S+D신호와 S-D신호로 합성된다. 이것은 안테나와 표적이 조준선상에 있을 때 D채널상의 신호를 null로 만들어 S+D와 S-D신호를 같도록 하기 위한 것이다. S+D신호와 S-D신호는 각각 증폭기, 주파수 혼합기, 대역통과여파기에 의해 중간주파수로 전환된다. 이 때 주파수 혼합기의 LO단에는 주파수 합성기로부터 발생된 신호가 입력되며 주파수 기만 모드의 설정시에는 송신하는 신호와 동일한 주파수로 설정하여 수신기의 중간 주파수가 항상 같도록 한다. 이 신호들은 시스템의 감도 향상을 위해 로그 증폭기로 검파하여 입력된 전력의 dBm값에 비례하는 출력 전압을 갖도록 한다.

4. 채널간 오차 분석

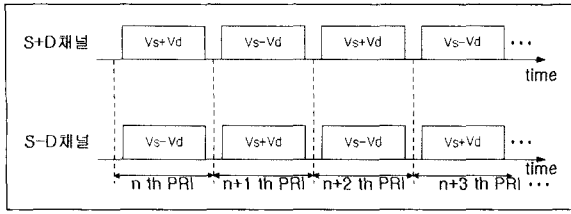
그림 2의 모노펄스 수신기에서 발생하는 채널간

오차는 그림 3과 같이 표현된다. 그림 3은 수신기의 모든 채널에 발생할 수 있는 위상 및 이득 오차와 180° 하이브리드의 모델을 포함하고 있다. 180° 하이브리드의 모델은 이상적인 180° 하이브리드를 중심으로 입력단에는 하이브리드 자체에서 발생하는 고유의 손실과 입력 채널간 이득 및 위상 오차로 이루어지며 출력단도 출력 채널간 이득 및 위상 오차로 이루어진다. 그러므로 180° 하이브리드 입력 채널의 오차는 전체적으로 볼 때 S, D 채널에 포함되며 출력 채널의 오차는 S+D, S-D 채널의 오차에 포함된다.

그림 3에 표현된 S+D, S-D채널간 위상 오차는 IF 단 후단의 로그 증폭기가 포락선 검파를 하므로 위상 성분은 제거되고 시스템의 모노펄스 검출기 출력에 영향을 미치지 않는다. 또한 S+D, S-D채널의 이득 오차는 180° 하이브리드 전단의 D채널에 배치된 Bi-phase Modulator에 의하여 보상되도록 하여 이득 정합을 이룬다. 즉, 디지털 제어 신호를 이용하여 입력되는 신호의 위상을 0° 혹은 180° 만큼 변화하도록 하여 하이브리드의 D 채널 입력단 신호가 매 펄스 반복 주기(Pulse Repetition Interval)마다 +V_D, -V_D, +V_D, -V_D로 교번 되도록 한다. 결국 180° 하이브리드 출력의 각 채널은 그림 4와 같이 PRI 단위로 V_S+V_D, V_S-V_D, V_S+V_D ...의 신호를 교번하여 생성



[그림 3] 채널간 오차 모델



[그림 4] S+D, S-D 채널간 스위칭

한다. 모노펄스 검출기는 인가되는 매 펄스 반복 주기가마다 인가되는 비디오 신호에 대해서 V_S+V_D 신호와 V_S-V_D 신호를 분리하여 처리하며 Bi-phase Modulator의 제어 신호와 동기를 맞추어 교번한다. 모노펄스 검출기에서 적분되는 V_S+V_D 신호는 n번째는 S+D채널, n+1번째는 S-D채널을 경유한 신호로써 이를 적분하여 처리하며 V_S-V_D 신호도 마찬가지이다. 따라서 Bi-phase Modulator를 사용하여 채널간 교번을 할 경우 이득차는 적분을 통해 보상이 되며 결국, S+D와 S-D 채널간의 이득 정합은 필요가 없게 된다.

결과적으로 모노펄스 기술기에 영향을 미치는 오차 성분은 이상적인 하이브리드의 전단에만 분포하며 그림 6의 실선으로 표시된 부분만이 모노펄스 에러 신호를 변화시킨다.

4.1 위상 오차 분석

채널간 위상 오차가 모노펄스 에러 신호에 미치는 영향을 분석하기 위해 수식으로 풀면 180° 하이브리드에 인가되는 S신호와 D신호는 위상 오차를 θ 라 할 때 다음의 (2)식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \overline{V_S} &= V_S \exp(j\omega t) \\ \overline{V_D} &= V_D \exp[j(\omega t + \theta)] \end{aligned} \quad (2)$$

이상적인 180° 하이브리드의 출력은 다음의 (3)식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \overline{V_{S+D}} &= \frac{V_S}{\sqrt{2}} \exp[j(\omega t)] + \frac{V_D}{\sqrt{2}} \exp[j(\omega t + \theta)] \quad (3) \\ \overline{V_{S-D}} &= \frac{V_S}{\sqrt{2}} \exp[j(\omega t)] - \frac{V_D}{\sqrt{2}} \exp[j(\omega t + \theta)] \end{aligned}$$

각 식을 정리하면 다음의 (4)식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \overline{V_{S+D}} &= \frac{V_S}{\sqrt{2}} \exp[j(\omega t)] \left(1 + \frac{V_D}{V_S} \exp[j\theta]\right) \quad (5) \\ \overline{V_{S-D}} &= \frac{V_S}{\sqrt{2}} \exp[j(\omega t)] \left(1 - \frac{V_D}{V_S} \exp[j\theta]\right) \end{aligned}$$

주파수 혼합기, 증폭기, 대역 통과 필터를 통과하고 로그 증폭기에 입력되는 각 신호는 다음과 (5)식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \overline{V_{S+D}} &= \frac{V_S}{\sqrt{2}} \left(1 + \frac{V_D}{V_S} \exp[j\theta]\right) \cdot \exp[j(\omega_{IF}t)] \quad (5) \\ \overline{V_{S-D}} &= \frac{V_S}{\sqrt{2}} \left(1 - \frac{V_D}{V_S} \exp[j\theta]\right) \cdot \exp[j(\omega_{IF}t)] \end{aligned}$$

로그 증폭기가 -80dBm부터 0dBm의 입력 신호를 0에서 2V의 비디오 신호로 출력하며 25mV/dB의 기울기의 전달 특성을 갖는다면 로그 증폭기의 입출력 관계는 다음의 (6)식과 같이 간단히 표현된다.

$$V_{out} = -\frac{1}{40} P_{in} + 2 \quad (6)$$

따라서 로그 증폭기 출력의 비디오 신호는 다음의 (7)식과 같이 표현된다.

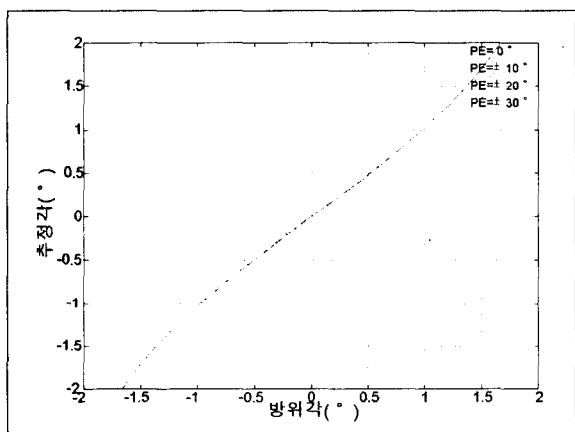
$$\begin{aligned} V_{S+D} &= -\frac{1}{40} * \left[10 * \log_{10} \left[\frac{V_S}{\sqrt{2}} \left(1 + \frac{V_D}{V_S} \exp[j\theta]\right) \right]^2 \right] + 2 \quad (7) \\ V_{S-D} &= -\frac{1}{40} * \left[10 * \log_{10} \left[\frac{V_S}{\sqrt{2}} \left(1 - \frac{V_D}{V_S} \exp[j\theta]\right) \right]^2 \right] + 2 \end{aligned}$$

앞서 언급한 모노펄스 에러 신호를 구하기 위해 두 신호의 차를 구하고 상수값 K 를 곱하면 다음의 (8) 식과 같이 정리된다.

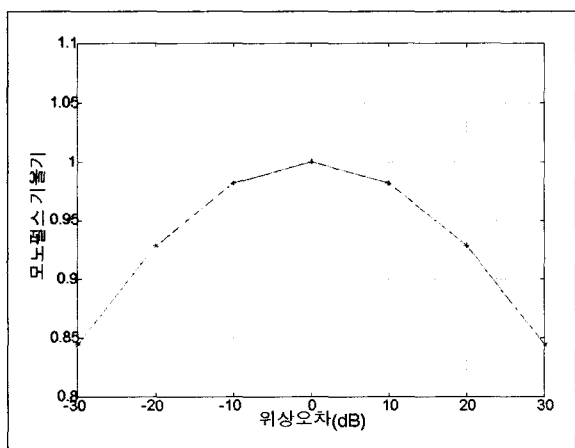
$$\frac{D}{S} \approx K*(V_{S+D} - V_{S-D}) \quad (8)$$

$$= -\frac{1}{4} * K * \log_{10} \left[\frac{1 + \frac{V_D}{V_S} e^{j\theta}}{1 - \frac{V_D}{V_S} e^{j\theta}} \right]^2$$

K : 정규화 상수



[그림 5] 위상 오차에 의한 모노펄스 에러신호의 변화



[그림 6] 위상오차와 모노펄스 기울기의 관계

위상 오차 $\theta(PE)$ 에 따른 모노펄스 에러 신호의 변화를 그림 5에 도시하였다. 실선으로 표시된 곡선이 위상 오차가 0° 인 경우를 나타내며 방위각 $\pm 1^\circ$ 내의 기울기는 1이다. 점선으로 나타낸 곡선은 각각 $\pm 10^\circ$, $\pm 20^\circ$, $\pm 30^\circ$ 의 위상 오차인 경우를 나타낸다. 위상 오차에 의해 모노펄스 기울기가 변화함을 볼 수 있고 위상 오차가 커질수록 기울기가 완만해짐을 알 수 있다. 그림 6은 방위각 $\pm 1^\circ$ 에 대해서 위상 오차에 의한 기울기의 변화를 나타낸다.

4.2 이득 오차 분석

채널간 이득 오차에 따른 모노펄스 에러 신호의 변화는 (8)식으로부터 다음과 (9)식과 같이 표현된다.

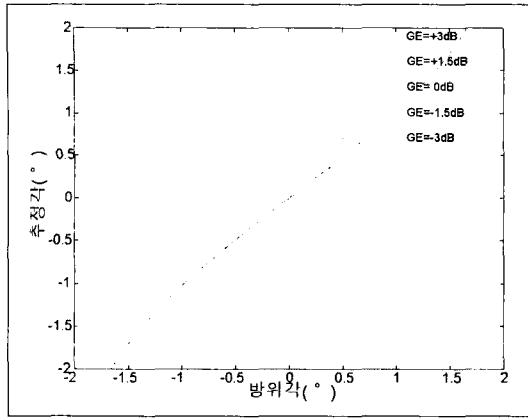
$$\frac{D}{S} \approx K*(V_{S+D} - V_{S-D}) \quad (9)$$

$$= -\frac{1}{4} * K * \log_{10} \left[\frac{1 + \frac{V_D}{V_S} \alpha}{1 - \frac{V_D}{V_S} \alpha} \right]^2$$

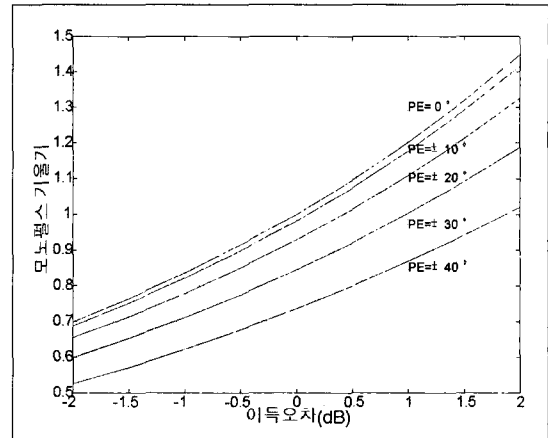
K : 정규화 상수

$\alpha(GE)$ 가 변화할 때 모노펄스 에러 신호의 왜곡 정도가 그림 7, 8에 나타나 있다. 위상 오차와 마찬가지로 실선으로 표시된 곡선이 이득 오차가 0dB인 경우이고 점선으로 표시된 곡선이 $\pm 3dB$, $\pm 2dB$, $\pm 1dB$ 인 경우이다. 이득 오차가 +에서 -로 갈수록 즉, S신호가 D신호에 비해 클수록 기울기가 완만해짐을 알 수가 있다.

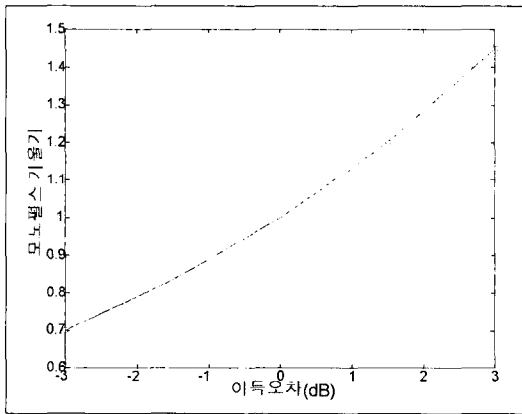
그림 9와 10은 위상 오차와 이득 오차가 동시에 변하는 경우에 대한 그림으로써 그림 9는 위상오차에 대하여 그림 10은 이득 오차에 대하여 모노펄스 기울기를 도시하였다.



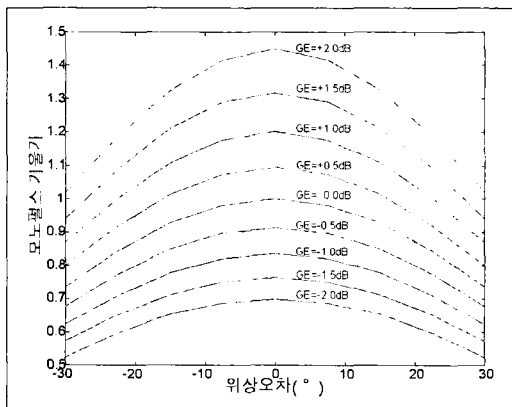
[그림 7] 이득 오차에 의한 모노펄스 에러신호의 변화



[그림 10] 위상 오차가 변화할 때 이득 오차와 모노 펄스 기울기의 관계



[그림 8] 이득 오차와 모노펄스 기울기의 관계



[그림 9] 이득오차가 변화할 때 위상 오차와 모노펄스 기울기의 관계

5. 광대역 채널간 정합

모노펄스 수신기의 입력 신호는 모노펄스 안테나로부터 인가되므로 결국 시스템의 최종적인 정합은 전체적인 정합도를 위하여 안테나를 수신기와 체결한 상태에서 정합을 하여야 한다. 따라서 전자파가 차폐되어 있는 챔버에서 혼 안테나와 공간적인 경로를 거친 신호를 안테나에 인가하여 채널간 정합을 실시한다. 한편, 안테나의 이득 및 위상 특성은 합과 차의 크기가 거의 같은 영역을 통해 신호가 인가되어야 채널간 이득 및 위상의 정합도를 향상시킬 수 있으므로 안테나 패턴도를 참조하여 혼 안테나를 위치시킨다. 이 때 주의하여야 할 점은 차폐턴의 부호에 유의해야 하며 양의 값으로 읽어야 할 방위각에 혼 안테나를 위치시킨다. 본 정합 과정은 방위각으로 +2.8°에서 실시하였다.

모노펄스 수신기의 광대역 위상 및 이득 정합은 적절한 소자의 선정과 전기적인 길이의 정합 그리고 위상 오프셋 조정의 순으로 행하여야 한다. 단 채널의 경우는 소자의 선정만으로 위상과 이득의 오차가 어

느정도 결정되나 두 채널 이상의 수신기는 소자의 자체적인 오차보다 채널간 비동일성과 전기적인 길이의 차이로 인한 오차가 더 크므로 유의해야 한다. 또한, 중심주파수를 기준으로 오차가 분포하도록 오프셋을 조정하는 것이 주파수 기만 모드의 설정시 모노펄스 기울기가 더욱 안정화된다.

5.1 소자의 선정

소자의 선정은 두 개 단위로 이득과 위상이 정합되어 있는 소자로 선정하되 규격의 설정은 시스템의 모노펄스 기울기의 변화폭에 근거하여 설정한다. 모노펄스 기울기가 $\pm 20\%$ 라고 가정하면 앞서 분석한 결과와 같이 위상 오차가 $\pm 35^\circ$ 혹은 이득오차가 $\pm 1.5\text{dB}$ 이내로 채널간 정합도에 관한 규격을 설정한다. 그러나 주파수 기만 모드를 사용하는 광대역 수신기는 주파수를 펄스 단위로 변화시키고 수신기의 후단에서 적분기로서 평균값을 취하므로 실제의 구현된 시스템에서는 위상과 이득 오차의 규격을 이보다 완화할 수 있다.

5.2 전기적인 길이의 정합

정해진 대역폭에 대한 위상 정합을 위해서는 채널간의 전기적인 길이(Electrical length)에 대한 완벽한 정합이 필요하다. 수신 채널의 전기적인 길이의 오차는 소자의 비동일성에 의한 것보다 고주파 동축 선로나 도파관으로 이루어진 전송 선로에서 주로 발생한다. 동축 선로의 경우에 대해서 살펴보면, Δl 의 길이 차이가 발생하였을 때 대역폭 내에서 발생하는 채널간 총 위상 변이는 다음의 (10)식과 같다.

$$\text{총 위상 변이} = \frac{BW}{f_c} * 360^\circ * \frac{\Delta l}{\lambda_e} \quad (10)$$

BW = 대역폭(Hz), f_c = 중심 주파수(Hz)

Δl = 채널간 길이 차이(m)

λ_e = 동축 선로에서 1파장의 길이(m)

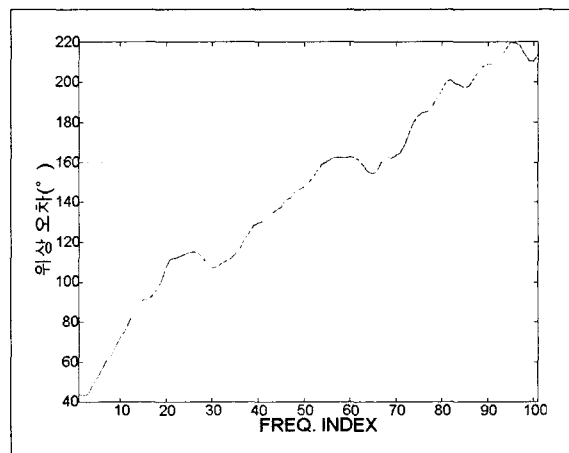
따라서, Δl 과 대역폭이 크면 클수록 전기적인 길이에 의한 총 위상 변이는 증가한다.

그림 11은 모노펄스 수신기의 채널간 전기적인 길이 오차가 0.2831m만큼 났을 때의 채널간 위상 오차를 도시한 것이고 그림 12는 길이오차를 보상하였을 때 정합된 상태를 나타낸다. 대역폭내의 위상 오차의 폭이 약 180° 에서 35° 이내로 감소하였음을 알 수 있다.

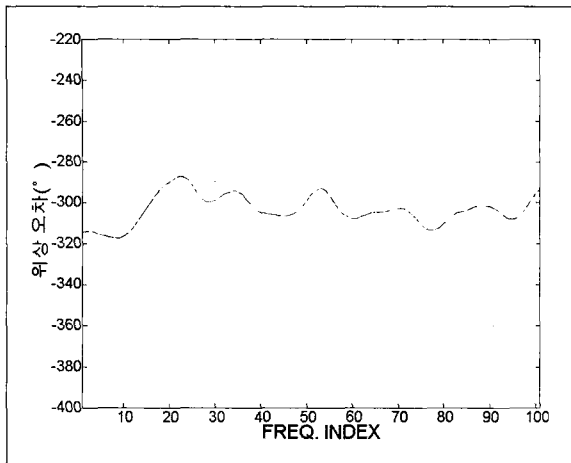
5.3 위상 오프셋의 조정

그림 12를 보면 채널간 전기적인 길이의 보상후에 Freq index=50인 중심 주파수에서의 위상 오차가 약 -300° 임을 알 수가 있다. 따라서 시스템의 원리상 이것을 0° 로 조정해야 한다.

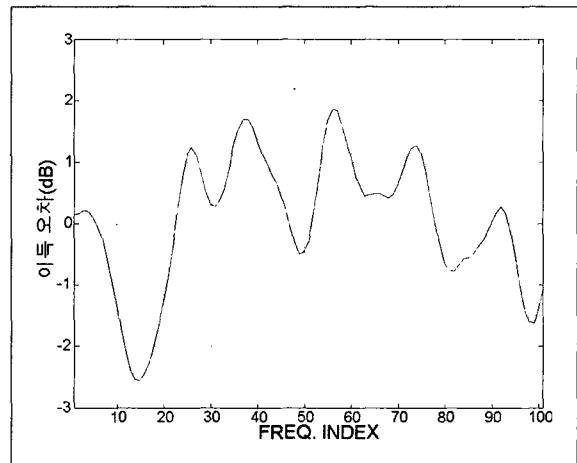
또한, 이를 조정할 때는 위상 변환기의 후단에서 받



[그림 11] 채널간 전기적인 길이 정합 전에 측정된 위상 오차



[그림 12] 채널간 전기적인 길이 정합 후에 측정된 위상 오차



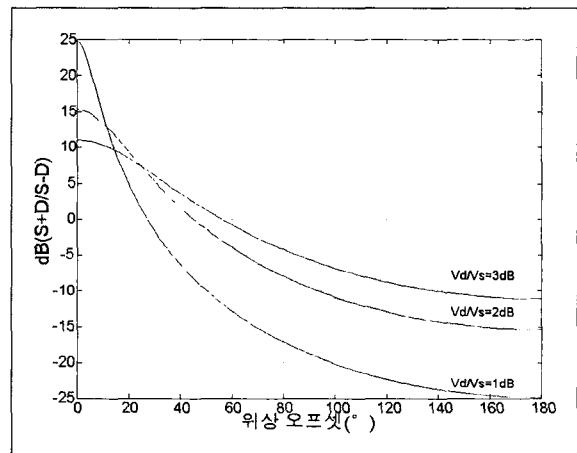
[그림 13] 측정된 채널간 이득 오차

생하는 오차인 하이브리드 자체의 입력 채널간의 오차까지 포함하여 조정할 수 있어야 하므로 하이브리드 후단에서의 신호를 이용하여 채널간 위상 오프셋 조정을 한다.

수신기의 출력단인 두 로그 증폭기의 비디오 출력의 차를 구하면 다음의 (11)식과 같이 표현된다. 또한 $|V_D/V_S|$ 의 비에 대해서 두 비디오 신호의 차를 도시하면 그림 14와 같다.

$$V_{S+D} - V_{S-D} = -\frac{1}{4} * \log_{10} \left[\frac{1 + \frac{V_D}{V_S} e^{j\theta}}{1 - \frac{V_D}{V_S} e^{j\theta}} \right]^2 \quad (11)$$

그림 14를 보면 $V_D/V_S=1dB, 2dB, 3dB$ 인 경우에 대한 두신호의 전력비가 위상차에 대해 도시되어 있다. V_D/V_S 가 1dB인 경우를 보면 0° 부터 20° 의 위상 오프셋에 대하여 20dB의 전압차가 생기며 근사적으로 위상 오프셋이 1° 변화면 1dB의 전압차를 기대할 수 있으므로 정확하게 조정 가능하다. 그러나 V_D/V_S 가 3dB일 때는 약 5° 변화에 대해 1dB의 전



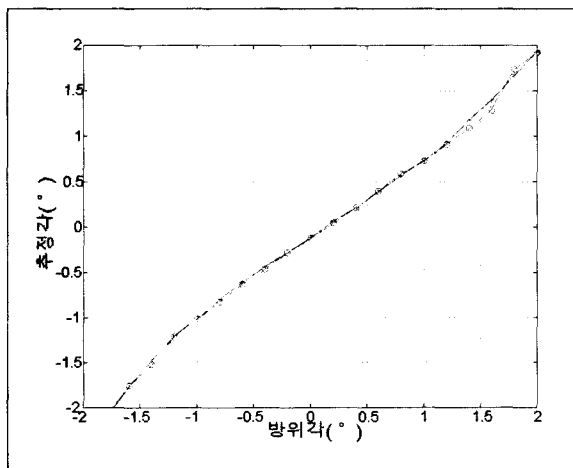
[그림 14] 위상 오프셋의 변화에 따른 수신기 출력의 전압차

압차가 생기므로 정확한 조정이 어렵다. V_D/V_S 의 비가 0dB에 가까울수록 같은 위상 오프셋에 대하여 큰 전압차가 생기므로 조정의 정확도를 높이기 위해서는 테스트 신호 인가시 적어도 V_D/V_S 의 비가 2dB 이상 되지 않도록 해야 한다. 따라서 이상적인 하이브리드에 $V_D/V_S \approx 1$ 인 테스트 신호를 인가하여 두 비디오 신호의 차가 최대가 되도록 조정을 하면 채널간 위상 오프셋이 0° 인 조정점을 찾을 수 있다.

6. 모노펄스 기울기의 측정

구현된 모노펄스 시스템에 대한 모노펄스 기울기의 측정은 고정밀도를 요구한다. 모의표적의 역할을 하는 혼 안테나와 모노펄스 안테나간의 방위각에 대한 배치 상태가 중요하며 혼 안테나의 높이와 모노펄스 안테나의 높이가 같도록 조정한다. 또한 모노펄스 기울기의 측정은 모노펄스 안테나의 주엽(Main Lobe)내에서 정밀하게 측정하여야 하므로 혼 안테나를 측정하고자 하는 각도에 정확히 고정할 수 있는 구동 장치를 사용하였다. 또한 외부의 전자파를 차단하고 반사파를 감소시키며 전파 흡수체를 포함하는 챔버를 이용하였다.

그림 15는 혼 안테나를 방위각 -2° 에서 $+2^{\circ}$ 까지 0.2° 간격으로 움직이면서 모노펄스 기울기를 측정된 결과이다. 대역폭내의 모든 주파수에 대하여 측정된 값을 적분하여 평균한 값이며 2회에 걸쳐 데이터를 획득하였다. 측정된 기울기는 0.86이며 기울기의 측정은 -1° 에서 $+1^{\circ}$ 사이의 최적 직선의 기울기를 구하였다.



[그림 15] 모노펄스 기울기의 측정 결과

7. 결 론

모노펄스 시스템에서는 실제로 수신기의 채널간 이득 및 위상 오차가 모노펄스 에러 신호의 기울기를 변화시키며 이것은 곧 추정각의 오차를 초래한다. 따라서 본 논문에서는 하이브리드를 전단에 배치함으로써 채널간 이득 및 위상 오차를 최소화시켰고 Bi-phase Modulator를 이용한 채널 교번을 통해 후단의 이득 정합이 필요 없도록 하였다.

모노펄스 기울기에 영향을 주는 RF초단부의 채널간 이득 및 위상 오차에 대하여 모노펄스 기울기가 변화하는 정도를 분석하였다. 그 결과로 시스템의 모노펄스 기울기에 대한 허용범위가 $\pm 20\%$ 이내라면 채널간 이득 오차가 $\pm 1.5\text{dB}$ 이내, 혹은 채널간 위상 오차가 $\pm 35^{\circ}$ 이내임을 알 수 있었다.

또한 구현된 시스템에 대하여 광대역 정합 방법을 적용한 결과 그림 12, 13과 같이 채널간 위상 오차가 $\pm 17.5^{\circ}$, 채널간 이득 오차가 $\pm 2.5\text{ dB}$ 이내로 측정되었고 최종적인 모노펄스 기울기는 그림 15와 같이 측정된 결과 0.86으로 시스템 차원에서 -14% 의 안정된 곡선을 얻었다.

참 고 문 헌

1. Samuel. M. Sherman Monopulse principles and techniques, Artech House, 1984.
2. Theodore W.Stone, "Monopulse Radar Needs Dictate Component Choice", Microwave Sys. News. August, 1980 Issue
3. Don. Thomson, "Monopulse Design for Tracking Radar", Microwave Journal. May 1985.
4. M. I. Skolnik, Introduction to Radar Systems, Circuits and Equations, Artech House, 1995.