

단측파대 상향변환기와 이미지제거 혼합기를 이용한 자기동조회로의 구현

Implementation of Self-frequency Synchronizing Circuit using Single-sideband Up-converter and Image Rejection Mixer

염 성 현* 김 태 영** 김 태 현*** 박 범 준***
 Seong-Hyeon Yeom Tae-Young Kim Tae-Hyun Kim Boem-June Park

Abstract

In this paper, we designed self-frequency synchronizing circuit using image rejection mixer(IRM) and single-sideband(SSB) up-converter which can effectively eliminate the image frequencies occurred in multi-channel super-heterodyne receivers and help us to match inter-channel phase. Also the self-frequency synchronizing circuit simplifies system because there need no extra devices for making intermediate frequency(IF) by creating the local signal within several nanoseconds by means of generating the same frequency of IF signal and modulating radio frequency(RF) signal. We adopt the limiting amplifier for the purpose of protecting the circuit from spurious signals which come from the front end side having wide instantaneous bandwidth characteristics and constantly injecting same level into the input local signal of IRM.

The IRM we fabricated has image rejection ratio of 27dB, which is good over 7dB for foreign company's. Also, the SSB up-converter we fabricated has 1dB compression point of 18dBm, which is good over 16dB for foreign company's. And the size is compact about one-fourth.

Keywords : Self-frequency Synchronizing(자기 동조), Image Rejection(이미지 제거), Single-sideband(단측파대)

1. 서론

전자전에서 적군의 레이더 신호를 탐지 및 식별하

여 발신원의 위치를 탐지하고, 전자파 신호를 분석 처리하여 그 특성에 대한 라이브러리를 생성하는 것은 전자전에 있어 아주 중요한 업무이다. 특히, 방향탐지 정보는 신호분석 및 유효복사전력(ERP : Effective Radiated Power) 증가에 중요한 변수일 뿐만 아니라 고 성능화되는 레이더 수신기에서 임의의 변경이 불가능한 중요한 정보가 된다^[1]. 일반적으로 방향탐지 정보 획득 방식에는 진폭비교방식과 위상비교방식이 있다. 그 중에서, 위상비교방식은 방향탐지에 있어 고도의

† 2010년 7월 9일 접수~2010년 10월 1일 게재승인

* 엘아이씨티(LICT)

** 삼성탈레스(SamsungThales)

*** 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 염성현(ysh1978@lict.co.kr)

정확성이 요구된다. 이를 위해서는 우수한 채널 선택도와 수신감도를 갖는 다중 채널 슈퍼헤테로다인 수신기 구조와 광대역 순시 방향탐지가 가능한 자기동조회로가 필수적이다. 아울러, 자기동조회로 성능에 큰 영향을 미치는 이미지 신호를 감소시키기 위한 방안이 필요하다. 본 논문에서는 필터의 특성에 의존적인 슈퍼헤테로다인 수신기의 단점인 이미지 신호 제거의 어려움과 위상 왜곡으로 인해 채널간 위상정합의 부정확성을 해결하기 위해 대역폭 내의 위상 왜곡을 최소화 하면서 효과적인 이미지 신호 제거가 가능한 단측파대 상향변환기와 이미지 제거 혼합기를 이용한 자기동조회로를 설계 제작하였다.

2. 구조 및 동작원리

일반적인 슈퍼헤테로다인 수신기 방식에서의 혼합기 동작은 $\cos w_1 t \times \cos w_2 t$ 의 곱으로 $w_1 + w_2$ 와 $w_1 - w_2$ 의 주파수에 두 개의 단측파대를 생성시킨다. 생성된 두 단측파대중 원치 않는 신호를 제거하기 위해서는 상향변환의 경우 송신기의 혼합기 중단에 필터를 사용하면 원치 않는 대역의 단측파대 제거가 가능하다. 또한, 하향변환의 경우에도 이미지 신호의 제거를 위하여 수신기의 혼합기 전단에 필터를 사용한다. 그

러나 이와 같은 방법은 필터 특성에 많은 영향을 받는다. 이를 대신하여 효과적으로 이미지 신호를 제거하기 위해 단측파대 상향변환기와 이미지 제거 혼합기를 사용하는 방법이 있다. Fig. 1은 단측파대 상향변환기와 이미지제거 혼합기를 이용한 자기동조회로의 구성도이다.

단측파대 상향변환기는 두 개의 기본적인 혼합기와 두 개의 90° 위상지연 기능을 갖는 결합기로 구성된다. 단측파대 상향변환기의 동작원리는 하나의 혼합기에는 동위상의 단측파대를, 또 다른 혼합기에는 90° 위상이 지연된 다른 성분을 더하고 결합기를 거치면 원하는 단측파대만을 출력한다. 이미지 제거 혼합기는 단측파대 상향변환기의 구조와 유사하여 90° 결합기를 입력에서 출력으로 옮기면 이미지 제거 혼합기가 된다. 이미지 제거 혼합기의 출력은 아래의 식 (1)~(2)와 같이 이미지 신호가 역위상으로 더해져 상쇄되고, 원하는 신호는 동위상으로 더해지게 된다^[2].

$$A \cos(w_1 t) \cdot B \sin(w_2 t) = \frac{AB}{2} \sin[(w_1 + w_2)t] - \frac{AB}{2} \sin[(w_1 - w_2)t] \quad (1)$$

$$A \cos(w_1 t) \cdot B \sin(w_2 t) = \frac{AB}{2} \sin[(w_1 + w_2)t] + \frac{AB}{2} \sin[(w_1 - w_2)t] \quad (2)$$

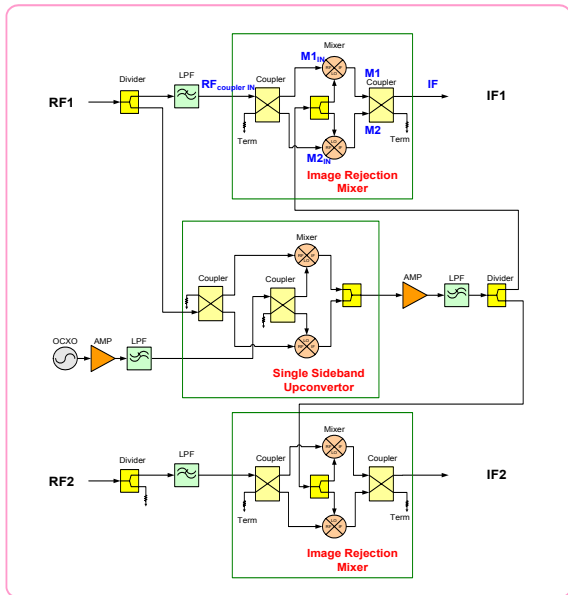


Fig. 1. 자기동조회로의 블록도

Fig. 1에서와 같이 기준 신호원인 OXCO(Oven Controlled Crystal Oscillator)에서 발생된 기준 신호와 기준 수신 채널에서 분기된 RF 신호를 변조시켜 두 개의 LO 신호 $w_o \pm w_i$ 를 만들고, 두 개의 신호 중 상측파대에 해당하는 $w_o + w_i$ 를 이미지 제거 혼합기의 국부신호에 재사용하면 수식 (3)~(8)에서 유도되는 것처럼 IF 신호의 성분만 남게 되고, LO 신호의 위상 변화와는 독립적인 IF 신호의 위상 정보만 남게 된다. 이렇게 각각 수신 채널의 위상이 주파수와 독립적으로 고유의 위상을 갖도록 하기 위하여 모든 수신 경로에 기준 채널과 동일한 분배기를 적용하였으며, LO 신호도 단일 경로에서 증폭하여 분배하는 구조를 갖도록 하였다.

이미지 제거 혼합기의 첫 번째 결합기의 입력

$$RF_{Coupler\ IN} = A \cos(w_{RF}t) + A' \cos(w_{IM}t) \quad (3)$$

두 개의 혼합기 입력이 식 (4), (5)와 같고

$$M1_{IN} = \frac{A}{2} \cos(w_{RF})t + \frac{A'}{2} \cos(w_{IM})t \quad (4)$$

$$M2_{IN} = \frac{A}{2} \cos(w_{RF} + 90^\circ)t + \frac{A'}{2} \cos(w_{IM} + 90^\circ)t \quad (5)$$

LO 신호인 $\cos(w_{LO})t$ 와 혼합기에 입력된 신호의 출력은 식 (6), (7)과 같으면

$$M1 = \frac{AB}{4} \cos(w_{LO} - w_{RF})t + \frac{A'B}{4} \cos(w_{IM} - w_{LO})t \quad (6)$$

$$M2 = \frac{AB}{4} \cos(w_{LO} - w_{RF} - 90^\circ)t + \frac{A'B}{4} \cos(w_{IM} - w_{LO} + 90^\circ)t \quad (7)$$

두 개의 신호를 90° 위상지연 결합기로 묶은 IF신호의 상측과대 출력은 식 (8)과 같다^[3].

$$IF = \frac{AB}{4} \cos(w_{LO} - w_{RF})t - \frac{A'B}{4} \cos(w_{IM} - w_{LO})t \quad (8)$$

Table 1은 자기동조회로의 설계 목표를 나타내었다. 이는 외국 도입품을 기준으로 소형, 경량 및 광대역화의 설계 목표를 만족시키는 동시에, 진폭 및 위상의 오차를 감소시켰다.

Table 1. 자기동조 회로의 설계목표

RF 주파수[MHz]	500 ~ 2000
LO 주파수[MHz]	650 ~ 2220
IF 주파수[MHz]	150 ~ 220
이미지 제거[dBc]	20 이상
위상 정합[degree]	10 이하
전달 지연 오차[nsec]	5 이내

진폭 및 위상의 오차에 의한 이미지 제거율은 식 (9)~(10)와 같이 표현할 수 있다^[4].

$$IR = -10 \text{Log} \frac{(1 + A^2 - 2A \cos(\theta))}{(1 + A^2 + 2A \cos(\theta))} \quad (9)$$

$$A = 10^{-\frac{adB}{20}} \quad (10)$$

진폭 및 위상의 오차는 혼합기로 분리되고 합해지는 두 개의 경로에서 발생하는 진폭과 위상의 차이로 정의되며 위의 식 (9)를 그래프로 그리면 Fig. 2에서 보는 바와 같이 표현할 수 있으며, 진폭 및 위상의 정합은 이미지 제거에 중요한 요소가 된다.

Fig. 2에서 알 수 있듯이 20dB 이상의 이미지 제거를 하기 위해서는 1dB 이내의 진폭오차와 5° 이내의 위상오차를 요구하고 있으며, 30dB 이상의 이미지 제거를 하기 위해선 0.5dB 이내의 진폭오차와 0.1° 이내의 위상오차가 필요하다. 따라서 대역 내 정확한 90° 위상지연이 매우 중요하며, 순시 대역폭이 넓은 자기동조회로의 경우 위상지연 오차가 적은 90° 위상지연 결합기를 적용하려면 크기가 커지므로 소형화 및 경량화가 곤란하다.

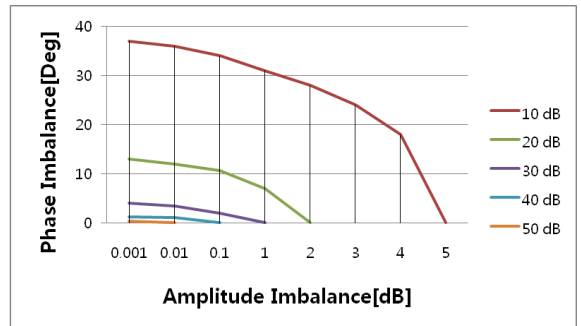


Fig. 2. 진폭 및 위상 오차에 의한 이미지 제거율

따라서 현재 외국 도입품을 포함한 대부분의 제품들은 위상을 지연시켜 필터로 이미지를 제거하는 방식을 주로 사용하고 있다. 그러나, 필터의 특성에 의해 진폭 및 위상의 오차가 영향을 받아 제품 성능의 재현성이 나빠지는 구조적인 단점을 지니고 있다. 이를 개선하기 하기 위하여 본 논문에서는 90° 광대역 위상지연 결합기로 진폭 및 위상의 오차가 적은 제품 중 Werlatone사의 QH7439, QH7644와 RN2사의 RCP200B03, RCP1500W03S를 검토하였으며, 보다 작은 크기로 제작하기 위해서는 크기가 상대적으로 작은 후자를 선택하였다. RN2사의 제품은 온도와 습도에 높은 신뢰성을 갖는 세라믹 구조이며, 500~2600 MHz의 광범위한 대역에서 ± 0.6 dB 이내의 진폭오차와 $\pm 5^\circ$ 이내의 위상오차를 갖으며 동일한 성능의 타

사 제품에 비해 1/4 정도 밖에 되지 않아 소형화하는데 매우 유리하다.

가. 단측파대 상향변환기의 제작

Fig. 3은 실제 제작된 단측파대 상향변환기의 내부사진이다. Fig. 3과 같이 단측파대 상향변환기는 RF 입력 신호와 기준 신호원인 OCXO에서 입력되는 LO 신호를 동위상과 90° 천이위상의 신호로 분리해주는 한 쌍의 90° 광대역 위상지연 결합기와 한 쌍의 혼합기와 출력 신호를 동위상으로 결합해주는 합성기 등으로 구성된다.

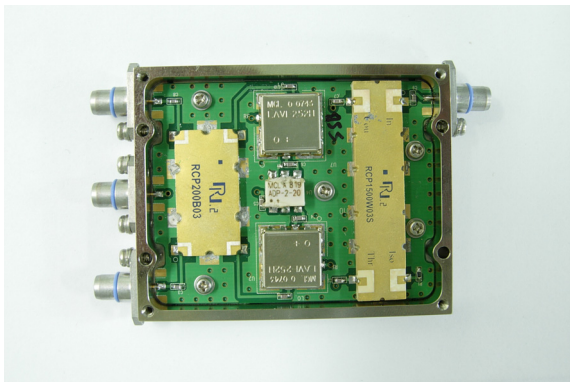


Fig. 3. 단측파대 상향변환기의 내부사진

Table 2는 외국 도입품과 제작된 단측파대 상향변환기의 실제 성능을 비교한 결과이며, 상대적으로 우수한 성능 결과를 얻었다. 제작된 단측파대 상향변환기는 순시 대역폭 내에서 변환손실을 최소화하였다. 순시 대역폭 내에서 변환손실이 크게 되면 이득을 보상하기 위하여 증폭부가 필요하게 되고, 위상왜곡이 발생하게 된다. 그러므로, 위상왜곡을 최소화하려면 변환손실이 작고 평탄도가 최소가 되어야 한다.

Table 2. 단측파대 상향변환기 성능비교

항목	단위	도입품	제작 모듈
1dB 억압점	dBm	2	18
변환손실	dB	10.8	10.4
평탄도	dB	5.2	0.8
반송파 억압	dBc	30	33
크기	mm ³	63.5*50.8*12.7	48*50.8*12.7

나. 이미지제거 혼합기의 제작

Fig. 4는 이미지제거 혼합기의 내부사진이다. 보는 바와 같이 RF 입력 신호를 동위상과 90° 천이위상의 신호로 분리 또는 결합해주는 한 쌍의 90° 광대역 위상지연 결합기와 한 쌍의 혼합기 그리고 LO 신호를 동위상으로 분리해주는 분배기로 구성된다.

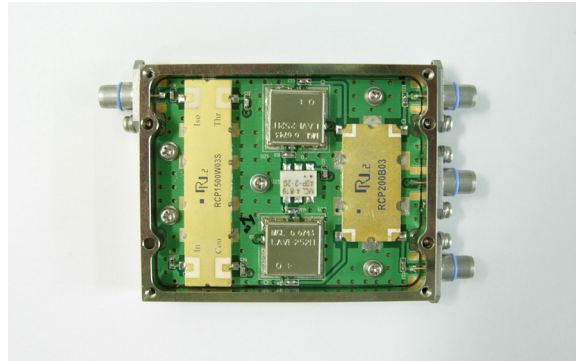


Fig. 4. 이미지제거 혼합기의 내부사진

Table 3은 외국 도입품과 제작된 이미지제거 혼합기의 성능을 비교한 결과이며, 상대적으로 우수한 성능 결과를 얻었다.

Table 3. 이미지제거 혼합기 성능비교

항목	단위	도입품	제작 모듈
변환손실	dB	18.4	8.4
평탄도	dB	12.3	0.8
이미지신호 제거	dBc	20.7	27
크기	mm ³	63.5*50.8*12.7	48*50.8*12.7

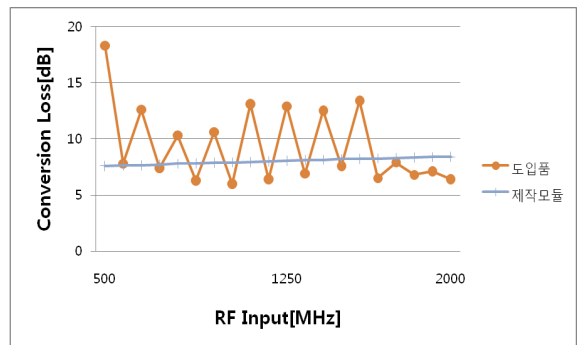


Fig. 5. 이미지제거 혼합기 평탄도 비교

Fig. 5, 6은 제작된 이미지 제거 혼합기의 평탄도 및 이미지신호 제거 두 성능 항목만을 외국 도입품과 비교한 자료이다. Fig. 5, 6에 보이듯이 단측과대 상향변환기와 마찬가지로 평탄도와 이미지 신호 제거 성능 항목이 외국 도입품보다 상당히 우수함을 보여준다.

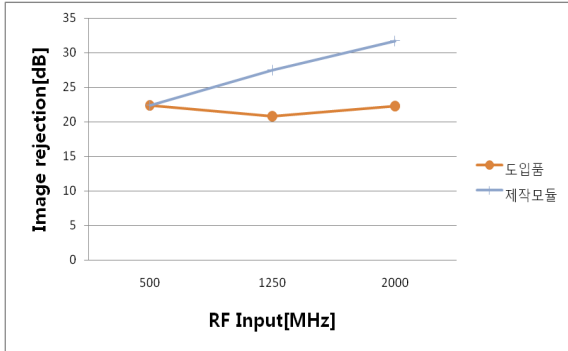


Fig. 6. 이미지제거 혼합기 이미지 신호 제거 비교

다. 자기동조회로의 구현

일반적인 수신기 경우 한쌍의 혼합기와 결합기로만 구성된 이미지제거 혼합기로는 수신기의 이미지 신호 제거는 20dB 이내이므로 빠른 응답속도와 정확성이 요구되는 방향탐지 수신기와 같은 특수한 목적의 수신기에 적용하기는 어렵다. 본 논문에서는 제작된 단측과대 상향변환기와 이미지제거 혼합기를 이용하여 Fig. 1과 같이 자기동조회로를 구현하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 분배기를 거쳐 분기된 RF 신호를 단측과대 상향변환기의 입력에 주입하고, 자체 동조된 기준 신호원과 혼합되어 출력 LO 신호를 이미지 제거 혼합기의 국부신호로 주입한다. 이 때, 이미지제거 혼합기의 국부신호의 출력이 일정하게 주입되기 위해서는 단측과대 상향변환기의 RF 출력이 일정하게 유지되어야 한다. 이를 위해서 자기동조회로 입력부에 리미팅 앰프를 구성하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 두 채널 이상의 다채널 구조에서는 동일 주파수 간 고도의 위상정합을 필요로 한다. 위상왜곡과 전달 지연 오차의 최소화를 위해 위상왜곡과 전달지연 오차를 발생시키는 이미지제거용 필터는 가급적 사용하지 않는다.

라. 시험결과

Fig. 7은 일반적인 혼합기를 이용하여 구성된 자기동조회로이고, Fig. 8은 일반적인 상향변환기와 하향변환

기를 단측과대 상향변환기와 이미지제거 혼합기로 대체하여 구성된 자기동조회로이다.

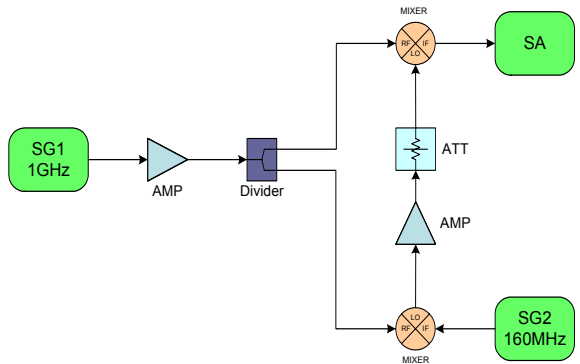


Fig. 7. 이미지 제거 기능이 없는 자기동조회로

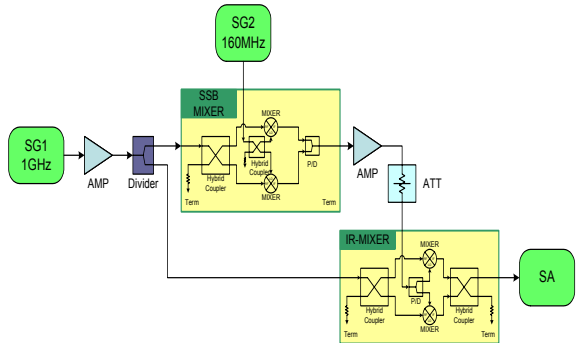


Fig. 8. 이미지 제거 기능을 포함한 자기동조회로

신호발생기로부터의 입력신호를 증폭기를 거쳐 일정한 크기의 신호로 만들고, 분배기로 분기된 신호를 상향변환기와 하향변환기에 주입하여 자기동조회로를 구성하였다. Fig. 9, 10에서 보는 바와 같이 이미지 신호가 제거된 결과를 비교하였다. Fig. 9는 일반적인 혼합기를 이용하여 구성된 자기동조회로의 결과이며, 원하는 신호 대비 2차 고조파 성분이 18dBc, 인접 불요신호에서 25dBc의 차이가 발생하였다. 반면에 Fig. 10에서 보는 바와 같이 단측과대 상향변환기와 이미지제거 혼합기를 이용한 자기동조회로의 경우 2차 고조파 42dBc, 인접 불요신호 50dBc의 차이를 얻어, 이미지 신호 제거 효과가 일반적인 자기동조회로보다 단측과대 상향변환기와 이미지 제거 혼합기를 이용한 자기동조회로가 2차 고조파에서는 24dB, 인접 불요신호에 대해서는 25dB 이상의 이미지 신호 제거 향상 효과를 얻을 수 있었다.

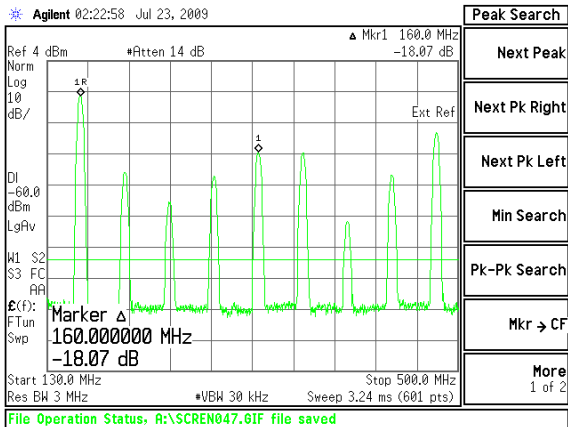


Fig. 9. 이미지 제거 기능이 없는 자기동조회로의 출력

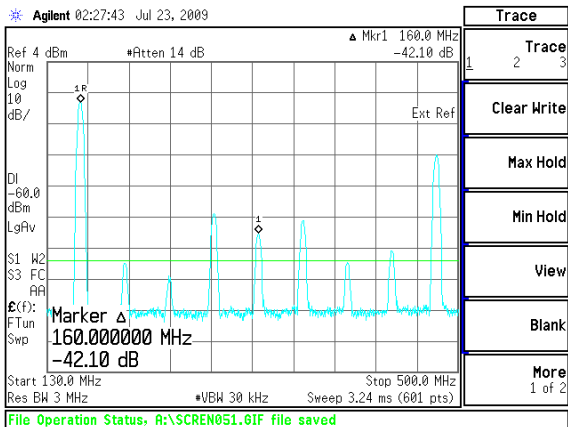


Fig. 10. 이미지 제거 기능을 포함한 자기동조회로의 출력

3. 결론

본 논문에서는 위상비교방식의 방향탐지 장치에 이용될 수 있는 자기동조회로를 설계하고, 이를 구현하는데 필요한 구성품인 단측파대 상향변환기와 이미지 제거 혼합기를 제작하였다. 제작된 단측파대 상향변환기 및 이미지 제거 혼합기를 외국 도입품을 비롯한 기성품과 비교해 성능과 크기 면에서 월등히 우수한 결과를 얻었다.

본 연구를 통하여 단측파대 상향변환기와 이미지제거 혼합기의 설계 및 제작기술을 확보하는 한편 자기동조회로를 사용하는 위상비교 방향탐지 시스템의 성능을 개선되어, 군용 전자전용 방향탐지 수신기에 적합하리라 사료된다.

References

- [1] Filippo Neri, "Introduction to Electronic Defense Systems", Artech House, 1991.
- [2] Robert C. Dixon, "Radio Receiver Design", Marcel Dekker, pp. 159~160, 1998.
- [3] David M. Pozar, "Microwave Engineering 2nd Edition", Wiley, 1997.
- [4] Jyotrimay Gadewadiker, "Image Reject Mixers in Microwave Application", University of Texas at Arlington, 2002.