
수정발진자를 이용한 NAVTEX 수신기용 협대역 여파기 설계

장문기*·안중수**·박진수***

Design of a Narrow Band Pass Filter with Crystal Oscillator for NAVTEX Receivers

Moon-Kee Jang* · Jung-Soo Ahn** · Jin-Soo Park***

이 논문은 2006년도 충주대학교 교내 학술연구비를 지원받았음.

요 약

본 논문에서는 수정발진자를 이용하여 NAVTEX 수신기에 적용 가능한 490KHz 대역여파기를 등가회로로 모델화하고 컴퓨터로 시뮬레이션한 후, 각각의 특성에 알맞은 특성 파라미터를 추출하고 이를 바탕으로 490KHz 협대역 여파기를 제작한 후 성능을 평가하였다.

그 결과, 수정발진자의 직렬 커패시터 값은 $C_s \approx 21.094\text{fF}$ 로 매우 작은 용량값을 나타내야하며 제작된 수정발진자의 용량값 편차가 크면 클수록 필터의 대역폭 특성이 나빠지는 결과를 알 수 있었다. 또한 수정발진자의 직렬 인덕턴스 값은 $L \approx 5\text{H}$ 정도의 비교적 큰 값을 나타내므로 인덕턴스의 용량 변화에 따른 대역폭 특성은 커패시터의 영향보다 비교적 적음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

This paper evaluate the performance using a simulated 490KHz narrow band filter based on characteristic parameters appropriately extracted from 490KHz band-pass filter after considering each characteristic, which is modeled on equivalent circuit and applied to NAVTEX receiver using crystal oscillator.

The evaluation results show that the value of a series capacitor of crystal oscillator has only little capacity by $C_s=21.094\text{fF}$ and the bandwidth characteristics of filter go worse as the capacity value of crystal oscillator grow increase. Moreover, the series inductance value of crystal oscillator has a relatively big value by $L=5\text{H}$, therefore the bandwidth characteristic according as inductance's capacity shows more little effect than the capacity.

키워드

NAVTEX, 여파기, 수정발진자

* 충주대학교 이공대학 전자공학과 박사과정
** 충주대학교 전기전자 및 정보공학부 교수
*** 충주대학교 이공대학 전자정보공학부 교수

I. 서 론

해상교통문자방송제도(NAVTEX System)인 NAVTEX (Navigation Telex)는 국제해사기구(IMO)의 전 세계 조난 및 해상안전제도(GMDSS: Global Maritime Distress and Safety System)의 계획에 의하여 연안국이 운영하는 국제해상안전시스템이다[1].

우리나라는 1998년 1월 30일 정보통신부로부터 주파수 사용시안을 승인받아, 1998년 7월 30일 동해 죽변송신국을 착공하고 1998년 9월 9일 서해 변산송신국을 착공하였으며 1999년 4월 3일부터 해양경찰청에 NAVTEX 운영실 및 동·서해 송신국을 준공한 후 서비스 중에 있다.

현재 정규방송시간에 한반도 연안을 항해하는 선박을 위하여 주요한 해상안전정보인 해양기상, 해상수색구조 및 치안, 해양조사, 항로 및 항만, 해상사격 및 훈련 등에 대한 정보를 제공하고 있다.

NAVTEX 서비스는 세계 공통주파수인 518KHz를 이용한 영문문자방송 및 지역 국가의 자국어 문자방송을 위한 490KHz의 주파수대역을 이용하여 제공되며 항해선박은 선박에 탑재된 문자방송수신기를 이용하여 해상안전정보를 실시간으로 제공받을 수 있도록 되어 있다.

이에 본 논문에서는 수정발진자를 이용하여 NAVTEX 수신기에 적용 가능한 490KHz 협대역 여파기를 등가회로로 모델화하고 컴퓨터로 분석한 후, 이를 바탕으로 490KHz 협대역 수정발진자 여파기를 제작하고 성능을 평가하고자 한다.

II. 본 론

2-1. 수정발진자

일반적으로 수정발진자는 수정을 그 결정축에 대해 특정한 방향으로 절단·가공하여 만든 얇은 조각의 양면에 도체 전극을 접합시킨 소자를 말한다. 전극양단에 바이어스를 인가하면 전기 일그러짐 효과에 의해 변형력이 더해져서 진동이 일어나게 되며 압전효과에 의해 전극에 전압이 발생되게 된다. 이때 고유 진동수는 수정의 역학적 성질이나 크기에 따라서 정해지며, 일반적으로 온도 등의 변화에 대해 안정적이며 Q값도 매우 높게 유지된다. 이러한 수정의 고유특성을 이용하여 안정한

발진기나 필터를 만들 수 있다.

특히, 수정발진자의 예리한 공진성을 이용하여 특정 주파수의 고주파를 꺼내는 장치를 수정여파기라 한다. 수정편에 2쌍의 전극을 접합하고 한쪽에 고주파를 가하면 그 주파수가 수정편의 고유 진동수와 같으면 큰 진동이 일어나는데 그 진동에 의해 다른 쪽의 전극에 전압이 나타나게 된다. 수정편의 Q값은 일반적으로 높게 나타나므로 그 이외의 주파수로는 거의 출력이 나타나지 않으며 예리한 차단특성을 얻을 수 있으므로 정밀한 대역여파기 제작에 수정발진자가 많이 사용되고 있다.

일반적으로 수정발진자의 공진주파수에서는 용량성과 유도성 리액턴스가 크기는 같고 방향만 반대이다. 저항이 크면 Q값은 낮아지고 진동을 유지시키는데 필요한 전력이 많이 된다. 이 부가적인 전력은 발진주파수의 안정성을 떨어뜨리게 되고 주파수의 드리프트현상을 발생시키게 된다. 따라서 대역여파기 제작에 필요한 수정발진자의 조건으로 높은 Q값을 요구하는데 그 이유는 안정된 주파수발진과 손실이 적기 때문이다[2].

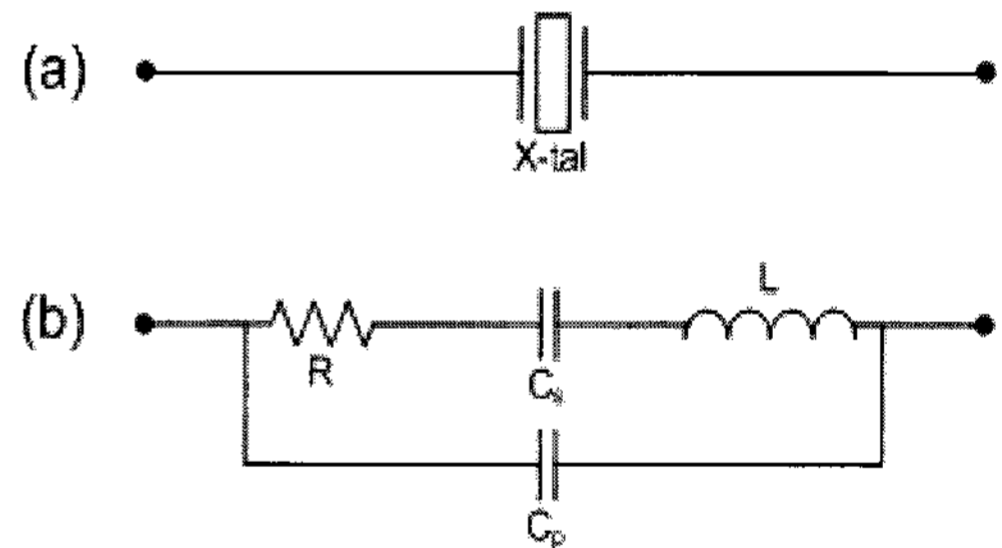


그림 1. 수정발진자의 등가회로
Fig 1. Equivalence circuit of a crystal

R, L, C 수동소자를 이용하여 수정발진자의 등가회로를 모델화하면 그림 1과 같다. 일반적으로 수정발진자의 등가회로에서 석영을 이용한 수정발진자의 경우, 무손실이고 $C_p \gg C_s$ 의 관계이므로 저항성분 R을 무시한다.

수정발진자는 직렬공진주파수인 f_s 와 병렬공진주파수인 f_p 등 두 개의 공진주파수가 존재한다. 직렬공진주파수인 f_s 는 그림 1에서 보이고 있는 바와 같이 직렬커패시터 C_s 와 등가 운동적 인덕턴스인 L_s 에 의해 결정되며 수식 (1)과 같이 구할 수 있다. 병렬공진주파수인 f_p 는 병렬 커패시터인 C_p 에 의해 결정되고 식 (2)과 같이 구할 수 있다.

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_s}} \quad (1)$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(\frac{c_1c_2}{c_1+c_2})}} \quad (2)$$

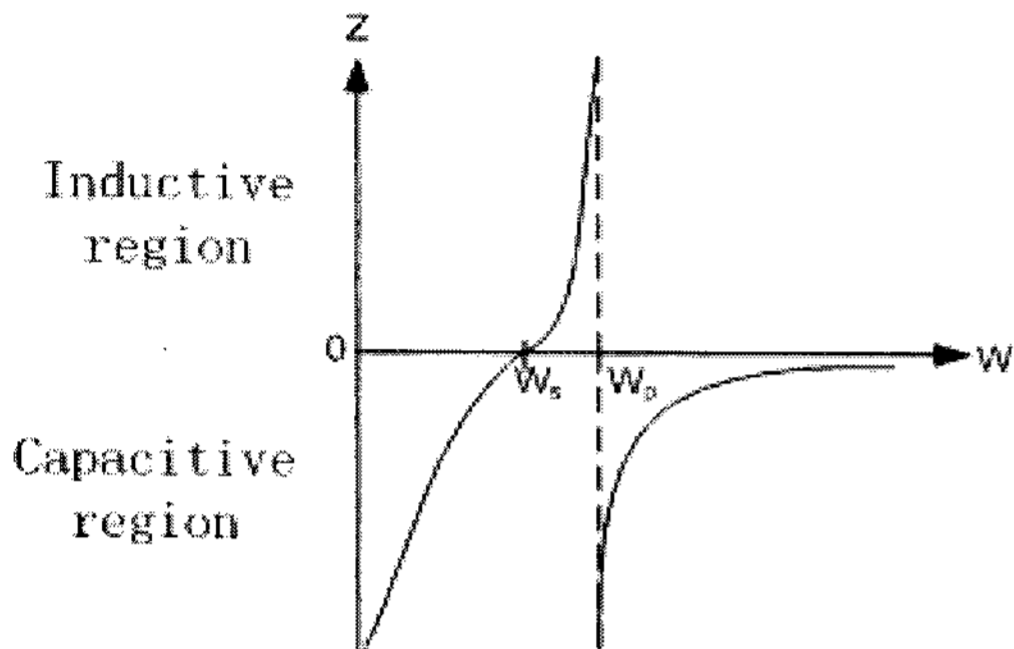


그림 2. 수정발진자의 단자 임피던스 그래프
Fig 2. Terminal impedance graph of a Crystal

수정발진자의 단자 임피던스 그래프를 그림 2에 나타내었다. 일반적으로 $C_p \gg C_s$ 이므로 $w_p \gg w_s$ 이다. 하지만 그 차이는 매우 적은 양이고, 전형적으로 0.01% 미만이다. 일반적으로 $w > w_s$ 인 경우와 $w > w_p$ 인 경우 단자의 임피던스는 용량성, 즉 커패시터의 특성으로 나타나며, $w_s < w < w_p$ 인 경우 단자의 임피던스는 유도성, 다시 말해서 인덕턴스의 특성을 나타내게 된다. 따라서 본 논문에서는 수정발진자의 두 공진주파수중 직렬공진주파수를 이용한 협대역 여파기의 등가회로를 모델화하고 이를 분석한 후, 이를 바탕으로 실제 NAVTEX에 적용 가능한 협대역 여파기를 제작하고 평가하는 것이 목적이므로 병렬공진주파수와 내부저항 R성분에 대한 분석은 생략한다.

2-2. 협대역 여파기의 등가회로

본 논문에서는 NAVTEX 수신기의 자국어 문자방송을 수신하기 위해 중심주파수 490KHz, ±150Hz의 통과대역폭을 갖는 여파기를 수정발진자를 이용하여 설계하고 이를 컴퓨터시뮬레이션으로 분석한 후, 이를 바탕으로 실제 협대역 수정발진자 여파기를 제작하고자 한다. 이를 위해 그림 1에 나타낸 수정발진자의 R, L, C 등가회로를 바탕으로 2단 협대역 수정발진자 여파기의 기본회로를 그림 3과 같이 설계한다.

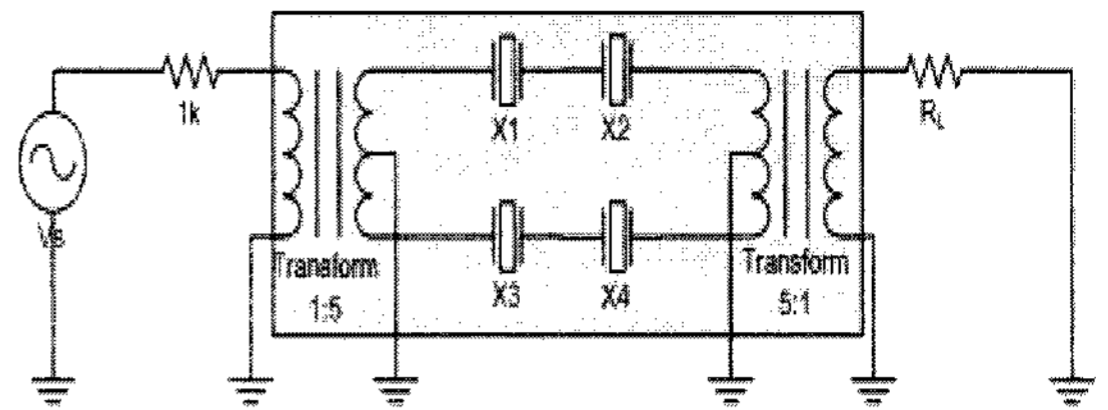


그림 3. 2단 협대역 수정발진자 여파기의 기본회로
Fig 3. Basic circuit for a two-ports narrow band pass filter of crystal

위의 그림 3에서 음영 처리된 영역이 협대역 수정발진자 여파기를 나타낸다. 일반적으로 여파기에 인가되는 입력신호는 490KHz를 기준으로 ±1VPP의 사인파가 입력되며, 필터의 입력임피던스는 1kΩ으로 정합되어있다. 그러나 필터내부 수정발진자의 입력 임피던스가 200Ω정도이므로 이를 정합하기 위하여 여파기의 입·출력 단에 각각 입·출력임피던스의 정합을 위한 평형트랜스가 추가되어있다.

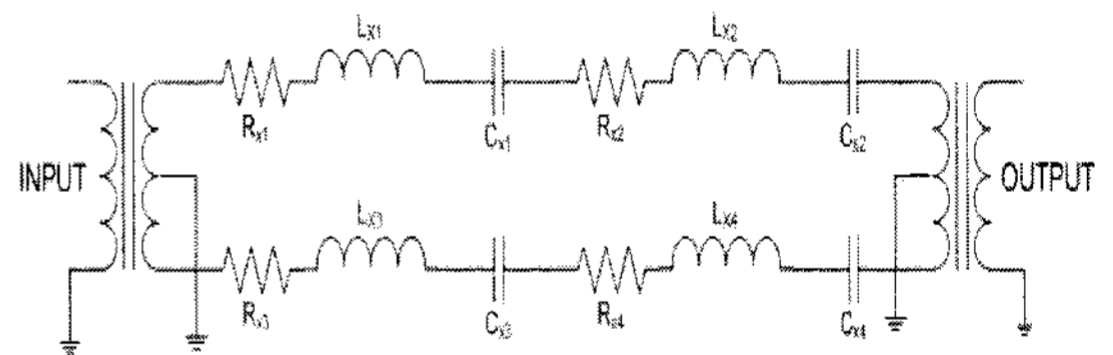


그림 4. 2단 협대역 수정발진자 여파기의 등가회로
Fig 4. Equivalence circuit for two-ports narrow band pass filter of crystal

위의 여파기회로를 수정발진자의 R, L, C 등가회로로 표현하면 그림 4와 같다. 그림 4에서는 수정발진자의 내부 병렬 커패시터인 $C_{p1}, C_{p2}, C_{p3}, C_{p4}$ 가 생략되어 있다. 그 이유는 앞에서 언급한 바와 같이 수정발진자의 직렬공진주파수와 병렬공진주파수의 차이가 0.01% 이하이므로 사실상 무시해도 가능하기 때문이다.

그림 3의 기본회로를 보면 입력된 신호는 평형트랜스를 통과한 후 수정발진자 X1과 X3로 각각 분배되어 입력되게 된다. X1로 입력된 신호는 수정발진자 X2로 재입력된 후 출력 측 평형트랜스를 통해 출력되게 되며, X3로 입력된 신호는 수정발진자 X4를 통과한 후 마찬가지로 출력 측 평형트랜스를 통해 출력된다.

결국, 입력된 신호는 X_1+X_2 의 경로와 X_3+X_4 의 경

로를 이용해 출력 측으로 전달되게 된다. 이러한 경로를 간단히 표현하면 그림 5와 같다.

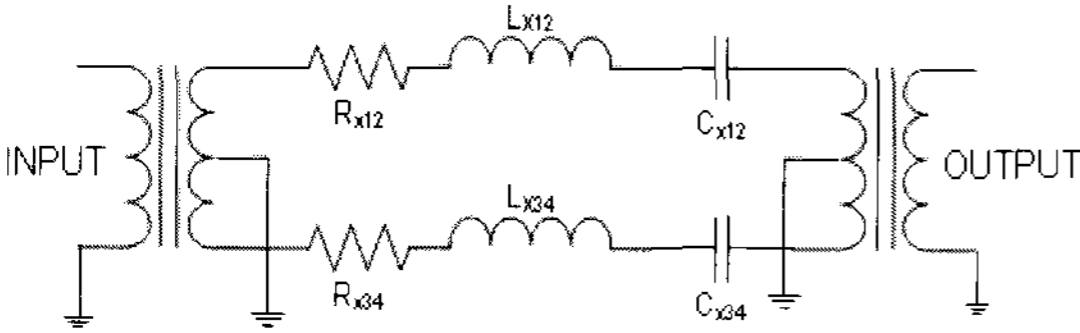


그림 5. 간략화 된 2단 협대역 수정발진자 여파기회로

Fig 5. Simple circuit for two-ports narrow band pass filter of crystal

$$f_{s_1} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{x12} C_{x1//x2}}} \quad (3)$$

$$f_{s_2} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{x34} C_{x3//x4}}} \quad (4)$$

여기서 $L_{x12} = L_{x1} + L_{x2}$, $L_{x34} = L_{x3} + L_{x4}$ 이고, $C_{x1//x2}$ 는 $C_{x1} // C_{x2}$ 의 병렬 용량값, $C_{x3//x4}$ 는 $C_{x3} // C_{x4}$ 의 병렬용량값을 의미한다. 결국, 각각의 신호 경로에 따른 수정발진자의 직렬공진주파수는 각각의 수정발진자의 내부 등가회로에 나타난 값들의 조합으로 표현될 수 있음을 알 수 있다. 따라서 그림 6에 나타낸 것과 같이 표현이 가능하며 이 간략화 된 회로의 직렬공진주파수를 f_{s_i} 라고 하면 수식 5와 같이 표현할 수 있다.

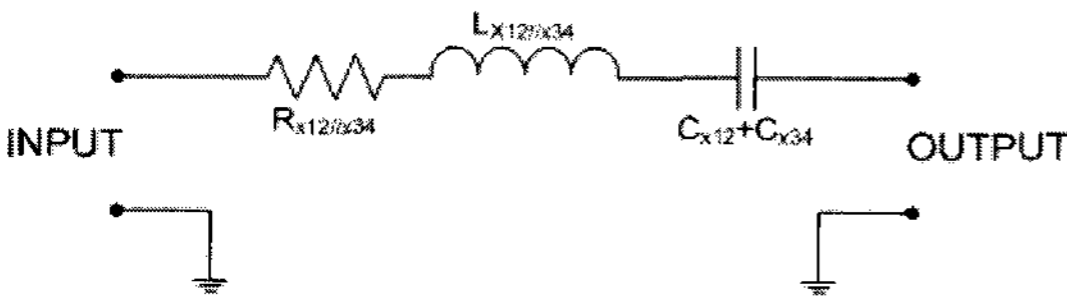


그림 6. 2단 협대역 수정발진자 여파기의 최종 등가회로

Fig 6. Final equivalence circuit for two-ports narrow band pass filter of crystal

$$f_{s_i} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{x12//x34} (C_{x1//x2} + C_{x3//x4})}} \quad (5)$$

식 5에서 직렬공진주파수의 특성을 결정하는 중요한 파라미터는 수정발진자 내부에 존재하는 인덕턴스 성분

L과 직렬 컨덕턴스 C_s 의 값에 의해 결정됨을 알 수 있다.

결론적으로 수정발진자를 이용한 협대역 여파기의 경우, 각각의 수정발진자의 R, L, C 등가회로의 간략화된 표현으로 분석이 가능함을 알 수 있다. 실제로 본 연구에서 제작한 여파기용 수정발진자의 내부 인덕턴스 $L=5H$, $C_s=20.096fF$ 의 측정값을 보이므로 식(5)에 적용하여 계산했을 경우, 대략 490,043Hz의 직렬공진주파수를 나타냄을 알 수 있다.

III. 컴퓨터 모의 실험

3장에서는 그림 5의 회로를 PSpice를 이용하여 컴퓨터로 분석을 하고자 한다. 정확한 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 입력신호발생기인 V_1 은 490kHz, 1Vpp의 신호를 발생시키고 있으며 필터의 입·출력 정합트랜스는 1:5의 권선비율로 설계하였다.

그림 7의 회로에서 L1, C1, R1은 그림 5에 간략화 된 회로도에서의 L_{x12} , C_{x12} , R_{x12} 를 의미한다. 본 논문에서 설계·제작하고자 하는 NAVTEX용 490KHz 수정발진자 협대역 여파기의 경우, 대역폭이 $\pm 150Hz$ 으로 일반적인 수정발진자보다 내부 인덕턴스 L는 4~5H의 매우 큰 값을 요구하며 직렬 커패시터 C_s 는 11~10fF의 용량을 필요로 하므로 수정발진자 양단의 임피던스 특성은 유도성 특성을 나타내게 된다.

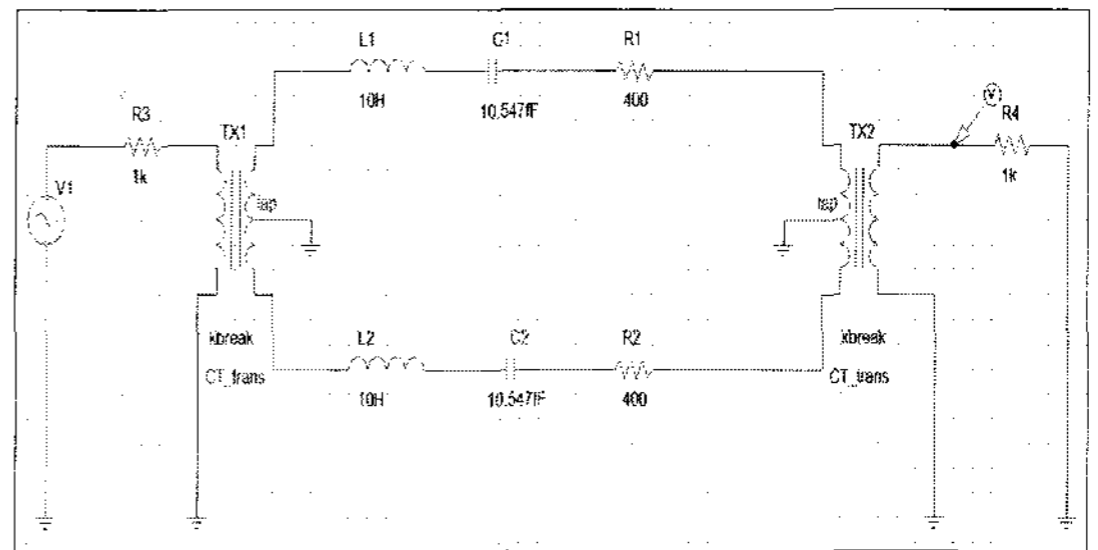


그림 7. 2단 협대역 수정발진자 여파기의 R, L, C 등가회로를 이용한 PSpice 회로

Fig 7. PSpice circuit by R, L, C equivalence circuit for two-ports narrow band pass filter of crystal

실제 제작될 각각의 수정발진자 내부 인덕턴스 값이 $L=5H$ 정도이므로 그림 4에서와 같이 두 개의 수정발진

자가 직렬 연결되면 두 수정발진자의 합성인덕턴스 $L_{x12}=10H$ 로 설정될 수 있다. 이와 마찬가지로 수정발진자 내부의 직렬커패시터인 $C_s=21.094fF$ 의 용량을 나타내므로 두 수정발진자의 합성커패시터 $C_{x12}=10.547fF$ 의 값을 갖게 된다.

그러나 저항 R_{x12} 는 단순히 직렬 연결되며 수정발진자의 직렬공진주파수와 무관하므로 일반적인 삽입손실을 가정하여 $R_{x12}=400\Omega$ 의 값으로 설정하였다.

이와 마찬가지로 그림 7의 회로에서 L2, C2, R2의 값 역시 앞에서 계산된 값과 동일하게 L2=10H, C2=10.547fF, R2=400Ω으로 설정한 후, 입력 신호는 ±1Vpp, 사인파를 489KHz에서 491KHz대역까지 가변시키며 이에 대한 출력단의 출력응답에 관한 PSpice모의실험을 실시하였다.

그 결과, 그림 8에서 알 수 있듯이 삽입손실에 의한 신호감쇠를 무시하더라도 주어진 파라미터를 이용해 모의 실험한 경우, 대역통과필터의 중심주파수(f_c)는 490.032KHz를 나타냄을 알 수 있다. 또한 이 점에서 각각 489.883KHz와 490.181KHz지점이 대역제한지점인 -3dB 지점임을 알 수 있으며, 이를 통과대역으로 계산하면 ±149Hz로 본 논문에서 구현하고자 하는 NAVTEX용 490KHz 협대역 수정발진자 여파기의 대역폭인 ±150Hz에 대한 성능을 보장할 수 있음을 알 수 있다.

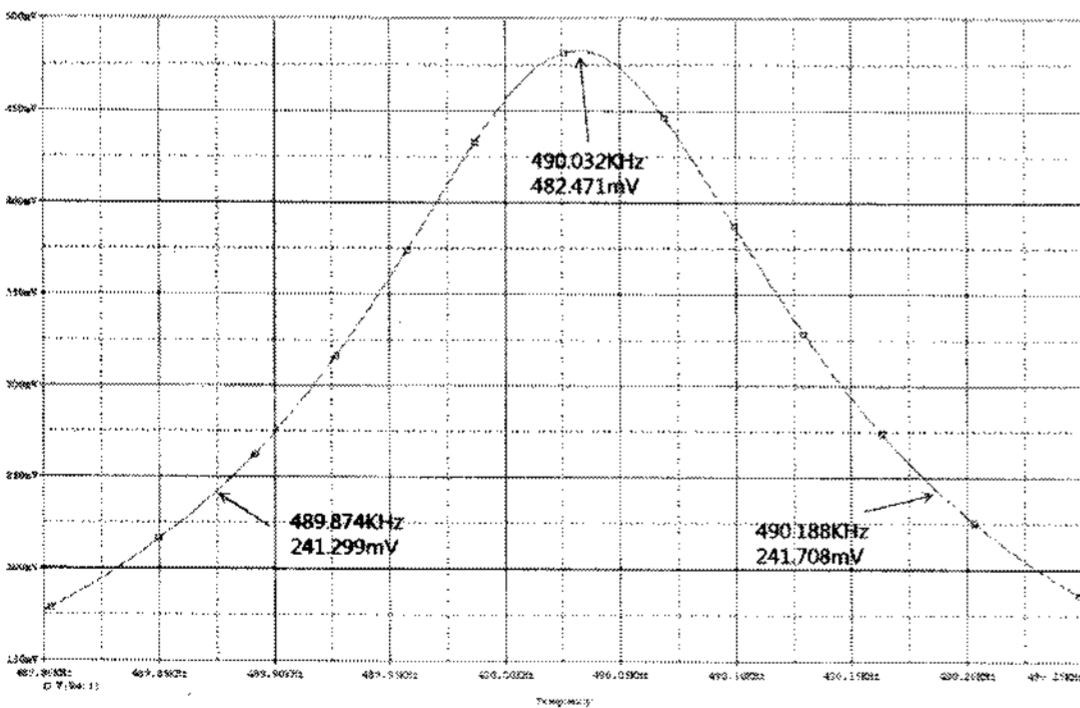


그림 8. 이상적인 2단 협대역 수정발진자 여파기의 490KHz 대역 주파수 응답 특성

Fig 8. Frequency response property of ideal two-ports narrow band pass filter for 490KHz

이러한 컴퓨터 모의 실험을 바탕으로 수정발진자를 이용한 NAVTEX용 490KHz 협대역 수정발진자 여파기

의 구현이 가능함을 알 수 있다.

IV. 수정발진자 협대역 여파기 제작

이러한 이론적 기술을 바탕으로 본 논문에서는 NAVTEX용 490KHz 협대역 여파기에 알맞은 수정발진자 가공·제작하였으며 제작된 수정발진자 각각의 시료에 대한 특성을 표 1에 정리하였다.

표 1에서 알 수 있듯이 8개의 수정발진자를 가공하여 각각의 직렬 L성분과 직렬 C성분을 측정하였다. 그 결과, X1, X2, X6, X8은 그 특성이 모의실험에서 얻어진 값과 비교적 유사함으로 실제 여파기제작에 적용이 가능하지만 나머지 X3, X4, X5, X7은 편차가 크게 나타나 여파기제작에 불가능한 특성을 나타내었다.

표 1. 제작된 수정발진자 특성
Table. 1 Property of the Produced Crystals

시료	L성분	C성분	적용여부
X1	5.01H	10.48fF	가능
X2	4.99H	10.51fF	가능
X3	4.85H	9.48fF	불가능
X4	4.89H	10.02fF	불가능
X5	5.18H	10.58fF	불가능
X6	5.02H	10.49fF	가능
X7	4.65H	9.18fF	불가능
X8	4.98H	10.45fF	가능

이에 본 논문에서는 X1, X2, X6, X8를 이용하여 NAVTEX용 490KHz 협대역 수정발진자 여파기를 제작하였으며 그 시작품은 그림 9와 같다.

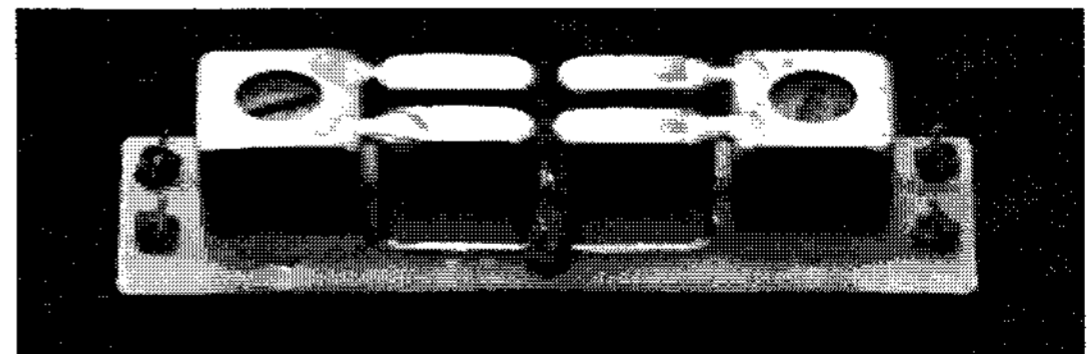


그림 9. 제작된 NAVTEX용 490KHz 협대역 수정발진자 여파기

Fig 9. Produced 490KHz narrow crystal band pass filter for NAVTEX

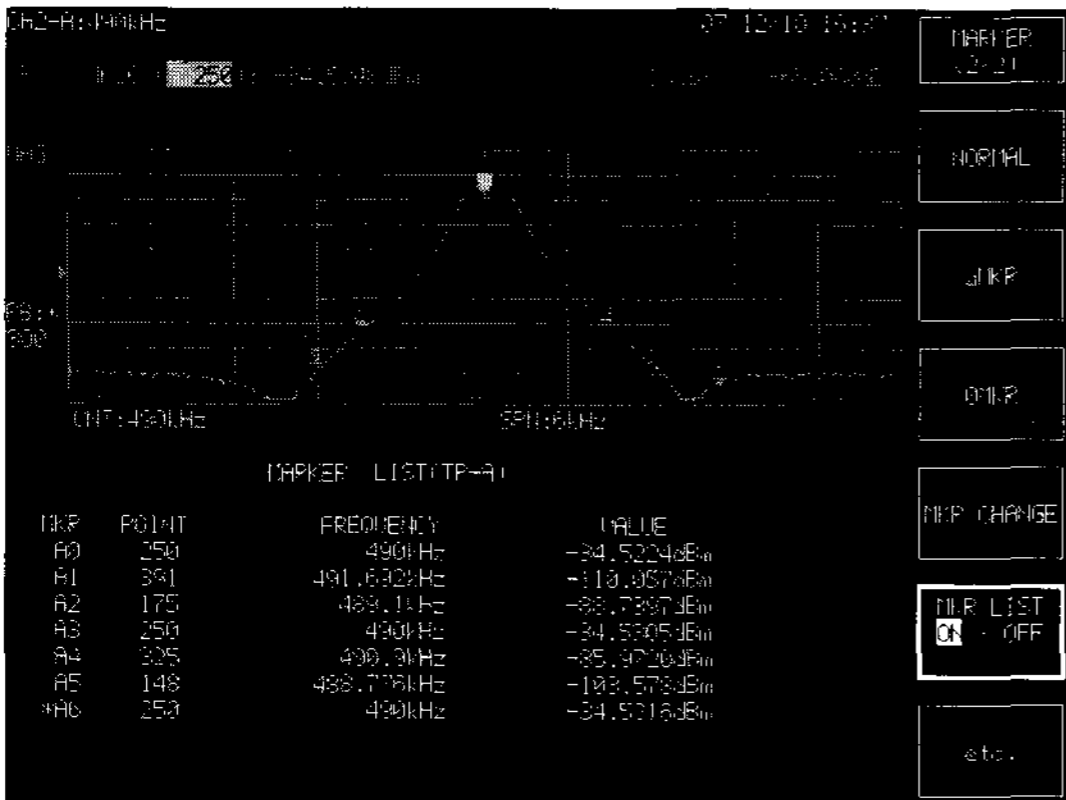


그림 10. 제작된 2단 490KHz 협대역 수정발진자 여파기의 주파수 응답특성

Fig 10. Frequency response property of real two-ports narrow band pass filter for 490KHz.

그림 10은 등가회로의 특성을 바탕으로 수정발진자를 이용하여 실제 제작한 490KHz 협대역 수정발진자 여파기의 대역특성을 네트워크분석기를 이용하여 측정된 파형을 보여주고 있다.

파형에서 알 수 있듯이 중심주파수 490KHz를 기준으로 $\pm 150\text{Hz}$ 의 협대역 통과특성을 나타냄을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 수정발진자를 이용하여 NAVTEX 수신기에 적용 가능한 490KHz 대역여파기를 등가회로로 모델화하고 컴퓨터로 시뮬레이션한 후, 각각의 특성에 알맞은 파라미터를 추출하고 이를 바탕으로 490KHz 협대역 여파기를 제작한 후 성능을 평가하였다.

그 결과, 수정발진자의 직렬 커패시터 값은 $C_s = 21.094\text{fF}$ 로 매우 작은 용량값을 나타내야하며 제작된 수정발진자의 용량값 편차가 크면 클수록 필터의 대역폭 특성이 나빠지는 결과를 알 수 있었다. 또한 수정발진자의 직렬 인덕턴스 값은 $L = 5\text{H}$ 정도의 비교적 큰 값을 나타내므로 인덕턴스의 용량 변화에 따른 대역폭 특성은 커패시터의 영향보다 비교적 적음을 알 수 있었다.

따라서 본 논문에서 모델링하고 분석한 등가회로를 이용하여 제작된 NAVTEX 수신기용 490KHz 협대역 수정발진자 여파기의 제품적용이 가능함을 알 수 있었으며,

현재 (주)사라콤의 NAVTEX 수신기에 적용되어 있다.

향후 518KHz 대역의 필터 및 455KHz대역의 협대역 필터개발에도 응용이 가능할 것으로 판단되며 이에 따른 연구 및 개발이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 해양경찰청, “해상교통문자방송제도”, <http://navtex.nmpa.go.kr>
- [2] 김동식, “전자회로”, pp.522~525, 생능출판사, 2004년 2월

저자소개

장 문 기(Moon-Kee Jang)



1999년 청주대학교 전자공학과 통신전공 석사
2005년~현재 청주대학교 전자공학과 정보통신전공 박사과정
1999년~현재 청주대학교 정보통신연구센터 기술개발팀장

※관심분야: 이동통신, 통신용 SoC, 통신시스템설계, 마이크로프로세서응용 회로설계

안 중 수(Jung-Soo Ahn)



1992년 청주대학교 전자공학과 통신전공 박사
1969년~현재 충주대학교 전기전자 및 정보공학부 교수

※관심분야: 이동통신, 통신회로

박 진 수(Jin-Soo Park)



1985년 한양대학교 전자통신과 박사
1978년~현재 청주대학교 전자정보공학부 교수

1999년~2008 청주대학교 정보통신연구센터 소장
2004년~현재 한국정보처리학회 부회장

※관심분야: 이동통신, 에러정정부호, 대역확산통신, 통신회로