

주파수 도약용 추적 필터의 설계 및 제작 (Design and Implementation of Tracking Filter for FH)

강병욱(Byung-Ook Kang)¹⁾, 백주기(Joo-gi Baek)²⁾, 이상범(Sang-Burm Lee)³⁾

요 약

본 논문에서는 주파수도약용 통신시스템을 위한 40~60[MHz]의 주파수 범위를 갖는 트래킹 필터를 설계, 제작하였다.

트래킹 필터의 성능결과 삽입손실은 각 호핑 중심주파수에서 3.7~4.3[dB], 3[dB]대역폭은 중심주파수에서 5.1~5.33[%], 필터의 차단특성인 30/3[dB] shape factor는 6.828~6.98로 설계목표를 만족하고 있음을 알 수 있다. 하지만 $2 \times f_0$ 의 감쇄량은 46~52[dB]가 측정되어 설계목표에 미치지 못하고 있음을 알 수 있다.

ABSTRACT

In this thesis, we designed and implemented a tracking filter which can be used for FH/2-FSK communication system in band of 40~60[MHz].

After measuring a performance of a tracking filter, an insertion loss was measured from 3.7 to 4.3 dB, depending upon a hopping center frequency. The 3 dB bandwidth of a tracking filter was specified 5.1 to 5.33% depend upon a hopping and 30/3 dB shape factor indication for interrupting property of a filter shows 6.828 to 6.98 satisfying a required specification. Also the attenuation $2 \times f_0$, the characteristic parameter for interference degree, was specified 46~52dB, not satisfying a required specification.

-
- 1) 정회원 : 수원과학대학 전자과 겸임교수
 - 2) 정회원 : 인천전문대학 디지털정보전자과
겸임교수
 - 3) 종신회원 : 단국대학교 컴퓨터학과 교수

논문접수 : 2009. 09. 15.
심사완료 : 2009. 10. 13.

I. 서론

한편 미래의 통신서비스는 기존의 유선망과 유연한 연계 기능과 더불어 이동무선통신을 이용한 인터넷과 전자상거래 서비스가 자유롭게 제공되어야 하기 때문에 시스템의 대용량화는 물론 비밀통신(security communication)에 대한 요구가 급격히 증가할 것으로 예상된다. 그러나 직접확산 방식은 대도시를 중심으로 서비스하는 경우 시스템의 대용량화에 한계가 있을 뿐만 아니라, 의도적인 방해신호(jamming)를 가하는 경우에 많은 문제점이 제기되고 있다. 삽입손실방법은 회로망 합성기법을 이용하여 요구하는 주파수 응답을 만족하는 필터를 설계하는 기법으로 복잡한 계산이 필요하다는 단점을 가지고 있지만 컴퓨터등으로 자동 계산되므로 가능하다.

본 논문에서 주파수 도약시스템 통신 40~60 [MHz] 대의 트래킹 필터(tracking filter)를 PIN 다이오드를 사용하여 설계, 제작하였다. 필터설계기법은 삽입손실법을 이용하였다. 트래킹 필터의 성능을 평가하기 위해서 삽입손실과 3[dB] 대역폭, 30/3[dB] 셰이프 팩터, $2 \times f_0$ 감쇄량의 주파수 특성을 BWILTRON 사의 54111A Scalar 측정시스템으로 실제 제작한 트래킹 필터를 측정하여 미국 POLEZERO 사의 주파수 도약 시스템용 트래킹 필터의 사양과 비교하여 그 결과를 제시하였다.

II. 주파수도약 시스템의 구성과 트래킹 필터

1. 주파수도약 시스템의 구성

주파수도약 통신용 수신기의 간략화된 RF 부 모듈의 구성은 그림 1에 보인 바와 같다.

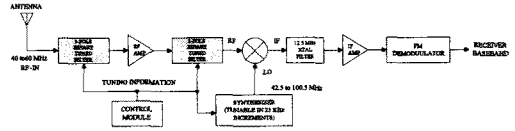


그림 1. 주파수도약 시스템용 수신기의 RF단

2. 핀다이오드와 트래킹 필터

핀다이오드는 P-N 접합소자의 한 종류로 높은 저항성 성분을 가진 i(intrinsic)형 반도체가 P형과 N형 반도체 사이에 접합되어 있는 구조를 가진다.

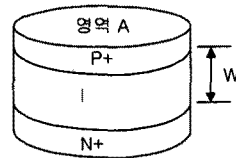


그림 2. PIN다이오드의 구조

I 영역의 두께가 두꺼워질수록 RF 붕괴전압이 높아지며 보다 나은 왜곡성질을 가진다.

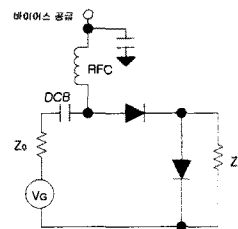


그림 3. 다이오드의 병렬 스위칭 회로

반대로 두께가 얇은 소자는 빠른 스위칭 속도를 가지게 된다. 따라서 핀다이오드는 RF 신호를 제어하는 스위칭 소자로 사용된다. 그림 3은 핀다이오드 스위치를 병렬로 연결한 형태를 보인 것이다. 이 병렬다이오드 스위치는

많은 응용회로에서 높은 격리도를 얻는다. 그리고 이 다이오드는 직렬형태의 스위치에서의 다이오드보다 높은 RF 전력을 조정할 수 있는 하나의 전극에서 열을 낮출 수 있다. 그림 4는 삽입손실 50[Ω]의 부하임피던스 설계시에 그 특성을 보인 것이다.

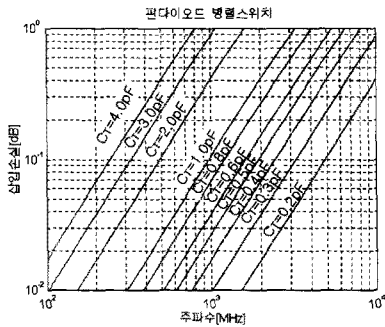


그림 4. 50[Ω]시스템에서 병렬 핀다이오드 스위치의 삽입손실

그림 5는 핀 다이오드의 병렬연결시 격리도의 특성을 보인 것이다.

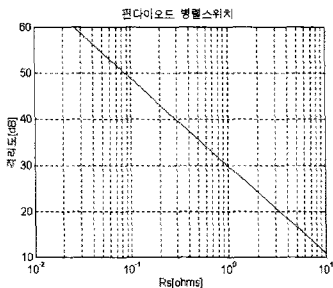


그림 5. 50[Ω] 시스템에서 병렬 핀 다이오드 스위치의 격리도

III. 트래킹 필터의 설계 및 제작

트래킹 필터는 주파수도약통신 방식의 시스템에 사용되는 중요한 부품 중의 하나로서

Q값이 크고 협대역(narrow-band)이며 중심 주파수가 디지털로 조정되는 RF 필터이다.

3.1 트래킹 필터의 구성

본 논문에서는 원하는 대역으로 조정되었을 때 버터워스 응답(Butterworth response)을 얻기 위한 2-폴(two-pole)의 공진회로로 구성되어 있다. 그림 6은 트래킹 필터의 간단한 회로 구성을 나타낸 것이다.

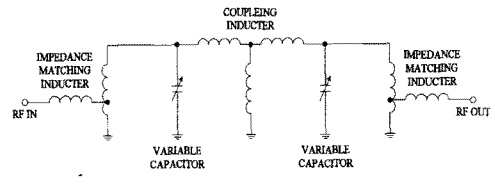


그림 6. 트래킹 필터의 회로 구성도

그림 7은 가변 커패시터의 값을 가변하기 위한 스위치 회로이다. 기본적으로 DC 5V 전원이 인가되어 있는 상태에서 제어 전압(control voltage)을 가변시켜 스위칭 작용을 하게되며 PIN 다이오드가 ON 상태일 때는 신호가 바이패스 커패시터(bypass capacitor)를 지나 접지(ground)된다.

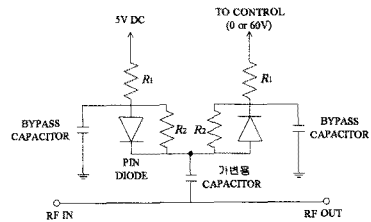


그림 7. PIN 다이오드의 스위칭 회로도

이 때에 가변용 커패시터는 정상적으로 자기 용량 값으로 작용하게 된다

3.3 트래킹 필터의 설계

본 논문에서는 다음과 같은 사양을 만족하도록 주파수도약 시스템용 트래킹 필터를 설계하였다. 설계 규격은 미국 POLEZERO 社의 주파수 도약 시스템용 트래킹 필터의 사양들을 참조하여 국내 군용통신에서 사용하는 규격을 만족하도록 표 1과 같이 정하였다.

표 1. 트래킹 필터의 규격

구 분	규 격
입출력 저항	50 [Ω]
삽입손실	4±0.6 [dB]
3 dB 대역폭	5±0.6 [%]
30/3 dB Shape Factor	7.4 이하
2 × f ₀ 감쇄량	최소 60 [dB]
동작주파수	40 ~ 60[MHz]

또한, 트래킹 필터의 설계에서 가장 중요한 선택 중 하나는 소자의 선택이다.

본 논문에서는 M/A COM 社의 MA4P275ST의 PIN 다이오드와 동작 주파수에서 일정한 Q값을 갖는 MICRO METALS 社의 T30-17 환형 코어(toroids core), 0603 type의 High Q 커패시터, 1008 type의 인덕터를 사용하여 각각 PIN 다이오드 드라이브단과 입·출력 측과 내부회로와의 50 [Ω] 정합 회로, 커패시터 배열(capacitor array), 트랜스(trans) 결합회로를 구성하여 30 ~ 88 [MHz]의 동작주파수에서 설계 규격을 만족하도록 설계·제작하였다.

그림 8은 제작하기 위한 트래킹 필터의 시뮬레이션 설계 회로도이다.

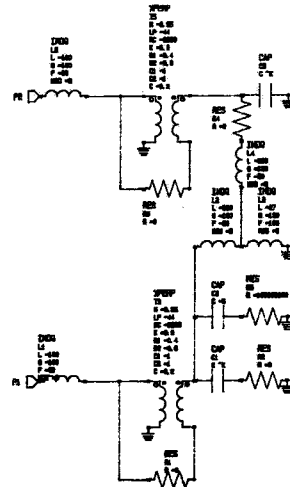


그림 8. 설계하기 위한 시뮬레이션 회로도

그림 9, 그림 10은 초고주파 시뮬레이터인 EESOF 社의 LIBRA를 이용하여 설계한 회로의 커패시터를 가변하여 10 [MHz]씩 도약시켜 주파수 특성을 나타낸 것이다.

시뮬레이션 결과 40[MHz] 도약주파수에서 삽입손실은 2.939[dB], 3 [dB] 대역폭은 2.15[MHz](5.3[%]), 30/3 [dB] 셰이프 팩터(shape factor)는 6.65, 2 × f₀ 감쇄량은 73.316 [dB]로 설계 규격을 만족하였다.

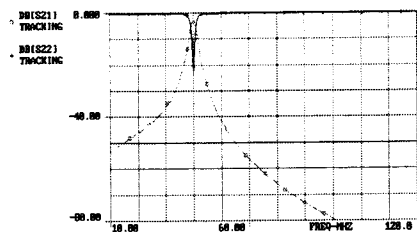


그림 9. 40 [MHz]일 때의 주파수 특성

시뮬레이션 결과 60[MHz] 도약주파수에서 삽입손실은 2.9[dB], 3 [dB] 대역폭은 3.05[MHz](5.08[%]), 30/3 [dB] 셰이프 팩터

(shape factor)는 6.47, $2 \times f_0$ 감쇄량은 76.604 [dB]로 설계 규격을 만족하였다.

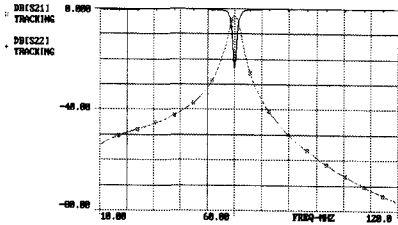


그림 10. 60 [MHz]일 때의 주파수 특성

시뮬레이션 결과 각각의 주파수에서 삽입손실, 3 [dB] 대역폭, 30/3 [dB] 셰이프 팩터 (shape factor), $2 \times f_0$ 감쇄량이 설계 규격을 만족하였다. 그림 11은 각각의 주파수가 호평하고 있음을 보여주고 있다.

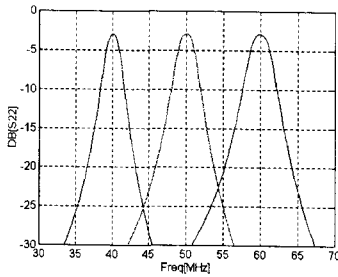


그림 11. 주파수 도약에 따른 주파수 특성

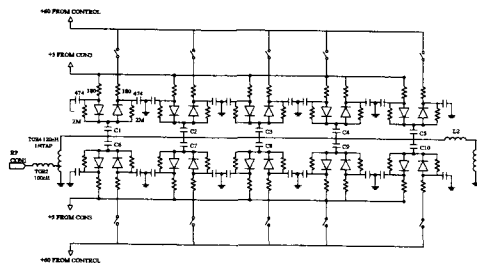


그림 12. 실제 제작한 전체 회로의 앞단

제작은 일반적으로 가장 많이 사용하는 비유전율이 4.5~4.8 정도의 에폭시(FR4) 기판을 사용하여 제작하였다. 제작한 세부적인 전체 회로도의 앞단은 그림 12와 같다.

IV. 측정결과 및 성능분석

그림 13, 그림 14는 WILTRON 社의 54111A Scalar Measurement System으로 제작된 트래킹 필터를 10 [MHz]씩 도약시켜 측정한 결과이다. 각각의 주파수를 측정하기 위해 튜닝하면서 10 [MHz] 씩의 도약시켜 측정하였다.

그림 13은 40[MHz]의 주파수를 도약시켜 측정한 결과이다.

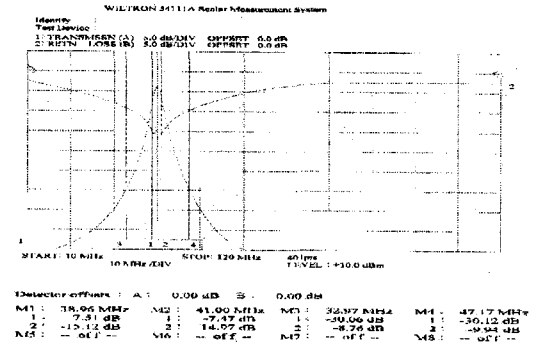


그림 13. 40 [MHz]에서의 측정결과

측정결과 삽입손실은 4.3[dB]이고 3[dB] 대역폭은 2.04 [MHz](5.1%), 30/3 [dB] 셰이프 팩터는 6.96 로 규격에 만족하였고 $2 \times f_0$ 감쇄량은 대략 52[dB] 로 규격에 조금 부족함을 알 수 있다.

그림 14는 60[MHz]의 주파수를 도약시켜 측정한 결과이다. 측정결과 삽입손실은 3.7[dB]이고 3[dB] 대역폭은 3.2 [MHz](5.33%), 30/3 [dB] 셰이프 팩터는 6.828로 규격

에 만족하였고 $2 \times f_0$ 감쇄량은 대략 46[dB]로 규격에 만족하지 못함을 알 수 있다.

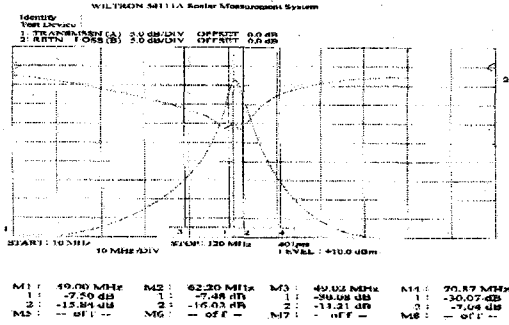


그림 14. 60 [MHz]에서의 측정결과

삽입손실, 3 [dB] 대역폭, 30/3 [dB] 셰이프 팩터(shape factor)은 주파수 특성이 각각의 주파수마다 조금씩 차이를 나타내었지만 설계 규격을 만족함을 알 수 있었다. $2 \times f_0$ 감쇄량의 설계규격에 조금 부족하였지만 양호한 특성을 보였다. 설계사양과 시뮬레이션 결과 및 측정결과를 비교해 보면 표 2와 같다.

표 2. 설계사양과 시뮬레이션 및 측정결과 비교

도약 주파수	40[MHz]		60[MHz]	
	설계	측정	설계	측정
삽입손실 (4 ± 0.6 [dB])	2.96	4.4	2.89	3.8
3[dB] 대역폭 (5 ± 0.6 %)	5.4	5.2	5.08	5.34
30/3[dB] Shape factor (7.4이하)	6.67	6.98	6.48	6.83
$2 \times f_0$ 감쇄량 (최소 60[dB])	73.4	52.2	76.7	46.1

표 2에서 보는 바와 같이 설계 결과는 설계

사양에 만족하였지만 트래킹 필터를 제작하여 측정한 결과는 삽입손실, 3[dB]대역폭, 30/3[dB] shape factor 등은 만족하였지만 $2 \times f_0$ 감쇄량특성은 만족특성이 양호하지 못함을 알 수 있었다. 앞으로 연구과제는 $2 \times f_0$ 감쇄량특성을 규격에 맞도록 개선하는 것입니다.

V. 결 론

본 논문에서 주파수 도약시스템 통신 40~60 [MHz] 대의 트래킹 필터(tracking filter)를 PIN 다이오드를 사용하여 설계, 제작하였다. 트래킹 필터의 성능을 평가하기 위해서 삽입손실과 3[dB] 대역폭, 30/3[dB] 셰이프 팩터, $2 \times f_0$ 감쇄량특성을 BWILTRON사의 54111A Scalar 측정시스템으로 실제 제작한 트래킹 필터를 측정하여 미국 POLEZERO사의 주파수 도약 시스템용 트래킹 필터의 사양과 비교하였다. 실제 트래킹 필터를 제작하여 측정한 결과 삽입손실은 3.7~4.3[dB] 정도로 POLEZERO사의 규격인 4 ± 0.5 [dB]에 만족함을 알 수 있었다. 3[dB] 대역폭은 5.1~5.33[%]로 POLEZERO사의 규격인 5 ± 0.6 [%]에 만족하였다. 30/3[dB] 셰이프 팩터는 6.828~6.96으로 POLEZERO사의 규격인 7.3이하에 만족함을 보였다. 하지만 $2 \times f_0$ 감쇄량특성은 46~52[dB]로 POLEZERO사의 규격인 60[dB] 이상의 특성에는 만족하지 못함을 알 수 있었다.

성능을 개선하기 위해서는 실제 제작에 앞서 원인을 분석하고 보다 세밀하고 정확한 시뮬레이션을 통해 정밀한 성능 예측이 필요하다. 또한 실제의 시스템에 적용할 수 있도록 주파수 범위를 넓히고 보다 성능이 향상된 시스템을 구현하도록 하는 것이 앞으로의 연구과제이다.

참 고 문 헌

- [1] "A high dynamic range, digitally tuned, Q-enhanced LC bandpass filter for cellular/PCS receivers" *Proceedings of the 1998 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits(RFIC) Symposium* ,1998.06.07
- [2] "Digitally tuned analogue integrated filters using R-2R ladder", *Electronics Letters* ,V.36 N.15 ,2000.07.20
- [3] "A varactor-tuned RF filter ", *IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques* ,V.48 N.7 P.1 ,2000.07.01
- [4] "An advanced computer code for single-tuned harmonic filter design", *IEEE Transactions on Industry Applications* ,V.34 N.4 ,1998.07.01
- [5] "Electrically tuned filter", *International Journal of Infrared & Millimeter Waves* ,V.18 N.10 ,1997.10.01
- [6] "A high dynamic-range, self-tuned Gm-C filter for video-range applications", *Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Circuits and Systems - Volume 2* ,V.2 ,1999.05.30
- [7] "Modification of Single-Tuned Filters to Avoid Parallel Resonance and Harmonic Amplification Problems", *Proceedings of the 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power - Volume 1* ,V.1 ,1998.10.14
- [8] "<http://polezero.com>." POLEZERO 사

강 병 옥(Byung-Ook Kang)

1993년 2월 : 단국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1999년 2월 : 단국대학교 대학원 전자공학과(박사 수료)

2001년 3월 ~ 현재 : 수원 과학 대학 전자과 겸임 교수

<관심분야> 마이크로프로세서, 임베디드시스템, 시스템 제어 및 계측

백 주 기(Joo-Gi Paek)

1995년 2월 : 단국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1999년 8월 : 단국대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

2005년 3월 ~ 현재 : 인천전문대학 디지털정보전자과 겸임 교수

<관심분야> 디지털 이동통신기술, 초고주파회로 및 시스템