

관통형 고주파 노이즈 필터의 설계 및 제작

이기정, 홍성용, 이충국*, 박진채*, 우동찬*
 충남대학교 전자공학과, *(주)래트론

Design and Fabrication of RF Noise Filters with Penetrating Via-hole

Ki-Jeong Lee, Sung-Yong Hong, Choong-Kook Lee*, Jin-Chae Park*, Dong-Chan Woo*
 Dept. of Radio Science & Engineering, Chungnam National University
 *LATTRON CO., LTD

요 약

본 논문에서는 관통형 고주파 노이즈 필터(noise filter)를 설계하고, 제작하였다. 분포정수형(distributed constant type) 노이즈 필터는 세라믹 다층 구조(multi-layer)를 가지며, 기존의 노이즈 억압 방법인 칩 페라이트 비드, 3단자 커패시터 그리고 집중 정수형(lumped constant type) 노이즈 필터에 비해 신호의 왜곡이 적고, 고주파 노이즈 억압특성이 우수하다. 본 논문에서는 기존의 분포정수형 노이즈 필터에 관통형 via-hole을 삽입하는 새로운 구조를 제안하였다. 제작된 노이즈 필터는 100MHz의 차단 주파수, 700MHz~1700MHz에서 20dB이상의 감쇠 특성을 나타내었다. 또한, 기존의 노이즈 필터의 단점인 방향성 및 공정에 대한 민감도를 개선시킴으로써 양산성이 향상되었다.

I. 서 론

휴대전화의 보급, 컴퓨터시장의 확대, AV기기의 디지털 화, 데이터 통신의 고속화에 따라 고주파 노이즈의 문제는 점점 심각해지고 있다.

EMI 노이즈는 전송 경로에 따라 그림 1과 같이 방사성 노이즈(radiation noise)와 전도성 노이즈(conduction noise)로 나뉘어진다. 방사성 노이즈는 EMI 발생원으로부터 발생된 전자기 에너지가 전자 제품 사이의 매질을 통한 전파에 의한 결합 현상을 의미 하고, 전도성 노이즈는 전자제품 사이에 직접 연결된 도선이나 전력 케이블을 통한 결합 현상을 의미한다[1]. 각각에 대한 대책으로는 그림 2와 같이 방사성 노이즈에 대한 차폐(shielding)가 있고, 전도성 노이즈에 대한 필터링의 방법이 있다[2].

노이즈 필터링은 신호에 왜곡을 일으키는 노이즈 성분들이 그림 3과 같이 고주파 성분이기 때문에 이를 제거하기 위한 저역통과 필터를 사용한다. 많이 사용되는 필터링 단위소자로는 페라이트 비드, 3단자

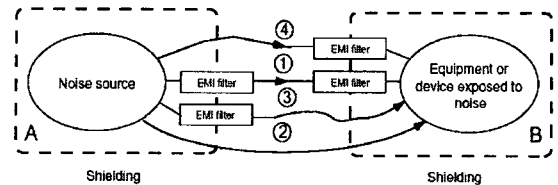


그림 1. 노이즈 전송 경로

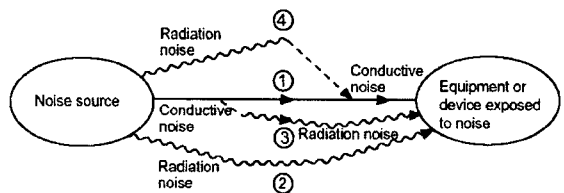


그림 2. 노이즈 억압 방법

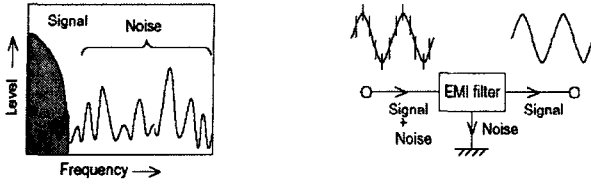


그림 3. 저역통과 필터를 이용한 노이즈 억압

형 커패시터, LC 집중정수 필터가 사용되고 있다[3]. 그러나, 위와 같은 방법은 1GHz이상의 높은 주파수 영역의 노이즈를 효과적으로 억압하지 못하기 때문에 최근에는 신호 왜곡이 적고, 고주파 대역에서 우수한 노이즈 감쇠특성을 가지는 분포정수형 노이즈 필터에 대한 관심이 높아지고 있다[4].

본 논문에서는 먼저 기존의 분포정수형 노이즈 필터의 특성을 구조해석 시뮬레이터를 이용해 분석한 다음, 관통형 via-hole을 삽입함으로써 더 큰 감쇠와 더 넓은 저지대역을 나타내는 새로운 구조를 제안하였다.

II. 분포정수형 noise filter

분포정수형 노이즈 필터는 그림 4와 같은 다층구조로서, 그림 5와 같은 저역통과 필터의 등가회로로 나타낼 수 있다. 그림 4의 구조는 via-hole이 층별 교대로 삽입되어 신호선과 접지선이 나선형으로 존재하고 두 선이 교차되어 있는 형태를 가진다. 신호선과 접지선은 상하 분포로 커패시턴스를 만들어내고, 신호선 자체의 인덕턴스와 상호작용을 한다. 또한 전체 패턴은 인덕티브 코일 역할을 함으로써, 연속적인 L과 C분포를 이룬다. 이러한 분포는 필터의 감쇠특성에서 다중 공진점을 형성하고, 결국 더 넓은 감쇠 대역을 이루게 된다[5].

분포정수형 노이즈 필터를 구조 시뮬레이터인 HFSS로 시뮬레이션 한 결과를 그림 6에 나타내었는데, 만족할만한 감쇠특성을 얻지 못하였다

분포정수형 노이즈 필터는 원하는 저역통과 특성을 나타낼 수 있도록 적절한 커패시턴스와 인덕턴스 값을 패턴 및 층간격을 조정해 얻을 수 있다. 하지만, 분포정수형 노이즈 필터는 설계 시 칩의 크기 제한, 공정에서의 오차 등으로 인해 필요한 커패시턴스와 인덕턴스값을 패턴의 변화만으로는 정확히 얻기 어렵다. 따라서, 분포정수형 노이즈 필터에서 원하는 감쇠특성을 얻는 것은 쉽지 않다.

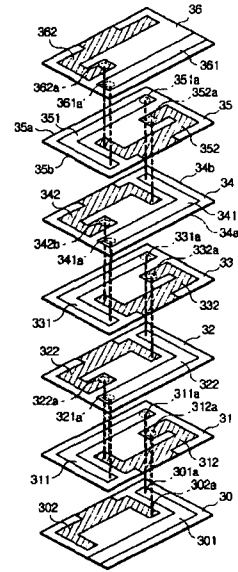


그림 4. 분포정수형 필터 구조

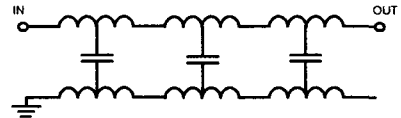


그림 5. 분포정수형 노이즈 필터의 등가회로

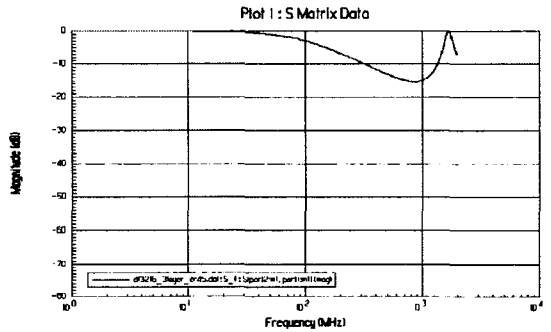


그림 6. 분포 정수형 노이즈 필터의 시뮬레이션 결과

III. 관통형 분포정수 노이즈 필터

1. Via-hole의 형태에 따른 시뮬레이션

Via-hole의 연결 방법에 따른 결과를 예상하기 위해 HFSS로 시뮬레이션한 결과를 아래에 나타내었다.

가. 신호선 via-hole은 기존의 방법으로 연결한 후 접지선 via-hole을 연결한 결과

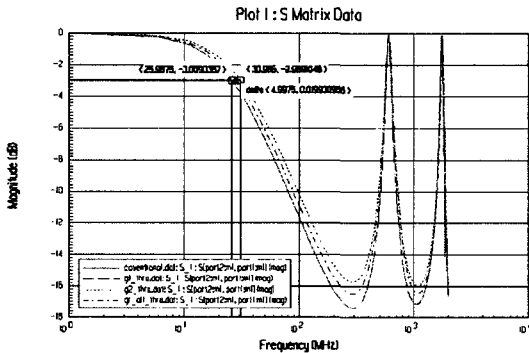


그림 7. 접지선 via hole에 따른 특성 변화

그림 7에서 볼 수 있는 것과 같이 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 하지만, 보다 안정적인 접지 공급을 위한 방법으로 사용될 수 있다.

나. 접지선 via-hole은 기존의 방법으로 연결한 후 신호선 via-hole을 연결한 결과

그림 8에서 보는 것과 같이 두 신호 선에 모두 관통형 via-hole을 연결하거나(굵은 실선), 또는 s2(신호 선에서 입력 단자에 가까운 곳의 관통형 via-hole)를 삽입하였을 경우(굵은 실선과 거의 겹쳐있다.) 약 800MHz와 2000MHz에서 감쇠극이 형성됨을 알 수 있다. 이러한, 감쇠극은 더 넓은 저지대역과 더 큰 감쇠를 얻을 수 있으므로, 새로운 노이즈 필터 설계 방법으로 사용될 수 있음을 보여준다.

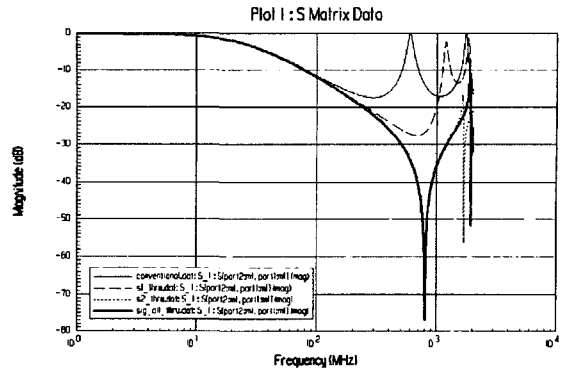


그림 8. 신호선 via-hole에 따른 특성 변화

다. 접지선과 신호선 모두 via-hole을 연결한 결과

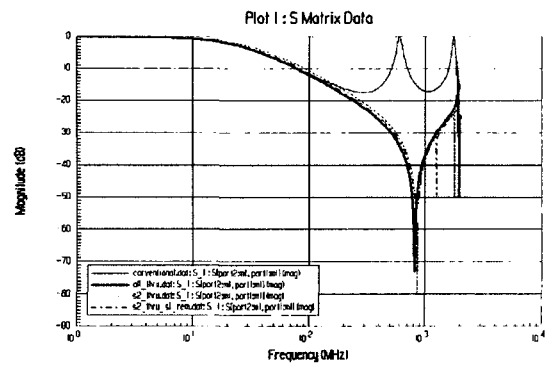


그림 9. 신호선 via-hole에 따른 특성 변화

그림 9는 거의 그림 8와 같은 결과를 나타낸다. 하지만, 접지선에도 관통형 via-hole을 연결함으로써, 더 안정된 접지를 공급할 수 있다.

2. 관통형 분포정수 노이즈 필터의 분석

본 논문에서 제안된 관통형 분포정수 노이즈 필터는 그림 4와 전극 패턴은 같지만, via-hole이 zig-zag로 위치하는 대신 그림 10과 같이 전체 상하층을 네 개의 관통형 via-hole로 연결한 구조를 가진다.

관통형 노이즈 필터는 그림 11과 같은 등가회로로 변형된다. 즉, via-hole을 하나로 연결함으로써 저주파에서는 via-hole이 단락으로 보이지만, 주파수가

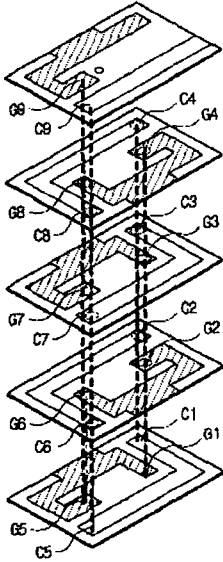


그림 10. 관통형 noise filter의 구조

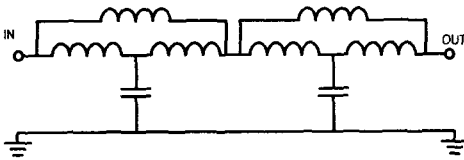


그림 11. 관통형 noise filter의 등가 회로

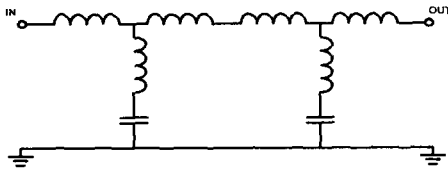


그림 12. 관통형 noise filter의 감쇠극이 삽입된 형태의 등가회로

높아짐에 따라 자체의 self-inductance를 무시할 수 없게 되어 그림 11과 같은 등가 회로로 나타내게 된다. 그림 11의 인덕터들을 Δ (delta) 모양으로 볼 수 있고, Y- Δ (delta) 변형법을 사용하면, 그림 12와 같은 감쇠극이 있는 저역통과 필터의 등가회로로 표현할 수 있다[6].

이처럼 감쇠극이 삽입된 필터는 저지대역에서 개선된 감쇠특성과 더 넓은 저지대역을 형성할 수 있다. 또한, 고정된 감쇠극에 의해 설계 과정이나 생산 공정에서 저하될 수 있는 신뢰성을 높일 수 있는 역할을 할 수 있다. 또한, 입력단에서 바라본 패턴의

형태와 출력단에서 바라본 패턴이 대칭적이므로 필터의 전체 특성은 방향성을 갖지 않는 장점을 가진다. 관통형 노이즈 필터는 저주파 대역에서는 관통형 via-hole이 입력단과 출력단 사이의 최단 경로를 제공하므로, 신호선 길이에 의한 손실을 최소화하여 삽입손실이 향상될 수 있다.

그림 13은 관통형 via-hole에 의해 감쇠극이 삽입된 노이즈 필터의 HFSS 시뮬레이션 결과이다. 제안된 방법으로 개선된 감쇠특성과 저지대역 특성을 얻을 수 있음을 볼 수 있다. 차단 주파수는 114MHz, 20dB이상의 감쇠를 나타내는 저지대역 850MHz~2600MHz(1750MHz), 그리고 최대 감쇠 -78dB의 특성을 나타내었다.

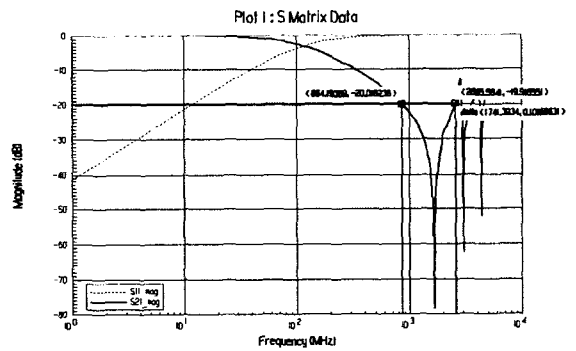


그림 13. 감쇠극을 갖는 노이즈 필터의 시뮬레이션 결과

3. 파라미터의 변화에 따른 시뮬레이션

가. 층수에 따른 변화

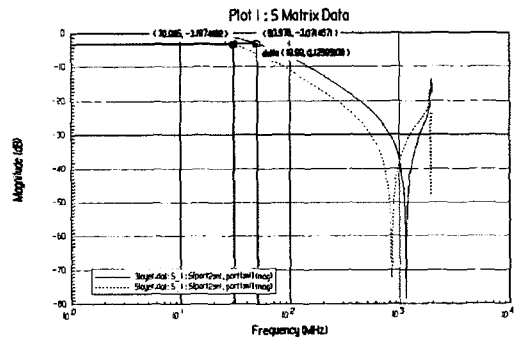


그림 14. 관통형 노이즈 필터의 층수에 따른 특성 변화

그림 14는 관통형 via-hole 형태를 가지는 노이즈 필터에 대해서 3층과 5층을 적층 했을 때의 시뮬레이션 결과이다. 적층 수가 많아질수록 패턴에 의한 인덕턴스 값이 증가하므로, 차단주파수가 낮아짐을 알 수 있다.

나. 층 간격에 따른 변화

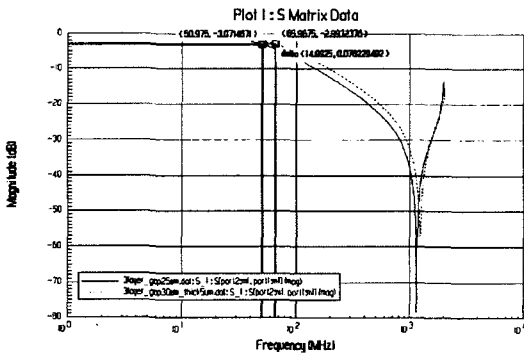


그림 15. 관통형 노이즈 필터의 층 간격에 따른 특성 변화

그림 15는 적층하는 패턴간의 상하 간격에 따른 시뮬레이션 결과이다. 층간 간격이 커짐으로써 층간에 발생하는 커패시턴스가 감소하고, 인덕턴스는 증가하게 된다[7]. 따라서, 차단주파수가 높아지는 경향을 나타낸다.

다. 유전율에 따른 변화

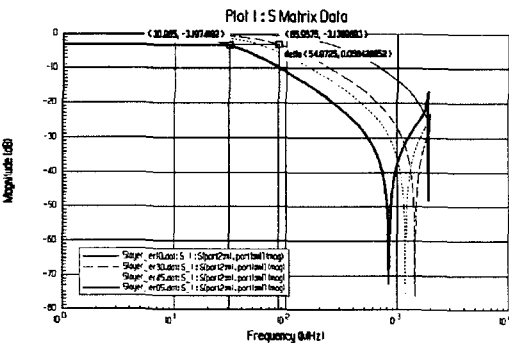


그림 16. 관통형 노이즈 필터의 유전율에 따른 특성 변화

그림 16은 같은 구조를 가질 때, 유전율에 따른 변화를 나타낸 결과이다. 유전율이 증가함에 따라 층간 커패시턴스가 증가함으로써 차단주파수가 낮아짐을 확인할 수 있다.

IV. 측정 결과

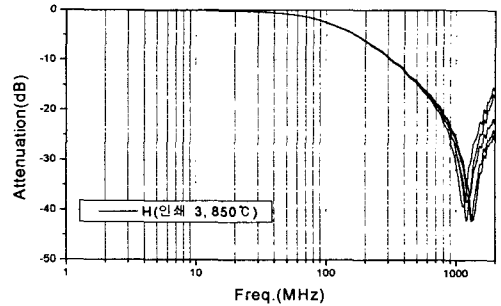


그림 17. 3층 관통형 분포정수 노이즈 필터 측정 결과

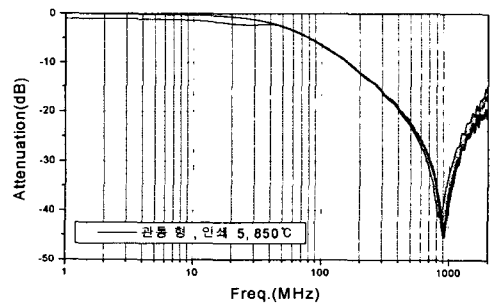


그림 18. 5층 관통형 분포정수 노이즈 필터 측정 결과

관통형 분포정수 노이즈 필터를 각각의 층수가 3층과 5층에 대해 유전율 42의 저온소결용 BPNT계 조성으로 제작하였다. 그림 10에서와 같은 패턴을 사용하였고, 규격은 3.2mm(가로)×1.6mm(세로)×1mm(높이), 층간격은 30um이다.

그림 17은 3층 노이즈 필터의 측정결과이고, 그림 18은 5층 노이즈 필터의 측정 결과이다. 3층 노이즈 필터의 감쇠특성은 -42dB로 일정하게 측정되고, 차단주파수도 100MHz정도로 균일한 특성을 나타내고 있다. 또한, 20dB이상의 감쇠특성을 나타내는 저지대역이 700MHz~1700MHz로 측정되었다.

층수를 5층으로 했을 경우에는 시뮬레이션 결과에

참고 문헌

- [1] 박동철, 김동일, 명노훈, 김기채, 이영훈, *전자파 환경공학*, 대영사, 2001.
- [2] Murata technical information, "Noise sources and transmission paths", <http://www.murata.com/emc/knowhow/pdfs/te04ea-1/4to5e.pdf>
- [3] Murata technical information, "Noise suppression mechanism using low-pass filters", <http://www.murata.com/emc/knowhow/basic.html#bk02>
- [4] Kyocera EMI filters - KNFseries data sheet , <http://www.avxcorp.com/docs/Catalogs/knf.pdf>
- [5] Toshimi Miyoshi, "Surface mounted distributed constant type noise filter", *IEEE International Symposium*, Vol. 1, pp. 157-160, 1999.
- [6] D. E. Johnson, *Basic Electric Circuit Analysis*, Prentice Hall, pp. 421-426, 1995.
- [7] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Jones, pp. 56-65, 1998.

서 예상된 것처럼, 감쇠특성이 더욱 향상되어 -45dB를 보이고 있으며 차단 주파수는 50MHz로 낮아진 값을 나타내고 있다. 20dB 감쇠 저지대역은 400MHz~1600MHz로 측정되었다. 이러한 결과는 원하는 차단 주파수를 패턴의 수정 없이 층수만 변화시킴으로써 조절할 수 있음을 보여준다.

측정결과에서 저주파 대역을 살펴보면 통과 대역 안에서의 삽입손실(insertion loss)이 거의 0dB에 가까운 것을 확인할 수 있다. 이것은 저주파 대역에서는 관통형 via-hole이 입력단과 출력단 사이의 최단 경로를 제공하므로 신호선 길이에 의한 손실을 최소화할 수 있기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 분포정수형 노이즈 필터에 새로운 구조의 관통형 via-hole을 삽입함으로써 패턴의 정밀한 관리 없이도 큰 감쇠특성을 구현 할 수 있고, 패턴 층수를 조절함으로써 차단주파수도 쉽게 바꿀 수 있다는 장점을 가진다. 또한, 입력단과 출력단의 패턴이 대칭적이므로 방향성을 갖지 않으며, 삽입된 감쇠극에 의해 제작 공정시 오차에 의한 영향을 감소시킬 수 있다. 관통형 분포정수 필터는 저주파에서 신호선 길이에 의한 손실을 최소화함으로써 통과 대역 안에서의 삽입손실을 개선시킬 수 있다.

제작 측정결과, 표 1에 나타난 것과 같이 100MHz의 차단 주파수, 700~1700MHz의 20dB 감쇠대역, 최대감쇠 42dB의 특성을 나타내었다.

따라서, 본 논문에서 제안한 관통형 분포정수 노이즈 필터는 고주파 노이즈 억압에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

표 1. 제작된 관통형 분포정수 노이즈 필터의 특성

	단위	설계목표	시뮬레이션	측정결과
차단주파수	MHz	100	114	100
20dB 저지대역	MHz	700~1200	850~2600	700~1700
최대 감쇠	dB	-40	-78	-42