

데이터 선용 EMI Filter에 대한 해설

李 在 道
大成電子 代表

1. Noise 대책의 중요성

전자 기기는 반도체 산업의 발전과 함께 각종 분야에서 digital화가 급속히 진행되고 있으며, computer를 중심으로한 OA, FA 기기나 자동차용 전자 기기는 물론, 가정용에서도 CD, DAT등의 digital 오디오나 color TV, video등의 영상기기도 본격적인 digital화가 도입되고 있다. 이들 digital 기기가 증가할수록 여러가지 형태로 noise를 발생하여 EMI를 일으키는 원인이 되기 때문에 noise 공해가 더욱 심각해질 것으로 예상된다.

Digital 기기는 사용되고 있는 신호에 많은 고주파성분을 포함하고 있기 때문에 이것이 noise원이 되어 다른 기기나 회로에 방해로 준다. 세계 각국에서는 이러한 전자 장애가 무제한 확산되는 것을 방지하기 위해서 법률로 제정하여 규제를 강화하고 있다.

이 때문에 각국에서는 FCC(미국), VDE(서독), CSA(캐나다)등의 규격을 만들어 digital 기기에서 발생하는 noise를 규제하고 있다. 또한 국내에서도 최근 들어 전자파 장애의 중요성을 인식하여 업체마다 EMI에 관심이 고조되고 있으며, 정부에서도 90년 7월 EMI 규제에 관한 입법 예고가 있었고 금년 3월부터 13가지 전자 제품에 대하여 규제 대상 품목을 명시한 바 있다.

2. EMI의 종류

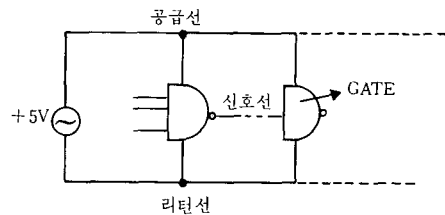
Noise원이 전자회로 또는 기기 내부에 있는가 외부에 있는가에 따라 간섭의 형태가 바뀌는데, 여기서는 noise원이 전자회로 또는 기기 내부에 있는 발생과 전파에 대하여 알아보기도 한다.

내부에서 발생하는 PCB나 back 배선 등이 cable에 발생 또는 실린 noise가 한계값을 넘어서 digital 회로에 오동작을 일으키고 있다고 생각할 수 있다. Noise에 강한 기기를 실현하기 위한 대책을 고려할 경우 우선 기기의

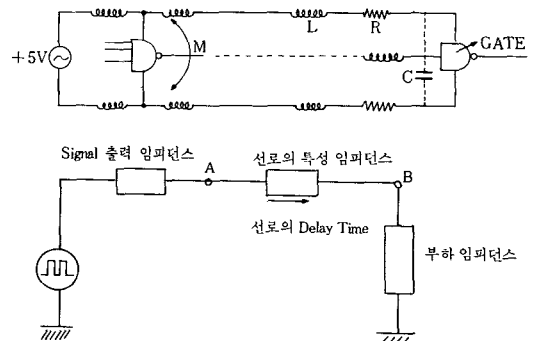
외부에서 전달되는 noise를 대상으로 하는 경우가 많다. 그러나 기기 자체가 전기량을 취급하여 그 내부에 noise원이 존재하므로 이를 파악하여 모든 내부 noise에 강하도록 대책을 수립하는 것이 선결 과제이다.

1) 배선에 의한 EMI

Signal line 또는 power supply line은 손실이 없는 이상선로로써 도면에서는 표현되고 있지만, noise적으로 보면 저항 R이나 자기인덕턴스 L이 존재한다.



위의 논리회로도나 전원 공급선을 noise 관점에서 본 분포 인덕턴스와 용량을 부가한 회로를 그리면 아래와 같다.

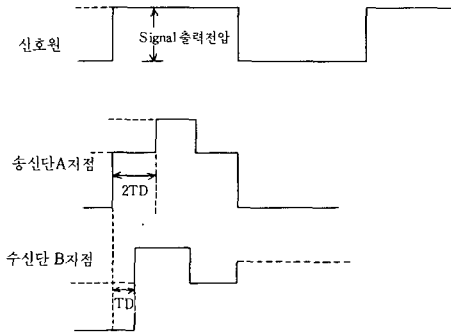


윗 그림에서 부하 임피던스 ≠ 특성 임피던스, signal의 출력 임피던스 ≠ 특성 임피던스의 경우 각각 송, 수신단에 reflection이 발생한다.

즉, 출력 임피던스의 signal line이 특성 임피던스의 전송선로를 구동하면 A점에서의 진폭은 signal의 출력 임피던스가 시간 T를 경과한후 B점에 도착하여 수신 반사계수와 signal 전압의 곱의 반사파가 생겨서 아래 그림의 $V_s(H\rho_1)$ 의 진폭이 형성된다.

다음에 반사파는 B점에서 A점으로 전파하여 송신단 반사계수(수신단 반사계수)와 signal 전압의 곱의 반사파가 생긴다.

이 진폭이 회로의 한계값을 넘어서면 오동작이 발생한다.



$$R = \rho \frac{1}{ab} (\Omega)$$

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{a+b} + \frac{1}{2} \right) (H)$$

ρ : 고유저항 a: 도체폭(m) b: 도체두께(m)

$$\mu_0: \text{진공 투자율} \left(\frac{4}{10^7} (H/M) \right)$$

선은 PCB와 같은 구형 단면으로 생각한다.

위 설명의 조건에서 $L=0.22\mu H$ 이며, 전류 I의 변화 100MA가 30NS의 사이에 있으면, 약 -0.7V의 전압 변화로 된다. 이것은 IC의 전원 전압의 변동 보증 범위 0.25V를 넘고 있어서 IC가 오동작을 일으키는 noise로 된다.

또한 $-L \frac{di}{dt}$ 의 식에서는 자기 인덕턴스 L을 사용하였지만 실제로는 실효 인덕턴스를 사용해야 한다.

실효 인덕턴스=자기 인덕턴스-상호 인덕턴스와 같이 되며 L보다 작은 값으로 된다.

2) Reflection에 의한 EMI

Signal line의 길이가 파장보다 긴 경우에는 분포정수 회로인 전송회로로서의 취급이 필요하며, 이 경우 signal의 전파 delay time과 송, 수신단의 signal reflection이 문제가 되어 회로의 오동작을 초래하는 경우가 있다.

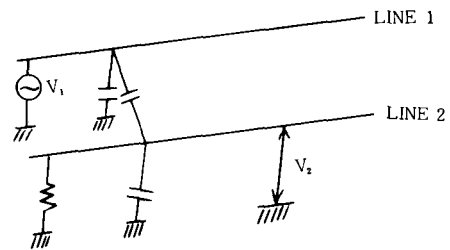
$$Z_0 = \sqrt{L/C}, T = \sqrt{LC}$$

3) 공통 임피던스

인덕턴스와 기기를 흐르는 pulse 전류에 의한 일종의 noise.

4) 용량 결합에 의한 EMI

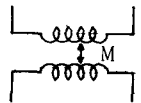
2선간의 부유 용량에 의한 결합



상기 그림에서 line 1이 noise원, line 2가 피해를 받는 line이다. Line 1의 전압의 변화가 전계의 변화로써 공간을 전파하여 line 2에 불필요한 전압을 유기시킨다.

5) 유도(trans) 결합에 의한 EMI

두 회로간의 자계 사이의 상호 작용에서 발생하는 것



용 량 결 합	유 도 결 합
① 전압에 의한 결합	전류에 의한 결합
② 수신회로의 임피던스가 결합의 크기에 관계됨	관계 없음
③ Noise의 수신선과 접지 사이에 유기됨	수신선과 적렬로 유기됨

6) 선간 크로스토크에 의한 EMI

선사이의 상호 용량에 의한 용량 결합과 상호 인덕턴스에 의한 유도 결합에 의해서 pulse의 구동선 결합에 의해서 발생하는 noise로 매우 중요하다.

7) PCB 간의 간섭에 의한 EMI

PCB의 서로 이웃하여 평행으로 놓여 있는 경우, 즉, 루프 안테나 간의 전자계의 발신-수신의 관계와 같다.

8) 기타

기기 내부에는 PCB간의 간섭 릴레이나 모터의 인덕

턴스 부하를 급격히 차단할 때 발생하는 전압인 인덕티브키, 접점의 개폐시에 발생하는 방전 noise등 큰 $\frac{di}{dt}$, $\frac{dv}{dt}$ 가 발생하는 장소가 많이 존재한다. 이 밖의 disk 장치의 start, stop에 수반되는 모터의 on, off 사이리스터의 스위칭 등 전기량의 변화가 있는 모든 장소에 noise원이 있다고 할 수 있다.

3. EMI 대책

전자 기기는 일반적으로 전자 부품이 PCB위에 실장되는 형태로 구성된다. 산업이 발달할 수록 경박단소의 경향에 따라 실장 밀도는 더욱 높아지고 있으며, 동일 기관내의 전자 회로 상호간의 간섭이 커져서 오동작이 증대되고 있다.

10Mb/s 이상의 클럭을 사용하는 digital 회로에서는 다층 기판을 사용하는 것이 필요하며 다층 PCB를 사용하여 넓은 면적의 전원 접지 회로를 실현하여도 고밀도의 고속 digital 회로에서는 공통 임피던스에 의한 noise의 영향을 완전히 방지하기는 힘들다.

따라서 신호가 차지하는 주파수 대역과 noise가 차지하는 주파수 대역의 차이를 사용하여 noise level을 감소시키는 방법으로, analogue와 digital 회로에 모두 사용할 수 있다.

일반적인 회로에서는 취급하는 신호의 주파수 대역이 어느 일정범위에 한정되어 있으며, noise는 매우 광대역이고 고주파에 치우치는 경우가 많다. 따라서 신호 대역만을 통과시키는 filter를 사용함으로써 noise 대역의 제한이 가능하므로 noise level을 감소시킬 수 있게 된다.

Digital 회로는 analogue 회로와 비교할 때 광대역의 신호를 취급하지만 digital 회로내에서 유도되기 쉬운 부분이 pulse의 상승 하강시인 것에 착안하면 analogue 회로와 마찬가지로 filter에 의한 noise의 저감이 가능해진다.

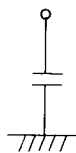
4. EMI Filter의 종류

1) 인덕터(choke) 필터

인덕터(inductor)는 전류의 변화를 억제하는 성격을 가지고 있다. 그러므로 이것을 부하에 직렬로 넣으면 부하 전류의 ripple이 적게 될 것으로 기대된다.

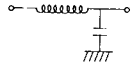
2) 콘덴서 필터

콘덴서(또는 capacitor)는 전압의 변화를 억제하는 성격을 가지고 있다. 그러므로 이것을 부하에 병렬로 접속하면 부하에 ripple을 감소시키는데 대단히 효과적이다.



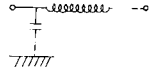
3) 인덕터 입력형 필터

1), 2)의 장점을 합치면 출력 전압의 맥동을 더욱 적게 할 수 있다.



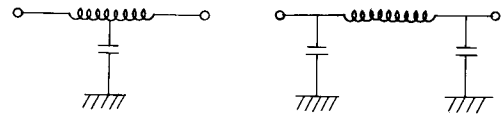
4) 콘덴서 입력형 필터

콘덴서 입력형 필터로 사용하면 매끈한 출력 전압을 얻을 수 있다.



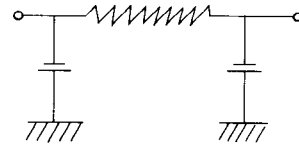
L 입력형의 경우보다 높은 출력 전압이 요구되는 경우 및 적은 맥동이 요구되는 경우 사용된다.

5) T형 및 π형 필터



6) 인덕터를 저항으로 바꾼 π형 필터

전력 손실이 허용될 수 있는 소전력용 정류회로에서는 무겁고, 크고 값비싼 초크 사용보다 유리하다.



5. EMI Filter에 의한 Noise 대책

전자 기기내에서 발생한 noise는 전원선이나 내부 배선에 전해져서 외부로 전도된다. 그리고 일부는 전파로 되어 공간으로 전도된다.

EMI filter는 도체에 전해지는 noise를 제거할 수 있다. 또한 공간으로 전해지는 noise에 대해서도 안테나 역할을 하는 도체에 전해지기 전에 EMI filter를 붙여 공간으로 전해지는 noise를 제거하는 것이 가능하다. 구체적인 예로 digital 신호를 사용한 VTR이 자신의 영상신호에 방해를 주는 경우가 있다.

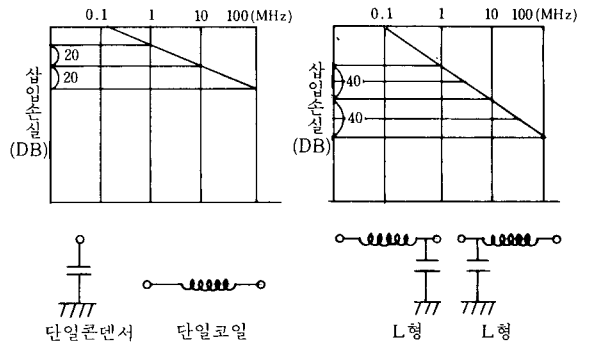
6. 2단자 콘덴서에 의한 Noise 대책

콘덴서의 용량을 270pF으로 하고 리드길이는 1센티미터로 절단하였을 때, 콘덴서의 자기공진점이라 생각되는 100MHz 부근에서는 고주파가 감소되고 있지만 200MHz 이상의 주파수에서는 거의 효과가 없다. 또한 100MHz에서 관측된 자기공진점은 콘덴서의 리드길이가,

용량의 불균일, 장착하는 패턴의 형상에 따라 변동된다.

3단자 콘덴서형 EMI filter의 특성과 일반적인 콘덴서를 사용한 동일회로의 특성을 비교하기 위해서 세라믹 콘덴서의 바이패스회로의 앞뒤에 페라이트 비드를 사용하여 EMI filter와 동일한 회로를 형성하였다.

앞의 콘덴서만을 사용하였을 경우와 비교하면 고주파를 제거하는 효과가 10B 정도 개선된다. 그러나 200MHz 이상의 주파수에서는 EMI filter를 사용한 경우보다 효과가 떨어진다.



7. EMI Filter와 용량

고속의 신호에 큰 용량의 EMI filter를 사용하면 noise를 제거함과 동시에 신호 레벨도 감소되어 버리는 경우가 많다.

일례로 270pF의 용량을 가진 EMI filter 보다 약 8배나 큰 2200pF의 정전 용량을 가진 EMI filter는 고주파의 대부분은 제거되지만 신호도 완전히 둔화된다. 반대로 EMI filter의 용량을 필요이상으로 작게 하면 noise를 충분히 제거할 수 없게 되는 경우가 있다. 270pF의 용량을 가진 EMI filter의 1/5이하인 47pF의 정전용량을 가진 EMI filter를 사용하면 신호파형은 거의 원형인 상태로 남지만 고주파는 거의 제거되지 않는다.

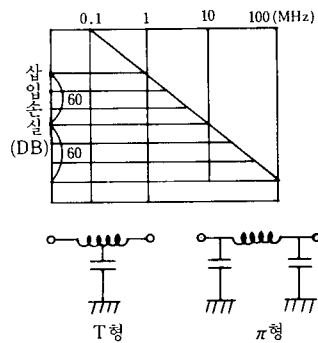
8. L, C의 정수와 신호파형

EMI filter의 캐패시턴스나 인덕턴스 값을 크게하면 신호파형이 둔화된다. 이것은 L, C정수를 변환에 의해 cut off 주파수(신호가 감쇠되기 시작하는 주파수)가 저주파측으로 이동하여 통과시켜야 할 신호대역까지도 감쇠시켜 버리는 것이다. 따라서 EMI filter에 사용되고 있는 L과 C의 정수는 신호파형의 왜곡이 없는 범위에서 가능한한 큰 값을 선정할 필요가 있다.

9. 세이프 팩터와 EMI Filter

일반적으로 EMI filter를 구성하고 있는 콘덴서와 인덕터의 소자수에 의해 삽입손실 특성의 경사(이것을 세이프 팩터라고 한다.)가 결정된다. 따라서 통과시키고자 하는 신호대역과 제거하고자 하는 noise 대역이 비교적 떨어져 있을 경우에는 콘덴서나 코일 단독으로도 사용할 수 있지만 반대로 신호대역과 noise 대역이 접근되어 있는 경우에는 격한 폭의 감쇠가 필요하다.

이 때문에 T형이나 파이형 등의 회로구성을 한 EMI filter가 요구된다.



10. 라인 임피던스와 EMI Filter

만일 카탈로그상에서 적절한 회로구성이나 L, C정수를 가진 EMI filter 일지라도 사용되고 있는 회로의 라인 임피던스가 변화되면 이것에 수반되는 신호파형도 왜곡되는 경우가 있다. 따라서 회로의 라인 임피던스가 바뀌는 경우에도 파형에 링킹(ringing)이나 오버슈트, 언더슈트 등의 왜곡이 생기지 않는 것을 충분히 고려하여 적절한 EMI filter를 선정할 필요가 있다.

또한 filter를 접속하는 회로의 라인 임피던스에 의해 noise 제거 효과가 변화되기도 한다. 라인 임피던스가 큰 경우에는 콘덴서 입출력 타입의 것(콘덴서나 파이형 등)을, 작은 경우에는 코일 입출력 타입의 것(인덕터나 T형 등)을 사용하면 보다 효과적으로 noise를 제거할 수 있다.

11. 사용상의 주의

앞에서 설명한 바와 같이 EMI filter는 사용하는 신호의 주파수, 라인 임피던스 등에 의해서 정전용량을 선정하는 것이 필요하다. 또한 digital 기기에 사용되는 클럭 신호, RCB 신호 등에서는 수 MHz 이상의 고주파 신호

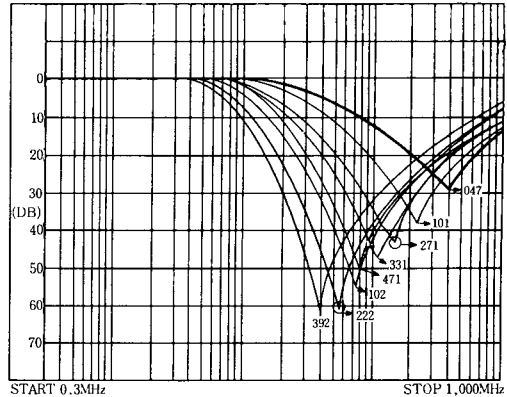
가 필요하다.

이와 같은 신호에서는 noise의 발생이 강력하므로 대용량의 EMI filter를 사용할 필요가 있다. 그러나 고주파 신호에 대용량의 EMI filter를 사용하면 신호가 둔화되어 기기가 정상적으로 동작하지 않게 된다. 이와 같은 경우에 사용하는 EMI filter로써 digital 신호용 EMI filter가 있다.

EMI filter의 성능을 효과적으로 사용하기 위해서는 EMI filter의 접지단자의 장치조건이 특히 중요하다. 그 이유는 EMI filter는 접지 전극에 noise를 유출하는 방법으로 noise 제거를 하고 있기 때문이며, 이 접지 전극을 가능한 한 짧게 접지와 접속할 필요가 있다. EMI filter의 접지 리드선을 약 3센치미터로 늘여서 사용한 경우에는 고주파에서 noise 제거 효과가 감소된다.

Digital 회로에서 사용하는 신호에는 매우 넓은 주파수 대역의 고조파가 포함되어 있기 때문에 이 고조파가 다양한 noise 문제를 발생시키게 된다. 따라서 noise 대책 부품은 광대역에 걸쳐서 noise 제거 효과를 가지는 것이 필요하다.

P/C에서는 286XT에는 단일 콘덴서나 단일 코일(choke)비드 등으로 가능하지만, 286AT, 386SX 및



* T형, π형 삽입손실 (reference data)

368, 468 기종에서는 주파수 대역을 고려하여 L형 및 T형, π형을 사용하는 것이 일반적이며 printer나 keyboard 쪽에는 용량이 1000p-3300pF T형 또는 π형이 주로 사용되며 serial 쪽은 50pF-450pF의 T형, π형, EMI filter를 사용하는 것이 일반적이다. 또한 작업성을 고려하여 L형, T형, π형을 여러개로 array 시킨 type을 사용하면 특성 및 작업성에도 매우 능률이 높다. 🌐

筆者紹介



李 在 道

1950年 7月 15日生

1977年 고려대학교 전자공학과 졸업

1986年~1987年 중화전자 개발부장

1988年~1989年 J. B. M. Korea 개발부장

1991年 중소기업진흥공단 연수원 강사 역임

1989年~현재 대성전자 대표