

노이즈필터의 특성 해석

권진욱 · 민인규 · 윤덕용 · 홍순찬

단국대학교 전기공학과

Characteristic Analysis of Noise Filter

Jin-Uk Kwon, Een-Kyu Min, Duck-Yong Youn, and Soon-Chan Hong

Dept. of Electrical Engineering, Dankook University

Abstract - This paper deals with the characteristic analysis of noise filter for the reduction of conduction noise, especially, common-mode noise. Attenuation in the system containing noise filter is analyzed and equivalent circuits for common- and differential- mode noise are derived. To clarify the effects by parasitic components of the inductor and capacitor, digital simulations using Design Center are carried out.

1. 서론

일반적으로 노이즈는 벵락 등의 자연현상에서 유래하는 자연 노이즈와 방전현상을 이용한 고압기기나 전류를 전환할 때에 발생하는 인공노이즈로 대별된다. 특히 디지털회로가 포함된 전자기기가 증가함에 따라 인공노이즈의 증가가 현저한 실정이다. 인공노이즈는 발생원인이 인위적이기 때문에 원리적으로는 억제책을 강구하는 것이 가능하다. 그러나 발생원의 임피던스가 확실하지 않을 경우나, 복수의 발생원이 있는 경우에는 너무 복잡하기 때문에 해석이 불가능한 면이 있는 것도 사실이다.^[1]

전자파간섭(EMI)은 그 전도방법에 따라 도체를 통해 전달되는 전도성방출(Conducted Emission)과 공간을 통해 전달되는 방사성방출(Radiated Emission)로 구분되며, 이때의 노이즈를 각각 전도노이즈, 방사노이즈라고 하는데 현재 국내나 국외에서 문제가 되는 것은 전도노이즈이다. 이러한 전도노이즈를 저감시키기 위하여 L과 C로 구성된 필터를 기기의 입력단에 설치하는데^[2] 이를 보통 전원필터라고 한다. 본 논문에서는 전원필터의 회로를 해석하고 감쇠특성을 해석하여 전도노이즈 저감에 이바지하고자 한다.

2. 전도노이즈

컨버터에서 스위칭등으로 인하여 주로 발생하는 전도노이즈는 기기의 오동작을 초래할 수 있으므로 세계각국에서는 CISPR(국제무선장애특별위원회) 규격에 준하여 각국의 상황에 맞도록 노이즈에 관한 규제, 규격을 마련하여 시행하고 있으며 그 규격치가 날로 엄격해지고 있는 추세이다.^[3]

전도노이즈는 그림 1에서와 같이 선간에서 발생하는 DM(Differential Mode)노이즈와 선과 접지에서 발생하는 CM(Common Mode)노이즈로 분류된다.^[3] 전도노이즈를 주파수 대역별로 분류하여 살펴보면 10[kHz]~150[kHz] 범위에서는 DM,

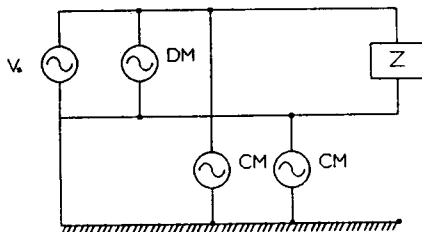


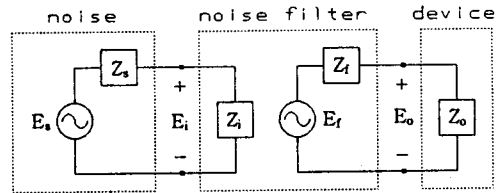
그림 1. CM노이즈와 DM노이즈

150[kHz] 이상에서는 CM이 주된 노이즈이다.^[4] 노이즈에 관한 규격으로는 미국의 FCC와 독일의 VDE규격이 대표적인데 FCC 규격의 경우에는 450[kHz]~30[MHz] 범위에서 노이즈의 레벨을 제한하고 있다.^[5] 따라서 일반적으로 전도노이즈에 대한 대책으로는 CM에 중점을 두어 설계한다.

본 논문에서도 450[kHz]~30[MHz] 대역의 전도노이즈 중에서 CM성분의 저감에 중점을 두고, 고주파수 동작에서 나타나는 L과 C의 기생성분(parasitics)의 영향을 고려하여 전원필터의 감쇠비를 Design Center를 이용하여 시뮬레이션한다.

3. 노이즈필터의 해석

전원에 접속된 전자기기에 전원필터를 부착한 회로를 테브나그의 등가회로를 이용하여 나타내면 그림 2와 같다.



- E_s : 노이즈원의 전압
- Z_s : 노이즈원의 내부임피던스
- E_i : 필터입력단 노이즈전압
- Z_i : 필터의 입력측에서 본 임피던스
- E_f : 출력단 개방시 필터의 출력 노이즈전압
- Z_f : 필터의 출력측에서 본 임피던스
- E_o : 부하의 입력 노이즈전압
- Z_o : 부하임피던스

그림 2. 노이즈필터 회로

그림 2에서 전체감쇠비 D는 다음과 같다.

$$D = \frac{E_o}{E_s} = D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \quad (1)$$

- 단, D_1 : 노이즈원 감쇠비 (= E_i/E_s)
- D_2 : 개방시의 필터 감쇠비 (= E_f/E_i)
- D_3 : 출력단 감쇠비 (= E_o/E_f)

i) 노이즈원 감쇠비 D_1
노이즈원의 감쇠비는

$$D_1 = \frac{E_i}{E_s} = \frac{Z_i}{Z_s + Z_i} \quad (2)$$

이므로 Z_s , Z_i 의 값에 관계된다. 그러나 현실적으로 노이즈원의 내부임피던스가 불명확하므로 해석이 불가능하다.^[1]

ii) 개방시의 필터감쇠비 D_2

이 감쇠비는 필터의 구조와 소자값에 따라 달라진다. 필터가 노이즈를 효과적으로 저감시키려면 저감시키고자하는 주파수범위내에서 감쇠비가 1이하이어야 하며 전원필터 설계시의 주대상 이 된다.

iii) 출력단 감쇠비 D_3

출력단 감쇠비 D_3 는

$$D_3 = \frac{E_o}{E_f} = \frac{Z_o}{Z_o + Z_f} = \frac{R_o + jX_o}{(R_o + R_f) + j(X_o + X_f)} \quad (3)$$

이며 $R_r \neq 0$ 이므로 표 1과 같이 6가지 경우가 있다.

표 1. 출력단 감쇠비 D_3

| case | $R_o/(R_o+R_f)$ | $X_o/(X_o+X_f)$ | D_3 |
|------|-----------------|-----------------|----------|
| 1 | <1 | <1 | <1 |
| 2 | <1 | =0 | <1 |
| 3 | =1 | <1 | <1 |
| 4 | =1 | =0 | =1 |
| 5 | <1 | >1 | ≤ 1 |
| 6 | =1 | >1 | >1 |

표 1에서 1-4의 경우에는 $D_3 \leq 1$ 이므로 별문제가 없으나 5, 6의 경우에는 문제가 된다. 이 경우에는 X_o 와 X_f 의 리액턴스가 다른 성질인 경우로써 $X_o = -X_f$ 가 되면 최악의 상태가 된다. 따라서 특정 부하를 위하여 필터를 설계할 경우에는 5, 6의 경우가 되지 않도록 특별히 주의하여야 한다.

그림 2의 회로에서 전체 노이즈의 감쇠비는 D이지만 노이즈원의 내부 임피던스가 불명확하고 특정기기를 대상으로 하는 경우가 아니면 D_2 에 의하여 전도노이즈를 저감시켜야 한다.

4. 노이즈 필터의 등가회로

그림 3은 일반적으로 많이 사용되는 전원필터의 회로로써 $L = L_c + L_{leak}$ 라 하면 CM과 DM 노이즈에 대응되는 등가회로는 그림 4, 5와 같다.

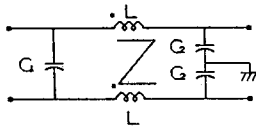


그림 3. 노이즈필터

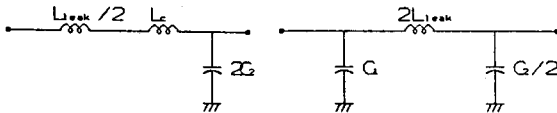


그림 4. CM 등가회로

그림 5. DM 등가회로

5. L과 C의 기생성분

앞에서 살펴보았듯이 FCC규격에서 45[kHz]~30[MHz] 범위에서 제한이 가해지고 있으며 이 범위에서는 주로 CM노이즈가 문제가 된다. 이 주파수 범위에서의 동작에서는 L과 C의 기생성분에 의한 영향이 커져서 반드시 기생성분을 고려해야 한다.

5.1 인덕터의 등가회로

인덕터의 선간, 층간에 나타나는 전위차로 인하여 등가커패시터가 발생한다. 이 등가커패시턴스가 기생커패시턴스 Cp가 되며 실제 인덕터의 등가회로는 L과 Cp의 병렬로 나타낼 수 있다. Cp의 값은 권선방법에 따라 결정되며 그격략적인 값의 산출식은 다음과 같다.¹⁰⁾

$$C_p = 0.0885 \pi / \cosh^{-1}(D/d) \text{ [pF/cm]} \quad (4)$$

단, D [cm²] : 선의 직경
d [cm] : 선간격

5.2 커패시터의 등가회로

커패시터에서는 리드선의 기생인덕턴스 Lp가 고려되어야 한다. 따라서 실제 커패시터의 등가회로는 C와 Lp의 직렬로 표현된다. 10[kHz]~30[MHz] 대역에서는 주로 세라믹콘덴서를 이용하는데, 누설전류를 1[mA]로 규제하기 위하여 C의 값은 6600 [pF] 이하로 하는 것이 보통이며 기생인덕턴스 Lp의 값은 다음과 같다.¹⁰⁾

$$L_p = 0.002 \cdot l \cdot (\ln(4l/d) - 0.75) \text{ [\mu H]} \quad (5)$$

단, l [cm] : 선의 길이
d [cm] : 선의 직경

5.3 기생성분을 고려한 등가회로

그림 6은 그림 4의 CM등가회로를 사용하여 L = 38.379[mH], C = 6600[pF] 일 때 시뮬레이션한 결과로써 전형적인 저역통과 필터임을 알 수 있다. 그림 7은 앞에서 언급한 기생성분을 고려한 CM등가회로이며 그림 8은 이 등가회로에 기생성분

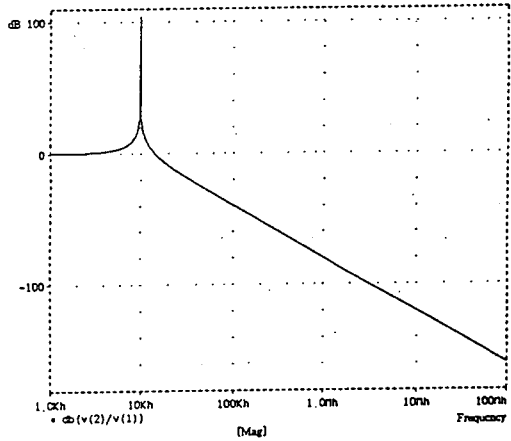


그림 6. LC필터의 감쇠비

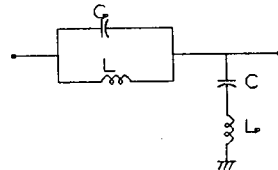


그림 7. 기생성분을 고려한 CM등가회로

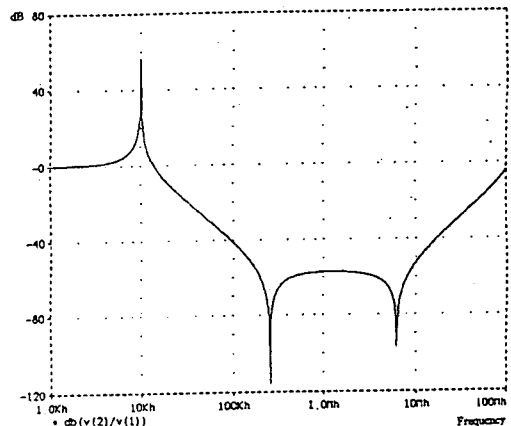


그림 8. 기생성분을 고려한 감쇠비

$C_p=10[\mu\text{F}]$, $L_p=0.1[\mu\text{H}]$ 를 추가하여 개방시의 노이즈필터 감쇠비를 구한 결과로서 그림 6의 결과와 전혀 다름을 알 수 있다.

6. 시뮬레이션 결과

인덕터와 커패시터의 기생성분에 의한 영향을 알아보기 위하여 Design Center를 사용하여 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션을 위하여 L과 C의 값은 다음과 같이 택하였다.

$$L = 38.379 [\text{mH}]$$

$$C = 6600 [\mu\text{F}]$$

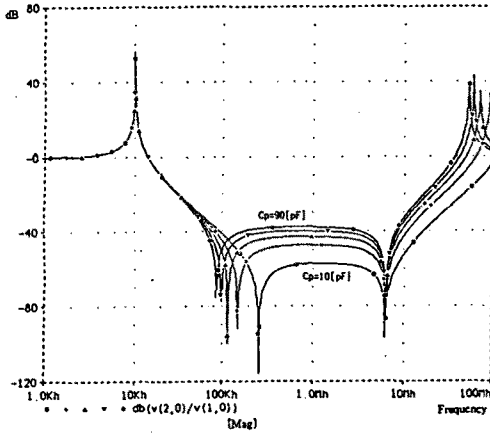


그림 9. C_p 변화에 의한 감쇠비

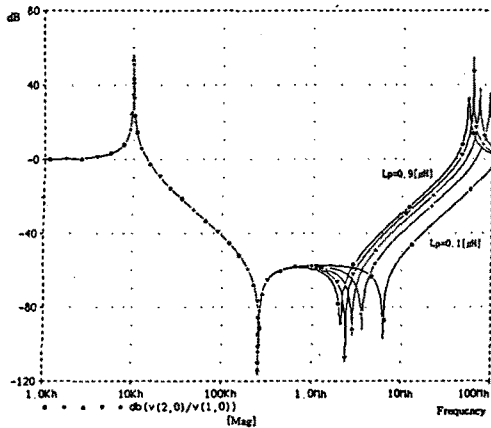


그림 10. L_p 변화에 의한 감쇠비

그림 9는 인덕터의 기생커패시턴스 C_p 의 영향을 알아보기 위하여 $L_p = 0.1[\mu\text{H}]$ 일때 C_p 의 값을 $10[\mu\text{F}]$ 에서 $90[\mu\text{F}]$ 까지 $20[\mu\text{F}]$ 씩 증가시키면서 구한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 C_p 의 값이 적을수록 폭은 좁아지나 감쇠비가 큼을 알 수 있다.

그림 10은 커패시터의 기생인덕턴스 L_p 의 영향을 알아보기 위하여 $C_p = 10[\mu\text{F}]$ 로 하고, L_p 의 값을 $0.1[\mu\text{H}] \sim 0.9[\mu\text{H}]$ 에서 $0.2[\mu\text{H}]$ 씩 증가시키면서 구한 감쇠비이다. 그림을 살펴보면 L_p 에 의한 영향은 감쇠되는 폭에만 관계되며 L_p 의 값이 적을수록 폭이 넓어짐을 알 수 있다.

시뮬레이션을 행한 결과, 필터의 저감특성이 L과 C의 기생성분에 의하여 상당히 영향을 받음을 알 수 있다. 따라서 전원필터의 소자를 설계, 제작할 경우에는 기생성분까지 고려해야 한다. 따라서 특정부하에 적합한 필터인 경우에는 필터를 부착하지 않은 상태에서 노이즈를 측정한 후, 문제가 되고 있는 주파수 범위와 그 주파수범위에서 필요한 감쇠량을 고려하여 필터를 설계할 필요가 있다.

7. 결론

본 논문에서는 전도노이즈를 저감시키기 위하여 전원필터회로를 해석하고 시뮬레이션을 통하여 감쇠특성을 해석하였다. 전도노이즈에는 CM노이즈와 DM노이즈가 있으나 규제대상이 되는 $450 \text{ kHz} \sim 30 \text{ MHz}$ 에서 주로 문제가 되는 CM노이즈의 감쇠를 주 대상으로 하였다.

고주파수에서 문제가 되는 인덕터와 커패시터의 기생성분을 고려한 등가회로를 사용하여 기생성분의 영향을 해석하였으며 다음의 결과를 얻었다.

- (1) 인덕터와 커패시터의 기생성분을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우의 결과는 전혀 상이하며 따라서 전원필터를 설계할 경우에는 기생성분을 반드시 고려하여야 한다.
- (2) 인덕터의 기생커패시턴스의 값이 적을수록 감쇠되는 폭은 좁아지나 감쇠비가 커진다.
- (3) 커패시턴스의 기생인덕턴스는 감쇠비에는 영향이 없으나 기생인덕턴스의 값이 적을수록 감쇠되는 폭의 범위가 넓어진다.

참 고 문 헌

- [1] Tsuruo Shimayama, "Measurement of the Suppression Characteristics of Filter Network", Proc. of International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1984.
- [2] 민경찬, 노이즈 종합대책, 성안당, 1992.
- [3] Mark J. Nave, "Prediction of Conducted Emissions in Switched - Mode Power Supplies", Proceedings of IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1986.
- [4] 이진우, "형광등용 전자식 안정기의 EMI대책기술(1)", 조명·전기설비학회지, 제6권, 제5호, 1992. 10.
- [5] Henry W. Ott, Noise Reduction Techniques in Electronic Systems, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [6] Tim Williams, EMC for Product Designers, BH, 1992.