PDP용 광대역 EMC 필터의 설계 및 제작에 관한 연구

A Study on Design and Fabrication of Broad-Band EMC Filter for PDP

김동일 · 구동우 · 양은정 · 김도연

Dong-Il Kim · Dong-Woo Ku · Eun-Jung Yang · Do-Yeon Kim

요 약

정밀 전기 · 전자기기들이 외부의 전원장해와 과도 전압에 의하여 오동작되거나 부품이 파괴되어 기기의 기억장치가 지워지기도 하며, 전도성 노이즈의 형태로 다른 기기에 장해원이 될 수도 있는 등 그 피해가 늘고 있어 이에 대한 보호대책이 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 디지털 영상기기인 PDP를 측정대상기기(EUT)로 하여 임피던스에 적합한 노이즈 저감 필터를 제작하고, 더불어 관통형(Feed-through) 커패시터와 높은 투자율을 가진 페라이트 비드로 이루어진 필터를 함께 적용한 PDP용 광대역 EMC 필터를 제작하고, 그 특성을 평가하였다. 본 연구에서 제작한 필터의 삽입손실은 10 MHz~1.5 GHz에서 40 dB 이상 감쇠되어 CISPR Pub. 22 규격과 IEC 61000-4-4의 level 4까지 만족하는 우수한 필터임을 확인하였다.

Abstract

A interference of outside electric source and electric fast transient(EFT) are origins of destroy and malfunction in the precise electrical and electronic equipments. It makes a serious obstacle as the form of conducted noise. Therefore, it is strongly needed to protect precision electrical and electronic equipments from the interference and EFT. In this research, a EMC filter composed of feed-through capacitors and ferrite beads of high permeability is designed and it's properties are investigated for PDP. The filter produced in this research have wide band frequency characteristics and more than 40 dB reflection loss in the frequence of 10 MHz~1.5 GHz which satisfy the standard of CISPR Pub. 22 and the level 4 of IEC 61000-4-4.

Key words : EFT, PDP, EMC, Feed-Through Capacitors, Ferrite Beads

Ⅰ. 서 론

전자기기의 발달로 디지털 영상을 보다 아름답고 선명하게 재현함은 물론, 디지털 방송을 시청할 수 있는 디지털 방송연결 단자를 사용하여 고화질 영상을 즐길 수 있는 디지털 TV가 수출 주력 상품으로 급부상하고 있다[1]. 이와 아울러 이러한 전기 · 전자 장치 및 정밀 제어 시스템들의 안전한 동작과 정밀한 제어에 대한 요구조건이 강화되고 있으며, 이에 대하여 CISPR(국제 무선 장해 특별 위원회), 미국의 FCC(미연방 통신 위원회)와 일본의 VCCI(정보처리장비 및 전파 장해자주 규제 협의회) 및 CE mark 등에서 전자파환경대책을 위한 규제를 시행하고 있다[2],[3].

일반적인 노이즈원의 전달경로로 자유공간을 통한 방사와 전원선 또는 신호선을 이용한 전도가 있

「본 연구는 한국학술진흥재단(KRF-2001-005-E00015)의 연구결과로 수행되었음.」

한국해양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University)

· 논 문 번 호 : 20021108-148

· 수정완료일자 : 2003년 2월 24일

으며, 그 중 전도에 의한 노이즈는 다양한 형태의 노이즈로 인해 대책이 어렵다. 그리고, 유도형 소자에서의 전력증가 및 고속에 의한 개폐로 과도전압에 의한 장해가 증대되고 있으며, 이러한 과도전압은 대상 기기에 직접적인 피해 및 잠정적인 피해를 주고 있다[4].

따라서, 본 논문에서는 디지털 영상기기인 PDP용 광대역 EMC 필터를 전도성 노이즈 대책 방법으로 제안한다. 본 논문에서 제안한 PDP용 광대역 EMC 필터는 10 MHz~1.5 GHz 대역에서 40 dB 이상의 감쇠를 가지는 우수한 필터 특성을 가지며, CISPR Pub. 22 규격을 만족함과 동시에, IEC 61000-4-4의 level 4까지 만족시키는 우수한 필터이다.

Ⅱ. PDP용 광대역 EMC 필터의 설계 및 제작

기존의 필터들은 IEC 61000-4-4의 level 2에 대해서만 유용할 뿐이었다. 또한, 기존의 노이즈 저감필터를 삽입한 기기에서는 level 2까지는 적용 기기가 50 % 정도 견디나 level 4에서는 99 % 이상 견디지 못하여 오동작하거나 시스템이 동작하지 않는다. 더욱이, EFT로부터 전기 제어 장비의 안전성에 있어서, EMC 대책은 무선통신 기기나 공장 자동화 시스템 제어인 경우 level 4까지 견딜 수 있도록 설계되어야 한다[5]. 이러한 전자파 대책용 필터들은 지금까지는 커패시터와 common mode choke coil을 사용한 필터 또는 isolation transformer가 EFT 대책에 이용되었다[6]. 그러나, 커패시터와 common mode choke coil을 사용한 필터는 주파수의 광대역에 따른 대책에는 한계를 보이고 있으며, isolation transformer는 고가이고, 무거우며, 부피가 큰 결점을 가지고 있기 때문에 대책 방법으로는 적절하지 않다[7],[14]. 따라서 본 논문에서는 기존의 노이즈 필터의 소자로 사용되는 커패시터와 common mode choke coil을 PDP의 임피던스에 맞게 최적의 소자값을 구하여 EMI 필터를 설계하고, 필터의 광대역화와 EFT 대책을 위하여 관통형 커패시터와 높은 투자율을 가지는 Ni-Zn 페라이트 비드를 사용하는 EMS 필터를 설계하여 앞서 제작한 EMI 필터와 결합하는 형태의 PDP용 광대역 EMC 필터를 설계하였다. 여기서, 관통형 커패시터는 1 GHz 이상의 공진주파수를 가지기 때문에 고주파 대역에서도 좋은 특성을 가진다. 그림 1은 제안한 필터의 삽입손실을 구하기 위한 EMC 필터와 전원전송선로의 등가회로를 보여준다.

제안한 광대역 EMC 필터를 설계하기 위해서 필터에 사용된 각 소자들의 주파수 특성을 알아보고, 이에 대한 임피던스를 구하여 제안한 필터의 삽입손실을 구함으로써, 최적의 소자값을 얻을 수 있다.

그림 2(a)는 차동모드 측정 방법에 따라 EMS필터 부분의 신호선(H)과 접지선(G), 중성선(N)과 접지선(G) 사이의 등가회로를 보여준다. EMS filter의 차동모드에 관한 ABCD 매트릭스는 식 (1)에 의해 구할 수 있다.

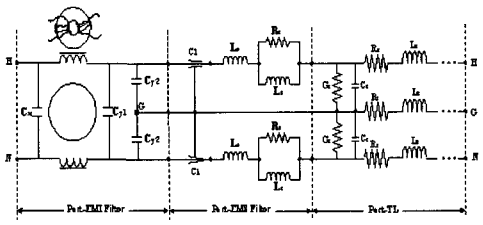
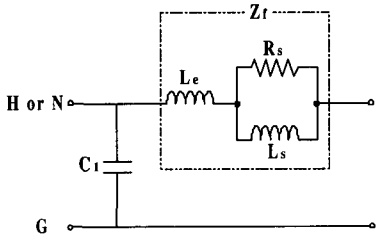
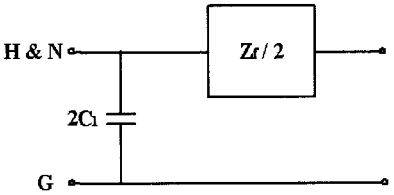


그림 1. 광대역 EMC 필터와 전송선로의 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuits of the broadband EMC filter and transmission line.



(a) 차동모드(Differential-Mode)



(b) 공통모드(Common-Mode)

그림 2. EMS 필터 부분의 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuits of the EMS filter.

$$\begin{bmatrix} A_{DM} & B_{DM} \\ C_{DM} & D_{DM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y_{C_1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z_f \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_f \\ Y_{C_1} & Y_{C_1} Z_f + 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, $Y_{C1} = j2\pi f C_1$ 이며,

$$Z_f = j\omega L_e + \left(\frac{1}{R_S} + \frac{1}{j\omega L_S} \right)^{-1} \quad (2)$$

그 반면, 공통모드 측정 방법에 따른 등가회로는 그림 2(b)에 보여지는 것과 같다. 그리고, 공통모드 노이즈에 관한 ABCD 매트릭스는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} A_{CM} & B_{CM} \\ C_{CM} & D_{CM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2Y_{C_1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z_f/2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_f/2 \\ 2Y_{C_1} & Y_{C_1} Z_f + 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

비투자율 μ_r은 식 (4)에 의해 표현될 수 있으며, 이 식을 이용하여 페라이트 비드의 임피던스를 구할 수 있다[8].

$$\mu_r = 1 + \frac{\mu_i}{1 + jf/f_m} \quad (4)$$

여기서 μ_i는 초 투자율, f_m은 완화주파수, 그리고 f는 측정 주파수이다. 본 논문에서는 μ_i=2,000, f_m= 3.12 MHz의 페라이트 비드를 사용하였다. 또한, 페라이트 비드의 임피던스를 구하기 위한 다른 파라미터들은 식 (5)에 주어진다.

$$\begin{aligned} C_1 &= 2,000\,[pF] \\ L_e &= 2 \times 10^{-8}\, \mu_i \ln(b/a) \times l\,[H] \\ R_s &= 2\pi f_m \mu_i \mu_0 lK\,[\Omega] \\ L_s &= \mu_i \mu_0 lK\,[H] \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, a와 b는 페라이트 비드의 내경과 외경이고, l은 페라이드 비드의 길이이며, K는 페라이트 비드의 치수에 의해 결정되는 값이며, 그 값은 0.003이다.

식 (1)과 (3)에 의해, EMS filter의 전달계수 T는 식 (6)에 의해 얻을 수 있다[13].

$$T(dB) = 20\log\left| \frac{2}{A_i + B_i + C_i + D_i} \right| + \alpha_p \quad (6)$$

여기서, $i = DM\ or\ CM$ 이고, α_p는 전원선에서의 손실(dB)이다.

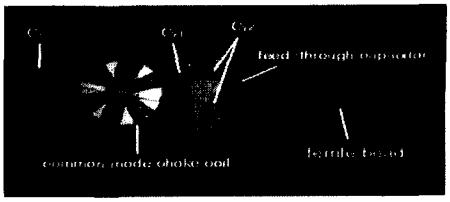


그림 3. 제작한 PDP용 광대역 EMC 필터
Fig. 3. The photograph of the fabricated broad-band EMC filter for PDP.

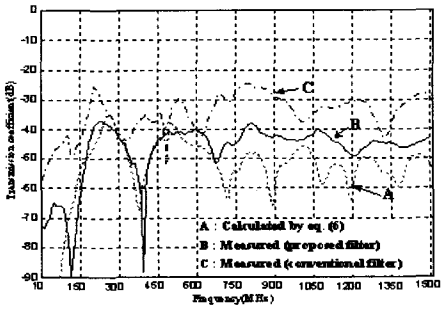


그림 4. 차동모드에 대한 삽입손실
Fig. 4. Insertion loss for differential-mode.

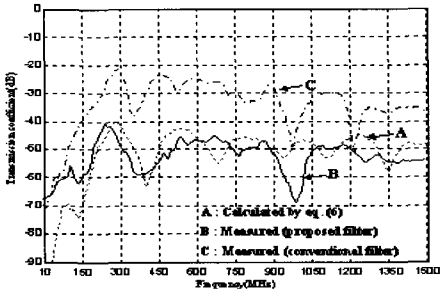


그림 5. 공통모드에 대한 삽입손실
Fig. 5. Insertion loss for common-mode.

식 (6)에 의해 계산한 결과와 EMI filter부분을 해석하여[14] 그림 4, 5에 제작한 광대역 EMC 필터의 측정치와 비교하여 나타내었고, 그림 3은 제작한 PDP용 광대역 EMC 필터의 사진이다.

Ⅲ. 실험 결과

3-1 필터 특성

제작한 PDP용 광대역 EMC 필터를 그림 6과 같이 HP 사의 Network Analyzer(HP 8753D)를 사용하

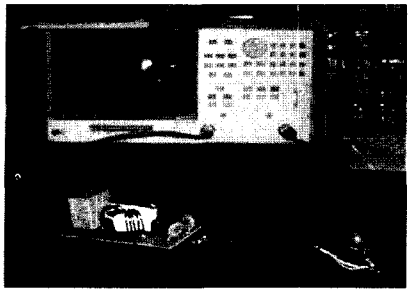


그림 6. EMC 필터의 주파수 특성 분석 장면
Fig. 6. Set-up for the analysis of the freqency characteristics of broad-band EMC filter.

여 필터의 삽입손실을 측정하였다. 그 결과, 차동·공통 모드의 경우, 10 MHz~1.5 GHz대역에서 40 dB~70 dB의 우수한 감쇠특성을 나타내었으며, 기존의 필터와 비교하였을 때(그림 4와 5의 B와 C), 기존의 필터보다 10 dB~20 dB 감쇠하였다. 그리고, 그림 1에서 제안한 등가회로에 따른 식 (6)의 삽입손실 계산치와 측정치를 비교하였을 때(그림 4와 5의 A와 B), 대체적으로 비슷하였으나, 저주파 대역에서 계산치와 측정치가 차이가 나는 것은 페라이트 비드의 자벽 운동에서 발생하는 부하효과를 고려하지 않았기 때문이다.

3-2 전도 노이즈 특성

일반적인, EMI(전자파장해)에 대한 대책방법으로는 전도성 노이즈의 모드에 따라 노이즈 필터를 사용하여 국제적으로 CISPR(국제무선장해특별위원회)에서는 150 kHz~30 MHz, FCC(미연방통신위원회)에서는 450 kHz~30 MHz의 대역에서 규제를 따르고 있다[9]. 본 논문에서는 주파수 대역이 넓은 CISPR Pub. 22 규격에 따라 전도성 노이즈를 측정하였으며, 사용된 장비는 EMCO사의 LISN(3810/2)

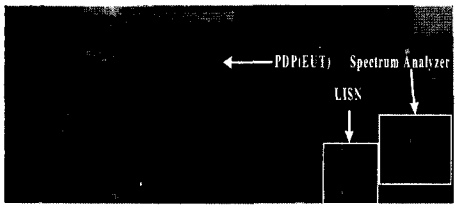
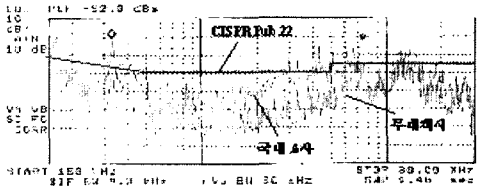


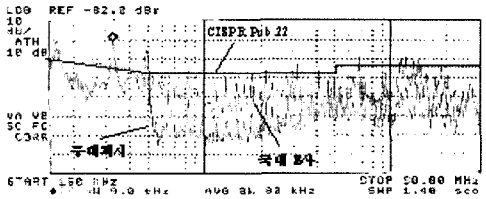
그림 7. PDP용 광대역 EMC 필터의 분석 장면
Fig. 7. Set-up to analyze the broad-band EMC filter for PDP.

과 HP사의 Spectrum Analyzer(8591EM)이며, 그림 7은 전도성 노이즈 측정 장면이다.

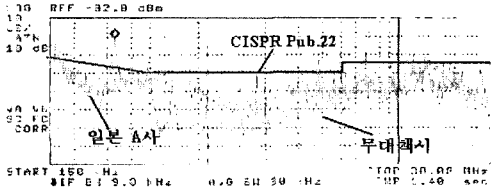
기존의 전도성 노이즈 필터를 PDP에 연결하여 전도성 노이즈를 측정한 결과, 그림 8에 보여진 것처럼 국내 A사의 경우에는 1 MHz 이하에서는 무대책시보다 15 dB 감쇠하였으나, 1 MHz~10 MHz 대역에서 오히려 전도성 노이즈가 10~15 dB 상회하였으며, 10 MHz 이상에서는 CISPR Pub. 22 규격을



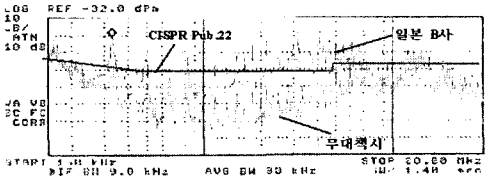
(a) 국내 A사의 EMI 필터
(a) EMI filer(A made in Korea)



(b) 국내 B사의 EMI 필터
(b) EMI filer(B made in Korea)



(c) 국외 A사의 EMI 필터
(c) EMI filer(A made in Japan)



(d) 국외 B사의 EMI 필터
(d) EMI filer(B made in Japan)

그림 8. 기존의 필터에 의한 EMI 측정 결과
Fig. 8. The measured results of EMI test with conventional filter.

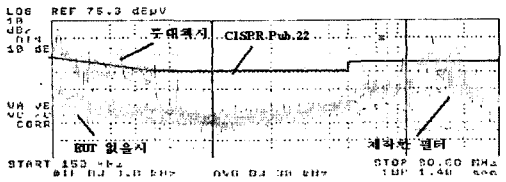


그림 9. PDP용 광대역 EMC 필터의 EMI 측정 결과
Fig. 9. The measured results of EMI test with broad-band EMC filter for PDP.

만족하지 못하였다. 국내 B·국외A사의 경우에는 측정 주파수 전 대역에서 무대책시보다 좋지 않았으며, 국외 B사도 1 MHz 이상부터는 CISPR Pub. 22 규격을 20 dB 이상 초과하여 CISPR Pub. 22 규격을 만족하지 못하였다. 따라서, 본 논문에서는 측정 대상 기기(EUT)인 PDP의 임피던스에 적합한 최적의 소자값을 구하고, 더불어 필터의 광대역화를 위하여 공진점이 없는 관통형 커패시터와 페라이트 비드를 이용하여 PDP용 광대역 EMC 필터를 제작하였다. 그 측정 결과, 그림 9와 같이 150 kHz~1 MHz 대역에서 무대책시보다 20 dB 이상 전도성 노이즈를 저감시켰으며, 5 MHz~30 MHz 대역에서는 10 dB 이상 전도성 노이즈를 감소시키면서, CISPR Pub. 22 규격을 만족하였다.

3-3 EFT 특성

본 논문에서는 IEC에서 규정하고 있는 전자파내성 항목중 IEC 61000-4-4(과도전압) 측정 방법에 따라 HP사의 EMC Analyzer(HP8591EM), Tektronix

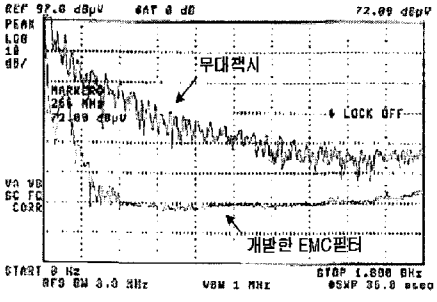


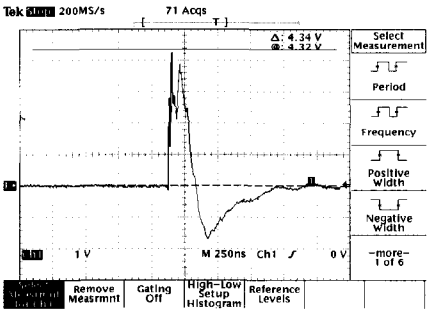
그림 10. IEC61000-4-4의 레벨 4에서 내성 테스트의 측정결과(주파수 영역)
Fig. 10. The measured results of immunity test at level 4 of IEC61000-4-4(Frequency Domain).

TDS 340A(100MHz, 500Ms/s)와 burst-generator (EMVSystem SFT4000)를 이용해 측정하였고, 이때 IEC 61000-4-4에 EFT테스트 펄스 파형은 식 (7)에 의해 얻을 수 있다.

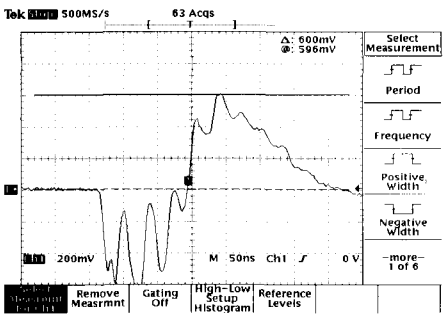
$$V(t) = A\ V_p(1 - e^{-t/t_1})\, e^{-t/t_2} \qquad (7)$$

더불어, EFT/Burst 테스트에 대한 IEC 61000-4-4에 서술된 테스트 파라미터들은 참고문헌 [7]에 설명되어 있다. A가 정수일 때, V_P는 t_1=3.5 ns, t_2=55.6 ns에서 개방회로 전압의 최대 값을 가진다.

그림 10은 Frequency Domain에서 보기 위하여 HP사의 EMC Analyzer(HP8591EM)와 EMC Analyzer(HP8591EM)를 이용하여 무대책시와 제작한 광대역 EMC 필터를 삽입한 경우에 IEC 61000-4-4의 level 4를 인가한 경우의 측정 결과이다. 그 결과, 그림 10에 나타난 것과 같이 0 Hz~1.8 GHz 대역에



(a) 필터가 없는 경우
(a) Without filter



(b) 제안된 필터의 경우
(b) With proposed filter

그림 11. IEC61000-4-4의 레벨 4에서 내성 테스트의 측정결과(시간 영역)
Fig. 11. The measured results of immunity test at level 4 of IEC61000-4-4(Time Domain).

서 일반 전원선에 과도전압을 인가하였을 경우보다 10~30 dB 감쇠되는 특성을 얻을 수 있었다.

그림 11은 Time Domain에서 관측하기 위하여 Tektronix TDS 340A(100 MHz, 500Ms/s)와 burst -generator(EMV-System SFT4000)를 이용하여 무대책시와 개발한 EMC 필터를 연결하고 IEC 61000 -4-4의 level 4를 인가한 경우의 측정(1/1000 프로브를 사용)결과이다. 측정 결과 그림 11(a)에 나타난 것과 같이 IEC 61000-4-4의 level 4에서의 4 kV의 과도전압을 인가하였을 때, 무대책시보다 개발한 EMC 필터의 과도전압이 그림 11(b)와 같이 600 V로 1/6 이하로 감소하는 특성을 얻을 수 있었다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 기존의 노이즈 필터의 소자로 사용되는 커패시터와 commmon mode choke coil을 PDP의 임피던스에 맞게 최적의 소자값을 구하여 설계하고, 필터의 광대역화와 EFT 대책을 위하여 관통형 커패시터와 높은 투자율을 가지는 Ni-Zn 페라이트 비드를 사용하는 EMS 필터를 설계하여 앞서 제작한 노이즈 필터와 결합시킨 형태의 PDP용 광대역 EMC 필터를 설계하였다.

그 결과, 차동·공통 모드의 경우, 삽입 손실은 10 MHz~1.5 GHz의 넓은 주파수 대역에 걸쳐 40 dB~70 dB의 우수한 감쇠특성을 나타내었으며, 기존의 필터보다 10 dB~20 dB 감쇠하였으며, 또한 CISPR Pub. 22 규격을 만족하는 우수한 필터이다. 그리고, 과도전압의 경우에는 IEC 61000-4-4에서 규정하는 level 4를 인가하였을 때 6배 이상 감소하는 특성을 나타내었다.

참 고 문 헌

[1] 한국표준과학연구원, 전자파장해 측정 및 극복 기술개발, 과학기술처, pp. 1-4, 1996년.

[2] 김형근, 배대환, 민경찬, 김동일, "EFT IEC 801-4대책 전원 케이블의 개발에 관한 연구", 한국항해학회, pp. 107-114, 1995년.

[3] F. D. Martzloff, T. F. Leedy, "Electrical fast transients, application and limitation", *IEEE Trans Industry Applications*, vol. IA-26, pp. 151-159, Jan./Feb. 1990.

[4] *C63-Electromagnetic Compatibility*, New York : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1989.

[5] *IEEE Standard Collection Electromagnetic Compatibility*, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1992.

[6] M. Lutz, J. P. Lecury, "Electrical fast transient IEC 801-4. susceptibility of equipment and systems at higher frequencies and voltages", *Proc IEEE International Symp EMC*, pp. 189-194, 1992.

[7] Henry W. Ott, N*oise Reduction Techniques in Electronic Systems*, John Wiley & Sons, pp. 137-157, 1988.

[8] Yoshiyuki Naito, "Formulation of frequency dispersion of ferrite permeability", *IECE of Japan*, vol. J59-C, no. 5, pp. 297-304, May 1976.

[9] V. Prased Kodal, *Engineering Electromagnetic Compatibility*, IEEE press, pp. 171-176, 1996.

[10] *IEEE Guide on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage AC Power Circuit*, IEEE C 62.45-1987, New York : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1987.

[11] F. D. Martzloff, T. M. Gruzs, "Power quality site surveys: facts,fiction and fallacies", *IEEE Trans Industry Applications*, vol. 24, pp. 1005-18, Nov./Dec. 1988.

[12] Richard Lee Ozenbaugh, *EMI FilterDesign,* Marcel Dekker, INC., pp. 56-100, 1996.

[13] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison-Wesley, pp. 458, 1990.

[14] 구동우, 배대환, 김동일, "전원선에서 다기능 EMC 필터 설계 및 특성에 관한 연구", 한국전자파학회 영남지부 전자파기술학술대회, pp. 51-54. 2001년.

김 동 일

1975년 2월: 한국해양대학교 항해학과 (공학사)
1977년 2월: 한국해양대학교 대학원 전파공학전공 (공학석사)
1984년 3월: 일본 동경공업대학원 전기전자공학과 (공학박사)
1975년 3월~1993년 9월: 한국 해양대학교 조교~부교수
1990년 3월 10일: 산학협동상 대상 수상
1993년 12월 11일: 한국전자파학회 학술상 수상
1995년 4월 21일: 과학기술진흥 대통령 표창 수상
1998년 9월 30일: 한국항해학회 우수논문상 수상
1993년 10월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 교수
2002년 1월~현재: 한국전자파학회 학회장
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발, EMI/EMC 대책 등

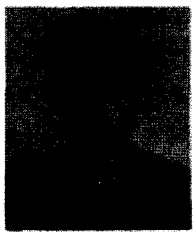
구 동 우

2001년 2월: 동의대학교 전자통신공학과 (공학사)
2001년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] EMI/EMC 분석 및 대책, 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계

양 은 정

2002년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
2002년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] EMI/EMC 분석 및 대책, 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계

김 도 연



2002년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
2002년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] EMI/EMC 분석 및 대책, 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계