

산업체 기고문

EMC 대책 기술의 현황

김 철 수

(주)이엠시스

I. 서 론

전기, 전자 관련 분야에 종사하는 개발자들은 EMC 문제도 함께 해결하여야 한다. 제품 개발 과정도 쉽지 않은데, 잘 알지 못하는 EMC 문제도 해결해야 하는 어려움을 안고 있다. 최근 들어 기후 온난화 문제와 더불어 녹색 성장, 신, 재생 에너지 등에 대해 정부에서 대대적인 지원 책과 더불어 많은 기업들의 관심이 증폭되고 있으며, 태양광, 풍력, 지열 관련한 신 에너지와 관련하여 인버터 관련 고효율, 저전력 기기와 LED 조명등에 대한 관심과 참여가 급속하게 증가되고 있다. 이런 새로운 기기들은 지속적으로 나오게 될 것이고, 제품 개발자들에게는 EMC 문제 해결에 더 많은 고통을 줄 것이다. EMC 문제를 해결하고 있는 개발자들의 입장에서 EMC 대책의 현황과 애로 그리고 어떠한 방법으로 접근해야 하는지에 대해 생각해 보기로 한다.

II. 본 론

2-1 EMC 대책 왜 어려운가

10년전 EMC 관련 대책 장비 아이টে으로 창업하기 위해 전력 전자 관련업체 수십 개사를 방문하여 대리~임원급 개발 엔지니어를 대상으로 노이즈 대책과 관련한 설문 조사를 실시하였다. EMC 관련 대책장비 개발을 만들고자 한 목적은 개발자가 EMC 개념을 이해하고 경험이 축적되면 승진 시기를 맞게

되고, 그 업무는 후임자에게 넘어간다. 이로 인하여 후임자는 전임자와 같은 길을 반복하게 되어 EMC 대책에 대한 기술과 경험이 축적되지 않아 EMC 대책에 대한 어려움이 지속적으로 반복된다. 이러한 문제 해결을 위해 경험이 부족하더라도 장비를 이용하여 노이즈의 측정과 분석을 통하여 노이즈가 해석되고, 과학적인 접근으로 하여금 EMC 문제를 손쉽게 해결할 수 있으면 개발자들에게 많은 도움이 되겠다는 생각으로 대책 장비를 만들 계획이었다. 따라서 고객의 요구를 최대한 적용하고자 EMC 대책에 소요되는 시간과 어려움과 요구 사항 등에 대한 설문 조사 결과를 보면 EMI 대책에 소요 시간으로는 유사 모델의 경우는 1~2주(59%)가 소요되었으나, 신제품의 경우 1개월 이상(29%)이 소요되었으며, EMI 대책이 어려운 부분으로는 전도, 방사 노이즈 대책 모두가 어렵다가 47%, 그 중에서 전도 노이즈 대책이 더 어렵다는 11%였으며 방사 노이즈 대책이 더 어렵다가 37%였다. 대책이 어려운 이유에 대한 설문에는 경험 부족 45%, 계측기가 없어서 30%, 적당한 대책 부품이 없어서 15%, EMI TEST 장비의 필요성에 대해서는 95%가 필요하다고 했으나, 계측기가 없는 회사는 88%였으며, 이유는 계측기가 너무 비싸서(당시는 전량 수입에 의존)였으며, EMI 측정 장비의 적절한 가격은 2,000만원대(47%)가 가장 많았으며, 3,000만원대 이상은 16%였다. Common mode noise 와 differential mode noise 신호를 분리하는 기능을 보겨

나 들어본 적은 있는가라는 질문에 없다가 100%, 분리 기능에 대한 제품이 필요한가에 대한 질문에 필요하다가 100%였다. 위의 설문 조사 결과와 같이 노이즈 대책에서는 많은 경험이 필요한 것으로 인식하고 있음을 알 수 있다. 또한 고가의 장비 구입의 어려움으로 인하여 중소기업에서의 EMC 대책은 매우 어려운 환경에서 대책이 이루어졌었다. 이후 이 엠시스와 LIG 넥스윈의 장비 국산화와 더불어 다소 해소되고 있는 실정이나 대책 기술에 있어서는 아직도 경험에 의존하고 있는 실정이다. 10년전과 비교하여 대책 기술이 크게 변화되지 않는 것은 중소기업의 경우 대부분 EMC 전담자가 없으며, EMC 대책 업무는 주 업무가 아닌 일시적인 업무로 인식하고 있으며, 이런 구조적인 문제 등으로 교육시 적극적이지 못하며, 기회가 있으면 어려운 골치 아픈 EMC 문제를 후임자에게 인계시키려 하는 등 EMC 대책 기술에 대한 수용 의지가 적극적이지 않다는 것이다.

2-2 EMC 기술교육의 문제점과 방향

EMC 분야에 종사하거나 개발 분야에 오랫동안 근무한 개발자들에게 EMC 문제는 이론적으로는 어렵고 경험만이 해결할 수 있다고 믿는 사람들이 의외로 많은 편이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 여러 기관에서 EMC 대책 기술 교육을 실시하여 오고 있다. EMC 기술지원센터를 비롯하여 중소기업연수원, 연구소, 학회, 학교, 사설 교육 기관 등에서도 기초 과정에서부터 실무 사례 과정까지의 다양한 EMC 기술 교육 과정은 개발자들에게 많은 도움이 될 것이다. 그러나 위에서 말한 개발자들이 안고 있는 구조적인 문제로 인하여 교육의 효과가 크게 나타나지 않는 것이 현실이다. 교육 내용에 있어도 수강자가 요구하는 실무적인 내용과의 거리감이 있다. 기초와 경험이 부족한 상태에서 EMC 문제를 단기간의 교육으로 문제 해결을 바라는 개발자와 원리, 개념,

사례 등의 교육을 통하여 스스로 문제를 해결할 수 있는 능력을 길러주는 교육 내용과 거리감이 있는 것이다. 이것은 전기, 전자 관련 분야 전공자가 대부분인 개발자 입장에서는 EMC 분야는 기초에서부터 어려움을 느낀다. 보통 1일에서 5일 과정까지 개설되는 EMC 대책 과정의 수강자에게 전달 과정에 대해 질문해 보면 내용을 이해하거나 기억하고 있는 인원은 불과 20% 이내로 교육에 대한 이해가 매우 부족하였으며, 그 이유에 대해 질문하면 EMC는 어렵다는 것이다. 교육 후 활용되는 대책 방법에 대한 예를 들면 교육과정에서 대책 사례로 대책 필터 회로가 있으면 그 회로를 본인의 개발 제품에 적용해 보는 것이다. 물론 대책은 되지 않고 고민만 커질 것이다. 또한 교육 내용도 결과에 대한 회로만 나와 있지 그 회로 설계에 대한 해석은 거의 없다. 결국 경험에 의해 대책하고 경험만을 요구하는 것은 아닌가? 수강자들은 EMC 기술 교육은 어렵는데다 교육분량이 너무 많다고 생각하고 있다. 수강자들이 소화할 수 있도록 많은 분량의 교육보다 반복적인 교육과 쉽게 설명하며 실험까지 연계하여 한가지라도 정확하게 알고 실무에 활용가능하도록 하는 것이 더욱 중요할 것으로 생각되며, 교육도 기초 단계에서 고급 단계의 과정까지 교육 내용에 대해 좀더 세분화 하고 과정 설명이 상세해야 될 것으로 생각된다. 그리고 개발자들도 EMC 문제와 떨어질 수 없는 환경에서 생각을 바꾸어야 할 때라 본다. EMC 문제는 설계 과정의 필수이며 EMC 대책 기술 보유만이 제품 설계를 단축시킬 수 있는 경쟁력으로 인식해야 하며, 향후 전문 교육 과정이나 대학에서 EMC 과정을 개설하여 EMC 기초와 개념에 대한 교육이 활발하게 이루어져 개발자들이 개발 과정에서 EMC 문제에 대하여 좀더 쉽게 접근할 수 있도록 관련자들의 노력이 필요할 때이며, 특히 EMC 전문가가 매우 부족한 우리나라의 현실로 볼 때 국내 대학원에서도 EMC 전문 인력 양성의 활성화가 요구된다.

2.3 대책 기술의 현황

전도노이즈 대책 기술의 핵심은 filter의 설계 기술이다. 필터 업체나 개발자들의 다수는 대책이 될 때 까지 부품의 값을 변화시키는 경험적인 방법으로 부품을 조합하여 구성한다. 실제 주위에서 발생하는 기초적인 EMC 문제와 실제 접근해야 할 방법에 대해 생각해 보고자 한다.

2.3.1 주위 환경에 대응

수년 전 대기업에서 생산하여 미국에 수출한 모니터가 전도 노이즈 규격치를 넘어 전량 회수하여 재 작업한 일이 있었다. 원인을 분석해본 결과, 전원 라인의 입력단에 있는 filter의 capacitor가 파손되거나 용량 감소 등의 다양한 문제가 발생되어 회수한 바 있었고, 수개월 후 다른 대기업에서도 같은 문제가 발생되었다. 발생 원인을 분석한 결과, 그 원인은 생산 현장에 있었다. 컨베이어 라인의 이동 과정에서 전원을 인가하여 각종 검사를 시행하게 된다. 컨베이어는 정지, 동작이 반복되고 이때 전원에 발생하는 서지성 고전압으로 인하여 입력단에 연결된 필터의 입력 capacitor를 파괴시켜 버린 것이다. 개발자들은 제품만이 아닌 생산 환경과 사용 환경까지 고려한 설계와 기술 지도가 필요한 시대였다. 이러한 경우 전원 라인용으로 사용되는 콘덴서는 X1, X2 또는 Y1, Y2급으로 안전규격 승인을 획득한 부품을 사용해야 하며, 생산 과정 중 내압 시험에서는 고전압이 인가된 상태에서 시험하지 않으며, 전압을 0에서부터 150 V/s 보다 천천히 시험 전압까지 올린 후 시험하여야 한다.

2.3.2 로드 변화에 의한 노이즈 발생

시스템의 노이즈 시험 중 stand by 상태와 정상 load 상태에서 발생하는 노이즈는 달라진다. 물론 stand by 상태보다 정상 load에서 노이즈는 증가된다. 이 경우, 개발자들의 생각은 load가 걸리면 노이즈 발생도 함께 증

가된다고 생각한다. 이유로는 load에 의해 소스 임피던스가 변화되고 이로 인하여 필터 특성도 변화되었기 때문이다. 노이즈의 크기는 전압의 크기에 의하여 결정된다. Common mode noise의 크기에 대해 예를 들어 보면 AC 220 V 입력에 스위칭 주파수가 150 kHz이고 heat sink와 ground간의 분포용량이 30 pF이고 할 때 발생하는 노이즈의 크기는 $220 \times \sqrt{2} = 311$ V 여기에서 오버슈트를 고려하면 약 500 V = 174 dBuV 정도로 큰 노이즈가 발생된다. 그러나 이때 LISN의 임피던스는 17 Ω (35 Ω/2)이고, limit line이 67 dBuV 이면 LISN의 임피던스에 의한 분배율 -66 dBuV가 저감되어 103 dBuV가 된다. 여기서 limit line 67 dBuV를 빼면 실제 150 kHz에서 common mode noise는 36 dB 이상만 저감시키면 된다. 앞에서 말한 로드 증가와 발생 노이즈 크기와는 관련이 없이 크기는 결정되어 있는 것이다. 노이즈 대책에 사용하는 필터 선택의 경우도 마찬가지이다. 노이즈 저감이 필요한 대역에서 가장 좋은 특성을 가진 필터를 선택하여 적용하여 보나 그 결과는 만족스럽지 못할 것이다. Filter spec에 나와 있는 특성만큼 노이즈가 줄어지지 않으며, 특정 주파수에서 노이즈가 증가하는 현상도 발생할 것이다. Filter spec과 같이 노이즈가 저감되지 않는 경우는 필터의 특성은 50 Ω의 impedance에서 측정하는 것이며 기기의 impedance는 전혀 다르기 때문이다. 제공되는 필터의 특성은 필터를 연결하지 않았을 때 (V1)와 필터를 연결했을 때 (V2)의 출력 차이를 $20 \log \frac{V1}{V2}$ (dB)로 나타낸 값으로 이런 문제를 예측하기 위하여 CISPR17의 측정 개념은 mode별로 balun을 사용하여 50 Ω impedance 외에 0.1 Ω과 100 Ω 그리고 100 Ω과 0.1 Ω 임피던스에서도 특성을 측정하도록 되어 있다. 이것은 실제 사항에서의 임피던스 변화에 의해 특성을 예측하기 위함으로 볼 수 있다. [그림 1]에서 DM mode로 설계된 filter를 이용하여 입·출력 임피던스에 의해 변화되는 특성을

100 kHz에서 비교해 보면 50 Ω : 50 Ω의 경우 필터링 특성은 거의 없으며, 100 Ω : 1 Ω에서는 noise level이 10 dB 증가하게 되며, 1 Ω : 100 Ω에서는 35 dB 저감 되는 것을 볼 수 있다 이것이 로드 변화에 대해 필터 특성도 변함을 알 수 있는 것이다.

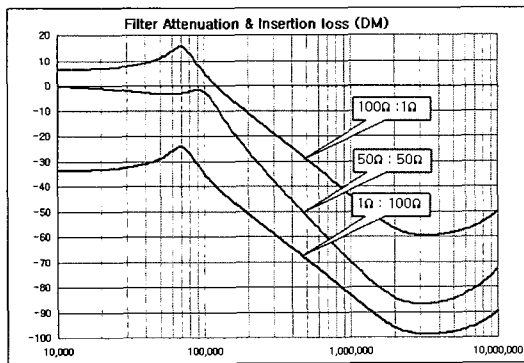
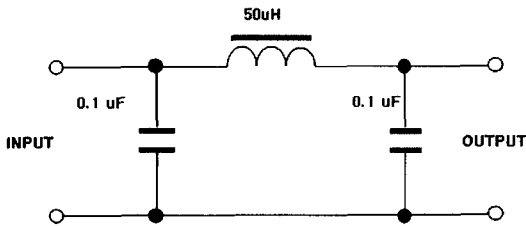
2-3-3 필터에 의한 발생하는 전압의 승압

필터는 공진, 전압 감소, 전압 승압 등 문제를 야기시킬 수 있다. 전압의 승압은 주로 400 Hz 전원 시스템 등 전원 주파수가 높을 때 잘 일어난다. 몇 년 전 방산업체에서 필터 업체에 의뢰하여 구성된 필터가 특성을 만족하지 못하고 시간이 지나도 해결이 되지 않아 자문 요청으로 시험 현장을 방문하게 되었다. AC110V 400 Hz 시스템으로 어떠한 필터로도 노이즈가 줄지 않는다는 것이다. 적용된 필터 회로를 살펴보고는 시스템에 인가되는 전압을 확인해 보라고 했다. AC110V 시스템에 인가되는 전압은 135 V

정도로 상승되어 있었다. 책임자의 얼굴은 사색이 되다시피 하였고, 다행히 수십억원의 시스템이 파괴되지 않았다. 이러한 문제는 필터 L이나 C의 증가로 400 Hz의 10배인 4 kHz이내 영향을 주면 전압이 증가되어 노이즈 레벨도 증가되고, 노이즈를 줄이기 위해 다시 L이나 C의 증가로 이어져 노이즈는 줄지 않고 전압만 상승시키는 것을 반복하기 때문이다.

2-3-4 시스템의 소스 임피던스 분석

노이즈 대책에 있어서 임피던스의 해석은 필터 설계와 노이즈 해석에서 매우 중요하다. 그러나 AC 전원이 인가되는 기기의 경우 작동 상태에서 임피던스를 구하는 것이 쉽지 않다. 전원 라인에서 common mode noise와 differential mode noise의 source 임피던스를 분석하기 위하여 노력한 결과, 그 방법에 대한 연구한 결과를 2003년 국방과학연구소에서 주관한 제1회 EMI/EMC 워크샵에서 발표한 바 있다. 내용을 간략하게 살펴보면 CM/D mode 분리가 가능한 EMI analyzer(EA-2100)를 이용하여 DM mode 또는 CM mode에서 filter 회로가 없는 상태에서 noise level을 측정하고 CM mode의 경우 common coil, DM mode에서는 X-capacitor를 이용하여 저감된 노이즈와 적용된 부품의 임피던스를 이용하여 source를 분석하는 방법이다. [그림 2]와 같이 DM mode에서 0.47 uF를 추가하고 노이즈 저감 특성을 보면 capacitor의 특성이 그대로 나타나게 된다. 측정 데이터와 같이 DM mode 200 kHz에서 측정된 레벨이 87 dBuV이고, X-capacitor 0.47 uF를 추가했을 때 200 kHz에서 72 dBuV로 15 dB가 감소되었다면 사용한 0.47 uF capacitor가 200 kHz에서 impedance가 얼마인지를 측정하고, 측정된 결과가 1.7 Ω이라면 $20\log \frac{Z_n}{z_c(200 \text{ kHz})} = \frac{9.6}{1.7} = 15 \text{ dB}$ 로 source impedance(Zn)은 9.6 Ω이 된다. Common mode의 source impedance는 common coil를 이용하여 (Zn)을 구할 수 있다. 통상 SMPS의 경우



[그림 1] 입·출력 임피던스 변화에 따른 필터링 특성 변화

DM Zn은 수 Ω~수십 Ω CM Zn 의 경우 수백 Ω~수 kΩ 정도가 된다.

2-3-5 CM/DM Mode에 대한 개념

전력 전자를 전공하는 박사과정의 학생이 필터 설계에 대해 문의하기 위하여 당사에 방문한 적이 있었다. 필터 설계는 common mode noise와 differential mode noise에 대해 각각의 설계가 필요하기 때문에 모드에 대한 개념에 대해 질문해본 결과, common mode noise는 라인과 그라운드에 존재하는 노이즈 differential mode noise는 라인과 라인간에 존재하는 노이즈라고 알고 있었고, SMPS 관련 경력자들에 대한 교육에서 common mode와 differential mode에 대한 개념 설명 부분에서 같은 질문을 해 보았다. 그라운드가 없는 아답터의 경우 어떤 모드의 노이즈가 발생되나라는 질문에 대부분은 고민하고 있고 한 사람만이 자신있게 대답했다. Differential mode만이 존재한다고 그래서 다시 질문해 보았다. 그 아답터에는 common coil이 없느냐? 당연히 그 아답터에는 common coil이 내장되어 있었다. Noise 레벨은 LISN을 이용하여 측정한다. 기준이 되는 LISN은 그라운드와 capacitor를 통해 전달된 노이즈를 측정한다. LISN에서 보면 그라운드를 기준하여 동상의 노이즈와 역위상 노이즈가 존재하는 가이다. 그라운드가 없는 아

답터의 경우에도 두 가지 모드의 노이즈가 존재하는 것이다. CM/DM mode noise의 분리는 [그림 3]의 EMI analyzer를 이용하여 확인해 볼 수 있다.

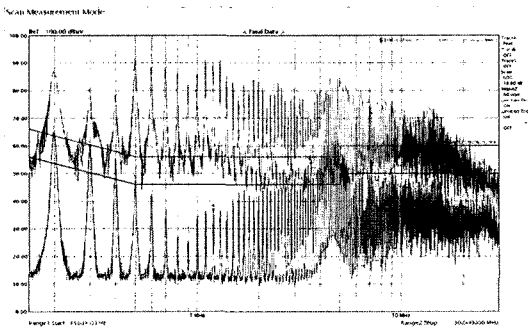
2-3-6 CM L 값과 DM L 값 구하기

개발자들은 발생된 노이즈에 대해 L이나 C를 이용하여 요구되는 만큼의 노이즈가 줄어들길 바라고 그 값을 알고 싶어 한다. 따라서 L값이나 C값을 계산할 수 있으면 매우 편리할 것이다.

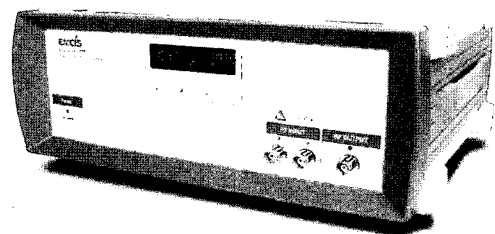
기준이 되는 값을 찾으면 쉽게 요구되는 용량을 계산할 수 있다. 우선 측정 대역 중 가장 낮은 주파수 대역에서 발생하는 노이즈가 200 kHz이고, source impedance Zn값이 1 kΩ이라면 기준 CM mode에서 기준 $L = \frac{Z_n}{2\pi f}$ 으로 -3 dB기준 L값은 0.8 mH가 된다.

이 기준 L값 0.8 mH를 이용하여 200 kHz에서 -20 dB를 저감시키려면 $20\log \frac{0.8 \text{ mH}}{8.0 \text{ mH}} = -20 \text{ dB}$ 가 된다. DM

mode에서 기준 $C = \frac{1}{2\pi f Z_n}$ 으로 Zn값이 10 Ω이라면 0.08 uF이 되고, 이 기준 C값을 이용하여 원하는 레벨까지 노이즈를 저감시키는 C값을 계산할 수 있다. 여기에서 인덕턴스 L의 측정 방법은 일반적으로 사용하는 1 kHz에서 하지 않도록 하여야 한다. 인덕턴스의 측정에 관한 규정은 DIN(VDE)0565-2에 나와 있으며, 이 규정에 의해 측정하여야 정확하고 전압이나 전류의 인가 레벨의 변화에도 영향을 받지 않는다. 이 규정은 인덕턴스의 값에 따라 다른 주파수



[그림 2] DM mode에서 0.47 uF 연결 전, 후 노이즈 레벨

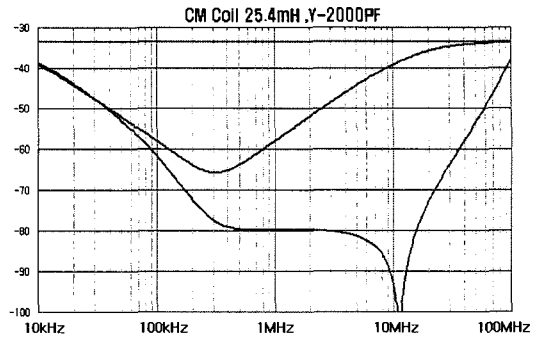


[그림 3] DM,CM mode noise 분리 기능의 EMI analyzer

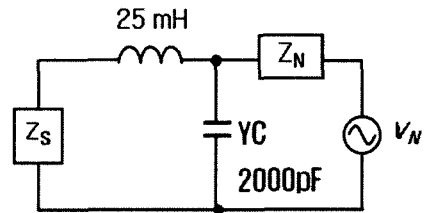
에서 측정하도록 규정하고 있다. 1 mH 이상의 L값은 16 kHz에서 측정하여야 10 uH에서 1 mH 이하는 160 kHz 그리고 10 uH 이하에서는 1.6 MHz에서 측정하여 한다.

2-3-7 Filter 설계 개념

Filter의 설계를 위해서는 안전 규격에 대한 이해와 전원의 입력단에 적용되므로 전원 공급에 대한 신뢰성이 확보되어야 한다. 이것은 열 문제를 포함한 정격에 대한 정확한 이해가 필요하며, 필터링 특성을 위한 설계는 노이즈 개념 및 발생 노이즈 분석과 입·출력 임피던스 분석 및 이해와 노이즈 저감 원리(필터 회로 구성)의 이해 그리고 적용 부품의 특성에 대한 이해 및 적용 방법 그리고 부품 배치 및 기구 구조에 의한 특성 이해, 그라운드에 따른 특성 변화에 대한 이해 등이 요구된다. 좀 더 쉽게 설명하면 미스매칭 기술이다. 입·출력 임피던스를 기준으로 얼마나 미스매칭을 시키는가이다 이 미스매칭을 위해 저임피던스 갖는 콘덴서와 고임피던스를 갖는 코일을 이용하는 것으로 CM mode filter의 기본 구성은 CM_L과 Y-capacitor로 구성되며, CM_L은 발생 노이즈의 가장 낮은 주파수를 기준하며, YC 값은 CM_L의 특성이 떨어지는 고주파 부분의 특성을 보완한다. 여기서 [그림 4]와 같이 간단한 CM mode용 L형 filter 설계를 설계해 보면 입력 임피던스(LISN) Z_S= 21 Ω이고 source 임피던스 Z_N=1 kΩ 코일의 RP=40 kΩ이다 CM coil의 분포 용량 Cs=10 PF이고 Y-capacitor의 리드인덕턴스 YC_L=100 Nh, YC_R=0.1 Ω일 때 200 kHz에서 30 dB를 저감시키기 위한 필터를 설계하고자 하면 우선 기준 L값을 구한다. 기준 L값이 0.8 mH 일 때 $20\log \frac{0.8 \text{ mH}}{25.0 \text{ mH}} = -30 \text{ dB}$ 로 CM L값은 25 mH로 계산된다. Y-capacitor 용량은 결정은 $20\log = \frac{Cs}{Yc} = 20\log \frac{10 \text{ pF}}{2000 \text{ pF}} = -46 \text{ dB}$ 가 저감된다. 46 dB가 저감 위치는 Y-capacitor의 공진주파수 12 MHz의 1/10 주



(a)



(b)

[그림 4] CM mode filter의 특성과 회로

파수인 1.2 MHz 대역에서의 값이다. 위의 경우 Y-capacitor로 인하여 200 kHz에서 목표보다 6 dB 이상 마진을 가지게 되었다. 이럴 경우 $25 \text{ mH}/2=12.5 \text{ mH}$ (-6 dB)하여 L값을 줄일 수 있다.

III. 결 론

현장에서 일어나는 문제점과 EMC 대책 기술의 현황의 일부에 대해 그간 느낀 점에 대하여 기술해 보았다. 개발자들은 빠른 시간에 저비용으로 문제를 해결하고 싶어 한다. 그러나 새로운 기기들의 지속적인 등장과 더불어 소형화, 밀집화되고 있는 기기들에 적극 대응할 수 있는 부품의 개발과 대책 기술이 요구된다. 이러한 문제를 해소하기 위하여 기존의 경험에 의존하던 노이즈 대책 기술이 과학적인 방법으로 전환되어 가고 있다. 이제 노이즈 대책 업무를 담당하는 개발자 입장에서의 EMC 대책 교육과정과

아울러 부족한 전문가의 양성 등을 위해 EMC 분야에 종사하는 학교, 연구소, 업계의 노력이 필요할 때라 생각된다.

참 고 문 헌

[1] 김철수, 박병권 역저, EMI 필터의 설계와 응용.

≡ 필자소개 ≡

김 철 수



아주대학교 경영대학원 (경영학석사)
1980년~1983년: LG전자 중앙연구소 비
디오사업부
1984년~1986년: 나우정밀 중앙연구소
1988년~1999년: 동일기연 기술연구소
1999년 1월 1일~현재: (주)이엠시스 대
표이사