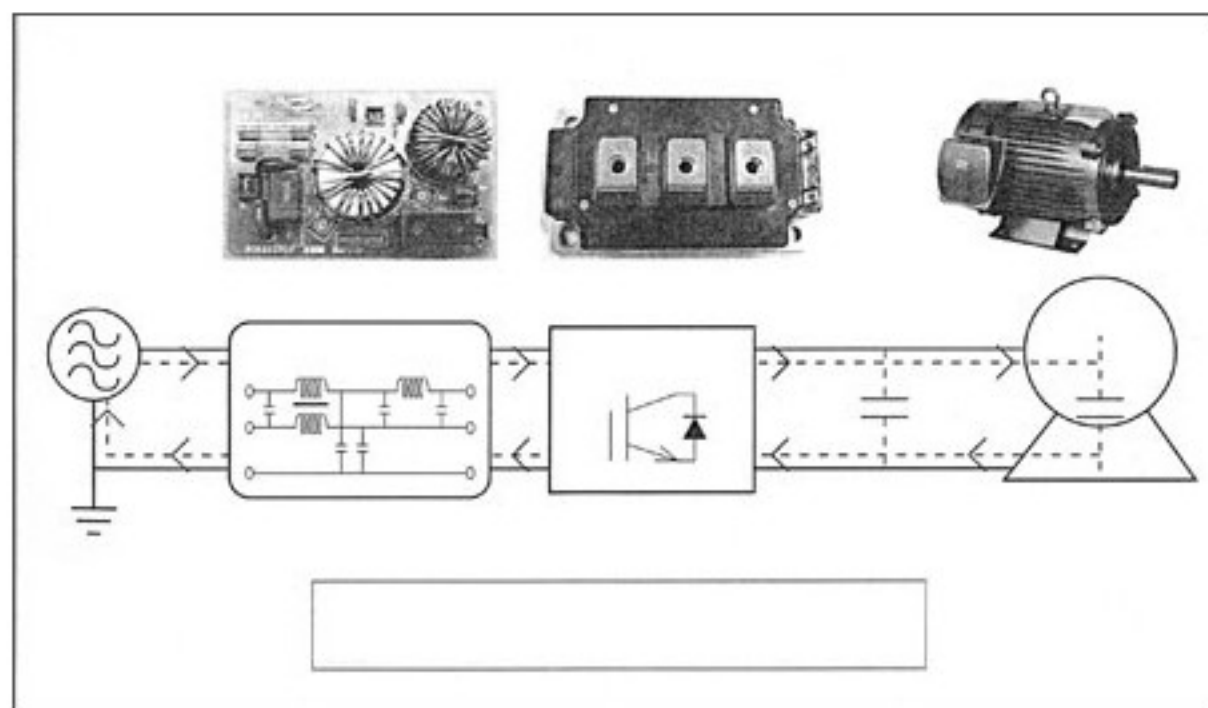


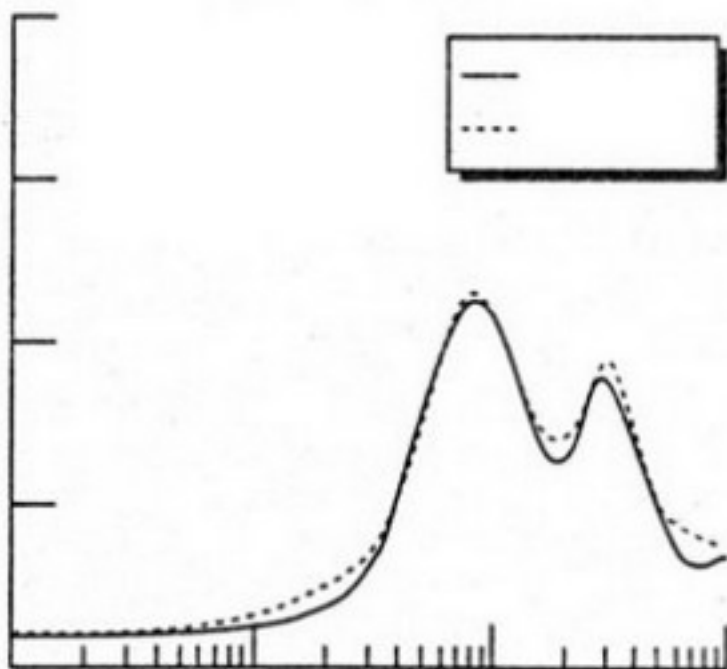
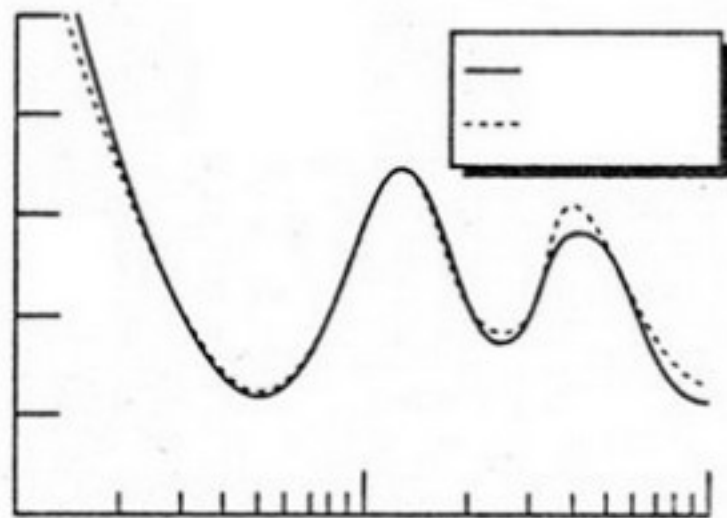
전력변환회로의 전자노이즈발생 원리와 제어기술개요산업기기에서 가전·통신기기에 이르기까지 전력변환회로의 중요성은 더욱 높아지고 있다. IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 등 파워디바이스를 이용한 전력변환회로에서는 전도성과 방사성의 EMI(Electromagnetic Interference) 노이즈가 발생해, EMC(Electromagnetic Compatibility) 규격이나 다른 기기에 장해 문제를 일으킬 가능성이 있다. 제품화 단계에서 전력변환회로에 기인하는 EMI 노이즈로 고생한 경험이 있는 기술자도 많다.본고에서는 인버터 기기의 EMI 노이즈에 대한 영향, 시뮬레이션 기술, 노이즈 필터 설계기술(패시브, 액티브)에 관해 설명한다.인버터 기기로부터 발생하는 전자 노이즈를 시뮬레이션하는데 있어서 발생원으로 IGBT의 스위칭 모델에 관해 설명한다. 스위칭의 주파수는 보통 10kHz 정도인데 시동과 정지 시간은 100ns 정도이기 때문에 고조파 노이즈가 발생한다. 전도 노이즈를 해석할 때는 SPICE(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)에 기초해 각 소자의 등가회로를 작성했다.

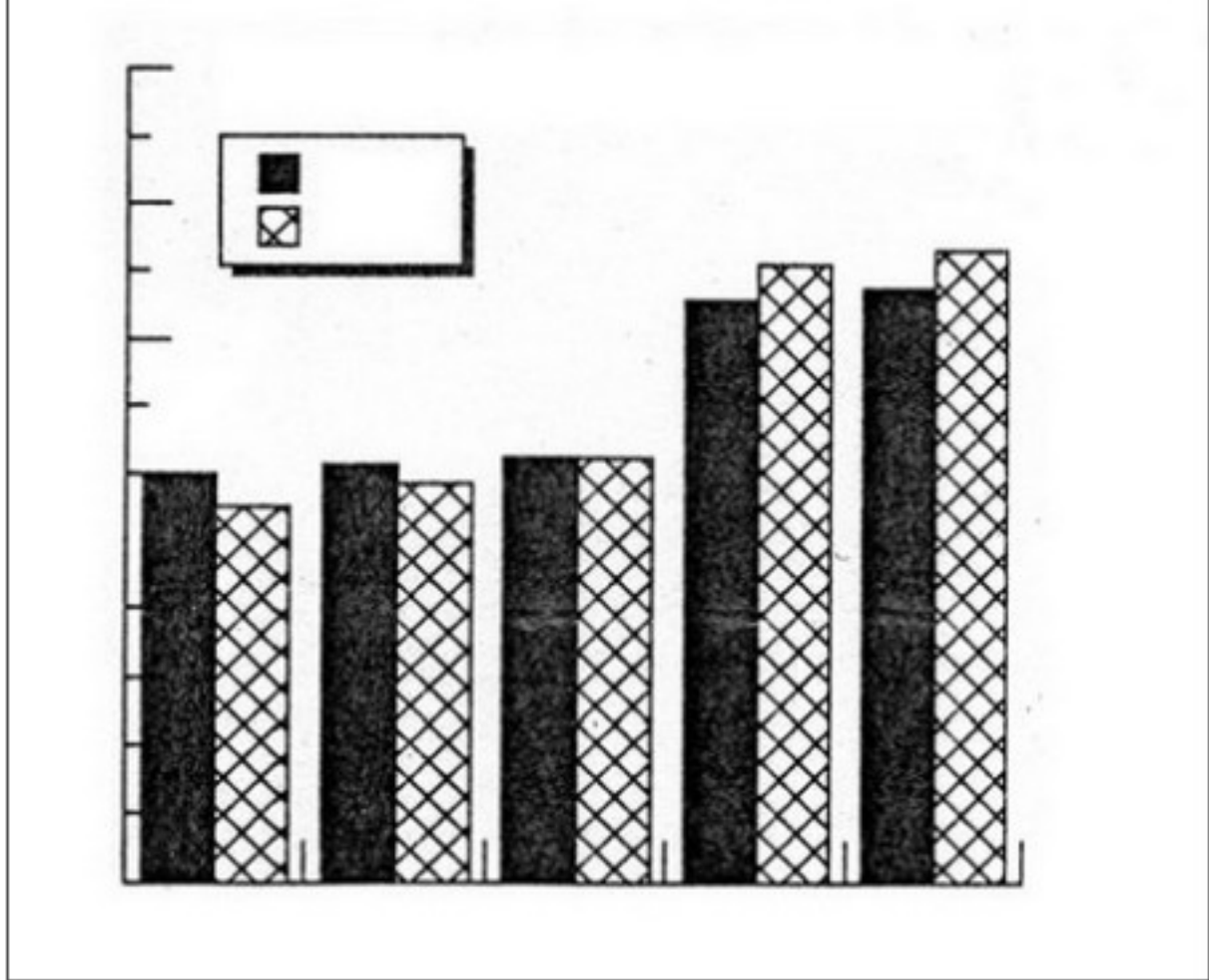


한편, 발생한 노이즈를 저감시키기 위해서는 노이즈 필터를 설계하는 것이 중요하다. 본고에서는 기존 패시브 노이즈 필터의 설계지침에 관해 설명하면서 동시에 노이즈를 역상 전압을 통해 부정하는 액티브형 필터에 대해 제안한다.산업기기에서 가전·통신기기에 이르기까지 전력변환회로의 설계기술은 제품의 품질·비용을 결정하는 중요한 요소가 됐다. 최근 전자노이즈 EMC에 관한 규제가 강화돼 유럽의 경우 CISPR(Comie International Special Des Perturbations Radioelectriques(프랑스어) 등에 기초한 CE(Commuaute Europeene(프랑스어))마킹 취득, 북미의 FCC(Federal Communications Commission)규격 등의 인증이 해외로 제품을 출하하기 위해 필요하다. 일본 내에서도 규제 강화가 진행되고 있다.이와 같은 상황 하에서 전력변환회로로부터 발생하는 노이즈를 설계단계에서 시뮬레이션하고, 필터 구성 등을 확립하는 기술은 제품의 신뢰성 향상·비용 절감을 위해 더욱 중요한 기술이 됐다. 또한 노이즈의 필터링 기술에 관해서는 종래 패시브형 필터에 더해 액티브 소자를 이용해 역상 전압을 발생시킴으로써 노이즈를 부정하는 액티브 필터의 검토가 추진되고 있다.전자노이즈의 시뮬레이션1. 전자노이즈원의 모델화인버터 등의 전력변환회로에서 발생하는 전자노이즈원은 인버터를 구성하는 트랜지

스터나 환류 다이오드의 고속 스위칭 동작이다. 예를 들면 600V/150A의 IGBT 모듈로 인한 턴 온-턴 오프 파형을 <그림2>에 나타낸다. 이와 같은 턴 온-턴 오프 동작의 반복으로 전도노이즈의 크기가 결정된다. 최근 IGBT로 인한 스위칭 동작은 전압의 시동/정지 시간이 100ns 정도이기 때문에, 스위칭 동작을 다소 완화시켜도 전도 노이즈의 저감효과는 얻을 수 없기 때문에 노이즈 필터 대책이 불가결하다. 한편 방사노이즈에 대해서는 트랜지스터를 구동하는 게이트 저항 증가로 인해 특히 환류 다이오드의 역회복 시 진동이 억제되기 때문에 스위칭에 수반하는 손실은 증가하지만 방사노이즈가 저감되는 효과를 기대할 수 있다. 이러한 전자노이즈원의 모델화는 설계단계에서 전자노이즈를 예측하는 데 중요하며, 전도노이즈와 방사노이즈의 발생 요인의 특징을 반영시킨 해석 모델의 구축이 요구된다.

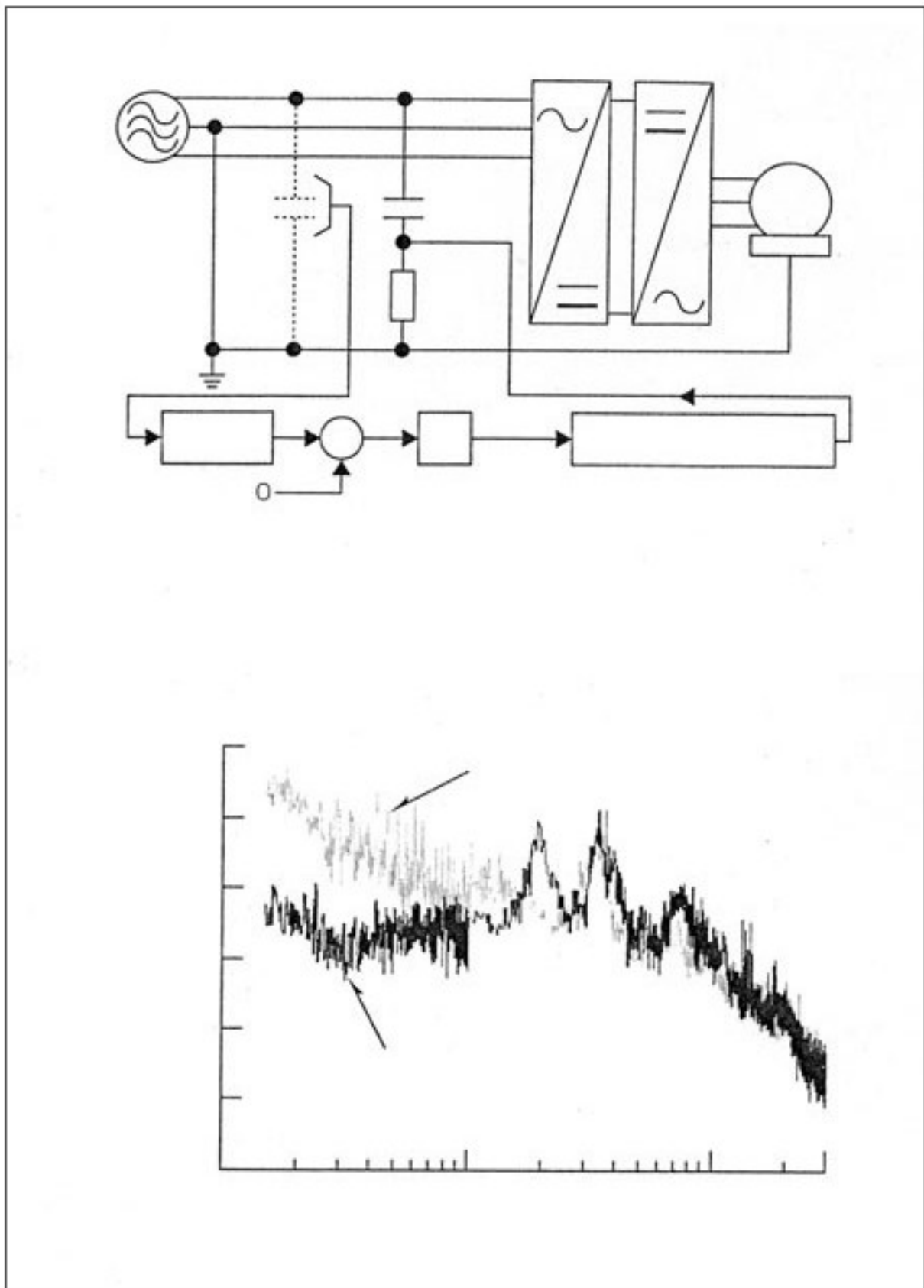
2. 전도노이즈의 해석인버터 기기의 EMI 노이즈 발생원은 파워디바이스의 스위칭 동작이며, 보통, 캐리어주파수는 10kHz 정도다. 전도성 EMI 노이즈는 각종 EMI규격에서는 150kHz부터 규정되는 경우가 많아 전도성 EMI 노이즈로 무엇보다 고려하지 않으면 안되는 것이 150kHz 부근 대역이다. 이 대역은 인버터 캐리어 주파수에 대해 고조파 차수도 낮고 스위칭 캐리어의 푸리에 고조파성분이 직접 보이는 대역으로 전도 노이즈(잡음단자전압)가 가장 많이 발생하는 대역이다. 이 대역의 전도노이즈를 억제하기 위해 보통, 노이즈 필터를 설치한다. 노이즈 필터의 사양을 결정하기 위해서도 이 대역의 노이즈 양을 추측할 필요가 있다. 여기서는 부하가 모터인 인버터 기기를 생각한다. 인버터 기기의 잡음단자전압의 일반적인 측정구성은 계통전압을 LISN(Line Impedance Stabilization Network)를 개입시켜 인버터 기기에 연결(그 사이에 노이즈필터가 있다), 출력 케이블을 연결해 부하(이 때는 모터)를 접속한다. LISN 출력은 스펙트럼 검광자 등을 이용함으로써 잡음단자전압을 계측한다. 회로 시뮬레이션으로 잡음단자전압을 계산할 경우 앞서서와 같은 구성의 등가회로 모델을 준비해야한다. 여기서 출력 케이블, 부하(모터)는 대지 간의 임피던스를 표현할 등가회로를 구축할 필요가 있다. 모터에 관해서는 <그림3>에 나타낸 등가회로를 가정했다. 대지 간 임피던스 특성, 위상특성을 <그림4>에 나타낸다.<그림4>의 임피던스 특성을 보면 저주파 영역(수십 kHz 이하)에서는 모터의 대지 간 임피던스는 용량으로 보이는 것을 알 수 있다. 이와 같은 (부유)용량은 모터 권선과 고정자(모터 함체) 간의 부유용량이며 모터 구조로 추측할 수 있다. 100kHz 이상에서는 몇 가지 공진 모드가 나타나고 있다. 이 영역에서는 모터권선 자체의 임피던스 특성이 크게 영향을 미치고 있다. 이와 같이 저주파에서는 용량성(권선-함체 간)으로 보이고, 고주파에서는 몇 가지 공진 모드가 보인다는 특성을 표현하기 위해 <그림3>와 같은 등가회로를 가정한 결과 <그림4>와 같이 실측 재현이 뛰어난 모델이라는 점을 확인했다. 앞서서와 같이 모터 모델을 이용해 또는 계통전원, LISN, 노이즈 필터, 인버터 구동 부분, 출력 케이블을 각각 모델화 하고 잡음단자전압을 회로 시뮬레이션을 이용해 계산할 수 있다. 출력케이블 길이를 파라미터로 한 경우 150kHz대 잡음단자전압의 계산결과, 실 측정 결과를 <그림5>에 나타낸다. 각각 케이블 길이의 해석결과는 수dB의 정밀도로 실측결과를 재현하고 있다. 케이블 길이 2m, 5m, 8m에서는 잡음단자전압에 커다란 차이를 볼 수 없지만 케이블 길이 50m와 실드케이블 30m에서는 10dB 이상 단자전압이 증가하고 있다. 이것은 케이블 길이 2m, 5m, 8m로 짧은 경우 단자 전압은 모터에 의존하고 있는 상태이고, 케이블 길이가 길어진 50m, 30m(실드)에서는 단자전압은 케이블 길이에 따라 결정된 상태라고 볼 수 있다.





모터의 대지 간 임피던스는 모터 구조에 따라 정해져있기 때문에 EMI 노이즈를 고려할 경우 모터구조도 중요한 요소이다. 케이블 대지 간 임피던스는 케이블의 구조, 길이로 어림잡아 계산할 수 있다. 주의할 점은 실드 케이블을 사용한 경우, 실드 금속 때문에 케이블의 대지 간 임피던스가 작아져, 실드가 없는 케이블에 대해 잡음단자전압이 커진다는 것이다. 이와 같이 단자전압은 인버터 기기의 케이블, 부하의 대지 간 임피던스에 의존하고 있기 때문에 케이블, 부하, 각각의 대지 간 임피던스의 대소를 고려할 필요가 있다. 이로 인해 대상이 되는 인버터 기기의 전도 노이즈를 계산할 수 있어, EMI 규정치로 제어하기 위한 노이즈 필터 설계, 케이블 길이를 연장한 경우의 영향 등을 추측할 수 있다. 노이즈 필터 설계1. 패시브 노이즈 필터인버터 기기는 EM규격을 고려할 경우, 노이즈 필터는 거의 불가결하다. 패시브형 노이즈 필터로는 보통 공통모드 코일, 대지 간 콘덴서, 상 간 콘덴서로 구성되는 이들 정수(특성)에 따라 필터 감쇠량이 정해진다. 노이즈 필터 설계로 원하는 감쇠량을 이론상 확보하는 것은 당연하지만 그것만으로는 불충분하다. 이 밖에 ① 설치위치 ② 코일코어의 자기포화 ③ 누설전류 등의 주의 점이 있다. 소형에 감쇠량이 큰 노이즈 필터를 구성하려고 작은 코어에 많은 턴 수를 감은 공통모드 코일을 이용하면 코일코어가 자기포화를 일으키는 경우가 있다. 발생하는 공통모드 전류를 예측해, 포화가 일어나지 않는 코어사이즈와 턴 수를 생각해야 한다. 노이즈 필터는 LC회로로 구성돼 있기 때문에 공진주파수를 갖고 있다. 이러한 공진주파수가 캐리어 주파수와 중첩된 경우에는 커다란 공통모드 전류가 발생하기 때문에 주의해야 한다. 일반적으로는 코일코어에 발생하는 자속은 공통모드 전류에서만 생각하는 경우가 많은데, 노멀모드(상용주파) 전류에서도 누설 인덕턴스로 인한 자속이 발생한다. 노멀모드는 전류치도 커서 코일코어에 발생하는 자속으로는 공통모드에서 발생하는 자속과 노멀모드의 자속을 합한 양으로 포화내력을 예측할 필요가 있다. 필터 감쇠량을 얻기 위해 대지 간 콘덴서를 크게 하는 방법도 있다. 그러나 용량을 크게 하면 저주파 누설전류가 커지기 때문에 상용전원의 구성을 고려해 문제가 발생하지 않는 여유있는 콘덴서 용량으로 할 필요가 있다. 누설전류는 대지 간 콘덴서 외에 부하(예를 들면 모터)의 대지 간 임피던스가 크게 영향을 미치고 있다. 대지 간 임피던스가 적은(부유 용량이 크다) 부하를 설치했을

경우, 대지 간 콘덴서에 비해 큰 누설전류를 유발하기 때문에 주의가 필요하다. 2. 액티브 노이즈 필터 전자기노이즈를 저감하는 방법으로는 일반적으로 패시브필터의 접속을 들 수 있는데 인버터 시스템 전체의 체적 및 비용 상승은 피할 수 없다. 또한 패시브필터를 구성하는 리액터와 콘덴서의 공진이나 리액터 철심에 자기포화의 문제가 있다. 따라서 노멀모드 및 공통모드 모두 저감 가능하다는 점, 공통모드 트랜스를 필요로 하지 않는다는 점 및 능동소자인 트랜지스터의 내압을 저감하는 것을 특징으로 하는 '액티브 노이즈 필터'를 제안한다. 이것은 전도노이즈를 직접 검출해 앞의 전도 노이즈가 제로가 되도록 트랜지스터로 출력되는 전류를 각 상에서 개별적으로 피드백 제어하는 것이다. 액티브 노이즈 필터 1상분의 기능 블록을 <그림6>에 나타낸다. 그림에서 CNV는 정류기, INV는 인버터, IM은 유도전동기이다. 여기서 계통 케이블에 존재하는 부유용량 C_y 에 나타나는 고주파전압 v_{Cy} 가 LISN으로 관측되는 전도 노이즈에 상당한다. 따라서 고주파전압 v_{Cy} 를 억제하기 위해 액티브 노이즈 필터는 다음과 같은 기능을 갖고 있다.



(1) C_y 의 전압 v_{Cy} 를 검출(2) 하이패스필터(HPE)로 전도 노이즈 억제 대상인 고주파전압성분(예 :

150kHz 이상의 성분)을 추출(3) 상기 고주파전압성분이 제로가 되도록 비례 게인 K로 전류지령 icom을 작성(4) 전압신호 icom을 $\pm 15V$ 계의 전압-전류변환회로(V-I변환, V-to-I Conv.)로 전류icom으로 변환해 콘덴서 Cin을 연결, icom을 Cy에 주입다음으로 인버터를 운전했을 때 LISN에 따른 전도노이즈 측정결과를 <그림7>에 나타낸다. 계통전원은 3상 입력이기 때문에 <그림6>의 1상분 기능 블록을 3상분으로 접속했다. 액티브 노이즈 필터에 따라 보드선도의 설계대로 150kHz 근방에서 약 20dB 감쇠를 얻을 수 있다. MHz대 노이즈에 관해서는 별도선간 콘덴서를 접속함으로써 저감된다. 액티브 노이즈 필터와 간단한 패시브 노이즈 필터로 인한 최적설계에 대해 검증을 추진하고 있다.본고에서는 전력변환회로·노이즈 전반의 모델화, 노이즈 필터의 설계기술에 대해 설명했다. 인버터 회로에서 케이블, 부하가 되는 모터도 포함해 등가회로 모델을 구축함으로써 임의의 편성에 대한 EMI 노이즈의 정량적 평가가 가능해졌다. 이 기술로 인해 필터의 정수 선정, 설계가 도면 단계에서 가능해져 개발기간의 단축·비용절감이 가속화됐다. 게다가 액티브 필터와 같이 적응성이 있는 필터링 기술의 실용화 검토도 추진하고 있다.