



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0017445  
(43) 공개일자 2018년02월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H03H 11/02 (2006.01) H03H 11/12 (2006.01)  
H03H 7/01 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H03H 11/02 (2013.01)  
H03H 11/12 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2016-0101264  
(22) 출원일자 2016년08월09일  
심사청구일자 2016년08월09일

(71) 출원인  
경상대학교산학협력단  
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)  
(72) 발명자  
정세교  
경상남도 진주시 가좌안골길21번길 5, 105동 120  
1호(가좌동, 가좌제일풍경채)  
(74) 대리인  
두호특허법인

전체 청구항 수 : 총 10 항

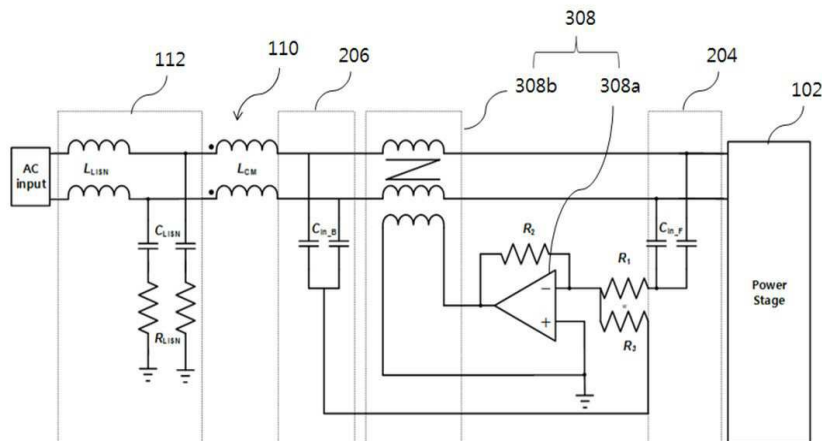
(54) 발명의 명칭 EMI 필터 및 이를 이용한 EMI의 저감 방법

### (57) 요약

EMI 필터 및 이를 이용한 EMI의 저감 방법이 제공된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 EMI 필터는, 이엠아이(EMI : Electro Magnetic Interference)가 발생하는 대상 장치와 연결되어 상기 EMI를 저감시키는 EMI 필터로서, 상기 EMI 필터의 일측에서, 상기 대상 장치에서 발생하는 상기 EMI를 감지하는 제1 감지부; 상기 EMI 필터의 타측에서, 상기 EMI 필터에 의해 저감된 EMI를 감지하는 제2 감지부; 및 상기 제1 감지부와 상기 제2 감지부 사이에 위치하며, 상기 제1 감지부에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 제1 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI를 상쇄시키고, 상기 제2 감지부에서 감지된 EMI를 기반으로 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생된 오차를 보정하는 노이즈 저감부를 포함한다.

대표도 - 도5

300



(52) CPC특허분류  
*H03H 7/01* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

이엠아이(EMI : Electro Magnetic Interference)가 발생하는 대상 장치와 연결되어 상기 EMI를 저감시키는 EMI 필터로서,

상기 EMI 필터의 일측에서, 상기 대상 장치에서 발생하는 상기 EMI를 감지하는 제1 감지부;

상기 EMI 필터의 타측에서, 상기 EMI 필터에 의해 저감된 EMI를 감지하는 제2 감지부; 및

상기 제1 감지부와 상기 제2 감지부 사이에 위치하며, 상기 제1 감지부에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 제1 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI를 상쇄시키고, 상기 제2 감지부에서 감지된 EMI를 기반으로 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생된 오차를 보정하는 노이즈 저감부를 포함하는, EMI 필터.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 노이즈 저감부는, 상기 제2 감지부에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 제2 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생된 오차를 보정하는, EMI 필터.

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 제1 감지부는, 상기 대상 장치와 연결되며,

상기 제2 감지부는, 상기 EMI 필터의 타측에 위치하는 노이즈 측정부와 연결되는, EMI 필터.

#### 청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 노이즈 저감부는, 연산 증폭기(OP-AMP)를 포함하며,

상기 연산 증폭기의 반전 입력단은, 제1 저항, 제2 저항 및 제3 저항을 통해 상기 제1 감지부, 상기 연산 증폭기의 출력단 및 상기 제2 감지부와 각각 연결되는, EMI 필터.

#### 청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 EMI는, 공통 모드 노이즈(Common Mode Noise)인, EMI 필터.

#### 청구항 6

EMI 필터를 이용하여 대상 장치에서 발생하는 EMI를 저감시키는 방법으로서,

상기 EMI 필터의 일측에서, 제1 감지부가 상기 대상 장치에서 발생하는 상기 EMI를 감지하는 단계;

상기 EMI 필터의 타측에서, 제2 감지부가 상기 EMI 필터에 의해 저감된 EMI를 감지하는 단계;

상기 제1 감지부와 상기 제2 감지부 사이에 위치하는 노이즈 저감부가, 상기 제1 감지부에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI를 상쇄시키는 단계; 및

상기 노이즈 저감부가, 상기 제2 감지부에서 감지된 EMI를 기반으로 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생한 오차를 보정하는 단계를 포함하는, EMI의 저감 방법.

## 청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생한 오차를 보정하는 단계는, 상기 제2 감지부에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 제2 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생한 오차를 보정하는, EMI의 저감 방법.

## 청구항 8

청구항 6에 있어서,

상기 제1 감지부는, 상기 대상 장치와 연결되며,

상기 제2 감지부는, 상기 EMI 필터의 타측에 위치하는 노이즈 측정부와 연결되는, EMI의 저감 방법.

## 청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 노이즈 저감부는, 연산 증폭기(OP-AMP)를 포함하며,

상기 연산 증폭기의 반전 입력단은, 제1 저항, 제2 저항 및 제3 저항을 통해 상기 제1 감지부, 상기 연산 증폭기의 출력단 및 상기 제2 감지부와 각각 연결되는, EMI의 저감 방법.

## 청구항 10

청구항 6에 있어서,

상기 EMI는, 공통 모드 노이즈(Common Mode Noise)인, EMI의 저감 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명의 실시예들은 EMI를 저감시키는 기술과 관련된다.

### 배경 기술

[0003] 일반적으로, SMPS(Switched Mode Power Supply) 등과 같은 전원 공급 장치, 컨버터, 트랜스듀서 등과 같은 전력 변환 장치에서는 EMI(Electro Magnetic Interference)가 발생하게 된다. EMI는 타 기기의 오작동을 유발하여 사고로 이어질 수 있으므로, 이러한 EMI를 저감시키기 위해 EMI 필터가 사용된다.

[0004] 종래의 EMI 필터 중 전원 라인 필터는 수동 소자로 구성됨에 따라 큰 전력 용량과 주파수 대역 별 다중의 라인 필터를 필요로 하며, 이에 따라 사이즈가 크고 가격이 높은 문제점이 있다. 또한, 인덕터와 수동 소자로 이루어지는 CM 초크(CM Choke)는 권선 문제 등으로 인해 양산에 어려움이 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-1101677호(2011.12.26)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 실시예들은 EMI의 저감 성능이 뛰어난 EMI 필터를 제공하기 위한 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 이엠아이(EMI : Electro Magnetic Interference)가 발생하는 대상 장치와 연결되어 상기 EMI를 저감시키는 EMI 필터로서, 상기 EMI 필터의 일측에서, 상기 대상 장치에서 발생하는 상기 EMI를 감지하는 제1 감지부; 상기 EMI 필터의 타측에서, 상기 EMI 필터에 의해 저감된 EMI를 감지하는 제2 감지부; 및 상기 제1 감지부와 상기 제2 감지부 사이에 위치하며, 상기 제1 감지부에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 제1 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI를 상쇄시키고, 상기 제2 감지부에서 감지된 EMI를 기반으로 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생된 오차를 보정하는 노이즈 저감부를 포함하는, EMI 필터가 제공된다.

[0010] 상기 노이즈 저감부는, 상기 제2 감지부에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 제2 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생된 오차를 보정할 수 있다.

[0011] 상기 제1 감지부는, 상기 대상 장치와 연결되며, 상기 제2 감지부는, 상기 EMI 필터의 타측에 위치하는 노이즈 측정부와 연결될 수 있다.

[0012] 상기 노이즈 저감부는, 연산 증폭기(OP-AMP)를 포함하며, 상기 연산 증폭기의 반전 입력단은, 제1 저항, 제2 저항 및 제3 저항을 통해 상기 제1 감지부, 상기 연산 증폭기의 출력단 및 상기 제2 감지부와 각각 연결될 수 있다.

[0013] 상기 EMI는, 공통 모드 노이즈(Common Mode Noise)일 수 있다.

[0014] 본 발명의 다른 예시적인 실시예에 따르면, EMI 필터를 이용하여 대상 장치에서 발생하는 EMI를 저감시키는 방법으로서, 상기 EMI 필터의 일측에서, 제1 감지부가 상기 대상 장치에서 발생하는 상기 EMI를 감지하는 단계; 상기 EMI 필터의 타측에서, 제2 감지부가 상기 EMI 필터에 의해 저감된 EMI를 감지하는 단계; 상기 제1 감지부와 상기 제2 감지부 사이에 위치하는 노이즈 저감부가, 상기 제1 감지부에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI를 상쇄시키는 단계; 및 상기 노이즈 저감부가, 상기 제2 감지부에서 감지된 EMI를 기반으로 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생된 오차를 보정하는 단계를 포함하는, EMI의 저감 방법이 제공된다.

[0015] 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생된 오차를 보정하는 단계는, 상기 제2 감지부에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 제2 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생된 오차를 보정할 수 있다.

[0016] 상기 제1 감지부는, 상기 대상 장치와 연결되며, 상기 제2 감지부는, 상기 EMI 필터의 타측에 위치하는 노이즈 측정부와 연결될 수 있다.

[0017] 상기 노이즈 저감부는, 연산 증폭기(OP-AMP)를 포함하며, 상기 연산 증폭기의 반전 입력단은, 제1 저항, 제2 저항 및 제3 저항을 통해 상기 제1 감지부, 상기 연산 증폭기의 출력단 및 상기 제2 감지부와 각각 연결될 수 있다.

[0018] 상기 EMI는, 공통 모드 노이즈(Common Mode Noise)일 수 있다.

## 발명의 효과

- [0020] 본 발명의 실시예들에 따르면, EMI 필터의 일측 및 타측에서 각각 감지된 EMI를 기반으로 대상 장치에서 발생된 EMI를 저감시킴으로써, EMI의 저감 효율을 크게 향상시킬 수 있다. 구체적으로, 본 발명의 실시예들에 따르면, 제1 감지부에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 반전 EMI를 이용하여 EMI를 상쇄시키고, 제2 감지부에서 감지된 EMI를 기반으로 EMI의 상쇄 과정에서 발생된 오차를 보정함으로써, EMI의 저감 효율을 크게 향상시킬 수 있다.
- [0021] 또한, 본 발명의 실시예들에 따른 EMI 필터는 능동형 EMI 필터로서, 저주파수 대역의 노이즈 저감에 용이하며, 이로 인하여 CM 초크의 제거 및 소형화가 가능하다. 또한, 본 발명의 실시예들에 따른 EMI 필터의 경우, 수동 소자가 반도체 소자로 대체되므로 EMI 필터의 집적화 및 양산성에 유리한 장점이 있으며, 반전 EMI를 이용하여 EMI를 상쇄시킨다는 점에서 누설 전류 또한 적다.

## 도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 EMI 필터를 나타낸 회로도
- 도 2는 도 1의 등가 회로도
- 도 3은 본 발명의 제2 실시예에 따른 EMI 필터를 나타낸 회로도
- 도 4는 도 3의 등가 회로도
- 도 5는 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터를 나타낸 회로도
- 도 6은 도 5의 등가 회로도
- 도 7은 도 6의 등가 회로도 중 피드포워드(Feed-forward) 부분을 나타낸 회로도
- 도 8은 도 6의 등가 회로도 중 피드백(Feed-back) 부분을 나타낸 회로도
- 도 9는 본 발명의 제1 실시예에 따른 EMI 필터의 시뮬레이션 회로도
- 도 10은 도 9의 EMI 필터에 따른 EMI의 저감률을 나타낸 시뮬레이션 결과
- 도 11은 본 발명의 제2 실시예에 따른 EMI 필터의 시뮬레이션 회로도
- 도 12는 도 11의 EMI 필터에 따른 EMI의 저감률을 나타낸 시뮬레이션 결과
- 도 13은 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터의 시뮬레이션 회로도
- 도 14는 도 13의 EMI 필터에 따른 EMI의 저감률을 나타낸 시뮬레이션 결과
- 도 15는 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터를 사용하기 전 측정된 CM 노이즈를 나타낸 그래프
- 도 16은 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터를 사용한 후 측정된 CM 노이즈를 나타낸 그래프
- 도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 EMI의 저감 방법을 설명하기 위한 흐름도

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 구체적인 실시형태를 설명하기로 한다. 이하의 상세한 설명은 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된다. 그러나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다.
- [0025] 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서, 본 발명과 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 본 발명의 실시예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이어서는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된

것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안 된다.

- [0027] 본 발명의 실시예들에 따른 EMI 필터(100, 200, 300)는 EMI(Electro Magnetic Interference)(즉, 노이즈)가 발생하는 대상 장치(102)와 연결되어 상기 EMI를 저감시키기 위한 능동형 EMI 필터로서, 수동 소자로 이루어지는 EMI 필터보다 사이즈가 작고 개발하는 데 소요되는 시간 또한 적게 든다. 상기 EMI 필터(100, 200, 300)는 대상 장치(102)에서 발생하는 EMI를 감지한 후 반대 위상을 갖는 반전 EMI를 이용하여 감지된 EMI를 상쇄(cancellation)시킬 수 있다. 여기서, 대상 장치(102)는 EMI가 발생하는 장치로서, 예를 들어 SMPS(Switched Mode Power Supply) 등과 같은 전원 공급 장치, 컨버터, 트랜스듀서 등과 같은 전력 변환 장치 등을 모두 포함하는 넓은 의미로 사용된다. 또한, 본 실시예들에 있어서, EMI는 라인(또는 도선)을 타고 전달되는 공통 모드 노이즈(Common Mode Noise)일 수 있다. CM 노이즈는 접지를 타고 흘러 두 전원 라인과 접지 사이에 전압 차(VCM)를 발생시키는 노이즈로서, 주로 150kHz ~ 30MHz 성분을 가질 수 있다. 이하에서는 도 1 내지 도 8을 참조하여 본 발명의 실시예들에 따른 EMI 필터(100, 200, 300)에 대해 자세히 살펴보기로 한다.
- [0029] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 EMI 필터(100)를 나타낸 회로도이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 제1 실시예에 따른 EMI 필터(100)는 피드포워드(Feed-forward) 타입의 EMI 필터로서, 제1 감지부(104), 노이즈 저감부(108), 변압기(110) 및 노이즈 측정부(112)를 포함한다.
- [0030] 제1 감지부(104)는 EMI 필터(100)의 일측(즉, 대상 장치(102) 측)에서, 대상 장치(102)에서 발생하는 EMI를 감지한다. 이를 위해, 제1 감지부(104)는 대상 장치(102)와 연결될 수 있다. 또한, 제1 감지부(104)는 예를 들어, 하나 이상의 커패시터(Cin)를 구비할 수 있으며, 상기 커패시터를 이용하여 대상 장치(102)에서 발생하는 EMI의 전압(또는 전류)을 감지할 수 있다. 다만, 제1 감지부(104)의 구성이 이에 한정되는 것은 아니며, 제1 감지부(104)는 예를 들어, 변압기(미도시)를 이용하여 EMI를 감지할 수도 있다. 상술한 바와 같이, EMI는 예를 들어, CM 노이즈일 수 있다.
- [0031] 노이즈 저감부(108)는 제1 감지부(104)에서 감지된 EMI를 저감시킨다. 도 1에 도시된 바와 같이, 노이즈 저감부(108)는 연산 증폭기(OP AMP, 108a) 및 주입부(108b)를 포함할 수 있다.
- [0032] 연산 증폭기(108a)는 제1 감지부(104)에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 제1 반전 EMI를 출력한다. 이때, 연산 증폭기(108a)는 상기 EMI를 상쇄시키기 위해 제1 반전 EMI의 전압(또는 전류)을 소정 크기로 증폭시켜 출력할 수 있다. 도 1에 도시된 바와 같이, 연산 증폭기의 반전 입력단, 즉 (-) 입력단은 제1 저항(R1)을 통해 제1 감지부(104)와 연결되고, 제2 저항(R2)을 통해 연산 증폭기(108a)의 출력단과 연결될 수 있다. 이때, 연산 증폭기(108a)의 출력단은 주입부(108b)와 연결될 수 있다. 또한, 연산 증폭기의 비반전 입력단, 즉 (+) 입력단은 접지 및 주입부(108b)와 각각 연결될 수 있다.
- [0033] 주입부(108b)는 연산 증폭기(108a)에서 출력된 제1 반전 EMI를 이용하여 제1 감지부(104)에서 감지된 EMI를 상쇄시킴으로써 EMI를 저감시킨다. 주입부(108b)는 전원 라인을 통해 제1 감지부(104)와 연결되고, 연산 증폭기(108a)에서 출력된 제1 반전 EMI의 전압을 전원 라인에 주입하여 제1 감지부(104)에서 감지된 EMI의 전압을 상쇄시킬 수 있다. 도 1에 도시된 바와 같이, 주입부(108b)는 상호 유도 결합되는 복수 개의 코일을 구비할 수 있다. 다만, 주입부(108b)의 구성이 이에 한정되는 것은 아니며, 주입부(108b)는 예를 들어, 복수 개의 커패시터를 이용하여 제1 감지부(104)에서 감지된 EMI를 상쇄시킬 수도 있다. 이와 같은 과정을 통해 저감된 EMI는 변압기(110)를 통과하게 된다.
- [0034] 변압기(110)에는 저감된 EMI가 통과된다. 도 1에 도시된 바와 같이, 변압기(110)의 1차측 코일과 2차측 코일은 동일한 방향으로 감겨져 있다. 저감된 EMI가 변압기(110)를 통과하는 경우, EMI, 예를 들어 CM 노이즈는 인덕턴스 성분으로 나타나게 된다.
- [0035] 노이즈 측정부(112)는 저감된 EMI를 측정한다. 본 실시예들에 있어서, 노이즈 측정부(112)는 예를 들어, LISN(Line Impedance Stabilization Network) 장비일 수 있다. LISN은 전원 라인으로 전도되는 노이즈의 전압(또는 전류)를 측정하는 장비로서, 본 발명이 속하는 기술분야에서 일반적으로 널리 알려져 있는바 이에 대한 자세한 설명은 생략하기로 한다.

[0037] 도 2는 도 1의 등가 회로도이다.

[0038] 여기서,  $V_s$ 는 입력 EMI 전압,  $I_s$ 는 EMI 전류,  $Z_s$ 는 입력 임피던스,  $V_f$ 는 제1 감지부(104)에서 감지된 전압,  $A_f V_f$ 는 연산 증폭기(108a)에 의해 증폭된 전압,  $A_f$ 는 연산 증폭기(108a)의 이득,  $L_M$ 은 주입부(108b)의 인덕턴스,  $L_{CM}$ 은 CM choke 인덕턴스(CM choke inductance),  $C_L$ 은 LISN 커패시턴스,  $R_L$ 은 LISN 레지스턴스,  $V_{out}$ 은 출력 EMI 전압이다.

[0039] 상기 등가 회도로를 이용하여 본 발명의 제1 실시예(피드포워드 타입)에 따른 EMI 필터(100)의 전달 함수를 구하는 과정을 설명하면 다음과 같다.

[0040] 먼저, KVL 방정식을 이용하여  $V_s$ (입력 EMI 전압)에 대한 식을 정리하면 아래와 같다.

[0042] [수학식 1]

$$V_s = Z_s i_s + V_f$$

[0045] 또한,  $V_f$ (제1 감지부(104)에서 감지된 전압)에 대한 식을 정리하면 아래와 같다.

[0047] [수학식 2]

$$V_f = A_f V_f + (sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L) i_s$$

[0050] 위 수학식 1에서,  $V_f$ 는 아래와 같이 정리될 수 있다.

[0052] [수학식 3]

$$V_f = V_s - Z_s i_s$$

[0055] 수학식 3은 수학식 2로부터 아래와 같이 정리될 수 있다.

[0057] [수학식 4]

$$V_s - Z_s i_s = A_f (V_s - Z_s i_s) + (sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L) i_s$$

[0060] [수학식 5]

$$(1-A_f)V_s = ((1-A_f)Z_s + sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L)i_s$$

[0061]

[0063] 여기서,  $I_s$ (EMI 전류)는 아래 수학식 6과 같으므로, 아래 수학식 7과 같이 정리될 수 있다.

[0065] [수학식 6]

$$i_s = \frac{V_o}{R_L}$$

[0066]

[0068] [수학식 7]

$$V_s = ((1-A_f)Z_s + sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L) \frac{V_o}{(1-A_f)R_L}$$

[0069]

[0071] 따라서, 본 발명의 제1 실시예(피드포워드 타입)에 따른 EMI 필터(100)의 전달 함수는 아래 수학식 8과 같이 나타낼 수 있다.

[0073] [수학식 8]

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{(1-A_f)R_L}{(1-A_f)Z_s + sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L}$$

[0074]

[0076] 본 발명의 제1 실시예(피드포워드 타입)에 따른 EMI 필터(100)의 전달 함수를 살펴보면, 연산 증폭기(108a)의 이득( $A_f$ )이 1일 경우 수학식 8의 분자항이 0이 되어 EMI를 가장 많이 줄일 수 있다. 그러나, 연산 증폭기(108a)의 이득( $A_f$ )과 관련된 파라미터, 주입부(108b)의 파라미터 등이 예상치 않게 변하게 되어 EMI의 상쇄 과정에 서 오차가 발생하는 경우, EMI가 기대만큼 저감되지 않거나 또는 오히려 증폭될 수 있다. 이 경우, EMI 필터(100)의 EMI 저감 성능이 떨어지게 되는 문제점이 있다.

[0078] 도 3은 본 발명의 제2 실시예에 따른 EMI 필터(200)를 나타낸 회로도이다. 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 제2 실시예에 따른 EMI 필터(200)는 피드백(Feed-back) 타입의 EMI 필터로서, 제2 감지부(106), 노이즈 저감부(208), 변압기(110) 및 노이즈 측정부(112)를 포함한다. 도 1을 참조하여 설명하였던 본 발명의 제1 실시예에서의 구성요소와 대응되는 구성요소는, 제1 실시예에서 설명한 바와 동일 또는 유사한 기능을 수행하므로, 이에 대한 보다 구체적인 설명은 생략하도록 한다.

[0079] 제2 감지부(106)는 EMI 필터(200)의 타측(즉, 노이즈 측정부(112) 측)에서, EMI 필터(200)에 의해 저감된 EMI

를 감지한다. 도 3에 도시된 바와 같이, 제2 감지부(106)는 변압기(110)를 통해 EMI 필터(200)의 타측에 위치하는 노이즈 측정부(112)와 연결될 수 있다. 또한, 제2 감지부(106)는 노이즈 저감부(208)와 연결되어 노이즈 저감부(208)에 의해 저감된 EMI를 감지할 수 있다. 제2 감지부(106)는 제1 감지부(104)와 동일한 구성으로 이루어질 수 있다.

[0080] 노이즈 저감부(208)는 제2 감지부(106)에 의해 감지되는 EMI가 최소(즉, 제2 감지부(106)에 의해 감지되는 EMI의 전압이 0 또는 0에 가깝게)가 되도록 대상 장치(102)에서 발생하는 EMI를 저감시킨다. 이를 위해, 연산 증폭기(208a)의 반전 입력단, 즉 (-) 입력단은 제1 저항(R1)을 통해 제2 감지부(106)와 연결되고, 제2 저항(R2)을 통해 연산 증폭기(208a)의 출력단과 연결될 수 있다. 이때, 연산 증폭기(208a)의 출력단은 주입부(208b)와 연결될 수 있다. 또한, 연산 증폭기의 비반전 입력단, 즉 (+) 입력단은 접지 및 주입부(208b)와 각각 연결될 수 있다. 노이즈 저감부(208)는 제2 감지부(106)에 의해 감지되는 EMI를 저감시킬 수 있으며, 이에 따라 노이즈 측정부(112)에서 측정되는 EMI의 전압은 0 또는 0에 가까운 값이 될 수 있다. 그러나, 후술할 바와 같이, 노이즈 측정부(112)에서 측정되는 EMI를 최소화하기 위해서는 연산 증폭기(208a)의 이득이 최대한 커야 하나, 일반적으로 연산 증폭기(208a)의 이득은 한계가 있으므로 EMI 필터(200)에 의해 EMI를 완전히 저감시키는 것은 한계가 있을 수 있다.

[0082] 도 4는 도 3의 등가 회로도이다.

[0083] 여기서,  $V_s$ 는 입력 EMI 전압,  $I_s$ 는 EMI 전류,  $Z_s$ 는 입력 임피던스,  $V_b$ 는 제2 감지부(106)에서 감지된 전압,  $A_b V_b$ 는 연산 증폭기(208a)에 의해 증폭된 전압,  $A_b$ 는 연산 증폭기(208a)의 이득,  $L_M$ 은 주입부(208b)의 인덕턴스,  $L_{CM}$ 은 CM choke 인덕턴스(CM choke inductance),  $C_L$ 은 LISN 커패시턴스,  $R_L$ 은 LISN 레지스턴스,  $V_{out}$ 은 출력 EMI 전압이다.

[0084] 상기 등가 회도로를 이용하여 본 발명의 제2 실시예(피드백 타입)에 따른 EMI 필터(200)의 전달 함수를 구하는 과정을 설명하면 다음과 같다.

[0085] 먼저, KVL 방정식을 이용하여  $V_s$ (입력 EMI 전압)에 대한 식을 정리하면 아래와 같다.

[0087] [수학식 9]

$$V_s = Z_s i_s + A V_b + (sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L) i_s$$

[0088]

[0090] 또한,  $L_M$ (주입부(208b)의 인덕턴스)에 인가되는  $V_b$ (제2 감지부(106)에서 감지된 전압)은 아래 수학식 10과 같이 정리될 수 있다.

[0092] [수학식 10]

$$V_b = (sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L) i_s$$

[0093]

[0095] 위 수학식 9는 아래와 같이 정리될 수 있다.

[0097] [수학식 11]

$$V_s = Z_s i_s + A(sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L)i_s + (sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L)i_s$$

[0098]

[0100] [수학식 12]

$$V_s = (Z_s + (1 + H_s G_c)(sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L))i_s$$

[0101]

[0103] 또한,  $I_s$ (EMI 전류)는 상술한 수학식 6과 같으므로, 아래 수학식 13과 같이 정리될 수 있다.

[0105] [수학식 13]

$$V_s = (Z_s + (1 + A)(sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L))\frac{V_o}{R_L}$$

[0106]

[0108] 따라서, 본 발명의 제2 실시예(피드백 타입)에 따른 EMI 필터(200)의 전달 함수는 아래 수학식 14와 같이 나타낼 수 있다.

[0110] [수학식 14]

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{R_L}{Z_s + (1 + H_s G_c)(sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L)}$$

[0111]

[0113] 본 발명의 제2 실시예(피드백 타입)에 따른 EMI 필터(200)의 전달 함수를 살펴보면, 연산 증폭기(208a)의 이득( $A_b$ )이 클수록 EMI의 저감 효과가 뛰어난 것을 확인할 수 있다. 그러나, 일반적으로 연산 증폭기(208a)의 이득은 한계가 있으므로, EMI 필터(200)에 의해 EMI를 완전히 저감시키는 것은 한계가 있을 수 있다.

[0114] 따라서, 이하에서는 본 발명의 제1 실시예에 따른 EMI 필터(100)의 문제점과 본 발명의 제2 실시예에 따른 EMI 필터(200)의 문제점을 해결(또는 보완)하는 제3 실시예에 따른 EMI 필터(300)에 대해 설명하기로 한다.

[0116] 도 5는 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터(300)를 나타낸 회로도이다. 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터(300)는 피드포워드(Feed-forward) 타입의 EMI 필터(100)와 피드백(Feed-back) 타입의 EMI 필터(200)를 결합한 피드포워드-피드백 타입의 EMI 필터로서, 제1 감지부(204), 제2 감지부(206), 노이즈 저감부(308), 변압기(110) 및 노이즈 측정부(112)를 포함한다. 도 1 및 도 3을 참조하여 설명하였던 본 발명의 제1 실시예, 제2 실시예에서의 구성요소와 대응되는 구성요소는, 제1 실시예, 제2 실시예에서 설명한 바와 동일 또는 유사한 기능을 수행하므로, 이에 대한 보다 구체적인 설명은 생략하도록 한다.

[0117] 제1 감지부(204)는 제1 실시예에서와 마찬가지로 EMI 필터(300)의 일측(즉, 대상 장치(102) 측)에서, 대상 장치(102)에서 발생하는 EMI를 감지한다. 이를 위해, 제1 감지부(204)는 대상 장치(102)와 연결될 수 있다. 제1 감

지부(204)는 제1 실시예에서 설명한 제1 감지부(104)와 동일한 구성으로 이루어질 수 있다.

[0118] 제2 감지부(206)는 제2 실시예에서와 마찬가지로 EMI 필터(300)의 타측(즉, 노이즈 측정부(112) 측)에서, EMI 필터(300)에 의해 저감된 EMI를 감지한다. 도 5에 도시된 바와 같이, 제2 감지부(206)는 변압기(110)를 통해 EMI 필터(300)의 타측에 위치하는 노이즈 측정부(112)와 연결될 수 있다. 또한, 제2 감지부(206)는 노이즈 저감부(308)와 연결되어 노이즈 저감부(308)에 의해 저감된 EMI를 감지할 수 있다. 제2 감지부(206)는 제2 실시예에서 설명한 제2 감지부(106)와 동일한 구성으로 이루어질 수 있다.

[0119] 노이즈 저감부(308)는 제1 감지부(204)와 제2 감지부(206) 사이에 위치하여 대상 장치(102)에서 발생된 EMI를 저감시킨다. 구체적으로, 노이즈 저감부(308)는 제1 감지부(204)에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 제1 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI를 상쇄시키고, 제2 감지부(206)에서 감지된 EMI를 기반으로 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생된 오차를 보정할 수 있다. 이를 위해, 연산 증폭기(308a)의 반전 입력단, 즉 (-) 입력단은 제1 저항(R1)을 통해 제1 감지부(204)와 연결되고, 제2 저항(R2)을 통해 연산 증폭기(308a)의 출력단과 연결되며, 제3 저항(R3)을 통해 제2 감지부(206)와 연결될 수 있다. 연산 증폭기(308a)의 비반전 입력단, 즉 (+) 입력단은 접지 및 주입부(308b)와 각각 연결될 수 있다.

[0120] 연산 증폭기(308a)는 제1 감지부(204)에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 제1 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI를 상쇄시키고, 제2 감지부(206)에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 제2 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생된 오차를 보정할 수 있다. 이때, 연산 증폭기(308a)는 제1 반전 EMI 및 제2 반전 EMI의 전압(또는 전류)을 소정 크기로 증폭시켜 출력할 수 있다. 연산 증폭기(308a)는 상기 제1 반전 EMI 및 제2 반전 EMI를 순차적으로 출력하거나 또는 동시에 출력할 수 있다.

[0121] 이와 같이, 본 발명의 실시예들에 따르면, EMI 필터(300)의 일측 및 타측에서 각각 감지된 EMI를 기반으로 대상 장치(102)에서 발생된 EMI를 저감시킴으로써, EMI의 저감 효율을 크게 향상시킬 수 있다.

[0123] 도 6 내지 도 8은 도 5의 EMI 필터(300)의 전달 함수를 구하기 위한 회로도이다. 도 6은 도 5의 등가 회로도이며, 도 7은 도 6의 등가 회로도 중 피드포워드(Feed-forward) 부분을 나타낸 회로도이고, 도 8은 도 6의 등가 회로도 중 피드백(Feed-back) 부분을 나타낸 회로도이다.

[0124] 여기서,  $V_s$ 는 입력 EMI 전압,  $I_s$ 는 EMI 전류,  $Z_s$ 는 입력 임피던스,  $V_f$ 는 제1 감지부(204)에서 감지된 전압,  $V_b$ 는 제2 감지부(206)에서 감지된 전압,  $A_f$ 는 피드포워드 측 연산 증폭기(308a)의 이득,  $A_b$ 는 피드백 측 연산 증폭기(308a)의 이득,  $L_M$ 은 주입부(308b)의 인덕턴스,  $L_{CM}$ 은 CM choke 인덕턴스(CM choke inductance),  $C_L$ 은 LISN 커패시턴스,  $R_L$ 은 LISN 레지스턴스,  $V_{out}$ 은 출력 EMI 전압이다.

[0125] 먼저, 도 7을 참조하면, KVL 방정식을 이용하여  $V_f$ (제1 감지부(204)에서 감지된 전압)에 대한 식을 정리하면 아래와 같다.

[0127] [수학식 15]

$$V_f = V_s - Z_s I_s$$

[0130] 또한, 도 8을 참조하면,  $V_b$ (제2 감지부(206)에서 감지된 전압)에 대한 식을 정리하면 아래와 같다.

[0132] [수학식 16]

$$V_b = (sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L)I_s$$

[0133]

[0135] 또한, 도 6에서  $V_s$ (입력 EMI 전압)에 대한 식을 정리하면 아래와 같다.

[0137] [수학식 17]

$$V_s = (Z_s + sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L)I_s + A_f V_f + A_b V_b$$

[0138]

[0140] 여기서, 수학식 17에 수학식 15 및 수학식 16을 대입하여 정리하면, 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터(300)의 전달 함수가 아래와 같이 도출될 수 있다.

[0142] [수학식 18]

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{(1 - A_f)R_L}{Z_s(1 - A_f) + (1 + A_b)(sL_{CM} + \frac{1}{sC_L} + R_L)}$$

[0143]

[0145] 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터(300)의 전달 함수를 살펴보면, 피드포워드 측 연산 증폭기(308a)의 이득( $A_f$ )이 1일 경우 분자항이 0이 되어 EMI를 가장 많이 줄일 수 있다. 또한, 이 경우 피드포워드 측 연산 증폭기(308a)의 이득( $A_f$ )과 관련된 파라미터, 주입부(108b)의 파라미터 등이 예상치 않게 변하게 되어 분자항이 0이 되지 않더라도 피드백 측 연산 증폭기(308a)의 이득( $A_b$ )에 의해 EMI를 효율적으로 저감시킬 수 있다. 즉, 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터(300)를 사용하는 경우 EMI의 상쇄 과정에서 오차가 발생하더라도 이를 보정하여 높은 EMI 저감 성능을 그대로 유지할 수 있다.

[0147] 도 9 내지 도 16은 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터(300)를 사용하였을 때 EMI의 저감 효과를 설명하기 위한 도면이다.

[0148] 먼저, 도 9는 본 발명의 제1 실시예에 따른 EMI 필터(100)의 시뮬레이션 회로도이며, 도 10은 도 9의 EMI 필터(100)에 따른 EMI의 저감률을 나타낸 시뮬레이션 결과이다.

[0149] 도 10을 참조하면, 피드포워드 타입의 EMI 필터(100)를 사용하는 경우, 150kHz 에서 EMI의 저감율이 71dB, 30MHz 에서 EMI의 저감율이 117dB로 나타난 것을 확인할 수 있다.

[0150] 또한, 도 11은 본 발명의 제2 실시예에 따른 EMI 필터(200)의 시뮬레이션 회로도이며, 도 12는 도 11의 EMI 필터(200)에 따른 EMI의 저감률을 나타낸 시뮬레이션 결과이다.

[0151] 도 12를 참조하면, 피드백 타입의 EMI 필터(200)를 사용하는 경우, 150kHz 에서 EMI의 저감율이 52dB, 30MHz 에서 EMI의 저감율이 98dB로 나타난 것을 확인할 수 있다.

[0152] 또한, 도 13은 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터(300)의 시뮬레이션 회로도이며, 도 14는 도 13의 EMI 필터

터(300)에 따른 EMI의 저감률을 나타낸 시뮬레이션 결과이다.

- [0153] 도 14를 참조하면, 피드포워드-피드백 타입의 EMI 필터(300)를 사용하는 경우, 150kHz 에서 EMI의 저감율이 92dB, 30MHz 에서 EMI의 저감률이 138dB로 나타난 것을 확인할 수 있다.
- [0154] 즉, 피드포워드-피드백 타입의 EMI 필터(300)를 사용하는 경우, 피드포워드 타입의 EMI 필터(100) 및 피드백 타입의 EMI 필터(200)보다 EMI의 저감률이 향상됨을 확인할 수 있다.
- [0155] 또한, 도 15는 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터(300)를 사용하기 전 측정된 CM 노이즈를 나타낸 그래프이며, 도 16은 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터(300)를 사용한 후 측정된 CM 노이즈를 나타낸 그래프이다. 도 15 및 도 16에서 노란색 선이 측정된 CM 노이즈를 나타낸다.
- [0156] 도 15 및 도 16을 참조하면, 본 발명의 제3 실시예에 따른 EMI 필터(300)를 사용하였을 때 CM 노이즈가 크게 저감된 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 EMI 필터(300)는 예를 들어, AC-DC, DC-DC, DC-AC, AC-AC 컨버터의 EMI 필터로서 사용 가능하다.
- [0158] 도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 EMI의 저감 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 도 17에 도시된 방법은 예를 들어, 전술한 EMI 필터(300)에 의해 수행될 수 있다. 도시된 흐름도에서는 상기 방법을 복수 개의 단계로 나누어 기재하였으나, 적어도 일부의 단계들은 순서를 바꾸어 수행되거나, 다른 단계와 결합되어 함께 수행되거나, 생략되거나, 세부 단계들로 나뉘어 수행되거나, 또는 도시되지 않은 하나 이상의 단계가 추가되어 수행될 수 있다.
- [0159] 먼저, EMI 필터(300)의 일측에서, 제1 감지부(204)가 대상 장치(102)에서 발생하는 EMI를 감지한다(S102).
- [0160] 다음으로, 노이즈 저감부(308)가 제1 감지부(204)에서 감지된 EMI와 반대 위상을 갖는 반전 EMI를 출력하여 상기 EMI를 상쇄시킨다(S104).
- [0161] 또한, EMI 필터(300)의 타측에서, 제2 감지부(206)가 EMI 필터(300)에 의해 저감된 EMI를 감지한다(S106).
- [0162] 마지막으로, 노이즈 저감부(308)가 제2 감지부(206)에서 감지된 EMI를 기반으로 상기 EMI의 상쇄 과정에서 발생된 오차를 보정한다(S108). 한편, 상기 S102 단계 내지 S108 단계는 순차적으로 수행되거나 또는 동시에 수행될 수 있으며, 상기 기술한 순서대로 수행되어야 하는 것은 아니다.
- [0164] 이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명에 대하여 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 전술한 실시예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

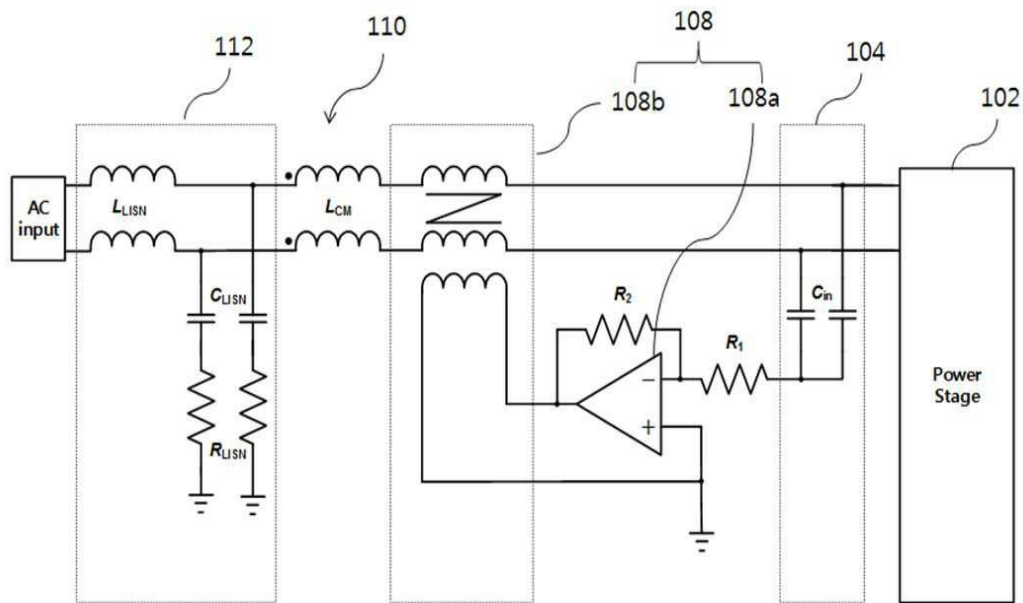
## 부호의 설명

- [0166] 100, 200, 300 : EMI 필터
- 102 : 대상 장치
- 104, 204 : 제1 감지부
- 106, 206 : 제2 감지부
- 108, 208, 308 : 노이즈 저감부
- 108a, 208a, 308a : 연산 증폭기
- 108b, 208b, 308b : 주입부
- 110 : 변압기
- 112 : 노이즈 측정부

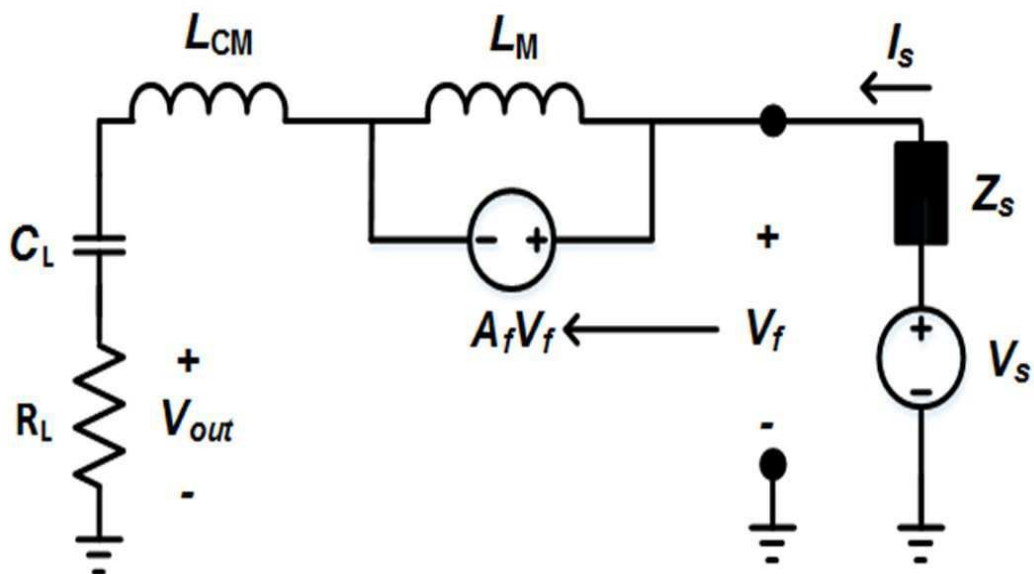
도면

도면1

100

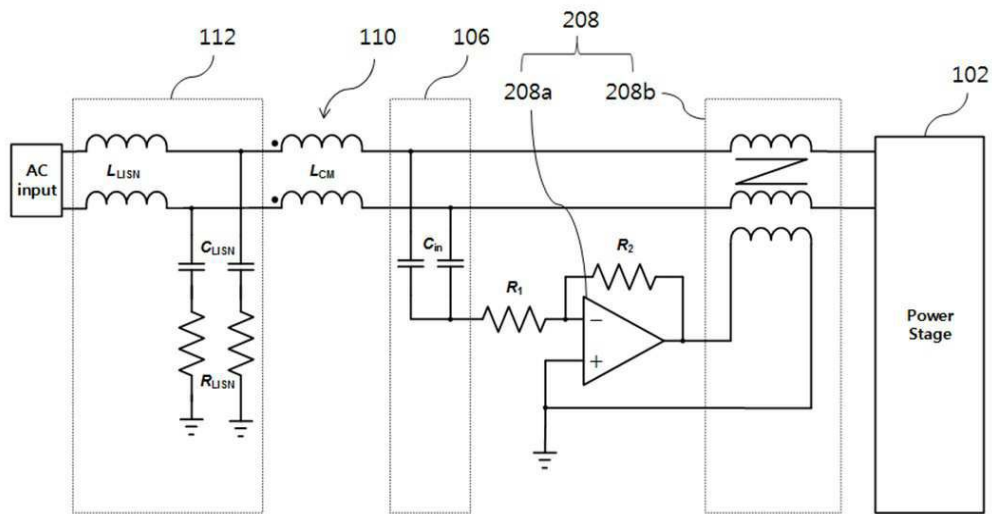


도면2

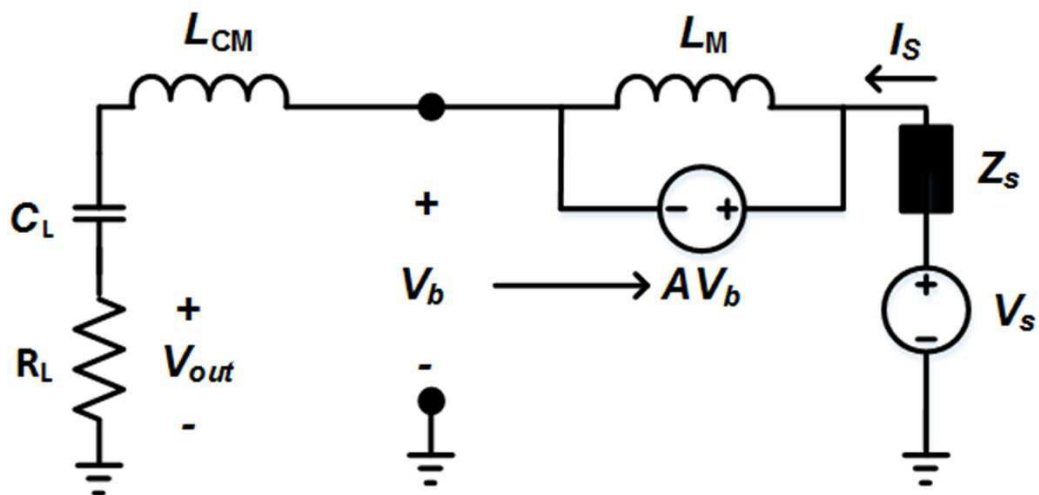


도면3

200

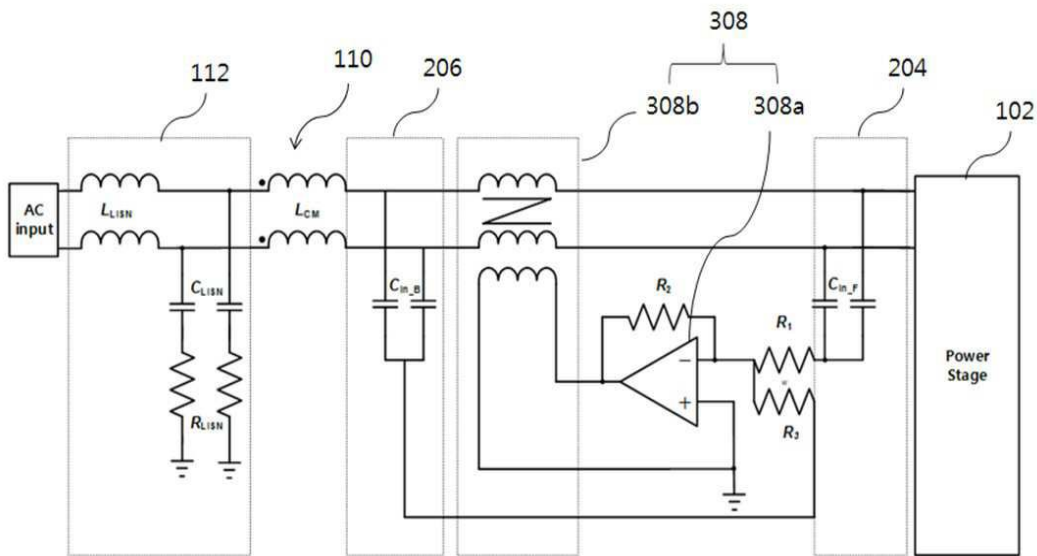


도면4

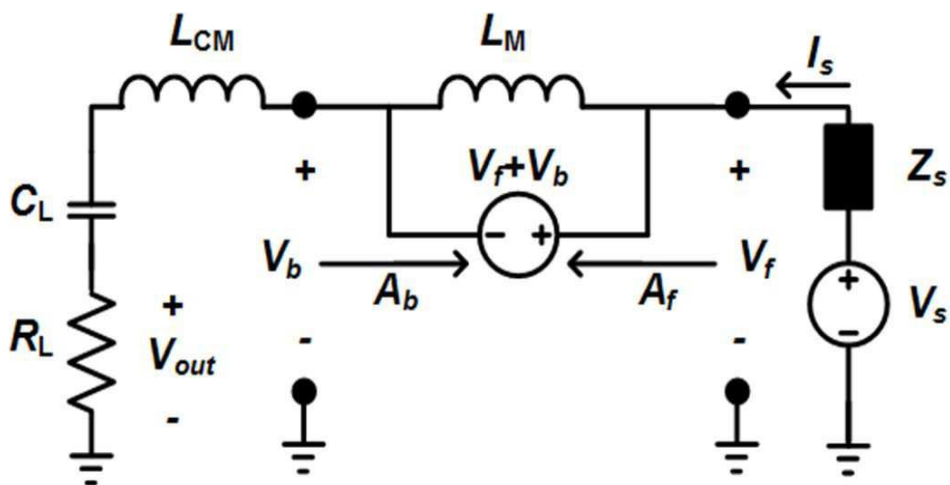


도면5

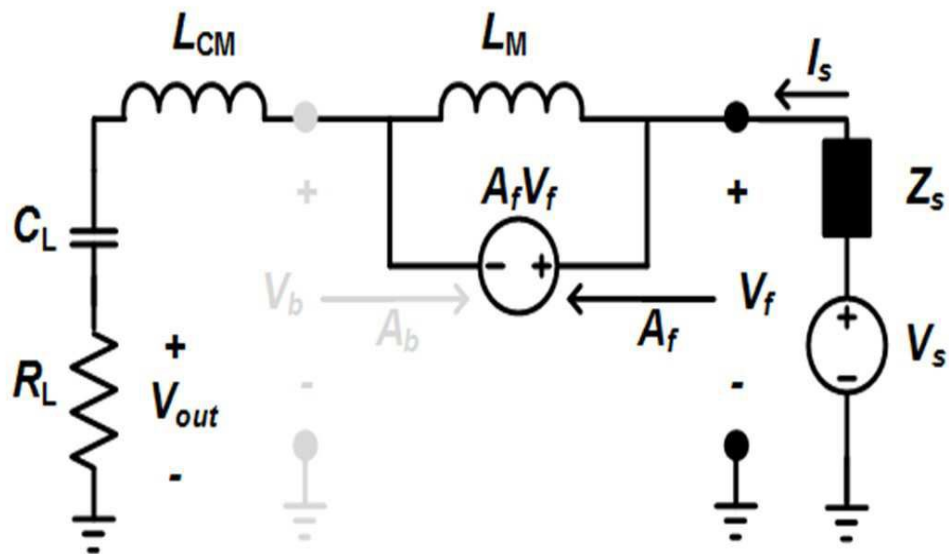
300



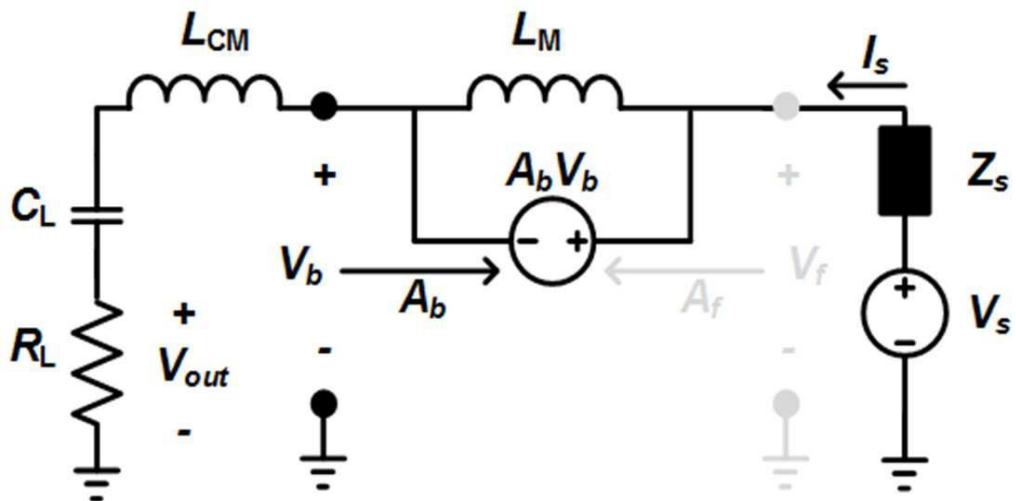
도면6



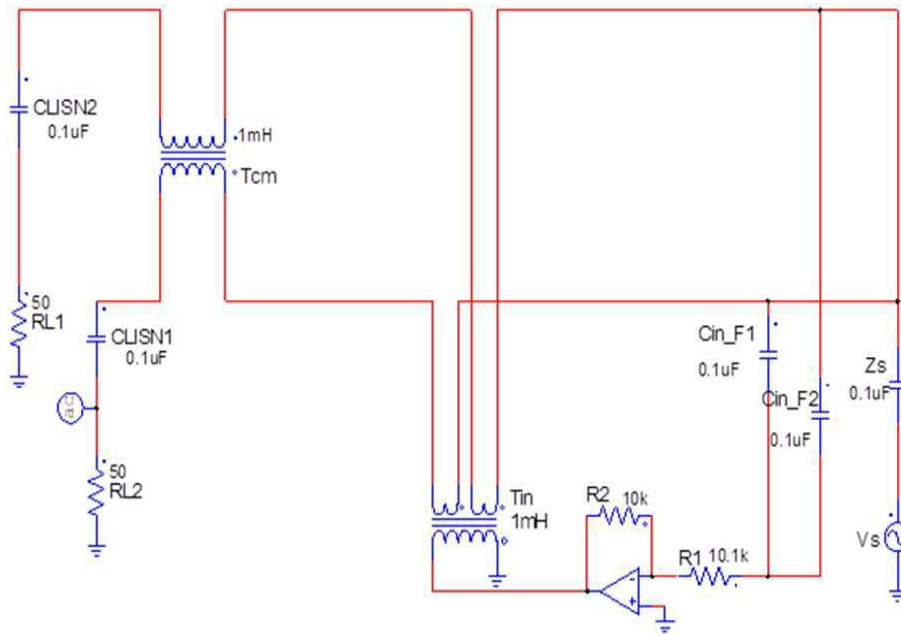
도면7



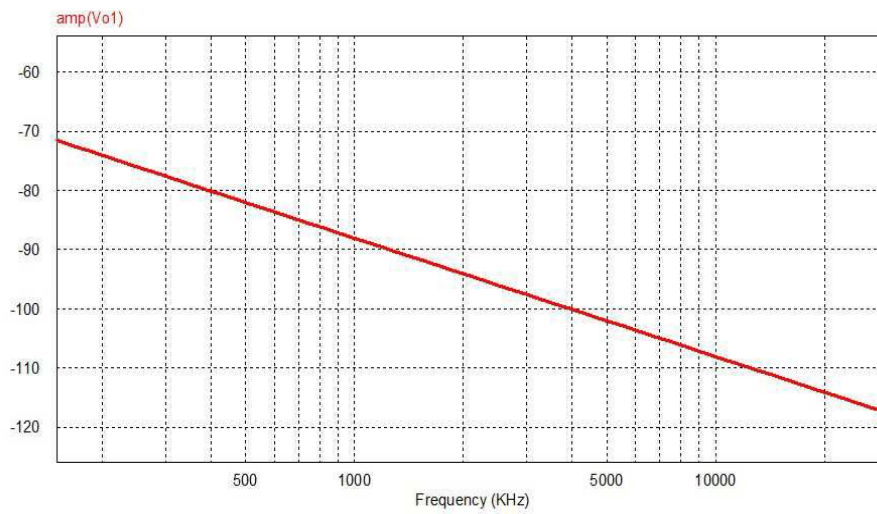
도면8



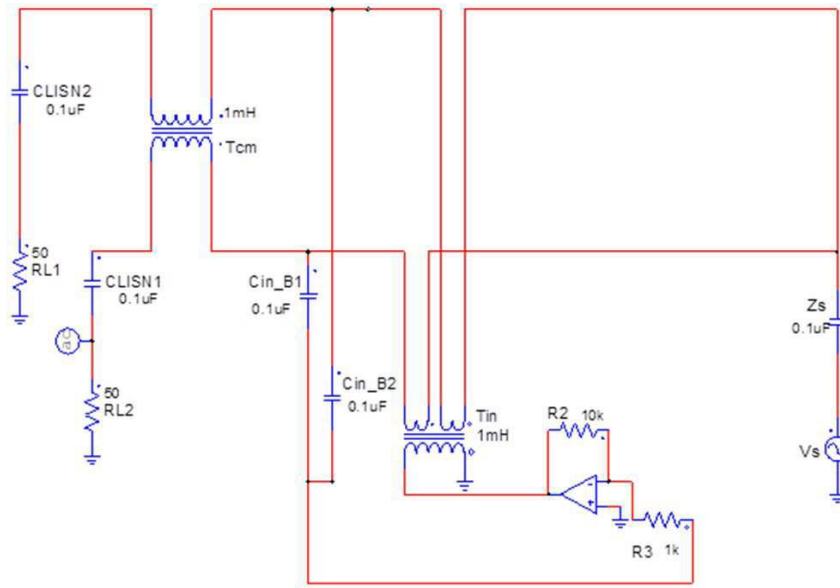
도면9



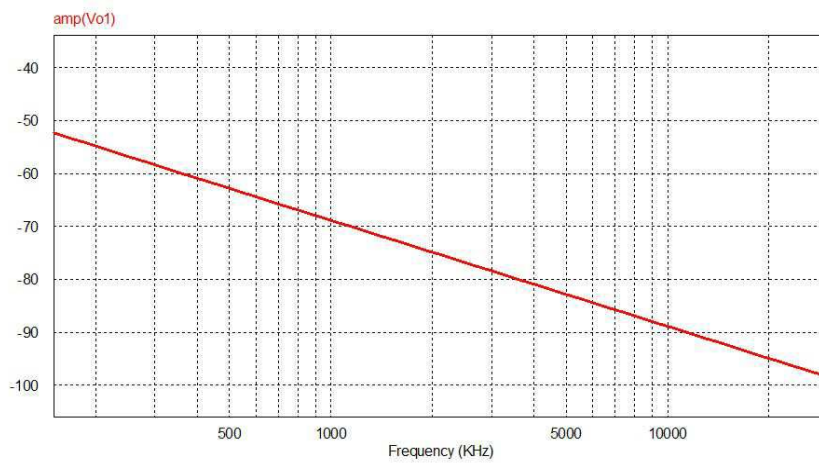
도면10



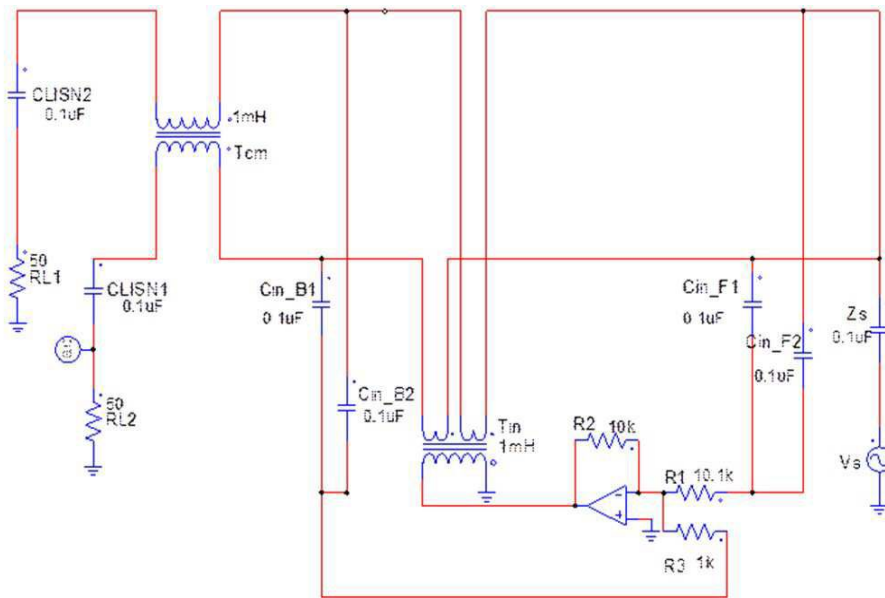
도면11



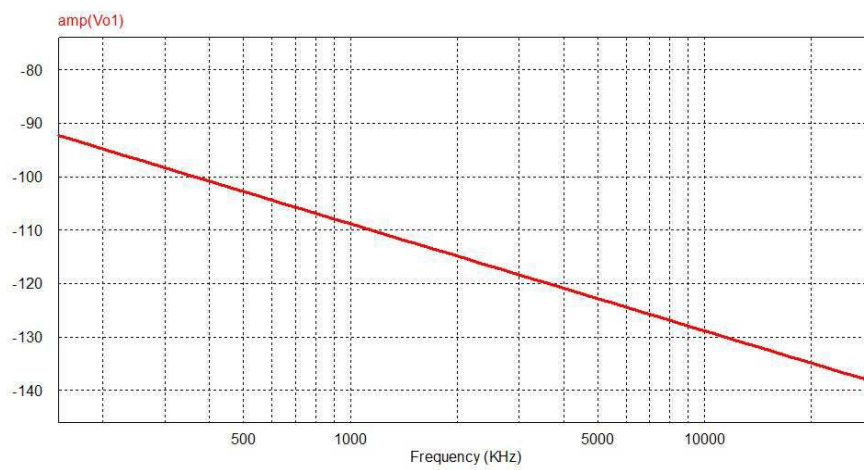
도면12



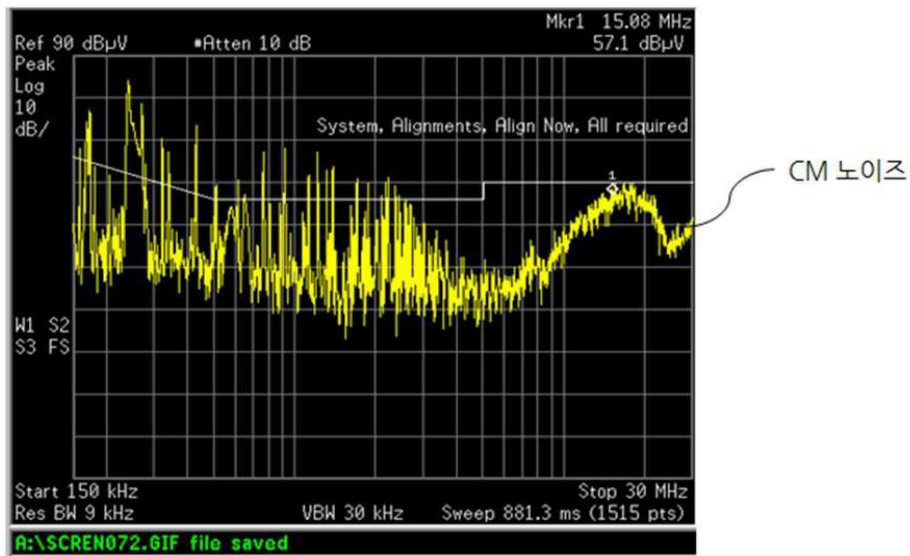
도면13



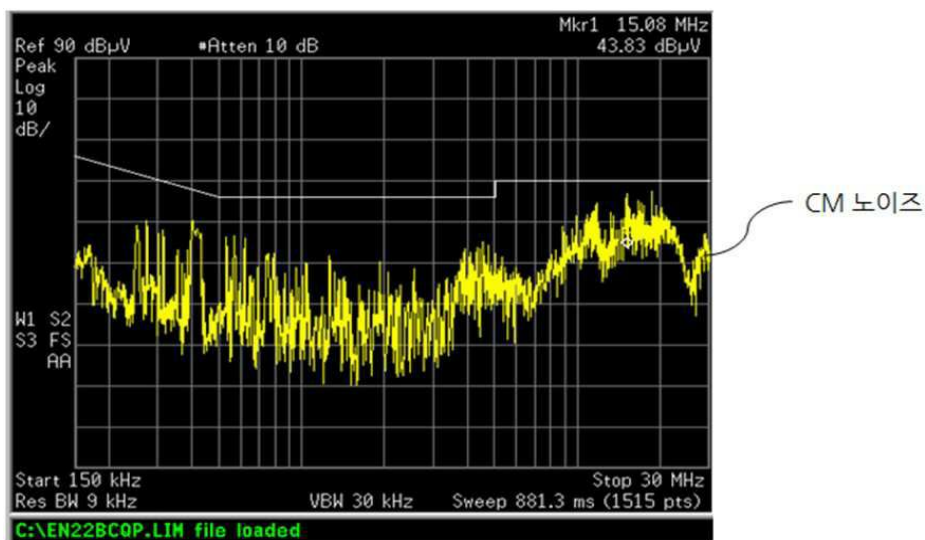
도면14



도면15



도면16



도면17

