CM Choke의 누설 인덕턴스를 이용한 리액터 설계

고종진, 최지환, 김성기, 박종진, 조동윤*, 노정욱**
삼성전자 생활가전(사), *상신전자, **국민대학교 전자공학부

Reactor Design Using the Leakage Inductances of CM Choke

Jong-Jin Ko, Ji-Hwan Choi, Sung-Ki Kim, Jong-Jin Park, Dong-Yoon Cho*, Chung-Wook Roh**
Samsung Electronics Digital Appliances, *Sangsin Electronic, ** Kookmin University Electrical Engineering

Abstract

본 논문은 고조파(Harmonics) 규제 만족을 위해 사용되는 리액터와 EMI(Electro-Magnetic Interference) 필터 회로에 관한 것으로서, 기존의 고조파 규제와 150kHz ~ 30MHz 대역의 EMI CE(Conducted Emission) 규제를 만족하기 위하여 각각 사용했던 리액터와 EMI 필터의 CM Choke 코일을 CM Choke의 누설 인덕턴스를 이용하여 CM Choke 코일 하나로 대체한다. 결과적으로 기존의 리액터 소자를 제거함으로써 사용 소자 개수 저감에 따른 부피 및 가격 저감을 실현할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 실제 제품에 적용해 고조파, EMI 측정결과 문제가 없음을 검증하였으며, 온도 특성도 문제가 없음을 확인했다.

1. 서 론

세탁기, 냉장고등과 같은 가전제품의 경우 EMI CE 규제를 만족하기 위한 EMI 필터가 삽입된다. 또한 추가적으로 고조파 규제를 만족시키기 위해서 일반적으로 리액터를 삽입하고 있다. 리액터는 돌입전류 제한 및 RMS 전류 감소를 통해 회로를 보호하는 등 중요한 역할을 하며, 리액터의 경우 일반적으로 수 mH ~ 수십 mH의 크기를 사용하며 독립적으로 사용을 하기 때문에 많은 부피를 차지한다.

본 논문에서는 CM choke의 누설 인덕턴스를 이용하여 기존에 사용된 리액터를 대체하여 리액터가 제거 가능한 CM choke 코일을 제안한다.

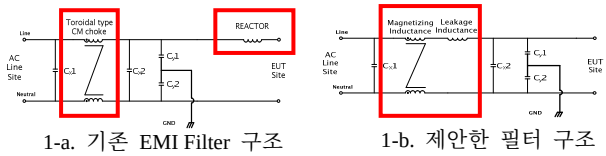
2. 본 론

2.2 기존 EMI Filter 및 리액터 적용 방법

그림 1-a는 종래에 적용되고 있는 EMI 필터와 리액터의 구조를 나타낸다. 입력측부터 살펴보았을 때 X-캐패시터와 CM choke, 다시 X-캐패시터, Y-캐패시터를 거쳐서 리액터로 연결되는 구조이다. 이때 EMI 규제만족을 위한 소자로는 CM choke와 Y-캐패시터(Cy1, Cy2)가 공통모드 노이즈 저감을 위해 사용되고 있으며 X-캐패시터(Cx1, Cx2)가 차동모드 노이즈 저감을 위해 사용되고 있다.

또한 고조파 규제를 만족시키기 위하여 한쪽 라인에 리액터가 삽입되어 있다.

실제 제품에서 EMI 필터에 CM choke를 사용하지 않았을 경우, 거의 전 대역 (150kHZ ~ 30MHz)에서 규제를 만족하지 못한다.

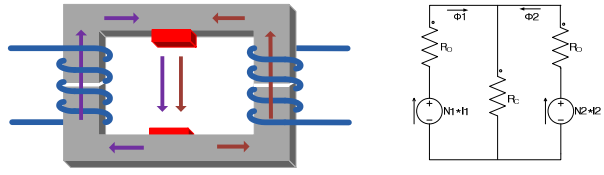


1-a. 기존 EMI Filter 구조 1-b. 제안한 필터 구조

그림 1. 제품에 적용되고 있는 EMI 필터 구조

2.2 제안한 리액터 적용 방법

기존의 EMI 필터 구조에서 리액터의 위치를 그림 1-b와 같이 옮기면 마치 CM choke의 자화 인덕턴스와 누설 인덕턴스의 구조와 같게 된다. CM choke의 누설인덕턴스를 제어함으로써 EMI에서의 CM choke의 기능과 고조파 규제에서의 리액터 역할을 모두 만족 시킬 수 있는 구조가 된다. 결과적으로 종래의 사용했던 두 개의 소자(CM choke, 리액터)를 하나의 소자로 구현할 수 있게 된다. 이것은 리액터 제거를 통해 부피 및 원가절감에 유리한 구조가 된다.



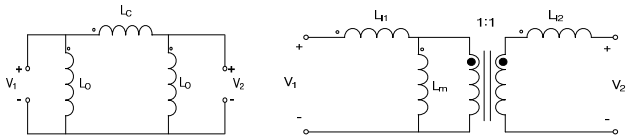
2-a. DM Mode 전류 도통 경로 2-b. 등가 Reluctance 회로 모델

그림 2. 리액터 겸용 CM Choke 형상과 등가 Reluctance 회로

제안한 CM choke는 누설인덕턴스를 쉽게 만들 수 있는 EE 구조의 코어 바깥 Leg에 1차와 2차를 각각 권선한 Line filter 구조, 즉 그림 2-a와 같은 모양이 적합하다.

공통모드 초크의 경우 누설 인덕턴스는 누설 자속에 의해 유도되므로 누설 자속의 경로 확보를 위해 그림 2-a와 같이 중족에 Air gap을 추가하면 누설 인덕턴스의 제어(증대/감소)가 가능해 진다. 그림 2-a에서는 자화인덕턴스 (L_m)와 누설인덕턴스(L_{lk})가 생성 된 EE 구조의 공통모드 초크의 자속 경로를 나타낸다.

제안된 EE 구조의 Core는 Ac: 코어 외측 단면적, $2Ac$: 코어 센터 다면적, lo : 코어 외측 Air gap 길이, lc : 코어 센터 Air gap 길이라고 하면, 그림 3-a과 같이 Reluctance 회로 모델로 나타낼 수 있고, 등가 변환 후 변압기 모델로 나타내면 그림 3-b와 같다.



3-a. CM Choke의 등가 모델 3-b. 변압기 모델

그림 3. 등가 변환 모델 과 등가 변압기 모델

등가모델로부터 외측의 턴 수 및 중족의 air gap을 구하기 위해 1-2차측 권선 수와 전류는 동일하다고 가정한다. (즉, $n_1 = n_2 = N,\ i_1 = i_2 = I$)

이때, 그림 2에서 Reluctance R_o와 R_c, 자속 Φ_1과 Φ_2는 식 (1)과 같다.

$$\mathcal{R}_o = \frac{l_o}{\mu_0 A_c}\ ,\ \mathcal{R}_c = \frac{l_c}{\mu_0 2A_c},$$

$$\Phi_1 + \phi_2 = B_c 2A_c = \frac{n_1 i_1 + n_2 i_2}{\mathcal{R}_O + 2\mathcal{R}_C} \quad (1)$$

또한, CM Choke의 전류는 식 (2) 관계가 있음이 알려져 있다.

$$I_{max} = 2I_{avg},\ I_{rms} = I_{max} \times \frac{\sqrt{1.5}}{2} = 0.612 \times I_{max}\ [1] \quad (2)$$

여기서, I_{avg}는 AC line쪽에서 공급하는 전류의 실효치이고, I_{max}는 전류의 최대치를 나타낸다.

따라서,

$$NI_{max} = \frac{l_o + l_c/2}{\mu_o} \quad (3)$$

그림 3에서 L_o, L_c는 식 (4)와 같다.

$$L_o = \frac{N^2}{\mathcal{R}_c}\ ,\ L_c = \frac{N^2}{\mathcal{R}_c} \quad (4)$$

그림 3-b는 그림 3-a를 Y-∇ 변환 후에 이상적인 변압기 (1:1) 삽입 시 얻을 수 있는 모델이고, 식 (5)와 식 (6) 관계가 성립한다.

$$L_{l1} = L_{l2} = \frac{\mu_0 N^2 A_o}{l_o + l_c} \quad (5)$$

$$L_m = \frac{\mu_0 N^2 A_o}{2(\frac{l_o}{l_c})(l_o + l_c)} \quad (6)$$

식(5)와 식(6)에서 L_m과 L_{ll}은 $L_m = \frac{l_c}{2l_o} L_{l1}$ 의 관계가 성립하고, air gap 비율만의 함수임에 주목할 필요가 있다. 필요한 턴수와 필요한 air gap은 식 (7)과 식 (8)이다.

$$N = \frac{L_{l1} I_{max}}{B_{max} A_c} \quad (7)$$

$$l_o = \frac{\mu_0 N I_{max}}{(1 + \frac{l_o}{2l_c} L_{l1}) B_{max}} \quad (8)$$

그림 3-a에서 한쪽 단자를 open하고 측정한 인덕턴스 값이 *L_open,* short하고 측정한 인덕턴스 값이 *L_short*라 하면, 다음 식 (9)가 성립한다.

$$L_{open} = L_{lk} + L_m\ ,\ L_{short} = L_{lk} + L_{lk}/L_m \quad (9)$$

식 (9)을 풀면, 실제 L_{ll} 와 L_m값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L_{lk} = L_{open} - \sqrt{L_{open}^2 - L_{open} L_{short}} \quad (10)$$

$$L_{lm} = \sqrt{L_{open}^2 - L_{open} L_{short}} \quad (11)$$

식 (7)로부터 *Bmax*는 포화를 고려해서 0.2*T*로 설정하고 CM Choke의 단면적 *Ac*, 최대전류 *Imax*, 기존 CM Choke 값 L_m, 기존 Reactor 값의 절반인 L_{ll}를 이용해서 N을 구하면 대략적으로 *N=100* 턴정도 나온다. L_m=50L_{l1} 으로 설정하면 l_o는 *0.2mm* 정도 나온다.

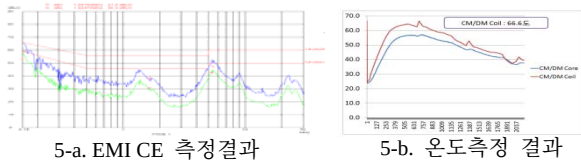
실제 구성된 제품에서 *L_open, L_short* 측정하면 *L_open = 3.1mH, L_short = 0.96mH*로 측정되고, 이로부터 L_{ll} = *0.52mH* 와 *Lm = 2.58mH*를 구할 수 있다. 실제 제품에서 사용되던 CM값은 *2.5mH*이고 리액터 값은 *1.0mH* 이다.

기존에 사용되고 있는 CM Choke 와 리액터는 그림 4-a와 같으며, 제안된 CM Choke 구조는 그림 4-b과 같다.

4-a. 기존 CM Choke와 리액터 4-b. 제안된 CM Choke

그림 4. 기존 CM Choke와 리액터, 제안된 CM Choke 실물

실제 제품에 적용했을 경우 사용 효과를 확인하기 위해 EMI CE와 제품의 온도 특성을 확인하면 그림 5와 같다. 고조파 규제 측정 결과는 표1과 같다.



5-a. EMI CE 측정결과 5-b. 온도측정 결과

그림 5. 제안된 CM Choke EMI CE 와 온도 측정

	1 고조파	3 고조파	5 고조파	7 고조파	9 고조파
전류(Class A)[A]		2.3	1.14	0.77	0.4
전류(제안 CM choke)[A]	2.59	1.01	0.82	0.59	0.36

표 1. 제안된 CM Choke 필터 적용 고조파 규제 측정 결과

그림 5와 표 1의 결과로 리액터의 추가 사용 없이 고조파규제, EMI CE 규제와 온도 특성이 문제가 없음을 확인했다.

3. 결 론

본 논문에서는 CM choke의 누설인덕턴스 설계를 통해 리액터의 효과를 대신할 수 있으며, 그 결과 소자 수의 저감에 따른 부피 저감 및 단가 저감으로 인한 경쟁력을 높일 수 있다. 또한 종래의 Toroidal type CM choke는 수작업으로 제작함에 따른 생산성이 저하되는 단점이 있지만, 제안한 방식은 보빈을 이용한 자동화 권선이 가능함에 따라 생산량의 증가 및 제작 비용의 저감 등을 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Sanjaya Maniktala "Switching Power Supply Design & Optimization", McGraw-Hill, 2004.

[2] Stephen D. Freeland, "Techniques for the Practical Application of Duality to Power Circuits", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS. VOL. 7. NO 2. APRIL. 1992. pp374 - pp384.