

시뮬레이션을 통한 1.5kW MHL 전자식 안정기 설계 및 해석

박종연*, 김기남*, 최영민*
 강원대학교 IT 특성화 학부(대학) 전기전자 공학과*

Analysis and Design of 1.5kW MHL Electronic Ballast Using Simulation

Jong-Yeon Park*, Ki-Nam Kim*, Young-Min Choi*
 Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University*

Abstract - 본 논문은 시뮬레이션을 이용하여 1.5kW MHL(Metal Halide Lamp) 전자식 안정기 설계 및 해석하였다. 일반적으로 사용되고 있는 1.5kW MHL용 안정기는 여러 개의 자기식 안정기로 구성되어 국가적으로 많은 에너지 손실을 발생되고 있다. 따라서 본 논문에서는 1.5kW MHL용 전자식 안정기를 설계하였으며, 이론 및 시뮬레이션을 통하여 제안한 전자식 안정기의 성능을 검증하였다.

1. 서 론

산업이 발전함에 따라서 야간 조명(공장, 운동장 등 스포츠 시설, 어선, 공항, 및 항만 등)의 고출력화가 되어가고 있다. 그 중 메탈 할라이드 램프는 우수한 연색성과 광 효율, 작은 사이즈, 긴 수명의 장점으로 각광을 받고 있다[1]~[3]. 메탈 할라이드 램프를 위한 안정기는 전자식과 자기식으로 구분 된다. 전자식 안정기는 자기식 안정기보다 무게가 가볍고, 크기가 작으며 광 효율이 높다는 장점이 있다. 그러나 스위칭 소자의 사용으로 신뢰성이 저하되며, 음향공명현상이 발생하는 문제점이 있다.

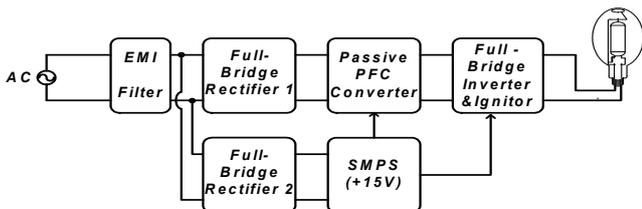
현재까지는 1.5kW 미만의 MHD 램프용 자기식 안정기를 여러 개로 구동하여 사용하고 있다. 따라서 전기 에너지의 약 20%를 쓰고 있는 조명 에너지 가운데 1.5kW 대용량 램프의 전기 에너지를 절약하기 위한 방법으로 1.5kW 메탈 할라이드 램프를 구동하기 위한 전자식 안정기 개발의 필요성이 증가하고 있다. 특히 1.5kW 메탈 할라이드 램프는 2.0kW 메탈 할라이드 램프의 90%의 조도를 내는 특성이 있다. 그러나 1.5kW이상의 전자식 안정기의 개발은 안정기 자체의 발열과 반도체 소자의 내열 특성 및 신뢰성 때문에 개발에 상당한 어려움을 겪고 있다. 또한 IEC 1000-3-2와 같은 국제 표준의 권장 및 채택으로 MHL용 전자식 안정기에 대해 입력 전류의 고조파 제한, 입력 역률 개선(Power Factor Correction)에 대한 요구가 점차 커지고 있다[4]~[9]. 일반적으로 THD(Total Harmonic Distortion)는 20% 이하 역률은 0.95이하의 특성이 요구되고 있다.

본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 표 1을 만족 시키는 1.5kW MHL 전자식 안정기를 설계 및 해석하였다.

<표 1> Design Spec

Parameter	Value	Parameter	Value
V_{in}	220V	V_{Lamp}	260V
$V_{DC-link}$	280V	I_{Lamp}	5.8A
$V_{ripple(DC-link)}$	28V	f_{sw}	20kHz
Power Factor	0.95 ≥	$THD_{I_{in}}$	20% ≤

2. 본 론

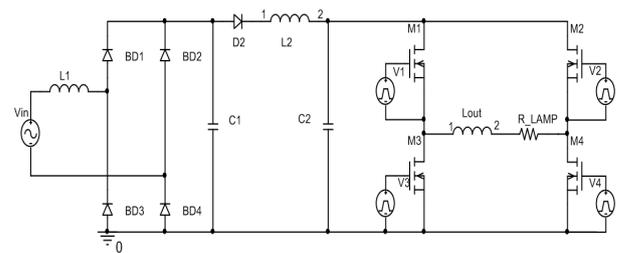


<그림 1> 1.5kW 전자식 안정기 블록도

그림 1은 설계할 1.5kW 전자식 안정기의 블록도이다. 먼저 방사성 노이즈의 유입 및 유출을 방지하기 위한 EMI 필터가 있고, AC입력을 DC로 만들어 주기 위한 전파정류가 있다. PFC로는 수동과 능동이 있으며, 본 논문에서는 전자식 안정기는 신뢰성이 최우선이라는 전제하에 능동 PFC에 비해 성능은 뒤쳐지지만, 신뢰성이 우수한 수동 PFC를 채택 하였다. 마지막으로 풀 브릿지 인버터를 통해 램프에 전력을 전달하는 구조로 되어있다.

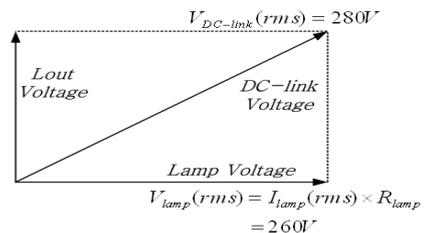
2.1 안정기의 설계

입력 단 인덕터를 고려한 경우는 근사적으로도 전원 전류의 표현식을 증명하기가 어렵다[24]. 따라서 수동 PFC의 소자 값은 조건에 만족하도록 Cadence社 시뮬레이션 Tool인 Pspice(Ver.10.5)의 Parameter Sweep을 통해 결정하였다.



<그림 2> 시뮬레이션 회로도

그림 2에서 I_{out}, R_{lamp} 는 각각 인버터 L과 램프의 등가 저항을 나타낸 것으로 그림 3의 벡터도에 의해 구할 수 있다.



<그림 3> Lout, Rlamp를 위한 벡터도

표 1에서 램프의 관 전압은 260V, DC-Link 전압은 280V, 그리고 풀 브릿지 인버터의 스위칭 주파수는 20kHz이다. MH 램프는 고주파수로 구동 시 저항으로 등가 할 수 있다.

$$R_{lamp} = \frac{V_{lamp}^2}{P_{lamp}} = \frac{260^2 V}{1500} = 45.07\Omega \dots \dots (1)$$

출력단의 L_{out} 양단에 걸리는 전압은 식 (2)를 통해 얻을 수 있다.

$$V_{out} = \sqrt{(V_{DC-link})^2 - (V_{lamp})^2} \dots \dots (2)$$

식 (2)를 통해 출력단의 L_{out} 양단에는 약 100V가 걸린다. 그러나 실제 회로에서 존재하는 스위치와 선 저항에 의해 Drop되는 전압을 고려하여 80V로 가정을 하였다. 이 값을 이용하여 출력단의 L_{out} 값은 식 (3)을 통해 얻을 수 있다.

$$L_{out} = \frac{V_{lamp}}{j2\pi f \times I_{lamp}} \dots \dots \dots (3)$$

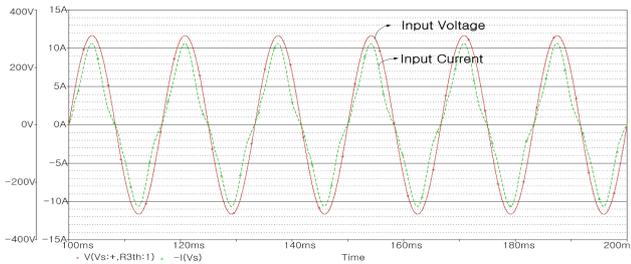
식 (3)을 이용하여 얻은 L_{out} 의 값은 109 μ H이다. 수동 PFC를 구성하는 소자들 또한 Parameter Sweep을 통하여 각각의 최적 값을 구한 것을 표 2에 정리하였다.

〈표 2〉 수동 PFC 회로의 소자 값

소자	Value	소자	Value
L_s	44mH	C1	80 μ F
L_f	22.5mH	C2	940 μ F
L_{out}	109 μ H	R_{Lamp}	45.07 Ω

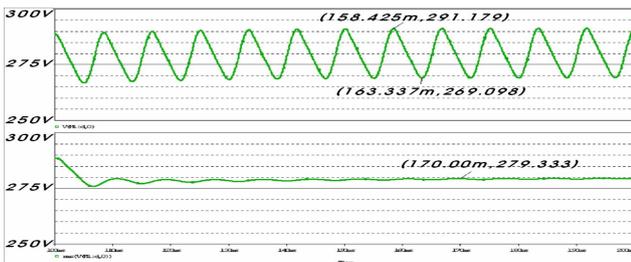
2.2 시뮬레이션

앞서 설계한 소자 값들을 바탕으로 표 1의 조건을 만족하는 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.



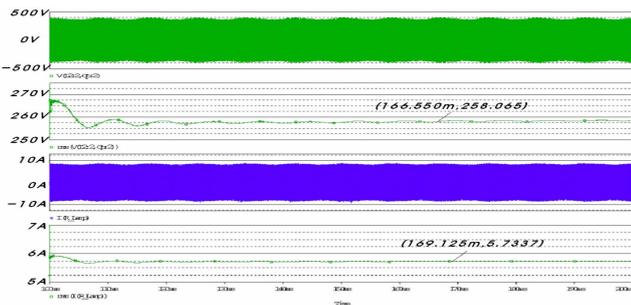
〈그림 4〉 입력 전압/전류

그림 4는 1.5kW 전자식 안정기의 입력 전압, 전류이다. 수동 PFC에 의해 전압과 전류의 위상차를 보상하여 동상을 이루고 있음을 확인 할 수 있다.



〈그림 5〉 DC-Link 전압(MAX 291V, MIN 269V, RMS 279.3V)

그림 5는 DC-Link 전압으로 목표치 280V(rms)를 만족하였다.



〈그림 6〉 관 전압(RMS 258V)/관 전류(RMS 5.7A)

그림 6은 램프의 전압과 전류를 측정된 결과이다. 램프의 관 전압은 약 258V, 관 전류는 5.7A로 약 1470W의 출력 값을 갖는다.

〈표 3〉 입력 전류의 푸리에 분석

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE (V_Vs)

DC COMPONENT = 1.136251E-03

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	6.000E+01	9.001E+00	1.000E+00	-1.764E+02	0.000E+00
2	1.200E+02	2.702E-03	3.002E-04	3.528E+01	3.881E+02
3	1.800E+02	1.535E+00	1.706E-01	5.245E+00	5.344E+02
4	2.400E+02	1.016E-03	1.128E-04	-1.941E+01	6.862E+02
5	3.000E+02	2.525E-01	2.805E-02	1.312E+02	1.013E+03
6	3.600E+02	1.578E-03	1.753E-04	-6.142E+01	9.970E+02
7	4.200E+02	9.435E-02	1.048E-02	1.153E+02	1.350E+03
8	4.800E+02	1.098E-03	1.220E-04	-5.955E+01	1.352E+03
9	5.400E+02	3.678E-02	4.087E-03	5.212E+01	1.640E+03
10	6.000E+02	4.281E-04	4.756E-05	-1.073E+02	1.657E+03
11	6.600E+02	4.898E-02	5.442E-03	-1.041E+01	1.930E+03
12	7.200E+02	1.234E-03	1.371E-04	1.498E+02	2.267E+03
13	7.800E+02	4.282E-02	4.758E-03	-2.595E+01	2.267E+03
14	8.400E+02	1.540E-03	1.711E-04	1.242E+02	2.594E+03
15	9.000E+02	1.756E-02	1.951E-03	-4.634E+01	2.800E+03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.733933E+01 PERCENT

표 3은 입력전류의 푸리에 분석한 데이터로 THD는 17.33%이며, 역률은 0.954로 기준치에 만족함을 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 1.5kW MHD 램프용 전자식 안정기의 설계 및 해석을 하였다. 초기에 표 1의 값을 목표로 이론과 시뮬레이션을 통하여 회로 내의 소자들의 최적값을 구하였다. 표 2의 소자값을 적용하여 수동 PFC를 구성한 결과 0.95 이상의 역률과 국제 고조파 제한치를 만족하였다. 또한 1.5kW MHD 램프가 정 출력을 낼 수 있는 관 전압 및 관 전류의 기준치를 만족하였다. 그러나 제한한 회로의 실험적 검증이 이루어지지 않았으므로 향후 진행되어야 할 것으로 사료된다.

- 감사의 글 -

본 연구는 지식경제 기술혁신사업의 도움으로 수행할 수 있었음을 감사히 생각합니다.

[참고 문헌]

[1] Rong Guo, Zhaoming Qian, "A Novel Low-Cost High-reliability Ignitor for Metal Halide Lamps", in Proc. IEEE APE'06, 2006, pp19~23.

[2] Chenyang Liu, Changsheng Hu, Zhongchao Zhang, "Analysis and Design of Ignitor for HID ballast", in Proc. IEEE IAS'05, 2005, vol.3 pp.1949~1953.

[3] C. Y. Park, G. H. Jo, D. Y. Jung, "The kind and Characteristic of Ballast", Journal of the KIPE, Vol.4, No.3, pp. 24~29, 1999, 6.

[4] K.N.Sakthivel, Sisir K.Das, K.R.Kini, "Importance of Quality AC Power Distribution and Understanding of EMC Standards IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3 & IEC 61000-3-11", Proceeding of INCEMIC, 2003

[5] R. Carbone, A.Scappatura, "A High Efficiency Passive Power Factor Corrector for Single-Phase Bridge Diode Rectifiers", IEEE. Ann. conf., pp, 1627-1630, 2004

[6] R. Carbone, P.Corsonello, "A New Passive Power Factor Correction for Single-Phase Bridge Diode Rectifiers", IEEE, 2003

[7] W.M.Lin, J.Sebastian, A.Fernandez, M.M.Hernando, P.J.Villegas, "Design of the Basic Rectifier with LC Filter to Comply with the New Edition of the IEC1000-3-2 Current Harmonics-Limit Specifications(Edition 2.0)", IEEE, 2002