

시뮬레이션기법을 이용한 자려식 전자식 안정기 설계

(A Design of Self-Exciting Electronic Ballast Using the Simulation Method)

노재업* · 이진우

(Jae-Yup No · Chin-Woo Yi)

요 약

본 논문은 PSpice 시뮬레이션을 이용하여 전자식 안정기의 인버터 회로를 설계하고 실제로 제작된 안정기와 전기적 특성을 비교하였다. 본 논문에서 사용한 전자식 안정기의 구동 방식은 하프브리지 인버터 구조의 자려식으로 실제 안정기의 전기적 특성과 같은 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract

This paper designed electronic ballast inverter circuit using the PSpice simulation and it compared with practical ballast about electrical characteristics. Used electronic ballast driving type is self-exciting half bridge inverter we have got much the same electrical result both simulation and experiment of practical electronic ballast.

Key Words : PSpice, Self-Exciting half bridge inverter

1. 서 론

전자식 안정기를 설계, 제작함에 있어서 안정기 회로의 전기적 특성을 예측하고 그 특성을 고찰하는 것은 중요한 과정의 하나이다. 특히 근래에는 다양한 시뮬레이션 프로그램이 보급되어 실제 안정기 회로에 대한 실험을 직접 행하지 않더라도 전자식 안정기의 전기적 특성을 예측, 평가할 수 있어 회로 구성과 특성 해석에 필요한 시간과 경비를 줄일 수 있다.

일반적으로 전자식 안정기는 구동 방법에 따라 그림 1 (a), (b)와 같이 자려식과 타려식으로 구분된다. 자려식 구동방식은 다이액 및 구동코일, 즉 펄스트랜스로 구성되어 있어, 회로구성이 간단하고 제조비용이 낮으며 타려식에 비하여 효율이 높은 장점을 가지고 있다. 하지만 스위칭 주파수를 공진주파수에 의존할 수밖에 없으며, 공진회로에서 인덕터와 커패시터에 의한 정확한 공진주파수를 산출하기 어렵고, 입력전압의 크기에 따라 구동코일의 주파수가 바뀌어 광 출력이 변화하는 단점이 있다.

타려식 구동방식은 제어 IC 및 보조전원으로 구성되어 게이트를 직접 구동하므로 스위칭 주파수를 쉽게 가변할 수 있다. 또한 IC를 이용한 스위칭으로 일정한 공진주파수 파형을 만들어 주기 때문에 방전

* 주저자 : 호서대학교 전기공학과 박사과정
Tel : 041-532-3269

E-mail : njy7010@hanmail.net
접수일자 : 2005년 10월 13일
1차심사 : 2005년 10월 20일, 2차심사 : 2005년 11월 22일
심사완료 : 2005년 12월 6일

램프의 수명에 관계된 문제점을 간단하게 극복할 수 있다.

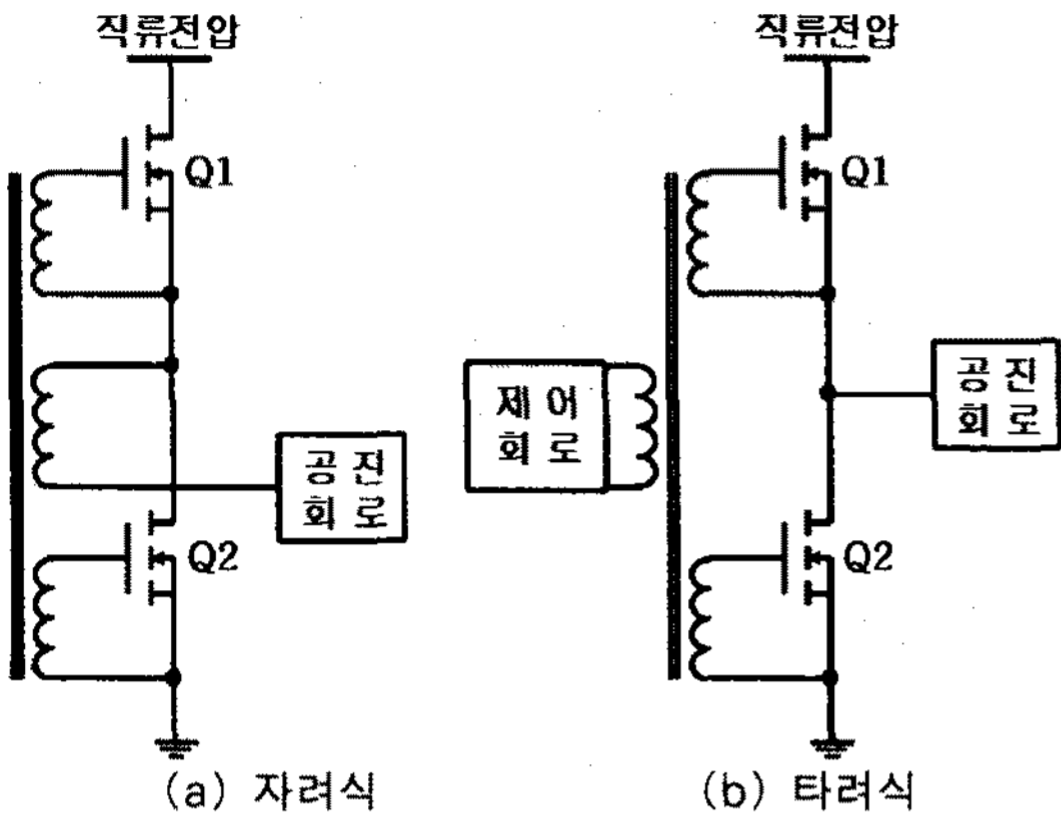


그림 1. 공진형 인버터의 구동방식
Fig. 1. Resonant inverter driving types

램프 방전 초기상태에서는 시동시 인덕터, 커패시터에 의해 공진주파수보다 높은 주파수로 동작시키고, 점등 후에는 공진점으로 주파수를 접근시킨다. 이러한 경우 방전램프의 전극에 가해지는 악영향을 줄일 수 있으며 또한 제어 IC의 간단한 응용으로 램프수명 말기에 스위칭 디바이스의 과전류를 제한할 수 있고, 조광제어가 가능하며, 전원전압의 변화에도 안정된 출력을 얻을 수 있는 장점이 있다.

타려식 구동방식은 자려식 구동방식보다 신뢰성이 뛰어나며 고기능 전자식 안정기에 적합하다. 하지만 별도의 제어회로와 보조전원이 필요하므로 회로가 복잡해지고, 고주파 구동시 구동손실이 커지며, 제조원가가 비싸지는 단점을 가지고 있다.

현재 사용되는 여러 종류의 시뮬레이션 프로그램 중 많이 사용되어지는 것 중 하나는 cadence사의 PSpice로서 이를 이용하여 타려식 전자식 안정기를 시뮬레이션 할 경우 스위치 구동부를 원하는 주파수대의 구동 전압원으로 증가화 하여 간단하게 회로를 구성할 수 있지만, 자려식 전자식 안정기의 경우는 펄스트랜스(Gate Drive Transformer)에 의해 스위치가 동작되기 때문에 초기 스위칭을 위한 시동 회로를 구성하여야 하는 어려움이 있어 실제 PSpice를 이용한 시뮬레이션에 적용하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 논문은 시중에서 판매되고 있는 자려식 방식의 전자식 안정기를 선정하여 그 특성을 해석하고 이를 PSpice에 적용하여 시뮬레이션 함으로서 실제 전자식 안정기와 전기적 특성을 비교하였다.

2. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 시뮬레이션과 실제 전자식 안정기에 사용한 방식은 그림 2와 같은 형태의 Gate Drive Transformer를 포함한 RLC 공진형 인버터 방식이며, 공진을 일으키는 인덕터 L_s 의 값을 각각 변화시켜 시뮬레이션에서의 동작주파수가 실제 자려식 전자식 안정기의 동작주파수처럼 공진소자의 영향을 받으면서 변화하는지 여부를 살펴보았다. 이 때 실험에 사용되어진 램프는 오슬람사의 FPL24EX-D의 콤팩트 형광램프를 사용하였다.

먼저 스위칭 동작은 펄스트랜스에 의해 MOSFET Q1과 Q2에 위상이 서로 다른 게이트 전압을 인가시켜 교대로 ON, OFF하도록 하였다. MOSFET의 스위칭 주파수는 자려식 공진이므로 L_s 와 C_p , C_s 로 이루어진 공진회로의 공진 주파수와 같다.

초기 시동시 방전램프(R_{lamp})는 개방상태이므로 공진전류는 L_s - C_p - C_s 경로로 흐른다. 보통 C_p 는 C_s 보다 상당히 작은 값을 갖기 때문에 C_p - C_s 의 직렬 회로에서 C_s 는 무시되고, 시동시의 L_s 와 C_p 의 공진에 의해 램프 양단의 전압을 얻는다. 따라서 시동시 공진 주파수는 L_s 와 C_p 에 의해 정해진다. 그러나 일단 시동되어 방전등이 발광하면 방전등에 비해 임피던스가 훨씬 큰 C_p 로는 공진 전류가 거의 흐르지 않고 대부분의 공진 전류는 L_s - R_{lamp} - C_s 경로로 흐르므로 공진 주파수는 L_s 와 C_s 에 의해 결정되어진다.

시뮬레이션 상에서 부하인 램프의 특성을 완벽하게 구현하는 것은 무척 힘든 일이다. 특히 점등 전과 점등 후의 램프저항 특성은 극히 짧은 시간에 크게 변화하는 부저항 특성을 가지고 있기 때문에 일반 저항만으로 시뮬레이션 하는 방법에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 램프를 단순저항으로 증가화 할 때 스위치를 이용하여 여러 개의 저항을 순차적으로 변화시키는 방법을 사용하였다[1].

시뮬레이션기법을 이용한 자력식 전자식 안정기 설계

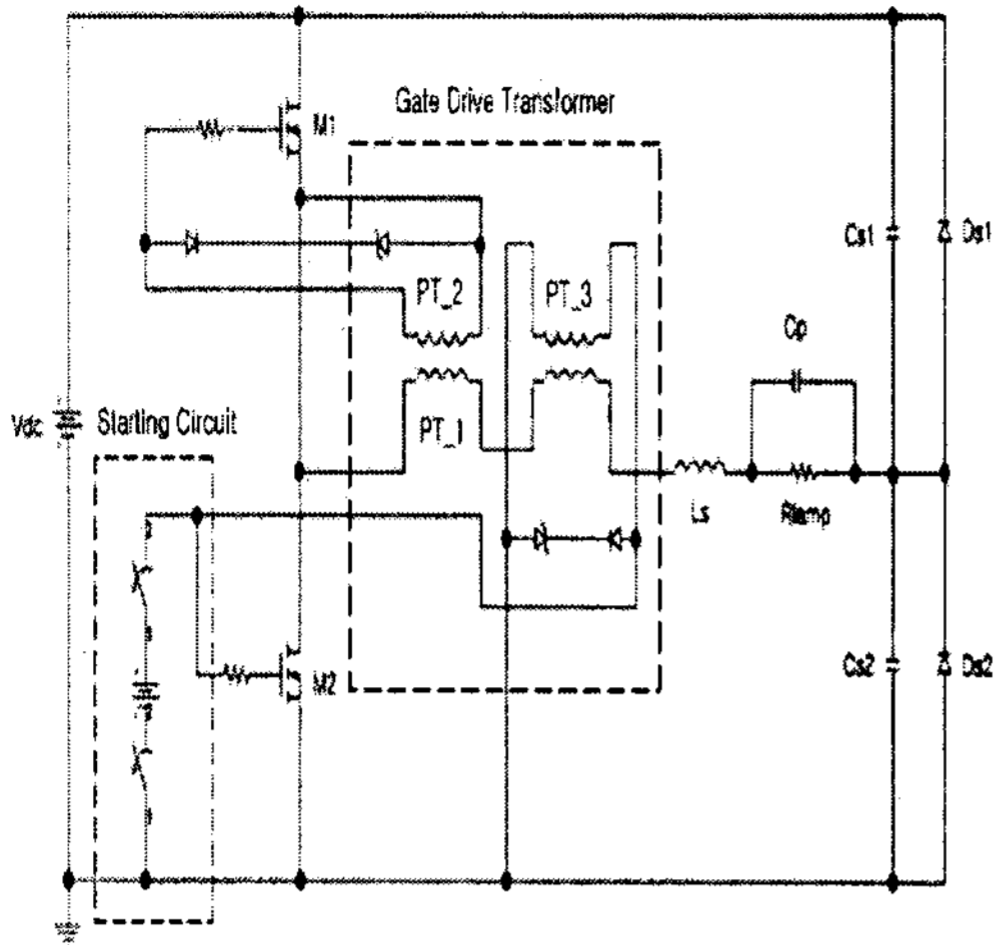


그림 2. PSpice 시뮬레이션 회로
Fig. 2. PSpice simulation circuit

또한 자력식 전자식 안정기의 경우 초기 시동시, MOSFET 스위치를 비롯한 L_s 와 C_p , C_s 로 이루어진 공진회로만으로는 램프를 방전시킬 수 없기 때문에 별도의 트리거 회로가 필요하다. 즉 자력식인 경우에는 시동시 공진 전류의 초기상태가 0에서 시작하므로 Gate Drive Transformer의 2차측에 유기되는 전류도 0에서 시작하는 아주 작은 값을 갖기 때문에 이 전류로는 MOSFET을 스위칭시킬 수 없다. 따라서 램프를 시동하기 위해서는 일반적으로 그림 3과 같은 시동회로가 필요하다.

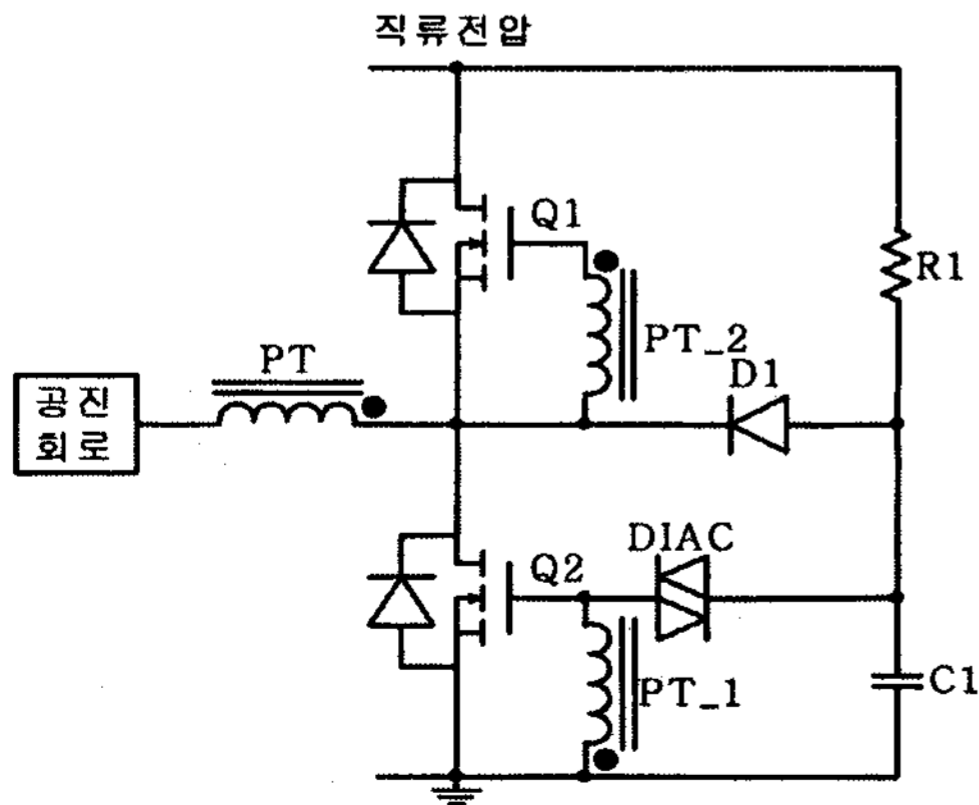


그림 3. 시동회로
Fig. 3. Starting Circuit

즉 회로 양단에 직류 링크전압이 인가되면 저항 R_1 의 전류에 의해 C_1 이 충전되고 다이액의 문턱전압(breakover voltage)에서 다이액은 순간적으로 단락되어 MOSFET Q2 스위치를 온 시킴으로써 공진 탱크는 트리거된다. 이때 다이오드 D1은 MOSFET Q1 스위치가 온 되기 전에 C_1 을 급속히 방전시켜 시동을 가능하게 한다[2].

본 논문에서는 그림 2의 Starting Circuit으로 표시한 것과 같이 MOSFET Q2의 게이트 단자에 초기 스위칭을 위하여 DC 32[V]의 전압을 인가한 후 짧은 시간에 스위치 S를 open시킴으로써 시동회로를 구성하였다.

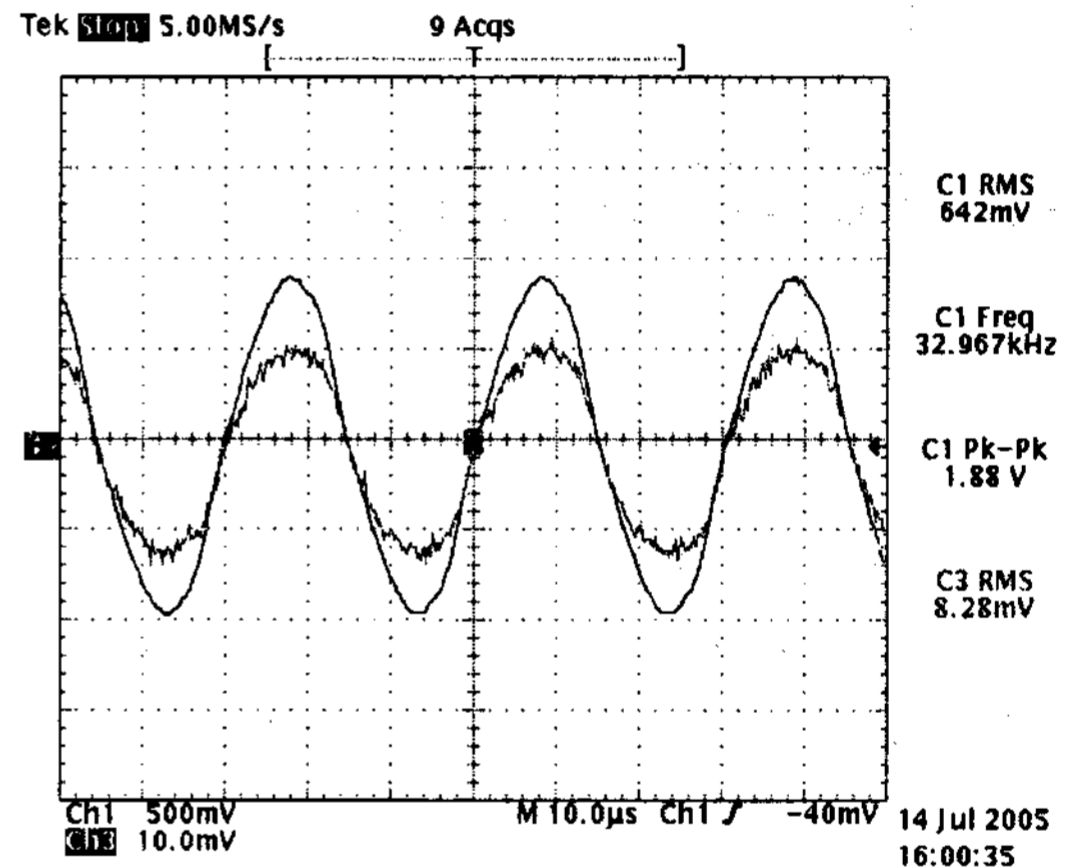


그림 4. 측정된 램프의 출력전압 및 전류파형
Fig. 4. Measured output voltage and current wave forms of the lamp

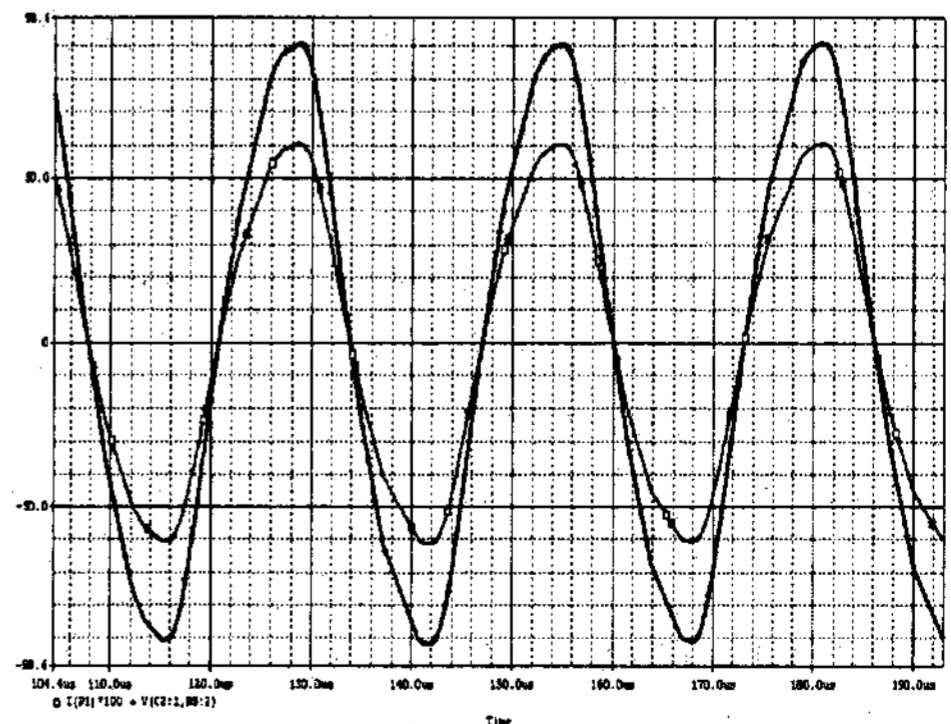


그림 5. 시뮬레이션에 의한 램프의 출력전압 및 전류파형
Fig. 5. Simulated output voltage and current wave form of the lamp

그림 4와 그림 5는 각각 인덕터 L_s 가 2[mH]일 때 실제 전자식 안정기와 PSpice 시뮬레이션의 램프 출력 전압, 전류파형을 나타낸 것으로 실제 안정기의 경우 램프전압은 약 64[V], 램프전류는 약 0.41[A]로 나타났으며 시뮬레이션의 경우는 램프전압은 약 64.8[V], 램프전류는 약 0.48[A]로 나타나 시뮬레이션과 실제 전자식 안정기의 램프 출력이 거의 일치하였다.

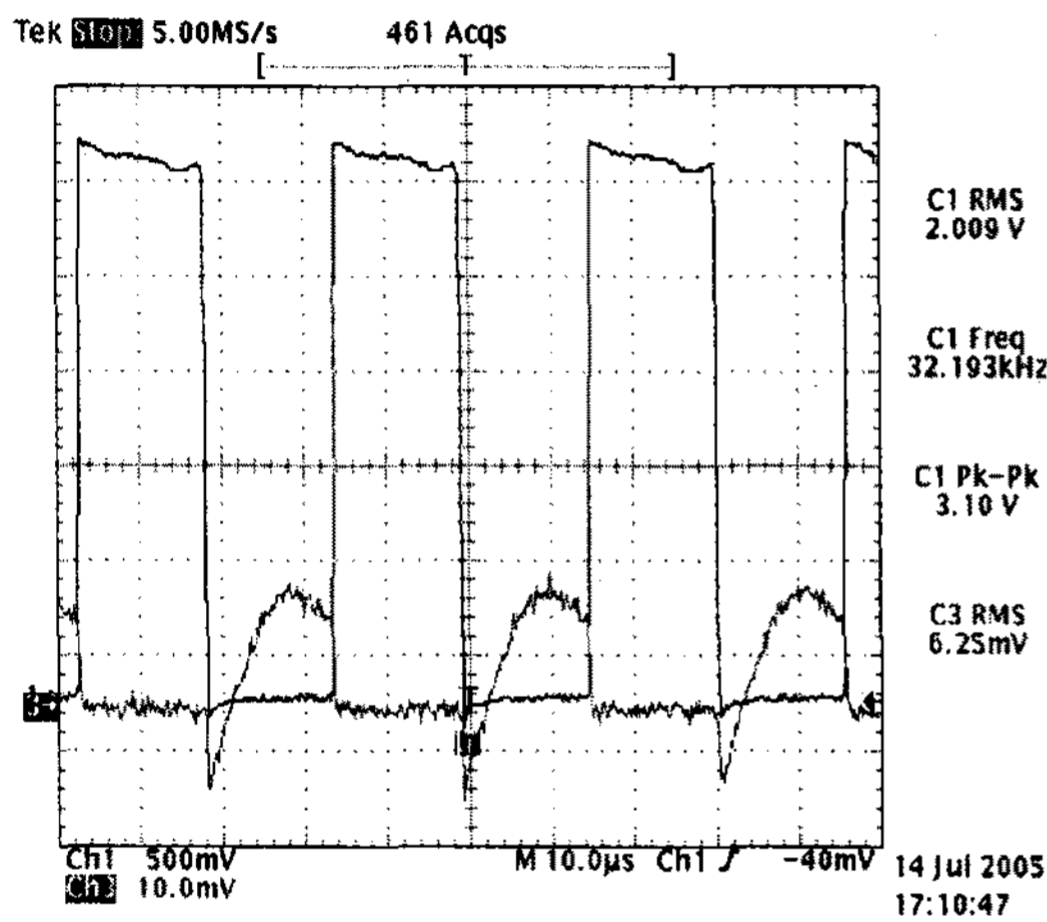


그림 6. MOSFET의 드레인-소스 전압과 드레인 전류파형
Fig. 6. Drain-Source voltage and Drain current waveform of MOSFET

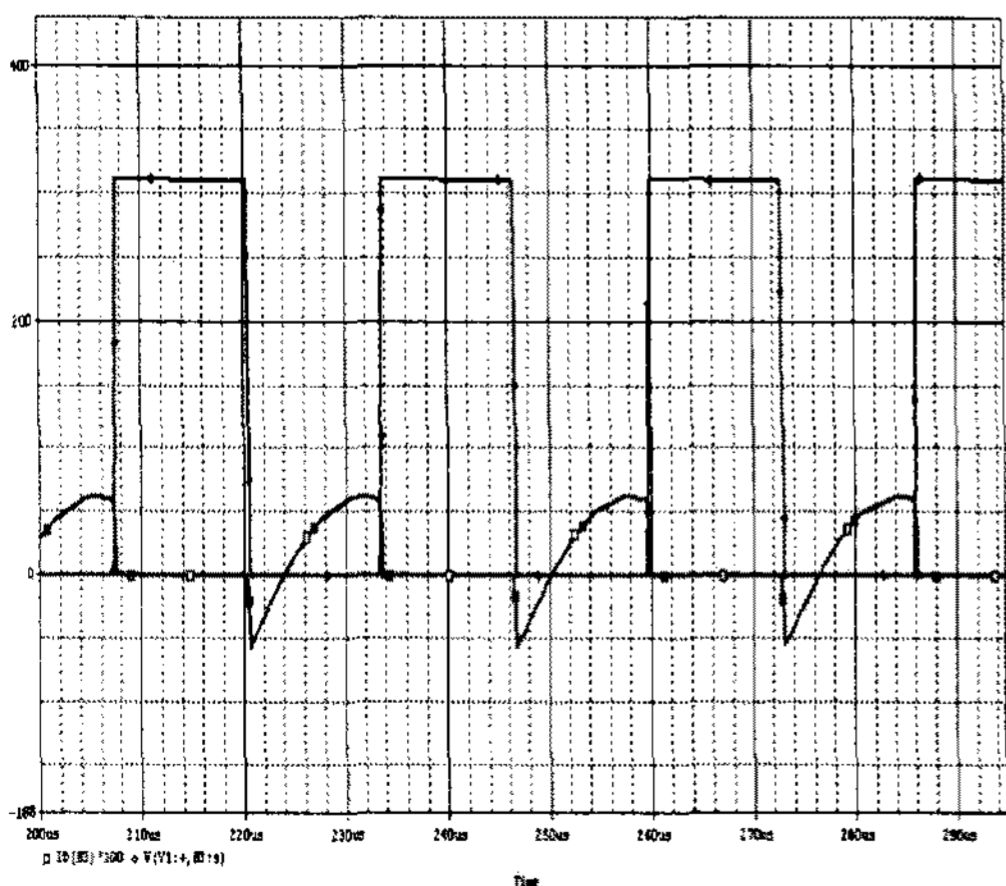


그림 7. 시뮬레이션에 의한 MOSFET 드레인-소스 전압과 드레인 전류
Fig. 7. A simulated Drain-Source voltage and Drain current waveform of MOSFET

그림 6과 그림 7은 인덕터 L_s 가 2[mH]일 때 실제 전자식 안정기와 PSpice 시뮬레이션의 MOSFET Q1의 드레인-소스 전압과 드레인 전류파형으로 실제 안정기와 시뮬레이션의 드레인 전류는 각각 0.31[A], 0.42[A]로 측정되었다.

그림 8은 PSpice 시뮬레이션으로 인덕터 L_s 값을 각각 1[mH], 1.28[mH], 2[mH]로 변화시켰을 때 동작주파수의 FFT분석을 한 것이다. 이에 대한 특성을 실제 안정기의 동작주파수 특성과 비교하여 표 1에 나타내었다.

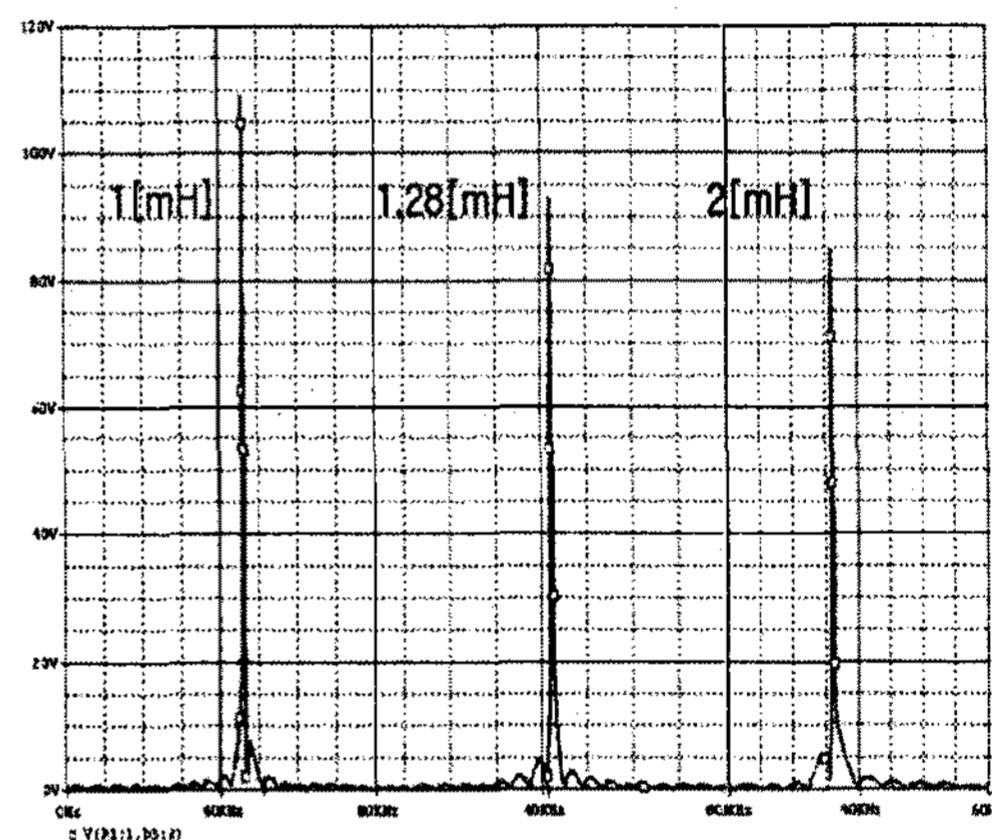


그림 8. 시뮬레이션을 통한 인덕터 L_s 값 변화에 따른 구동주파수 특성곡선
Fig. 8. A simulated driving frequency characteristic curve according to inductor variation

표 1에서 보는 바와 같이 PSpice시뮬레이션에 의한 안정기의 동작주파수는 공진 인덕터 L_s 의 값에 따라서 변화되는 것을 알 수 있으며, 이는 시뮬레이션에 의한 인버터회로가 어떤 특정 주파수에서만 동작하는 것이 아니라 회로 요소값의 변화에 따른 자력식 전자식 안정기의 주파수특성을 충분히 이행하고 있음을 보여준다.

이 때 각각의 인덕터에 따른 이론과 실제, 그리고 시뮬레이션에서의 동작주파수에 차이가 생기는 것은 이론상 C_s - L_s - C_p - R_{lamp} 만의 공진주파수일 때의 경우와 실제 안정기 회로에서 공진요소값의 오차와 더불어 공진전류가 그림 2의 다이오드 D_s 를 통해 흐르면서 생기는 공진주기의 증가 때문이다.

표 1. 인덕터 값에 따른 PSpice시뮬레이션과 실제 안정기 동작주파수 비교

Table 1. Comparison of driving frequency between PSpice simulation and experiment ballast according to inductor values

	인덕터 Ls [mH]	동작주파수 f [kHz]
이론(계산)	1.0	55
	1.28	50
	2.0	40
시뮬레이션	1.0	46
	1.28	43
	2.0	36
실제	1.0	40
	1.28	37
	2.0	33

3. 결 론

본 논문에서는 자려식 전자식 안정기를 PSpice를 이용하여 시뮬레이션하고 그 특성을 실제 안정기와 비교하였다. 안정기의 각 부분별 동작 파형과 그 값이 서로 일치하는 것을 알 수 있었고 공진 소자의 변화에 따라 시뮬레이션과 실제 안정기의 동작 주파수 값이 자려식 전자식 안정기의 주파수 특성에 따라 변화됨을 볼 수 있었다.

현재 시뮬레이션을 통한 전자식 안정기의 특성 해석은 보편화되고 있으며 PSpice 시뮬레이션을 이용한 자려식 전자식 안정기의 설계로 인하여 지금까지 타려식 안정기에만 국한되어 사용되었던 시뮬레이션설계를 자려식 안정기에 대한 시뮬레이션 설계로 확대하여 회로 구성과 특성 해석에 도움을 줄 수 있으리라 생각되어진다. 앞으로 보다 많은 실제의 자려식 전자식 안정기와 특성을 비교, 분석하여 시뮬레이션 설계의 신뢰성을 높일 필요가 있다고 생각되어진다.

References

- (1) M. H. Rashid, "Spice for Circuits and Electronics Using PSpice", Prentice-Hall, New Jersey, 1990.
- (2) W. J. Roche and H. W. Mike, "Fluorescent lamp starting aide how and why they work", J. Illum. Eng. Soc., pp. 29-37, Oct., 1974.

◇ 저자소개 ◇

노재업 (盧載燁)

1970년 9월 17일생. 1996년 2월 호서대학교 전기공학과 졸업. 1998년 2월 호서대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 호서대학교 전기공학과 박사과정. 신성대학 겸임강사.

이진우 (李鎭雨)

1961년 2월 4일생. 1980년 2월 서울대학교 공대 전기공학과 졸업. 1984년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990년 3월~1994년 2월 (주)세명백트론 연구실장. 1994년 3월~현재 호서대학교 전기정보통신공학부 교수. 본 학회 편수이사.