

제논램프 구동을 위한 새로운 기법의 고전압 발생회로

전병구, 조준동
성균관대학교 정보통신공학부

Novel High Voltage Generator Circuit Design for Igniting Xenon Lamp

Byung-Goo Jeon, Jun-Dong Cho
School of Information and Communication Engineering, SungKyunKwan University

ABSTRACT

제논램프를 점등시키기 위해서는 램프방전 초기에 수십kV의 고전압펄스를 발생시켜주어야 한다. 고전압펄스의 생성은 주로 transformer의 전자기유도작용을 이용한다. 지금까지는 주로 1개의 고주파 transformer를 이용하여 고전압펄스를 발생시키는 회로가 구성되어 왔다. 이 경우 회로가 단순해지는 이점이 있지만 transformer의 부피가 커지게 되어 상대적으로 보드에서 많은 공간을 차지하게 되는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 단점을 해결하고자 고주파 transformer 1개를 사용하는 대신 소형의 고주파 transformer 2개를 2단계 step-up 회로로 구성하였다. 제안된 회로의 구성과 동작에 대하여 분석하였고 실험을 통해 제안된 회로가 유용함을 검증하였다.

1. 서 론

제논램프는 석영관 내부에 높은 압력으로 봉입한 제논가스의 아크방전을 이용한 램프로써 자외선 영역(320nm)에서 적외선 영역(1100nm)까지의 모든 파장을 발산한다. 특히 내부압력은 수십 기압이며, 색 온도는 약 6000K의 연속 스펙트럼을 가지므로 자연광의 분포와 비슷하여 연색성이 우수하다. 이러한 특징으로 제논램프는 표준 백색의 고휘도 광원으로 색채감별, 복사기, 팩시밀리, 탐조등, 의료용에서 많이 이용되고 있다.^{[1][2]}

일반적으로 제논램프 초기 점등을 위해서는 수십 kV의 점등전압이 필요하다. 현재까지 램프의 점등전압을 안정적이고 효과적으로 공급하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.^{[3][4][5]}

본 논문에서는 램프점등 초기 고전압펄스를 생성시키기 위해서 기존의 step-up transformer 1개를 사용하는 대신 소형의 transformer 2개를 2단계(2 stages) step-up 회로로 구성하여 램프 점등이 좀더 안정적이고 효율적으로 이루어지며 동시에 램프점등 회로의 소형화가 가능해 질 수 있는 새로운 고전압 발생회로를 제시하고자 한다.

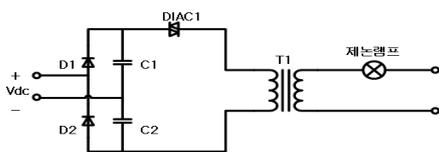


그림 1 기존의 single stage step-up 점등회로
Fig. 1 Single stage step-up ignitor circuit

2. 제안한 2 stages 점등회로

2.1 회로구성

그림2는 본 논문에서 제안한 2 stages 점등회로이다. 1 stage 회로는 저항, 커패시터, 다이락 및 step-up transformer T1 으로 이루어져 있다. 또한 2 stage 회로는 포화인덕터와 step-up transformer T2 으로 구성되어 있다. 1 stage 회로에서 입력전압 V_{dc} 가 인가된 후 커패시터에 전하가 충전된다. 충전전압이 다이락의 항복전압(V_{BO})과 같아지면 다이락은 도통되고 커패시터의 충전전압은 step-up transformer T1에 인가된다. 2 stage 회로에서는 포화인덕터가 스위치로 작용하여 step-up transformer T1으로부터 입력받은 전압을 step-up transformer T2로 전달하여 제논램프를 점등하게 된다.

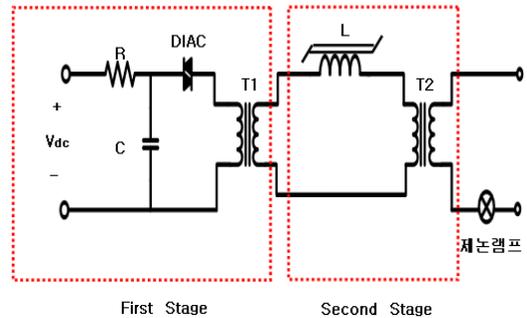


그림 2 제안된 2 stages 점등회로
Fig. 2 Proposed 2 stages ignitor circuit

2.2 제안된 회로의 동작해석

제안된 2 stage 점등회로의 동작을 해석하기 위해서 다이락(DIAC)과 포화인덕터(L)을 각각 on과 off일 경우로 나누었다.

1. 다이락(DIAC) off, 포화인덕터(L) off 인 경우의 등가회로

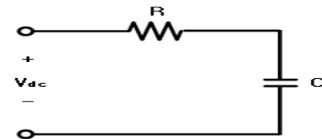


그림 3 다이락 off, 포화인덕터 off 인 경우의 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit of DIAC off, Saturable inductor off

그림3은 입력전압 V_{dc} 가 인가된 직후의 등가회로이다. 전압 V_{dc} 는 전류제한저항(R)을 거쳐 커패시터(C)에 다이악의 항복전압(V_{BO})에 도달할 때까지 충전이 된다.

2. 다이악(DIAC) on, 포화인덕터(L) off 인 경우의 등가회로

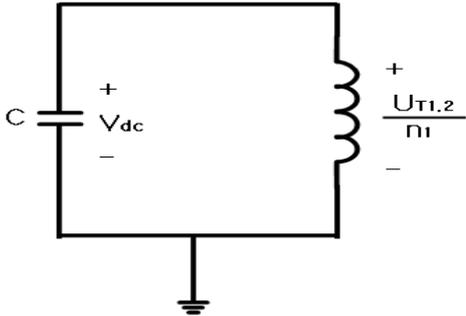


그림 4 다이악 on, 포화인덕터 off 인 경우의 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuit of DIAC on, Saturable inductor off

그림4는 커패시터(C)의 충전전압이 다이악의 항복전압 (V_{BO})에 도달하여 다이악이 도통된 후의 등가회로이다. 여기서 $U_{T1,2}$ 는 transformer T1의 2차측 전압이며, n_1 은 2차측 코일의 권선수이다.

$$U_{T1,2} = n_1 V_{dc} \quad (1)$$

포화인덕터(L)의 자속밀도 \mathcal{L} 은 다음과 같다.

$$\mathcal{L} = \frac{1}{N S} \int \mathcal{H} \cdot dl = \frac{1}{N S} \int \frac{W}{l} \cdot dl \quad (2)$$

(N : L의 권선수, S : L의 단면적)

포화인덕터(L)의 포화자속밀도를 \mathcal{H} 라고 할 때 시간 t_1 을 계산하면,

$$t_1 = \frac{N S \mathcal{H}}{n_1 V_{dc}} \quad (3)$$

이다.

3. 다이악(DIAC) on, 포화인덕터(L) on 인 경우의 등가회로

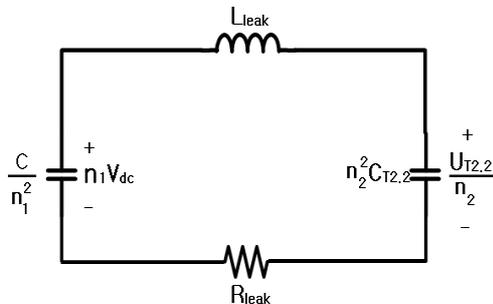


그림 5 다이악 on, 포화인덕터 on 인 경우의 등가회로
Fig. 5 Equivalent circuit of DIAC on, Saturable inductor on

그림5는 다이악과 포화인덕터가 모두 on이 된 후의 등가회로이다. L_{leak} 는 전체 회로의 Leakage 인덕턴스이며 \mathcal{L}_{leak} 는 전체 회로의 Leakage 저항값을 나타낸다. $U_{T2,2}$, \mathcal{L} , \mathcal{H} 는 각각 transformer T2의 2차측 전압, 코일의 권선수, 커패시턴스를 나타내며 $U_{T2,2}$ 는 다음과 같다.

$$U_{T2,2} = \frac{C}{n_2^2 T_{2,2}} n_2 V_{dc} \quad (4)$$

Transformer T2의 자속밀도를 \mathcal{H} 라고 하면,

$$\mathcal{H} = \frac{1}{N_{T2,2} S_{T2}} \int U_{T2,2} dt$$

$$\mathcal{H} = \frac{1}{N_{T2,2} S_{T2}} U_{T2,2} t$$

(5)

- * $N_{T2,2}$: T2의 2차측 권선수
- * S_{T2} : T2의 단면적
- * $U_{T2,2}$: $U_{T2,2}$ 의 평균값

Transformer T2의 포화자속밀도를 $\mathcal{H}_{T2,2}$, $\mathcal{H}_{T2,2} = \frac{1}{2} U_{T2,2}$ 라고 할 때 시간 t_2 를 계산하면 다음과 같다.

$$t_2 = \frac{N_{T2,2} S_{T2} \mathcal{H}_{T2,2}}{U_{T2,2}} = \frac{N_{T2,2} S_{T2} \frac{1}{2} U_{T2,2}}{U_{T2,2}} = \frac{N_{T2,2} S_{T2}}{2} \quad (6)$$

4. 제논램프 ignition 상태의 Transformer T2의 등가회로

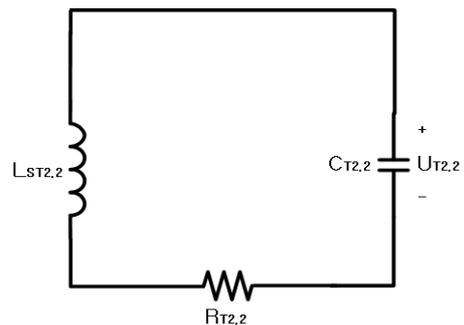


그림 6 제논램프의 ignition상태의 등가회로
Fig. 6 Equivalent of Xenon lamp ignition state

그림6은 제논램프 점등시 고전압 발생을 위한 ignition상태에서의 Transformer T2의 등가회로이다. $\mathcal{H}_{T2,2}$ 는 Transformer T2의 2차측 포화인덕턴스이며 $U_{T2,2}$ 와 $C_{T2,2}$ 는 Transformer T2의 2차측 커패시턴스와 저항치를 나타낸다. 등가회로에서 출력전압 $U_{T2,2}$ 는 다음과 같다.

$$v_{T2.2} = \frac{C}{2T2.2} \dot{u}_c - \delta t \cos(\omega t) \quad (7)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L T 2.2 C T 2.2}}$$

(8)

3. 실험결과

본 절에서는 앞에서 해석한 회로의 방정식을 토대로 2 stages 점등회로를 제작하였다. 실험을 위한 설계사양은 다음과 같다.

- * $\dot{u}_c = 200V$
- * 커패시터 C : 1 μ F / 250V
- * 저항 R : 10K Ω / 1W
- * Transformer T1
코어형상 및 재질 : TDK社 EE16, PC40(7A)
1차측 권선 : 선지름 0.32mm, 단면적 0.08mm², 20 turns
2차측 권선 : 선지름 0.2mm, 단면적 0.03mm², 300 turns
- * Transformer T2
코어형상 및 재질 : TDK社 EI50, PC40(7A)
1차측 권선 : 선지름 0.6mm, 단면적 0.28mm², 10 turns
2차측 권선 : 선지름 0.6mm, 단면적 0.28mm², 100 turns
- * 포화인덕터
코어형상 및 재질 : TDK社 EE16, PC40(7A)
권선수 : 선지름 0.32mm, 단면적 0.08mm², 50 turns

그림7은 제작된 회로의 실험결과 파형이다. 입력전압 \dot{u}_c 에 200V를 인가한 경우 peak 전압값은 무부하시 22.9kV가 측정되었다.

Voltage : 10kV/div Time : 100 μ s/div

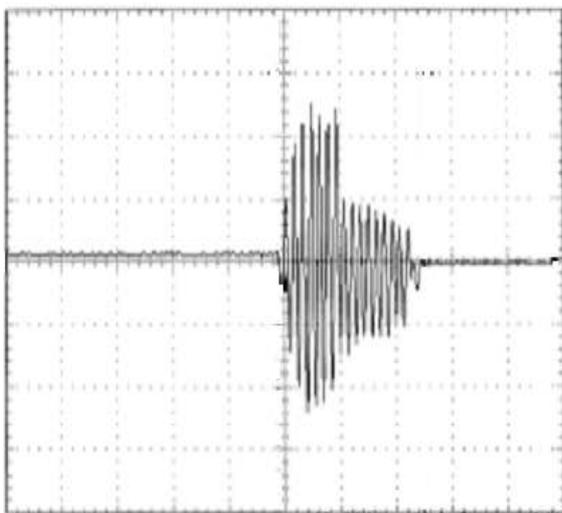


그림 7 실험결과 파형

Fig. 7 Experimental waveform

4. 결 론

본 논문에서는 제논램프의 점등초기 고전압펄스를 효율적이고 안정적으로 발생시키기 위한 방법으로 소형의 transformer 2개를 직렬로 연결하는 방법을 제안하였다. 제안된 회로는 스위치로 사용된 다이락과 포화인덕터의 상태에 따라 등가회로로 재구성하여 해석하였으며 해석된 방정식을 토대로 2 stage 점등회로를 설계·실험하였다. 입력전압 \dot{u}_c 에 200V를 인가 후 램프점등 시 peak 전압값을 측정된 결과 22.9kV가 측정되었다. 기존의 제논램프 점등회로와 비교했을 때 제안된 회로는 소형이고 회로구성이 비교적 간단하면서도 램프점등은 좀더 효율적이고 안정적이었다.

참 고 문 헌

- [1] 정태관, “조명 원리와 응용” 북스힐, pp. 108-110, 2005.
- [2] <http://jp.hamamatsu.com/>
- [3] Chin S. Moo, Tsai F. Lin, Ying C. Chuang, "Designing an Ignitor for Short-Arc Xenon Lamps" IEEE IAS Annual Meeting, pp. 612-617, 1999.
- [4] Tasi F. Lin, Chin S. Moo, Ming J. Soong, Wei M. Chen, Chin R. Lee, "A-high-power-factor electronic ballast for metal halide lamps with hot restarting" Prof. of IECON2000, vol.4, pp. 2261-2266, 2000.
- [5] William D. Greason, Zdenek Kucеровsky, Sviatoslav Bulach, Martin W. Flatley, "Investigation of the Optical and Electrical Characteristics of a Spark Gap" IEEE IAS Annual Meeting, pp. 2059-2064, 1996.
- [6] 김희준, “스위치 모드 파워 서플라이” 성안당, 2002.
- [7] 김희준, “스위칭 전원의 기본설계”, 성안당, 2002.
- [8] 전자기술연구회 편, “전원회로 설계마스터” 기문사, 2005.
- [9] <http://www.tdk.co.jp>