

MOSFET를 응용한 인버터식 고효율 네온관용 트랜스퍼머의 설계

변재영, 김성원, 김윤호.
중앙 대학교

Design of a Inverter type high efficiency Neon Transformer using MOSFET.

JeI-Young Byun, Sung-Won Kim, Yoon-Ho Kim.
CHUNG ANG UNIVERSITY

ABSTRACT

The neon transformer consists of magnetic circuit and leakage transformer. Since the silicon steel plate is used build a core, the system is big and heavy. Thus it is difficult to install Neon Sign it is even very dangerous if the system experiences a damage when it is installed inside. To overcome these problems, power electronic circuits are applied. The Inverter type Neon transformer using MOSFET is designed and implemented. The experimental results are described.

전압을 발생시키는 인버터식 네온 트랜스퍼머를 설계 개발하였다.

그 결과 2차측의 고압 출력 전압을 더욱더 안정된 전압으로 공급할 수가 있게 되었으며 중량도 기존의 자기식 대비 약 1/10로 줄였고, 외형도 1/5로 소형화하였다. 특별히 네온 싸인관의 파손이나 누전으로 인한 화재나 인체 감전의 위험을 사전에 방지할 수 있는 보호 회로(GFCI)를 설계 내장하여 네온관용 트랜스퍼머의 2차측 부하 이상 시 발생 할 수 있는 여러가지 위험 조건으로부터 즉시 전원이 차단될 수 있도록 보호기능을 완벽히 하였다.

1. 서 론

최근, 인버터제어이론은 전기, 전자공학 분야 및 각종 전력제어 시스템을 포함한 전력전자 응용분야에서 다양하고 광범위하게 요소 요소에서 활용되어 지고 있다.

지금까지 사용하여온 무방향성 규소강관을 사용한 자기 회로식 누설변압기 방식에 의한 네온관용 트랜스퍼머는 중량이 무겁고 외형이 큰 관계로 네온싸인 설치 작업 시 상당히 불편한 점이 많았으며 실내에 부착 사용할 시에는 네온관의 파손 시나 누전 시에 감전이나 화재의 위험성을 내포하고 있었다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 네온 트랜스퍼머의 전원 장치 및 2차측 고압 출력부를 고속의 고주파 스위칭 파워 트랜지스터인 전계효과트랜지스터 (MOSFET)를 응용한 인버터식의 네온트랜스퍼머 개발에 관하여 연구하였다.

즉 상용 전압 및 상용 주파수 60Hz를 하프 브릿지방식에 의한 고속의 스위칭 제어를 통하여 20kHz의 고주파로 변환시킨 후, 네온관을 방전시키기 위하여 필요한 고

2. 네온관의 원리 및 구조

가늘고 긴 유리관(Φ6~Φ20)에 저압(10~15mmHg)의 가스를 봉입하고 그 양극에 고전압(2000V~15000V)을 가하면 가스를 통하여 방전이 일어나 빛을 내게된다. 네온관은 방전관의 일종으로 관에 봉입되는 가스로는 주로 네온과 아르곤 가스이나 때로는 헬륨, 및 질소 가스를 사용하는 경우도 있다.

네온관은 유리관과 전극 부분으로 되어있으며, 유리관은 일반적으로 외경 14mm, 두께 1mm의 유리관을 가장 많이 사용하나 특수한 효과를 위하여 외경 6mm~25mm의 관을 용도에 따라 사용한다. 유리관은 용해되는 온도가 낮아서 관을 조형하기 쉬울 뿐만 아니라 리드선과 전극을 연결하는 봉입선(DUMET선)과의 가공 및 광의 굴절을 용이하게 할 수 있는 장점을 갖고 있다. 전극의 재질로는 순도가 높은 니켈, 동, 또는 철판을 사용하며 중형전극과 나팔형 전극이 주로 사용되고 있다.

유리관과 전극과의 접속 방식에 따라 U형, T형, L형, J형, P형, 직관형으로 구분하며 시공에 방식에 따라 택하여 사용한다. 네온관의 특징은 장수명으로 형광

등이 3000시간인데 비하여 네온 싸인은 3000~10,000시간의 수명을 갖고 있다. 점멸기 사용 시 전력 소모도 전체를 일시 점등하여 사용하는 경우에 비해 약 반 밖에 소모되지 않게 되어 관의 수명을 연장시키는 큰 장점이 있다. 일반적으로 네온싸인의 점멸은 1차측에서 개폐하며 2차측은 고압이므로 연속 개폐는 피해야 한다. 또한, 네온 트랜스퍼머와 네온관과의 관계는 관의 상태에 따라서, 또는 입력 전압 변동에 따라서 점등관의 길이는 약 $\pm 10\%$ 의 변동이 있으며 굴곡관을 사용하는 경우와 가는 관을 사용 시 점등길이가 짧아진다.

3. 네온관용 트랜스퍼머의 원리

자기식 네온변압기(Transformer)는 자기회로(Magnetic Circuit)와 전기회로(Electric Circuit)로 그리고 고압 절연 시스템으로 구성되어 있다.

자기회로 측면에서는 철심의 자속 밀도에 따른 손실 특성과 온도 상승 특성이 가장 중요하며, 전기적인 면에서는 동선의 전류 밀도에 따른 온도 상승과 동손실이 가장 중요하다. 특히 네온관용 트랜스퍼머의 경우에는 2차측 출력 전압이 고압이므로 이에 따르는 고압 절연 기술이 복합되어 제작된다. 정격 2차 출력 전압과 정격 2차전류는 네온관의 인입된 가스의 종류 및 네온관의 굵기 및 길이에 따라 출력 전압은 1kv~15kv가 필요하며, 2차 전류도 20mA~120mA를 흘릴 수 있도록 구성된 고전압 정전류 형식의 정전류형 변압기(Constant Current Transformer) 또는 누설 전류형 변압기(Leakage Current Transformer)에 속하며, 그 특징은 자기 회로상에 누설 코어를 삽입하여 2차 출력 전류를 적절히 조절할 수 있는 특징을 갖고 있다.[5][6]

4. MOSFET를 응용한 인버터 회로의 설계

4.1 타려식 하프브릿지 회로방식의 적용

인버터 방식은 Half Bridge 방식의 인버터를 이용해서 회로를 구성하였다.[1][4] 고주파 스위칭 소자를 이용한 인버터 발전방식은 자려식과 타려식으로 크게 나눌 수 있는데 자려식의 경우 입력전압의 변동에 의하여 소비전력 및 광량의 변화가 극심한 점과 일정 주파수 이상으로 주파수를 매우 높게 설정하면 원하는 광량의 출력을 얻기 어려운 점 등을 들 수 있다. 이를 극복하기 위하여 타려식 발전방식을 적용 개발하였다.

고주파전원을 사용함에 따른 전자파 장애, 그리고 네온관 파손이나 누전시 인체의 감전 사고 예방과 함께 네온트랜스퍼머를 보호하기 위한 차단 회로를 감안하여 설계하였다. 또한 타려식에 의한 방식은 주파수 설정이 용이하며, 입력 전압 변동에 따른 주파수 변동이 거의 없는 장점이 있다.

Block diagram에 나타난 바와같이 전원회로는 입력된

교류전원으로부터 유입되는 잡음(E.M.I) 및 인버터로부터 발생하는 고주파를 필터시키는 LC필터회로와 낙뢰등 전송로를 타고 유입되는 높은 전위의 써지전압(surge voltage)을 흡수하는 써지 흡수회로, AC를 DC로 변환하는 정류회로와 정류된 맥류를 평활시키는 고역을 평활회로로 구성된다.

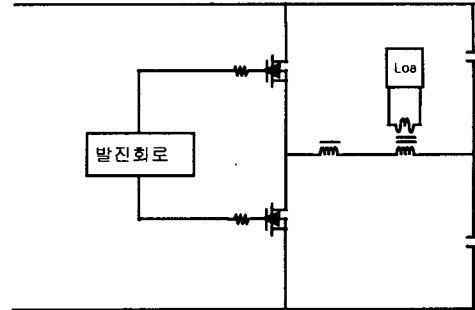


그림 1 타려식 회로의 구성

Fig. 1 Circuit of separately excited inverter.

전원입력 시 낙뢰 등 전송로를 타고 들어오는 높은 전위의 surge voltage를 흡수하기 위한 Varistor와, 직렬 Inverter로부터 발생하는 고주파 Noise를 차단하기 위한 L과 C로 구성된 E.M.I Filter회로를 적용하였다. 이 Filter는 CommonMode와 Normal (Differential)Mode Noise를 모두 차단한다

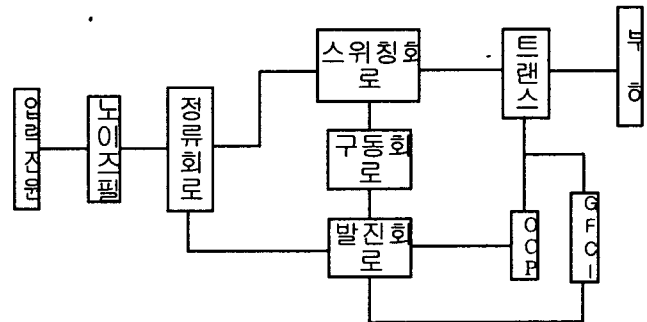


그림 2 인버터식 네온트랜스퍼머 회로의 블럭선도

Fig. 2 Block diagram of neon power supply

4.2 인덕터 정류 및 평활회로

정류회로는 직렬 인덕터 방식을 이용하였으며, 평활회로에는 보통의 콘덴서 평활회로가 저역울임을 감안하여 콘덴서와 다이오드를 복합적으로 채용하여 고역울 회로를 구성하였다.[5]

회로에 직렬로 인덕터를 연결하여 도통각을 넓히고 콘덴서에 의한 돌입전류를 제어하여 연속적인 전류가 흐르도록 했다. 이로 인해 역률 및 고조파의 함유를 개선하였으며, 입력 임피던스를 크게 함으로서 돌입전류를 억제하는 효과를 크게 하였다.[3]

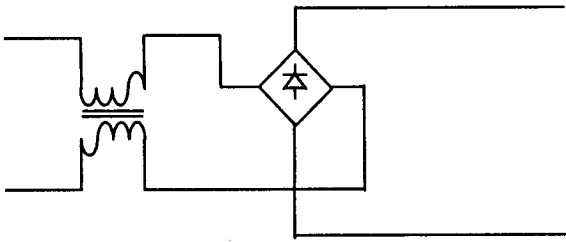


그림 3 인덕터에 의한 정류회로
Fig. 3 Circuit of rectifier by inductor

4.3 AC Bias 출력 회로의 적용

전원으로부터 공급된 안정된 DC 전류를 고주파로 변환시켜주는 인버터 회로에서 전원 투입시 즉시 시동되는 시동회로와 시동과 동시에 직렬 공진회로의 시정수에 따라 발진되고 그 출력을 제한시켜 계속 스위칭시키는 제한회로를 구성하여 출력전류를 제한하였으며 일정한 전류가 부하에 공급되도록 하였다. 인버터부와 직렬로 연결되어 구형파의 고주파 고전압을 정현파로 정형시켜서 점등에 필요한 전압으로 증폭시키기 위해 Low-pass-Filter 특성을 갖는 L-C 직렬공진 회로를 구성하였다.[2] 사용된 Inductor는 부하 전류 제한용 Choke로서 동작한다. 이때 RLC 직렬공진회로의 공진주파수는 L과 C에 의해 결정되며, 공진주파수를 F_0 라고 할때 관계식은 다음과 같다.

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

또한, 고전압, 고주파를 사용하기 때문에 Neon관 사용시 물방울 모양 또는 Jelly 빔현상이 나타나고 아르곤-수은관 사용 시에는 관이 점차 적으로 어두워지는 문제점이 발생한다. DC 바이어스를 사용할 경우 Argon Tube를 사용하면 Mercury Migration으로 인하여 관의 손실을 가져온다. 이를 해결하기 위하여 출력 방식을 AC 바이어스 방식을 적용하여 문제점을 해결 할 수가 있었다.

4.4 보호회로(GFCI)의 구성

보호회로에서는 출력에 부하가 Open 또는 Short시 출력 변화로 발생하는 전압 및 펄스를 감지하여 발진회로의 신호가 인버터 회로에 가해지지 않도록 하여 기기보호 및 코로나 방전으로 인한 화재 발생의 위험을 방지할 수 있도록 하였다. 일단 보호회로가 작동하면, 출력 전압이 나가지 않기 때문에 입력전원을 차단시킨 후 다시 복귀 시켜야 정상 동작을 하게 된다. 정상적인 동작 중에 출력선이 사람이나 금속 물질을 통해 대지로 누전되었을 때 출력전압이 즉시 차단 되도록 하였다. 정상적인 부하 중에서 ②에 유기되는 전압은 Zero Volt가 되지만 출력단자중의 어느 한쪽이 인체나 금속물질 또는

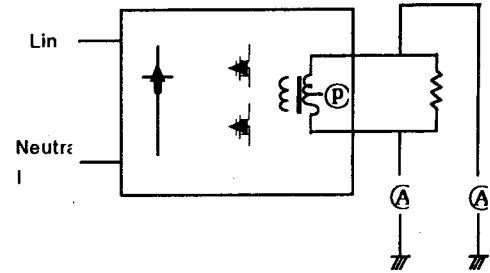


그림 4 GFCI 회로
Fig. 4 Circuit of Ground Fault circuit interrupting

대지로 누전되면 ②에 최고 출력전압의 1/2 전압까지의 높은 전압이 유기된다. 이 전압은 고주파의 고전압이므로 저항 R1으로 전압을 강하시켜서 C1으로 보낸다. ②의 전압은 R1에 의해서 강하되고 C1을 출력주파수에 의해 충전 및 방전을 시킨다. 다이오드 D1과 D2에 의해 저항R1과 R2의 양단에 반파 정류된 V_i 의 직류전압이 인가되고 저항R1과 R2의 분압비에 의해 콘덴서 C1에 VC1이 인가된다. 콘덴서C2에 충전된 전압은 발진회로의 Trigger용 신호로 이용된다. 이 신호가 기준 전압보다 높으면 발진회로의 SCR을 On시키고 발진 IC를 Trigger시키면 발진동작이 정지하게 된다. 이때의 높은 전압을 신호로 사용하여 발진회로의 발진동작을 정지시켜 2개의 MOSFET를 Off 상태로 유지시킨다. 출력선의 어느 한쪽이라도 누전되어 누전전류가 최고 15mA에 도달하면 0.5 sec 이내에 출력전압을 차단시킨다.[6]

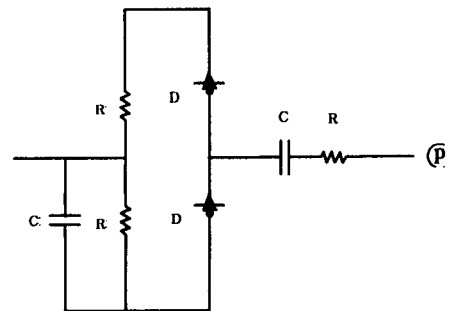


그림 5 GFCI 회로의 감지원리
Fig. 5 Circuit of Ground Fault circuit interrupting

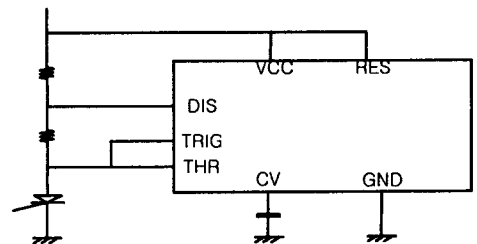


그림 6 발진(Multi Vibrator)회로
Fig. 6 Multi Vibrator system

Open Circuit Protector회로의 설계는 출력선과 부하관으로 연결된 출력회로부가 전기적으로 끊어졌을 때 Transformer의 2차출력 전압은 최고가 된다. 정상점등 시보다 훨씬 높은 전압으로 될 때 이 신호를 이용하여 발진회로의 동작을 정지시킨다. 부하관과 출력선 연결부위가 정상적으로 조치되고 입력전원을 Reset시킬 때 까지 출력전압의 차단상태는 계속 유지된다.

5. 특성 시험 결과

특성 비교 시험은 동일한 정격입력 에서 부하는 적색 네온관 직경12mm 봉입가스압 11Torr 8m 를 직렬로 연결하여 시험하였다. 입력전류의 경우 본 연구 개발제품이 0.25A로 가장 낮았고 입력 역률도 좋아 입력측면에서 볼 때는 본 개발제품이 우수한 것으로 판단이 된다. 출력전압은 비슷하며 단락전류도 기준치 30mA의 10% 이내로 모두 적합하였다. 정격 부하 시 관전류는 상당히 많은 차이가 있었다. 개발 제품의 경우 정격부하 시 관전류는 24mA로 가장 이상적이었으며(정격 부하시 정격 전류의 80%가 이상적임)중요한 기능인 GFCI 기능도 기준치 15mA에 도달하면 0.5 sec 이내에 출력 전압을 차단하였고 OCP기능도 이상 없이 작동이 잘되었다. 제품의 중량은 기존 자기식 방식에 비해 약 1/10로 줄었다. 향후 전자부품을 해외제품처럼 SMD부품으로 바꾸고, 방열판을 알루미늄 재질로 최적화 할 경우 인버터식 네온 관용트랜스퍼머는 오히려 선진국 제품보다도 더 고효율의 제품으로 개선되리라 예상된다.

표 1 특성 시험 결과

Table 1 Measured results of inverter type neon power supply's characteristic.

내용 구분	개발품 (인버터식)	선진국 (인버터식)	기존품 (자기식)
입력전압	120Vac 60Hz	120Vac 60Hz	120V AC 60Hz
입력전류	0.65A	0.9A	2.4A
입력전력	76.5W	105W	91.1W
역률	97%	96%	34.4%
출력전압	9kVp (5.4kVrms)	9kVp (5.4kVrms)	9kVp (5.4kVrms)
단락전류	30.8mA rms	28.6Arms	28.6Arms
정격부하길이	Ø12, 11torr 8m	Ø12,11torr 8m	Ø12,11torr 8m
정격부하전류	24.5mA rms	33.5mArms	21.6mArms
GFCI 기능	양호	양호	-
OCP 기능	양호	양호	-
자기 소음	없음	없음	있음
부피(L×W×H))	245×70× 52	124×79× 42	140×124× 203
중량	730g	720g	7200g

6. 결 론

이상과 같이 개발 된 MOSFET를 응용한 인버터 제어식 네온 트랜스퍼머의 특징을 요약 하면. 첫째로, 종래의 제어에 방식에 비해 제어 주파수가 높고 고속으로 응답되어 성능이 향상되었다. 인버터제어는 종래의 전기식(자기식) 제어에 비해 1초간의 제어 횟수가 300~400 배로 높아져서 응답속도가 향상되었다. 또한 응답 속도가 빨라짐으로 인해 시동성이나 안정성, 각종 파형 제어에 있어서도 대폭적인 성능의 향상을 가져오게 되었다. 둘째로 동작 주파수를 높게 하여 변압기나 리액터의 크기를 작게 할 수가 있어 제품의 소형화, 경량화가 가능하게 되었다. 네온트랜스의 주요구성 부품으로 변압기의 크기는 인가 주파수와 반비례의 관계가 있으므로 고주파 교류를 인가하는 인버터 회로에서는 대폭적으로 소형화가 가능하게 되었다.

이로 인해 설치 시공시, 운반이나 설치면적을 줄이는 면에서도 크게 향상. 또한 변압기와 리액터의 소형화에 의한 내부손실의 저감효과로 소비전력을 감소시킬 수가 있었다. GFCI, 회로와 OCP 보호회로를 구성하여 2차측 이상 시 즉시 차단되도록 하여 감전의 위험을 방지하였으며 네온관 파손시 필요 없이 소모되던 무부하 전력도 최소화하였다. 앞으로도 제품의 향상과 좀더 효율적으로 많은량의 부하를 사용할 수 있는 고효율 네온 트랜스퍼머에 대한 연구가 계속 필요하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] R.King and T.A. Stuart, "A Normalized Model for the Half-Bridge Series Resonant Converter," IEEE Trans.. Aerosp. Elec. Syst, vol AES-17. No 2, pp. 190~198 Mar. 1981.
- [2] W.R Alling, "Important Design Parameters for Solid-State Ballasts," IEEE Trans. Ind. Appl., vol IA-25, pp. 203~207, Mar/Apr. 1989.
- [3] Y.Kato, T.Mannami, "Development of electronic ballast with low distortion input current by neutral-point type inverter" Journal of the illuminating Engineering of japan. Vol 79, No. 2, 1995.
- [4] H.Matsuo. K.shimizu F.,Kurokawa, LTu . "Performance characteristics of a novel modified half-bridge inverter as an electronic ballast for lighting" Proceedings of IEEE-PESC, pp. 2028~2034, June 1998
- [5] (주) 대한트랜스 "고효율, 고역률 네온트랜스퍼머 개발" 1998. 10. 산업 자원부.
- [6] (주) 대한트랜스 "자체 진단형 고용량, 저손실, 고효율, 네온 변압기 개발" 1999. 7. 산업자원부.