

부하측 이상 검출 차단 장치를 내장한 고효율 자기식 네온 변압기의 설계

변재영, 김윤호
중앙대학교

Design of a High Efficiency Neon Transformer with Abnormal Load Interrupting Circuit

Jei-Young Byun, Yoon-Ho Kim
ChungAng University

ABSTRACT

In this paper, a high efficiency leakage transformer for neon tube is developed to improve its power factor, to reduce its core loss and weight by using a technique of shape optimization and direction of grain-oriented silicon steel sheet.

A protection circuit is designed for all types of neon transformer loaded with one or more neon lamps. Whenever the neon tube fails to be started up or comes to the life end, or encounters faults with open-circuits at the output terminals of the neon transformer, the protection circuit will be initiated to avoid more critical hazards.

These neon transformers need a protection circuit to prevent from current stresses on circuit components by neon tube fail.

The input of the transformer is automatically cut off when the abnormal condition occurs, preventing waste of no-load power.

As the results of the study, the core weight is reduced by 11 %, the power factor improved by 5 % and the efficiency increased by 6 % compared with the conventional type due to the employment of the grain-oriented steel sheet and the optimized core shape.

1. 서 론

자기식 네온변압기(Neon Transformer)는 자기회로(Magnetic Circuit)와 전기회로(Electric Circuit), 그리고 고압 절연 시스템으로 구성 되어 진다.

자기회로 측면에서는 철심의 자속 밀도에 따른 손실 특성과 온도 상승 특성이 가장 중요하며, 전기적 인 면에서는 동선의 전류 밀도에 따른 온도 상승과 동손실이 가장 중요하다^[1]. 특히 네온관용 트랜스퍼머의 경우에는 2차측 출력 전압이 고압이므로 이에 따르는 고압 절연 기술이 복합되어 제작된다.

정격 2차 출력 전압과 정격 2차전류는 네온관에 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 누설 전류형 변압기(Leakage Current Transformer)에 속하며, 그 특징은 자기 회로상에 누설 코어를 삽입하여 2차 출력 전류를 적절히 조절 할 수 있는 특징을 갖고 있다.

본 논문은 자기진단형 네온트랜스 (Self-Diagnostic Electric Neon Transformer)에 관한 것으로 네온트랜스의 부하측에 단선 또는 과부하 등의 트러블을 검출하여 전원측을 차단할 수 있도록 하였다^[2].

한편, 관의 파손은 네온 트랜스의 부하측을 개로 (OPEN) 상태로 만들고 이에 의하여 네온 트랜스는 열화 되거나 소손될 수 있으며, 파손된 네온관의 전극부위에서는 고압 아아크 방전으로 인해 화재 또는 감전 사고가 발생하게 된다.

본 논문에서는 네온방전관의 물리적 취약성과 그 전원 장치인 네온트랜스의 고압사용에 의한 안전성을 고려하여 이들을 충족하는 고효율의 네온트랜스를 설계 하였다^[3].

이상 상태를 검출하기 위하여 부하측 고장상태에서의 변화하는 자속 분포를 분석하여 부하측 고장검출방법과 그 제어 장치를 개발하여 네온 방전관 등의 과부하 및 관 파손 등에 의하여 네온 트랜스의 열화, 소손 등을 방지하고 화재 및 감전사고 예방 효과가 기대되며, 구조가 간결하여 매우 경제성이 높다.

2. 네온관(부하)의 특징

가늘고 긴 유리관($\phi 6 \sim \phi 20$)에 저압($10 \sim 15 \text{mmHg}$)의 가스를 봉입하고 그 양극에 고전압($2000\text{V} \sim 15000\text{V}$)을 가하면 가스를 통하여 방전이 일어나 빛을 내게 된다. 네온관은 방전관의 일종이며 관에 봉입되는 가스로는 주로 네온과 알곤 가스이나 때로는 해리움, 및 질소 가스를 사용하는 경우도 있다.

초기방전에는 높은 전압이 필요하게 되지만 방전이 된 후에는 안정된 전압과 전류가 요구된다. 만일의 경우 초기 방전상태로 높은 전압이 계속해서 유지된다면 전류가 증가하게 되고 열이 많이 발생하게 되어 결국에는 방전관의 수명이 줄어들게 된다. 그러므로 특수한 형의 누설 트랜스를 써서 일정한 전류를 유지시켜줄 필요가 있다.

Neon관을 통하는 전류의 양이 줄어들게 되면 불빛이 흐려지고 반면에 전류의 양이 늘어나게 되면 과열되고 수명이 짧아지게 된다. 일반적으로 Neon관에 사용되는 표준전류는 $20\text{mA} \sim 120\text{mA}$ 이며 보통 $20\text{mA} \sim 30\text{mA}$ 형이 국내에서는 많이 사용한다. 최근 콜드 캐소드 타입이라 하여 관의 굵기가 $18 \sim 25\text{mm}$ 로 120mA 를 요구하는 특수 네온관도 많이 보급되고 있다.

관의 굵기를 작은 유리관으로 사용하면 더 밝은 빛을 낼 수 있으나, 관의 굵기가 큰 관으로 최대의 밝기를 얻고자 할 때는, 전류를 높이고 관의 길이는 짧게 해주어야 한다.

관의 굵기가 가늘어지면 임피던스가 높아져서 높은 전압을 사용해야 하는데, 관 굵기에 따른 전압비는 그림 1과 같다.

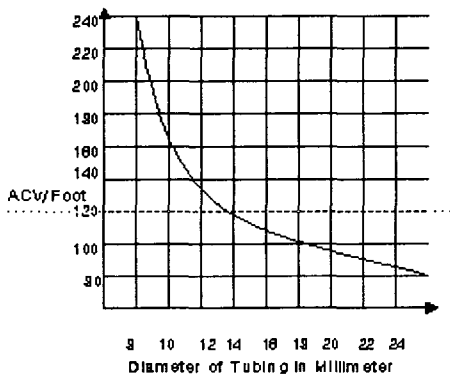


그림 1. 관의 굵기와 전압과의 관계
Fig.1 Tube size and output volt.

3. 네온트랜스의 자계해석과 고장검출 방법

네온트랜스의 유한요소법에 의한 자계 해석을 네온트랜스의 정격단락상태(출력측 short), 개로상태(출력측 open) 그리고 정격 부하상태(네온관 점등상태)에서 각각의 자속선도 변화에 대한 해석 결과를 출력 분석 하였다.

그 결과 네온트랜스는 누설철심에 의한 누설자속 효과에 따라서 자속의 흐름이 변화함을 알 수 있었다. 또한 본 조건에 따른 해석 결과 네온 트랜스는 부하측의 조건에 따라 Flux line 및 Flux density 분포에 변화가 있음을 알 수 있었다.

그림 2와 같이 부하상태에서는 단락시와 개로상태의 중간 정도의 자속이 출력 측으로 전달되었고, 그림 3과 같이 네온트랜스의 출력측이 무부하(출력측 open)상태에서는 출력 측으로의 자속의 전달이 가장 높은 상태가 되어 네온트랜스의 고압부 절연과피의 요인이 발생될 수 있음을 알 수 있었다. 이 결과를 토대로 고효율, 고역률 네온트랜스를 설계 하였다^[4].

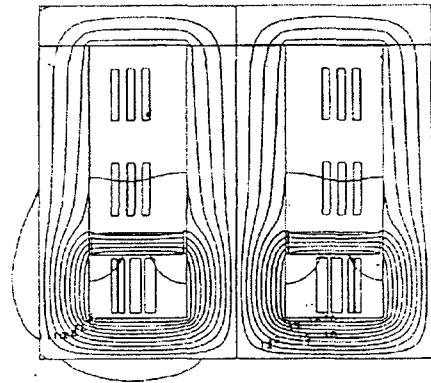


그림 2. 네온트랜스 부하상태에서의 자속선도
Fig 2. Condition of Flux density(Load).

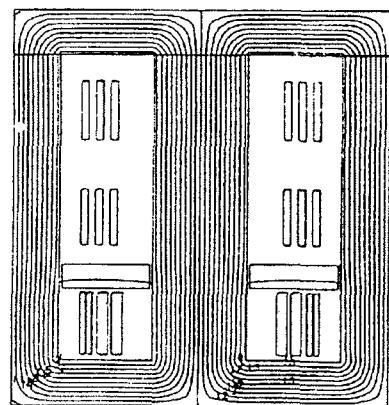


그림 3. 네온트랜스 무부하상태에서의 자속선도
Fig 3. Condition of Flux density(No Load).

위의 2차측 부하조건에 따른 자계 해석 결과 네온 변압기가 부하시, 정격 단락시, 무부하시의 자속이 다음의 표 1. 과 같이 발생됨을 확인 하였다.

표 1. 네온트랜스의 부하측 상태에 따른 자속밀도 변화율
Table 1. Flux condition of neon transformer

출력측조건	측정위치 2 차측 상단	측정위치 1 차측 중앙
부 하 상 태	0.2080 Tesla	0.5868 Tesla
무부 하상태	1.6120 Tesla	1.7133 Tesla
단 락 상 태	0.1108 Tesla	0.3830 Tesla

4. 최적형 코아의 설계와 보호회로의 구성

코아의 자속선도는 철심의 구조가 대칭형 (Symmetric)일 경우가 가장 최적의 형상이며, 자속 선도가 지나가지 않는 부위는 코아의 구조상 필요 없는 부분으로 해석 되었으며 이 부분을 제거한 최적형 코아 형상으로 결정하여 전기네온 변압기의 누설자속 분포 해석을 출력측 단락 (SHORT) 상태, 출력측 개로 (OPEN) 상태 및 출력측 네온 관 부하의 부하 상태의 3단계별로 각부의 유기전압을 균일한 Search Coil을 부착 측정 분석하였다. 그 결과 출력측 개로 상태에서는 분석 자료와 같이 누설자속이 최대가 되어 가장 높은 유기 전력이 발생함이 입증 되었다. 또한 이를 실제 모델에 적용하여 전기네온 변압기의 1차권선(n1), 2차권선(n2) 및 감지부 Search코일에 의한 유기전압을 각각 측정하였다. 다음 표 2는 네온관 길이에 따른 각 조건별 유기전압 상태를 나타냈다.^{[1], [4]}

표 2. 네온관 길이에 따른 조건별 유기전압 상태
Table 2. Search coil voltage by load condition.

네온관의 길이	부하시 유기v	개로시 유기v	비 고
9m	23v	29.2	네온관Ø12직관
8m	18.7v	29.2	
7m	16v	29.4	
6m	14v	29.7	
5m	11.7v	29.4	
4m	9.5v	29.4	
3m	8.5v	29.4	
2m	8v	29.4	
1m	7.4v	29.4	

이와 같은 분석결과는 네온 변압기의 누설자속에 의한 자속 분포가 정격부하 시와 네온관 파손 또는 출력측 단락시의 출력개로 상태시의 유기기전력이 현저하게 일정비율로 차이가 남을 알 수 있다. 이를 응용하여, 네온관 이상시의 고장검출 회로장치를 그림 4와 같이 구성하고 동작 상태를 확인하였다. 출력측 이상 발생시 감지코일에 의하여 감지된 신호에 의하여 발광 다이오드가 동작되면 릴레이가 여자되어 네온트랜스의 입력을 차단하고 2차측 고장원인을 제거하기 전까지는 동작되지 않도록 회로를 구성하였다.^[3]

과전류로 인한 기기보호 및 코로나 방전으로 인한 화재 발생의 위험을 방지할 수 있도록 하였으며 정상적인 동작 중에 출력선이 사람이나 금속 물질을 통해 대지로 누전되었을 때 출력전압이 즉시 차단

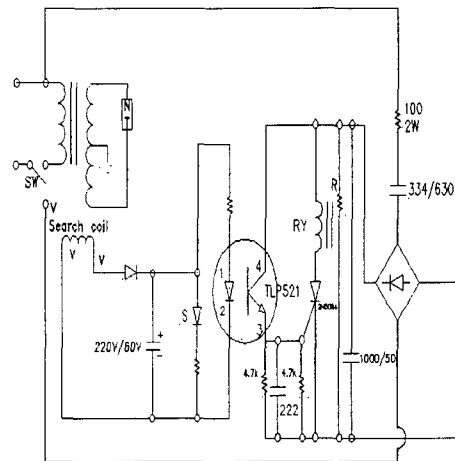


그림 4. 네온트랜스의 차단 장치 회로

Fig 4. Abnormal load interrupting circuit for neon transformer.

되도록 하였다. 출력선의 어느 한쪽이라도 누전되어 누전전류가 최고 15mA에 도달하기 전에 0.5 sec 이내에 출력전압을 차단시켰다.

5. 특성 시험 결과

표 3.의 특성시험 결과를 보면 동일한 정격입력에서 부하는 적색네온관 직경 14mm 봉입 가스압 11Torr 12m 를 직렬로 연결하여 시험하였다. 정격시 입력전류의 경우 약15% 감소되었고, 역률도 좋아 입력측면에서 볼 때 특성이 크게 향상되었다. 또한 동일한 출력전압 상태에서 단락전류도 기준

치 20mA의 10% 이내로 모두 적합하였다. 제품의 효율을 나타내는 정격부하시 관 전류도 개발 제품의 경우 16.2mA로 가장 이상적 이었으며 (정격 부하시 정격 전류의 80%가 가장 이상적임) 중요한 기능인 SGFP(Secondary Ground Fault Protection) 기능도 기준치 15mA에 도달하기 전 0.5 sec 이내에 출력 전압을 차단하였다. OCP(Open Circuit Protection) 기능도 이상 없이 작동이 잘되었다. 특히 고압절연을 보완키 위하여 불포화 폴리에스테르 계열의 수지를 사용하여 내전압 시험과 온도 상승 시험에도 양호한 결과를 얻었다.

표 3. 특성 시험 결과

Table 3. Measured results of inverter type neon power supply's characteristic.

내용 구분	기준	개발품	기존품
입력전압	220Vac 60Hz	220Vac 60Hz	220V AC 60Hz
입력전류(부하)	측정값±15%	0.66A	0.75A
입력전력(부하)		138W	143W
역률(부하)	85%	95%	87%
출력 2차전압	15kV±15%	15kV	15kV
단락 2차전류	20mA±15%	19.8mA	19.6mA
정격부하길이	Ø14, 11torr 12m	Ø14, 11torr 12m	Ø14, 11torr 12m
정격부하2차전류	16mA	16.2mA	15.3mA
SGFP기능	PL법	양호	없음
OCP 기능	PL법	양호	없음
온도시험(B종)	80℃	73℃	78.5℃
내전압 시험	22.5Kv	양호	일부 파손
중량		650g	780g

6. 결 론

자기식 네온 트랜스포머의 소형화 및 고 효율화를 추진키 위해 코아 형상의 최적화 및 손실의 최소화를 추구하였다.. 즉 경제적 측면과 기술적인 측면을 고려할 때 현재의 무 방향성 코아의 저손실화 설계와 가공 기술의 향상이 절실히 요구되고 있다. 본 연구에서는 코아의 철손을 줄이고, 소형 경량화를 도모하기 위하여 전자계 해석에 의한 전체적인 최대한의 균등자속 분포화를 적용함으로써 코아의 단면적을 최소화하고, 코일의 평균장을 작게 하여 동의 양 및 코아의 양을 최소화 하였다.^[5] 무방향성 코아의 압연 방향성 적용과 최적의 코아 구조 및 형상을 적용하여 자기식 네온트랜스포머를 설계하였다.^[6]

특히 네온 방전관의 물리적 취약성에 따른 네온관 파손과 이에 따른 누전 및 과부하로 인한 화재를 사전에 방지하기 위하여 철심의 자계 분포를 해석하여 네온 변압기의 부하측 이상 상태인 네온관의 파손, 출력 고압선의 단선 및 과부하에 변화에 따른 네온 변압기의 부하측 고장 검출 방법을 고안해 내고 이에 따라 이상 발생시 즉시 입력을 차단 할 수 있는 보호 회로를 내장한 자기식 네온 트랜스포머를 설계 하였다^[2].

과거에 비해서 최근에는 안전을 최우선으로 하여 설계하고 있으며 새로이 개정된 UL규격의 경우에도 누전에 의한 화재 및 감전사고를 방지하기 위하여 SGFP(Secondary Ground Fault Protection)의 기능을 필수 기능으로 요구하고 있다. 또한 OCP(Open Circuit Protection)기능의 경우 아직까지는 선택기능으로 분류하고 있으나 장차 멀지 않아 필수기능으로 분류되리라 판단된다.

2002년 7월부터 시행되는 PL법 제조물책임(PL: Product Liability)법의 시행으로 인하여 보호기능이 내장된 설계가 절실히 요구되고 있어 본 연구 결과를 토대로 한 신뢰성 있는 제품의 공급이 활성화 되리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1]. '전력기기 설계를 위한 전자장 해석기법의 활동방안에 대한 응용연구' 보고서 1991. 2. 한국전기연구소.
- [2] Tsai F. Lin Chin S. Moo "A Universal protection circuit for electronic ballasts" 2001 IEEE 874-880
- [3]. C. S. Moo, C. R. Lee, and Y. C. Chuang, "A Protection Circuit for Electronic Ballasts with Self-Excited Series-Load Resonant Inverter" IEEE IECON '96, pp. 1116-1121, 1996
- [4]. '전기기기의 형상최적화를 위한 유한요소법과 민감도 기법 적용 연구' 박 진우 1996. 2.
- [5]. Chang-seop Koh, 'Optimal Shape Design of Electric Apparatus Using Design Sensitivity Analysis' Ph.D. Dissertation, Seoul National University 1992
- [6]. Il-han Park 'Sensitivity Analysis for Shape Optimization of Electromagnetic Devices' Ph.D. Dissertation, Seoul National University 1990