

압전 트랜스포머의 특성 및 기술동향

기술해설

Research Trend in Piezoelectric Transformer Application

함중걸*, 김일남**, 백수현***

(Jung-Keol Ham, Il-Nam Kim, Soo-Hyun Baek)

Key Word(중요용어) : Back Light(배면광원), PZT, CCFL(냉음극형광램프), Reflector(반사판), PT (Piezo-electric Transformer)

1. 서 론

1950년대 말에 개발된 압전 트랜스포머^{1),2)}는 특히 고압발생용에 착안해서 1960년대에는 텔레비전의 수평발진회로에 이용되는 고압트랜스포머^{3),4)}로서 개발되었지만 재료의 고출력 특성이 어렵기 때문에 개발이 중단되었다. 그러나 최근에 고출력에 견디는 압전재료의 개발이 진행되어 다시 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{5),6)}

한편, 노트북 PC로 대표되는 휴대용 정보기기는 소형화, 박형화와 더불어 저소비전력이 요구되고 있으며, 이러한 휴대기기에 탑재되는 액정 배면광원(Back Light)용 인버터에 대해서도 소형화, 박형화 및 고효율화가 크게 요구된다.^{7),8),9)} 즉, 배면광원(Back Light)용 인버터는 배면광원(Back Light)으로 사용되는 냉음극형광램프의 전원으로 사용되며, 건전지 등에 의한 직류 저전압으로부터 점등시 1000V 이상 정상시 수십Vrms 이상의 고주파 고전압으로의 변환을 필요로 한다.

현재 이러한 용도로 사용되고 있는 자기식 권선 트랜스포머는 특별히 제작한 코어를 박형 구조의 트랜스포머를 이용하여 박형화에 대응할 수 있지만 절연내압의 확보를 위한 소형, 박형화에는 한계가 있으며, 코어손실과 권선손실에 의해 효율이 저하된다. 이러한 문제의 해결 수단으로 새로운 개념에 기초한 압전 세라믹 트랜스포머와 최적화된 구동회로 방식을 개발해서 고효율인 박형 인버터의 실현이 용이하다.^{10),11),12)}

2. 압전 트랜스포머의 원리 및 구조

압전 트랜스포머는 PZT 등의 압전재료에 1차측 및 2차측의 전극을 붙여서 1차측에 트랜스포머의 공진주파수의 전압을 인가해서 트랜스포머를 공진시킨다. 이 공진에 의해서 생기는 기계적 진동에 의해서 2차측에 발생하는 전력을 이용하는 것이다.

로-젠이 처음 개발한 압전트랜스는 그림 1에 나타난 것처럼 트랜스포머의 길이가 기계공진 파장의 1/2이 되도록 주파수를 인가하고 있다. 이것을 1차로젠형 이라고 한다.

이 1차 로젠형에서는 진동시의 진폭이 0의 점(노드 점)이 트랜스포머의 중심점으로 된다. 이 때문에 기계진동을 저해하지 않도록 트랜스포머를 유지하는 것은 트랜스포머 중심의 1점에서만 할 수 없고, 또 전극에서 리드선의 도출은 진동하고 있는 장소에 놓지 않는다. 특히, 출력측(2차측)의 전극은 트랜스포머 양단의 가장 진폭이 큰점에서 접속하고, 전극접속의 신뢰성을 크게하는 것이 큰문제로 된다.

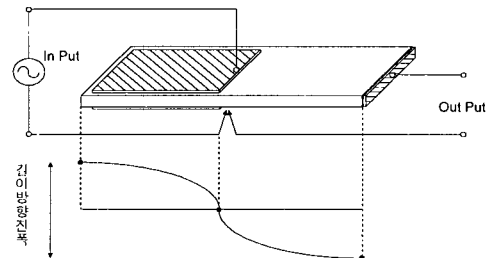


그림 1. 1차로젠형 압전트랜스포머의 구조와 진동모드

Fig. 1. Structure and Oscillation Mode of 1st Rosen P.T

압전 트랜스포머의 형상, 전극구조, 진동모드는 여러 가지의 형태의 것이 고려되지만 트랜스포머의 설계상 중요한 것은 압전 트랜스포머의 출력 임피던스를 접속 부하의 임피던스보다 작게 하는 것이다. 이렇게 하면 효율을 높게 유지하면서 승압비를 크게 할 수 있다. 이 때문에 부하가 냉음극형광등인 경우에는 그것에 분포되어 있는 부유용량을 고려한 등가회로로 모델링해서 압전 트랜스포머를 설계해야 한

다. 이러한 압전 트랜스포머의 구조를 그림 2에 나타낸다.

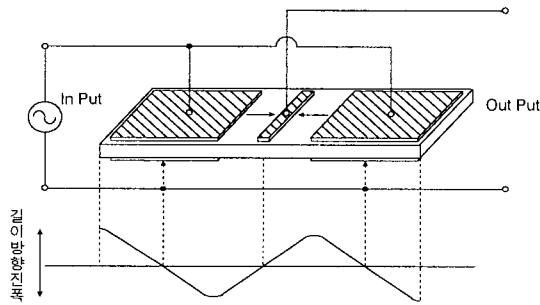


그림 2. 대칭형 3차로젠방식 압전 트랜스포머의 구조와 진동모드

Fig. 2. Structure of P.T and Oscillation Mode of Symmetric 3rd Rosen.

여기서 압전 트랜스포머는 PZT의 양단에 대칭으로 입력전극 중앙에 출력전극을 설치한 승압형의 트랜스포머이다. 각 전극은 압전세라믹의 상,하면에 은계통의 재료로 인쇄에 의한 입, 출력 전극으로 형성되고 트랜스포머 내부에서 3/2파장의 공진이 일어나는 주파수의 교류전계가 인가되며 진동의 노드점이 3개소에 생기는 구조로 되어 있다. 입,출력 단자 및 지지하는 이러한 노드점에서 행해지고 있기 때문에 진동에 의한 효율저하와 인출선의 단선이 일어나기 쉬운 구조이다. 이와 같이 설계된 3차 로젠형 트랜스는 1차 로젠형에 비해서 출력의 내부 임피던스가 약 1/4이고 높은 전압비와 효율을 얻을 수가 있다.

2.1 적층형 압전 트랜스포머

압전 트랜스포머의 승압비는 직육면체 평면구조의 소자에서는 트랜스포머의 두께와 2차측의 전극간의 거리의 비에 비례한다. 즉, 높은 승압비를 얻기 위해서는 트랜스포머를 길게 하거나 혹은 두께를 얇게 할 필요가 있다. 인버터를 소형으로 만들려면 길이방향으로는 실용적인 한계가 있고 소자의 두께를 얇게 함으로써 높은 승압비를 실현할 수 있다.

한편, 압전 트랜스포머로부터 인출되는 전력은 트랜스포머 내부의 기계적 공명의 전력에 비례하고 구조적으로는 소자의 단면적에 비례한다. 만일 단면적을 크게 하기 위해서 트랜스포머의 횡폭을 크게 하면 길이방향의 진동 외에 폭방향의 진동이 일어나고 트랜스포머의 동작불량을 일으키기 때문에 폭방

향에는 한계가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 박판의 소자를 접착제로 접착한 적층구조의 트랜스포머를 설계하면 된다.

그림 3은 치수는 39X9 mm이고 두께 0.4mm 인 소자 단면의 양면에 전극을 붙여 3매를 전기적으로 병렬로 접속해서 기계적으로 1개의 구조로 적층한 것으로 단면구조의 트랜스포머와 같은 모양으로 그림 4의 구동회로와 조합해서 최소 인버터 입력전압을 얻을 수가 있다. 이때 중요한 것은 공진주파수보다 고주파 측에서 고효율이 유지된다는 결과가 얻어진다. 또 승압비를 높이기 위해서 적층수를 증가시키면 트랜스포머의 발열과 효율저하가 급격하게 되기 때문에 현재까지는 5매 정도가 실용적인 한계로 되어 있으며, 적층화 수단으로는 세라믹 소결 전에 내부전극을 형성하고 한 개의 소결한 소결적층도 저출력 영역에 있어서는 접착제 층과 동등의 특성이 얻어진다.

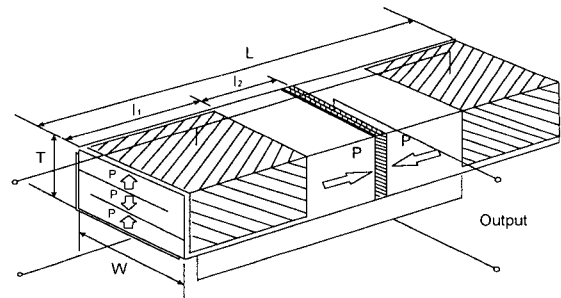


그림 3. 3층적층형압전 트랜스포머(화살표는 분극의 방향을 나타냄)

Fig. 3. P.T of three layer (⇒:Direction of Dipole)

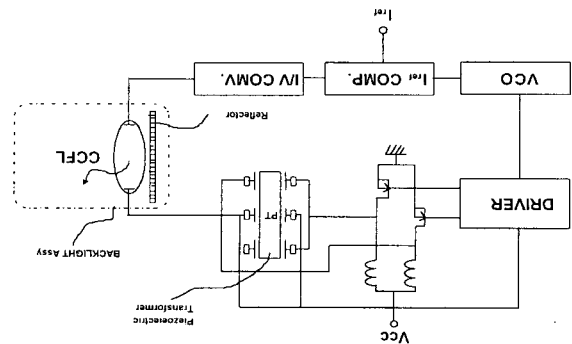


그림 4. 인버터 블록도

Fig. 4. Block Diagram of Inverter.

2.2 단판형 압전 트랜스포머

적층의 번거로움을 피하기 위해서 같은 크기로 단판 대칭형 3차 로젠방식 압전 트랜스포머로 소자 크기가 39 X 9 mm, 두께 1 mm인 적층형과 같은 모양의 구동회로를 부가한 인버터로 외경 3mm, 길이 220mm의 냉음극 형광램프를 부하로 점등상태에서 최소입력 직류전압이 12V 인 특성이 얻어지고 있다.

2.3 압전 트랜스포머의 지지

압전 진동자의 지지로 종래에는 진동의 마디인 노드점에 지지해야 진동손실을 적게 할 수 있다. 압전 트랜스포머에 있어서도 노드점에서 지지하면 효율저하를 줄일 수 있다. 예를 들면, 3차로젠 방식에서는 노드점 3개소에 대해서 전기적 접속을 하면 좋기 때문에 일본 NEC의 제품에서는 리드 프레임을 이용해서 트랜스포머의 겉과 안쪽 양면에 끼워 넣는 구조를 채용하고 있다.

그 외에, 압전 트랜스포머를 프린트 배선판 등의 베이스 기판위에 놓고 트랜스포머의 외형부분에 미소간격(약 0.3 mm)을 유지한 커버를 씌우는 실장방법으로 간편하고 또한 트랜스포머를 자유로운 상태로 한 경우에 비해서 트랜스포머의 효율저하가 거의 일어나지 않는 것으로 보고 있다.

이러한 실장방법은 진동, 충격에 대해서도 강한 구조로 되어 있다. 또 진동의 전파와 잡음이 거의 발생하지 않는다.

3. 압전 트랜스포머를 이용한 인버터

3.1 압전 트랜스포머 인버터의 원리

위에서 말한 3층 적층형 및 단판식 압전 트랜스포머에 대해서 각각 칼라 액정용 배면광원(Back Light) 인버터 전원의 주안점은 고효율이라는 압전 트랜스포머의 특징을 극한까지 인출하는 것으로 회로구성의 각부분의 전력손실을 상세하게 파악하여 손실이 작은 회로를 만드는 것이다. 압전 트랜스포머의 구동방식으로 종래에는 자려발진 방식이 주류를 이루었지만 변환효율에 한계가 있기 때문에 트랜스포머의 2차 출력을 귀환해서 주파수 제어를 한 타려발진 방식을 채용하고 있다. 이것은 냉음극형광램프를 흐르는 전류를 검출하고 이것이 일정하게 되도록 발진주파수를 제어하여 정전류 동작을 행하고 있다. 또 트랜스포머의 입력전압 파형으로 기계적 진동을 하기 위한 가장 효율이 좋은 파장으로 FET 로 발생시킨 구형파를 쇼크코일과 압전 트랜스포머의 용량성분과의 공진에 의한 정현파로 변환함으로써

구동의 고효율화를 꾀하고 있다.

3.2 압전 트랜스포머 인버터의 특성

인버터회로를 형성한 배선 기판위에 단판식 및 3층 적층형 압전 트랜스포머를 각각 미소간격 유지에 의해 직접 실장하고 외경 3mm, 길이 220mm 의 냉음극형광램프 1개를 이용한 칼라액정용 백라이트를 부하로한 인버터에 대한 적층형의 제 특성은 단판식인 경우에는 필요한 입력전압이 상승하지만 기본적인 특성의 경향은 적층형의 경우와 같고, 최대효율은 단판품과 적층품에서 약 90% 이며, 종래의 자기식 트랜스(약 70-80%)를 이용한 인버터에 비해서 높다.

또 단판식 압전 트랜스포머를 채용한 인버터에서는 입력전압이 12V정도, 3층적층형 압전트랜스를 채용한 인버터에서는 입력전압 7V 정도로 칼라액정에 실용적인 배면광원(Back Light) 휘도가 얻어질 수 있다.

3.3. 압전 트랜스포머를 이용한 냉음극관의 점등 특성

외경 3mm, 내경 2mm, 길이 220mm의 냉음극관에 대한 특성에서 냉음극관은 금속 반사판이 측면에 붙어 있고, 구동주파수는 약 110kHz 이고, 1W이상의 입력전력에서 임피던스가 안정하고, 부저항특성을 나타낸다. 이 부저항 특성에 의한 발진을 피하기 위해서 전자식 트랜스포머의 경우에는 안정기용 콘덴서가 이용된다. 이때, 냉음극관의 등가저항은 약 70k Ω 이며, 압전 트랜스포머는 부하 임피던스가 높은 때는 고전압을 발생하고 부하 임피던스가 저하하면 발생전압이 낮아진다. 이것은 냉음극관의 시동과 부저항 특성에 대해서 매칭이 되는 전원을 구축할 수 있는 장점을 지닌다. 여기서, 정상점등 상태에서 450 - 500 V의 고전압으로 출력되어서는 안된다.

3.4 압전 트랜스포머 인버터의 임피던스 매칭

임피던스의 부정합화 급전은 압전형 트랜스포머의 인버터도 동일하다. 압전형 트랜스포머는 압전세라믹의 길이방향으로 진행되는 조밀파에 의한 압축신장 효과에 의해 생기는 고압전하를 전극에서 빼내는 것이다. 이때 발생한 전하를 빼내는 과정에서 등가회로는 고압전원에 직렬의 특성을 가진 용량성이 접속된 것으로 본다. 압전 트랜스포머에 냉음극관이 접속된 상태의 등가회로는 종래형의 인버터 회로의 2차측 회로와 같은 모양이다. 자기한류작용이란 효과에 의해서 안정기용 콘덴서와 등가인 것을 내포하

는 안정기용 콘덴서가 불필요한 반면에 가지고 있는 문제점으로는 다음과 같이 종래의 인버터와 유사하다. 즉, 도전성 반사 시이트에 의한 용량 분압효과와 구동주파수의 고주파화이다. 그렇기 때문에 압전형 트랜스에 있어서도 임피던스 매칭을 하는 것에 의해서 효율이 좋은 인버터를 만들 수 있다.

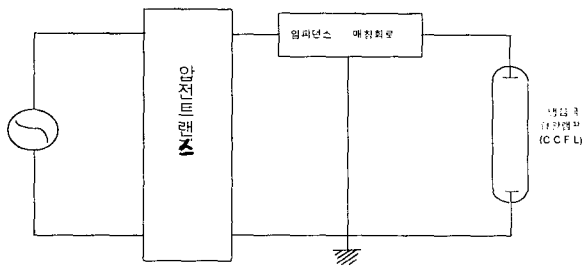


그림 5. 압전형 트랜스포머의 임피던스 매칭
Fig. 5. Impedance Matching of P.T

1) 임피던스 매칭에 의한 효과

1. 도전성 반사 시이트에 의한 휘도 저하의 방지

인버터에 냉음극관을 접속하고 도전성 반사 시이트를 감아서 도광판에 장착한 결과 형광관을 도전성 반사 시이트에 가깝게 하면 눈에 보이는 휘도가 향상되는 상태를 만들 수 있다.

2. 효율의 향상(효율의 측정법)

정확한 인버터의 변환효율 측정은 주율열 측정방법의 결과로 도광판 모듈의 휘도 효율 비교시 5%이상의 개선효과를 나타낸다. (동일회로에 있어서 5% 이상 소비전력 절감)

3. 복사잡음의 저감화

인버터의 출력에 75kΩ의 더미저항을 접속하고 더미저항의 한쪽 끝에 1m의 도선을 접속하고 피측정물보다 1m 위치에서 환경잡음과 인버터에서 발생하는 복사 노이즈에 대해서 측정해보면, 종래형 인버터의 측정결과보다 압전트랜스 인버터의 측정결과에서 저잡음성을 확인할 수 있다.

3.5 압전 트랜스포머 인버터의 특징

압전 트랜스포머를 채용한 인버터의 특징은 다음과 같다.

1. 고효율

종래의 전자식 권선 트랜스포머에서는 60 - 70%의 인버터 효율을 가지고 있으나 압전 트랜스포머만의 효율은 약 97%정도로 이 압전 트랜스포머를 채용한 인버터에서는 최대효율 90%정도까지 높

일 수 있고 저 소비전력화를 꾀할 수 있다. 이러한 고효율화에 의해서 휴대정보기기의 건전지 사용 동작시간을 늘이는 것이 가능하다. 여기서 압전 트랜스포머가 고효율인 이유는 기계적인 공진을 이용하고 있기 때문에 에너지의 이용효율이 높은 것이다.

2. 박형화

종래의 전자식 권선 트랜스포머의 높이가 가장 얇은 것에서도 최소한 5 mm인 것에 대해 압전 트랜스포머는 소자 한개가 약 1mm 정도 이고 그외의 인버터 구성부품의 선택에 의해 대폭으로 박형화를 꾀하는 것이 가능하다. 또한 횡폭도 종래의 전자식 권선 트랜스포머보다도 대폭적으로 좁게 할 수 있다.

3. 저전자 노이즈

종래의 권선 트랜스포머가 자기에너지에 이용하는데 대해 압전 트랜스포머는 기계진동을 변환에너지로 이용하기 때문에 누설자속의 발생이 없다.

4. 불연성

종래의 트랜스포머에서는 극세선을 다수층의 코일로 해서 층간의 절연파괴 등에 의해 발연과 발화의 가능성이 있지만 압전 트랜스포머에서는 재료가 세라믹이기 때문에 완전히 불연성으로 된다.

4. 결 론

지금까지 주로 인버터는 효율을 높이기 위해서 권선형 트랜스포머를 이용해서 고주파화를 추진해오고 있으나 이러한 권선형 인버터에서는 효율을 최대한 높여도 권선손실을 최소화 하기가 매우 곤란할 뿐만 아니라 권선의 절연 등에 대한 많은 문제를 내포하고 있다.

그러나 압전 트랜스포머를 이용한 인버터는 압전 세라믹을 사용하기 때문에 구조가 간단하고, 제조공정이 단순해서, 양산시 균일한 제품의 생산이 용이하다. 현재까지는 압전세라믹의 고효율화가 매우 어려우나 가까운 시일내에 고전압, 고주파 및 고효율의 압전 트랜스포머의 실용화가 이루어 지게 되면 Power Supply분야인 직류전원장치의 소형, 경량화 및 조명분야에서는 형광램프 및 고압방전등의 안정기 적용이 용이하게 되어 기존에 사용되던 전자식안정기 분야에 많이 이용될 수 있다.

참 고 문 헌

1. C.R.Rosen , "Ceramic Transformers and wave

- Filters", Proc. Electronic Component Symp., pp.205 - 211, 1957
2. H.W.Katz 編, "Solid State Magnetic and Dielectric Devices", John Wiley & Sons, pp.170 -197 1959
 3. 土屋英俊, "高壓用磁氣變壓器", エレクトロニクス・セラミックス, pp.65 - 68, 1971-3
 4. 要祐一,伊勢悠紀彦, "壓電 セラミック トランス 用素子の 一考察", 日本音響學會誌, Vol.32 - 8, pp.470 - 479, 1976
 5. 廣瀬精二, 青柳學, 富川義朗, "壓電 セラミック振動子の 大振幅動振時における 誘電體損失, 信學技報, US92-42, 1992
 6. 大西修, 岸江宏美, 岩本明夫, 佐々木康弘, 井上武志, 財津俊行, "厚み縦振動を 利用した電力電送用", 信學技報, US92-20, 1992
 7. 田上悟, 倂田洋代, 川島進吾, 福岡晃, 坂口龍夫, 座間浩一, "壓電トランス式インバータ 開發", NEC技報, Vol.47, pp.106 - 110, 1994
 8. S.Kawashima, O.Ohnishi, H.Hakamata, S. Tagami, A.Fukuoka, T.Inoue and S.Hirose, "Third order Longitudinal Mode Piezoelectric Ceramic Transformer and Its Application to High-Voltage Power Inverter", Proceedings of IEEE, 1994, Ultrasonics Symposium, pp.525 - 530, 1994
 9. 諸橋久雄, "Back Light 用 部材の 開發動向", pp.36 - 43, NEC技報 Vol.47 No 10/19, 1994
 10. 牛嶋昌和, "液晶 Back Light の 高効率化 設計手法", pp.15 - 34, NEC技報 Vol.47 No 10/19, 1994
 11. 磯部院, "壓電トランスの 開發とインバータへの 應用", pp.45 - 56, NEC技報 Vol.47 No 10/19, 1994
 12. S. Kawashima et al. "壓電トランスインバータ)", pp.122 - 126, NEC技報 Vol.48 No 10, 1995

저자소개

함중걸



1956년 2월 19일생. 1981년 한양대학교 공과대학 전기공학과졸. 1987년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸(석사). 1997년 동국대학교 대학원 전기공학과 졸(박사). 현재 생산기술연구원 신뢰성팀장

백수현



1949년 5월20일생. 1972년 한양대학교 공과대학 전기공학과졸. 1974년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸(석사). 1983년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸(박사). 현재 동국대 전기공학과 교수

김일남



1942년 12월10일생. 1967년 한양대학교 공과대학 전기공학과졸. 1980년 동국대학교 대학원 전기공학과 졸(석사). 1997년 동국대학교 대학원 전기공학과 졸(박사과정). 현재 대우공업전문대 전기공학과 교수.