

압전 변압기의 기술

■ 양승학 / 호남대 전기공학과 교수

■ 임영철 / 전남대 전기공학과 교수

서론

우리 생활에 매우 밀접하게 쓰이고 있으면서도 압전 변압기나 압전 세라믹이라 하면 전공분야가 아닌 독자들은 생소하게 느낄 것이다. 예를 들어, 가정에서 사용하는 가스렌지에 불을 붙일 때 사용하는 착화소자가 바로 압전 세라믹이다. 이처럼 압전 세라믹이라 함은 전기를 생성할 수도 있고 전기에 의해 진동도 만들어낼 수 있는 매우 유용한 소자라 할 수 있다.

이러한 압전 세라믹 재료로 만드는 압전 변압기는 전기에너지를 입력으로 승압 또는 강압된 형태의 전기를 출력하는 것으로 전압을 변압하는 개념은 권선 변압기와 동일하다. 그러나 압전 변압기는 세라믹이라는 소재의 특수한 성질을 이용함으로써 권선 변압기에서 실현이 어려운 소형화, 고효율화, 불연성, 낮은 전자유도장애 등을 가능케 한다. 대표적인 압전 변압기의 응용분야로는 노트북 LCD 백 라이팅용 인버터, 어댑터, 충전기, 안정기 등을 들 수 있다.

본 고에서는 이러한 압전 변압기에 관한 구동원리와 종류 그리고 응용분야와 시장동향에 대해 간략하고 서술하고자 한다.

압전(Piezoelectric)이란?

압전 변압기에 사용되는 “압전(Piezoelectric)”이라는 말은 결정(結晶)에 외부변형력(stress)을 가할 때 그 결정의 전기편극(electric polarization)이 변화하는 성질을 말하며 이러한 현상을 “압전효과”라고 한다.

압전효과(piezoelectric effect)가 1880년에 J.퀴리 ·

P.퀴리 형제에 의해 전기석(電氣石, tourmaline)에서 발견되었다. 이후, 분극 처리된 BaTiO₃처럼 압전효과가 있는 압전 세라믹스는 ABO₃로 표현되며, Perovskite 결정구조라는 것이 확인되어, A 및 B를 여러 종류의 원소들로 치환하고 구조적 특징을 갖는 여러 압전 세라믹스를 발견하게 되었다. 그 중에서 PZT라 불리는 Pb(Ti-Zr)O₃세라믹스의 발견으로 압전성을 이용한 전자세라믹스 분야는 비약적으로 발전을 하게 되었다.[1]

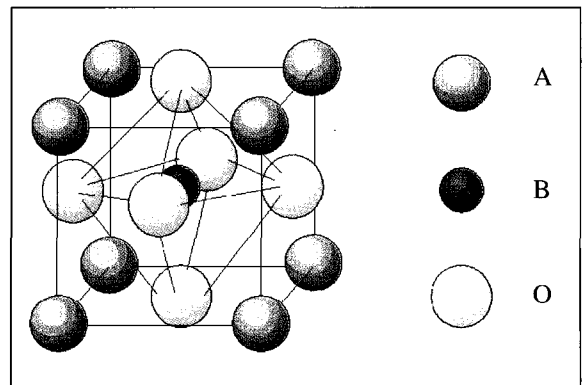


그림 1 Perovskite 구조

그림 1은 ABO₃ 형태의 Perovskite구조를 나타낸 것이며, 재료적인 면에서 변압기에 요구되는 조건으로는 특성값 Q가 높으며, 진동속도 v(m/s)가 크고, 유전손실 tanδ가 적으며, 커플링 상수 k가 좋은 것이 요구된다.

압전 세라믹스는 다른 전자재료에 비하여 아주 다양한 기능을 가지고 있으며, 대표적인 기능을 보면 다음과 같다.

기획시리즈 ④

1. 전압발생기능 (정압전 효과) : 압전 세라믹스에 스트레스를 인가하면 그에 대응한 전압이 발생하는 것으로 그림 2와 식 (1)과 같이 표현된다.[2]

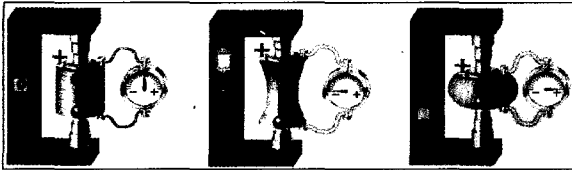


그림 2 정압전 효과

$$P_i = d_{ijk} T_{jk} \quad (1)$$

P ; Polarization
d ; Piezoelectric Constant
T ; Stress
ijk ; Tensor

2. 변위발생기능 (역압전 효과) : 압전 세라믹스에 전압을 인가하면 그에 대응한 변위가 발생하는 것으로 그림 3과 식 (2)와 같이 표현된다.[2]

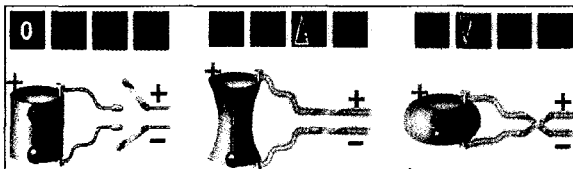


그림 3 역압전 효과

$$S_{ij} = d_{kij} E_k \quad (2)$$

S ; Strain
d ; Piezoelectric Constant
E ; Electric Field
ijk ; Tensor

이외의 특성으로는 형상이나 치수에 대응된 고유 진동의 전압을 인가하면 큰 진동 진폭이 얻어지고 최대전류가 흐르게 되는 공진 기능 등이 있다. 이러한 압전 소

자의 주요한 응용은 표 1과 같다.

표 1 압전소자의 응용

| 기능 | 응용분야 |
|--------|---|
| 고전압 발생 | Gas 착화기, Spark pumps, 충격 Fuse, Flash Bulb Actuators |
| 초음파 발생 | 초음파 세척기, 수중 음파탐지기, 초음파 용접, 침입자 경보기 |
| 소리 발생 | 확성기, 고음용 스피커, Buzzers, Tone Generators |
| 센서 | 전촉피업, 가속도 측정기, 수중청음기 |
| 공진 발생 | 탄성표면과 Filter, Delay Lines, 압전 변압기 |

압전 변압기

압전 변압기는 정·역 압전효과를 모두 이용한 것으로 고유 주파수를 갖는 입력전압을 구동부에 인가하면 역압전 효과에 의해 진동이 발생하고, 구동부에서 전달된 기계적 진동은 정압전 효과에 의해 다시 전기적인 에너지로 변환하게 된다. 이때 변환되는 에너지는 교류 전압의 형태로 입력에 비하여 승압 또는 강압되어 나타난다.

그림 4는 정·역 압전효과를 포함한 압전 변압기의 내부 동작원리를 나타낸 것이다.

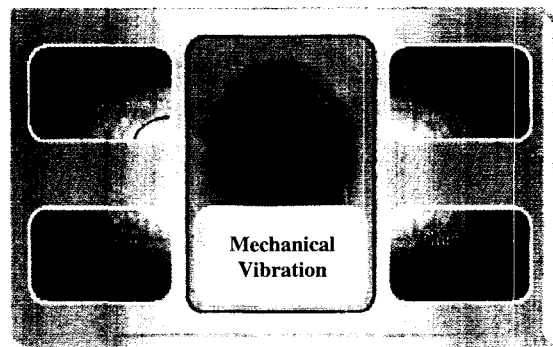


그림 4 압전 변압기의 원리

기존 권선 변압기에 비해 소형, 경량, 고효율, 저손실이며 구조가 간단하고 또한 권선 변압기에 존재하는 동

선에 의한 전기적 손실이 존재하지 않으며, 높은 승압비와 경박단소화가 가능하고, 불연성이며, EMI가 거의 없다는 장점을 가지고 있다. 그러나 충격에 의해서 깨지기 쉬우며, 구동주파수의 대역폭이 좁기 때문에 회로 설계 시 어렵다는 단점도 있다. 표 2는 전압 변환기로서 종래의 권선 변압기와 비교한 특성표로 장단점을 살펴볼 수 있다.

표 2 압전 변압기와 권선 변압기의 비교

| | 권선 변압기 | 압전 변압기 |
|------------|---------|---------|
| 재료 | 마그네틱 코어 | 압전 세라믹스 |
| 무게 | 무겁다 | 가볍다 |
| 승압비 | 수십배 | 수백배 |
| 출력전류 | 높다 | 낮다 |
| 구동주파수 대역 | 넓다 | 좁다 |
| 연소성 | 가연성 | 불연성 |
| 부하 의존 | 낮다 | 높다 |
| 노이즈(noise) | 많다 | 적다 |
| 부피 | 크고 무거움 | 소형, 경량 |

압전 변압기의 분류는 단층, 적층 그리고 진동모드와 형태에 따라 구분할 수 있으며 대표적으로 그림 5, 7, 8과 같이 크게 구분할 수 있다.

일반적인 형태로 그림 5와 6은 장방향 바(Bar)형태의 변압기는 한쪽 반을 입력부로 그리고 다른 한 쪽은 출력부로 구성되어 있다. 입력부는 두께방향으로 출력부는 입력측과 길이방향으로 분극한 후 세라믹의 공진 주파수에 맞는 교류전압을 인가하면 정역의 압전 효과에 의해 승압된 교류전압을 얻을 수 있다. 입력측은 저임피던스, 출력측은 고임피던스를 가지며, 길이와 적층 수에 비례한 승압비가 얻어지게 된다. 변위나 응력의 발생에 따라 λ , $\lambda/2$ 로 구분되며, 그림 5의 효율과 승압특성을 개선한 것으로 2개의 변압기를 하나의 몸체로 형성한 것이 그림 6이다.



그림 5 단층 길이방향진동 λ 형

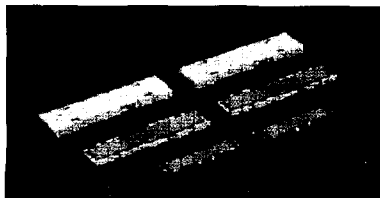


그림 6 적층 길이방향진동 $3\lambda/2$ 형

이러한 바형태의 장방향 압전 변압기는 최대 수kV와 수 mA의 출력을 얻을 수 있다. 응용분야로는 노트북이나 PDA 등의 LCD 백 라이트의 광원으로 사용되는 냉음극 방전램프(CCFL; Cold Cathode Fluorescent Lamp) 구동용으로 적합하다.

그림 7은 방사진동모드형 압전 변압기의 사진이다. 이는 사방진동을 하며 전력을 전달하는 것으로 전압의 승강압 특성이 함

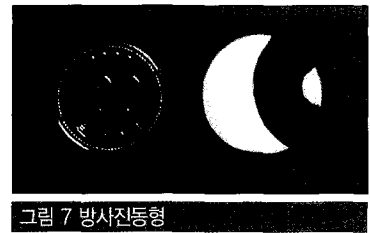


그림 7 방사진동형

께 존재한다. 왼쪽의 초승달모양이 입력부분이고 오른쪽이 출력부분이다. 승강압 특성을 이용하여 약 10W급의 안정기나 어댑터, DC/DC 컨버터에 응용할 수 있다.



그림 8 두께방향진동 λ 형

그림 8은 압전체의 두께진동모드를 이용한 것으로 절연물질을 두고 입력측과 출력측으로 구성된 형태이며, 적층형 길이방향 변압기와 반대의 구조이다. 입출력 특성은 적층수에 비례하여 승압 또는 강압된다. 이는 일반적으로 강압 시에 수십와트[W] 정도의 출력을 낼 수 있어 강압형으로 응용되며, 어댑터, 충전기, DC/DC 컨버터 등에 적용이 가능하다.

압전 변압기의 해석

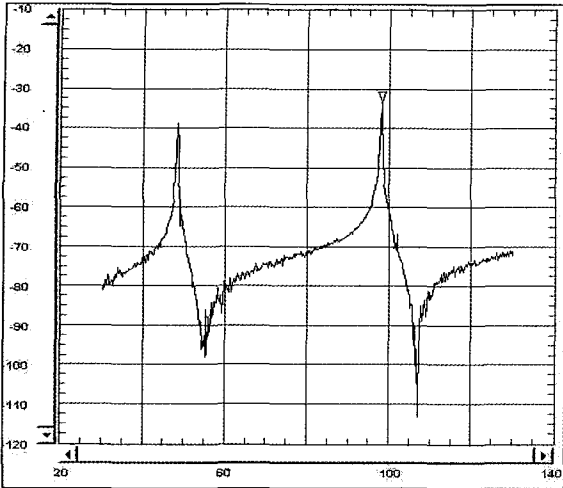


그림 9 전압전달 특성

전기전자회로 및 전력전자 분야에 적용하기 위해서는 다음과 같은 두 가지의 조사가 선행되어야 한다.

첫째로 일종의 세라믹 소자를 이용한 변환기이기 때문에 특정한 공진 주파수를 가지며, 이를 전력변환 시스템에 사용하기 위해서는 그림 9와 같은 전압전달비 등의 특성조사가 필수적이다. 그림 9는 그림 5에서 보인 압전 변압기의 전압전달비를 네트워크 분석기를 이용하여 측정된 것으로 두 번째 공진모드에서 최대 전압전달 특성을 보이고 있다.[3]

두 번째로는 회로설계 시 시뮬레이션등에 이용할 수 있는 전기적 등가회로의 작성이다. 해석방법으로는 크게 전압소스원법과 전류소스원법이 있는데 간단한 해석방법으로 임피던스 분석기를 이용하는 어드미턴스 궤적방법이 있다.

등가화된 압전 변압기는 그림 10과 같다.

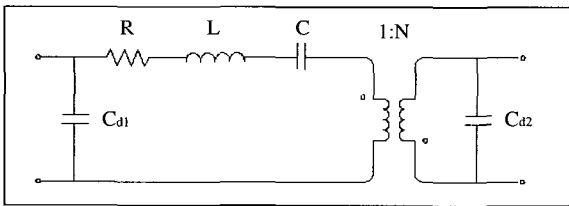


그림 10 전기적 등가회로

R, L, C 는 공진 주파수 부근의 등가상수이며, C_{a1} 및 C_{a2} 는 구동부 및 발전부의 커패시턴스, N 은 변압비를 나타낸다.

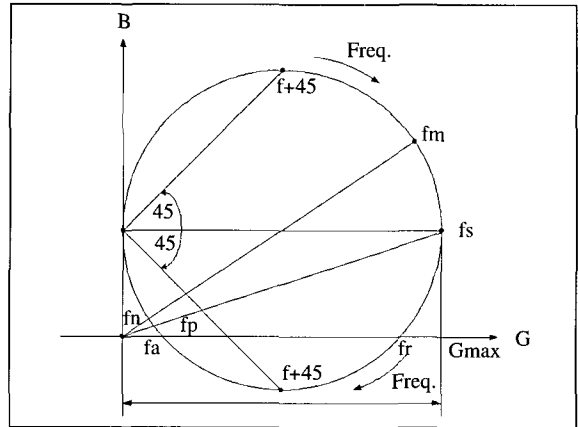


그림 11 어드미턴스 궤적

그림 11의 어드미턴스 궤적은 변압기의 입출력단을 교대로 단락시킨 후 임피던스 분석기를 사용하여 공진점 부근에서 그릴 수 있다. 궤적은 G (Susceptance)- B (Conductance)로 표현되며, 공진주파수(ω)는 $2\pi f_s$ 로 구할 수 있다.[4]

- f_m : 최대 어드미턴스에서의 주파수
- f_s : 직렬공진주파수 $2\pi f_s = \omega$
- f_r : 공진주파수 [$B=0$]
- f_a : 반공진주파수 [$B=0$]
- f_p : 병렬공진주파수 $2\pi f_p = \omega_p$
- f_n : 최소 어드미턴스에서의 주파수

$$R = \frac{1}{G_{MAX}} \quad (3)$$

$$C = \frac{1}{2\pi R} \cdot \frac{f_{-45} - f_{+45}}{f_{-45} \cdot f_{+45}} \quad (4)$$

$$L = \frac{R}{2\pi} \cdot \frac{1}{f_{-45} - f_{+45}} \quad (5)$$

그림 11의 전기적 등가회로의 상수는 식(3) ~ 식(5)에 의해 구할 수 있다.

부하에 따른 압전 변압기의 전기적인 특성분석은 그

림 12와 같이 측정할 수 있다. 이는 이득-위상, 승압비, 효율, 출력 등을 측정할 수 있다.

압전 변압기의 응용 예

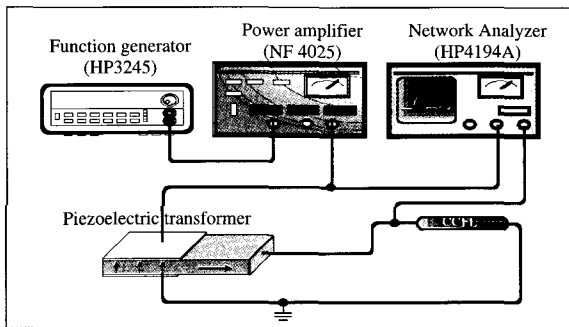


그림 12 측정 시스템

압전 변압기는 전기적 공진과 기계적 진동을 매개로 하여 전력을 전달하기 때문에 입력전압으로는 주파수를 갖는 정현파가 필요하다. 변압기에서 변환된 최대 수kV, 수mA의 전압, 전류는 LCD의 백 라이트에 사용되는 CCFL, 네온램프, 소형 CRT 등과 같이 저전력 고전압을 요구하는 장치들에 적합하다.

CCFL 구동용 압전 인버터는 그림 13과 같이 크게 압전 변압기의 입력신호를 인가하는 구동회로 부분과 입력 신호의 승압을 위한 압전 변압기 그리고 높은 교류 전압으로 구동되는 CCFL로 나눌 수 있고 램프의 출력

전류는 안정적인 구동을 위한 피드백 신호로 사용된다.

그림 14는 실제로 노트북 컴퓨터에 적용된 인버터를 보여주고 있다.

그림 15는 약 20W급의 방전램프를 구동한 것을 보여주고 있는데 여기에는 강압형 압전 변압기를 사용한다.

또한, 그림 16은 노트북에 사용되는 어댑터로 상용전원을 직류전원으로 변환하여 배터리의 충전이나 기기 동작을 위해 쓰인다. 현재는 50~60W급이 주로 사용되므로 대출력용 강압형 압전 변압기가 사용된다.

표3은 압전 변압기의 출력에 따른 응용을 분류한 것이다.

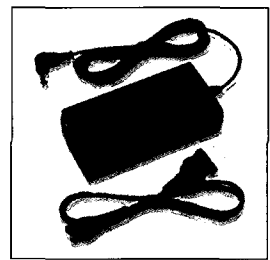


그림 16 어댑터

표 3 압전 변압기의 출력에 따른 응용

| 압전 변압기의 응용 (현재) | |
|-----------------|---|
| 2W 이상 | PDA, 디지털카메라, 비디오 캠코더, GPS응용 시스템, WAP/MT 2000 Phones |
| 4W 이상 | 트북, 의료용 디스플레이장치, DVD 플레이어 |
| 6W 이상 | LCD 모니터 백라이트 인버터, 자동화장비, ATM |
| 압전 변압기의 응용 (향후) | |
| 10W 이상 | PC/Navigation, Dashboard Clusters, Cockpit displays |
| 24W 이상 | Flat Panel, Desktop Monitor, Ballast, SMPS |

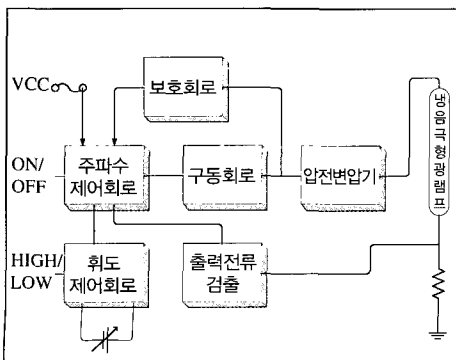


그림 13 압전 인버터 블럭도

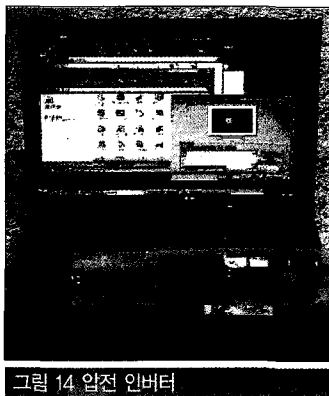


그림 14 압전 인버터

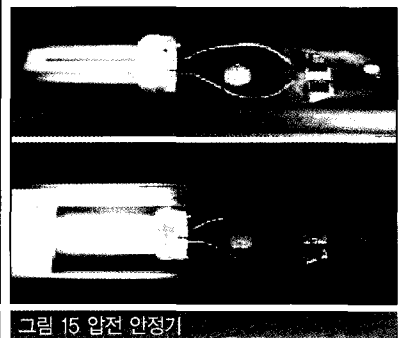


그림 15 압전 안정기

압전 변압기의 시장 동향

압전 변압기가 처음 발명된 1954년이래 1990년대 IT산업혁명을 맞이하면서 LCD는 많은 부분을 차지했으며, 이에 따라 부속된 CCFL 구동용 인버터와 압전 변압기의 수요는 크게 늘어나고 있다.

그림 17과 표 4는 압전 변압기 시장을 주도하고 있는 일본의 대표적인 회사들의 재조현황을 볼 때 2001년 기준으로 한달에 약 250만개의 압전 변압기가 제작되고 있으며 수량은 계속 늘어나는 추세이다.[5]

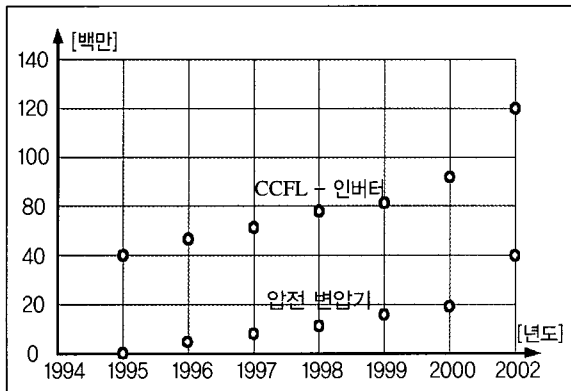


그림 17 압전 변압기의 수요량

결론

이상에서는 신소재 세라믹을 이용한 압전 변압기의 구동원리와 종류 그리고 응용분야와 시장동향 관한 내용을 사진과 표를 이용해 간략하고 쉽게 설명하고자 하였다.

향후 압전 변압기를 이용한 소형 PDA, 어댑터, 디지털 캠코더, 노트북, 포터블 DVD, LCD TV 등 최신 정

표 4 2001년도 일본의 PT 제조 현황

| 제조사 | 수량 (월간) |
|-----------|---------------|
| TOKIN-NEC | 약 1 백만 개 |
| TAMURA | 약 1 백만 개 |
| TAIHEIYO | 약 150,000 개 |
| MASUSHITA | 약 50,000 개 |
| HITACHI | 약 25,000 개 |
| MURATA | 약 20,000 개 |
| Other | 약 10,000 개 |
| 총계 | 2,55 백만 개 / 월 |

보통신기기들을 중심으로 그 응용분야가 계속 확대될 것으로 예상된다.

[참고문헌]

- (1) 손준호, "압전 세라믹스에 관하여", 에스-TECH, 2001.4
- (2) Seok Jin Yoon, "Piezoelectric Linear Ultrasonic Motor Using Shaking Beam", 2002 ICAT Conference
- (3) 한재현, 권기현, 양승학, 임영철, "CCFL 구동을 위한 압전변압기 제작과 전기적인 특성", 전력전자학회, 2002.7
- (4) Chih yi Lin, "Design and Analysis of Piezoelectric Transformer Converters", Academic Press, 1997
- (5) Pitak Laoratanakul, Kenji Uchino, "Design and Characterization of Piezoelectric Transformers for High Power Applications", 2002 ICAT Conference