

전력 Switching 소자를 압전트랜스로 구동하는 방법

황 민규*, 이 상균*, 이 재춘*
* LG전자 리빙시스템 연구소

The Driving Method of Power Switching Device Using Pizeoelectric Transformer

Hwang Minkyu*, Lee Sangkyun*, Lee Jaechoon*
* LG Electronics Living System Lab.

Abstract - To drive motor or heating machine, it needs the electric power system like the apparatus of inverter. This electric power system obviously comprises power switching devices and drivers to run them. And this system has the topology comprised one/many arm(s), - each arm has high side switching device and low side switching device. Transformer, photocoupler, and HVIC having functions of isolation and level shift which are important thing to drive high side switching device are used as component of drivers in conventional apparatus.

Piezoelectric transformers are proposed in this paper, and applied to drive high side switching device. Through experiments, the possibilities of driving high side switching device are presented and the problems are mooted concurrently. But, we also consider a counterplan for solving the mooted trouble issues.

1. 서 론

三相 모터의 구동 등에 사용되는 인버터 회로는 상측 스위칭 소자와 하측 스위칭 소자를 하나의 Arm으로 하는 Topology를 갖는다. 이 중에서 상측 스위칭 소자를 구동하는 방법에 있어서 종래에는 코일형 트랜스를 사용하는 방법, Photo Coupler 절연을 이용하고 多電源을 채용한 방법, 또는 Level Shift 기능이 내장되고 Boot-Strap을 사용한 전용 IC[1]을 채용한 방법 등이 주로 활용이 되고 있다. 그것은 상측 스위칭 소자를 구동하기 위하여는 그 구동요소가 첫째, 스위칭 소자를 구동하기 위한 필요 전력을 공급할 수 있어야 하고 둘째, 저 전압 Level의 Control 신호와 대 전력 부분의 스위칭 소자 사이의 절연을 유지하면서 Level Shift 기능을 가질 필요가 있기 때문이다. 이와 같은 절연 및 Level Shift 기능은 전기진동에서 기계진동으로 다시 기계진동을 전기진동으로 변환하는 압전트랜스의 특성을 고찰하면 쉽게 구현할 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문에서는 상기 절연 및 Level Shift 기능을 보유하고 있는 압전트랜스를 소개하고 실험을 통하여 적용 가능성을 보인 후 문제점을 도출하고 그 해결을 위한 Idea를 제시하고자 한다.

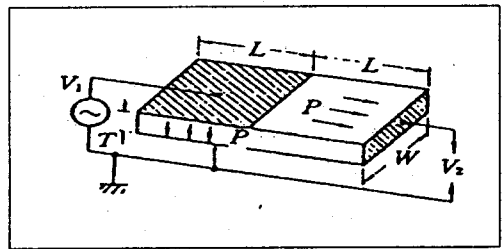
2. 본 론

2.1 압전트랜스

코일형 트랜스에 비하여 비교적 소형, 박형화 설계를 가능하게 하고 부하 단락 등에 안정하여 incom-bustibility(불연성) 성질이 있는 압전트랜스는 그 장점에도 불구하고 출력용량이 적어서 주로 고전압 저전류 응용에 적용되고 있다. 여기서 압전트랜스의 특성과 동향에 대해 고찰하고 본 논문의 실험에 사용되는 변형된 압전트랜스를 살펴 본다.

2.1.1 Rosen형 압전트랜스

압전트랜스의 구조는 <그림1>과 같이 압전세라믹판에 전기적 진동을 입출력하기 위한 전극이 형성되어 있고, 특히 3단자의 구조를 갖는 Rosen형 압전트랜스는 1956년에 제안된[2] 이래 고압 저 전류형 압전 트랜스의 근간이 되어 왔다.



<그림 1> 3단자 구조의 Rosen형 압전트랜스

종래의 코일형트랜스와 비교하여 압전트랜스의 특징을 살펴보면 <표1>과 같다.[3]

종류	권선 트랜스	압전 트랜스
원리	전자유도	압전-전효효과
구성	권선, 철심	압전소자, 전자부품
주파수특성	어떤주파수에도 동작	소자의 공진주파수만 동작
승압비	수10배 정도	수 100배
출력전력	고출력	고전압, 저전류에 적합
전압조정	양호	불량
출력파형	입력전압파형과 동일	정현파
연소성	가연성	불연성
구조	복잡	간단
용량, 중량	크고 무거움	소형경량

<표1> 압전트랜스와 권선트랜스의 비교

여기서, 압전트랜스의 공진 주파수(f_r)는 소자내의 음속을 c 라 하였을 때 <식1>로 주어지며,

$$f_r = \frac{c}{4L} \tag{식1}$$

무부하시의 승압비(ϕ)는 소자의 치수(L, T)와 압전상수(Q_m, k_{31}, k_{33})에 따라 <식2>와 같이 정해진다.

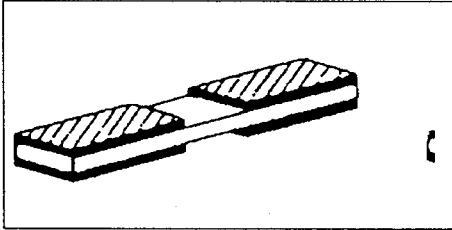
$$\phi = \frac{4}{\pi^2} Q_m k_{31} k_{33} \frac{L}{T} \tag{식2}$$

그러나, <식2>의 특수식은 부하에 따라 다를 뿐만 아니라 입력 전류 공진특성도 부하에 따라 이동하는 것으로 알려져 있다.[4] 이는 전압 구동형 스위칭소자 특히 FET 또는 IGBT와 같이 초기에 Gate Charging 전류가 필요한 경우의 부하에는 부적합한 요소로 지적될 수 있다. 그 외에, 압전트랜스의 등가회로와 전기적특성 및 구동방법에 관하여는 많은 연구가 진행되고 있다(참고

문헌 [3]- [6]). 본 논문에서는 압전트랜스의 동향에 관하여 간략히 언급하면, 고 전압 저 전류형으로는 예를 들면 노트북PC의 Backlight 인버터 구동용과 같이 박형설계의 장점을 이용하기 위한 연구가 활발하며 [6] 일부 압전트랜스를 이용한 인버터장치가 여러 메이커에 의해 상용화 단계에 있다.

2.1.2 4단자 압전트랜스

앞에서 언급한 Rosen형 압전트랜스는 기본적으로 <그림1>과 같이 3단자 구조이므로 상측스위칭 소자를 구동하기 위한 요건인 절연 및 Level Shift 기능을 만족할 수 없다. 여기서, Rosen형 압전트랜스를 변형한 4단자 압전트랜스를 <그림 2>와 같이 고안하여 코일형 트랜스를 대체 할 수 있는 방안을 생각할 수 있다.



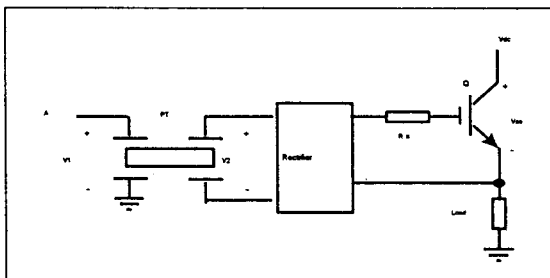
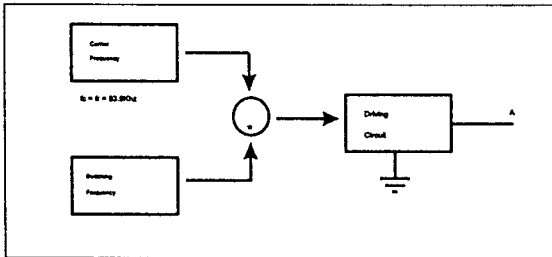
<그림 2> 4단자 구조의 변형된 압전트랜스

2.2 압전트랜스를 이용한 스위칭 실험.

고전압 저전류의 용도에 적합한 압전트랜스를 IGBT 등 전압구동형 스위칭소자에 적용키 위한 문제점을 앞에서 몇가지 제기하였으나 실험을 통하여 적용상의 문제점을 살펴 본다.

2.2.1 실험에 사용된 압전트랜스.

실험에 사용한 압전트랜스는 전술한 <그림2>의 4단자 구조를 가지며 공진 주파수(f_r)는 83.9kHz로 실측이 되었고 크기는 19.5mm×10.0mm×1.0mm로써 코일형 트랜스에 비하여 박막설계가 가능한 장점을 가지고 있다. 압전트랜스를 사용하여 실험을 행한 장치는 <그림3>에 나타 내었다.



<그림 3> 실험에 사용한 장치

여기서 PT = Piezoelectric Transformer

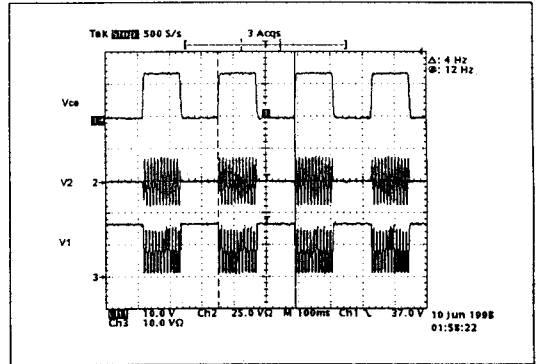
V1 = PT로 입력되는 전압파형

V2 = PT의 출력 전압파형

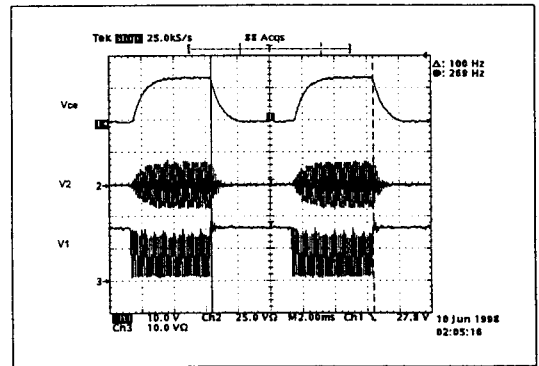
R_G = IGBT의 Gate저항
 Q = 상측스위칭소자(실험에서는 IGBT사용)
 V_{CE} = Q 의 컬렉터에미터간의 전압
 을 나타낸다.

2.2.2 실험의 결과.

스위칭 실험 장치 <그림3>에서 V1을 인가하면 PT의 출력, V2가 발생하고 최종적으로 V_{CE} 파형을 관측하면 상측 스위칭 소자 Q의 ON-OFF동작을 확인할 수 있었다. <그림3>의 실험장치로써 목적하는 절연 및 Level Shift 기능은 Piezoelectric Transformer로써 가능함을 알 수 있었으나, 스위칭 주파수(fs)에따라 <그림4>와 <그림5>에 각각 나타낸 바와 같이 비교적 저주파수에서는 스위칭이 원활히 수행이 되지만 $f_s \geq 100\text{Hz}$ 에서는 스위칭이 원활하지 못한 것으로 나타났다.



<그림 4> 저주파수에서의 스위칭 파형.



<그림 5> 스위칭이 원활하지 못한 파형

스위칭이 원활하지 못한 이유로서 <그림5>의 V2파형을 살펴보면, Turn On 때에는 Q의 게이트와 에미터 간에 충전 전류가 흘러야 하므로 게이트와 에미터간의 저항을 순간적으로 0이라고 간주하면 PT의 부하저항은 오로지 R_G 만 존재하므로 전술한 바와 같이 송압비(ϕ)가 낮아져 게이트 구동을 위한 충분한 전압을 공급하지 못하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 Turn Off 시에는 V1의 인가 전압이 존재하지 않음에도 불구하고 V2의 잔류 전압이 나타나는 것은 <그림 2>의 길이(L)에 존재하는 여분의 기계진동이 원인일 것으로 추측된다. 따라서 본 실험의 결과에 의하면 <그림 2>의 구조의 4단자형 압전트랜스를 이용한 전압구동형 스위칭 소자의 구동은 저주파수의 스위칭에는 적용가능성이 있을 것으로 보이나 $f_s \geq 100\text{Hz}$ 의 상측 스위칭 소자 구동에는 적용이 불가능한 것으로 판단 된다.

이외에도 <그림 2>의 구조의 압전트랜스는 차 등[4]의 연구에서와 같이 재료의 피로 현상과 같은 이유로 신뢰성에도 영향이 있을 것으로 보이며, 특히 스위칭 주파

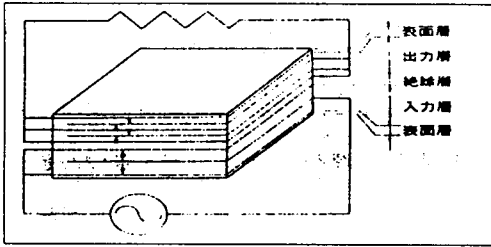
수(f_s)를 높이기 위해 게이트저항(R_G)을 100Ω 으로 하였을 경우 부하에 의한 공진 주파수의 변동으로 출력 V2가 발생하지 않는 것으로 보아 부하 설계에도 많은 노력이 필요할 것이다.

2.3 두께종진동형 압전트랜스

앞에서 설명에서와 같이 <그림 2>의 길이(L)을 가지는 압전 트랜스는 첫째 그 치수에 의한 공진 주파수의 결정<식1>으로 비교적 중,저주파수의 Carrier Frequency(f_c)를 가지게 되므로 높은 스위칭 주파수(f_s)를 기대하기 힘들고, 둘째 2.2.2 실험의 결과에서의 관찰과 같이 길이(L)에 의한 여분의 기계진동에 의한 Turn Off 지연 발생에 대한 문제, 셋째 기본적으로 고전압 저전류용도이므로 출력 용량이 적어서 발생하는 출력 설계에 대한 제한 사항 등의 이유로 스위칭 소자의 구동 요소로 사용하기는 부적합하다.

이에 대한 대안으로써 DC-DC Converter 용도의 두께종진동형 압전트랜스(Piezoelectric Transformer Operating in the thickness extension vibration mode)[7] - [10]를 고찰한다.

2.3.1 두께종진동형 압전트랜스의 구조



<그림 6> 두께종진동형 압전트랜스 구조

여기서 두께(t)는 재료의 음속을 c 라고 할 때, 다음과 같이 주어진다.

$$t = \lambda = \frac{c}{fr} \quad \text{〈식3〉}$$

한편, Carrier Frequency(f_c)를 상용화 수준으로 할려면 일반적으로 2MHz가 적당하다고 알려져 있으므로 $fr = 2\text{MHz}$ 로 하고 통상의 재료의 음속 $c = 4930\text{ m/s}$ [7]으로 하면 $t = 2.2\text{mm}$ 가 된다. 또한, 전력밀도도 높은 편[7]이어서 $20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 2.2\text{mm}$ 의 크기에서 5V/4A의 출력을 얻었다고 보고[8] 되었으므로 출력 용량 부족에 따른 출력 설계에 대한 제약은 상당히 완화 될 수 있을 것으로 보인다.

2.3.2 스위칭 소자 구동요소로서의 장점

두께종진동형 압전트랜스는 <식2>에서와 같이 박막설계가 가능하여지고 따라서 길이(L)에 의해서 스위칭 소자의 Turn Off를 지연시키는 잔류 기계 진동이 현저히 저하 되리라 추측되며, <그림 6>에 나타난 바와 같이 입력과 출력측 사이에 존재하는 절연층은 우수한 절연 효과를 가진 것으로 보인다. 그러므로 <그림 3>의 장치를 근간으로 하는 상측 스위칭 소자 구동 장치의 핵심 부품으로 사용하여도 무방할 것으로 생각된다.

3. 결 론

산업용, 민생용에 사용되는 인버터 장치들은 전력변환을 위한 스위칭소자를 사용하게 되는데 이때 상측 스위칭 소자와 하측 스위칭 소자 또는 상측 스위칭 소자 단독 운전을 필요로 한다. 이 중에서 상측 스위칭 소자의 운전을 위하여는 그 구동요소로서 코일형트랜스,

HVIC[1] 등을 사용하는데 본 논문에서는 압전트랜스를 사용하여 상측 스위칭 소자를 구동하는 방법을 제안하였고, 여러 형태의 압전 트랜스 중에서 특히 <그림 2>의 형태의 압전 트랜스로 실제 구동, 실험을 하여 가능성을 타진, 문제점을 도출하였고 차후 대안으로 두께종진동형 압전트랜스의 적용을 제안하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] International Rectifier社 Data Book. IR2112
- [2] C.A.Rosen, "Ceramic Transformer and Filters", Proc. 1956 Electric Comp. Symp., 1956
- [3] 박창엽, 전기전자용세라믹스, pp107, 1997
- [4] 박순태, 정수태, 이종현, "PZT계 압전변압기의 공진특성과 전기적 성질", 전기전자재료학회지, Vol 8, No. 1, pp27 - 34, 1995
- [5] 정수태, 조상희, "적층압전변압기의 전기적특성", 전기전자재료학회지, Vol 9, NO. 2, pp138-145, 1996
- [6] Yoshihiro Ino, "壓電インバータ", 月刊ディスプレイ '98 6, pp71-76.
- [7] T. Zaitzu, et. al., "Piezoelectric Transformer Converter with PWM Control", IEEE APEC'96 Proc., pp 279-283, 1996.3
- [8] T. Zaitzu, "壓電トランスを用いたDC-DCコンバータ", NEC技報 Vol. 50 No. 4 / 1997
- [9] T. Zaisu, et. al., "Piezoelectric transformer operating in thickness extensional vibration and its application to switching converter", IEEE PESC '94 Record, pp. 585-589, 1994. 6
- [10] T. Inoue, O. Ohnishi and N. Ohde, "Thickness Mode Vibration Piezoelectric Transformer", U.S. Patent, No 5,118,982, 1992. 6