

PZN-BT-PT 세라믹을 이용한 가스절연개폐기 구동용 축전지 충전 시스템

논문
12-12-8

Battery Charger using the High-Voltage PZN-BT-PT Ceramics for Gas-Insulated Switch Drive

류주현*, 김 강**, 박창엽***, 정영호****, 하복남****

(J. H. Yoo*, K. Kim**, C. Y. Park***, Y. H. Jeong****, B. N. Ha****)

Abstract

The 22.9kV (Y) power distribution line has the gas-insulated high-voltage switch that is driven by Pb battery. As there is not useful low voltage power for battery charging, the ceramic capacitor and winding transformer seriesly connected with the distribution line voltage can be used for it. PZN-BT-PT ceramics for the high voltage capacitor application showed excellent values of $\Delta\epsilon_r/\epsilon_{20^\circ\text{C}}(\%)$ which were -7.1 at -25℃ and -12.0 % at 50℃, respectively. The PZN-BT-PT ceramic capacitor of 1,500 pF capacity and the battery charging system were prepared and tested. From the test results, we confirmed that the developed PZN-BT-PT ceramic capacitor produced the increased charging current and the designed charging circuit was operated as a satisfactory CVCC charger with about 500mA total current, and 15 [W] output power.

Key Words(중요용어) : Ceramic Capacitor(세라믹 캐패시터), PZN-BT-PT ceramic(PZN-BT-PT 세라믹), Battery Charger(축전지 충전기)

1. 서 론

고품질 전력의 안정적인 공급과 효율 향상을 위하여 배전 자동화 시스템(DAS)이 개발되어 시범적으로 운용되고 있다. 이러한 배전 자동화시스템에서는 배전 선로 운전전압 취득 및 사고 지점 파악과 신속한 선로 복구를 위하여 가스개폐기 내장형 전압변성장치가 사용되고 있으며, 이들에 대한 여러 연구가 진행되어 왔다[1~3]. 기존의 선로 개폐기 동작 전류 공급 시스

템은 120pF의 고압축 커패시터와 권선 변압기를 직렬로 연결하여 구성되어 있다. 이 시스템은 고압축 커패시터에서 누설되는 전류를 권선 변압기에서 증폭하여 축전지 충전전류로 공급하게 되는데, 고압축 커패시터의 용량이 비교적 적은 3W 미만의 출력을 갖기 때문에 충분한 충전전류 확보가 매우 어려웠다[4].

따라서, 본 연구에서는 우수한 내전압 특성, 높은 유전상수 및 우수한 유전상수의 온도 특성을 가진 PZN-BT-PT계 세라믹 커패시터를 고전압 분압용 소자로서 이용하고, 커패시터의 용량을 증가시켜 권선 변압기와 직렬 연결하여 구성하여 충전 특성을 향상시키고자 충분한 용량 및 안정된 온도특성을 갖는 새로운 조성 세라믹스를 연구 개발하고, 충전기능 관련 회로들을 설계, 제작하여 시험함으로써 시스템의 신뢰성 및 실용성을 향상시키고자 하였으며, 이와 같은 방식으로 축전지 충전 특성을 고찰하여 개폐기 및 FRU의 비상용 전원으로 사용하기 위한 축전지 충전 시스템을 개발하고자 하였다.

* : 세명대학교 전기공학과
(충북 제천시 신월동 산21-1, Fax : 0443-648-0868 E-mail : juhyun57@chollian.net)

** : 세명대학 전기과

*** : 연세대학교 전기공학과

**** : 한전 전력연구원 배전기술그룹

1999년 8월 9일 접수, 1999년 11월 24일 심사완료

2. 실험 방법 및 충전시스템 구성

2.1 PZN-BT-PT 고압용 커패시터 제조

축전지 충전을 위한 전류원 확보 시스템은 그림 1과 같다. 기존에는 120pF 용량의 고압축 커패시터와 권선변압기를 직렬로 연결한 형상으로, 이 시스템은 고압축 콘덴서에서 누설되는 전류를 권선변압기에서 증폭하여 축전지에 충전전류를 공급하게 되는데 고압축 콘덴서의 용량이 작아서 충분한 충전전류를 확보하기가 매우 어려우며, 또한, 고압축 커패시터의 정전용량 변화가 -25~50℃ 온도에서 30%까지 변화하여 온도 변화에 따라 충전전류 변화가 매우 심한 문제점을 가지고 있었다. 따라서, 본 실험에서는 유전상수를 증가시켜, 정전용량을 증가시키고, 온도에 따른 정전용량 변화를 줄여 충전전류변화가 적은 커패시터를 다음과 같이 제조하였다. 우선, PZN-BT-PT세라믹에서 Tc가 100℃인 HTc(high-temperature constituent)를 갖는 0.9PZN-0.075BT-0.025PT 세라믹과 Tc가 -30℃인 LTc(low temperature constituent)를 갖는 0.55PZN-0.425BT-0.025PT를 기존의 산화물 혼합법을 이용하여 각각 900℃에서 Calcining한 시료를 xHTc-(1-x)LTc에서 x를 0.6으로 하여 균일하게 불필에서 혼합분쇄를 하였다. 제조된 원료분말은 1100℃에서 Sintering하였다. Sintering된 세라믹스는 가공하여 공기중과 물속에서의 무게를 측정하여 밀도를 계산하였으며, 온도에 따른 유전상수는 LCR Meter (Ando 4303)으로 항온조에서 -25~50℃범위에서 정전용량을 측정하여 유전상수를 계산하였다. 또한, PZN-BT-PT 세라믹 커패시터는 용량을 1,500pF로 맞추어 적층형으로 제작하였다.

2.2 충전시스템 구성 및 원리

그림 1에서 고전압 커패시터와 권선변압기를 직렬로 연결한 형태로 구성하여 실험하였다.

이때, 권선 변압기는 세라믹 캐패시터와 분압하여 1차측 전압이 3,500V 정도 인가되도록 하고, 100:1의 권선비에 의해서 2차측 전압을 35V 내외로 전압 강하시키게 된다. 전류 및 평활부는 권선변압기 2차측 교류 전압을 정류하여 직류전압을 출력한다. 정전압 회로부는 선로 전압이 상승하여 정격 이상의 전압이 입력되는 경우, 부하단에 과전압이 인가되는 상황에서부터 회로를 보호하기 위한 회로로 전압 강하

시켜 전원 공급한다. 여러 방법 중 제너 다이오드와 트랜지스터를 이용할 수 있으며, 제어 회로용 소자의 공급 전압을 정전압으로 유지시키는 회로로 구성하면 더 간단히 구성될 수 있다.

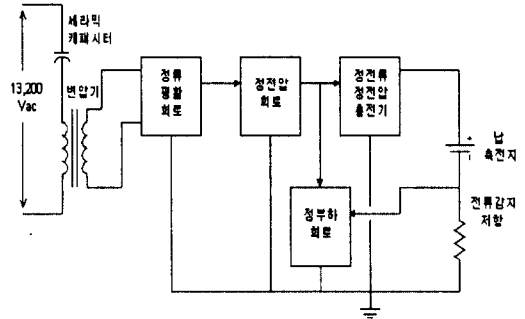


그림 1. 충전장치 구성도

Fig. 1. battery charging system diagram

정부하회로는 충전 전류의 대소에 상관없이 권선 변압기가 부담하는 총 출력전류를 일정하게 유지시키는 회로이다. 충전전류와 정부하 회로에 흐르는 전류의 합이 항상 일정하게 유지시켜, 만충전 또는 어떤 사고에 의해서 충전전류가 흐르지 않는 경우 권선 변압기의 여자 전류를 정부하 회로의 부하저항으로 소모시켜 권선 변압기를 보호하는 기능이다.

정전류, 정전압 충전기(CVCC : Constant Voltage Constant Current)는 안정되게 충전하므로써 충전 효율도 높이고 사고도 방지할 수 있다. CVCC 방식은 정전압 및 정전류값 설정이 간단하고, 과방전 상태에서 충전시 정전류로 충전하므로써 충전 장치의 과열 및 과부하 현상을 방지하고, 만충전된 후에는 과충전으로 인한 사고를 방지할 수 있다. 본 연구에서 이용한 LM723 Voltage Regulator IC[5]는 범용으로 널리 이용되고 있는 IC로서 적은 부품으로 구성되는 반면 양호한 동작 특성을 가지므로 산업용 기기의 각종 전원 장치에 널리 이용되고 있다.

축전지는 고전압 가스 개폐기 구동 전력 저장용 납축 전지로서 12V, 4AH 납축전지 2개를 직렬 연결하여 24V 4AH 전원으로 이용한다. 전류감지 저항(Shunt Resistor)은 축전지에 충전되는 전류량을 전압으로 변환하여 정전류 제어회로의 귀환 입력 신호가 된다. 따라서, 충전 전류에 비례하는 전압이 얻어진다.

그림 2의 그래프는 축전지 전압, 충전전류 및 정부

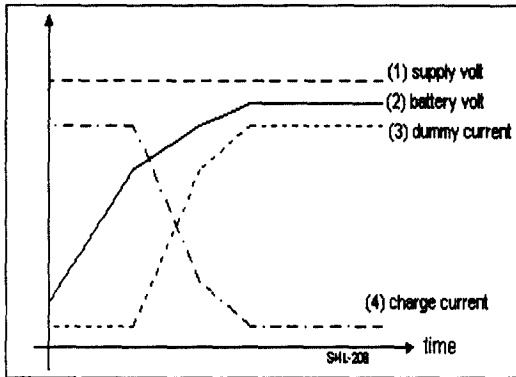


그림 2. 축전지 전압, 충전전류 및 정부하전류의 그래프

Fig. 2. Graph of battery voltage, charging current and constant load current

하전류 등을 개념적으로 그린 것이다. 그래프에서 (1) 곡선은 권선 변압기의 2차 출력을 정류하여 충전 회로에 공급하는 전압이고, (2) 곡선은 축전지 전압으로서, 과방전 상태에서 충전을 시작하는 것으로 가정하였으며, 시간이 흐름에 따라 충전 전압이 상승하여 만충전이 되면 일정 전압을 유지한다. 따라서, 만충전 상태에 도달하면 정전압으로 동작하여 축전지의 과충전을 방지한다. 정전압 설정치는 일반적으로 축전지의 만충전 전압으로 설정하는데, 납축전지의 경우 만충전 전압을 정격 전압의 120% 내지 130% 정도로 설정하고, 본 장치에서는 약 125% 정도로 설정하였다. (4) 곡선은 충전 전류를 표시한 것이다. 과방전 상태에서 충전을 시작하면 공급 전압과 축전지 전압간의 전압 차이가 크기 때문에 상당한 과전류가 흐르고 정전류로 동작케 하여 과전류로 부터 충전기 및 축전지를 보호할 수 있다. 충전이 진행되면서 축전지의 전압이 상승하게 되면 전압 차이가 감소하므로서 충전 전류는 전압에 반비례하여 줄어들게 된다. 만충전 상태에 도달하면 정전압으로 동작하여 충전 전류는 최소 전류로 줄어들게 된다. (3) 곡선은 정부하 회로의 전류로서 과방전 상태에서는 대부분의 전류가 충전전류로 이용되기 때문에 정부하 회로로는 전류가 흐르지 않는다. 충전 상태가 정전류 모드를 벗어나면 (4)번과 (3)번 곡선의 합이 일정치가 되는 보상적인 값을 유지하므로서 전원공급 측에서 공급되는 총 전류의 합은 항상 일정하게 유지된다.

충전회로는 LM723 전원 제어용 IC를 이용하여 구성하였다. LM723은 정전류, 정전압 제어기능을 가진 소자로서 각종 전원 공급기 및 충전기의 구성에

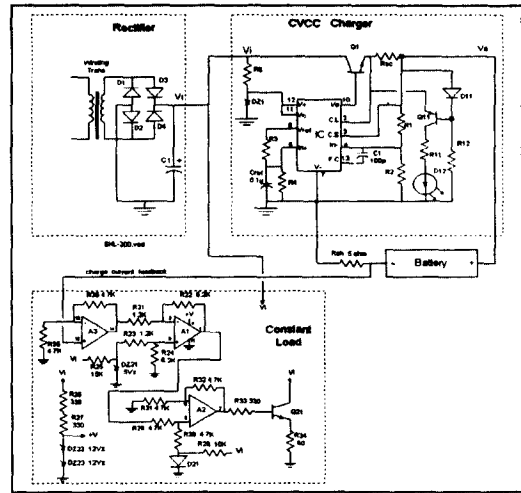


그림 3. 충전장치 회로도

Fig. 3. Battery charging circuit

널리 이용되고 있으며, 3개의 저항을 조정하므로서 전압치와 전류치를 손쉽게 설정 가능하다. 제어용 IC의 정상 동작 가능한 공급 전압의 최대치는 35V_{dc}지만, 라인 전압의 변동 및 동작 상태의 변화에 따라 과전압의 유입을 방지하기 위해서 IC 공급 전압을 R5 저항과 DZ1 제너 다이오드에 의하여 30V_{dc}로 일정하게 유지하였다. 충전기의 정전압 설정은 R1 저항과 R2 저항에 의하여 설정되며, 정전류 설정은 R_{sh} 저항에 의하여 설정하며 계산식은 다음과 같다.

$$V_o = V_{ref} \frac{R1+R2}{R2} = 7V \frac{R1+R2}{R2} \quad (1)$$

$$I_{max} = \frac{0.66}{R_{sh}} \quad (2)$$

제어용 IC 자체에서 공급 가능한 전류는 적은 량이기 때문에 부스터 트랜지스터 Q₁을 이용하여 충전 전류를 증폭하여 공급한다. 충전 장치의 출력은 축전지 (+) 단자로 공급되며, 축전지 (-) 단자에는 충전 전류를 전압으로 변환하기 위한 전류감지 저항 (Shunt Resistor) R_{sh}를 거쳐서 GND에 연결된다. R_{sh} 저항은 5Ω으로 설정하였으므로 충전 전류가 0.5A 흐르는 경우에 5Ω × 0.5A = 2.5V의 전압이 정부하 회로에 귀환된다.

시스템 구성시 각 제어단의 계수값 설정에 따라서 R_{sh} 저항을 설정 가능하다. R_{sh} 저항을 이용하므로서 축전지의 (-) 단자와 시스템의 GND 단자는 단락 상태가 아니다. Q₁₁ 트랜지스터 주변 회로는 충전

상태를 확인하기 위한 회로이다.

정부하 회로부는 연산 증폭단과 에미터 폴로워 방식의 트랜지스터 증폭단으로 구성된다. 권선 변압기의 2차 권선은 단일 권선이기 때문에 +, - 양전원의 사용을 피하기 위해서 단전원용 OP Amp를 이용하였다. A3 회로는 R_{th} 에서 얻어진 전압을 2배 증폭하며, A1 회로는 충전전류와 정부하전류는 상호 반비례 동작하도록 한다. A2 회로는 부하 저항 R_{24} 에 정부하 전류를 흐르게 하는 Q_{21} Emitter Follower 회로의 구동회로이다. DZ2와 DZ3 회로는 단일 전원 OP Amp의 정전압 공급 회로로 하였다.

3. 결과 및 고찰

본 실험에서는 PZN-BT-PT계에서 유전전이 피크가 낮은 LTc계 PZN-BT-PT와 유전 전이 피크가 높은 HTc계 PZN-BT-PT세라믹을 각각 하소한 다음 혼합분쇄하여 소성하였고, 평탄한 유전상수의 온도특성을 갖게 제조하였다. 제작된 PZN-BT-PT세라믹스의 밀도는 $7.6g/cm^3$, $20^\circ C$ 에서의 유전상수는 6.819, 유전손실은 1.2%를 보였으며, 유전상수의 온도에 따른 변화율 $\Delta\epsilon_r/\epsilon_{r20^\circ C}(\%)$ 은 $20^\circ C$ 에서 -7.1, $50^\circ C$ 에서는 -12.0%를 각각 나타내었다. 이 값들은 가스개폐기 구동전원공급용으로 이용되는 배터리 충전용 커패시터로서 적용하기에 적합한 특성을 나타내었다.

사진 1은 실험용으로 제작한 PZN-BT-PT계 세라믹 커패시터와 권선 변압기의 사진이다.

표 1은 부하저항을 30Ω 에서 70Ω 까지 변화하면서 인가전압을 3,000V에서 14,000V까지 변화시켰을 때

의 부하전압과 전류를 측정 한 것이다. 인가전압을 증가시켰을 때 부하전압은 증가하고, 부하전류도 같이 증가하는 특성을 나타냈으며, 인가전압 13,200V, 부하저항 70Ω 에서 부하 전류는 0.596A, 부하전압 41.73V, 부하전력은 24.8W를 각각 나타내었다. 따라서, 권선변압기 2차단에서 충전장치쪽으로 들여다본 임피던스를 70Ω 정도로 부하저항을 유지시켜 주도록 설계하면 충분한 전력을 발생할 수 있다. 상기 데이터에 대한 특성을 그림으로 나타내면 그림 4와 같다.

그림 4에서 알 수 있듯이 일정 인가 전압에서도 부하저항이 증가함에 따라 출력전압이 큰 폭으로 증가됨을 확인하였다.

또한, 표 1에서는 입력전압과 부하저항에 따른 부하전류의 변화는 일정 인가전압에서 살펴보면 부하저항 증가에 따라 부하전류는 약간씩 감소하는 경향을 나타내었다. 그 이유는 권선 변압기의 권선비가 매우 커서 (100:1) 거의 일정 전류원으로 동작되기 때문에 변화의 폭은 적어지게 된다.

사진 2는 축전지 충전 시스템의 실험 회로 사진이다. 표 2는 축전지 충전시험에 대한 정류 전압, 축전지 전압, 충전전류 및 정부하전류의 측정 값들이다. 표 2에서 정부하 전류와 충전전류의 합은 460~500mA로 거의 일정한 값이 유지됨을 확인하였다. 충전이 진행되어 충전전류가 감소하면 정부하전류는 반비례하여 증가함이 확인되었으며, 과방전 상태에서 충전을 시작하더라도 정전류로 충전이 되므로써 급속충전에 의한 축전지 과충전 사고 염려가 없다. 또한 표시회로 등 주변 회로에 약 200mA의 전류가 소비되더라도 충전류는 460~500mA 정도가 유지되므로 축

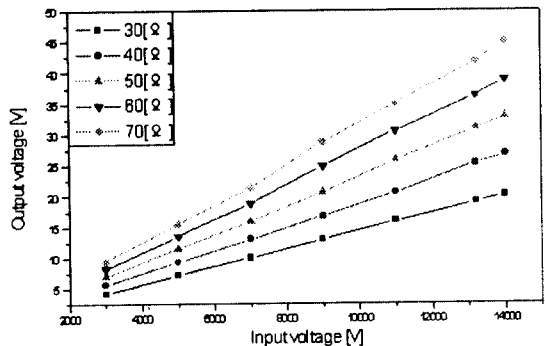


그림 4. 인가전압 및 부하저항에 따른 부하전압 변화
Fig. 4. Variations of load voltage as a function of applied voltage and load resistor

사진 1. PZN-BT-PT계 세라믹스와 권선변압기
Photo. 1. PZN-BT-PT ceramics and winding transformer

표 1. 부하저항과 인가전압 변화에 따른 부하전압과 전류

Table 1. Load voltage and current as a function of load resistor and applied voltage.

저항 Ω	입력 전압	3000	5000	7000	9000	11000	13200	14000
		V_R [V]	4.21	7.174	9.96	12.93	15.94	18.98
	I_R [A]	0.14	0.239	0.332	0.431	0.531	0.632	0.67
30	V_R [V]	5.69	9.30	12.96	16.71	20.56	25.30	26.73
	I_R [A]	0.14	0.232	0.324	0.417	0.514	0.632	0.668
40	V_R [V]	7.01	11.46	15.93	20.61	25.87	31.03	32.89
	I_R [A]	0.14	0.229	0.318	0.412	0.517	0.620	0.657
50	V_R [V]	8.23	13.50	15.77	24.89	30.56	36.37	38.81
	I_R [A]	0.14	0.225	0.262	0.414	0.509	0.606	0.646
60	V_R [V]	9.42	15.40	21.30	28.77	34.96	41.73	45.00
	I_R [A]	0.13	0.22	0.304	0.411	0.499	0.596	0.642

전지 충전은 계속 이루어지게 된다. 본 연구에서 개선한 세라믹 커패시터에 의한 분압으로 얻어지는 충전력도 15W 정도가 되기 때문에 본 연구에서 목표하였던 값에 도달함을 확인하였다. 실제의 운용 장치에서 사용하는 축전지는 24V 4AH 규격이나, 본 실험에서는 24V 10AH 규격의 축전지를 이용하여 시험하였으므로 실제 사용되는 규격의 축전지로 시험할 경우에는 충전 특성이 더 빨라질 것이다.

표 2. 시간에 따른 축전지 충전전압과 전류
Table 2. Battery charging voltage and current as a function of time

시간 (분)	정류전압 [V]	축전지전압 [V]	충전전류 [mA]	정부하전류 [mA]
30	34.4	24.30	450	50
60	34.9	24.44	430	60
90	34.2	24.49	410	60
120	34.4	24.57	400	60
150	34.4	24.65	390	70
180	34.4	24.74	380	80
210	34.8	24.82	380	80
240	35.2	24.92	380	80
270	35.4	24.99	380	80
300	35.7	25.08	380	80
330	35.9	25.16	370	90
360	36.3	25.25	370	90

사진 2. 축전지 충전 회로
Photo. 2. Battery charging circuit

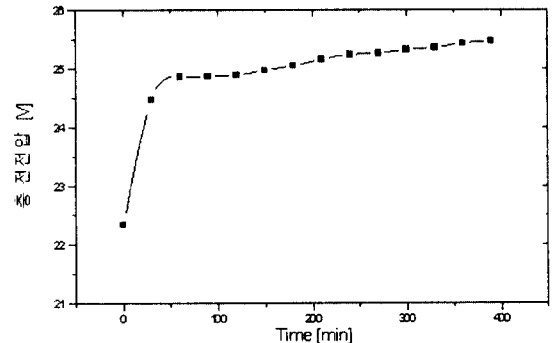


그림 5. 시간에 따른 축전지 충전전압
Fig. 5. Battery charging voltage as a function of time

그림 5는 표 2의 내용을 그래프로 나타낸 것으로서 그림 2에서 제시한 동작 특성과 동일하게 동작하고 있음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

가스개폐기의 동작전류 공급장치를 개발하기 위하여 PZN-BT-PT 세라믹 커패시터를 새로 제작하였고, 고전압 분압 및 충전전류 확보용으로 사용하였으며, 충전 및 정부하회로를 새로 설계하였다. 제작한 충전 시스템을 이용하여 인가전압과 부하저항에 따른 부하전압, 전류특성 및 축전지 충전장치의 축전지 충전특성을 측정하였다. 그 결과를 다음과 같이 간결히 정리하였다.

- 1) PZN-BT-PT세라믹스의 밀도는 7.6g/cm³, 20℃에서의 유전상수는 6.819, 유전손실 1.2%를 각각 보여주었다.
- 2) PZN-BT-PT세라믹스의 유전상수의 온도에 따른 변화율 $\Delta\epsilon_r/\epsilon_{r,20^\circ\text{C}}(\%)$ 은 20℃에서 -7.1, 50℃에서는 -12.0 %를 나타내었다.
- 3) PZN-BT-PT세라믹 커패시터를 이용하므로서 부하 전류량이 목표치만큼 증가되었음을 확인하였으며, 정부하전류와 충전전류의 합은 460 내지 500 mA로 비교적 일정하게 얻어졌으며, 충전이 진행됨에 따라 충전전류가 감소하므로서 정부하전류는 점차 증가하는 경향을 나타내어 정전류, 정전압 모드 충전 방식으로 구성하므로서 축전지 과충전의 가능성을 제거하였다.
- 4) 상기 데이터는 표시회로 등의 주변회로에서 약

200mA의 부하전류가 소비되더라도 총 부하전류가 500mA 정도이므로 축전지 충전은 원활히 이루어지며, 총 발생전력도 15W 정도가 되기 때문에 실용화에 필요한 요구치는 달성되었다.

향후의 연구는 고전압 계측 장치와 연계하여 실용 가능한 충전 및 계측 시스템을 구성하고, 세라믹 커패시터와 변압기의 다양한 응용 설계를 통하여 공급 전류 용량을 증가시키므로서 배전 자동화 시스템에서 필요로 하는 다양한 부하 장치 구성이 가능하도록 할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 이경행, "초고압 전력기기의 기술동향", 대한전기학회지, vol. 46, No. 8, pp. 23~30, 1997. 8.
- [2] 길경석, 이복희, 하성철, "고전압 측정기술", 대한전기학회지, vol. 46, No. 8, pp 41~46, 1997. 8.
- [3] 류주현 외, "압전트랜스포머형 액츄에이터를 사용한 고전압계측방법에 관한 연구", 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문지 pp. 177-182, 1998.
- [4] 류주현 외, "분압용 세라믹과 권선 트랜스를 이용한 밧데리 충전시험에 관한 연구", 한국전기학회 전기재료연구회 춘계 학술연구 발표회 논문집, pp. 185-187, 1999.
- [5] 'Motorola Linear/Interface IC Device Databook', DL128/D, Rev. 4, Motorola, p. 3, 105-110.