

Laser PT를 이용한 전압측정

*이성규 김일중 위상봉 한민구
서울대학교 전기공학과

Measurement of Applied Voltages by Laser PT

*Seong Kyu Lee, Il Jung Kim, Sang Bong Wee, Min-Ku Han,
Seoul National University

1. 서론

전력수요의 증가에 따른 송전전압의 상승으로 절연이격거리가 증가하게 되어 기존 권선형 potential transform (PT)의 크기가 매우 커지고 또한 보호 System이 digital화 하면서 전자유도장애의 문제가 심각하게 대두되고 있다. 따라서 전자유도장애의 영향이 없는 Laser를 이용한 전압의 측정기기, 즉, Laser PT가 개발되고 있다.

Laser PT는 기존의 전기적인 권선형 PT에 비해 비접촉으로 측정할 수 있고 전자유도장애(EMI)에 의한 Noise가 없으며 optical fiber로 data acquisition 및 장거리 data 전송이 용이하다는 장점을 갖고 있다. 또한, 고전압 및 전계의 측정, 절연물의 불균일한 전계 강도의 측정, 유전체의 유전 분극의 미시적 Mechanism의 연구 등에 널리 이용되고 있다.

본 연구에서는 He-Ne laser와 kerr effect를 이용한 Laser PT를 제작하고 인가되는 전압을 측정하여 그 결과를 분석 검토하였다.

2. 이론

Kerr Effect는 전기 광학효과로서 매질의 굴절율이 인가되는 전계의 제곱에 비례하는 현상이다.

polarizer와 analyzer를 직교시키고, 직선편광 E를 전극면과 45°로 통과시키는 경우, 인가되는 전압이 V일때 광출력의 세기 I (intensity)는 다음과 같다.

$$\frac{I_o(\text{출력광세기})}{I_i(\text{입력광세기})} = \sin^2 \frac{\theta}{2} = \sin^2 \left\{ \frac{\pi}{2} \left(\frac{V}{V_c} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (1)$$

따라서 인가 전압 V는 출력광의 세기를 측정하여 추정할 수 있는바 식 (2)로 표시된다.

$$V = V_c \left\{ \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \sqrt{\frac{I_o(\text{출력광세기})}{I_i(\text{입력광세기})}} \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

$$V_c = \sqrt{\frac{\lambda d^3}{2nL}} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

- I : laser intensity
- θ : delay angle
- V_c : 반파장 전압
- d : 전극 간 거리
- L : 전극의 길이
- λ : laser 파장
- n : kerr 상수

이다.

식(1)은 인가전압이 변하면 그에 따라 매질 내에서의 laser 광의 위상이 변하여 광출력의 세기가 변화함을 보여준다.

즉, 광출력과 광입력의 세기를 알면 그때의 인가전압 V를 실험적으로 얻을 수 있다. 인가 전압이 반파장 전압이 되면 광출력의 세기는 광입력의 세기와 같아진다. 식(3)은 반파장 전압을 표시한 것으로 반파장 전압이 작을수록 식(2)에서 보는 바와같이 sensitivity가 증가한다. 그림 1에 식(1) 및 (2)의 관계를 나타내었다.

3. 실험

3.1 Kerr Cell 제작

Kerr Effect를 갖는 매질로는 액체 유전체와 고체 매질이 있는데, 고체매질은 가격이 비싼 결점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 저렴한 가격의 액체 유전체 중 kerr 상수가 큰 니트로벤젠을 이용하여 kerr cell을 제작하였다.

이 니트로벤젠($C_6H_5NO_2$)은 99.5%의 순도를 갖고, 전극으로는 Al Plate를, 전극 간 지지대로는 테프론을, 용기로는 직경 80cm의 파이렉스 유리를 사용하였다. 유리관의 양단은 불소 수지를 O-ring으로 제작하여 나사로 고정시켰다. 그림 2에 제작한 Kerr Cell을 나타내었다. 이 그림에서 전극 간 거리 d 는 5mm, 전극의 길이 L 은 60cm이다.

제작된 Cell의 등가저항은 60K Ω 으로 측정되었고, 저항률은 $4 \times 10^7 \Omega \cdot cm$ 이다. 또한, Cell의 Kerr 상수 n 은 $3.28 \times 10^{-18} (m/V)^2$ 으로 측정되었고, 반 파장 전압은 2KV이다.

3.2 전압측정

실험에 사용된 광원인 He-Ne Laser의 파장은 6300Å이고, photo sensor로는 Metrologic사의 He-Ne Laser용으로 calibration된 photo sensor를 사용하였다.

실험방법은 그림 3과 같이 Kerr Cell 양단에 polarizer와 analyzer를 직교시키고 광음 전극사이로 통과시킨다음, 전극 양단에 AC전압을 인가하고 출력광의 세기를 측정하여, 인가전압과 광출력의 세기사이의 관계를 관찰하였다.

Kerr Cell에 입사되는 광의 편광 축이 전극면과 45°의 각도를 이룰 때 최대 출력광이 나오므로, polarizer를 회전시켜 가며 45° 각도를 고정시켰다.

4. 결과 및 검토

1000~3500V의 Ac 전압을 인가했을 때의 Laser 광출력과, 인가전압 V와 광출력의 세기 I사이의 특성 곡선을 Digital Storage Scope로 측정하여 그림 4~그림 10에 나타내었다.

이 그림에서 A는 인가전압, B는 광출력의 세기를 나타낸다. 그리고 인가전압과 광출력의 관계가 예상치와 거의 일치함을 보여준다. V-I(intensity) 특성 곡선들은 마치 자기 hysteresis처럼 올라갈때와 내려올때 경로의 차이를 나타냈다. 실험결과 이것은 RC현상은 아닌것으로 나타났다. 올라갈때 보다 내려올때 더 빨리 내려오는 이유는 전계가 가해지면 유전체내에 분극이 강한 strain을 받다가 이 전계가 줄어들 때는 매우 빠른 속도로 원래의 상태로 되돌아 가려는 복원력 때문이라고 사료된다.

5. 결론

니트로벤젠을 이용한 He-Ne Laser PT를 설계 및 제

작하고 1000~3500V까지의 교류전압을 인가하면서 측정하였다. 측정결과 그 정확도가 아주 우수하였다.

또한 본 연구에서는 니트로벤젠의 hysteresis 현상을 관측하였는데 이러한 현상은 문헌에 보고된 바는 없으나 많은 학문적인 관심을 가져올 것으로 사료된다.

- REFERENCES -

1. R.E. Hebner, R.A. Malewski, and E.C. Cassidy, "Optical Methods of Electrical Measurement at High Voltage Levels," Proc. IEEE, Vol.65, pp.1524~1548, 1977.
2. Y.Hamasaki, H.Cotoh, M.Katoh, and S.Takenchi, "OPSEF: An Optical Sensor for Measurement of High Electric Field Intensity," Electronics Lett., Vol.16, pp.406~407, 1980.
3. A.C.Cassidy et. al., "Kerr Effect Studies of an Insulating Liquid Under Varied High Voltage Conditions," IEEE, Trans.Elec. Insul., Vol. EI-9, pp.43~56, 1974.
4. M.A.Troney, M.Battaglia, R.Ferfaglia, D.Millar and R.K.Pierens, "The Kerr Constant of Water and Other Pure Liquids at 633mm," J.Chem. Soc.Faraday Trans., Vol.72, pp.724~726, 1976.
5. M. Zahn, Y. Ohki, D.Feneman, R.Gripshover and V. Gehman, "Dielectric Properties of Water and Water/Ethylene Glycol Mixtures for Use in Pulsed Power System Design," Proc. of the IEEE, Vol.74, No.9, pp.1182~1221, 1986.
6. 김일중, 위상봉, 한민구, "니트로벤젠의 Kerr Effect 측정에 관한 연구," 전기재료, 반도체 및 CAD 학술대회 논문집., pp.214~217, 1987.

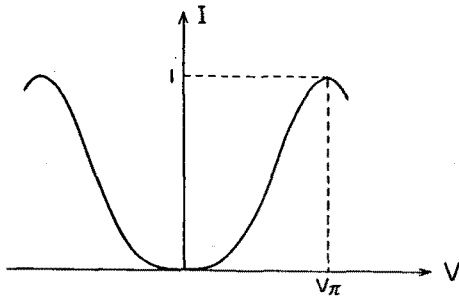


그림 1. Kerr Effect 특성 Graph

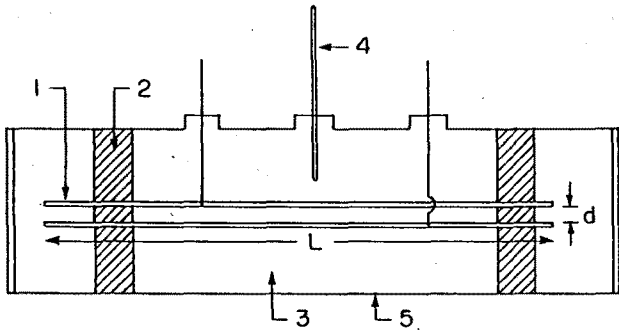


그림 2. Kerr Cell의 구조
 1. Al 전극
 2. 테프론 지지대
 3. 니트로벤젠
 4. 온도계
 5. 파이렉스

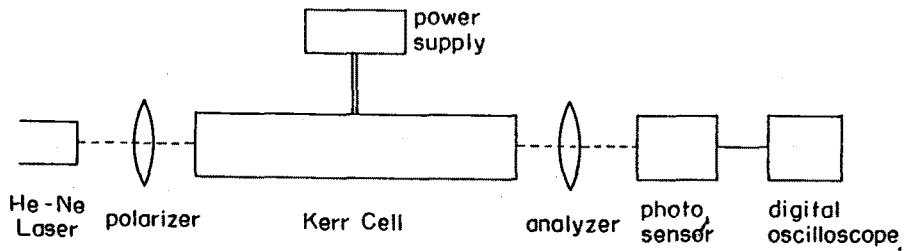


그림 3. 측정 System

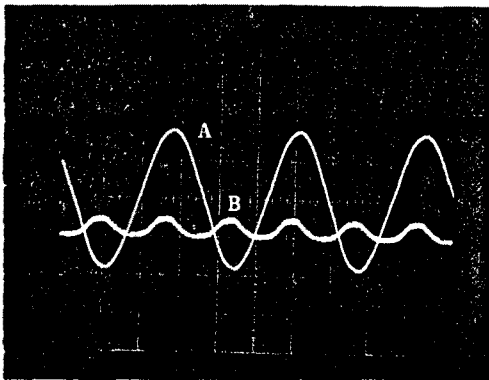


그림 4. AC전압 1KV (peak) 및 Laser 광출력의 세기



그림 5. V-I 특성 Graph (1KV)

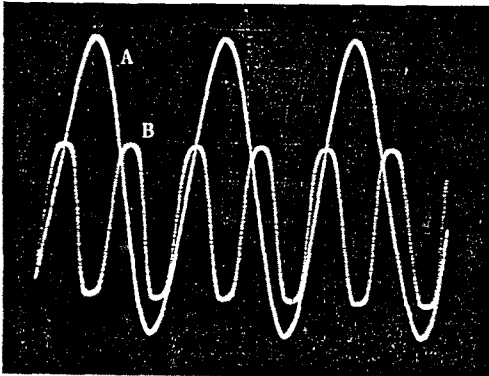


그림 6. AC 전압 2KV(peak) 및 Laser 광출력의 세기

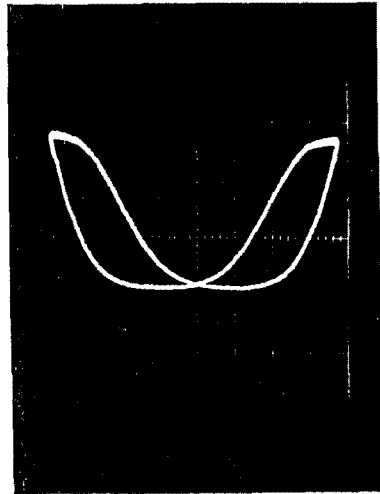


그림 7. V-I 특성 Graph (2KV)

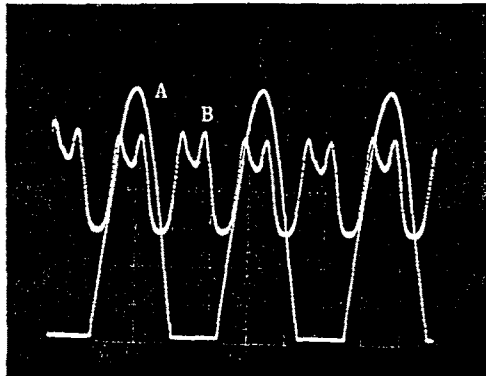


그림 8. AC 전압 2.5KV(peak) 및 Laser 광출력의 세기

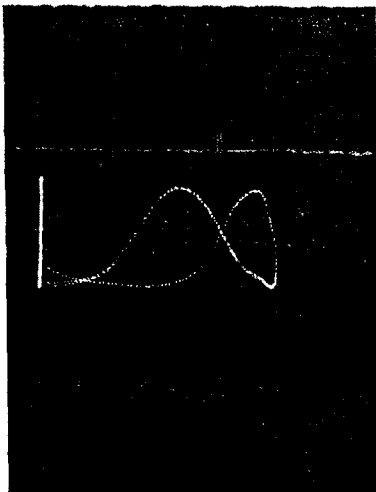


그림 9. V-I 특성 Graph (3KV)

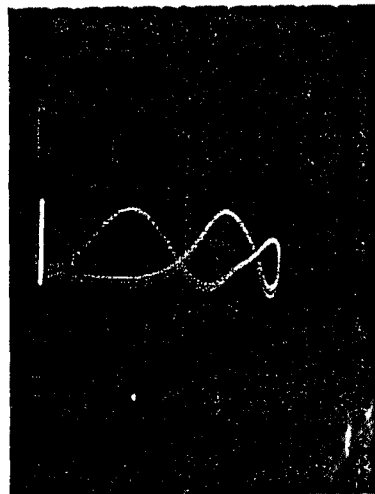


그림 10. V-I 특성 Graph (3.5KV)