

論文95-32A-10-5

구동조건에 따른 STN LCD의 광투과 특성

(Driving-Condition-Dependent Optical Transmission Characteristics of an STN LCD)

高 炯 一 *, 鄭 泰 赫 **, 李 相 璨 **, 尹 台 焄 **, 金 在 昌 **

(Hyung Il Koh, Tae Hyeog Jung, Sang Chan Lee, Tae-Hoon Yoon, and Jae Chang Kim)

요 약

본 논문에서는 구동조건에 따른 Super Twisted Nematic(STN) Liquid Crystal Display(LCD)의 광투과 특성에 대해 연구하였다. 여러가지 조건 즉, 인가 전압 파형 모양의 변화, 실효전압값은 같지만 듀티 비가 다른 경우, 그리고 바이어스 전압의 유무 등에 대한 액정의 기본적인 광투과 특성을 조사하였다. 액정에 인가하는 전압파형의 주파수 특성 실험을 통해 최적의 M 신호 주파수대와 프레임 주파수대를 찾았다. 그리고 LCD의 등가회로를 통해 주파수 특성을 계산하였고 이를 실험 결과와 비교하였다. 끝으로 등가회로의 파라메타 변화가 주파수 특성에 미치는 영향도 연구하였다.

Abstract

In this paper the driving-condition-dependent optical transmission characteristics of an STN LCD are studied. The optical transmission properties are measured for the applied voltage waveform is varied. Also, the optimum ranges of the M signal frequency and the frame frequency are investigated. An LCD is modeled by the equivalent circuit to study the effect of the parameter variation on the frequency response.

I. 서 론

오늘날 만들어지고 있는 대부분의 Liquid Crystal Display(LCD)는 Twisted Nematic(TN)^[1] 또는 Super Twisted Nematic(STN)^[2] Liquid

Crystal(LC)의 전기광학 효과를 이용하고 있다. TN LCD는 자동차, 가정용 전자제품 및 계측기를 포함한 여러가지 표시 장치에 많이 이용되고 있으나^[3], 랩탑(laptop)용 컴퓨터 화면과 같은 대용량 표시장치에 이용하는 데는 한계가 있다. 이에 비해 STN LCD는 콘트라스트 비(contrast ratio)와 시야각(viewing angle)에서 TN LCD 보다 훨씬 뛰어난 성능을 보여 주므로 랩탑용 컴퓨터와 워드프로세서 등에 널리 이용되고 있다^[4]. 1987년 흑백 STN LCD를 시작으로 화면의 크기와 해상도가 나날이 향상되었고^[5], 지금은 16 그레이 레벨(gray level)을 지닌 8 칼라 640 × 480 STN 패널이 많이 이용되고 있다.

본 논문에서는 현재 사용되고 있는 640 × 480 크기

* 正會員, 三星電子(株)

(Samsung Electronics Co., Ltd.)

** 正會員, 釜山大學校 電子工學科, 情報通信研究所

(Research Institute of Information and Communication, Dept. of Electronics Eng., Pusan National Univ.)

接受日字: 1994年6月2日, 수정완료일: 1995年10月14日

의 STN LCD에 대해 인가하는 전압파형의 프레임 주파수(frame frequency)와 Modulation(M) 신호 주파수값이 실제로 어떤 영역에서 최적의 값으로 결정되는지에 대해 실험적으로 구하였다. 프레임 주파수는 LCD의 표시성능을 나타내는 콘트라스트 비에 영향을 미치는 요소이고, M 신호는 인가 전압파형의 주파수 변화에 대해 LCD의 표시특성이 안정화되는 중요한 요소이므로, 본 논문을 통해 이들의 최적화 된 값을 찾아 보았다. 또한 콘트라스트 비를 높이기 위해 최적 바이어스법을 통해 바이어스 비를 결정하게 되는데 이에 대한 이론치와 실험치를 비교하였다. 마지막으로 LCD의 등가회로를 통해 주파수 특성에 영향을 미치는 요소를 살펴보고 주파수 특성을 개선하는 방법에 대해 알아 보았다.

II. LCD 구동방법

1. LCD의 구조

LCD의 구조는 그림 1에서 처럼 두 기판 사이에 액정이 들어있다. TN의 경우 윗 쪽 편광판과 아래 쪽 편광판의 편광 방향은 서로 90° 를 이루거나 평행이 되도록 한다. 일반적으로 편광 방향이 90° 인 것이 평행인 경우 보다 시야각과 콘트라스트 특성이 더 좋은 것으로 알려져 있다^[3]. 그리고 기판 안쪽 면에는 Indium-Tin Oxide(ITO)로 된 투명 전극의 패턴이 붙어 있고, 그 ITO에 수 백 Å 두께의 폴리이미드(polyimide)가 입혀져 있다. 이 얇은 층을 보통 배향막이라고 부른다. 배향막은 한 방향으로 러빙(rubbing)되어 있는데, 이렇게 함으로써 배향막과 바로 인접해 있는 액정 분자들의 디렉터가 배향막의 러빙 방향과 평행하게 된다.

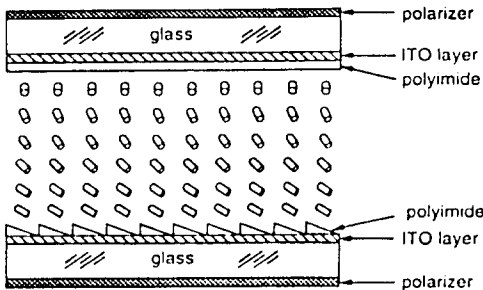


그림 1. LCD의 구조
Fig. 1. Structure of an LCD.

2. 전압 평균화법(최적 bias법^[6])

일반적으로 LCD의 전기광학특성은 실효 전압 의존성을 나타내며, 전압평균화법을 이용한 구동이 널리 이용되고 있다.

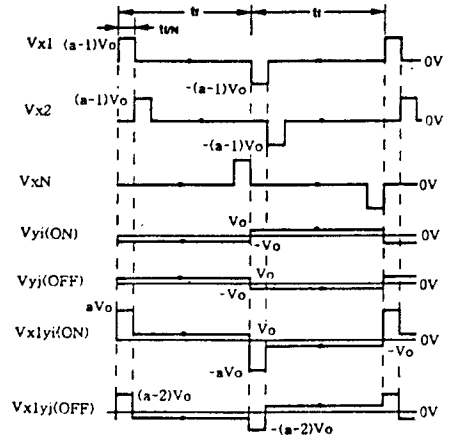


그림 2. 전압평균화법의 구동파형
Fig. 2. Driving waveform by APT (Alt-Pleshko Technique).

전압평균화법의 파형을 그림 2에 나타내었다. 주사 전극에는 선택 파형으로서 $(a-1)V_0$ 의 전압을, 비선택 파형으로서 0의 전압을 준다. 여기서 a를 바이어스 비(bias ratio)라 부른다. 그리고 제 1의 프레임 기간은 정극성으로, 제 2의 프레임 기간은 부극성으로 구동시켜 2개의 단위로 교류 구동을 하게 한다. 이에 반해 신호 전극에는 정극성(부극성)의 프레임 주기에 ON 파형으로서 $-V_0(+V_0)$ 의 전압을, 또 OFF 파형으로서 $+V_0(-V_0)$ 의 전압을 인가한다. 이 결과 ON 화소(OFF 화소)에는 그림 2의 $V_{x1,y1}(V_{x1,y1})$ 와 같은 파형이 인가된다. ON 화소(OFF 화소)에 인가되는 파형의 실효 전압의 비를 계산하면^[6]

$$\frac{V_{on}}{V_{off}} = \sqrt{\frac{N+a^2-1}{N+a^2-4a+3}} \quad (1)$$

이 된다. 여기서, N은 주사 전극의 갯수를 나타내며, 이를 보통 듀티 수(duty number)라 부르고 이의 역수는 듀티 비(duty ratio)가 된다. 식 (1)은 그림 2와 같은 전압 평균화법으로 구동할 때의 ON 전압과 OFF 전압의 실효치 비를 나타내는 일반식이다. 이 실효치 비가 클 수록 콘트라스트가 좋으므로 주사 전극의 갯수(N)가 정해졌을 경우 식 (1)이 최대값을 가질

조건은 $a = \sqrt{N} + 1$ 일 때이고, 바이어스 비 a 를 이 값으로 설정하는 구동 방식을 최적 bias라 부른다.

III. STN LCD의 광투과 특성 실험

STN LCD는 TN LCD보다 시야각이 크고 콘트라스트가 좋으므로 요즘 널리 사용되고 있다^[7]. 본 실험에서는 STN LCD의 여러가지 조건에 따른 광투과 특성을 알아본다. 그리고 주파수 특성 실험을 통해 LCD 인가 신호의 최적의 주파수대를 찾아낸다. 실험에 사용된 STN LC는 독일 Merck사에서 만든 LC로서 트위스트 각은 240° 인 액정이다.

본 실험의 구성도는 그림 3과 같다. 광원은 백색광을 사용하였다. 액정은 cell gap이 $6 \mu\text{m}$ 이고 $10 \times 7 \text{ mm}$ 크기의 test cell을 사용하였다. Test cell 앞에는 광원의 세기를 낮추기 위해 Neutral Density (N.D.) 필터를 설치했다. Test cell을 통과한 빛을 감광기로 감지하여 그 결과를 오실로스코프와 전압계로 측정하였다. 그리고 여러가지 모양의 파형을 만들기 위해 임의의 파형 발생기를 사용하였다. 임의의 파형 발생기는 최고 출력 전압이 $\pm 10 \text{ V}$ 인데 실제 실험에는 $\pm 30 \text{ V}$ 까지 필요하여 임의의 파형 발생기 뒷단에 증폭회로를 달아서 test cell에 전압을 인가하였다.

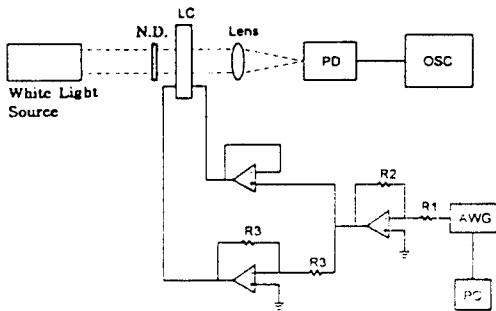


그림 3. 광투과 특성 실험을 위한 구성도
Fig. 3. Schematic diagram for the characterization of the optical transmission.

1. 기본파형의 투과특성

세가지 경우에 대한 실험을 하였다. 먼저 실험 A에서는 전압 크기는 12 V , 프레임 주파수는 84 Hz , 그리고 듀티 비는 $1/10$ 로 고정시키고 파형 모양을 그림

4의 (a), (b)와 같이 변화시켜 실험하였다. 시간에 따른 투과 곡선이 그림 5에 나타나 있다. 그림에서 보듯이 파형의 모양은 시간에 따른 투과 특성에 큰 변화를 주지 못함을 알 수 있다. 이것은 액정에 인가되는 전장과 액정의 유전적 상호작용을 나타내는 자유 에너지 밀도의 값을 통해서 볼 때, 그 값은 액정 방향과 전장 방향의 수직, 수평 정도와 관계하고 부호에는 무관하기 때문이다^[8].

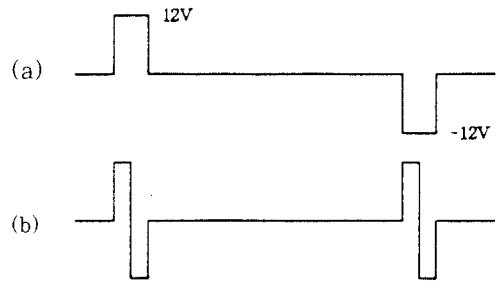


그림 4. 실험 A의 인가 파형
Fig. 4. Applied waveform for the experiment A.

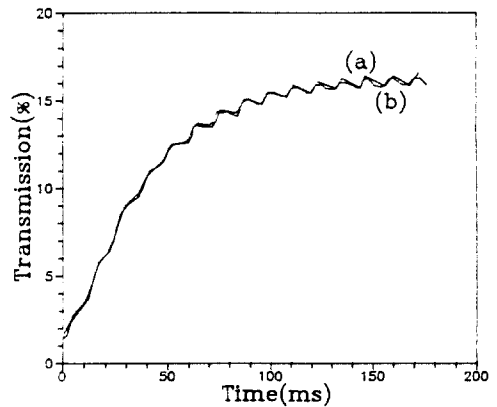


그림 5. 실험 A의 시간에 따른 투과 곡선
Fig. 5. Transmission vs. time of the experiment A.

실험 B에서는 프레임 주파수를 84 Hz 로 고정시키고, 전압파형은 다르지만 V_{rms} 가 같은 파형을 만들어 실험하였다. 인가한 파형과 그 투과 특성은 각각 그림 6과 7에 나타나 있다. 초기에는 전압 크기가 큰 쪽 ((b))이 상승시간면에서 빠르지만 최대값에 도달하는 시간은 비슷하고 투과도도 큰 차이가 없다.

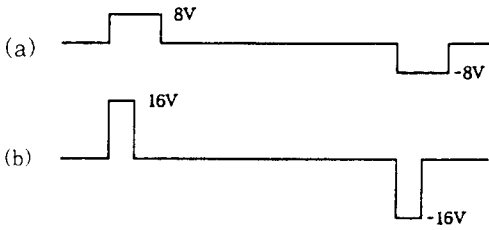


그림 6. 실험 B의 인가 파형
Fig. 6. Applied waveform for the experiment B.

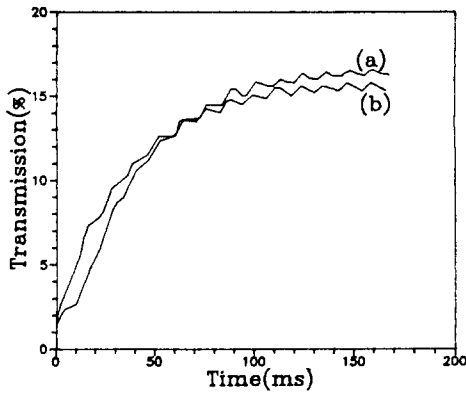


그림 7. 실험 B의 시간에 따른 투과 곡선
Fig. 7. Transmission vs. time of the experiment B.

마지막으로 실험 C에서는 프레임 주파수를 95 Hz로 고정시키고 같은 V_{rms} 에서 바이어스 전압의 유무에 따른 투과 특성을 실험하였다. 인가 파형과 투과 특성이 각각 그림 8과 9에 나타나 있다. 투과 특성곡선을 보면 ± 3 V의 바이어스 전압이 있는 쪽(그림8(a))이 투과도가 현저하게 향상됨을 관찰하였다. 이것은 실험 B와는 달리 V_{rms} 가 같더라도 바이어스 전압의 유무가 투과도에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

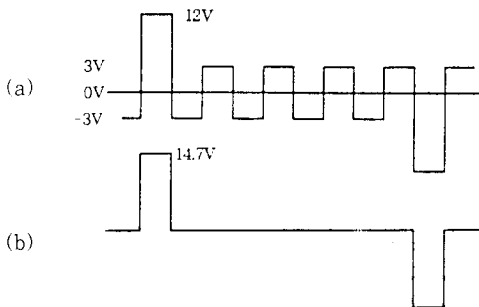


그림 8. 실험 C의 인가 파형
Fig. 8. Applied waveform for the experiment C.

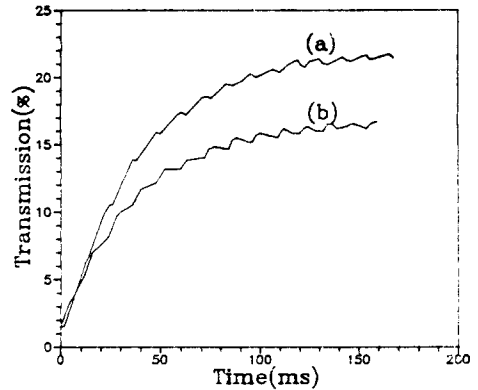


그림 9. 실험 C의 시간에 따른 투과 곡선
Fig. 9. Transmission v. time of the experiment C.

2. 바이어스 비에 따른 투과 특성

LCD 구동회로 설계시에 주사 전극의 갯수가 정해졌을 경우 최적의 투과 특성을 보이는 인가 전압의 파형을 만들려고 할 때 고려되어야 할 파라미터는 바이어스 비, M 신호 주파수 그리고 프레임 주파수 등이다. 이번 절에서는 M 신호 주파수와 프레임 주파수를 고정시켰을 때, 최적의 투과 특성을 보이는 바이어스 비를 찾는 실험을 하였다.

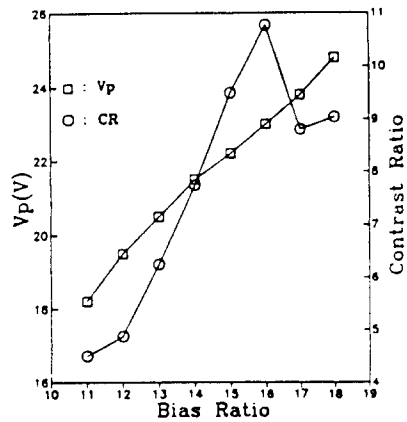


그림 10. 바이어스 비에 따른 콘트라스트 비와 인가 전압
Fig. 10. Contrast ratio and the applied voltage V_p vs. the bias ratio.

바이어스 비를 간단히 정의하면 한 화소에 대하여 선택시에 인가되는 전압에 대한 비선택시에 인가되는 전압의 비이다. 그림10을 보면 바이어스 비가 낮아질

수록 두 곡선의 폭이 좁아지고 콘트라스트 비도 낮아짐을 알 수 있다. 또 바이어스 비가 17이상이면 인가 전압이 높아질 뿐만 아니라 콘트라스트 비도 떨어지는 경향이 있다. 따라서 실험에 사용된 STN LCD는 바이어스 비가 15 또는 16을 선택하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

3. 주파수 특성 실험

LCD는 구조상 하나의 커패시터이므로 주파수에 따라 특성이 변한다. 그림 11은 주파수에 따른 V_{10} 을 실험으로 측정된 것이다. 여기서 V_{10} 은 투과도가 10% 될 때의 인가 전압을 의미하고, 인가한 파형은 구형파이다. 그림을 보면 저주파대(200 Hz 이하)와 고주파대(10 kHz 이상)에서 V_{10} 의 변동이 심함을 볼 수 있다. 따라서 LCD의 균일한 표시 상태를 위해서는 인가되는 신호의 주파수가 V_{10} 이 일정하게 유지되는 구간 안에 있어야 한다. 실제 LCD에 인가되는 신호의 가장 낮은 주파수는 모든 화소가 ON 또는 OFF일 때이며, 가장 높은 주파수를 나타낼 때는 ON, OFF가 계속 교차할 때이다. 주사 전극수 N이 240일 때 일반적으로 LCD 패널에 인가 하는 전압파형의 주파수 스펙트럼을 보면 가장 낮은 경우의 주파수는 42 Hz이고 가장 높은 경우는 중심 주파수가 10.7 kHz이다. 결국 모든 화소가 ON 또는 OFF일 경우 즉, 가장 낮은 주파수를 나타내는 신호일 경우, 중심 주파수가 42 Hz 이므로 V_{10} 이 일정치 않은 주파수대에 속하게 된다.

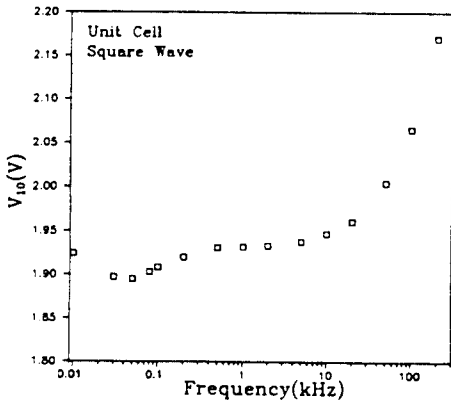


그림 11. 주파수와 V_{10} 과의 관계
Fig. 11. V_{10} vs. frequency.

이 경우 V_{10} 이 일정한 구간으로 주파수를 올려 주어야

한다. 이를 위해 1 프레임 단위의 교류 구동 방식을 1 프레임내에서 일정한 라인 수를 구동할 때마다 극성을 바꾸어 줌으로써 주파수를 올리는 방법을 사용한다. 이런 극성 반전 신호를 보통 M 신호라 부른다.

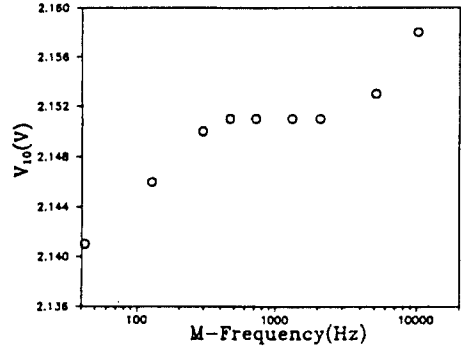


그림 12. M 신호 주파수와 V_{10} 과의 관계
Fig. 12. V_{10} vs. the M signal frequency.

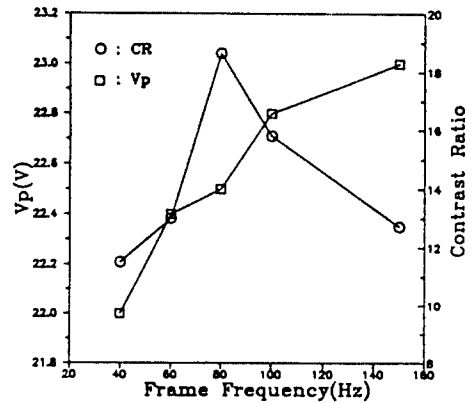


그림 13. 프레임 주파수에 따른 콘트라스트 비와 인가전압
Fig. 13. Contrast ratio and applied voltage V_p vs. frame frequency.

위에서 언급한 적절한 M 신호의 주파수를 찾기 위해 모든 화소가 ON인 경우에 대해, M 신호 주파수와 V_{10} 의 관계를 실험하여 그 결과를 그림 12에 나타내었다. 여기서 듀티 비는 16, 프레임 주파수는 84 Hz로 고정시켰다. 그림을 보면 M 신호 주파수가 400 Hz에서 4 kHz까지가 V_{10} 이 일정한 구간임을 알 수 있다. 최적의 M 신호 주파수는 V_{10} 이 일정한 대역 중에서 가장 낮은 주파수대를 정하는게 좋다. 왜냐하면

M 신호 외에 데이터(data) 신호가 들어가서 주파수가 더 높아지기 때문이다. 따라서 이 경우 M 신호의 주파수는 400~500 Hz를 택하는 것이 바람직하다고 생각된다.

LCD에 인가되는 신호에서 또 중요한 것이 프레임 주파수이다. 바이어스 비를 16, M 신호 주파수를 588 Hz로 고정시키고 프레임 주파수에 따른 투과도를 측정하여 그 결과를 그림 13에 나타내었다. 이 그림을 보면 프레임 주파수 80 Hz대가 최적의 상태임을 알 수 있다. 그리고 주파수가 그 보다 더 높아질수록 콘트라스트 비는 조금씩 낮아지며 인가 전압은 높아져 좋은 특성을 보이지 못하고 있다. 마찬가지로 주파수가 80 Hz보다 낮을 때는 콘트라스트 비가 상당히 낮아짐을 볼 수 있다. 따라서 프레임 주파수는 80 Hz대를 택하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

IV. LCD의 등가회로적 고찰

LCD는 그 구조상 저항과 커패시턴스의 등가회로로 구성할 수 있으며, 그 등가회로를 그림 14에 나타내었다. 이 등가회로에 의해 실제 액정 양단에 걸리는 전압 V_{LC} 는

$$V_{LC} = \sqrt{\frac{R_{LC}^2 ab^2 V_o^2}{[2R_a a + R_{LC} b + R_{ITO} ab]^2 + \omega^2 [2R_a^2 C_a a + R_{LC}^2 C_{LC} b]^2}} \quad (2)$$

이고, 여기서 $a = 1 + (\omega R_{LC} C_{LC})$, $b = 1 + (\omega R_a C_a)$, $\omega = 2\pi f$, R_a 는 배향막의 저항, R_{LC} 는 액정의 저항, R_{ITO} 는 투명전극의 저항, C_a 는 배향막의 커패시턴스, C_{LC} 는 액정의 커패시턴스 그리고 V_o 는 외부 인가 전압을 나타낸다.

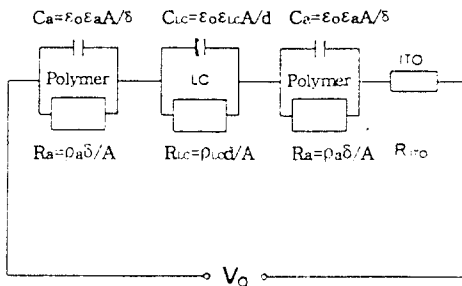


그림 14. LCD의 등가회로
Fig. 14. Equivalent circuit of an LCD.

그리고 인가 전압과 액정 분자의 움직임과의 관계는

$$V(\phi) \approx (1 + \phi_m^2 (\frac{K_{33}}{K_{11}} + c)/4) V_{th} \quad (3)$$

로 표현되며^[9], 여기서

$$c = \frac{\frac{\sigma_{\parallel} - \sigma_{\perp}}{\sigma_{\parallel}} + (\frac{\omega}{\omega_o})^2 \frac{\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}}{\epsilon_{\parallel}}}{1 + (\frac{\omega}{\omega_o})^2}, \quad \omega_o = \frac{\sigma_{\perp}}{\epsilon_o \epsilon_{\perp}}$$

이다. 그리고 K_{11} 과 K_{33} 는 각각 스플레이와 밴드 탄성 계수, ϕ_m 은 액정 중간 지점에서의 액정 분자의 경사각, σ_{\parallel} 은 액정 전도성의 수평성분, σ_{\perp} 은 액정 전도성의 수직성분, ϵ_{\parallel} 은 액정 유전율의 수평성분, ϵ_{\perp} 은 액정 유전율의 수직성분, V_{th} 는 액정 분자가 실제 움직이기 시작할 때의 전압이다. 식 (3)은 액정 분자가 경계면에 대해 ϕ_m 만큼 섰을 때 요구되는 전압이 $V(\phi)$ 라는 것을 나타낸다. 위 식 (2), 식 (3)을 통해 주파수에 따른 임계치 전압 즉, 투과도가 10%될 때의 외부 인가 전압 (V_{10})을 계산할 수 있다. 투과도가 10%될 때의 각 ϕ_m 을 식 (3)에 넣게 되면 그 때 필요한 액정 양단의 전압 V_{LC} 를 알게 되고, 다시 식 (2)에 의해 외부에서 얼마만큼의 전압이 인가되어야 할지 결정된다. 주파수와 투과도가 10%가 되기 위해 요구되는 외부 인가 전압 (V_{10})의 그래프가 그림 15에 나타나 있다. 그림 15에는 실험으로 측정된 것과 식 (2), 식 (3)의 파라미터들을 추출하여 계산한 것을 비교해 놓았다. 약간의 차이가 남을 볼 수 있는데, 이것은 K_{11} , K_{22} , σ_{\parallel} , σ_{\perp} 와 같은 파라미터들은 본 연구에서 추출하는데 어려움이 있어서 이들 값이 정확하지 못했기 때문인 것으로 생각된다.

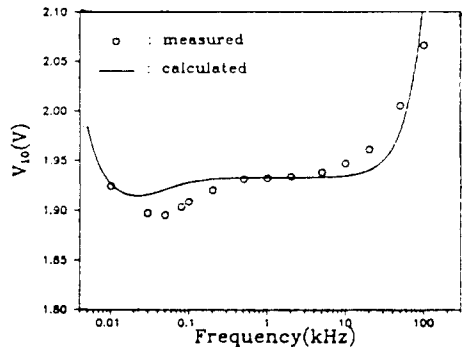
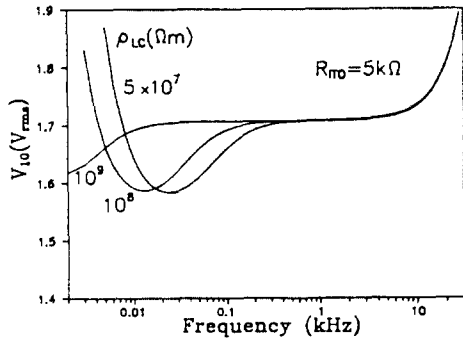
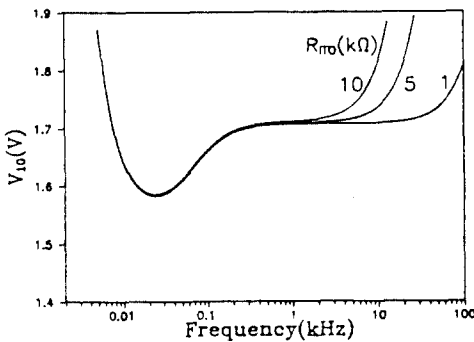


그림 15. STN LCD의 V_{10} 과 주파수의 관계
Fig. 15. V_{10} vs. frequency of an STN LCD.



(a)



(b)

그림 16. (a) ρ_{LC} 의 변화에 따른 주파수와 V_{10} 의 관계

(b) R_{ITO} 의 변화에 따른 주파수와 V_{10} 의 관계

Fig. 16. (a) V_{10} vs. frequency with ρ_{LC} as a parameter.

(b) V_{10} vs. frequency with R_{ITO} as a parameter.

앞장에서 설명했듯이 주파수에 대해 V_{10} 이 일정한 구간이 넓을 수록 좋은 특성을 지닌 LCD가 될 수 있다. V_{10} 이 일정한 구간을 넓히기 위해 식 (2)의 여러 가지 파라미터를 조사한 결과 저주파대는 액정 자체의 저항 성분 즉, ρ_{LC} 가 큰 영향을 끼침을 알았다. 그림 16 (a)에 ρ_{LC} 에 따른 주파수와 V_{10} 의 관계를 나타내었다. 그림을 보면 ρ_{LC} 가 커짐에 따라 V_{10} 이 일정하게 되는 구간이 넓어짐을 볼 수 있다. 따라서 저항 성분이 큰 액정을 사용하면 저주파대의 특성이 많이 개선되리라 생각된다. 그리고 고주파대는 투명 전극의 저항치(R_{ITO})가 중요한 영향을 미친다. R_{ITO} 에 따른 주파수와 V_{10} 의 관계를 그림 16 (b)에 나타내었다. 그

림에 나타나 있듯이 R_{ITO} 가 낮을수록 V_{10} 이 일정해지는 구간이 커짐을 알 수 있다. 이것으로 LCD의 좋은 표시 품질을 위해서는 액정 선택시 저항성이 큰 액정을 선택해야 하고 투명 전극의 저항치를 줄여 주어야 한다.

V. 결론

본 논문에서는 STN LCD의 광투과 특성을 조사하고 LCD의 등가회로를 통해 주파수 특성 향상에 대해 연구하였다.

STN LCD에서 기본 광투과 특성은 바이어스 전압이 투과도와 상승시간에 커다란 영향을 미침을 보았다. 여기서 사용된 STN LCD의 경우 선택시와 비선택시의 전압 비 즉 바이어스 비는 15~16일 때가 최적의 콘트라스트 비를 나타냄을 알았다. 그리고 주파수 특성 실험에 있어서 M 신호 주파수는 400~500 Hz, 프레임 주파수는 80 Hz대가 가장 좋은 콘트라스트 비를 나타냄을 보았다. 따라서 이 실험에 사용된 STN LCD의 경우, LCD에 인가되는 파형은 위의 조건을 가지는 것이 좋을 것으로 생각된다. 등가회로를 통해 주파수 특성을 살펴본 결과 액정 자체의 저항 성분이 크고 ITO 저항치가 작을수록 좋은 주파수 특성을 나타내므로 LCD 설계시 이를 고려하는 것이 좋으리라 생각된다.

감사의 글

※ 본 연구에 도움을 주신 삼성전관(주)의 박호영 이사, 김기두 부장, 황철규 과장, 이기동 대리께 저자들의 고마운 마음을 전합니다.

참고 문헌

[1] M. Schadt and M. Helfrich, "Voltage-dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal," Appl. Phys. Lett., vol. 18, pp. 127-128, 1971.
 [2] T. Scheffer and J. Nehring, "A new, highly multiplexable liquid crystal display," Appl. Phys. Lett., vol. 45, pp. 1021-1023, 1984.

- [3] T. Scheffer and J. Nehring, "Twisted nematic and supertwisted nematic mode LCDs," in *LIQUID CRYSTALS Application and Uses*, ed. by B. Bahadur, World Scientific, vol. 1, pp. 231-274, 1990.
- [4] T. Scheffer and J. Nehring, "Investigation of the electro-optical properties of 270° chiral nematic layers in the birefringence mode," *J. Appl. Phys.*, vol. 58, no. 8, pp. 3022-3031, 1985.
- [5] T. Scheffer and J. Nehring, "Supertwisted nematic LCDs," *SID Seminar Lecture Notes*, vol. 1, pp. M_7/1-63, 1993.
- [6] 永田光夫, 液晶デバイスハンドブック, 日本學術振興會, pp. 396-399, 1989.
- [7] B. Bahadur, "Dynamic scattering mode LCDs," in *LIQUID CRYSTALS Applications and Uses*, ed. by B. Bahadur, World Scientific, vol. 1, pp. 199-200, 1990.
- [8] 永田光夫, 液晶デバイスハンドブック, 日本學術振興會, pp. 54-55, 1989.
- [9] P. M. Alt and P. Pleshko, "Scanning limitations of liquid-crystal displays," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-21, no. 2, pp. 146-155, 1974.6.

 저 자 소 개

高 炯 一 (正會員)

1969年 4月23日生. 1992年 2月 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1994年 2月 부산대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1994年 3月 ~ 현재 삼성전자(주) 연구원. 주관심 분야는 LCD, 모니터 등임.



鄭 泰 赫 (正會員)

1967年 9月10日生. 1991年 2月 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993年 2月 부산대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1994年 3月 ~ 현재 부산대학교 전자공학과 박사과정. 주관심 분야는 LCD, SHG, 집적광학 등임.



李 相 璨 (正會員)

1959年 9月24日生. 1985年 2月 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1994年 2月 부산대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1994年 3月 ~ 현재 부산대학교 전자공학과 박사과정. 주관심 분

야는 LCD, 컴퓨터 비전 등임.

尹 台 焄 (正會員) 第 26卷 第 10號 參照

현재 부산대학교 전자공학과 부교수. 정보통신 연구소 연구원.

金 在 昌 (正會員) 第 26卷 第 10號 參照

현재 부산대학교 전자공학과 교수. 정보통신 연구소 연구원.