

쌍안정 TN LCD의 고속 매트릭스 어드레싱을 위한 패널 파라미터와 구동 파형의 최적화

이기동 · 박구현 · 장기철 · 윤태훈 · 김재창

부산대학교 전자공학과

이응상

삼성전관 디스플레이 연구소

(1998년 10월 19일 받음, 1998년 12월 1일 수정본 받음)

쌍안정 TN LCD를 매트릭스 어드레싱 구동을 할 때 패널 파라미터와 구동 파형을 최적화하는 방법을 제시하였다. 쌍안정 TN 액정 셀에서 데이터 전압이 광 스위칭 특성에 미치는 영향을 측정하였고 이를 이론적으로 모델링 하였다. 스위칭에 데이터 전압이 미치는 영향을 고려하기 위해 시간의 함수로써 weighting 함수를 도입하였다. Weighting 함수를 알아내면 최소의 데이터 펄스 폭을 계산함으로써 멀티플렉싱 구동을 위한 최대의 구동 라인 수를 계산할 수 있다. 또한 패널 파라미터(예, d/p)를 변화 시키면서 테스트 셀을 구동하면 고속 동작을 위한 파라미터를 최적화할 수 있다. 이로부터 이론적 예측과 실험 결과가 잘 일치하는 것을 확인하였다.

I. 서 론

1980년대 초반 트위스트 네마틱 액정이 쌍안정 스위칭을 나타낼 수 있음을 보인 이후, 쌍안정 TN 액정 디바이스는 많은 관심을 불러 일으켰다.^[1-6] 멀티플렉싱 라인 수가 많은 쌍안정 TN LCD 패널을 고속으로 매트릭스 어드레싱 구동을 하기 위해서는 selection 펄스의 폭은 가능한 작은 것이 좋다. 단위 쌍안정 TN 셀은 수 μ s 정도의 selection 펄스로도 구동 가능하지만,^[7] 이는 멀티플렉싱 라인 수가 많은 패널이 같은 파형으로 구동 됨을 의미하지는 않는다. 패널을 매트릭스 어드레싱 구동하도록 설계할 때, 한 화소는 동일한 컬럼에 있는 다른 화소의 데이터 펄스의 영향을 받으므로, 이 데이터 펄스가 한 화소의 광 스위칭 특성에 미치는 영향을 고려하여야 한다. 쌍안정 TN LCD는 TN, STN과 같은 rms 구동 방식과는 다르므로 쌍안정 TN 패널을 rms 구동에 적용할 수 없다. 따라서 쌍안정 TN 패널을 매트릭스 어드레싱 구동하기 위한 최적화된 체계적인 방법을 고안할 필요가 있다.

본 논문에서는 멀티플렉싱 라인 수가 많은 쌍안정 TN LCD 패널을 고속 매트릭스 어드레싱 구동을 위한 패널 파라미터와 구동 파형을 최적화하는 방법을 제시하였다. 단위 셀을 제작하여 동일한 컬럼의 다른 화소의 데이터 전압이 각각의 화소의 스위칭 에너지에 얼마나 영향을 주는지 측정하였다. Selection 펄스의 위치를 움직이면서 스위칭에 영향을 주는 데이터 전압의 크기를 실험으로 찾아내었다. 그리고 시간

의 함수로써 데이터 전압의 영향을 고려한 weighting 함수를 도입하였다. Weighting 함수를 찾아내면 최소의 selection 펄스를 찾아서 멀티플렉싱 구동을 위한 최대의 구동 라인 수를 계산할 수 있다. 또한 이러한 방법으로부터 쌍안정 TN LCD 패널을 매트릭스 어드레싱 구동할 때 d/p의 영향을 연구하였다.

II. 쌍안정 TN LCD의 동작원리

쌍안정 TN 셀의 스위칭은 적절한 펄스를 인가함으로써 가능하다.^[1-8] 180° 쌍안정 TN 셀을 스위칭하기 위해서는 먼저 reset 펄스를 인가하고 selection 펄스를 인가한다. Reset 펄스가 인가되면 스플레이되어 180° 쪼인 초기 상태는 인가된 전계에 평행하게, 기판에 대해서는 수직으로 배열된다.^[1-7] Reset 상태 이후 수백 μ s 동안의 안정한 상태를 유지하도록 selection 펄스를 인가하는데, selection 펄스의 전압이 임계전압(V_{th})보다 작으면 액정 분자는 backflow 효과에 의해 360° 상태로 전이되고,^[1-7] 반면 포화전압(V_{sat})보다 크면 0° 상태로 전이하게 된다. 이러한 준안정상태에서 액정 분자는 기판에 대해 평행하게 배열되므로 쌍안정 TN LCD가 넓은 시야각을 갖게 되는 것이다. 그리고 $V_{th} < V_s < V_{sat}$ 인 경우에는 0°와 360° 준안정상태가 공존하는 polydomain 영역이 나타난다. 이러한 polydomain 영역은 selection 펄스의 전압(V_s)에 크게 영향을 받는다.

III. Weighting 함수

데이터 펄스는 동일한 컬럼의 다른 화소에 영향을 주므로

본 연구의 일부는 부산대학교 기성회 연구비 지원으로 이루어졌음

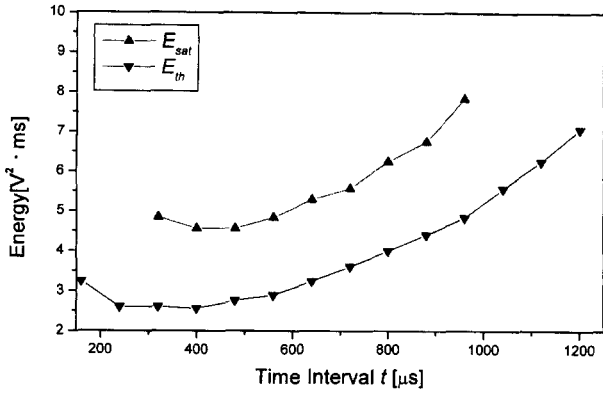


그림 1. Reset 펄스와 selection 펄스 사이의 시간 t 의 함수로서 측정된 임계에너지(E_{th})와 포화에너지(E_{sat}).

쌍안정 TN LCD의 매트릭스 어드레싱 구동을 위해서는 한 화소의 스위칭에 영향을 주는 데이터 전압의 영향을 고려하여야 한다. 이러한 영향을 고려하기 위해서 selection 펄스의 위치를 옮기면서 selection 펄스의 임계에너지와 포화에너지가 얼마나 감소되는지 알아보았다. 임계상태와 포화상태의 에너지는 selection 펄스의 폭에는 영향을 주지 않는다.^[8] 그림 1은 reset 펄스와 selection 펄스의 시간간격(t)의 함수로써 각각 임계상태(E_{th})와 포화상태(E_{sat})에서의 측정된 selection 펄스의 임계에너지와 포화에너지를 나타내었다. 이러한 에너지 곡선은 임계상태와 포화상태에서의 측정된 전압을 에너지로 변경하여 얻어질 수 있다. 액정은 ZLI-1557, 셀의 두께는 2.25 μm , $d/p = 0.59$, selection 펄스 폭(T)은 40 μs 이다. Selection 펄스가 $t = 400 \mu\text{s}$ 인 위치에 있을 때 측정된 임계에너지와 포화에너지는 최소가 되며 이는 $t = 400 \mu\text{s}$ 일 때, 액정의 디렉터가 갖는 에너지가 최소가 되므로 상대적으로 가장 작은 전압으로 스위칭할 수 있음을 의미한다. 이 때의 에너지는 각각 $E_{th} = 2.60[\text{V}^2 \cdot \text{ms}]$, $E_{sat} = 4.58[\text{V}^2 \cdot \text{ms}]$ 이다.

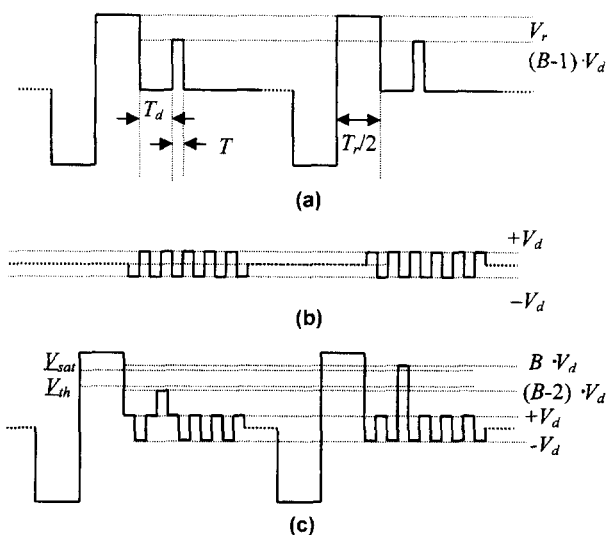


그림 2. 쌍안정 TN LCD에 인가되는 전압 파형. (a) 주사전극의 전압 파형, (b) 데이터 전극의 전압 파형, (c) 액정에 인가되는 전압 파형.

그림 2는 쌍안정 TN LCD의 매트릭스 어드레싱을 위한 주사전극(a)과 신호전극(b)의 파형을 나타내었다. 먼저 주사전극에는 폭이 T_r 이고 크기가 V_r 인 reset 펄스가 인가되고, 시간 지연(T_d)이후 $V_b = (V_{sat} + V_{th})/2 = (B-1)V_d$ 인 바이어스 전압이 T 동안 인가된다. 여기서 V_{th} 와 V_{sat} 는 각각 매트릭스 어드레싱 패널에서 임계전압, 포화전압을 나타내고, V_d 는 데이터 전압을 나타내고 바이어스 비(B)는 $B \equiv 1 + V_b/V_d$ 로 정의된다. 한 화소의 스위칭을 위해서는 데이터 전극에는 $\pm V_d$ 의 데이터 전압이 인가된다.

한 화소에 실제로 인가되는 전압은 그림 2(c)와 같은 주사전극과 신호전극의 차이이다. 예를 들어 바이어스 전압 V_b 가 주사전극에 인가되고, 동시에 데이터 전압이 신호전극에 $-V_d(V_b + V_d > V_{sat})$ 가 인가될 때, 화소는 스위칭 ON 되고, 데이터 전압이 $+V_d(V_b - V_d < V_{th})$ 로 인가될 때는 스위칭 OFF가 된다. 스위칭 특성에 대한 이전의 실험에서는 reset 펄스와 selection 펄스를 단위 셀에 인가하였으나 패널에서 한 화소에 인가되는 실제 파형은 그림 2(c)와 같이 다른 화소에 영향을 주는 데이터 전압도 인가되므로 한 화소의 스위칭에 영향을 주는 데이터 전압의 영향을 고려해야 한다. 따라서 매트릭스 어드레싱 패널에서 임계 에너지에 영향을 주는 데이터 전압을 고려하기 위해서는 단위 셀에 그림 2(c)와 같이 다른 화소에 영향을 주는 데이터 전압을 포함한 신호를 인가하여야 한다. 이러한 개념으로부터 매트릭스 어드레싱으로 임계에너지의 감소를 의미하는 다음 식을 얻었다.

$$E_{th} = E_{th} + \left(\sum_{i=1}^n W(iT) - 1 \right) V_d^2 \cdot T \quad (1)$$

여기서 E_{th} 는 매트릭스 어드레싱 패널에서 임계 에너지이고, V_d 는 데이터 전압, T 는 selection 펄스의 폭, n 은 스캐닝 라인 수, $W(t)$ 는 시간 t 에서 $E_{th}(T_d)/E_{th}(t)$ 로 정의되는 weighting 함수이다. 그리고 $E_{th}(t)$ 는 reset 펄스의 끝을 $t=0$ 로 정의할 때, 시간 $t = T_d$ 에서 최소값을 가진다. 그림 3은 selection 펄스의 시간 위치의 함수로써 weighting 함수를 측정된 결과이다. 여기서 $W(t)$ 는 $t = T_d$ 에서 멀어질수록 점점 감소한다. 실험의 셀에서 $\sum W(iT)$ 와 $\sum W(iT) \cdot T$ 는 각각 26.82와 1072.9 μs 이고, $\sum W(iT) \cdot T$ 는 멀티플렉싱 라인 수와는 무관하다.

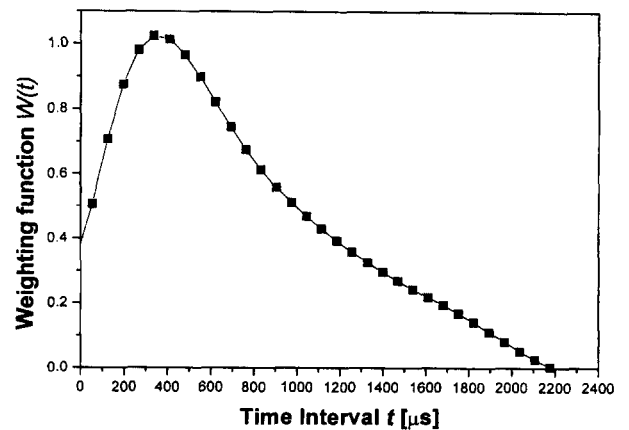


그림 3. 임계상태의 Weighting 함수 $W(t)$.

마찬가지로 포화에너지에 관한 다음 식을 얻을 수 있다.

$$E_{sat} = \underline{E}_{sat} + C \cdot \left(\sum_{i=1}^n W(iT) - 1 \right) V_d^2 \cdot T \quad (2)$$

여기서 E_{sat} 는 매트릭스 어드레싱 패널에서 포화에너지를 나타내며, 포화상태의 weighting함수는 임계상태의 weighting함수와 같은 형태이다. 따라서 C를 임계에너지의 weighting함수와 포화에너지의 weighting함수의 비로서 정의한다. 다음과 같이 $E_{sat} = 0$ 일 때, 상수 C를 측정한다.

$$C = \frac{E_{sat}}{\sum_{i=1}^n W(iT) - 1) V_d^2 \cdot T} \quad (3)$$

실험한 셀에서 C 값은 1.288이다.

IV. 구동 신호의 조건

패널을 적절히 매트릭스 어드레싱 구동을 하기 위해서는 구동 신호가 다음 두 조건을 만족하여야 한다.

조건 1) 한 화소를 스위칭 ON 하기 위해서는 $V_b + V_d = BV_d > V_{sat}$ 이어야 하고, 스위칭 OFF하려면 $V_b - V_d = (B-2)V_d < V_{th}$ 이어야 한다. 이 두 조건은 $2V_d > \Delta V \equiv \underline{V}_{sat} - \underline{V}_{th}$ 를 의미한다.

$$2V_d > \underline{V}_{sat} - \underline{V}_{th} = \sqrt{\underline{V}_{sat}^2 - C \cdot \left(\sum_{i=1}^n W(iT) - 1 \right) \cdot V_d^2} - \sqrt{\underline{V}_{th}^2 - \left(\sum_{i=1}^n W(iT) - 1 \right) \cdot V_d^2} \quad (4)$$

즉, 데이터 전압은 포화전압과 임계전압 차이 ΔV 의 1/2보다 커야 한다.

조건 2) 패널의 주사전극에 인가되는 데이터 신호로만 화소가 ON되지 않아야 한다.

$$\sum_{i=1}^n W(iT) \cdot V_d^2 \cdot T < E_{th} \quad (5)$$

이러한 두 조건으로부터 적절한 동작을 하도록 패널의 파라미터를 최적화할 수 있다. 셀의 파라미터, 즉 E_{th} , E_{sat} , $W(t)$, C 등을 측정함으로써 전압의 차이($\Delta V \equiv \underline{V}_{sat} - \underline{V}_{th}$)를 계산할 수 있다. 조건 (1)을 만족하기 위해서는 ΔV 은 $2V_d$ 보다 작아야 하고 그림 4와 같이 $\Delta V - V_d$ 평면 상에서 ΔV 곡선이 $2V_d$ 직선 아

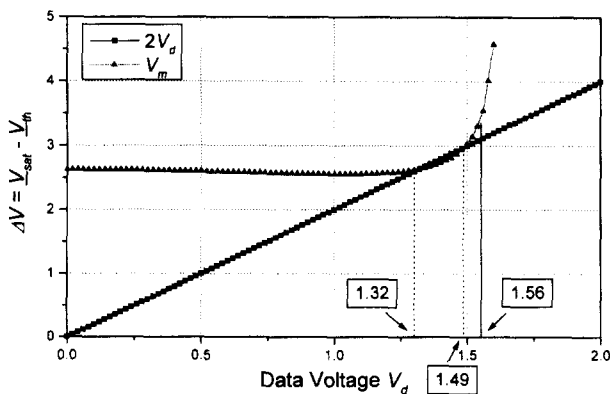


그림 4. 데이터 전압(V_d)의 함수로서 전압차(ΔV).

래에 있어야 한다. 그리고 조건 (2)를 만족하기 위해서는 그림 4의 수직인 선의 왼쪽에 위치하여야 한다. 실험의 셀은 $V_d < 1.56$ V이다. 그림 4에 보인 것과 같이 selection 펄스가 40 μ s 일 때, 데이터 전압이 1.32 V $< V_d < 1.49$ V인 범위에서 매트릭스 어드레싱 구동이 가능하다. 이것은 측정된 결과인 1.3 V $< V_d < 1.5$ V와 잘 일치한다. $V_d = 1.4$ V일 때, 계산된 \underline{V}_{sat} 과 \underline{V}_{th} 은 각각 6.55 V, 3.81 V이다. 이 때의 바이어스 비는 $B = 4.7$ 이다. 이 결과도 실험 결과인 $V_{sat} = 6.6$ V, $\underline{V}_{th} = 3.8$ V, $B = 4.71$ 과 잘 일치한다.

V. 셀 파라미터와의 관계

임계에너지 E_{th} , 포화에너지 E_{sat} , weighting 함수, $\sum W(iT) \cdot T$, 상수 C의 값이 구해지면 적절한 매트릭스 어드레싱 구동을 위한 데이터 전압의 범위를 구할 수 있다. 매트릭스 어드레싱 구동에 이러한 파라미터가 미치는 영향을 연구하기 위해서 펄스 폭은 $T = 40$ μ s로 하여 ΔV 이 각각의 파라미터에 의해 얼마나 영향을 받는지 조사하였다. 그림 5는 임계에너지가 ΔV 에 주는 영향을 나타내었다. 높은 임계에너지는 넓은 데이터 전압 범위를 허용하므로 임계에너지가 클수록 매트릭스 어드레싱 구동에 유리함을 알 수 있다. 그림 6은 포화에너지가 ΔV 에 미치는 영향을 나타내었다. 이것은 에너지가 낮을수록 매트릭스 어드레싱 구동에 유리함을 나타내는 것이다. 파라미터 C에 의한 영향은 그림 7에 나타내었다. C의 값이 클수

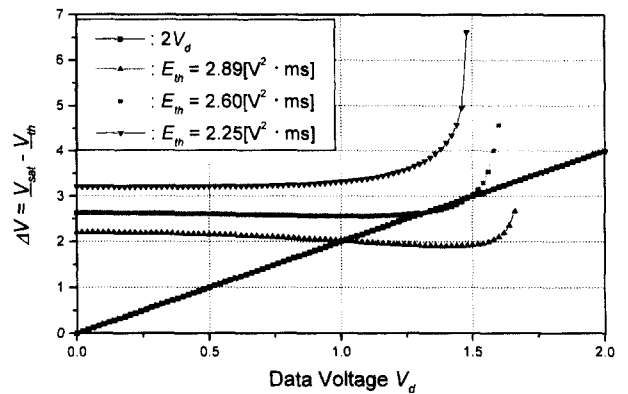


그림 5. $\Delta V (V_d)$ 과 임계에너지의 관계.

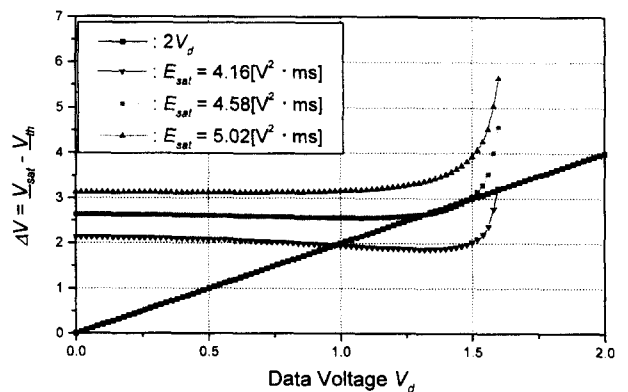


그림 6. $\Delta V (V_d)$ 과 포화에너지와의 관계.

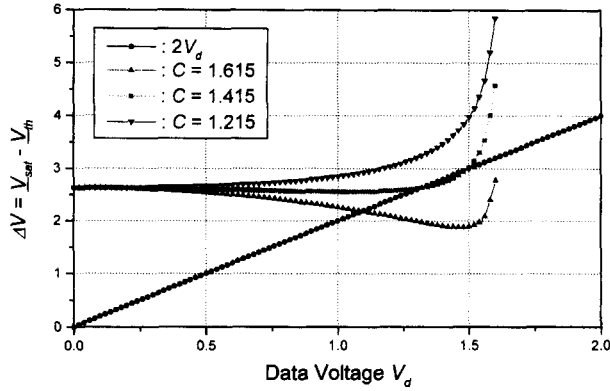


그림 7. $\Delta V (V_d)$ 과 C 값과의 관계.

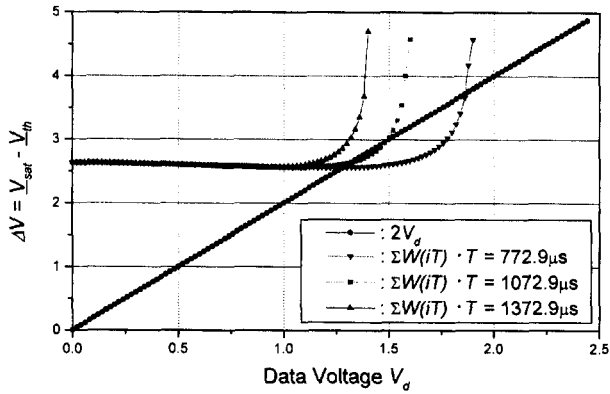


그림 8. $\Delta V (V_d)$ 과 $\Sigma W(iT)$ 의 관계.

록 데이터 전압의 허용 범위는 넓어지는데, 이는 포화전압과 임계전압의 차가 줄어들음을 의미하며, 식 (2)에서 알 수 있듯이 큰 C 는 낮은 포화전압을 나타내게 된다.

그림 8은 $\Sigma W(iT) \cdot T$ 에 의한 영향을 나타내었다. 작은 $\Sigma W(iT) \cdot T$ 은 다른 화소에 데이터 전압의 영향이 적음을 의미하므로, $\Sigma W(iT) \cdot T$ 이 작을수록 매트릭스 어드레싱에 적합함을 알 수 있다. 따라서, 적절한 매트릭스 어드레싱 구동을 위해서는 기울기가 큰 $W(i)$ 가 유리하다.

요약하면 임계에너지 E_{th} 는 크고, 포화에너지 E_{sar} 는 작으며, C 는 크고, $\Sigma W(iT) \cdot T$ 는 작을수록 쌍안정 TN 패널을 동작시키는데 유리하다.

VI. d/p 와의 관계

쌍안정 TN LCD에서 전압의 차이 ΔV 는 셀의 d/p 에 의존한다. 낮은 d/p 는 액정 분자가 360° 상태보다 0° 상태로 꼬이려는 경향이 크고, d/p 가 큰 셀은 0° 상태보다 360° 상태로 꼬이려는 경향이 크다. 따라서 d/p 가 클수록 임계, 포화상태에서

표 1. 시뮬레이션을 위한 d/p 에 따른 측정된 파라미터

d/p	$E_{th} [V^2 \cdot ms]$	$E_{sar} [V^2 \cdot ms]$	C	$\Sigma W(iT) \cdot T [\mu s]$
0.54	0.36	1.21	1.128	894.8
0.57	1.21	2.70	1.164	965.6
0.59	2.60	4.58	1.415	1072.9

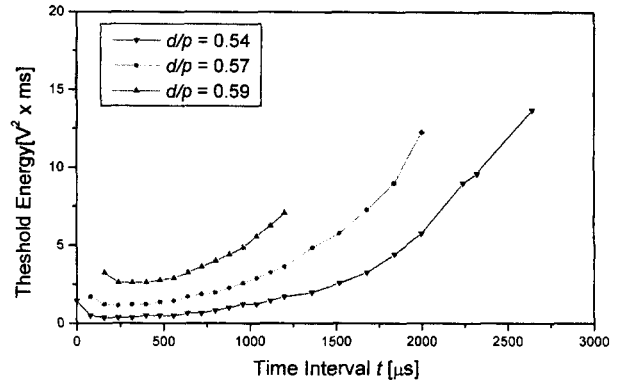


그림 9. d/p 에 따른 reset 펄스와 selection 펄스의 시간 간격(t)에 대한 selection 펄스 에너지.

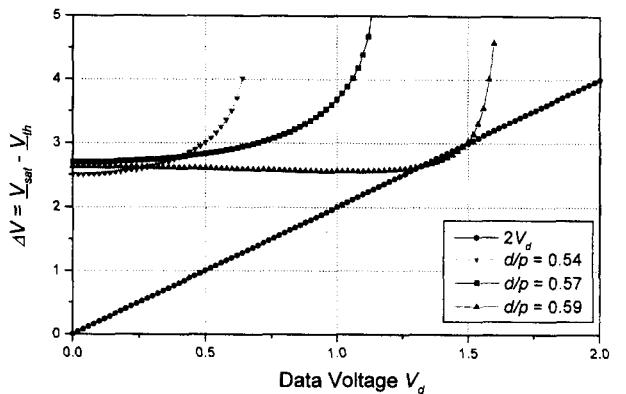


그림 10. $\Delta V (V_d)$ 과 d/p 와의 관계 (펄스 폭 $T = 40 \mu s$).

높은 selection 펄스의 에너지를 필요로 한다. 실험에서 쌍안정 특성을 나타낸 d/p 범위는 $0.54 \leq d/p \leq 0.59$ 였다. 그림 9는 d/p 가 각각 0.54, 0.57, 0.59일 때 임계 상태에서의 selection 펄스의 최소에너지를 나타내었다. 여기서 셀의 두께는 $d = 2.25 \mu m$ 이다. E_{th} , E_{sar} , C , $\Sigma W(iT) \cdot T$ 을 알면 d/p 에 따라 패널의 적절한 매트릭스 어드레싱 구동을 위한 데이터 전압의 범위를 구할 수 있다. 표 1과 같이 d/p 가 증가하면 이러한 모든 파라미터도 증가한다. 이러한 측정 값을 이용하면 각각의 d/p 에서 V_d 의 함수로서 ΔV 를 계산할 수 있다. 그림 10은 여러 가지 d/p 에 따라서 적절한 매트릭스 어드레싱 구동을 위한 범위를 나타내었다. 이 그림은 쌍안정 TN LCD를 매트릭스 어드레싱 구동하기 위한 d/p 는 임계 d/p (실험 셀에서는 $d/p > 0.57$)보다 커야 함을 나타낸 식이다. $d/p = 0.54, 0.57$ 일 때는 매트릭스 구동을 하는 영역이 없다. 이러한 시뮬레이션 결과는 실험 결과와 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

VII. 고 찰

패널의 전체 프레임 시간은 최소 어드레싱 시간과 멀티플렉싱 라인의 수의 곱에 의해 결정된다. 그래서 쌍안정 TN LCD가 고속, 고화질을 얻기 위해서는 selection 펄스의 폭을 줄여야 한다. Selection 펄스의 폭이 줄면 한 프레임 동안 구동할 수 있는 라인 수는 더욱 늘어나므로 고성능의 동작을 할

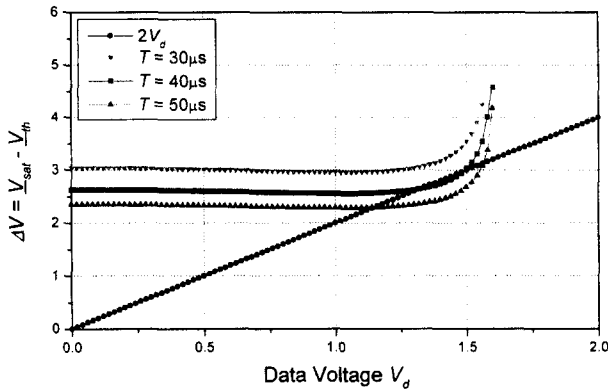


그림 11. $\Delta V (V_d)$ 와 selection 펄스 폭과의 관계.

수 있다. 예를 들어 25 frames/s의 주사율일 때, 800라인을 가진 패널의 구동을 위해서는 selection 펄스의 폭은 50 μ s보다 작아야 한다. 만약 selection 펄스의 폭이 너무 작으면 스위칭 ON, OFF할 수 있는 데이터 전압이 존재하지 않는다.

최소 selection 펄스의 폭은 매트릭스 어드레싱 동작 영역의 그림으로써 계산할 수 있다. 그림 11은 $d/p=0.59$, $d=2.25 \mu$ m 일 때, selection 펄스 폭에 따라서 계산된 결과를 나타낸 그림이다. $\Sigma W(iT) \cdot T$ 이 일정한 값을 가지므로 $\Sigma W(iT)$ 는 selection 펄스와는 반비례하는 관계를 갖는다. 따라서 selection 펄스의 폭이 줄면 $\Sigma W(iT)$ 는 증가한다. 실험의 셀에서는 selection 펄스의 폭이 각각 30 μ s, 40 μ s, 50 μ s 일 때, $\Sigma W(iT)$ 의 값은 각각 35.76, 26.82, 21.46이다. $\Sigma W(iT)$ 는 값이 클수록 패널을 동작시키기 힘들다. 그림 11에 나타난 바와 같이 매트릭스 어드레싱 구동을 위한 최소 펄스 폭은 40 μ s이다. 따라서 한 프레임에 800라인을 갖는 패널을 구동시키기 위해서는 d/p 는 0.59보다 커야 하며 selection 펄스의 폭은 40 μ s 보다는 커야 한다. 실험에서도 시뮬레이션과 같이 40 μ s 이상의 펄스 폭에서 구동이 가능 하였고 시뮬레이션과 실험이 잘 일치함을 알 수 있었다.

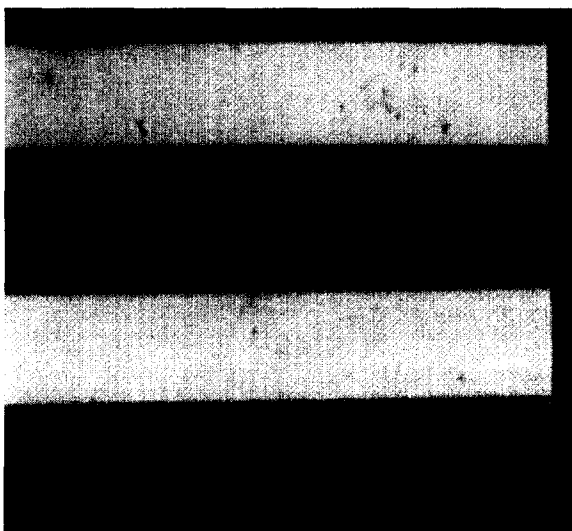


그림 12. 쌍안정 TN LCD의 사진. 흰 영역은 0° 쏘인 상태이고, 검은 영역은 360° 쏘인 상태이다.

Selection 펄스의 폭이 증가하면 구동을 위한 데이터 전압의 범위는 넓어진다. 예를 들어 50 μ s의 selection 펄스로서 쌍안정 TN LCD 패널을 구동한다면 데이터 전압의 범위는 1.12 $V < V_d < 1.52 V$ 로서 40 μ s의 selection 펄스 폭으로 구동하는 것보다 넓어짐을 알 수 있다. 이전의 발표 논문에서는 0.5 μ s의 selection 펄스로 단위 셀을 구동할 수 있었지만,^[8] 매트릭스 구동을 하는 경우는 selection 펄스의 폭이 넓어진다. 따라서 매트릭스 어드레싱 구동을 위해서는 기울기가 큰 $W(t)$ 이 필요하다. 즉, 한 화소의 스위칭에 영향을 주는 데이터 전압의 영향을 감소시켜야 함을 의미하는 것이다. 그림 12는 300라인을 구동하는 경우의 매트릭스 구동을 한 사진이며 측정된 콘트라스트 비는 50:1이다.

VIII. 결 론

본 논문에서는 쌍안정 TN LCD패널을 구동하기 위한 패널 파라미터와 구동 파형을 최적화하는 방법을 제시하였다. 셀의 두께는 2.25 μ m, $d/p=0.59$ 의 단위 셀에서 매트릭스 어드레싱 파라메타인 임계에너지, 포화에너지, C값, weighting 함수가 각각 2.60[V²·ms], 4.58[V²·ms], 1.415, 1072.9 μ s로 측정되었고, 이로부터 패널의 매트릭스 어드레싱 구동을 위한 데이터 전압의 적절한 범위를 구할 수 있었다. 계산된 데이터 전압의 범위는 1.32V < Vd < 1.49V이며, 측정된 실험 값은 1.3V < Vd < 1.5V으로서 시뮬레이션 값과 잘 일치됨을 확인할 수 있었다. 그리고 이러한 방법을 이용하여 selection 펄스의 최소 폭을 계산함으로써 주어진 프레임 내에서 구동 가능한 최대 라인 수를 계산할 수 있었고 시뮬레이션과 실험을 통하여 주어진 셀의 조건에서 40 μ s 까지 펄스 폭을 줄일 수 있음을 알 수 있었다. 이와 함께 액정의 d/p 에 의한 매트릭스 어드레싱 구동 특성을 시뮬레이션하여 쌍안정 TN LCD 패널이 매트릭스 어드레싱이 가능한 d/p 범위가 0.47보다 커야 됨을 알 수 있었고 실험을 통하여 이러한 결과를 확인 하였다.

참고문헌

- [1] T. Tanaka, Y. Sato, A. Inoue, Y. Momose, H. Nomura and S. Iino: Asia Display '95 259 (1995).
- [2] C. D. Hoke, J. R. Kelly, J. Li and P. J. Bos: Jpn. J. Appl. Phys. **36**, L227 (1997).
- [3] C. D. Hoke, J. R. Kelly, J. Li and P. J. Bos: SID Int. Symp. Dig. Tech. Pap. **28**, 29 (1997).
- [4] J. C. Kim, G.-J. Choi, Y.-S. Kim, K. H. Kang, T.-H. Yoon, K. G. Nam, H. S. Kim and E.-S. Lee: SID Int. Symp. Dig. Tech. Pap. **28**, 33 (1997).
- [5] T. Z. Qian, Z. L. Xie, H. S. Kwok and P. Sheng: Appl. Phys. Lett. **71**, 596 (1997).
- [6] T. Tanaka, Y. Sato, T. Obikawa, H. Nomura and S. Iino: Int. Display Research Conf. 64 (1997).
- [7] H. S. Kwok, T. Z. Qian, Z. L. Xie and P. Sheng: Int. Display Research Conf. 89 (1997).
- [8] G. D. Lee, H. S. Kim, T. H. Yoon, J. C. Kim and E. S. Lee: SID Int. Symp. Dig. Tech. Pap. **29**, 842 (1998).

Optimization of panel parameters and drive signals for high-speed matrix addressing of a bistable twisted-nematic LCD

Gi-Dong Lee^{1*}, Ku Hyun Park¹, Ki Chul Jang¹, Tae-Hoon Yoon^{1,2}, Jae Chang Kim^{1,2} and Eung-Sang Lee³

¹*Department of Electronics Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea*

²*Research Institute of Computer, Information and Communication, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea*

³*Samsung Display Devices Co., Suwon 442-390, Korea*

(Received October 19, 1998, Revised manuscript received December 1, 1998)

In this paper we introduce a method to optimize panel parameters and drive signals in a matrix-addressed bistable twisted-nematic (BTN) liquid crystal display (LCD) panel. We measured the effect of data pulses on optical switching characteristics in a BTN LC cell to model the effect theoretically. We introduce a weighting function to model the effect of data pulses on the switching energy as a function of time. Once the weighting function is known, we can estimate the maximum number of lines for multiplexing operation at a given frame rate by calculating the minimum data pulse width. By characterizing a unit cell as we change panel parameters (for example, d/p ratio), we can optimize parameters for high-speed operation. We found that our theoretical predictions agree very well with experimental results.