

TFT LCD의 고속응답 속도 달성을 위한 LC, TFT 구조 및 구동회로에 대한 연구

김범진, 이준신, 강승재
성균관대학교 정보통신공학부, 삼성전자

A Study of Liquid Crystal, TFT Structure, Operating Circuit of a-Si TFT LCD for High Response Time

Bumjin Kim, Junsin Lee, and Seungjae Kang
School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Samsung Electronics

Abstract - 본 연구는 LCD 화질의 중요 Issue중 하나인 고속 응답 속도를 달성하기 위해 액정의 물성 및 TFT 구조 그리고 구동회로에 있어 필요한 조건을 찾기 위한 연구로서 응답속도에 관련된 주요 인자 중 특히 pixel에 인가되는 전압에 관련된 구동회로 조건과 TFT 구조에 초점을 맞추고 있다. 소비전류 Issue가 없는 Monitor 향 제품과 달리 Note 향 LCD 제품의 경우 액정의 유전율을 상승시켜 고속응답을 달성하고 있는데 이로 인해 Cst/Clc의 비율이 응답속도의 중요 인자로 작용하며 이에 최적 응답속도 달성을 위한 Cst/Clc 비율을 시뮬레이션 및 Test SPL 제작을 통해 제안하며 실제 pixel에 인가되는 Offset 전압에 의한 응답속도 유의차 및 Cusp 현상에 대해 논하였다

$$\tau_{off} = \frac{\gamma d^2}{\epsilon_0 \Delta \epsilon V_{th}^2} \quad \tau_{on} = \frac{\gamma d^2}{\epsilon_0 \Delta \epsilon (V^2 - V_{th}^2)}$$

여기서 k_{11} , k_{22} , k_{33} 는 액정의 탄성상수, ϵ_n 는 액정의 유전율, γ 는 액정의 회전점도 (rotational viscosity), d 는 cell gap, V 는 액정 인가전압을 의미하며 이로부터 액정의 응답속도 향상을 위한 인자와 요구 특성들을 아래와 같이 추출할 수 있다.

1. 회전점도 rotational viscosity(γ)를 작게 한다.
2. 비등방성 유전율 차이($\Delta\epsilon$)를 크게 한다.
3. 탄성 상수 (k)를 크게 한다.
4. d 를 낮추기 위해 액정의 복굴절율 (Δn)을 크게 한다.
5. 액정 인가전압 V 를 조절한다.

하나 일반적으로 유전율이방성, 복굴절율 및 탄성계수가 큰 액정 물질의 경우 회전점도가 높으며 이를 감안하여 회전점도가 다소 상승하더라도 응답속도 향상을 위해 유전율이방성, 복굴절율 및 탄성계수 등이 현저하게 높은 액정을 선택하여야 한다.

2.2 응답속도 향상을 위한 전압 최적화

2.2.1 Black/White 전압에 의한 응답속도 변화

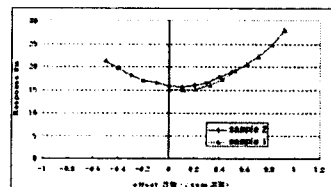
실제 TN-LCD Note Module의 경우 극성 반전 구동방식을 적용하고 있으며 WtoB 응답속도에 영향을 미치는 전압은 White 계조 표현을 위한 전압 V_{white} 와 Black 계조 표현을 위한 전압 V_{black} 이므로 이들 전압에 의한 응답속도의 유의차를 검증한 결과 V_{black} 보다는 V_{white} 에 의해 응답속도의 falling time이 크게 영향을 받음을 알 수 있었다.

<표 1> V_{black} / V_{white} 에 따른 응답속도

V_{white}	V_{black}	T_{on}	T_{off}	T_{total}	V_{white}	V_{black}	T_{on}	T_{off}	T_{total}
0.5	3.6	3.55	10.60	14.15	0.1	3.6	3.39	9.89	13.28
	3.7	3.68	10.42	14.10	0.2		3.41	9.85	13.26
	3.8	3.35	10.82	14.17	0.3		3.44	9.88	13.32
	3.9	3.30	10.72	14.02	0.4		3.38	10.56	13.94
	4.0	3.14	10.84	13.98	0.5		3.55	10.60	14.15
	4.1	3.13	10.88	14.01	0.6		3.42	10.65	14.07
	4.2	3.13	10.87	14.00	0.7		3.76	14.35	18.11
	4.3	2.97	11.19	14.16	0.8		3.37	14.81	18.18
	4.4	3.18	10.96	14.14	0.9		3.35	14.95	18.30
							1.0	3.58	14.54

2.2.2 Kickback을 고려한 Pixel인가 전압 최적화

TFT의 구조적 한계로 생성되는 기생 cap들로 인해 외부에서 인가되는 전압보다 실제 pixel에 인가되는 전압은 차이(ΔV)를 가지며 이를 kickback이라 한다. kickback을 고려한 실제 pixel에 인가되는 전압과 응답속도와의 관계를 알기 위해 V_{com} 의 가변에 따른 flickering과 응답속도의 관계, 그리고 kickback 효과에 의한 V_{black} / V_{white} 전압 감소량 split 평가결과 flickering이 최적일 때 응답속도가 최적이었으며 V_{black} 보다는 V_{white} 의 kickback 효과에 의한 전압감소량 split에 의해 응답속도가 크게 영향을 받음을 알 수 있었다.



<그림 2> 공통전극 전압 (V_{com})에 따른 응답속도

1. 서 론

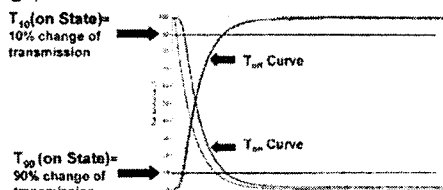
최근 각종 TFT-LCD Application에서 요구되고 있는 고속응답 달성을 위한 인자로서 액정의 유전율 이방성의 극대화, 액정 인가 전압의 상승, Cst/Clc 비율 상승 등이 필요하나 특히 휘도 및 저 소비 전력이 큰 이슈인 Note PC향 LCD Module의 경우, Monitor와 TV향 Module과는 달리 고개구율 Panel 구조 개발 경향으로 인해 TFT-LCD의 Cst의 감소가 요구되고 있어 이에 따라 고개구율 및 고 Cst 획득을 위한 TFT PA 및 TFT 구조가 필요시 되고 있으며, 액정 인가전압은 소비전력이슈로 인해 쉽게 상승시킬 수 없어 유전율 이방성이 높은 고유전성 액정을 개발하고 있는 추세이다.

본 연구에서는 Black to White 고속응답 달성을 위한 최적 조건을 얻기 위하여 일반적인 TFT-LCD 구동회로 측면에서 액정인가 전압 및 Kickback을 고려한 액정 인가 전압에 따른 응답속도의 변화를 연구하였으며 TFT-LCD 구조 측면에서 응답속도의 저하에 큰 영향을 미치는 Cusp 현상과 이를 최소화하기 위한 Simulation을 실시하고 실제 Test Cell을 제작하여 Cst/Clc 비율에 따른 응답 속도의 변화와 실험적 조건 하에서의 Cst/Clc 비율을 제안하고자 한다.

2. 본 론

2.1 TFT LCD의 응답속도와 주요인자

액정의 응답속도란 입력 편광판과 액정 cell 그리고 출력 편광판을 통과한 후 빛의 투과율을 100%라 할 때 투과율이 10%와 90%사이로 변화하는 시간의 합을 말하는 것으로 10%에서 90%까지 변했을 때 걸린 시간을 rising time, 그 반대를 falling time이라 하며 이들의 합을 white to black 응답속도라 한다.



<그림 1> 응답속도 파형과 정의

$$T_{on} = T_{90} - T_{10} \quad (T_{on} \text{ Curve}), \quad T_{off} = T_{90} - T_{10} \quad (T_{off} \text{ Curve})$$

$$\text{Response Time} = T_{on} + T_{off}$$

액정 cell 안의 탄성 에너지, 전기 에너지, 표면 배향 에너지들의 총 전체 자유 에너지가 가장 안정화되는 threshold voltage (V_{th})를 수학적으로 구하고 이로부터 torque balance법을 이용하여 액정의 응답속도에 대한 공식을 구하면 다음과 같다. [1], [2], [3]

$$V_{th} = \pi \sqrt{\frac{k_{11} + (k_{33} - 2k_{22})/4}{\epsilon_0}} \approx \pi \sqrt{\frac{k_{11}}{\epsilon_0}} \quad (\phi(z) \approx \pi z / 2d)$$

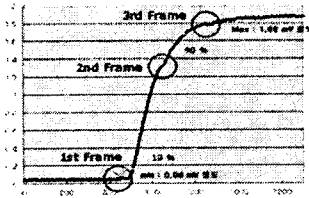
<표 2> Vwhite의 kickback 효과에 의한 전압 감소량에 따른 응답속도

ΔV of Vwhite	Ton	Toff	Total
0.8 V	4.43	12.41	16.84
0.9 V	3.96	14.01	17.97
1.0 V	4.30	14.84	19.14
1.2 V	4.22	17.88	22.10
1.3 V	4.26	20.17	24.43

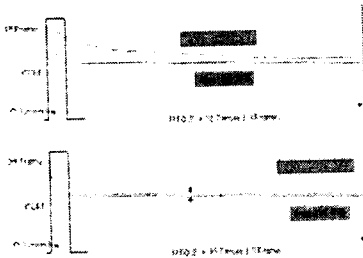
2.3 응답속도 향상을 위한 TFT 구조 최적화

2.3.1 응답속도 파형의 Cusp 현상

액정의 유전율 이방성에 의해 액정에 인가되는 전압에 따라 액정의 cap 값은 변하게 되며 이에 따라 아무리 빠른 응답속도를 갖는 액정이라도 한 frame time 동안 처음 의도한 휘도의 100%에 도달하는 것은 불가능하다. Cusp이란 전압 인가 초기에 휘도의 배향 방향이 변경되면서 유전율의 차이가 발생하며 이로 인해 pixel ITO에 인가되는 전위와 액정이 느끼는 전위 간 값의 차이가 발생하여 응답속도 측정 파형에서 파형의 불연속점으로 나타나는 현상을 말한다. Cusp은 모든 액정에 동일하게 발생하는 현상이나 응답속도의 정의 구간인 10% to 90% 투과율 기간에서 발생한다면 응답속도의 저하를 초래한다.



<그림 3> 응답속도의 Falling time 측정시 Cusp 현상



<그림 4> black to white 전환시 pixel ITO 전위와 액정이 실제 느끼는 전위의 1st frame time과 2nd frame time간 비교

2.3.2 Cusp 효과 감소를 위한 Simulation

Pixel의 액정에 인가되는 전압 중 1 frame time 기간 동안 처음 인가된 전압을 Vi, 액정이 변화된 다음의 최종 전압을 Vf라 하면 간단한 전하량 보존의 법칙으로부터 다음과 같은 공식을 유도할 수 있다.

$$Q = (C_{st} + C_k)V = (C_{st} + \epsilon_0 \epsilon_A / d)V$$

$$V_i = \frac{Q}{(C_{st} + \epsilon_0 \epsilon_A / d)} \quad V_f = \frac{Q}{(C_{st} + \epsilon_0 \epsilon_1 A / d)}$$

Cusp이란 액정의 유전율 이방성에 의해 Vi와 Vf간 전압차에 의해 발생하는 것이므로 이로부터 간단하게 Cusp의 감소를 위해 Cst의 증가, Clc의 감소, black/white 구동전압 최적화가 필요함을 알 수 있으며 상기 수식을 이용하여 응답속도에 영향을 미치는 투과율 10% to 90% 구간의 Cusp 현상을 없애기 위해 Vwhite, Vblack, Cst/Clc 비율의 조건을 구하는 simulation을 실시하고자 Vf를 구하면 다음과 같다.

$$\epsilon_1 / \epsilon_1 = x, \quad C_{st} / C_k = y, \quad V_{black} = V_b, \quad V_{white} = V_w \text{ 라 하면}$$

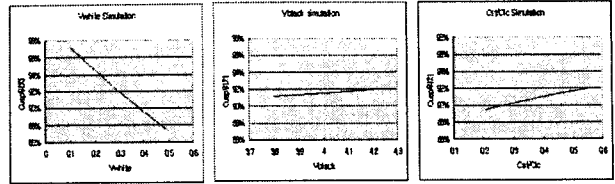
$$Q = (C_{st} + \epsilon_0 \epsilon_A / d)V_w = (C_{st} + \epsilon_{s1} A / d)V_{bw} = (C_{st} + \epsilon_{final} A / d)V_f$$

$$= C(V_b) \times V_w = C(V_f) \times V_f$$

$$V_f = \{-[\gamma(x+2)(V_b - V_w) + 3x(V_b - V_w) - 3(x-1)V_b] + \{[\gamma(x+2)(V_b - V_w) + 3x(V_b - V_w) - 3(x-1)V_b]^2 + 12(x-1)[\gamma(x+2)(V_b - V_w) + 3x(V_b - V_w)]V_w\}^{0.5}\} / [6(x-1)]$$

black에서 white로 변하는 pixel ITO 인가전압 간 차이 대비, black에서 실제 인가되는 Vf 전압 간 차이의 비율을 Cusp 발생 위치라 할 수 있으므로 위 수식으로부터 각 조건에 따른 Cusp 발생 위치를 파악 할 수 있다. Simulation을 위한 model로 15.4 inch note module parameter를 다음과 같이 선정 한 뒤 Simulation결과 다음과 같은 결과가 나왔다.

$$\epsilon_1 / \epsilon_1 = 3.75, \quad C_{st} / C_k = 0.55, \quad V_{black} = V_b = 4.2V, \quad V_{white} = V_w = 0.3V$$



<그림 5> Vw, Vb, Cst/Clc비율 별 Cusp 발생 위치 Simulation 결과

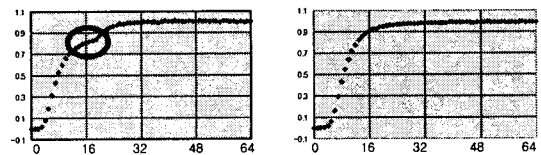
Simulation 결과 Vwhite와 Cst/Clc 비율이 Cusp 현상에 매우 유의하며, Vblack은 Cusp 현상에 큰 영향을 미치지 않았으며, Test 조건에서 Vwhite는 0.38V이하일때, Cst/Clc 비는 0.26 이상일때 Cusp이 90% 이상인 지점에서 발생하여 응답속도에 영향을 미치지 않는다.

2.3.2 실제 Cst/Clc 비율에 따른 Cusp 현상 및 응답속도

TFT에서 Cst 형성을 위해 설계된 Metal의 면적만을 키워 Cst를 Split한 Test Cell을 제작한 뒤, Cst/Clc 비율에 따른 Cusp의 발생유무와 응답속도를 측정 한 결과는 다음과 같다.

<표 3> Cst/Clc 비율에 따른 Cusp 발생 위치 및 응답속도

	SPL 1	SPL 2	SPL 3	SPL 4
Cst	0.239pF	0.271pF	0.379pF	0.487pF
Clc	0.542pF (ε ₁ : 13.6, Cellgap 4.0um기준)			
Cst:Clc	0.44:1	0.50:1	0.70:1	0.90:1
Ton	4.81	4.81	4.16	3.94
Toff	15.08	10.10	9.86	9.84
Ttotal	19.89	14.91	14.02	13.78
Cusp 위치	88%	90%	91%	91%



<그림 6> Cst/Clc 비에 따른 응답파형 비교

Test Cell의 응답속도 측정 결과, Cst가 증가할수록 Cusp현상이 응답속도 유효구간에서 사라지는 것을 발견할 수 있었으며, 응답속도 또한 감소하는 것을 알 수 있었다. 단, Cst의 증가는 개구율의 감소를 초래하며 이에 따라 휘도가 저하되는 단점이 있으며 그에 비해 응답속도가 크게 감소하는 것이 아니므로 이를 고려하여 설계하여야 한다.

3. 결 론

액정의 응답속도에 영향을 미치는 주요인자는 회전점도, 비등방성 유전율 차이, 탄성 상수, 복굴절율, 액정 인가전압 등이 있으며 이 중에서 구동회로 측면에서 액정 인가전압을 검토해본 결과 White 제조현을 위해 인가되는 전압인 Vwhite가 응답속도에 매우 유효하며, 같은 영향으로 Vwhite의 kickback 효과에 의한 전압 감소량 또한 매우 유효하며, flickering이 최적일 때 응답속도 또한 최적화가 됨을 발견하였다.

TFT 구조적인 측면에서 응답속도를 분석한 결과 액정의 유전율 이방성에 의해 응답속도 파형에 Cusp 현상이 발생함을 파악했으며 이를 개선하기 위해 simulation을 실시, Cusp 현상의 주요 인자가 Vwhite와 Cst/Clc 비율이라는 것을 도출해 냈다.

ε₁ / ε₁ = 3.75, C_{st} / C_k = 0.55, V_{black} = V_b = 4.2V, V_{white} = V_w = 0.3V 일때 Cusp 이 사라지는 조건은 Vwhite는 0.38V이하, Cst/Clc 비는 0.26 이상 이어야 하며 실제 Test Cell을 제작하여 Cst/Clc 비율에 따른 응답속도 및 Cusp 현상에 대해 관찰해본 결과 Cst/Clc 비율 0.50 이상일 경우 Cusp 현상이 사라지며 비율이 상승 할수록 응답속도가 감소하는 것을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] C. H. Gooch and H. A.Tarry, "The optical properties of twisted nematic liquid crystal structures with twist angles ≤90°", J. Phys. D., p8, 1575(1975).
 [2] W.H.de Jeu, J.van der veen, "Mol. Cryst. Liq. Cryst." 40, p.1, 1977
 [3] a) J.L.Erickson, "Trans. Soc. Pheol.",5, p23, 1961; b) A.Raviol, W.Stile, G.Strol, "J. Chem. Phys", 103, p3788, 1995