

기술특집

저소비전력 LCD 구동방법

권오경, 성유창 (한양대학교 전자전기컴퓨터공학부)

본 고에서는 평판 디스플레이 소자로서 가장 널리 사용되는 액정 디스플레이의 저소비전력 구동방식에 대하여 기본적인 구동 원리 및 특징을 중심으로 살펴보고자 한다.

I. 서 론

최근 초고속 정보통신의 급성장에 따라 차세대 이동 통신용 정보통신 단말기 및 개인 휴대 통신(PDA)의 디스플레이 장치로서 현재 PMLCD(Passive Matrix Liquid Crystal Display)가 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 이동 통신의 대역폭이 커지고, 관련 콘텐츠의 종류가 다양해지고 그 양이 많아짐에 따라, PMLCD에 비하여 화질이 우수한 AMLCD(Active Matrix LCD)가 주목 받고 있다. 그러나 우수한 화질에도 불구하고 PMLCD보다 높은 소비전력은 지금까지 휴대용 정보 통신 단말기의 디스플레이 장치로서 AMLCD가 자리잡는데 걸림돌로 작용하고 있었다. 그러므로 휴대성이 강조되는 통신 단말기용 디스플레이 소자로서 AMLCD의 소비전력을 줄이는 것이 필수적이다.

AMLCD 구동 시 back-light를 제외하고 가장 큰 소비전력은 데이터 신호선의 기생 커패시턴스를 충전 및 방전하는 것에서 발생한다. 이러한 데이터 신호선의 구동 시 발생하는 소비전력은 식 (1)에서 나타낸 것처럼 전원 전압(V_{DD}), 기생 커패시턴스(C_L), 구동 전압의 변동폭(V_{SWING}), 데이터 신호선의 개수(N_{DATA}) 그리고 구동 주파수(F_{ROW})에 비례한다^[1].

$$P_{AVG} = V_{DD} \cdot I = V_{DD} \cdot \left(N_{DATA} \cdot C_L \cdot V_{SWING} \cdot \frac{F_{ROW}}{2} \right) \quad (1)$$

그러므로 소비전력을 줄이기 위해서 이러한 각각의 소비전력 발생 요인을 줄여야 한다. AMLCD 패널에서 데이터 신호선의 기생 커패시턴스(C_L)를 줄이기 위하여 저유전상수의 층간 유전물을 사용하거나, 구동 전압(V_{DD} 및 V_{SWING})을 낮추기 위하여 저전압 액정을 개발하는 등의 재료적인 연구와 더불어 구동방법에서 AMLCD의 소비전력을 줄이기 위하여 전원 전압을 줄이는 구동방법^[2~3], 구동 주파수를 줄이

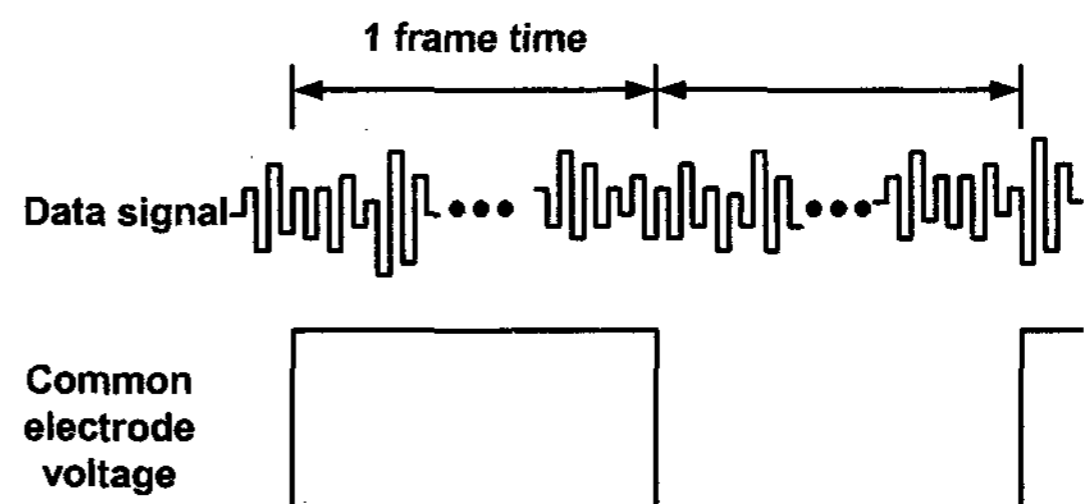
는 구동방법^[4~7], 구동 전압의 변동폭을 줄이는 구동방법^[8~11] 등에 대한 연구가 지속되어 왔다. 따라서 본 고에서는 저소비전력 AMLCD를 구현할 수 있는 구동방법에 대하여 식 (1)의 소비전력 발생요인별로 분류하여 설명하고자 한다.

II. 본 론

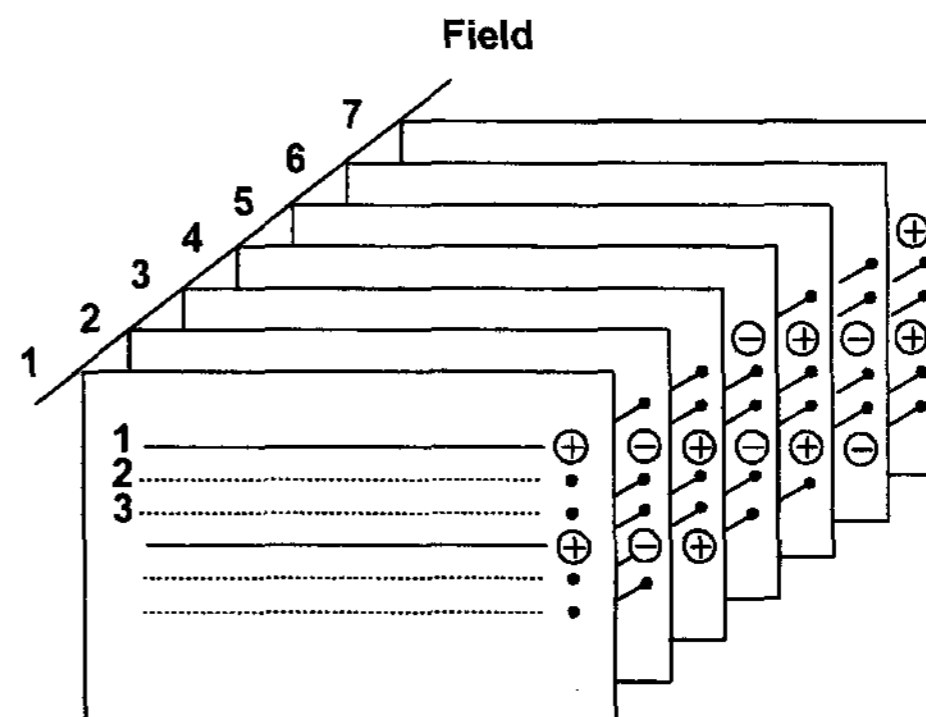
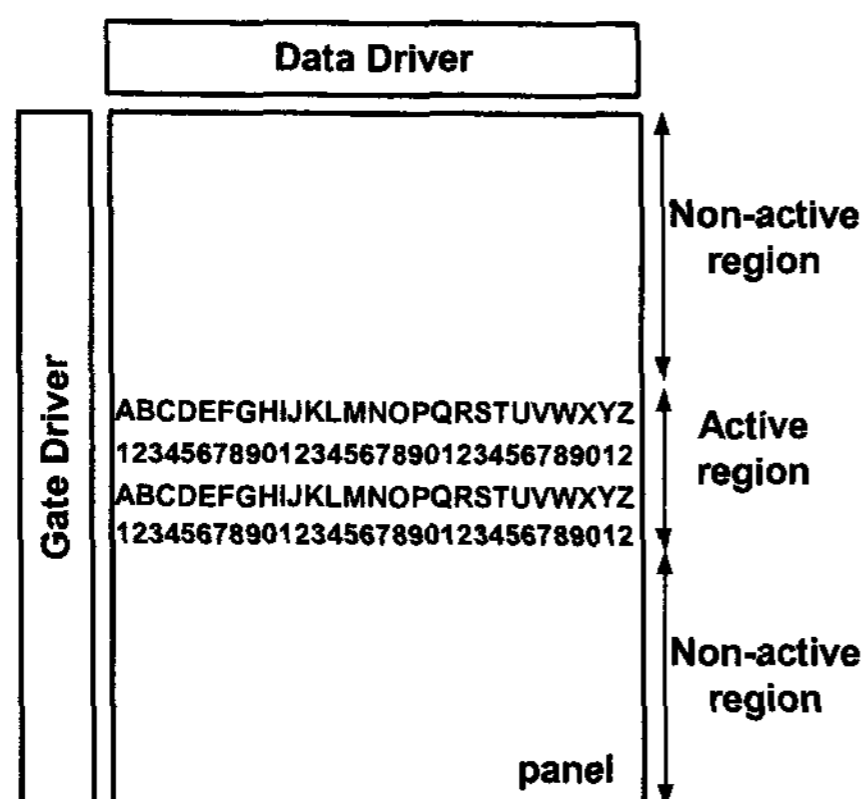
1. 전원전압(V_{DD})을 줄이는 저소비전력 구동방법

1) 공통전극 교번 구동

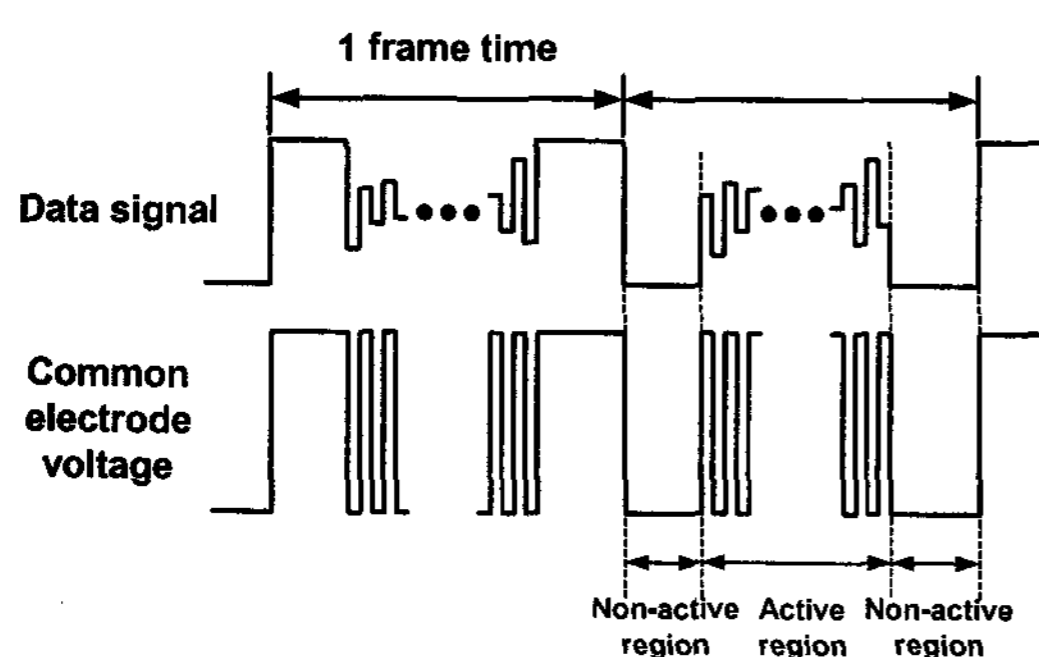
공통전극 교번 구동 방식^[2]은 액정의 인버전(inversion)시 상판의 투명 전극인 공통전극을 교번하여 데이터 구동회로의 전원 전압을 약 5V 정도로 낮추어서 구동함으로써 소비전력을 줄이는 것과 더불어 5V 정도의 낮은 전원 전압을 사용함으로써, 기존의 고전압 구동방식에 비하여 구동 LSI의 가격을 낮출 수 있는 장점이 있다. 그러나 공통전극을 교번하는데 소비되는 전력이 추가로 발생하게 된다. 그리고, 공통전극 교번 구동 방식을 적용함에 있어 액정의 인버전 방식 중 프레임 및 라인 인버전방식의 구동은 공통전극을 분할하지 않고도 구현할 수 있지만, 컬럼 및 도트 인버전등은 상판의 공통전극인 투명전극과 하판의 공통전극을 데이터 신호선 방향으로 분할해야 하므로 구현하기가 어렵고 복잡하다. [그림 1]은 프레임 인버전으로 공통전극을 구동할 시의 구동파형이다. 게이트 라인이 순차적으로 선택될 때



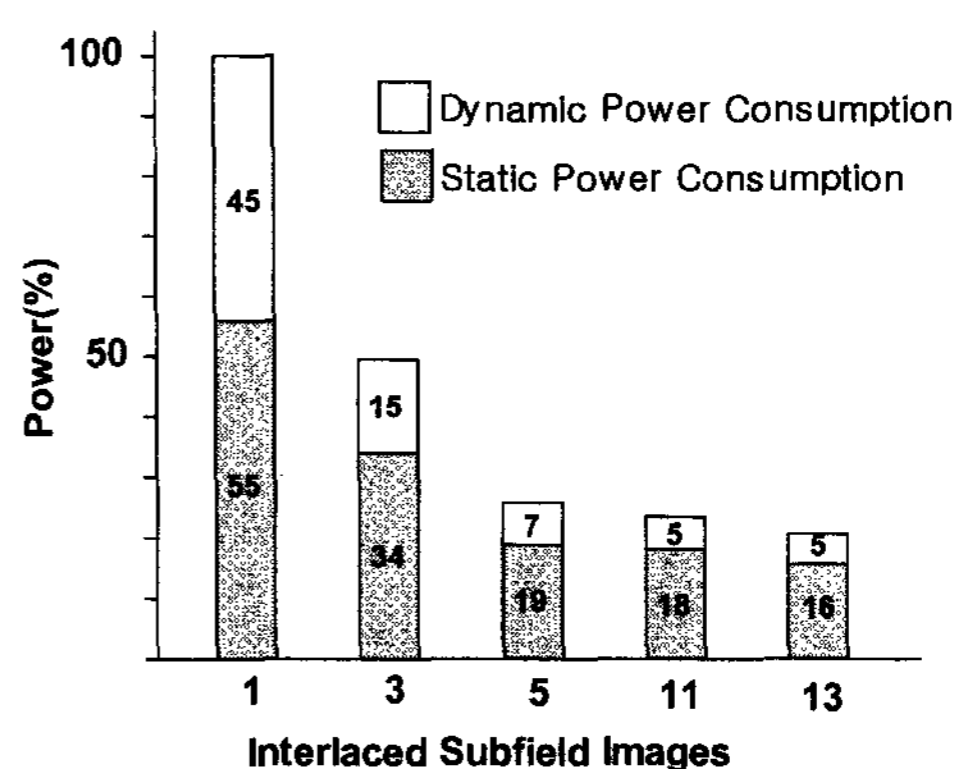
[그림 1] 공통전극 교번 구동방식의 공통전극 구동 파형도



[그림 3] Multi-field 구동방식의 sub-field별 구동 순서



[그림 2] 부분 구동 기능의 AMLCD 패널의 블록 다이어그램과 구동 파형도



[그림 4] multi-field 구동방식에서 sub-field 개수에 따른 구동 소비전력

다 데이터 화상 전압이 인가되고, 1 프레임에 1번씩 공통 전극을 교번시켜 준다.

공통전극을 게이트 신호선 방향으로 분할하지 않고 라인 인버전방식을 구현하기 위해서는 게이트 라인이 순차적으로 선택될 때 마다 1번씩 공통전극을 교번해야 한다. 이 경우 패널 전체가 하나의 공통전극이므로 공통전극의 기생 커패시턴스가 크므로 공통전극 구동 시 발생하는 소비전력이 커지게 된다. 정보통신 단말기용 디스플레이에서 화면전체가 구동되어야 할 경우와 [그림 2]와 같이 실제 화상 데이터가 표시되는 부분이 적은 화면이 있을 경우로 나눌 수 있다고 가정하면 구동이 필요한 부분만 데이터 신호를 인가하며, 공통전극을 교번하는 구동방식이 제안되어 부분 화면 구동시의 소비전력을 전체 화면 구동시 소비전력의 10% 이하로 줄일 수 있다^[3].

2. 구동주파수(F_{row})를 줄이는 저소비전력 구동방법

1) Multi-Field 구동방식^[4]

구동 주파수(F_{row})를 줄이면 소비전력이 줄어든다. 그러나 구동 주파수를 줄이면 플리커(flicker)가 심해져서 화질을 떨어뜨린다. 그러나 multi-field 구동방식은 한 프레임을 홀수개의 sub-field로 나누어서 구동 주파수를 기존의 1/(2M+1)로 낮추면서도 플리커(flicker)의 발생을 기존의 수준으로 낮추어 저소비전력 AMLCD를 구현하는 구동방법이다. [그림 3]은 M이 1일때, 즉 하나의 프레임을 3개의 sub-field로 나누었을 때의 예를 나타낸다. 첫번째 sub-field에

서 전체 화상의 1/3만이 주사되도록 하고, 두번째와 세번째 sub-field에서 각각 나머지 1/3의 화상이 주사되도록 한다. 이와 같이 구동했을 때, 발생하는 플리커는 인접 라인간에서 상쇄하는 방향으로 줄어들어 기존의 60 Hz 구동시와 동일한 수준이 되는 구동방법이다. [그림 4]는 multi-field 구동방법에 의한 소비전력 감소 효과를 나타낸다. 이러한 multi-field 구동방법과 공통전극 구동방식을 동시에 사용하여 소비전력을 더욱 줄일 수도 있다^[5]. 그러나 이러한 multi-field 구동방식은 frame memory가 필요하게 되고, 구동회로가 복잡한 단점이 있으며, 1초에 20-frame 내지는 그 이하로 화상 데이터가 refresh되기 때문에 동영상 표현에 문제가 있다.

2) 화소에 메모리를 내장하여 구동하는 방식

반사형 poly-Si TFT-LCD에서 화소에 메모리 소자를 내장하여 정지영상시 소비전력을 줄이기 위한 방법이 최근에 제안되었다^[6-7]. 이러한 구동방식은 화면을 동영상과 정지영상으로 구분하여 구동하게 되는데, 동영상시는 데이터 구동회로가 일반적인 구동을 하게 되고, 정지 영상시는 화소 내 메모리 소자의 데이터를 이용하여 구동함으로써 패널의 데이터 신호선을 충, 방전하는데 소비되는 전력을 절감할 수 있다. 화소에 내장되는 메모리 소자의 종류와 그 구동방식에 따라 SRAM 형식^[6]과 DRAM 형식^[7]으로 구분할 수 있는데, 그 특징을 [표 1]에 정리하였다.

[표 1] 화소에 메모리 소자를 내장한 반사형 poly-Si TFT-LCD의 구조별 특징

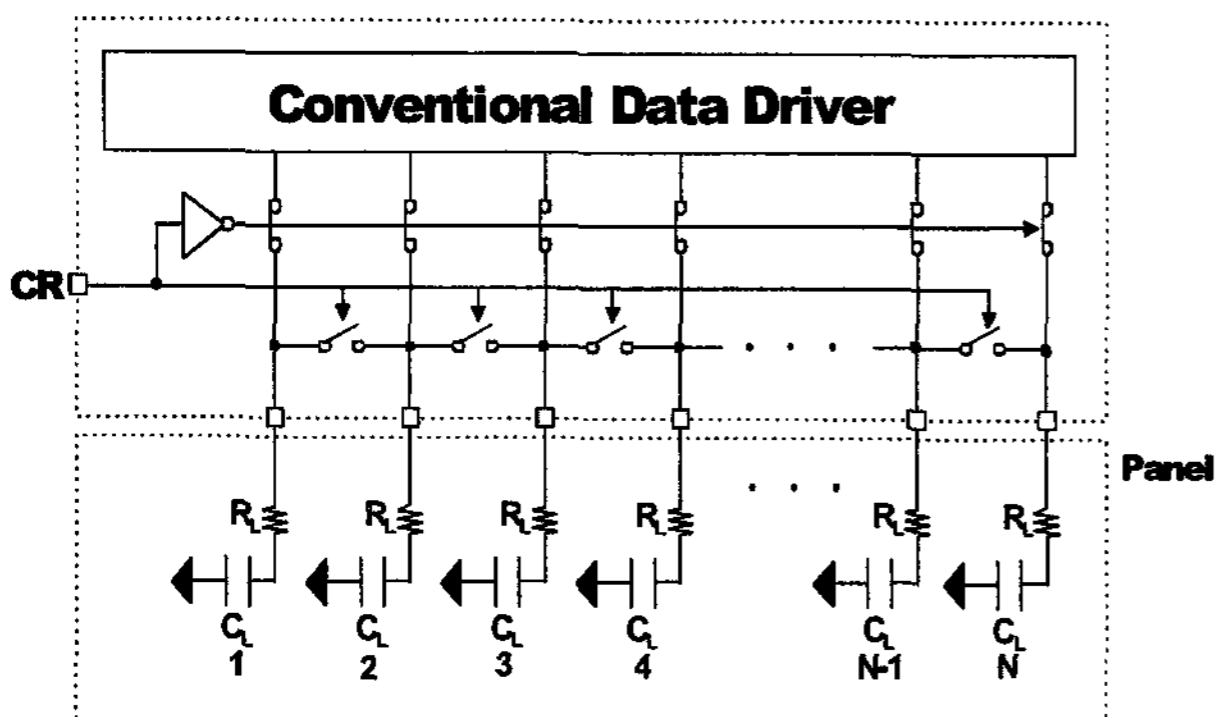
| | SRAM 형식 | DRAM 형식 |
|---------------|------------------|--|
| 개발 회사 | Toshiba | Mitsubishi |
| 해상도 | 144×RGB×176 | 132×RGB×162 |
| 동영상/정지영상시 계조수 | 4096/8 | 262k/4096 |
| 정지영상시 소비전력 | 동영상시 소비 전력의 1/20 | 동영상시 소비 전력의 1/8 |
| 비고 | 동영상시 공통 전극 교번 구동 | 동영상시 고전압 구동, 정지영상시 4Hz refresh, area ratio계조 |

3. 구동 전압의 변동폭(V_{SWING})를 줄이는 저소비전력 구동방법

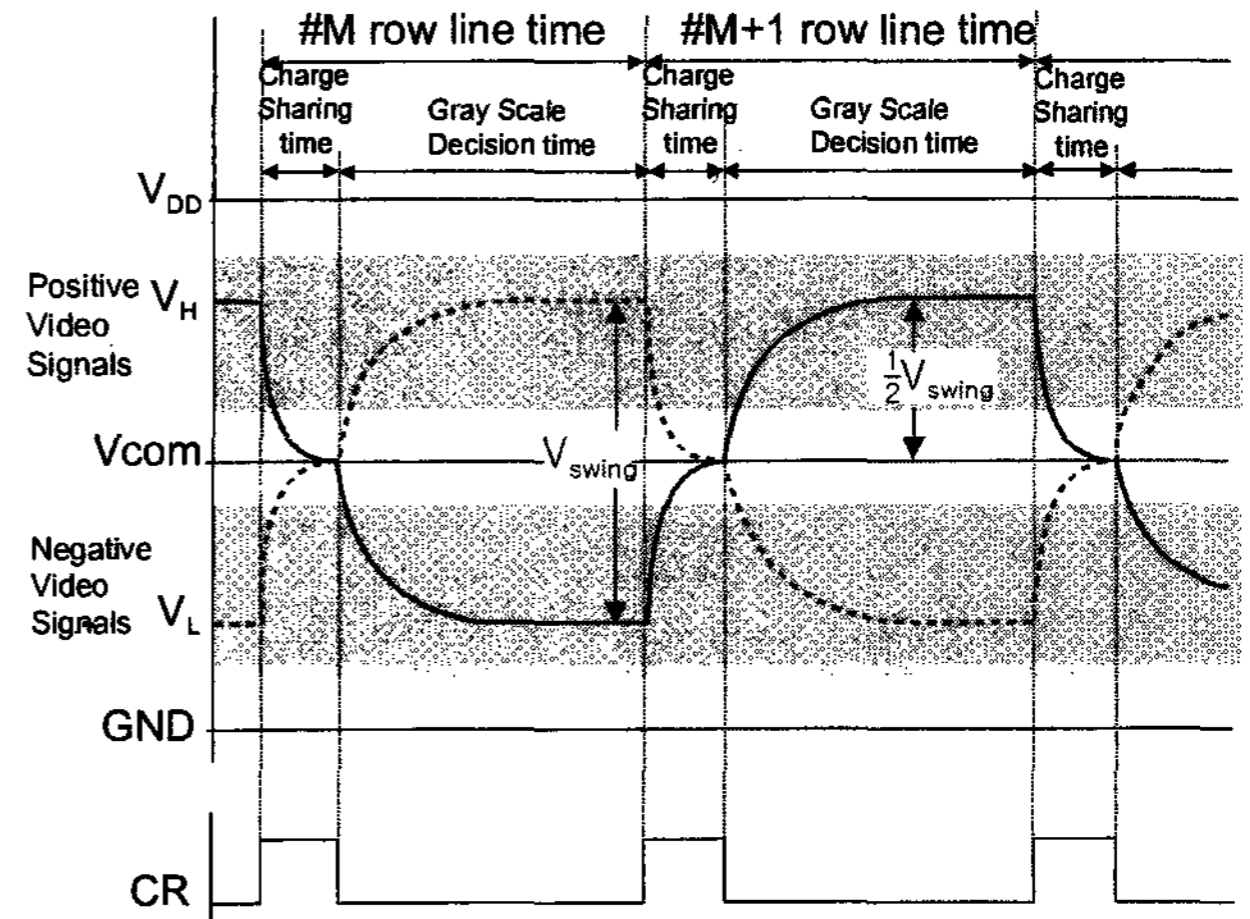
1) 전하 재활용 구동방법 (Charge sharing)^[1,8]

AMLCD를 도트 인버전으로 구동한다고 가정하면, 각 데이터 신호선에 인가되는 화상 신호의 극성이 반대이므로, 이웃한 각 데이터 신호선에도 반대 극성의 전하가 충전되어 있게 된다. 이 때, 구동회로가 새로운 화상 데이터로 구동하기 전에 [그림 5]에서와 같이 인접된 데이터 신호선간의 스위치를 통하여 전하를 공유(charge sharing)하면, [그림 6]에서 보듯이 모든 데이터 신호선들이 공통전극 정도의 전위를 유지하게 되고 그 이후에 데이터 구동회로가 데이터 신호선을 구동하면 구동 전압폭(V_{SWING})이 기존의 최대 1/2로 줄어들게 된다. 그러므로 데이터 신호선의 구동 시 소비전력을 최대 50%까지 절감할 수 있게 된다.

이러한 전하 공유를 이용한 구동방식은 그 구현이 간단하고 소비전력 절감 효율이 뛰어나서 대부분의 구동회로에서 채택하여 사용하고 있다.



[그림 5] 전하재활용 구동방식을 이용하는 데이터 구동회로의 블록 다이어그램



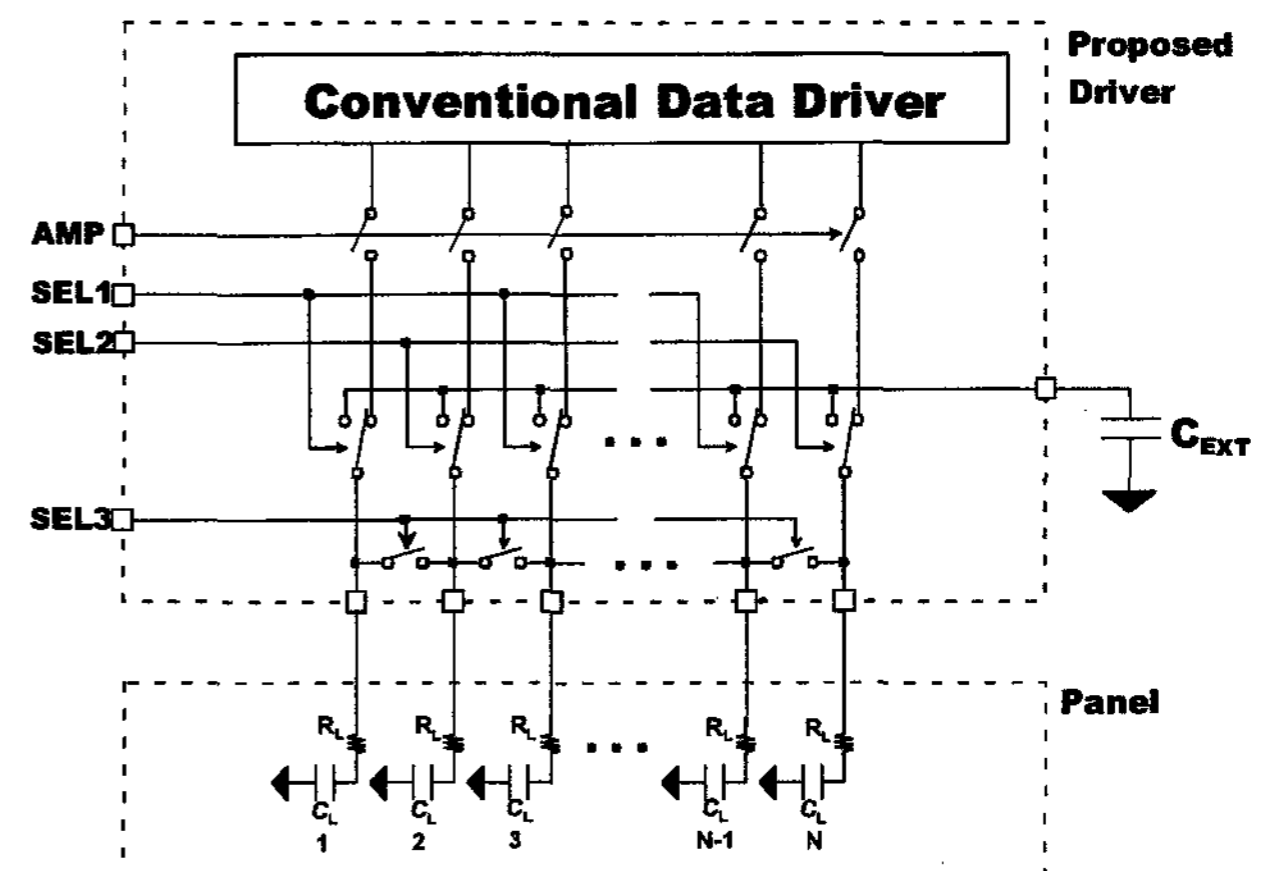
[그림 6] 전하재활용 구동방식의 구동 파형도

2) 삼단계 전하 재활용 구동방법 (Triple charge sharing)^[9]

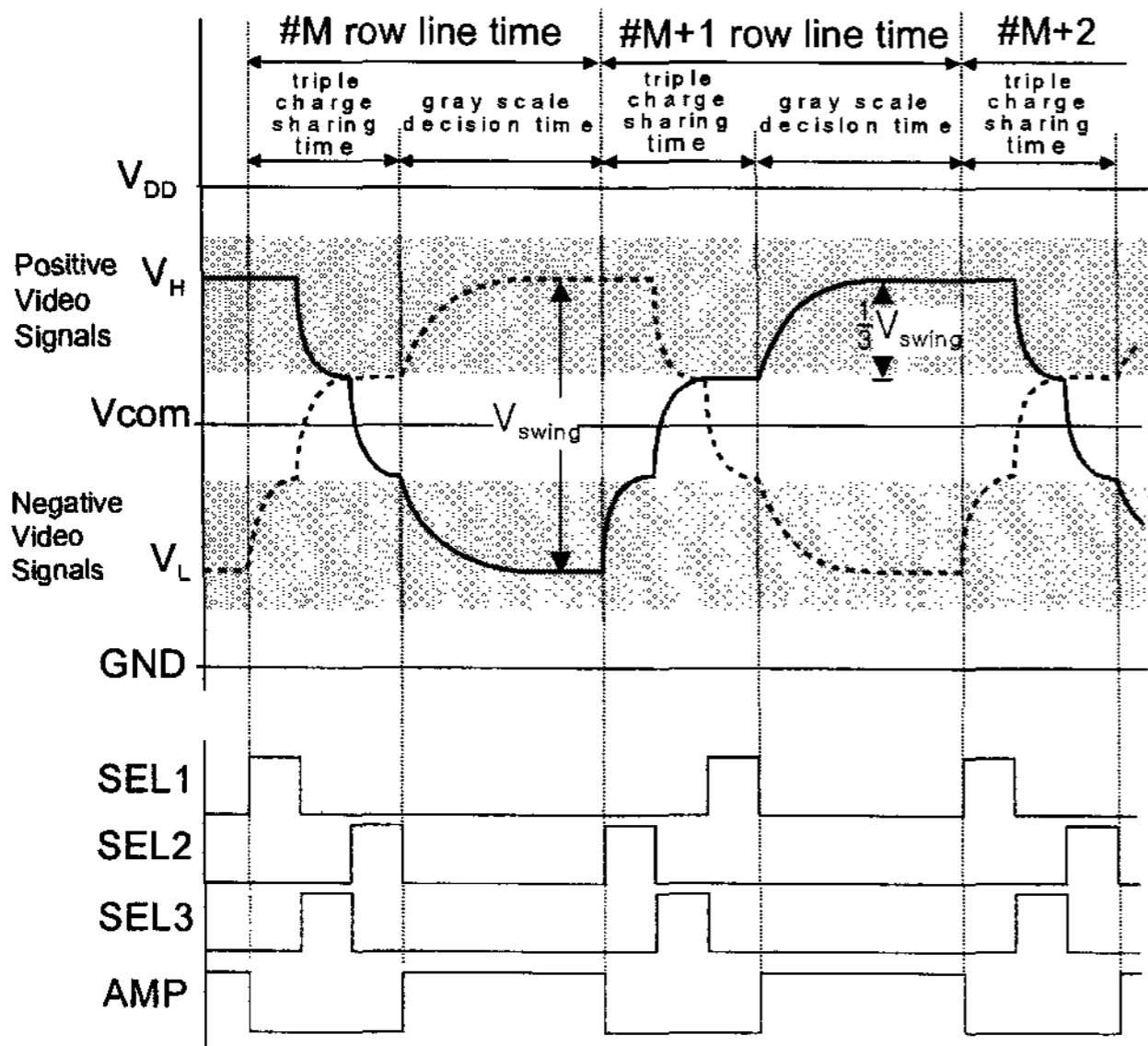
삼단계 전하 재활용 구동방법은 세번의 전하 공유를 통하여 소비전력 절감효율을 최대 66.6%까지 증가시킬 수 있는 구동방식이다. 이러한 삼단계 전하 재활용을 이용하는 구동회로는 기존의 구동회로에 [그림 7]과 같이, 전하를 공급하고 회수하는 하나의 외부 커패시터와 SEL3로 제어되는 인접 데이터 신호선사이의 스위치와 SEL1~2로 제어되는 스위치를 추가하여 구현할 수 있다.

삼단계 전하 재활용 구동방법은 본 구동방식 적용시 일정 전압($=V_L + 1/3 V_{SWING}$)으로 충전되어 보조 전원처럼 동작하게 되는 외부의 큰 커패시터를 이용하여 기존의 전하재활용 구동방식보다 2번 더 전하공유를 하게 됨으로써 소비전력 절감 효율을 최대 66.6%까지 향상시킬 수 있다.

[그림 8]의 V_{SWING} 은 V_H 와 V_L 의 전압차이며, 실선으로 표시된 짝수번째 데이터 신호선의 전압은 M번째 게이트 신호선 선택시간에 V_L 의 전압으로 구동 되었고, 이제 (M+1)번째 게이트 신호선이 선택되어, 짝수번째 데이터 신호선은 V_H 로 충전되어야 한다고 가정을 하면, SEL2의 신호에 의하여 짝수번째 데이터 신호선은 $V_L + 1/3 V_{SWING}$ 의 전압으로 충전된 외부 커패시터와의 전하공유를 통하여 $V_L + 1/3$



[그림 7] 삼단계 전하 재활용 구동방식을 이용하는 구동회로의 블록 다이어그램



[그림 8] 삼단계 전하재활용 구동방식의 구동 파형도

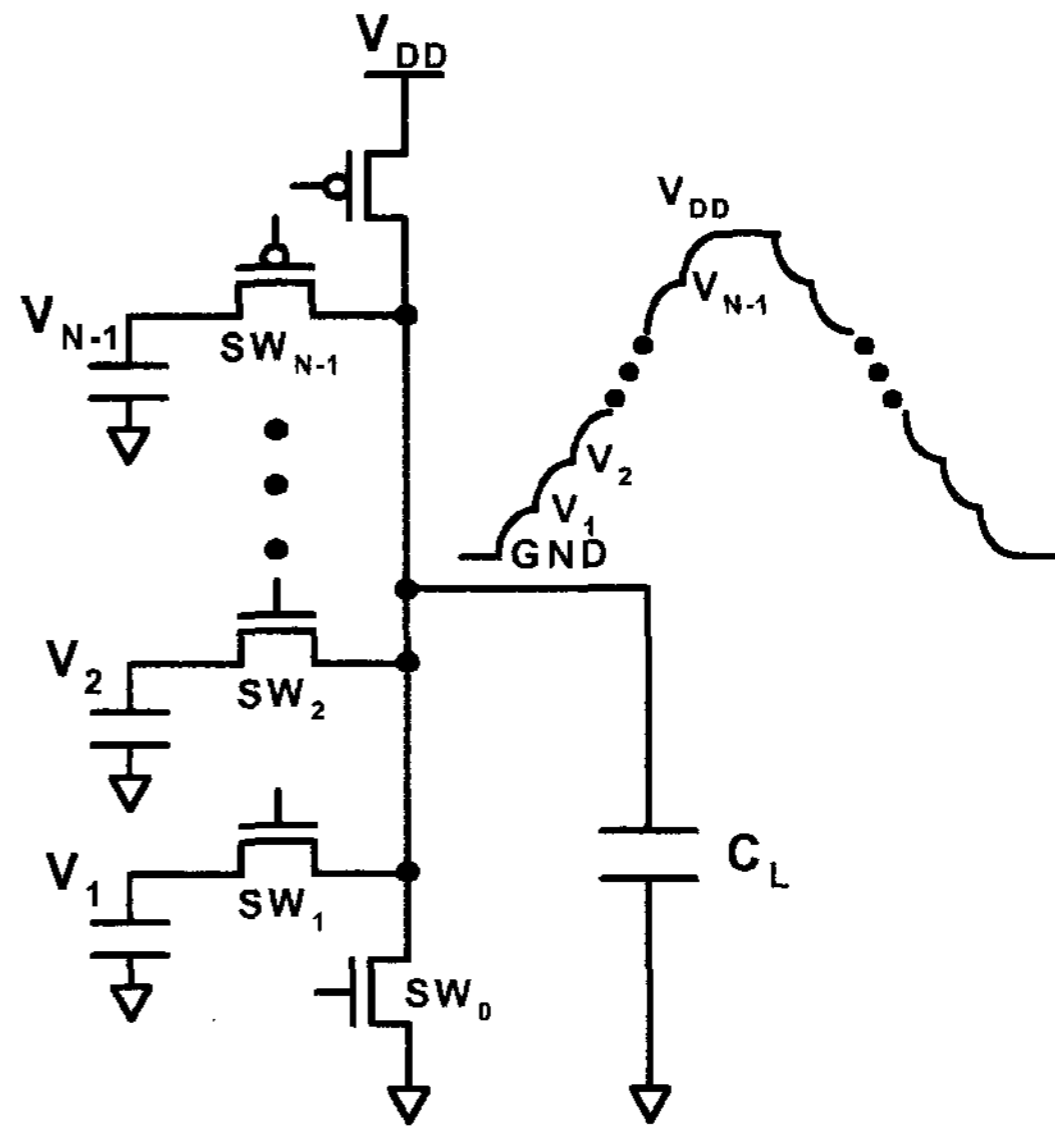
V_{SWING} 정도의 전압으로 충전되게 된다. 그리고 SEL3의 신호에 의하여 모든 데이터 신호선간의 전하공유가 일어나면, 모든 데이터 신호선은 약 $V_L + 2/3V_{SWING}$ 정도의 전압이 되게 된다. 그 후에 SEL1의 신호에 의하여 점선으로 표시된 홀수번째 데이터 신호선은 외부 커패시터와 전하 공유를 하게 되어 $V_L + 1/3V_{SWING}$ 정도의 전압으로 구동 된다. 이러한 삼단계 전하재활용이 끝나면, V_H 로 충전되어야 할 짝수번째 데이터 신호선은 $V_L + 2/3V_{SWING}$ 정도의 전압으로, V_L 의 전압으로 방전되어야 할 홀수번째 데이터 신호선은 $V_L + 1/3V_{SWING}$ 정도의 전압으로 구동 되게 된다. 이 이후에 AMP신호에 의하여 기존의 구동회로가 구동을 하게 되는데, 짝수번째 신호선의 경우 이미 삼단계 전하재활용 구동을 통하여 $V_L + 2/3V_{SWING}$ 으로 충전되어 있기 때문에 기존의 구동회로가 구동해야 하는 구동전압 폭이 1/3로 줄어들게 된다. 이는 구동 소비전력이 기존 구동방식 대비 1/3로 줄어들음을 의미한다. 이러한 삼단계 전하재활용을 이용한 구동방식은 기존의 구동회로에 간단한 스위치부를 추가하여 구현할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 소비전력 절감 효율을 66.6% 이상 얻지 못하는 한계가 있다.

3) 단계적 충전 및 방전을 이용한 데이터 구동방법^[11]

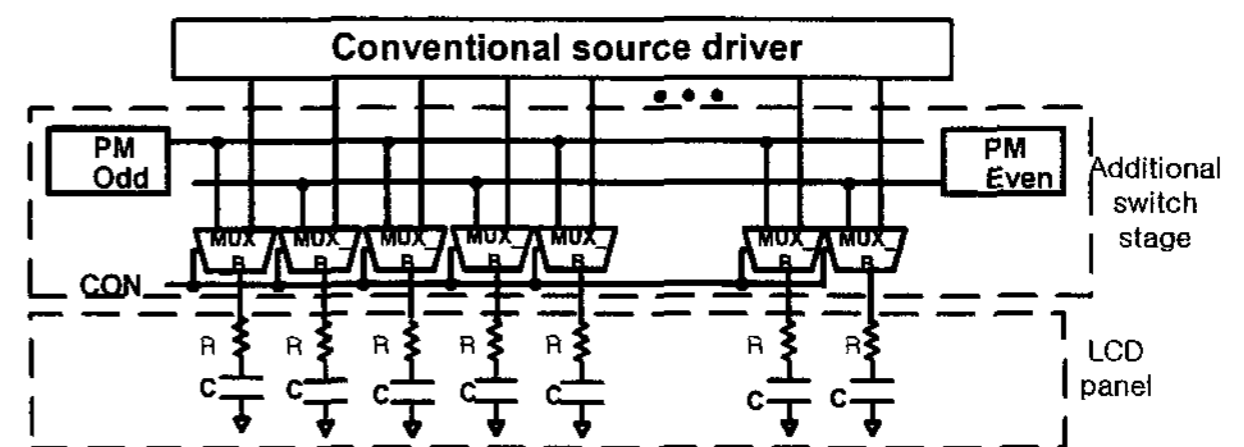
(Stepwise source driving)

이러한 삼단계 전하재활용의 소비전력 절감 효율의 한계를 극복하기 위하여 제안된 단계적 충전 및 방전을 이용한 데이터 구동방법은 [그림 7]과 같이 N-단계의 단계적 충전 및 방전을 통하여 커패시터 부하를 구동할 경우, 구동소비전력을 최대 1/N으로 줄일 수 있는 구동원리^[10]를 이용한 것이다.

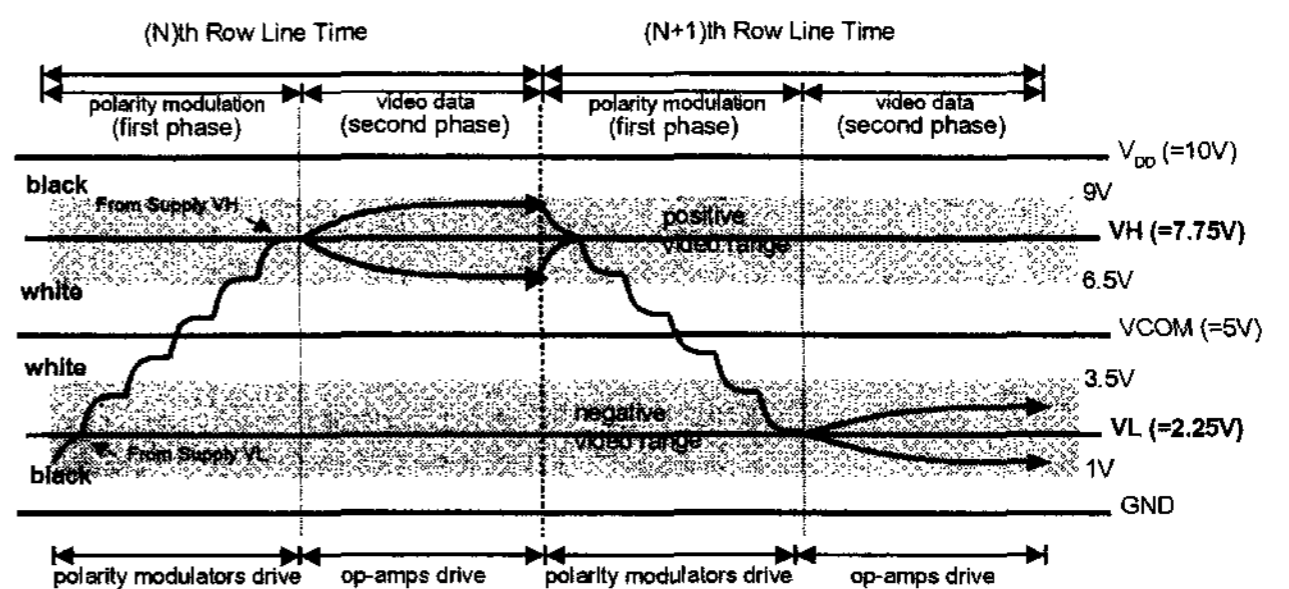
기존의 데이터 구동회로에 이러한 단계적 충전 및 방전 구동을 할 수 있는 2개의 극성 변조회로(PMODD와 PM EVEN)와 하나의 채널 당 극성 변조회로의 출력과 기존의 데이터 구동회로의 출력을 선택하여 출력할 수 있는 2:1



[그림 9] 단계적 충전 및 방전 구동회로와 단계적 구동 파형도



[그림 10] 단계적 충전 및 방전을 이용한 데이터 구동회로의 블록 다이어그램



[그림 11] 단계적 충전 및 방전을 이용한 구동방법의 구동 파형도

demultiplexer를 추가함으로써 [그림 9]과 같은 단계적 충전, 방전을 이용한 데이터 구동회로를 구성할 수 있다.

[그림 10]의 V_H 는 공통전극보다 높은 화상 전압영역의 평균전압이며, V_L 은 공통전극보다 낮은 화상 전압영역의 평균값을 의미한다. 하나의 게이트 신호선 선택시간을 극성 변조시간과 데이터 구동회로 구동시간으로 나누어서 극성 변조시간에 홀수번째 데이터 신호선은 V_L 에서 V_H 까지 단계적 충전을 하고 짝수번째 데이터 신호선은 V_H 에서 V_L 까지 단계적 방전 구동을 한 후, 기존의 데이터 구동회로가 구동하게 되는데 이미 표시해야 할 화상 영역의 평균값까지 구동되어 있는 데이터 신호선을 구동하기 때문에 구동시의 전압 구동폭이 작아지게 되어 소비전력을 줄일 수 있게 된다. 14.1인치 XGA급 TFT-LCD 패널을 부하로 가정하고

5단계의 단계적 충전 및 방전을 이용한 구동방식을 적용하여 simulation을 수행한 결과 최대 84.5%의 소비전력 절감 효율을 얻을 수 있었다.

III. 결 론

본 고에서 저소비전력 AMLCD를 구현하기 위한 구동방법을 소비전력 발생 요인별로 나누어서 구동원리 및 특징을 살펴보았다. 전원전압을 줄이는 구동방식으로써 공통전극 교번 구동방식과 구동 주파수를 줄이는 구동 방법으로써 multi-field 구동 방법과 화소 내에 메모리 소자를 내장하여 구동하는 방법에 대하여 알아보았고 구동 전압의 변동폭을 줄이는 구동 방법으로써 전하 재활용 구동, 삼단계 전하 재활용 구동, 단계적 충전 및 방전을 이용한 데이터 구동방법 등에 대해 살펴보았다. 그 중에서 단계적 충전 및 방전을 이용한 데이터 구동방법에서 최대 84.5%의 소비전력 절감 효율을 얻을 수 있었다. 향후, 소비전력 발생 요인별 저소비전력 구동방식을 혼합하여 사용하는 연구를 통하여 90% 또는 그 이상의 소비전력 절감 효율을 얻어서, AMLCD가 소비전력의 걱정이 없는 평판 디스플레이 소자로서 사용되는 날이 멀지 않다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] S. T. Kim *et al.*, "A novel method of charge recycling TFT-LCD source driver for low power consumption," in *Proc. of IDW'97*, pp.155~158, 1997
- [2] H. Okada *et al.*, "An 8.4-in. TFT-LCD System for a Note-Size Computer Using 3-Bit Digital Data Drivers," in *Proc. of IDRC.*, pp. 475-478, 1992.
- [3] T. Otose *et al.*, "A 230ppi 2.6-in. Poly-Si TFT Reflective LCD with Partial Display Function for Mobile Applications," in *Proc. of IDW'01*, pp. 351~354, 2001.
- [4] H. Okumura *et al.*, "Multi-Field Driving Method for Reducing LCD Power Consumption," in *SID Digest of Tech. Papers Vol. XXVI*, pp.249-252, 1995.
- [5] G. Itoh *et al.*, "Advanced Multi-Field Driving Method for Low Power TFT-LCD," in *Asia Display'95*, pp.493~496, 1995.
- [6] H. Kimura *et al.*, "A 2.15 inch QCIF Reflective Color TFT-LCD with Digital Memory on Glass (DMOG)," in *SID Digest of Tech. Papers Vol. XXXII*, pp.268~271, 2001.
- [7] M. Inoue *et al.*, "Low Power Consumption TFT-LCD with 4-bit Dynamic Memories Embedded in Each Pixel," in *IDW'01*, pp.1599~1602, 2001.
- [8] A. Erhart *et al.*, "Charge-Conservation Implementation in an Ultra-Low-Power AMLCD Column Driver Utilizing Pixel Inversion," in *SID Digest of Tech. Papers Vol. XXVIII*, pp.23-26, 1997.
- [9] Y. C. Sung *et al.*, "A Low-Power Data Driver for TFT-LCDs," in *SID Digest of Tech. Papers Vol. XXXI*, pp.142-145, 2000.
- [10] L. J. Svensson *et al.*, "Driving a Capacitive Load without Dissipating fCV^2 ," in *Proc. of the 1994 IEEE Symposium on Low Power Design*, pp.100-101, 1994.
- [11] B. D. Choi *et al.*, "A Low-Power Data Driver with Stepwise Driving Method for TFT-LCDs," in *SID Digest of Tech. Papers Vol. XXXII*, pp.273-276, 2001.