

LTPS-TFT を用いた低消費電力で動作可能な 小型携帯機器用高電圧発生回路

埴篤史*1, 吉田正廣*2

Low Power-Consumption High-Voltage Generator for Mobile Applications using LTPS-TFT

by

Atsushi HANAWA*1 and Masahiro YOSHIDA*2

(received on March 30, 2011 & accepted on July 26, 2011)

Abstract

In this paper, a low power-consumption high-voltage generator composed of a new type level-shift circuit for mobile applications using LTPS-TFT (Low Temperature Poly Silicon-Thin Film Transistor) is proposed. To verify electrical characteristics of the proposed level-shift circuit and the high-voltage generator, the circuit analysis carried out by using the simulation program HSPICE. As a result, the power consumption of the proposed level-shift circuit can be reduced about 75[%] in comparison with that of the conventional one under the conditions that the supply voltage is 5[V], the load capacitor is 2.5[pF], and the operating frequency is 250[kHz]. Furthermore, the power consumption of the high-voltage generator using the proposed level-shift circuit can be reduced about 20[%] in comparison with that of the conventional one.

Keywords : high-voltage generator, LTPS-TFT, low-power consumption, LCD (liquid crystal display)

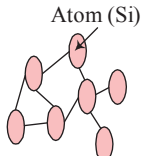
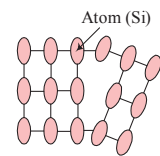
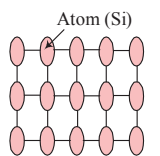
キーワード : 高電圧発生回路, 低温多結晶ポリシリコン薄膜トランジスタ, 低消費電力, 液晶ディスプレイ

1. まえがき

近年, 各種の小型携帯電子機器が急速に普及し, 私達の生活を豊かで便利にしている. それらの携帯機器のディスプレイには液晶ディスプレイ(Liquid Crystal Display: LCD)や有機ELディスプレイ(Organic Electro-Luminescence: OEL, または, Organic Light Emitting Display: OLED)が用いられている. その中でも特にLCDは多くの小型携帯電子機器に搭載されているが, 携帯機器の高機能化と高性能化とともに, LCDには更なる小型化, 低消費電力化が要求されている[1].

LCD駆動回路を実現する際に用いるトランジスタとしては, 非晶質シリコン薄膜トランジスタ(Amorphous Silicon Thin Film Transistor: a-Si TFT), 低温多結晶シリコン薄膜トランジスタ(Low Temperature Poly Silicon Thin Film Transistor: LTPS-TFT), 金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor: MOSFET)が考えられる. これら3種類のトランジスタの電子移動度と結晶構造をTable 1に示す. MOSFETは結晶性に秩序があり, a-Si TFTとLTPS-TFTに比べて低しきい電圧, 高移動度などの優れた特徴を有している. しかし, MOSFETを用いて駆動回路を実現するには基板にシリコンを用いる必要がある. それに対し, a-Si TFTとLTPS-TFTは基板にガラスを用いることが可能である. a-Si TFTは結晶性に秩序がないため電子移動度は低い製造プロセスが簡単なために量産に適していることから, 駆

Table 1 Crystal Structures and Carrier Mobility

	a-Si TFT	LTPS-TFT	MOSFET
Mobility (cm ² /Vs)	0.5~1.0	30~300	600~700
Crystal Structures			

動回路を外付けとして安価な大型LCD画面を実現するのに用いられている.

一方, LTPS-TFTは, a-Si TFTより製造プロセスが多くなるが, 結晶性にある程度秩序があるため電子移動度が高い. したがって, LTPS-TFTを用いることによって, LCDを駆動するための電子回路を画素トランジスタと同一のガラス基盤上に集積化することが可能なため, 小型のLCDを実現できる. このため, 各種の小型携帯電子機器の液晶ディスプレイにはLTPS-TFTが用いられている.

LCDを駆動するには異なる振幅を持った複数の制御信号を必要とし, その信号電圧は高電圧発生回路によって生成している. しかし, 従来の高電圧発生回路は, 消費電力が大きい問題がある[2]. 本文では, 従来の高電圧発生回路の電气的特性を改善し, 低消費電力で動作可能な新しい高電圧発生回路を提案する.

*1 工学研究科 情報通信制御システム工学専攻

*2 情報通信学部 組込みソフトウェア工学科教授

また、回路シミュレータHSPICEを用いて提案回路の電氣的特性的の解析を行い、その有用性を明らかにする。

2. 従来の高電圧発生回路

従来の高電圧発生回路をFig.1に示す。この回路は、ダブルチャージポンプ回路、レベル変換回路、メインチャージポンプ回路から構成される。同図において、 V_{DD} は電源電圧、 ϕ_{IN} , $\overline{\phi_{IN}}$ は入力制御信号、 ϕ_{OUT} , $\overline{\phi_{OUT}}$ は電荷転送用トランジスタ $M1$, $M2$ 、整流用トランジスタ $M3$ の制御信号、 C_{DK} はダブルチャージポンプ回路のキックキャパシタ、 C_K はメインチャージポンプ回路のキックキャパシタ、 C_L は負荷キャパシタである。

Fig.1 の高電圧発生回路は、ダブルチャージポンプ回路によって V_{DD} を昇圧し、3 倍の V_{DD} を出力する。昇圧された $3V_{DD}$ の電圧はレベル変換回路に供給される(Fig.1 では V_{LS} と表記している)。レベル変換回路は、入力制御信号 ϕ_{IN} に対応して二つの n-ch TFT を交互にオン、オフさせ、 $3V_{DD}$ の振幅を持つ制御信号 ϕ_{OUT} , $\overline{\phi_{OUT}}$ を生成する。この ϕ_{OUT} , $\overline{\phi_{OUT}}$ によって、メインチャージポンプ回路のトランジスタ $M1$, $M2$, $M3$ を制御し、それらのトランジスタを非飽和動作させることによって V_{OUT} に $3V_{DD}$ の高電圧を発生させる。Fig.1 の高電圧発生回路は、メインチャージポンプ回路のトランジスタを制御する信号 ϕ_{OUT} , $\overline{\phi_{OUT}}$ を発生するのにダブルチャージポンプ回路とレベル変換回路を必要とし、レベル変換回路

は $3V_{DD}$ の電圧で駆動される。このレベル変換回路の破線部の一パス回路あたりの消費電力 P_C は次式で与えられる。

$$P_C = f \cdot C_G \cdot (3V_{DD})^2 + I_S \cdot 3V_{DD} + I_{DD} \cdot 3V_{DD} \dots(1)$$

ここで、 f は動作周波数、 C_G は $M3$ のゲートキャパシタ、 I_S は貫通電流、 I_{DD} はリーク電流である。式(1)が示しているように、Fig.1 のレベル変換回路は $3V_{DD}$ で駆動されるために大きな電力を消費し、このことが Fig.1 の高電圧発生回路の問題になっている。この問題を解決する一方法は低電圧で動作するレベル変換回路を開発することである。このような背景から、本文では低電圧で動作可能なレベル変換回路を考案し、それを用いた新しい高電圧発生回路の構成を提案する。

3. 提案する高電圧発生回路

提案する高電圧発生回路を Fig.2 に示す。同図中、 ϕ_{IN} , $\overline{\phi_{IN}}$ は入力制御信号、 ϕ_{OUT} , $\overline{\phi_{OUT}}$ は電荷転送用トランジスタ $M1$, $M2$ 、整流用トランジスタ $M3$ の制御信号、 C_{LK} はレベル変換回路のキックキャパシタ、 C_K はメインチャージポンプ回路のキックキャパシタ、 C_L は負荷キャパシタである。Fig.1 の回路はメインチャージポンプ回路を制御する信号 ϕ_{OUT} , $\overline{\phi_{OUT}}$ を生成するのにダブルチャージポンプ回路とレベル変換回路を縦続接続した構成になっている。これに対して、提案回路は ϕ_{OUT} , $\overline{\phi_{OUT}}$ を生成するのに昇圧機能

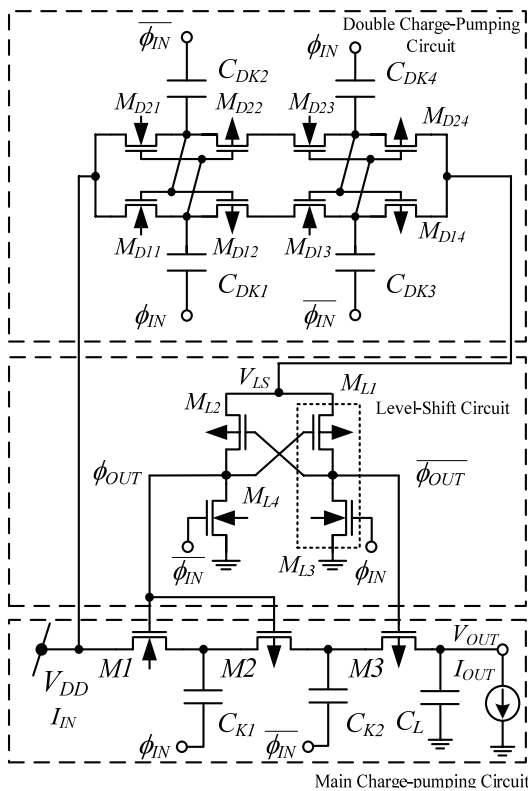


Fig.1 Conventional High-Voltage Generator

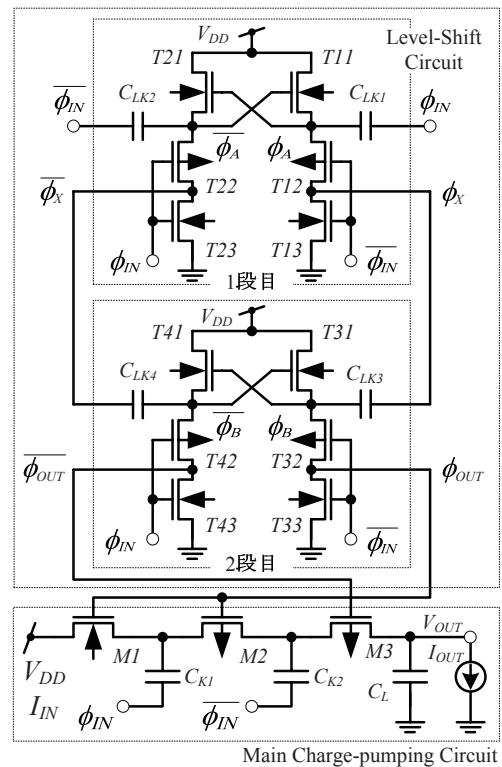


Fig.2 Proposed High-Voltage Generator

を有するレベル変換回路を2段縦続接続した構成になっている。このレベル変換回路は V_{DD} で動作可能なため、回路の低電力化が期待できる。

次に回路動作について説明する。Fig.2 の回路は左右対称な回路構成になっているため、右側の回路動作について述べる。

1 段目のレベル変換回路は、 V_{DD} の振幅をもつ入力制御信号 ϕ_{IN} が Low(0) のとき、T11 はオン状態になりキックキャパシタ C_{LK1} は V_{DD} まで充電される。次に ϕ_{IN} が High(V_{DD}) のとき、キックキャパシタ C_{LK1} によって電圧が昇圧され、点 ϕ_A の電圧は $2V_{DD}$ となる。このとき、 $\overline{\phi_N}$ は Low(0) であるので T12 はオン状態になり、1 段目の出力 ϕ_X は $2V_{DD}$ を出力する。 $\overline{\phi_N}$ が High(V_{DD}) になると T13 はオン状態になり、 ϕ_X は 0 となる。したがって、1 段目の回路では、振幅が $0 \sim 2V_{DD}$ 間で変化する制御信号 ϕ_X を出力する。2 段目の回路の動作は 1 段目と同じである。1 段目の回路で 2 倍に昇圧された制御信号 ϕ_X , $\overline{\phi_X}$ を 2 段目の回路に供給することにより、それがキックキャパシタ C_{LK3} , C_{LK4} によって 3 倍に昇圧され、振幅が $0 \sim 3V_{DD}$ 間で変化する制御信号 ϕ_{OUT} , $\overline{\phi_{OUT}}$ が得られる。以上述べたことから提案する高電圧発生回路の理想動作波形をまとめると Fig.3 のようになる。

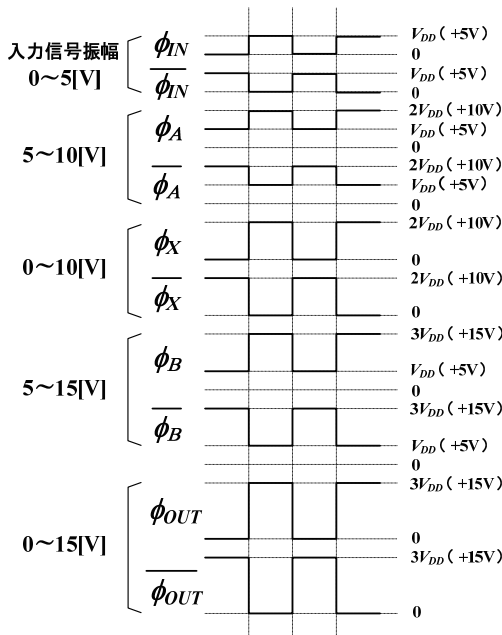


Fig.3 Ideal Waveform of Level-Shift Circuit

4. 提案する高電圧発生回路の電気的特性

始めに、回路シミュレータ HSPICE を用いて、 $V_{DD} = 5[V]$ 、 $C_{LK1} = C_{LK2} = 210[pF]$ 、 $C_{LK3} = C_{LK4} = 23[pF]$ 、メインチャージポンプ回路のトランジスタのゲート容量 $2.5[pF]$ の条件下で、動作周波数 f を $200[kHz] \sim 300[kHz]$ 、まで変化したときの従来のレベル変換回路と提案レベル変換回路の消費電力特性の解析を行なった。シミュレーションに用いた LTPS-TFT の主なデバイスパラメー

タとチャンネル幅は Table 2, Table3 に示す通りである。解析結果を Fig.4 に示す。Fig.4 より、従来回路と提案回路を比較すると、動作周波数 $f = 250[kHz]$ のとき、提案回路の消費電力は従来回路よりも約 75[%] 低減していることが分かる。この第一の要因は、式(1)にも示したように従来のレベル変換回路は $3V_{DD}$ の電源で駆動しているのに対して、提案回路は V_{DD} で駆動しているためである。第二の要因は、回路構成上、提案回路は従来回路よりも貫通電流が少ないためである。すなわち、従来回路では n-ch TFT がオン状態になり、制御信号 ϕ_{OUT} , $\overline{\phi_{OUT}}$ が 0 になるとそれに対応して p-ch TFT がオン状態になり大きな貫通電流が流れる。一方、提案回路では、例えば T22 と T23 が入力制御信号 ϕ_{IN} によって相補的に動作するため(他の部分も同様)、それらが同時にオン状態になる期間が短く、貫通電流が抑制できるためである。

Table 2 Device Parameters

	Symbols	P-TFT	N-TFT	Units
Channel Length	L	7.5	8.5	μm
Threshold Voltage	V_{TH}	-1.36	+1.25	V
Gate Thickness	t_{ox}	720	720	Å
Carrier Mobility	μ_0	109	167	cm^2/Vs

Table 3 Channel Width

	M1	M2	M3			
Channel Width (μm)	250	350	220			
	M_{D11}, M_{D13}	M_{D12}, M_{D14}	M_{L1}, M_{L2}	M_{L3}, M_{L4}		
Channel Width (μm)	250	350	90	300		
	$T11, T21$	$T12, T22$	$T13, T23$	$T31, T41$	$T32, T42$	$T33, T43$
Channel Width (μm)	125	1210	880	14	90	60

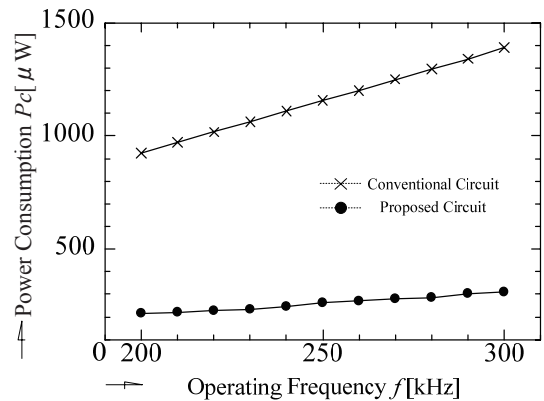


Fig.4 Operating Frequency vs. Power Consumption

次に従来の高電圧発生回路と提案する高電圧発生回路の電気的特性の解析を行った。シミュレーション条件は $C_{DK1}=C_{DK2}=C_{DK3}=C_{DK4}=20[\text{nF}]$, $C_{K1}=C_{K2}=C_L=20[\text{nF}]$ であり、それ以外は Fig.4 の場合と同一である。

Fig.5 は動作周波数を 100[kHz]~500[kHz]まで変化したときの消費電力特性である。同図より、 $f=250[\text{kHz}]$ の時、提案回路は従来回路に比べ、消費電力が約 20%低減している。これは、提案レベル変換回路の消費電力特性が従来のレベル変換回路よりも優れていることに起因している。

Fig.6 は動作周波数 $f=250[\text{kHz}]$ の時の出力負荷電流 I_{OUT} に対する出力電圧特性である。Fig.6 からわかるように、提案回路は従来回路よりも高い電圧を出力している。この理由は、提案レベル変換回路の ϕ_{OUT} , $\overline{\phi_{OUT}}$ の立ち上がり時間が従来のレベル変換回路よりも速くなっていることに起因している。つまり、提案レベル変換回路の ϕ_{OUT} , $\overline{\phi_{OUT}}$ の立ち上がり時間が速いため、メインチャージポンプ回路の電荷転送用トランジスタおよび整流用トランジスタのオン、オフ制御が高速になり、それによって貫通電流が従来回路より低減し、電圧の損失が少なくなるためである。

次に、出力負荷電流に対する電力効率特性を Fig.7 に示す。Fig.7 も Fig.6 と同様の条件でシミュレーションを行った。電力効率は次式で与えられる。

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100 = \frac{V_{OUT} I_{OUT}}{V_{DD} I_{IN}} \times 100 \quad \dots(2)$$

ここで P_{IN} は入力電力、 P_{OUT} は出力電力、 I_{IN} は電源 V_{DD} から高電圧発生回路に流入する入力電流である。Fig.7 では出力負荷電流が 200[μA]のとき、電力効率が最大値を示しているが、これはそのように LTPS-TFT の寸法を設計したためである。Fig.7 より、提案回路と従来回路を比較すると、提案回路の電力効率が約 11%の改善している。この理由は前述したように、提案レベル変換回路の消費電力が、従来のレベル変換回路より低減するためである。ここで、提案したレベル変換回路の消費電力の低減率に対して、それを用いて構成した高電圧発生回路の電力効率の改善割合がそれほど大きくないのは、レベル変換回路よりもメインチャージポンプ回路の電力損失が大きいためである。

5. まとめ

本文では、LTPS-TFT を用いた低消費電力で動作可能な昇圧機能付きレベル変換回路を提案した。また、そのレベル変換回路を用いた新しい高効率の高電圧発生回路を提案した。

HSPICE を用いて提案レベル変換回路と従来のレベル変換回路の消費電力特性について検討した結果、提案回路は従来のものよりも消費電力が約 75[%]低減することが明らかになった。また、

新しいレベル変換回路を用いた高電圧発生回路の電力効率は従来のものよりも約 11 [%]改善することが確認できた。

残された課題は提案した高電圧発生回路のレイアウト設計と試作を行い、実チップで特性の評価を行うことである。

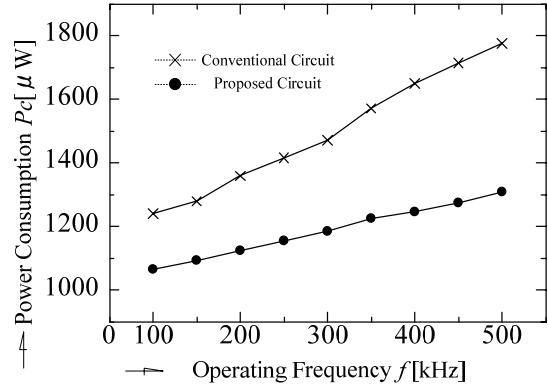


Fig.5 Operating Frequency vs. Power Consumption

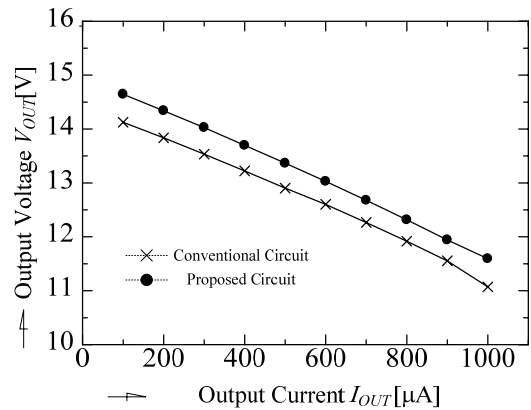


Fig.6 Output Current vs. Output Voltage

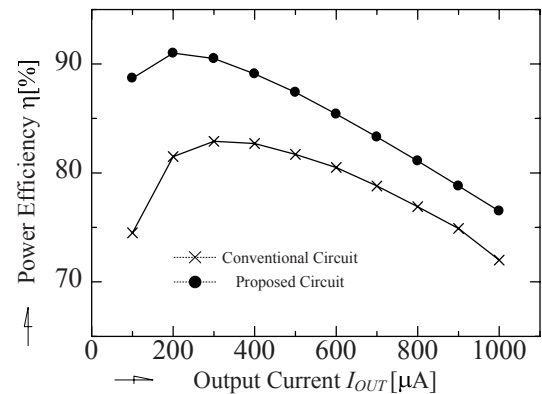


Fig.7 Output Current vs. Power Efficiency

参考文献

- [1] 鈴木八十二, “LTFS-TFT 技術を用いた SOG/SOF 用新しい高速論理回路と電力供給システム”, 薄膜材料デバイス研究会, 第 3 回 研究集会, 「薄膜デバイスの新展開」, 2006 年 11 月 10-11 日, 奈良市あすなろ会館, pp. 18-21
- [2] Yuuki Akiyama, “New High-Voltage Generator with Several mA Output Currents using Low Temperature Poly Silicon (LTFS) Technology for TFT-LCD Panel,” IDW/AD’ 06, Exhibition, December 2006
- [3] Shigeki IMAI et al., “Low-Power Consumption Level -Shifter used Clamping Circuit Technique and LTFS Technology for TFT-LCD”, IEEE ISPACS 2004, pp. 792- 795, Nov. 18-19, 2004
- [4] Noriyuki Ishii et al., “New High-Voltage Generator using Low Temperature Poly Silicon Technology for TFT-LCD Panel”, IDW 2005, AMDp-4, Dec. 6-9, pp.1061-1064