



시간-디지털 변환기를 이용한 모바일 1T 메모리용 자가-리프레쉬 클록 생성회로 구현

원다솔*, 김진원**, 최호용***

Implementation of Self-Refresh Clock Generation Circuit for Mobile 1T Memory Using Time-Digital Converter

Da-Sol Won*, Jin-Won Kim**, and Ho-Yong Choi***

이 논문은 2017년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원-지능형반도체전문인력양성사업과 IDEC 지원을 받아 수행된 연구임(No. 한국산업기술진흥원에서 부여한 과제번호(No.N0001883))

요 약

본 논문에서는 시간-디지털 변환기(TDC)를 이용한 모바일 메모리용 자가-리프레쉬 클록생성회로를 제안한다. 자가-리프레쉬 클록생성회로는 온도를 디지털 데이터로 변환하는 온도센서와 온도영역에 따라 리프레쉬 클록을 출력하는 리프레쉬 클록 생성회로로 구성된다. 온도센서는 동일 크기를 가진 인버터 체인을 이용하여 온도에 비례하는 펄스를 생성하는 온도-펄스변환기와 기준 오실레이터를 사용하여 변환된 펄스를 9비트의 디지털 데이터로 변환하는 TDC로 구성된다. 리프레쉬 클록 생성회로에서는 변환된 디지털 데이터를 5개 영역으로 나누어 클록을 생성한다. 0.18 μ m CMOS 공정을 사용하여 칩을 구현한 결과 -40 $^{\circ}$ C~100 $^{\circ}$ C의 온도에 대해 5개 영역의 가변 클록 생성이 가능하고, 칩 면적은 0.124mm²이고, 전력소모는 1.5mW로 측정되었다. 이는 기존의 BGR과 ADC 방식으로 구현한 방식에 비해, 면적은 32% 수준, 전력소모는 72% 수준으로 개선되었다.

Abstract

In this paper, we propose a self-refresh clock generator for mobile memory using a time-digital converter (TDC). The circuit consists of a temperature sensor to convert temperature to digital data and a refresh clock generator circuit that outputs a refresh clock in accordance with temperature region. The temperature sensor consists of a temperature-pulse converter (TPC) using a chain of inverters with the same size and a TDC that converts it to 9-bit digital data using a reference oscillator. In the refresh clock generating circuit, the converted digital data is divided into five regions, and a clock corresponding to the data region is generated. Implementation results using a 0.18 μ m CMOS process show that it is possible to generate variable clocks by dividing the temperature of -40 $^{\circ}$ C~100 $^{\circ}$ C into 5 regions, the chip area is 0.124 mm², and the power consumption is 1.5mW. Compared with the conventional refresh clock circuit using BGR and ADC, the chip area is improved to 32% and the power consumption is improved to 72%.

Keywords

self-refresh clock, time-to-digital converter, temperature sensor, 1T memory, temperature-pulse converter

* (주)실리콘웍스

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8367-8751>

** 충북대학교 반도체공학과

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4637-8773>

*** 충북대학교 전자공학과 교수(교신저자)

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0832-6465>

· Received: Oct. 24, 2017, Revised: Nov. 23, 2017, Accepted: Nov. 26, 2017

· Corresponding Author: Ho-Yong Choi

Dept. of Electronics Engineering, Chungbuk National University,
1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungcheongbuk-do, Korea,

Tel.: +82-43-261-3231, Email: hychoi@cbnu.ac.kr

I. 서 론

최근, 모바일용 디스플레이가 고해상도, 고기능화됨에 따라 대용량의 메모리를 필요로 하고, OLED(Organic Light-Emitting Diode) 디스플레이에서도 TFT(Thin Film Transistor)보다 문턱전압, 이동도 등 데이터 저장이나 열화에 의한 휘도 변화를 보상하기 위해 대용량의 메모리가 필요하다[1]-[3]. 그러나, 모바일 메모리칩을 기존과 같이 6T SRAM 셀로 구성할 경우, 단일 칩으로 구현하는 것이 점점 어려워, 셀 면적이 작은 1T-메모리 셀로 대체하는 연구가 이루어지고 있다[4]-[6].

그러나 1T-메모리 셀은 구조상 누설전류가 발생하여, 일정시간이 지나면 데이터가 손실 우려가 있어, 클럭을 이용하여 일정 시간마다 데이터를 갱신하는 자가-리프레쉬(Self-refresh)가 필요하다. 그리고 1T-메모리 셀의 누설전류는 온도가 증가함에 따라 지수적으로 증가하여, 저온에서는 수십 ms, 고온에서는 수 ms의 리프레쉬 클럭 주기를 요한다[7]. 만약 전 온도구간에 동일 주기를 가진 자가-리프레쉬 클럭을 인가하면, 저온에서도 불필요하게 빠른 클럭이 인가되어 많은 전력이 소모된다. 따라서 온도에 따라 리프레쉬 클럭을 가변적으로 인가하면 전력소모를 줄일 수 있다.

일반적으로, 온도에 가변적으로 동작하는 자가-리프레쉬 클럭 회로는 온칩(On-chip) 온도센서가 1T-메모리 셀의 온도를 감지하고[8]-[12], 이에 대응되는 디지털 데이터를 생성하여, 온도에 가변되는 클럭으로 생성한다[8][10].

종래의 방법에서는 BGR(Band-Gap Reference)을 이용한 아날로그 방식으로 구현한 온도센서에 [8]-[11], ADC(Analog-Digital Converter) 혹은 VCO(Voltage-Controlled Oscillator)를 이용하여 클럭을 생성하는 방법이 제안되고 있다[8]-[10]. 그러나 이 방법은 면적이 크고, 전력소모가 크다는 단점이 있다.

본 논문에서는 시간-디지털 변환기(TDC, Time-Digital Converter) 기반한 디지털 방식의 온도 센서를 이용하여 온도에 따라 가변적으로 리프레쉬 클럭을 생성하는 자가-리프레쉬 클럭생성회로를 설계 구현한다. 온도센서는 동일 크기의 인버터로 구성된

인버터 체인을 이용하여 온도-펄스변환기(TPC, Temperature-Pulse Converter)와 기준 오실레이터(Reference Oscillator)를 사용하여 이를 9비트의 디지털 데이터로 변환하는 TDC로 구성 설계한다. 리프레쉬 클럭 생성회로에서는 디지털 데이터로 변환된 5개 영역으로 온도에 알맞은 클럭으로 생성, 선택 출력하도록 한다.

본 리프레쉬 클럭생성회로는 온도센서를 TDC에 기반을 둔 디지털 방식으로 구현함으로써 저면적 저전력으로 구현 가능하고, 또한 온도 센서 자체는 동일 크기의 인버터 체인으로 구성되고 기준 오실레이터를 사용함으로써 기존 방식에 비해 설계 교정이 쉽고, 비교적 저전력 구현이 가능하다.

2장에서는 TDC를 이용한 자가-리프레쉬 클럭생성회로를 제안하고, 3장에서는 칩 구현 결과를 제시하고, 마지막으로, 4장에서는 결론을 맺는다.

II. 시간-디지털변환기를 이용한 자가-리프레쉬 클럭생성회로 설계

본 장에서는 시간-디지털 변환기를 이용하여 온도에 가변적인 자가-클럭생성회로를 제안한다. 온도를 디지털 데이터로 변환하는 TDC 기반의 온도센서와 온도에 따라 리프레쉬 클럭을 출력하는 리프레쉬 클럭 생성회로로 설계한다.

2.1 시간-디지털변환기를 이용한 자가 리프레쉬 클럭생성 회로

그림 1은 TDC를 이용한 자가-리프레쉬 클럭생성회로 블록도이다. 온도를 디지털 데이터로 변환하는 TDC 기반의 온도센서 블록과 온도에 따라 리프레쉬 클럭을 출력하는 자가-리프레쉬 클럭생성회로 블록으로 나누어진다.

온도센서 블록은 1T-메모리의 동작온도(-40℃~100℃)에 비례하여 디지털 데이터를 생성하는 회로로, 온도에 비례하는 펄스를 생성하는 온도-펄스 변환기와 기준 오실레이터를 사용하여 이를 9비트의 디지털 데이터로 변환하는 시간-디지털 변환회로로 구성된다.

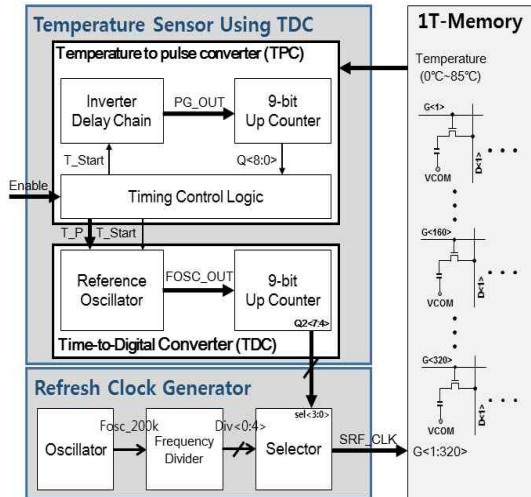


그림 1. TDC를 이용한 자가-리프레쉬 클럭생성회로 블록도

Fig. 1. Block diagram of self-refresh clock generation circuit using TDC

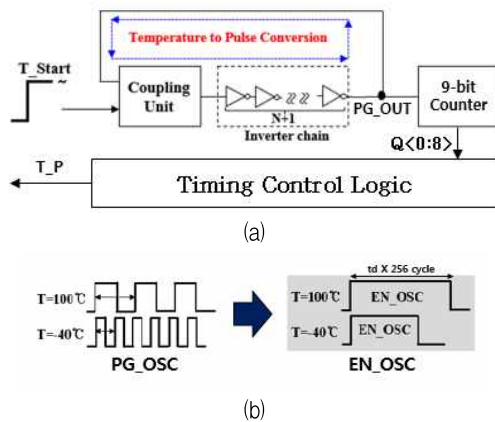


그림 2. (a) 온도-펄스 변환회로 (b) 온도에 따라 생성된 단일 펄스(P_T) 파형
Fig. 2. (a) Temperature-pulse converter, (b) Pulse waveform generated according to temperature

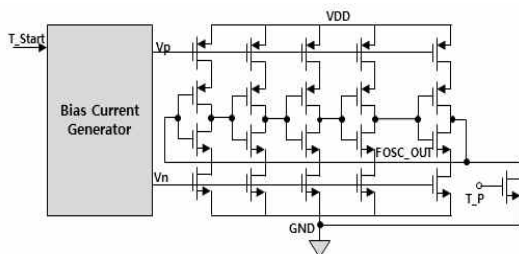


그림 3. 바이어스 전류 생성회로를 이용한 기준 오실레이터 회로

Fig. 3. Reference oscillator circuit using a bias-current generation circuit

자가-리프레쉬 클럭생성회로 블록은 오실레이터를 이용하여 생성된 클럭을 온도에 따라 5개의 디지털 데이터 영역으로 나누어 해당 영역의 온도에 알맞는 클럭으로 생성 출력한다.

본 디지털 방식의 온도센서는 기존의 방식에 비해서[12], 동일 크기의 인버터 체인으로 구성하고 기준 오실레이터를 사용하여 구현함으로써 기존 방식에 비해 설계 교정이 쉽고, 비교적 저전력 구현이 가능하다.

2.2 자가-리프레쉬 클럭생성회로의 상세 설계

(1) 온도-펄스 변환 회로

온도-펄스 변환회로는 칩상의 온도를 온도에 비례하는 펄스폭을 가진 펄스로 변환하는 회로이다.

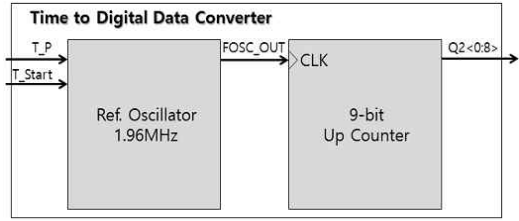
그림 2(a)와 같이 커플링 유닛, N+1개의 동일 인버터 체인, 9-bit 카운터, 타이밍 제어로직(Timing Control Logic)으로 구성된다.

인버터 체인은 그림 2(b)와 같이 온도에 가변적인 주기(t_d)를 갖는 클럭을 출력하고, 생성된 클럭은 카운터에 의해 9-비트 디지털 데이터로 변환되며, 타이밍제어논리는 카운터의 데이터를 이용해 256개의 클럭 주기 시간을 온도변화에 대응되는 PTAT 특성을 갖는 펄스(T_P)로 변환한다. 동일 크기의 인버터 체인으로 구성하여 설계 교정이 쉽도록 한다.

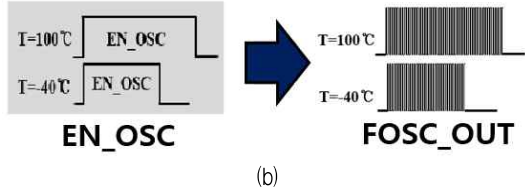
(2) 시간-디지털 변환 회로

시간-디지털변환회로는 온도에 비례하여 얻어진 펄스 폭(T_P)을 기준 클럭수로 나타내 주는 회로이다. 이는 기준 오실레이터와 카운터로 구성되며 기준 오실레이터는 그림 3과 같이 구성되고, 바이어스 전류생성회로는 온도 무관 전류생성회로를 사용한다[13].

그림 4는 온도에 가변적인 FOSC_OUT을 보여주며 100°C와 -40°C의 T_P와 FOSC_OUT 파형을 보여준다. 온도에 따른 PDC의 디지털 데이터는 표 1과 같다. 본 클럭 생성기는 Q2[7:4]의 데이터를 이용하여 5개의 온도구간을 사용한다.



(a)



(b)

그림 4. (a) 시간-디지털 변환회로 (b) 온도 가변 파형 FOSC_OUT

Fig. 4. (a) Time-digital converter, (b) Temperature variable waveform FOSC_OUT

표 1. 온도에 따른 TDC의 디지털 데이터
Table 1. Digital data of TDC according to temperature

Temperature (°C)	Q2<8:0>	Q2<7:4>
-40	100000001	0000
-30	100000110	0000
-20	100001011	0000
-10	100010001	0001
0	100011000	0001
10	100100000	0010
20	100101000	0010
30	100110001	0011
40	100111010	0011
50	101000100	0100
60	101001111	0100
70	101011011	0101
80	101100110	0110
90	101110011	0111
100	110000001	1000

(3) 자가-리프레쉬 클럭생성회로

자가-리프레쉬 클럭생성 회로는 설정된 5개의 온도 구간에 대응하여, 해당 영역의 클럭 주기를 선택, 생성한다.

그림 5는 자가-리프레쉬 클럭생성 회로로 오실레이터와 주파수 분주기, 선택기로 구성된다.

온도 -40~100°C의 영역을 Q2<7:4>의 디지털 데이터를 이용해 5개의 온도 영역으로 나누고, 200kHz 클럭을 분주한 주기를 선택하여 자가-리프레쉬 클럭으로 출력한다.

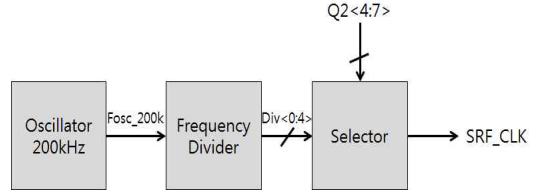


그림 5. 자가-리프레쉬 클럭생성회로
Fig. 5. Self-refresh clock generation circuit

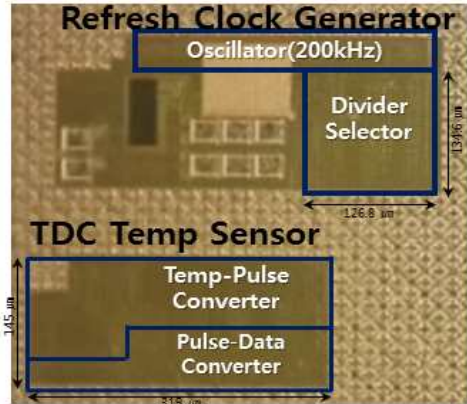


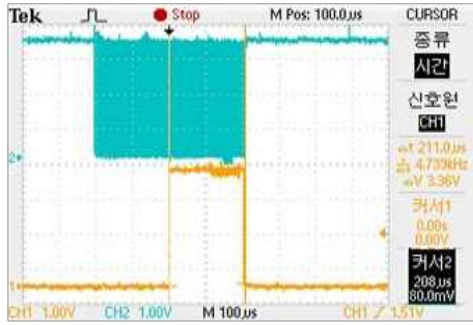
그림 6. 자가-리프레쉬 클럭생성회로 칩 사진
Fig. 6. Chip photography of self-refresh clock generation circuits

III. 구현 및 측정 결과

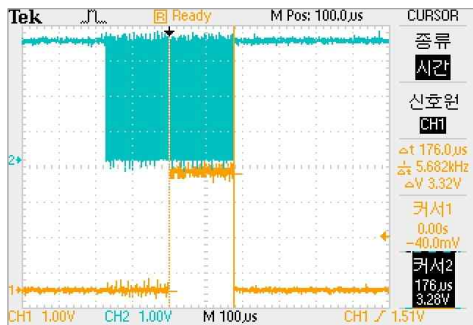
2장에서 제안한 TDC를 이용한 자가-리프레쉬 클럭생성 회로를 0.18μm 공정을 사용하여 칩으로 구현하였다. 그림 6은 칩 사진을 보여준다. 칩의 면적은 TPC를 이용한 온도센서부가 0.046mm², 리프레쉬 클럭생성회로부가 0.089mm²이고, 전체 면적은 0.124mm²이다.

3.1 온도에 따른 TDC 출력

그림 7과 표 2는 온도에 따라 TPC의 출력 펄스(T_P)를 보여준다. 그림 7에서는 100°C, 30°C 온도에서 T_P는 각각 208μs, 176μs의 펄스 폭을 가졌고, 표 2에서는 -40°C~100°C 온도에 따라 TPC의 출력 펄스(T_P)이 140μs~211μs로 측정되었다. 이는 1°C 변화에 약 3.96ns의 지연 시간으로, 온도에 따른 충분한 변화량을 가져 유효한 디지털 데이터값으로 사용 가능하다.

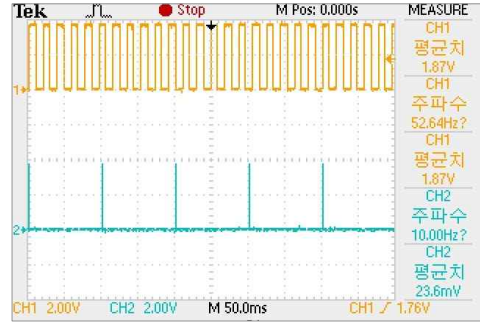


(a) 100°C

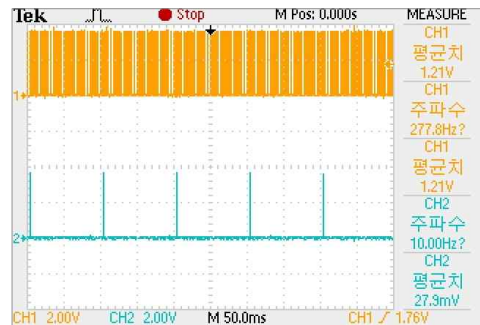


(b) 30°C

그림 7. 온도-펄스 변환회로의 온도에 따른 파형
Fig. 7. Measured waveforms of temperature-pulse converter (a) 100°C, (b) 30°C



(a) 80°C



(b) 10°C

그림 8. 클럭 생성회로의 클럭 파형

Fig. 8. Measured clock waveforms of clock generation circuit (a) 80°C, (b) 10°C

표 2. 온도-펄스 변환회로의 온도에 따른 펄스 폭
Table 2. Pulse width according to temperature

Temperature (°C)	P_T (μs)	td (μs)	Δtd/°C (ns)
-40	140	1.09	3.91
-20	150	1.17	3.91
0	160	1.25	3.91
20	170	1.33	4.69
40	183	1.43	3.91
60	194	1.52	3.13
80	202	1.58	3.91
100	211	1.65	
t _c Average			3.96

3.2 자가-리프레쉬 클럭 회로의 클럭 생성

그림 8과 표 3은 온도에 따른 자가-리프레쉬 클럭 회로의 클럭생성 결과를 보여준다.

그림 8은 80°C와 10°C에서 생성된 클럭을 보여주고, 클럭은 각각 1.8ms, 18ms의 주기를 나타내었다.

표 3. 클럭생성회로의 클럭 생성 결과
Table 3. Results of clock generation

Temperature (°C)	T_P(μs)	Q2<7:4>	Sel<4:0>	Clock Cycle (ms)
-40~-10	156~174	0001~0010	00001	38.2
-10~10	174~180	0011	00010	19
10~50	180~194	0100~0101	00100	9.4
50~80	194~202	0110	01000	3.6
80~100	202~211	0111~1000	10000	1.8

표 3은 온도에 따라 디지털 출력 (Q2<7:4>)이 0001~1000으로 가변적으로 출력되고, 자가-리프레쉬 클럭이 선택신호(Sel<4:0>)에 의해 5구간의 온도에 따라 가변적으로 출력됨을 보여준다.

온도에 따라 분주한 5개의 클럭은 -40°C~100°C에 대해 38.2ms~1.8ms로 출력되었다. 소모 전력은 0.335mW로 측정되었다.

표 4. 온도센서 결과 비교

Table 4. Comparisons of temperature sensors

	This work	Roh[8]	Shim[11]	Chen[12]
Method	TDC(Inverter delay)	BGR+ADC	Thermometer with Resistor	TDC(Inverter delay)
Calibration (Level of difficulty)	One-point(Easy)	One-point(Not easy)	One-point(Easy)	Two-point(Not easy)
Process	0.18 μ m CMOS	0.18 μ m CMOS	44nm DRAM	0.35 μ m CMOS
Supply voltage (V)	3.3	3.3	1.1	3
Temperature range (°C)	-40 ~ 100	0 ~ 85	0 ~ 100	0 ~ 100
Resolution (°C)	1.09	0.0088	1.94	0.2
Conversion rate (S/s)	10	333k	125	10
Power consumption (μ W)	1.10	2069	0.36	1.50
Area (mm ²)	0.046	0.245	0.0413	0.025

표 5. 자가-리프레쉬 클럭생성회로의 전기적 특성 비교

Table 5. Comparisons of electrical characteristics of self-refresh clock generation circuits

	This work	Roh[8]
Method	TDC-based Temp Sensor + Clock Generator	BGR+ADC+ Clock Generator
Process	0.18 μ m CMOS	0.18 μ m CMOS
Supply voltage (V)	3.3	3.3
Temperature range (°C)	-40 ~ 100	-40 ~ 100
Resolution (°C)	1.09	0.0088
Power consumption (mW)	1.50	2.07
Area (mm ²)	0.124	0.393

3.3 기존 방식과의 비교

본 구현 결과에 대해 기존 방식과의 온도센서 부분과 리프레쉬 클럭생성회로 부분으로 나누어 비교한다.

표 4는 제안한 방식의 온도센서와 기존 방식의 온도센서 특성을 보여준다. 전력소모면에서 본 방식은 3.3V 구동에 1.1 μ W를 소모하여 Chen방식[12]이나 Roh방식[8]보다는 좋고, Shim방식[11]과는 전원전압을 고려한다면 비슷한 전력소모를 갖는다. 면적은 Roh방식보다 작고, Shim방식에 비해서는 공정을 고려한다면 작으나, Chen방식에 비해서는 크다.

본 방식은 원 포인트 방식으로 쉽게 교정이 가능하고, BJT와 저항이 아닌 CMOS로만 구성되어 공정 제약이 적고, 동일 크기의 인버터로 구성되고 온도 무관한 기준 오실레이터로 구현되어 특성 교정이 간단하다.

표 5는 제안한 TDC방식 온도센서를 이용한 자가-리프레쉬 클럭생성회로와 기존 BGR과 ADC를 이

용한 Roh방식[8]과의 특성 비교를 보여준다.

본 회로는 면적은 Roh방식의 32% 수준이고, 전력소모는 72% 수준으로 개선되었다. 한편 해상도는 1.09°C로 다소 떨어지나 리프레쉬 클럭 회로는 정밀한 온도감지가 필요하지 않으므로 자가-리프레쉬 클럭생성회로로는 큰 영향을 미치지 않는다.

그리고 시뮬레이션 결과만을 제시한 논문[10]과 비교하면, 전력소모는 논문[10]은 1.41mW로 본 방안의 전력소모의 94%로 약간 작으나, 면적은 아날로그 온도센서로 구현되어 논문[8]의 크기 수준을 가져 본 방식보다는 면적이 클 것으로 예상된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 시간-디지털변환기를 이용하여 온도에 가변적인 클럭생성회로를 설계하였다.

온도에 따라 디지털 데이터로 변환하는 온도센서와 생성된 리프레쉬 클럭을 선택적으로 출력하는 리프레쉬 클럭 생성회로로 구성 설계하고, 0.18 μ m

CMOS공정을 사용하여 칩을 구현하였다. 구현 결과 -40°C~100°C의 온도를 5개 영역으로 구분하여 가변 클럭 생성이 가능하였다. 칩 면적은 0.124mm²이고, 온도센서 전력소모는 1.5mW로 소모되었다. 이는 기존의 BGR과 ADC 방식으로 구현한 방식에 비해, 면적은 32% 수준이고 전력소모는 72% 수준으로 개선되었다.

References

- [1] Sang-Ho Lee and Seon-Ho Jang, "Market and Technology Trends of DDI", The Magazine of the IEIE, Vol. 33 No. 3, pp. 39-47, Mar. 2006.
- [2] U. G. Min, H. J. In, and O. K. Kwon, "A real time video data adjusting method for active matrix organic light emitting diode displays with high image quality", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 55, No. 4, pp. 2372-2376, Nov. 2010.
- [3] Bo-Sung Kim, Young-Gi Kim, and Soon-Yang Hong, "Low Power 260k Color TFT LCD One-Chip Driver IC", Proc. of 5th International Symposium on Quality Electric Design, pp. 126-130, Feb. 2004.
- [4] J. Y. Sim, H. Yoon, K. C. Chun, H. S. Lee, S. P. Hong, S. Y. Kim, M. S. Kim, K. C. Lee, J. H. Yoo, D. I. Seo, and S. I. Cho, "Double boosting pump, hybrid current sense amplifier, and binary weighted temperature sensor adjustment schemes for 1.8V 128Mb mobile DRAMs", Symp. on VLSI Circuit Digest of Technical Papers, pp. 294-297, June 2002.
- [5] Hak-Yoon Kim, Sang-Rok Cha, Bo-Sun Lee, Yong-Cheol Jeong, and Ho-Yong Choi, "Design of Graphic Memory foe QVGA-Scale LCD Driver IC", IEEK, Vol. 47, No. 12, pp. 31-38, Dec. 2010.
- [6] Jae-Yoon Sim, "Circuit Design of DRAM for Mobile Generation", Journal of Semiconductor Technology and Science, Vol. 7, No. 1, pp. 1-10, Mar. 2007.
- [7] T. Hamamoto, S. Sugiura, and S. Sawada, "On the Retention Time Distribution of Dynamic Random Access Memory (DRAM)", IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 45, No. 6, pp. 1300-1309, June 1998.
- [8] Gil-sung Roh, "Design of self-refresh clock generation circuit for 1T-based graphic memory", Master Thesis, Chungbuk National University, Feb. 2013.
- [9] Seon-Young Oh, Dae-Seong Yook, and Sang-Hee Son, "A Study on the Temperature Sensor applicable to LCD Driver IC", Journal of KIIT, Vol. 9, No. 1, pp. 1-9, Sept. 2011.
- [10] Gil-sung Roh, Hak-Yoon Kim, Myung-Hak Lee, and Ho-Yong Choi, "Design of Self-Refresh Clock Generation Circuit for 1T-Based Graphic Memory Using Voltage Controlled Oscillator", Journal of KIIT, Vol. 12, No. 6, pp. 15-21, June 2014.
- [11] D. Shim, H. Jeong, H. Lee, C. Rhee, D. K. Jeong, and S. Kim, "A Process-Variation-Tolerant on-Chip CMOS Thermometer for Auto Temperature Compensated Self-Refresh of Low-Power Mobile DRAM", IEEE J. of Solid -State Circuits, Vol. 48, No. 10, pp. 2550-2557, Oct. 2013.
- [12] C. C. Chen and H. W. Chen, "A Low-Cost CMOS Smart Temperature Sensor Using a Thermal-Sensing and Pulse-Shrinking Delay Line", IEEE J. Sensors, Vol. 14, No. 1, pp. 278-284, Jan. 2014.
- [13] Henri J. Oguey and Danial Aebischer, "CMOS Current Reference without Resistance", IEEE J. of Solid-State Circuits, Vol. 32, No. 7, pp. 1132-1135, July 1997.

저자소개

원 다 솔 (Da-Sol Won)



2013년 2월 : 충북대학교
전자공학부(공학사)
2015년 2월 : 충북대학교
반도체공학과(공학석사)
2015년 3월 ~ 현재 : 실리콘웍스
주임연구원
관심분야 : DDI 회로 설계

김 진 원 (Jin-Won Kim)



2017년 2월 : 충북대학교
전자공학부(공학사)
2017년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
반도체공학과 석사과정
관심분야 : 전력반도체회로 설계

최 호 용 (Ho-Yong Choi)



1980년 2월 : 서울대학교
전자공학과(공학사)
1982년 2월 : KAIST
전자공학과(공학석사)
1994년 3월 : 오사카대학
전자공학과(공학박사)
1996년 9월 ~ 현재 : 충북대학교

전자공학부 교수

관심분야 : DDI 설계, Graphic 메모리 설계,
전력반도체회로 설계