

# طراحی و ساخت برد کنترلی FPGA برای مانیتورینگ محیطی از طریق پروتکل بلوتوث با واسط کامپیوتری

آرش ثباتی<sup>۱</sup>، دانشجوی کارشناسی ارشد الکترونیک، خلیل منفردی<sup>۲</sup>، استادیار، موسی یوسفی<sup>۳</sup>، استادیار

گروه مهندسی برق - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - تبریز - ایران - sobarash@yahoo.com  
 گروه مهندسی برق - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - تبریز - ایران - khmonfaredi@azaruniv.ac.ir  
 گروه مهندسی برق - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - تبریز - ایران - m.yousefi@azaruniv.edu

**چکیده:** در این مقاله، به طراحی و پیاده‌سازی دستگاه مبتنی بر FPGA پرداخته شده است. این دستگاه برای کنترل محیط‌های حساس به دما و رطوبت با کنترل دستگاه‌های رطوبت‌ساز و خنک‌کننده به ازای مقادیر از پیش تعیین‌شده ساخته شده است. کنترل لحظه به لحظه مقادیر رطوبت و دما برای محیط مورد نظر با سنسورهای تعبیه‌شده و صدور دستورات آنی برای کنترل آن‌ها اصل عملکرد این دستگاه می‌باشد. استفاده از امکان ارسال اطلاعات از طریق بلوتوث که از یک پروتکل خاص برای رمزگذاری ارتباط و نیز تشخیص و تصحیح خطا استفاده می‌کند، دستگاه ساخته‌شده را قادر به کار در محیط‌های حساس می‌نماید. دستگاه ساخته‌شده قابلیت برقراری ارتباط با کامپیوتر و ذخیره‌سازی اطلاعات را نیز دارا می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد مدار پیشنهادی ابتدا طرح به صورت سیستمی در نرم‌افزار Matlab شبیه‌سازی و سپس در محیط Xilinx ISE در سطح گیت‌های منطقی پیاده‌سازی و در نهایت به صورت عملی بر روی تراشه SPARTAN 3 FPGA پیاده‌سازی و صحت کار سیستم با ارزیابی نتایج حاصل تأیید شده است.

**واژه‌های کلیدی:** FPGA، بلوتوث، مانیتورینگ، سنسور دما، سنسور رطوبت، کدگذاری.

## Design and Fabrication of the FPGA Control Board for Environment Monitoring Based on Bluetooth Protocol with Computer Interface

Arash Sobati, Electronic Engineering MSc. Student<sup>1</sup>, Khalil Monfaredi, Assistant Professor<sup>2</sup>, and Mousa Yousefi, Assistant Professor<sup>3</sup>

- 1- Department of Electrical and Electronic Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran, sobarash@yahoo.com  
 2- Department of Electrical and Electronic Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran, khmonfaredi@azaruniv.ac.ir  
 3- Department of Electrical and Electronic Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran, m.yousefi@azaruniv.edu

**Abstract:** Design and implementation of an FPGA based system is illustrated in this paper. This Device is utilized to control temperature and humidity sensitive environments with the aid of humidifier and fan devices. In situ control of humidity and temperature values by incorporated sensors and sending real time instructions to control these amounts is this device's principle of operation. The capability of the fabricated device to send data via Bluetooth which meanwhile uses a special protocol to encrypt data transmit as well as incorporated error detection and correction protocol makes the device capable to be utilized in places demand ultrahigh immune approach. The Device is also capable to communicate with the computer and store the obtained information. To evaluate the performance of the proposed circuit the system is first simulated in Matlab and then it is implemented in logical gate level at Xilinx ISE environment and finally is practically implemented by Xilinx SPARTAN 3 FPGA and its performance is evaluated experimentally.

**Keywords:** FPGA, Bluetooth, monitoring, temperature sensor, humidity sensor, encoded.

ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۱

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۴

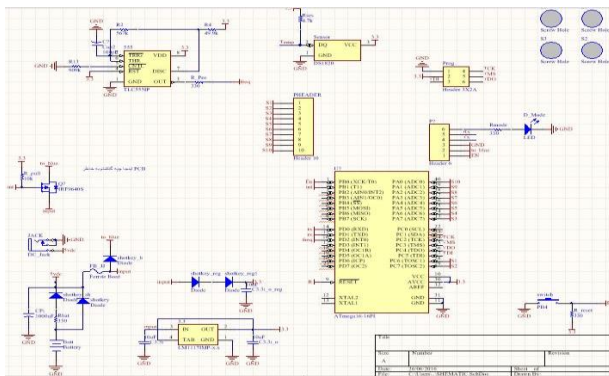
نام نویسنده مسئول: خلیل منفردی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تبریز - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - دانشکده فنی و مهندسی - گروه مهندسی برق.

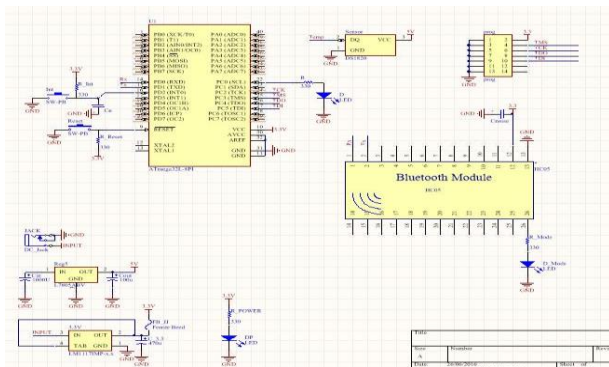
۱- مقدمه

۱- محدودیت در انتقال داده از طریق سیم ۲- عدم تداخل امواج بلوتوث با دیگر امواج ۳- سرعت انتقال اطلاعات در بلوتوث ۴- کم مصرف بودن ۵- قیمت ارزان فناوری بلوتوث.

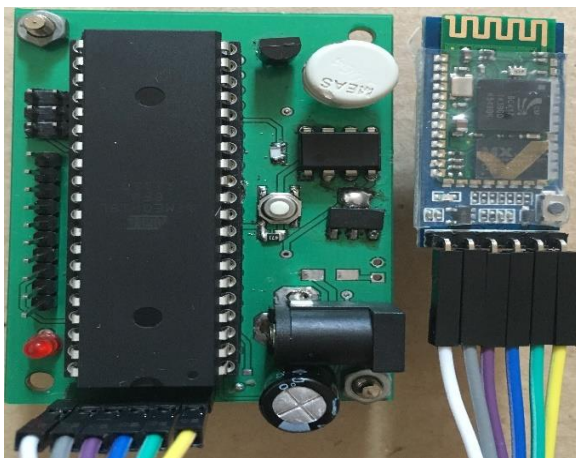
در برد سنسور سعی بر این بوده که با استفاده از قطعاتی با مصرف توان پایین مانند پردازنده از خانواده ای تی مگا می شود مصرف توان برد را به حداقل رساند تا به توان برد سنسور را با باتری نیز برای مدت طولانی روشن نگاه داشت تا قابلیت نصب در هر مکانی را بدون نیاز به کابل تغذیه داشته باشد که این خود مزیت بزرگی محسوب می شود.



شکل ۱: شماتیک برد سنسور به همراه ماژول بلوتوث



شکل ۲: شماتیک برد سنسور به همراه تغذیه



شکل ۳: شمای واقعی برد سنسور به همراه ماژول بلوتوث

امروزه نیاز به ذخیره سازی و پردازش اطلاعات در دنیای دیجیتال بیش از پیش احساس می شود. دنیای دیجیتال از قابلیت های منحصر به فردی از قبیل: قابلیت مجتمع سازی با تراکم بالا، انعطاف پذیری، عملکرد کلی مناسب تر، قابلیت تست دقیق و راحت، رسیدن به دقت های دلخواه و حساسیت کم به نویز آنالوگ برخوردار است. این امر باعث توسعه روزافزون مدارهای مجتمع دیجیتالی می شود [۴-۱].

برای کاهش هزینه، افزایش راندمان و قابلیت اطمینان بالا، مجتمع کردن مبدل ها و پردازشگرهای دیجیتال در یک تراشه با یک تکنولوژی و اغلب یک بستر ضروری به نظر می رسد. در این راستا استفاده از تراشه ی قدرتمند FPGA در این پروژه ضروری به نظر می رسد [۸-۵].

در این مقاله سعی شده است که با حذف سیم که امروزه یکی از اهداف در دنیای الکترونیک است یک ارتباط امن برای کنترل دستگاه های حساس به دما و رطوبت ایجاد کرد. به طور کلی این مقاله روشی جدید برای کنترل یک محیط حساس را ارائه می دهد که از برد سنسور و برد اصلی تشکیل شده است که ارتباط این دو نیز از طریق بلوتوث انجام می شود. اطلاعاتی که مابین برد فرستنده و گیرنده ردوبدل می شود توسط پروتکل همینگ کدگذاری و همچنین دارای قابلیت تشخیص و تصحیح خطا می گردد. که همین موضوع سبب بالا رفتن شدید امنیت اطلاعات و تقریباً به صفر رساندن خطا در داده ها و تحمل پذیری نویز بالا می شود که به پروژه قابلیت استفاده در محیط های حساس نظامی و صنعتی را نیز می دهد. علاوه بر این به دلیل استفاده از پردازنده ی قدرتمند FPGA در برد اصلی قدرت و سرعت پردازش اطلاعات بسیار بالا می باشد.

ویژگی دیگری که این مقاله و پروژه را منحصر به فرد می کند نویسی و جایگذاری پروتکل UART در داخل FPGA به جای استفاده از ای سی خارجی است که این موضوع به ما قابلیت تنظیم دستی از ای سی خارجی را می دهد که موضوع بسیار مهمی است و همچنین با این کار به کوچک تر شدن برد فرستنده و مصرف توان کم تر نیز کمک شده است. یک ویژگی دیگر که باعث کاربردی تر شدن و منحصر به فرد شدن بیشتر این پروژه است قابلیت ارتباط با کامپیوتر آن از طریق پورت USB است که این امکان را فراهم می کند که اطلاعات ذخیره شده در برد اصلی برای آنالیز بیشتر و تهیه نمودارهای آماری در اختیار کاربر قرار گیرد.

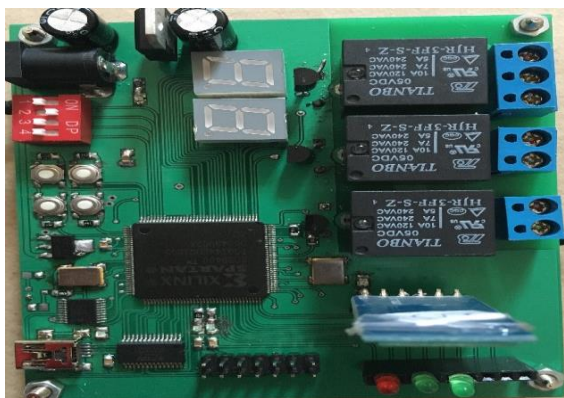
۲- آنالیز برد سنسور

در این برد که در این مقاله برد سنسور نام گذاری شده است یک پردازنده ای تی مگا وظیفه ی پردازش اطلاعات را بر عهده دارد. یک سنسور دمای دیجیتال و یک سنسور رطوبت خازنی اطلاعات خود را به پردازنده می دهند و پردازنده هم این اطلاعات را از طریق بلوتوث برای برد اصلی ارسال می کند. پروتکل ارتباطی بین دو برد بلوتوث انتخاب شده است به دلیل اینکه :

### ۳- آنالیز برد اصلی

در این برد که در این مقاله برد اصلی نام گذاری شده است یک پردازنده‌ی FPGA قرار دارد که اطلاعات را از طریق ماژول بلوتوث دریافت کرده و چند دستگاه حساس به دما و رطوبت را کنترل می‌کند. مراحل کار به این صورت است که دما و رطوبت مورد نظر با توجه به محیط و دستگاه‌ها توسط اپراتور از طریق کلیدهایی که به همین منظور در برد اصلی قرار داده شده است تعیین می‌شود که از آن لحظه به بعد اگر دما و رطوبت از حد مجازی که تعیین کردیم بالاتر برود دستگاه‌ها به صورت اتوماتیک خاموش می‌شوند و از طرف دیگر یک دستگاه خنک‌کننده نیز در این برد پیش‌بینی شده است که اگر دما از حد مجاز بالاتر رفت روشن شده تا دما به حد مجاز برگردد و سپس خاموش می‌شود.

علاوه بر این کلیدهایی به صورت جداگانه در برد اصلی تعبیه شده است که اگر دما یا رطوبت از حد مجاز تعیین شده توسط کاربر پایین‌تر باشد می‌توان دستگاه‌ها را به صورت دستی قطع یا وصل نمود. تمامی اطلاعات تنظیم‌شده توسط کاربر و تغییرات دما و رطوبت نیز به صورت آنی بر روی سون سگمنت‌های تعبیه‌شده در برد اصلی نمایش داده می‌شود. یک رم هم برای ذخیره‌ی اطلاعات دریافتی تعبیه‌شده که FPGA داده‌ها را درون آن ذخیره می‌کند و از طریق پورت USB به کامپیوتر ارسال می‌کند.



شکل ۶: شمای واقعی برد اصلی به همراه ماژول بلوتوث

```

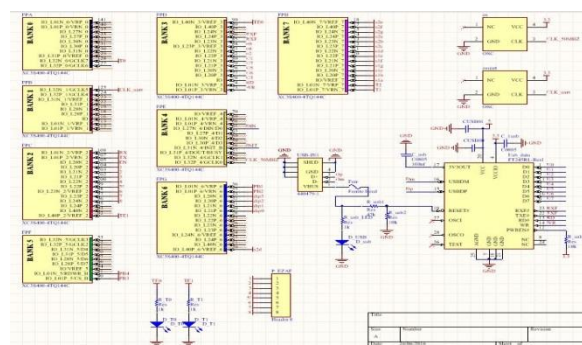
FT Open succsesfull
For Import Data , enter 0 :
0
Files Name is : Temperature_Data1.dat
Humidity_Data1.dat
ALL Pins output : OK!
FT Write OK
ALL Pins input : OK!
1: 254
Protocol Bytes Recived
2: 10
3: 10
4: 10
5: 10
6: 10
7: 10
8: 10
9: 10
10: 10
11: 10
12: 10
13: 10
14: 10
15: 10
16: 10
17: 10
18: 10
19: 10
20: 10
21: 254
Temperature is Recived
1: 10
2: 10
3: 10
4: 10
5: 10
6: 10
7: 10
8: 10
9: 10
10: 10
11: 10
12: 10
13: 10
14: 10
15: 10
16: 10
17: 10
18: 10
19: 10
20: 10
21: 254
Humidity is Recived
FT_Reset OK!
For Import Data , enter 0 :
    
```

شکل ۷: اطلاعات دریافت شده از برد اصلی توسط کامپیوتر

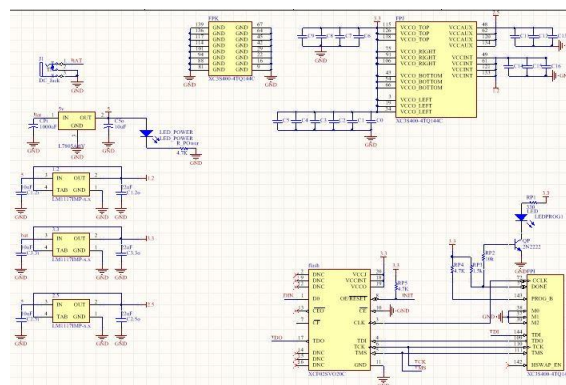
### ۴- کدگذاری اطلاعات

اطلاعاتی که بین دو برد و از طریق بلوتوث جابجا می‌شود توسط پروتکل همینگ کدگذاری و دارای قابلیت تشخیص و تصحیح خطا می‌باشد. در کد همینگ K بیت توازن به N بیت اطلاعات اضافه می‌شود که در این صورت اطلاعات جدید دارای N+K بیت می‌باشد. که موقعیت این بیت‌ها دو برابر جایگاه بیت قبلی است. به عنوان مثال ۸ بیت اطلاعات را به صورت 11000100 در نظر بگیرید که با اضافه کردن ۴ بیت توازن به صورت زیر درمی‌آید.

Bit position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	$P_1$	$P_2$	1	$P_4$	1	0	0	$P_8$	0	1	0	0



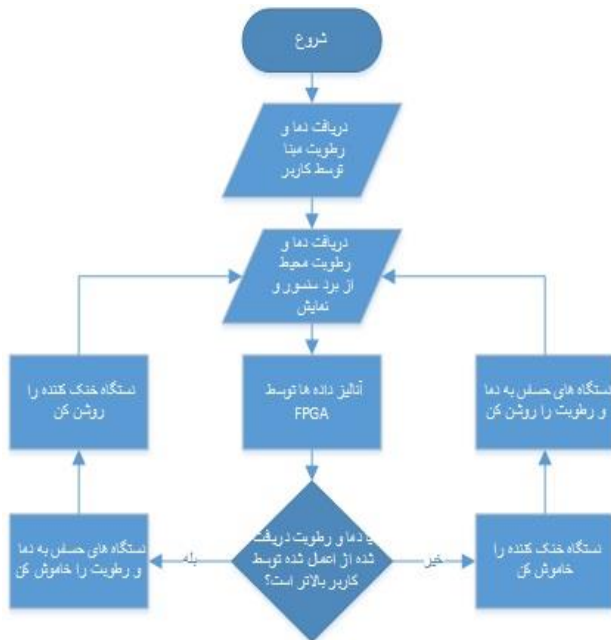
شکل ۴: شماتیک برد اصلی



شکل ۵: شماتیک تغذیه برد اصلی

### ۶- فلوجارت

با شروع کار دما و رطوبت توسط سنسورهای مورد استفاده در دستگاه دریافت و به FPGA ارسال می‌شود که متناسب با مقادیر تعیین شده دستور قطع و وصل را به دستگاه رطوبت‌ساز و خنک‌کننده ارسال می‌نماید.



شکل ۹: فلوجارت نحوه‌ی کارکرد پروژه

### ۷- نتیجه‌گیری

امروزه با پیشرفت روزافزون دنیای الکترونیک در زندگی بشر افزایش سرعت و قدرت در وسایل الکترونیکی و حذف راه‌های ارتباطی فیزیکی از قبیل سیم و همچنین امن بودن ارتباط‌های موجود به منظور جلوگیری از سرقت اطلاعات ضروری به نظر می‌رسد.

در این مقاله سعی بر آن شد تا یک روش امن برای کنترل دستگاه‌های حساس به حرارت و رطوبت برای استفاده در محیط‌های حساس صنعتی و نظامی از طریق بلوتوث ارائه شود.

### ۸- مراجع

- [1] A. Pawar, "Direct Digital Synthesizer Based on FPGA", *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol. 4, Issue 7, pp. 6129-6134, July 2015.
- [2] L. Wenxing, and Z. Ye, "The Design of Digital Frequency Synthesizer Based on VHDL", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol. 48 No.3, pp. 1680-1684, 2013.
- [3] B. Laemmle, C. Wagner, H. Knapp, L. Maurer, and R. Weigel. "A 366mW direct digital synthesizer at 15GHz clock frequency in SiGe Bipolar technology." In *2009 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, pp. 415-418. IEEE, 2009.
- [4] S. Yanbina, G. Jianb, and C. Ningc, "High Precision Digital Frequency Signal Source Based on FPGA", *Physics Procedia* vol. 25, pp. 1342 – 1347, 2012.

$$P_1 = \text{XOR of bits (3, 5, 7, 9, 11)} = 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$P_2 = \text{XOR of bits (3, 6, 7, 10, 11)} = 1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$P_4 = \text{XOR of bits (5, 6, 7, 12)} = 1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$P_8 = \text{XOR of bits (9, 10, 11, 12)} = 0 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$C_1 = \text{XOR of bits (1, 3, 5, 7, 9, 11)}$$

$$C_2 = \text{XOR of bits (2, 3, 6, 7, 10, 11)}$$

$$C_4 = \text{XOR of bits (4, 5, 6, 7, 12)}$$

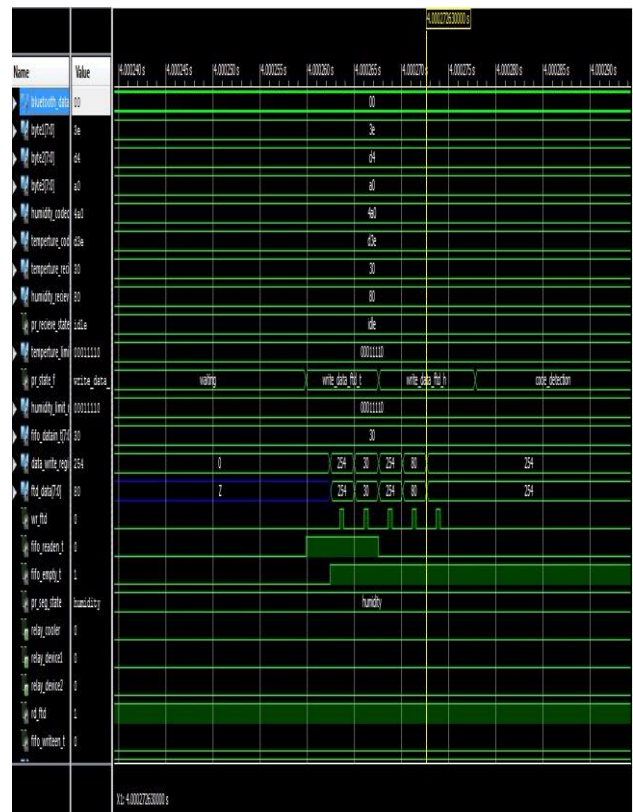
$$C_8 = \text{XOR of bits (8, 9, 10, 11, 12)}$$

زمانی که 12 بیت آماده شد از جهت خطا به صورت زیر چک می‌شوند.

	C <sub>8</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>
No error	0	0	0	0
Error in bit 1	0	0	0	1
Error in bit 5	0	1	0	1

### ۵- شبیه‌سازی

هرچند نشان دادن کارایی یک سیستم پیچیده ساخته‌شده با متغیرهای زیاد با عملکردهای فراوان در قالب صرفاً یک یا چند شکل شبیه‌سازی امکان‌پذیر نیست اما در این قسمت نمونه‌ای از نتایج شبیه‌سازی مربوط به برد اصلی در نرم‌افزار ISE آورده شده است.



شکل ۸: شبیه‌سازی با نرم‌افزار ISE



- [5] J. M. P. Langlois and D. Al-Khalili, "Phase to sinusoid amplitude conversion techniques for direct digital frequency synthesis," in *IEE Proc. Circuits Devices Syst.*, Dec. 2004, pp. 519–528.
- [6] B. Laemmle, C. Wagner, H. Knapp, L. Maurer, and R. Weigel, "A 366mW direct digital synthesizer at 15GHz clock frequency in SiGe Bipolar technology," in *Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, 2009. RFIC 2009. IEEE*, 2009, pp. 415–418.
- [7] A. D. Gaikwad, G. U. Kharat, S. H. Bodake, "A Review on Design and Implementation of Numerically Controlled Oscillator", *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 4, Issue 4, pp. 5023-5029, April 2016.
- [8] X. Geng, X. Yu, F. F. Dai, J. D. Irwin, and R. C. Jaeger, "An 11-bit 8.6 GHz direct digital synthesizer MMIC with 10-bit segmented nonlinear DAC," in *34th Eur. Solid-State Circuits Conf. (ESSCIRC)*, Sep. 2008, pp. 362–365.