

**APLIKASI FPGA SEBAGAI PENGENDALI SUHU PEMANAS
(HEATER) PADA PROSES SPIN COATING**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*



**DISUSUN OLEH:
ARIS PRIMA SETIAWAN
NIM. 0810630034-63**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2015**

LEMBAR PERSETUJUAN

**APLIKASI FPGA SEBAGAI PENGENDALI SUHU PEMANAS
(HEATER) PADA PROSES SPIN COATING**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

ARIS PRIMA SETIAWAN

NIM. 0810630034-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

Mochammad Rif'an, S.T., M.T.

NIP. 19710301 200012 1 001

Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng.

NIK. 201201841130 1 001

LEMBAR PENGESAHAN
APLIKASI FPGA SEBAGAI PENGENDALI SUHU PEMANAS
(HEATER) PADA PROSES SPIN COATING

SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:
ARIS PRIMA SETIAWAN
NIM. 0810630034-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 27 Agustus 2015

DOSEN PENGUJI

Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc. **Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.**
NIP. 19590304 198903 1 001 **NIP. 19700329 200012 1 001**

Ir. M. Julius St., M.S.
NIP. 19540720 198203 1 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karuniaNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Aplikasi FPGA sebagai Pengendali Suhu Pemanas (*Heater*) pada Proses *Spin Coating*”. Skripsi ini disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

- Allah SWT yang memberikan rizqi, rahmat, hidayah, serta ma'unahNya kepada penulis, baik dalam hidup penulis pada umumnya, maupun hingga terselesaikannya skripsi ini pada khususnya,
- Ayah dan ibu, atas segala nasihat, kasih sayang, perhatian dan kesabarannya di dalam membesarkan dan mendidik penulis, khususnya ibu yang telah banyak memberikan dukungan, baik moral maupun material, serta mendoakan kelancaran penulis hingga terselesaikannya skripsi ini,
- Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. sebagai Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T. sebagai Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Mochammad Rif'an, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran serta motivasi yang telah diberikan,
- Bapak Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng. sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran serta motivasi yang telah diberikan,
- Staf Rekording, staf Pengajaran, staf Pengajar, dan staf Ruang Baca Jurusan Teknik Elektro yang telah membantu segala urusan penulis selama ini,
- Denny Satrio N., atas segala doa, dukungan, dan referensi-referensi yang sangat membantu yang diberikan kepada penulis hingga terselesaikannya skripsi ini,

- Bapak Sanari sekeluarga, atas segala doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis hingga terselesaikannya skripsi ini,
- Bapak Gianto sekeluarga, atas segala doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis hingga terselesaikannya skripsi ini,
- Teman-teman seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi,
- Teman-teman Laboratorium SISDIG,
- Teman-teman Concordes angkatan 2008 yang telah berbagi ilmu dengan penulis dan selalu memberikan semangat,
- Seluruh teman-teman, senior serta semua pihak yang tidak mungkin untuk dicantumkan namanya satu-persatu, terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis berharap, semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Agustus 2015

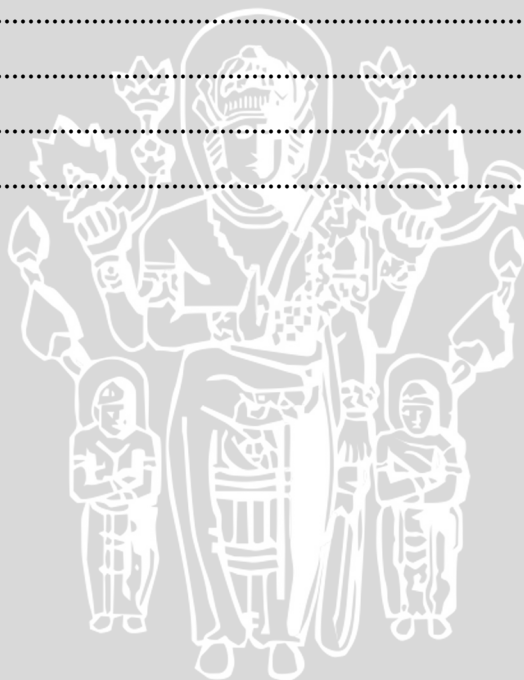
Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
ABSTRAK.....	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Spin Coating</i>	4
2.2 <i>FPGA (Field Programmable Gate Array) Nexys 2</i>	5
2.3 <i>Solid State Relay (SSR)</i>	6
2.4 <i>PWM (Pulse Width Modulation)</i>	7
2.5 Modul Sensor Suhu SHT11.....	8
BAB III METODOLOGI.....	10
3.1 Penentuan Spesifikasi Alat	10
3.2 Perancangan dan Pembuatan Alat	10
3.2.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	10
3.2.2 Perancangan dan Penyusunan Perangkat Lunak	10
3.3 Pengujian Alat	11
3.3.1 Pengujian Tiap Blok	11
3.3.2 Pengujian Keseluruhan Sistem	11
3.4 Pengambilan Kesimpulan	11
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....	12
4.1 Perancangan Sistem	12
4.2 Perancangan Mekanik Alat.....	13
4.3 Perancangan Rangkaian <i>Driver Heater</i>	13
4.4 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak	14
4.4.1 Perancangan <i>encoder keypad</i> matriks 4x4.....	15

4.4.2	Perancangan rangkaian <i>main controller</i>	16
4.4.3	Perancangan pembangkit sinyal PWM.....	16
4.4.4	Perancangan rangkaian penerima data SHT11	18
4.4.5	Perancangan rangkaian data <i>output</i>	19
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS		21
5.1	Pengujian Catu Daya	21
5.2	Pengujian <i>Input/Output</i>	22
5.3	Pengujian PWM.....	24
5.4	Pengujian <i>Main Controller</i>	26
5.5	Pengujian ALU	27
5.6	Pengujian Secara Keseluruhan	28
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		30
6.1	Kesimpulan.....	30
6.2	Saran	30
DAFTAR PUSTAKA		31
LAMPIRAN.....		32



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi Proses <i>Spin Coating</i>	5
Gambar 2.2 Arsitektur FPGA	6
Gambar 2.3 Bentuk Fisik <i>Solid State Relay</i>	7
Gambar 2.4 Ilustrasi Cara Kerja SSR	7
Gambar 2.5 Sinyal PWM secara Umum	8
Gambar 2.6 Bentuk Fisik Modul Sensor Suhu SHT11	8
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem secara Keseluruhan	12
Gambar 4.2 Rancangan Alat Tampak Prespektif	13
Gambar 4.3 Rangkaian Pengendali Suhu Heater Menggunakan <i>Solid State Relay</i>	14
Gambar 4.4 Perancangan Perangkat Lunak Sistem dalam FPGA	15
Gambar 4.5 Skema <i>Keypad</i> Matriks 4x4	16
Gambar 4.6 Diagram Blok Rangkaian <i>Main Controller</i>	16
Gambar 4.7 <i>Timing Diagram</i> Sinyal PWM	17
Gambar 4.8 Diagram Blok Rangkaian Pembangkit Sinyal PWM pada FPGA	18
Gambar 4.9 Diagram Blok Perancangan Penerima Data Sensor SHT11	18
Gambar 4.10 <i>Timing Diagram</i> Komunikasi 2-Wire Data Sensor SHT11	19
Gambar 5.1 Pengujian Tegangan Masukan dan Keluaran pada Rangkaian Catu Daya 3,3VDC dengan Menggunakan Multimeter	22
Gambar 5.2 Pengujian <i>Input/Output</i> pada Modul FPGA	24
Gambar 5.3 <i>Timing Diagram</i> Sinyal PWM dengan <i>Input</i> 01111101 Menggunakan Isim	25
Gambar 5.4 Diagram Blok Pengujian <i>Main Controller</i>	26
Gambar 5.5 Rangkaian Pengujian ALU pada FPGA	27

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Algoritme <i>Double Dabble</i> Bilangan Biner 8 Bit ke Bilangan BCD.....	20
Tabel 5.1 Pengujian <i>Input/Output</i> pada FPGA.....	23
Tabel 5.2 Pengujian Sinyal PWM FPGA dalam Volt	25
Tabel 5.3 Data Hasil Pengujian <i>Main Controller</i>	26
Tabel 5.4 Pengujian ALU pada FPGA dengan Operator Tambah (+).....	27
Tabel 5.5 Pengujian ALU pada FPGA dengan Operator Kurang (-).....	28
Tabel 5.6 Data Hasil Pengujian Pembacaan Suhu <i>Heater</i> dengan Menggunakan Rangkaian LM35	29



ABSTRAK

Aris Prima Setiawan, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2015, *Aplikasi FPGA sebagai Pengendali Suhu Pemanas (Heater) pada Proses Spin Coating*, Dosen Pembimbing: Mochammad Rif'an, S.T., M.T. dan Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng.

Abstrak—Indonesia memiliki kekayaan berupa energi sinar matahari. Sangat disayangkan apabila potensi sebesar ini tidak dimanfaatkan dengan baik. Salah satu cara memanfaatkannya adalah dengan menggunakan sel surya organik jenis *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Dengan memakai TiO_2 sebagai bahan pelapis substrat dan metode *spin coating* sebagai metode deposisi untuk proses pelapisan substrat, maka proses pembuatan DSSC akan lebih mudah dan murah. *Spin coating* dilakukan dengan cara memberikan putaran pada substrat hingga pasta TiO_2 melapisi permukaan substrat, kemudian dilakukan pemanasan substrat untuk menguapkan *solvent* atau pelarut. Penelitian akan difokuskan pada perancangan sistem pengendali suhu *heater*. Dengan pengendali utama sistem *spin coating* ini adalah menggunakan FPGA (*Field Programmable Gate Array*), yang akan memberikan sinyal PWM untuk mengendalikan suhu *heater*. Sistem kendali dilengkapi dengan *timer* untuk mengatur durasi putaran dan suhu pemanas. Pada pengukuran suhu pemanas akan digunakan sensor SHT11. Hasil pencatatan suhu oleh SHT11 akan diolah oleh FPGA untuk kemudian ditampilkan dalam satuan derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$). Dari hasil pengujian keseluruhan didapatkan kesalahan rata-rata sebesar 1,378%.

Kata Kunci—*Spin Coating*, FPGA, PWM, *Heater*, Sensor SHT11.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara yang mempunyai wilayah yang luas dan terletak di sekitar garis Khatulistiwa, Indonesia memiliki sumber daya alam dan energi yang melimpah, salah satunya adalah cahaya matahari. Hampir sepanjang tahun wilayah Indonesia disinari cahaya matahari (Jalaluddin Rumi dkk., 2010). Sangat disayangkan apabila potensi sebesar itu tidak dimanfaatkan dengan baik. Maka diperlukan alat yang dapat menerima dan mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik yang dapat kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari, alat ini biasa dikenal dengan *solar cell* atau sel surya.

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC), merupakan sel surya berbasis semikonduktor dengan bahan organik yang menggunakan proses fotoelektrokimia sebagai prinsip dasar dalam menghasilkan energi listrik. Sel surya jenis ini relatif murah dalam proses fabrikasinya dibandingkan dengan sel surya lainnya. TiO_2 (Titanium Dioksida) merupakan material semikonduktor yang sedang umum digunakan dalam fabrikasi sel surya jenis ini. Dengan kinerja yang bagus, tidak adanya efek negatif bagi kesehatan, serta harga TiO_2 yang relatif murah, biaya pembuatan DSSC dapat lebih ditekan lagi.

Mengenai pembuatan lapisan tipis (*Thin Film*) TiO_2 , berbagai teknik telah bermunculan, seperti teknik *Slip Casting*, *Doctor Blade*, *Screen Printing*, *Spray*, *Sol Gel* (Minegishi, 1997), *Sputtering*, *Spin Coating*, *Dip Coating*, dan masih banyak lagi. *Spin coating* (Zhang, 2003) adalah metode pelapisan yang paling mudah, aman, dan sederhana. Dengan homogenitas yang baik dan dapat dilakukannya pengaturan ketebalan lapisan, maka menjadikan *spin coating* banyak digunakan dalam fabrikasi DSSC.

Dalam teknik *spin coating* digunakan cara meletakkan sedikit pasta TiO_2 pada permukaan substrat kemudian diberikan putaran menaikkan suhu,. Variasi nilai kecepatan putaran dan suhu yang dikenakan pada substrat TiO_2 akan berpengaruh pada hasil akhir yang didapatkan. Berdasarkan metode *spin coating* tersebut, maka disusunlah skripsi, yang akan membahas secara rinci mengenai segala komponen yang dibutuhkan serta langkah-langkah yang dilakukan dalam perancangan sebuah alat *spin coater*. Tetapi dalam penelitian ini, hanya dibahas mengenai perancangan sebuah

pengendali suhu pemanas pada alat *spin coater*. Tidak termasuk perancangan pengendali putaran motor DC.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka pembahasan skripsi ini ditekankan pada:

1. Bagaimana merancang RTC/timer dan generator sinyal PWM untuk kendali suhu heater pada FPGA?
2. Bagaimana membuat sebuah rangkaian driver pemanas?
3. Bagaimana merancang sistem antarmuka (*interface*) antara FPGA dengan input unit, display, rangkaian driver, dan sensor suhu?

1.3 Ruang Lingkup

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan alat diberi batasan sebagai berikut:

1. Penelitian hanya terbatas pada perancangan dan pembuatan alat untuk proses *spin coating*. Pembahasan penelitian akan terpusat pada perancangan sistem pengendali suhu pemanas.
2. Batas masukan yang diberikan untuk suhu pemanas adalah hingga 100°C.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat suatu alat pengendali suhu pemanas pada proses *spin coating* dalam fabrikasi DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*) untuk memaksimalkan proses penguapan *solvent*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat, yaitu tentang *spin coating*, FPGA, *Solid State Relay*, *Pulse Width Modulation*, dan sensor suhu SHT11.

BAB III Metodologi

Berisi tentang metode-metode yang dipakai dalam melakukan perancangan, pengujian, dan analisis data, yaitu studi literatur, penentuan spesifikasi alat, perancangan dan pembuatan alat, pengujian alat, dan pengambilan kesimpulan.

BAB IV Perancangan

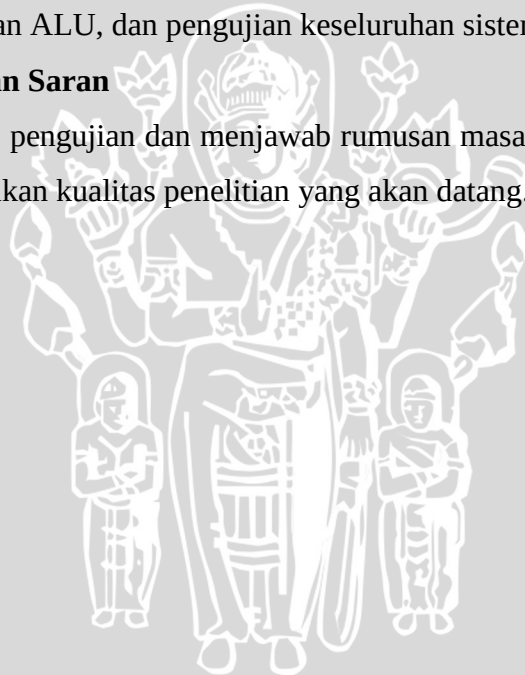
Perancangan dan perealisasiian alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan diagram blok, prinsip kerja dan realisasi alat. Perancangan yang dilakukan meliputi perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

BAB V Pengujian dan Analisis

Memuat aspek pengujian meliputi penjelasan tentang cara pengujian dan hasil pengujian. Aspek analisis meliputi penilaian atau komentar terhadap hasil-hasil pengujian. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian catu daya, pengujian I/O, pengujian PWM, pengujian ALU, dan pengujian keseluruhan sistem.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat intisari hasil pengujian dan menjawab rumusan masalah serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan kualitas penelitian yang akan datang.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

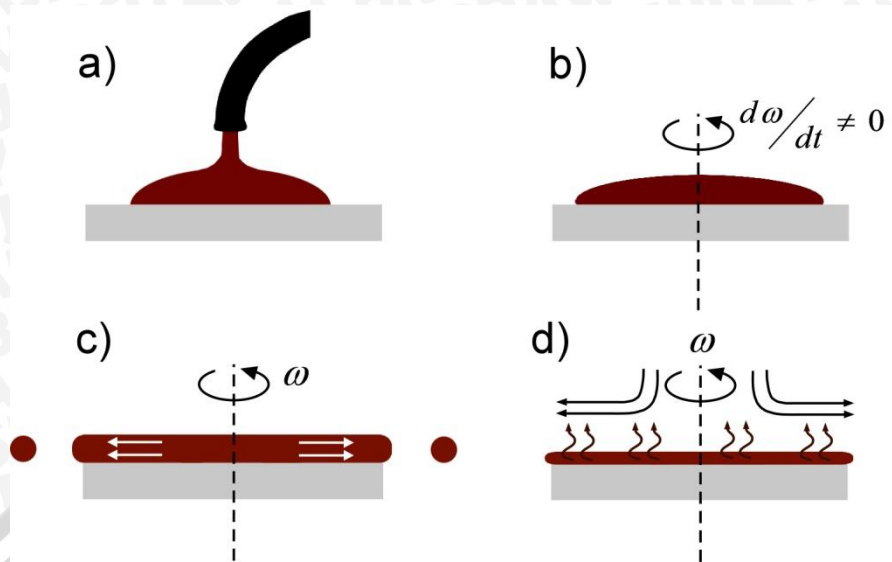
Spin coater adalah sebuah alat untuk menjalankan proses *spin coating*. Dalam proses *spin coating*, penguapan pelarut merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap hasil dari *spin coating*. untuk memaksimalkan proses penguapan pelarut, maka dirancanglah suatu sistem pengendali suhu pemanas untuk proses *spin coating*.

Dalam perancangan alat untuk mengendalikan suhu pemanas pada proses *spin coating* ini diperlukan pemahaman tentang beberapa hal yang menunjang kelancaran proses perancangan alat ini. Teori-teori yang perlu dipahami dalam merancang sistem ini antara lain adalah tentang metode *spin coating*, FPGA, PWM, SSR, dan sensor suhu SHT11.

2.1 *Spin Coating*

Secara harfiah, *spin coating* berarti melapisi dengan memanfaatkan putaran. Lengkapnya, *spin coating* adalah suatu metode yang digunakan untuk pelapisan film tipis (*Thin Film*) pada substrat datar. Caranya dengan meletakkan sebagian kecil bahan pelapis berbahan semikonduktor ke tengah permukaan substrat, kemudian diputar secara horizontal dengan kecepatan tertentu. Dengan bantuan gaya sentrifugal yang ada saat diputar, maka perlahan-lahan pelapis akan menipis dan melebar, serta menutupi permukaan substrat. *Spin coating* banyak digunakan dalam pembuatan film tipis karena dapat menghasilkan kehomogenan pelapisan yang baik serta biaya yang dibutuhkan untuk proses ini relatif murah

Hasil proses *spin coating* bergantung pada dua faktor, kecepatan putaran motor (*spin*) dan penguapan (*evaporation*). Kecepatan putaran berpengaruh pada kehomogenan pelapis, sedangkan yang dimaksud dengan penguapan adalah penguapan pelarut (*solvent*) agar didapatkan konsentrasi bahan semikonduktor yang maksimal.



Gambar 2.1 Ilustrasi Proses Spin Coating.
dari Hellstrom, S.L.(2007). *Basic Models of Spin Coating*: 2.fig.2

Dalam Gambar 2.1 di atas ditunjukkan urutan proses dalam metode *spin coating* yaitu:

- Peletakan bahan pelapis berupa pasta semikonduktor ke tengah permukaan substrat.
- Mulai dilakukan proses pelapisan dengan memutar substrat dan pelapis.
- Pelapis mulai merata pada permukaan substrat karena adanya gaya sentrifugal.
- Penguapan bahan pelarut (*solvent*) pada pasta semikonduktor.

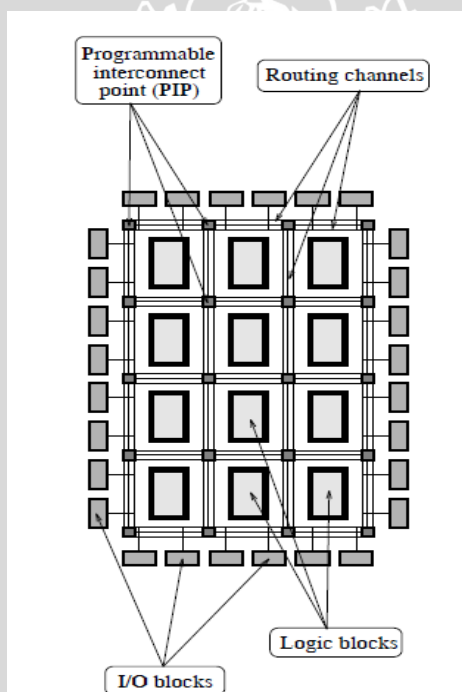
2.2 FPGA (*Field Programmable Gate Array*) Nexys 2

FPGA (*Field Programmable Gate Array*) adalah komponen elektronika dan semikonduktor yang mempunyai komponen gerbang terprogram (*Programmable Logic*) dan sambungan terprogram berdasarkan *array*. Komponen gerbang yang dimiliki meliputi jenis gerbang logika biasa (AND, OR, XOR, NOT) maupun jenis fungsi matematis dan kombinatorik yang lebih kompleks (*decoder*, *adder*, *subtractor*, *multiplier* dan lain-lain). Blok-blok komponen di dalam FPGA bisa juga mengandung berupa elemen memory (register) mulai flip-flop sampai pada RAM (*Random Access Memory*).

Secara umum arsitektur bagian dalam dari IC FPGA terdiri atas tiga elemen utama yaitu *Input/Output Blok (IOB)*, *Configurable Logic Block (CLB)* dan *Interkoneksi*. Arsitektur FPGA tersebut memungkinkan setiap *logic block* dapat digunakan dan diimplementasikan ke dalam suatu fungsi yang sederhana. Sebagai contoh hal itu mungkin untuk mengonfigurasi blok logika menjadi sebuah seperti fungsi yang

memiliki 3 *input*, seperti gerbang logika (AND, OR, NAND, dan lain-lain) atau sebuah elemen penyimpan (D Flip-flop, D Latch, dan lain-lain) (Clive Maxfield, 2009). Gambar 2.2 menunjukkan arsitektur FPGA.

- *Configurable Logic Blocks:*
 - *Look up table based complex structure*
 - *Implement the sequential circuit*
- *Programmable Interconnect:*
 - Berisi *wire segments* dan *programmable switches*
 - Menghubungkan antar-*Configurable Logic Blocks* yang berbeda
- *Input/output block:*
 - Sebagai antarmuka/interface antara *external package pin* dari *device* dan *internal user logic*



Gambar 2.2 Arsitektur FPGA

dari U. Meyer and Baese.(2007). *Digital Signal Processing with Field Programmable Gate Array*

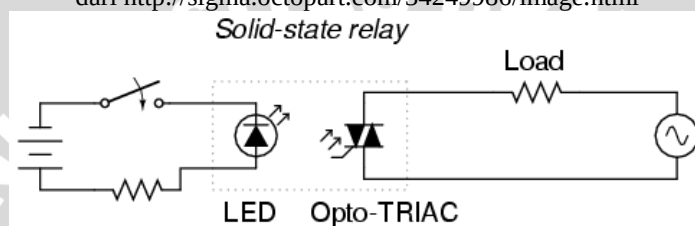
2.3 Solid State Relay (SSR)

Sama seperti komponen *relay* biasa, SSR adalah komponen elektronika yang digunakan pada proses *switching*. Jika *relay* biasa menggunakan prinsip elektromekanik, maka SSR menggunakan prinsip optik. Di dalam SSR terdapat sumber cahaya berupa LED dan *receiver* berupa *Opto-TRIAC*. Prinsip kerjanya relatif sederhana, jika LED menyala, maka TRIAC aktif. *Output* SSR berupa arus AC. Gambar

2.3 menunjukkan bentuk fisik SSR, sedangkan Gambar 2.4 menunjukkan ilustrasi cara kerjanya.



Gambar 2.3 Bentuk Fisik *Solid State Relay*. Diambil pada 2 Agustus 2015, dari <http://sigma.octopart.com/34249986/image.html>



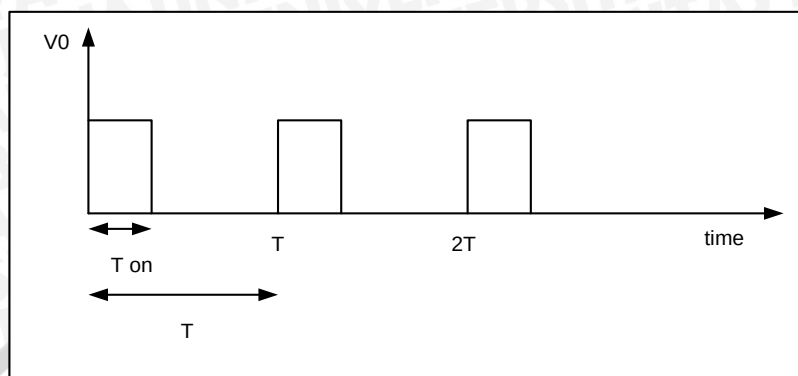
Gambar 2.4 Ilustrasi Cara Kerja SSR. Diambil pada 2 Agustus 2015, dari <https://desyanpra.files.wordpress.com/2015/04.html>

Pada *Solid-State Relay* tidak terdapat bagian yang bergerak seperti halnya pada *relay* biasa, sehingga SSR memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan *relay* konvensional yang elektromekanik. Di antaranya adalah *relay* mempunyai sebuah bagian yang bergerak yang disebut kontaktor dan bagian ini tidak ada pada SSR sehingga tidak mungkin terjadi 'no contact' karena kontaktor tertutup debu bahkan karat. Tidak pula terdapat 'bounce', karena tidak terdapat kontaktor yang bergerak maka pada SSR tidak terjadi peristiwa 'bounce' yaitu peristiwa terjadinya pantulan kontaktor pada saat terjadi perpindahan keadaan. Dengan kata lain dengan tidak adanya *bounce* maka tidak terjadi percikan bunga api. Namun SSR sulit untuk diaplikasikan pada rangkaian multifasa (lebih dari 1 fasa), dan harga SSR jauh lebih mahal dibandingkan dengan *relay* biasa, mengingat bahwa keduanya memiliki fungsi yang sama.

2.4 PWM (Pulse Width Modulation)

PWM (*Pulse Width Modulation*) digunakan untuk mengatur keadaan suhu pemanas. Di mana tinggi suhu pemanas tergantung pada besarnya *duty cycle* yang diberikan pada pemanas tersebut.

Pada sinyal PWM, frekuensi sinyal konstan sedangkan *duty cycle* bervariasi dari 0%-100%. Dengan mengatur *duty cycle* akan diperoleh keluaran sinyal PWM yang diinginkan. Ilustrasi sinyal PWM secara umum ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sinyal PWM secara Umum

$$Dutycycle = \frac{T_{on}}{T} \times 100\% \dots (\%) \quad (2.23)$$

Dengan:

T_{on} = Periode logika tinggi

T = Periode keseluruhan

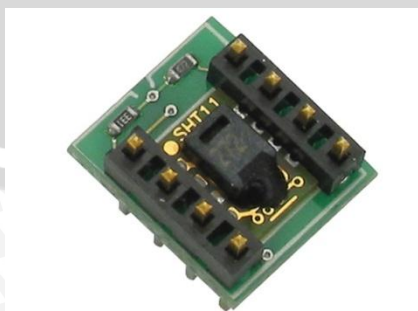
$$V_{dc} = Dutycycle \times V_{cc} \dots (V) \quad (2.24)$$

Sedangkan frekuensi sinyal dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$f_{on} = \frac{f_{clk}/10}{N.256} \dots (Hz) \quad (2.25)$$

2.5 Modul Sensor Suhu SHT11

SHT11 merupakan modul sensor suhu dan kelembaban relatif. Modul ini dapat digunakan sebagai alat pengindra suhu dan kelembaban dalam aplikasi pengendali suhu dan kelembaban ruangan maupun aplikasi pemantau suhu dan kelembaban relatif ruangan. Gambar 2.6 menunjukkan bentuk fisik modul sensor SHT11.



Gambar 2.6 Bentuk Fisik Modul Sensor Suhu SHT11. Diambil pada 3 Agustus 2015, dari <https://www.adafruit.com/images/1200x900.htm>

SHT11 adalah sebuah *chip* tunggal sensor suhu dan kelembaban relatif dengan multi modul sensor yang *output*-nya telah dikalibrasi secara digital. Di bagian dalamnya terdapat kapasitas polimer sebagai elemen untuk sensor kelembaban relatif dan sebuah pita regangan yang digunakan sebagai sensor temperatur. *Output* kedua sensor digabungkan dan dihubungkan pada ADC 14 bit dan sebuah *interface* serial pada satu chip yang sama. Sensor ini menghasilkan sinyal keluaran yang baik dengan waktu respon yang cepat.

SHT11 memiliki *range* pengukuran suhu dari -40°C hingga $123,8^{\circ}\text{C}$, atau dari -40°F hingga $254,9^{\circ}\text{F}$, dengan tingkat akurasi pengukuran suhu hingga sebesar $0,5^{\circ}\text{C}$. Catu daya yang dibutuhkan adalah berkisar antara 2,4V hingga 5V DC. Jenis komunikasi antarmuka yang digunakan oleh SHT11 adalah serial *synchronous 2-wire*, bukan komunikasi I2C, meskipun keduanya sama-sama memiliki 2 jalur komunikasi.



BAB III

METODOLOGI

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan metode untuk menyelesaikan masalah tersebut.

3.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara global ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi alat yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. FPGA Nexys 2 digunakan sebagai *controller* utama sistem.
2. Driver Heater menggunakan Solid State Relay Crydom 50A .
3. *Heater* menggunakan elemen pemanas pada kompor listrik.
4. Sensor suhu yang dipakai adalah SHT11 *module*.
5. Rentang suhu yang dimasukkan adalah hingga 100°C
6. Program untuk memprogram FPGA menggunakan Xilinx ISE 14.1 dan Digilent Adept rev.2.2.0 untuk *downloader* program.
7. Catudaya *heater* menggunakan listrik rumahan 220V, 50Hz.

3.2 Perancangan dan Pembuatan Alat

3.2.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

1. Pembuatan blok diagram lengkap sistem
2. Pembuatan mekanik alat
3. Pembuatan dan perhitungan komponen yang akan digunakan
4. Merakit perangkat keras masing-masing blok.

3.2.2 Perancangan dan Penyusunan Perangkat Lunak

Setelah kita mengetahui seperti apa perangkat keras yang dirancang, maka kita membutuhkan perangkat lunak untuk mengendalikan dan mengatur kerja dari alat ini. Desain dan parameter yang telah dirancang kemudian diterapkan ke dalam FPGA Nexys2 menggunakan bahasa VHDL, dengan menggunakan Xilinx ISE 14.1 sebagai *compiler* program dan Digilent Adept rev. 2.2.0 sebagai *downloader/writer* program.

3.3 Pengujian Alat

Untuk memastikan bahwa sistem ini berjalan sesuai yang direncanakan, maka perlu dilakukan pengujian alat meliputi perangkat keras (*hardware*) yang dilakukan, baik per blok maupun keseluruhan sistem.

3.3.1 Pengujian Tiap Blok

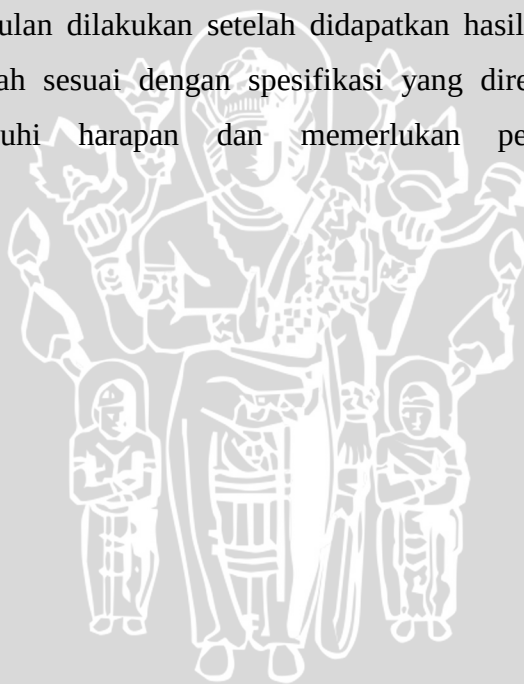
Pengujian per blok dilakukan dengan tujuan untuk menyesuaikan nilai masukan dan nilai keluaran tiap-tiap blok sesuai dengan perancangan yang dilakukan sebelumnya.

3.3.2 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui unjuk kerja alat setelah perangkat keras dan perangkat lunak diintegrasikan bersama.

3.4 Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan dilakukan setelah didapatkan hasil dari pengujian. Jika hasil yang diperoleh telah sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan maka alat tersebut telah memenuhi harapan dan memerlukan pengembangan untuk penyempurnaannya.



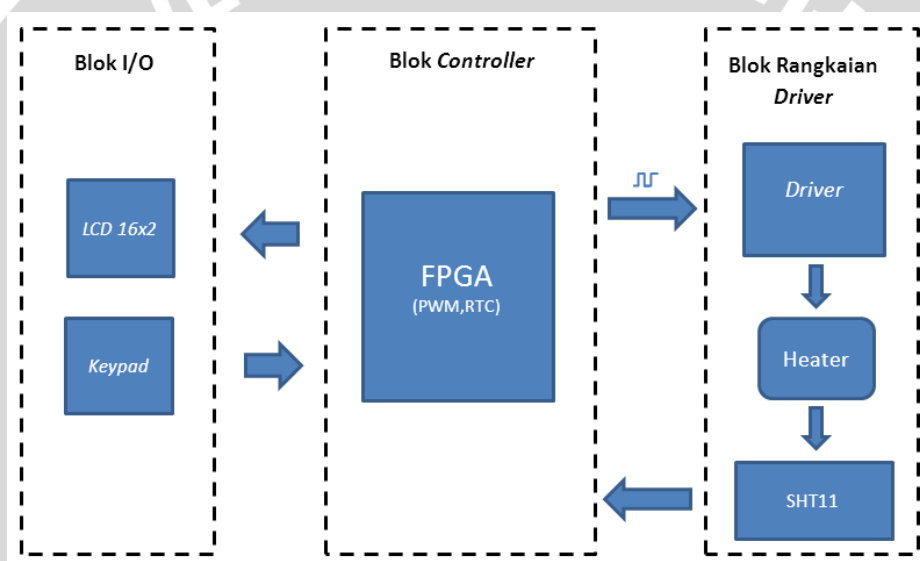
BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab perancangan dan pembuatan alat menjelaskan tentang langkah-langkah perancangan dan pembuatan sebuah *spin coater* mulai dari diagram blok sistem, desain mekanik alat, *perancangan perangkat keras*, dan *perancangan perangkat lunak*. Perancangan dan pembuatan dilakukan secara bertahap dan sistematis, sehingga nantinya akan memudahkan dalam analisis sistem.

4.1 Perancangan Sistem

Secara garis besar, diagram blok perancangan *hardware* sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



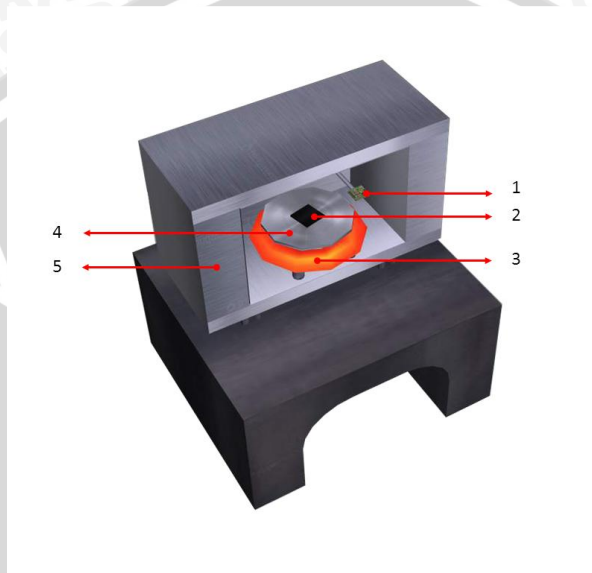
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem secara Keseluruhan

Input sistem ini berasal dari sebuah *Keypad* Matriks 4x4. Ada 2 jenis data yang dimasukkan melalui *Keypad* ini, yaitu data suhu pemanas dalam satuan derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$) dan data lama durasi atau *timer* proses *spin coating* dalam satuan menit dan detik. Adapun batasan masukan untuk suhu pemanas adalah hingga 100°C , sedangkan data durasi dapat dimasukkan hingga 99 menit 59 detik. Data masukan suhu pemanas akan digunakan sebagai data masukan *Main Controller* untuk membangkitkan sinyal PWM guna mengendalikan suhu *heater*, sedangkan data *timer* akan digunakan untuk memicu RTC (*Real Time Clock*) yang akan menghitung durasi proses *spin coating*. PWM akan memicu rangkaian *driver* pemanas untuk menaikkan suhu *heater* sesuai dengan data masukan yang diberikan. Sensor suhu SHT11 akan mengukur keadaan suhu *heater* dan kemudian data suhu akan diolah oleh *Main Controller* untuk dibandingkan dengan data

input. Data suhu akan dikonversi ke dalam satuan $^{\circ}\text{C}$ kemudian akan ditampilkan pada sebuah *display* LCD 16x2.

4.2 Perancangan Mekanik Alat

Pada perancangan mekanik alat penelitian ini akan ditunjukkan beberapa komponen penyusun utama penyusun alat *spin coater*. Gambar 4.2 merupakan desain tiga dimensi alat *spin coater* dengan penunjukan beberapa komponen alat menggunakan label angka.

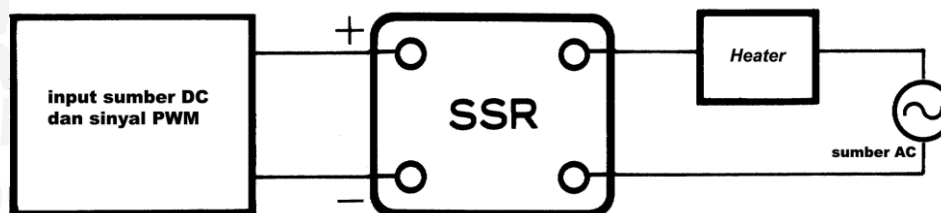


Gambar 4.2 Rancangan Alat Tampak Perspektif

Dalam gambar 4.2, yang ditunjukkan dengan nomor 1 adalah modul sensor suhu SHT11 yang berfungsi untuk mengukur suhu ruang *spin coating*. Nomor 2 menunjukkan sebuah substrat. Nomor 3 adalah elemen pemanas (*heater*) yang akan digunakan pada proses penguapan *solvent*. Elemen heater yang digunakan adalah elemen pemanas pada kompor listrik. Nomor 4 piringan pemutar berbentuk lingkaran dengan diameter 15 cm. Piringan ini digunakan sebagai tempat peletakan substrat yang akan digunakan pada proses *spin coating*. Pada nomor selanjutnya (Nomor 5) ditunjukkan ruang *spin coating*. Ruang ini memiliki panjang 39 cm, lebar 28 cm, dan tinggi 35 cm.

4.3 Perancangan Rangkaian *Driver Heater*

Rangkaian *driver heater* berfungsi untuk memberikan respon atas sinyal PWM untuk mengendalikan suhu pemanas. Gambar 4.3 menunjukkan skema perancangan rangkaian *driver heater* menggunakan SSR.

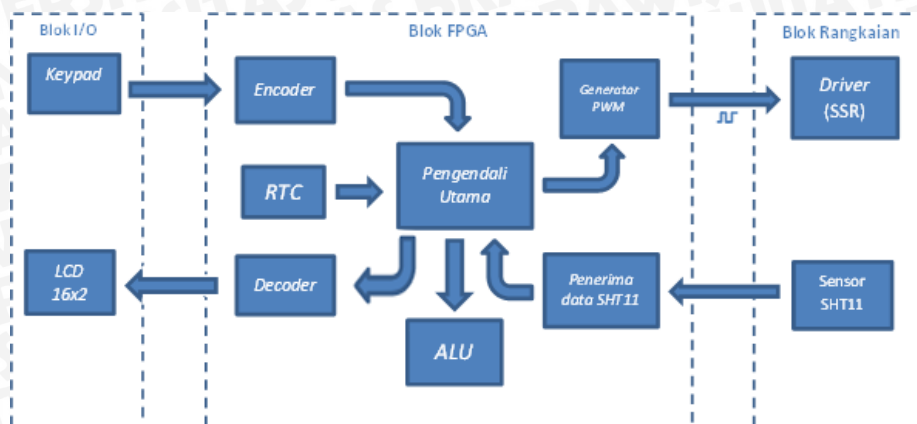


Gambar 4.3 Rangkaian Pengendali Suhu Heater Menggunakan Solid State Relay

Pada perancangan penelitian ini digunakan komponen modul *Solid State Relay* D2450-10 buatan Crydom, karena tipe pemanas yang digunakan pada perancangan ini menggunakan sumber daya arus bolak-balik (AC). SSR memiliki *input* berupa tegangan DC, dalam hal ini digunakan sinyal PWM, dan dapat mengatur beban *output* dengan tegangan AC dari 24V hingga 240V, dan arus hingga 50A pada frekuensi 50-60Hz. Dengan *input* berupa sinyal PWM maka pin DC (-) pada *input* akan dihubungkan ke GND heater yang digunakan

4.4 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak

Perancangan dan pembuatan perangkat lunak diperlukan untuk mendeskripsikan dan mengimplementasikan algoritme proses pada sistem *spin coating* yang diinginkan ke dalam FPGA. Perancangan perangkat lunak ini dilakukan dengan membuat program untuk bagian-bagian sistem kemudian diintegrasikan menjadi sebuah perangkat lunak yang mengkomunikasikan bagian-bagian sistem untuk bekerja menjadi satu sistem *spin coating* yang utuh. Adapun bagian-bagian sistem yang perlu dirancang adalah *encoder* untuk Keypad 4x4, pengendali utama sistem (*Main Controller*), pembangkit sinyal PWM, *timer/RTC* (*Real Time Clock*), penerima data dari sensor suhu, dan *decoder* untuk LCD 16x2. Sebelum memulai pembuatan perangkat lunak, ada baiknya jika dibuat blok diagram perancangan perangkat lunak sistem agar proses perancangan dan pembuatan lebih sistematis. Gambar 4.4 menunjukkan perancangan perangkat lunak sistem dalam FPGA beserta hubungan-hubungannya dengan perangkat-perangkat di luarnya.



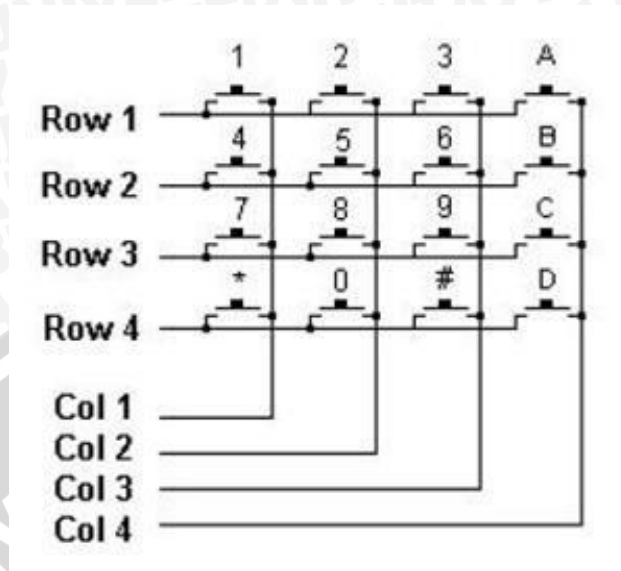
Gambar 4.4 Perancangan Perangkat Lunak Sistem dalam FPGA

4.4.1 Perancangan *encoder keypad* matriks 4x4

Perangkat yang digunakan sebagai unit masukan sistem adalah sebuah *keypad* matriks 4x4. Sebuah *keypad* matriks memiliki jalur baris dan jalur kolom, maka pada *keypad* matriks 4x4 akan ditemukan 4 buah jalur baris (Baris1, Baris2, Baris3, Baris4) dan 4 buah jalur kolom (Kolom1, Kolom2, Kolom3, Kolom4). Skema *keypad* matriks 4x4 ditunjukkan dalam Gambar 4.5. Pada sistem ini jalur baris akan berfungsi sebagai *input* untuk *keypad* dan jalur kolom akan digunakan sebagai *output* dari *keypad* atau *input* untuk FPGA.

Pembuatan *encoder keypad* dilakukan agar FPGA (*main controller*) dapat mengetahui tombol mana yang sedang ditekan saat *user* memasukkan data *input*. *Encoder keypad* 4x4 ini dapat dibuat dengan cara melakukan pemetaan terhadap tombol-tombol *keypad* melalui proses pengecekan jalur baris dan jalur kolom, sehingga data keluaran *keypad* membentuk barisan data diskrit. Pemetaan baris dilakukan dengan cara memberi logika 0 pada jalur baris yang dipilih dan logika 1 pada jalur baris lainnya. Misalnya Baris1-Baris4 berlogika 1011, maka yang sedang terpilih adalah Baris2. Sedangkan jalur kolom yang terhubung langsung dengan sumber memiliki logika awal 1. Ketika tombol ditekan maka jalur kolom akan mendapatkan logika yang sama dengan jalur baris tempat tombol berada. Misalnya Baris1-Baris4 berlogika 1101, kemudian tombol '8' ditekan maka akan membuat jalur Kolom2 berlogika sama dengan jalur Baris3, sehingga logika dari Kolom1-Kolom4 adalah 1011. Data untuk *encoder* didapatkan dengan cara mengkombinasikan data baris dan data kolom. Jadi data masukan *encoder* untuk angka '8' adalah 1101 1011. Kemudian data 1101 1011 akan dinyatakan oleh *encoder* sebagai data biner dari '8' yaitu 1000 sebagai data keluaran

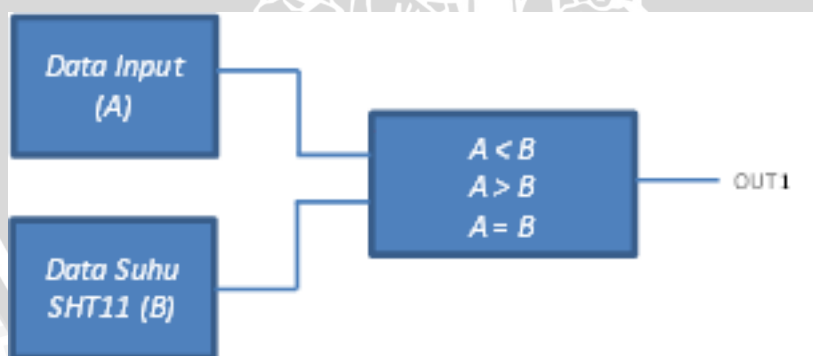
encoder yang menjadi masukan untuk bagian *controller*. Berikut ini adalah skematik keypad matriks 4x4.



Gambar 4.5 Skema Keypad Matriks 4x4. Diambil pada 3 Agustus 2015, dari <https://fahmizaleeits.files.wordpress.com/2010/10.html>

4.4.2 Perancangan rangkaian *main controller*

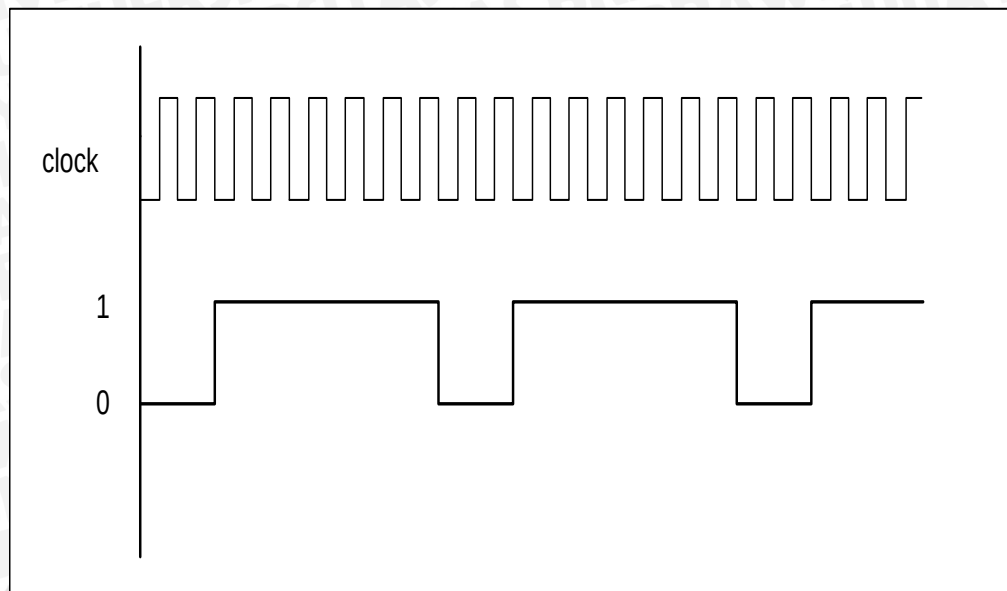
Rangkaian pengendali utama sistem, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.6, dirancang dengan cara membandingkan data dari *input* yang dimasukkan oleh *user* dengan data *output* dari sensor suhu SHT11. *Output* dari proses komparasi adalah OUT1, yang akan digunakan sebagai informasi bagi *main controller* untuk menambah atau mengurangi *duty cycle* dari sinyal PWM berikutnya untuk mengatur suhu *heater*.



Gambar 4.6 Diagram Blok Rangkaian *Main Controller*

4.4.3 Perancangan pembangkit sinyal PWM

Perancangan rangkaian PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah dengan mengatur nilai *duty cycle* pada pulsa sinyal PWM. *Duty cycle* merupakan perbandingan antara lamanya pulsa *high* (logika 1) dengan nilai 1 kali periode pulsa dikalikan 100%. Dari pernyataan tersebut, maka pulsa PWM dapat diimplementasikan ke dalam sebuah *timing diagram* yang ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Timing Diagram Sinyal PWM

Gambar 4.7 menunjukkan *timing diagram* sinyal PWM yang besarnya periode dan pulsa *high* dapat diketahui dari besarnya jumlah *clock*. Untuk mengetahui besarnya jumlah dari *clock* dibutuhkan rangkaian *counter*. Besarnya bit *output counter* ditentukan jumlah dari jumlah *clock* dalam 1 periode dan frekuensi sinyal PWM yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$m = 2^n \quad (4.2)$$

$$f = \frac{z}{m} \quad (4.3)$$

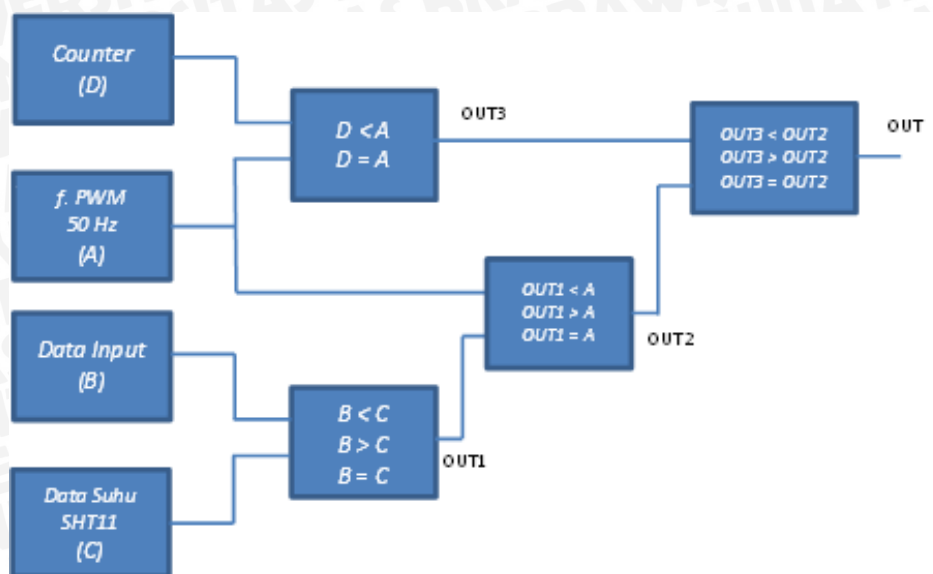
keterangan:

m : jumlah *clock* dalam 1 periode

n : jumlah bit *output counter*

z : frekuensi *clock* (Hz)

f : frekuensi PWM (Hz)

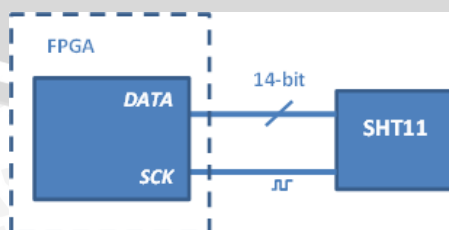


Gambar 4.8 Diagram Blok Rangkaian Pembangkit Sinyal PWM pada FPGA

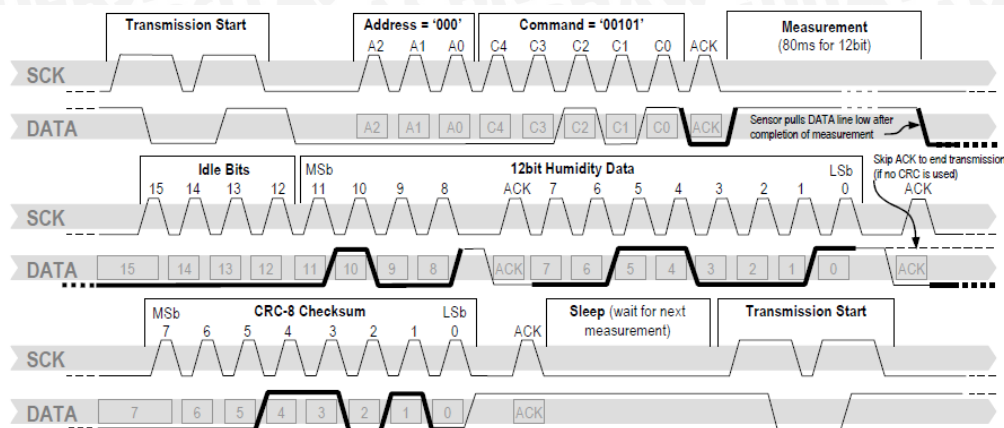
Dalam Gambar 4.8, nilai *duty cycle* didapatkan dengan membandingkan nilai data sensor dan data masukan. Apabila data dari sensor lebih kecil dari data kecepatan putaran yang dimasukkan *user*, maka batas berakhirnya *duty cycle* akan terus ditambah. Dan saat nilai *counter* lebih kecil dari nilai batas *duty cycle* maka rangkaian pembangkit sinyal PWM akan menghasilkan sinyal PWM berlogika 1 (*High*), dan berlogika 0 (*Low*) jika nilai *counter* lebih besar dari batas *duty cycle*.

4.4.4 Perancangan rangkaian penerima data SHT11

Perancangan rangkaian penerima atau *receiver* pulsa dari sensor SHT11 ini merupakan perancangan sebuah komunikasi serial 2-wire yang digunakan untuk antarmuka antara FPGA dengan modul sensor SHT11. Komunikasi serial 2-wire merupakan komunikasi dua arah melalui 1 buah jalur data (*DATA*) dan 1 buah jalur *clock* (*SCK*) yang dipakai secara bergantian oleh FPGA dan SHT11. Diagram blok perancangan rangkaian ini ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Diagram Blok Perancangan Penerima Data Sensor SHT11



Gambar 4.10 Timing Diagram Komunikasi 2-Wire Data Sensor SHT11.
dari Datasheet Sensirion SHT1x Humidity and Temperature Sensor IC version 5: 7.fig.17

Pengiriman data suhu oleh sensor SHT11 ke FPGA menerapkan sebuah protokol komunikasi khusus seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.10, di mana prosesnya secara berurutan adalah sebagai berikut. Mula-mula, FPGA akan mengatur keadaan logika jalur SCK dan DATA untuk memulai transmisi, kemudian dilanjutkan dengan pengiriman alamat (*address*) sebesar 3-bit dan perintah untuk melakukan pengukuran suhu oleh SHT11. SHT11 memberikan respon dengan mengirimkan ACK yang menandakan perintah telah diterima (*acknowledged*), kemudian melakukan pengukuran suhu. Berikutnya SHT11 akan melakukan pengiriman data 14-bit hasil pengukuran suhu yang terbagi menjadi 2 kali pengiriman data, 7-bit MSB kemudian 7-bit LSB.

4.4.5 Perancangan rangkaian data output

Pengondisi data *output* diperlukan untuk mengubah format data dari *input* (*keypad*), sensor, maupun ALU agar dapat ditampilkan pada *display* LCD 16x2. LCD 16x2 membutuhkan data masukan dalam kode ASCII yang dapat diperoleh dengan melakukan konversi data BCD (*Binary Code Decimal*), sedangkan sensor dan ALU memiliki keluaran berupa data biner. Maka untuk menampilkan data biner keluaran dari sensor maupun ALU diperlukan pengonversi bilangan biner menjadi bilangan BCD (*Binary to BCD*).

Konversi bilangan biner ke bilangan BCD adalah dengan cara menggunakan algoritme *double dabble*, di mana prinsip kerja dari algoritme ini adalah ‘geser dan tambah 3’. Misalnya data biner 8 bit adalah “11111111”, maka algoritme untuk nilai bilangan biner tersebut menjadi bilangan BCD adalah seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Algoritme *double dabble* bilangan biner 8 bit ke bilangan BCD

Operasi	Ratusan	Puluhan	Satuan	Data Biner	
INPUT				7 - 4	3 - 0
HEX				F	F
Mulai				1 1 1 1	1 1 1 1
Geser ke-1			1	1 1 1 1	1 1 1
Geser ke-2			1 1	1 1 1 1	1 1
Geser ke-3			1 1 1	1 1 1 1	1
Tambah 3			1 0 1 0	1 1 1 1	1
Geser ke-4		1	0 1 0 1	1 1 1 1	
Tambah 3		1	1 0 0 0	1 1 1 1	
Geser ke-5		1 1	0 0 0 1	1 1 1	
Geser ke-6		1 1 0	0 0 1 1	1 1	
Tambah 3		1 0 0 1	0 0 1 1	1 1	
Geser ke-7	1	0 0 1 0	0 1 1 1	1	
Tambah 3	1	0 0 1 0	1 0 1 0	1	
Geser ke-8	1 0	0 1 0 1	0 1 0 1		
BCD	2	5	5		

Tabel 4.1 menunjukkan tahapan algoritme *double dabble* adalah sebagai berikut:

1. Menggeser bilangan biner ke kiri sebanyak 1 bit.
2. Jumlah *n-shift* adalah sama dengan *n-bit input* bilangan biner. Hasil dari tabel di atas untuk bilangan BCD adalah pada *shift* ke-8 untuk 8 bit *input* bilangan biner, yaitu ratusan, puluhan, dan satuan.
3. Jika nilai-nilai dari kolom BCD adalah sama dengan 5 atau lebih besar, maka nilai pada kolom BCD tersebut ditambah 3.
4. Kembali ke proses awal.

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui apakah sistem telah bekerja sesuai perancangan. Pengujian dilakukan per blok kemudian secara keseluruhan. Adapun pengujian yang perlu dilakukan sebagai berikut:

1. Pengujian Rangkaian Catu Daya
2. Pengujian I/O (*Input/Output*)
3. Pengujian PWM
4. Pengujian main controller
5. Pengujian ALU
6. Pengujian sistem secara keseluruhan

Instrumen penunjang yang digunakan dalam melakukan pengujian-pengujian di atas antara lain multimeter dan rangkaian sensor suhu LM35.

5.1 Pengujian Catu Daya

Catu daya merupakan salah satu bagian dari sistem elektronika yang besar pengaruhnya terhadap kinerja sistem. Perbedaan nilai suatu catu daya sistem dapat mengakibatkan kesalahan pengukuran, ketidaksesuaian *output* sistem dengan keinginan, hingga rusaknya komponen-komponen sistem. Oleh karena itu pengujian nilai catu daya perlu dilakukan sebelum menggunakannya pada sistem.

Pengujian ini akan mencari tahu apakah nilai catu daya yang dipergunakan telah sesuai dengan spesifikasi alat pada rancangan atau tidak. Catu daya yang akan dipergunakan pada sistem *spin coating* ini adalah 220VAC untuk catu daya *heater*, 5VDC sebagai penyuplai daya untuk *board* FPGA, yang didapatkan dari USB, dan 3,3VDC untuk sensor. Untuk menstabilkan sumber daya 220VAC maka digunakan *voltage stabilizer* (stavolt). Instrumen pengukuran yang digunakan pada pengujian ini adalah sebuah multimeter/multitester.

Dari hasil pengujian maka diperoleh bahwa nilai tegangan catu daya *heater*, yaitu keluaran dari stavolt, memiliki tegangan *output* sebesar 219,2V. Nilai tersebut merupakan nilai tegangan keluaran maksimal (tanpa beban) yang mampu dihasilkan oleh catu daya *accumulator*. Nilai tegangan tersebut dapat digunakan sebagai catu daya bagi *heater*. Sedangkan catu daya USB diukur dengan cara menyuplai FPGA dengan catu daya USB. Kemudian menggunakan multimeter untuk mengukur nilai tegangan

output pada kaki ke-6 pada PIN JA hingga JD. Gambar 5.1 menunjukkan pengukuran nilai tegangan dari catu daya 3,3VDC menggunakan multimeter.



Gambar 5.1 Pengujian tegangan masukan dan keluaran pada rangkaian catu daya 3,3VDC dengan menggunakan multimeter

5.2 Pengujian Input/Output

Pengujian *input/output* terdapat dalam modul FPGA. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah proses dan kerja unit I/O FPGA berjalan dengan baik. Pada pengujian *input* dilaksanakan pengujian 1 buah *keypad* 4x4, dan 8 buah LED yang terdapat dalam modul FPGA. Sedangkan pengujian *output* akan menguji respon tampilan sebuah LCD 16x2 ketika dimasukkan data dari *keypad*.

Pengujian *input* menggunakan *keypad* 4x4 dan LED pada FPGA sebagai indikator dilakukan dengan memprogram dan menetapkan PIN *input* dalam file UCF (*User Constrain File*) sesuai dengan *reference manual* dari FPGA Nexys 2 Spartan 3E, yaitu:

#LEDs

```
NET "led<0>" LOC = "J14" ;
NET "led<1>" LOC = "J15" ;
NET "led<2>" LOC = "K15" ;
NET "led<3>" LOC = "K14" ;
NET "led<4>" LOC = "E17" ;
NET "led<5>" LOC = "P15" ;
NET "led<6>" LOC = "F4" ;
NET "led<7>" LOC = "R4" ;
```

#KEYPAD

```
NET "row_keypad<3>" LOC = "L15" ; #JA1
NET "row_keypad<2>" LOC = "K12" ; #JA2
```

NET "row_keypad<1>" LOC = "L17" ; #JA3

NET "row_keypad<0>" LOC = "M15" ; #JA4

NET "col_keypad<3>" LOC = "K13" ; #JA7

NET "col_keypad<2>" LOC = "L16" ; #JA8

NET "col_keypad<1>" LOC = "M14" ; #JA9

NET "col_keypad<0>" LOC = "M16" ; #JA10

Pengujian *output* dilakukan dengan memberikan masukan data pada jalur data LCD. Pengujian dapat dilakukan dengan langsung memberikan data masukan melalui keypad 4x4, sehingga pengujian *input* dan *output* dapat dilakukan secara bersamaan. Sebelumnya perlu ditetapkan penempatan PIN I/O dalam *file* UCF sesuai dengan *reference manual* FPGA Nexys 2 Spartan 3E, yaitu:

LCD

NET "db_lcd<0>" LOC = "M13" ; #JB1

NET "db_lcd<1>" LOC = "R18" ; #JB2

NET "db_lcd<2>" LOC = "R15" ; #JB3

NET "db_lcd<3>" LOC = "T17" ; #JB4

NET "db_lcd<4>" LOC = "P17" ; #JB7

NET "db_lcd<5>" LOC = "R16" ; #JB8

NET "db_lcd<6>" LOC = "T18" ; #JB9

NET "db_lcd<7>" LOC = "U18" ; #JB10

NET "rs_lcd" LOC = "H15" ; #JC7

NET "ena_lcd" LOC = "G15" ; #JC1

Pada pengujian I/O FPGA, data input keypad 4x4 diproses dan dikeluarkan pada led dan ditampilkan pada LCD 16x2. Hasil dari pengujian I/O ditunjukkan dalam Tabel 5.1 dan Gambar 5.2.

Tabel 5.1 Pengujian *Input/Output* pada FPGA

Data Input	Data Output	Data Output
Keypad	Tampilan LCD	Tampilan led
Tombol '0'	0	0000 0000

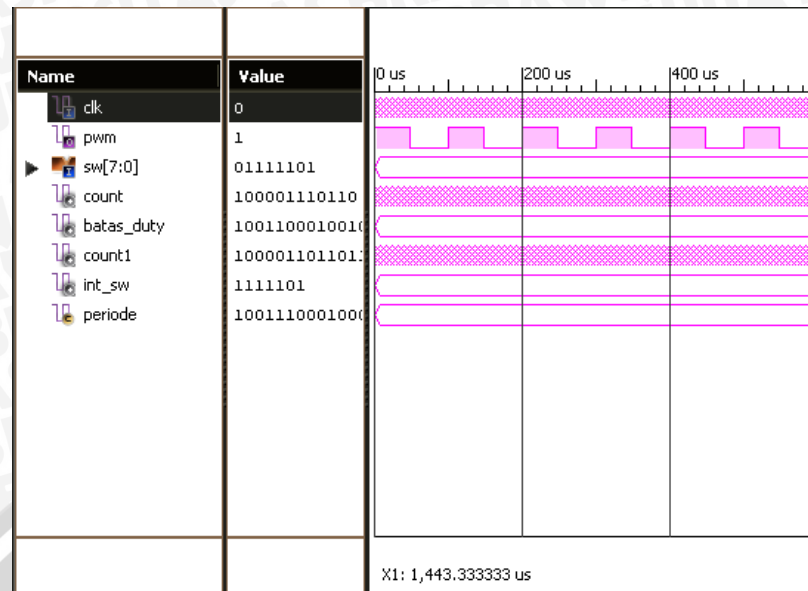
Tombol '1'	1	0000 0001
Tombol '2'	2	0000 0010
Tombol '3'	3	0000 0011
Tombol '4'	4	0000 0100
Tombol '5'	5	0000 0101
Tombol '6'	6	0000 0110
Tombol '7'	7	0000 0111
Tombol '8'	8	0000 1000
Tombol '9'	9	1111 1001



Gambar 5.2 Pengujian *Input-Output* pada Modul FPGA

5.3 Pengujian PWM

Pengujian PWM dilakukan untuk memastikan bahwa rangkaian pembangkit sinyal bekerja sesuai dengan ketentuan perancangan, mengetahui bentuk dari pulsa yang dihasilkan pembangkit sinyal PWM, dan mengetahui *unit-unit* yang ada dalam sinyal PWM. Bentuk dari sinyal PWM ditampilkan pada program ISim ditunjukkan dalam Gambar 5.3.



Gambar 5.3 *Timing Diagram* Sinyal PWM dengan *Input* 01111101 Menggunakan ISim

Pengujian sinyal PWM dilakukan dengan cara memberikan masukan data biner 8-bit menggunakan *switch* yang ada pada modul FPGA Nexys2, dan alat ukur tegangan yang digunakan adalah Multimeter. Data hasil pengujian PWM dalam satuan volt ditunjukkan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Pengujian Sinyal PWM FPGA dalam Volt

Data biner INPUT	Duty cycle (dalam %)	Sinyal PWM pada Pengujian (dalam volt)	Sinyal PWM Teori (dalam volt)	Kesalahan (dalam%)
11111111	100,0	4,932	5,000	1,360
11010011	82,7	4,056	4,135	1,910
10110111	71,7	3,563	3,585	0,613
10010010	62,7	3,212	3,135	2,456
01101001	57,2	2,881	2,860	0,734
01001000	41,1	2,100	2,055	2,189
00111011	28,2	1,138	1,410	1,560
01101011	23,1	1,121	1,155	2,943
00011011	10,6	0,547	0,530	3,207
00000000	0	0	0	0
Kesalahan Rata-Rata				1,930

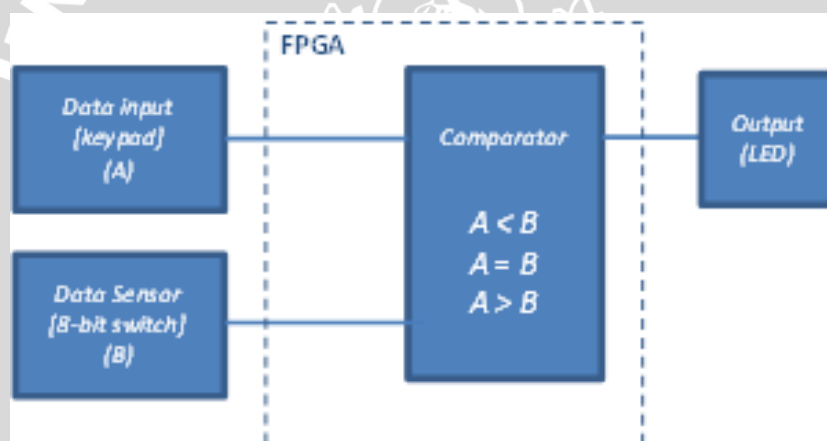
Berdasarkan Tabel 5.2, diperoleh perhitungan sinyal PWM dalam volt yang diinginkan dan data hasil percobaan. Kesalahan rata-rata dapat diperoleh hingga 1,93%.

5.4 Pengujian Main Controller

Rangkaian pengendali utama sistem bertujuan untuk mengetahui kinerja dari rangkaian pada saat memproses data masukan *user* dan membandingkannya dengan data dari sensor suhu, serta untuk mengetahui respon rangkaian terhadap *timer* proses pemanasan yang telah diatur oleh *user*.

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan data masukan berupa suhu yang diinginkan dalam satuan $^{\circ}\text{C}$ dan data dari sensor suhu, serta mengatur durasi proses dengan memberikan data waktu pada masukan. Untuk memudahkan proses pengujian, data dari sensor suhu akan diganti dengan memasukkan data 8 bit dari *switch* pada modul FPGA. *Output* yang digunakan adalah LED sebagai representasi dari sinyal kontrol yang digunakan untuk memicu pembangkit sinyal PWM.

Blok diagram pengujian rangkaian pengendali utama sistem ditunjukkan dalam Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Diagram Blok Pengujian Main Controller

Berikut ini adalah sebuah tabel berisi data hasil pengujian komparasi data *input* dengan data sensor pada Main Controller.

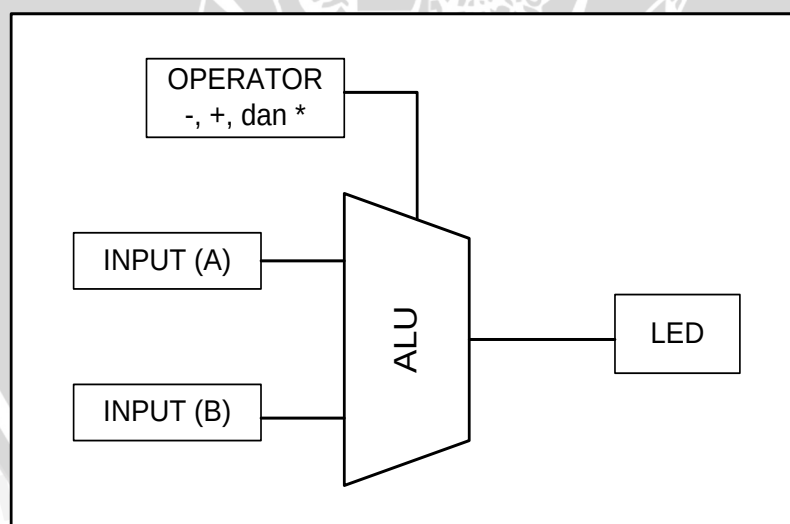
Tabel 5.3 Data Hasil Pengujian Main Controller

Rotary Encoder /Switch (A)	INPUT /Keypad(B)	Komparasi Kondisi Logika <i>input</i>	Output LED
00000111	00001111	$A < B$	Kanan
00001111	00001111	$A = B$	Tengah
00011111	00001111	$A > B$	Kiri

Tabel 5.3 menunjukkan bahwa dengan memberikan nilai tetap pada data *INPUT* (B) sebesar “00001111” dan dengan mengubah-ubah data masukan dari *switch* (A) yang merepresentasikan data dari sensor suhu, maka diperoleh tiga keadaan pada komparasi kedua data masukan. Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut, jika data dari sensor suhu/*Switch* (A) lebih besar nilainya dari data *INPUT/Keypad* (B), maka 2 LED paling kanan akan menyala, menandakan bahwa *duty cycle* sinyal PWM harus dikurangi. Jika data dari sensor suhu/*Switch* (A) sama nilainya dengan data *INPUT/Keypad* (B), maka 2 LED tengah akan menyala, menandakan bahwa *duty cycle* sinyal PWM harus dipertahankan nilainya karena telah sesuai dengan masukan dari *user*. Dan jika data dari sensor suhu/*Switch* (A) lebih kecil nilainya dari data *INPUT/Keypad* (B) maka 2 LED paling kiri akan menyala, menunjukkan bahwa *duty cycle* sinyal PWM harus ditambah.

5.5 Pengujian ALU

Pengujian ALU (*Arithmetic Logic Unit*) pada FPGA bertujuan untuk mengetahui hasil penggunaan operator kurang (-) dan tambah (+). Pada pengujian ini prosedur yang dilakukan adalah menyiapkan program pada FPGA dan menggunakan *switch* dan LED sebagai indikator hasil dalam modul FPGA. Gambar 5.5 menunjukkan rangkaian Pengujian ALU pada FPGA.



Gambar 5.5 Rangkaian Pengujian ALU pada FPGA

Tabel 5.4 Pengujian ALU pada FPGA dengan Operator Tambah (+)

<i>INPUT</i> (A)	<i>INPUT</i> (B)	A+B	Dalam bentuk desimal
0000	0000	0000	0+0=0
0001	0000	0001	1+0=1

0001	0001	0010	1+1=2
0011	0011	0100	3+3=6
0011	0111	1010	3+7=10
0111	0111	1110	7+7=14
1111	1111	10000	15+15=30

Tabel 5.5 Pengujian ALU pada FPGA dengan Operator Kurang (-)

INPUT (A)	INPUT (B)	A-B	Dalam bentuk desimal
0000	0000	0000	0-0=0
0001	0000	0001	1-0=1
0001	0001	0000	1-1=0
0100	0011	0001	4-3=1
1010	0111	0011	10-7=3
1100	0111	0101	12-7=5
1111	1110	0001	15-14=1

Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 menunjukkan proses aritmatika 2 *input* 4 bit biner dengan operator tambah (+) dan kurang (-). Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa hasil dari ALU yang digunakan dalam FPGA bekerja dengan baik dan sesuai dengan data yang diinginkan.

5.6 Pengujian Secara Keseluruhan

Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan data suhu yang telah diproses dan ditampilkan oleh FPGA dengan data suhu yang diperoleh dari alat ukur suhu lainnya yang akan dijadikan sebagai referensi penentuan tingkat kesalahan pengukuran sistem, yaitu rangkaian sensor suhu LM35. Proses ini menjadi pengujian secara keseluruhan karena seluruh komponen dalam sistem secara aktif bekerja untuk menghasilkan *output* akhir yang diinginkan, yaitu nilai dari suhu *heater*.

Prosedur yang dilakukan pada pengujian ini adalah menyiapkan alat-alat yang digunakan untuk menjalankan program FPGA dan rangkaian LM35. Kemudian dimasukkan beberapa nilai suhu yang berbeda melalui *keypad*. Setelah sistem aktif maka dilakukan pengukuran suhu *heater* dengan rangkaian LM35. Dengan membandingkan hasil keluaran dari FPGA dan hasil pencatatan rangkaian LM35 maka dapat diketahui besarnya *error* atau kesalahan. Tabel 5.6 menunjukkan perbandingan

data hasil pengujian nilai suhu *heater* oleh FPGA dan oleh rangkaian LM35, serta persentase kesalahan (*error*) dari sistem.

Tabel 5.6 Data Hasil Pengujian Pembacaan Suhu *Heater* dengan Menggunakan Rangkaian LM35

DATA INPUT KEYPAD (°C)	PEMBACAAN SUHU (°C)		Error (%)
	LCD	Modul LM35	
100	98,0	99,37	1,379
91	90,7	90,23	0,521
80	81,0	81,4	0,491
74	74,8	75,03	0,307
65	64,9	66,51	2,421
56	55,3	55,84	0,967
42	43,1	43,75	1,486
36	36,4	37,04	1,728
30	30,0	30,68	2,216
27	26,8	27,42	2,261
RATA-RATA KESALAHAN			1,378

Tabel 5.6 menunjukkan hasil pengujian pengukuran suhu ruang pemanas dengan menggunakan LM35. Saat nilai *input* diperbesar, maka nilai suhu yang terbaca juga mengalami kenaikan. Rata-rata *error* yang didapat dalam pengujian ini adalah 1,378%.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil pengujian dari pengujian rangkaian pembangkit sinyal PWM secara praktik dan teori memiliki kesalahan rata-rata 1,93%. Kinerja pembangkit sinyal PWM telah sesuai dengan yang diharapkan. Sistem RTC/timer beroperasi tanpa masalah.
2. *Driver heater* berhasil merespon masukan sinyal PWM dengan *output* berupa kendali suhu *heater*. Dengan tingkat kesalahan 1,378% pada pengujian keseluruhan sistem, maka dapat disimpulkan *driver heater* bekerja dengan cukup baik.
3. *Keypad* 4x4 dapat digunakan untuk memberikan data masukan dengan baik. LCD 16x2 dapat menampilkan data yang diharapkan tanpa masalah. Maka disimpulkan bahwa unit I/O bekerja dengan baik. Sedangkan antarmuka sensor SHT11 dengan FPGA mencatat beberapa hasil suhu sedikit berbeda dengan pencatatan alat ukur lain dengan tingkat kesalahan 1,378%, kesalahan ini sedikit mengurangi akurasi sistem.

6.2 Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan alat *spin coater*:

1. Disarankan untuk membuat desain mekanik yang lebih baik, sehingga tidak terjadi intervensi suhu dari luar ruang pemanasan.
2. Disarankan untuk menggunakan alat ukur suhu pembanding yang lebih presisi dan akurat.
3. Mengembangkan sistem program pada FPGA atau kontroler utama yang lebih kompleks dan sensor yang lebih banyak, karena keunggulan FPGA yang dapat memproses suatu sistem secara paralel agar didapatkan hasil pengukuran yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Areny, P.Ramon (1991). *Sensor and Signal Conditioning*. John Wiley & Sons Inc. Canada.
- Digilent (2011). *Digilent nexys2 Board Reference Manual*.
<http://www.digilentinc.com/Products>
- Halliday, David (1978). *Physics, 3rd edition*. John Wiley & Sons Inc. Canada.
- Hellstrom, S. (2007). *Basic Models of Spin Coating*.
- Hidayat, A.S. (2011). *Pengaruh Suhu dan Kecepatan Putar Spin Coating Terhadap Kinerja Sel Surya Organik Berbahan Dasar TiO₂*. jurnal_eproc, 1-10.
- Lister, Eugene.C. (1984). *Elektric Circuits and Machines Sixth Edition*. McGraw-Hill Inc. London.
- Maxfield, C. (2009). *FPGAs World Class Designs*. Elsevier. Oxford.
- Meyer, U and Baese (2007). *Digital Signal Processing with Field Programmable Gate Array*. Springer Berlin Heidelberg. New York.
- Minegishi, K., Koiwai, Y., Kikuchi, Y., Yano, K. (1997). *Growth of P-Type Zinc Oxide Films by Chemical Vapour Deposition*, Jpn. J. Appl. Phys, 36, 1453 - 1455.
- Rumi, Jalaludin (2010). *Tenaga Surya Sebagai Peluang Energi Terbarukan Indonesia*. Surabaya: Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Smith, R.S. (2010). *FPGAs 101-Everything you need to know to get started*. Elseive Inc. USA.
- Zhang, X.T., et al. (2003). *Al₂O₃-Coated Nanoporous TiO₂ Electrode for Solid-State Dye-Sensitized Solar Cell*, Solar Energy Material & Solar Cells, 80, 315.

LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

FOTO ALAT



Gambar 1. Alat Tampak Depan



Gambar 2. Bagian dalam ruang *spin coating* (heater dan sensor SHT11)



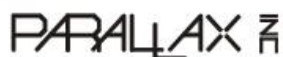
Gambar 3. Sistem elektrik pengendali *spin coater*



Gambar 4. Tampilan LCD 16x2 saat proses *spin coating* sedang dijalankan.

LAMPIRAN 2

DATA SHEET



Web Site: www.parallax.com
Forums: forums.parallax.com
Sales: sales@parallax.com
Technical: support@parallax.com

Office: (916) 624-8333
Fax: (916) 624-8003
Sales: (888) 512-1024
Tech Support: (888) 997-8267

4x4 Matrix Membrane Keypad (#27899)

This 16-button keypad provides a useful human interface component for microcontroller projects. Convenient adhesive backing provides a simple way to mount the keypad in a variety of applications.

Features

- Ultra-thin design
- Adhesive backing
- Excellent price/performance ratio
- Easy interface to any microcontroller
- Example programs provided for the BASIC Stamp 2 and Propeller P8X32A microcontrollers

Key Specifications

- Maximum Rating: 24 VDC, 30 mA
- Interface: 8-pin access to 4x4 matrix
- Operating temperature: 32 to 122 °F (0 to 50°C)
- Dimensions:
Keypad: 2.7 x 3.0 in (6.9 x 7.6 cm)
Cable: 0.78 x 3.5 in (2.0 x 8.8 cm)

Application Ideas

- Security systems
- Menu selection
- Data entry for embedded systems



How it Works

Matrix keypads use a combination of four rows and four columns to provide button states to the host device, typically a microcontroller. Underneath each key is a pushbutton, with one end connected to one row, and the other end connected to one column. These connections are shown in Figure 1.

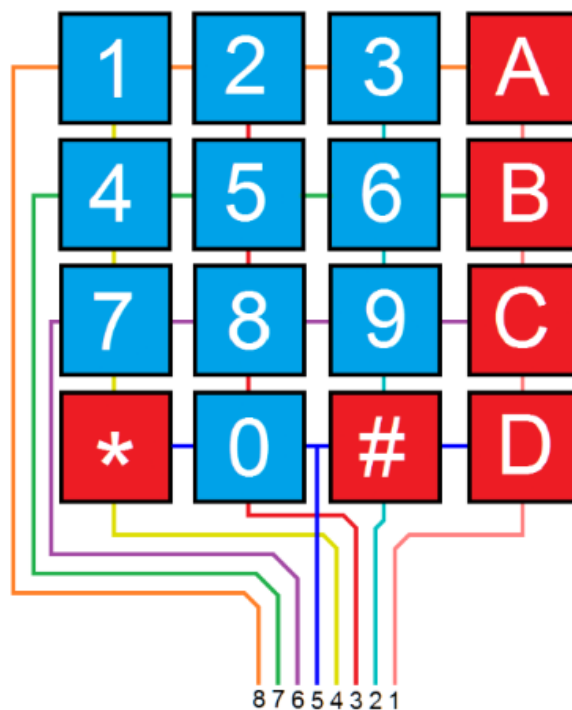


Figure 1: Matrix Keypad Connections

In order for the microcontroller to determine which button is pressed, it first needs to pull each of the four columns (pins 1-4) either low or high one at a time, and then poll the states of the four rows (pins 5-8). Depending on the states of the columns, the microcontroller can tell which button is pressed.

For example, say your program pulls all four columns low and then pulls the first row high. It then reads the input states of each column, and reads pin 1 high. This means that a contact has been made between column 4 and row 1, so button 'A' has been pressed.



PC1602A-L (16x2) Character LCD Display

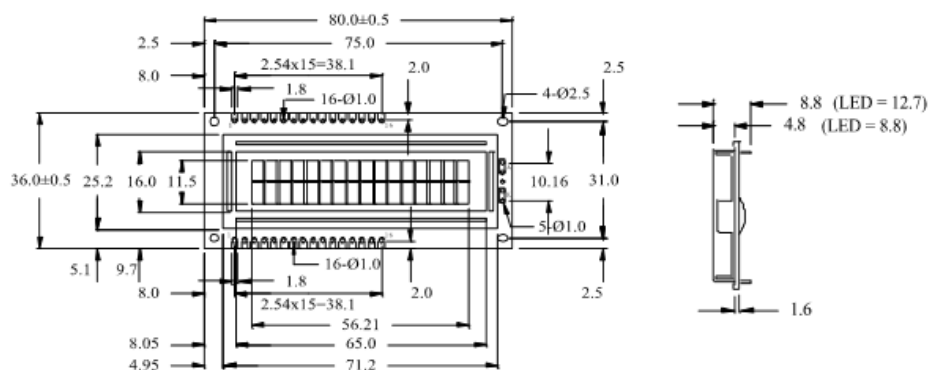
Features *16 Character, 2 Line *View Angle 12H or 6H *TN or STN Fluid *Extended Temperature Range available *Several Character Types available *LED or EL Backlight available	Absolute Maximum Ratings at T _A = 25 °C				
	Item	Symbol	Min	Max	Unit
	Power Supply (Logic)	Vdd	-0.3	7.0	V
	Power Supply (LCD)	Vo	Vdd - 0.3	Vdd 12.0	V
	Input Voltage	Vi	- 0.3	Vdd	V
	Operating Temperature (Standard)	Topr	0	50	°C
	Storage Temperature (Standard)	Tstg	- 20	70	°C
	Extended Operating Temperature	Topr	- 20	70	°C
	Extended Storage Temperature	Tstg	- 30	80	°C
Electrical Characteristics at T_A = 25 °C, Vdd=5V±0.25V					
Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply (Logic)	Vdd-Vss	4.7	5.0	5.3	V
Supply Current	Idd	—	2.0	3.0	mA
LCD Driving Voltage	Vdd -Vo	4.2	4.5	4.8	V
Input Voltage “H”	Vih	2.2	—	Vdd	V
Input Voltage “L”	Vil	—	—	0.6	V
Output Voltage “H”	Voh	2.4	—	—	V
Output Voltage “L”	Vol	—	—	0.4	V
Interface Pin Connection					
No	Symbol	Function	No	Symbol	Function
1	Vss	Power Supply (GND)	9	DB2	Data Bus Line 2
2	Vdd	Power Supply (+5V)	10	DB3	Data Bus Line 3
3	Vo	Contrast Adjust	11	DB4	Data Bus Line 4
4	RS	Instruction/Register Select	12	DB5	Data Bus Line 5
5	R/W	Read/Write	13	DB6	Data Bus Line 6
6	E	Enable Signal	14	DB7	Data Bus Line 7
7	DB0	Data Bus Line 0	15	A	Power Supply for LED Backlight (+)
8	DB1	Data Bus Line 1	16	K	Power Supply for LED Backlight (-)
LED Backlight Specifications					
Forward Voltage		Forward Current	Power Dissipation	Peak Wavelength	
4.2V (Typ)		195mA (Max)	900mW (Max)	570nm (Typ)	
Mechanical Specifications					
Item	Overall Size	Viewing Area	Character Size	Character Pitch	Dot Size
Specifications	80.0W x 36.0H x 8.8T (BL12.7T)	65.0W x 16.0H	2.96W x 5.56H	3.55W x 5.94H	0.56W x 0.66H
All dimensions are in mm. Tolerance is ± 0.3 Unless otherwise specified					

www.p-tec.net
sales@p-tec.net

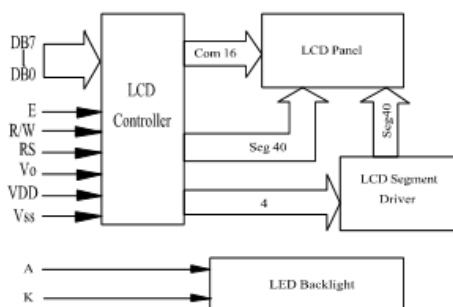


Tel: (719) 589 3122
Fax: (719) 589 3592

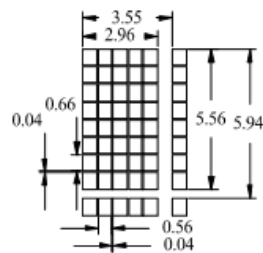
PC1602A-L (16x2) Character LCD Display



LCD Block Diagram



Dot Layout



All dimensions are in mm. Tolerance is ± 0.3 Unless otherwise specified

Digilent Nexys2 Board Reference Manual

Revision: July 11, 2011

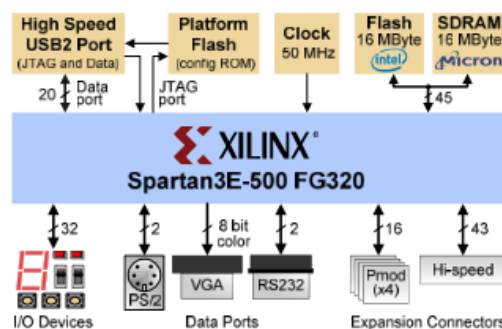


www.digilentinc.com

215 E Main Suite D | Pullman, WA 99163
(509) 334 6306 Voice and Fax

Overview

The Nexys2 circuit board is a complete, ready-to-use circuit development platform based on a Xilinx Spartan 3E FPGA. Its on-board high-speed USB2 port, 16Mbytes of RAM and ROM, and several I/O devices and ports make it an ideal platform for digital systems of all kinds, including embedded processor systems based on Xilinx's MicroBlaze. The USB2 port provides board power and a programming interface, so the Nexys2 board can be used with a notebook computer to create a truly portable design station.



The Nexys2 brings leading technologies to a platform that anyone can use to gain digital design experience. It can host countless FPGA-based digital systems, and designs can easily grow beyond the board using any or all of the five expansion connectors. Four 12-pin Peripheral Module (Pmod) connectors can accommodate up to eight low-cost Pmods to add features like motor control, A/D and D/A conversion, audio circuits, and a host of sensor and actuator interfaces. All user-accessible signals on the Nexys2 board are ESD and short-circuit protected, ensuring a long operating life in any environment.

- 500K-gate Xilinx Spartan 3E FPGA
- USB2-based FPGA configuration and high-speed data transfers (using the free Adept Suite Software)
- USB-powered (batteries and/or wall-plug can also be used)
- 16MB of Micron PSDRAM & 16MB of Intel StrataFlash ROM
- Xilinx Platform Flash for nonvolatile FPGA configurations
- Efficient switch-mode power supplies (good for battery powered applications)
- 50MHz oscillator plus socket for second oscillator
- 60 FPGA I/O's routed to expansion connectors (one high-speed Hirose FX2 connector and four 6-pin headers)
- 8 LEDs, 4-digit 7-seg display, 4 buttons, 8 slide switches
- Ships in a plastic carry case with USB cable

Figure 1: Nexys2 block diagram and features

The Nexys2 board is fully compatible with all versions of the Xilinx ISE tools, including the free WebPack. Now anyone can build real digital systems for less than the price of a textbook.

Power Supplies

The Nexys2 board input power input bus can be driven from a USB cable, from a 5VDC-15VDC, center positive, 2.1mm wall-plug supply, or from a battery pack. A shorting block loaded on the "power select" jumper selects the power source. The USB circuitry is always powered from the USB cable – if no USB cable is attached, the USB circuitry is left unpowered.



series resistor for protection against short circuits (a short circuit would occur if an FPGA pin assigned to a pushbutton or slide switch was inadvertently defined as an output).

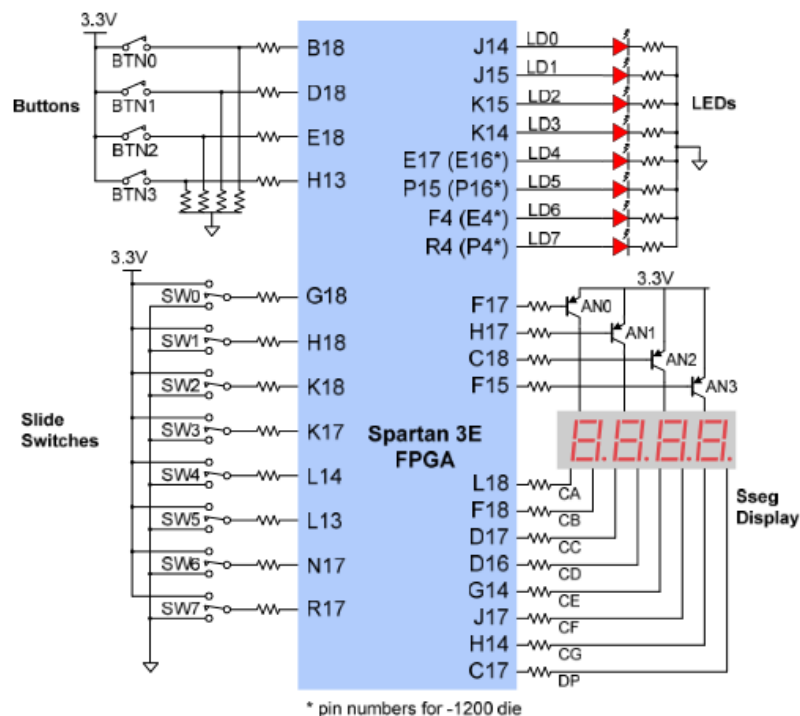


Figure 8: Nexys2 I/O devices and circuits

Outputs: LEDs

Eight LEDs are provided for circuit outputs. LED anodes are driven from the FPGA via 390-ohm resistors, so a logic '1' output will illuminate them with 3-4ma of drive current. A ninth LED is provided as a power-on LED, and a tenth LED indicates FPGA programming status. Note that LEDs 4-7 have different pin assignments due to pinout differences between the -500 and the -1200 die.

Outputs: Seven-Segment Display

The Nexys2 board contains a four-digit common anode seven-segment LED display. Each of the four digits is composed of seven segments arranged in a "figure 8" pattern, with an LED embedded in each segment. Segment LEDs can be individually illuminated, so any one of 128 patterns can be displayed on a digit by illuminating certain LED segments and leaving the others dark. Of these 128 possible patterns, the ten corresponding to the decimal digits are the most useful.



Peripheral Connectors

The Nexys2 board provides four two-row 6-pin Pmod connectors that together can accommodate up to 8 Pmods. The four 12-pin connectors each have 8 data signals, two GND pins, and two Vdd pins. All data signals include short circuit protection resistors and ESD protection Diodes. A jumper block adjacent to each Pmod connector can connect the Pmod's Vdd signal to the Nexys2 board's 3.3V supply or to the input power bus (VU). If the jumper is set to VU and USB power is driving the main power bus, care should be taken to ensure no more than 200mA is consumed by the Pmod. Further, if the jumper is set to VU, a voltage source connected to the Pmod can drive the main power bus of the Nexys2 board, so care should be taken to avoid connecting conflicting power supplies.

The Pmod connectors are labeled JA (nearest the power jack), JB, JC, and JD (nearest the expansion connector). Pinouts for the Pmod connectors are provided in the table below.

More than 30 low-cost are available for attachment to these connectors. Pmods can either be attached directly, or by using a small cable. Available Pmods include A/D and D/A converters, motor drivers, speaker amplifiers, distance measuring devices, etc. Please see www.digilentinc.com for more information.

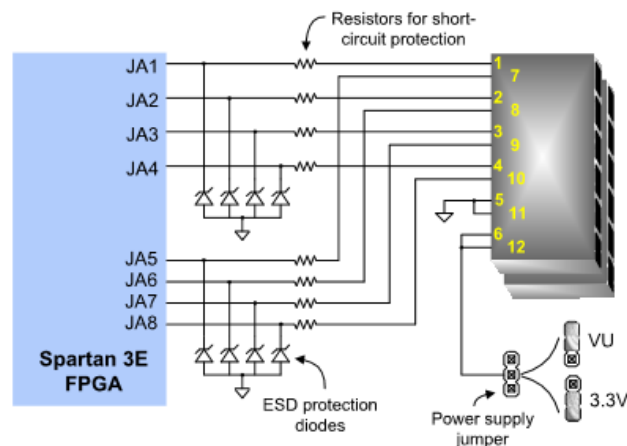


Figure 23: Nexys2 Pmod connector circuits

Table 3: Nexys2 Pmod Connector Pin Assignments							
Pmod JA		Pmod JB		Pmod JC		Pmod JD	
JA1: L15	JA7: K13	JB1: M13	JB7: P17	JC1: G15	JC7: H15	JD1: J13	JD7: K14 ¹
JA2: K12	JA8: L16	JB2: R18	JB8: R16	JC2: J16	JC8: F14	JD2: M18	JD8: K15 ²
JA3: L17	JA9: M14	JB3: R15	JB9: T18	JC3: G13	JC9: G16	JD3: N18	JD9: J15 ³
JA4: M15	JA10: M16	JB4: T17	JB10: U18	JC4: H16	JC10: J12	JD4: P18	JD10: J14 ⁴

Notes: ¹ shared with LD3 ² shared with LD3 ³ shared with LD3 ⁴ shared with LD3

crydom

Data Sheet Panel Mount **4th gen**



Series 1 240 VAC

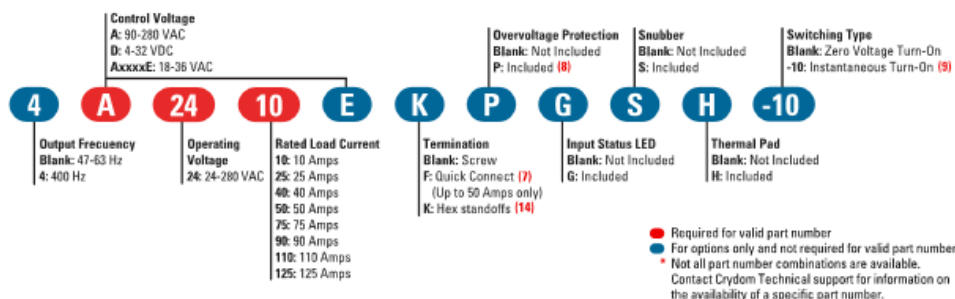
- Ratings from 10A to 125A @ 24-280 VAC
- SCR output for heavy industrial loads
- Zero turn-on or instantaneous turn-on outputs
- UL/CSA/VDE Approved, CE Compliant to EN60950-1
- Improved SEMS screw and washer
- Redesigned housing with anti-rotation barriers
- AC or DC control
- Direct bond copper substrate
- EMC compliant to Level 3
- Direct power lead frame
- Epoxy free design

For Generation 3 datasheet [click here](#)

PRODUCT SELECTION

Control Voltage	10A	25A	50A	75A	90A	110A	125A
3-32 VDC	D2410	D2425	D2450	D2475	D2490	D24110	D24125
90-280 VAC	A2410	A2425	A2450	A2475	A2490	A24110	A24125
18-36 VAC	A2410E	A2425E	A2450E	A2475E	A2490E	A24110E	A24125E

AVAILABLE OPTIONS



OUTPUT SPECIFICATIONS ⁽¹⁾

Description	10A	25A	50A	75A	90A	110A	125A
Operating Voltage (47-440Hz) [Vrms] (2)	24-280	24-280	24-280	24-280	24-280	24-280	24-280
Transient Overvoltage [Vpk]	600	600	600	600	600	600	600
Maximum Off-State Leakage Current @ Rated Voltage [mA] (3)	1	1	1	1	1	1	1
Minimum Off-State dv/dt @ Maximum Rated Voltage [V/μsec]	500	500	500	500	500	500	500
Maximum Load Current [A] (4)	10	25	50	75	90	110	125
Minimum Load Current [mA] (5)	150	150	150	150	150	250	250
Maximum 1 Cycle Surge Current (50/60Hz) [A] (6)	115/120	239/250	597/625	954/1000	1145/1200	1432/1500	1670/1750
Maximum On-State Voltage Drop @ Rated Current [Vrms]	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Thermal Resistance Junction to Case [Rjc] [°C/W]	1.03	0.8	0.45	0.3	0.27	0.25	0.22
Maximum 1/2 Cycle I ² t for Fusing (50/60Hz) [A ² sec]	66/60	285/259	1770/1621	4555/4150	6560/5976	10249/9338	13950/12709
Minimum Power Factor (at Maximum load) (8)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5



Do not forget to visit us at: www.crydom.com
Copyright © 2014 Crydom Inc. Specifications subject to change without notice.



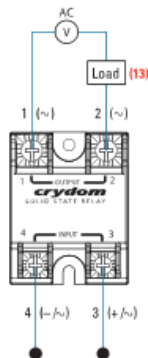
INPUT SPECIFICATIONS ⁽¹⁾

Description	D24xx	A24xx	A24xxE
Control Voltage Range	3-32 VDC	90-280 Vrms	18-36 Vrms
Maximum Reverse Voltage	-32 VDC	-	-
Minimum Turn-On Voltage	3.0 VDC ⁽⁵⁾	90 Vrms	18 Vrms
Minimum Turn-Off Voltage	1.0 VDC	10 Vrms	4 Vrms
Minimum Input Current [mA]	7	5	16
Maximum Input Current [mA]	12	10	20
Nominal Input Impedance [Ohms]		Current Regulated	
Maximum Turn-On Time [msec]	1/2 Cycle ⁽⁶⁾	20	20
Maximum Turn-Off Time [msec]	1/2 Cycle	30	30

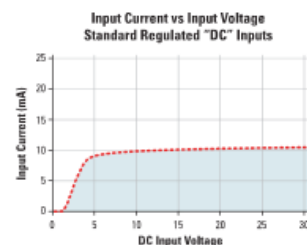
GENERAL SPECIFICATIONS ⁽¹⁾

Description	Parameters
Dielectric Strength, Input/Output/Base [50/60Hz]	4000 Vrms
Minimum Insulation Resistance [@ 500 VDC]	10 ⁹ Ohm
Maximum Capacitance, Input/Output	8 pF
Ambient Operating Temperature Range	-40 to 80 °C
Ambient Storage Temperature Range	-40 to 125 °C
Weight [typical]	2.6 oz (74.9g)
Housing Material	94 V-0
Baseplate Material	Aluminum
Input Terminal Screw Torque Range (in-lbs/Nm)	13-15 / 1.5-1.7
Load Terminal Screw Torque Range (in-lbs/Nm)	18-20 / 2.0-2.2
SSR Mounting Screw Torque Range (in-lbs/Nm)	18-20 / 2.0-2.2
Input/Load Terminal Screw Torque Range (in-lbs/Nm) ⁽¹⁴⁾	w/"K" option 8-10 / 0.9-1.13
Humidity	85% non-condensing
LED Input Status Indicator	w/"G" option (green)
MTBF (Mean Time Between Failures) at 40°C ambient temperature ⁽¹⁵⁾	11,641,553 hours (1,328 years)
MTBF (Mean Time Between Failures) at 60°C ambient temperature ⁽¹⁵⁾	7,210,376 hours (823 years)

WIRING DIAGRAM



Recommended Wire Sizes		
Terminals	Wire Size (Solid / Stranded)	Wire Pull-Out Strength [lbs(N)]
Input	24 AWG (0.2 mm ²) / 0.2 [minimum]	10 [44.5]
	2 x 12 AWG (3.3 mm ²) / 3.3 [maximum]	90 [400]
Output	20 AWG (0.5 mm ²) / 0.518 [minimum]	30 [133]
	2 x 10 AWG (5.3 mm ²) / 5.3 [maximum]	110 [490]
	2 x 8 AWG (8.4 mm ²) / 8.4 [maximum]	90 [400]



EQUIVALENT CIRCUIT BLOCK DIAGRAMS

Diagram: Series 1 AC control

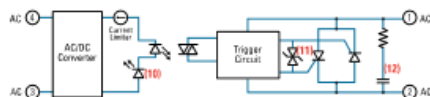
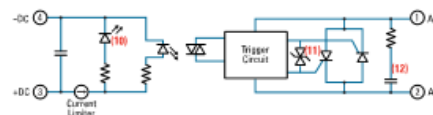


Diagram: Series 1 DC control



Do not forget to visit us at: www.crydom.com
Copyright © 2014 Crydom Inc. Specifications subject to change without notice.

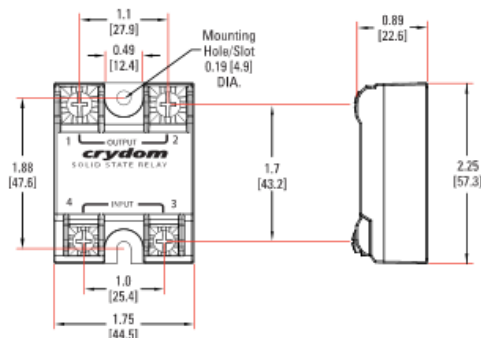


MECHANICAL SPECIFICATIONS (1)

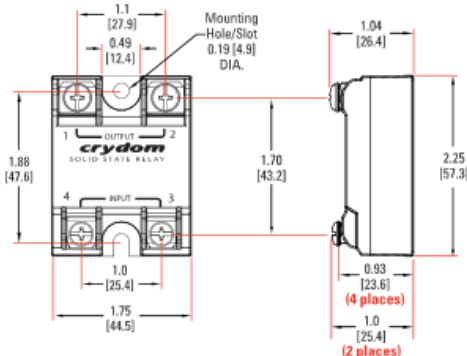
Tolerances: ± 0.02 in / 0.5 mm

All dimensions are in: inches [millimeters]

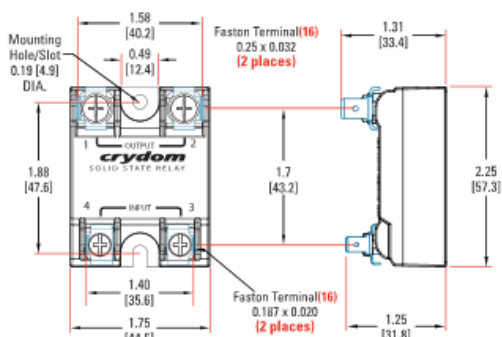
Screw Termination



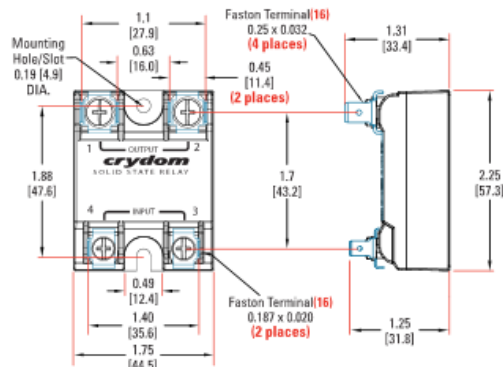
Hex Standoff Termination ("K" Option) (14)



Quick Connect Termination ("F" Option) - Up to 25 Amp (7)



Quick Connect Termination ("F" Option) - Up to 50 Amp (7)



GENERAL NOTES

- (1) All parameters at 25°C unless otherwise specified.
- (2) For "S" option, operating voltage frequency is 47-63Hz.
- (3) For parts with option "S" maximum leakage current is 10mA.
- (4) Heat sinking required, see derating curves. For "K" option maximum current up to 50 Amp.
- (5) Increase minimum voltage by 1V for operations from -20 to -40°C.
- (6) Turn-on time for Instantaneous turn-on versions is 0.02 msec (DC Control Models).
- (7) Single pair (up to 25A) Double pair* (50A model only). *Caution: User must connect to both pairs.
- (8) Output will self trigger between 450-600Vpk, Min. power factor 0.7 or higher, not suitable for capacitive loads.
- (9) Instantaneous turn-on version is not recommended for capacitive loads. Use zero turn-on only.
- (10) Elective Input Status LED, "G" option.
- (11) Elective Overvoltage Protection, "P" option.
- (12) Elective Internal Snubber, "S" option.
- (13) Load can be wired to either SSR output terminal 1 or 2.
- (14) Option "K" is intended only for use in attaching a printed circuit board to the SSR or mounting the SSR to a printed circuit board (PCB minimum thickness is 0.031 in).
- (15) All parameters at 50% power rating and 100% duty cycle (contact Crydom tech support for detailed report).
- (16) Mechanical dimensions vary from G3 models.

For additional information or specific questions, contact Crydom Technical Support.



Do not forget to visit us at: www.crydom.com

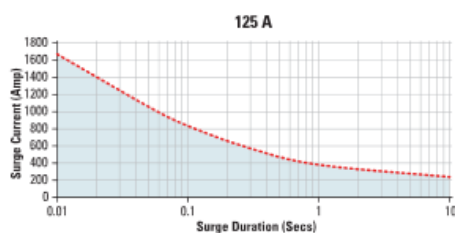
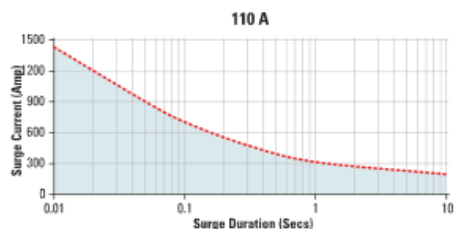
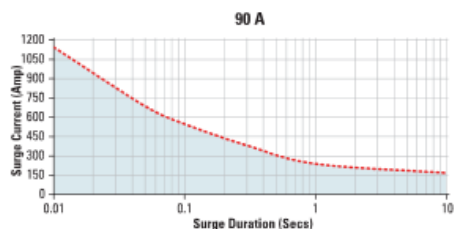
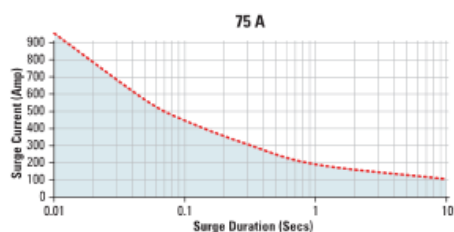
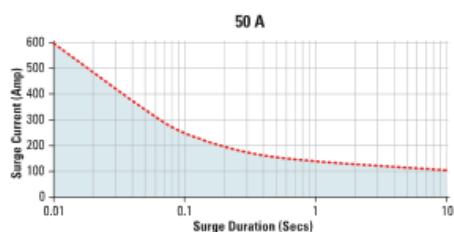
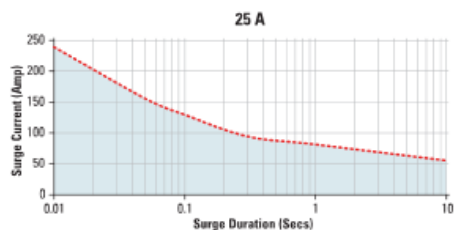
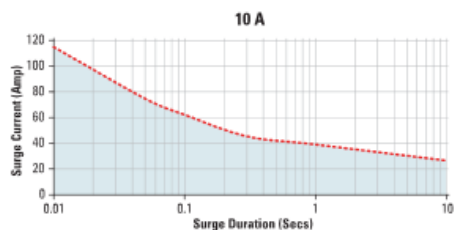
Copyright © 2014 Crydom Inc. Specifications subject to change without notice.



crydom

Data Sheet Panel Mount **4th gen**

SURGE CURRENT INFORMATION



Non repetitive peak surge current at Tj initial 40°C.



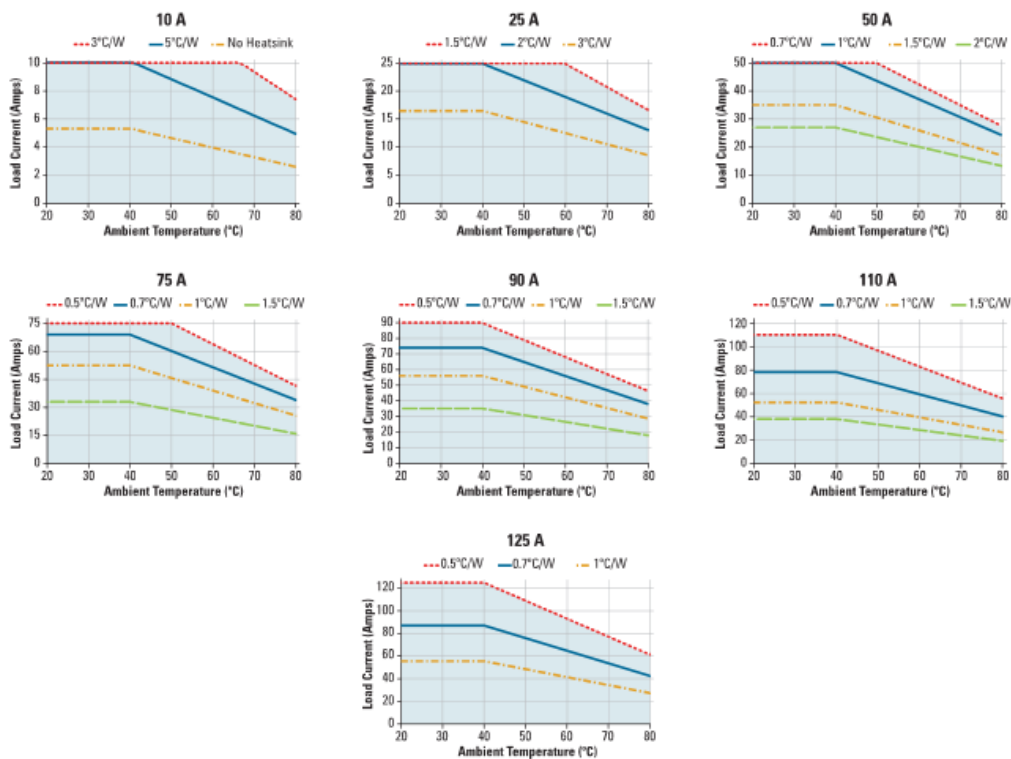
Do not forget to visit us at: www.crydom.com
Copyright © 2014 Crydom Inc. Specifications subject to change without notice.



crydom

Data Sheet Panel Mount **4th gen**

THERMAL DERATE INFORMATION

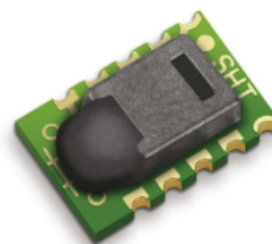


Do not forget to visit us at: www.crydom.com
Copyright © 2014 Crydom Inc. Specifications subject to change without notice.



Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15) Humidity and Temperature Sensor IC

- Fully calibrated
- Digital output
- Low power consumption
- Excellent long term stability
- SMD type package – reflow solderable



Product Summary

SHT1x (including SHT10, SHT11 and SHT15) is Sensirion's family of surface mountable relative humidity and temperature sensors. The sensors integrate sensor elements plus signal processing on a tiny foot print and provide a fully calibrated digital output. A unique capacitive sensor element is used for measuring relative humidity while temperature is measured by a band-gap sensor. The applied CMOSens® technology guarantees excellent reliability and long term stability. Both sensors are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC).

Each SHT1x is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into an OTP memory on the chip. These coefficients are used to internally calibrate the signals from the sensors. The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows for easy and fast system integration. The tiny size and low power consumption makes SHT1x the ultimate choice for even the most demanding applications.

SHT1x is supplied in a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) which is approved for standard reflow soldering processes. The same sensor is also available with pins (SHT7x) or on flex print (SHTA1).

Dimensions

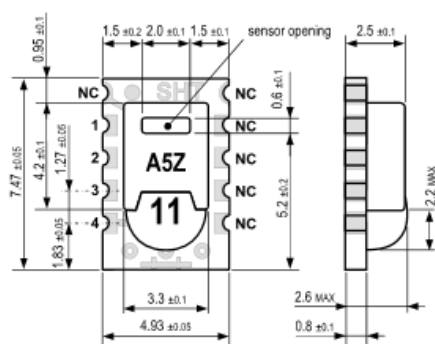


Figure 1: Drawing of SHT1x sensor packaging, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). Sensor label gives "11" for SHT11 as an example. Contacts are assigned as follows: 1:GND, 2:DATA, 3:VDD, 4:VDD.

Sensor Chip

SHT1x V4 – for which this datasheet applies – features a version 4 Silicon sensor chip. Besides the humidity and temperature sensors the chip contains an amplifier, A/D converter, OTP memory and a digital interface. V4 sensors can be identified by the alpha-numeric traceability code on the sensor cap – see example "A5Z" code on Figure 1.

Material Contents

While the sensor is made of a CMOS chip the sensor housing consists of an LCP cap with epoxy glob top on an FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant, thus it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

Evaluation Kits

For sensor trial measurements, for qualification of the sensor or even experimental application (data logging) of the sensor there is an evaluation kit *EK-H4* available including SHT71 (same sensor chip as SHT1x) and 4 sensor channels, hard and software to interface with a computer. For other evaluation kits please check www.sensirion.com/humidity.

Sensor Performance

Relative Humidity

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	bit
Accuracy ² SHT10	typical	±4.5			%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy ² SHT11	typical	±3.0			%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy ² SHT15	typical	±2.0			%RH
	maximal	see Figure 2			
Repeatability		±0.1			%RH
Hysteresis		±1			%RH
Non-linearity	linearized	<<1			%RH
Response time ³ τ (63%)		8			s
Operating Range		0		100	%RH
Long term drift ⁴	normal	< 0.5			%RH/yr

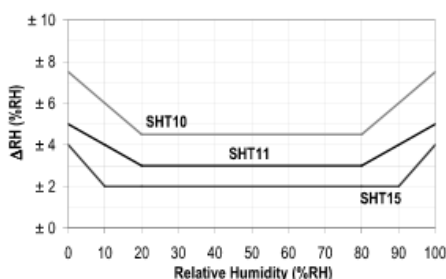


Figure 2: Maximal RH-tolerance at 25°C per sensor type.

Electrical and General Items

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Source Voltage		2.4	3.3	5.5	V
Power Consumption ⁵	sleep		2	5	μW
	measuring		3		mW
	average		90		μW
Communication	digital 2-wire interface, see Communication				
Storage	10 – 50°C (0 – 125°C peak), 20 – 60%RH				

¹ The default measurement resolution of is 14bit for temperature and 12bit for humidity. It can be reduced to 12/8bit by command to status register.

² Accuracies are tested at Outgoing Quality Control at 25°C (77°F) and 3.3V. Values exclude hysteresis and are applicable to non-condensing environments only.

³ Time for reaching 63% of a step function, valid at 25°C and 1 m/s airflow.

Temperature

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy ² SHT10	typical	±0.5			°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT11	typical	±0.4			°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT15	typical	±0.3			°C
	maximal	see Figure 3			
Repeatability		±0.1			°C
Operating Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time ⁶ τ (63%)		5		30	s
Long term drift		< 0.04			°C/yr

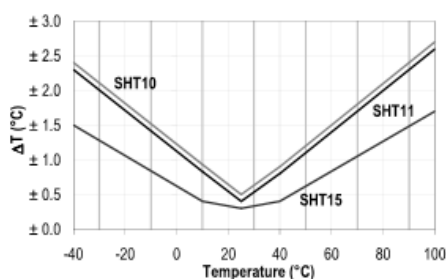


Figure 3: Maximal T-tolerance per sensor type.

Packaging Information

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
	Tape & Reel	100	1-100051-04
SHT11	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

This datasheet is subject to change and may be amended without prior notice.

⁴ Value may be higher in environments with high contents of volatile organic compounds. See Section 1.3 of Users Guide.

⁵ Values for VDD=3.3V at 25°C, average value at one 12bit measurement per second.

⁶ Response time depends on heat capacity of and thermal resistance to sensor substrate.

Users Guide SHT1x

1 Application Information

1.1 Operating Conditions

Sensor works stable within recommended normal range – see Figure 4. Long term exposures to conditions outside normal range, especially at humidity >80%RH, may temporarily offset the RH signal (+3 %RH after 60h). After return to normal range it will slowly return towards calibration state by itself. See Section 1.4 "Reconditioning Procedure" to accelerate eliminating the offset. Prolonged exposure to extreme conditions may accelerate ageing.

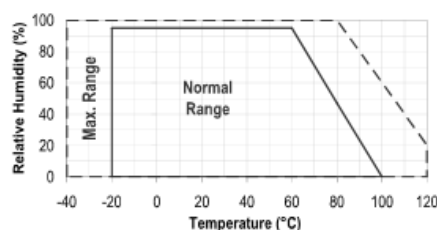


Figure 4: Operating Conditions

1.2 Soldering instructions

For soldering SHT1x standard reflow soldering ovens may be used. The sensor is qualified to withstand soldering profile according to IPC/JEDEC J-STD-020D with peak temperatures at 260°C during up to 40sec including Pb-free assembly in IR/Convection reflow ovens.

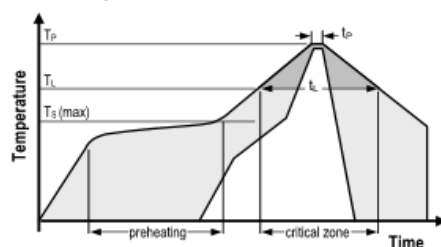


Figure 5: Soldering profile according to JEDEC standard. $T_P \leq 260^\circ\text{C}$ and $t_P < 40\text{sec}$ for Pb-free assembly. $T_L < 220^\circ\text{C}$ and $t_L < 150\text{sec}$. Ramp-up/down speeds shall be $< 5^\circ\text{C/sec}$.

For soldering in Vapor Phase Reflow (VPR) ovens the peak conditions are limited to $T_P < 233^\circ\text{C}$ during $t_P < 60\text{sec}$ and ramp-up/down speeds shall be limited to 10°C/sec . For manual soldering contact time must be limited to 5 seconds at up to 350°C ⁷.

⁷ $233^\circ\text{C} = 451^\circ\text{F}$, $260^\circ\text{C} = 500^\circ\text{F}$, $350^\circ\text{C} = 662^\circ\text{F}$

IMPORTANT: After soldering the devices should be stored at >75%RH for at least 12h to allow the polymer to re-hydrate. Otherwise the sensor may read an offset that slowly disappears if exposed to ambient conditions. Alternatively the re-hydration process may be performed at ambient conditions (>40%RH) during more than 5 days.

In no case, neither after manual nor reflow soldering, a board wash shall be applied. Therefore it is strongly recommended to use "no-clean" solder paste. In case of application with exposure of the sensor to corrosive gases or condensed water (i.e. environments with high relative humidity) the soldering pads shall be sealed (e.g. conformal coating) to prevent loose contacts or short cuts.

For the design of the SHT1x footprint it is recommended to use dimensions according to Figure 7. Sensor pads are coated with 35µm Cu, 5µm Ni and 0.1µm Au.

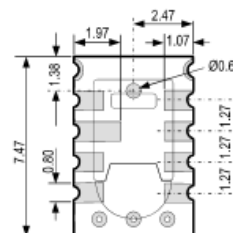


Figure 6: Rear side electrodes of sensor, view from top side.

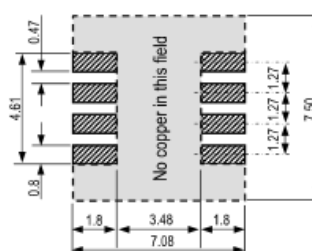


Figure 7: Recommended footprint for SHT1x. Values in mm.

1.3 Storage Conditions and Handling Instructions

It is of great importance to understand that a humidity sensor is not a normal electronic component and needs to be handled with care. Chemical vapors at high concentration in combination with long exposure times may offset the sensor reading.

For these reasons it is recommended to store the sensors in original packaging including the sealed ESD bag at

following conditions: Temperature shall be in the range of 10°C – 50°C (0 – 125°C for limited time) and humidity at 20 – 60%RH (sensors that are not stored in ESD bags). For sensors that have been removed from the original packaging we recommend to store them in ESD bags made of metal-in PE-HD⁸.

In manufacturing and transport the sensors shall be prevented of high concentration of chemical solvents and long exposure times. Out-gassing of glues, adhesive tapes and stickers or out-gassing packaging material such as bubble foils, foams, etc. shall be avoided. Manufacturing area shall be well ventilated.

For more detailed information please consult the document "Handling Instructions" or contact Sensirion.

1.4 Reconditioning Procedure

As stated above extreme conditions or exposure to solvent vapors may offset the sensor. The following reconditioning procedure may bring the sensor back to calibration state:

Baking: 100 – 105°C at < 5%RH for 10h
Re-Hydration: 20 – 30°C at ~ 75%RH for 12h⁹.

1.5 Temperature Effects

Relative humidity reading strongly depends on temperature. Therefore, it is essential to keep humidity sensors at the same temperature as the air of which the relative humidity is to be measured. In case of testing or qualification the reference sensor and test sensor must show equal temperature to allow for comparing humidity readings.

If the SHT1x shares a PCB with electronic components that produce heat it should be mounted in a way that prevents heat transfer or keeps it as low as possible. Measures to reduce heat transfer can be ventilation, reduction of copper layers between the SHT1x and the rest of the PCB or milling a slit into the PCB around the sensor (see Figure 8).

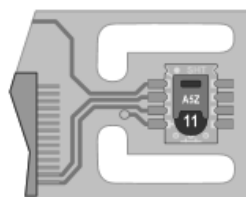


Figure 8: Top view of example of mounted SHT1x with slits milled into PCB to minimize heat transfer.

⁸ For example, 3M antistatic bag, product "1910" with zipper.

⁹ 75%RH can conveniently be generated with saturated NaCl solution. 100 – 105°C correspond to 212 – 221°F, 20 – 30°C correspond to 68 – 86°F

Furthermore, there are self-heating effects in case the measurement frequency is too high. Please refer to Section 3.3 for detailed information.

1.6 Light

The SHT1x is not light sensitive. Prolonged direct exposure to sunshine or strong UV radiation may age the housing.

1.7 Membranes

SHT1x does not contain a membrane at the sensor opening. However, a membrane may be added to prevent dirt and droplets from entering the housing and to protect the sensor. It will also reduce peak concentrations of chemical vapors. For optimal response times the air volume behind the membrane must be kept minimal. Sensirion recommends and supplies the SF1 filter cap for optimal IP54 protection (for higher protection – i.e. IP67 - SF1 must be sealed to the PCB with epoxy). Please compare Figure 9.

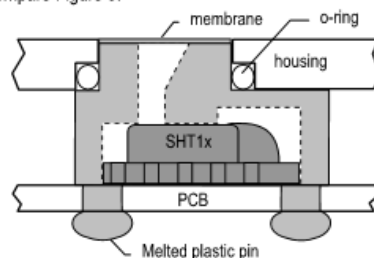


Figure 9: Side view of SF1 filter cap mounted between PCB and housing wall. Volume below membrane is kept minimal.

1.8 Materials Used for Sealing / Mounting

Many materials absorb humidity and will act as a buffer increasing response times and hysteresis. Materials in the vicinity of the sensor must therefore be carefully chosen. Recommended materials are: Any metals, LCP, POM (Delrin), PTFE (Teflon), PE, PEEK, PP, PB, PPS, PSU, PVDF, PVF.

For sealing and gluing (use sparingly): Use high filled epoxy for electronic packaging (e.g. glob top, underfill), and Silicone. Out-gassing of these materials may also contaminate the SHT1x (see Section 1.3). Therefore try to add the sensor as a last manufacturing step to the assembly, store the assembly well ventilated after manufacturing or bake at >50°C for 24h to outgas contaminants before packing.

1.9 Wiring Considerations and Signal Integrity

Carrying the SCK and DATA signal parallel and in close proximity (e.g. in wires) for more than 10cm may result in cross talk and loss of communication. This may be

resolved by routing VDD and/or GND between the two data signals and/or using shielded cables. Furthermore, slowing down SCK frequency will possibly improve signal integrity. Power supply pins (VDD, GND) must be decoupled with a 100nF capacitor if wires are used. Capacitor should be placed as close to the sensor as possible. Please see the Application Note "ESD, Latch-up and EMC" for more information.

1.10 ESD (Electrostatic Discharge)

ESD immunity is qualified according to MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ± 2 kV).

Latch-up immunity is provided at a force current of ± 100 mA with $T_{amb} = 80^{\circ}\text{C}$ according to JEDEC78A. See Application Note "ESD, Latch-up and EMC" for more information.

2 Interface Specifications

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Must be left unconnected

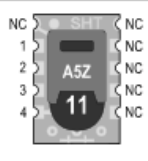


Table 1: SHT1x pin assignment, NC remain floating.

2.1 Power Pins (VDD, GND)

The supply voltage of SHT1x must be in the range of 2.4 – 5.5V, recommended supply voltage is 3.3V. Power supply pins Supply Voltage (VDD) and Ground (GND) must be decoupled with a 100 nF capacitor – see Figure 10.

The serial interface of the SHT1x is optimized for sensor readout and effective power consumption. The sensor cannot be addressed by I²C protocol; however, the sensor can be connected to an I²C bus without interference with other devices connected to the bus. The controller must switch between the protocols.

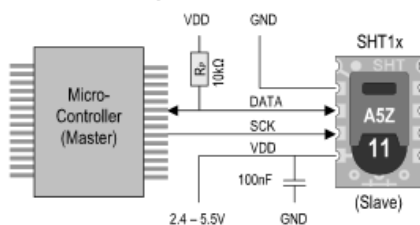


Figure 10: Typical application circuit, including pull up resistor R_p and decoupling of VDD and GND by a capacitor.

2.2 Serial clock input (SCK)

SCK is used to synchronize the communication between microcontroller and SHT1x. Since the interface consists of fully static logic there is no minimum SCK frequency.

2.3 Serial data (DATA)

The DATA tri-state pin is used to transfer data in and out of the sensor. For sending a command to the sensor, DATA is valid on the rising edge of the serial clock (SCK) and must remain stable while SCK is high. After the falling edge of SCK the DATA value may be changed. For safe communication DATA valid shall be extended T_{SU} and T_{HD} before the rising and after the falling edge of SCK, respectively – see Figure 11. For reading data from the sensor, DATA is valid T_V after SCK has gone low and remains valid until the next falling edge of SCK.

To avoid signal contention the microcontroller must only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g. 10kΩ) is required to pull the signal high – it should be noted that pull-up resistors may be included in I/O circuits of microcontrollers. See Table 2 for detailed I/O characteristic of the sensor.

2.4 Electrical Characteristics

The electrical characteristics such as power consumption, low and high level input and output voltages depend on the supply voltage. Table 2 gives electrical characteristics of SHT1x with the assumption of 5V supply voltage if not stated otherwise.

Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
Power supply DC ¹⁰		2.4	3.3	5.5	V
Supply current	measuring		0.55	1	mA
	average ¹¹	2	28		μA
	sleep		0.3	1.5	μA
Low level output voltage	$I_{OL} < 4$ mA	0		250	mV
High level output voltage	$R_P < 25$ kΩ	90%		100%	VDD
Low level input voltage	Negative going	0%		20%	VDD
High level input voltage	Positive going	80%		100%	VDD
Input current on pads				1	μA
Output current	on			4	mA
	Tri-stated (off)		10	20	μA

Table 2: SHT1x DC characteristics. R_P stands for pull up resistor, while I_{OL} is low level output current.

¹⁰ Recommended voltage supply for highest accuracy is 3.3V, due to sensor calibration.

¹¹ Minimum value with one measurement of 8bit resolution without OTP reload per second. Typical value with one measurement of 12bit resolution per second.

Absolute maximum ratings for VDD versus GND are +7V and -0.3V. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect the sensor reliability (e.g. hot carrier degradation, oxide breakdown). For proper communication with the sensor it is essential to make sure that signal design is strictly within the limits given in Table 3 and Figure 11.

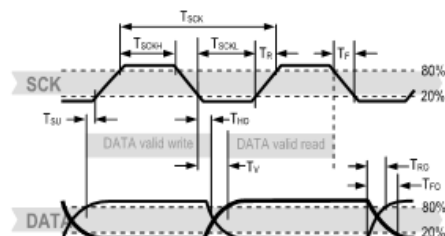


Figure 11: Timing Diagram, abbreviations are explained in Table 3. Bold DATA line is controlled by the sensor, plain DATA line is controlled by the micro-controller. Note that DATA valid read time is triggered by falling edge of anterior toggle.

	Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
F_{SCK}	SCK Frequency	VDD > 4.5V	0	0.1	5	MHz
		VDD < 4.5V	0	0.1	1	MHz
T_{SCKx}	SCK hi/low time		100			ns
T_R/T_F	SCK rise/fall time		1	200	*	ns
T_{FO}	DATA fall time	OL = 5pF	3.5	10	20	ns
		OL = 100pF	30	40	200	ns
T_{RO}	DATA rise time		**	**	**	ns
T_V	DATA valid time		200	250	***	ns
T_{SU}	DATA setup time		100	150	***	ns
T_{HO}	DATA hold time		10	15	****	ns

* $T_{R,max} + T_{F,max} = (F_{SCK})^{-1} - T_{SCKH} - T_{SCKL}$

** T_{RO} is determined by the $R_P \cdot C_{DATA}$ time-constant at DATA line

*** $T_{V,max}$ and $T_{SU,max}$ depend on external pull-up resistor (R_P) and total bus line capacitance (C_{DATA}) at DATA line

**** $T_{HO,max} < T_V - \max(T_{RS}, T_{FO})$

Table 3: SHT1x I/O signal characteristics, OL stands for Output Load, entities are displayed in Figure 11.

3 Communication with Sensor

3.1 Start up Sensor

As a first step the sensor is powered up to chosen supply voltage VDD. The slew rate during power up shall not fall below 1V/ms. After power-up the sensor needs 11ms to get to Sleep State. No commands must be sent before that time.

3.2 Sending a Command

To initiate a transmission, a Transmission Start sequence has to be issued. It consists of a lowering of the DATA line while SCK is high, followed by a low pulse on SCK and raising DATA again while SCK is still high – see Figure 12.



Figure 12: "Transmission Start" sequence

The subsequent command consists of three address bits (only '000' is supported) and five command bits. The SHT1x indicates the proper reception of a command by pulling the DATA pin low (ACK bit) after the falling edge of the 8th SCK clock. The DATA line is released (and goes high) after the falling edge of the 9th SCK clock.

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Relative Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset , resets the interface, clears the status register to default values. Wait minimum 11 ms before next command	11110

Table 4: SHT1x list of commands

3.3 Measurement of RH and T

After issuing a measurement command ('00000101' for relative humidity, '00000011' for temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes a maximum of 20/80/320 ms for a 8/12/14bit measurement. The time varies with the speed of the internal oscillator and can be lower by up to 30%. To signal the completion of a measurement, the SHT1x pulls data line low and enters Idle Mode. The controller must wait for this Data Ready signal before restarting SCK to readout the data. Measurement data is stored until readout, therefore the controller can continue with other tasks and readout at its convenience.

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum (optional) will then be transmitted. The micro controller must acknowledge each byte by pulling the DATA line low. All values are MSB first, right justified (e.g. the 5th SCK is MSB for a 12bit value, for a 8bit result the first byte is not used).

Communication terminates after the acknowledge bit of the CRC data. If CRC-8 checksum is not used the controller may terminate the communication after the measurement data LSB by keeping ACK high. The device automatically returns to Sleep Mode after measurement and communication are completed.

Important: To keep self heating below 0.1°C, SHT1x should not be active for more than 10% of the time – e.g. maximum one measurement per second at 12bit accuracy shall be made.

3.4 Connection reset sequence

If communication with the device is lost the following signal sequence will reset the serial interface: While leaving DATA high, toggle SCK nine or more times – see Figure 13. This must be followed by a Transmission Start sequence preceding the next command. This sequence resets the interface only. The status register preserves its content.

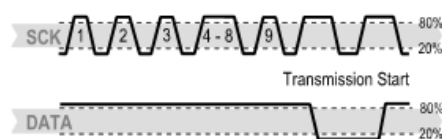


Figure 13: Connection Reset Sequence

3.5 CRC Checksum calculation

The whole digital transmission is secured by an 8bit checksum. It ensures that any wrong data can be detected and eliminated. As described above this is an additional feature of which may be used or abandoned. Please consult Application Note "CRC Checksum" for information on how to calculate the CRC.

3.6 Status Register

Some of the advanced functions of the SHT1x such as selecting measurement resolution, end-of-battery notice, use of OTP reload or using the heater may be activated by sending a command to the status register. The following section gives a brief overview of these features.

After the command Status Register Read or Status Register Write – see Table 4 – the content of 8 bits of the status register may be read out or written. For the communication compare Figure 14 and Figure 15 – the assignation of the bits is displayed in Table 5.



Figure 14: Status Register Write



Figure 15: Status Register Read

Examples of full communication cycle are displayed in Figure 16 and Figure 17.

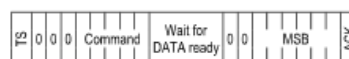


Figure 16: Overview of Measurement Sequence. TS = Transmission Start, MSB = Most Significant Byte, LSB = Last Significant Byte, LSb = Last Significant Bit.

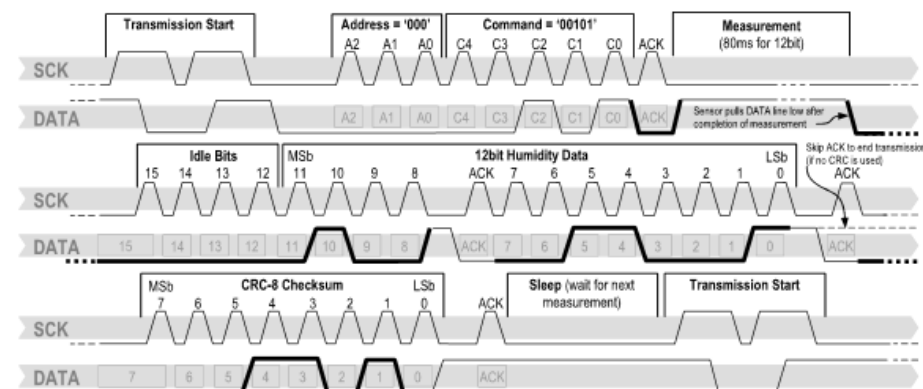


Figure 17: Example RH measurement sequence for value "0000'0100'0011'0001" = 1073 = 35.50%RH (without temperature compensation). DATA valid times are given and referenced in boxes on DATA line. Bold DATA lines are controlled by sensor while plain lines are controlled by the micro-controller.

Bit	Type	Description	Default
7		reserved	0
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for VDD > 2.47 '1' for VDD < 2.47	X No default value, bit is only updated after a measurement
5		reserved	0
4		reserved	0
3		For Testing only, do not use	0
2	R/W	Heater	0 off
1	R/W	no reload from OTP	0 reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temp. resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temp. resolution	0 12bit RH 14bit Temp.

Table 5: Status Register Bits

Measurement resolution: The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8bit. This is especially useful in high speed or extreme low power applications.

End of Battery function detects and notifies VDD voltages below 2.47V. Accuracy is $\pm 0.05V$.

Heater: An on chip heating element can be addressed by writing a command into status register. The heater may increase the temperature of the sensor by $5 - 10^{\circ}C^{12}$ beyond ambient temperature. The heater draws roughly 8mA @ 5V supply voltage.

For example the heater can be helpful for functionality analysis: Humidity and temperature readings before and after applying the heater are compared. Temperature shall increase while relative humidity decreases at the same time. Dew point shall remain the same.

Please note: The temperature reading will display the temperature of the heated sensor element and not ambient temperature. Furthermore, the sensor is not qualified for continuous application of the heater.

OTP reload: With this operation the calibration data is uploaded to the register before each measurement. This may be deactivated for reducing measurement time by about 10ms.

4 Conversion of Signal Output

4.1 Relative Humidity

For compensating non-linearity of the humidity sensor – see Figure 18 – and for obtaining the full accuracy of the sensor it is recommended to convert the humidity readout

(SO_{RH}) with the following formula with coefficients given in Table 6:

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \text{ (%RH)}$$

SO_{RH}	C_1	C_2	C_3
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845E-4

Table 6: Humidity conversion coefficients

Values higher than 99% RH indicate fully saturated air and must be processed and displayed as 100%RH¹³. Please note that the humidity sensor has no significant voltage dependency.

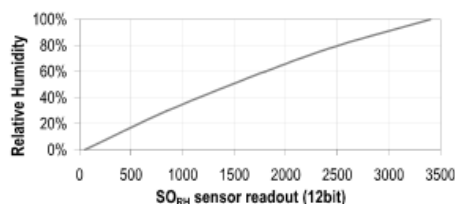


Figure 18: Conversion from SO_{RH} to relative humidity

4.2 Temperature compensation of Humidity Signal

For temperatures significantly different from $25^{\circ}C$ ($\sim 77^{\circ}F$) the humidity signal requires temperature compensation. The temperature correction corresponds roughly to $0.12\%RH/^{\circ}C$ @ $50\%RH$. Coefficients for the temperature compensation are given in Table 7.

$$RH_{true} = (T_{-C} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

SO_{RH}	t_1	t_2
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

Table 7: Temperature compensation coefficients

4.3 Temperature

The band-gap PTAT (Proportional To Absolute Temperature) temperature sensor is very linear by design. Use the following formula to convert digital readout (SO_T) to temperature value, with coefficients given in Table 8:

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

¹³ If wetted excessively (strong condensation of water on sensor surface), sensor output signal can drop below 100%RH (even below 0%RH in some cases), but the sensor will recover completely when water droplets evaporate. The sensor is not damaged by water immersion or condensation.

¹² Corresponds to $9 - 18^{\circ}F$

VDD	d ₁ (°C)	d ₁ (°F)	SO _T	d ₂ (°C)	d ₂ (°F)
5V	-40.1	-40.2	14bit	0.01	0.018
4V	-39.8	-39.6	12bit	0.04	0.072
3.5V	-39.7	-39.5			
3V	-39.6	-39.3			
2.5V	-39.4	-38.9			

Table 8: Temperature conversion coefficients.

4.4 Dew Point

SHT1x is not measuring dew point directly, however dew point can be derived from humidity and temperature readings. Since humidity and temperature are both measured on the same monolithic chip, the SHT1x allows superb dew point measurements.

For dew point (T_d) calculations there are various formulas to be applied, most of them quite complicated. For the temperature range of -40 – 50°C the following approximation provides good accuracy with parameters given in Table 9:

$$T_d(RH, T) = T_n \cdot \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) + \frac{m \cdot T}{T_n + T}}{m - \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m \cdot T}{T_n + T}}$$

Temperature Range	T _n (°C)	m
Above water, 0 – 50°C	243.12	17.62
Above ice, -40 – 0°C	272.62	22.46

Table 9: Parameters for dew point (T_d) calculation.

Please note that "ln(...)" denotes the natural logarithm. For RH and T the linearized and compensated values for relative humidity and temperature shall be applied.

For more information on dew point calculation see Application Note "Introduction to Humidity".

5 Environmental Stability

If sensors are qualified for assemblies or devices, please make sure that they experience same conditions as the reference sensor. It should be taken into account that response times in assemblies may be longer, hence enough dwell time for the measurement shall be granted. For detailed information please consult Application Note "Qualification Guide".

The SHT1x sensor series were tested according to AEC-Q100 Rev. G qualification test method. Sensor specifications are tested to prevail under the AEC-Q100

temperature grade 2 test conditions listed in Table 10¹⁴. Sensor performance under other test conditions cannot be guaranteed and is not part of the sensor specifications. Especially, no guarantee can be given for sensor performance in the field or for customer's specific application.

Please contact Sensirion for detailed information.

Environment	Standard	Results ¹⁵
HTSL	125°C, 1000 hours	Within specifications
TC	-50°C - 125°C, 1000 cycles Acc. JESD22-A104-C	Within specifications
UHST	130°C / 85%RH / ≈2.3bar, 96h	Within specifications
THU	85°C / 85%RH, 100 h	Within specifications
ESD immunity	MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ±2kV)	Qualified
Latch-up	force current of ±100mA with T _{amb} = 80°C, acc. JEDEC 17	Qualified

Table 10: Qualification tests: HTSL = High Temperature Storage Lifetime, TC = Temperature Cycles, UHST = Unbiased Highly accelerated Stress Test, THB = Temperature Humidity Unbiased

6 Packaging

6.1 Packaging type

SHT1x are supplied in a surface mountable LCC (Leadless Chip Carrier) type package. The sensor housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.8mm FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant – it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

Device size is 7.47 x 4.93 x 2.5 mm (0.29 x 0.19 x 0.1 inch), see Figure 1, weight is 100 mg.

6.2 Traceability Information

All SHT1x are marked with an alphanumeric, three digit code on the chip cap – see "ASZ" on Figure 1. The lot numbers allow full traceability through production, calibration and testing. No information can be derived from the code directly; respective data is stored at Sensirion and is provided upon request.

Labels on the reels are displayed in Figures 19 and 20, they both give traceability information.

¹⁴ Sensor operation temperature range is -40 to 105°C according to AEC-Q100 temperature grade 2.

¹⁵ According to accuracy and long term drift specification given on Page 2.

Datasheet SHT1x



Lot No.:	XX0-NN-YRRRTTTT
Quantity:	RRRR
RoHS:	Compliant
Lot No.	

Figure 19: First label on reel: XX = Sensor Type (11 for SHT11), NN = Chip Version (04 for V4), Y = last digit of year, RRR = number of sensors on reel divided by 10 (200 for 2000 units), TTTT = Traceability Code.

SENSIRION THE SENSOR COMPANY	
Device Type:	1-100PPP-NN
Description:	Humidity & Temperature Sensor SHTxx
Part Order No.	1-100PPP-NN or Customer Number
Date of Delivery:	DD.MM.YYYY
Order Code:	46CCCC / 0

Figure 20: Second label on reel: For Device Type and Part Order Number please refer to Table 12, Delivery Date (also Date Code) is date of packaging of sensors (DD = day, MM = month, YYYY = year), CCCC = Sensirion order number.

6.3 Shipping Package

SHT1x are shipped in 12mm tape at 100pcs, 400pcs and 2000pcs – for details see Figure 21 and Table 11. Reels

are individually labeled with barcode and human readable labels.

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
SHT11	Tape & Reel	100	1-100051-04
	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

Table 11: Packaging types per sensor type.

Dimensions of packaging tape are given in Figure 21. All tapes have a minimum of 480mm empty leader tape (first pockets of the tape) and a minimum of 300mm empty trailer tape (last pockets of the tape).

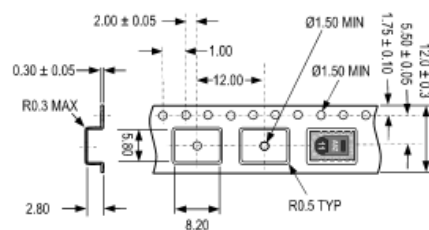


Figure 21: Tape configuration and unit orientation within tape, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). The leader tape is at the right side of the figure while the trailer tape is to the left (direction of unreeling).

DT-SENSE SHT11 MODULE

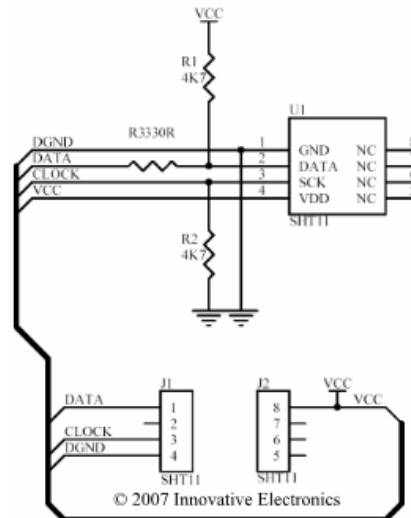
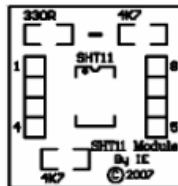
DT-Sense SHT11 Module merupakan suatu modul sensor suhu dan kelembaban yang berbasis Sensirion SHT11 (www.sensirion.com) dengan antarmuka Two-Wire Serial Interface. Modul ini dapat diaplikasikan dalam sistem pengendali suhu dalam ruang atau sistem weather station.

Spesifikasi Hardware

1. Range suhu : -40°C (-40°F) hingga +123,8°C (+254,9°F)
2. Akurasi suhu : +/- 0,5°C pada 25°C
3. Range kelembaban : 0 hingga 100% RH
4. Akurasi RH absolut : +/- 3,5% RH
5. Faktor bentuk : 8 pin DIP – 0,6"
6. Konsumsi daya rendah (tipikal 30 µW)
7. Tegangan supply +5 VDC

Tata Letak

Pin	Fungsi
1	Data
3	Clock
4	Ground
8	+5 VDC



Aplikasi terdapat di www.innovativeelectronics.com.

- ♦ Terima Kasih atas kepercayaan Anda menggunakan produk kami, bila ada kesulitan, pertanyaan atau saran mengenai produk ini silahkan menghubungi technical support kami :

support@innovativeelectronics.com

DT-SENSE SHT11 MODULE

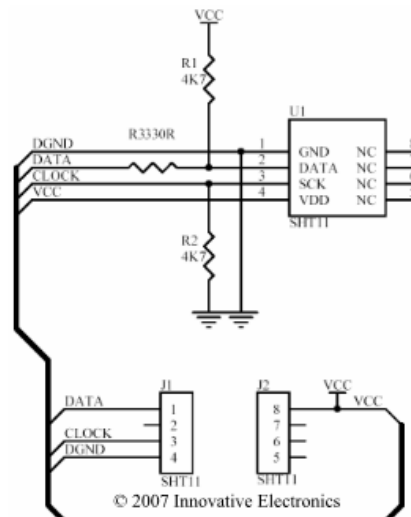
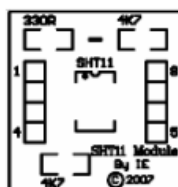
DT-Sense SHT11 Module merupakan suatu modul sensor suhu dan kelembaban yang berbasis Sensirion SHT11 (www.sensirion.com) dengan antarmuka Two-Wire Serial Interface. Modul ini dapat diaplikasikan dalam sistem pengendali suhu dalam ruang atau sistem weather station.

Spesifikasi Hardware

1. Range suhu : -40°C (-40°F) hingga +123,8°C (+254,9°F)
2. Akurasi suhu : +/- 0,5°C pada 25°C
3. Range kelembaban : 0 hingga 100% RH
4. Akurasi RH absolut : +/- 3,5% RH
5. Faktor bentuk : 8 pin DIP – 0,6"
6. Konsumsi daya rendah (tipikal 30 µW)
7. Tegangan supply +5 VDC

Tata Letak

Pin	Fungsi
1	Data
3	Clock
4	Ground
8	+5 VDC



Aplikasi terdapat di www.innovativeelectronics.com.

- ♦ Terima Kasih atas kepercayaan Anda menggunakan produk kami, bila ada kesulitan, pertanyaan atau saran mengenai produk ini silahkan menghubungi technical support kami :

support@innovativeelectronics.com