

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1721

Αυτόνομο σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης  
μελισσοκομικής παραγωγής

**Σπουδαστής: Κλεφτόγιαννης Κωνσταντίνος, ΑΜ:5949**

Επιβλέπων Καθηγητής: Καρέλης Δημήτριος

**ΠΑΤΡΑ 2020**



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας το θέμα που επέλεξα αντικατοπτρίζει την ανάγκη μείωσης του οικονομικού κόστους της μελισσοκομικής παραγωγής. Για το λόγο αυτό η συσκευή που θα επιγραφεί παρακάτω θα επιτρέπει στο μελισσοκόμο να γνωρίζει την κατάσταση τις κάθε κυψέλης (βάρος κυψέλης, υγρασία και θερμοκρασία περιβάλλοντος) με ένα μήνυμα στο κινητό του τηλέφωνο, δίχως να χρειάζεται να μεταβεί ο ίδιος στο χώρο όπου βρίσκονται. Η υπηρεσία αυτή θα μειώσει τα έξοδα μετακίνησης του μελισσοκόμου καθώς οι κυψέλες συνήθως τοποθετούνται σε απομακρυσμένες περιοχές από τη έδρα του, αλλά και ως υποσύνολα απομακρυσμένα μεταξύ τους.

Για την υλοποίηση του παραπάνω συστήματος η επιλογή των επιμέρους υλικών έγινε με γνώμονα την ευκολία εύρεσης τους, της υλοποίησης σε επίπεδο υλικού και λογισμικού, καθώς και του συνολικού κόστους παραγωγής, ώστε αυτό να είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με τις υπάρχουσες υλοποιήσεις. Το σύστημα αποτελείται από τον κεντρικό μικροελεκτή, τέσσερις αισθητήρες βάρους σε διάταξη γέφυρας Wheatstone, chip ενίσχυσης και μετατροπής του σήματος αισθητήρων, αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας, GSM module διασύνδεσης, στοιχείο μπαταρίας λιθίου καθώς και φωτοβολταϊκό στοιχείο για την ενεργειακή αυτονομία του συστήματος.

Ως κεντρικός επεξεργαστής, επιλέχθηκε ο μικροελεκτή STM32F070CBT6 της STmicroelectronics, με πυρήνα ARM 32-bit, στα 48MHz, 128 KBytes flash, 16KBytes SRAM.

Για τη διασύνδεση των αισθητήρων βάρους με τον μικροελεκτή, επιλέχθηκε ο HX711 της Avia Semiconductor's, ως ενισχυτής και μετατροπέας του σήματος αισθητήρων από αναλογικό σε ψηφιακό.

Για τη διασύνδεση του συστήματος με το χρήστη, επιλέχθηκε το GSM module SIM800L της Simcom, το οποίο λειτουργεί στις συχνότητες 850 / 950 / 1800 /1900 MHz των δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

Για την παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών περιβάλλοντος της κυψέλης, επιλέχθηκε ο ψηφιακός αισθητήρας SHT31 της Sensirion, ο οποίος είναι αισθητήρας παρακολούθησης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας χώρου, χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

Για τη διασύνδεση όλων των παραπάνω, την εύρυθμη λειτουργία τους και την επίτευξη των στόχων του συστήματος, η υλοποίηση του ενσωματωμένου λογισμικού αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C, με βάση το λειτουργικό σύστημα ανοιχτού κώδικα FreeRTOS της Real Time Engineers Ltd, σε περιβάλλον εργασίας TRUESTUDIO της ST Microelectronics

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

Περίληψη.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	4
1 Μικροελεγκτής STM32F07x .....	8
1.1 Περιγραφή .....	8
1.2 ενσωματωμένη μνήμη .....	9
1.3 Λειτουργίες / Επιλογές Εκκίνησης.....	9
1.4 Μονάδα Υπολογισμού Ελέγχου Κυκλικού Πλεονασμού (CRC).....	9
1.5 Διαχείριση Τροφοδοσίας / Καταναλώση.....	10
1.5.1 Παροχή Τροφοδοσίας.....	10
1.5.2 Μονάδες Παρακολούθησης Παροχής Τροφοδοσίας .....	10
1.5.3 Ρυθμιστής Τάσης.....	10
1.5.4 Λειτουργίες χαμηλής κατανάλωσης.....	11
1.6 Ρολόι και εκκίνηση.....	11
1.7 Γενικής χρήσης είσοδοι / έξοδοι (GPIO).....	12
1.8 Ελεγκτής Άμεσης Πρόσβασης Μνήμης (DMA) .....	13
1.9 Σύστημα Διακοπων (Interrupts) και Συμβαντων (events).....	13
1.9.1 Nested vectored interrupt controller (NVIC). .....	13
1.9.2 Διευρυμένος ελεγκτής διακοπων / συμβάντων (EXTI).....	13
1.9.3 Μετατροπέας Αναλογικού σήματος σε Ψηφιακό (ADC) .....	14
1.9.4 Timers.....	14
1.9.5 Ρολόι Πραγματικού Χρόνου (RTC – Real Time Clock).....	14
1.9.6 Inter-integrated circuit (I2C) .....	15
1.9.7 Σύγχρονος / ασύγχρονος δέκτης/πομπός (USART).....	15
1.9.8 Σειριακή περιφερειακή διεπαφή (SPI) .....	15
1.9.9 Ο γενικός σειριακός διάυλος (USB) .....	15
1.10 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.....	15
1.10.1 Τυπικές τιμές.....	15
1.10.2 Χαρακτηριστικά ρεύματος τροφοδοσίας .....	16
2 Analog-To-Digital Converter HX-711 .....	19
2.1 Χαρακτηριστικά .....	19
2.2 Αναλογικές είσοδοι .....	20
2.3 Επιλογές τροφοδοσίας.....	21
2.4 Επιλογές πηγής ρολογιού .....	21
2.5 Ρυθμός και μορφή εξόδου δεδομένων.....	21

2.6	Σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας.....	22
2.7	Απενεργοποίηση και επαναφορά.....	23
2.8	Κύρια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά .....	24
3	Αισθητήρας θερμοκρασίας/υγρασίας SHT3x .....	25
3.1	Γενική Περιγραφή .....	25
3.2	Χαρακτηριστικά μέτρησης αισθητήρα υγρασίας .....	25
3.3	Χαρακτηριστικά μέτρησης αισθητήρα θερμοκρασίας .....	28
3.4	Προδιαγραφές Λειτουργίας .....	29
3.4.1	Ορια Σωστής Λειτουργίας.....	29
3.4.2	Ηλεκτρικές Προδιαγραφές (περιοχή λειτουργίας για 25 βαθμούς Κελσίου) ....	29
3.4.3	Χρονισμοί για το σύστημα αισθητήρων .....	30
3.4.4	Απόλυτη Ελάχιστη και Μέγιστη Αξιολόγηση .....	30
3.5	Περιγραφή pins.....	31
3.5.1	Power Pins (VDD, VSS) .....	31
3.5.2	Pins σειριακού πρωτοκόλλου επικοινωνίας I2C (SCL, SDA).....	31
3.5.3	Die Pad (κεντρικό πέλμα του ολοκληρωμένου).....	31
3.5.4	ADDR Pin .....	32
3.5.5	ALERT Pin.....	32
3.5.6	nRESET Pin .....	32
3.6	Λειτουργία και επικοινωνία.....	32
3.6.1	Ενεργοποίηση και έναρξη επικοινωνίας. ....	33
3.6.2	Επαναφορά .....	33
3.6.3	Μετατροπή των μετρήσεων σε πραγματικές .....	33
4	SIM800L Module .....	34
4.1	Χαρακτηριστικά .....	34
5	Κώδικας, Λειτουργία και Δομή Συσκευής.....	37
5.1	Σχεδιασμός και διασύνδεση περιφερειακών .....	37
5.1.1	Συνοπτική περιγραφή .....	37
5.2	Ανάλυση σχηματικού και διασυνδέσεων .....	38
5.2.1	ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ .....	38
5.2.2	Διασυνδέσεις SIM800L module.....	40
5.2.3	Διασυνδέσεις HX711 .....	40
5.2.4	Διασυνδέσεις SHT3x.....	41
5.2.5	Διασύνδεση Μικροελεγκτή STM32F07x .....	42
5.3	Πρωτοκόλλα επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκαν .....	43

5.3.1	UART.....	43
5.3.2	I2C.....	45
5.3.3	SPI.....	46
5.4	Λειτουργία Ενσωματωμένου Κώδικα .....	47
5.4.1	Αρχικοποίηση προγράμματος .....	47
5.4.2	Δήλωση και διαχείριση εργασιών λογισμικού .....	48
5.4.3	Εντολές sim800I και Διάγραμμα καταστάσεων λειτουργίας.....	49
6	Μελλοντικές επεκτάσεις/βελτιώσεις.....	54
7	βιβλιογραφία .....	55

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Χαρακτηριστικά συσκευών οικογένειας STM32F07x .....	8
Εικόνα 2 Διάγραμμα διαμοίρασης ρολογιών .....	12
Εικόνα 3 Διαθέσιμοι Timers .....	14
Εικόνα 4 Πίνακας ορίων τάσεων λειτουργίας.....	16
Εικόνα 5 Τυπική και μέγιστη κατανάλωση ρεύματος από το VDD για VDD = 3.6V .....	17
Εικόνα 6 Τυπική και μέγιστη κατανάλωση ρεύματος από την τροφοδοσία VDDA.....	17
Εικόνα 7 Τυπική και μέγιστη κατανάλωση κατά τις λειτουργίες Stop και Standby .....	18
Εικόνα 8 Τυπική κατανάλωση ρεύματος σε κατάσταση λειτουργίας Run, για κώδικα ο οποίος επεξεργάζεται δεδομένα και εκτελείται από την Flash.....	18
Εικόνα 9 Διάγραμμα του ολοκληρωμένου και σύνοψη των pins .....	20
Εικόνα 10 Κανάλια εισόδου και επιλογή κέρδους σήματος ανά κανάλι .....	22
Εικόνα 11 Σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας και πίνακας χρόνων .....	22
Εικόνα 12 Διαδικασία θέσης του ADC στις καταστάσεις normal και power-down χρησιμοποιώντας το pin PD_SCK .....	23
Εικόνα 13 Πίνακας ηλεκτρικών χαρακτηριστικών .....	24
Εικόνα 14 Απόδοση/Ακρίβεια αισθητήρα υγρασίας.....	25
Εικόνα 15 Γράφημα απόδοσης αισθητήρα υγρασίας στους 25 C για κάθε ένα από τα 3 μοντέλα SHT3x .....	26
Εικόνα 16 Γράφημα ανοχής μέτρησης υγρασίας / υπάρχουσα θερμοκρασία SHT3x .....	27
Εικόνα 17 Απόδοση/Ακρίβεια αισθητήρα θερμοκρασίας.....	28
Εικόνα 18 Ακρίβεια μέτρησης θερμοκρασίας για κάθε SHTx .....	28
Εικόνα 19 Ηλεκτρικές προδιαγραφές (ισχύουσες σε 25 °C).....	29
Εικόνα 20 Προδιαγραφές χρόνων λειτουργίας του ολοκληρωμένου .....	30
Εικόνα 21 Τυπικό κύκλωμα σύνδεσης pull-up αντιστάσεων .....	31
Εικόνα 22 I2C διεύθυνση του ολοκληρωμένου ανάλογα με την κατάσταση του pin ADDR. 32	
Εικόνα 23 Πίνακας κατανάλωσης SIM800L .....	35
Εικόνα 24 SIM800L module pins .....	35
Εικόνα 25 Διάγραμμα διασύνδεσης των ολοκληρωμένων .....	37
Εικόνα 26 Κύκλωμα μετασχηματισμού τάσης σε σταθερή τάση 3.3V .....	38
Εικόνα 27 Αναμονή για σύνδεση μπαταρίας .....	39
Εικόνα 28 Ολοκληρωμένο φόρτισης της μπαταρίας από τον USB connector (5V).....	39
Εικόνα 29 Διασύνδεση SIM800L module .....	40
Εικόνα 30 Διασύνδεση του εξωτερικού ADC .....	41
Εικόνα 31 Αναμονή σύνδεσης του αισθητήρα υγρασίας/θερμοκρασίας και pullup αντιστάσεις(αριστερά).....	42
Εικόνα 32 Διασύνδεση μικροελεγκτή .....	43
Εικόνα 33 Παράδειγμα UART επικοινωνίας και διασύνδεσης 2 συσκευών με pins Rx,Tx ...	44
Εικόνα 34 Παράδειγμα διασύνδεσης διαύλου I2C .....	45
Εικόνα 35 Παράδειγμα διασύνδεσης και επικοινωνίας ενός SPI master με έναν SPI slave....	46

# 1 ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ STM32F07x

## 1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Οι μικροελεγκτές STM32F070CB / RB / C6 / F6 ενσωματώνουν τον πυρήνα RISC(Reduced Instruction Set Computer) ARM Cortex-M0 υψηλής απόδοσης που λειτουργεί σε συχνότητα 48 MHz, έχει ενσωματωμένες μνήμες υψηλής ταχύτητας (μέχρι 128 Kbytes Flash μνήμη και 16 Kbytes SRAM) και ένα ευρύ φάσμα βελτιωμένων περιφερειακών και I/O.

Όλες οι οικογένειες των εν λόγω μικροελεγκτών διαθέτουν όλα τα βασικά communication interfaces (μέχρι δύο I2C, μέχρι δύο SPI και μέχρι τέσσερα USART), μία συσκευή USB Full Speed, έναν ADC των 12 bit, 7 timers γενικής χρήσης των 16 bit και ένα περιφερειακό για PWM.

Δύνανται να λειτουργούν σε θερμοκρασίες από -40 έως +85 °C με τροφοδοσία 2,4V έως 3,6V. Υποστηρίζουν λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας επιτρέποντας τον σχεδιασμό εφαρμογών χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.

Διατίθενται σε τρία διαφορετικά packages τα οποία κυμαίνονται από 20 μέχρι 64 pins. Ανάλογα με τη συσκευή και το package της, περιλαμβάνονται διαφορετικά σύνολα περιφερειακών συσκευών και διαφορετικά μεγέθη μνημών (όπως φαίνεται και την παρακάτω εικόνα).

Peripheral	STM32F070F6	STM32F070C6	STM32F070CB	STM32F070RB
Flash (Kbytes)	32		128	
SRAM (Kbytes)	6		16	
Timers	Advanced control	1 (16-bit)		
	General purpose	4 (16-bit)		5 (16-bit)
	Basic	-		2 (16-bit)
Comm. interfaces	SPI	1		2
	I <sup>2</sup> C	1		2
	USART	2		4
	USB	1		
12-bit ADC (number of channels)	1 (9 ext. + 2 int.)	1 (10 ext. + 2 int.)	1 (10 ext. + 2 int.)	1 (16 ext. + 2 int.)
GPIOs	15	37	37	51
Max. CPU frequency	48 MHz			
Operating voltage	2.4 to 3.6 V			
Operating temperature	Ambient operating temperature: -40°C to 85°C Junction temperature: -40°C to 105°C			
Packages	TSSOP20	LQFP48	LQFP48	LQFP64

Εικόνα 1 Χαρακτηριστικά συσκευών οικογένειας STM32F07x

Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά της οικογένειας STM32F07x καθιστούν τους εν λόγω μικροελεγκτές κατάλληλους για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως πχ εκτυπωτές, συστήματα



συναγερμού, σαρωτές, βιομηχανικές εφαρμογές, συστήματα ελέγχου κλιματισμού, αυτοματισμούς κ.α

## 1.2 ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΗ ΜΝΗΜΗ

Η συσκευή διαθέτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά μνημών:

- 6 έως 16 Kbytes ενσωματωμένης SRAM με δυνατότητα προσπέλασης (για εγγραφή ή ανάγνωση) με ταχύτητες ρολογιού της CPU χωρίς καταστάσεις αναμονής ενδιάμεσα υποστηρίζοντας παράλληλα ενσωματωμένο έλεγχο ισοτιμίας με exception generator (γεννήτρια ειδοποιήσεων λάθους) για εντοπισμό σφαλμάτων ανάγνωσης/εγγραφής σε εφαρμογές μεγάλης κρισιμότητας.
- Η non-volatile memory χωρίζεται σε 2 συστοιχίες:
  - 32 έως 128 Kbytes ενσωματωμένης μνήμης Flash για αποθήκευση προγράμματος αλλά και δεδομένων
  - Bytes επιλογής λειτουργίας

Τα bytes επιλογών χρησιμοποιούνται για να προστατεύσουν την μνήμη από εγγραφές ή/και αναγνώσεις.

- Επίπεδο 0: Καμία προστασία
- Επίπεδο 1: Προστασία ανάγνωσης. Με αυτή τη ρύθμιση η μνήμη Flash δεν μπορεί να αναγνωσθεί ή να εγγραφεί αν είναι συνδεδεμένος debugger ή έχει επιλεγεί εκκίνηση από RAM.
- Επίπεδο 2: Προστασία ανάγνωσης ολοκληρωμένου. Οποιοσδήποτε επιλογές σύνδεσης debugger και η εκκίνηση από RAM είναι απενεργοποιημένα.

## 1.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ / ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ

Κατά την εκκίνηση του ολοκληρωμένου, το pin εκκίνησης(boot pin) και το bit επιλογή εκκίνησης χρησιμοποιούνται για να επιλέγουν μία από τις τρεις επιλογές εκκίνησης:

- Εκκίνηση από την Flash
- Εκκίνηση από την μνήμη συστήματος
- Εκκίνηση από την ενσωματωμένη SRAM

Ο boot loader (ο οποίος τρέχει και καθορίζει από που θα γίνει το booting) βρίσκεται στην μνήμη συστήματος του ολοκληρωμένου. Χρησιμοποιείται για να μπορούμε να προγραμματίσουμε την μνήμη Flash μέσω του περιφερειακού USART στα pins PA14/PA15 ή PA9/PA10.

## 1.4 ΜΟΝΑΔΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΠΛΕΟΝΑΣΜΟΥ (CRC)

Η μονάδα ελέγχου κυκλικού πλεονασμού - CRC (cyclic redundancy check) χρησιμοποιείται για να παράγει έναν κωδικό CRC χρησιμοποιώντας ένα ρυθμιζόμενο γεννήτορα πολυώνυμο. Μεταξύ άλλων εφαρμογών, οι τεχνικές που βασίζονται σε CRC χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση της μεταφοράς δεδομένων ή της ακεραιότητας αποθήκευσης δεδομένων. Στα

πλαίσια του προτύπου EN / IEC 60335-1, τέτοιες μονάδες προσφέρουν ένα μέσο επαλήθευσης της ακεραιότητας των δεδομένων και του κώδικα στην μνήμη Flash.

## 1.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ / ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

### 1.5.1 ΠΑΡΟΧΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

- $V_{DD} = 2,4$  έως  $3,6$  V: εξωτερική τροφοδοσία για τα I/Os και τον εσωτερικό ρυθμιστή τροφοδοσίας. Παρέχεται εξωτερικά μέσω του pin VDD.
- $V_{DDA} =$  από  $V_{DD}$  έως  $3,6$  V: εξωτερική αναλογική τροφοδοσία για τον ADC, τα Reset blocks, τους εσωτερικούς ταλαντωτές και ρολόγια (RCs και PLL). Το επίπεδο τάσης  $V_{DDA}$  πρέπει να είναι πάντα μεγαλύτερο ή ίσο με το επίπεδο τάσης VDD και πρέπει να παρέχεται πρώτα.

### 1.5.2 ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Η συσκευή έχει ενσωματωμένα κυκλώματα reset λόγω εκκίνησης(power-on-reset – POR) και reset λόγω απενεργοποίησης (PDR – power down reset). Είναι πάντοτε ενεργά και εξασφαλίζουν τη σωστή λειτουργία του ολοκληρωμένου όταν παρέχεται τροφοδοσία 2V και άνω. Η συσκευή παραμένει σε κατάσταση επαναφοράς(reset) όταν η παρακολουθούμενη τάση τροφοδοσίας είναι κάτω από ένα καθορισμένο όριο,  $V_{POR/PDR}$ , χωρίς την ανάγκη για ένα εξωτερικό κύκλωμα επαναφοράς.

- Το POR παρακολουθεί μόνο την τάση τροφοδοσίας  $V_{DD}$ . Κατά τη διάρκεια της φάσης έναρξης απαιτείται η  $V_{DDA}$  να φθάσει πρώτα και να είναι μεγαλύτερη ή ίση με  $V_{DD}$ .
- Το PDR παρακολουθεί τις τάσεις τροφοδοσίας  $V_{DD}$  και  $V_{DDA}$ , ωστόσο η μονάδα παρακολούθησης της τροφοδοσίας  $V_{DDA}$  μπορεί να απενεργοποιηθεί (προγραμματίζοντας ένα ειδικό bit επιλογής) για να μειωθεί και η μέση κατανάλωση του ολοκληρωμένου την κατανάλωση αρκεί να είναι εξασφαλισμένο το ότι η τάση  $V_{DDA}$  θα είναι υψηλότερη ή ίση της  $V_{DD}$

### 1.5.3 ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΤΑΣΗΣ

Ο ρυθμιστής τάσης έχει δύο τύπους(modes) λειτουργίας και είναι πάντα ενεργοποιημένος μετά την επαναφορά(reset)

- Ο κύριος (main - MR) χρησιμοποιείται κατά την κανονική λειτουργία του ολοκληρωμένου (Run).
- Το mode χαμηλής κατανάλωσης (LPR) μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη λειτουργία διακοπής όπου και η ζήτηση ισχύος μειώνεται.

Σε κατάσταση αναμονής, τίθεται εκτός λειτουργίας. Κατά τη διάρκεια αυτής της λειτουργίας, η έξοδος του ρυθμιστή είναι σε υψηλή εμπέδηση και το κύκλωμα του πυρήνα σβήνει, προκαλώντας μηδενική κατανάλωση (το περιεχόμενο των καταχωρητών και της SRAM χάνονται).

#### 1.5.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Οι μικροελεγκτές STM32F070CB / RB / C6 / F6 υποστηρίζουν τρεις λειτουργίες χαμηλής κατανάλωσης για να επιτευχθεί ο καλύτερος συμβιβασμός μεταξύ χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, σύντομου χρόνου εκκίνησης και διαθέσιμων πηγών αφύπνισης:

- **Λειτουργία ύπνου (Sleep Mode)**

Κατά τη λειτουργία ύπνου, απενεργοποιείται μόνο η CPU. Όλα τα περιφερειακά συνεχίζουν να λειτουργούν και μπορούν να ξυπνήσουν την CPU όταν συμβεί κάποιο interrupt ή event.

- **Λειτουργία διακοπής (Stop Mode)**

Η κατάσταση διακοπής επιτυγχάνει πολύ χαμηλή κατανάλωση ρεύματος ενώ διατηρεί το περιεχόμενο της SRAM και των καταχωρητών. Όλα τα ρολόγια στον τομέα 1,8 V διακόπτονται, το PLL, ο HSI RC και οι HES κρυσταλλικοί ταλαντωτές είναι απενεργοποιημένοι. Ο ρυθμιστής τάσης μπορεί επίσης να τεθεί είτε σε κανονική λειτουργία είτε σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.

Η συσκευή μπορεί να ξυπνήσει από κάποιο interrupt από οποιαδήποτε από τις γραμμές EXTI. Η πηγή γραμμής EXTI μπορεί να είναι μία από τις 16 εξωτερικές γραμμές και από τον RTC.

- **Κατάσταση αναμονής (Standby Mode)**

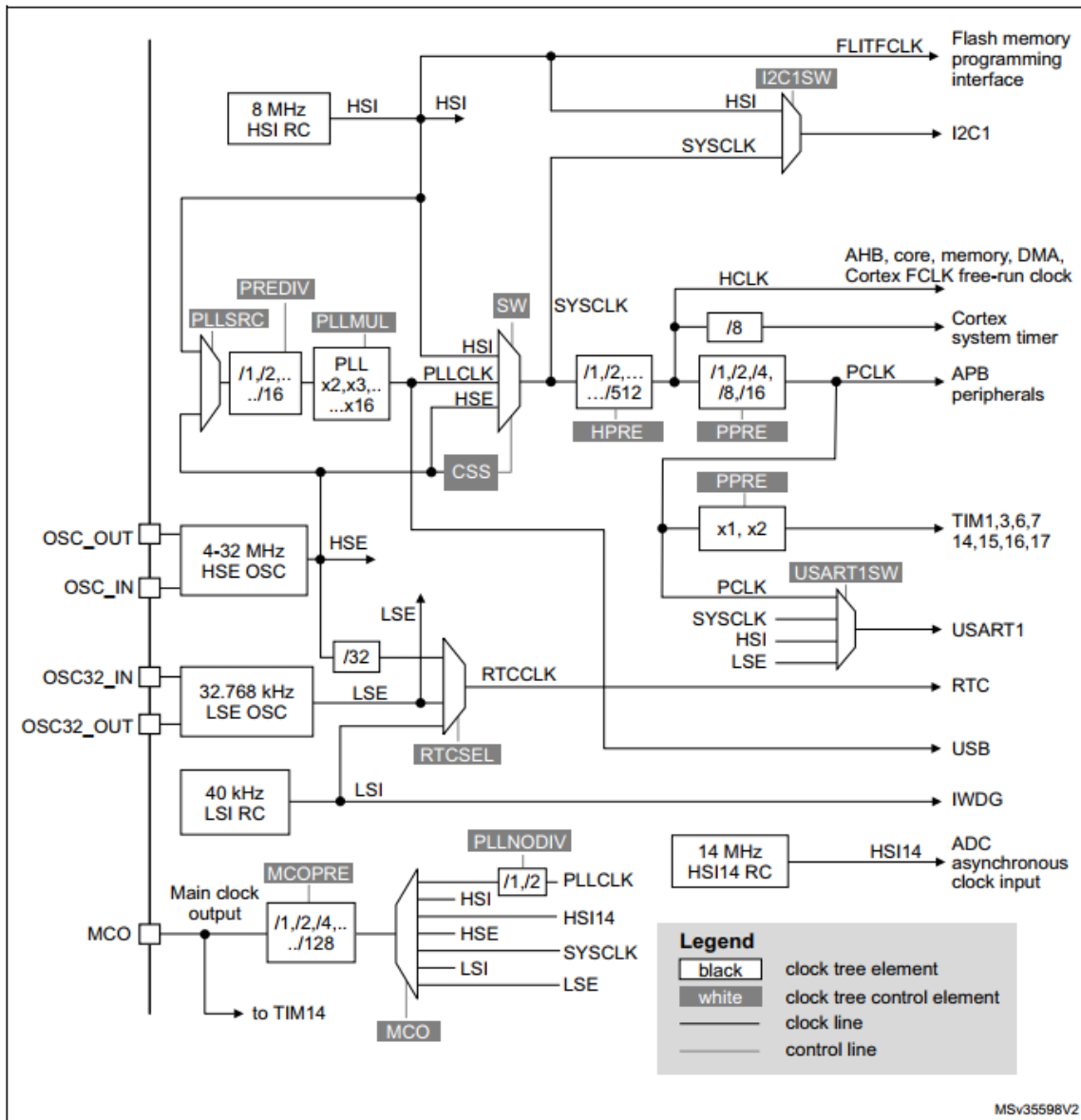
Η κατάσταση αναμονής χρησιμοποιείται για την επίτευξη της χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας. Ο εσωτερικός ρυθμιστής τάσης είναι απενεργοποιημένος έτσι ώστε ολόκληρη η περιοχή 1.8 V να απενεργοποιείται. Οι PLL, οι HSI RC και οι ταλαντωτές κρυστάλλων HSE επίσης απενεργοποιούνται. Μετά την είσοδο στην κατάσταση αναμονής, τα περιεχόμενα της SRAM και των καταχωρητών χάνονται εκτός από τους καταχωρητές του RTC και του κυκλώματος αναμονής.

Η συσκευή εξέρχεται από την κατάσταση αναμονής όταν γίνει επαναφορά (reset) από το εξωτερικό reset pin (NRST), επαναφορά από τον Watchdog Timer (IWDG), από μια ανερχόμενη ακμή στα WKUP pins ή λόγω κάποιου event από τον RTC.

#### 1.6 ΡΟΛΟΙ ΚΑΙ ΕΚΚΙΝΗΣΗ

Η επιλογή του ρολογιού συστήματος πραγματοποιείται κατά την εκκίνηση, ωστόσο ο εσωτερικός ταλαντωτής RC 8 MHz επιλέγεται ως προεπιλεγμένο ρολόι CPU κατά την επαναφορά. Μπορεί να επιλεγεί ένα εξωτερικό ρολόι 4-32 MHz, το οποίο και παρακολουθείται για σφάλμα/βλάβη. Εάν εντοπιστεί βλάβη, το σύστημα μεταβαίνει αυτόματα στον εσωτερικό ταλαντωτή RC. Όταν ενεργοποιηθεί, παράγεται ένα interrupt κατά την εκτέλεση του ενσωματωμένου λογισμικού. Ομοίως, διατίθεται πλήρης διαχείριση interrupt με την ενεργοποίηση του ρολογιού PLL όταν είναι απαραίτητο (για παράδειγμα, σε περίπτωση βλάβης ενός έμμεσα χρησιμοποιούμενου εξωτερικού κρυστάλλου, resonator ή ταλαντωτή).

Αρκετές προηγούμενες συσκευές επιτρέπουν στην εφαρμογή να ρυθμίσει τη συχνότητα των διαύλων AHB και APB. Η μέγιστη συχνότητα των AHB και APB είναι 48 MHz.



Εικόνα 2 Διάγραμμα διαμοίρασης ρολογιών

## 1.7 ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΕΙΣΟΔΟΙ / ΕΞΟΔΟΙ (GPIO)

Κάθε ένα από τα GPIO pins του μικροελεγκτή μπορεί να ρυθμιστεί από το ενσωματωμένο λογισμικό ως έξοδος (push-pull ή open-drain), ως είσοδος (με ή χωρίς pull-up/ pull-down εσωτερικές αντιστάσεις) ή να τεθεί σε εναλλακτική λειτουργία αναθέτοντάς το σε κάποιο περιφερειακό. Τα περισσότερα GPIOs μπορούν να υποστηρίξουν και ψηφιακές αλλά και αναλογικές εναλλακτικές λειτουργίες.

Η διαμόρφωση των GPIOs μπορεί να κλειδωθεί αν είναι αναγκαίο ακολουθώντας μια συγκεκριμένη ακολουθία εντολών έτσι ώστε να αποφευχθούν λάθη λόγω λανθασμένων εγγραφών στους καταχωρητές τους.

## **1.8 ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΜΝΗΜΗΣ (DMA)**

Ο DMA controller γενικής χρήσης υποστηρίζει μέχρι και 5 κανάλια και διαχειρίζεται τις μεταφορές από κάποιο κομμάτι μνήμης του μικροελεγκτή σε ένα άλλο, από κάποιο κομμάτι μνήμης του μικροελεγκτή σε κάποιο περιφερειακό ή από κάποιο περιφερειακό σε κάποιο κομμάτι μνήμης του μικροελεγκτή.

Ο DMA υποστηρίζει τη διαχείριση κυκλικών buffer, καταργώντας την ανάγκη για παρέμβαση με ενσωματωμένο κώδικα χρήστη όταν ο ελεγκτής φτάσει στο τέλος της μεταφοράς ενός buffer.

Κάθε κανάλι του DMA ελέγχεται με εξειδικευμένα αιτήματα υλικού, υποστηρίζοντας το ξεκίνημα/σταμάτημα μεταφορών από τον κώδικα χρήστη. Η ρύθμιση μιας μεταφοράς με DMA γίνεται μέσω του ενσωματωμένου λογισμικού και τα μεγέθη μεταφοράς δεδομένων μεταξύ της πηγής και του προορισμού είναι ανεξάρτητα.

Ο DMA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεταφορές δεδομένων από και προς τα εξής περιφερειακά: SPI, I2C, USART, όλους τους timers TIMx (εκτός από τον timer TIM14) και ADC.

## **1.9 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΚΟΠΩΝ (INTERRUPTS) ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ (EVENTS)**

### **1.9.1 NESTED VECTORED INTERRUPT CONTROLLER (NVIC).**

Η οικογένεια STM32F0xx ενσωματώνει έναν nested vectored interrupt controller ικανό να χειριστεί έως και 32 maskable interrupt channels (χωρίς να συμπεριλαμβάνονται οι 16 γραμμές διακοπής του Cortex-M0) και 4 επίπεδα προτεραιότητας.

Αυτό το μπλοκ υλικού παρέχει ευέλικτες δυνατότητες διαχείρισης διακοπής με ελάχιστη καθυστέρηση διακοπής.

### **1.9.2 ΔΙΕΥΡΥΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΔΙΑΚΟΠΩΝ / ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ (EXTI)**

Ο διευρυμένος ελεγκτής διακοπής / συμβάντος αποτελείται από 32 edge detector lines για τη δημιουργία αιτημάτων διακοπής / συμβάντων και αφύπνισης του συστήματος. Κάθε γραμμή μπορεί να ρυθμιστεί ανεξάρτητα για να επιλέξει το συμβάν σκανδαλισμού (άνοδο της άκρης, πτώση άκρου, και τα δύο) και μπορεί να καλυφθεί ανεξάρτητα. Ένας pending register διατηρεί την κατάσταση των αιτημάτων διακοπής. Το EXTI μπορεί να εντοπίσει εξωτερική γραμμή με πλάτος παλμού μικρότερο από την εσωτερική χρονική περίοδο. Έως και 51 GPIO μπορούν να συνδεθούν στις 16 εξωτερικές γραμμές διακοπής.

### 1.9.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΟ (ADC)

Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό έχει εύρος 12-bit .Διαθέτει έως 16 εξωτερικά και δύο εσωτερικά κανάλια (αισθητήρες θερμοκρασίας, μέτρησης αναφοράς τάσης) και πραγματοποιεί μετατροπές σε λειτουργίες μονής λήψης ή σάρωσης. Στη λειτουργία σάρωσης γίνεται αυτόματη μετατροπή σε μια επιλεγμένη ομάδα αναλογικών εισόδων.

Ο ADC μπορεί να εξυπηρετηθεί και από τον ελεγκτή DMA.

Υποστηρίζεται ακόμη μια αναλογική λειτουργία watchdog η οποία επιτρέπει πολύ ακριβή παρακολούθηση της μετατρεπόμενης τάσης ενός ή περισσότερων καναλιών. Ένα interrupt μπορεί να παραχθεί όταν η μετατρεπόμενη τάση βρίσκεται εκτός κάποιων προγραμματισμένων κατωφλίων.

### 1.9.4 TIMERS

Οι συσκευές STM32F070CB / RB / C6 / F6 περιλαμβάνουν έως και πέντε γενικής χρήσης δύο βασικούς και έναν προηγμένο ελέγχου χρονομετρητή (timer).

Timer type	Timer	Counter resolution	Counter type	Prescaler factor	DMA request generation	Capture/compare channels	Complementary outputs
Advanced control	TIM1	16-bit	Up, down, up/down	Any integer between 1 and 65536	Yes	4	3
General purpose	TIM3	16-bit	Up, down, up/down	Any integer between 1 and 65536	Yes	4	-
	TIM14	16-bit	Up	Any integer between 1 and 65536	No	1	-
	TIM15 <sup>(1)</sup>	16-bit	Up	Any integer between 1 and 65536	Yes	2	-
	TIM16, TIM17	16-bit	Up	Any integer between 1 and 65536	Yes	1	1
Basic	TIM6, <sup>(1)</sup> TIM7 <sup>(1)</sup>	16-bit	Up	Any integer between 1 and 65536	Yes	0	-

Εικόνα 3 Διαθέσιμοι Timers

### 1.9.5 ΡΟΛΟΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ (RTC – REAL TIME CLOCK)

Το RTC είναι ένας ανεξάρτητος BCD timer/counter. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Ημερολόγιο με δευτερόλεπτα, λεπτά, ώρες (μορφή 12 ή 24 ωρών), ημέρες, εβδομάδες, ημερομηνία, μήνας, έτος, σε μορφή BCD (δυναδική κωδικοποίηση δεκαδικού αριθμού).
- Αυτόματη διόρθωση για δίσεκτα έτη, και υπολογισμού ημερών μηνών
- Προγραμματιζόμενο alarm με δυνατότητα αφύπνισης από τις λειτουργίες Stop και Standby που αναφέραμε παραπάνω

- Περιοδική μονάδα αφύπνισης με προγραμματιζόμενη ανάλυση και περίοδο.
- Ψηφιακό κύκλωμα βαθμονόμησης με ανάλυση 1 ppm

### **1.9.6 INTER-INTEGRATED CIRCUIT (I2C)**

Μέχρι δύο περιφερειακά I2C (I2C1 και I2C2) μπορούν να λειτουργήσουν σε λειτουργίες multimaster ή slave. Και τα δύο μπορούν να λειτουργήσουν σε standard mode (ταχύτητα μετάδοσης έως 100 kbit/s) ή σε fast mode (ταχύτητα μετάδοσης έως και 400 kbit/s). Το I2C1 υποστηρίζει επίσης το fast mode plus (ταχύτητα μετάδοσης μέχρι 1 Mbit /s), με δυνατότητα οδήγησης εξόδου έως και 20mA.

Και τα 2 περιφερειακά υποστηρίζουν διευθυνσιοδότηση των 7-bit και 10-bit, πολλές διευθύνσεις slave 7-bit (δύο διευθύνσεις, μία με ρυθμιζόμενη μάσκα). Περιλαμβάνουν επίσης προγραμματιζόμενα αναλογικά και ψηφιακά φίλτρα θορύβου.

### **1.9.7 ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ /ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΔΕΚΤΗΣ/ΠΟΜΠΟΣ (USART).**

Η συσκευή ενσωματώνει έως και τέσσερα περιφερειακά USART που επικοινωνούν σε ταχύτητες μέχρι 6 Mbit /s. Όλα τα USART περιφερειακά μπορούν να εξυπηρετηθούν από τον ελεγκτή DMA.

### **1.9.8 ΣΕΙΡΙΑΚΗ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΔΙΕΠΑΦΗ (SPI)**

Έως και δύο SPIs μπορούν να επικοινωνούν μέχρι 18 Mbit/s είτε σε λειτουργία slave είτε σε λειτουργία master με τρόπους επικοινωνίας full duplex και half-duplex. Ο 3-bit prescaler μπορεί να διαρέσει το ρολόι οδήγησης του περιφερειακού δίνοντάς επιλογή για 8 συχνότητες λειτουργίας και το μέγεθος του πακέτου μπορεί να διαμορφωθεί από 4 έως 16 bits.

### **1.9.9 Ο ΓΕΝΙΚΟΣ ΣΕΙΡΙΑΚΟΣ ΔΙΑΛΛΟΣ (USB)**

Το STM32F070CB / RB / C6 / F6 ενσωματώνει μια περιφερειακή συσκευή USB πλήρους ταχύτητας που είναι συμβατή με την προδιαγραφή USB 2.0. Απαιτεί ένα ακριβές ρολόι 48 MHz το οποίο μπορεί να δημιουργηθεί από το εσωτερικό κύριο PLL (η πηγή ρολογιού πρέπει να χρησιμοποιεί έναν ταλαντωτή κρυστάλλων HSE).

## **1.10 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

### **1.10.1 ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ**

Εκτός εάν ορίζεται διαφορετικά, τα τυπικά δεδομένα βασίζονται σε  $T_A = 25^\circ \text{C}$ ,  $V_{DD} = V_{DDA} = 3.3 \text{ V}$ . Δίδονται μόνο ως κατευθυντήριες γραμμές σχεδιασμού και δεν έχουν ελεγχθεί.

Οι τυπικές τιμές ακρίβειας ADC προσδιορίζονται από τον χαρακτηρισμό μίας παρτίδας δειγμάτων από μια τυπική παρτίδα διάχυσης σε ολόκληρη την περιοχή θερμοκρασιών, όπου το

95% των συσκευών παρουσιάζει σφάλμα μικρότερο ή ίσο με την τιμή που υποδεικνύεται (μέση τιμή  $\pm 2$ ).

Symbol	Ratings	Min	Max	Unit
$V_{DD}-V_{SS}$	External main supply voltage	-0.3	4.0	V
$V_{DDA}-V_{SS}$	External analog supply voltage	-0.3	4.0	V
$V_{DD}-V_{DDA}$	Allowed voltage difference for $V_{DD} > V_{DDA}$	-	0.4	V
$V_{IN}^{(2)}$	Input voltage on FT and FTf pins	$V_{SS} - 0.3$	$V_{DDIOx} + 4.0^{(3)}$	V
	Input voltage on TTa pins	$V_{SS} - 0.3$	4.0	V
	BOOT0	0	$V_{DDIOx} + 4.0^{(3)}$	V
	Input voltage on any other pin	$V_{SS} - 0.3$	4.0	V
$ \Delta V_{DDx} $	Variations between different $V_{DD}$ power pins	-	50	mV
$ V_{SSx} - V_{SS} $	Variations between all the different ground pins	-	50	mV
$V_{ESD(HBM)}$	Electrostatic discharge voltage (human body model)	see <a href="#">Section 6.3.12: Electrical sensitivity characteristics</a>		-

Εικόνα 4 Πίνακας ορίων τάσεων λειτουργίας

### 1.10.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΤΡΟΦΟΛΟΣΙΑΣ

Η κατανάλωση ρεύματος είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων και παραγόντων, όπως η τάση λειτουργίας, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, το φορτίο στα pins εισόδου/εξόδου, η διαμόρφωση του λογισμικού της συσκευής, οι συχνότητες λειτουργίας, η ταχύτητα εναλλαγής των ακίδων I/O, η θέση του προγράμματος στη μνήμη και ο εκτελέσιμος δυαδικός κώδικας.

Όλες οι μετρήσεις τρέχουσας κατανάλωσης τρέχουσας λειτουργίας που δίνονται σε αυτή την ενότητα έγιναν με μειωμένο κώδικα και δίνουν μια κατανάλωση ισοδύναμη με τον κώδικα CoreMark.

Οι παράμετροι που δίνονται στους παρακάτω πίνακες προέρχονται από δοκιμές που διεξήχθησαν σε συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος.



Symbol	Parameter	Conditions	f <sub>HCLK</sub>	All peripherals enabled		Unit
				Typ	Max @ T <sub>A</sub> <sup>(1)</sup>	
					85 °C	
I <sub>DD</sub>	Supply current in Run mode, code executing from Flash	HSI or HSE clock, PLL on	48 MHz	24.1	27.6	mA
			24 MHz	12.4	14.4	
		HSI or HSE clock, PLL off	8 MHz	4.52	5.28	
I <sub>DD</sub>	Supply current in Run mode, code executing from RAM	HSI or HSE clock, PLL on	48 MHz	23.1	25.0	mA
			24 MHz	11.5	13.6	
		HSI or HSE clock, PLL off	8 MHz	4.34	5.03	
I <sub>DD</sub>	Supply current in Sleep mode, code executing from Flash or RAM	HSI or HSE clock, PLL on	48 MHz	15.0	17.3	mA
			24 MHz	7.53	8.87	
		HSI or HSE clock, PLL off	8 MHz	2.95	3.41	

Εικόνα 5 Τυπική και μέγιστη κατανάλωση ρεύματος από το VDD για VDD = 3.6V

Symbol	Parameter	Conditions <sup>(1)</sup>	f <sub>HCLK</sub>	V <sub>DDA</sub> = 3.6 V		Unit
				Typ	Max @ T <sub>A</sub>	
					85 °C	
I <sub>DDA</sub>	Supply current in Run or Sleep mode, code executing from Flash or RAM	HSE bypass, PLL on	48 MHz	165	196	μA
		HSE bypass, PLL off	8 MHz	3.6	5.2	
			1 MHz	3.6	5.2	
		HSI clock, PLL on	48 MHz	245	279	
HSI clock, PLL off	8 MHz		83.4	95.3		

Εικόνα 6 Τυπική και μέγιστη κατανάλωση ρεύματος από την τροφοδοσία VDDA

Symbol	Parameter	Conditions		Typ @V <sub>DD</sub> (V <sub>DD</sub> = V <sub>DDA</sub> )	Max <sup>(1)</sup>	Unit
				3.6 V	T <sub>A</sub> = 85 °C	
I <sub>DD</sub>	Supply current in Stop mode	Regulator in run mode, all oscillators OFF		15.9	49	μA
		Regulator in low-power mode, all oscillators OFF		3.7	33	
	Supply current in Standby mode	LSI ON and IWDG ON		1.5	-	
I <sub>DDA</sub>	Supply current in Stop mode	V <sub>DDA</sub> monitoring ON	Regulator in run or low-power mode, all oscillators OFF	2.8	3.6	
	Supply current in Standby mode		LSI ON and IWDG ON	3.5	-	
			LSI OFF and IWDG OFF	2.6	3.6	
	Supply current in Stop mode	V <sub>DDA</sub> monitoring OFF	Regulator in run or low-power mode, all oscillators OFF	1.5	-	
Supply current in Standby mode	LSI ON and IWDG ON		2.2	-		
	LSI OFF and IWDG OFF		1.4	-		

Εικόνα 7 Τοπική και μέγιστη κατανάλωση κατά τις λειτουργίες Stop και Standby

Symbol	Parameter	Conditions	f <sub>HCLK</sub>	Typ		Unit
				Peripherals enabled	Peripherals disabled	
I <sub>DD</sub>	Supply current in Run mode from V <sub>DD</sub> supply	Running from HSE crystal clock 8 MHz, code executing from Flash	48 MHz	23.5	13.5	mA
			8 MHz	4.8	3.1	
I <sub>DDA</sub>	Supply current in Run mode from V <sub>DDA</sub> supply		48 MHz	163.3	163.3	μA
			8 MHz	2.5	2.5	

Εικόνα 8 Τοπική κατανάλωση ρεύματος σε κατάσταση λειτουργίας Run, για κώδικα ο οποίος επεξεργάζεται δεδομένα και εκτελείται από την Flash

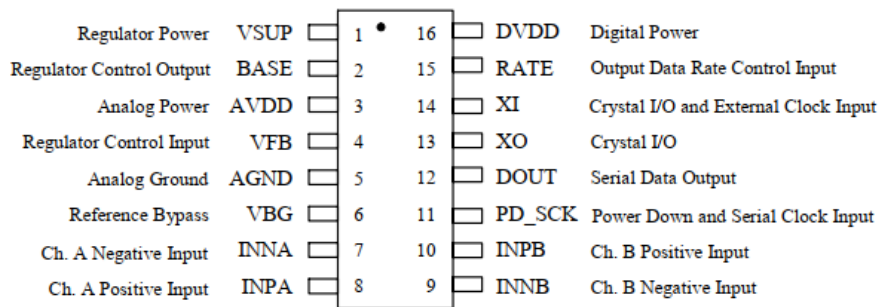
## 2 ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER HX-711

---

Το HX711 είναι ένας μετατροπέας σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό (ADC – Analog to Digital Converter) ακρίβειας 24 bit σχεδιασμένο για εφαρμογές ζύγισης αλλά και για εφαρμογές βιομηχανικού ελέγχου με δυνατότητες απευθείας διασύνδεσης με αισθητήρες γέφυρας. Ο πολυπλέκτης εισόδου επιλέγει τη διαφορική είσοδο A ή B στο χαμηλό θόρυβο με προγραμματιζόμενο ενισχυτή κέρδους (Programmable Gain Amplifier). Το κανάλι A μπορεί να προγραμματιστεί με ενίσχυση 128 ή 64, που αντιστοιχεί σε διαφορική είσοδο πλήρους κλίμακας τάση  $\pm 20\text{mV}$  ή  $\pm 40\text{mV}$  αντίστοιχα, όταν η τροφοδοσία 5V συνδέεται στην αναλογική τροφοδοσία AVDD. Το κανάλι B έχει σταθερό κέρδος 32. Ο εσωτερικός ρυθμιστής παροχής τροφοδοσίας εξαλείφει την ανάγκη για έναν πρόσθετο εξωτερικό ρυθμιστή τροφοδοσίας. Η είσοδος ρολογιού είναι ευέλικτη. Μπορεί να είναι από μια εξωτερική πηγή ρολογιού, ή κρυστάλλου ή τον ταλαντωτή στο chip που δεν απαιτούν οποιαδήποτε εξωτερική συνιστώσα. Όταν το chip είναι σε κατάσταση power on το κύκλωμα επαναφοράς απλοποιεί την ψηφιακή επαφή αρχικοποίησης. Δεν απαιτείται προγραμματισμός για τα εσωτερικά μητρώα. Όλα τα χειριστήρια στο HX711 είναι μέσω των pins.

### 2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Δύο επιλέξιμα κανάλια διαφορικής εισόδου (κανάλια A και B).
- Προγραμματιζόμενος Ενισχυτής Κέρδους σήματος (Programmable Gain Amplifier) χαμηλού θορύβου με δυνατότητες επιλογής κέρδους σήματος 32(στο κανάλι B), 64 και 128(στο κανάλι A).
- On-chip ρυθμιστής αναλογικής τροφοδοσίας
- Εσωτερικός ταλαντωτής ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χρονισμό του ADC χωρίς την ανάγκη για πρόσθετο εξωτερικό κρύσταλλο.
- Εσωτερική λειτουργία για πραγματοποίηση power-on-reset
- Απλός ψηφιακός έλεγχος και σειριακό interface για επικοινωνία με το chip. Έλεγχος του ADC χωρίς την ανάγκη προγραμματισμού εσωτερικών καταχωρητών του αλλά μόνο μέσω των pins του μέσω των οποίων υποστηρίζεται και ένα απλό πρωτόκολλο επικοινωνίας για συλλογή των δειγμάτων.
- Επιλογή ρυθμού δεδομένων εξόδου 10SPS ή 80SPS (Samples Per Second – δείγματα ανά δευτερόλεπτο).
- Ταυτόχρονη απόρριψη συχνοτήτων 50 και 60Hz από την τροφοδοσία για μειωμένο θόρυβο στα δείγματα κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας .
- Δυνατότητα ελέγχου της κατάστασης κατανάλωσης του ADC με 2 τύπους καταστάσεων.
  - Κατάσταση κανονικής λειτουργίας  $< 1.5\text{mA}$
  - Κατάσταση χαμηλής/μειωμένης κατανάλωσης  $< 1\mu\text{A}$
- Εύρος τάσης τροφοδοσίας λειτουργίας: 2.6 ~ 5.5V .
- Το package του ADC chip είναι SOP-16 (Small Outline Package των 16 pins) και έχει εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας:  $-40 \sim + 85 \text{ }^\circ\text{C}$ .



SOP-16L Package

Pin #	Name	Function	Description
1	VSUP	Power	Regulator supply: 2.7 ~ 5.5V
2	BASE	Analog Output	Regulator control output (NC when not used)
3	AVDD	Power	Analog supply: 2.6 ~ 5.5V
4	VFB	Analog Input	Regulator control input (connect to AGND when not used)
5	AGND	Ground	Analog Ground
6	VBG	Analog Output	Reference bypass output
7	INA-	Analog Input	Channel A negative input
8	INA+	Analog Input	Channel A positive input
9	INB-	Analog Input	Channel B negative input
10	INB+	Analog Input	Channel B positive input
11	PD_SCK	Digital Input	Power down control (high active) and serial clock input
12	DOUT	Digital Output	Serial data output
13	XO	Digital I/O	Crystal I/O (NC when not used)
14	XI	Digital Input	Crystal I/O or external clock input, 0: use on-chip oscillator
15	RATE	Digital Input	Output data rate control, 0: 10Hz; 1: 80Hz
16	DVDD	Power	Digital supply: 2.6 ~ 5.5V

Εικόνα 9 Διάγραμμα του ολοκληρωμένου και σύνοψη των pins

## 2.2 ΑΝΑΛΟΓΙΚΕΣ ΕΙΣΟΔΟΙ

Η διαφορική είσοδος έχει σχεδιαστεί για να συνδέεται άμεσα με τη διαφορική έξοδο του αισθητήρα της γέφυρας. Η είσοδος A που θα χρησιμοποιήσουμε μπορεί να προγραμματιστεί με κέρδος 128 ή 64. Το μεγάλο κέρδος χρειάζεται για να ενισχυθεί το μικρό σήμα εξόδου από τον αισθητήρα. Όταν χρησιμοποιείται τροφοδοσία 5V στον ακροδέκτη AVDD, αυτά τα κέρδη αντιστοιχούν σε μια τάση διαφορικής εισόδου πλήρους κλίμακας  $\pm 20\text{mV}$  ή  $\pm 40\text{mV}$  αντίστοιχα. Η διαφορική είσοδος του καναλιού B έχει ένα σταθερό κέρδος 32. Το εύρος τάσης εισόδου πλήρους κλίμακας είναι  $\pm 80\text{mV}$ , όταν χρησιμοποιείται τροφοδοσία 5V στον ακροδέκτη AVDD.

### 2.3 ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Η ψηφιακή τροφοδοσία ρεύματος (DVDD) πρέπει να είναι ίδια με την τροφοδοσία της MCU. Όταν χρησιμοποιείται εσωτερικός ρυθμιστής αναλογικής τροφοδοσίας, η τάση απόρριψης του ρυθμιστή εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο εξωτερικό τρανζίστορ. Η τάση εξόδου είναι ίση με  $V_{AVDD} = V_{BG} * (R1 + R2) / R1$ . Αυτή η τάση πρέπει να σχεδιαστεί με ελάχιστη τάση 100mV κάτω από την τάση VSUP. Εάν δεν χρησιμοποιείται ο ρυθμιστής αναλογικής τροφοδοσίας στο chip, ο ακροδέκτης VSUP θα πρέπει να συνδεθεί σε AVDD ή DVDD, ανάλογα με την τάση που είναι υψηλότερη. Ο ακροδέκτης VFB θα πρέπει να συνδεθεί με τη γείωση και το pin BASE να μείνει ασύνδετο (NC – No Connect). Ο εξωτερικός πυκνωτής παράκαμψης 0.1μF που φαίνεται στην έξοδο του VBG δεν χρειάζεται στη συνέχεια.

### 2.4 ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΠΗΓΗΣ ΡΟΛΟΓΙΟΥ

Συνδέοντας τον ακροδέκτη XI στη γείωση, ενεργοποιείται ο εσωτερικός ταλαντωτής του ADC. Ο ονομαστικός ρυθμός δεδομένων εξόδου όταν χρησιμοποιείται ο εσωτερικός ταλαντωτής είναι 10 (RATE = 0) ή 80SPS (RATE = 1). Εάν χρειάζεται ακρίβεια στην ταχύτητα δεδομένων εξόδου, μπορεί να δοθεί εξωτερικό ρολόι ή να χρησιμοποιηθεί εξωτερικός κρύσταλλος σαν ρολόι αναφοράς του ADC.

Στην περίπτωση χρήσης εξωτερικού κρυστάλλου αυτός θα πρέπει να συνδεθεί απευθείας στα pins XI και XO.

Στην περίπτωση χρήσης εξωτερικού ρολογιού αυτό θα πρέπει να συνδεθεί στο pin XI, μέσω ενός bypass πυκνωτή 20pF. Αυτό το εξωτερικό ρολόι δεν απαιτείται να είναι κάποιο τετραγωνικό σήμα. Μπορεί ακόμα και να χρησιμοποιηθεί κάποιο pin της MCU (αν υποστηρίζεται) το οποίο θα δίνει στην έξοδο του το ρολόι που προκύπτει από τον δικό του κρύσταλλο. Το ρολόι αυτό μπορεί να έχει πλάτος τόσο χαμηλό όσο 150mV.

Εννοείται σε αυτό το σημείο ότι όταν χρησιμοποιούνται τα XI, XO για παροχή ρολογιού εξωτερικά του τσιπ ο εσωτερικός ταλαντωτής σβήνει αυτόματα.

### 2.5 ΡΥΘΜΟΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΗ ΕΞΟΔΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όταν χρησιμοποιείται ο ταλαντωτής του chip, ο ρυθμός δεδομένων εξόδου είναι συνήθως 10SPS (RATE = 0) ή 80SPS (RATE = 1).

Όταν χρησιμοποιείται το εξωτερικό ρολόι ή ο κρύσταλλος, ο ρυθμός δεδομένων εξόδου είναι άμεσα γραμμικός ως προς το ρολόι ή τη συχνότητα του κρυστάλλου. Για παράδειγμα χρησιμοποιώντας εξωτερικό ρολόι ή κρύσταλλο 11.0592MHz προκύπτει ακριβής ταχύτητα δεδομένων εξόδου 10 (RATE = 0) ή 80SPS (RATE = 1).

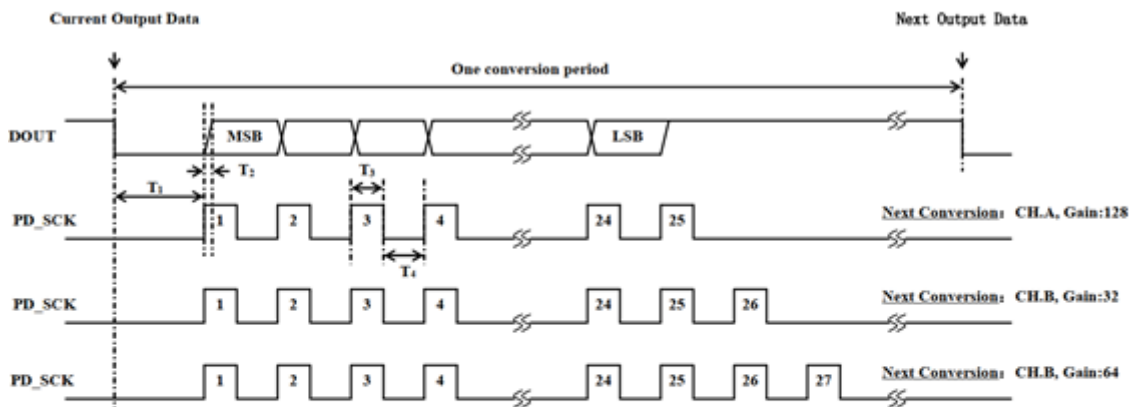
Τα δεδομένα εξόδου είναι μήκους 24 δυαδικών ψηφίων(bits) και δίνονται από τον ADC στη μορφή συμπληρώματος ως προς 2(2's complement). Όταν το σήμα διαφορικής εισόδου ξεπερνάει το εύρος των 24 bits, τα δεδομένα θα είναι κορεσμένα σε 800000h (MIN) ή 7FFFFFFh (MAX), έως ότου το σήμα εισόδου επανέλθει στην περιοχή εισόδου.

PD_SCK Pulses	Input channel	Gain
25	A	128
26	B	32
27	A	64

Εικόνα 10 Κανάλια εισόδου και επιλογή κέρδους σήματος ανά κανάλι

## 2.6 ΣΕΙΡΙΑΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Τα pins PD\_SCK και DOUT χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση δεδομένων, την επιλογή εισόδου, την επιλογή κέρδους και του ελέγχου κατάστασης λειτουργίας (κανονική ή . Όταν τα δεδομένα εξόδου δεν είναι έτοιμα για ανάκτηση, η ψηφιακή έξοδος DOUT είναι μόνιμα 1. Η είσοδος σειριακού ρολογιού PD\_SCK θα πρέπει να είναι 0 καθόλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Όταν το DOUT γίνει 0, υποδεικνύει ότι τα δεδομένα είναι έτοιμα για ανάκτηση. Με την εφαρμογή 25 ~ 27 θετικών παλμών ρολογιού στον ακροδέκτη PD\_SCK, τα δεδομένα αρχίζουν να βγαίνουν ανα bit στο pin DOUT. Κάθε παλμός PD\_SCK μετατοπίζει ένα bit, ξεκινώντας πρώτα με το MSB (Most-Significant-Bit), μέχρι να μετατοπιστούν όλα τα 24 bits. Ο 25ος παλμός στην είσοδο PD\_SCK θα τραβήξει το pin DOUT πάλι σε 1. Η επιλογή του ποιας εισόδου θα χρησιμοποιηθεί (Α ή Β) και με τι κέρδος (gain) ελέγχεται από τον αριθμό των παλμών εισόδου στο PD\_SCK (Πίνακας 3). Οι παλμοί ρολογιού PD\_SCK δεν πρέπει να είναι μικρότεροι από 25 ή περισσότεροι από 27 σε μια περίοδο μετατροπής, για να αποφευχθεί η πρόκληση σφάλματος στη σειριακή επικοινωνία.



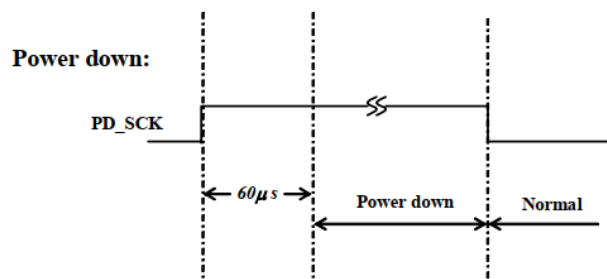
Symbol	Note	MIN	TYP	MAX	Unit
T <sub>1</sub>	DOUT falling edge to PD_SCK rising edge	0.1			μs
T <sub>2</sub>	PD_SCK rising edge to DOUT data ready			0.1	μs
T <sub>3</sub>	PD_SCK high time	0.2	1	50	μs
T <sub>4</sub>	PD_SCK low time	0.2	1		μs

Εικόνα 11 Σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας και πίνακας χρόνων

## 2.7 ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ

Όταν το chip τροφοδοτείται ενώ ήταν ανενεργό, το reset κύκλωμα του chip, θα πραγματοποιήσει επανεκκίνηση και θα το επαναφέρει σε κανονική λειτουργία.

Η είσοδος του PD\_SCK χρησιμοποιείται για την απενεργοποίηση του HX711. Όταν η είσοδος PD\_SCK είναι 0, το chip βρίσκεται σε κανονική λειτουργία. Όταν το PD\_SCK αλλάξει από χαμηλό σε υψηλό και παραμείνει εκεί για περισσότερο από 60μs, το HX711 εισέρχεται σε κατάσταση απενεργοποίησης(power down - μειωμένη κατανάλωση < 1μΑ). Στην περίπτωση αυτή αν χρησιμοποιείται εσωτερικός ρυθμιστής και ο εξωτερικός μετατροπέας θα είναι και οι 2 απενεργοποιημένοι. Όταν το PD\_SCK επιστρέψει στο 0, το τσιπ θα κάνει reset και θα τεθεί σε κανονική λειτουργία(normal - κατανάλωση <1.5mA). Μετά από ένα συμβάν επαναφοράς ή απενεργοποίησης, η επιλογή εισόδου είναι προεπιλεγμένη στο κανάλι A με κέρδος 128.



Εικόνα 12 Διαδικασία θέσης του ADC στις καταστάσεις normal και power-down χρησιμοποιώντας το pin PD\_SCK

## 2.8 ΚΥΡΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Parameter	Notes	MIN	TYP	MAX	UNIT
Full scale differential input range	$V(\text{inp})-V(\text{inn})$	$\pm 0.5(\text{AVDD}/\text{GAIN})$			V
Common mode input		AGND+1.2		AVDD-1.3	V
Output data rate	Internal Oscillator, RATE = 0	10			Hz
	Internal Oscillator, RATE = DVDD	80			
	Crystal or external clock, RATE = 0	$f_{\text{clk}}/1,105,920$			
	Crystal or external clock, RATE = DVDD	$f_{\text{clk}}/138,240$			
Output data coding	2's complement	800000		7FFFFFF	HEX
Output settling time <sup>(1)</sup>	RATE = 0	400			ms
	RATE = DVDD	50			
Input offset drift	Gain = 128	0.2			mV
	Gain = 64	0.4			
Input noise	Gain = 128, RATE = 0	50			nV(rms)
	Gain = 128, RATE = DVDD	90			
Temperature drift	Input offset (Gain = 128)	±6			nV/°C
	Gain (Gain = 128)	±5			ppm/°C
Input common mode rejection	Gain = 128, RATE = 0	100			dB
Power supply rejection	Gain = 128, RATE = 0	100			dB
Reference bypass ( $V_{\text{BG}}$ )		1.25			V
Crystal or external clock frequency		1	11.0592	20	MHz
Power supply voltage	DVDD	2.6		5.5	V
	AVDD, VSUP	2.6		5.5	
Analog supply current (including regulator)	Normal	1400			μA
	Power down	0.3			
Digital supply current	Normal	100			μA
	Power down	0.2			

Εικόνα 13 Πίνακας ηλεκτρικών χαρακτηριστικών



### 3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ/ΥΓΡΑΣΙΑΣ SHT3X

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Το SHT3x είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο ενσωματώνει 2 τύπους αισθητήρων: Αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας και αισθητήρα μέτρησης υγρασίας. Συνοπτικά:

- Παρέχει ακριβείς μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας με μικρό σφάλμα.
  - Τυπική ακρίβεια μέτρησης υγρασίας  $\pm 1.5\%$  RH
  - Τυπική ακρίβεια μέτρησης θερμοκρασίας  $\pm 0.2$  C .
- Υποστηρίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας I2C με ταχύτητες έως και 1MHz και δυνατότητα επιλογής μεταξύ 2 διαφορετικών I2C διευθύνσεων.
- Μπορεί να λειτουργήσει σε τάσεις από 2.4V έως 5.5V.
- Έχει μικρό χρόνο εκκίνησης
- Μπορεί να πραγματοποιεί μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας σε μικρό χρονικό διάστημα

#### 3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

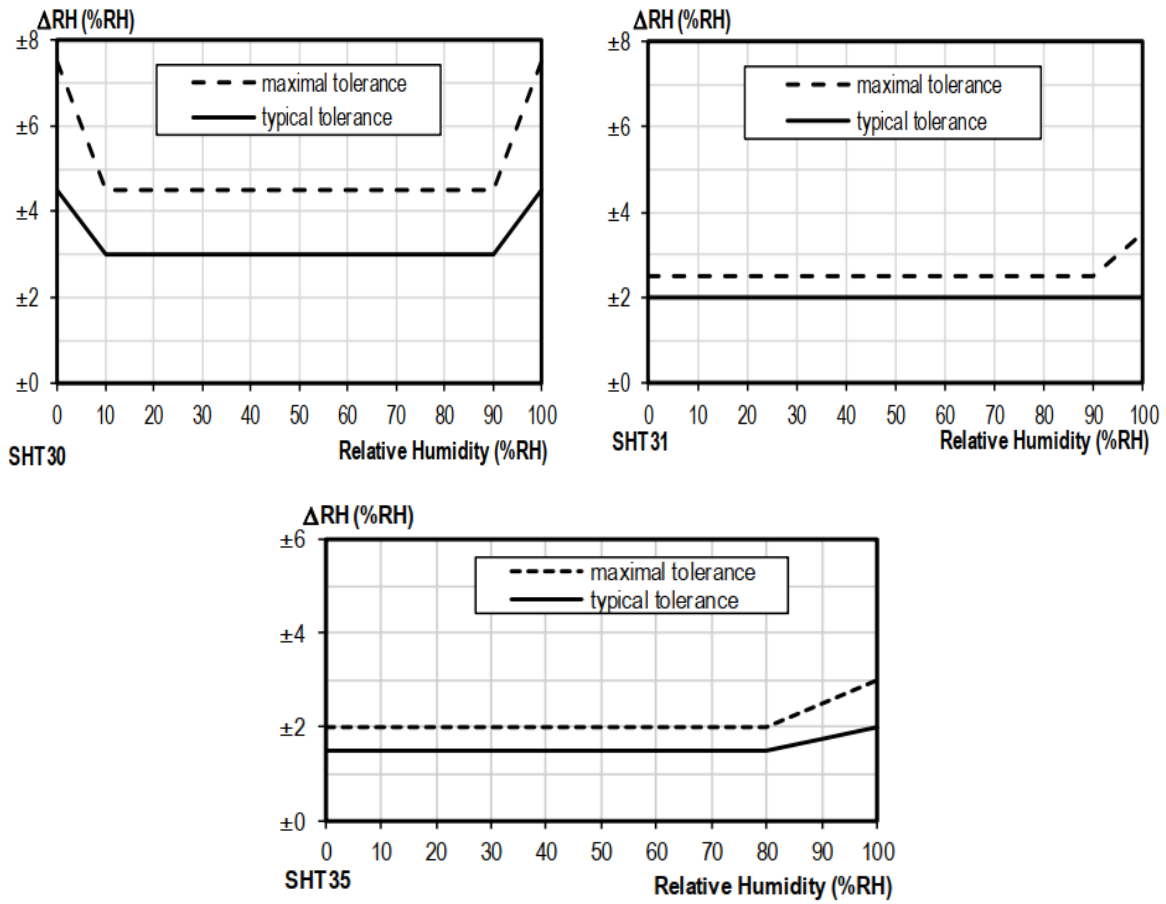
Parameter	Condition	Value	Units
SHT30 Accuracy tolerance <sup>1</sup>	Typ.	$\pm 3$	%RH
	Max.	<b>Figure 2</b>	-
SHT31 Accuracy tolerance <sup>1</sup>	Typ.	$\pm 2$	%RH
	Max.	<b>Figure 3</b>	-
SHT35 Accuracy tolerance <sup>1</sup>	Typ.	$\pm 1.5$	%RH
	Max.	<b>Figure 4</b>	-
Repeatability <sup>2</sup>	Low	0.25	%RH
	Medium	0.15	%RH
	High	0.10	%RH
Resolution	Typ.	0.01	%RH
Hysteresis	at 25°C	$\pm 0.8$	%RH
Specified range <sup>3</sup>	extended <sup>4</sup>	0 to 100	%RH
Response time <sup>5</sup>	$\tau_{63\%}$	8 <sup>6</sup>	s
Long-term drift	Typ. <sup>7</sup>	<0.25	%RH/yr

Εικόνα 14 Απόδοση/Ακρίβεια αισθητήρα υγρασίας

Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε τα εξής:

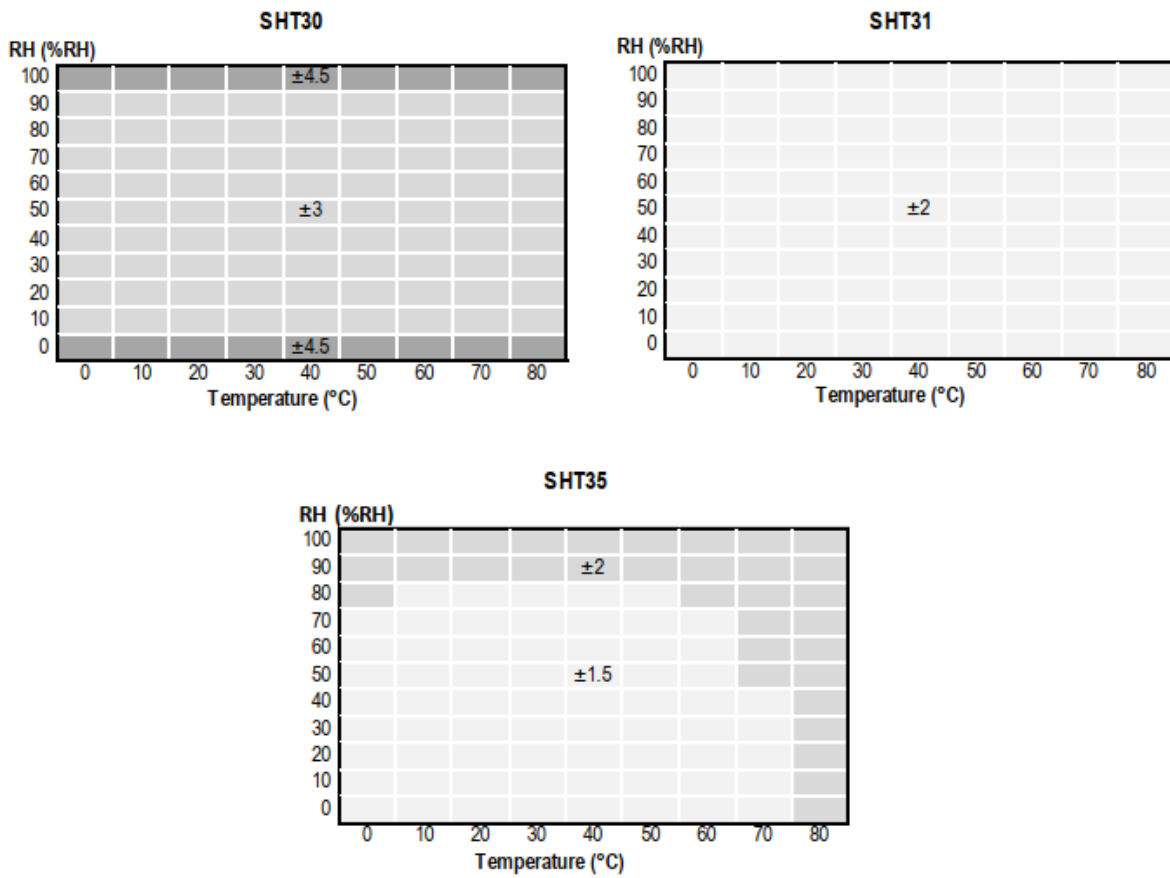
Ο αισθητήρας υγρασίας έχει διακριτότητα μέτρησης σε μονάδες των 0.01% RH (Relative Humidity) και μπορεί να μετρήσει από 0 έως 100% RH. Ανά έτος χρήσης του και ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες λειτουργεί, ο αισθητήρας υγρασίας μπορεί να έχει μία γήρανση ανά έτος λειτουργίας η οποία όμως μπορεί να μεταβάλει την μέτρηση υγρασίας το πολύ κατά 0.25% RH.

Η ανοχή ακρίβειας μέτρησης υγρασίας για κάθε ένα από τα 3 ολοκληρωμένα της κατασκευάστριας εταιρείας φαίνεται στα 3 γραφήματα που ακολουθούν (δηλωμένα ως Figure2, Figure3, Figure4) στον προηγούμενο πίνακα.



Εικόνα 15 Γράφημα απόδοσης αισθητήρα υγρασίας στους 25 C για κάθε ένα από τα 3 μοντέλα SHT3x

Αντίστοιχα η ανοχή μέτρησης του αισθητήρα υγρασίας σε σχέση με τη θερμοκρασία φαίνεται στα 3 παρακάτω γραφήματα:



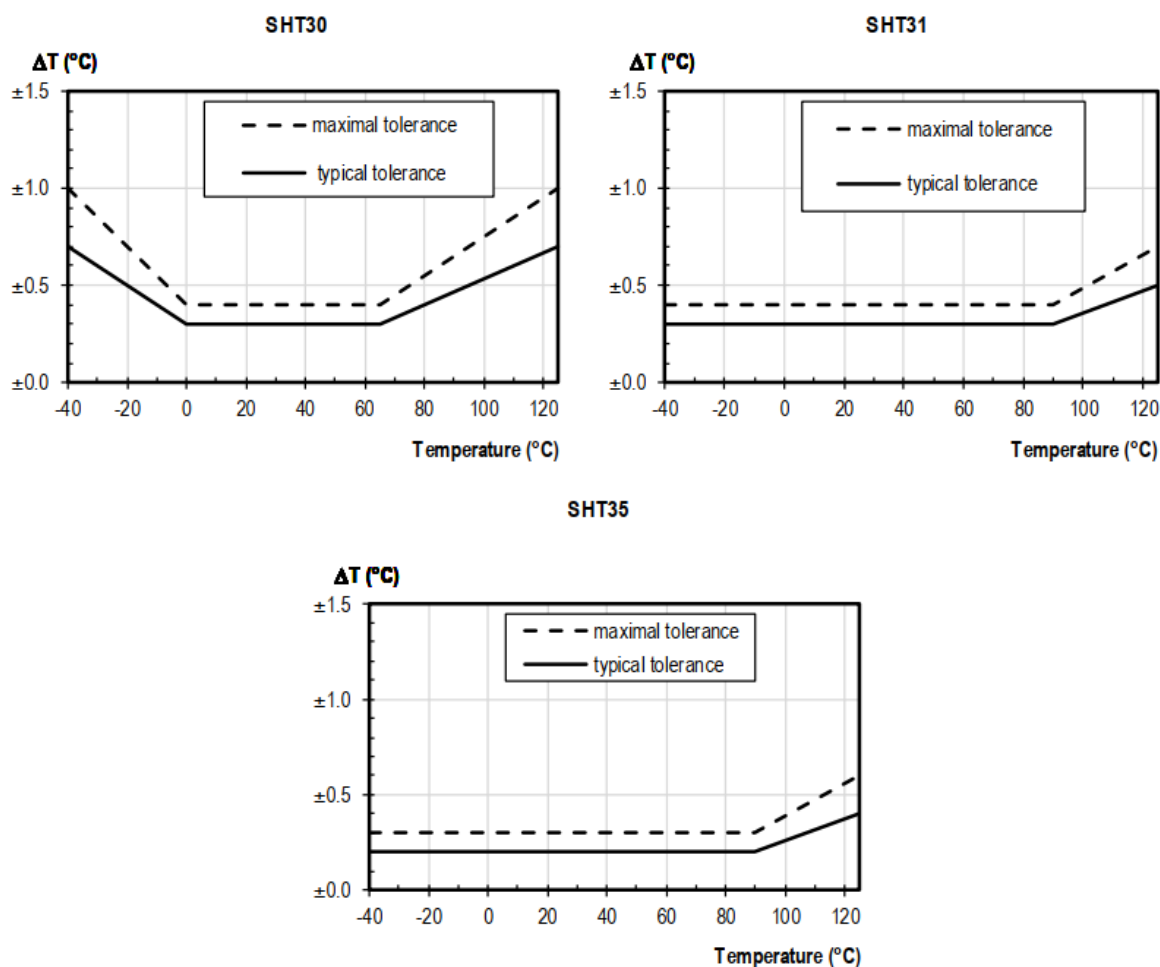
Εικόνα 16 Γράφημα σχετικής ανοχής της μέτρησης υγρασίας σε σχέση με την υπάρχουσα θερμοκρασία και για τα 3 ολοκληρωμένα SHT3x

### 3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Parameter	Condition	Value	Units
SHT30 Accuracy tolerance <sup>1</sup>	typ., 0°C to 65°C	±0.3	°C
SHT31 Accuracy tolerance <sup>1</sup>	typ., -40°C to 90°C	±0.3	°C
SHT35 Accuracy tolerance <sup>1</sup>	typ., -40°C to 90°C	±0.2	°C
Repeatability <sup>2</sup>	Low	0.24	°C
	Medium	0.12	°C
	High	0.06	°C
Resolution	Typ.	0.015	°C
Specified Range	-	-40 to 125	°C
Response time <sup>8</sup>	$\tau_{63\%}$	>2	s
Long Term Drift	max	<0.03	°C/yr

Εικόνα 17 Απόδοση/Ακρίβεια αισθητήρα θερμοκρασίας

Για τον αισθητήρα θερμοκρασίας, ο παραπάνω πίνακας μας δείχνει ότι η διακριτότητα μέτρησης του είναι 0.015 βαθμοί Κελσίου. Ανάλογα την θερμοκρασία περιβάλλοντος η μέτρηση μπορεί να επηρεαστεί το μέγιστο κατά  $\pm 0.3$  °C. Όπως και στην περίπτωση του αισθητήρα υγρασίας έτσι και για τον αισθητήρα αυτόν η γήρανση του ολοκληρωμένου μπορεί να επιφέρει ένα ετήσιο σφάλμα στην μέτρηση μικρότερο από 0.03 °C.



Εικόνα 18 Ακρίβεια μέτρησης θερμοκρασίας για κάθε SHTx

### 3.4 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

#### 3.4.1 ΟΡΙΑ ΣΩΣΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ο αισθητήρας εμφανίζει τις καλύτερες επιδόσεις όταν λειτουργεί σε θερμοκρασίες μεταξύ 5 και 60 βαθμών Κελσίου και σε υγρασία μεταξύ 20% και 80% RH αντίστοιχα.

Η μακροχρόνια έκθεση σε συνθήκες εκτός του φυσιολογικού εύρους, ειδικά σε υψηλή υγρασία, μπορεί προσωρινά να προσθέσει ένα μόνιμο σφάλμα στην μέτρηση της υγρασίας (π.χ. + 3% RH μετά από 60 ώρες σε υγρασία πάνω από 80% RH).

Αφού επιστρέψει στην κανονική περιοχή θερμοκρασίας και υγρασίας, ο αισθητήρας θα επανέλθει με αργό ρυθμό στην κατάσταση φυσιολογικής βαθμονόμησης από μόνος του. Η παρατεταμένη έκθεση σε ακραίες συνθήκες μπορεί να επιταχύνει τη γήρανση του ολοκληρωμένου. Τα παραπάνω ισχύουν για τις συνθήκες λειτουργίας του αισθητήρα αλλά και για τις συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς του.

#### 3.4.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ (ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΙΑ 25 ΒΑΘΜΟΥΣ ΚΕΛΣΙΟΥ)

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units	Comments
Supply voltage	V <sub>DD</sub>		2.4	3.3	5.5	V	
Power-up/down level	V <sub>POU</sub>		2.1	2.3	2.4	V	
Slew rate change of the supply voltage	V <sub>DD,slew</sub>		-	-	20	V/ms	Voltage changes on the VDD line between V <sub>DD,min</sub> and V <sub>DD,max</sub> should be slower than the maximum slew rate; faster slew rates may lead to reset.
Supply current	I <sub>DD</sub>	idle state (single shot mode)	-	0.2	2.0	μA	Current when sensor is not performing a measurement during single shot mode
		idle state (periodic data acquisition mode)	-	45	70	μA	Current when sensor is not performing a measurement during periodic data acquisition mode
		Measuring	-	800	1500	μA	Current consumption while sensor is measuring
		Average	-	2	-	μA	Current consumption (operation with one measurement per second at lowest repeatability, single shot mode)
Alert Output driving strength	I <sub>OH</sub>		0.8x V <sub>DD</sub>	1.5x V <sub>DD</sub>	2.1x V <sub>DD</sub>	mA	See also section 3.5
Heater power	P <sub>Heater</sub>	Heater running	4.5	-	33	mW	Depending on the supply voltage

Εικόνα 19 Ηλεκτρικές προδιαγραφές (ισχύουσες σε 25 °C)

### 3.4.3 ΧΡΟΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	Comments
Power-up time	$t_{PU}$	After hard reset, $V_{DD} \geq V_{POR}$	-	0.5	1	ms	Time between $V_{DD}$ reaching $V_{POR}$ and sensor entering idle state
Soft reset time	$t_{SR}$	After soft reset	-	0.5	1	ms	Time between ACK of soft reset command and sensor entering idle state
Duration of reset pulse	$t_{RESETN}$		1	-	-	$\mu s$	See section 3.6
Measurement duration	$t_{MEAS,L}$	Low repeatability	-	2.5	4	ms	The three repeatability modes differ with respect to measurement duration, noise level and energy consumption.
	$t_{MEAS,M}$	Medium repeatability	-	4.5	6	ms	
	$t_{MEAS,H}$	High repeatability	-	12.5	15	ms	

Εικόνα 20 Προδιαγραφές χρόνων λειτουργίας του ολοκληρωμένου

Όπως είχαμε αναφέρει και στην σύνοψη των χαρακτηριστικών του ολοκληρωμένου, ο χρόνος εκκίνησης του μετά από εφαρμογή τροφοδοσίας είναι πολύ μικρός και μόλις 0.5ms. Ομοίως, ο χρόνος για επανεκκίνηση του ολοκληρωμένου με την εντολή RESET είναι 0.5ms. Ανάλογα τις συνθήκες μέτρησης (μικρή, μέτρια ή μεγάλη επαναληψιμότητα) η διάρκεια κάθε μέτρησης/δειγματοληψίας μπορεί να διαρκέσει από 2.5 έως 12.5ms.

### 3.4.4 ΑΠΟΛΥΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Τα επίπεδα τάσης πέραν αυτών που αναφέρονται στον Πίνακα 5 ενδέχεται να προκαλέσουν μόνιμη βλάβη στη συσκευή ή να επηρεάσουν την αξιοπιστία του αισθητήρα. Αυτές είναι μόνο οι τάσεις και η λειτουργική λειτουργία της συσκευής υπό αυτές τις συνθήκες δεν είναι εγγυημένη.

Parameter	Rating	Units
Supply voltage $V_{DD}$	-0.3 to 6	V
Max Voltage on pins (pin 1 (SDA); pin 2 (ADDR); pin 3 (ALERT); pin 4 (SCL); pin 6 (nRESET))	-0.3 to $V_{DD}+0.3$	V
Input current on any pin	$\pm 100$	mA
Operating temperature range	-40 to 125	$^{\circ}C$
Storage temperature range	-40 to 150	$^{\circ}C$
ESD HBM (human body model) <sup>9</sup>	4	kV
ESD CDM (charge device model) <sup>10</sup>	750	V

Πίνακας 5 Ελάχιστη και μέγιστη βαθμολογία. οι τιμές τάσης μπορούν να εφαρμοστούν μόνο για σύντομες χρονικές περιόδους.

### 3.5.1 POWER PINS (VDD, VSS)

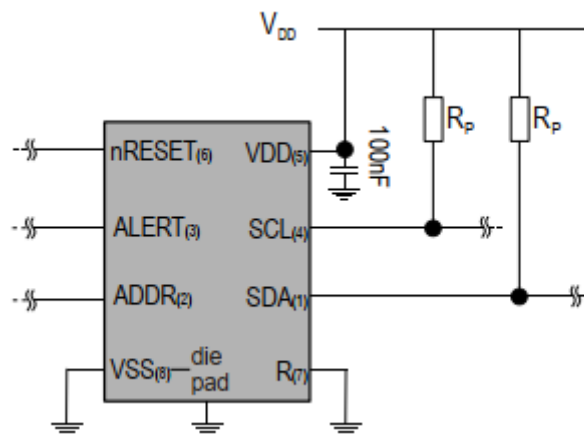
Οι ηλεκτρικές προδιαγραφές του SHT 3x-DIS φαίνονται στον Πίνακα 3. Οι ακροδέκτες τροφοδοσίας πρέπει να αποσυνδεθούν με έναν πυκνωτή 100 nF που θα τοποθετηθεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στον αισθητήρα για ένα τυπικό κύκλωμα εφαρμογής.

### 3.5.2 PINS ΣΕΙΡΙΑΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ I2C (SCL, SDA)

Το pin SCL χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό της επικοινωνίας μεταξύ του μικροελεγκτή και του αισθητήρα. Η συχνότητα ρολογιού μπορεί να επιλεγθεί ελεύθερα μεταξύ 0 και 1000 kHz. Υποστηρίζονται και εντολές για clock stretching.

Το pin SDA χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων προς και από τον αισθητήρα. Ο συγχρονισμός της μεταφοράς των δεδομένων στο pin SDA γίνεται με το pin SCL που αναφέραμε παραπάνω.

Και οι δύο γραμμές SCL και SDA είναι open drains I/O γραμμές εισόδου / εξόδου με δίοδους σε VDD και VSS. Για τη σωστή λειτουργία του πρωτόκολλου I2C θα πρέπει να συνδέονται εξωτερικές Pull up αντιστάσεις όπως φαίνεται και παρακάτω. Οι εξωτερικές pull up αντιστάσεις (π.χ.  $R_p = 10 \text{ k}\Omega$ ) απαιτούνται για να τραβήξουν και τα 2 pins σε high level. Για τον υπολογισμό της τιμής των pullup αντιστάσεων θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η χωρητικότητα του διαύλου καθώς και η συχνότητα επικοινωνίας. Η συνιστώμενη από τον κατασκευαστή σύνδεση των pull-up αντιστάσεων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 21 Τυπικό κύκλωμα σύνδεσης pull-up αντιστάσεων

### 3.5.3 DIE PAD (ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΠΕΛΑΜΑ ΤΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ)

Το Die pad είναι ορατό από κάτω και βρίσκεται στο κέντρο της συσκευασίας. Είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένο με τη γείωση (pin VSS). Ως εκ τούτου, οι ηλεκτρικές παραμέτρους δεν επιβάλλουν περιορισμούς στην καλωδίωση του πέλατος. Ωστόσο, για μηχανικούς λόγους συνιστάται η συγκόλληση του Die pad στο PCB. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το σχεδιασμό, ανατρέξτε στο έγγραφο "Οδηγός σχεδιασμού SHTxx".

### 3.5.4 ADDR PIN

Όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω, το ολοκληρωμένο μπορεί να λάβει 2 διακριτές I2C διευθύνσεις. Μέσω της κατάλληλης σύνδεσης του ακροδέκτη ADDR μπορεί να επιλεγεί και η αντίστοιχη διεύθυνση. Ο ακροδέκτης ADDR μπορεί να συνδεθεί με τα pin VDD ή VSS ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως pin επιλογής για τη δυναμική επιλογή της διεύθυνσης του ολοκληρωμένου. Αυτό σημαίνει ότι η διεύθυνση του αισθητήρα μπορεί να αλλάξει δυναμικά κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, απλά αλλάζοντας το επίπεδο στο pin ADDR. Αυτό επιτρέπει τη σύνδεση περισσότερων από δύο SHT 3x-DIS στον ίδιο δίαυλο. Η δυναμική αλλαγή διεύθυνσης απαιτεί ξεχωριστές γραμμές ADDR για κάθε αισθητήρα. Σημειώνεται ότι η διεύθυνση I2C αντιπροσωπεύεται μέσω των 7 MSBs του I2C header ενώ το LSB δείχνει αν η εκάστοτε μεταφορά γίνεται για εγγραφή δεδομένων στον αισθητήρα ή για ανάγνωση δεδομένων από αυτόν. Το pin ADDR δεν πρέπει να μένει ασύνδετο.

SHT3x-DIS	I2C Address in Hex. representation	Condition
I2C address A	0x44 (default)	ADDR (pin 2) connected to VSS
I2C address B	0x45	ADDR (pin 2) connected to VDD

*Εικόνα 22 I2C διεύθυνση του ολοκληρωμένου ανάλογα με την κατάσταση του pin ADDR (0x44 αν το pin είναι συνδεδεμένο στη γείωση, 0x45 αν το pin είναι συνδεδεμένο στην τροφοδοσία)*

### 3.5.5 ALERT PIN

Το ALERT pin μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση με το interrupt pin του μικροελεγκτή. Η έξοδος του pin εξαρτάται από την τιμή της ένδειξης RH / T σε σχέση με τα προγραμματιζόμενα όρια. Αν δεν χρησιμοποιηθεί, αυτό το pin πρέπει να παραμείνει ασύνδετο. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να θέσει όρια θερμοκρασίας/υγρασίας στο ολοκληρωμένο τα οποία αν ξεπεραστούν ενεργοποιούν το ολοκληρωμένο να θέσει την στάθμη του ALERT pin σε high.

### 3.5.6 NRESET PIN

Το pin nRESET είναι αρνητικής λογικής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επανεκκίνηση/επιβεβαίωση του ολοκληρωμένου. Απαιτείται ελάχιστη διάρκεια παλμού 1 μs για την αξιόπιστη ενεργοποίηση της επαναφοράς του αισθητήρα. Αν δεν χρησιμοποιηθεί, συνιστάται να αφήσετε το pin ασύνδετο.

## 3.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

Το SHT 3x-DIS υποστηρίζει γρήγορη επικοινωνία I2C (με συχνότητες έως 1000 kHz). Το stretching clock μπορεί να ενεργοποιηθεί και να απενεργοποιηθεί μέσω της κατάλληλης



εντολής από το χρήστη. Για λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το πρωτόκολλο I2C, ανατρέξτε στην προδιαγραφή NXP I2C-bus12.

Όλες οι εντολές και τα δεδομένα χαρτογραφούνται σε ένα χώρο διεύθυνσης 16 bit. Επιπλέον, τα δεδομένα και οι εντολές προστατεύονται με ένα άθροισμα ελέγχου CRC. Αυτό αυξάνει την αξιοπιστία της επικοινωνίας. Τα 16 bits εντολών στον αισθητήρα περιλαμβάνουν ήδη ένα 3-bits checksum CRC. Τα δεδομένα που αποστέλλονται και λαμβάνονται από τον αισθητήρα ακολουθούνται πάντοτε από ένα CRC 8 bits.

Όταν πραγματοποιείται εγγραφή στο ολοκληρωμένο είναι υποχρεωτικό να στέλνεται και το άθροισμα ελέγχου, εφόσον το ολοκληρωμένο δέχεται δεδομένα μόνο αν αυτά ακολουθούνται από το σωστό άθροισμα ελέγχου.

Όταν πραγματοποιείται ανάγνωση από το ολοκληρωμένο, αφήνεται στον master(μικροελεγκτή) να διαβάσει και να επεξεργαστεί το άθροισμα ελέγχου.

### **3.6.1 ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΑΡΞΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.**

Ο αισθητήρας αρχίζει να λειτουργεί αφού φθάσει στην τάση κατωφλίου VPOR που καθορίζεται στον Πίνακα 3. Αφού φτάσει αυτή την τάση κατωφλίου, ο αισθητήρας χρειάζεται χρόνο t<sub>PU</sub> για να εισέλθει σε κατάσταση αδράνειας. Μόλις γίνει αυτό, το SDHT3x είναι έτοιμο να λάβει εντολές από τον master (μικροελεγκτή).

Κάθε μεταφορά δεδομένων αρχίζει με μια συνθήκη START (S) και τελειώνει με μια συνθήκη STOP (P) όπως περιγράφεται στην προδιαγραφή I2C-bus. Κάθε φορά που ενεργοποιείται ο αισθητήρας, αλλά δεν εκτελεί μέτρηση ή επικοινωνεί, εισέρχεται αυτόματα στην κατάσταση αναμονής για εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτή η κατάσταση αδράνειας δεν μπορεί να ελεγχθεί από τον χρήστη.

### **3.6.2 ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ**

Μια επαναφορά συστήματος του SHT 3x-DIS μπορεί να δημιουργηθεί εξωτερικά με την εγγραφή της εντολής SOFT RESET ή με την αποστολή ενός παλμού στο ειδικό nRESET pin.

Εναλλακτικά, μια επαναφορά συστήματος μπορεί να γίνει αφαιρώντας και δίνοντας τροφοδοσία στο ολοκληρωμένο (HARD RESET). Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επαναφοράς ο αισθητήρας δεν μπορεί να επεξεργαστεί εντολές.

### **3.6.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ**

Τα δεδομένα μέτρησης διαβάζονται από το ολοκληρωμένο ως ακέραιες μη προσημασμένες τιμές των 16-bit. Η μετατροπή αυτών των τιμών σε φυσική κλίμακα μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τους ακόλουθους τύπους.

Τύπος μετατροπής σε πραγματική τιμή υγρασίας (αποτέλεσμα σε% RH):

$$RH=100 *SRH/ (2^{16} - 1)$$

Τύποι μετατροπής σε πραγματική τιμή θερμοκρασίας (αποτέλεσμα σε ° C & ° F):

$$T [^{\circ}\text{C}] = -45 + 175 * (\text{ST} / (2^{16} - 1))$$

$$T [^{\circ}\text{F}] = -49 + 315 * (\text{ST} / (2^{16} - 1))$$

Τα SRH και ST υποδηλώνουν τις 16-bit ακατέργαστες τιμές που διαβάζουμε από τους αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας αντίστοιχα.

## 4 SIM800L MODULE

---

Για την αποστολή μετρήσεων στον τελικό χρήστη χρησιμοποιήθηκε το SIM800L Module.

### 4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Στην καρδιά του module βρίσκεται ένα SIM800L GSM ολοκληρωμένο κινητής τηλεφωνίας από την SimCom.

- Η τάση λειτουργίας του chip είναι από 3.4V έως 4.4Ω, κάνοντάς το ιδανικό για χρήση με μπαταρίες τύπου LiPo(λιθίου).
- Το module έρχεται με έτοιμη ενσωματωμένη θήκη για τοποθέτηση κάρτας SIM.
- Το ολοκληρωμένο υποστηρίζει τα Quad-band πρωτόκολλα: GSM850, EGSM900, DCS1800 και PCS1900
- Δυνατότητα σύνδεσης σε οποιοδήποτε GSM δίκτυο με χρήση οποιασδήποτε 2G SIM κάρτας
- Πραγματοποίηση και λήψη κλήσεων φωνής συνδέοντας εξωτερικό μικρόφωνο και ακουστικό των 8Ω.
- Αποστολή και λήψη SMS μηνυμάτων
- Λήψη στην FM μπάντα
- Ισχύς πομπού
  - Class 4(2W) για το GSM850
  - Class 1 (1W) για το DCS1800
- Σειριακές εντολές τύπου AT (AT Commands)
- Δέχεται και Micro SIM κάρτα

Ακολουθεί πίνακας κατανάλωσης του ολοκληρωμένου βάσει της κατάστασης λειτουργίας και της συχνότητας εκπομπής (στην περίπτωση πραγματοποίησης κλήσεων)

Modes	Frequency	Current Consumption
Power down		60 $\mu$ A
Sleep mode		1 mA
Stand by		18 mA
Call	GSM850	199 mA
	EGSM900	216 mA
	DCS1800	146 mA
	PCS1900	131 mA
GPRS		453 mA
Transmission burst		2 A

Εικόνα 23 Πίνακας κατανάλωσης SIM800L

Το SIM800L GSM/GPRS module είναι ουσιαστικά μία μινιατούρα ενός GSM modem, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άπειρες εφαρμογές ενσωματωμένων συστημάτων. Προσφέρει σχεδόν όλες τις λειτουργίες που προσφέρει και ένα κανονικό κινητό τηλέφωνο όπως: μηνύματα SMS, πραγματοποίηση ή αποδοχή κλήσεων, σύνδεση στο διαδίκτυο μέσω GPRS, TCP/IP κ.α.

Όλα τα απαραίτητα pins του ολοκληρωμένου SIM800L εκτίθενται από το module μειώνοντας έτσι την πολυπλοκότητα διασύνδεσης και ενσωμάτωσης του ολοκληρωμένου σε οποιαδήποτε εφαρμογή.



Εικόνα 24 SIM800L module pins

- **NET:** Pin σύνδεσης της εξωτερικής κεραίας
- **VCC:** Pin σύνδεσης τροφοδοσίας
- **GND:** Pin στο οποίο συνδέεται η γείωση
- **RST (Reset):** Pin το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επαναφέρει το module. Αρκεί ένας παλμός 100ms για να προκαλέσει reset.
- **RXD, TXD:** Η επικοινωνία προς και από το ολοκληρωμένο γίνεται με τα UART pins RXD, TXD. Η UART του ολοκληρωμένου υποστηρίζει ταχύτητες (baudrate) από 1200bps έως 115200bps.
- **RING:** Το pin αυτό συμπεριφέρεται σαν pin ειδοποίησης κλήσης. Σε κανονική λειτουργία το pin αυτό είναι μόνιμα σε υψηλή στάθμη. Σε περίπτωση εισερχόμενης κλήσης το pin αυτό θα δημιουργεί παλμούς πλάτους των 120ms. Μπορεί ακόμη και να ρυθμιστεί ως pin ειδοποίησης SMS μηνυμάτων.
- **DTR:** Το pin αυτό χρησιμοποιείται για να βάλει/βγάλει το ολοκληρωμένο σε/από κατάσταση ύπνου (λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης).
- **MIC+-:** Διαφορική είσοδος για μικρόφωνο. Σε περίπτωση χρήσης μικροφώνου για κλήσεις φωνής τα 2 pin του μικροφώνου θα πρέπει να συνδεθούν στα MIC+ και MIC- αντίστοιχα.
- **SPK+-:** Διαφορική έξοδος ακουστικού. Σε περίπτωση χρήσης ηχείου τα 2 pins του ηχείου θα πρέπει να συνδεθούν με τα SPK+ και SPK- αντίστοιχα.

Το module ενσωματώνει και ένα **LED** το οποίο είναι συνδεδεμένο με το ολοκληρωμένο και μαρτυρά την κατάσταση λειτουργίας του ανά πάσα στιγμή:

- Ανάβει ανά 1 δευτερόλεπτο : Το ολοκληρωμένο λειτουργεί κανονικά αλλά ακόμα δεν έχει βρει το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που θα συνδεθεί.
- Ανάβει ανά 2 δευτερόλεπτα : Το ολοκληρωμένο έχει δημιουργήσει επιτυχώς μια σύνδεση GPRS
- Ανάβει ανά 3 δευτερόλεπτα : Το ολοκληρωμένο είναι σε κανονική λειτουργία, έχει συνδεθεί με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και μπορεί να εκτελέσει ή να λάβει κλήσεις, να στείλει ή να δεχθεί μηνύματα SMS.

Στα επόμενα κεφάλαια θα δούμε πως διασυνδέοντας την UART του μικροεπεξεργαστή με την UART του module να αποστέλλουμε απλές εντολές τύπου AT για την αποστολή των μετρήσεων που συλλέγονται από τους αισθητήρες στον τελικό χρήστη.

## 5 ΚΩΔΙΚΑΣ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

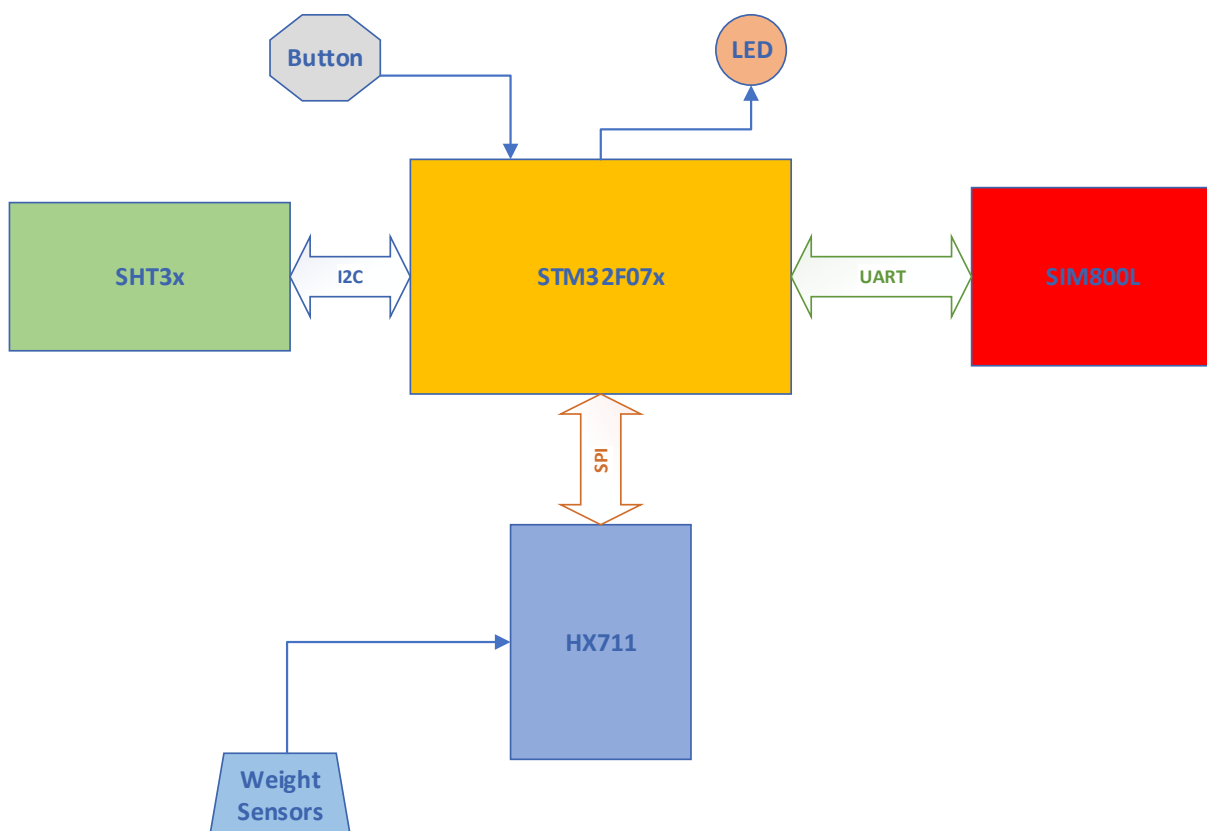
Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε την γενική δομή της συσκευής παρακολούθησης μελισσοκομίας. Θα αναπτύξουμε τον τρόπο λειτουργίας, τη διασύνδεση και την επικοινωνία του κεντρικού μικροελεγκτή με τα περιφερειακά -που αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια- αλλά και θα αναλύσουμε τον ενσωματωμένο κώδικα ο οποίος αναπτύχθηκε επάνω στον μικροελεγκτή.

### 5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούμε στη σχεδίαση που έγινε με σκοπό τη δημιουργία μίας πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (Printed Circuit Board – PCB) η οποία θα περιλαμβάνει τον μικροελεγκτή STM32F07x διασυνδεδεμένο με τα περιφερειακά που αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Το σχεδιαστικό πρόγραμμα EAGLE pcb Design χρησιμοποιήθηκε για την σχεδίαση της προαναφερθείσας πλακέτας.

#### 5.1.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Το παρακάτω μπλοκ διάγραμμα δείχνει μια συνοπτική εικόνα όλων των βασικών περιφερειακών που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και των διασυνδέσεων μεταξύ τους.



Εικόνα 25 Διάγραμμα διασύνδεσης των ολοκληρωμένων

Ο μικροελεγκτής είναι ο πυρήνας όλου του συστήματος και εκτελεί περιοδικά τις παρακάτω διαδικασίες.

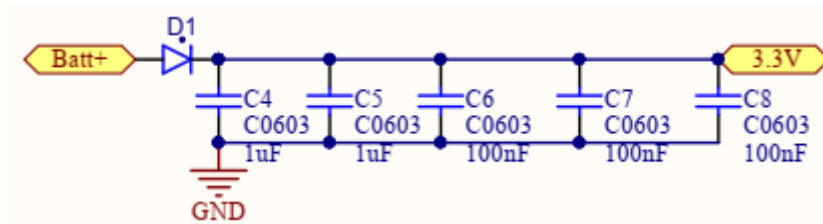
- Συλλογή μετρήσεων θερμοκρασίας/υγρασίας: Ο μικροελεγκτής επικοινωνεί μέσω του πρωτοκόλλου I2C με τον αισθητήρα θερμοκρασίας/υγρασίας SHT3x και διαβάζει μετρήσεις από αυτόν. Οι μετρήσεις αυτές μετατρέπονται σε πραγματικές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας χρησιμοποιώντας τον μαθηματικό τύπο που δίνει ο κατασκευαστής του αισθητήρα(έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο περιγραφής του αισθητήρα)
- Συλλογή μετρήσεων βάρους από τα αισθητήρια βάρους: Ο μικροελεγκτής επικοινωνεί μέσω του SPI πρωτοκόλλου με τον μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό (ADC) HX711 για να τον αρχικοποιήσει σε λειτουργία δειγματοληψίας προκειμένου να δειγματοληπτήσει τις τάσεις που δίνουν τα αισθητήρια βάρους. Έπειτα, περιοδικά συλλέγει τις μετρήσεις αυτές. Οι μετρήσεις αυτές μετατρέπονται από απλές τιμές τάσης σε αντίστοιχες τιμές βάρους.
- Αποστολή των πραγματικών μετρήσεων στον χρήστη: Ο επεξεργαστής περιοδικά επικοινωνεί μέσω UART με το SIM800L module προκειμένου να αποστείλει με γραπτό μήνυμα SMS τις μετρήσεις στον τελικό χρήστη.

Στα επόμενα υποκεφάλαια θα περιγραφούν αναλυτικά ή διασύνδεση όλων των ολοκληρωμένων, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και ο ενσωματωμένος κώδικας ο οποίος χρειάστηκε να γραφεί για να οδηγήσει τον μικροελεγκτή να πραγματοποιήσει τις παραπάνω λειτουργίες.

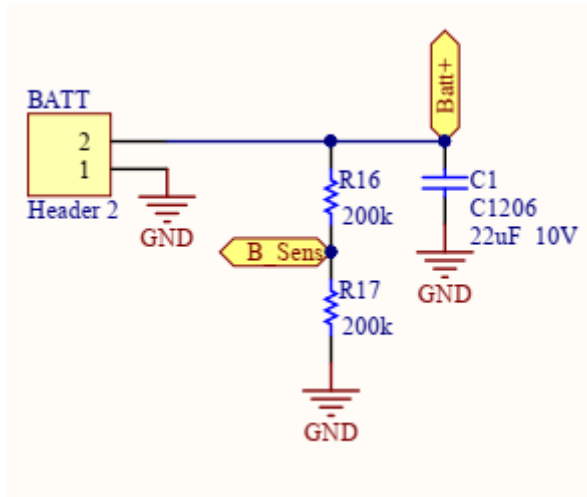
## 5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

### 5.2.1 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ

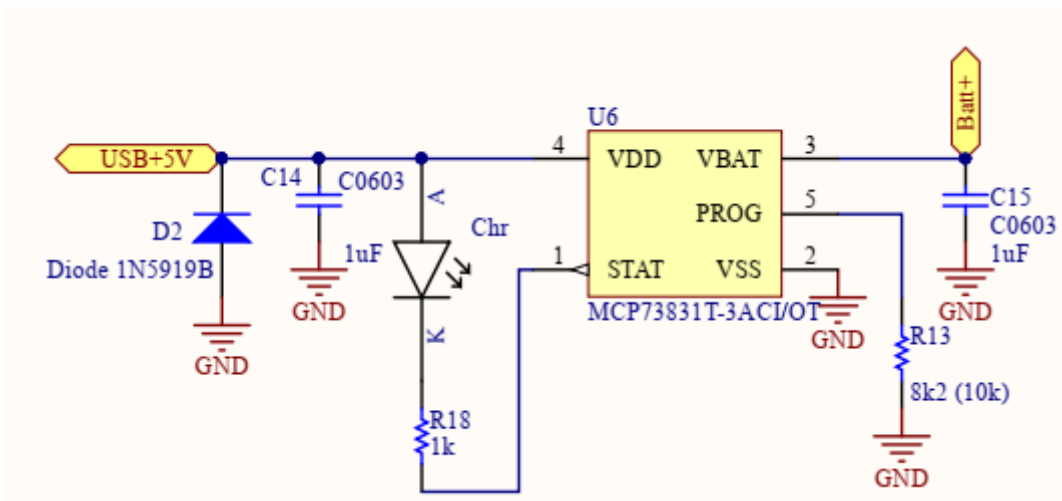
Η τροφοδοσία του συστήματος γίνεται από μία μπαταρία τύπου LiPo (λιθίου) με φορτίο 1000 mAh το εύρος τάσης της οποίας είναι 3.4 έως 4.2 V. Η μπαταρία δύναται να φορτίσει από εξωτερική τροφοδοσία USB. Για την διαχείριση φόρτισης της μπαταρίας χρησιμοποιήθηκε το ολοκληρωμένο MCP73831T. Επιπροσθέτως έχει προβλεφθεί διασύνδεση φωτοβολταϊκού panel τάσης εξόδου έως 5V απευθείας στην μπαταρία, για την ενεργειακή αυτονομία του συστήματος. Όλα τα ολοκληρωμένα εκτός από τον εξωτερικό ADC και το SIM800L χρειάζεται να τροφοδοτούνται από τάση 3.3V η οποία προκύπτει από μετασχηματισμό της τάσης μπαταρίας με το παρακάτω κύκλωμα.



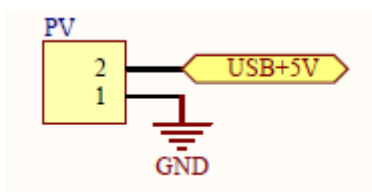
Εικόνα 26 Κύκλωμα μετασχηματισμού τάσης σε σταθερή τάση 3.3V



Εικόνα 27 Αναμονή για σύνδεση μπαταρίας



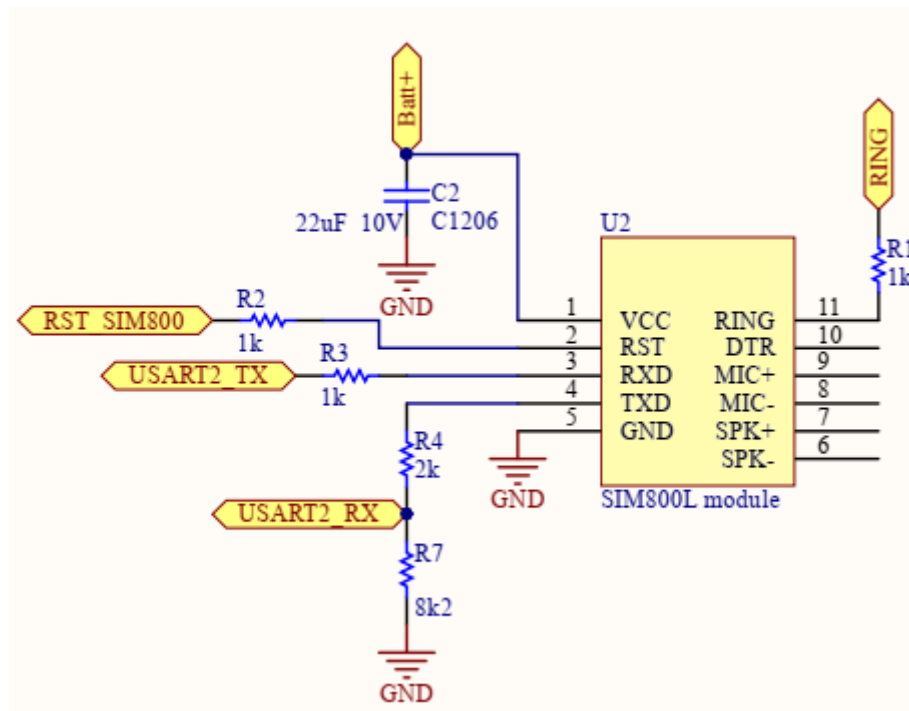
Εικόνα 28 Ολοκληρωμένο φόρτισης της μπαταρίας από τον USB connector (5V)



Εικόνα 29 Θέση σύνδεσης φωτοβολταϊκού panel (5V)

### 5.2.2 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ SIM800L MODULE

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι διασυνδέσεις του SIM800L module με τα περιφερειακά της υπόλοιπης πλακέτας.



Εικόνα 30 Διασύνδεση SIM800L module

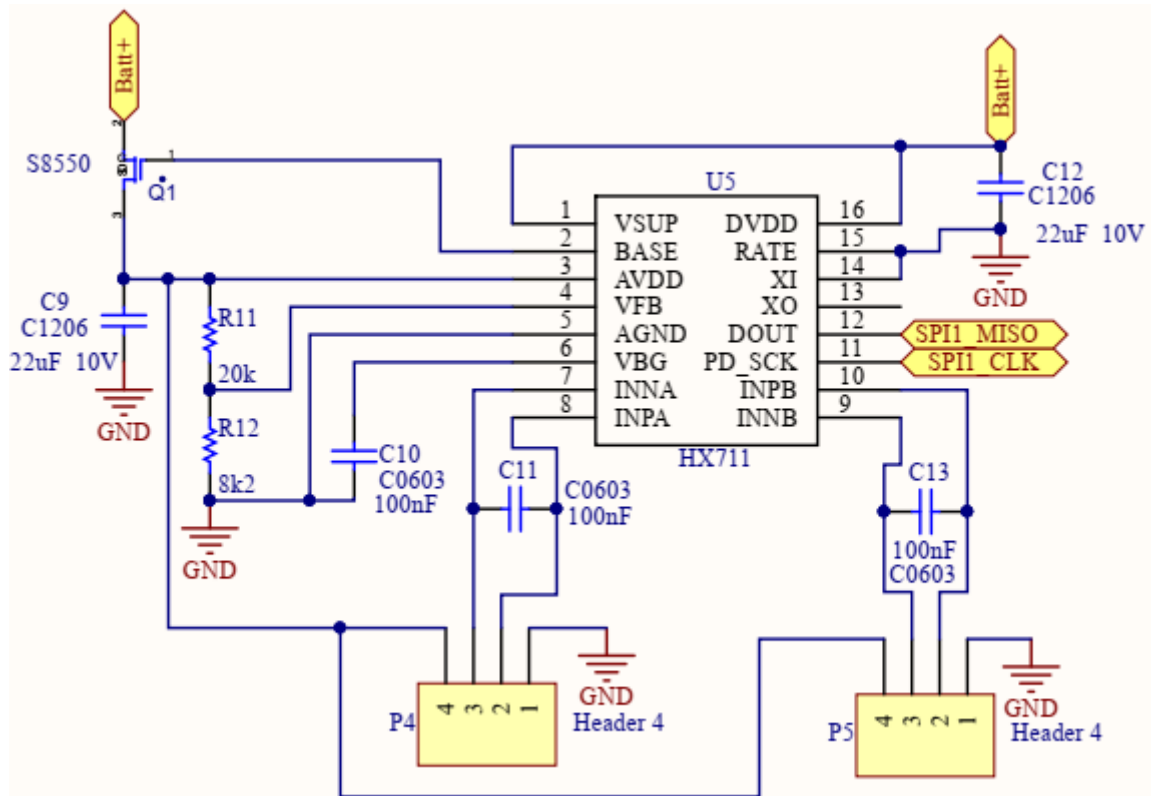
Το SIM800L module όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι ιδανικό για τροφοδοσία από μπαταρίες LiPo. Η τροφοδοσία του λοιπόν γίνεται απευθείας από την μπαταρία. Αναφορικά με τα pins:

- RST (ετικέτα RST\_SIM800): Συνδέεται με το pin PA1 του μικροελεγκτή και χρησιμοποιείται από τον μικροελεγκτή για να επαναφέρει το SIM800L σε κανονική λειτουργία κατά την εκκίνηση.
- RXD, TXD(ετικέτα USART2\_RT,USART2\_TX): Συνδέονται με τα pins PA3,PA4 του μικροελεγκτή και οδηγούνται από το UART περιφερειακό του για επικοινωνία με το module.
- RING: Συνδέεται σαν είσοδος στον μικροελεγκτή (pin PA8) η οποία λειτουργεί σαν ειδοποίηση για εισερχόμενη κλήση η μήνυμα.

### 5.2.3 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ HX711

Η διασύνδεση του εξωτερικού ADC φαίνεται στο παρακάτω σχήμα





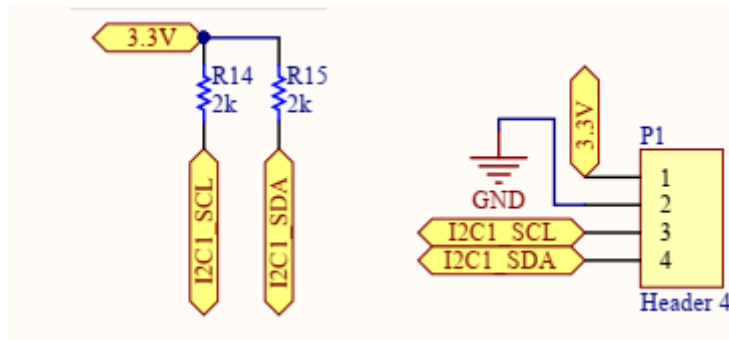
Εικόνα 31 Διασύνδεση του εξωτερικού ADC

Η τροφοδοσία του ολοκληρωμένου καθώς και η είσοδος τάσης αναφοράς δίνονται από την μπαταρία. Τα υπόλοιπα pins είναι συνδεδεμένα με παθητικά στοιχεία όπως ορίζει ο κατασκευαστής στις οδηγίες χρήσης του ολοκληρωμένου. Αναφορικά με τα υπόλοιπα pins:

- INNA, INPA: Τα pins δειγματοληψίας τάσης του καναλιού A συνδέονται με τα pins του ενός εκ των 2 στοιχείων μέτρησης βάρους (η σύνδεση του ενός στοιχείου γίνεται στην αναμονή P4)
- INNB, INPB: Τα pins δειγματοληψίας τάσης του καναλιού B συνδέονται με τα pins του δεύτερου στοιχείου μέτρησης βάρους (η σύνδεση του δεύτερου στοιχείου γίνεται στην αναμονή P5)
- DOUT, PD\_SCK(ετικέτες SPI1\_MISO, SPI1\_CLK): Τα pins αυτά συνδέονται με τα pins PA6, PA5 του μικροελεγκτή στα οποία χρησιμοποιείται το περιφερειακό SPI του μικροελεγκτή για επικοινωνία και συλλογή μετρήσεων από τον ADC
- Τα στοιχεία ζύγισης τροφοδοτούνται από τον εσωτερικό regulator του ADC (pins AVVD και AGND)

#### 5.2.4 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ SHT3X

Για τον αισθητήρα θερμοκρασίας/υγρασίας υπάρχει αναμονή (P1) για να συνδεθεί η τροφοδοσία και γείωση του αισθητήρα καθώς και οι γραμμές επικοινωνίας του διαύλου I2C. Σημειώνεται εδώ ότι για την σωστή λειτουργία του διαύλου I2C(βλ. παρακάτω) συνδέθηκαν και 2 pullup αντιστάσεις (μία για κάθε σήμα).



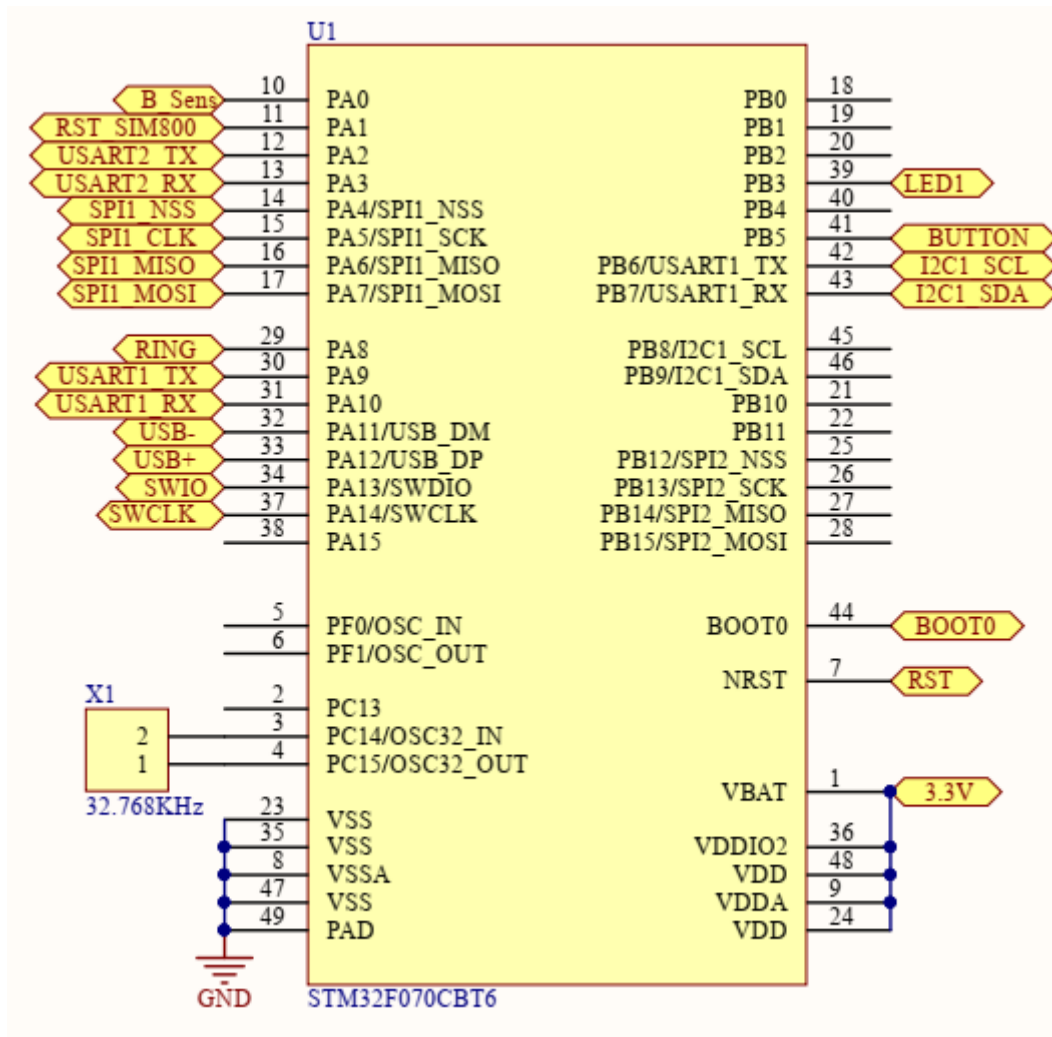
Εικόνα 32 Αναμονή σύνδεσης του αισθητήρα υγρασίας/θερμοκρασίας και pullup αντιστάσεις(αριστερά)

Τα pins SDA,SCL του αισθητήρα(ετικέτες I2C1\_SDA, I2C1\_SCL) συνδέονται με τα pins PB6, PB7 του μικροελεγκτή στον οποίο χρησιμοποιείται το I2C περιφερειακό για συλλογή μετρήσεων από τον αισθητήρα.

### 5.2.5 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ STM32F07X

Ο πυρήνας του συστήματος συνδέεται με όλα τα ολοκληρωμένα όπως έχει περιγραφεί και σε προηγούμενα υποκεφάλαια. Πρόσθετα αναφέρονται και οι επιπλέον συνδέσεις που χρειάζονται να γίνουν για τη σωστή λειτουργία του ολοκληρωμένου.

- VBAT, VDDIO, VDD, VDDA: Όλα τα σήματα τροφοδοσίας του μικροελεγκτή συνδέονται (όπως προτείνει και ο κατασκευαστής) με την τάση 3.3V
- VSS, VSSA, PAD : Όλα τα σήματα γείωσης συνδέονται με τη γείωση (GND)
- OSC32X: Για τον χρονισμό του μικροελεγκτή επιλέχθηκε ένας εξωτερικός κρύσταλλος συχνότητας 32768kHz(32MHz).
- BOOT0: Το σήμα αυτό χρειάζεται για να καθορίσει τον τύπο εκκίνησης του μικροελεγκτή έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να τον προγραμματίσουμε με τον ενσωματωμένο κώδικα.
- USART1\_TX/RX: Σήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή μέσω σειριακής θύρας (UART) καθώς και για την λήψη μηνυμάτων κατάστασης κατά την εκτέλεση του κώδικα.
- SWIO/SWCLK: Σήματα του πρωτοκόλου JTAG τα οποία επιτρέπουν τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή αλλά και την εύκολη αποσφαλμάτωση του κώδικα ενώ αυτός εκτελείται.
- LED1: Pin που χρησιμοποιείται για να οδηγεί ένα γενικής χρήσης LED
- BUTTON: Pin που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση ενός κουμπιού με το οποίο ο τελικός χρήστης μπορεί να πυροδοτεί συγκεκριμένες διαδικασίες πατώντας το.



Εικόνα 33 Διασύνδεση μικροελεγκτή

### 5.3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφέρουμε επιγραμματικά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξη της συσκευής παρακολούθησης μελισσοκομίας. Ο πυρήνας του συστήματος μας ήταν ο MCU (Micro Controller Unit – Μικροελεγκτής) STM32F07x τον οποίο διασυνδέσαμε με τα εξωτερικά περιφερειακά που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια με σκοπό την περιοδική συλλογή μετρήσεων και την αποστολή αυτών στον τελικό χρήστη ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

#### 5.3.1 UART

Το UART είναι η συντομογραφία του universal asynchronous receiver/transmitter, και είναι ένα κύκλωμα το οποίο διαμεσολαβεί στην σειριακή επικοινωνία υπολογιστών ή υπολογιστών με συσκευές (ή και Ενσωματωμένων υπολογιστικών συστημάτων – όπως στην περίπτωση μας δηλαδή μικροελεγκτές). Η επικοινωνία των UART γίνεται δια μέσου των στάνταρντ θυρών

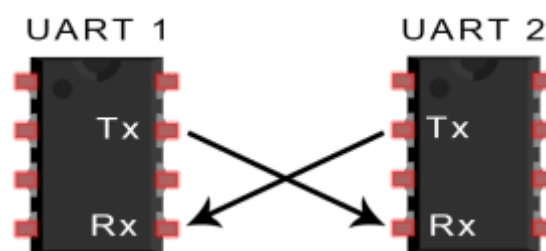
RS-232, RS-422 ή RS-485. Η ταχύτητα επικοινωνίας (ρυθμός μετάδοσης) μπορεί να παραμετροποιηθεί και μετριέται σε baud rate (bits/sec). Σήμερα το κύκλωμα UART είναι ενσωματωμένο ως κύκλωμα τσιπ μέσα σε μικροελεγκτές ή περιφερειακές συσκευές.

Ένα UART παίρνει bytes δεδομένων και τα στέλνει σε σειριακή μορφή ως bits. Στον προορισμό το UART του δέκτη συλλέγει τα bits και ξαναδημιουργεί τα bytes δεδομένων που αποστάλθηκαν. Η επικοινωνία μέσω του UART μπορεί να είναι απλή (simplex: προς μια κατεύθυνση μόνο - χωρίς να υπάρχει πρόβλεψη ο δέκτης να στείλει πίσω κάποιο σήμα), αμφίδρομη (πλήρης) ταυτόχρονη επικοινωνία (full duplex: και οι δύο συσκευές στέλνουν και δέχονται σήματα την ίδια στιγμή), αμφίδρομη εναλλασσόμενη επικοινωνία (half duplex: κάθε συσκευή παίρνει σειρά στο να αποστείλει ή να λάβει δεδομένα - δεν γίνεται αποστολή-λήψη την ίδια στιγμή).

Κατά την επικοινωνία με UART στέλνονται πλαίσια δεδομένων (data frames) όπου το καθένα περιέχει ένα χαρακτήρα. Το μέγεθος του πλαισίου χαρακτήρων μπορεί να είναι 10bits (χωρίς bit έλεγχο parity) όπου υπάρχει ένα start bit και ένα stop bit στην αρχή και το τέλος και είναι διαθέσιμα 8 bits για την κωδικοποίηση του χαρακτήρα που στέλνουμε-παίρνουμε.

Κάθε χαρακτήρας αποστέλνεται αφού πρώτα σταλεί ένα low voltage 0 (start bit). Το start bit λαμβάνεται πρώτο από το δέκτη και καταλαβαίνει ότι ξεκινά/ακολουθεί μετάδοση bits. Στην συνέχεια στέλνονται με σταθερό χρονικό ρυθμό τα 8 bits (μπορεί να είναι και 5 ή 6 ή 7 bits ανάλογα με την παραμετροποίηση που ακολουθείται ) που κωδικοποιούν τον χαρακτήρα που στέλνουμε. Στο τέλος αποστέλλεται το stop bit και η αποστολή του μεμονωμένου χαρακτήρα ολοκληρώνεται. Εάν υπάρχει bit ελέγχου ισοτιμίας(parity), τότε αυτό μπαίνει μετά τα bits των δεδομένων και πριν το τελικό stop bit.

Σε φυσικό επίπεδο η UART συνήθως χρησιμοποιεί 1 έως 4 pins. Στη συνήθη χρήση της όπως και την περίπτωση της εργασίας αυτή χρησιμοποιεί 2. Τα pins Rx (Receive) και Tx (Transmit). Τα pins αυτά συνήθως συνδέονται χιαστί έτσι ώστε το pin αποστολής της μία συσκευής να είναι συνδεδεμένο με το pin λήψης της άλλης συσκευής.

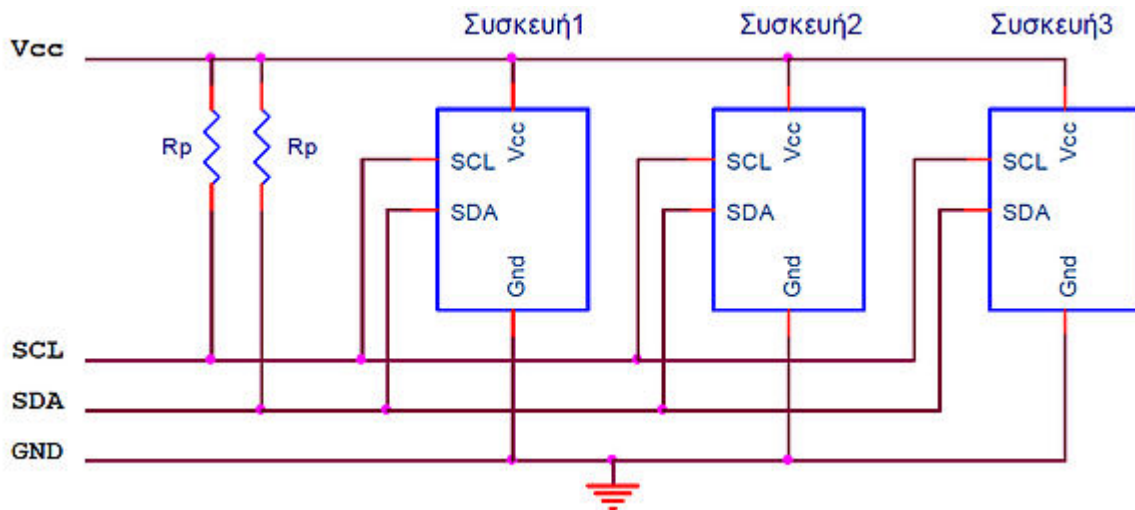


Εικόνα 34 Παράδειγμα UART επικοινωνίας και διασύνδεσης 2 συσκευών με τα pins Rx,Tx

Στην περίπτωση της εργασίας, η επικοινωνία με το πρωτόκολλο UART χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία του STM32F07x με το SIM800L module σε half-duplex.

### 5.3.2 I2C

Ο διάυλος I<sup>2</sup>C είναι ένας σειριακός διάυλος που δημιουργήθηκε από τη Philips (τώρα NXP) και χρησιμοποιείται για την σύνδεση περιφερειακών μικρής ταχύτητας σε μητρικές πλακέτες (motherboards), ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems), κινητά τηλέφωνα ή άλλες ηλεκτρονικές συσκευές. Ο διάυλος I<sup>2</sup>C δεν χρησιμοποιείται μόνο για την επικοινωνία συσκευών που βρίσκονται πάνω σε ένα τυπωμένο κύκλωμα, αλλά και για την επικοινωνία συσκευών που συνδέονται με καλώδια.



Εικόνα 35 Παράδειγμα διασύνδεσης διαύλου I<sup>2</sup>C

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα διαύλου I<sup>2</sup>C. Όπως φαίνεται για τη μεταφορά των δεδομένων (0 ή 1) χρησιμοποιούνται μόνο δύο καλώδια (τα οποία είναι ημιαμφίδρομης κατεύθυνσης): Τα SCL και SDA. Η γραμμή SCL είναι η γραμμή ρολογιού, ενώ η SDA είναι η γραμμή δεδομένων. Οι γραμμές αυτές συνδέονται σε όλες τις συσκευές, που υπάρχουν πάνω στο διάυλο I<sup>2</sup>C.

Τυπικές τάσεις που χρησιμοποιούνται στο διάυλο είναι τα +5V ή +3,3V, αν και επιτρέπονται συστήματα με διαφορετικές τάσεις (συνήθως στην περιοχή από +1,2V έως +5,5V). Ο μέγιστος αριθμός κόμβων (συσκευών), που μπορούν να συνδεθούν στον διάυλο, περιορίζεται από τον αριθμό των διαθέσιμων διευθύνσεων (θα επεξηγηθεί παρακάτω), αλλά και από τη συνολική χωρητικότητα του διαύλου, η οποία π.χ. για τον standard mode, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 400pF. Η απαίτηση αυτή περιορίζει τις πρακτικές αποστάσεις επικοινωνίας.

Και οι δύο γραμμές SCL και SDA είναι τύπου ανοικτού αγωγού (open drain στον κόσμο των FET) ή ανοικτού συλλέκτη (open collector στον κόσμο των TTL). Αυτό σημαίνει ότι κάθε μία από αυτές τις δύο γραμμές, είναι απαραίτητο να συνδέεται με μία αντίσταση pull-up.

Συνηθισμένες τιμές αντιστάσεων είναι από 1KΩ έως 10KΩ.

Οι συσκευές στον διάυλο I<sup>2</sup>C είναι είτε Κύριοι (Masters) είτε Υποτελείς (Slave). Η Master συσκευή είναι αυτή που ελέγχει και οδηγεί τη γραμμή ρολογιού SCL (παράγει τους παλμούς ρολογιού). Οι Slave συσκευές είναι αυτές που ανταποκρίνονται στις συσκευές Master. Μία συσκευή Slave δεν μπορεί να ξεκινήσει μία μεταφορά πάνω στο διάυλο, μόνο μία συσκευή Master μπορεί. Σε έναν διάυλο μπορεί να είναι συνδεδεμένες πολλές Master και πολλές Slave συσκευές.

### 5.3.3 SPI

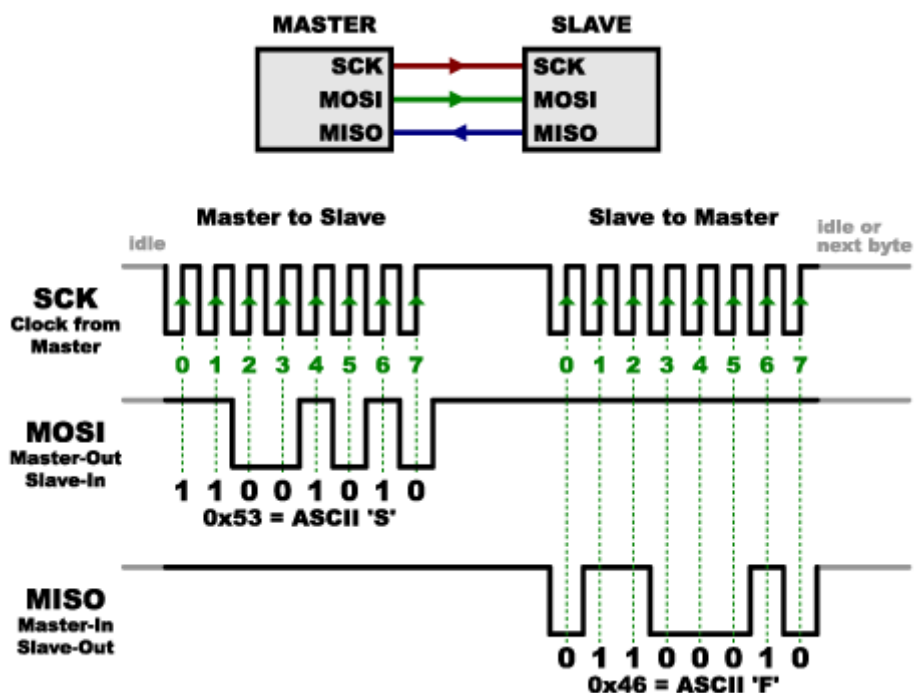
Το SPI (Serial Peripheral Interface), όπως και το I2C αναπτύχθηκε με σκοπό την εύκολη επικοινωνία μεταξύ ολοκληρωμένων και τον καλύτερο τρόπο διασύνδεσης των περιφερειακών μονάδων και των μικροελεγκτών μεταξύ τους.

Το SPI επιτρέπει την σειριακή σύγχρονη επικοινωνία μεταξύ ολοκληρωμένων σε πλήρη αμφίδρομη επικοινωνία αλλά και σε ημιαμφίδρομη. Οι συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους με τρόπο Master/Slave όπως δηλαδή και στο I2C. Ο Master του διαύλου είναι το ολοκληρωμένο που παράγει το frame των δεδομένων και το μεταδίδει προς τα ολοκληρωμένα Slave. Μπορούν σε έναν SPI δίαυλο να διασυνδεθούν περισσότερες από μία συσκευές Slave χρησιμοποιώντας τις γραμμές Chip Select.

Το SPI επιτρέπει σε δεδομένα των 8-bits να αποστέλλονται και ταυτόχρονα να λαμβάνονται με ταχύτητα που φτάνει το 1Mbps.

Για να επιτευχθεί επικοινωνία το SPI χρησιμοποιεί 4 pins:

- Το pin δεδομένων εξόδου SDO(Serial Data Out) ή MOSI(Master Output – Slave Input)
- Το pin δεδομένων εισόδου SDI(Serial Data In) ή MISO (Master Input – Slave Output)
- Το pin σειριακού ρολογιού (SCLK – serial clock)
- Το pin επιλογής του slave (CS – chip select ή SS – slave select)



Εικόνα 36 Παράδειγμα διασύνδεσης και επικοινωνίας ενός SPI master με έναν SPI slave

Στην περίπτωση της εργασίας, το SPI χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία με τον εξωτερικό ADC HX-711.

## 5.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΥ ΚΩΔΙΚΑ

### 5.4.1 ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Για την αρχικοποίηση του προγράμματος, δημιουργήθηκαν οι παρακάτω συναρτήσεις, η κλήση/εκτέλεση των οποίων γίνεται με την παρακάτω σειρά (αρχείο *main.c*)

Αρχικοποίηση περιφερειακών, μνήμης flash και συχνότητας λειτουργίας:

```
HAL_Init();
```

Αρχικοποίηση ρολογιού συστήματος:

```
SystemClock_Config();
```

Συναρτήσεις αρχικοποίησης χρησιμοποιούμενων περιφερειακών

Αρχικοποίηση pin εισόδων-εξόδων:

```
MX_GPIO_Init();
```

Αρχικοποίηση UART 1 (UART χρήστη) και δήλωση Rx-Not-Empty interrupt:

```
MX_USART1_UART_Init();
```

```
__HAL_UART_ENABLE_IT(&huart1, UART_IT_RXNE);
```

Αρχικοποίηση UART 2 (UART SIM800L) και δήλωση Rx-Not-Empty interrupt:

```
MX_USART2_UART_Init();
```

```
__HAL_UART_ENABLE_IT(&huart2, UART_IT_RXNE);
```

Αρχικοποίηση αναλογικής εισόδου και εκκίνηση παρακολούθησης/μετατροπής καναλιού ADC0 για την παρακολούθηση στάθμης μπαταρίας συστήματος :

```
MX_ADC_Init();
```

```
HAL_ADC_Start_IT(&hadc);
```

Αρχικοποίηση περιφερειακού I2C 1 και οδηγού αισθητήρα θερμοκρασίας/σχετικής υγρασίας SHT21:

```
MX_I2C1_Init();
```

```
sht21_i2cDriverInit();
```

Αρχικοποίηση περιφερειακού ρολογιού πραγματικού χρόνου RTC:

```
MX_RTC_Init();
```

Αρχικοποίηση διασύνδεσης και οδηγού λειτουργείας HX711:

```
KIFINAS_HX711_Init();
```

Αρχικοποίηση και εκκίνηση λογισμικού πραγματικού χρόνου:

```
MX_FREERTOS_Init();
```

```
osKernelStart();
```

#### 5.4.2 ΔΗΛΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Αρχικοποίηση εργασιών λογισμικού πραγματικού χρόνου. Δημιουργία 2 εργασιών (Task):

```
void MX_FREERTOS_Init(void)
{
    osThreadDef(defaultTask, StartDefaultTask, osPriorityNormal, 0, 128);
    defaultTaskHandle = osThreadCreate(osThread(defaultTask), NULL);
    osThreadDef( iot_Task, incMsg_Task, osPriorityHigh, 0, 128 );
    inc_Msg_TaskHandle = osThreadCreate( osThread( iot_Task ), NULL );
    iot_App_init_Task();
}
```

Εργασία διαχείρισης/παρακολούθησης μετρήσεων, ροής σύνδεσης με το SIM800L και ενημέρωσης ρολογιού πραγματικού χρόνου. Η κλήση της γίνεται κάθε 1 δευτερόλεπτο.

```
void StartDefaultTask(void const * argument)
{
    for(;;)
    {
        iot_App_GENERAL_EVT();
        iot_App_SCH_HANDLER_EVT();
        iot_App_POLL_MEASUREMENTS();
        HAL_RTC_GetTime(&hrtc, &sTime, RTC_FORMAT_BIN);
        HAL_RTC_GetDate(&hrtc, &sDate, RTC_FORMAT_BIN);
        osDelay( 1000 );
    }
}
```

Εργασία διαχείρισης εισερχόμενων μηνυμάτων από τις UART 1 και 2. Η κλήση της γίνεται σε κάθε νέο εισερχόμενο μήνυμα:

```
void incMsg_Task(void const * argument)
{
```



```

for(;;)
{
    iot_App_INC_SER_MSG_EVT();
    osDelay(100);
}
}

```

### 5.4.3 ΕΝΤΟΛΕΣ SIM800L ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το modem SIM800L προσφέρει μια μεγάλη γκάμα εντολών διαχείρισης και αλληλεπίδρασης. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω εντολές. Η χρήση τους γίνεται σειριακά, όπως εμφανίζονται στο παρακάτω διάγραμμα ροής και η παρουσίαση τους εδώ γίνεται περιληπτικά για την καλύτερη κατανόηση του.

#### Εντολές modem

*AT+CGMM*: Επιστρέφει το όνομα του modem όπως αυτό έχει δοθεί από τον κατασκευαστή.

*ATE0*: Απενεργοποίηση λειτουργίας echo, αποσκοπώντας στη μείωση του χρόνου εκτέλεσης του διαγράμματος.

*ATI9*: Επιστρέφει την τρέχουσα έκδοση λογισμικού του modem.

*AT+CGSN*: Επιστρέφει το μοναδικό σειριακό αριθμό αναγνώρισης του modem (IMEI).

*AT+CIMI*: Επιστρέφει τον αριθμό της κάρτας SIM.

*AT+CCID*: Επιστρέφει τον μοναδικό σειριακό αριθμό (ID) αναγνώρισης της κάρτας SIM.

*AT+CFUN*: Η παρούσα εντολή διαχειρίζεται το επίπεδο λειτουργικότητας του modem. Θέτοντας *AT+FUN=1* το modem τοποθετείται σε κατάσταση πλήρους λειτουργίας.

*AT+CREG=2*: Η παρούσα εντολή ενεργοποιεί την αυτόματη ασύγχρονη ενημέρωση του χρήστη (δηλαδή χωρίς προηγούμενη ερώτηση του) για την οποιαδήποτε αλλαγή κατάστασης συνδεσιμότητας του modem με το δίκτυο.

*AT+COPS?*: Επιστρέφει την τρέχουσα κατάσταση αναζήτησης παρόχου δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Όταν η εντολή επιστρέφει '0' δηλώνει πώς προσπαθεί με αυτόματες διαδικασίες να εντοπίσει και να συνδεθεί σε πάροχο. Η επιλογή του παρόχου εξαρτάται από τη φέρουσα κάρτα SIM.

*AT+CREG?*: Επιστρέφει την τρέχουσα κατάσταση αλληλεπίδρασης και εγγραφής σε δίκτυο κινητής. Όταν το δίκτυο κινητής επιτρέπει στο modem να συνδεθεί σε αυτό, η εντολή επιστρέφει τον τύπο δικτύου (τοπικό ή roaming) καθώς και πληροφορίες της κεραίας στην οποία έκανε την εγγραφή.

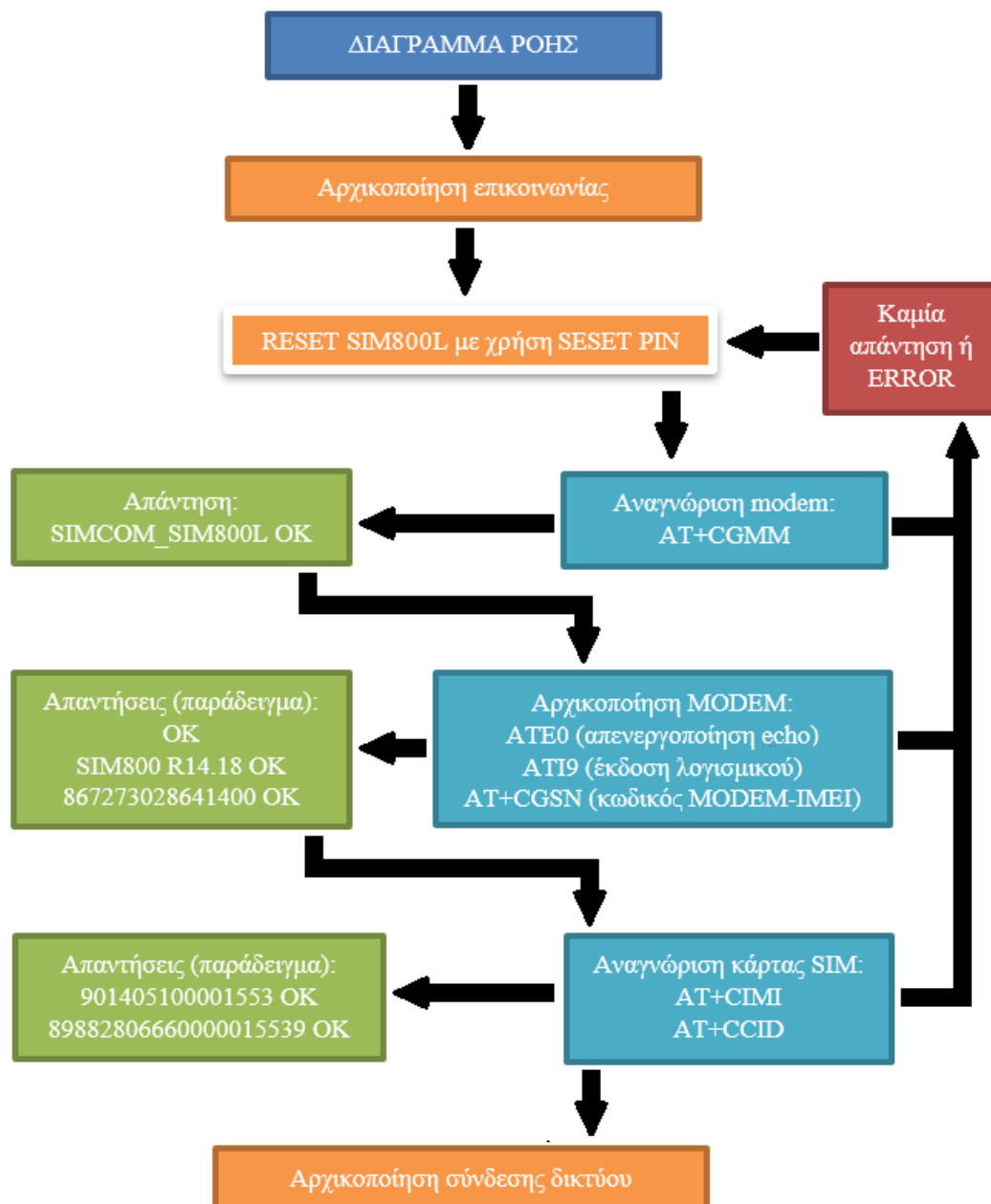
*AT+CGMF=1*: Με τη παρούσα εντολή, το modem ενεργοποιεί τη δυνατότητα αποστολής και λήψης μηνυμάτων SMS.

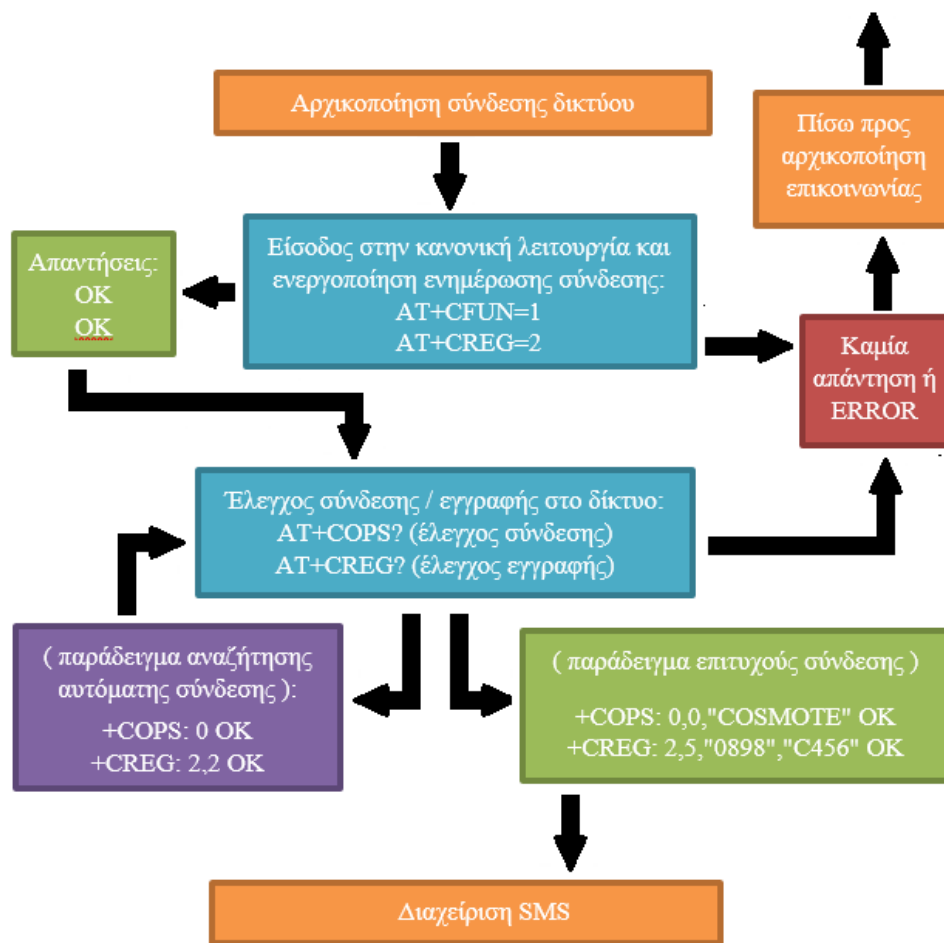
*AT+CCLK?*: Η εντολή επιστρέφει την τοπική ώρα και ημερομηνία που έχει εκείνη τη χρονική στιγμή το modem. Η ενημέρωση της ώρας εξαρτάται από το δίκτυο και τον πάροχο κινητής καθώς διαθεσιμότητα αυτόματης ενημέρωσης χρόνου από το δίκτυο είναι προαιρετική. Σε περίπτωση που η ώρα του modem δεν είναι ενημερωμένη, η ώρα του συστήματος ενημερώνεται από το πρώτο εισερχόμενο SMS ή/και την πρώτη αναφορά παράδοσης SMS.

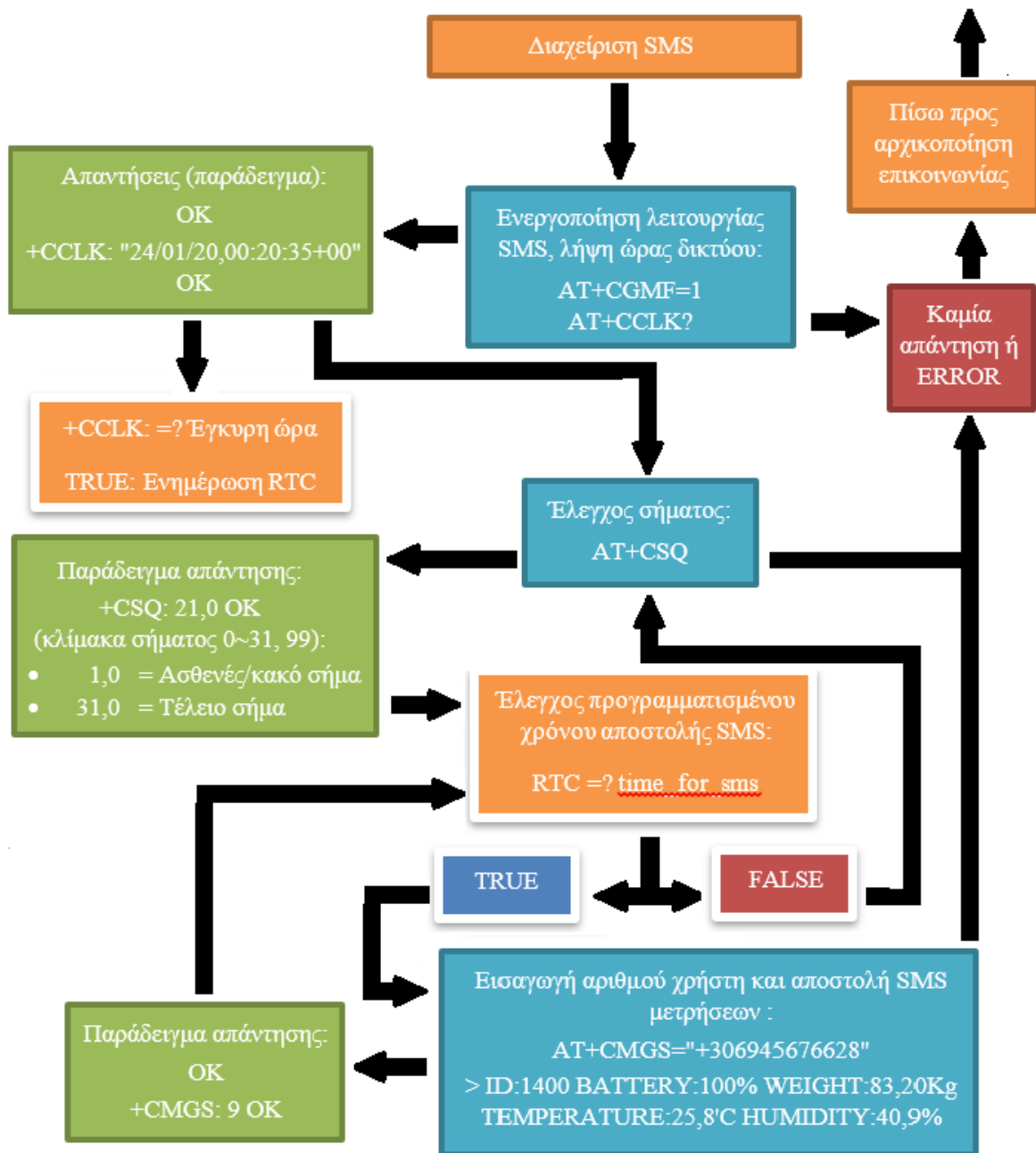
*AT+CSQ*: Επιστρέφει μια ενδεικτική τιμή ποιότητας σήματος μεταξύ του modem και της κεραίας – LQI (Link Quality Indication). Οι επιστρεφόμενες τιμές έχουν εύρος από 0 έως 31, όπου 0 θεωρείται χειρίστη ποιότητα σύνδεσης και 31 βέλτιστη.

*AT+CMGS=*: Ακολουθούμενη από έναν αριθμό κινητού τηλεφώνου, θέτει το modem σε κατάσταση προετοιμασίας αποστολής SMS. Το modem απαντά με το χαρακτήρα '>' δηλώνοντας έτοιμη να δεχθεί το SMS από το χρήστη. Όταν όλοι οι χαρακτήρες αποσταλούν στο modem, το SMS θα πρέπει να τελειώνει με τον δεκαεξαδικό αριθμό '0x1A' ώστε το modem να αποστείλει το SMS.

*AT+CBC*: Επιστρέφει πληροφορίες κατάστασης της μπαταρίας του συστήματος όπως την αντιλαμβάνεται το modem. Περιλαμβάνει την κατάσταση φόρτισης/εκφόρτισης, ποσοστιαίας στάθμης καθώς και βολτομετρικής ένδειξης της μπαταρίας σε mV.







## 6 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ/ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

---

Η παρούσα εργασία μπορεί να τεθεί ως βάση για ένα λειτουργικό και χρήσιμο εργαλείο απομακρυσμένης παρακολούθησης κυψελών μελισσοκομίας αλλά ίσως και άλλων εφαρμογών απομακρυσμένης παρακολούθησης βάρους μεγαλύτερων ή/και μικρότερων, όπως σιλό συτιρών, φορτίων φορτηγών κ.α.

Για την ενεργειακή αυτονόμηση του συστήματος, η ενσωμάτωση ενός μικρού φωτοβολταϊκού στοιχείου της τάξεως των 5Watt θα μπορούσε να το καταστήσει ενεργειακά ανεξάρτητο καθώς οι ενεργειακές του ανάγκες είναι πολύ μικρές.

Το σύστημα είναι επεκτάσιμο και από πλευράς διασυνδεσιμότητας. Έτσι, χρησιμοποιώντας τη διαθεσιμότητα του SIM800L για GSM/GPRS εφαρμογές, το λογισμικό του συστήματος θα μπορούσε να επεκταθεί με την ανάπτυξη εφαρμογής απευθείας αποστολής, αποθήκευσης και ανάλυσης δεδομένων στο διαδίκτυο.

## 7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f0-series.html>
- [2] <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f207vg.pdf>
- [3] [https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet\\_SIM800L.pdf](https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_SIM800L.pdf)
- [4] [www.elecrow.com/wiki/images/2/20/SIM800\\_Series\\_AT\\_Command\\_Manual\\_V1.09.pdf](http://www.elecrow.com/wiki/images/2/20/SIM800_Series_AT_Command_Manual_V1.09.pdf)
- [5] [https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711\\_english.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf)
- [6] [www.instructables.com/id/How-to-Interface-HX711-Balance-Module-With-Load-Ce/](http://www.instructables.com/id/How-to-Interface-HX711-Balance-Module-With-Load-Ce/)
- [7] <https://www.sparkfun.com/products/10245>
- [8] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/loadsensor.pdf>
- [9] <https://learn.sparkfun.com/tutorials/load-cell-amplifier-hx711-breakout-hookup-guide>
- [10] <https://learn.adafruit.com/dht/overview>
- [11] [https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/SHT1x\\_datasheet.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/SHT1x_datasheet.pdf)
- [12] [https://cdn.sparkfun.com/assets/learn\\_tutorials/6/9/5/MCP738312.pdf](https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/6/9/5/MCP738312.pdf)
- [13] <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html>
- [14] <https://atollic.com/truestudio/>
- [15] <https://www.freertos.org/RTOS.html>