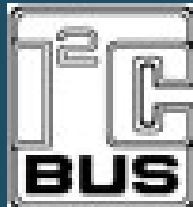


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών



Πρωτόκολλο IIC

Γκέκας Χρήστος
8^ο Εξάμηνο
email: chgkekas@auth.gr

Περίληψη Παρουσίασης

- * Τι είναι το πρωτόκολλο IIC
- * Που χρησιμοποιείται
- * Πότε ανακαλύφθηκε – Ιστορική Αναδρομή
- * Συνδεσμολογία
- * Οι έννοιες Master – Slave
- * Σήματα Ελέγχου
- * Διευθύνσεις των συσκευών
- * Τρόπος Λειτουργίας
- * Παραδείγματα
- * Πολλαπλές Συσκευές Master
- * Συγχρονισμός Ρολογιών
- * IIC στον AVR
- * Βιβλιογραφία



IIC – Inter Integrated Circuit

Το IIC είναι ένα πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας ολοκληρωμένων κυκλωμάτων με τα εξής χαρακτηριστικά:

- ✓ Χρήση μονάχα δύο αγωγών για την επικοινωνία των συσκευών.
- ✓ Χαμηλές ταχύτητες επικοινωνίας: Typical → 100 kbps, Fast → 400kbps, High Speed → 3.4Mbps
- ✓ Υποστήριξη πολλαπλών συσκευών στον ίδιο δίαυλο με κάθε συσκευή να διαθέτει την δική της μοναδική διεύθυνση.
- ✓ Επικοινωνία peer-to-peer μεταξύ δύο συσκευών κάθε φορά, ενός Master κι ενός Slave.
- ✓ Half – Duplex επικοινωνία: Κάθε φορά προς μία κατεύθυνση.
- ✓ Μόνο για κοντινές αποστάσεις (400 pF maximum bus capacitance).

IIC = I2C = I²C = TWI (Two Wire Interface)



Πού χρησιμοποιείται...

- LCD Displays
 - EEPROMs
 - ADC
 - DAC
 - Sonar Rangers
 - Compasses
 - CCD Cameras
 - Real Time Clocks
 - Thermal Sensors
 - Inter – μ C comm.
- Πολλές από αυτές τις συσκευές λειτουργούν μονάχα σαν Slave και περιμένουν παθητικά την έναρξη μίας σύνδεσης από μία άλλη συσκευή Master που βρίσκεται συνδεδεμένη στον δίαυλο.*
- Είναι δυνατή η τοποθέτηση πολλών τέτοιων συσκευών διαφορετικού είδους στο ίδιο κανάλι, εφόσον φυσικά υποστηρίζουν το πρωτόκολλο IIC.*
- Συνήθως μία συσκευή παίζει τον ρόλο του Master και συνδέεται διαδοχικά μέσω του διαύλου με τις άλλες για την άντληση πληροφοριών.*

Ιστορική Αναδρομή



Η ανακάλυψη του πρωτοκόλλου IIC έγινε από την εταιρία *Philips* στις αρχές της δεκαετίας του '80.

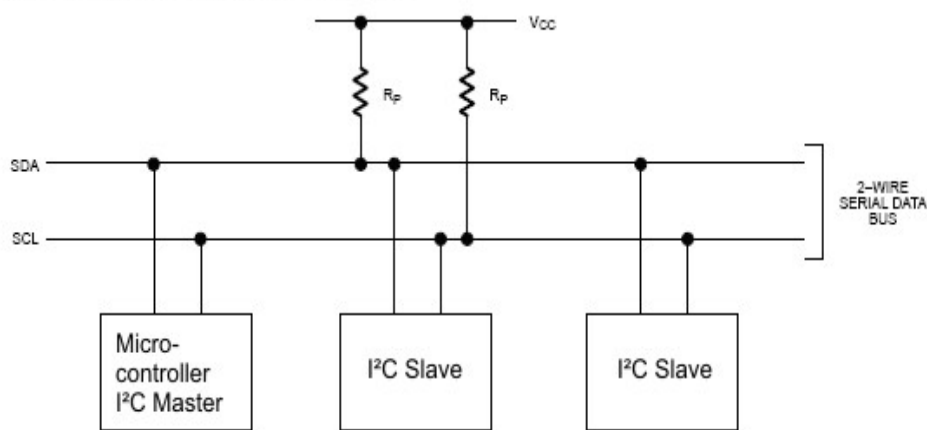


Για λόγους ανταγωνισμού το 1995 η *Intel* δημιούργησε το δικό της πρότυπο με την ονομασία **SMBUS** που εμπεριέχει στοιχεία του IIC και βασίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος σ' αυτό.

Η βιομηχανία τελικά αποδέχθηκε το πρωτόκολλο IIC και πολλοί κατασκευαστές μικροελεγκτών το έχουν ενσωματώσει στο hardware των συσκευών που παράγουν, όπως για παράδειγμα ο AVR της Atmel.

Συνδεσμολογία

TYPICAL 2-WIRE BUS CONFIGURATION



SDA → Serial Data
SCL → Serial CLock

Όταν ο διαυλος είναι ελεύθερος (IDLE), τότε οι γραμμές SDA και SCL είναι σε κατάσταση HIGH.

Οι έννοιες Master - Slave

Master

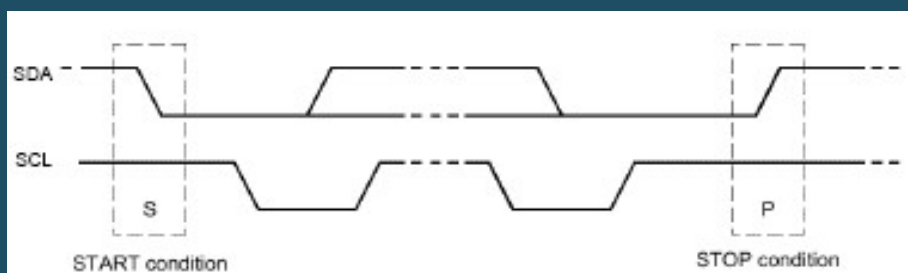
- Έναρξη – Τερματισμός επικοινωνίας
- Καθορισμός ρυθμού μετάδοσης – Δημιουργία παλμών στην γραμμή SCL.
- Καθορισμός διεύθυνσης της συσκευής Slave με την οποία θα γίνει η επικοινωνία.
- Επιλογή ανάγνωσης ή εγγραφής (Read / Write).
- Μπορούν να υπάρχουν πολλές συσκευές Master στον ίδιο δίαυλο, αλλά μονάχα ένας Master για μία δεδομένη χρονική στιγμή.

Slave

- Αναμονή μέχρι να θελήσει κάποιος Master να επικοινωνήσει μαζί του.

Σε μία επικοινωνία μεταξύ Master – Slave μπορεί είτε ο Master να είναι πομπός και ο Slave δέκτης είτε το αντίστροφο.

Σήματα Ελέγχου (1)



START

Για την έναρξη της επικοινωνίας χρησιμοποιείται το σήμα START. Κάθε συνδεδεμένη συσκευή περιμένει την μετάδοση πληροφοριών και τίθεται σε κατάσταση LISTEN.

STOP

Το σήμα STOP δηλώνει το τέλος της επικοινωνίας. Αμέσως μετά την μετάδοσή του, το κανάλι τίθεται σε κατάσταση IDLE.

Ένα μήνυμα μπορεί να περιέχει πολλά σήματα START (Repeated START). Αντίθετα, το σήμα STOP πάντα δηλώνει το πέρας της μετάδοσης, ακόμη κι αν μεταδοθεί στην μέση ενός byte μηνύματος.

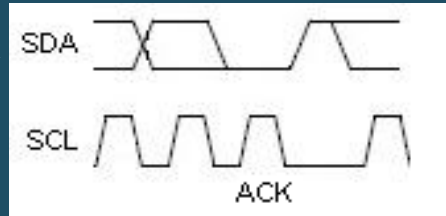
Τα σήματα START και STOP είναι μοναδικά στο πρωτόκολλο.

Σήματα Ελέγχου (2)

ACK (ACKNOWLEDGE)

Κάθε byte που μεταδίδεται από τον πομπό θα πρέπει να ακολουθείται από το σήμα ACK.

Με τον τρόπο αυτό επιβεβαιώνεται η ορθή λήψη του από τον δέκτη. Μετά το σήμα ACK ο πομπός μπορεί να συνεχίσει με το επόμενο byte ή να στείλει σήμα STOP.



NACK (NO ACKNOWLEDGE)

Δεν αποτελεί ειδικό σήμα και συμβαίνει όταν δεν δοθεί ACK μετά την μετάδοση του 8ου bit πληροφορίας. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι:

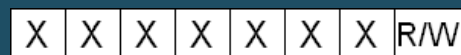
- (1) Δεν υπάρχει η συσκευή δέκτης
- (2) Έχει χαθεί ο συγχρονισμός
- (3) Ο δίαυλος είναι μπλοκαρισμένος

Διευθύνσεις

Τυπικά κάθε διεύθυνση αποτελεί ένα byte και έχει την εξής μορφή:

- 7 bits : Κώδικας επιλογής συσκευής (Device Select Code)

- 1 bit : Read / Write (0 = Write, 1 = Read)



Κρατημένες Διευθύνσεις:

1) General Call Address

00000000 Σε αυτήν απαντούν όλες οι συσκευές του διαύλου.

2) For Future Use

0000011X, 00001XXX, 11111XXX κ.α.

3) 10-bit Addressing Mode

Σύντομα παρουσιάστηκε η ανάγκη για περισσότερες διευθύνσεις και το IIC εκσυγχρονίστηκε έτσι ώστε να υποστηρίζει διευθύνσεις των 10 bit. Στην περίπτωση αυτή μία διεύθυνση αποτελείται από δύο byte και έχει την εξής μορφή:



Τρόπος Λειτουργίας (1)

Τα παρακάτω βήματα εκτελούνται μονάχα από τις συσκευές MASTER.

(1) Αποστολή του σήματος START.

Μόλις κάποια συσκευή Master αποστείλει το σήμα START, τότε όλες οι υπόλοιπες συσκευές του διαύλου θεωρούνται Slave και εισέρχονται σε κατάσταση LISTEN.

(2) Αποστολή της διεύθυνσης της συσκευής Slave.

Η συσκευή Master προσδιορίζει σε ποια συσκευή του διαύλου απευθύνεται.

(3) Αναμονή για ACK από την συσκευή Slave.

Η συσκευή Slave που θα "ακούσει" την διεύθυνσή της πρέπει να απαντήσει με το σήμα ACKNOWLEDGE.

(4) Αποστολή ενός byte δεδομένων (DATA).

Όταν η συσκευή Master δεχθεί το σήμα ACK, τότε προχωρά στην αποστολή του πρώτου byte δεδομένων.

Τρόπος Λειτουργίας (2)

(5) Αναμονή για ACK από την συσκευή Slave.

Σε κάθε byte δεδομένων που αποστέλλεται, η συσκευή Slave πρέπει να απαντήσει με ACK, δηλώνοντας ότι η λήψη έγινε με επιτυχία.

(6) ...

Τα βήματα 4 και 5 επαναλαμβάνονται για κάθε byte δεδομένων που αποστέλλεται.

(7) Αποστολή του σήματος STOP. Τέρματισμός της επικοινωνίας.

*Αφού έχουν σταλεί όλα τα bytes δεδομένων, η συσκευή Master παράγει το σήμα STOP για τέρματισμό της επικοινωνίας και απελευθέρωση του διαύλου. **BUSY → IDLE***

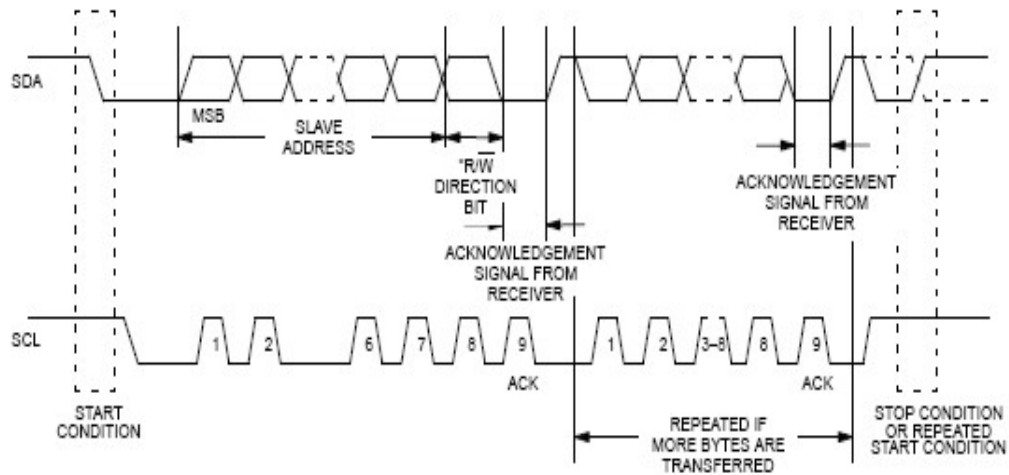
Από αυτήν την στιγμή και μετά, κάποια άλλη συσκευή Master μπορεί να δέσμεύσει τον δίαυλο για την έναρξη νέας επικοινωνίας με μία συσκευή Slave.

Στην περίπτωση που έχουμε διευθύνσεις 10bit:

Μετά την αποστολή του πρώτου byte διεύθυνσης, όλες οι συσκευές που υποστηρίζουν 10bit Addressing Mode απαντούν με ACK.

Τρόπος Λειτουργίας (3)

DATA TRANSFER ON 2-WIRE SERIAL BUS



Παράδειγμα 1

Έστω ότι στον ίδιο διάυλο έχουμε συνδέσει έναν μικροελεγκτή ως Master και μία μνήμη EEPROM ως Slave στην διεύθυνση 1101000. Θέλουμε να αποθηκευτούν στην μνήμη τα δεδομένα που θα στείλει ο μικροελεγκτής μέσω του διάυλου, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο IIC.

DATA WRITE - SLAVE RECEIVER MODE

	<Slave Address>		<Command>		<DATA>		<DATA>		<DATA>		
S	1101000	0	A	XXXXXXXX	A	XXXXXXXX	A	XXXXXXXX	A	XXXXXXXX	A P
	R/W										

S = START

A = ACK

P = STOP

Στην πλειοψηφία των συσκευών, το πρώτο byte που λαμβάνουν δεν είναι byte δεδομένων αλλά κάποιας μορφής εντολή.

Παράδειγμα 2

Έστω πως στην περίπτωση αυτή θέλουμε ο μικροελεγκτής να διαβάσει δεδομένα από την μνήμη EEPROM, χρησιμοποιώντας τον κοινό διαυλο και το πρωτόκολλο IIC. Θεωρούμε ότι η διεύθυνση της EEPROM δεν έχει αλλάξει.

DATA READ - SLAVE TRANSMITTER MODE

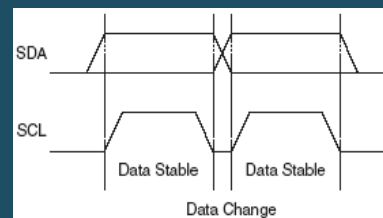


S = START
A = ACK
P = STOP
 \bar{A} = NOT ACK

Στην περίπτωση που η συσκευή Master λαμβάνει δεδομένα, πριν τον τερματισμό της επικοινωνίας θα πρέπει μετά την λήψη του τελευταίου byte μην στείλει το σήμα ACK.

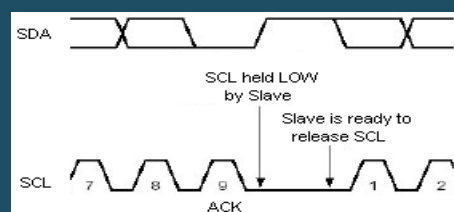
Λεπτομέρειες...

- (1) Για να μεταδοθεί σωστά ένα bit, θα πρέπει η κατάσταση της γραμμής SDA (LOW, HIGH) να παραμένει σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του παλμού στην γραμμή SCL.

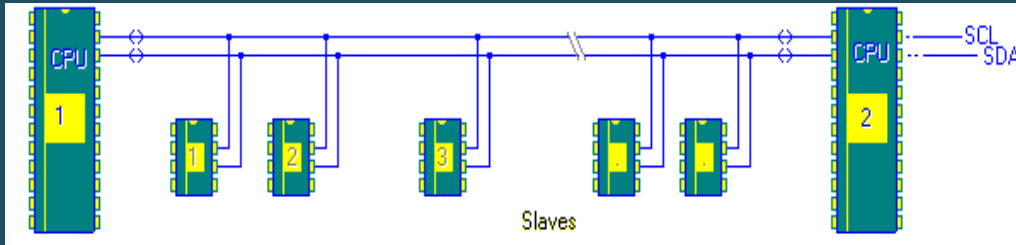


- (2) Σε κάθε μεταφορά Byte, πρώτα μεταδίδεται το Most Significant Bit.

- (3) Ο Slave έχει την δυνατότητα να καθυστερήσει τον Master δίνοντας σήμα ACK και κρατώντας την γραμμή SCL σε επίπεδο LOW (Clock Stretching).



Πολλαπλές συσκευές Master (1)



Έστω ότι ο μικροελεγκτής 1 επικοινωνεί με την συσκευή 3 και ότι ο μικροελεγκτής 2 θέλει να χρησιμοποιήσει κι αυτός τον διάυλο για επικοινωνία με άλλη συσκευή.

Στην περίπτωση αυτή ο μικροελεγκτής 2 αντιλαμβάνεται ότι ο διάυλος είναι BUSY, περιμένει την μετάδοση του σήματος STOP από τον μικροελεγκτή 1 και μετά προχωράει στην έναρξη της επικοινωνίας στέλνοντας σήμα START.

Πολλαπλές συσκευές Master (2)

Worst Case Scenario...

... εάν δύο συσκευές Master ξεκινήσουν μαζί την μετάδοση του σήματος START.

Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπάρξει **Διαίτησις (Arbitration)** ως εξής:

- (1) Κάθε Master συνεχίζει την αποστολή δεδομένων.
- (2) Τα παρατάει ο Master που αντιλαμβάνεται ότι η γραμμή SDA βρίσκεται σε άλλη κατάσταση από αυτήν που θέλει.
- (3) Ο Master που έχασε αυτόματα γίνεται Slave και παραδίδει τον έλεγχο του διαύλου.

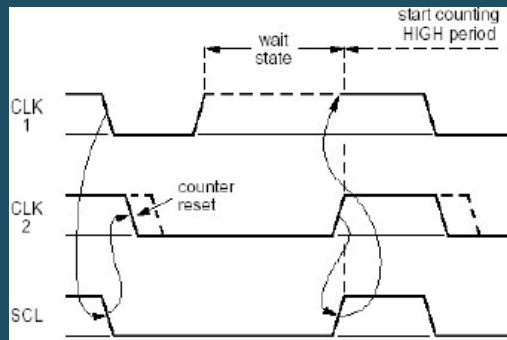
Παράδειγμα:

Έστω ότι και οι δύο μικροελεγκτές Master θέλουν ταυτόχρονα να επικοινωνήσουν με την συσκευή Slave στην διεύθυνση 1111001 για εγγραφή. Ο πρώτος θέλει να στείλει το 01010101 και ο δεύτερος το 01100110.



Συγχρονισμός Ρολογιών

1. Αρχικά $SCL = 1$
2. Το πρώτο CLK που θα μεταβεί από 1 σε 0 οδηγεί σε RESET των CLK των υπολοίπων συσκευών MASTER.
3. Η γραμμή SCL παραμένει σε κατάσταση 0 έως ότου την απελευθερώσουν όλοι οι Masters.
4. Τότε όλα τα CLK των Masters μετρούν την HIGH Period. Αυτό που θα τελειώσει πρώτο κάνει RESET στα υπόλοιπα.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ:

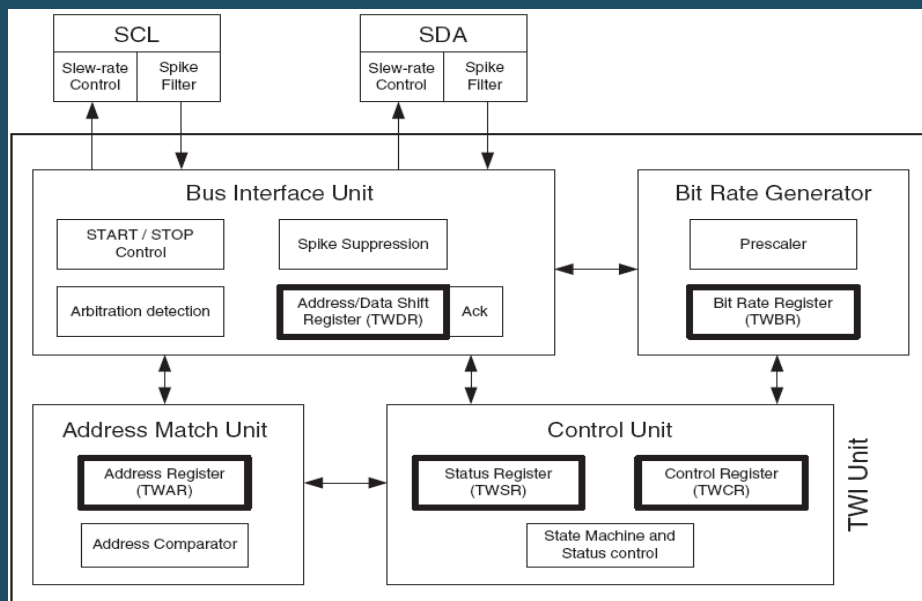
Η περίοδος LOW του SCL είναι ίση με την μέγιστη περίοδο LOW των Master.
 $LOW = \max \{Low \text{ Periods of involved Masters}\}$

Η περίοδος HIGH του ρολογιού είναι ίση με την μικρότερη περίοδο HIGH των Master.
 $HIGH = \min \{HIGH \text{ Periods of involved Masters}\}$

IIC ΣΤΟΝ AVR

(1)

Υποστήριξη 7bit διευθύνσεων και ταχύτητες επικοινωνίας έως τα 400Kbps.



IIC στον AVR (2)

TWBR – TWI Bit Rate Register

Τα περιεχόμενά του καθορίζουν την συχνότητα του Clock.

$$\text{SCL frequency} = \frac{\text{CPU Clock frequency}}{16 + 2(\text{TWBR}) \cdot 4^{\text{TWPS}}}$$

TWCR – TWI Control Register

Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της λειτουργίας του TWI.

7	6	5	4	3	2	1	0	
TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE	TWCR
R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R	R/W	

TWSR – TWI Status Register

Χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση της κατάστασης του διαύλου.

7	6	5	4	3	2	1	0	
TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	–	TWPS1	TWPS0	TWSR
R	R	R	R	R	R	R/W	R/W	

TWDR – TWI Data Register

Φορτώνεται κάθε φορά με το byte που θα αποσταλεί ή με το byte που έχει ληφθεί

TWAR – TWI Slave Address Register

Περιέχει την 7bit διεύθυνση της συσκευής.

Βιβλιογραφία

- www.wikipedia.org
- www.atmel.com (mega128 datasheet)
- www.esacademy.com/faq/i2c/
- embedded.com/story/OEG20010718S0073
- www.epanorama.net/links/serialbus.html

Επικοινωνία: chgkekas@auth.gr

Ευχαριστώ!

