



**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ &
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Ανάπτυξη συστήματος ασύρματου ελέγχου του επιταχυντή Tandem

Πτυχιακή Εργασία

Φοιτητής: Ηλίας Μαρόγλου
ΑΜ: 35813

Επιβλέποντες Καθηγητές

Ζαχαριάδου Αικατερίνη

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τμήματος Ηλεκτρολόγων & Ηλεκτρονικών Μηχανικών
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Παπαγέωργας Παναγιώτης

Καθηγητής Τμήματος Ηλεκτρολόγων Ηλεκτρολόγων & Ηλεκτρονικών Μηχανικών
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Χαρισόπουλος Σωτήριος

Διευθυντής Ερευνών Ινστιτούτου Πυρηνικής και Σωματιδιακής Φυσικής
ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος

Ημερομηνία: Οκτώβριος 2019



University of West Attica
Faculty of Engineering
Department of Electrical
and Electronics Engineering

Development of a wireless control system for Tandem accelerator

Degree Thesis

Student: Ilias Maroglou
Registration Number: 35813

Supervisors

Zachariadou Aikaterini

Associate Professor, Department of Electrical & Electronics Engineering
University of West Attica

Papageorgas Panagiotis

Professor, Department of Electrical & Electronics Engineering
University of West Attica

Charisopoulos Sotirios

Director Institute of Nuclear & Particle Physics
NCSR Demokritos

Date: October 2019

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος ασυρμάτου ελέγχου των τροφοδοτικών των πηγών ιόντων του επιταχυντή Tandem που στεγάζεται στο Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών (ΕΚΕΦΕ) «Δημόκριτος». Αρχικά παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας και η δομή του επιταχυντή Tandem και τα προβλήματα που προκύπτουν από την λειτουργία του. Στη συνέχεια, γίνεται μία σύντομη παρουσίαση ορισμένων τύπων εξελιγμένων συστημάτων σε σύγχρονους επιταχυντές και ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της αναγκαιότητας ανάπτυξης του συστήματος ασύρματου ελέγχου καθώς και των προδιαγραφών που πρέπει να πληροί, όπως χαμηλό κόστος και ευκολία στην παραμετροποίηση του, με βάση τις εκάστοτε ανάγκες. Ακολουθεί η περιγραφή των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν, των προβλημάτων που προέκυψαν και η αναλυτική δομή του τελικού συστήματος που δοκιμάστηκε εκτεταμένα πάνω στον επιταχυντή. Τέλος, ακολουθούν συμπεράσματα, προτεινόμενες βελτιώσεις και προοπτικές επέκτασης του συστήματος, με στόχο την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων μιας ασύρματης open-source πλατφόρμας.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της συνεργασίας του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής με το Εργαστήριο του Επιταχυντή Tandem του ΕΚΕΦΕ “Δημόκριτος” (Έργο CALIBRA / MIS5002799 / ΕΣΠΑ 2014-2020).

Λέξεις – κλειδιά

Επιταχυντής, σύστημα ελέγχου, Arduino, XBee, Ασύρματη Επικοινωνία, πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα, μικροελεγκτές.

Abstract

The goal of this thesis is the development of a wireless control system of the ion sources' power supplies of the Tandem particle accelerator that is located at the National Centre for Scientific Research (NCSR) "Demokritos". The Tandem accelerator structure and functionality is presented as well as the accelerator's malfunctions under certain circumstances. Additionally, advanced control systems of modern particle accelerators are presented. Then, the importance of the development of this wireless control system is analyzed and the specifications it must conform to, such as low cost and flexibility, depending on the operational needs. Next, the technologies that were used on this project and the problems that occurred during the system's development are presented as well as the structure of the system and its functionalities that were tested thoroughly both in the lab and on the accelerator. Finally, future development and expansion of the current control system of the Tandem accelerator are presented in order to utilize the full spectrum of capabilities that a wireless open-source platform has.

This thesis has been implemented in the framework of the collaboration of the Electrical and Electronics Engineering Department of the University of West Attica with the Tandem Accelerator Laboratory of NCSR "Demokritos" (Project CALIBRA / MIS5002799 / ESPA 2014-2020).

Keywords

Accelerator, Control System, Arduino, XBee, Wireless Communication, open source platforms, microcontrollers.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	Σελ.9
2. Ο ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗΣ TANDEM.....	Σελ.10
2.1 Η δομή του επιταχυντή.....	Σελ.11
2.2 Τομέας χαμηλής ενέργειας.....	Σελ.11
2.3 Ο κύριος θάλαμος του επιταχυντή.....	Σελ.12
2.4 Τομέας υψηλής ενέργειας.....	Σελ.12
2.5 Αναλυτής.....	Σελ.13
2.6 Πειραματικές γραμμές.....	Σελ.13
3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ SCADA ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΩΝ.....	Σελ.15
3.1 Μονολιθική αρχιτεκτονική συστημάτων ελέγχου επιταχυντών.....	Σελ.16
3.2 Αρχιτεκτονική πολλών επιπέδων συστημάτων ελέγχου επιταχυντών.....	Σελ.17
3.3 Λειτουργικά συστήματα και λογισμικά λειτουργίας της αρχιτεκτονικής πολλών επιπέδων.....	Σελ.18
3.4 Το σύστημα ελέγχου των τροφοδοτικών του επιταχυντή TANDEM.....	Σελ.20
3.5 Επιθυμητές προδιαγραφές ενός αναβαθμισμένου συστήματος ελέγχου των τροφοδοτικών.....	Σελ.21
4. ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	Σελ.22
4.1 Πλατφόρμες ανοιχτού υλισμικού.....	Σελ.22
4.2 Η πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα Arduino.....	Σελ.23
4.3 Τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας.....	Σελ.24
4.3.1 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας Wi-Fi.....	Σελ.24
4.3.2 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας Bluetooth.....	Σελ.25
4.3.3 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας Zigbee.....	Σελ.25
4.4 Η ηλεκτρονική μονάδα XBee.....	Σελ.26
4.5 Σύνδεση της μονάδας XBee με ηλεκτρονικό υπολογιστή.....	Σελ.27
4.5.1 Η κάρτα XBee Explorer.....	Σελ.28
4.5.2 Η κάρτα Arduino USB 2 Serial Converter.....	Σελ.30
4.6 Ασύρματη επικοινωνία μεταξύ μονάδων XBee.....	Σελ.31
4.6.1 Ο τρόπος επικοινωνίας Transparent (AT) Mode.....	Σελ.32
4.6.2 Ο τρόπος επικοινωνίας Application Programming Interface (API) Mode.....	Σελ.32
4.6.3 Προγραμματισμός με την εφαρμογή X-CTU.....	Σελ.32
4.6.4 Η διαδικασία ελέγχου της επικοινωνίας μεταξύ των μονάδων XBee.....	Σελ.35
5. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ WIRELESS CONTROL MODULE 2-2 (WCM 2-2).....	Σελ.40
5.1 Η υλοποίηση του Coordinator.....	Σελ.41
5.2 Η υλοποίηση του End-Device.....	Σελ.43
5.2.1 Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό σήμα.....	Σελ.43
5.2.2 Οι μετατροπείς ψηφιακού σήματος σε αναλογικό σήμα.....	Σελ.44
5.2.3 Η πηγή τάσης αναφοράς μεγάλης ακρίβειας.....	Σελ.47
5.2.4 Το κύκλωμα διπλασιασμού και υποδιπλασιασμού τάσης.....	Σελ.48
5.2.5 Το κύκλωμα τροφοδοσίας του συστήματος WCM 2-2.....	Σελ.49
5.3 Η κύρια πλακέτα του End-Device.....	Σελ.50
5.4 Ανάλυση της λειτουργίας του συστήματος WCM 2-2.....	Σελ.54
5.5 Χειρισμός του συστήματος WCM 2-2.....	Σελ.58
5.5.1 Η διεπαφή χρήστη “Tandem PSU Remote”.....	Σελ.58
5.5.2 Χειρισμός μέσω τερματικού σειριακής επικοινωνίας.....	Σελ.60
6. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ WCM 2-2.....	Σελ.62
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ.....	Σελ.67
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑΣ END-DEVICE.....	Σελ.68
9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΩΔΙΚΑ.....	Σελ.73
10.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	Σελ.100