

# CONTRIBUȚII PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA COMUNICAȚIILOR INDUSTRIALE ÎNTRE DIFERITE ECHIPAMENTE ALE UNUI SISTEM ELECTRIC

**Georgel Gabor** 

Conducător de doctorat: Prof. univ. dr. ing. Gheorghe Livinț

IAŞI, 2024

# UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI R E C T O R A T U L

Către

Vă facem cunoscut că, în ziua de 27 Septembrie 2024 la ora 11:00, în Sala de conferințe "Dragomir Hurmuzescu" a Facultății de Inginerie Electrică, Energetică și Informatică Aplicată, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

# "CONTRIBUȚII PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA COMUNICAȚIILOR INDUSTRIALE ÎNTRE DIFERITE ECHIPAMENTE ALE UNUI SISTEM ELECTRIC"

elaborate de domnul **GEORGEL GABOR** în vederea conferirii titlului ştiinţific de doctor.

Comisia de doctorat este alcătuită din:

- 1. **Sălceanu Alexandru, Prof. univ. dr. ing.** Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași
- 2. Livinț Gheorghe, Prof. univ. dr. ing. Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași
- 3. **Pavel Sorin Gheorghe, Prof. univ. dr. ing.** Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
- 4. **Rață Mihai, Conf. univ. dr. ing.** Universitatea "Ștefan cel Mare", Suceava
- 5. Lucache Dorin-Dumitru, Prof. univ. dr. ing. Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași

preşedinte

conducător de doctorat

referent oficial

referent oficial

referent oficial

Cu această ocazie vă invităm să participați la susținerea publică a



Secretar universitate, Ull Ing. Cristina Nagît

Cuprins	
Capitolul I. Introducere	4
1.1. Relevanța tezei de doctorat	4
1.2. Rezumatul tezei	4
CAPITOLUL II. COMUNICAȚII INDUSTRIALE – ASPECTE GENERALE ȘI PROTOCOALE DE COMUNICAȚII	7
2.1. Aspecte generale ale comunicațiilor industriale	7
2.2. Clasificarea comunicațiilor industriale	7
2.3. Arhitecturi și topologii ale protocoalelor de comunicație	7
2.3.1. Generalități	7
2.4. Versiuni ale protocolului de comunicație PROFIBUS-DP	8
2.4.1. PROFIBUS-FMS (Fieldbus Message Specification)	8
2.4.2. PROFIBUS-DP (Decentralized Periphery)	9
2.4.3. PROFIBUS-PA (Process Automation)	9
2.5. Parametri de rețea PROFIBUS	9
2.5.1 PROFIBUS DP-V0	9
2.5.2 PROFIBUS DP-V1	10
2.5.3 PROFIBUS DP-V2	10
2.6. Nivelul fizic al protocoalelor DP/FMS	10
2.7. Nivelul legăturii de date	11
2.8. Nivelul de Aplicație	11
2.9. Studiu asupra rețelei PROFIBUS și a nivelului de tensiune	12
2.10. Determinismul protocolului PROFIBUS	12
Capitolul III. ALGORITMI DE CONTROL ÎN REȚEA	13
3.1. Sisteme de control a întârzierii induse de rețea	13
3.2. Modelul matematic	14
3.3. Stabilitatea controlului prin rețea	16
3.4. Control predictiv prin rețea	16
3.4.1 Descrierea controlului predictiv generalizat	17
3.4.2 Funcția de transfer a motorului asincron trifazat	18
Capitolul IV. REȚELE DE SENZORI WIRELESS	20
4.1 Topologii de conectare	20
4.2 Algoritmi de rutare	20
4.3 Localizare și poziție	21
4.4 Metoda de trilaterizare a măsurării distanței	22
Capitolul V. APLICAȚII ALE COMUNCAȚIILOR INDUSTRIALE PENTRU CONTROL DIFERITELOR ECHIPAMENTE ELECTRICE	UL 26
5.1. Cupla electromagnetică cu alunecare. Construcția și principiul de funcționare	26

5.1	1.1 Reglarea vitezei sistemelor de acționare folosind cuplaje electrice	
5.1	1.2 Modelarea sarcinii realizată cu frâna electromagnetică cu alunecare	27
5.1	1.3 Descriere aplicației: Controlul prin rețeaua PROFIBUS-DP a unei cuple electromagnetice	
5.1	1.4 Implementarea controlului cuplei cu aluncare cu ajutorul PLC-ului	
5.1	1.5 Rezultate experimentale pentru controlul în rețea a cuplei cu alunecare	
5.2.	Controlul motorului asincron trifazat	
5.2	2.1 Controlul motorului asincron trifazat prin semnal analogic	
5.3.	Exemple de sisteme automatizate conduse de PLC prin intermediul PROFIBU	J <b>S-DP</b> 36
Capitolu	al VI. APLICAȚII PENTRU REȚELE CU SENZORI WIRELESS	
Capitolu	al VII.CONCLUZII, CONTRIBUȚII, DISEMINARE ȘI PERSPECTIVE	43
7.1.	Concluzii	43
7.2.	Contribuții personale	43
Anexa	a 1 Lista lucrărilor științifice elaborate de autorul tezei de doctorat	44
Bibliogra	afie	46

# **Capitolul I. Introducere**

# 1.1. Relevanța tezei de doctorat

Comunicația de mare viteză între diferite dispozitive și sisteme software este componenta cheie a oricărui sistem de automatizare industrială. Se poate spune că schimbul de date în timp real și coordonarea sarcinilor între diferite elemente ale rețelei este esența controlului procesului și a automatizării în general. Protocoalele de comunicare reprezintă o combinație de reguli utilizate în procesul de schimb de date al diferitelor dispozitive de rețea și sisteme software. În automatizarea industrială, protocoalele de comunicare sunt utilizate atât de soluții hardware, cât și de soluții software, precum și de combinații ale celor două componente.

# 1.2. Rezumatul tezei

Principalele obiective ale tezei pot fi sintetizate prin următoarele direcții abordate pe parcursul cercetării:

- Evaluarea metodelor clasice de control în contextul dezvoltării comunicațiilor industriale între diferite echipamente electrice;
- Cercetarea fezabilității controlului prin rețea aplicată unui stand ce cuprinde un cuplaj magnetic și o frână cu alunecare
- Propunerea unor metode de implementare a comunicațiilor industriale prin intermediul PLC-ului cu ajutorul protocolului PROFIBUS-DP;
- Dezvoltarea unor modele relevante pentru controlul prin rețea în cazul reglării turației unui motor de curent alternativ
- Implementarea unei rețele de senzori cu comunicație wireless folosind protocolul ZigBee.

Lucrarea de doctorat organizată în șapte capitole după cum urmează:

**Capitolul 2:** intitulat *Comunicații industriale - aspecte generale și protocoale de comunicații* prezintă diferitele tipuri de rețele și protocoale de comunicații, evoluția acestora. Este prezentat modelul de referință OSI (Open System Interconnection) pentru comunicațiile de date. Pentru protocolul de comunicații PROFIBUS (PRO cess FI eld BUS) se prezintă versiunile: PROFIBUS-FMS (Fieldbus Message Specification), PROFIBUS – DP (Decentralized Periphery), PROFIBUS-PA (Process Automation). Într-o rețea PROFIBUS se utilizează primele două nivele ale modelului OSI. nivelul Fizic și nivelul Legături de Date. Se studiază nivelul de tensiune într-o rețea PROFIBUS-DP. Este analizat determinismul protocolului PROFIBUS și se estimează ciclul de magistrală dependent de numărul de dispozitive slave (sclav) conectate la un master.

**Capitolul 3:** intitulat *Algoritmi de control în rețea* propune algoritmi eficienți pentru a elimina efectele întârzierilor și a variației acestora asupra performanțelor controlului prin rețea: un algoritm de control PID și un algoritm unic de control predictiv. Se propune un model de control al rețelei PROFOBUS, care este simulat în MATLAB.: semnalul de la senzor este un semnal în formă de dinte de ferestrău, cu frecvența de 1 Hz și amplitudine de 4V. Semnalul convertit de convertorul A/D (analog/digital) este un semnal în trepte.

Algoritmul de control predictiv generalizat (GPC) constă în aplicarea unei secvențe de control care minimizează o funcție de cost. O secvență de comandă u(t), u(t+1), ..., u(t+N), N fiind orizontul de predicție, obținute prin minimizarea funcției de cost, produce o secvență de ieșire  $[\hat{y}(t+1), \hat{y}(t+2), .., \hat{y}(t+N)]^t$ , care tinde la semnalul de referință.

**Capitolul 4:** În acest capitol, intitulat *Rețele de senzori wireless* sunt prezentate rețelele de senzori fără fir (WSN – wireless sensors networks) folosite pentru a măsura sau a monitoriza evoluția unor mărimi fizice cu o distribuție spațială neuniformă. Un modul autonom al unei rețele de senzori wireless conține mai mulți senzori, un microcontroler, un modul de transmisie-recepție și o sursă de alimentare (baterie). Informația de la senzorii din teren este colectată întrun nod principal care are funcții de analiză a datelor și de control.

Componenta de comunicație cu frecvența radio (RF) îndeplinește un rol important în funcționarea rețelelor de senzori fără fir. Conexiunile diferitelor echipamente sunt de tip: stea, magistrală sau inel.

În capitol sunt prezentate protocoalele de comunicație a informațiilor din rețelele de senzori wireless: 1. Flooding; 2. Gosipping, 3. Algoritmi de rutare cu asignare secvențială (SAR), 4. Leach (Low-energy Adaptive Clustering Hierarch), 5. TDMA (Time Division Multiple Access), 6. CSMA (Carrier Sense Multiple Access).

**Capitolul 5:** intitulat *Aplicații ale comunicațiilor industriale pentru controlul diferitelor echipamente electrice* este dedicat prezentării controlului prin rețea a trei procese industriale: controlul unei cuple electromagnetice, a unui motor asincron alimentat de la un convertor de frecvență și al unui sistem de irigații.

Caracteristicile mecanice ale cuplajelor cu alunecare au aceeași formă cu acelea ale motoarelor asincrone, deci prezintă un cuplu critic  $M_k$  și o alunecare critică  $s_k$ . În cuplajele cu alunecare, câmpul magnetic rotitor este creat prin rotirea inductorului și nu prin sistemul de curenți trifazați din stator. Reglarea vitezei la cuplajele electromagnetice este posibilă prin modificarea curentului de excitație.Pentru modelarea sarcinii s-a utilizat o frână electromagnetică cu alunecare, formată dintr-un rotor în scurtcircuit care este dispus în exteriorul statorului, care are o conexiunea Y, și un stator interior pe care este dispusă o înfășurare alimentată în curent continuu. Funcționarea frânei electromagnetice cu alunecare este similară unui motor

Rezultatele experimentale pentru controlul prin rețea a cuplei electromagnetice cu alunecare cuprind variația cuplului de sarcină funcție de viteza de acționare, variațiile histerezisului cuplului rezistent funcție de viteză, variația randamentului cuplajului electromagnetic funcție de viteză, pentru cuplu constant și pentru putere constantă.

Îmbunătățirea care a fost adusă acestui stand a fost aceea ca invertorul de frecvență este controlat de către un PLC prin intermediul protocolului PROFIBUS-DP. Prin acest protocol, care are ca mediu de transmisie un cablu cu 2 fire ecranate, se realizează în primul rând o economie de cabluri care ar fi trebuit conectate de la PLC la invertor. Astfel se poate realiza comanda de la distanță a invertorului și mai departe, prin intermediul PLC-ului, comanda poate fi transmisă de pe Internet.

A treia aplicație a comunicațiilor industriale, experimentată în acest capitol, are în vedere o stație de pompare a unui sistem de irigații. Amplasarea acestor stații de pompare impune un control și o monitorizare de la distanță având în vedere cererea tot mai mai mare de irigații.Controlul stației este realizat de către un PLC iar infromațiile legate de curentul absorbit de fiecare pompa în parte, respectiv comenzile pentru convertorul de frecvență sunt transmise prin protocoul Modbus. Ecranul HMI al stației de pompare prezintă pentru fiecare pompă câte un buton de Start, un buton de Stop și un numărător de ore de funcționare, care urmărește realizarea unei uzuri uniforme a pompelor. Regulatorul implementat este de tip PID și s-a dovedit experimental funcționarea dorită a stației. **Capitolul 6:** intitulat *Aplicații pentru rețele cu senzori wireless* propune o rețea de 10 senzori wireless care au la bază un transmițător MRF24J40MA, conectat la un microcontroller PIC16F882 pentru o aplicație de localizare a nodurilor de senzori bazat pe RSSI (Received Signal Strength Indicator) – indicator de putere a semnalului primit. Estimarea distanței bazată pe RSSI se bazează pe modelul atenuării semnalului pentru valori cunoscute ale nivelului de putere transmis și estimarea factorului de atenuare. Senzorii sunt dispuși într-o încapere și pentru diferite scenarii algoritmul implementat în microcontroller furnizează valori ale distanței senzorilor în perimetrul definit.

**Capitolul 7:** În acest capitol sunt prezentate concluziile prezentei teze de doctorat care sunt enumarate prin punerea în valoare a argumentelor, contribuțiilor personale, diseminarea rezultatelor dar și indicarea posibilelor direcții ulterioare de dezvoltare. Având în vedere activitatea de cercetare, expusă în principal în a doua parte a lucrării, este prezentată o sinteză atât a elementelor clasice cât și ale conceptelor și tendințelor de ultimă oră precum noțiuni de control în rețea sau rețele de tip senzori wireless.

# CAPITOLUL II. COMUNICAȚII INDUSTRIALE – ASPECTE GENERALE ȘI PROTOCOALE DE COMUNICAȚII

# 2.1. Aspecte generale ale comunicațiilor industriale

Comunicațiile industriale reprezintă schimbul de informații dintre două sau mai multe dispozitive. Comunicația dintre dispozitive este realizată cu ajutorul diferitelor protocoale de comunicație. Un protocol de comunicație este un set de reguli, care permit transferul și schimbul de date între dispozitive.

Avantajele principale ale magistralei de câmp FieldBus, față de comunicația tradițională pe fire separate includ:

- reducerea numărului de cabluri pentru conectarea dispozitivelor. De asemenea suporturile pentru cabluri, cutiile de legături, cabinetele electrice reduc greutatea, spațiul și costurile.
- reducerea numărului de conexiuni. Este un lucru important luând în considerare faptul că legăturile electrice sunt întotdeauna un punct vulnerabil într-o instalație reprezentate de apă, de coroziune sau probleme de scurtcircuit.
- datorită fluxului mare de date de transmis, dispozitivele au un anumit grad de inteligență putând transmite informații de diagnosticare, setări de parametri ce pot fi transferați cu ajutorul rețelei. Se reduce astfel timpul de punere în funcțiune.
- posibilitatea ca rețeaua de comunicație să poată fi extinsă ușor, în cazul adăugării de noduri noi în rețea. Astfel nu mai este necesară lăsarea de fire de rezervă în cabluri.

# 2.2. Clasificarea comunicațiilor industriale

Există o multitudine de protocoale de comunicație industriale folosite în întreaga lume. Unele protocoale folosite alături de computere specializate îndeplinesc doar rolul de a transmite date, de obicei de la senzori și transmițători. Altele sunt utilizate atât pentru transmiterea datelor cât și pentru controlul aplicațiilor.

Protocoalele de comunicație pot fi împărțite în domenii precum:

- a) automatizări industriale;
- b) sisteme de control industrial;
- c) automatizări pentru construcții civile;
- d) cititoare metrice automate;
- e) automobile/ vehicule.

# 2.3. Arhitecturi și topologii ale protocoalelor de comunicație

### 2.3.1. Generalități

Modelul de referință OSI (Open System Interconnection) este o stivă de protocoale de comunicație ierarhică care stă la baza a numeroase protocoale de comunicație. OSI este un standard al Organizației internaționale de standardizare, emis în 1984. Modelul de Referință OSI oferă metode generale pentru realizarea comunicației, sistemelor de calcul pentru ca acestea să poată schimba informații, indiferent de particularitățile constructive ale sistemelor (fabricant, sistem de operare, țară, etc).



Fig. 2.1 - Modelul de referință OSI

Modelul de Referință are aplicații în toate domeniile comunicațiilor de date, nu doar în cazul rețelelor de calculatoare. Modelul OSI divizează problema complexă a comunicării între două sau mai multe sisteme, în 7 straturi numite și niveluri (layers) distincte, într-o arhitectură ierarhică. Fiecare strat (nivel) are funcții bine determinate și comunică doar cu straturile adiacente. Cele 7 niveluri ale Modelului de Referință sunt: Aplicație (nivelul 7, superior), Prezentare, Sesiune, Transport, Rețea, Legătură de date, Fizic (nivelul 1, inferior). Termenii corespunzători din engleză sunt Application, Presentation, Session, Transport, Network, Data link, Physical.

### 2.4. Versiuni ale protocolului de comunicație PROFIBUS-DP

În funcție de aplicația în care este folosit, PROFIBUS poate fi utiizat sub forma a trei versiuni ale protocolului de comunicație, acestea fiind: PROFIBUS-FMS, PROFIBUS-DP și PROFIBUS-PA.

#### 2.4.1. PROFIBUS-FMS (Fieldbus Message Specification)

În cadrul acestui protocol sunt implementate nivelele 1, 2 si 7. Nivelul de aplicație se compune din FMS (Fieldbus Message Specification) și LLI (Lower Layer Interface). FMS conține protocolul aplicației și asigură, pentru FMS, accesul independent al dispozitivelor la Nivelul 2.

Profilele protocolului de tip FMS au fost definite de PNO (PROFIBUS User Organisation ori PROFIBUS Nutzerorganisation) pentru a asigura că serviciile de comunicație sunt adaptate la necesitățile funcționale, precum și pentru a defini funcțiile dispozitivelor astfel încât acestea să corespundă aplicației. Aceste profile FMS asigură că dispozitivele diverșilor producători să aibă aceleași funcționalități de comunicație.

# 2.4.2. PROFIBUS-DP (Decentralized Periphery)

Acest tip de protocol folosește nivelele 1 și 2 din structura OSI împreună cu interfața pentru utilizator, în timp ce nivelele începând de la 3 până la 7 nu sunt implementate. Prin intermediul acestei arhitecturi se asigură o viteză pentru transmisia datelor de până la 12Mbps. Serviciul DDLM (Direct Data Link Mapper) facilitează accesul între interfața cu utilizatorul și Nivelul 2 de legătură de date. Stratul fizic este definit prin intermediul tehnologiilor de transmisie RS-485 sau fibră optică.

Tipuri de profiluri PROFIBUS-DP:

- comunicația cu echipamente HMI (Human Machine Interface) prin care se definește conectarea la componente de la un nivel superior de automatizare. Pentru acest profil se utilizează setul extins de funcții. În acest fel, se implementeaz[ modul cum sunt controlate prin rețeaua PROFIBUS-DP de ex. roboții respectiv instalațiile de manipulare.

- pentru encoder: se descrie cum pot fi cuplate encoderele la rețeaua PROFIBUS-DP.

- pentru acționări cu viteză variabilă, convertoare de frecvență, (PROFIDRIVE), sunt specificați definițiile parametrilor acționării și cum se realizeză transmisia datelor în ceea ce privește valorile prescrise și valorile măsurate. Profilul mai conține și specificații necesare modului de operare : "controlul în viteză" respectiv "în poziție".

- profil pentru monitorizarea procesului și controlul operațional.

# 2.4.3. PROFIBUS-PA (Process Automation)

În cazul acestui tip de protocol se folosește protocolul extins PROFIBUS-DP pentru transmisia datelor între echipamente. Dispozitivele compatibile cu PROFIBUS-PA pot fi integrate cu ușurință în rețelele de tip PROFIBUS-DP prin intermediul unor cuploare de rețea.

Protocolul PROFIBUS-PA este utilizat pentru comunicațiile de mare viteză, caracteristică pe care trebuie să o aibă automatizarea proceselor industriale. Pe profilul de comunicație PROFIBUS-PA se pot realiza diferite topologii care includ traductoare și elemente de execuție, la o linie comună de magistrală, în zonele cu pericol de explozie(ex. rafinărie, uzină chimică etc).

# 2.5. Parametri de rețea PROFIBUS

Pentru controlul nodurilor din rețea, PROFIBUS folosește comunicația datelor ciclică. Acest nivel de protocol poartă numele de DP-V0. În cazul în care trebuie efectuate și task-uri de mentenanță și monitorizare, atunci datele trebuie transferate aciclic. Această funcție extinsă poartă denumirea de DP-V1. Celelalte servicii asigurate de DP-V2 includ și marcajul de timp și sincronizare de timp.

# 2.5.1 PROFIBUS DP-V0

Asigură funcționalitatea de baza DP-ului (Decentralized Periphery), care include schimbul ciclic de date dintre module, de diagnoză specifică a canalului între stații. Performanța maximă a PROFIBUS DP este atinsă la sistemele mono-master, unde avem un acces nelimitat la magistrală. Controlul centralizat al dispozitivelor, necesită un timp ciclic (perioada de timp în care toate slave- urile sunt adresate o dată), care este mai mic decât timpul intern de procesare al controler-ului.

În funcționarea normală, schimbul ciclic de date are loc între DP master și slave. Cu ajutorul serviciului SRD (Send and Request Data) sunt schimbați până la 224 byte de date pe ieșire și până la 224 byte de date pe intrare într-un singur cadru de date.

În cazul mesajelor multicast, care sunt trimise direct către toate dispozitivele, adresa de recepție 127 este rezervată în fiecare dispozitiv PROFIBUS indiferent dacă este master sau slave.

Pentru mesajele care sunt direcționate de o stație PROFIBUS către toate stațiile sau un grup de stații (broadcast sau multicast), este rezervată adresa de recepție 127 pentru fiecare stație.

# 2.5.2 PROFIBUS DP-V1

Este orientat către procesul de automatizare, în special comunicare aciclică de date pentru parametrizare, controlul operatorului, monitorizare și lucrul cu alarmele pentru dispozitivele inteligente din teren, în paralel cu o comunicare de date ciclică a utilizatorului.

Performanțele sistemului cu PROFIBUS DP sunt determinate de starea de operare a DPM1. Acesta poate fi controlat de dispozitivul de configurare atât local cât și de pe magistrală și poate avea trei stări: Stop, Clear si Operate.

- Stop: nu are loc schimb de date între DPM1 și slave.
- Clear: DPM1 citește informația ce vine de la slave și menține ieșirea către slave într-o stare protejată.
- Operate: DPM1 este în faza de transfer, iar intrările sunt citite de slave și informația de la ieșiri este trimisă către slave.

# 2.5.3 PROFIBUS DP-V2

Este orientat către cerințele de inginerie a controlului mișcării. Are funcționalități ca operațiile sincrone cu dispozitive slave și comunicații secundare cu slave-urile (Data Exchange Broadcast, DXB) etc.

Slave-urile DP inteligente pot monitoriza intrările de date de la alte DP slave, pe când celelalte sunt monitorizate de master DP. Acest transfer de date direct, slave către slave (lateral communication), permite configurarea de puncte cheie în cascadă pentru motoarele sincronizate.

EDD (Electronic Device Description) este o descriere textuală a dispozitivului, care nu depinde de sistemul de operare al sistemului. Descrierea funcțiilor dispozitivului care sunt comunicate aciclic include opțiuni grafice și informații despre dispozitiv (mesaje de mentenanță, data fabricării, etc). El este furnizat de către fabricantul dispozitivului și este folosit alături de fișierul GSD.

Unul dintre avantajele importante pe care le aduce comunicația descentralizată DP se reflectă în costurile legate de conexiunile electrice în comparație cu conexiunile electrice tradiționale. În timp ce în cazul conexiunilor electrice clasice dintre dispozitive, comunicația este unidirecțională și necesită interfețe separate pentru fiecare mărime fizică măsurată, în cazul magistralei de tip PROFIBUS comunicația este bidirecțională cu controlerul.

# 2.6. Nivelul fizic al protocoalelor DP/FMS

La nivelul 1 al PROFIBUS-DP, se realizeză o transmisie simetrică a datelor în conformitate cu standardul EIA RS-485, cunoscut și H2. Magistrala de comunicație este realizată dintr-o pereche de coductoare torsadate și ecranate, care sunt prevăzute la ambele

capete cu terminator de linie sau rețea. Datele pot fi transmise la viteze cuprinse între între 9,6 kbit/s și 12 Mbit/s.

Transmiterea datelor este de tip semi-duplex, asincronă, bazată pe o sincronizare fără întreruperi denumită "gap free" sau fără spații. Datele sunt transmise sub formă grupuri de caractere de 11 biți, sub formă de cod NRZ (Non Return to Zero).

Pentru o rețea sau segment PROFIBUS, lungimea permisă maximă variază în funcție de viteza de transmisie selectată. Pe un segment de rețea pot fi conectate împreună maxim 32 de noduri.

Pentru distante mari pot fi folosite cablurile de fibră optică din plastic sau sticlă ca mediu de transmisie a datelor. Astfel se pot ajunge la distanțe de până la 15 Km pentru cele din fibră de sticlă și 80 m la cele din fibră de plastic. Pentru conectarea cablului de fibră optică se folosesc module specializate denumite OLM (Optical Link Module) care pot avea unul sau două canale de tip RS 485 și unul sau două canale optice.

# 2.7. Nivelul legăturii de date

Funcțiile de control ale accesului la magistrală, securitatea datelor și procesarea protocoalelor de transmisie și a telegramelor sunt realizate la nivelul Legăturii de Date. Nivelul 2, numit FDL (Fieldbus Data Link) asigură mai multe servicii pentru trimiterea și recepționarea mesajelor pe magistrală.

Pentru a a avea control asupra accesului la magistrala, prtocolul denumit MAC (Medium Access Control), specifică momentul când un dispozitiv de pe magistrală poate transmite date. În felul acest, se asigură că doar un singur dispozitiv are această autorizație. Metodele folosite pentru control sunt atât metoda de master-slave cât si metoda de token passing, sau de pasare a jetonului.

Un proces important al Nivelului 2 este crearea unei copii de siguranță a datelor. În plus pe lângă controlul informației la nivel de byte și verificarea de bit, orice corupere a transferului de informație care necesită luare la cunoștință (acknowledgement) este detectată (Harmming Distance = 4) și cadrele de date transmise se vor repeta automat, daca este necesar. Distanța Hamming este un indicator folosit pentru a descrie robustețea transmisiei de date în rețeaua PROFIBUS

# 2.8. Nivelul de Aplicație

Nivelul 7 este nivelul de aplicație al modelului de referință ISO/OSI și asigură serviciile de comunicație necesare utilizatorului. Acest nivel asigură interfața FMS (Fieldbus Message Specification) si interfața LLI (Lower Layer Interface).

La PROFIBUS DP, nivelul 7 nu este specificat. Cu această arhitectură simplă, comunicația este extrem de rapidă și eficientă. La interfața cu utilizatorul, accesul se realizeză cu ajutorul DDLM (Direct Data Link Mapper) direct la funcțiile Nivelului 2.

Această procedură se descrie astfel: în momentul când un nod activ deține jetonul, acesta preia funcția de master pe magistrală pentru a comunica cu toate nodurile, active sau pasive iar schimbul de mesaje pe magistrală se realizează prin adresarea nodurilor. Fiecare nod al rețelei PROFIBUS are o adresă care trebuie să fie unică în acest sistem de comunicație. Intervalul de adrese folosibile într-un sistem magistrală de comunicație este între 0 si 126. Asta înseamnă că în sistem pot fi maxim 127 de noduri, stații conectate pe magistrală.

### 2.9. Studiu asupra rețelei PROFIBUS și a nivelului de tensiune

Pentru rețelele de dimensiuni mai mari, PROFIBUS-DP este cea mai bună alegere atunci când mesajele conțin un număr mic a datelor utilizatorilor, chiar dacă crește dimensiunea mesajului. Un avantaj al arhitecturii PROFIBUS-DP față de alte protocoale de rețea este acela ca întârzierea rețelei este efectuată la un nivel scăzut.



Lungime rețea (m)

### 2.10. Determinismul protocolului PROFIBUS

Într-o rețea PROFIBUS-DP există 3 tipuri de timpi de ciclu:

- 1. Master DP clasa 1(controller) controlează programul într-un timp de ciclu specificat. Înaintea fiecărui ciclu, data de intrare este citită și după fiecare ciclu, o nouă dată de ieșire este disponibilă. Acesta este ciclul de aplicație al master-ului;
- Slave DP preia data de ieşire, o procesează şi livrează o dată de intrare definită într-un anumit timp de ciclu. Acesta este ciclul de aplicație al sclavului;
- 3. PROFIBUS copie data de ieșire din DP master în DP slave și data de intrare din DP slave în DP master. Acesta este ciclul de magistrală.

Determinismul unui sistem se referă la abilitatea de a prezice comportamentul sistemului de- a lungul timpului. PROFIBUS utilizează un mecanism de interogare între master și slave. În funcție de cât timp este nevoie de un slave pentru a răspunde la un mesaj de la master acesta reprezintă timpul de reacție. Chiar dacă sistemul de comunicații PROFIBUS primește multe variații de semnal I / O (Input/Output) la un moment dat, nu există nici o schimbare în timpul de reacție. Mai mult, chiar dacă alt master (clasa 2) este folosit pentru a efectua diagnosticarea un slave în timp ce comunică cu master-ul de clasă 1, timpul de reacție pentru sistem va rămâne același. Acest lucru se datorează faptului că master-ului clasa 2 folosit pentru diagnosticare, nu i se va mai permite să folosească mai mult timp decât cel configurat în ciclul de magistrală.

Deoarece PROFIBUS este un protocol determinist, se poate calcula timpul de reacție al sistemului. Pentru aceasta avem nevoie de timpul de bit sau Bit-Time, timpul de sincronizare, timp de reacție, timp de așteptare.

# Capitolul III. ALGORITMI DE CONTROL ÎN REȚEA

Întârzierile de comunicație și fluctuațiile perioadei de control în sistemul de control prin rețea sunt doi factori importanți pentru a influența performanța de control. Fluctuațiile se referă la diferența de timp necesară pentru ca pachetele de date sa ajungă de la un nod al rețelei la altul în felul acesta măsurându-se inconsistența întârzierilor dintre pachete. Pe parcursul acestui capitol se dorește a se implementa algoritmi de control eficienți pentru a elimina efectele întârzierilor și variației asupra performanței controlului prin rețea. Algoritmii de control sunt concepuți pentru a depăși efectele întârzierilor și fluctuațiile de semnal asupra performanței controlului FCS. Va fi propus un algoritm de control PID și un algoritm unic de control predictiv. Eficacitatea algoritmilor de control proiectați este verificată prin simulare .

#### 3.1. Sisteme de control a întârzierii induse de rețea

Modelul de întârziere a rețelei este descris în Fig.3.1. Aici  $\Box_{ad}$  este întârzierea dintre senzor și regulator și  $\Box_{di}$  este întârzierea dintre regulator și element de acționare. Considerând acest design generalizat, modelul matematic al întârzierilor de rețea poate fi construit. Când construim acest model împărțim în trei părți respectiv sistemul controlat (instalația), regulatorul și sistemul de rețea care delimitează primele două părți. Întârzierea în sistem poate fi împărțită în următoarele două grupuri.

Această arhitectură conduce la o întârziere între aceste două părți, instalație respectiv sistemul de reglare. Metoda de transmitere și structura de transmitere a datelor de rețea sunt prezentate în Fig.3.2. Cel mai important factor în mediul rețelei, care afectează viteza de transmitere a datelor și implicit timpul petrecut în rețea, sunt datele utilizate în tehnologia de transmisie.

$$T_{as} = T_{af} + T_{ay} \tag{3.1}$$

unde Tas – timpul de transmisie în mediul de rețea, Tay – timpul de propagare în mediul de rețea, Taf – timpul de structurare a mesajului în mediul de rețea. Dimensiunea mesajului, densitatea datelor și distanța între două puncte (lungimea liniei de transmisie) sunt variabilele principale de determinare a duratei timpului.



3.2 Diagrama bloc a întârzierii induse de rețea





în mediul de rețea

### **3.2.** Modelul matematic

În controlul sistemelor prin rețea prin acordarea de atenție la întârzierea rețelei, transmisia datelor analizează proiectarea modelul matematic care poate fi configurat pentru sistemul controlat, regulator și, respectiv, sistemul de control al rețelei după cum urmează.

Instalația,

$$\dot{x}_{s}(t) = A_{s}x_{s}(t) + B_{s}u_{s}(t), \qquad (3.2)$$

$$y_s(t) = C_s x_s(t).$$
 (3.3)

unde  $A_s$ ,  $B_s$  și  $C_s$  sunt matrice convenabile ale parametrilor care afectează instalația sistemului. Regulatorul,

$$\dot{x}_{d}(t) = A_{d}x_{d}(t) + B_{d}u_{d}(t), \qquad (3.4)$$

$$y_d(t) = C_d x_d(t - \tau_d) + D_d u_d(t - \tau_d).$$
(3.5)

Următoarele egalități pot fi scrise cu atenție la întârzierile de rețea ale  $\tau_{ad}$ ,  $\tau_{di}$ .

$$u_d(t) = y_s(t - \tau_{ad})$$
  

$$u_s(t) = y_d(t - \tau_{di})$$
(3.6)

Sistemul de control de rețea, procesul și regulatorul satisfac următoarele inegalități:

$$\begin{cases} 0 \le \tau_{1} = \tau_{ad} \le \tau_{ad.max} = \tau_{1.max} \\ 0 \le \tau_{2} = \tau_{ad} + \tau_{d} \le \tau_{ad.max} + \tau_{d.max} = \tau_{2.max} \\ 0 \le \tau_{3} = \tau_{di} + \tau_{d} \le \tau_{di.max} + \tau_{d.max} = \tau_{3.max} \end{cases}$$
(3.7)

În plus,

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} \dot{x}_{s}(t) \\ \dot{x}_{d}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{s}x_{s}(t) \\ A_{d}x_{d}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{s}u_{s}(t) \\ B_{d}u_{d}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{s} \\ A_{d} \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} B_{s} \\ B_{d} \end{bmatrix} u(t) = \begin{bmatrix} A_{s} & 0 \\ 0 & A_{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{s}(t) \\ x_{d}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{s} & 0 \\ 0 & B_{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{s}(t) \\ u_{d}(t) \end{bmatrix}.$$
(3.8)

• Pe de altă parte, al doilea termen poate fi rescris, luând în considerare întârzierile, adică utilizând relațiile (3.6):

$$\begin{bmatrix} B_s & 0\\ 0 & B_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_s(t)\\ u_d(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0\\ B_s C_s & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s(t-\tau_1)\\ x_d(t-\tau_1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_s D_d C_s & 0\\ 0 & 0 \end{bmatrix} x_s(t-\tau_2) + \begin{bmatrix} 0 & B_s C_s\\ 0 & 0 \end{bmatrix} x_s(t-\tau_3).$$
(3.9)

În continuare, cu  $A = \begin{bmatrix} A_s & 0 \\ 0 & A_d \end{bmatrix}$ ,  $A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ B_s C_s & 0 \end{bmatrix}$ ,  $A_2 = \begin{bmatrix} B_s D_d C_s & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ ,  $A_3 = \begin{bmatrix} 0 & B_s C_s \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ , sistemul poate fi rescris astfel:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + A_1 x(t - \tau_1) + A_2 x(t - \tau_2) + A_3 x(t - \tau_3)$$
(3.10)

$$y(t) = [C_s \quad 0]x(t)$$
 (3.11)

Astfel, ajungem la egalitatea următoarea:

$$x(t) = [x_s(t) \quad x_d(t)]^T.$$
 (3.12)

Cu ajutorul Simulink care rulează în mediul MATLAB, pot fi simulate semnalele care se propagă prin mediul de comunicație PROFIBUS. Pentru a evalua în mod explicit diferitele structuri de control și pentru a rezolva problemele implicate în controlul prin rețea, va fi descris un model de simulare. Astfel s-a propus utilizarea de blocuri Matlab/Simulink, stabilirea modelul sistemului de control al rețelei PROFIBUS, prezentat în Fig. 3.3 și este simulată și analizată impactul cauzat prin întârziere de transmisie.



Fig.3.4 - Model control prin rețeaua PROFIBUS

Blocurile de semnal de ceas sunt folosite pentru a genera semnalul pentru fiecare dintre cele patru sub-procese ale modelului, iar preluarea semnalelor de comunicație este transmisă pe două direcții (de la master la sclav, de la sclav la master), în timp ce blocurile de întârziere sunt folosite pentru a simula durata fiecărei sarcini. Blocurile sample-and-hold sunt folosite pentru a simula începutul sau încheierea fiecărei sarcini a sub-procesului. Modelul are o intrare și 10 iesiri. Un semnal continuu este utilizat pentru intrare (portul 1) și 10 ieșiri simulate descrise după cum urmează:

Blocurile *Sample* și *Hold* sunt folosite pentru a simula începutul și sfârșitul fiecărei acțiuni. Un semnal în formă de dinte de ferăstrău, setat pentru amplitudine 4, frecvență de 1Hz este generat de generatorul de semnal și este folosit pentru a simula semnalul de la senzor care va fi trimis la convertorul A/D. Semnalul de ceas determină perioada de eșantionare. Fig.3.4 prezintă semnalul de la începutul conversiei A/D , adică o ieșire de la portul 1 din model. Semnal în formă de dinte de ferăstrău reprezintă un semnal de intrare, iar semnalul în trepte arată procesul de eșantionare și memorare, astfel semnalul primit este implementat convertorul A/D al sclavului.

# 3.3. Stabilitatea controlului prin rețea

Stabilitatea unui sistem de control în buclă închisă este un domeniu de care trebuie ținut cont în momentul proiectării unui regulator. Variațiile de întârziere induse de rețea sunt sursa majoră de instabilitate în controlul prin rețea. În cele ce urmează se va analiza unele dintre criteriile de stabilitate și, de asemenea, în general, pentru diferite sisteme de întârziere.

În controlul prin rețea, se poate admite că poate fi definită o limită superioară pentru variația întârzierii. Cu toate acestea, dacă întârzierea unui singur pachet depășește limita superioară, pachetul ar trebui să fie abandonat,



Fig.3.5 - Analiza timpului în mediul de rețea

dar acest lucru necesită luarea în considerare a efectului pierderii pachetelor. Dacă majoritatea pachetelor depășesc valoarea limita superioară, sistemul de control ar trebui oprit. Pentru un sistem care variază în timp dar întârzierea este limitată, ar putea fi folosită valoarea maximă a întârzierii pentru a proiecta cazul cel mai defavorabil. Folosind un sistem de ordin I cu întârziere variabilă, în anumite cazuri regiunea de stabilitate a sistemului este mai mică în raport cu întârzierea variabilă decât cu o întârzierea maximă constantă [25]. Aceasta indică faptul că a algoritmul de control conceput pentru o valoare a întârzierii maximă fixă, nu stabilizează neapărat un sistem când întârzierea variază între valorile sale minime și maxime.

Criteriile de stabilitate pentru sistemele cu întârziere sunt adesea dovedite folosind teorema *Lyapunov-Krasovskii* sau *Razumikhin*. Cele mai multe dintre rezultatele existente de stabilitate pentru sistemele cu întârzieri variabile se bazează pe aceste două teoreme.

### 3.4. Control predictiv prin rețea

Acest capitol descrie unul dintre cei mai utilizați algoritmi de control predictiv: *Controlul predictiv generalizat* (GPC). Metoda GPC a fost propusă de Clarke et al. și a devenit una dintre cele mai populare metode de control atât în industrie, cât și în mediul academic. Ea a fost implementată cu succes în multe aplicații industriale, demonstrând performanțe bune și un anumit grad de robustețe.

Conceptul algoritmului predictiv este de a calcula o secvență de semnale de control viitoare astfel încât aceasta să minimizeze o funcție de cost în mai multe etape definită pe un orizont de predicție. Indicele care trebuie optimizat este așteptarea unei funcții pătratice care măsoară distanța dintre ieșirea prezisă a sistemului și o anumită secvență de referință prezisă pe orizont, plus o funcție pătratică care măsoară efortul de control.

#### 3.4.1 Descrierea controlului predictiv generalizat

Majoritatea proceselor cu o singură intrare și o singură ieșire (Single Input-Single Output SISO), atunci când se ia în considerare funcționarea în jurul unui anumit punct de referință și după liniarizare, pot fi descrise prin

$$A(z-1) \cdot y(t) = z - d \cdot B(z-1) \cdot u(t-1) + C(z-1) \cdot e(t)$$
(3.13)

unde u(t) și p(t) sunt secvența de intrare și de ieșire a instalației, iar e(t) este un zgomot alb cu medie zero. *A*, *B* și sunt următoarele polinoame în operatorul de deplasare înapoi, *z*-1 iar *d* este timpul mort al sistemului. Acest model este cunoscut ca model de Controler Auto-Regresiv de Medie Alunecătoare CARMA (Controller Auto-Regressive Moving-Average). S-a argumentat că, pentru multe aplicații industriale în care perturbațiile sunt nestaționare, un model CARMA integrat (Controller Auto- Regressive Integral Moving Average CARIMA) este mai adecvat. Un model CARIMA este descris de următoarea relație:

$$A(z-1) \cdot y(t) = z - d \cdot B(z-1) \cdot u(t-1) + C(z-1) \cdot (e(t)) / \Delta$$
(3.14)

Pentru simplificare, în cele ce urmează, polinomul *C* este ales să fie 1. Se observă că, dacă *C*-1 poate fi trunchiat, acesta poate fi înglobat în *A* și *B*. Prin împărțirea relației (3.21) la polinomul C(z-1), acesta va fi conținut în noile polinoame echivalente A(z-1), B(z-1).



Fig. 3.6 - Aproximarea traiectoriei

Obiectivele controlului predictiv constau în calculul unei secvențe viitoare de control u(t), u(t+1), ..., astfel încât ieșirea la momentul viitor t+j, y(t+j) al procesului, simulate după ecuațiile procesului, să se apropie (chiar să fie egală) cu w(t+j), traiectoria de referință. Acest lucru se realizează prin minimizarea funcției cost. În scopul optimizării funcției cost se va folosi predicția optimă (simulată) a secvenței de ieșire y(t+j) pentru  $j \ge N_1$  și  $j \ge N_2$ .

Acest lucru arată într-o manieră explicită, ceea ce se poate vedea și din Fig.3.6, că dacă nu avem erori de predicție, ceea ce înseamnă (W - f) = 0, atunci comanda nu mai variază și astfel rămâne evoluția liberă a procesului.



Fig.3.7 - Control GPC

Totodată, aceasta este o acțiune de control de tip proporțional (factorul de amplificare K) în funcție de viitoarele erori. Trebuie remarcat că acțiunea de control este făcută cu respectarea erorilor viitoare și nu în funcție de erorile trecute cum era cazul unui controler convențional de tip feedback. Trebuie reținut că numai primul element al secvenței de comenzi din vectorul Ueste aplicat și procedura este repetată la următoarea perioadă de eșantionare. Soluția *GPC* presupune calculul unei matrice de dimensiune  $N \square N$ , care poate necesita un timp de prelucrare semnificativ, de care trebuie ținut cont pentru a se încadra în perioada de eșantionare. Datorită vitezei de prelucrare a sistemelor cu microprocesoare actuale, metoda de control predictiv GPC este aplicabilă și pentru procese rapide.

#### 3.4.2 Funcția de transfer a motorului asincron trifazat

Se consideră schema echivalentă pe fază raportată la stator, așa cum este prezentată în Fig.3.7.



Fig.3.8 - Schema echivalentă pe fază raportată la stator

Se scriu ecuațiile de tensiuni:

$$U_1(s) = R_1 I_1(s) + j X_{r1} I_1(s) + E_1(s)$$
(3.15)

unde  $R_1$ =rezistența statorică pe fază

X<sub>rl</sub>= reactanțe de scăpări pe o fază statorică

 $E_1$  = tensiune electromotoare

Se consideră fluxul în întrefier  $\phi$ =constant, atunci cuplul electromagnetic este

$$T_e = K \emptyset I_1(s) = K_t I_1(s)$$
(3.16)

și tensiunea electromotoare

$$E_1 = K \phi \omega_e = K_e \omega(s) = K_e \theta'(s)$$
(3.17)

Cuplul mecanic  $T_m(s)$  exprimat cu ajutorul transformatei Laplace este:

$$T_m(s) = (Js^2 + Bs)\theta(s) = (Js + B)\theta'(s)$$
(3.18)

unde J=momentul de inerție al motorului

B=coeficientul de frecări vâscoase.

Astfel se poate întocmi următoarea schemă echivalentă bloc a motorului asincron: unde  $T_r=T_L$ = cuplu rezistent (de sarcină). Se consideră  $T_r=0$ .



~ / `

Fig. 3.9 - Schema echivalentă bloc

$$I_n(s) = \frac{U_1(s) - E_1(s)}{Z(s)} = \frac{U_1(s) - E_1(s)}{R_1 + sX_{\sigma_1}}$$
(3.19)

Din Fig.3.8 rezultă:

$$\frac{\theta(s)}{U_1(s)} = \frac{K_t}{(Js^2 + Bs)Z(s) + K_a K_t s}$$

$$\frac{\theta(s)}{U_1(s)} = \frac{K_t}{JL_M s^3 + (R_1 J + BL_{\sigma 1})_t s^2 + (BR_1 + K_a K_t) s}$$
(3.20)

# Capitolul IV. REȚELE DE SENZORI WIRELESS

Rețelele de senzori fără fir (wireless) sunt folosite pentru a măsura sau a monitoriza evoluția unor mărimi fizice ce au o distribuție spațială de obicei neuniformă. Aceste rețele sunt formate din module autonome care au de obicei în componență unul sau mai mulți senzori de diferite tipuri, un microcontroller, un modul de transmisie-recepție și o sursă de alimentare (baterie).

Un nod de rețea se compune dintr-un circuit format din microcontroler, un procesor de semnal, unul sau mai mulți senzori și un circuit specializat de transmisie și receptie radio. În microcontroller se înscrie un program, care implementează protocolul de comunicație în rețea și procedura de achiziție, filtrare și stocare temporară a datelor transmise[30].



Fig.4.10 - Schema bloc a unui nod senzor rețea

Pentru noduri mai complexe funcțiile de comunicație și cele legate de achiziția datelor sunt implementate separat în 2 circuite de tip microprocesor. Senzorii de la nivelul unui nod generează fie semnale digitale, fie semnale analogice. Aceste semnale sunt achiziționate de interfețe de care dispune microcontroler-ul. Uneori sunt necesare circuite de adaptare pentru amplificarea, filtrarea și eșantionarea semnalelor generate de senzori. Transmisia datelor se face cu ajutorul undelor radio.

### 4.1 Topologii de conectare

Pentru a transmite date de la un nod la altul, rețelele fără fir folosesc unde radio și de gateway-uri pentru interfațarea cu un controler care gestionează fluxul de informații.

În mediul industrial de întâlnesc diferite echipamente interconectate între ele. Asemenea conexiuni permit dispozitivelor să facă schimb de informații între ele și să ofere informații utilizatorului. Cele mai răspândite topologii de conectare a diverselor echipamente sunt de tip: stea, magistrală sau inel.

# 4.2 Algoritmi de rutare

Protocoalele de rutare a informației cele mai studiate în literatura de specialitate fac parte din protocoalele de comunicație din rețelele wireless de senzori[36]. Această secțiune are

menirea de a prezenta succint problematica rutării informației în rețelele wireless de senzori. Făcând referire la modelul OSI, Fig 1.2, protocoalele de rutare se găsesc în nivelul 3 din stiva de protocoale, în nivelul rețea.

# LEACH(Low-energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH este un protocol ierarhic în care majoritatea nodurilor transmit către nodurile principale (conducătoare) ale cluster-ului, iar acestea comprimă datele și le transmit la stația de bază (sink). Fiecare nod folosește un algoritm stocastic, care la fiecare rulare determină dacă va deveni un nod conducător al cluster-ului în acest ciclu. Astfel se utilizează rotația aleatorie a stațiilor de bază de cluster locale (capete-cluster) pentru a distribui uniform energia între senzorii din rețea. Modul de operare al LEACH este împărțit în două faze:

*Faza activă*: În această fază nodurile senzor pot începe să detecteze și să transmită informații conducătorilor de grup. Aceștia acumulează informațiile de la nodurile din grupul lor înainte de a le trimite la bază. După o anumită perioadă de timp petrecută în această fază rețeaua intră iar în faza de setup și într-o altă rundă de selecție a conducătorilor de grup.

### TDMA (Time Division Multiple Access)

Protocolul TDMA (Acces multiplu cu diviziune temporală) este un protocol de acces la canalul de comunicație pentru rețele, care partajează un mediu de comunicație, permițând ca mai mulți utilizatori să utilizeze același canal de frecvență, divizând semnalul în diferite cadre de timp. Utilizatorii transmit într-o succesiune rapidă, unul după altul, fiecare utilizând un cadru de timp propriu, permițând astfel mai multor noduri să partajeze același canal de radio-frecvență.

### CSMA (Carrier Sense multiple Access)

Protocolul CSMA (Acces multiplu emițător senzitiv) este un protocol de acces la mediul fără fir de tip probabilistic, în care un nod verifică absența oricărui alt trafic înainte de a iniția transmisia proprie prin mediul de transmitere partajat. "Carrier Sense" reprezintă faptul că emițătorul "ascultă" canalul de comunicație și încearcă să detecteze prezența unui semnal purtător generat de un alt emițător, înainte de a începe transmisiunea propriu-zisă.

### 4.3 Localizare și poziție

Există mai multe posibilități în proiectarea sistemelor de poziționare locală. Mai jos vor fi explicate diferite mărimi și modalități de procesare a măsurătorilor[41]. Aceste sisteme se bazează de obicei pe două tipuri de dispozitive:

Slave reprezintă unul sau mai multe dispozitive, în general statice, care răspund la solicitările Master-ului.

Master este dispozitivul de localizat, cel care solicită informații de la restul dispozitivelor de la care extrage magnitudinea necesară.

### Metode de localizare

### Triangulizarea

Triangulizarea se bazează pe următoarea proprietate: prin cunoașterea vârfurilor unui triunghi și unghiurile sale interne, este posibil să se determine orice poziție în interiorul triunghiului. Fiecare Slave va fi pe vârful triunghiului. Cunoscând unghiul de sosire pentru fiecare dispozitiv Slave și folosind geometria, poziția poate fi găsită.

# Trilaterizarea

În timp ce triangulația folosește unghiuri, trilaterizarea folosește doar distanțe pentru a estima poziția obiectului de localizat într-un plan bidimensional. Pentru asta, distanța trebuie calculată prin cel puțin trei antene. Aceste antenele au o rază de circumferință acolo unde va fi punctul de localizare. Intersecția dintre cele trei circumferințe va determina o mică regiune în care obiectul va fi localizat. Dacă luăm în considerare centrul acelei regiuni, vom localiza obiectul, iar distanța de la centru la un vârf va fi dată de acuratețea matematică a sistemului nostru.

#### Amprentarea

Amprentarea sau recunoașterea modelelor, încearcă să se potrivească cu vectorul magnitudinii măsurate provenind de la diferiți Slave la un eșantion stocat de obicei într-o bază de date folosind algoritmul k-cel mai apropiat vecin. Eșantioanele stocate în baza de date au fost luate ca valoari de calibrare, deci înainte de a folosi această metodă, este necesară o mapare a amplitudinii la fața locului. Aceasta compensează erorile produse de obiecte sau pereți, întrucât atenuările sunt aceleași la momentul calibrării și măsurării locației[44]. Principalul avantaj al acestei metode în comparație cu trilaterizarea este că toate calculele sunt reduse, dar vor deveni inexacte la o schimbare a mediului.

### 4.4 Metoda de trilaterizare a măsurării distanței

Algoritmul de localizare bazat pe trilaterizare este un algoritm de localizare distribuit bazat pe echipamente care transmit un semnal catre toți (broadcasting) și care se bazează pe interval de măsură, adică folosește estimarea distanței pentru a calcula poziția în planul 2D a nodurilor dintr-o rețea cu ajutorul unei caracteristici a semnalului de comunicare de la nodul emițător la nodul receptor numit Indicator de putere a semnalului primit (RSSI).

Întrucât măsurătorile RSSI nu au nevoie de hardware suplimentar sau de câmp liber pentru a localiza nodurile, propagarea pe mai multe căi este un fenomen major care afectează fiabilitatea măsurătorilor RSSI, deoarece semnalele de magnitudine diferită care sosesc defazate la receptor provoacă interferențe și implicit erori de măsurare.

Principiul metodei de poziționare a trilaterării este de a găsi coordonatele punctului de intersecție al celor trei raze cunoscute și centrul de coordonate (X,Y). Se cunosc coordonatele celor trei referință sunt nodurile  $N_a(x_a, y_a)$ ,  $N_b(x_b, y_b)$  și  $N_c(x_c, y_c)$ . Distanțele lor până la nodul necunoscut  $N_0(x, y)$  sunt respectiv  $d_a$ ,  $d_b$ , și  $d_c$  și se poate stabili următorul set deecuații pentru a obține punctul  $N_0$ .

$$d_a^{\ 2} = (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 \tag{4.1}$$

$$d_b^2 = (x - x_b)^2 + (y - y_b)^2$$
(4.2)

$$d_c^2 = (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2$$
(4.3)

Deoarece se presupune că toate nodurile se întind pe același plan, luând în considerare cele trei noduri de ancorare (a, b și c) care au distanță ( $d_a$ ,  $d_b$ ,  $d_c$ ) la nodul necunoscut, așa cum este ilustrat în Fig. 4.6.



Fig. 4.6. Măsurare prin trilaterizare

Ecuațiile (4.1), (4.2) și (4.3) pot fi extinse în continuare la următoarele ecuații:

$$d_a^2 = x^2 - 2xx_a + x_a^2 + y^2 - 2yy_a + y_a^2$$
(4.4)

$$d_b^{\ 2} = x^2 - 2xx_b + x_b^2 + y^2 - 2yy_b + y_b^2 \tag{4.5}$$

$$d_c^2 = x^2 - 2xx_c + x_c^2 + y^2 - 2yy_c + y_c^2$$
(4.6)

Cele trei ecuații (4.4), (4.5) și (4.6) sunt ecuații simultane neliniare independente așa încât scăzând ecuația (4.6) din ecuația (4.5) se obține următoarea ecuație:

$$d_b^2 - d_c^2 = 2x(x_c - x_b) + x_b^2 - x_c^2 + 2y(y_c - y_b) + y_b^2 - y_c^2$$
(4.7)

Scăzând ecuația (4.5) din ecuația (4.4), se obține următoarea ecuație:

$$d_b^2 - d_a^2 = 2x(x_a - x_b) + x_b^2 - x_a^2 + 2y(y_a - y_b) + y_b^2 - y_a^2$$
(4.8)

Rearanjarea ecuației (4.7) pentru a produce o nouă ecuație și o nouă variabilă notată  $v_a$ , după cum urmează

$$x(x_c - x_b) + y(y_c - y_b) = \frac{(d_b^2 - d_c^2) - (x_b^2 - x_c^2) - (y_b^2 - y_c^2)}{2} = v_a$$
(4.9)

lar rescriind ecuației (4.8 ) va conduce la o ecuație și o nouă variabilă, notată  $v_{b}$ , după cum urmează

$$x(x_a - x_b) + y(y_a - y_b) = \frac{(d_b^2 - d_a^2) - (x_b^2 - x_a^2) - (y_b^2 - y_a^2)}{2} = v_b$$
(4.10)

Rezolvând ecuațiile (4.9) și (4.10) se găsește punctul de intersecție x și y al acestor două ecuații cu următoarele valori:

$$y = \frac{v_b(x_c - x_b) - v_a(x_a - x_b)}{(y_a - y_b)(x_c - x_b) - (y_c - y_b)(x_a - x_b)}$$
(4.11)

$$x = \frac{v_a - y(y_c - y_b)}{(x_c - x_b)}$$
(4.12)

Valorile pentru x și y ne oferă poziția exactă în bidimensional (2D) pentru nodul necunoscut. Dar aceste valori nu pot fi obținute fără modelul de propagare a semnalului.

Modelul cel mai întâlnit de propagare a semnalului în rețeaua de senzori fără fir (WSN) este modelul de spațiu liber. Acesta presupune că receptorul din raza de comunicare poate primi pachetul de date. O posibilitate de a obține o distanță de la nod de la un alt nod este prin măsurarea puterii semnalului recepționat a semnalului radio de intrare. Ceea ce determină puterea semnalului primit (RSS) este că puterea transmisă (Pt) la dispozitivul emițător afectează direct puterea recepționată (Pr) la dispozitivul receptor. Conform ecuației de transmisie în spațiul liber, puterea semnalului detectat scade pătratic odată cu distanța până la emițător.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$
(4.13)

unde

 $P_r(d)$  = puterea primită la receptor

 $P_t$  = Puterea de transmisie a expeditorului

 $G_t$  = Amplifacrea emițătorului

 $G_r$  = Amplificarea receptorului

 $\lambda =$ lungime de undă

d = Distanța dintre emițător și receptor în mod normal

 $G_t = G_r = 1.$ 

#### 4.5 Modelul puterii transmise

Majoritatea sistemelor de transmisie operează într-un mediu în care sunt prezente obstacolele. Atenuarea semnalului  $P_L(d_i)$  [dB] este:

$$P_L(d_i)[dB] = P_L(d_0)[dB] + 10n \, lg\left(\frac{d_i}{d_0}\right) \tag{4.14}$$

unde

n =exponent atenuare

 $P_L(d_0)$  = atenuarea la distanța de referință cunoscută  $d_0$ .

Modelul spațiului liber este un model ideal, iar propagarea unui semnal este afectată de reflexie, difracție și dispersie. Desigur, aceste efecte sunt dependente de mediu (interior, exterior, clădiri, condiții de mediu etc.). Cu toate acestea, este acceptat, pe baza dovezilor empirice, că este rezonabil să se modeleze atenuarea  $P_L(d_i)$  la orice valoare a lui d într-o anumită locație ca o distribuție aleatorie și logaritimică, variabilă aleatoare cu o valoare medie dependentă de distanță. Astfel:

$$P_L(d_i)[dB] = P_L(d_0)[dB] + 10n \, lg\left(\frac{d_i}{d_0}\right) + S \tag{4.15}$$

unde *S*, factorul de atenuare este o variabilă aleatorie gaussiană (măsurată în dB) și cu abatere standard  $\sigma$  [dB]. Exponentul atenuării, *n*, este o constantă empirică care depinde de mediul de propagare. Din ecuația (4.14) se poate determina n:

$$n = \frac{\{P_L(d_i) - P_L(d_0)\}}{10 \lg(\frac{d_i}{d_0})}$$
(4.16)

Folosind regresia liniară, valoarea lui n poate fi determinată din datele măsurate prin minimizarea erorii totale,  $R^2$ , după cum urmează:

$$R^{2} = \sum_{i=1}^{M} \left[ P_{L}(d_{i}) - P_{L}(d_{0}) - 10n lg\left(\frac{d_{i}}{d_{0}}\right) \right]^{2}$$
(4.17)

Diferențierea ecuației (4.17) în funcție de n

$$\frac{\partial R^2(n)}{\partial n} = -20\lg(d)\sum_{i=1}^{M} \left[ P_L(d_i) - P_L(d_0) - 10n \lg\left(\frac{d_i}{d_0}\right) \right]$$
(4.18)

Egalând  $\frac{\partial R^2(n)}{\partial n}$  cu zero, obținem din (4.18)

$$0 = -20 \lg(d) \sum_{i=1}^{M} \left[ P_L(d_i) - P_L(d_0) - 10n \lg\left(\frac{d_i}{d_0}\right) \right]$$
$$\sum_{i=1}^{M} \left[ P_L(d_i) - P_L(d_0) - 10n \lg\left(\frac{d_i}{d_0}\right) \right] = 0$$
$$\sum_{i=1}^{M} \left[ P_L(d_i) - P_L(d_0) \right] - \sum_{i=1}^{M} \left[ 10n \lg\left(\frac{d_i}{d_0}\right) \right] = 0$$
$$\sum_{i=1}^{M} \left[ P_L(d_i) - P_L(d_0) \right] = \sum_{i=1}^{M} \left[ 10n \lg\left(\frac{d_i}{d_0}\right) \right]$$
$$n = \frac{\sum_{i=1}^{M} \left[ P_L(d_i) - P_L(d_0) \right]}{\sum_{i=1}^{M} \left[ 10n \lg\left(\frac{d_i}{d_0}\right) \right]}$$
(4.19)

Tehnica bazată pe RSSI măsoară distanța dintre noduri după principiul că semnalul radio atenuat este regulat pe măsură ce distanța crește. În timpul propagării semnalului, complexitatea mediului extern va determina slăbirea semnalului într-o anumită măsură, iar cu cât distanța de propagare este mai mare, cu atât atenuarea semnalului este mai mare. Conform acestei legi, relația dintre atenuarea puterii semnalului și distanța poate fi obținută. Relația dintre puterea semnalului primit RSSI și distanța de transmisie d este prezentată mai jos

#### RSSI = A - 10nlgd

unde n reprezintă o constantă de propagare a semnalului, numită și coeficient de propagare, A reprezintă puterea semnalului când distanța A de la emițător față de emițător este de 1 m. A este un parametru empiric care poate fi obținut prin măsurarea valorii RSSI la 1 m de expeditor. Deoarece RSSI este sensibil la propagarea pe mai multe căi și obstacole, este atenuat în diferite medii. Prin urmare, pentru a obține un model de calcul a distanței precis, este necesară stabilizarea valorii RSSI prin proiectarea diferitelor filtre.

# Capitolul V. APLICAȚII ALE COMUNCAȚIILOR INDUSTRIALE PENTRU CONTROLUL DIFERITELOR ECHIPAMENTE ELECTRICE

# **5.1.** Cupla electromagnetică cu alunecare. Construcția și principiul de funcționare

Cuplajul cu alunecare electric numit și ambreiaj este utilizat la antrenarea compresoarelor, ventilatoarelor, pompelor. Fig.5.1 indică principalele componente ale cuplajului electric.

Motorul electric trifazat este conectat mecanic la cuplajul electromagnetic cu alunecare, asigurând o pornire lină pentru frâna electrică de alunecare, care reprezintă sarcina motorului de antrenare. Cuplajul electric cu alunecare are o funcționalitate similară cu un motor electric asincron. Când cuplajul este alimentat cu energie, curentul de excitație produce flux magnetic care influențează cuplul cuplajului electromagnetic. Echilibrul dintre cuplul motor și cuplul de cuplare se va stabili din nou la turația mică a motorului.



Fig.5.11 - Cupla electromagnetică cu alunecare

Motorul de antrenare incepe să se rotească cu turație constantă. Curentul de excitație al cuplei fiind conectat, produce un flux magnetic. Indusul masiv al cuplajului se poate considera ca un număr infinit de conductori legați în paralel, intersectați de liniile de inducție magnetică. Tensiunea electromotoare indusă în aceste condiții în indus este cauza apariției unor curenți turbionari , astfel asupra unui conductor acționează o forță care antrenează sistemul magnetic în sensul de rotație al indusului. Pe măsură ce viteza sistemului magnetic se mărește, scade viteza lui relativă în raport cu cilindrul, ceea ce provoacă o micșorare corespunzătoare a t.e.m induse și a curenților turbionari. În consecință, se micșorează cuplul motor al cuplajului până când va deveni egal cu cuplul rezistent.

# 5.1.1 Reglarea vitezei sistemelor de acționare folosind cuplaje electrice

Avantajele utilizării cuplajelor electrice în acționările electrice, printre care și acelea că permit reglări de viteză în limite convenabile și relativ simple, au făcut ca răspândirea lor în diferite instalații industriale să fie din ce în ce mai mare. Astfel, în prezent, ele sunt folosite mai mult în instalațiile de acționare ale mașinilor unelte, ale laminoarelor, mașinilor textile, ale transportoarelor și ale mașinilor de ridicat, pe nave și pe avioane etc.

Pierderile de putere prin alunecare sunt date de relația:

$$P_p = \frac{Mn_m s}{9550} \, [\text{KW}] \tag{5.1}$$

în care: *M* este cuplul transmis de cuplaj, [Nm];

 $n_m$  - viteza pe arborele motorului de acționare, [rot/min];

s - alunecarea 
$$s = \frac{n_m - n_c}{n_m}$$
,

unde  $n_c$  este viteza [rot/min], a părții conduse a cuplajului.

De asemenea, se știe că randamentul cuplajului, fără a se ține seama de pierderile prin excitație și prin ventilare, este dat de relația

$$\eta_c = \eta_m (1-s), \tag{5.2}$$

unde  $\eta_m$  este randamentul motorului de acționare.

Din relațiile (5.1) și (5.2) rezultă că pierderile de putere prin alunecare cresc odată cu creșterea alunecării, iar randamentul cuplajului scade cu creșterea alunecării. Ținându-se seama că reglarea vitezei prin cuplaje se face, în special, prin modificarea alunecării, la stabilirea limitelor de reglare este necesar să se țină seama de relațiile (5.1) și (5.2). Astfel, de exemplu, pentru un cuplaj care transmite un cuplu de 50 Nm, viteza pe arborele motorului fiind de 1400 rot/min, iar viteza la arborele condus al cuplajului nc=1000 rot/min, pierderea de putere prin alunecare este

$$P_p = \frac{20000}{9550} = 2,1 \,[\text{KW}] \tag{5.3}$$

deci în limite admisibile. Dacă însă viteza la arborele condus al cuplajului ar trebui să coboare până la 500 rot/min, atunci Ps=4,8 kW, valoare ce depășește limita admisă.

În cazul în care cuplajul ar funcționa la această viteză în regim intermitent cu o durată relativă de acționare DA=60%, atunci considerând că puterea admisă Psa=3,5 kW pentru durata de *acționare DAa=100*%, deci în regim de durată, rezultă că pentru durata relativă de acționare DA=60% puterea rezultantă admisă ar fi dată de relația

$$P_r^2 DA = P_{sa}^2 DA_{a'} \tag{5.4}$$

de unde

$$P_r = P_{sa} \sqrt{\frac{DA_s}{DA}} = 3.5 \sqrt{\frac{100}{60}} = 4.52 \text{ kW} < 4.8 \text{ kW},$$
 (5.5)

deci admisă din punct de vedere al încălzirii.

#### 5.1.2 Modelarea sarcinii realizată cu frâna electromagnetică cu alunecare

Frâna electromagentică cu alunecare este formată dintr-un rotor în scurtcircuit care este dispus în exteriorul statorului care are o conexiunea Y. În Fig.5.2 s-a prezentată schema de principiu a unei frâne cu alunecare cu rotor exterior și bobina plasată în interiorul rotorului.

Rotorul cilindric al motorului asincron, de obicei, este prevăzut cu crestături pe suprafața exterioară în care poate fi plasată fie o înfășurare trifazată (bobinată) similară înfășurării statorice, fie o înfășurare polifazată realizată din bare conductoare scurtcircuitate la ambele capete, de forma unei colivii de veveriță.



Fig.5.2 - Frâna cu alunecare

În regim de motor, la alimentarea mașinii de la o sursă de energie electrică cu un sistem de tensiuni trifazat simetric, înfășurarea statorică este parcursă de un sistem trifazat simetric de curenți de pulsație  $\omega_1$  care vor produce un câmp magnetic învârtitor cu viteza unghiulară de sincronism  $\Omega$ 1 dată de relația

$$\Omega_1 = \frac{\omega_1}{p_1} = \frac{2\pi f_1}{p_1} = \frac{2\pi n_1}{60} \ ; \ n_1 = \frac{60f_1}{p_1}$$
(5.9)

în care:

-  $n_1$  [rot/min], este turația sincronă a câmpului învârtitor;  $(n_1)$ 

 $-f_1$  [Hz], este frecvența tensiunii de alimentare; ( $f_1$ )

-  $p_1$  este numărul de perechi de poli al statorului (inductorului). (p<sub>1</sub>)

Se notează cu  $\Omega = \omega_r$  viteza mecanică a rotorului și cu  $\omega = p_1 \omega_r$ ;  $\omega_r = p_1 \Omega$  viteza electrică a acestuia. Se consideră inițial că rotorul este imobil față de stator, deci viteza sa unghiulară este  $\Omega = 0$ , respectiv turația este n=0. Cu rotorul aflat în repaus, câmpul învârtitor induce în înfășurarea trifazată rotorică un sistem trifazat simetric de tensiuni de valoare  $U_{e2}$  și pulsație  $\omega_2$ , (unde  $\omega_2 = p_1 (\Omega_1 - \Omega) = p_1 \Omega_1 = \omega_1$ ), pentru  $\Omega=0$ ) și frecvență  $f_2 = p_1 n_1 = f_1$ .

Regimul de frânare dinamică în cazul motorului asincron se obține în mod diferit de cel de la motoarele de curent continuu. Pentru obținerea regimului de frânare dinamică, la motorul asincron se decuplează statorul motorului de la rețeaua de alimentare de curent alternativ și apoi se alimentează pe două faze de curent continuu. În felul acesta, mașina continuând să se rotească pe seama energiei cinetice înmagazinate în masele de mișcare de rotație și fiind excitat de curent continuu, va începe să funcționeze în regim de generator sincron. Cuplul dezvoltat de motor, în acest caz, fiind negativ, motorul va începe să funcționeze în regim de frânare.

 $R_r$ ,  $X_{\sigma r}$  - rezistența și respectiv reactanța de scăpări pe o fază a înfășurării rotorice, parametrii circuitului de magnetizare

 $-R_m$ ,  $X_m$  - rezistența echivalentă corespunzătoare pierderilor în miezul magnetic și respectiv reactanța de magnetizare.  $U_s$  este tensiunea de alimentare pe fază,

 $I_s$  – curentul statoric pe fază,

 $I_r$  - curentul pe fază rotoric.

În circuitul rotoric apare o rezistență echivalentă  $\frac{1-s}{s}R_r$  dependentă de alunecarea s.

Pierderile Joule pe această rezistență corespund puterii mecanice produsă la arborele mașinii determinată de conversia energiei în întrefier. Puterea în întrefier  $P_e$  și puterea mecanică  $P_{mec}$  dezvoltată de motorul asincron sunt date de expresiile:

$$P_e = m_1 \frac{R_r}{s} I_r^2; \ P_{mec} = m_1 \frac{(1-s)R_r}{s} I_r^2 = (1-s)P_e = \frac{(1-s)}{s} p_{jr} \ ; \tag{5.19}$$

unde  $p_{jr}$  sunt pierderile de putere în rotor.

Cuplul electromagnetic al motorului asincron se poate deduce din relațiile puterii mecanice

$$M_e = \frac{P_{mec}}{\Omega} = \frac{p_{jr}}{s\Omega_1} \tag{5.20}$$

în care  $\Omega = (l - s) \cdot \Omega_l$  este viteza unghiulară a rotorului,  $\Omega_l$  este viteza unghiulară sincronă a câmpului magnetic învârtitor.

Pe baza schemei echivalente din figura 5.8 se poate determina curentul rotoric  $I_r$  în funcție de parametrii motorului cu relația:

$$I_r = \frac{U_s}{\sqrt{(R_s + \frac{R_r}{s}) + X_{\sigma}^2}}$$
(5.21)

în care:  $X_{\sigma} = X_{\sigma s} + X_{\sigma r}$  este suma reactanțelor de dispersie pe fază ale statorului și respectiv rotorului.

Înlocuind curentul  $I_r$  în relația (5.21) se determină expresia cuplului electromagnetic dezvoltat de motorul asincron în funcție de alunecare

$$M_{e} = \frac{m_{1}p_{1}R_{r}U_{s}^{2}}{s\omega_{1}\left[\left(R_{s} + \frac{R_{r}}{s}\right)^{2} + X_{\sigma}^{2}\right]}$$
(5.22)

Expresia (5.22) poate fi interpretată în următoarele cazuri:

- la alunecări mici, cuplul variază după o dreaptă

S

$$M_e \frac{m_1 p_1 s U_s^2}{\omega_1 R_r} \tag{5.23}$$

- la alunecări mari,  $R_r/s$  se neglijează, cuplul variază invers proporționl cu alunecarea

$$M_{e} \approx \frac{m_{1} p_{1} R_{r} U_{s}^{2}}{s \omega_{1} (R_{s}^{2} + X_{\sigma}^{2})}$$
(5.24)

- la pornire, când *s*=1, cuplul  $M_e = M_p$  este proporțional cu rezistența circuitului rotoric  $R_r$  și invers proporțional cu reactanța de dispersie  $X_{\sigma}^2$ 

$$M_{e} = M_{p} \approx \frac{m_{1}p_{1}R_{r}U_{s}^{2}}{\omega_{1}[(R_{s} + R_{r})^{2} + X_{\sigma}^{2}]}$$
(5.25)

Cuplul maxim  $M_m$ , numit și cuplul critic  $M_{kc}$  este:

$$M_{m} = M_{k} = \frac{m_{1}p_{1}U_{s}^{2}}{s\omega_{1}(R_{s} + \sqrt{R_{s}^{2} + X_{\sigma}^{2}})}$$
(5.26)

# 5.1.3 Descriere aplicației: Controlul prin rețeaua PROFIBUS-DP a unei cuple electromagnetice

Structura generală a sistemului dezvoltat este ilustrată în Fig.5.3. Setarea pentru turația motorului poate fi ajustată prin apăsarea butonului de pe panoul tactil Siemens, valoare transmisă prin rețeaua PROFIBUS către VFD. Cupla electromagnetică cu alunecare și frâna cu alunecare electromagnetică sunt conectate fiecare separat la o sursă de alimentare variabilă prin intermediul a două transformatoare.



Fig.5.3 - Schema bloc

Bancul de testare, Fig. 5.4, este format dintr-un motor asincron trifazat, putere 1,5 kW, 1450 rpm, conexiune triunghi 230V, 6,4A și factor de putere 0,82. Motorul este fixat mecanic de frâna cu alunecare electromagnetică printr-un cuplaj electromagnetic cu alunecare. Motorul este conectat la structura de rețea PROFIBUS cu un convertor de frecvență EATON SVX 9000, Drive 3AC, 0.75HP, 240V, 3.7A. Sistemele de automatizare au un PLC Siemens echipat cu SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU compact, AC/DC/releu, I/O la bord: 14 DI 24 V DC; 10 DO releu 2 A; 2 AI 0-10 V DC, Alimentare: AC 85-264 V AC la 47-63 Hz, Memorie program/date 100 KB. Comunicația prin protocolul PROFIBUS este asigurată de procesorul de comunicație, Modulul de comunicație CM 1243-5 pentru conectarea SIMATIC S7-1200 la PROFIBUS ca Modul Master DP, comunicare PG/OP, comunicare S7.

Pentru a măsura cuplul, se folosește o marcă tensiometrică împreună cu amplificatorul HX711 și placa ARDUINO ca în Fig. 5.5. Cuplul este calculat după cum urmează:

#### $F^*d=M$

ca rezultat al forței înmulțite cu distanța unde F este forța aplicată senzorului de frâna de alunecare și d este lungimea brațului de forță. În acest circuit este introdus un amplificator cu iesire 0-10Vcc conectat la canalul de intrare analogic al PLC-ului. Arduino este folosit pentru a construi diferite tipuri de circuite electronice folosind cu ușurință atât o placă de circuite programabile fizice, de obicei, un microcontroler, cât și o parte de cod care rulează pe computer cu conexiune USB între computer și Arduino



Fig.5.4 - Banc de testare

Interfața de utilizator deschide o gamă largă de operațiuni cu o utilizare îmbunătățită prin noi comenzi și grafică. Datorită interfeței PROFINET, panourile de bază SIMATIC HMI permit conectarea cu diferite PLC-uri. Vizualizarea aplicațiilor controlerului de bază SIMATIC S7-1200 oferă o valoare adăugată deosebit de mare Comenzile pentru controlul sistemului sunt realizate de pe ecranul panoului tactil Siemens HMI KTP 700.

În ecranul HMI, din fig 5.14, convertorul de frecvență poate fi activat și dezactivat prin butoanele Start și Stop. Pentru diferite valori ale curentului de frână If [mA], viteza motorului este reglată de la butoanele FW și RW.

### 5.1.4 Implementarea controlului cuplei cu aluncare cu ajutorul PLC-ului

În configurația bancului de testare, PLC-ul este Master și are un procesor de comunicații CP1243-5 PROFIBUS CP Master, iar convertizorul de frecvență EATON SVX 9000 este Slave. Comunicația dintre PLC și HMI este realizată prin PROFINET.

Dispozitivele care acceptă protocolul PROFIBUS pot avea caracteristici de performanță diferite. Caracteristicile diferă în modul în care funcționalitatea disponibilă, cum ar fi numărul de semnale I/O și mesaje de diagnosticare, sau parametrii magistralei, cum ar fi rata de transmisie și monitorizarea timpului. Acești parametri pot varia pentru fiecare tip de dispozitiv și furnizor și, de obicei, sunt descriși în manualul utilizatorului. Pentru a implementa o configurație Plug and Play simplă pentru dispozitivele PROFIBUS, fișierele GSD sunt definite pentru a descrie caracteristicile de comunicare ale dispozitivelor. Acestea sunt fișe de date ale dispozitivelor electronice și sunt denumite fișiere General Station Description (GSD), ceea ce permite configurarea ușoară a rețelelor PROFIBUS cu dispozitive de la diferite tipuri de producători.

Fișierul GSD corespunzător convertorului de frecvență EATON conține informații despre parametrii de comunicație și configurare.



Fig.5.512 - Schema electrică Arduino-PLC

# 5.1.5 Rezultate experimentale pentru controlul în rețea a cuplei cu alunecare

Cupla cu alunecare este conectată la o sursă de alimentare de curent continuu prin intermediul unui transformator și a unei punți redresoare cu diode. Pentru diferite trepte ale curentului de intrare, ieșirea are ca rezultat diferite trepte de tensiune ca în Tabelul 5. De asemenea, se măsoară tensiunea pe primar și secundar al transformatorului. Curentul de comanda este notat cu  $I_c$ ,  $U_p$  reprezintă tensiunea din primarul transformatorului, Us reprezintă tensiunea din secundarul transformatorului și Usec tesiunea continuă cu care se alimentează cupla.

Nr.	Sursa alimentare cupla cu alunecare				
	Ic[mA]	Up[V]	Us[V]	Uscc[V]	
1.	100	25	3	3	
2.	200	48	7	6.2	
3.	300	70	11	9.2	
4.	400	89	14	12	
5.	500	109	17	15	
6.	600	129	21	18	
7.	700	147	24	20.5	

	Tabel 5.3	Parametrii	cuplei	electromagnetic	e cu	alunecare
--	-----------	------------	--------	-----------------	------	-----------

Nr.	Sursa alimentare cupla cu alunecare				
	Ic[mA]	Up[V]	Us[V]	Uscc[V]	
8.	800	169	27	23.5	
9.	900	189	30	26.5	
10.	1000	210	34	29.5	

Motorul este rigid conectat de frâna cu alunecare electromagnetică. Motorul este conectat la structura de rețea PROFIBUS cu un convertor de frecvență EATON SVX 9000, Drive 3AC, 0.75HP, 240V, 3.7A. Sistemul de automatizare conține un PLC Siemens echipat cu SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, AC/DC/releu, I/O la bord: 14 Intrări Digitale 24 VDC; 10 Ieșiri digitale pe releul 2A; 2 intrări analogice, modul de alimentare: AC 85-264 V AC la 47-63 Hz, memorie program/date 100 KB.

Comunicația prin rețeaua PROFIBUS este asigurată de Modulul de comunicație CM 1243-5 pentru conectarea SIMATIC S7-1200 la PROFIBUS ca Modul Master DP. Frâna de alunecare electrică este, de asemenea, conectată la o sursă de de tensiune continuă printr-un transformator și o punte redresoare cu diode. Pentru diferite trepte ale curentului de intrare, va rezulta diferite valori ale tensiunii de ieșire conform tabelului 5.4.

Pentru a varia curentul de excitație pe frâna de alunecare electrică este utilizată ieșirea analogică a plăcii de semnal Siemens. Plăcile de semnalizare sunt conectate direct la partea din față a procesorului. Ele pot fi utilizate acolo unde spațiul este limitat sau dacă sunt necesare doar câteva intrări/ieșiri suplimentare. În timp ce crește curentul de frână prin butoanele INC și DEC de pe ecranul HMI, cuplul frânei va crește obținând familia curbelor din Fig. 5.16.



Fig.5.13 - Cuplu vs. rpm

În experiment se folosește valoarea fixă a curentului de excitație al cuplajului electric de alunecare Ic=1A. În calculele cuplului se utilizează distanța d=0,2m. Datele primite prin rețeaua PROFIBUS au fost afișate în software-ul Siemens Tia Portal.

### 5.2. Controlul motorului asincron trifazat

Modelul motorului asincron trifazat se obține din ecuația de tensiune pentru o fază statorică, în regim staționar:

$$\underline{U}_{1} = -\underline{E}_{1} + jX_{\sigma 1}\underline{I}_{1} + R_{1}\underline{I}_{1}$$
(5.27)

unde:  $\underline{U}_1$  este tensiunea rețelei aplicată pe o fază stsatorică,  $-\underline{E}_1$  este tensiunea electromotoare indusă pe o fază statorică,  $\underline{I}_1$  este curentul statoric pe o fază, X $\sigma$ 1 este reactanța de scăpări pe o fază statorică, R1 este rezistența ohmică a înfășurării unei faze statorice.

La creșterea frecvenței căderea de tensiune pe rezistența  $R_1$  a înfășurării statorice devine neglijabilă față de tensiunea electromotoare  $E_1$  și compensarea devine inutilă. Conform figurii 5.24, compensarea tensiunii  $U_1$  se face prin injecția tensiunii  $U_0$ , care poate scade pe măsură ce frecvența creste, sau se poate stabili valoarea minima a tensiunii  $U_1$  la nivelul tensiunii  $U_0$ , Fig.5.16a,b

#### 5.2.1 Controlul motorului asincron trifazat prin semnal analogic

Schema bloc pentru controlul motorului asicron trifazat prin semnal analogic cu ajutorul convertorului de frecvență este prezentata în Fig. 5.17



Fig.5.17 - Schema bloc control motor asincron prin semnal analogic

Standul constă în o mașină cu inducție trifazată standard (4kW, 380V, 8.6A, 50Hz, 1430 rpm) care este controlată de către un convertor de frecvență Siemens SINAMICS. Convertorul de frecvență este comandat de către PLC prin intermediul protocolului PROFIBUS-DP Fig. 5.18. Ecranul HMI conține comenzi și date înregistrate de la automatul programabil. Cu ajutorul

software-ului TIA Portal, se dezvoltă aplicația de control pentru PLC cât și vizualizarea grafică a datelor pe ecranul HMI.



Fig.5.18 - Stand experimental motor asincron și convertor frecvență Sinamics.

Rezultatul este un sistem care își achiziționează semnalele de intrare, le procesează și scoate la ieșire, semnale la intervale de timp constante. Modul sincron garantează repetabilitatea și un timp de reacție precis a procesului, precum și ciclul constant de transmitere date pe magistrală pentru semnalele de intrare/ieșire din configurația centrală și distribuită.

În principiu, comunicarea ciclică este o aplicație critică în timp. Controlerul SIMATIC S7 trimite cuvinte de control și valori de referință către convertorul SINAMICS și primește cuvintele de stare și valorile reale de la el. În ceea ce privește utilizarea în sistemul de acționare SINAMICS, structura telegramei este setată prin telegrame standard predefinite conform profilului PROFIdrive sau telegrame specifice producătorului. În funcție de tipul de telegramă, un număr diferit de puncte de referință sau valori reale sau control extins sau cuvinte de stare sunt transferate.

Răspunsul la semnal treaptă, pentru diferite valori se pot regăsi în Fig. 5. 19, Fig. 5.20. Referința este de culoare neagră iar mărimea de ieșire este marcată cu verde. Ieșirea din regulator a fost evidențiată cu roșu.



Fig.5.19 - Răspuns indicial pentru controlul prin Ieșire Analogică



Fig.5.20 - Răspuns indicial pentru controlul prin Ieșire Analogică

# **5.3.** Exemple de sisteme automatizate conduse de PLC prin intermediul PROFIBUS-DP

Deoarece creșterea populației planetei a determinat și creșterea necesarului de alimente, controlul și monitorizarea sistemelor de irigații a devenit în prezent un subiect de cercetare important. Structura stației de pompare poate varia in funcție de debitul care trebuie furnizat beneficiarului și poate conține un număr de pompe acționate de motoare electrice controlate de un convertizor static de frecvență sau de un sistem de pornire progresivă.

Sistemul de automatizare colectează datele de la echipamentele electrice din proces și poate transmite semnale prin intermediul rețelei GSM (Global System for Mobile Communications) către o unitate centrală pentru analiza datelor din stația de pompare.

Sistemul de automatizare constă într-o configurație PLC S7-1200 cu un HMI Simatic Basic Panel. Configurația PLC S7-1200 include modul de intrare digitală, modul de ieșire digitală și modul de intrare analogică care asigură schimbul de informații între câmp și sistemul de automatizare. HMI va afișa informații utile pentru utilizatorii finali, cum ar fi debitul, curentul absorbit de pompe, numărul orele de lucru, semnale de avertizare și semnale de confirmare a pompei.

În schema bloc au fost evidențiate cu diferite culori posibilitățile ca motoarele pompelor să fie alimentate de către convertizorul de frecvență sau de către soft startere.

Diagrama bloc propusă este prezentată în Fig. 5.21



Fig.5.14 - Diagrama bloc proces de pompare automatizat

În lucrare se propune un algoritm de control al unei stații de pompare care asigură debitul de apă pentru diferiți beneficiari din agricultură. Prin implementarea acestui algoritm, statia de pompare va functiona in mod automat si fiecare pompa va fi rotita pentru a avea o uzura uniforma. Sistemul de automatizare poate transmite date prin internet într-o cameră SCADA, unde toate informațiile de la stația de pompare sunt colectate și analizate pentru îmbunătățire.

Răspunsul sistemului este prezentat în Figura 5.57. Referința setată este marcată cu negru, valoarea măsurată a presiunii de ieșire măsurată în bari, marcată cu verde și mărimea de comandă este marcată cu roșu.



Fig.5.15 - Răspunsul sistemului la semnal treapta de 4.8 bari.

# Capitolul VI. APLICAȚII PENTRU REȚELE CU SENZORI WIRELESS

Principiul achiziției wireless a temperaturii unui element dintr-un subsistem este de a transmite semnalul analogic de temperatură colectat de senzorul de temperatură la modulul wireless de transmisie prin intermediul unui microcontroler. Aplicația practică a unui astfel de principiu prezintă o structură compusă din senzor de temperatura, LM35, microcontroler din familia PIC16F882, de la Microchip și un transmițător MRF24J40MA. Pentru a nu avea dependență de o anumită sursă de tensiune, nodul wireless este alimentat de la o baterie de 9 Vcc, aceeași tensiune fiind necesară și pentru alimentarea senzorului de temperatura, LM35 (ToC). Microcontrolerul PIC16F882 (µControler) se alimentează prin intermediul unui stabilizator de tensiune de curent continuu de tipul LM7805 (ST1), la o tensiune de 5 V, iar transmițătorul (Transm) se la o tensiune de 3,3 V stabilizată de către circuitul, LD1117V33 (ST2). De asemenea, structura wireless este prevăzută cu două porturi de programare, USB/FTDI, respectiv ICSP/PICKIT3. În Fig. 6.1 se prezintă schema bloc pentru structura de transmisie de tip wireless.



Fig.6.16 - Schema bloc pentru structura de transmisie de tip wireless.

Subansamblul Transm, MRF24J40MA este un modul transceiver radio de 2,4 GHz certificat IEEE 802.15.4, prevăzut cu o antenă PCB integrată, care acceptă protocoalele de tipul ZigBee<sup>TM</sup>, MiWi<sup>TM</sup> și MiWi P2P. Modulul MRF24J40MA se conectează la diferite microcontrolere PIC (în cazul de față PIC16F882), printr-o interfață SPI cu 4 fire ca o soluție ideală pentru rețelele de senzori fără fir, fiind utilizată în automatizarea locuințelor, automatizarea clădirilor și aplicațiile consumatorilor. În Fig. 6.2 a) se prezintă schema bloc a transmițătorului wireless MRF24J40MA, în Fig. 6.2 b) modul de interconectare între transmițător și microcontroler, iar în Fig.6.3 schema electrică a acestuia.

Curentul absorbit de către transmițător la recepție este de 19 mA, iar la emisie este de 23 mA. Întrucât în regim de repaus transmițătorul prezintă un consum foarte mic ( $2\mu$ A), s-a ales varianta de alimentare a ansamblului final de la o baterie externă de 9 V.

Schema electrică a transmițătorului wireless este transpusă de către Microchip pe un format PCB de dimensiuni 27,94/17,780 mm (în care este inclusă și antena), fiind prevăzut cu 12 pini. În tabelul 5.1 se prezintă o descriere a pinilor conform foii de catalog furnizată de către Microchip.

Modulul MRF24J40MA se bazează pe tehnologia Microchip MRF24J40 IEEE 802.15 2,4 GHz RF Transceiver IC. Pinii I/O seriali (SCK, SDI, SDO și CS), RESET, WAKE și INT sunt conectați la microcontroler. Oscilatorul, X1, este un cristal de 20 MHz cu o toleranță de frecvență de  $\pm 10$  ppm la 25°C care respectă standardul IEEE Std. 802.15.4 toleranță pentru rata simbolului de  $\pm 40$  ppm. Scopul proiectării a fost de a crea o antenă compactă, cu costuri reduse, cu cel mai bun model de radiație.



a) Schema bloc a transmițătorului MRF24J40MA;



b) Modul de interconectare între transmițător și microcontroler.

Fig.6.17 - Structura bloc simplificată și modul de interconectare a transmițătorului.



Fig.6.3 - Dimensiuni antenă.



Fig.6.4 - Model radiație antenă 2D.



Fig.6.5 - Model radiație antenă 3D.

În Fig. 6.4, respectiv Fig. 6.5 se prezintă modelele de radiație 2D și, respectiv, 3D. După cum sunt dispuse modelele de radiație, performanța antenei depinde de orientarea modulului.

În Fig. 6.6 se prezintă schema electrică desfășurată a nodului de tip senzor wireless, unde se observă o structură prevăzută cu două stabilizatoare de tensiune care asigură alimentarea microprocesorului cu 5V, respectiv a transmițătorului cu 3,3V. Senzorul de temperatură se alimentează direct de la bateria de 9 V. Nodul este prevăzut cu cele două porturi necesare pentru programare, ICSP, și pentru transfer date către PC.



Fig.6.6 - Schema nod senzor wireless.

În Fig. 6.7, se prezintă dispunerea senzorilor în laboratorul de Electronică al Facultății de Inginerie Electrică, Iași.



Fig.6.7 - Localizare senzori în laborator.

# Capitolul VII.CONCLUZII, CONTRIBUȚII, DISEMINARE ȘI PERSPECTIVE

# 7.1. Concluzii

Având în vedere interesul tot mai mare pentru automatizarea proceselor industriale, a liniilor de fabricație se impune extinderea rețelelor de comunicații, creșterea vitezei pentru schimburile de date între diverse componente hardware și software.

Schimbul de date în timp real și coordonarea sarcinilor între diferite elemente ale rețelei este esența controlului procesului și a automatizării în general. Protocoalele de comunicare reprezintă o combinație de reguli utilizate în procesul de schimb de date al diferitelor dispozitive de rețea și sisteme software. Prin dezvoltarea și complexitatea liniilor de producție, a crescut numărul de dispozitive (senzori și elemente de acționare) care trebuie gestionate. Procesele industriale sunt conduse de controlere și rețele extinse de conexiuni digitale sau analogice. Cel mai adesea acestea sunt instalații bazate pe cabluri electrice sau fibre optice. Întreținerea și dezvoltarea acestora necesită utilizarea unor cabluri speciale, dedicate strict unui protocol specific de transmitere a datelor. În plus, cablarea trebuie selectată în conformitate cu condițiile de pe linia de producție căreia îi sunt dedicate.

# 7.2. Contribuții personale

Toate soluțiile prezentate sunt de actualitate pe plan mondial și reprezintă o arie de studiu extinsă și în continuă dezvoltare. Principalele contribuții ce rezultă din teza elaborată se pot enumera după cum urmează:

- Studiu comparativ privind rețelele de comunicații utilizate în sistemele de fabricație industriale prin care s-au identificat aspecte legate mediul de trasnmisie a datelor cât și particularități ale protocoalelor de comunicații;
- Modelarea unei rețele PROFIBUS și simularea ei în Matlab;
- Studiul algoritmilor de control în rețea: algoritmul PID și algoritmul de control predictiv generalizat prin care s-a dorit o compensare a întârzierilor care se propagă în mediul de comunicație;
- Analiza cuplajelor electromagnetice cu alunecare pentru reglarea vitezei sistemelor de acționare electrică;
- Analiza utilizării frânei electromagnetice cu alunecarea pentru dezvoltarea unor cupluri de sarcină variabile;
- Identificarea și studiul modelelor matematice ale motoarelor asincrone și a metodelor de reglare ale vitezei acestora;
- Proiectarea schemei de control prin rețeaua PROFIBUS a unei cuplei electromagnetice, antrenate de un motor asincron alimentat de la convertor
- Determinarea parametrilor unui regulator PID și implementarea acestuia pentru controlul convertorului de frecvență pentru alimentarea unei pompe dintr-o stație de pompare din componența sistemului de irigare prin intermediul unui automat programabil care are rolul și de poartă de transmisie a datelor către un nivel superior de control cum ar fi SCADA(Supervisory Control and Data Aquisition).
- Conceperea și implementarea unei rețele de senzori wireless pentru localizarea în interiorul unei clădiri aplicând algoritmul de trilaterizare pentru aflarea distanței de la un nod sursă la un nod cu repere necunoscute.

# Anexa 1 Lista lucrărilor științifice elaborate de autorul tezei de doctorat

Pe parcursul cercetării întreprinse, soluționarea temelor abordate a generat o activitate de validare a rezultatelor obținute, a relevanței și actualității acestora, ceea ce a contribuit la unele îmbunătățiri de conținut. Astfel, au rezultat cele 3 rapoarte de cercetare prezentate în perioada 2018-2020 precum și următoarele articole prezentate la conferințe ale căror volum de lucrări este inclus în

a) Baze de date indexate (BDI)

1. **Georgel Gabor**, Adrian Traian Plesca, "The PLC control of electrical system consisting in electromagnetically sliding brake and coupling", Journal of Energy Technology, JET Volume 8 (2015), p.p. 1 - 10 2018, indexat database INSPEC

2. **Georgel Gabor**, Georgian-Cosmin Pintilie , Adrian Traian Plesca, Maricel Cardasim, "Temperature monitoring system using an infrared temperature sensor connected to a PLC", 12th INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON ELECTROMECHANICAL AND ENERGY SYSTEMS – SIELMEN, 2019, indexata IEEExplore

3. **Georgel Gabor**, Florin-Andrei Rusu , Adrian Traian Plesca, Costica Nituca, "Analysis of sliding electromagnetic coupling parameters in a PLC automation system", 12th INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON ELECTROMECHANICAL AND ENERGY SYSTEMS – SIELMEN, 2019, indexata IEEExplore

4. Florinel Lupoiu, Adrian Traian Plesca, **Georgel Gabor**, "New Solution for Cereals, Vegetables and Fruits Storage", 12th INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON ELECTROMECHANICAL AND ENERGY SYSTEMS – SIELMEN, 2019, indexata IEEExplore

5. Georgian-Cosmin Pintilie, Adrian Traian Plesca, Florin-Andrei Rusu ,**Georgel Gabor**, "New Materials for Heating Systems", 12th INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON ELECTROMECHANICAL AND ENERGY SYSTEMS – SIELMEN, 2019, indexata IEEExplore

6. Dorin-Dumitru Lucache ,**Georgel Gabor**, Constantin-Catalin Dosoftei, "Integrated Learning in Electrical and Control Engineering Using an Educational Elevator System", International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 2020, , indexata IEEExplore

7. Petru Valentin Rosu, Adrian-Traian Plesca ,**Georgel Gabor**, Gabriel Chiriac, "Optimizing the Operation of Photovoltaic Panel Systems", International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 2020, , indexata IEEExplore

8. Gabriel Mocanu, Adrian-Traian Plesca ,**Georgel Gabor**, Maricel Adam, Mihai Andrusca, "Temperature Monitoring of the Heating Resistors of the Railway Switches from Romanian Railway System", International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 2020, indexata IEEExplore

9. Florinel Lupoiu, Adrian-Traian Plesca ,**Georgel Gabor**, Gabriel Chiriac, "A New Solution of Electronic Device Proposed for Cereals, Vegetables and Fruits Storage", International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 2020, indexata IEEExplore......30/4 = 7.5

10. Niţucă, C., CHIRIAC, **G., Gabor**, G., Nucă, I., Cazac, V., & Burduniuc, M. (2021). GEOMETRY DESIGN AND ANALYSIS OF AN ELECTRIC BUS FOR THE INTERIOR THER-MAL MODELLING. Journal of Energy Technology, 14(2), 47-55, indexat database INSPEC

11. G. CHIRIAC, D. -D. Lucache, C. Niţucă and **G. Gabor**, "Aspects Regarding the Heating of Electric Buses," 2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 2021, pp. 481-486, doi: 10.1109/SIELMEN53755.2021.9600435, IEEE explore,

12. G. CHIRIAC, D. -D. Lucache, C. Niţucă and **G. Gabor**, "Aspects Regarding the Heating of Electric Buses," 2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 2021, pp. 481-486, doi: 10.1109/SIELMEN53755.2021.9600435, IEEE explore

13. **Georgel Gabor**, Gheorghe Livinț, "Solution for Monitoring and Remote Control Based on Modbus RTU and S7-1200 PLC", 2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 2021, indexata IEEExplore

14. **Georgel Gabor**, Gheorghe Livinț, "Application of S7-1200 PLC for Temperature Monitoring of a Railway Separator", 2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 2021, indexata IEEExplore

15. **Georgel Gabor**, Gheorghe Livinț, "Solution for pumps control in irrigations system using S7-1200 PLC", Conferința Naționala de Acționări Electrice, Timișoara, 2022, indexata NNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome XX [2022] | Fascicule 3 [August], indexata Index Copernicus

# **Bibliografie**

- S. Viituri, Industrial Communication Systems and Their Future Challenges Next-Generation Ethernet IIoT and 5G, PROCEEDINGS OF THE IEEE | Vol. 107, No. 6, June 2019;
- [2] E. Sissini, Guest Editorial:Advanced Industrial Communication Systems:A Sneak Peak to the Ecosystem of Next Generation Industrial Communications, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 18, NO. 10, OCTOBER 2022;
- [3] M. Wollsch Laeger, T. Sauter, J. Jasperneite, The Future of Industrial Communication Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0, IEEE industrial electronics magazine, march 2017;
- [4] P. Drahoš, O. Haffner, I. Klimoklimo, *Trends in Industrial Communication and OPC UA*, Proceedings of the 29th International Conference 2018 Cybernetics & Informatics (K&I), Jan. 31 - Feb. 3, 2018, Lazy pod Makytou, Slovakia;
- [5] J. Von Hoyningen, A. Mueller, Comparison of Wireless Gateway Concepts for Industrial Real-Time-Communication, IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2016;
- [6] J.D Decotignie, *Ethernet-Based Real-Time and Industrial Communications*, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 93, NO. 6, JUNE 2005;
- [7] S. Vitturi, C. Zunino, T. Sauter, Industrial Communication Systems and Their Future Challenges: Next-Generation Ethernet, IIoT, and 5G, Proceedings of the IEEE, Vol. 107, No. 6, June 2019
- [8] B. Kada, A. Alzubairi, A. Tameem, Industrial Communication Networks and the Future of Industrial Automation, în 2019 Industrial & Systems Engineering Conference (ISEC) (pp. 1-5). IEEE.
- [9] M. D. Rubio Benito, J. M. Fuertes, E. Kahoraho and N. Perez Arzoz, *Performance evaluation of four field buses*,7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Proceedings ETFA '99 (Cat. No.99TH8467), Barcelona, Spain, 1999, pp. 881-890 vol.2, doi: 10.1109/ETFA.1999.813085.
- [10] SIEMENS, PROFINET, System Description, 04/2012
- [11] Y. Ping Zhang, C. LI, W. Tong, *Modeling and analysis of PROFIBUS transmission time delay*, Second International Conference on Information and Computing Science, 2009
- [12] E. Tovar, F. Vasques, Real-*Time Fieldbus Communications Using PROFIBUS Networks*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume: 46, Issue: 6, December 1999
- [13] D. Lee, M. Kim, H. Ryu, M. Kang, Study on PROFIBUS Network and Voltage Level, Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting Jeju, Korea, May 23-24, 2019
- [14]C. Yılmaz, O. Gürdal, H. H. Sayan, Investigation of the Network Delay on PROFIBUS-DP Based Network, Electronics and Electrical Engineering ISSN 1392 – 1215 2008. No. 7(87)
- [15]G. Liang, X. Analysis of communication performance of PROFIBUS in single and multiple master mode, Measurement and Control 2020, Vol. 53(7-8) 1238–1249

- [16] C. Yilmaz, O. Gurdal, I Kosalay Network induced delay of asynchronous motor connected to PROFIBUS-DP networks using fuzzy logic control algorithm, Expert Systems with Applications 37 (2010) 3248–3255
- [17] F. He, K. Guo, Modeling and Simulation of PROFIBUS-DP Network Control System, Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics Qingdao, China September 2008
- [18] V. Casanova, J. J. Salt, A. Cuenca and V. Mascaros, *Networked control systems over PROFIBUS-DP: Simulation model*, IEEE Conference on Computer-Aided Control System Design, 2006 IEEE International Conference on Control Applications, 2006 IEEE International Symposium on Intelligent Control, Munich, Germany, 2006, pp. 1337-1342, doi: 10.1109/CACSD-CCA-ISIC.2006.4776836.
- [19] N. Finn, P. Thubert, *Deterministic Networking Problem Statement*, Internet Engineering Task Force (IETF), ISSN: 2070-1721, May 2019
- [20] A. Cervin et al., "Control loop timing analysis using truetime and jitterbug," 2006 IEEE Conference on Computer Aided Control System Design, 2006 IEEE International Conference on Control Applications, 2006 IEEE International Symposium on Intelligent Control, Munich, Germany, 2006, pp. 1194-1199, doi: 10.1109/CACSD-CCA-ISIC.2006.4776812.
- [21]E. Tovar, F. Vasques, Cycle time properties of the PROFIBUS timed-tok 1999,en protocol,Computer Communications, Volume 22, Issue 13, Pages 1206-1216, ISSN 0140-3664,
- [22] E.A Mossin, D. Brandão, G.S Sestito, et al. Automatic Diagnosis for PROFIBUS Networks. J Control Autom Electr Syst 27, 658–669 (2016). https://doi.org/10.1007/
- [23] D.W. Clarke, C. Mohtadi, P.S. Tuffs, *Generalized predictive control—Part I. The basic algorithm, Automatica,* Volume 23, Issue 2,1987, Pages 137-148, ISSN 0005-1098,
- [24] Y. Deng, V. Léchappé, E. Moulay, F. Plestan, Q. Han, Predictor-based control of timedelay systems: a survey International Journal of Systems Science, 2022, 53 (12), pp.2496-253.
- [25] Cuenca, A., Salt, J., Casanova, V. et al. An approach based on an adaptive multi-rate smith predictor and gain scheduling for a networked control system: Implementation over PROFIBUS-DP. Int. J. Control Autom. Syst. 8, 473–481, https://doi.org/10.1007/s12555-010-0237-1, (2010).
- [26] X. Dang, Van-Thu Nguyen, Xuan-Phuong Nguyen, Robust control of networked control systems with randomly varying time-delays based on adaptive Smith predictor, Rangsit Journal of Arts and Sciences, July-December 2015 RJAS Vol. 5 No. 2, pp. 175-186, ISSN2392-554X (Online) DOI: 10.14456/rjas.2015.16
- [27] A. Ali, L. A. Latiff, M. A. Sarijari, and N. Fisal, *Real-time Routing in Wireless Sensor Networks*, in 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops ICDCS, 2008, pp. 114-119.
- [28] S. Haddad et. al: Mathematical Model with Energy and Clustering Energy Based Routing Protocols as Remediation to the Directional Source Aware Routing Protocol in Wireless Sensor Networks, Wireless Sensor Network, 2022, 14, 23-39, ISSN Online: 1945-3086
- [29] Edgar H. Callaway, *Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols*, Auerbach Publications, 2004, (350 pages), ISBN:0849318238

- [30] M. L. Rajaram, E. Kougianos, S. P. Mohanty and U. Choppali, Wireless sensor network simulation frameworks: A tutorial review: MATLAB/Simulink bests the rest, IEEE Consumer Electronics Magazine, vol. 5, no. 2, pp. 63-69, April 2016, doi: 10.1109/MCE.2016.2519051
- [31] A Boukerche, ALGORITHMS, AND PROTOCOLS FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS, 2009, ISBN 978-0-471-79813-2
- [32] K. Benkic, M. Malajner, P. Planinsic and Z. Cucej, Using RSSI value for distance estimation in wireless sensor networks based on ZigBee, 2008 15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, Bratislava, Slovakia, 2008, pp. 303-306, doi: 10.1109/IWSSIP.2008.4604427
- [33] F. Mazunga, A. Nechibvute, Ultra-low power techniques in energy harvesting wireless sensor networks: Recent advances and issues, Scientific African, Volume 11, 2021, e00720, ISSN 2468-2276,
- [34] F. Moreno-Cruz et. al, *treNch*: Ultra-Low Power Wireless Communication Protocol for IoT and Energy Harvesting, Sensors 2020, 20, 6156; doi:10.3390/s20216156
- [35] J. Zheng, Y. Liu, X. Fan, F. Li, *The Study of RSSI in Wireless Sensor Networks*, Advances in Intelligent Systems Research, volume 133, 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Industrial Engineering (AIIE2016)
- [36] H. D. M. da Silva1, J. A. Afonso, L. A. Rocha, Experimental study on RSS based indoor positioning algorithms, Book part, Springer 2015, 978-94-017-9803-7
- [37] L. J. García Villalba et. al, *Routing Protocols in Wireless Sensor Networks*, Sensors 2009, 9, 8399-8421; doi:10.3390/s91108399
- [38] D. Pescaru, D.I. Curiac, Anchor Node Localization for Wireless Sensor Networks Using Video and Compass Information Fusion, Sensors 2014, 14, 4211-4224; doi:10.3390/s140304211
- [39] X. Fang, L. Nan, Z. Jiang, L. Chen, Robust node position estimation algorithms for wireless sensor networks based on improved adaptive Kalman filters, Computer Communications 101 (2017) 69–81
- [40] M. Peter and R. Pravin, Pervasive ambient intelligence system: A ZigBee based sensor networks for ambient monitoring, International Conference on Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies, Thuckalay, India, 2011, pp. 619-622, doi: 10.1109/ICSCCN.2011.6024625.
- [41] Mahajan, A. et al., with Moghaddam, M., D. Entekhabi, and Y. Goykhman, Ke Li and Mingyan Liu. A Wireless Soil Moisture Smart Sensor Web Using Physics-Based Optimal Control: Concept and Initial Demonstrations. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of 3.4 (2010): 522-535.
- [42] Y. A. Millán, F. Vargas, F. Molano and E. Mojica, "A Wireless Networked Control Systems review," IX Latin American Robotics Symposium and IEEE Colombian Conference on Automatic Control, 2011 IEEE, Bogota, Colombia, 2011, pp. 1-6, doi: 10.1109/LARC.2011.6086837
- [43] M. Abu Alsheikh, D. T. Hoang, D. Niyato, H. -P. Tan and S. Lin, Markov Decision Processes With Applications in Wireless Sensor Networks: A Survey, in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 3, pp. 1239-1267, third quarter 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2420686

- [44] Touraj Soleymani, Sandra Hirche, John S. Baras, LQG Control via Wireless Sensor Networks with Minimal Transmission Power, IFAC-PapersOnLine, Volume 51, Issue 7, 2018, Pages 51-56, ISSN 2405-8963
- [45] Gh. Livinț, R. Gaiginschi, V. Horga, Drosescu R. s.a. *Vehicule electrice hibride*, Casa de Editura Venus, 2006
- [46] G. Gabor, G. Pintilie, C. Dumitrescu, C. Nituca, A. T. Plesca, "Application of Industrial PROFIBUS-DP protocol, International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 2018
- [47] G. Gabor, A. T. Plesca, C. Nituca, G. Chiriac,, "Three-phase asynchronous motor driven by a frequency converter controlled with plc", CNAE, 2018
- [48] G. Gabor, A. T. Plesca, "The PLC control of electrical system consisting in electromagnetically sliding brake and coupling", Journal of Energy Technology, JET Volume 8 (2015), p.p. 1 10 2018
- [49] G. Gabor, G.-C. Pintilie, A.T. Plesca, M. Cardasim, "*Temperature monitoring system using an infrared temperature sensor connected to a PLC*", 12th International conference and exhibition on electromechanical and energy systems Sielmen, 2019
- [50] G. Gabor, F.-A. Rusu, A. T. Plesca, C. Nituca, "Analysis of sliding electromagnetic coupling parameters in a PLC automation system", 12th International Conference and Exhibition on Electromechanical and energy systems – Sielmen, 2019
- [51]F. Lupoiu, A. T. Plesca, G. Gabor, "New Solution for Cereals, Vegetables, and Fruits Storage", 12th International Conference and Exhibition on Electromechanical and energy systems – Sielmen, 2019
- [52] G.-C. Pintilie, A. T. Plesca, F.-A. Rusu, G. Gabor, "New Materials for Heating Systems", 12th International Conference and Exhibition on Electromechanical and Energy Systems – Sielmen, 2019
- [53] D.-D. Lucache, G. Gabor, C. Dosoftei, "Integrated Learning in Electrical and Control Engineering Using an Educational Elevator System", International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 2020
- [54] P. V. Rosu, A.-T. Plesca, G. Gabor, G. Chiriac, "Optimizing the Operation of Photovoltaic Panel Systems", International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 2020
- [55]G. Mocanu, A.-T. Plesca, G. Gabor, M. Adam, M. Andruşcă, "Temperature Monitoring of the Heating Resistors of the Railway Switches from Romanian Railway System", International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 2020
- [56] F. Lupoiu, A.-T. Plesca, G. Gabor, G. Chiriac, "A New Solution of Electronic Device Proposed for Cereals, Vegetables, and Fruits Storage", International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 2020
- [57] C. Niţucă, G. Chiriac, G. Gabor, I. Nucă, V. Cazac, M. Burduniuc, Geometry design and analysis of an electric bus for interior thermal modeling. Journal of Energy Technology, 14(2), 47-55, 2021.
- [58]G. Chiriac, D. -D. Lucache, C. Niţucă, G. Gabor, Aspects Regarding the Heating of Electric Buses, 2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 2021, pp. 481-486, doi: 10.1109/SIELMEN53755.2021.9600435.

- [59] G. Gabor, Gh. Livinț, Solution for Monitoring and Remote Control Based on Modbus RTU and S7-1200 PLC, International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 2021.
- [60] G. Gabor, Gh. Livinţ, Application of S7-1200 PLC for Temperature Monitoring of a Railway Separator, 2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 2021
- [61] G. Gabor, Gh. Livinţ, Solution for pumps control in irrigations system using S7-1200 PLC, Conferinţa Naţionala de Acţionări Electrice, Timişoara, 2022, ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome XX [2022] | Fascicule 3 [August],
- [62] R. Piza, J. Salt, A. Cuenca and V. Casanova, Kalman filtering applied to PROFIBUS-DP systems. Multirate control systems with delayed signals, 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, Orlando, FL, USA, 2008, pp. 2905-2910, doi: 10.1109/IECON.2008.4758421.
- [63] Z. Li, L. Zhang, B. Yu, H. Chen, S. Du, Y. Wang, H∞ control for a kind of networked control systems with network induced time delay and data packet dropout, The 2018 International Conference On Control Automation & Information Sciences (ICCAIS 2018) October 24-27, 2018, Hangzhou, China.
- [64] C. Yilmaz, M. Fatih Isik, Y. Korkmaz, Controlling of a 3-Phased Asynchronous Motor over PROFIBUS Network, International Journal of Electronics and Electrical Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 61-65, February 2016. doi: 10.18178/ijeee.4.1.61-65
- [65] Y. Dharshan, K. Srinivasan, B. Sharmila, Optimization Technique for Networked Control DC Motor with Network-Induced Delays and Noise, International Conference on Infocom Technologies and Unmanned Systems (Trends and Future Directions) (ICTUS), Dubai, United Arab Emirates, 2017, pp. 756-762, doi: 10.1109/ICTUS.2017.8286108, 2017
- [66] E. C. Martins and F. G. Jota, Design of Networked Control Systems With Explicit Compensation for Time-Delay Variations, in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), vol. 40, no. 3, pp. 308-318, May 2010, doi: 10.1109/TSMCC.2009.2036149
- [67] F. Pouralizadeh Moghaddam, H. Gholizade Narm, Modelling and Compensation of Uncertain Time-delays in Networked Control Systems with Plant Uncertainty Using an Improved Robust Model Predictive Control Method, International Journal of Engineering, 33(6), pp. 1134-1141. doi: 10.5829/ije.2020.33.06c.11
- [68]H. Özbay, PLC based control for induction motor drive using VFD, Aintelia Science Notes, Vol. 2, Iss. 1
- [69] S. Vadi, R. Bayindir, Y. Toplar, I. Colak, Induction motor control system with a Programmable Logic Controller (PLC) and PROFIBUS communication for industrial plants — An experimental setup, ISA Transactions, Volume 122, 2022, Pages 459-471, ISSN 0019-0578
- [70] F. Viani, M. Bertolli, M. Salucci and A. Polo, *Low-Cost Wireless Monitoring and Decision Support for Water Saving in Agriculture*, in IEEE Sensors Journal, vol. 17, no. 13, pp. 4299-4309, July 1, 2017, doi: 10.1109/JSEN.2017.2705043
- [71] Y. Lee, D. Blaauw and D. Sylvester, Ultralow Power Circuit Design for Wireless Sensor Nodes for Structural Health Monitoring, in Proceedings of the IEEE, vol. 104, no. 8, pp. 1529-1546, Aug. 2016, doi: 10.1109/JPROC.2016.2547946

- [72] F. Ojeda, D. Mendez, A. Fajardo, F. Ellinger, On Wireless Sensor Network Models: A Cross-Layer Systematic Review, Sens. Actuator Netw. 2023, 12, 50. https://doi.org/10.3390/jsan12040050
- [73] Onibonoje, M, O., Ojo, A.O., Ejidokun, T.O., A Mathematical Modeling Approach for Optimal Trade-offs in a Wireless Sensor Network for a Granary Monitoring System. International Journal of Technology. Volume 10(2), pp. 332-338, 2019
- [74] R. Sharma, V. Vashisht U.Singh, *Modelling and simulation frameworks for wireless* sensor networks: a comparative study. IET Wirel. Sens. Syst., 10: 181-197. (2020), https://doi.org/10.1049/iet-wss.2020.0046
- [75] Y. Zhong, Y. Liu, Flexible optimal Kalman filtering in wireless sensor networks with intermittent observations, Journal of the Franklin Institute, Volume 358, Issue 9, 2021, Pages 5073-5088, ISSN 0016-0032, https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2021.03.025.
- [76] W. Liu, Y. Xia, D. Zheng, J. Xie, R. Luo, S. Hu, Environmental Impacts on Hardware-Based Link Quality Estimators in Wireless Sensor Networks, Sensors 2020, 20, 5327; doi:10.3390/s20185327
- [77] S. O. Guclu et. al, *Energy Efficient Wireless Sensor Network System for Localization*. Conference: EMERGING: The Fourth International Conference on Emerging Network Intelligence, Barcelona, Spain, 2012
- [78] L. Malathi, R.K. Gnanamurthy, K. Chandrasekaran, Energy efficient data collection through hybrid unequal clustering for wireless sensor networks, Computers & Electrical Engineering, Volume 48,2015, Pages 358-370, ISSN 0045-7906, https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.06.019
- [79] Fei Qin, Xuewu Dai, John E. Mitchell, *Effective-SNR estimation for wireless sensor network using Kalman filter*, Ad Hoc Networks, Volume 11, Issue 3, 2013, Pages 944-958, ISSN 1570-8705, https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.11.002.
- [80] Fuxi Wen, Zhongmin Wang, Distributed Kalman filtering for robust state estimation over wireless sensor networks under malicious cyber attacks, Digital Signal Processing, Volume 78, 2018, Pages 92-97, ISSN 1051-2004, https://doi.org/10.1016/j.dsp.2018.03.002.
- [81]B. Kim, J. Song, H. Cho, Distributed congestion control for ZigBee wireless multi-hop routers, International SoC Design Conference (ISOCC), Gyeongju, Korea (South), 2015, pp. 255-256, doi: 10.1109/ISOCC.2015.7401744.
- [82] E. Chang, Design of Wireless Temperature Acquisition System, IEEE 5th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), Chongqing, China, 2021, pp. 376-380, doi: 10.1109/IAEAC50856.2021.9390638.
- [83] R. Olfati-Saber, Distributed Kalman filtering for sensor networks, 46th IEEE Conference on Decision and Control, New Orleans, LA, USA, 2007, pp. 5492-5498, doi: 10.1109/CDC.2007.4434303.
- [84] C. Fosalau, C. Zet and D. Petrisor, *Implementation of a landslide monitoring system as a wireless sensor network*, IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), New York, NY, USA, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/UEMCON.2016.7777813.
- [85] Suryadi, P. Puranto, H. Adinanta, A. Tohari, P. Priambodo, *Development of wireless* sensor network for landslide monitoring system, International Conference on Physical

Instrumentation and Advanced Materials, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 853 (2017).

- [86] A. Ajith Kumar S., Knut Øvsthus, Lars M. Kristensen, An Industrial Perspective on Wireless Sensor Networks - A Survey of Requirements, Protocols and Challenges, IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS AND TUTORIALS, ACCEPTED FOR PUBLICATION (1ST REVIEW VERSION), 2014 IEEE
- [87] T. Alhmiedat An Adaptive Energy-Efficient Data Collection System for ZigBee Wireless Sensor Networks. International Journal of Distributed Sensor Networks. 2015;11(12). doi:10.1155/2015/734937
- [88] Sadeghi, Mahsa & Shahrabi, Alireza & Ghoreyshi, Seyed Mohammad & Alfouzan, Faisal. (2023). Distributed Node Deployment Algorithms in Mobile Wireless Sensor Networks: Survey and Challenges. ACM Transactions on Sensor Networks. 19. 10.1145/3579034.
- [89]K. Sharma, Dr. T.S Kamal, R.S Kaler. Design Analysis of Mathematical Model for Collision Affected Environment in Wireless Sensor Network. International Journal of Ad Hoc, Sensor & Ubiquitous Computing. 2. 10.5121/ijasuc.2011.2301.
- [90] U. Baroudi, A. Uthman, Qureshi, Amin-ud-din, S. Mekid, Characterization and Modeling of Received Signal Strength and Charging Time for Wireless Energy Transfer, Advances in Electrical Engineering, 2015, 621306, 15 pages, 2015. https://doi.org/10.1155/2015/621306
- [91] M. Singh, V. S. Rathor, K. Sagar Sahoo and A. H. Gandomi, Cooperative Geometric Scheme for Passive Localization of Target in an Indoor Environment, 2022 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), Singapore, Singapore, 2022, pp. 238-245, doi: 10.1109/SSCI51031.2022.10022273.
- [92] E. Chang, Design of Wireless Temperature Acquisition System, IEEE 5th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC) | 978-1-7281-8028-1/20/\$31.00 ©2021
- [93] A. Somappa, i. Kent. Model-based Development for MAC Protocols in Industrial Wireless Sensor Networks. Published in PNSE @ Petri Nets 2016 Computer Science, Engineering
- [94] A. Peter Manoj, A. Pravin Renold, Pervasive Ambient Intelligence System: a ZigBee based Sensor Networks for Ambient Monitoring, Proceedings of 2011 International Conference on Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies (ICSCCN 2011)
- [95] R. Arvind, R. Raj, R. Ranjithh Raj, N. Krishna Prakash, Industrial Automation using Wireless Sensor Networks, Indian Journal of Science and Technology, Vol 9(8), DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i8/87931, February 2016
- [96] Y. Cao, X. Lu, Z. Zhao, X. Ji and Y. Yan, Distance Estimation Methods in Vehicular Application: An Experimental Study, 2018, IEEE 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)
- [97] Y. Cao, X. Lu, Z. Zhao, X. Ji, J. Yang and X. Pang, A Comparative Study of BLE-based Fingerprint Localization for Vehicular Application, IEEE Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation and Location-Based Services (UPINLBS), 2018
- [98] A. Yassin, Y. Nasser, M. Awad, A. Al-Dubai, R. Liu, C. Yuen, R. Raulefs and E. Aboutanios, *Recent advances in indoor localization: A survey on theoretical approaches*

and applications, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 2, pp. 1327-1346, 2017.

- [99] G. Oguntala, R. Abd-Alhameed, S. Jones, J. Noras, M. Patwary and J. Rodriguez, Indoor Location Identification Technologies for Real-Time IoT-based Applications: An Inclusive Survey, Computer Science Review, vol. 30, pp. 55-79, 2018
- [100] A. Shayokh, U. A. Md, H. P. Partal., *Performance improvement techniques for RSSI based localization methods*, International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT), 2013.
- [101] L. Xu, F. Yang, Y. Jiang, L. Zhang, C. Feng and N. Bao, Variation of received signal strength in wireless sensor network, 3rd International Conference on Advanced Computer Control, 2011.
- [102] K. H. M. Azmi, S. M. Berber and M. J. Neve., The influence of received signal strength measurement methods on the accuracy of distance estimation in wireless sensor network. IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation,, Measurement and Application (ICSIMA), 2017.
- [103] I. G. Tudorache, I. Rasool and A. H. Kemp, *Indoor RSSI-based ranging consistency and error factors in wireless sensor networks*, 2012 20th Telecommunications Forum (*TELFOR*), Belgrade, Serbia, 2012, pp. 607-610, doi: 10.1109/TELFOR.2012.6419283.
- [104] J. Luomala and I. Hakala, Effects of temperature and humidity on radio signal strength in outdoor wireless sensor networks, 2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), Lodz, Poland, 2015, pp. 1247-1255, doi: 10.15439/2015F241
- [105] https://www.microchip.com/en-us/product/mrf24j40ma, Datasheet
- [106] https://www.microchip.com/en-us/product/pic16f882, Datasheet
- [107] P. Liu, X. Zhang, S. Tian, Z. Zhao and P. Sun, A Novel Virtual Anchor Node-Based Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks, Sixth International Conference on Networking (ICN'07), Sainte Luce, Martinique, France, 2007, pp. 9-9, doi: 10.1109/ICN.2007.8.
- [108] G. Dimitriou, P.K. Kikiras, G.I. Stamoulis, I.N. Avaritsiotis, A Tool for Calculating Energy Consumption in Wireless Sensor Networks. Bozanis, P., Houstis, E.N. (eds) Advances in Informatics. PCI 2005. Lecture Notes in Computer Science, vol 3746. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/11573036\_58
- [109] C. F. Chiasserini and M. Garetto, "An Analytical Model for Wireless Sensor Networks with Sleeping Nodes," in IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 5, no. 12, pp. 1706-1718, Dec. 2006, doi: 10.1109/TMC.2006.175.
- [110] M. G. Malajner, D. Peter. Angle of arrival estimation algorithms using received signal strength indicator. 45. 237-248, Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials Vol. 45, No. 4 (2015), 237 – 248
- [111] D. Lozneanu, Gh. pana, E.L. Miron, *Energy model of sensor nodes in WSN*, Technical Sciences and Applied Mathematics, 2011
- [112] A, D. Boursianis, M. S. Papadopoulou, A. Gotsis, S. Wan, P. Sarigiannidis, S. Nikolaidis, S. K. Goudos, Smart Irrigation System for Precision Agriculture—The ARETHOU5A IoT Platform, IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 21, NO. 16, AUGUST 15, 2021

- [113] A. M. Efendi, S. Oh, A. F. P. Negara, D. Choi. Battery-Less 6LoWPAN-Based Wireless Home Automation by Use of Energy Harvesting. International Journal of Distributed Sensor Networks. 2013. 10.1155/2013/924576.
- [114] Z. Yuan, W. Hua, X. Han, Zigbee transmission power dynamic adjustment system based on fuzzy control, International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol. 7, No. 4, pp. 1736-1752, January, 2014.
- [115] X. Huang, D. Han, M. Cui, G. Lin, X. Yin, Three-Dimensional Localization Algorithm Based on Improved A\* and DV-Hop Algorithms in Wireless Sensor Network, Sensors 2021, 21, 448. https://doi.org/10.3390/s21020448
- [116] Xue, D. Research of localization algorithm for wireless sensor network based on DV-Hop. J Wireless Com Network, 218 (2019). https://doi.org/10.1186/s13638-019-1539-5
- [117] B. R. Stojkoska and V. Kirandziska, Improved MDS-based algorithm for nodes localization in wireless sensor networks, Eurocon 2013, Zagreb, Croatia, 2013, pp. 608-613, doi: 10.1109/EUROCON.2013.6625044.
- [118] B. A. Shahal, M. Abdullah. A review of localization algorithms based on software defined networking approach in wireless sensor network, Measurement: Sensors. 27. 100772. 10.1016/j.measen.2023.100772, 2023
- [119] O. J. Aroba, N. Naicker, T. T. Adeliyi, Node localization in wireless sensor networks using a hyper-heuristic DEEC-Gaussian gradient distance algorithm, Scientific African, Volume 19, 2023