



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

Διπλωματική Εργασία του Συντιχάκη Ιωάννη

**ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ:**  
**ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

**ΧΑΝΙΑ**  
**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2020**

ΙΩΑΝΝΗΣ Σ. ΣΥΝΤΙΧΑΚΗΣ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ:

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

<u>Επιβλέπων</u>	<u>Μέλος 1</u>	<u>Μέλος 2</u>
Ιψάκης Δημήτριος	Παπαευθυμίου Σπυρίδων	Δοϊτσίδης Ελευθέριος
Επ. Καθηγητής	Αναπ. Καθηγητής	Επ. Καθηγητής

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΧΑΝΙΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2020

---

# Περιεχόμενα

---

<b>Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή στον Βιομηχανικό Έλεγχο.....</b>	<b>1</b>
1.1.Εισαγωγικά Στοιχεία – Ιστορική Διαδρομή.....	1
1.2.Εισαγωγικά Στοιχεία – Βασικές Έννοιες του Βιομηχανικού Ελέγχου.....	3
1.3. Εισαγωγικά Στοιχεία – Τύποι Βιομηχανικού Ελέγχου.....	4
1.4. Εισαγωγικά Στοιχεία – Στόχοι Βιομηχανικού Ελέγχου.....	6
 <b>Κεφάλαιο 2 - Υλοποίηση Βιομηχανικού Ελέγχου (PID Ελεγκτές).....</b>	<b>10</b>
2.1. Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου.....	10
2.1.1. Τύποι συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.....	11
2.1.2. Σύγκριση συστημάτων ανοιχτού και κλειστού βρόχου.....	13
2.2 Βιομηχανικοί Ελεγκτές & Ελεγκτές Τύπου P.I.D.....	13
2.2.1 Ελεγκτές τύπου P.I.D.....	14
2.2.2. Χαρακτηριστικά ελεγκτών P, I και D.....	16
2.2.3. Σχεδίαση PID ελεγκτή.....	18
2.2.4. Μεθοδολογίες Tuning (Συντονισμού).....	18
2.2.5. Zeigler-Nichols' Tuning.....	19
2.2.6. Αυτορυθμιζόμενος PID ελεγκτής με ηλεκτρονόμο.....	23
2.2.7. Ελεγκτής PID με φίλτρο.....	24
 <b>Κεφάλαιο 3 – Υλοποίηση Βιομηχανικού Ελέγχου (PLC Ελεγκτές).....</b>	<b>25</b>
3.1. Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές ( PLC ).....	25
3.1.1. Πλεονεκτήματα των PLC .....	26
3.1.2. Η δομή ενός Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή .....	27

3.1.3. Προγραμματισμός και αρχή λειτουργίας PLC .....	42
3.2. Ψηφιακός Έλεγχος.....	44
3.2.1. Ψηφιακά συστήματα αυτομάτου ελέγχου.....	44
3.2.2. Μετατροπείς ψηφιακού σήματος σε αναλογικό ( D/A- Converter ) και αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ( A/D – Converter ).....	47
3.2.3. Ψηφιακός ελεγκτής.....	49
3.2.4. Σχεδιασμός ψηφιακού ελεγκτή.....	51

## **Κεφάλαιο 4 - Απαραίτητος Βιομηχανικός Εξοπλισμός.....53**

4.1. Βιομηχανικός έλεγχος με Χρήση Ηλεκτρονικού Υπολογιστή.....	53
4.2. Αισθητήρια και Μεταδότες.....	55
4.3. Μετατροπείς εξόδων, Ενεργοποιητές και Τελικά Στοιχεία.....	56
4.3.1. Δικτυακή διασύνδεση αισθητήριων / μεταδοτών και ενεργοποιητών....	59
4.4. Δίκτυα Fieldbus.....	61
4.5. Φίλτρα Σημάτων.....	62
4.6. Δίκτυα Επικοινωνίας.....	63
4.6.1. Βιομηχανικά Δίκτυα LANs (Local Area Network).....	64

## **Κεφάλαιο 5 – SCADA: Εποπτικό Σύστημα Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (Supervisory Control and Data Acquisition) .....66**

5.1. Εισαγωγή στα SCADA - Ορισμοί .....	66
5.2. Ιστορική Αναδρομή.....	68
5.3. Αρχιτεκτονική Συστήματος SCADA.....	70
5.3.1 Κεντρική Τερματική Μονάδα (MTU) .....	72
5.3.2 Αισθητήρες και ευφυείς συσκευές (IED's).....	72
5.3.3 Απομακρυσμένες Τερματικές Μονάδες (RTU) .....	72
5.3.4 Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC) & Διεπαφή Ανθρώπου – Μηχανής (HMI) .....	73
5.3.5. Τηλεμετρία.....	74

5.4. Κύριες λειτουργίες ενός συστήματος SCADA.....	74
5.5. Στόχοι των συστημάτων SCADA .....	76
5.6. Οφέλη και πλεονεκτήματα των συστημάτων SCADA.....	77
5.7. Προβλήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων SCADA.....	80

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....82**

6.1. Εφαρμογές SCADA σε Θερμοηλεκτρικούς Σταθμούς Ενέργειας (Thermal Power Plants) .....	82
6.1.1.Εποπτεία αξιοποίησης φυσικού αερίου.....	83
6.1.2. Επίβλεψη των δονήσεων των αντλιών.....	84
6.1.3. Εποπτεία αξιοποίησης μαζούτ.....	85
6.2. Η Εφαρμογή των συστημάτων SCADA σε Έξυπνα Δίκτυα (SMART GRID).....	87
6.3. Εφαρμογή των Συστημάτων SCADA στην Παραγωγή Ενέργειας.....	88
6.4. Εφαρμογή των Συστημάτων SCADA Σε Συστήματα Διανομής Ενέργειας.....	90
6.5. Χρησιμότητα των Συστημάτων SCADA Στα Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας .....	92
6.6. Οφέλη των Συστημάτων SCADA σε Κυψέλες Καυσίμου (Fuel cells, FC).....	94
6.7. Συστήματα SCADA Σε Φωτοβολταϊκούς Σταθμούς Ενέργειας (Photovoltaic Power Plants) .....	96

## **Συμπεράσματα / Μελλοντικές Επεκτάσεις.....99**

## **Αναφορές / Βιβλιογραφία.....101**

---

## Περίληψη

---

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται και αναλύεται εις βάθος ο τομέας του βιομηχανικού ελέγχου, των κεντρικών αλλά και των περιφερειακών συστημάτων που τον συνοδεύουν, καθώς και οι χαρακτηριστικές του εφαρμογές στον ενεργειακό (κυρίως) τομέα. Ιδιαίτερη βάση δίνεται στην περιγραφή των βασικών τμημάτων που εμπεριέχονται σε ένα πλήρες και εγκατεστημένο σύστημα βιομηχανικού ελέγχου έτσι ώστε ο αναγνώστης (και συνεπακόλουθα ο κάθε ενδιαφερόμενος) να μπορέσει να κατανοήσει όχι μόνο τις βασικές, αλλά και τις πλέον εξειδικευμένες αρχές/έννοιες που απαιτούνται κατά την υλοποίηση και εφαρμογή του.

Στα πλαίσια αυτά, η παρούσα διπλωματική ξεκινά με μία ιστορική αναφορά στο παρελθόν, και στέκεται ιδιαίτερα στην ανάγκη της ανάπτυξης συστημάτων ελέγχου υπό μορφή βιομηχανικών μονάδων. Στην συνέχεια, αναλύονται οι θεωρητικές προεκτάσεις του κατά κόρον χρησιμοποιούμενου ελεγκτή τριών όρων «PID». Ιδιαίτερη βάση δίδεται στην εφαρμογή του έπειτα από καθορισμένες μεθοδολογίες «tuning» αλλά και στην συχνή χρήση φίλτρου (1<sup>ης</sup>, 2<sup>ης</sup> τάξης κτλ.) για καλύτερη απόδοση. Μεγάλο μέρος της διπλωματικής όμως, καλύπτει η υλοποίηση του βιομηχανικού ελέγχου μέσω των Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών (PLC). Έννοιες όπως η δομή ενός Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή, οι βασικές αρχές λειτουργίας του, καθώς και η ψηφιακή του απεικόνιση αναλύονται εις βάθος και συνοδεύονται από την καταγραφή του απαραίτητου εξοπλισμού (π.χ. αισθητήρια, μετρητικά στοιχεία).

Τέλος, η διπλωματική αγγίζει το θέμα του Εποπτικού Συστήματος Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (γνωστό ως SCADA) περιγράφοντας α) την αρχιτεκτονική του, β) τις κύριες λειτουργίες του, γ) τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα του και φυσικά δ) βασικές του εφαρμογές. Ειδικότερα, αναλύονται εφαρμογές του βιομηχανικού ελέγχου σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας, μεταφοράς ρευστών αλλά και σε καινοτόμα συστήματα αξιοποίησης και διαχείρισης ενέργειας.

---

## *Abstract*

---

The present thesis delves into the broad area of industrial control, into the main and auxiliary units that are required, and also into selected applications of industrial control at the energy sector. Particular emphasis is shed on the description of the basic components that comprise an integrated and installed industrial control system so that the reader (and consequently anyone interested) will be able to understand not only basic, but also advanced principles that are encountered during industrial control implementation.

To this end, the thesis initiates with a historical throwback regarding the emergence of the need for developing industrial control systems. Next, the basic principles of the widely used three-term PID controller are analysed. Special effort is devoted towards analysing the PID implementation after proper tuning, but also under the frequent use of filters (1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, etc.) towards improved performance. Core effort for this thesis however, is devoted for the analysis of industrial control units through Programmable Logic Controllers (PLC). Principles such as the structure of a Programmable Logic Controller, its operating features, as well as, its digital requirements are presented in detail and accompanied by the broke down description of the necessary equipment (e.g. sensors, measuring elements).

Finally, the thesis covers (up to a marginal point) the area of the Supervisory Control and Data Acquisition System (known as SCADA) and explains a) its architecture, b) its main functions, c) its advantages / disadvantages and clearly d) its applications. In particular, the thesis presents selected applications of industrial control in power plants, fluid transport stations and also in innovative energy harnessing systems.

---

## Ευχαριστίες

---

Ολοκληρώνοντας την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής, θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτο απ' όλους τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτριο Ιψάκη για την καθοδήγηση και την αμέριστη συνδρομή του κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής, αλλά και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ολοκληρώσω τις σπουδές μου ερευνώντας ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Επίσης, δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους δικούς μου ανθρώπους για την στήριξη τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος , ευχαριστώ την τριμελή επιτροπή για την επίβλεψη κάτω από αυτές τις συνθήκες.



---

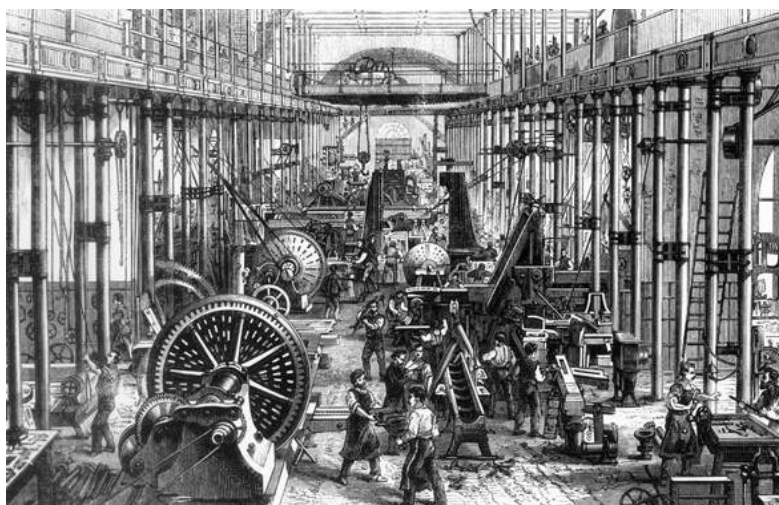
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ

---

### 1.1. Εισαγωγικά Στοιχεία – Ιστορική Αναδρομή

Από την βιομηχανική επανάσταση έως και σήμερα, ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της παγκόσμιας οικονομίας προέρχεται από την βιομηχανική παραγωγή. Ειδικότερα, τα χαρακτηριστικά της βιομηχανικής επανάστασης είναι α) η εκτεταμένη χρήση νέων τεχνικών μέσων που περιορίζουν την χειρωνακτική εργασία, β) η αύξηση της παραγωγής, γ) η μείωση του κόστους των προϊόντων, δ) η εφαρμογή καινοτομιών, ε) οι υψηλοί ρυθμοί ανάπτυξης και στ) η αξιοποίηση νέων μορφών ενέργειας. Τα παραπάνω οδήγησαν στην εμφάνιση νέων τεχνικών παραγωγής και την ενσωμάτωση νέων μηχανημάτων σε αυτές, τα οποία ευνόησαν την μαζική παραγωγή και μετέτρεψαν τις μικρές βιοτεχνίες σε μεγάλα εργοστάσια και βιομηχανίες. Με αυτόν τον τρόπο, η παραγωγή ενός αγαθού αρχίζει να γίνεται μαζική, αυτοματοποιημένη, δημιουργώντας υλικά ανώτερης ποιότητας. Στην εικόνα 1.1. που ακολουθεί παρατηρεί κανείς την μορφή ενός εσωτερικού χώρου βιομηχανίας με παρουσία πλήθους εργατών.



**Εικόνα 1.1.** «Εσωτερικό βιομηχανίας μετά την Βιομηχανική Επανάσταση» [1]

Παρατηρώντας στο εσωτερικό μιας τότε βιομηχανίας, μπορούμε να αντιληφθούμε την αντικατάσταση πολλών εργατικών χεριών με ογκώδη μηχανήματα. Δηλαδή την μαζική εισαγωγή της σύγχρονης (για τότε) τεχνολογίας στην παραγωγική διαδικασία με αποτέλεσμα την παραγωγή πολύπλοκων, πιο εξειδικευμένων, ανώτερης ποιότητας προϊόντων μαζικά, στο μισό χρόνο με το μισό κόστος, αναβαθμίζοντας έτσι την παραγωγική διαδικασία μιας βιομηχανίας.

Όμως, η εισαγωγή καινοτομιών και νέων τεχνικών παραγωγής σε μία νέα βιομηχανία έφερε αυτομάτως την ανάγκη ενός άμεσου και αδιάλειπτου ελέγχου στο όλο σύστημα παραγωγής. Πλέον αυτός ο έλεγχος έχει αποκτήσει υποχρεωτικό χαρακτήρα εάν μία μονάδα παραγωγής θέλει να διατηρεί την λειτουργία της και την ποιότητα των αγαθών που παράγει. Όσο περνάνε τα χρόνια και η τεχνολογία αυξάνεται είναι εμφανής η τάση κατά την οποία το περιβάλλον μίας βιομηχανίας έχει την απαίτηση, η παραγωγική διαδικασία να μην εξετάζεται σαν μεμονωμένη δραστηριότητα αλλά σαν ολοκληρωμένο σύστημα. Ολοένα και περισσότερες νέες τεχνολογικές εφαρμογές εντάσσονται στο παλαιό παραγωγικό μοντέλο, αναβαθμίζοντας όλο και περισσότερο το παραγόμενο προϊόν αλλά και την παραγωγική διαδικασία γενικότερα. Παράλληλα όμως, όλο και μεγαλύτερη γίνεται η ανάγκη για έλεγχο όχι ενός μεμονωμένου μηχανήματος ή εφαρμογής, αλλά ολόκληρου του συστήματος παραγωγής. Ο έλεγχος της συμβατότητας των μηχανημάτων μεταξύ τους καθώς και με τα νέα παραγόμενα υλικά καθώς και η παράλληλη λειτουργία τους είναι πλέον πιο σημαντικός από ποτέ, για να μπορέσουμε να επιτύχουμε ένα σωστό αγαθό, σταθερά υψηλής ποιότητας.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που καθιστά τον βιομηχανικό έλεγχο απαραίτητο κομμάτι στην λειτουργία της σύγχρονης βιομηχανικής μονάδος, είναι η αύξηση της ανταγωνιστικότητας. Όλες οι σύγχρονες παραγωγικές μονάδες έχουν επενδύσει ένα αρκετά μεγάλο μερίδιο του κεφαλαίου τους στην ορθή και σωστή λειτουργία του συστήματος παραγωγής τους, για να μπορέσουν να έχουν ένα προϊόν άρτιο, σύγχρονο και συνάμα ασφαλές. Τέλος, με την πάροδο των ετών η τεχνολογία ολοένα και πλησιάζει τα όριά της. Τα κυριότερα συστήματα αυτοματοποίησης, δεν είναι μόνο ακριβά, αλλά παρουσιάζουν μεγάλες δυσκολίες κατά την εφαρμογή, προσαρμογή, λειτουργία και ιδίως στην συντήρησή τους. Γι'

αυτόν τον λόγο, κρατώντας παράλληλα υψηλό το επίπεδο ανταγωνισμού, η κάθε παραγωγική μονάδα θα πρέπει να έχει δώσει βασικό ρόλο στο κομμάτι του ελέγχου. Το κάθε μηχάνημα που απαρτίζει την βιομηχανική μονάδα έχει μία ημερομηνία λήξης. Με τον σωστό έλεγχο και την άμεση συντήρησή τους, η ημερομηνία αυτή μπορεί να παραταθεί αρκετά, ανεβάζοντας έτσι το επίπεδο ασφάλειας της μονάδος αλλά και του ανθρώπινου δυναμικού, επιτυγχάνοντας παράλληλα τον βασικό σκοπό και στόχο της κάθε βιομηχανίας. Την άρτια, ασφαλή και αδιάλειπτη λειτουργία της [1].

## **1.2. Εισαγωγικά Στοιχεία – Βασικές έννοιες του βιομηχανικού ελέγχου**

Όταν αναφερόμαστε στον βιομηχανικό έλεγχο, ουσιαστικά αναφερόμαστε στην τεχνολογία και στις μεθόδους που έχουν ως αποτέλεσμα την αυτόνομη λειτουργία των διεργασιών στις βιομηχανίες που παράγουν προϊόντα είτε από πρωτογενείς ύλες (χάλυβα, ηλεκτρική ενέργεια, χαρτί, καύσιμα, τρόφιμα), είτε των διεργασιών στις βιομηχανίες για την κατασκευή σύνθετων προϊόντων (υπολογιστές, αυτοκίνητα, ηλεκτρικές συσκευές, αεροσκάφη). Η πρώτη περίπτωση των διεργασιών συνήθως κατηγοριοποιείται σε διεργασίες συνεχούς παραγωγής (continuous processes), σε διεργασίες διαλείποντος έργου (batch processes) και σε διακοπτόμενες διεργασίες (discontinuous processes). Στη πρώτη κατηγορία οι πρώτες ύλες είναι συνήθως ρευστά. Για να γίνει η επεξεργασία των πρώτων υλών χρειάζεται μια συνεχής ίδια διαδικασία για μεγάλο χρονικό διάστημα (π.χ. διωλιστήρια υγρών καυσίμων, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας). Στις διακοπτόμενες διεργασίες, οι συνθήκες που γίνεται η λειτουργία τους έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν συχνά έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η παραγωγή διαφορετικών προϊόντων. (π.χ. χαρτί και χαλυβδόφυλλα). Οι διαλείποντος έργου διεργασίες επεξεργάζονται τις πρώτες ύλες με μια σειρά βημάτων, όπως, η πρόσμειξη των πρώτων υλών με άλλες ουσίες, η ανάμειξη υλών, η θέρμανση και συμπίεση του μείγματος και η παραλαβή ολόκληρης της ποσότητας του τελικού προϊόντος. Τέτοιες διεργασίες συναντάμε σε βιομηχανίες ξυλείας, σε βιομηχανίες φαρμάκων και τροφίμων καθώς και σε βιομηχανίες υφασμάτων ή δέρματος.

Η δεύτερη περίπτωση διεργασιών που αναφέρθηκε παραπάνω είναι γνωστή ως διεργασίες διακριτής επεξεργασίας (discrete processes). Στην εικόνα 1.2. παρουσιάζεται η ταξινόμηση βιομηχανικών κλάδων σύμφωνα με τον τύπο των διεργασιών που περιλαμβάνουν οι βιομηχανικές μονάδες του κάθε κλάδου [2].

Βιομηχανικοί κλάδοι	Συνεχείς διεργασίες	Ημισυνεχείς διεργασίες	Διεργασίες διαλείποντος έργου	Διακριτές διεργασίες
Ενέργεια	■			
Υδρευση & Απόβλητα	■	■		
Πετρελαιοειδή	■	■		
Χημικά	■	■	■	
Αέριο	■	■	■	
Χάρτου		■	■	
Βασικών μετάλλων		■	■	
Τροφίμων		■	■	
Υφασμάτων		■	■	
Γυαλιού		■	■	
Ορυχείων		■	■	
Φαρμάκων		■	■	
Ελαστικών & Πλαστικών		■	■	
Ξυλείας			■	
Τυπογραφίας			■	
Δέρματος			■	
Ενδυμάτων			■	
Ηλεκτρικών & Ηλεκτρονικών			■	
Μεταλλικών προϊόντων			■	
Επίπλου				■
Αυτοκινητοβιομηχανίας				■
Μεταφορών				■
Οργάνων				■
Εργαλειομηχανών				■

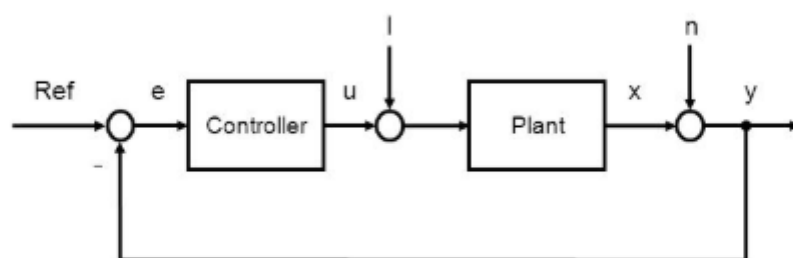
**Εικόνα 1.2.** «Ταξινόμηση βιομηχανικών κλάδων σύμφωνα με τον τύπο των διεργασιών που περιλαμβάνουν οι βιομηχανικές μονάδες του κάθε κλάδου.» [2]

### 1.3. Εισαγωγικά Στοιχεία – Τύποι Βιομηχανικού Ελέγχου

Ένα πλήθος από βρόγχους ελέγχου εμπεριέχεται σε κάθε βιομηχανική διαδικασία και συνήθως αποτελείται από διαφορετικές προδιαγραφές και στοχεύει σε έναν διαφορετικό στόχο. Οι βρόγχοι αυτοί τις περισσότερες φορές αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους με αποτέλεσμα μια πιθανή αλλαγή σε ένα στοιχείο

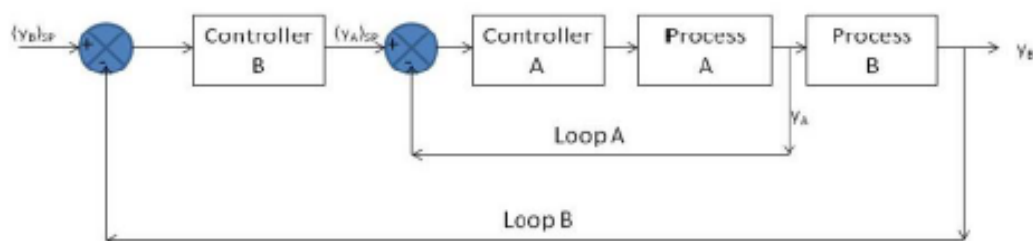
ενός βρόγχου να επηρεάζει και τους υπόλοιπους. Όμως, υπάρχουν φορές όπου τα στοιχεία ενός συστήματος ελέγχου μίας βιομηχανίας έχουν τη δυνατότητα να είναι ανεξάρτητα και να μην επηρεάζουν τους άλλους βρόγχους. Οι τέσσερις τύποι βιομηχανικού ελέγχου που διακρίνονται είναι [3] :

1. Ο έλεγχος **μοναδικού βρόγχου** (*single loop control*) . Στον έλεγχο αυτό, ένας ελεγκτής που δεν συνδέεται με κάποιον άλλον ελέγχει μια μεταβλητή της διαδικασίας. Στην εικόνα 1.3. παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ελέγχου μοναδικού βρόγχου.



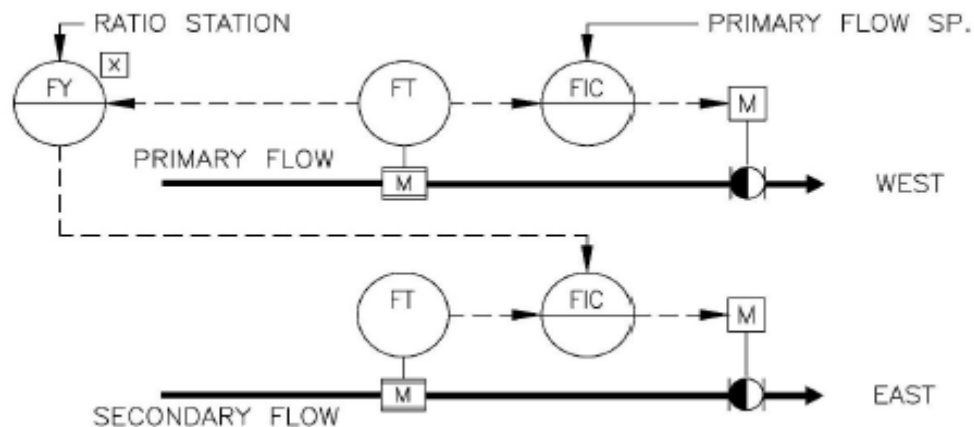
**Εικόνα 1.3 :** « Διάγραμμα ελέγχου μοναδικού βρόγχου» [3]

2. Ο **διαδοχικός έλεγχος ή έλεγχος συστοιχίας** (*cascade control*). Στην περίπτωση αυτή, λόγω μεγάλης αλληλεπίδρασης στις μεταβλητές της βιομηχανικής διαδικασίας χρειάζονται παραπάνω από ένας συνδεδεμένοι βρόγχος για να ικανοποιήσουν τις προδιαγραφές ελέγχου. Στην εικόνα 1.4. παρουσιάζεται ένα διάγραμμα διαδοχικού ελέγχου.



**Εικόνα 1.4 :** « Διάγραμμα διαδοχικού ελέγχου (ή ελέγχου συστοιχίας)» [3]

3. Ο **έλεγχος λόγου** (*ratio control*). Σε αυτή τη περίπτωση ελέγχου χρειάζεται η τήρηση ενός σταθερού λόγου μεταξύ δύο ή παραπάνω μεταβλητών, της διαδικασίας που ελέγχεται. Στην εικόνα 1.5. παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ελέγχου λόγου.



**Εικόνα 1.5.** « Διάγραμμα ελέγχου λόγου» [3]

4. Ο **έλεγχος πρόσμιξης** (*blending control*). Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται ο ποσοστιαίος έλεγχος δύο ή περισσότερων ποσοτήτων.

#### **1.4. Εισαγωγικά Στοιχεία – Στόχοι Βιομηχανικού Ελέγχου**

Ο βασικός στόχος ελέγχου μίας βιομηχανίας είναι ο όσο το δυνατόν καλύτερος χειρισμός με μηχανικά μέσα για την παρακολούθηση της ροής πληροφορίας, ενέργειας και πρώτων υλών. Αυτό απαιτεί τη συνύπαρξη ποιοτικών και οικονομικών παραγόντων η οποία οδηγεί σε κάποια οφέλη που προκύπτουν από αυτόν τον βιομηχανικό έλεγχο [4]:

- αύξηση του όγκου παραγωγής, π.χ. λειτουργώντας τη βιομηχανική μονάδα στα ανώτερα δυνατά όριά της,
- μείωση του κόστους παραγωγής ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος, λόγω βέλτιστης χρήσης των εσωτερικών πηγών ενέργειας και μείωσης του κόστους εργασίας,

- *βελτίωση της ποιότητας των παραγομένων προϊόντων λόγω της δυνατότητας να διατηρούνται οι συνθήκες λειτουργίας μέσα σε στενά όρια ανοχών,*
- *ευελιξία παραγωγής κάτω από συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες αγοράς.*

Εκτός από τα οικονομικά οφέλη που παρουσιάστηκαν παραπάνω ο βιομηχανικός έλεγχος ενός οργανισμού οδηγεί και σε οφέλη για τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος ή για την βελτιστοποίηση των συνθηκών εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, κάνοντας χρήση υπολογιστικών και ηλεκτρομηχανικών μέσων για τη ρύθμιση της αναλογίας καύσιμου-οξυγόνου υπάρχει η δυνατότητα να μειωθεί το μονοξείδιο του άνθρακα στα αέρια της καύσης με αποτέλεσμα να μειωθεί και η ρύπανση της ατμόσφαιρας. Ακόμα, με τη χρήση του βιομηχανικού ελέγχου στις διεργασίες, αποφεύγονται οι επικίνδυνες εργασίες για του χειριστές και εξομαλύνεται το περιβάλλον και οι συνθήκες εργασίες τους.

Για να υλοποιηθεί όμως ο βιομηχανικός έλεγχος στις διεργασίες χρειάζονται ένα πλήθος από διατάξεις και συσκευές τα οποία συνιστούν τα **Βιομηχανικά Συστήματα Ελέγχου**. Αυτό το πλήθος περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τους εξειδικευμένους υπολογιστές τις ηλεκτρομηχανικές αλλά και πνευματικές διατάξεις. Τα Βιομηχανικά Συστήματα Ελέγχου περιλαμβάνουν συστήματα όπως είναι τα εποπτικά συστήματα ελέγχου και συλλογής δεδομένων (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA), τα κατανεμημένα συστήματα ελέγχου (Distributed Control Systems), άλλα και μικρότερου μεγέθους όπως είναι οι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC).

Στην αρχή του προηγούμενου αιώνα, έγινε επιτακτική η ανάγκη για συνεχή παραγωγή με μεθόδους αυτοματισμού . Έτσι, καθώς προόδευε η τεχνολογία του βιομηχανικού αυτοματισμού, ταυτόχρονα προόδευε και η λειτουργία των βιομηχανικών διαδικασιών. Αρχικά, οι άνθρωποι είχαν την πλήρη εποπτεία και τον πλήρη έλεγχο της παραγωγής. Όμως, καθώς αναπτύχθηκε νέος εξοπλισμός, οι λειτουργίες ελέγχου αυτοματοποιήθηκαν με αποτέλεσμα να αυξηθεί η παραγωγή συσκευών ελέγχου. Τρεις είναι οι βασικοί παράγοντες που περιλαμβάνει ο αυτοματισμός από την γέννηση του : **α) τα αισθητήρια που συγκεντρώνουν**



**πληροφορίες από το περιβάλλον παραγωγής, β) τους ενεργοποιητές που επιτρέπουν την υλοποίηση των αποφάσεων ελέγχου και γ) τα συστήματα αποφάσεων τα οποία αποφασίζουν, προγραμματίζουν και κατευθύνουν τις ενέργειες ελέγχου.**

Στα αρχικά συστήματα ελέγχου, οι λειτουργίες των αισθητηρίων και των ενεργοποιητών ήταν ενσωματωμένες στις λειτουργίες ελέγχου ενώ λίγο αργότερα εφαρμόζεται η χρήση αντισταθμιστών P. Την επόμενη δεκαετία αρχίζει η ευρεία χρήση των αντισταθμητών PID. Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων, παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση στον βιομηχανικό έλεγχο με αποτέλεσμα, η χρήση ηλεκτρονικών οργάνων στο έλεγχο να αποτελεί δεδομένο.

Με αυτό τον τρόπο έχουμε ένα πιο ευέλικτο σύστημα ελέγχου το οποίο αποτελείται από αισθητήρες, ενεργοποιητές, ρυθμιστές, καταγραφικά όργανα, και ελεγκτές PID οι οποίοι βρίσκονται σε κεντρικό θάλαμο ελέγχου και είναι υπεύθυνοι για τις αποφάσεις ελέγχου. Με τη βοήθεια της ανάπτυξης των υπολογιστών και μικροϋπολογιστών τη δεκαετία του '70 προβλήματα σχετικά με αλληλεπιδράσεις μεταβλητών στους βρόγχους ελέγχου παύουν να υφίστανται. Οι μικροϋπολογιστές κάνουν προσιτή την υπόθεση αυτομάτου ελέγχου για οποιοδήποτε είδος εφαρμογής και αλλάζουν την τεχνολογία των λειτουργιών ελέγχου των κλασικών συστημάτων με ηλεκτρονικούς.

Στη συνέχεια, κάνουν την εμφάνισή τους οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC) που αποτελούν σήμερα το κορυφαίο αυτόνομο εργαλείο ελέγχου. Θα μιλήσουμε γι' αυτούς αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο.

Οι PLC αντικαθιστούν, τα συμβατικά συστήματα αυτοματισμού με τα γνωστά βοηθητικά ρελέ και τους χρονοδιακόπτες και κυριαρχούν στη βιομηχανία σαν συσκευές ελέγχου. Μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους και να ανταλλάζουν δεδομένα, πληροφορίες και διαταγές ελέγχου. Σε μια βιομηχανική διαδικασία, τα συστήματα των PLC προσφέρουν ευελιξία, και αποτελεσματικό συντονισμό όλων των τμημάτων της ενώ τα αναλογικά υλικά αντικαθίστανται από μικροϋπολογιστές ακόμη και για τον έλεγχο απλών βρόχων αλλά και για άμεσο ψηφιακό έλεγχο. Ταυτόχρονα, στον θάλαμο ελέγχου βελτιώνονται τα συστήματα που προσφέρουν



τον τηλεχειρισμό στους καθώς κάνουν χρήση έγχρωμων οθονών για την παρουσίαση των πληροφοριών.

Οι βιομηχανικές εφαρμογές έκαναν σαφές ότι ο συνδυασμός PLC και υπολογιστών σε ένα σύστημα αποφέρει μεγάλα πλεονεκτήματα και γι' αυτό το λόγο στις σημερινές βιομηχανίες η μορφή του αυτοματισμού έχει σαν βάση της αυτόν τον συνδυασμό.

---

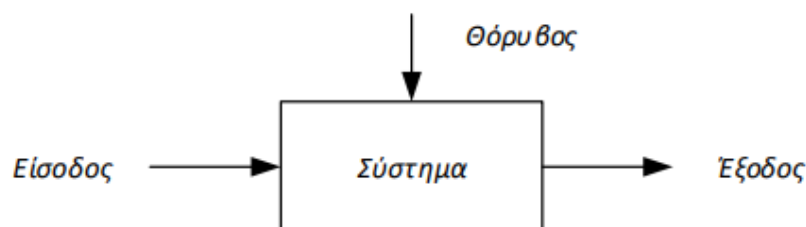
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ (PID ΕΛΕΓΚΤΕΣ)

---

#### 2.1. Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου-Βασικές Έννοιες

Ως συνέπεια των αιτιών που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, γεννήθηκε η ανάγκη μίας συνεχομένης και ολοκληρωμένης ελεγκτικής βιομηχανικής διαδικασίας. Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα την έννοια του όρου, μπορούμε να πούμε ότι ως σύστημα ελέγχου ορίζεται μια συσκευή, ή ένα σύνολο διατάξεων καλύτερα, που διαχειρίζεται εντολές, διευθύνει ή ρυθμίζει τη συμπεριφορά των άλλων συσκευών ή συστημάτων μίας βιομηχανικής μονάδος. Πιο αναλυτικά, σύστημα είναι ένα σύνολο φυσικών στοιχείων, μεγεθών ή εννοιών που λειτουργούν ως μία ενότητα. Ένα σύστημα που επικοινωνεί με το περιβάλλον ονομάζεται ανοιχτό σύστημα. Τα μεγέθη επικοινωνίας ενός ανοιχτού συστήματος με το περιβάλλον ονομάζονται είσοδος και έξοδος του συστήματος. Είσοδος είναι η επίδραση που δέχεται ένα ανοιχτό σύστημα από το περιβάλλον ενώ έξοδος είναι η αντίδραση και γενικότερα το αποτέλεσμα που παράγεται από το ανοιχτό σύστημα και απευθύνεται το περιβάλλον του. Θόρυβος είναι κάθε διαταραχή, δηλαδή κάθε τυχαία και μη επιθυμητή είσοδος στο σύστημα. Στην εικόνα 2.1. βλέπουμε την αναπαράσταση ενός ανοιχτού συστήματος [5].



**Εικόνα 2.1.** «Αναπαράσταση Ανοιχτού Συστήματος» [5]

**Έλεγχος** ενός συστήματος ή μιας διεργασίας είναι η διαδικασία καθορισμού, παραγωγής του κατάλληλου σήματος εισόδου έτσι ώστε η έξοδος του συστήματος να ακολουθεί μία επιθυμητή πορεία ή να διατηρεί μία επιθυμητή τιμή. Ο μηχανισμός που υλοποιεί τη διαδικασία ελέγχου σε ένα σύστημα ονομάζεται ελεγκτής. Ένα **Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου** έχει ορισμένα χαρακτηριστικά:

- αντιστοιχεί σε ένα σύνολο κατάλληλα συνδεδεμένων στοιχείων με τέτοια μορφή ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή απόκριση σε ένα σύστημα η μία διεργασία,
- είναι μία διάταξη φυσικών στοιχείων συνδεδεμένων με κατάλληλο τρόπο ώστε να κατευθύνουν, να ρυθμίζουν ή να σταθεροποιούν το ίδιο το σύστημα ή κάποιο άλλο
- είναι ένα σύνθετο σύστημα ικανό να ελέγχει, να επηρεάζει και να προσαρμόζει τη συμπεριφορά του, σύμφωνα με μια προδιαγεγραμμένη επιθυμητή πορεία.

**Είσοδος** ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου είναι η εντολή που εφαρμόζεται στο σύστημα και αποσκοπεί στην πρόκληση μίας καθορισμένης επιθυμητής απόκρισης ή συμπεριφοράς από το σύστημα ελέγχου. Η προδιαγεγραμμένη αυτή συμπεριφορά του συστήματος αποτελεί την *είσοδο αναφοράς* και περιγράφεται με μια μεταβλητή (έστω:  $x(t)$  ή  $u(t)$ ).

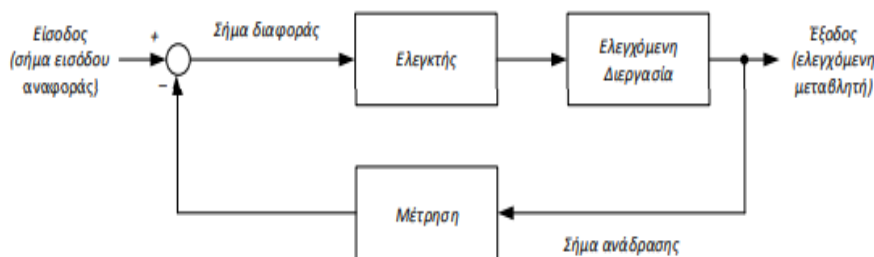
**Έξοδος** ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου είναι η πραγματική απόκριση του συστήματος και περιγράφεται με μια άλλη μεταβλητή (έστω :  $y(t)$ )

### 2.1.1. Τύποι Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου

Μπορούμε να διαχωρίσουμε τα συστήματα αυτά σε δύο βασικές κατηγορίες

α) Συστήματα Ελέγχου Ανοιχτού Βρόχου (ανοιχτού κυκλώματος), β) Συστήματα Ελέγχου Κλειστού Βρόχου (κλειστού κυκλώματος)

Ανοικτού βρόχου χαρακτηρίζεται το σύστημα όπου απουσιάζει ο ελεγκτής, σε αντίθεση με το σύστημα κλειστού βρόχου όπου εφαρμόζεται ελεγκτής. Πιο αναλυτικά, σε ένα **Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου (Κλειστού Βρόχου)** γίνεται χρήση ενός σήματος το οποίο προέρχεται από την μέτρηση της πραγματικής εξόδου του συστήματος και το οποίο, με τη βοήθεια της ανάδρασης επιστρέφει στην είσοδο του συστήματος, όπου συγκρίνεται με την είσοδο του συστήματος, δηλαδή την επιθυμητή απόκριση εξόδου. Το κλειστό κύκλωμα ελέγχου λοιπόν είναι κύκλωμα με ανάδραση (feed-back system). Το σήμα που παράγεται από τη διαδικασία μέτρησης της εξόδου καλείται **σήμα ανάδρασης**. Συνήθως λαμβάνεται μια ποσότητα του σήματος εξόδου ή και αυτούσιο το σήμα εξόδου, και συγκρίνεται με το σήμα εισόδου αναφοράς που αντιστοιχεί στην επιθυμητή απόκριση εξόδου. Η διαφορά που προκύπτει μεταξύ του σήματος που παράγεται από την μέτρηση της εξόδου και του σήματος αναφοράς είναι το **σήμα σφάλματος**, η απλά **σφάλμα**. Στην εικόνα 2.2. αναπαρίσταται ένα σύστημα κλειστού βρόχου με ανάδραση [6].



**Εικόνα 2.2.** «Αναπράσταση συστήματος αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου (με ανάδραση)» [7]

Ένα πρακτικό παράδειγμα Συστήματος Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόχου της καθημερινής μας ζωής είναι το σύστημα της κεντρικής θερμάνσεως των κτιρίων. Σε αυτή την περίπτωση, σήμα εισόδου είναι η θέση του θερμοστάτη, δηλαδή η επιθυμητή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η κεντρική θέρμανση λειτουργεί συνέχεια μέχρις ότου επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου που θέλουμε να θερμάνουμε. Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται συνεχώς και όσο υπάρχει διαφορά μεταξύ της θέσεως του θερμοστάτη και της θερμοκρασίας που δείχνει το θερμόμετρο του χώρου, το σύστημα θα λειτουργεί. Όταν η διαφορά αυτή μηδενισθεί τότε το σύστημα παύει να λειτουργεί. Όταν με την πάροδο του χρόνου η

θερμοκρασία του χώρου μειωθεί, το σύστημα ξαναπαίρνει σε λειτουργία και έτσι η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή. Επειδή στην παραπάνω περίπτωση δεν παίρνει μέρος στην όλη διαδικασία, πέρα από το να καθορίσει τις επιθυμητές συνθήκες, κάποιος χειριστής, πρόκειται για ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου.

Το σπουδαιότερο πλεονέκτημα ενός συστήματος κλειστού βρόχου είναι η χρησιμοποίηση του σήματος εξόδου στην είσοδο (ανάδραση) με αποτέλεσμα την ευστάθεια λειτουργίας του συστήματος και την ανθεκτικότητα στις εξωτερικές ή εσωτερικές διαταραχές. Έτσι γίνεται πιο σωστή και ακριβής η κατασκευή συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Αυτό δεν μπορεί να συμβεί στα κυκλώματα ανοικτού βρόχου. Από την άποψη της ευστάθειας ένα σύστημα ανοικτού κυκλώματος είναι γενικά εύκολο να κατασκευαστεί, γιατί η ευστάθεια του συστήματος παραμένει αμετάβλητη, πράγμα που αποτελεί σοβαρό παράγοντα στο σχεδιασμό των συστημάτων κλειστού βρόχου. Το σπουδαιότερο μειονέκτημα του ανοικτού κυκλώματος είναι ότι οποιαδήποτε διαταραχή, μπορεί να αλλάξει τον τρόπο λειτουργίας, με αποτέλεσμα η έξοδος του συστήματος να μην είναι πια η επιθυμητή. Γι' αυτό τέτοιου είδους συστήματα χρησιμοποιούνται εκεί που δεν αναμένεται η ύπαρξη διαταραχών στην λειτουργία τους [7].

## **2.2 Βιομηχανικοί Ελεγκτές & Ελεγκτές PID**

Η αυτοματοποίηση της παραγωγής συνιστά στις μέρες μας την πιο σημαντική μέθοδο χάρη στην οποία οι βιομηχανικές επιχειρήσεις βελτιώνουν την παραγωγικότητα τους. Σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη της οικονομίας των περισσότερων βιομηχανικών επιχειρήσεων αποτελεί η ένταξη εξελιγμένων συστημάτων αυτοματοποίησης καθώς και η σωστή διαχείριση των βιομηχανικών συστημάτων πληροφορικής. Νέα ολοκληρωμένα συστήματα αυτοματισμού (computerizing integrated manufacturing) έκαναν την εμφάνιση τους τα τελευταία χρόνια και συνέδεαν όλες τις δραστηριότητες που ήταν απαραίτητες για την παραγωγή. Για την αποτελεσματική ολοκλήρωση αυτών των δραστηριοτήτων πρέπει οποιοδήποτε στοιχείο που χρησιμοποιείται στην παραγωγή να ελέγχεται με αξιοπιστία και ακρίβεια. Συνεπώς, ένα τέτοιο ολοκληρωμένων δραστηριοτήτων

σύστημα εξαρτάται από την ποιότητα των ηλεκτρονικών συσκευών που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των διεργασιών. Τέτοιες συσκευές είναι **οι ελεγκτές τύπου PID , οι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC) και διάφοροι άλλοι τύποι ελεγκτών.**

### **2.2.1 Ελεγκτές τύπου P.I.D.**

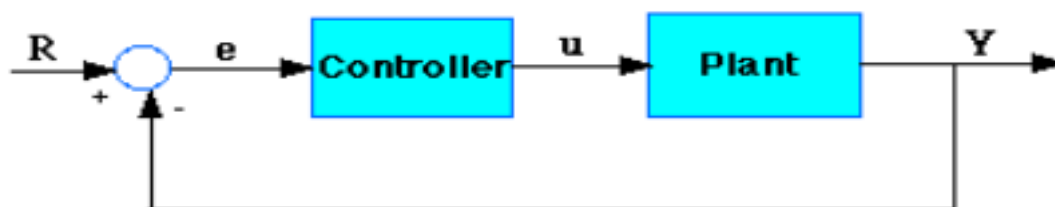
Ένας Αναλογικός (P) , Ολοκληρωτικός (I) , Διαφορικός (D) ελεγκτής ή αλλιώς ελεγκτής τριών όρων (PID ελεγκτής) χρησιμοποιείται ευρέως στα βιομηχανικά ΣΑΕ και αποτελεί ένα γενικό μηχανισμό με ανατροφοδότηση βρόχων ελέγχου. Ένας τέτοιος ελεγκτής PID έχει τη δυνατότητα να διορθώσει το λάθος μεταξύ μιας μετρημένης μεταβλητής/διαδικασίας και ενός επιθυμητού σημείου λειτουργίας με τον υπολογισμό και έπειτα την έξοδο μιας διορθωτικής δράσης που μπορεί να ρυθμίσει τη διαδικασία αναλόγως . Ένα παράδειγμα PID ελεγκτή για έλεγχο θερμοκρασίας βλέπουμε στην εικόνα 2.3 [5].



**Εικόνα 2.3.** «Ελεγκτής PID για έλεγχο θερμοκρασίας.» [8]

Ο υπολογισμός της εξόδου του PID ελεγκτή περιλαμβάνει τον αναλογικό, τον ολοκληρωτικό και τον παραγωγικό όρο. Το αναλογικό κέρδος καθορίζει την αντίδραση στο τρέχον λάθος, το ολοκλήρωμα καθορίζει την δράση βασισμένη στο άθροισμα των λαθών και η παράγωγος καθορίζει την δράση βάση του ποσοστού

στο οποίο το λάθος έχει αλλάξει στον χρόνο. Στην εικόνα 2.4. παρουσιάζεται ένα σύστημα ελέγχου μοναδιαίας ανατροφοδότησης.



**Εικόνα 2.4** «Σύστημα μοναδιαίας ανατροφοδότησης (PID controller)» [5]

Με τη βοήθεια του παραπάνω σχήματος μπορούμε να δούμε τον τρόπο που δουλεύει ένας PID controller σε σύστημα κλειστού βρόχου.

*Plant*: Το σύστημα που θα ελεγχθεί.

*Controller* (Ελεγκτής): Παρέχει τη διέγερση στο σύστημα προς έλεγχο. Είναι σχεδιασμένος για να ελέγχει την συνολική συμπεριφορά του συστήματος. Η συνάρτηση μεταφοράς του PID ελεγκτή είναι :

$$\text{PID: } K_p + K_i/s + K_D s = (K_D s^2 + K_p + K_i)/s \quad (2.1)$$

Οι όροι  $K_p$ ,  $K_i$  και  $K_D$  είναι αντίστοιχα:

- $K_p$  = Αναλογικό κέρδος
- $K_i$  = Ολοκληρωτικό κέρδος
- $K_D$  = Διαφορικό κέρδος

Η μεταβλητή (e) αντιπροσωπεύει το σφάλμα παρακολούθησης, δηλαδή τη διαφορά ανάμεσα στην τιμή της επιθυμητής εισόδου (R) και σε εκείνη της πραγματικής

εξόδου (Y). Αυτό το σήμα σφάλματος (e) θα σταλεί στον PID ελεγκτή και ο ελεγκτής θα υπολογίσει τόσο τη παράγωγο όσο και το ολοκλήρωμα αυτού του σήματος. Το σήμα (u) αμέσως μετά τον ελεγκτή είναι πλέον ίσο με το αναλογικό κέρδος ( $K_p$ ) επί την τιμή του σφάλματος συν το ολοκληρωτικό κέρδος ( $K_i$ ) επί το ολοκλήρωμα του σφάλματος, συν το διαφορικό κέρδος ( $K_D$ ) επί την παράγωγο του σφάλματος. Δηλαδή:

$$u = K_p e + K_i \int e dt + K_D (de/dt) \quad (2.2)$$

Το σήμα αυτό θα σταλεί στο σύστημα προς έλεγχο και στη συνέχεια θα λάβουμε ένα νέο σήμα εξόδου (Y). Η νέα αυτή έξοδος θα σταλεί ξανά πίσω στο αισθητήριο για να ανιχνεύσει και αυτό με τη σειρά του το νέο σήμα σφάλματος και θα υπολογίσει ξανά τη παράγωγο και το ολοκλήρωμα και η ίδια διαδικασία θα επαναλαμβάνεται συνέχεια.

### **2.2.2. Χαρακτηριστικά των ελεγκτών P, I και D.**

Ο όρος **P** ως **αναλογικός όρος**, προσπαθεί να βελτιώνει στη μόνιμη αλλά και στη μεταβατική κατάσταση, τη συμπεριφορά του συστήματος. Όμως ο όρος P δεν μπορεί να αφανίσει το μόνιμο σφάλμα ούτε να ανταπεξέλθει με σχετική απόδοση σε όλους τους τύπους των συστημάτων και των εξωτερικών διαταραχών. Για το λόγο αυτό πολλές φορές χρειάζεται να συνδυάζεται και με τους άλλους όρους. Για την εξάλειψη του σφάλματος μόνιμης κατάστασης σε συστήματα τα οποία παρουσιάζουν τέτοιου είδους σφάλμα, για όσο χρόνο διαρκεί αυτό, ο **ολοκληρωτικός όρος I** χρησιμοποιεί το ολοκλήρωμα ώστε ή έξοδος του ελεγκτή να αυξάνεται. Όμως αυτό συμβαίνει εις βάρος της ταχύτητας απόκρισης και της ευστάθειας του συστήματος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται **διαφορικός όρος D** ο οποίος μπορεί να αυξάνει την ευστάθεια του συστήματος και βελτιώνει τη συμπεριφορά του κατά τη μεταβατική κατάσταση [9].



#### A) Αναλογικός και Ολοκληρωτικός Όρος (PI)

Η προσθήκη ελεγκτή PI σε σειρά επιδρά στο τμήμα χαμηλών συχνοτήτων της απόκρισης και μειώνει το σφάλμα ( $e$ ) ενώ συγχρόνως μειώνεται η σχετική ευστάθεια του συστήματος.

#### B) Αναλογικός Διαφορικός Όρος (PD)

Η προσθήκη του ελεγκτή PD σε ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου επιδρά στο τμήμα των υψηλών συχνοτήτων της απόκρισης αυξάνοντας της φάσεως με αποτέλεσμα την αύξηση της ευστάθειας και κατά συνέπεια την ταχύτητα απόκρισης.

#### Γ) Ελεγκτής τριών όρων (PID)

Η προσθήκη ελεγκτή PID, σε σειρά με τη συνάρτηση μεταφοράς, δίνει άριστα αποτελέσματα στις περισσότερες περιπτώσεις. Ο όρος I μειώνει το σφάλμα  $e$  ενώ ο D αυξάνει τη σχετική ευστάθεια του συστήματος και έτσι αντισταθμίζεται η μείωση που οφείλεται στον όρο I.

Τα αποτελέσματα της επίδρασης καθενός από τους ελεγκτές P, I και D συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 2.1.** «Επίδραση ελεγκτών P, I και D» [9]

	Χρόνος Ανύψωσης	Υπερύψωση	Χρόνος Αποκατάστασης	Σφάλμα
P	ΜΕΙΩΣΗ	ΑΥΞΗΣΗ	ΜΙΚΡΗ ΑΛΛΑΓΗ	ΜΕΙΩΣΗ
I	ΜΕΙΩΣΗ	ΑΥΞΗΣΗ	ΑΥΞΗΣΗ	ΕΞΑΛΕΙΨΗ
D	ΜΙΚΡΗ ΑΛΛΑΓΗ	ΜΕΙΩΣΗ	ΜΕΙΩΣΗ	ΜΙΚΡΗ ΑΛΛΑΓΗ

\As σημειωθεί ότι αυτοί οι συσχετισμοί μπορεί να μην είναι πολύ ακριβείς, επειδή οι ελεγκτές P, D και I αλληλεξαρτώνται. Στην πραγματικότητα, η αλλαγή μίας από αυτές τις μεταβλητές, μπορεί να αλλάξει την επίδραση και των άλλων δύο μεταβλητών. Για τον λόγο αυτό, ο παραπάνω πίνακας θα πρέπει να χρησιμοποιείται

μόνον ως σημείο αναφοράς όταν προσδιορίζουμε τις τιμές για τους ελεγκτές P, D, και I.

### **2.2.3. Σχεδίαση PID Ελεγκτή**

Για να πάρουμε την επιθυμητή απόκριση όταν σχεδιάζουμε έναν PID ελεγκτή για ένα δεδομένο σύστημα πρέπει να ακολουθούμε γενικά τα παρακάτω βήματα [6]:

1. Παρατηρούμε την απόκριση στο σύστημα ανοιχτού βρόχου και καθορίζουμε ποιο σημείο χρειάζεται βελτίωση
2. Προσθέτουμε αναλογικό έλεγχο για να βελτιώσουμε το χρόνο ανύψωσης (ή και άλλα χαρακτηριστικά)
3. Προσθέτουμε τον διαφορικό έλεγχο για να βελτιώσουμε την υπέρβαση.
4. Προσθέτουμε τον ολοκληρωτικό έλεγχο για να εξαλείψουμε το μόνιμο σφάλμα.
5. Τροποποιούμε καθένα από τα  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  μέχρι να πάρουμε μια συνολική επιθυμητή απόκριση. Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα που δείχνει ποιος ελεγκτής ελέγχει ποια χαρακτηριστικά.
6. Δεν χρειάζεται να εφαρμόζουμε και τους τρεις ελεγκτές σε ένα σύστημα εάν αυτό δεν είναι απαραίτητο.

### **2.2.4. Μεθοδολογίες Tuning (Συντονισμού)**

Το πιο σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι χρήστες συστημάτων ελέγχου και PID ελεγκτών είναι με ποιον τρόπο θα επιλέξουν τις πιο κατάλληλες τιμές για τις παραμέτρους του ελεγκτή ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή συμπεριφορά. Δεδομένου ότι, ο ελεγκτής PID δεν έχει πάρα πολλές παραμέτρους έχουν αναπτυχθεί ορισμένες εμπειρικές μέθοδοι. Υπάρχουν όμως κάποιες γενικές κατηγορίες μεθόδων για την προσέγγιση του προβλήματος :

1. Δοκιμή και σφάλμα
2. Ημι-εμπειρικοί κανόνες, που έχουν θεωρητική δικαιολόγηση, αλλά βασίζονται κυρίως σε επιτυχημένη πρακτική
3. Συστηματικές μέθοδοι που στηρίζονται κυρίως στην ικανοποίηση και βελτιστοποίηση διάφορων κριτηρίων.

Κριτήρια που μπορούν να αποτελέσουν βάση επιλογής είναι α) μηδενισμός η περιορισμός μόνιμης απόκλισης, β) στοιχεία δυναμικής συμπεριφοράς π.χ. υπέρβαση, λόγος απόσβεσης, γ) περιθώρια φάσης και ενίσχυσης που σχετίζονται με την ευστάθεια, δ) αποφυγή κορεσμού τελικού στοιχείου ρύθμισης και ε) στοιχεία δυναμικής συμπεριφοράς που αφορούν στην συνολική απόκριση ως προς το χρόνο

Συνήθως δεν είναι εύκολο να βρεθούν παράμετροι που να ικανοποιούν ταυτόχρονα όλα τα κριτήρια. Παρόλα αυτά υπάρχουν επιβεβαιωμένες λύσεις που αναφέρονται συνοπτικά στην συνέχεια [5, 10].

### **2.2.5. Zeigler-Nichols' Tuning**

Στην δεκαετία του 1940 οι Ziegler και Nichols ανέπτυξαν δύο μεθόδους για τον συντονισμό των ελεγκτών με βάση τον απλό χαρακτηρισμό της δυναμικής της διαδικασίας στους τομείς του χρόνου και της συχνότητας [5].

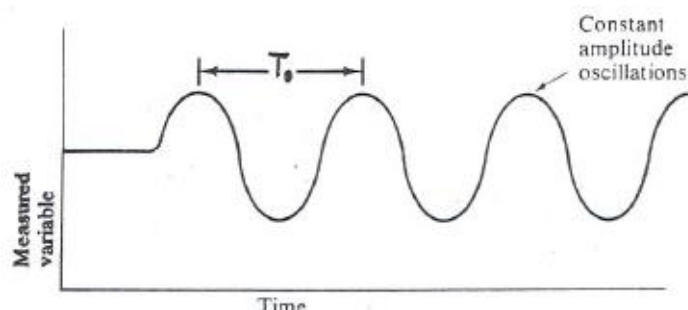
#### **1. Γνωστό μοντέλο διεργασίας**

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται όταν είναι γνωστή η συνάρτηση μεταφοράς  $G(s)$  της διεργασίας. Χρησιμοποιούνται διάφοροι τρόποι υπολογισμού των παραμέτρων του PID και στηρίζονται προφανώς στις Z-N εξισώσεις.

##### **a. Ημι-πειραματική μέθοδος**

Στην περίπτωση αυτή οι παραμέτροι των όρων ολοκλήρωσης και διαφόρισης τοποθετούνται στην χαμηλότερη δυνατή τιμή και το κέρδος  $K_c$  αυξάνεται σταδιακά μέχρι να παρατηρηθεί ταλάντωση σταθερού εύρους στην έξοδο (ημιτονοειδής μορφή). Το κέρδος σε αυτή τη περίπτωση ονομάζεται κρίσιμο  $K_{κρίσ}$  και η περίοδος  $T_0$

υπολογίζεται, με τη βοήθεια παλμογράφου συνήθως, από την κυματομορφή και στη συνέχεια από τις εξισώσεις Z-N υπολογίζονται οι παραμέτροι του PID ελεγκτή. Στην παρακάτω εικόνα 2.5. αναπαριστάται η κυματομορφή εξόδου μιας διεργασίας.



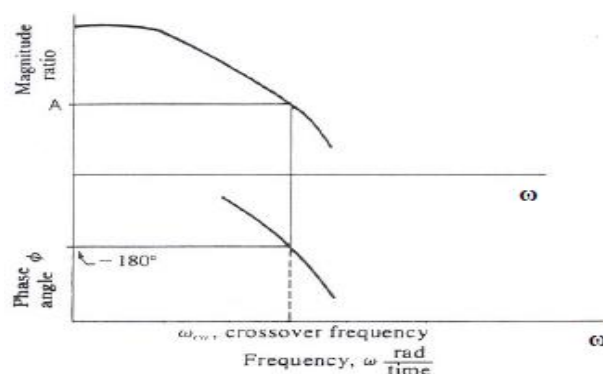
**Εικόνα 2.5** «Κυματομορφή εξόδου διεργασίας» [5]

#### b. Διαγράμματα Bode

Οι παραμέτροι  $K_{\text{κρίσ}}$  και  $T_0$  μπορούν επίσης να υπολογιστούν και από διαγράμματα BODE ( απόκριση στο πεδίο της συχνότητας) της εικόνας 2.6.

$$\text{Κρίσιμο κέρδος : } K_{\text{κρίσ}} = 1/A \quad (2.3)$$

$$\text{Κρίσιμη περίοδος : } T_0 = 2\pi/\omega_0 \quad (2.4)$$



**Εικόνα 2.6.**«Διαγράμματα Bode» [5]

Από το διάγραμμα φάσης υπολογίζεται η συχνότητα  $\omega_0$  και από την καμπύλη εύρους υπολογίζεται το  $A$  που αντιστοιχεί στο  $\omega_0$ , και βρίσκονται τα  $K_{\text{κρίσ}} = 1/A$  και  $T_0 = 2\pi/\omega_0$ . Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι τιμές των  $K_c$ ,  $T_i$  και  $T_d$  από τις εξισώσεις Z-N. Επισημαίνεται πως οι τιμές αυτές χρειάζονται περαιτέρω ρύθμιση για να επιτύχουμε τέλεια απόκριση [10].

### c. Κριτήριο Routh Hurwitz

Πρόκειται για καθαρά αλγεβρική μέθοδο με τη βοήθεια της οποίας διαπιστώνουμε πόσες ρίζες μιας πολυωνυμικής εξίσωσης έχουν πραγματικό μέρος μεγαλύτερο από το μηδέν και επομένως στη συγκεκριμένη περίπτωση διαπιστώνουμε αν ο κλειστός βρόχος είναι ευσταθής ή όχι.

#### 1. Άγνωστο μοντέλο διεργασίας (Μέθοδος Cohen Coon)

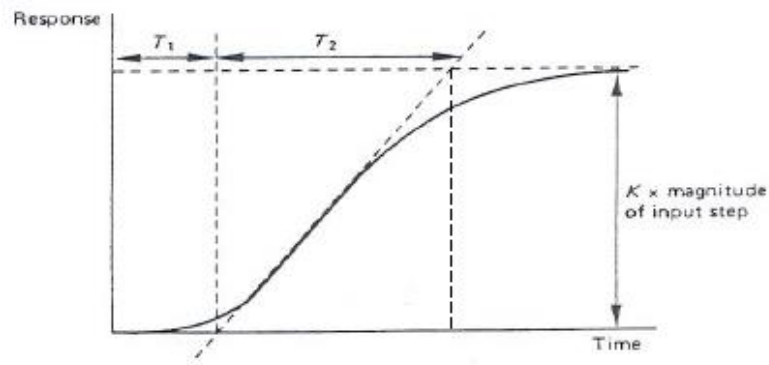
Στην περίπτωση αυτή πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η άγνωστη  $G(s)$  της διεργασίας και στη συνέχεια βρίσκονται οι παράμετροι του PID ελεγκτή. Το μοντέλο της αγνώστου διεργασίας υπολογίζεται από την καμπύλη απόκρισης στο πεδίο του χρόνου της μεταβλητής εξόδου  $C(s)$ , σε βηματική μεταβολή της εισόδου  $R(s)$  ως εξής:

*A. Εφαρμόζεται βηματική μεταβολή μοναδιαίας τιμής στην έσοδο της διεργασίας και ταυτόχρονα καταγράφεται η μεταβλητή στην έξοδο  $C(s)$ . Από τις τιμές αυτές σχηματίζεται η καμπύλη απόκρισης στο πεδίο του χρόνου της αγνώστου διεργασίας.*

*B. Από την χρονική απόκριση ανοιχτού βρόχου υπολογίζονται κατά προσέγγιση οι παράμετροι της αγνώστου συνάρτησης μεταφοράς  $G(s)$ . Συνήθως επιλέγεται μοντέλο προσομοίωσης  $1^{ου}$  βαθμού με καθυστέρηση της μορφής :*

$$G(s)=K/(1+sT_2) * e^{-sT_1} \quad (2.5)$$

*C. Οι τιμές των παραμέτρων  $K, T_1, T_2$  της  $G(s)$  βρίσκονται γραφικά από την κυματομορφή της βηματικής απόκρισης στο πεδίο του χρόνου που εικονίζεται στην εικόνα 2.7.*



**Εικόνα 2.7.** «Βηματική απόκριση ανοιχτού βρόχου» [5]

D. Οι μέσες τιμές των παραμέτρων του ελεγκτή PID υπολογίζονται αν είναι γνωστές οι  $K, T_1, T_2$  της  $G(s)$ .

E. Με ρύθμιση γύρω από τις μέσες τιμές επιλέγονται οι τελικές τιμές για τον έλεγχο της μεταβλητής C.

$$\Delta_Y = K * \Delta_X \quad (2.6)$$

Επομένως με προσομοίωση μοντέλου 1ου βαθμού και για συνάρτηση μεταφοράς του PID έχουμε:

$$D(s) = K_c [ 1 + (1/ T_1 s) + T_d s ] \quad (2.7)$$

Οι παραμέτροι του ελεγκτή PID υπολογίζονται από τις εξισώσεις Zeigler – Nichols που αντιστοιχούν στον παρακάτω πίνακα (2.2):

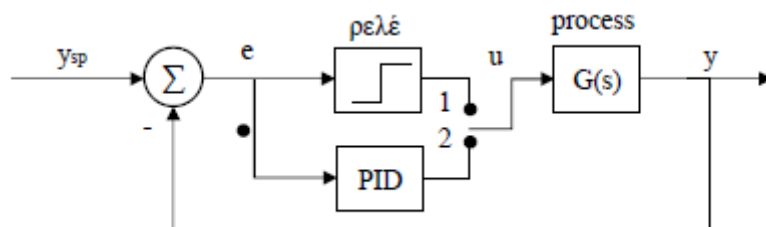
**Πίνακας 2.2.** «Υπολογισμός παραμέτρων PID από εξισώσεις Z-N» [5]

	$K_c$	$T_i$	$T_d$
<b>PID</b>	$\frac{12}{ST_1}$	$2T_1$	$0.5T_1$
<b>PI</b>	$\frac{0.9}{ST_1}$	$3T_1$	
<b>P</b>	$\frac{1}{ST_1}$		

Όπου  $S=K/T_2$ , είναι η κλίση της καμπύλης απόκρισης. **(2.8)**

### 2.2.6. Αυτορυθμιζόμενος PID ελεγκτής με ηλεκτρονόμο

Το διάγραμμα βαθμίδων μιας παραγωγικής διεργασίας με αυτορυθμιζόμενο ελεγκτή PID χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ρελέ παρουσιάζεται στην εικόνα 2.8.



**\*Εικόνα 2.8.** «Αυτορυθμιζόμενος PID με ηλεκτρονόμο» [5]

Η θέση του διακόπτη επιλέγει μία από τις δύο καταστάσεις του συστήματος. Την κατάσταση ρύθμισης των παραμέτρων του ελεγκτή ή την κανονική κατάσταση ελέγχου της διεργασίας με PID. Στην πρώτη περίπτωση ο ελεγκτής αποκόπτεται στιγμιαία και τη θέση του παίρνει το ρελέ. Το σύστημα αρχίζει ταλαντώσεις οι οποίες σταθεροποιούνται σε αμείωτες ταλαντώσεις μικρού πλάτους (οριακοί κύκλοι). Η περίοδος και το πλάτος των ταλαντώσεων αυτών δίνουν την κρίσιμη περίοδο  $T_0$  και το κρίσιμο κέρδος  $K_{KP}$  του συστήματος αντίστοιχα.

$$\text{Κρίσιμο κέρδος} = K_{KP}G(j\omega_0) = -1 \Rightarrow K_{KP} = - (1/G(j\omega_0)) \Rightarrow K_{KP} = 4h/\pi\alpha \quad (2.9)$$

Κρίσιμη περίοδος =  $T_0 = T$ . Οι παραμέτρους του PID μπορούν τώρα να υπολογιστούν.

Ο PID ενημερώνεται με τις νέες τιμές των παραμέτρων του και ο διακόπτης μεταφέρεται στη δεύτερη θέση για κανονική λειτουργία της διαδικασίας με PID έλεγχο. Η μόνη παράμετρος που πρέπει να είναι γνωστή για την αυτόματη ρύθμιση είναι του ελεγκτή είναι το πλάτος του ηλεκτρονόμου ( $h$ ). Θέλουμε το πλάτος αυτό να κρατηθεί σε χαμηλά επίπεδα έτσι ώστε η έξοδος του συστήματος ( $y$ ) να έχει ταλαντώσεις με πλάτος σε ανεκτά όρια για την ασφάλεια του συστήματος [5].

### 2.2.7. Ελεγκτής PID Με Φίλτρο

Ένα μειονέκτημα της παραγωγικής διαδικασίας είναι ότι ο ιδανικός διαφορικός έλεγχος απαιτεί πολύ υψηλό κέρδος για σήματα υψηλής συχνότητας. Αυτό σημαίνει ότι η μέτρηση του θορύβου της υψηλής συχνότητας θα δημιουργεί μεγάλες διακυμάνσεις στο σήμα ελέγχου. Μπορεί όμως αυτός ο θόρυβος να μειωθεί αντικαθιστώντας τον όρο  $k_d s$  με  $k_d s / (1 + sT_f)$  (2.10) που μπορεί να ερμηνευθεί ως ένας ιδανικός διαφορικός έλεγχος ενός φιλτραρισμένου σήματος χαμηλής διέλευσης. Για μικρά  $s$  η συνάρτηση μεταφοράς είναι περίπου  $k_d s$  και για τα μεγάλα  $s$  είναι ίση με  $K_d / T_f$ . Η προσέγγιση αυτή ενεργεί ως διαφορικός έλεγχος για σήματα χαμηλής συχνότητας και ως σταθερό κέρδος για υψηλής συχνότητας σήματα. Ο χρόνος φιλτραρίσματος επιλέγεται ως  $T_f = (k_d / k_p) / N$ . (2.11) Αντί να φιλτραριστεί μόνο το διαφορικό είναι επίσης δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένας ιδανικός ελεγκτής για να φιλτραριστεί και το μετρούμενο σήμα. Η συνάρτηση μεταφοράς ενός τέτοιου ελεγκτή με ένα φίλτρο είναι τότε :

$$C(s) = k_p (1 + 1/(sT_i) + sT_D) * 1/(1 + sT_f + (sT_f)^2 / 2) \quad (2.12)$$

όπου χρησιμοποιείται φίλτρο 2<sup>ης</sup> τάξης [5, 10].



---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ (PLC ΕΛΕΓΚΤΕΣ)

---

#### 3.1. Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές ( PLC )

Ένα νέο προϊόν αυτοματισμού κάνει την εμφάνιση του στις αρχές της δεκαετίας του '80 το οποίο παίρνει την ονομασία PLC. Η πλήρης ονομασία αυτής της νέας συσκευής είναι Programmable Logic Controller (Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής).

Ένας PLC είναι μια ψηφιακή ηλεκτρονική συσκευή όπου αποθηκεύει εντολές στην προγραμματιζόμενη του μνήμη οι οποίες έχουν την δυνατότητα να εκτελούν αριθμητικές, λογικές, μετρητικές και ακολουθιακές λειτουργίες. Μέσω των λειτουργιών αυτών είναι δυνατόν να επιτελείται αυτόματος έλεγχος μηχανών και διεργασιών. Αντί για την κατασκευή ενός πίνακα με πολύπλοκες συνδεσμολογίες μεταξύ των ηλεκτρονικών με τη χρήση του PLC η λειτουργία του αυτοματισμού προγραμματίζεται μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού. Το PLC είναι δηλαδή μια ηλεκτρονική διάταξη που έχει εισόδους και εξόδους οι οποίοι συνδέονται με τα στοιχεία μιας εγκατάστασης και βέβαια έναν αλγόριθμο που καθορίζει ότι κάποιος συνδυασμός εισόδων παράγει ένα αποτέλεσμα στις εξόδους (π.χ. η ενεργοποίηση ενός τερματικού διακόπτη σταματά τον κινητήρα μια μεταφορικής ταινίας).

Σήμερα πίσω από τον όρο Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές κρύβονται εξειδικευμένες υπολογιστικές μονάδες με δυνατότητες διασύνδεσης τους σε τοπικά δίκτυα , εκτέλεσης αλγορίθμων αναλογικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων από κάθε τύπο βιομηχανικού αισθητήρα. [11, [12]

### **3.1.1. Πλεονεκτήματα των PLC**

Τα πρώτα κύρια πλεονεκτήματα των PLC σχετίζονται με τους κατασκευαστές εξοπλισμού αυτοματισμών και πινάκων αυτοματισμού. Ειδικότερα, α) το κόστος κατασκευής ενός PLC είναι αρκετά μικρότερο από το κόστος παραγωγής μεγάλου αριθμού ηλεκτρονόμων, β) ο χρόνος κατασκευής του αυτοματισμού είναι ασήμαντος συγκριτικά με την κατασκευή ενός κλασικού πίνακα αυτοματισμού. Πλεονεκτήματα που αφορούν τις βιομηχανίες που εφαρμόζουν τους αυτοματισμούς είναι:

- Τα PLC ελαχιστοποιούν το κόστος συντήρησης του πίνακα αυτοματισμού (συχνότητα βλαβών, χρόνος εντοπισμού βλάβης, καθυστέρηση παραγωγής, παραγγελία ανταλλακτικού, αποκατάσταση βλάβης). Στην ουσία δεν υπάρχει ουσιαστικό θέμα βλάβης εσωτερικά στο πίνακα εγκατάστασης.
- Τα PLC είναι ευέλικτα στην τροποποίηση λειτουργίας του αυτοματισμού. Αν χρειαστεί να γίνει κάποια αλλαγή αρκεί να αλλαχτεί το πρόγραμμα πράγμα καθόλου δύσκολο ή χρονοβόρο.
- Ο αυτοματισμός με PLC επεκτείνεται πολύ εύκολα. Είτε αλλάζοντας το πρόγραμμα είτε με τοποθέτηση νέων μονάδων εισόδων και εξόδων. Κάθε επέκταση στον κλασικό αυτοματισμό είναι πολύ δύσκολη.
- Με τους PLC μπορούμε να δημιουργούμε πολύ εύκολα πολύπλοκες και έξυπνες επεξεργασίες οι οποίες στον κλασικό αυτοματισμό είναι εξαιρετικά δύσκολο να υλοποιηθούν.
- Σε μία εγκατάσταση που χρησιμοποιεί PLC σήμερα παρέχονται δυνατότητες σύνδεσης με κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, σύνδεσης με το σύστημα αποθήκης, λογιστηρίου κλπ.
- Το PLC καταλαμβάνει ελάχιστο χώρο σε σχέση με τον αντίστοιχο πίνακα κλασικού αυτοματισμού.

Από την άλλη μεριά κλείνοντας, θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε μειονέκτημα την έλλειψη επαρκούς ενημέρωσης των τεχνικών όλων των βαθμίδων, ειδικά στην Ελλάδα, πράγμα το οποίο δυσκολεύει την εφαρμογή των PLC [12].

### 3.1.2. Η Δομή Ενός Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή

Όπως κάθε υπολογιστής έτσι και οι PLC αποτελούνται από το υλικό (hardware), το λειτουργικό σύστημα, και το λογισμικό εφαρμογής (software). Το υλικό προσδιορίζεται από την αρχιτεκτονική του, δηλαδή μια περιγραφή των μονάδων από τις οποίες αποτελείτε και του τρόπου διασύνδεσης και ροής δεδομένων μεταξύ των μονάδων αυτών. Το λειτουργικό σύστημα προσδιορίζεται από τις υπηρεσίες που προσφέρει για τη διαχείριση των μέσων του υλικού και την εκτέλεση του λογισμικού εφαρμογής. Τα πεδία στα οποία απευθύνεται η χρήση κάθε συγκεκριμένης κατηγορίας υπολογιστών προσδιορίζουν τα επιμέρους χαρακτηριστικά που πρέπει να ικανοποιούν οι τρεις προαναφερθείσες συνιστώσες της δομής του υπολογιστή. Τα τυπικά πεδία εφαρμογής των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών είναι και οι πιο βασικοί αυτοματισμοί κάθε τύπου βιομηχανίας. Οι αυτοματισμοί που συνήθως πραγματοποιούνται από τους PLC είναι ο ακολουθιακός και διακοπτικός (ON/OFF) έλεγχος μηχανών και διεργασιών και ο έλεγχος κλειστού βρόχου μίας ή περισσότερων μεταβλητών. Η βασική απαίτηση στη συμπεριφορά ενός PLC είναι η εκτέλεση του συνόλου των λειτουργιών που προγραμματίστηκαν, μέσα σε προβλεπόμενο χρόνο. Επιπλέον βασική απαίτηση είναι η δυνατότητα και η ευελιξία να συνδέεται με τα αισθητήρια και τους ενεργοποιητές των τελικών στοιχείων της παραγωγικής διαδικασίας χωρίς την ανάγκη δημιουργίας άλλων ενδιάμεσων κυκλωμάτων. Για το λόγο αυτό οι PLC αποτελούνται από τα παρακάτω μέρη [11, 13]

- Την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (*central processing unit, CPU*) που αποτελεί τον εγκέφαλο του PLC.
- Τη μονάδα τροφοδοσίας.
- Τις μονάδες εισόδων – εξόδων.

Αυτά τα τρία χαρακτηριστικά αποτελούν την κύρια μονάδα αυτοματισμού, δηλαδή το κύριο μέρος του PLC. Εκτός όμως από την κύρια μονάδα, σε ένα τέτοιον ελεγκτή είναι ακόμη απαραίτητα και :

- Το πλαίσιο (ή τα πλαίσια) για την τοποθέτηση των μονάδων και των τυχών επεκτάσεων τους.

- Η συσκευή προγραμματισμού (programmer) για τον προγραμματισμό του PLC.

## Προγραμματιστής

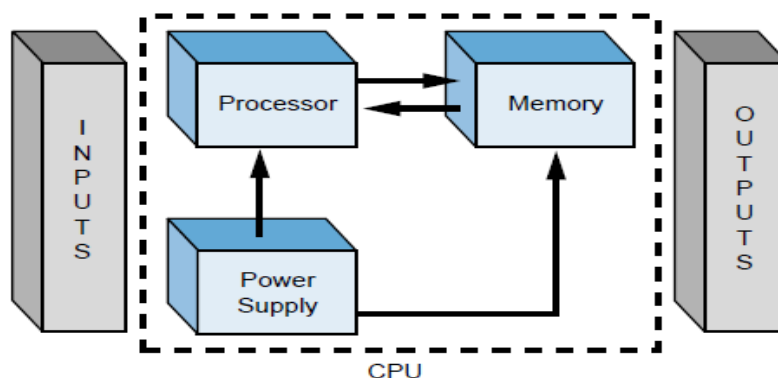
Ο προγραμματιστής είναι μια συσκευή ανεξάρτητη από τη μονάδα αυτοματισμού. Η χρήση του προορίζεται για την καταχώρηση του προγράμματος στο PLC και την εποπτεία της προόδου του αυτοματισμού μέσα από την οθόνη του. Με έναν προγραμματιστή έχουμε την δυνατότητα να χειριζόμαστε όλες τις μονάδες PLC μίας αυτοματοποιημένης εγκατάστασης.

## Πλαίσιο Τοποθέτησης Μονάδων

Οι μονάδες ενός PLC συνδέονται σε ένα κεντρικό πλαίσιο. Στο πλαίσιο αυτό είναι προεγκατεστημένο ένα σύστημα αγωγών μέσω των οποίων επικοινωνούν οι διάφορες μονάδες με την CPU. Αν οι θέσεις του πλαισίου δεν είναι αρκετές για τις μονάδες εισόδου και εξόδου τότε γίνεται χρήση των πλαισίων επέκτασης τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους και με το κεντρικό πλαίσιο.

## Μονάδα Τροφοδοσίας

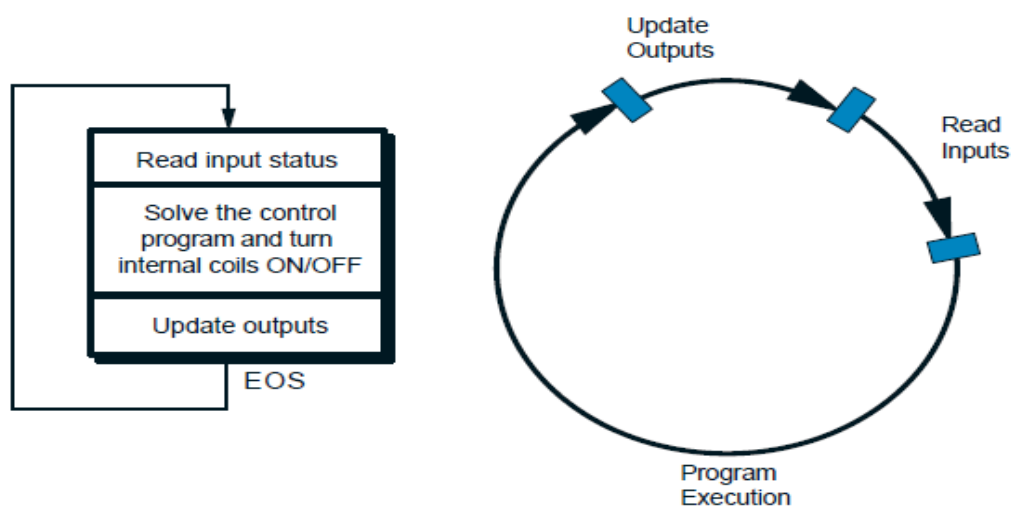
Η μονάδα τροφοδοσίας ενός PLC στοχεύει , από τη τάση του δικτύου τροφοδοσίας να δημιουργήσει τις απαραίτητες εσωτερικές τάσεις που είναι απαραίτητες για την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών στοιχείων , του επεξεργαστή , της μνήμης και των κυκλωμάτων εισόδων και εξόδων του PLC. Η αρχιτεκτονική ενός PLC παρουσιάζεται στην εικόνα 3.1.



**\*Εικόνα 3.1.. «Αρχιτεκτονική PLC» [11]**

## Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

Η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (Κ.Μ.Ε.) δέχεται δεδομένα που παράγονται από τα αισθητήρια, εκτελεί το λογισμικό εφαρμογής που είναι αποθηκευμένο στη μνήμη και στέλνει τις κατάλληλες εντολές στα τελικά στοιχεία των ελεγχόμενων μεταβλητών. Ενεργοποιεί δηλαδή ή απενεργοποιεί τις εξόδους ανάλογα με τις λογικές ή αριθμητικές τιμές που υπολογίστηκαν. Όταν ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία ο έλεγχος της ροής του προγράμματος επανέρχεται στην αρχή του λειτουργικού συστήματος και ο κύκλος της ανανέωσης των τιμών των εισόδων με νέα δεδομένα και η ανανέωση των εξόδων με νέες τιμές επαναλαμβάνονται. Η διαδικασία της ανάγνωσης των εισόδων, εκτέλεσης του προγράμματος εφαρμογής και ενεργοποίησης των εξόδων είναι γνωστή ως **κύκλος σάρωσης (scan cycle)** που παρουσιάζεται στην εικόνα 3.2. Επιπλέον το λειτουργικό σύστημα εκτελεί και ρουτίνες ελέγχου σφαλμάτων κατά τη λειτουργία του επεξεργαστή, της μνήμης και της μετάδοσης δεδομένων από και προς τις εισόδους και εξόδους είτε κατά τη διάρκεια ενός κύκλου σάρωσης είτε μετά της παρέλευση ενός αριθμού αυτών.

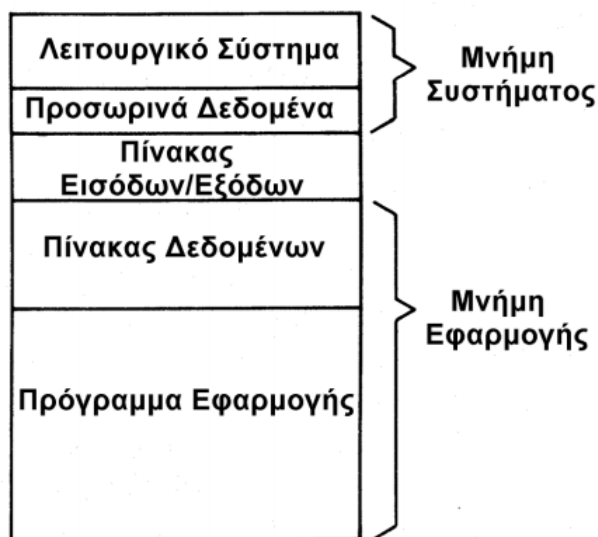


**\*Εικόνα 3.2.** «Κύκλος σάρωσης PLC» [11]

## Μνήμη

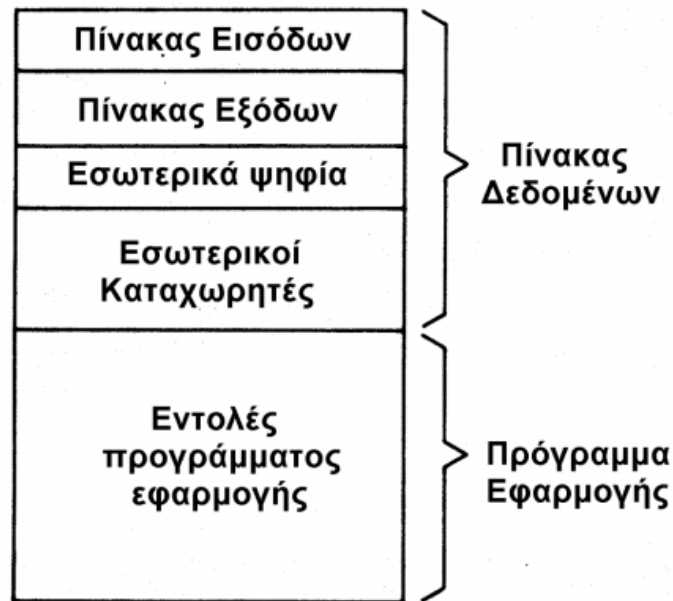
Η οργάνωση της μνήμης σε κάθε προγραμματιζόμενο ελεγκτή είναι τέτοια ώστε για την αποθήκευση καθενός από τους τύπους του λογισμικού που

προαναφέρθηκαν, αφιερώνεται συγκεκριμένη περιοχή της μνήμης. Η σχηματική παρουσίαση της αρχικής και τελικής διεύθυνσης κάθε περιοχής της μνήμης που καταλαμβάνεται από ένα συγκεκριμένο τύπο λογισμικού ή δεδομένων αποκαλείται συνήθως **χάρτης μνήμης** του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή και τη βλέπουμε παραστατικά στην εικόνα 3.3.



**\*Εικόνα 3.3.** «Χάρτης Μνήμης PLC» [13]

Οι περιοχές του λειτουργικού συστήματος και της προσωρινής αποθήκευσης δεδομένων δεν είναι προσβάσιμες στο χρήστη και για αυτό από την πλευρά του χρήστη αντιμετωπίζονται ως μια ενιαία περιοχή που ονομάζεται **μνήμη συστήματος**. Αντίθετα, οι περιοχές του πίνακα δεδομένων και προγράμματος εφαρμογής είναι περιοχές προσβάσιμες και τροποποιήσιμες από το χρήστη. Οι δύο αυτές περιοχές συνιστούν τη **μνήμη της εφαρμογής**. Σε αυτήν τη μνήμη αποθηκεύονται οι ακολουθίες των εντολών του λογισμικού εφαρμογής σε γλώσσα μηχανής και τα δεδομένα που απαιτούνται για την πραγματοποίηση λειτουργιών αυτομάτου ελέγχου διεργασιών και μηχανών σε δυαδική μορφή. Στην περιοχή του προγράμματος εφαρμογής αποθηκεύονται οι εντολές του προγράμματος που πραγματοποιεί τις λειτουργίες βιομηχανικού ελέγχου, ενώ στην περιοχή του πίνακα δεδομένων αποθηκεύονται όλα τα δεδομένα. Προκειμένου να γίνει διαχωρισμός του τύπου των δεδομένων, η περιοχή του πίνακα δεδομένων οργανώνεται στις υποπεριοχές που δείχνονται στην εικόνα 3.4.



**\*Εικόνα 3.4.** « Πίνακας Δεδομένων» [13]

Τα δεδομένα που αποθηκεύονται σε κάθε υποπεριοχή εντάσσονται σε δύο ομάδες. Τα δεδομένα της πρώτης ομάδας παριστάνονται με την τιμή 1 και 0 ενός δυαδικού ψηφίου που αποθηκεύεται σε ένα μεμονωμένο ψηφίο ενός καταχωρητή της μνήμης και χαρακτηρίζονται ως δεδομένα κατάστασης ON/OFF. Τα δεδομένα της δεύτερης ομάδας αντιστοιχούν σε ακολουθίες δυαδικών ψηφίων που αποθηκεύονται σε τμήμα ολόκληρο ή σε περισσότερους καταχωρητές μνήμης και παριστάνουν κώδικες και αριθμούς. Η περιοχή του πίνακα δεδομένων χωρίζεται σε υποπεριοχές α) του πίνακα εισόδων, β) του πίνακα εξόδων, γ) των εσωτερικών ψηφίων, δ) των εσωτερικών καταχωρητών.

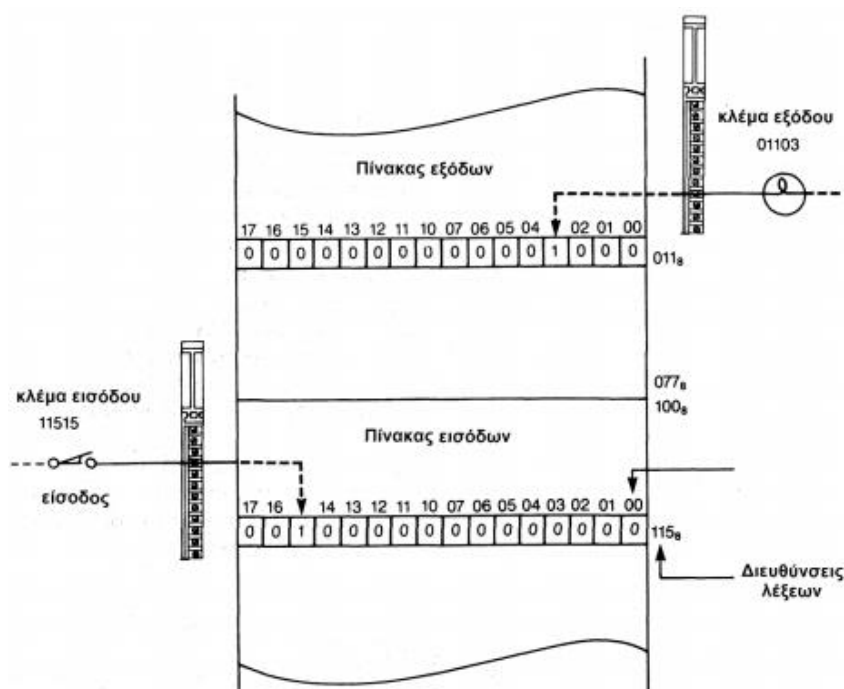
### **Πίνακας Εισόδων**

Ο πίνακας εισόδων είναι μια συστοιχία από καταχωρητές στους οποίους αποθηκεύονται οι καταστάσεις διακριτών σημάτων που παράγονται από διατάξεις συνδεδεμένες με τις μονάδες εισόδου του ελεγκτή. Ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων των καταχωρητών της υποπεριοχής αυτής είναι ίσος με το μέγιστο αριθμό διακριτών εισόδων που μπορεί να εξυπηρετήσει ο ελεγκτής. Παραδείγματος χάριν, ένας ελεγκτής με 64 διακριτές εισόδους θα χρειαστεί έναν πίνακα εισόδων 64 bits. Κάθε φυσική είσοδος είναι λογικά συνδεδεμένη με ένα συγκεκριμένο ψηφίο ενός καταχωρητή του πίνακα. Αν η τιμή του σήματος που τροφοδοτείται στην είσοδο

είναι ON, τότε το αντίστοιχο ψηφίο του πίνακα θα λάβει τη λογική τιμή 1. Αν η τιμή του σήματος είναι OFF, τότε το ίδιο ψηφίο θα λάβει τη λογική τιμή 0.

### Πίνακας Εξόδων

Ο πίνακας εξόδων είναι, επίσης, μια συστοιχία από δυαδικά ψηφία καταχωρητών που ελέγχουν τη λογική κατάσταση των ψηφιακών διατάξεων που είναι συνδεδεμένες με τις μονάδες εξόδου του ελεγκτή. Όμοια με τον πίνακα εισόδων, ο αριθμός των ψηφίων του πίνακα εξόδων είναι ίσος με το μέγιστο αριθμό εξόδων που υποστηρίζει ο κάθε ελεγκτής. Για παράδειγμα, σε έναν ελεγκτή με 128 εξόδους ο αριθμός των ψηφίων του πίνακα εξόδων θα είναι επίσης 128. Κάθε διακριτή έξοδος του ελεγκτή αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο ψηφίο ενός συγκεκριμένου καταχωρητή της μνήμης. Οι τιμές των ψηφίων του πίνακα εξόδων προσδιορίζονται από τις εντολές του προγράμματος εφαρμογής που επηρεάζουν τις τιμές αυτών των ψηφίων. Οι τιμές των ψηφίων αυτών ανανεώνονται κάθε φορά που ολοκληρώνεται ένας πλήρης κύκλος σάρωσης του ελεγκτή. Αν ένα ψηφίο 71 στον πίνακα τεθεί σε κατάσταση 1, τότε θα εμφανιστεί στην αντίστοιχη έξοδο ηλεκτρική τάση που θα αντιστοιχεί στη λογική κατάσταση ON.



**\*Εικόνα 3.5.** «Αντιστοίχιση διακριτών εισόδων/εξόδων σε ψηφία καταχώρησης μνήμης» [13]



Στην παραπάνω εικόνα (3.5) παρουσιάζεται η συσχέτιση μιας φυσικής εξόδου με το ψηφίο του καταχωρητή της μνήμης στον οποίο ανήκει το ψηφίο. Έτσι λοιπόν, αν το ψηφίο 03 του καταχωρητή με διεύθυνση 0118 τεθεί στη λογική τιμή 1, τότε η έξοδος που συνδέεται λογικά με το ψηφίο αυτό θα τεθεί στην κατάσταση ON. Σύμφωνα επίσης με την παραπάνω εικόνα, η θέση του ψηφίου της μνήμης στο οποίο αποθηκεύεται η τιμή μιας διακριτής εισόδου σε μια δεδομένη χρονική στιγμή προσδιορίζεται από τη διεύθυνση του καταχωρητή της μνήμης, στον οποίο ανήκει το ψηφίο και την τάξη της θέσης του ψηφίου στον καταχωρητή. Έτσι η είσοδος που δείχνεται στην Εικόνα 3.5 αποθηκεύεται στο ψηφίο τάξης 15 του καταχωρητή της μνήμης με διεύθυνση 115<sub>8</sub>, εκφρασμένη στο οκταδικό σύστημα αρίθμησης.

### Εσωτερικοί Καταχωρητές

Η πληροφορία που αποθηκεύεται στους πίνακες εισόδων/εξόδων είναι πληροφορία δύο καταστάσεων που παριστάνεται εύκολα από τις λογικές τιμές 0 και 1. Για να αποθηκεύσουμε όμως τιμές που αντιστοιχούν σε ποσότητες φυσικών μεγεθών, όπως είναι η πίεση και η θερμοκρασία ή χαρακτήρες και δεκαδικοί αριθμοί, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι ακολουθίες δυαδικών ψηφίων μέσω των οποίων κωδικοποιούνται οι χαρακτήρες και οι αριθμοί. Ένας πολύ συνηθισμένος κώδικας που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση δεκαδικών ψηφίων σε ψηφιακή μορφή είναι ο κώδικας BCD. Γενικά η αποθήκευση τέτοιου είδους πληροφορίας οργανώνεται στους προγραμματιζόμενους ελεγκτές, όπως και σε κάθε άλλο υπολογιστή, σε bytes και λέξεις. Συνήθως το μήκος κάθε φυσικού καταχωρητή της μνήμης ταυτίζεται με αυτό της λέξης της Κ.Μ.Ε, ενώ η λέξη είναι πάντα ένα ακέραιο πολλαπλάσιο από bytes. Οι καταχωρητές της μνήμης που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση κωδικοποιημένων δεδομένων του παραπάνω τύπου ονομάζονται **καταχωρητές αποθήκευσης** του ελεγκτή. Ανάλογα με την προέλευση των δεδομένων διακρίνονται σε **καταχωρητές εισόδου**, **καταχωρητές εξόδου** και **εσωτερικούς καταχωρητές**. Στους δύο πρώτους τύπους καταχωρητών αποθηκεύονται δεδομένα από μονάδες εισόδου που δέχονται σήματα αναλογικών αισθητηρίων, δυαδικούς ή BCD κώδικες από εξωτερικά στοιχεία. Στους εσωτερικούς καταχωρητές αποθηκεύονται τιμές μεταβλητών που

παράγονται κατά την εκτέλεση εντολών του προγράμματος εφαρμογής ή σταθερές τιμές που εγγράφονται μέσω της μονάδας προγραμματισμού ή με άλλο τρόπο. Οι καταχωρητές εξόδων χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των αριθμητικών ή αναλογικών τιμών των μεταβλητών που ελέγχουν τα τελικά στοιχεία των βρόχων ελέγχου.

### **Σύστημα Εισόδων / Εξόδων**

Η μονάδα που καθιστά τους προγραμματιζόμενους ελεγκτές κατάλληλους για βιομηχανικές εφαρμογές και τους διαφοροποιεί από οποιαδήποτε άλλη κατηγορία υπολογιστών είναι το σύστημα εισόδων και εξόδων. Το σύστημα αυτό παρέχει τη φυσική σύνδεση της Κ.Μ.Ε με τον εξωτερικό κόσμο, δηλαδή τα αισθητήρια και τους ενεργοποιητές των τελικών στοιχείων. Μέσω των αισθητηρίων αναγνωρίζονται οι τιμές των φυσικών μεταβλητών ή η ύπαρξη καταστάσεων ON/OFF στο βιομηχανικό εξοπλισμό. Για κάθε μετρούμενη ή ελεγχόμενη φυσική μεταβλητή υπάρχει διαφορετικός τύπος αισθητηρίου ή τελικού στοιχείου. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των σημάτων που παράγονται από τα διάφορα αισθητήρια ποικίλλουν και κατά συνέπεια απαιτούνται διαφορετικά κυκλώματα μετατροπής των σημάτων αυτών σε ηλεκτρικές τάσεις, συμβατές με αυτές των ψηφιακών κυκλωμάτων της Κ.Μ.Ε και της μνήμης.

Η πλέον διαδεδομένη κατηγορία τέτοιων κυκλωμάτων είναι οι μονάδες διακριτών εισόδων και εξόδων. Αυτές οι μονάδες συνδέονται με αισθητήρια και τελικά στοιχεία και η λειτουργία προσομοιάζεται με αυτή ενός διακόπτη. Το άνοιγμα ή κλείσιμο του διακόπτη συνεπάγεται την εφαρμογή ή μη τάσης ορισμένου μεγέθους σε μονάδα εισόδου ή εξόδου. Οι διαδοχικές αλλαγές της τάσης που εφαρμόζεται στη μονάδα εισόδου μέσα σε μια πεπερασμένη χρονική περίοδο συνιστούν ένα διακριτό ηλεκτρικό σήμα που η στιγμιαία τιμή του σε μια δεδομένη χρονική στιγμή είναι ON, δηλαδή το σήμα λαμβάνει μια εκ των προτέρων καθορισμένη τιμή τάσης. Το ίδιο σήμα είναι σε κατάσταση OFF, όταν λαμβάνει μια άλλη εκ των προτέρων καθορισμένη τάση [11,13]. Στον παρακάτω πίνακα (3.1.)

καταγράφονται μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τύπους αισθητηρίων και τελικών στοιχείων.

**Πίνακας 3.1.** «Τύποι αισθητήρων και τελικών στοιχείων» [13]

ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ	ΤΕΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
Μεταγωγικοί διακόπτες αυτόματη επαναφορά Φωτοκύτταρα Επαγωγικοί διακόπτες Αυτόματοι διακόπτες N-πόλων Μαχαίρωτοί διακόπτες Διακόπτες στάθμης Επαφές ηλεκτρονόμων Διακόπτες εκκίνησης / διακοπής λειτουργίας κινητήρων	Ενδεικτικές λυχνίες Ηλεκτρονόμοι βοηθητικών κυκλωμάτων ελέγχου Ανεμιστήρες Σειρήνες Πνευματικές βαλβίδες Εκκινητές κινητήρων Σωληνοειδή πηνία

Τόσο οι κατασκευαστές όσο και οι διάφοροι οργανισμοί τυποποίησης έχουν προσπαθήσει να περιορίσουν τη διασπορά των τάσεων και των εντάσεων ρεύματος των διακριτών σημάτων, έτσι ώστε σήμερα να παρατηρείται μια εκ των πραγμάτων τυποποίηση των περιοχών των τάσεων και εντάσεων μέσα στις οποίες είναι εφικτή η λειτουργία αισθητηρίων και τελικών στοιχείων. Στον παρακάτω πίνακα (3.2) καταγράφονται οι συνηθισμένες τάσεις με τις οποίες πιστοποιείται η κατάσταση ON ή OFF ενός διακριτού σήματος.

**\*Πίνακας 3.2.** «Συνηθισμένες τάσεις σε διακριτά σήματα εισόδων/εξόδων» [13]

ΔΙΑΚΡΙΤΑ ΣΗΜΑΤΑ ΕΙΣΟΔΩΝ	ΔΙΑΚΡΙΤΑ ΣΗΜΑΤΑ ΕΞΟΔΩΝ
0-24 V DC 0-48 V DC 0-120 V AC 0-230 V AC TTL (0-5 V DC)	0-12 V DC 0-24 V DC 0-48 V DC 0-120 V AC 0-230 V AC TTL (0-5 V DC)

Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή και όταν η κατάσταση του παραγόμενου από το αισθητήριο σήματος σε μια δεδομένη χρονική στιγμή γίνει ON ή OFF, τότε η μονάδα εισόδου στην οποία τροφοδοτείται το σήμα αναγνωρίζει τη μεταβολή στην τάση του σήματος και την μετατρέπει σε μια άλλη τάση, συμβατή με αυτήν που χρησιμοποιείται για να τεθεί μια λογική μεταβλητή προγράμματος του ελεγκτή αντίστοιχα σε τιμή 1 ή 0. Η ανάστροφη διαδικασία λαμβάνει χώρα από μονάδα εξόδου που ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τελικά στοιχεία. Η τάση που αντιστοιχεί στην τιμή 1 μιας λογικής μεταβλητής στην Κ.Μ.Ε., όταν τροφοδοτείται στη μονάδα εξόδου, την αναγκάζει να δράσει σαν διακόπτης που όταν κλείνει, ενεργοποιεί το τελικό στοιχείο συνδέοντας τα κυκλώματα ελέγχου του στοιχείου αυτού με εξωτερική πηγή τροφοδοσίας. Αντίθετα, όταν η τιμή της λογικής μεταβλητής γίνεται 0, τότε η μονάδα εξόδου διακόπτει τη σύνδεση της εξωτερικής πηγής τροφοδοσίας με το τελικό στοιχείο.

### **Μονάδες Διακριτών Εισόδων και Εξόδων**

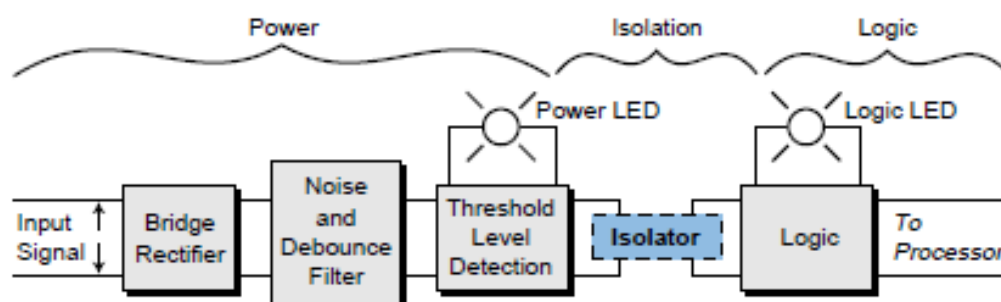
Τα διακριτά σήματα που παράγονται από τα αισθητήρια είναι τουλάχιστον τριών τύπων. Ο τύπος ενός διακριτού σήματος προσδιορίζεται από τα ηλεκτρικά του χαρακτηριστικά και ειδικότερα από τις στάθμες που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των καταστάσεων ON και OFF, στις οποίες μπορεί να βρεθεί η αντίστοιχη φυσική μεταβλητή. Για τη σύνδεση των σημάτων αυτών με τον προγραμματιζόμενο ελεγκτή πρέπει να παρεμβληθούν προσαρμοστικά κυκλώματα, η σχεδίαση των οποίων εξαρτάται τόσο από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του διακριτού σήματος όσο και την τεχνολογία των ψηφιακών κυκλωμάτων της Κ.Μ.Ε., μνήμης και των άλλων λογικών μονάδων του ελεγκτή. Προκατασκευασμένα προσαρμοστικά κυκλώματα, προσφερόμενα υπό μορφή ανεξάρτητων μονάδων, μπορούν να επεκτείνουν την αρχική δομή του προγραμματιζόμενου ελεγκτή προκειμένου να συνδεθεί ο ελεγκτής αυτός με μια νέα ομάδα διακριτών σημάτων. Κάθε προστιθέμενη νέα προσαρμοστική μονάδα μπορεί να δεχθεί ένα προκαθορισμένο αριθμό διακριτών σημάτων του ίδιου τύπου.

Συνήθως ο ελεγκτής αποτελείται από ένα κεντρικό πλαίσιο με πολλές θέσεις υποδοχής μονάδων παροχής ισχύος, Κ.Μ.Ε, Μνήμης, άλλων βοηθητικών επεξεργασιών, μονάδων εισόδου σημάτων από εξωτερικά αισθητήρια και μονάδων

εξόδου σημάτων προς τελικά στοιχεία. Όλες οι μονάδες που τοποθετούνται στο κεντρικό πλαίσιο επικοινωνούν ηλεκτρικά μεταξύ τους μέσω ενός διαδρόμου τοποθετημένου στο πίσω μέρος του πλαισίου. Η θέση της συγκεκριμένης μονάδας εισόδου ή εξόδου στο πλαίσιο και ο αριθμός της εισόδου στη μονάδα στην οποία συνδέεται το συγκεκριμένο διακριτό σήμα προσδιορίζουν την τελική διεύθυνση με την οποία αναγνωρίζεται το συγκεκριμένο σήμα. Η διεύθυνση αυτή μέσω του λειτουργικού συστήματος αντιστοιχίζεται στη φυσική διεύθυνση ψηφίου καταχωρητή στην περιοχή του πίνακα δεδομένων της μνήμης.

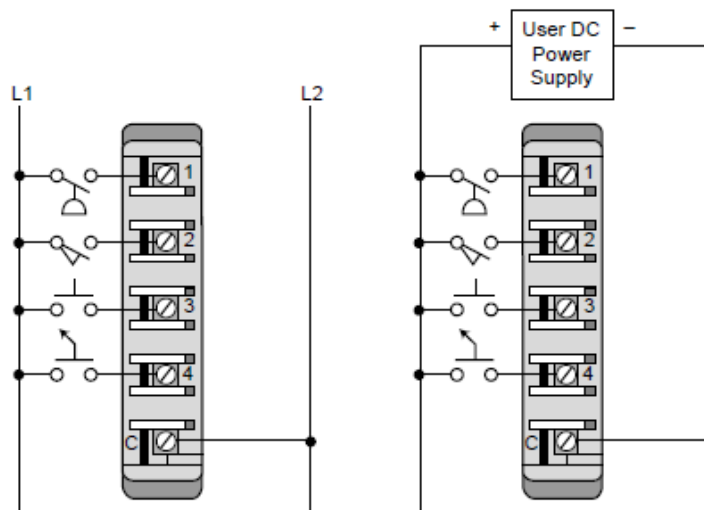
### Μονάδες εισόδου τύπου AC/DC

Οι μονάδες του τύπου αυτού μπορούν να δέχονται διακριτά σήματα των οποίων η κατάσταση ON παριστάνεται από μια τάση εναλλασσόμενου ή συνεχούς ρεύματος και η κατάσταση OFF με την απουσία τάσης.



**\*Εικόνα 3.6.** «Διάγραμμα κυκλωματικής δομής μονάδας τύπου AC/DC»

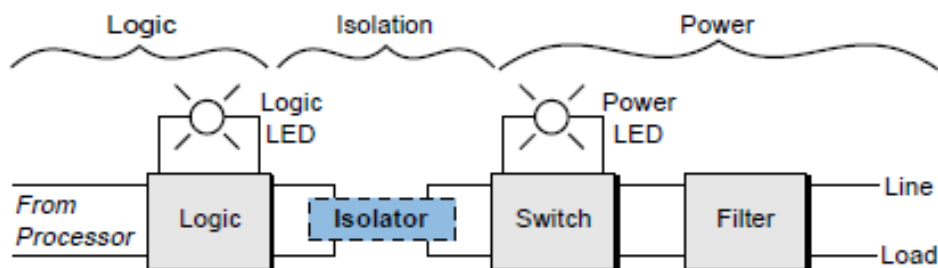
Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.6. η μονάδα αποτελείται από δύο τμήματα. Το τμήμα ισχύος και το τμήμα της ψηφιακής λογικής. Στην περίπτωση μονάδας που δέχεται εναλλασσόμενες τάσεις στις εισόδους της, τότε το πρώτο τμήμα επιτελεί τη λειτουργία της μετατροπής της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή τάση στάθμης ίσης με τη στάθμη που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό λογικού 1 στα κυκλώματα της Κ.Μ.Ε. Το κύκλωμα της ανορθωτικής γέφυρας μετατρέπει την εισερχόμενη εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή. Αυτή η τελευταία τάση περνά στη συνέχεια μέσα από ένα φίλτρο για την απομάκρυνση του ηλεκτρικού θορύβου και των διακοπτικών ασυνεχειών (signal bouncing).



**\* Εικόνα 3.7.** «Σχεδιάγραμμα συνδεσμολογίας μονάδας AC και DC με εξωτερικά στοιχεία» [11]

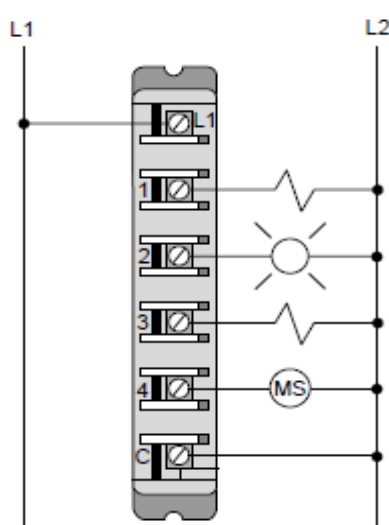
Το κύκλωμα αναγνώρισης κατωφλίου βρίσκει αν το σήμα έχει ξεπεράσει τη στάθμη του λογικού 1 και διατηρεί τη στάθμη αυτή για χρονική διάρκεια ίση ή μεγαλύτερη από την καθυστέρηση του φίλτρου. Αν αυτό συμβεί, τότε το σήμα εκλαμβάνεται ως λογικό 1 και μεταδίδεται μέσω του κυκλώματος απομόνωσης στα ψηφιακά κυκλώματα του διαδρόμου επικοινωνίας των μονάδων εισόδων/εξόδων με την Κ.Μ.Ε. Η ηλεκτρική απομόνωση βοηθά στην αποφυγή καταστροφής των λογικών ψηφιακών κυκλωμάτων από κρουστικές υπερτάσεις που μπορεί να επαχθούν από παρακείμενες και υπερκείμενες πηγές στο διακριτό σήμα που παράγεται από το αισθητήριο. Στην εικόνα 3.7. βλέπουμε το σχεδιάγραμμα συνδεσμολογίας των μονάδων AC , DC με εξωτερικά στοιχεία.

#### Μονάδες εξόδου τύπου AC και DC



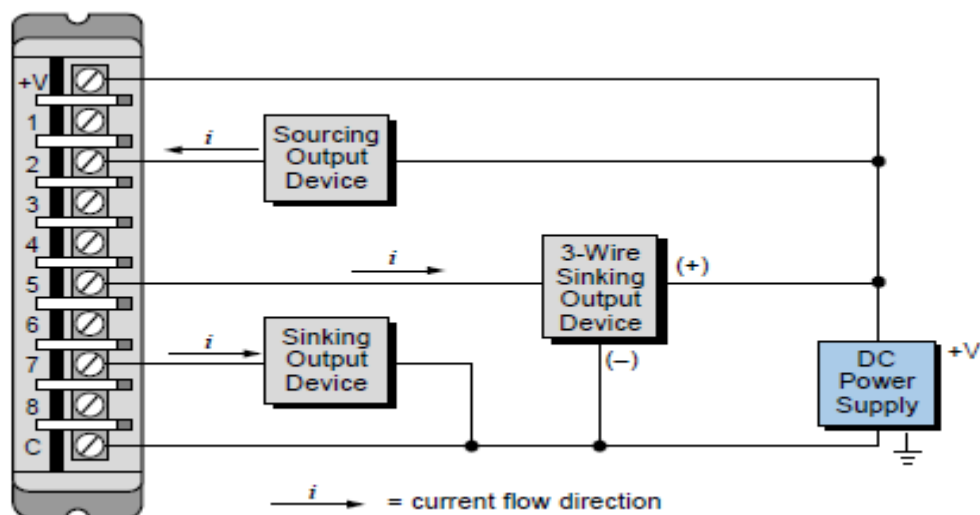
**\*Εικόνα 3.8.** «Κύκλωμα μονάδας εξόδου AC» [11]

Κάθε μονάδα εξόδου μπορεί να αποτελείται από 4, 8, 16 ή και ακόμα περισσότερα κυκλώματα, το καθένα από τα οποία συνίσταται από ένα λογικό ψηφιακό κύκλωμα, ένα κύκλωμα ισχύος και ένα κύκλωμα απομόνωσης. Η εικόνα 3.8. δείχνει ένα κύκλωμα μονάδας εξόδου AC. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας της μονάδας, ο επεξεργαστής στέλνει στο ψηφιακό κύκλωμα την τιμή της κατάστασης της εξόδου, δηλαδή 0 ή 1, όπως αυτή υπολογίσθηκε από το πρόγραμμα εφαρμογής. Αν η τιμή αυτή ενεργοποιεί τη μονάδα εξόδου (προκαλεί το κλείσιμο του ιδεατού διακόπτη), τότε η έξοδος του ψηφιακού κυκλώματος δια μέσου του κυκλώματος απομόνωσης εφαρμόζεται στην είσοδο του κυκλώματος ισχύος. Το τμήμα ισχύος λειτουργεί σαν διακόπτης και κλείνει το κύκλωμα τροφοδοσίας του τελικού στοιχείου που συνδέεται στη κλεμοσειρά της μονάδας εξόδου. Ο τρόπος σύνδεσης των τελικών στοιχείων με τη μονάδα εξόδου δείχνεται στην εικόνα 3.9.



**\*Εικόνα 3.9.** «Συνδεσμολογία εξωτερικών στοιχείων με μονάδα εξόδου AC» [11]

Η λειτουργία μιας μονάδας εξόδου τύπου DC είναι παρόμοια με αυτή μιας μονάδας AC. Η μόνη διαφορά είναι ότι η πρώτη διακόπτει και συνδέει φορτία συνεχούς ρεύματος και κατά συνέπεια τα διακοπτικά κυκλώματα του τμήματος ισχύος της μονάδας χρησιμοποιούν σαν βασικό διακοπτικό στοιχείο το τρανζίστορ ισχύος (power transistor) ενώ η δεύτερη χρησιμοποιεί ελεγχόμενο ανορθωτή πυριτίου (Silicon Controlled Rectifier).

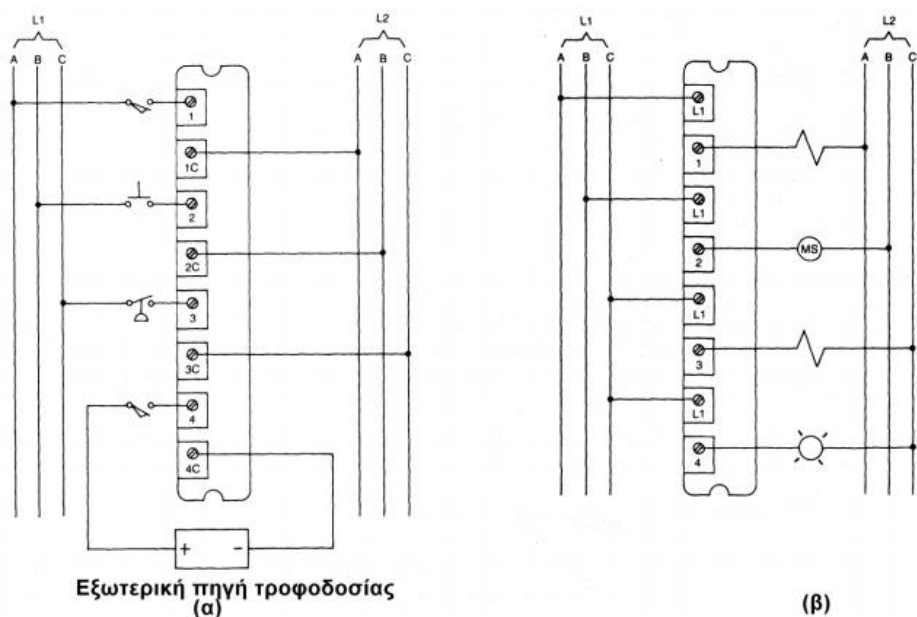


**\*Εικόνα 3.10.** «Συνδεσμολογία εξωτερικών στοιχείων με μονάδα εξόδου DC» [11]

Όσον αφορά τη σύνδεση της μονάδας εξόδου τύπου DC με τα εξωτερικά τελικά στοιχεία, αυτή όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.10, διαφέρει με εκείνη της μονάδας AC μόνο ως προς τον τύπο της πηγής τροφοδοσίας. Στην περίπτωση αυτή η πηγή τροφοδοσίας είναι συνεχούς ρεύματος.

Τα κυκλώματα όλων των εισόδων ή εξόδων κάθε μονάδας διακριτών εισόδων ή εξόδων έχουν συνήθως κοινή γραμμή επιστροφής του ρεύματος (κοινό πόλο + ή -) στην οποία συνδέεται ο ένας από τους πόλους της εξωτερικής πηγής τροφοδοσίας ισχύος. Μερικές φορές όμως, χρειάζεται να συνδέσουμε αισθητήρια ή τελικά στοιχεία με πηγές διαφορετικής πολικότητας και τάσεων. Τότε η σύνδεση του κοινού πόλου με τους διαφορετικής πολικότητας πόλους των εξωτερικών πηγών τροφοδοσίας των αισθητηρίων ή τελικών στοιχείων δεν είναι εφικτή. Για την κάλυψη της περίπτωσης αυτής κατασκευάζονται μονάδες με κυκλώματα εισόδων ή εξόδων που το καθένα έχει ανεξάρτητη και απομονωμένη από το άλλο γραμμή επιστροφής του ρεύματος. Κατά τα άλλα η λειτουργία των μονάδων εισόδων/εξόδων με απομόνωση δε διαφέρει σε τίποτα από αυτήν των μονάδων με κοινή επιστροφή [11, 13] Στην εικόνα 3.11. δείχνεται παραστατικά η σύνδεση των κλεμοσειρών τέτοιων μονάδων εισόδου και αντίστοιχα εξόδων με αισθητήρια και τελικά στοιχεία.





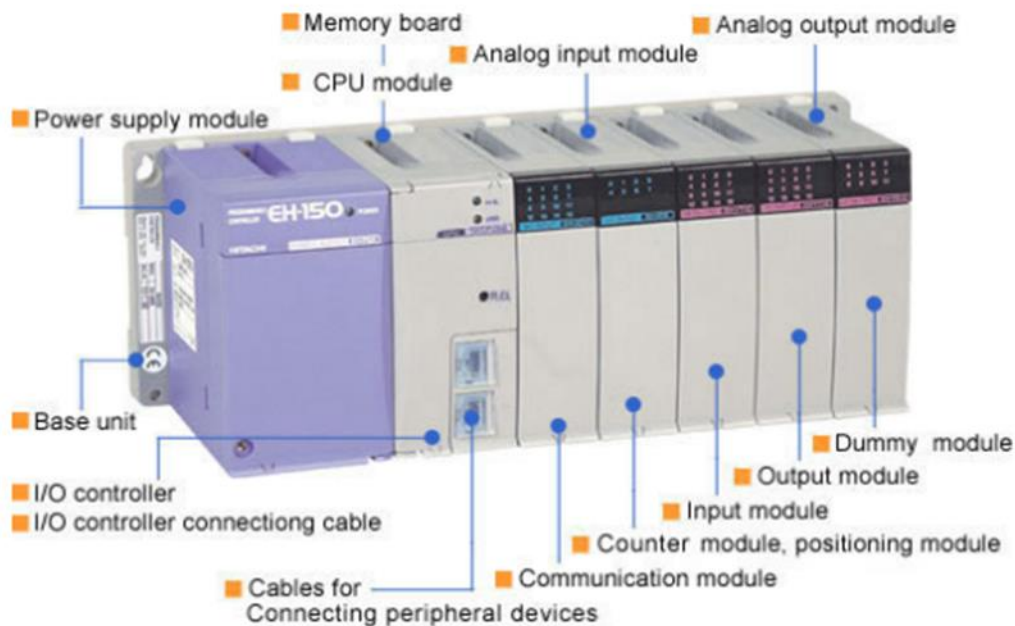
**Εικόνα 3.11.** «Συνδεσμολογία με εξωτερικά στοιχεία (α) μονάδων με απομονωμένες εισόδους AC και DC, (β) μονάδων με απομονωμένες εξόδους AC και DC.» [11]

### Βοηθητικές Περιφερειακές Μονάδες

Πρόκειται για συσκευές που δεν είναι απαραίτητες για τη λειτουργία του PLC αλλά σίγουρα χρησιμεύουν στον καλύτερο έλεγχο του αυτοματισμού. Κάποιες απ' αυτές είναι:

- Εξομοιωτής. Μία σειρά από διακόπτες με τους οποίους μπορούμε να κάνουμε εργαστηριακό έλεγχο του αυτοματισμού.
- Μονάδες σθησίματος περιεχομένου μνημών(PROM,EEPROMκλπ.)
- MODEM για διαβίβαση πληροφοριών μέσω δικτύων.
- MONITORS για έγχρωμες απεικονίσεις διαγραμμάτων υψηλής ευκρίνειας.
- Εκτυπωτές και καταγραφικά.

Η εικόνα 3.12. παρουσιάζει τα μέρη ενός PLC.



Εικόνα 3.12. «Μέρη ενός PLC» [11]

### 3.1.3. Προγραμματισμός και Αρχή Λειτουργίας PLC

Η ευκολία στον προγραμματισμό είναι το πλεονέκτημα του PLC. Υπάρχουν τρεις τρόποι προγραμματισμού:

- Με την μορφή διαγράμματος επαφών (LADDER DIAGRAM)
- Με την μορφή λίστας εντολών (STATEMENT LIST) ή γλώσσας μηχανής.
- Με την μορφή λογικού διαγράμματος (CONTROL SYSTEM FLOWCHART ή FUNCTIONS BLOCS) ή Λογικές εντολές (Boolean).

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος προγραμματισμού είναι με την μορφή διαγραμμάτων επαφών, καθώς χρησιμοποιείται κυρίως από αυτούς που έχουν αποκτήσει εμπειρία σε κλασικό αυτοματισμό. Όμως, οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές πρέπει να μπορούν να προγραμματίζονται και με τους τρεις τρόπους.

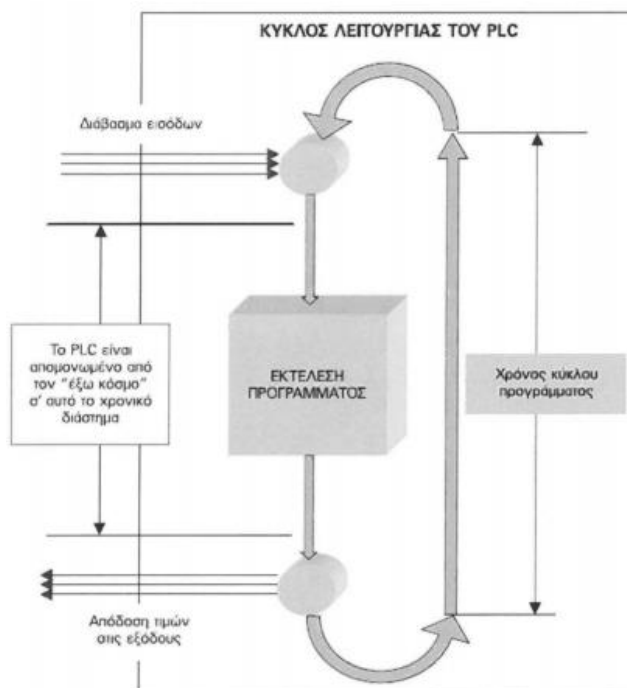
Ας υποθέσουμε ότι ένας PLC βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας του αυτοματισμού. Τα βήματα που ακολουθεί κατά τη λειτουργία του είναι τα εξής:

1. Αρχικά ο μικροεπεξεργαστής διαβάσει τις εισόδους. Ελέγχει δηλαδή για κάθε είσοδο αν έχει υψηλή τάση (λογικό 1) ή χαμηλή τάση (λογικό 0). Η τιμή 0 ή 1 για κάθε είσοδο σε μία ειδική περιοχή μνήμης η οποία ονομάζεται εικόνα εισόδων.

2. Στη συνέχεια ο μικροεπεξεργαστής χρησιμοποιώντας στα δεδομένα τις τιμές των εισόδων, που διάβασε, εκτελεί τις εντολές του προγράμματος το οποίο λειτουργεί τον αυτοματισμό. Το πρόγραμμα αυτό στην ουσία περιέχει μια σειρά από λογικές πράξεις. Η εκτέλεση του προγράμματος θα δώσει αποτέλεσμα για τις εξόδους. Αυτά τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στην ειδική περιοχή της μνήμης που ονομάζεται εικόνα εξόδων.

3. Στη συνέχεια ο μικροεπεξεργαστής αποδίδει τις τιμές της εικόνας εξόδων στις εξόδους. Αυτό σημαίνει ότι θα δοθεί υψηλή τάση σε όποια έξοδο έχει 1 και θα δοθεί χαμηλή τάση σε όποια έξοδο έχει 0.

Με τη συμπλήρωση του 3<sup>ου</sup> βήματος ολοκληρώνεται ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας (εικόνα 3.13) και η διαδικασία ξαναρχίζει από την αρχή. Ο κύκλος αυτός εκτελείται συνεχώς όσο το PLC βρίσκεται σε κατάσταση αυτοματισμού [13].



**\*Εικόνα 3.13.. «Κύκλος λειτουργίας PLC» [13]**

## **3.2. Ψηφιακός Έλεγχος**

### **3.2.1. Ψηφιακά Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου.**

Οι αρχές λειτουργίας των ψηφιακών Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου είναι ίδιες με αυτές των αναλογικών. Η διαφορά των ψηφιακών από τα αναλογικά ΣΑΕ είναι στη μορφή και στον τρόπο μεταφοράς των σημάτων. Αντίθετα με τα αναλογικά ΣΑΕ, το ψηφιακό σύστημα χρησιμοποιεί ψηφιακά σήματα (διακριτά σήματα ή παλμούς). Επίσης, ενώ στα αναλογικά ΣΑΕ η λειτουργία τους είναι δεδομένη και εξαρτάται από τα στοιχεία της διάταξης και τον τρόπο διασύνδεσης τους, στα ψηφιακά η λειτουργία τους προγραμματίζεται και συνεπώς είναι περισσότερο ευέλικτα.

Τα ψηφιακά ΣΑΕ καταλαμβάνουν πολύ μικρό χώρο και απαιτούν πολύ λιγότερες καλωδιώσεις. Επιπλέον, έχουν τη δυνατότητα γρήγορης διάγνωσης και αποκατάστασης των σφαλμάτων. Χάρη στην μεγάλη μνήμη που διαθέτει ο ψηφιακός ελεγκτής, μπορεί να αποθηκεύει και να καταγράφει μεγάλη ποσότητα δεδομένων. Όμως, μειονεκτούν σε σχέση με τα αναλογικά ΣΑΕ λόγω της δυσκολίας κατανόησης της λειτουργίας τους και γι' αυτό το λόγο απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό. Σε μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όπου απαιτείται ο έλεγχος ταυτόχρονα πολλών και διαφορετικών ελεγχόμενων συστημάτων, χρησιμοποιούνται ψηφιακοί ελεγκτές υπο μορφή μικροεπεξεργαστών ή ηλεκτρονικών υπολογιστών. Οι Η/Υ συνδέονται με το ελεγχόμενο σύστημα με τους εξής τρόπους [14]:

- *Σύνδεση του Η/Υ έτσι ώστε να σήματα εξόδου του να χρησιμοποιούνται ως επιθυμητές τιμές από άλλους υφιστάμενους ελεγκτές. Στην περίπτωση αυτή ο υπολογιστής οδηγεί ένα ή περισσότερα ΣΑΕ.*

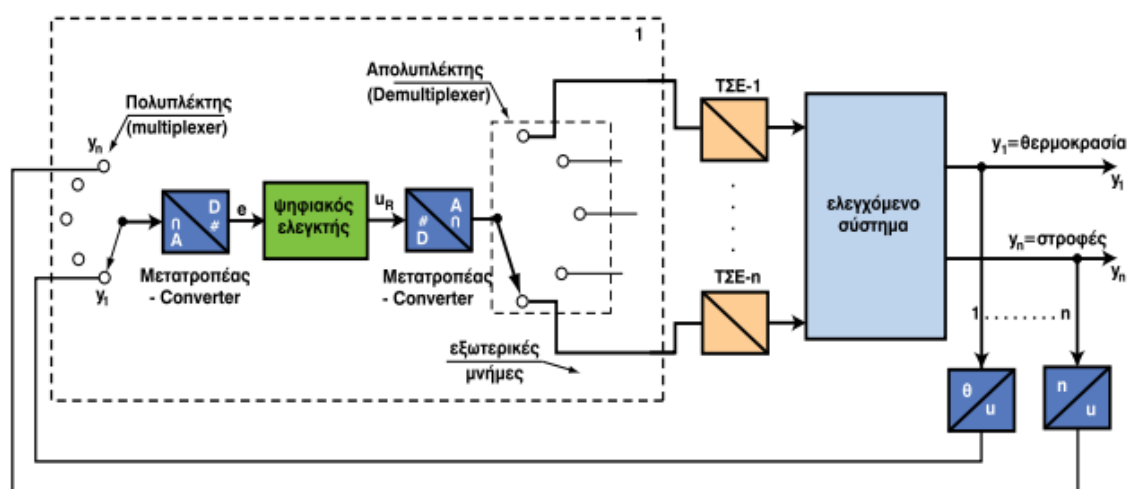
- *Ο Η/Υ συνδέεται άμεσα με το τα ελεγχόμενα συστήματα. Λαμβάνει τις τιμές της ελεγχόμενης μεταβλητής από τους μετατροπείς, τις συγκρίνει με τις επιθυμητές τιμές και παράγει μόνος του τα ρυθμιστικά σήματα για τα τελικά στοιχεία ελέγχου.*

Ο έλεγχος αυτός ονομάζεται **άμεσος ψηφιακός έλεγχος** ( *Direct Digital Control, DDC*).

Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως ο αναλογικός ελεγκτής από ηλεκτρονικό υπολογιστή (Η/Υ), σε ένα συνηθισμένο σύστημα ελέγχου και η ενέργεια ελέγχου που παράγεται από τον αναλογικό ελεγκτή αντικαθίσταται από έναν αλγόριθμο του Η/Υ για ψηφιακό έλεγχο.

Τα πλεονεκτήματα που επιτυγχάνονται με τον ψηφιακό έλεγχο είναι αρκετά και ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω:

- *Ικανότητα για επεξεργασία αλγορίθμων με λογισμικό αντί για hardware.*
- *Αλλαγή του σχεδιασμού χωρίς αλλαγές στο hardware.*
- *Μείωση μεγέθους, βάρους, ισχύος καθώς και χαμηλό κόστος.*
- *Μεγαλύτερη αξιοπιστία, συντήρηση και δοκιμαστική ικανότητα.*
- *Μεγαλύτερη ανοχή σε θορύβους.*



**\*Εικόνα 3.14.** «Ψηφιακό ΣΑΕ (DDC) με τις βασικές του βαθμίδες» [14]

Από την παραπάνω εικόνα (3.14.) που απεικονίζει ένα ψηφιακό ΣΑΕ με τις βασικές του βαθμίδες ξεχωρίζουμε τις εξής :

Ο **μετατροπέας** εκτελεί την ίδια λειτουργία που εκτελεί και στα αναλογικά ΣΑΕ , δηλαδή μετατρέπει την ελεγχόμενη μεταβλητή σ' ένα τυποποιημένο αναλογικό ηλεκτρικό σήμα.

Ο **αναλογικός /ψηφιακός μετατροπέας (A/D – converter)** μετατρέπει το αναλογικό σήμα της ελεγχόμενης μεταβλητής σε ψηφιακό.

Ο **συγκριτής** υπολογίζει το σφάλμα (e) με ψηφιακό τρόπο, αφού η επιθυμητή τιμή καθώς και η ελεγχόμενη μεταβλητή είναι ψηφιακά σήματα.

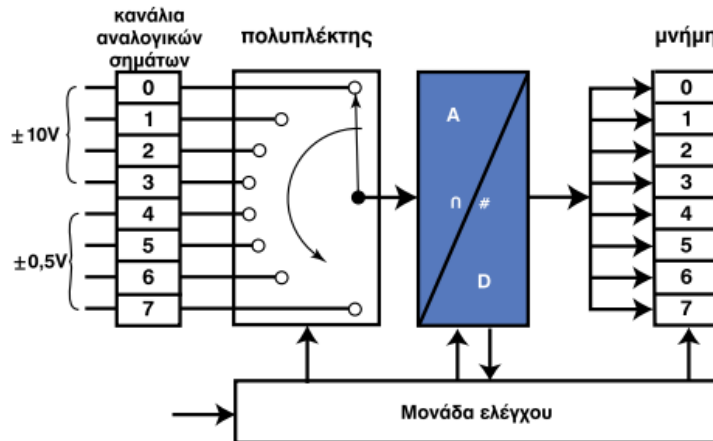
Ο **ψηφιακός ελεγκτής** , σύμφωνα με έναν αλγόριθμο , εκτελεί τις εργασίες του αναλογικού ελεγκτή αλλά με ψηφιακό τρόπο. Ανάλογα τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται καθορίζεται και η συμπεριφορά του ελεγκτή.

Ο **δότης επιθυμητής τιμής ( ΔΕ )** είναι ενσωματωμένος στον ελεγκτή και παρέχει την επιθυμητή τιμή υπό μορφή ψηφιακού σήματος.

Ο **ψηφιακός / αναλογικός μετατροπέας ( D/A – converter )** μετατρέπει το ψηφιακό σήμα εξόδου του ελεγκτή σε αναλογικό, διότι το τελικό στοιχείο ελέγχου λειτουργεί με αναλογικά τυποποιημένα σήματα.

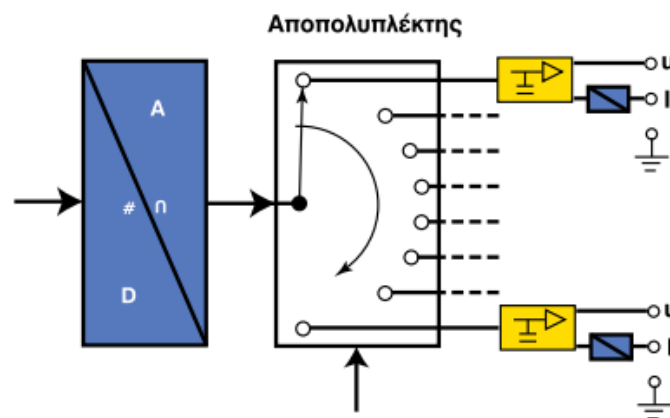
Παρατηρώντας το διάγραμμα της εικόνας 3.14. μπορούμε να εξηγήσουμε την πορεία των εργασιών που εκτελούνται σε ένα άμεσο ψηφιακό σύστημα αυτομάτου ελέγχου.

Από την έξοδο του ελεγχόμενου συστήματος λαμβάνουμε την ελεγχόμενη μεταβλητή ( θερμοκρασία θ, στροφές n ), η οποία μετατρέπεται σε αναλογικό σήμα συνήθως ρεύμα ή τάση. Τα σήματα των μετατροπέων εισάγονται στην είσοδο ενός **πολυπλέκτη ( Multiplexer )** . Ο πολυπλέκτης εργάζεται κυκλικά και επιλέγει κάθε φορά ένα σήμα εισόδου. Το σήμα αυτό συνδέεται με την έξοδο του. Σκοπεύει δηλαδή ο πολυπλέκτης να συνδέσει διαδοχικά τα σήματα της εισόδου με την έξοδο. Η επιλογή των εισόδων γίνεται με τη βοήθεια ενός κωδικοποιημένου σήματος, το οποίο έρχεται από τη μονάδα ελέγχου. Τα σήματα εξόδου του πολυπλέκτη οδηγούνται στον αναλογικό / ψηφιακό μετατροπέα (εικόνα 3.15.) και στη συνέχεια αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή.



**\*Εικόνα 3.15** «.Πολυπλέκτης και A/D μετατροπέας» [14]

Ο ψηφιακός ελεγκτής με την εξίσωση (αλγόριθμο) που τον διέπει, παράγει ψηφιακά σήματα τα οποία οδηγούνται στον D/A μετατροπέα.(εικόνα 3.16.). Το αναλογικό σήμα από την έξοδο του συγκεκριμένου μετατροπέα οδηγείται με την βοήθεια του **αποπολυπλέκτη** στα τελικά στοιχεία ελέγχου υπο μορφή τυποποιημένων σημάτων (+/-10V,4-20mA) [14].



**\*Εικόνα 3.16.** «D/A μετατροπέας και αποπολυπλέκτης» [14]

### **3.2.2. Μετατροπείς ψηφιακού σήματος σε αναλογικό ( D/A-Converter ) και αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ( A/D – Converter )**

#### **Μετατροπείς D/A – Converter**

Η μετατροπή ενός ψηφιακού σήματος σε αναλογικό στην περίπτωση των ψηφιακών ΣΑΕ γίνεται κυρίως για δύο λόγους. Για να έχουμε αναλογική ένδειξη και

διότι το τελικό στοιχείο ελέγχου λειτουργεί με αναλογικά τυποποιημένα σήματα. Τέτοιοι μετατροπείς διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: D/A – μετατροπείς (εικόνα 3.17.) με έξοδο τάση (που είναι και πιο διαδεδομένοι) και D/A – μετατροπείς με έξοδο ρεύμα. [14]

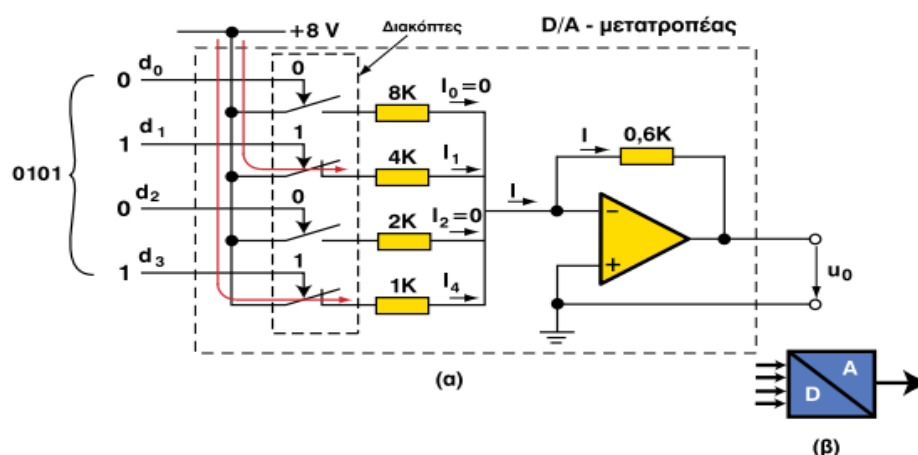
- D/A – μετατροπέας με έξοδο τάση

Η μετατροπή ενός ψηφιακού σήματος σε αναλογικό με χρήση του συγκεκριμένου μετατροπέα γίνεται σε τρία στάδια και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.

1. Το δυαδικό σύστημα ενός bit μετατρέπεται σε ανάλογη τιμή ρεύματος αντίστοιχης της θέσης του bit στο ψηφιακό σήμα.

2. Τα επιμέρους ρεύματα όλων των δυαδικών ψηφίων (bits) προστίθενται. Το συνολικό ρεύμα είναι ανάλογο της τιμής του ψηφιακού συστήματος.

3. Το συνολικό ρεύμα μετατρέπεται σε ανάλογη τάση με τη βοήθεια ενός τελεστικού ενισχυτή.



**\*Εικόνα 3.17.** «Απλό κύκλωμα D/A – μετατροπέα, τεσσάρων bits(α) και το σύμβολο του (β)»[14]

## Μετατροπείς A/D – Converter

Κάθε ψηφιακή διάταξη αποτελείτε βασικά από τις εξής βαθμίδες

- Το στοιχείο του αισθητηρίου (sensor) το οποίο μετατρέπει το προς μέτρηση φυσικό μέγεθος σε αναλογικό ηλεκτρικό σήμα(τάση ή ρεύμα).
- Τον ενισχυτή που ενισχύει το σήμα του αισθητηρίου



- Το φίλτρο που εξουδετερώνει τις παρασιτικές επιδράσεις που δέχεται το σήμα κατά τη μεταφορά του.
- Τον A/D μετατροπέα για την μετατροπή του σήματος σε ψηφιακό

Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια:

1. Καθορισμός του αριθμού των δειγματοληπτικών μετρήσεων του αναλογικού σήματος
2. Αντιστοίχιση σε κάθε μία από τις αναλογικές τιμές που παίρνουμε από τις μετρήσεις, μια κωδικοποιημένη δυαδική τιμή.

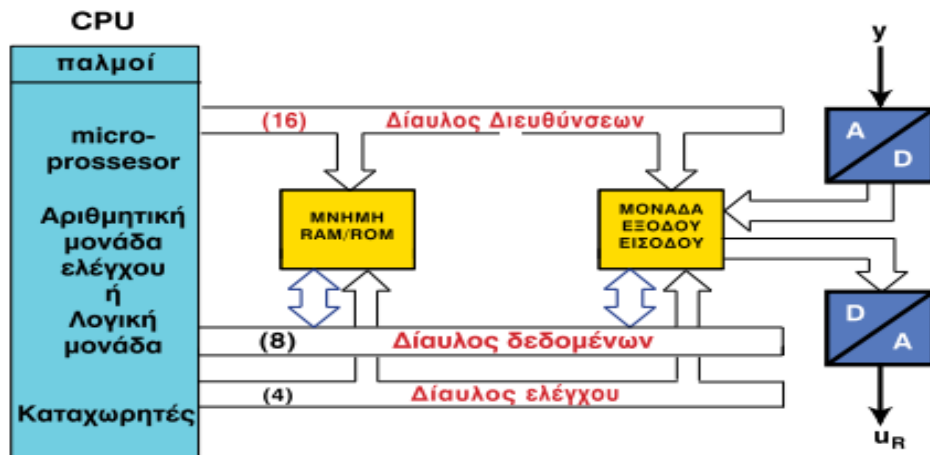
Διακρίνονται τρεις μέθοδοι μετατροπής αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά:

1. Μέθοδος της απευθείας μετατροπής
2. Μέθοδος μετατροπής τάσης σε χρόνο
3. Μέθοδος μετατροπής τάσης σε συχνότητα

### **3.2.3. Ψηφιακός ελεγκτής**

Ο ψηφιακός ελεγκτής, αν και εκτελεί τα ίδια καθήκοντα με τον αναλογικό διαφέρει ως προς τον τρόπο της εσωτερικής του λειτουργίας. Οι λειτουργίες που εκτελεί ένας ψηφιακός ελεγκτής είναι [14]:

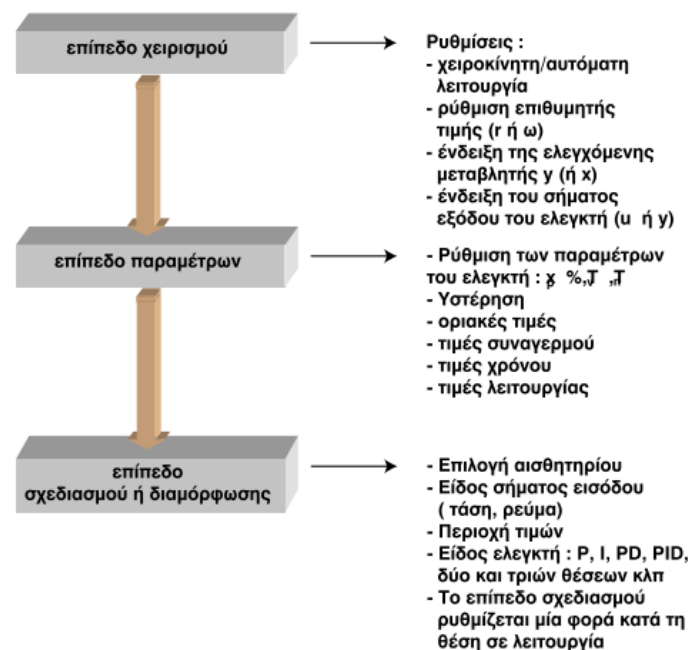
- Δειγματοληψία
- Αποθήκευση τιμών στην εξωτερική μνήμη
- Μαθηματική γραμμικοποίηση των τιμών του αισθητηρίου
- Σύγκριση
- Υπολογισμοί
- Αποθήκευση στη μνήμη των τιμών
- Δημιουργία σήματος εξόδου
- D/A – μετατροπή του σήματος εξόδου
- Διευθυνσιοποίηση σημάτων



**\*Εικόνα 3.18.** «Τυπική δομή ψηφιακού ελεγκτή» [14]

Οι ψηφιακοί ελεγκτές είναι περισσότερο ακριβείς σε σχέση με τους αναλογικούς διότι δεν εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, τη γήρανση των ηλεκτρολογικών στοιχείων και από τις μεταβολές των παραμέτρων. Η τυπική δομή ενός ψηφιακού ελεγκτή φαίνεται στην εικόνα 3.18.

Η πρόσβαση του χρήστη στη λειτουργία του ψηφιακού ελεγκτή γίνεται σε τρία επίπεδα. Τα επίπεδα λειτουργίας είναι μεταξύ τους ηλεκτρονικά συνδεδεμένα για να μην υπάρξουν λανθασμένοι χειρισμοί, και η παρέμβαση σ αυτά από τον χρήστη γίνεται μέσω υπολογιστή. Τα επίπεδα αυτά απεικονίζονται στην εικόνα 3.19.



**\*Εικόνα 3.19.** «Επίπεδα λειτουργίας ενός ψηφιακού ελεγκτή» [14]

Η πρόσοψη των ψηφιακών ελεγκτών είναι τυποποιημένη τόσο ως προς την εξωτερική κατασκευή τόσο και ως προς τα πλήκτρα χειρισμού. Έχει στο αριστερό της πρόσοψης του μια κάθετη ένδειξη η οποία μας δείχνει τη τρέχουσα τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής ( $y=x$ ) και την επιθυμητή τιμή ( $r=w$ ). Η ένδειξη γίνεται με δείκτη η με φωτιζόμενη ταινία και δίνεται πάντα επί τοις εκατό. Στο κάτω μέρος σε οριζόντια θέση υπάρχει η ένδειξη της τρέχουσας τιμής του σήματος εξόδου του ελεγκτή. Στο δεξί μέρος της πρόσοψης υπάρχουν τα πλήκτρα για τη ρύθμιση των παραμέτρων ( $K_p$  ή  $X_p\%$ ,  $T_v$ ,  $T_n$  κλπ.), και για τη ρύθμιση της επιθυμητής τιμής. Επίσης υπάρχει διακόπτης για χειροκίνητη και αυτόματη λειτουργία καθώς και άλλες ρυθμίσεις όπως η επιλογή των σημάτων, γίνονται στην πλάγια συνήθως όψη του ελεγκτή [14].



*\*Εικόνα 3.20. «Ψηφιακός τυποποιημένος ελεγκτής θερμοκρασίας» [15]*

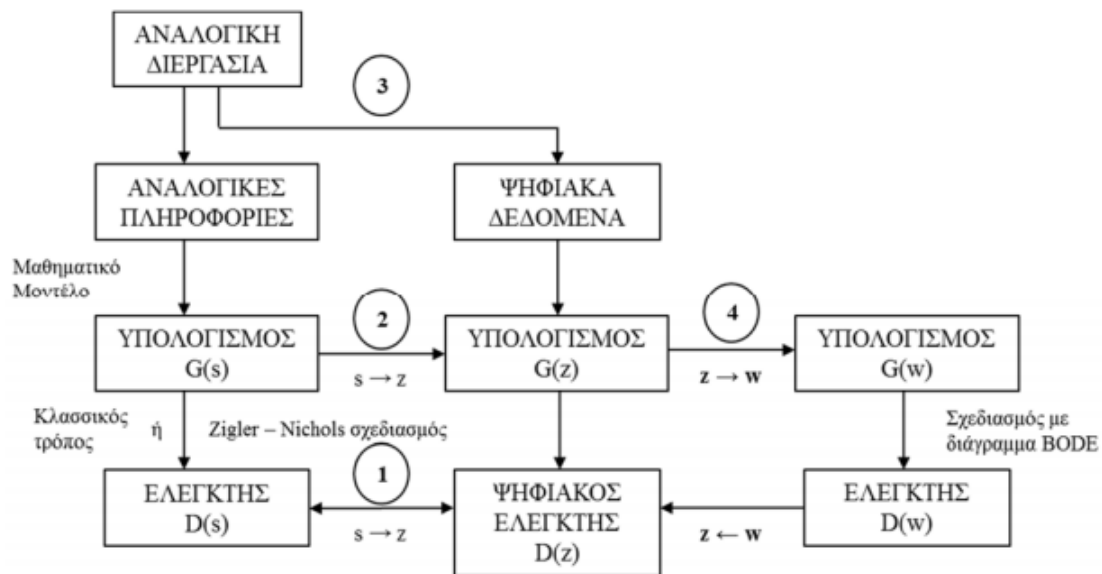
#### **3.2.4. Σχεδιασμός Ψηφιακού Ελεγκτή**

Ο σωστή σχεδίαση των ΣΑΕ ξεκινάει με την περιγραφή της λειτουργίας της διεργασίας ελέγχου. Υπάρχουν τέσσερις μέθοδοι που όπως παρουσιάζονται σχηματικά στην εικόνα 3.21. σχετίζονται με το σχεδιασμό ψηφιακού ελεγκτή διακριτού χρόνου και περιλαμβάνουν τη μοντελοποίηση του [5].

1. Υπολογισμός του αναλογικού μοντέλου της διεργασίας  $G(s)$  από αναλογικά δεδομένα, σχεδιασμός του αναλογικού ελεγκτή  $D(s)$  και στη συνέχεια μετατροπή του σε ψηφιακό  $D(z)$ .
2. Υπολογισμός του μοντέλου της  $G(s)$  από τα αναλογικά, στη συνέχεια μετατροπή σε  $G(z)$  και σχεδιασμός του ψηφιακού ελεγκτή  $D(z)$ .
3. Συνολική ψηφιακή προσέγγιση όπου υπολογίζεται το ψηφιακό μοντέλο της διεργασίας  $G(z)$  και στη συνέχεια σχεδιάζεται ο ψηφιακός ελεγκτής  $D(z)$ .
4. Ψηφιακή μοντελοποίηση της διεργασίας και σχεδιασμός του ελεγκτή στο επίπεδο  $\omega$  (διάγραμμα Bode)  $D(\omega)$  και στη συνέχεια μετατροπή στο επίπεδο  $z$  της  $D(z)$ .

Όλες οι μεθοδολογίες σχεδιασμού ψηφιακού ελέγχου πλην ελαχίστων εξαιρέσεων αρχίζουν από μια μαθηματική περιγραφή της ελεγχόμενης διεργασίας. Επομένως ο συνολικός σχεδιασμός περιγράφεται σε δύο στάδια:

- a) Εξεύρεση του μαθηματικού μοντέλου της ελεγχόμενης διεργασίας (μοντελοποίηση).
- b) Τελικός σχεδιασμός του συστήματος ελέγχου.



**\*Εικόνα 3.21.** «Βασικοί τρόποι σχεδιασμού ψηφιακού ελεγκτή  $D(z)$ » [5]

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

---

#### **4.1. Βιομηχανικός έλεγχος με χρήση Ηλεκτρονικού Υπολογιστή**

Η χρήση των Η/Υ στις βιομηχανίες, γινόταν συνήθως για τον έλεγχο των διαδικασιών καθώς και για απόκτηση δεδομένων και διαφέρουν από τους οικιακούς στη σταθερότητα στη λειτουργία , στη συμβατότητα και στην επεκτασιμότητα. Οι υπολογιστές αυτής της κατηγορίας έχουν κατασκευαστεί για να εγκατασταθούν με τέτοιο τρόπο στη βιομηχανία ώστε να παρέχουν τις υπηρεσίες τους αδιάλειπτα και χωρίς να επηρεάζονται από τις σκληρές συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον τους (π.χ. πολύ υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες) [12].

Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών των υπολογιστών είναι:

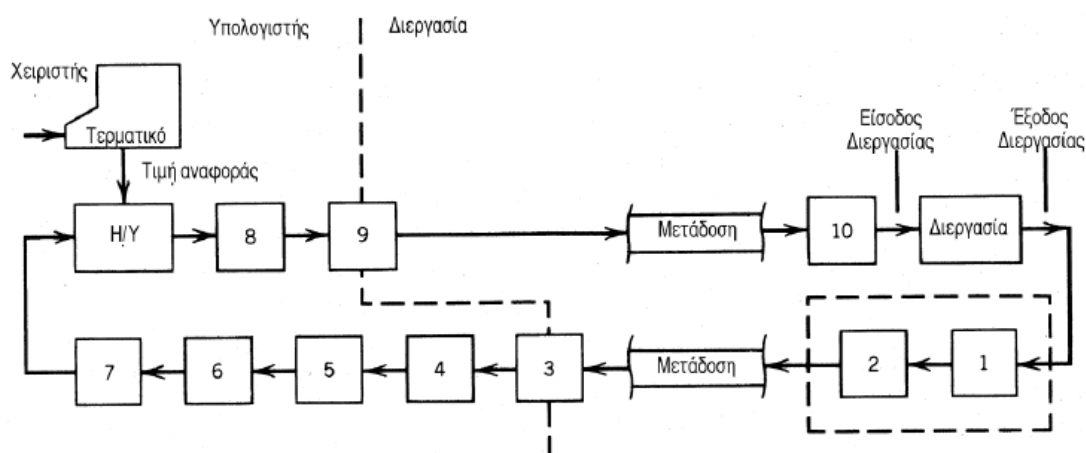
- Κατασκευή του κουτιού από ανθεκτικότερο μέταλλο σε σχέση με τα οικιακά αντίστοιχά τους.
- Δυνατότητα εγκατάστασης σε επιτοίχια ή μη καμπίνα.
- Πρόσθετη ψύξη μέσω αέρα ή με χρήση εναλλακτικών μεθόδων ( υδρόψυξη ή επαγωγική ).
- Κατασκευή για ενισχυμένο φιλτράρισμα από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και για στεγανοποίηση.
- Κατασκευή για ενισχυμένη προστασία από σκόνη και νερό (π.χ για βύθιση σε υγρά).
- Ενισχυμένη τροφοδοσία.
- Καλώδια με ενισχυμένους ακροδέκτες.
- Ελεγχόμενη πρόσβαση στα στοιχεία ελέγχου μέσω θυρών ασφάλειας και στις μονάδες εισόδου/ εξόδου μέσω χρήση καλυμμάτων ασφαλείας.

- Συμπερίληψη χρονικού μετρητή για αυτόματη επανεκκίνηση συστήματος σε περίπτωση κλειδώματος του λειτουργικού συστήματος [12].

Για να μπορέσει ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής να λάβει και να αξιοποιήσει μια πληροφορία που δέχεται, πρέπει να μετατραπούν οι τιμές της φυσικής μεταβλητής σε ψηφιακούς αριθμούς. Για τον ίδιο λόγο, πρέπει να μετατρέπεται σε ψηφιακό αριθμό κάθε αναλογικό ηλεκτρικό σήμα που παράγεται από την τιμή της αναλογικής πληροφορίας. Σε όλους τους ψηφιακούς υπολογιστές που χρησιμοποιούνται σαν ελεγκτές, η τιμή του ηλεκτρικού σήματος μετατρέπεται σε ψηφιακό κώδικα με τη βοήθεια μιας ηλεκτρονικής διάταξης η οποία ονομάζεται **μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D converter)**. Η αντίστροφη επιτυγχάνεται με μια άλλη διάταξη η οποία ονομάζεται **μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (D/ A converter)**.

Σε αυτή τη περίπτωση είναι αναγκαίο ακόμα, να επεξεργαστεί το ψηφιακό αποτέλεσμα ώστε να γίνει η μετατροπή σε αναλογικό σήμα από τον ψηφιακό κώδικα που θα προκύψει. Επίσης, ο ψηφιακός υπολογιστής έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση αρκετών βρόχων με ανατροφοδότηση δεδομένου ότι μπορεί να υπολογίζει συγχρόνως πολλούς αλγορίθμους ελέγχου. Γι' αυτό το λόγο χρειάζεται να συνδέονται πολλοί αισθητήρες και ενεργοποιητές με τους δύο αυτούς μετατροπείς που αναφέρθηκαν παραπάνω (A/D – D/A Converter). Αυτή η διαδοχική σύνδεση πολλών διαφορετικών αισθητηρίων με τον υπολογιστή επιτυγχάνεται με έναν πολυπλέκτη (multiplexer). Ο πολυπλέκτης αποτελεί μια ηλεκτρονική διάταξη που έχει τη δυνατότητα στις εισόδους της, να δέχεται συγχρόνως, σήματα από ένα συγκεκριμένο αριθμό αισθητηρίων και να συνδέει στη μία και μοναδική είσοδο του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακή μορφή τις εξόδους των αισθητηρίων. Από την άλλη μεριά, ο αποπλέκτης (demultiplexer) έχει τη δυνατότητα να μοιράζει τους υπολογισμούς του υπολογιστή στους διάφορες ενεργοποιητές που υπάρχουν στους βρόχους αφού πρώτα, οι αλγόριθμοι ελέγχου ο ένας μετά τον άλλον οι αλγόριθμοι ελέγχου τροφοδοτούν τη μοναδική είσοδο του μετατροπέα ψηφιακών τιμών και μετατρέπονται σε αναλογικό σήμα [6].

Η πιθανότητα να δημιουργηθεί θόρυβος κατά τη μετάδοση του σήματος είναι ακόμα ένα πρόβλημα το οποίο υπάρχει περίπτωση να επηρεάσει τη σωστή μετατροπή των τιμών του αναλογικού σε ψηφιακό σήμα. Καθώς ο θόρυβος μπορεί να αλλοιώσει τη τιμή του αναλογικού σήματος, πρέπει τη ώρα εκείνη που λαμβάνεται το δείγμα να γίνεται το **φιλτράρισμα**. Δηλαδή η επεξεργασία με την οποία μειώνεται η επίδραση του θορύβου. Η μορφή που έχει ένα σύστημα με πολλούς βρόχους ανατροφοδότησης με χρήση υπολογιστή αντί αναλογικού ελεγκτή αναπαρίσταται στην εικόνα 4.1. :



**\* Εικόνα 4.1.** «Τα στοιχεία που αποτελούν ένα σύστημα ελέγχου πολλών βρόχων ανατροφοδότησης με υπολογιστή» [6]

Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από: 1. αισθητήριο, 2. μεταδότης, 3. κλεμοσειρά, 4. φίλτρο, 5. πολυπλέκτης, 6. ενισχυτής, 7. μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, 8. μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε αναλογικό, 9. αποπλέκτης, 10. ενεργοποιητές, 11. τελικά στοιχεία.

## 4.2. Αισθητήρια και Μεταδότες

Σε πολλές περιπτώσεις, δεν γίνεται να φτιαχτεί ένα αισθητήριο που να μπορεί αμέσως να αναγνωρίζει τη τιμή της μεταβλητής που θέλουμε να μετρήσουμε ώστε να παράξει ηλεκτρικό σήμα. Αυτό συμβαίνει διότι μπορεί κάθε φορά να είναι διαφορετική η τεχνολογία που έχει χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση και τη μετάδοση της τιμής της μεταβλητής, ανάλογα με τη φυσική μεταβλητή.

Όμως, υπάρχει η πιθανότητα και η δυνατότητα οι μεταβολές της επιθυμητής μεταβλητής να συσχετιστούν με τις μεταβολές μιας άλλης η οποία μπορεί να διαθέτει αντίστοιχο αισθητήριο που να παράγει ηλεκτρικό σήμα σύμφωνα με τις μεταβολές της. Για να γίνει αυτό, παρεμβαίνει ανάμεσα στο αισθητήριο και στην μεταβλητή μία νέα διάταξη, ο **μετατροπέας εισόδου (input transducer)**.

Στις περιπτώσεις που το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται από τη μετατροπή της τιμής της μετρούμενης μεταβλητής δε έχει τα απαραίτητα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά για να επιτρέπεται η σύνδεση του με τους ελεγκτές, απαιτείται η χρήση **των μεταδοτών** που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η τεχνολογία των μεταδοτών, των αισθητηρίων και των μετατροπέων εισόδου, εξελίσσεται και συμβαδίζει με την τεχνολογία των ελεγκτών. Με την πάροδο του χρόνου, οι μεταδότες και οι ελεγκτές τυποποιήθηκαν στη χρήση σημάτων 4-20mA και 1-5VDC. Η χρήση πνευματικών σημάτων όμως έμεινε για να θέτει σε λειτουργία τα πνευματικά τελικά στοιχεία (π.χ.βαλβίδες ρύθμισης ροής υγρών) και σε περιπτώσεις εγκατάστασης οργάνων σε χώρους στους οποίους διακινούνται ουσίες σε αέρια ή υγρά.

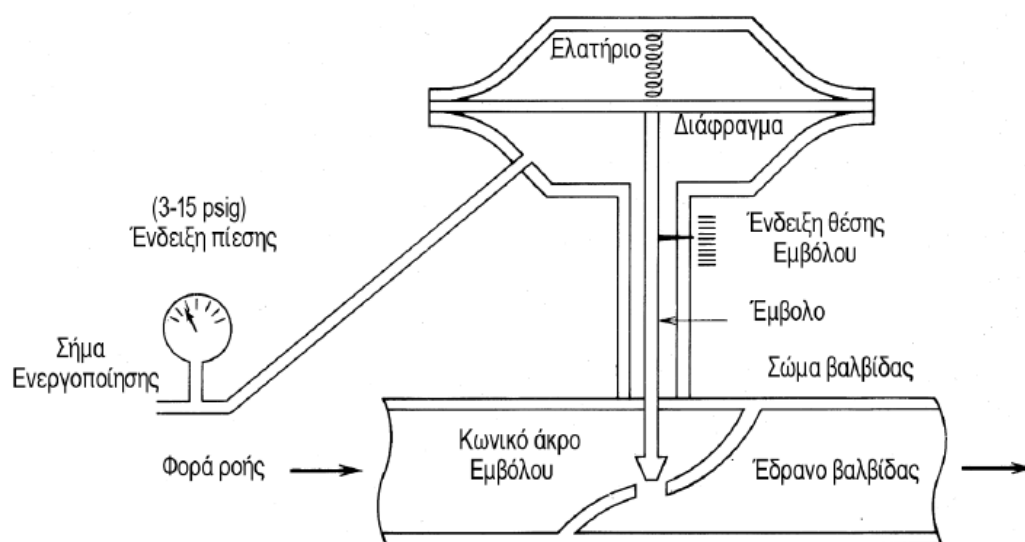
Νέες τεχνικές μετάδοσης των μετρήσεων με ψηφιακά σήματα έκαναν την εμφάνιση τους όμως το κόστος αυτών ήταν αρκετά υψηλό. Έτσι η χρήση των μεταδοτών αναλογικής τεχνολογίας και μετατροπέων συνεχίζεται μέχρι σήμερα, ενώ για να μπορούμε να διαβάζουμε τα παραγόμενα αναλογικά σήματα, οι ψηφιακής τεχνολογίας ελεγκτές εξοπλίσθηκαν με τους κατάλληλους μετατροπείς αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά (**A/D converters**) και ψηφιακών σημάτων σε αναλογικά (**D/A converters**) [6].

### **4.3. Μετατροπείς εξόδων, Ενεργοποιητές και Τελικά Στοιχεία**

Όλοι οι βρόχοι ελέγχου περιλαμβάνουν ένα τελικό στοιχείο που έχει τη δυνατότητα να μειώσει ή να αυξήσει την τιμή μιας χειριζόμενης μεταβλητής. Τα τελικά στοιχεία ρυθμίζουν τη ροή των υλών και τη μεταφορά της ενέργειας από και προς τη διεργασία, στις πιο πολλές συνεχείς διεργασίες. Η βαλβίδα ελέγχου είναι



πιο διαδεδομένη διάταξη για τη ρύθμιση των ροών στα υγρά. Η κάθετη τομή μιας τυπικής βαλβίδας δίνεται στην εικόνα 4.2.



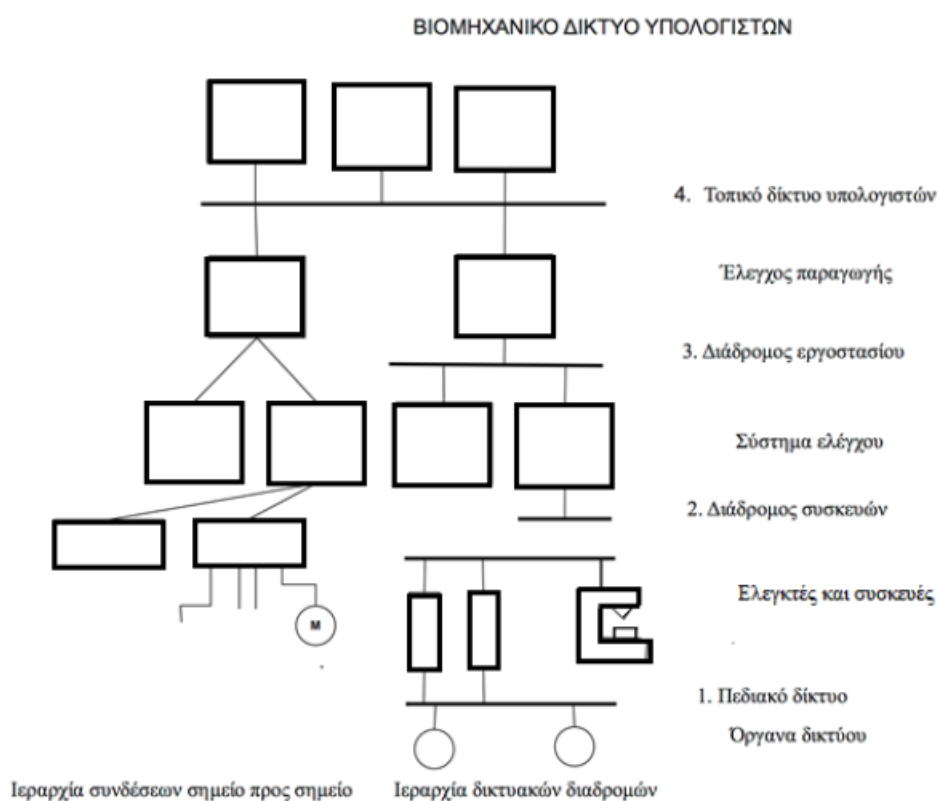
**\*Εικόνα 4.2.. « Τομή πνευματικής βαθμίδας ελέγχου»** [6]

Ανάλογα με τη μεταβολή που θέλουμε να επιτευχθεί σε μια μεταβλητή , το έμβολο που υπάρχει στο κεντρικό σώμα της βαλβίδας , μέσω ενός μηχανισμού κίνησης , κινείται πάνω η κάτω. Αυτός ο μηχανισμός μπορεί να αποτελείται από έναν βηματικό κινητήρα ή έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος ή ένα πιεζόμενο διάφραγμα το οποίο συνδέεται με το πάνω άκρο του εμβόλου όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2. Για να κινηθεί ο μηχανισμός ο οποίος αποτελεί τον ενεργοποιητή του τελικού στοιχείου , σύμφωνα με την τιμή που παράγεται από το ηλεκτρικό σήμα στην έξοδο του ελεγκτή χρειάζεται να παρέμβει μια διάταξη μεταξύ ενεργοποιητή και ελεγκτή. Ο **μετατροπέας εξόδου**. Ο Μετατροπέας αυτός μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα της εξόδου του ελεγκτή, και συνεπώς προσδιορίζει το πόσο πρέπει να αυξηθεί ή μειωθεί η ροή από τη βαλβίδα. [6]

#### **4.3.1. Δικτυακή διασύνδεση Αισθητήριων / Μεταδοτών και Ενεργοποιητών**

Όσον αφορά τη βιομηχανία συνεχών διεργασιών το σύστημα ελέγχου χαρακτηρίζεται από ιεραρχική και κατανεμημένη αρχιτεκτονική, σύμφωνα με την

οποία υπολογισμοί των αλγορίθμων ελέγχου κατανέμονται σε πολλές μικρές υπολογιστικές μονάδες. Οι μονάδες αυτές ονομάστηκαν τοπικές μονάδες ελέγχου και επικοινωνούν με τα ιεραρχικά ανώτερα υπολογιστικά συστήματα των οθονών εποπτείας και χειρισμών και εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων μέσω τοπικών δικτύων υπολογιστών. Ανάμεσα στις δυνατές τεχνολογίες υπολογιστών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως τοπικές μονάδες ελέγχου είναι οι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές και οι βιομηχανικοί προσωπικοί υπολογιστές. Όσον αφορά την επικοινωνία των μονάδων αυτών με τα αισθητήρια, τους μεταδότες των αισθητηρίων και τους ενεργοποιητές, αυτή γίνεται είτε με ζεύγη καλωδίων που ξεκινούν από τις συσκευές αυτές και καταλήγουν σε μεμονωμένα ζεύγη επαφών στις διεπαφές των τοπικών μονάδων ελέγχου ή μέσω, επίσης, εξειδικευμένων τοπικών δικτύων υπολογιστών. Όσον αφορά το δικτυακό τρόπο επικοινωνίας, αυτός εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 με την παράλληλη ανάπτυξη των έξυπνων αισθητηρίων/μεταδοτών και ενεργοποιητών, συσκευές που διαθέτουν δικτυακές διεπαφές [13].



**Εικόνα 4.3.** « Αρχιτεκτονικές βιομηχανικών συστημάτων ελέγχου.» [13]

Τα έξυπνα αισθητήρια, οι μεταδότες και οι ενεργοποιητές περιγράφονται με τον όρο **όργανα πεδίου**, ενώ τα συνολικά όργανα πεδίου και οι τοπικές μονάδες ελέγχου περιγράφονται με τον όρο **συσκευές πεδίου**. Εν τω μεταξύ η τεχνολογία των τοπικών δικτύων υπολογιστών είχε φθάσει σε υψηλό επίπεδο ωρίμανσης γεγονός που επέτρεψε την ανάπτυξη πρωτοκόλλων τα οποία ικανοποιούσαν τις προδιαγραφές διακίνησης μικρού όγκου δεδομένων με προβλέψιμη ταχύτητα μεταφοράς και αξιοπιστία. Συσκευές με αυτές τις προδιαγραφές μπορούσαν να υλοποιηθούν ενσωματώνοντας την τεχνολογία των μικροελεγκτών και μικροεπεξεργαστών με πολύ μικρότερο κόστος από αυτό της καλωδίωσης της καθεμίας συσκευής πεδίου χωριστά. Τα δίκτυα που υλοποιούν τα πρωτόκολλα αυτά ονομάστηκαν **πεδιακά δίκτυα** ή **πεδιακοί διάδρομοι (fieldbus)** [13].

#### **4.4. Δίκτυα Fieldbus**

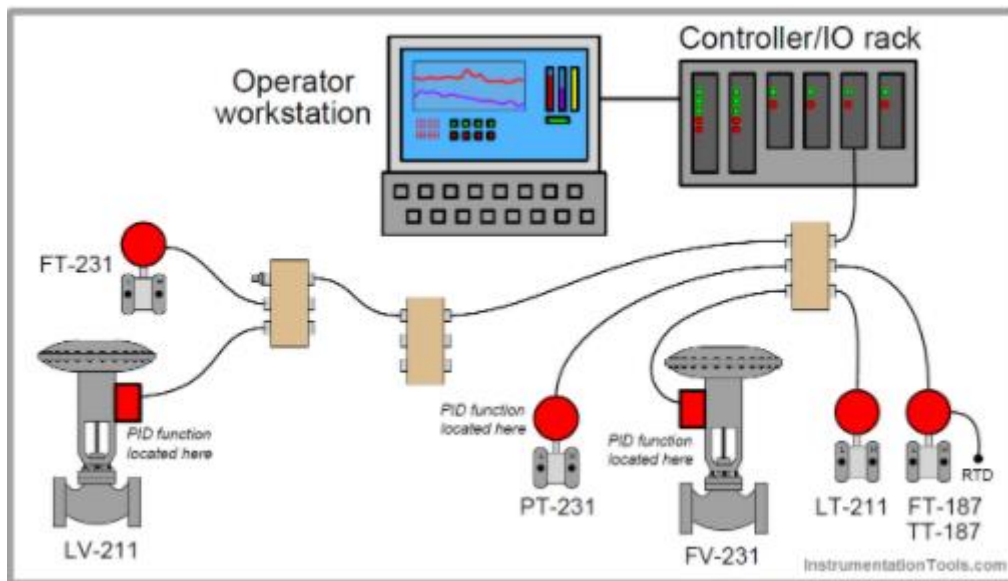
Τα όργανα πεδίου παράγουν στις εξόδους τους ηλεκτρικά σήματα ρεύματος. Για να μεταδοθούν τα σήματα αυτά στις τοπικές μονάδες ελέγχου χρησιμοποιούνται εκατοντάδες και μερικές φορές χιλιάδες μέτρα από καλώδια, τα οποία διέρχονται μέσα από προστατευτικούς σωλήνες (conduit) και καταλήγουν σε ενδιάμεσα πλαίσια τερματικών επαφών. Μέσα στα πλαίσια αυτά τα καλώδια ομαδοποιούνται και οδηγούνται τελικά στους θαλάμους ελέγχου της βιομηχανίας στους οποίους βρίσκονται οι τοπικές μονάδες ελέγχου. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός μπορεί να αποτελείται από κινητήρες, δεξαμενές, χημικές αποστακτικές στήλες, εργαλειομηχανές και πολλούς άλλους τέτοιους τύπους εξοπλισμού. Σε αντίθεση, τα πεδιακά δίκτυα επιτρέπουν πολλά όργανα πεδίου να μοιράζονται ένα κοινό ζεύγος καλωδίων, το οποίο στην ορολογία που καθιερώθηκε για τα δίκτυα αυτά ονομάζεται **κορμός(trunk)** ή **τμήμα(segment)**. Κάθε όργανο πεδίου συνδέεται επάνω σε αυτό το κοινό καλώδιο. Για να γίνει, βέβαια, η ηλεκτρική σύνδεση του οργάνου με το καλώδιο χρειάζεται το όργανο να έχει μια δικτυακή διεπαφή και λογισμικό που θα υλοποιεί την παραγωγή των δεδομένων σύμφωνα με τους κανόνες του πρωτοκόλλου του πεδιακού δικτύου.

Ο κορμός του πεδιακού δικτύου ή το τμήμα είναι ένα απλό ζεύγος καλωδίων που μεταφέρει ταυτόχρονα ένα ψηφιακό σήμα και τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος. Σύμφωνα με το ανοικτό πρότυπο FOUNDATION FIELDBUS (Fieldbus, 2001) ο αριθμός των οργάνων πεδίου που μπορούν να συνδεθούν σε ένα τμήμα είναι 32. Τα περισσότερα όργανα πεδίου, όπως είναι τα αισθητήρια και μεταδότες θερμοκρασίας, πίεσης, ροής, έξυπνες βαλβίδες και ενεργοποιητές έχουν δυνατότητες δισύρματης τροφοδοσίας από το τμήμα του δικτύου και κατανάλωση ρεύματος στην περιοχή των 10mA έως 20mA. Η ηλεκτρική ισχύς συνεχούς ρεύματος παρέχεται από μια ειδική πηγή ισχύος, η οποία συνήθως ονομάζεται **πεδιακή πηγή** και η οποία εμποδίζει τα υψηλής συχνότητας σήματα να βραχυκυκλωθούν από τους ρυθμιστές της τάσης συνεχούς ρεύματος. Οι πηγές αυτές παρέχουν 350 έως 500 mA στο καλώδιο του δικτύου και έχουν συνήθως ενσωματωμένα κυκλώματα απομόνωσης κάθε τμήματος από άλλο.

Όταν υπολογίζει κάποιος το πλήθος των συσκευών πεδίου οι οποίες μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα τμήμα θα πρέπει να λάβει υπόψη του τη μέγιστη κατανάλωση ρεύματος κάθε συσκευής, το μήκος του καλωδίου του τμήματος και άλλους παράγοντες. Ο υπολογισμός εύρεσης του αριθμού των συσκευών γίνεται βάσει μιας απλής εφαρμογής του νόμου του Ohm, με στόχο να εξασφαλίζεται μια τάση των 9V στο πλέον απομακρυσμένο άκρο του τμήματος, αφού προηγουμένως ληφθούν υπόψη οι πτώσεις τάσεων κατά μήκος ολόκληρου του καλωδίου του τμήματος. Ως παράδειγμα, θεωρείστε ότι πρόκειται να τοποθετηθούν 16 συσκευές η καθεμία από τις οποίες καταναλώνει 20 mA. Αυτό συνεπάγεται ότι η συνολική κατανάλωση είναι 320 mA και άρα για να έχουμε πτώση τάσης κατά μήκος του καλωδίου  $25-9=16V$  θα πρέπει η συνολική αντίσταση του καλωδίου να είναι:  $R=(16/320*10^{-3})=50\text{ Ohm}$ .

Αν η χαρακτηριστική αντίσταση του καλωδίου είναι 50ohms/Km τότε το επιτρεπτό μήκος τους δε θα πρέπει να ξεπερνά τα 1000m, για να εξασφαλίζεται η τάση των 9 V στο άκρο του [13].

Στην εικόνα 3.4. απεικονίζεται ένα σχεδιάγραμμα του τρόπου επικοινωνίας των δικτύων Fieldbus.



**\*Εικόνα 3.4.** «Foundation Fieldbus Communication» [16]

## 4.5. Φίλτρα σημάτων

Στο βιομηχανικό έλεγχο, ο μεταδότης, το αισθητήριο αλλά και η ίδια η φυσική διεργασία υπάρχει περίπτωση να δημιουργούν τον λεγόμενο θόρυβο στα μεταδιδόμενα σήματα. Ο θόρυβος που προέρχεται από τη φυσική διαδικασία μπορεί να παράγεται ανα πάσα στιγμή. Σημαντική μείωση του θορύβου που προέρχεται από τις παραπάνω πηγές μπορεί να γίνει με τη χρήση **αναλογικών ή ψηφιακών φίλτρων**.

Το πιο γνωστό αναλογικό φίλτρο είναι εκείνο που η λειτουργία του περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\tau_f = dy(t)/dt + y(t) = x(t) \quad (4.1)$$

όπου  $x$ , είναι η μετρούμενη τιμή δηλαδή η είσοδος του φίλτρου και  $y$  η επεξεργασμένη τιμή δηλαδή η έξοδος του φίλτρου και  $T_f$  η σταθερά χρόνου του φίλτρου. Το φίλτρο αυτό ονομάζεται εκθετικό ή φίλτρο RC καθώς μπορεί να κατασκευαστεί από ένα απλό κύκλωμα αντίστασης - πυκνωτή.

Για να επιτυγχάνεται η αποφυγή προβλημάτων κατά την εισαγωγή φίλτρων στο βρόχο απαιτείται η επιλογή της σταθερής τιμής χρόνου του φίλτρου να μην είναι πολύ μικρή σε σχέση με τη σταθερά του βρόχου ανατροφοδότησης αλλά

πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη σε σχέση με τη περίοδο των συνιστωσών του θορύβου που πιστεύεται ότι υπάρχει στο σήμα, ώστε να μειωθεί η επίδραση της πο το φίλτρο.

Οι τέσσερις δημοφιλέστεροι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία για την ψηφιακή επεξεργασία των αναλογικών σημάτων μέτρησης είναι:

- **Εκθετικό φίλτρο.** Είναι η ψηφιακή υλοποίηση της συνάρτησης μεταφοράς του εκθετικού αναλογικού φίλτρου.

- **Διπλό εκθετικό φίλτρο.** Το συγκεκριμένο φίλτρο έχει μια συνάρτηση μεταφοράς 2<sup>ης</sup> τάξης που δημιουργείται από τη σύνδεση σε σειρά δύο απλών εκθετικών φίλτρων. Το φίλτρο αυτό μειώνει περισσότερο την επίδραση του θορύβου στο μετρούμενο σήμα.

- **Φίλτρο του κινούμενου μέσου όρου.** Το φίλτρο αυτό υπολογίζει το μέσο όρο ενός αριθμού προηγούμενων δειγμάτων δίνοντας το ίδιο συντελεστή βαρύτητας κάθε δείγμα.

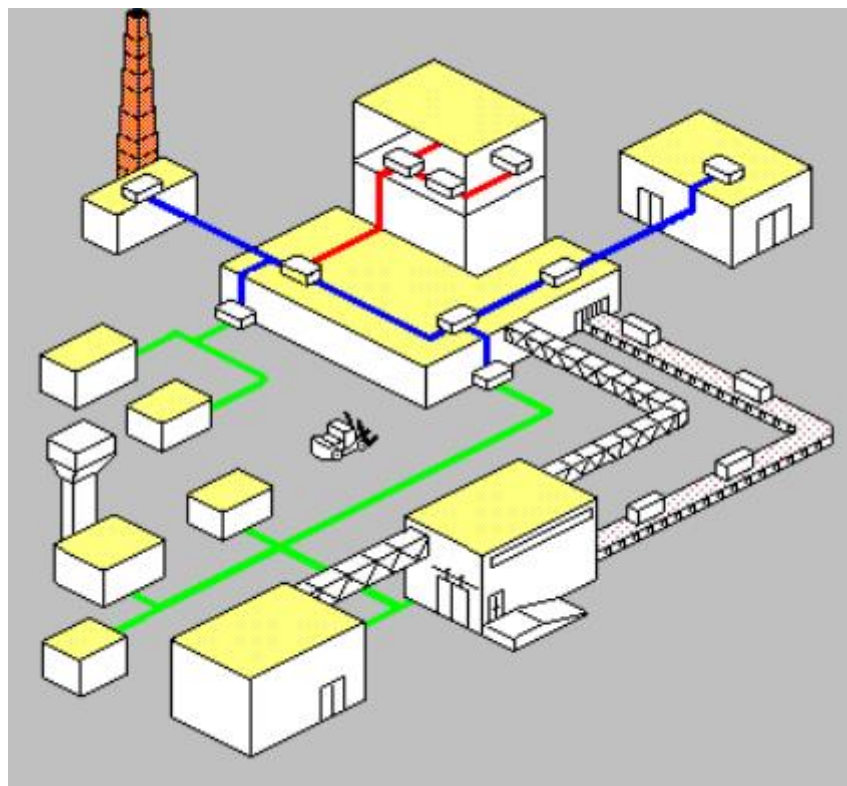
- **Φίλτρο ακίδας θορύβου.** Όταν αλλάζει απότομα το πλάτος του θορύβου που υπάρχει σ ένα αναλογικό σήμα τότε ενδείκνυται η χρήση του συγκεκριμένου φίλτρου [6].

## 4.6. Δίκτυα Επικοινωνίας

Η Ολοκληρωμένη Παραγωγή με υπολογιστές (CIM) αποτελεί την καινούργια δομή ελέγχου των παραγωγικών μονάδων. Με την δομή αυτή, Όλες οι εργασίες όπως η επιτήρηση και ο προγραμματισμός της παραγωγής, η συλλογή πληροφοριών και η λειτουργία συστημάτων ψηφιακού αυτομάτου ελέγχου, γίνονται από αντίστοιχα υπολογιστικά συστήματα τα οποία αποτελούνται από ιεραρχικές βαθμίδες. Οι αποφάσεις των υψηλότερων βαθμίδων μεταφέρονται για στα κατώτερα επίπεδα υπολογιστικών συστημάτων όπου και θα εκτελεστούν.

Η υλοποίηση μιας στρατηγικής CIM καθιστά επιτακτική ανάγκη την αυστηρή διαίρεση στα επίπεδα ελέγχου οργάνωσης και εποπτείας τα οποία είναι ιεραρχικά

και αυτόνομα μεταξύ τους. Το επίπεδο της οργάνωσης δημιουργεί αποφάσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση της παραγωγής. Το επίπεδο της εποπτείας λαμβάνει αυτές τις αποφάσεις και δημιουργεί το πλάνο σύμφωνα με το οποίο θα γίνει ο έλεγχος ανάλογα τις παραγωγικές απαιτήσεις. Το επίπεδο του ελέγχου εκτελεί τις αποφάσεις και εξασφαλίζει την σωστή λειτουργία των διεργασιών. Στο κατώτατο επίπεδο όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.5. βρίσκεται η παραγωγική διαδικασία. Η πληροφορία της οποίας μεταφέρεται στα επόμενα επίπεδα μέσω του δικτύου επικοινωνίας.. Στην εικόνα 4.5 βλέπουμε μια απεικόνιση των επιπέδων του δικτύου επικοινωνίας. [17]



**\*Εικόνα 4.5.** «Ολοκληρωμένο βιομηχανικό δίκτυο επικοινωνίας» [17]

#### **4.6.1. Βιομηχανικά Δίκτυα LANs (Local Area Network)**

Για να πετύχουμε επικοινωνία στα δίκτυα LANs είναι απαραίτητη η ανταλλαγή μηνυμάτων η οποία μπορεί να επιτευχθεί με τους παρακάτω τρεις τρόπους:



1. *Μεταγωγή Κυκλωμάτων*
2. *Μεταγωγή με μηνύματα*
3. *Μεταγωγή με πακέτα*

Με τον τρόπο **μεταγωγής κυκλωμάτων**, ανάλογα με την πληροφορία που μεταφέρεται μεταξύ των δύο σταθμών που επιθυμούν να επικοινωνήσουν, γίνεται αυτόματη αποκατάσταση ενός δρόμου. Ο δρόμος χρησιμοποιείται αποκλειστικά από τους δυο σταθμούς όσο επικοινωνούν.

Με τον τρόπο της **μεταγωγής με μηνύματα** , μέχρι το τελικό τους προορισμό , τα μηνύματα μεταδίδονται από τον ένα κόμβο του δικτύου στον άλλον . Για να γίνει αυτό πρέπει ο κόμβος που δέχεται το μήνυμα , δηλαδή ο κόμβος λήψης να μπορεί να αποθηκεύσει το μήνυμα , να το εξετάσει και στη συνέχεια να το στείλει σε επόμενο κόμβο μέχρι τον κόμβο προορισμού.

Στην τεχνική **μεταγωγής με πακέτα** το μήνυμα χωρίζεται σε τμήματα. Τα λεγόμενα πακέτα. Το κάθε ένα από αυτά αποτελείται από την **κεφαλή**, το **σώμα** και την **ουρά**. Στην κεφαλή περιέχονται πληροφορίες για το μήνυμα στο οποίο ανήκει το πακέτο , τον αριθμό των πακέτων , το μήκος πακέτου, τον τύπο πακέτου κλπ. Στο σώμα περιέχονται τα προς μετάδοση δεδομένα και στην ουρά οι πληροφορίες για έλεγχο λαθών κατά τη μεταφορά του πακέτου. Όταν ο κόμβος προορισμού λάβει όλα τα πακέτα χωρίς λάθος ανακοινώνει την ορθή λήψη του μηνύματος διαφορετικά ζητά επανάληψη της μετάδοσης.

#### **4.6.1.1. Μέσα Μετάδοσης Δεδομένων στα LANs**

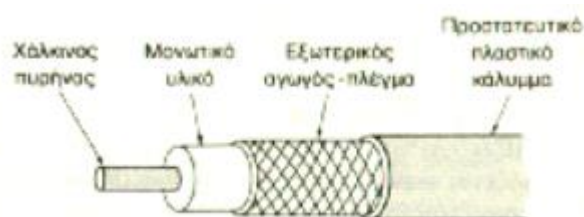
Η μετάδοση δεδομένων στα βιομηχανικά δίκτυα LANs γίνεται με τα παρακάτω μέσα:

1. **Συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων:** Αποτελείται από δύο μονωμένους χάλκινους αγωγούς στριμμένους ο ένας γύρω από τον άλλο. Μέσω αυτού μπορεί να γίνει μετάδοση τόσο των ψηφιακών όσο και των αναλογικών σημάτων σε αρκετά ικανοποιητικές αποστάσεις. Έχουν μικρό κόστος κατασκευής και ευκολίας στην



τοποθέτηση τους όμως είναι πολύ ευαίσθητα στους θορύβους και έχουν μικρή ταχύτητα μετάδοσης του σήματος.

2. **Ομοαξονικό καλώδιο βασικής και ευρείας ζώνης:** Αποτελείται από ένα δύσκαμπτο χάλκινο αγωγό ο οποίος λέγεται (πυρήνας) που περιβάλλεται από γύρω από ένα μονωτικό υλικό. Το μονωτικό υλικό καλύπτεται από ένα κυλινδρικό αγωγό με μορφή πυκνού πλέγματος. Το πλέγμα αυτό καλύπτεται με τη σειρά του από ένα προστατευτικό πλαστικό κάλυμμα όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.6.



**\*Εικόνα 4.6.** « Ομοαξονικό καλώδιο » [17]

Υπάρχουν δύο είδη ομοαξονικών καλωδίων. Το καλώδιο 50-Ohm (ψηφιακή μετάδοση σε βασική ζώνη) και το καλώδιο 75-Ohm (αναλογική μετάδοση σε ευρεία ζώνη)

3. **Οπτικές ίνες :** Είναι ένα μέσο μετάδοσης που μπορεί και χρησιμοποιείται στα δίκτυα της αγοράς από πολλούς κατασκευαστές PLC. Χρησιμοποιούν ένα παλμό φωτός ο οποίος παραστεί το δυαδικό ψηφίο 1 ενώ η απουσία αυτού παραστεί το δυαδικό ψηφίο 0. Για να επιτευχθεί μία μετάδοση με οπτικές ίνες χρειάζονται, πηγή φωτός, το μέσο μετάδοσης και ο ανιχνευτής. Το μέσο μετάδοσης είναι μια πολύ λεπτή ίνα (π.χ. από γυαλί). Η πηγή φωτός είναι είτε μια LED είτε μια δίοδος LASER όπου εκπέμπουν παλμούς φωτός όταν εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση. Ο ανιχνευτής είναι μία φωτοδίοδος η οποία παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα όταν πέσει φως πάνω της. Συνδέοντας μια πηγή φωτός στο ένα άκρο μιας οπτικής ίνας και μια φωτοδίοδο στο άλλο, έχουμε ένα μονόδρομο σύστημα μετάδοσης δεδομένων που δέχεται ένα ηλεκτρικό σήμα το μετατρέπει και το μεταδίδει σε παλμούς φωτός. Μετά, επαναμετατρέπει την έξοδο σε ηλεκτρικό σήμα στο άλλο άκρο λήψης [17].

---

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### **SCADA «ΕΠΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION) »**

---

#### **5.1. Εισαγωγή στα SCADA - Ορισμοί**

Τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε σημαντική ανάπτυξη στα βιομηχανικά συστήματα. Σε αυτήν την ανάπτυξη συνέβαλε σημαντικά η τεχνολογία των ψηφιακών συσκευών είτε με τη χρήση ευφυών συσκευών είτε με την χρήση Η/Υ και επικοινωνιακών δικτύων. Οι δεξαμενές καυσίμου, η εξοικονόμηση ενέργειας, τα συστήματα φωτισμού καθώς και τα επίπεδα νερού είναι μόνο μερικά από τα πράγματα που ίσως κάθε σύγχρονη βιομηχανική μονάδα θα πρέπει να εποπτεύει για να εξασφαλιστεί η ομαλή και αδιάληπτη λειτουργία της. Η ανάγκη για αξιόπιστη συναλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και οι ενέργειες ελέγχου που απαιτούνται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής είχαν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των συστημάτων SCADA.

Ο όρος **SCADA** είναι ακρωνύμιο του όρου **Supervisory Control and Data Acquisition** που σημαίνει **Εποπτικός Έλεγχος Και Συλλογή Δεδομένων**. Περιγράφει μια γενική κατηγορία συστημάτων βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας. Πρόκειται για συστήματα ελέγχου μεγάλης κλίμακας για αυτοματοποιημένες βιομηχανικές διεργασίες. Ένα τέτοιο σύστημα δίνει τη δυνατότητα στο χειριστή να ελέγχει και να εποπτεύει τις διεργασίες οι οποίες μπορεί να βρίσκονται κατανεμημένες μεταξύ διάφορων απομακρυσμένων σημείων. Με άλλα λόγια δεν αναφέρεται σε μία συγκεκριμένη τεχνολογία αλλά σε ένα μεγάλο λογισμικό πακέτο που μαζεύει μέσω ενός δικτύου μεγάλης κλίμακας όλες τις απαραίτητες πληροφορίες από το σύστημα που ελέγχεται ώστε να του επιτρέπει να υλοποιήσει μία σειρά από διαδικασίες όπως λήψη και αποθήκευση δεδομένων,

αναγγελία σημαντικών καταστάσεων και καταστάσεων κινδύνου ,επεξεργασία δεδομένων, παραγωγή γραφημάτων , παρουσίαση τιμών , γραφική απεικόνιση της διαδικασίας με κινούμενη εξομοίωση των μηχανών , παρακολούθηση της κατάστασης του βιομηχανικού δικτύου , επικοινωνία με εξωτερικές βάσεις δεδομένων και πολλές άλλες. Ουσιαστικά με το σύστημα SCADA μπορούμε να έχουμε ολόκληρο το εργοστάσιο στην οθόνη μας.

Η λειτουργία του συστήματος SCAD περιλαμβάνει τη συγκέντρωση των πληροφοριών, την αποστολή των πληροφοριών αυτών σε ένα κεντρικό σημείο επεξεργασίας, την ανάλυση και τον έλεγχο τους και τέλος τη παρουσίαση της πληροφορίας σε διάφορες οθόνες χειρισμού και εποπτείας σε πραγματικό χρόνο ή όποτε ζητηθεί. Ένα σύστημα SCADA δίνει τη δυνατότητα στους χειριστές του να ελέγχουν και να παρατηρούν διαδικασίες με μεγάλη τοπολογική διανομή. Για παράδειγμα όταν ένα σύστημα ελέγχου είναι διασκορπισμένο σε μακρινή και μεγάλη περιοχή , δεν χρειάζεται να στέλνεται προσωπικό σε διάφορα σημεία για μετρήσεις ή ρυθμίσεις εφόσον η εποπτεία και ο έλεγχος όλου του συστήματος μπορούν να γίνουν από ένα μέρος γρήγορα και εύκολα [1, 12] Στην εικόνα 5.1. βλέπουμε την παρακολούθηση του συστήματος SCADA από την αίθουσα ελέγχου.



**\*Εικόνα 5.1.** «Αίθουσα χειρισμού σταθμών SCADA σε βιομηχανία» [1]

Δύο σημαντικοί ορισμοί της έννοιας των SCADA με την προέλευση τους είναι:

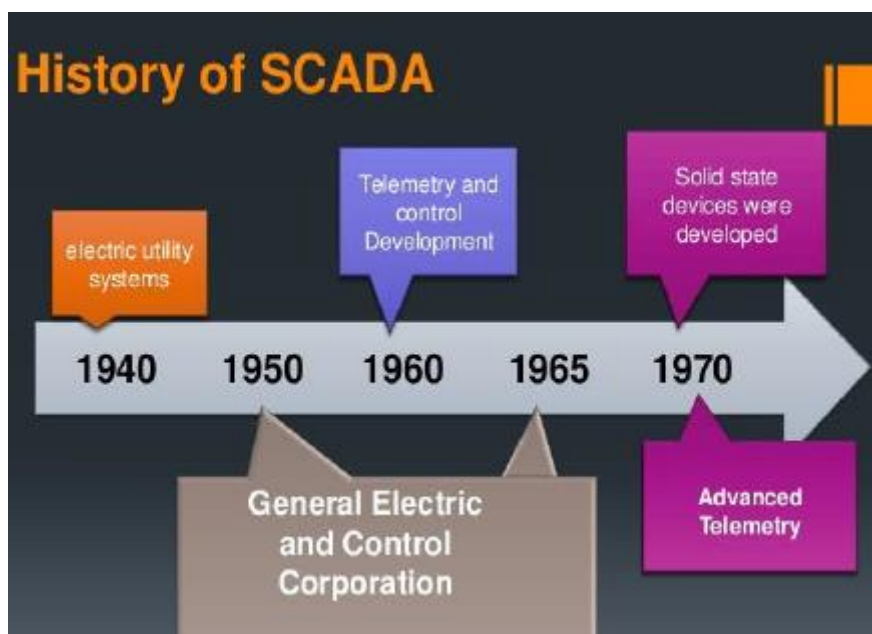
- Με τον όρο SCADA αναφερόμαστε στην τεχνολογία που επιτρέπει στο χρήστη να «συλλέγει» δεδομένα από μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις και/ή να αποστέλλει στοιχειώδεις εντολές ελέγχου σε αυτές [18].

- Σύστημα το οποίο λειτουργεί με κωδικοποιημένα σήματα σε διαύλους επικοινωνίας με σκοπό την παροχή ενεργειών ελέγχου σε εξοπλισμό συσκευών RTU [19].

## 5.2. Ιστορική Αναδρομή

Η ανάγκη του εποπτικού ελέγχου αναπτύχθηκε για πρώτη φορά σε ηλεκτρικά συστήματα βιομηχανικών μονάδων. Η ανάγκη για την δημιουργία ενός απομακρυσμένου υποσταθμού, όπου θα μπορεί χωρίς την παρουσία του ανθρώπινου παράγοντα, να ελέγχει σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση των συσκευών που αποτελούν την παραγωγική διαδικασία έγινε γρήγορα αντιληπτή. Έτσι, στην αρχή της δεκαετίας του 1940, παρατηρούμε την προσπάθεια ένωσης μέσω ενός απλού ζεύγους καλωδίων, όλων των εξοπλισμών της βιομηχανικής μονάδας με τον απομακρυσμένο υποσταθμό. Αναλυτικότερα, για πρώτη φορά εμφανίζεται η προσπάθεια αξιοποίησης της **πολυπλεξίας** σε ένα ζεύγος τηλεφωνικών γραμμών λαμβάνοντας μάλιστα ιδέες από το μαγνητικό βαθμωτό διακόπτη που αναπτύχθηκε από εταιρείες τηλεφωνίας στη δεκαετία του '30. Επίσης, η ασφάλεια του όλου συστήματος παίζει βασικό ρόλο στην ομαλή λειτουργία μίας μονάδας. Γι' αυτόν τον λόγο, υιοθετήθηκε ένα **πρότυπο επιλογής – επιβεβαίωσης λειτουργίας (select – check – operate)** κατά το οποίο ο χειριστής περίμενε την επιβεβαίωση από τη συσκευή πριν τελικά αρχίσει να λειτουργεί. Λαμβάνοντας τα αποτελέσματα των παραπάνω κινήσεων, οι εταιρίες **Westinghouse** και **North Electric Company** ξεκινούν την ανάπτυξη του ελεγκτικού συστήματος **Visicode**. Η **General Electric** καθώς και η **Control Corporation**, στις αρχές τις δεκαετίας του 1950 και το 1965, ξεκινούν επίσης την ανάπτυξη ενός ανεξάρτητου προγράμματος εποπτικού ελέγχου. Τα προγράμματα αυτά βρήκαν αμέσως χρήση σε αγωγούς μεγάλων αποστάσεων, εταιρείες φυσικού αερίου και ακόμη και στα αεροδρόμια για τα φώτα του διαδρόμου προσγείωσης. Παράλληλα, κατά το 1960, η

**τηλεμετρία** αρχίζει να κάνει την εμφάνισή της για σκοπούς παρακολούθησης της παραγωγικής διαδικασίας. [1] Η εικόνα 5.2. παρουσιάζει ένα διάγραμμα της ιστορικής εξέλιξης των συστημάτων SCADA.



**Εικόνα 5.2.** «Διάγραμμα δημιουργίας των συστημάτων SCADA» [1]

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, η σύνδεση των συσκευών της βιομηχανικής μονάδος, πριν το 1970, γινόταν κυρίως με την χρήση καλωδίων, καθώς οι συσκευές σταθερής κατάστασης ήταν ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Όμως, με την έλευση των υπολογιστών στην βιομηχανία, το κόστος σύνδεσης μειώθηκε αισθητά, μετακινώντας τους εργάτες από την χειρωνακτική παραγωγή στον χειρισμό των υπολογιστικών συστημάτων. Η αναβάθμιση από τους αρχικούς υπολογιστές **τεχνολογίας 8bit σε νέους 16bit** όπως και η **εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών** τα επόμενα χρόνια, πρόσφεραν μία ευελιξία στον προγραμματισμό και την επικοινωνία μεταξύ των μονάδων συλλογής δεδομένων του βιομηχανικού τομέα. Αυτή ήταν η γέννηση του συστήματος εποπτικού ελέγχου **SCADA**.

### 5.3. Αρχιτεκτονική συστήματος SCADA

Εκτός από το λογισμικό εποπτείας και ελέγχου, ένα σύστημα SCADA αποτελείται, και από μια συλλογή αισθητηρίων και ευφυών συσκευών. Αναλυτικότερα, μπορούμε να τα χωρίσουμε στις εξής κατηγορίες [1, 12]:

1. Ένα **δίκτυο έξυπνων συσκευών (Intelligent Electronic Devices - IED's)** που συνδέεται με το σύστημα όπου επιθυμούμε να εποπτεύσουμε μέσω αισθητήρων και ελεγκτών. Το δίκτυο αυτό μας επιτρέπει να μετρήσουμε και να ελέγξουμε συγκεκριμένα στοιχεία του συστήματος.

2. Ο **Κεντρικός Υπολογιστικός Σταθμός (Master Terminal Unit – MTU)**. Αποτελείται από ένα κεντρικό υπολογιστικό σύστημα, στο οποίο είναι εγκατεστημένο το λογισμικό SCADA καθώς και το πρόγραμμα της εκάστοτε εφαρμογής. Με άλλα λόγια, πρόκειται για τον πυρήνα του εποπτικού συστήματος SCADA.

3. **Τερματικές μονάδες (Remote Telemetry Unit - RTU's)** όπου συνδέονται στους διάφορους αισθητήρες. Έχουν την δυνατότητα ανάγνωσης και μετατροπής των δεδομένων που δέχονται από τους αισθητήρες σε ψηφιακά δεδομένα, σύμφωνα με το πρωτόκολλο επικοινωνίας που υποστηρίζουν. Επίσης αποτελούν βασικό κομμάτι της τηλεμετρίας του εποπτικού συστήματος διότι είναι υπεύθυνα για την αποστολή των δεδομένων στο Κεντρικό Εποπτικό Σύστημα καθώς και λήψης εντολών από το σύστημα.

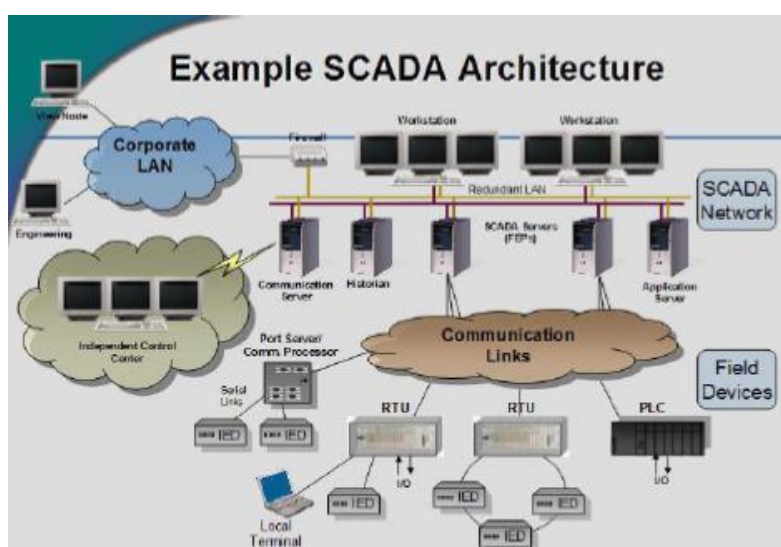
4. **Προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (Programmable Logic Controller - PLC's)**. Είναι συσκευές με παρόμοια λειτουργία με τις τερματικές μονάδες. Σε αντίθεση όμως με τα RTU, τα PLC's δεν παρέχουν δυνατότητες τηλεμετρίας. Διαθέτουν όμως μεγάλες δυνατότητες ελέγχου καθώς υποστηρίζουν

και περισσότερους αλγορίθμους ελέγχου (IEC 61131-3 ). Επίσης, λόγω του μικρότερου όγκου τους, είναι πιο οικονομικά.

5. Ένα **σύστημα τηλεμετρίας** για την διασύνδεση όλων των ελεγκτών. Παρέχει διασύνδεση των ευφυών και περιφερειακών συσκευών (IED's, PLC's, RTU's) με κέντρα ελέγχου και βάσεις δεδομένων είτε ενσύρματα είτε ασύρματα. Για την πιο ομαλή διασύνδεση των παραπάνω συσκευών, χρησιμοποιούνται σύγχρονα βιομηχανικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, για την σύνδεση των υπηρεσιών λογισμικού.

6. Μία **διεπαφή ανθρώπου – μηχανής (Human Machine Interface – HMI)**. Είναι η συσκευή η οποία βοηθά στην αλληλεπίδραση του ανθρώπου στην βιομηχανική διαδικασία καθώς και στον έλεγχο της. Πρακτικά, αποτελεί τον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζονται δεδομένα σχετικά με την βιομηχανική λειτουργία στον άνθρωπο, δίνοντάς του έτσι την δυνατότητα να έχει έναν πλήρη έλεγχο καθώς και να επιδρά και ο ίδιος στην λειτουργία της βιομηχανικής διαδικασίας.

Ένα παράδειγμα της αρχιτεκτονικής των συστημάτων SCADA παρουσιάζεται στην εικόνα 5.3.



\* **Εικόνα 5.3.** «Αρχιτεκτονική Συστήματος SCADA» [1]



### **5.3.1 Κεντρική Τερματική Μονάδα (MTU)**

Αποτελεί την **καρδιά** σε ένα σύστημα βιομηχανικού ελέγχου SCADA. Πρόκειται για ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο λαμβάνει τα δεδομένα που αποστέλλονται από τα διάφορα περιφερειακά συστήματα του ελεγκτικού μηχανισμού (αισθητήρες, IED's, RTU's), τα επεξεργάζεται και αποστέλλει τα ανάλογα αποτελέσματα για την ορθή και άρτια διαχείριση του συστήματος. [1]

### **5.3.2 Αισθητήρες και ευφυείς συσκευές (IED's)**

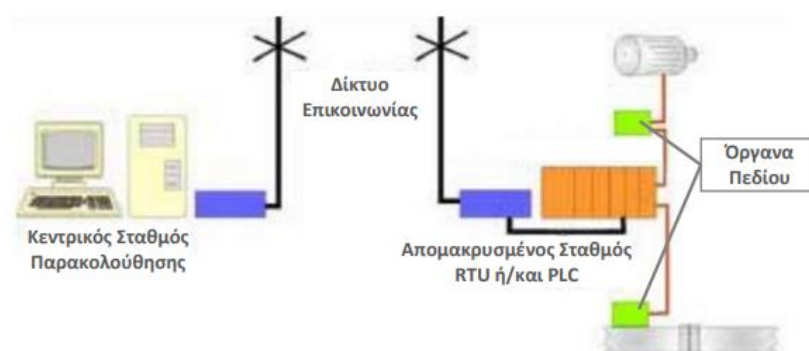
Πρόκειται για συσκευές όπου μας δίνουν την δυνατότητα ανίχνευσης τυχών αλλαγών και μεταβολών ορισμένων βασικών τιμών που επιθυμούμε να παρακολουθούμε στο βιομηχανικό μας σύστημα. Παρουσιάζοντας μία γενική έννοια του όρου, σαν αισθητήρα ορίζουμε μία συσκευή όπου μας δίνει την δυνατότητα να ανιχνεύσουμε αλλαγές ή γεγονότα σε κάποιο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό που έχουμε ορίσει αυτόματα. Δέχεται ως είσοδο τυχών αλλαγές στην μορφή ή στην ποσότητα του χαρακτηριστικού που έχουμε ορίσει και μας δίνει μία αντίστοιχη έξοδο, πολλές φορές είτε ως ηλεκτρικό είτε ως οπτικό σήμα, μαζί με συγκεκριμένα δεδομένα που αφορούν την μεταβολή αυτή. Σαν εξέλιξη των συσκευών αυτών, οι **έξυπνοι αισθητήρες** πρόκειται για συσκευές πάνω στις οποίες έχει ολοκληρωθεί τουλάχιστον ένα αισθητήριο στοιχείο και ένα κύκλωμα επεξεργασίας σήματος. Ο όρος **ευφυής (Smart)** διατηρείται για να δηλώσει την επιμέρους ή την ολοκληρωτική ενσωμάτωση της κύριας μονάδας επεξεργασίας, η οποία προσθέτει ευφυΐα στο όλο σύστημα. Ορισμένα παραδείγματα χρήσης αισθητήρων σε βιομηχανικές μονάδες είναι οι αισθητήρες καπνού, υγρασίας καθώς και αισθητήρες ανίχνευσης της κίνησης [1].

### **5.3.3 Απομακρυσμένες Τερματικές Μονάδες (RTU)**

Μία απομακρυσμένη τερματική μονάδα (RTU) αποτελείται από μία υπολογιστική μονάδα, υποκινούμενη από μικροεπεξεργαστές, όπου εγκαθίσταται σε μία απομακρυσμένη τοποθεσία στο ελεγχόμενο περιβάλλον της βιομηχανίας μας. Βασικό του μέλημα είναι η συλλογή δεδομένων από την ελεγχόμενη βιομηχανική μονάδα, η κωδικοποίησή τους σε μορφή εύκολα μεταδιδόμενη καθώς



και η μετάδοσή τους, μέσω του βιομηχανικού δικτύου, είτε σε άλλες συσκευές στο δίκτυο, είτε στο κύριο εποπτικό υπολογιστή (MTU) είτε ακόμα και από τον master προς όλο το δίκτυο. Τα RTU's είναι υπεύθυνα για την ύπαρξη της διασύνδεσης (τηλεμετρίας) μεταξύ των συσκευών που απαρτίζουν το σύστημα. Γι' αυτόν τον λόγο είναι εξοπλισμένα με κανάλια εισόδου, αναλογικά και ψηφιακά, για την ανίχνευση ή μέτρηση των χαρακτηριστικών που μας αφορούν, κανάλια εξόδου, επίσης αναλογικά και ψηφιακά, για τον έλεγχο και την επικοινωνία με το δίκτυο, ένδειξη συναγερμού όπως επίσης και ρελέ εξόδου. [1] Οι κύριες συνιστώσες ενός συστήματος SCADA φαίνονται στην εικόνα



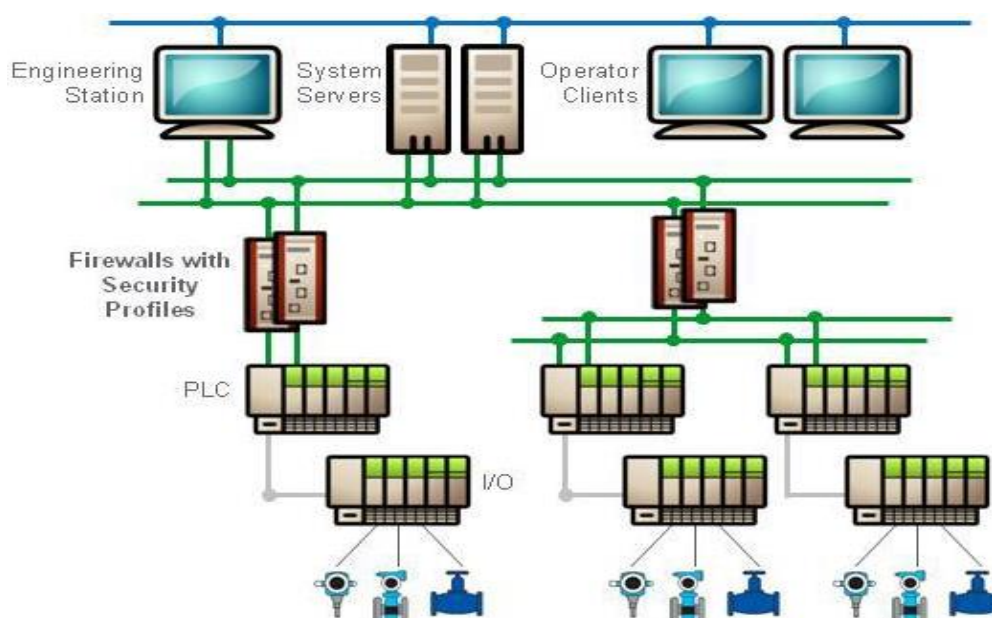
**\*Εικόνα 5.4.** « Συνιστώσες ενός συστήματος SCADA» [20]

#### **5.3.4 Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC) & Διεπαφή Ανθρώπου – Μηχανής (HMI)**

Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3. Η τεχνολογία HMI επιτρέπει με απλά λόγια την επικοινωνία του ανθρώπου με την μηχανή. Πρόκειται δηλαδή για το όργανο το οποίο παρουσιάζει τα δεδομένα από κάποια διεργασία σε έναν χειριστή και μέσω αυτής, ο χειριστής μπορεί να ελέγξει και να εποπτεύσει τη συγκεκριμένη διεργασία. Για την ορθότερη και ταχύτερη ανταπόκριση του χειριστή, το σύστημα HMI παρουσιάζει τις πληροφορίες αυτές γραφικά, με τη μορφή μιμικού διαγράμματος. Αυτό σημαίνει ότι ο χειριστής έχει τη δυνατότητα να δει μια σχηματική παράσταση της μονάδας που ελέγχεται. Στα συστήματα SCADA, τα HMI εμφανίζονται κατά κόρον με την μορφή **Push Button Panels** καθώς και **Operator Interfaces**. [1]

### 5.3.5. Τηλεμετρία

Εξ' ορισμού, η τηλεμετρία είναι η τεχνολογία που μας επιτρέπει την διασύνδεση απομακρυσμένων συσκευών καθώς και την αποστολή δεδομένων μεταξύ τους, είτε ενσύρματα είτε ασύρματα. Αποτελεί βασικό κομμάτι στην ελεγκτική και εποπτική διαδικασία μίας βιομηχανικής μονάδος διότι μας επιτρέπει την επιμέρους σύνδεση όλων των συσκευών σε ένα ενιαίο δίκτυο από το οποίο διακινούνται πληροφορίες, μετρήσεις, ακόμα και εντολές για τον σωστό και ποιοτικό έλεγχο της εκάστοτε μονάδος. Στην εικόνα 5.5. βλέπουμε ένα παράδειγμα διασύνδεσης για τον έλεγχο απομακρυσμένων συσκευών μέσω συστήματος SCADA [12].



**\*Εικόνα 5.5.. «Παράδειγμα διασύνδεσης για έλεγχο απομακρυσμένων συσκευών» [12]**

### 5.4. Κύριες λειτουργίες ενός συστήματος SCADA

Επιγραμματικά, μπορούμε να αναφέρουμε τις ενέργειες που έχουμε την δυνατότητα να υλοποιούμε μέσω των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου SCADA [12]:

- Συλλογή δεδομένων από τα PLC's, τα IED's και τα RTU's. Μέσω του δικτύου βιομηχανικού αυτοματισμού το σύστημα SCADA λαμβάνει όλα τα επιθυμητά σήματα τα οποία μεταδίδονται προς αυτό.
- Αποθήκευση των πληροφοριών σε βάση δεδομένων και αναπαράσταση τους μέσω γραφημάτων.
- Ανάλυση δεδομένων και ειδοποίηση του προσωπικού σε περιπτώσεις σφάλματος. Με σκοπό να αποφεύγονται προβλήματα στο σύστημα, το SCADA ειδοποιεί τους χειριστές με σημάνσεις που μπορεί να είναι είτε οπτικές είτε ακουστικές, όταν ανιληφθεί μη κανονικές τιμές στα δεδομένα.
- Γραφική απεικόνιση των τμημάτων της διεργασίας σε διαγράμματα και παρουσιάσεις των δεδομένων. Τα διαγράμματα προσφέρουν ρεαλιστική απεικόνιση των τμημάτων της διεργασίας έτσι ώστε να βοηθήσουν τους χειριστές να εποπτεύσουν και να κατανοήσουν άμεσα τα δεδομένα.
- Καταγραφή κανονικών και μη συμβάντων, ώστε να δημιουργηθεί ένα ιστορικό αρχείο που θα τα περιέχει. Αυτό γίνεται με τη συνεργασία της βάσης δεδομένων και του συστήματος SCADA.
- Υποστήριξη διπλού υπολογιστικού συστήματος με αυτόματη εναλλαγή. Τα συστήματα SCADA υποστηρίζουν δεύτερο υπολογιστικό σύστημα το οποίο μπαίνει σε λειτουργία έτσι ώστε σε περίπτωση που η διεργασία συνιστά μεγάλο βαθμό κινδύνου, να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα σφάλματος ή βλάβης στον εξοπλισμό.
- Μεταφορά δεδομένων σε άλλα τμήματα του κεντρικού συστήματος πληροφόρησης και διαχείρισης.
- Έλεγχος της πρόσβασης χειριστών στα διάφορα υποσυστήματα του συστήματος SCADA.
- Ειδικές εφαρμογές λογισμικού όπως εκτέλεση κώδικα C++ ή ανάπτυξη ευφυών συστημάτων.

## 5.5. Στόχοι των συστημάτων SCADA

Η εποπτική διαδικασία για μία σύγχρονη παραγωγική μονάδα αποτελεί όπως προαναφέραμε βασικό κεφάλαιο. Η ομαλή και απροβλημάτιστη λειτουργία της βιομηχανικής μονάδος αποτελεί βασικό στόχο όχι μόνο των ανθρώπων που συμμετέχουν σε αυτή αλλά όλου του συνόλου της βιομηχανίας. Έτσι, κατηγοριοποιώντας τους στόχους που δύναται να υλοποιηθούν με την χρήση ενός συστήματος βιομηχανικού ελέγχου SCADA, μπορούμε να αναφέρουμε τα παρακάτω [12]:

- *Η διασφάλιση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος.*
- *Η συνεχής παρακολούθηση του συστήματος*
- *Η μεγιστοποίηση της παραγωγής με χρήση των ελάχιστων δυνατών (ενεργειακών) πόρων.*
- *Η μείωση των επιπέδων των λειτουργικών αποθεμάτων μέσω της αυτοματοποίησης ή μέσω της λειτουργίας του συστήματος από μία απλή κεντρική εγκατάσταση*
- *Η παροχή πληροφοριών για την απόδοση του συστήματος και εφαρμογή αποτελεσματικών διαδικασιών διαχείρισης για το σύστημα*
- *Η παροχή ενός συστήματος ελέγχου που θα επιτρέπει να επιτυγχάνονται οι αντικειμενικοί σκοποί*
- *Η βέλτιστη διαχείριση του εξοπλισμού, των υλικών και της ενέργειας της εγκατάστασης.*
- *Η ασφάλεια του εξοπλισμού και του προσωπικού παρακολούθησης της διεργασίας με τη χρήση συστήματος έκτακτης ειδοποίησης που θα έχει τη δυνατότητα να κάνει διάγνωση των σφαλμάτων από ένα κεντρικό σημείο, έτσι ώστε οι διαδικασίες επίλυσης των προβλημάτων να επιτυγχάνονται από*

*προσωπικό με εξειδίκευση με αποτέλεσμα να αποφεύγονται ζημιογόνα περιστατικά για το περιβάλλον.*

## **5.6. Οφέλη και πλεονεκτήματα των συστημάτων SCADA**

Για να χαρακτηριστεί άρτια και απροβλημάτιστη η λειτουργία σε έναν βιομηχανικό οργανισμό, είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση του βέλτιστου χειρισμού, με την βοήθεια διάφορων μηχανικών μέσων, μέσω της παρακολούθησης της ροής πληροφορίας. Για την υλοποίηση του στόχου αυτού, απαιτούνται κάποιοι οικονομικοί και ποιοτικοί παράγοντες που θα οδηγήσουν σε κάποια άλλα οφέλη. Οφέλη τα οποία μπορούν να διαρθρωθούν σε πολλά επίπεδα τόσο για τον ανθρώπινο παράγοντα όσο και για την παραγωγική διαδικασία. Ορισμένα ενδεικτικά οφέλη που αφορούν κυρίως την παραγωγική διαδικασία αναφέρονται παρακάτω [12].

Αύξηση της παραγωγής λόγω αξιοποίησης όλων των παρεχόμενων πόρων στο μέγιστο δυνατό βαθμό, π.χ. λειτουργία της βιομηχανικής μονάδας στα ανώτερα όριά της:

- Μείωση του κόστους της παραγωγικής διαδικασίας ανά μονάδα προϊόντος λόγω βέλτιστης χρήσης των εσωτερικών πηγών ενέργειας και μείωσης του κόστους εργασίας
- Βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων που παράγονται χάρη στην δυνατότητα να διατηρούνται οι συνθήκες λειτουργίας μέσα σε στενά όρια ανοχών καθώς επίσης διότι τα σφάλματα πλέον μπορούν να εντοπίζονται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα
- Ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης των επιμέρους μηχανών
- Ευελιξία παραγωγής κάτω από συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες αγοράς

Ειδικότερα τα συστήματα SCADA προσφέρουν [12]:

- Παρακολούθηση της διαδικασίας παραγωγής, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η ομαλοποίησή της και η μέγιστη απόδοση της βιομηχανικής μονάδας
- Αύξηση της επικοινωνίας μεταξύ των επιπέδων της βιομηχανικής μονάδας, και κυρίως μεταξύ της διοίκησης και της παραγωγής
- Δυνατότητα στο προσωπικό να λαμβάνει αποφάσεις μετά από πλήρη ενημέρωση, ώστε να εκπληρώνει τις υποχρεώσεις του με μεγαλύτερη επιτυχία
- Γρηγορότερος εντοπισμός και αντιμετώπιση σφαλμάτων, που εκτός από την βελτίωση της απόδοσης προσφέρει και μείωση του κόστους συντήρησης
- Βελτίωση των συνθηκών ασφαλείας, και εργασίας εν γένει
- Πιο εύστοχες και έγκαιρες πληροφορίες για τη διοίκηση

Όσον αφορά τον ανθρώπινο παράγοντα ορισμένα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Περιορισμός του ρόλου του ανθρωπίνου παράγοντα στον τομέα του ελέγχου και μόνο.
- Ανάληψη χειρωνακτικών εργασιών από τις μηχανές.
- Ελαχιστοποίηση κινδύνου εργατικού ατυχήματος σε βιομηχανίες. Οι μηχανές αναλαμβάνουν πλέον τα επικίνδυνα κομμάτια της εργασίας.
- Ελαχιστοποίηση του ανθρωπίνου λάθους.

Κάνοντας μία εκτενής αναφορά σε μερικά πρακτικά παραδείγματα που παρουσιάζουν το όφελος της χρήσης των συστημάτων SCADA στην παραγωγική διαδικασία μπορούμε να αναφέρουμε ότι [12]:

- Παρέχεται η δυνατότητα να παρουσιαστούν πληροφορίες στην επιφάνεια εργασίας των υπολογιστών όλου του προσωπικού ανεξαρτήτως απόστασης της πηγής των δεδομένων.
- Αυξάνεται η ικανότητα της πλήρους παραμετροποίησης του εποπτικού συστήματος κατ' ανάγκη του χρήστη, με την βοήθεια χιλιάδων περιφερειακών συσκευών μέτρησης και ελέγχου, όπου μπορούν να ενσωματωθούν στο σύστημα άμεσα και χωρίς επιπλέον κόστος.
- Το προσωπικό που χειρίζεται το σύστημα έχει τη δυνατότητα να κάνει χρήση των οθονών PLC τα οποία περιβάλλονται από λογισμικό των Microsoft Windows για να ελέγχουν και να εποπτεύουν τον εξοπλισμό, μέσω εύχρηστων GUI's (Γραφικά Περιβάλλοντα).
- Οι συναγερμοί σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης (Alarms) υπάρχει η δυνατότητα να γίνονται μέσω μηνυμάτων που έχουν ηχογραφηθεί και έχουν την δυνατότητα να λαμβάνονται από τους χειριστές από τηλέφωνα ή ασύρματους ή το internet.
- Ο οποιοσδήποτε χειριστής μπορεί πλέον να αποθηκεύσει μεγαλύτερο όγκο δεδομένων καθώς και να ανακτήσει «ιστορικά» δεδομένα, για περισσότερες συγκρίσεις, συμπεράσματα ή διαγνώσεις σφαλμάτων.
- Ο απομακρυσμένος εξοπλισμός μπορεί να ρυθμιστεί από απόσταση, χωρίς την φυσική παρουσία του χρήστη στον χώρο.
- Ο χειριστής είναι πλέον σε θέση να ενσωματώνει σε πραγματικό χρόνο (real time) δεδομένα και μετρήσεις στο εποπτικό σύστημα.
- Επιτρέπεται η χρήση φθηνών και εύχρηστων προσωπικών υπολογιστών ως τερματικές συσκευές. Σε αντίθεση με τον εξειδικευμένο εξοπλισμό είναι ευκολότερο και οικονομικότερο να γίνουν μετατροπές στο λογισμικό τους ή να αναβαθμιστούν.
- Παράλληλα, γίνεται επιτρεπτή η χρησιμοποίηση σύγχρονων πρωτοκόλλων και υλικών δικτύων, που όπως και στην προηγούμενη περίπτωση είναι ευκολότερο και οικονομικότερο να προσαρμοστούν, να αντικατασταθούν ή να αναβαθμιστούν.

- Η ύπαρξη τεχνικής υποστήριξης και συντήρησης του συστήματος από τον προμηθευτή του.

Η εικόνα 5.5. απεικονίζει τον έλεγχο των δεξαμενών μέσω της οθόνης των συστημάτων SCADA.



**\*Εικόνα 5.6.** «Απεικόνιση ελέγχου δεξαμενών μέσω συστημάτων SCADA» [20]

## 5.7. Προβλήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων SCADA

Η διασύνδεση των συστημάτων SCADA στον εποπτικό μηχανισμό μίας βιομηχανικής μονάδος σαφώς και μπορεί να μας δώσει άπειρες λύσεις στην διαχείριση του ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας. Ταυτόχρονα όμως, εμφανίζει αρκετά προβλήματα κατά την ενσωμάτωσή τους σε αρκετές σύγχρονες βιομηχανίες. Ενδεικτικά, τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα αυτά είναι [12]:

- Κατασκευαστικά, τα συστήματα SCADA μπορούν να χαρακτηριστούν ως πολύπλοκα, κοστοβόρα και αρκετά απαιτητικά από πλευράς υλικών. Οι βιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρονικών ειδών είναι αναγκασμένες σε έναν ατέρμονο κύκλο αναβάθμισης των παραγόμενων συσκευών για να είναι σε θέση να ακολουθήσουν την συνεχόμενη εξέλιξη των συστημάτων



- Ο χειριστής έχει την δυνατότητα να παρέμβει στην λειτουργία ορισμένων περιφερειακών συσκευών.

- Σε βιομηχανικές μονάδες μεγάλης έκτασης απαιτούνται πολύπλοκες συνδέσεις όπου ορισμένες φορές είναι δύσκολο να υλοποιηθούν.

- Λόγω της πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζει τα συστήματα, είναι απαραίτητη η παρουσία ανθρωπίνου δυναμικού με πολλές και εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις όπως αναλυτής συστήματος ή προγραμματιστής αισθητήρων.

- Τα σύγχρονα εποπτικά συστήματα εμφανίζουν αρκετά κενά ασφαλείας λόγω της ύπαρξης του Internet ως μέσω επικοινωνίας και διασύνδεσης μεταξύ των συσκευών, δίνοντας έτσι την δυνατότητα υποκλοπής και παραποίησης της παραγωγικής διαδικασίας

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

---

#### 6.1. Εφαρμογές SCADA σε θερμοληκτρικούς σταθμούς ενέργειας ( *Thermal Power Plants* )

Ένα παράδειγμα εφαρμογής του συστήματος SCADA σε θερμοληκτρικό σταθμό περιγράφεται στην Τυνησία. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα εποπτικού ελέγχου και απόκτησης δεδομένων εφαρμόζεται για την καταμέτρηση του φυσικού αερίου , για την παρακολούθηση των αντλιών και στην εποπτεία του βαρέους μαζούτ. Για την επίτευξη του στόχου αυτού το SCADA πρέπει να συλλέγει και να καταγράφει σημαντικές πηγές δεδομένων, να εποπτεύει τη διαδικασία και να προειδοποιεί για πιθανή δυσλειτουργία της. Και όλα αυτά με τη βοήθεια της συσκευής διεπαφής ανθρώπου – μηχανής, το εποπτικό σύστημα , τις απομακρυσμένες τερματικές μονάδες και το δίκτυο επικοινωνίας τους που έχουν περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο [22]. Στην εικόνα 6.1. απεικονίζεται η παρακολούθηση των εφαρμογών του συστήματος SCADA σε έναν θερμοληκτρικό σταθμό ενέργειας.



\* **Εικόνα 6.1.** «Monitoring SCADA applications in thermal power plants (TPPs)» [21]

### **6.1.1.Εποπτεία Φυσικού Αερίου**

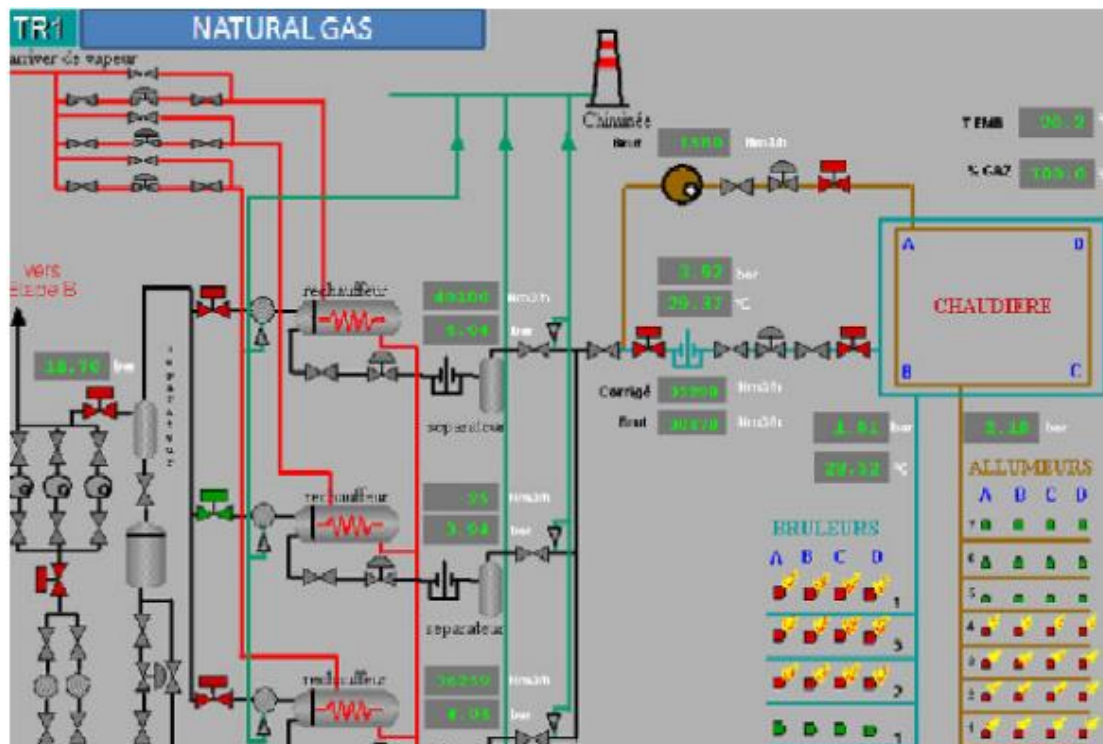
Το φυσικό αέριο είναι το πιο διαδεδομένο καύσιμο για τους PPT γιατί είναι πιο διαχειρίσιμο όμως παρουσιάζει μεγάλους κινδύνους έκρηξης. Ο θερμοηλεκτρικός σταθμός ενέργειας του κέντρου παραγωγής ενέργειας προμηθεύεται με φυσικό αέριο από το δίκτυο διανομής της Τυνησίας. Το φυσικό αέριο υποβάλλεται σε αρκετές εργασίες προετοιμασίας (π.χ. φιλτράρισμα) πριν εισαχθεί στην γεννήτρια ατμού. Το σύστημα του κέντρου παραγωγής ενέργειας στην Τυνησία παρουσιάζει τα διαφορετικά στάδια διασύνδεσης και διαμόρφωσης ενός συστήματος μέτρησης φυσικού αερίου από το SCADA [22].

- *Η διακλάδωση του μετρητή αερίου*
- *Ο προγραμματισμός της γενικής μέτρησης του αερίου*
- *Η διαμόρφωση ενός νέου πίνακα κυκλώματος του φυσικού αερίου που περιέχει τις νέες πληροφορίες.*

Αυτές οι λειτουργίες επιτυγχάνονται με τη βοήθεια του χάρτη εισόδου/εξόδου του φυσικού αερίου, τον προγραμματισμό, κάποιους βασικούς αλγορίθμους που ονομάζονται blocks, και τη μέτρηση των παλμών από το SCADA ωριαία και ημερησίως. Μετά από τις εργασίες διακλάδωσης προγραμματίστηκαν διάφορα τμήματα μέτρησης του όγκου του αερίου. Το μπλοκ AIN επιτρέπει την ανάγνωση της ακατέργαστης αξίας και επιτυγχάνει στην συνέχεια την ανάγνωση δεδομένων σχετικά με τις λειτουργίες κλιματισμού, φιλτραρίσματος και συναγερμού. Το μπλοκ ACCUM επιτυγχάνει την ολοκλήρωση της διαδικασίας και παραδίδει στην έξοδο μια ποσότητα. Το μπλοκ COST επιτρέπει τον χειρισμό μιας ή όλων των εξόδων σε μία μονάδα. Τέλος, το μπλοκ MATH επιτρέπει την επίτευξη μαθηματικών πράξεων σε σαφή αλυσιδωτή μορφή σε ένα πρόγραμμα.

Για το στάδιο της διαμόρφωσης, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Intergrated Control Configuration ( ICC ) που βοηθάει στην δημιουργία και διαμόρφωση προγραμμάτων που έχουν σκοπό τη βελτίωση των μετρητών και την δημιουργία ενός νέου πίνακα του κυκλώματος φυσικού αερίου. Επίσης με τη βοήθεια του λογισμικού Fox Draw, δοκιμάζονται οι λειτουργίες των νέων μετρητών και επεξεργάζονται οι οθόνες που περιέχουν τους νέους μετρητές φυσικού αερίου και

οι οθόνες συναγερμού. Η απεικόνιση του κυκλώματος του φυσικού αερίου μέσω του συστήματος SCADA σε έναν θερμοηλεκτρικό σταθμό παρουσιάζεται στην εικόνα 6.2.



\* **Εικόνα 6.2.** «Απεικόνιση του φυσικού αερίου σε έναν TPP» [22]

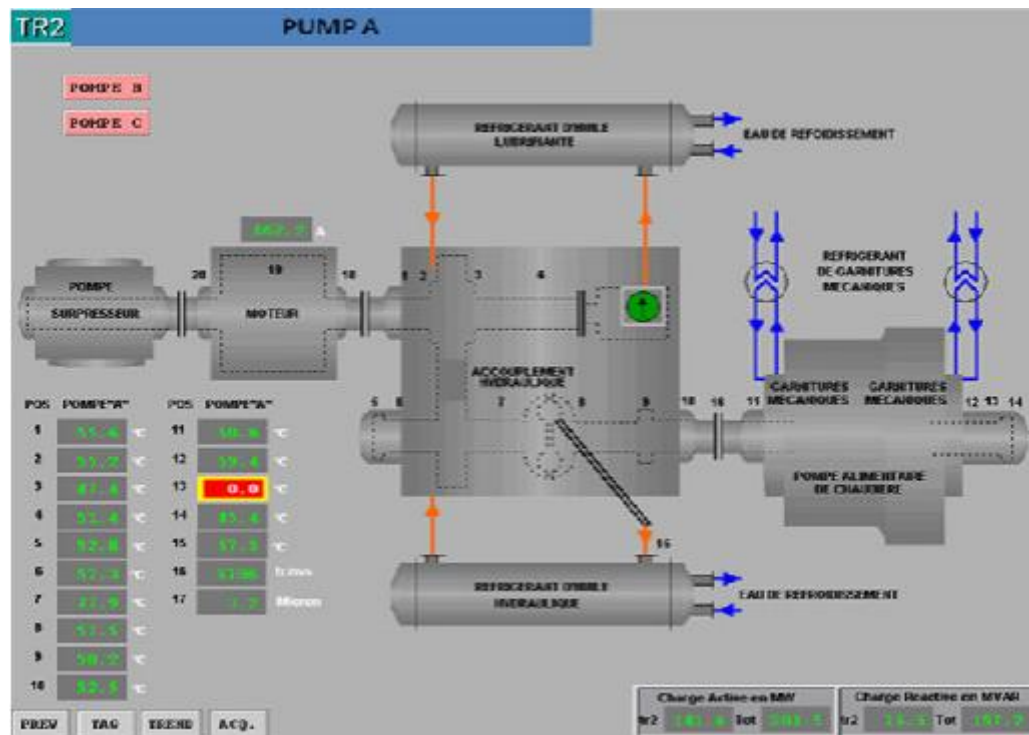
Αυτή η εφαρμογή του SCADA επιτρέπει τη διακλάδωση μετρητών φυσικού αερίου στο σύστημα του θερμοηλεκτρικού σταθμού και τον κατάλληλο προγραμματισμό για τη σωστή καταμέτρηση του φυσικού αερίου.

### **6.1.2. Επίβλεψη των δονήσεων των αντλιών από το SCADA σε έναν TPP.**

Το σύστημα επιτήρησης δονήσεων των αντλιών από το SCADA είναι εξοπλισμένο με μετρητές για συμπληρωματικές παραμέτρους όπως την αξονική θέση, την αδράνεια, τη διαφορική συστολή, τη δυναμική πίεση, την ταχύτητα περιστροφής, την θερμοκρασία καθώς επίσης και την ανίχνευση παγοποίησης. Το όργανο ελέγχου δόνησης μετρά δονήσεις συνεχώς όταν τα μηχανήματα της μονάδας (συμπιεστής μεγάλων διαστάσεων, αντλία, ανεμιστήρες, στρόβιλος κ.λπ.

) βρίσκονται σε λειτουργία. Όταν η επιτηρούμενη δόνηση φτάσει σ ένα πλάτος το οποίο προσαρμόζεται εκ των προτέρων, το όργανο ελέγχου δίνει μία έξοδο σημείου επαφής συναγερμού στο σύστημα ώστε να προειδοποιήσει ή να σταματήσει τη λειτουργία του μηχανήματος. [22]

Το μηχάνημα ελέγχεται από αισθητήρα δόνησης που την μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα και το εισάγει στον ενισχυτή δόνησης. Σε αυτόν τον ενισχυτή ένα σήμα που είναι ανάλογο με την ταχύτητα των κραδασμών εποπτεύεται από το όργανο ελέγχου δόνησης και μετατρέπεται σε σήμα που είναι ανάλογο της μετατόπισης της δόνησης το οποίο με τη σειρά του μετατρέπεται σε ένταση συνεχούς ρεύματος και επιστρέφεται έτσι σαν ένδειξη στο κύκλωμα συναγερμού όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.3.



\* **Εικόνα 6.3.** «Απεικόνιση αντλίας από σύστημα SCADA σε έναν TPP» [22]

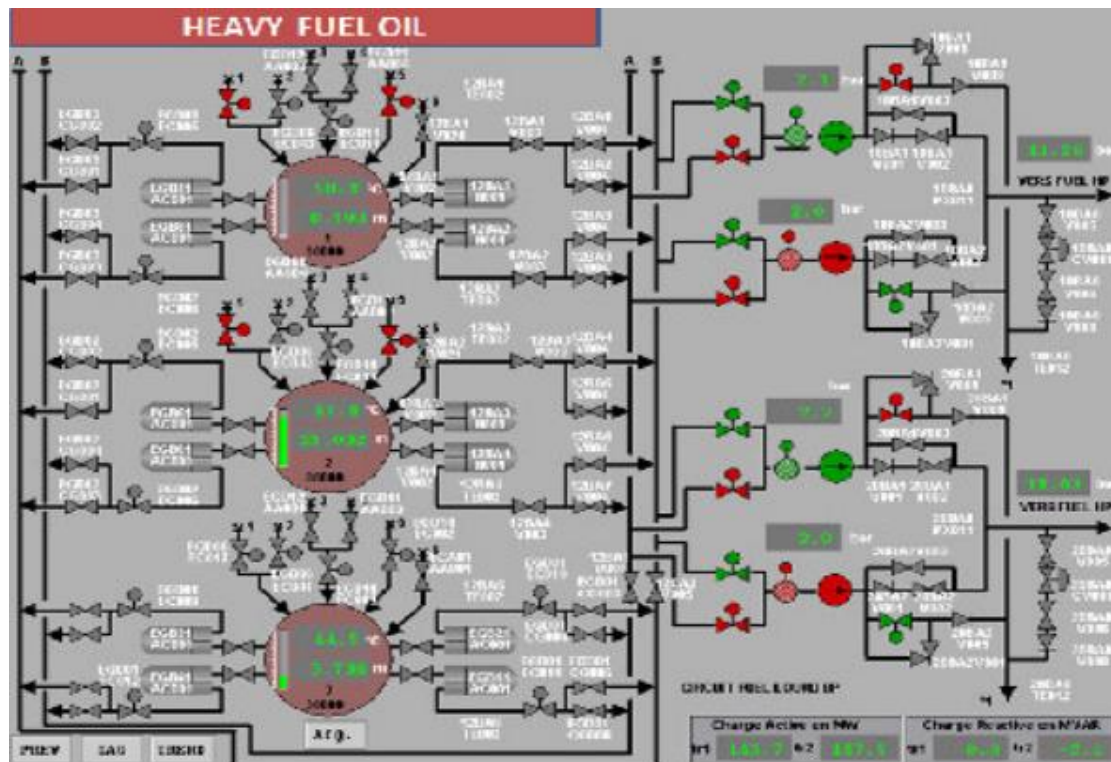
### 6.1.3. Εποπτεία βαρέος μαζούτ από το σύστημα SCADA

Το πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε από το σύστημα SCADA σε αυτή την εφαρμογή σχετίζεται με την ανίχνευση της στάθμης των δεξαμενών βαρέος μαζούτ με αισθητήρες κυμαινόμενου επιπέδου και απουσία ένδειξης στην αίθουσα ελέγχου του TPP. Ο στόχος αυτής της εφαρμογής είναι να αντικαταστήσει τους



παλιούς αισθητήρες και να εγκαταστήσει νέα λύση για έναν εύκολο τρόπο ανίχνευσης χωρίς να είναι απαραίτητη η συχνή αλλαγή μεταξύ των δεξαμενών και χωρίς φυσικά τη παραμικρή επαφή με το υγρό [22].

Την απάντηση στο πρόβλημα αυτό δίνουν τα SCADA με τρεις λύσεις. Η επικρατέστερη λύση περιλαμβάνει τη χρήση αισθητήρων στάθμης με υπέρηχους. Η αρχή γίνεται με ένα κύμα υπερήχων που ανακλάται στην επιφάνεια του μαζούτ. Το σύστημα λαμβάνει την ηχώ και μετρά το χρόνο πορείας της. Στην πραγματικότητα τα ηχητικά όργανα μέτρησης λειτουργούν ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας τη βασική αρχή των ηχητικών κυμάτων για τον προσδιορισμό του επιπέδου του υγρού. Η απεικόνιση του κυκλώματος βαρέος μαζούτ από το σύστημα SCADA παρουσιάζεται στην εικόνα 6.4.



**\* Εικόνα 6.4.** «Απεικόνιση του κυκλώματος βαρύ μαζούτ ενός TPP μέσω SCADA».

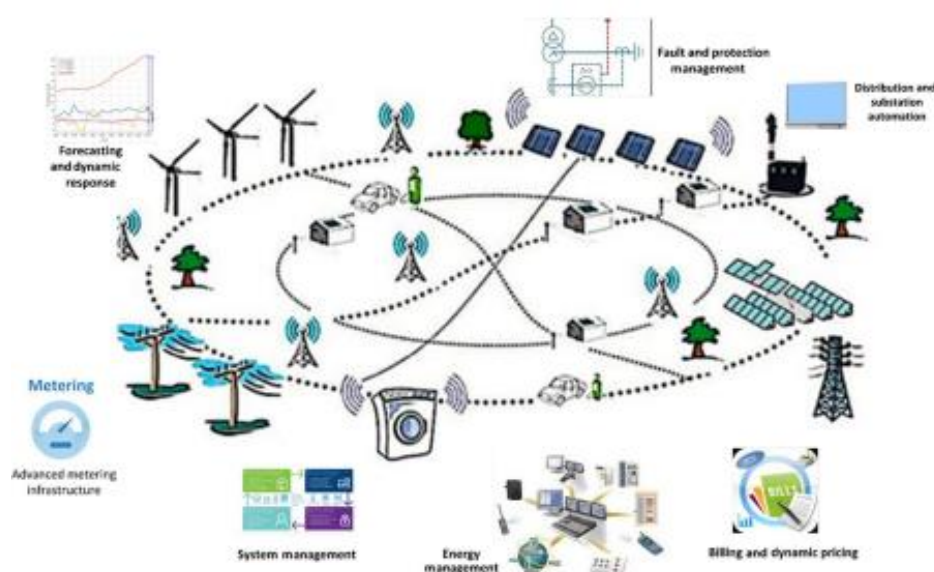
[22]

Αυτή η εφαρμογή του SCADA επιτρέπει να διασφαλίσουμε τη σύνδεση μεταξύ του αισθητήρα υπερήχων και της επιτήρησης από την αίθουσα ελέγχου ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού.

## 6.2. Η Εφαρμογή Των Συστημάτων SCADA Στο Έξυπνο Δίκτυο (SMART GRID)

Το έξυπνο δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που περιλαμβάνει μια ποικιλία μέτρων λειτουργίας και ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων έξυπνων μετρητών, έξυπνων συσκευών, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ενεργειακά αποδοτικών πόρων. Η ηλεκτρονική ρύθμιση της ισχύος και ο έλεγχος της παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντικές πτυχές του έξυπνου δικτύου. [23]

Η ενσωμάτωση του SCADA στο έξυπνο δίκτυο μπορεί να επιτευχθεί με ηλεκτρικά δίκτυα, δίκτυα επικοινωνιών και δεδομένων και επιτρέπει την κατακεντρωμένη συγκέντρωση πληροφοριών και τον έλεγχο σε ολόκληρο το δίκτυο όπως φαίνεται στην εικόνα 6.5. Το SCADA δίνει τη δυνατότητα στους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας να διαχειρίζονται τη δική τους ζήτηση ενέργειας και να ελέγχουν το κόστος, απαντώντας αυτόματα σε ζητήματα ποιότητας ρεύματος, διακοπές ρεύματος, και σφάλματα σε συστήματα ισχύος. Το SCADA παρακολουθεί και βελτιστοποιεί τα στοιχεία δικτύου, ενώ ελαχιστοποιεί το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Όμως, για να λειτουργήσει αυτό πρέπει να υπάρχει έλεγχος σε ολόκληρη την αλυσίδα τροφοδοσίας. Αυτό περιλαμβάνει την παραγωγή και μετάδοση της



**\*Εικόνα 6.5.** «Ενσωμάτωση SCADA στο έξυπνο δίκτυο» [23]

ηλεκτρικής ενέργειας από την αρχή έως τα τελικά σημεία παράδοσης και περιλαμβάνει τόσο σταθερές όσο και κινητές συσκευές στην αρχιτεκτονική του έξυπνου δικτύου. Οι ψηφιακές επικοινωνίες σε ένα έξυπνο δίκτυο πραγματοποιούνται μέσω μιας ποικιλίας τεχνολογιών, πρωτοκόλλων και συσκευών που περιλαμβάνουν ασύρματα και ενσύρματα δίκτυα, επικοινωνίες δεδομένων, δίκτυα οπτικών ινών, φορείς παροχής ηλεκτρικών γραμμών, γραμμή διανομής, μεταφορείς και δορυφόρους. Το λογισμικό SCADA υποστηρίζει τη διαχείριση δικτύου που περιλαμβάνει την παρακολούθηση των τμημάτων γραμμής και άλλων σημείων ελέγχου στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ο εξοπλισμός στο σύστημα διανομής θα πρέπει να παρακολουθείται, εκτός από το να επιτρέπει σε πελάτες να παρατηρούν και να ελέγχουν τα δικά τους φορτία και την κατανάλωση ενέργειας. Στη συνέχεια, πρέπει να αναλυθούν, να οργανωθούν και να χρησιμοποιηθούν σημαντικές ποσότητες δεδομένων τόσο για διαδικτυακό όσο και για offline λογισμικό λήψης αποφάσεων που μπορεί να εγκατασταθεί σε ισχύ εφαρμογών.

Το αποκεντρωμένο λογισμικό SCADA είναι σημαντικό λόγω της σημασίας του στην απόκτηση δεδομένων και στην ικανότητα υπολογισμού αυτών στην οργάνωση, τη συλλογή και την ανάλυση τους που είναι απαραίτητη για τη λήψη αποφάσεων και την εναλλαγή διαχείρισης δρομολόγησης και άλλες απαιτούμενες ενέργειες ελέγχου που ενδέχεται να είναι απαραίτητες με βάση την κατάσταση λειτουργίας [23].

### ***6.3. Εφαρμογή Των Συστημάτων SCADA Στην Παραγωγή Ενέργειας***

Οι προηγμένες συσκευές ελέγχου και επικοινωνίας χρησιμοποιούνται για την παροχή μιας βέλτιστης λύσης για κάθε λειτουργία με ευέλικτες και προηγμένες δομές ελέγχου. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση ελεγκτών PLC, συσκευών απόκτησης δεδομένων RTU και προηγμένων, συνδέσμων επικοινωνίας μαζί με το λογισμικό του SCADA σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας [24].

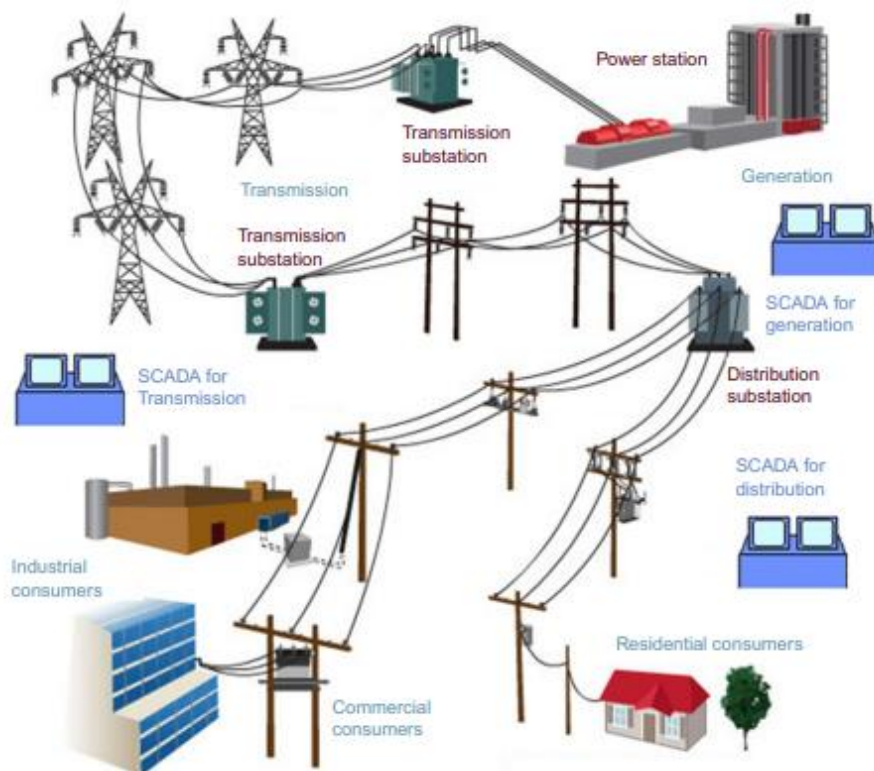


Η εικόνα 6.6. δείχνει το διάγραμμα δομής του SCADA στην παραγωγή ενέργειας καθώς εποπτεύει διάφορα καθήκοντα λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένων λειτουργιών προστασίας, ελέγχου και παρακολούθησης προγραμματισμένων και μη προγραμματισμένων διαδικασιών συντήρησης. Οι λειτουργίες ελέγχου του συστήματος SCADA στην παραγωγή ενέργειας περιλαμβάνουν [24]:

- *Συνεχής παρακολούθηση της ταχύτητας και της συχνότητας*
- *Παρατήρηση της δυναμικής κατάστασης των πομποδεκτών, των διακοπών και των ρελέ προστασίας*
- *Σχεδιασμός λειτουργιών παραγωγής*
- *Έλεγχος ενεργών και άεργων δυνάμεων*
- *Προστασία ανέμου / ατμού / αεροστροβίλων*
- *Παρακολούθηση βοηθητικών υπηρεσιών συστήματος καυσίμου και σταθμών*
- *Προγραμματισμός φορτίου βάσει τάσης και συχνότητας*
- *Επεξεργασία ιστορικών δεδομένων για παραμέτρους που σχετίζονται με τη δημιουργία*
- *Παρατήρηση μετεωρολογικών σταθμών σε περίπτωση αιολικών και ηλιακών εγκαταστάσεων.*

Το SCADA παρέχει μια ολοκληρωμένη ομάδα ελέγχου, διαχείρισης και εποπτείας λειτουργίας για παραδοσιακούς και ανανεώσιμους σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Αυτές οι λειτουργίες περιλαμβάνουν:

- *Έλεγχος γεννήτριας, συμπεριλαμβανομένου του PPT για ηλιακό φωτοβολταϊκό σταθμό και ελέγχου εκτροπής ανεμογεννήτριας*
- *Έλεγχος on / of πομποδεκτών*
- *Λειτουργία συγχρονισμού μεταξύ γεννητριών*
- *Έλεγχος μετασχηματιστή και αλλαγής αυτού σύμφωνα με τις συνθήκες του δικτύου.*

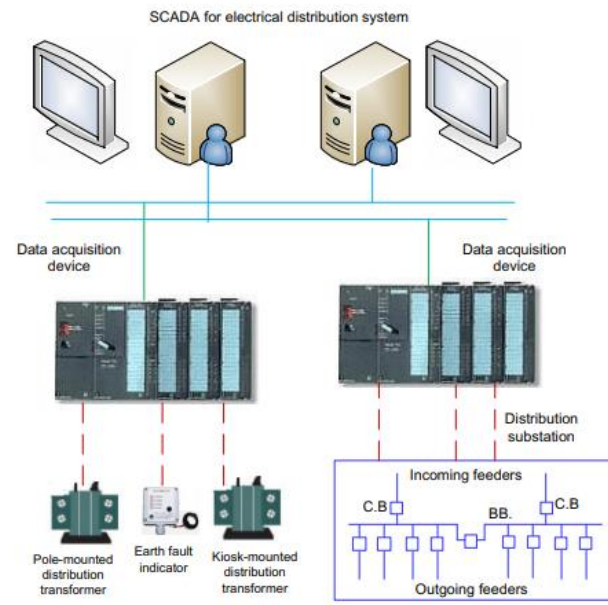


**\*Εικόνα 6.6.** «Εφαρμογή SCADA στην παραγωγή ενέργειας» [24]

#### **6.4. Εφαρμογή Των Συστημάτων SCADA Σε Συστήματα Διανομής Ενέργειας**

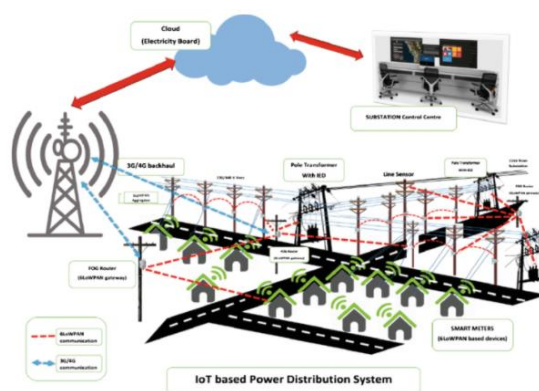
Τα περισσότερα από τα προγράμματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται από τη χειρωνακτική εργασία για την εκτέλεση εργασιών δικτύου διανομής, όπως σύνδεση ή διακοπή ισχύος σε φορτία, σφάλματα και αποκατάσταση υπηρεσίας και λήψη των μετρήσεων τάσης και ρεύματος με παρατήρηση κάθε ώρα.

Η εφαρμογή SCADA στο δίκτυο τροφοδοσίας όχι μόνο μειώνει τη χειροκίνητη λειτουργία αλλά επίσης διευκολύνει τις ομαλές αυτόματες λειτουργίες με ελαχιστοποιημένη διαταραχή φορτίου. Η εικόνα 6.7. δείχνει το σχηματικό διάγραμμα του SCADA σε ένα σύστημα διανομής ενέργειας όπου αποκτά ολόκληρα δεδομένα από διάφορους υποσταθμούς, εξαρτήματα και από μετασχηματιστές διανομής σε απομακρυσμένες τοποθεσίες, τα επεξεργάζεται και συλλέγει τις πληροφορίες [25].



**\*Εικόνα 6.7.** «Σύστημα SCADA στην διανομή ενέργειας» [25]

Συσκευές απόκτησης δεδομένων όπως RTU ή PLC σε ηλεκτρικούς υποσταθμούς παρακολουθούν συνεχώς τους μετασχηματιστές και μεταφέρουν αυτά τα δεδομένα στον κεντρικό υπολογιστή του συστήματος SCADA. Όταν συμβαίνει διακοπή ρεύματος, το SCADA το σύστημα ανιχνεύει τον τύπο σφάλματος και την τοποθεσία, χωρίς να περιμένει τις κλήσεις των πελατών. Το SCADA ενεργοποιεί έναν συναγερμό όταν ένα σημείο ελέγχου υπερβαίνει ή παραβιάζει τα όρια. Στην εικόνα 6.8. απεικονίζεται η διανομή ενέργειας με χρήση των συστημάτων SCADA.



**\*Εικόνα 6.8.** «Διανομή ενέργειας με χρήση SCADA» [25]

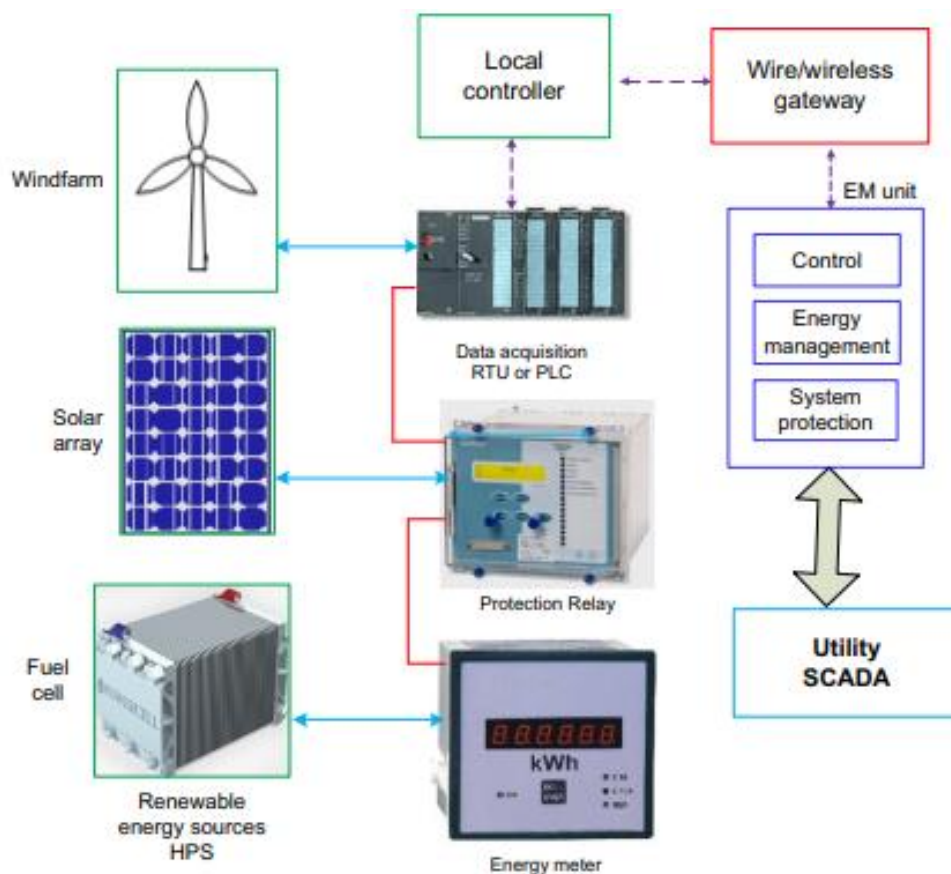
Οι συναγερμοί αυτοί μεταβιβάζονται στους χειριστές για να τους ταυτοποιήσουν και να τους αναλύσουν, ανάλογα την κατάσταση λειτουργίας του δικτύου. Επομένως, η συνεχής επιθεώρηση της κατάστασης και των παραμέτρων του δικτύου εκτελείται τακτικά χωρίς να υπάρχει κάποιος εργαζόμενος για τη συγκεκριμένη διαδικασία. Ορισμένες από τις λειτουργίες SCADA για το σύστημα διανομής της ενέργειας είναι [25]:

- *Βελτίωση της ποιότητας της ενέργειας*
- *Περιορισμός της μέγιστης ζήτησης φορτίου*
- *Παρακολούθηση και έλεγχος δικτύου σε πραγματικό χρόνο*
- *Επίλυση προβλημάτων διακοπής λειτουργίας*
- *Ιστορικά δεδομένα και αρχειοθέτηση*
- *Γρήγορη απάντηση σε κλήσεις εξυπηρέτησης πελατών*
- *Αλγόριθμοι ελέγχου ενέργειας*
- *Απόρριψη φορτίου και αποκατάσταση του*

## **6.5. Χρησιμότητα Των SCADA Στα Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας**

Οι απαιτήσεις της ενέργειας αυξάνονται σταθερά. Η πρόκληση είναι να ανταποκριθούμε στην αυξανόμενη ζήτηση αναγνωρίζοντας το δημόσιο συμφέρον για παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως η επίδραση των αερίων του θερμοκηπίου και της υπερθέρμανσης του πλανήτη, και η μείωση των ορυκτών πόρων καυσίμου. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να επιλυθούν με πρόσφατη έρευνα και ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) όπως η ηλιακή φωτοβολταϊκή, και η αιολική. Οι ενέργειες αυτές έχουν εξαιρετική συμβολή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι πηγές είναι καθαρές και άφθονα διαθέσιμα στη φύση, και προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές πηγές παραγωγής ενέργειας. Ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων ΑΠΕ αποτελεί υβριδική ενέργεια [26].

Ένα σχηματικό διάγραμμα ενός υβριδικού συστήματος ανανεώσιμης ισχύος εμφανίζεται στην εικόνα 6.9 . Η αξιοπιστία ενός υβριδικού συστήματος βασίζεται κυρίως στη δυναμική συμπεριφορά των ΑΠΕ. Επομένως, είναι σημαντικό να αναλύσουμε αυτά τα δυναμικά χαρακτηριστικά σε πραγματικό χρόνο για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ένας ελεγκτής πρέπει να μπορεί να διασυνδέεται με έναν προσομοιωτή υλικού και να επεξεργάζεται τις εισόδους και τις εξόδους σε πραγματικό χρόνο. Σήμερα, οι βελτιώσεις στα συστήματα επικοινωνιών οδήγησαν στην εφαρμογή του υβριδικού συστήματος (HPS) χρησιμοποιώντας PLC και RTU από μια κεντρική πλατφόρμα ελέγχου εποπτείας, το οποίο είναι κοινώς γνωστό ως σύστημα SCADA.



**\*Εικόνα 6.9.** «Σχηματικό διάγραμμα υβριδικού συστήματος ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές » [26]

Τα συστήματα PLC και SCADA επικοινωνούν μεταξύ τους με ένα ειδικό πρωτόκολλο που μπορεί να μεταδοθεί μέσω σειριακής θύρας ή internet. Η

παρακολούθηση των φωτοβολταϊκών κυττάρων γίνεται με PLC και συνδέονται με το SCADA έτσι ώστε ο χειριστής να μπορεί να παρατηρήσει και να ελέγξει τις παραμέτρους εύκολα σύμφωνα με τις αλλαγές στις απαιτήσεις του συστήματος. Τα δεδομένα του HPS συλλέγονται μέσω PLC και συνδέονται με το δωμάτιο ελέγχου μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Όλο το σύστημα είναι συνδεδεμένο με το δωμάτιο ελέγχου του SCADA που περιέχει διάφορες κονσόλες εισόδου / εξόδου και χειριστές. [26]

## **6.6. Οφέλη του συστήματος SCADA στις Fuel cells (FC)**

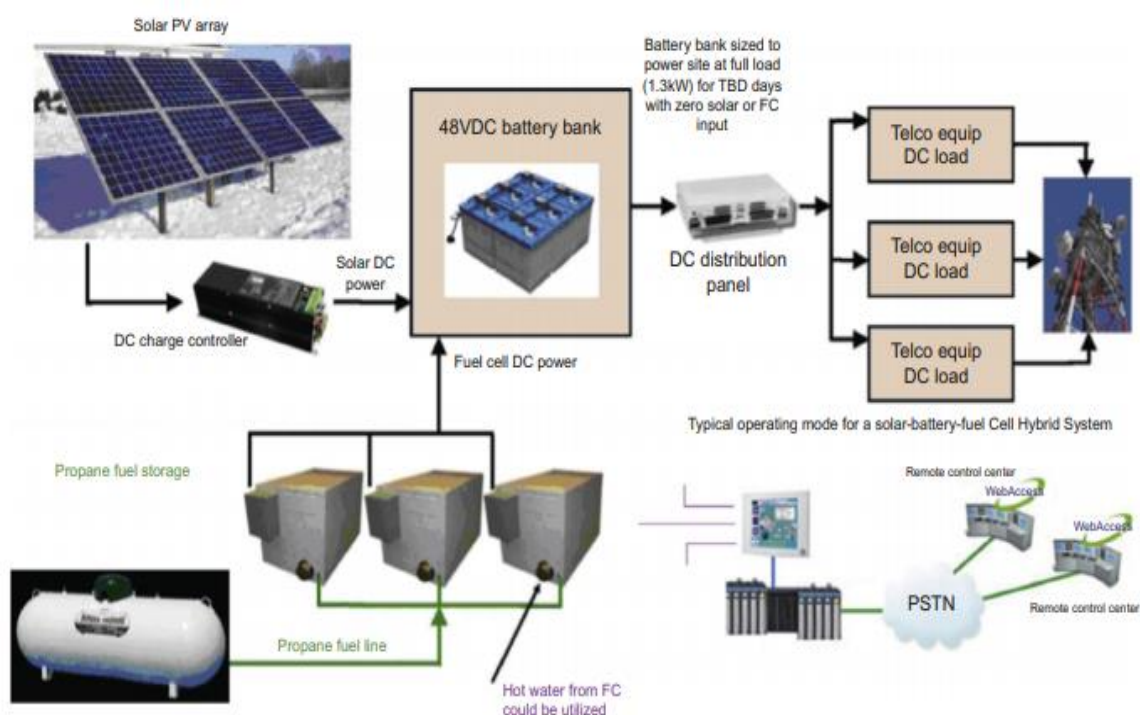
Η κυψέλη καυσίμου είναι μια γεννήτρια που τροποποιεί απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια τη χημική ενέργεια του καυσίμου (υδρογόνο, φυσικό αέριο, μεθάνιο, μεθανόλη) και το οξυγόνο

Τα συστήματα SCADA μπορούν να παρέχουν λύσεις για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του συστήματος της FC. Η λύση περιλαμβάνει εφαρμογή HMI / SCADA λογισμικό αυτοματισμού σε πραγματικό χρόνο , σύστημα συναγερμού και διαχείρισης συμβάντων, παρακολούθηση και έλεγχο από απόσταση, των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής FC . Οι χρήστες στην αίθουσα ελέγχου μπορούν να αναγνωρίσουν ή να αναλάβουν δράση όταν ειδοποιούνται από το συναγερμό. Ο έλεγχος HMI με τη χρήση του παγκόσμιου ιστού προωθεί την ευκολία χρήσης με τηλεχειριστήριο και την παρακολούθηση αυτού του είδους σύστημα από τον χρήστη.

Λόγω της ειδικής φύσης των συστημάτων FC, η μέτρηση, η επίβλεψη τους και οι συσκευές ελέγχου είναι σημαντικές. Είναι σημαντικό να υπάρχει ένα σύστημα που να επιτρέπει σε πραγματικό χρόνο την παρακολούθηση και τον έλεγχο της απόδοσης ενός συστήματος FC. Ο αυτοματισμός του σταθμού FC βασίζεται σε ένα σύστημα SCADA που αποκτά δεδομένα και παρακολουθεί τις μετρήσεις εισόδου / εξόδου και τα σήματα ελέγχου .Το σύστημα SCADA αποθηκεύει δεδομένα σε μια οργανωμένη βάση δεδομένων [27].



Η πλατφόρμα του SCADA αποτελείται από τρία κύρια στοιχεία: έναν διακομιστή SCADA, τον ελεγκτή συστήματος FC και την συσκευή αποθήκευσης μνήμης. Ο διακομιστής SCADA παρέχει πρόσβαση στις ηλεκτρικές παραμέτρους του συστήματος και διαμορφώνει τη διεπαφή του μέσω σειριακής επικοινωνίας. Ο χρήστης της πλατφόρμας μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση στα δεδομένα για ανάλυση, αναφορά ή πραγματοποίηση τεχνικών εργασιών για επέκταση του συστήματος. Στην αρχή, η κύρια οθόνη του συστήματος SCADA επιτρέπει στους χρήστες να επιλέξουν το ρόλο στον οποίο επιθυμούν να εργαστούν (χειριστής, μηχανικός ή διαχειριστής). Το λογισμικό διαθέτει μια λεπτομερή περιγραφή της εγκατάστασης FC και της ονομαστικής τιμής εισόδου /εξόδου, ονομαστικές παραμέτρους λειτουργίας, κατάλληλη διεπαφή ελέγχου και λειτουργία του σταθμού. Το λογισμικό SCADA εντοπίζει τις αλλαγές στον ιστότοπο και στέλνει δεδομένα στον κεντρικό θάλαμο ελέγχου, ο οποίος επιβλέπει ολόκληρο το σύστημα [27].



**\*Εικόνα 6.10.** «Σχηματικό διάγραμμα του SCADA για αυτόνομο υβριδικό σύστημα FC» [28]

Οι μετατροπείς ρεύματος και τάσης FC συνδέονται σε αναλογικούς ακροδέκτες εισόδου του RTU, και επομένως παρακολουθούν την τάση και το

ρεύμα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα . Εάν ένα FC τρέχει πάνω από το προκαθορισμένο ρεύμα για μεγάλα χρονικά διαστήματα, μπορεί να συμβάλει στην υποβάθμιση του συστήματος. Επομένως η παρακολούθηση της τάσης μέσω SCADA εγγυάται ότι η αύξηση του ρεύματος δεν θα δημιουργήσει προβλήματα όπως βραχυκύκλωση των κυψελών.

Το SCADA είναι υπεύθυνο για τη λήψη πληροφοριών από όλα τα υποσυστήματα και επιτρέπει σ αυτά να λειτουργούν ταυτόχρονα. Ένα σχηματικό διάγραμμα του SCADA για αυτόνομο υβριδικό σύστημα Fuel Cell φαίνεται στην εικόνα 6.10.

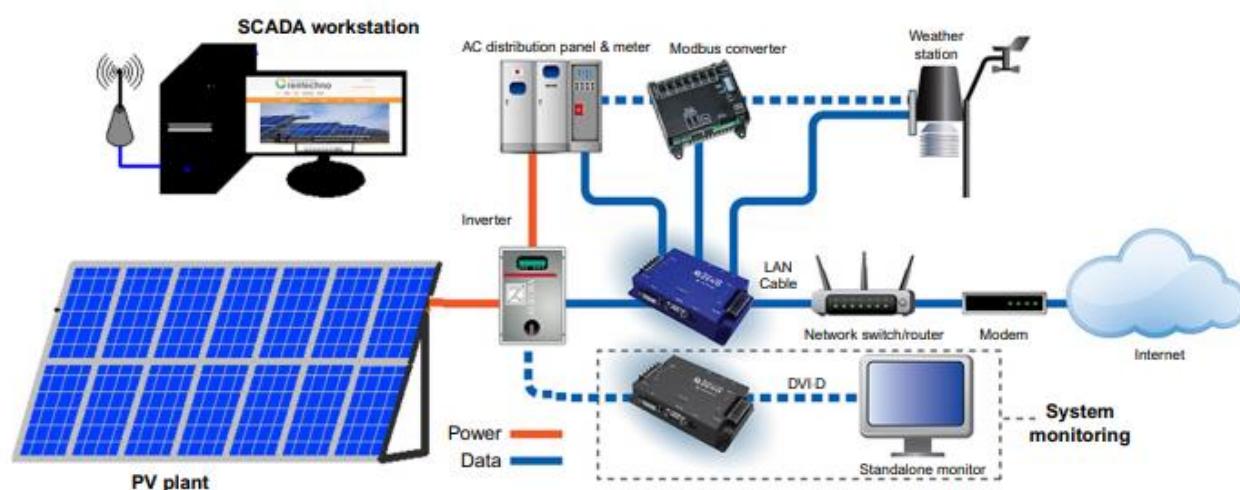
### **6.7. Συστήματα SCADA Σε Φωτοβολταϊκούς Σταθμούς Ενέργειας (Photovoltaic Power Plants)**

Ένα σύστημα SCADA μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποσύστημα σε φωτοβολταϊκούς σταθμούς (PV) και μπορεί να διαχειριστεί το φωτοβολταϊκό σύστημα χρησιμοποιώντας ροές δεδομένων από εύρος αρκετών χιλιάδων μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο. Το λογισμικό SCADA που έχει διαμορφωθεί για να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της ηλιακής φωτοβολταϊκής εφαρμογής παρέχει ευελιξία στον έλεγχο και την παρακολούθηση των διάφορων εξαρτημάτων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανομένων των μετατροπέων, των υποσταθμών CB και των μετρητών.

Στην περίπτωση ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος μικρής κλίμακας, είναι σημαντικό να εκτιμηθεί το πόσο της ενέργειας που μπορεί να παράγει το σύστημα σύμφωνα με μια συγκεκριμένη τοποθεσία, προσανατολισμό και εγκατάσταση , με αποδοτικότητα. Ένα αποτελεσματικό σύστημα παρακολούθησης είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη για την ποσότητα ενέργειας που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα σε πραγματικό χρόνο, και για την εγγύηση της απόδοσης της με πρόβλεψης που θα είναι ακριβής σε όλη την υπηρεσία του φωτοβολταϊκού πίνακα . Ένας ψηφιακός μετρητής χρησιμοποιείται επίσης για τη μέτρηση της τάσης, του ρεύματος, της συχνότητας, της ενεργού / άεργου ισχύος, καθώς και της παραγόμενης ενέργειας. Οι καταγραφείς δεδομένων παρέχουν



δεδομένα στη βάση δεδομένων του SCADA, η οποία μπορεί να τα αποθηκεύσει. Επίσης, καταγράφουν δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας, που καθορίζουν τον αριθμό των ηλιόλουστων ημερών σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία που θα χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη ως στατιστικά στοιχεία. Πως λειτουργεί το σύστημα SCADA σε φωτοβολταϊκό σταθμό ενέργειας απεικονίζεται στην εικόνα 6.11. [29]



**\*Εικόνα 6.11.** «SCADA in photovoltaic power station» [29]

Για τους σκοπούς της παρακολούθησης και ελέγχου όπως και σε προαναφερθείσες εφαρμογές το σύστημα καταγράφει οποιοδήποτε συμβάν και παράγει συναγερμούς, έτσι ώστε το τεχνικό προσωπικό να μπορεί να αλλάξει τη διαδικασία λειτουργίας της εγκατάστασης.

Ένα σύστημα SCADA παρακολουθεί την απόδοση των φωτοβολταϊκών εκμεταλλεύσεων συγκρίνοντάς την με αυτή του δελτίου σχεδίασης της εγκατάστασης, το οποίο περιλαμβάνει τάση φωτοβολταϊκών μονάδων, το μέγιστο ρεύμα, τάση ανοικτού κυκλώματος, μετατροπéας DC-AC και ρυθμιστές φόρτισης που παρέχονται από τον κατασκευαστή. Η σύγκριση δίνει έναν ακριβή προσδιορισμό της λειτουργικής απόδοσης του σταθμού και ελέγχει την κατάσταση λειτουργίας συχνά σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Η πρόσφατη παρακολούθηση και αξιολόγηση της απόδοσης των ηλιακών φωτοβολταϊκών σταθμών έχουν καταστεί εξαιρετικά σημαντικές χάρη στο υψηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας και επίσης λόγω της μείωσης της ενέργειας που παράγεται από τη γήρανση και την υποβάθμιση κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής

των φωτοβολταϊκών εξαρτημάτων. Η χρήση ενός συστήματος SCADA μπορεί να είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση υψηλής απόδοσης, λιγότερες διακοπές λειτουργίας και διάγνωση βλαβών ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού σταθμού καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του [29].

---

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ / ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

---

Στη συγκεκριμένη διπλωματική, αναλύθηκε τι είναι ο βιομηχανικός έλεγχος καθώς και με ποιους τρόπους και ποιον εξοπλισμό επιτυγχάνεται η υλοποίησή του. Μελετήθηκαν τα συστήματα που τον συνοδεύουν καθώς και οι εφαρμογές του στον ενεργειακό τομέα. Επίσης, περιεγράφηκαν τα βασικά τμήματα που εμπεριέχονται σε ένα σύστημα βιομηχανικού ελέγχου έτσι ώστε να γίνουν σαφής οι βασικές και εξειδικευμένες αρχές που απαιτούνται κατά την υλοποίηση και την εφαρμογή του.

Η εργασία ξεκίνησε με μία ιστορική αναδρομή για την αναγκαιότητα των συστημάτων ελέγχου. Έπειτα, αναλύθηκαν οι θεωρητικές προεκτάσεις του κατά κόρον χρησιμοποιούμενου ελεγκτή τριών όρων PID καθώς και οι μεθοδολογίες σχεδίασης του για καλύτερη απόδοση. Ένα μεγάλο μέρος της διπλωματικής αφιερώθηκε στην υλοποίηση του βιομηχανικού ελέγχου μέσω Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών (PLC). Έννοιες όπως η δομή ενός Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή, οι βασικές αρχές λειτουργίας του καθώς και η ψηφιακή του απεικόνιση αναλύθηκαν εις βάθος και συνοδεύτηκαν από την καταγραφή του απαραίτητου εξοπλισμού (π.χ. αισθητήρια, μετρητικά στοιχεία).

Τέλος, στη διπλωματική αυτή ασχοληθήκαμε με το θέμα του Εποπτικού Συστήματος Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (γνωστό ως SCADA) και περιεγράφηκε α) η αρχιτεκτονική του, β) οι κύριες λειτουργίες του, γ) τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα του και φυσικά δ) κάποιες βασικές του εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, αναλύθηκαν εφαρμογές του βιομηχανικού ελέγχου σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας, μεταφοράς ρευστών αλλά και σε καινοτόμα συστήματα αξιοποίησης και διαχείρισης ενέργειας.

Μια σειρά από παραδείγματα που θα μπορούσαν να αποτελέσουν μελλοντικές εφαρμογές βιομηχανικού ελέγχου είναι :

- ✓ **Αυτοματισμός θερμοκηπίου (έλεγχος θερμοκρασίας , υγρασίας , φωτισμού, ποτίσματος)**
- ✓ **Παραγωγή βιοντίζελ**
- ✓ **Μετρήσεις αερίων ρύπων online**
- ✓ **Παραγωγή ενέργειας από εναλλακτικές πηγές (Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας)**
- ✓ **Αυτόματη ρύθμιση κυκλοφορίας**

---

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ/ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

1. Στασινός Συμεών, Αλεξίου Παναγιώτης «ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : Βιομηχανικά Συστήματα Ελέγχου SCADA & Προγραμματισμός με το SIMATIC WinCC» , *Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ.*
2. Χασάπης Γεώργιος «Μηχανική αυτόματου ελέγχου και Αρχές ανάπτυξης λογισμικού , κεφάλαιο 1ο», *Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και βοηθήματα*
3. Στασινός Συμεών, Αλεξίου Παναγιώτης «ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : Βιομηχανικά Συστήματα Ελέγχου SCADA & Προγραμματισμός με το SIMATIC WinCC» , *Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ.*
4. Χασάπης Γεώργιος «Μηχανική αυτόματου ελέγχου και Αρχές ανάπτυξης λογισμικού, κεφάλαιο 3ο», *Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και βοηθήματα*
5. Δρ. Κωνσταντίνος Αλαφοδήμος «ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ, Μάρτιος 2017» *ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ Τ.Ε.*
6. Χασάπης Γεώργιος «Μηχανική αυτόματου ελέγχου και Αρχές ανάπτυξης λογισμικού , κεφάλαιο 1ο», *Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και βοηθήματα*
7. «Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου» [online], Available: <https://eclass.pat.teiwest.gr/eclass/modules/document/file..pdf> [Accessed: 21-July-2020]
8. «Ελεγκτής Θερμοκρασίας» , [Online image] available: <https://www.laboratoryequipment.com.tw/el/pid-controller-temperature-control.html> [Accessed : 21-july-2020]
9. Επ. Καθηγητής Γαύρος Κωνσταντίνος «Εισαγωγικές έννοιες θεωρίας Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου, ενότητα 7<sup>η</sup>» , *Τ.Ε.Ι. Μακεδονίας.*

10. PID CONTROL , CHAPTER 10 [online] available :  
[http://www.cds.caltech.edu/~murray/books/AM08/pdf/am06-pid\\_16Sep06.pdf](http://www.cds.caltech.edu/~murray/books/AM08/pdf/am06-pid_16Sep06.pdf) [ Accessed 25-july-2020]
11. L.A. Bryan , E.A. Bryan «Programmable Controllers Theory and Implementation Second Edition»
12. Κανάκης Εμμανουήλ «Πτυχιακή εργασία : Συστήματα Βιομηχανικού Ελέγχου» , Τμήμα Ηλεκτρονικών Υπολογιστικών Συστημάτων , Πανεπιστήμιο Πειραιά
13. Χασάπης Γεώργιος «Μηχανική αυτόματου ελέγχου και Αρχές ανάπτυξης λογισμικού, κεφάλαιο 3ο», *Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και βοηθήματα*
14. Ψηφιακά Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου , Κεφάλαιο 10 [online] available: [Sae kef10](#) [ Accessed 30 july-2020]
15. «Ψηφιακός Ελεγκτής Θερμοκρασίας» [online] available : [Accessed 7-Aug-2020]
16. «Foundation fieldbus communication» [online] Available :  
<https://gr.pinterest.com/pin/636837203535168432/> [ Accessed 9-Aug-2020]
17. Σταμ. Α. Μάνεση « Βιομηχανικά Δίκτυα Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών» , *Δίκτυα Βιομηχανικού Αυτοματισμού, Πάτρα 2003*
18. Stuart A. Boyer (*SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition, ISA The Instrumentation, Systems, and Automation Society; 3rd edition*)
19. Definition, Specification, and Analysis of System Used for Supervisory Control, Data Acquisition, and Automatic Control  
*(IEEE Standard C37.1-1994)*
20. «Εισαγωγή στα Συστήματα SCADA, μέρος 1» [Online] available :  
<https://eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php.pdf> [Accessed: 12-Aug-2020]
21. «SCADA in thermal power plants» [online] available: [accessed: 10-sep-2020]
22. M. N. Lakhoua, «SCADA applications in thermal power plants» [online] available : [Microsoft Word - LAKHOUA PDF](#) [Accessed: 11-sep-2020]

23. K. Sayed, H.A.Gabbar «SCADA and smart energy grid control automation, chapter 18.3. » *Smart Energy Grid Engineering 2017, Pages 481-514*
24. K. Sayed, H.A.Gabbar «SCADA and smart energy grid control automation, chapter 18.4.1. » *Smart Energy Grid Engineering 2017, Pages 481-514*
25. K. Sayed, H.A.Gabbar «SCADA and smart energy grid control automation, chapter 18.4.2. » *Smart Energy Grid Engineering 2017, Pages 481-514*
26. K. Sayed, H.A.Gabbar «SCADA and smart energy grid control automation, chapter 18.8. » *Smart Energy Grid Engineering 2017, Pages 481-514*
27. K. Sayed, H.A.Gabbar «SCADA and smart energy grid control automation, chapter 18.7. » *Smart Energy Grid Engineering 2017, Pages 481-514*
28. «SCADA in fuel cells» [online] available : [https://www.researchgate.net/figure/9-Schematic-diagram-of-SCADA-for-standalone-fuel-cell-hybrid-system\\_fig9\\_312000929](https://www.researchgate.net/figure/9-Schematic-diagram-of-SCADA-for-standalone-fuel-cell-hybrid-system_fig9_312000929) [Accessed: 15-Sep-2020]
29. K. Sayed, H.A.Gabbar «SCADA and smart energy grid control automation, chapter 18.5. » *Smart Energy Grid Engineering 2017, Pages 481-514*