

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ»

Γεώργιος Π. Δήμιζας

27/01/2021

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΚΟΠΟΣ

Περιγραφή, μελέτη και εξομοίωση αυτοματισμών χειρισμού, ελέγχου και προστασίας του συστήματος ηλεκτροδότησης πλοίων.

- Ηλεκτρικό δίκτυο πλοίου
- Ηλεκτροδότηση και εξοπλισμός μηχανοστασίου
- Παραλληλισμός σύγχρονων τριφασικών ηλεκτρογεννητριών
- Διαδικασία παραλληλισμού
- Έλεγχος παραλληλισμένων γεννητριών
- Περιφερειακοί αυτοματισμοί

Marine Electronic Circuit Simulator

The image shows three control panels for Diesel Generators (DG1, DG2, DG3) and a 500 kW power meter. Each panel includes meters for Amperage, Voltage, Frequency, and Power Factor. DG1 and DG2 have ACB (Automatic Circuit Breaker) controls (ON/OFF) and MAN/AUT (Manual/Automatic) selector switches. DG3 includes a SYNCHROSCOPE with TOP, SLOW, SYNC, and 100% settings. All panels feature START and STOP buttons and GOVERNOR controls (MANUAL, AUTOMATIC, and a selector for 1, 2, 3, or none).

This panel displays a 3-phase circuit simulation. A red generator is connected to a 3-phase load. A voltmeter shows a reading of 398.4V. The circuit diagram includes a star-ground connection. On the right, there are three phase indicators: $\Phi 1$, $\Phi 2$, and $\Phi 3$, with $\Phi 3$ currently marked with a red 'X'. Two graphs are shown: 'Line Voltage (V)' and 'Line Current (A)', both displaying three-phase waveforms.

This panel shows a single-phase circuit simulation. A power meter displays 12 Vrms and 5.4 mA. A voltmeter shows 5.4mV. A power factor meter indicates $\cos\phi = 0.901$ and $\text{phase} = -25.716^\circ$. The circuit diagram includes a coil labeled 'coil 1'. On the right, there are three status indicators: S (Source), P (Power), and X (Error), with S and P currently active.

Two waveform graphs are shown. The top graph, 'Input Signal', shows a sine wave labeled 'Vin' and a line labeled 'lin'. The bottom graph, 'Output Signal', shows a sine wave labeled 'Vout' and a line labeled 'fout'. Both graphs have a time axis from 0.00 to 0.05.

ΜΕΡΟΣ Α΄

ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Μηχανοστάσιο Πλοίου

- ▶ Κύρια (προωστήρια) μηχανή
- ▶ Ηλεκτρογεννήτριες
- ▶ Σύστημα ψύξης μηχανής
- ▶ Αντλίες λαδιού λίπανσης
- ▶ Ατμολέβητας (καζάνι)
- ▶ Μηχανισμός πηδαλίου
- ▶ Φυγοκεντρικός διαχωριστής καυσίμου
- ▶ Φυγοκεντρικός διαχωριστής λαδιού
- ▶ Σύστημα πυρόσβεσης

Engine Control Room

- ▶ Πίνακες διανομής ισχύος
- ▶ Πίνακες ελέγχου μηχανών
- ▶ Alarm Monitoring System
- ▶ Χειριστήριο κύριας μηχανής
- ▶ Όργανα μέτρησης



Fig. 1 Engine Control Room (<https://www.wingd.com>)

Ηλεκτρικό Δίκτυο Πλοίου

- ▶ Βοηθητικό δίκτυο τροφοδοσίας
 - Diesel Generators (2 – 5)
- ▶ Συμπληρωματικό δίκτυο
 - Emergency Generator
 - Shaft Generators
 - UPS – Μπαταρίες

Ηλεκτρικό Δίκτυο Πλοίου (2)

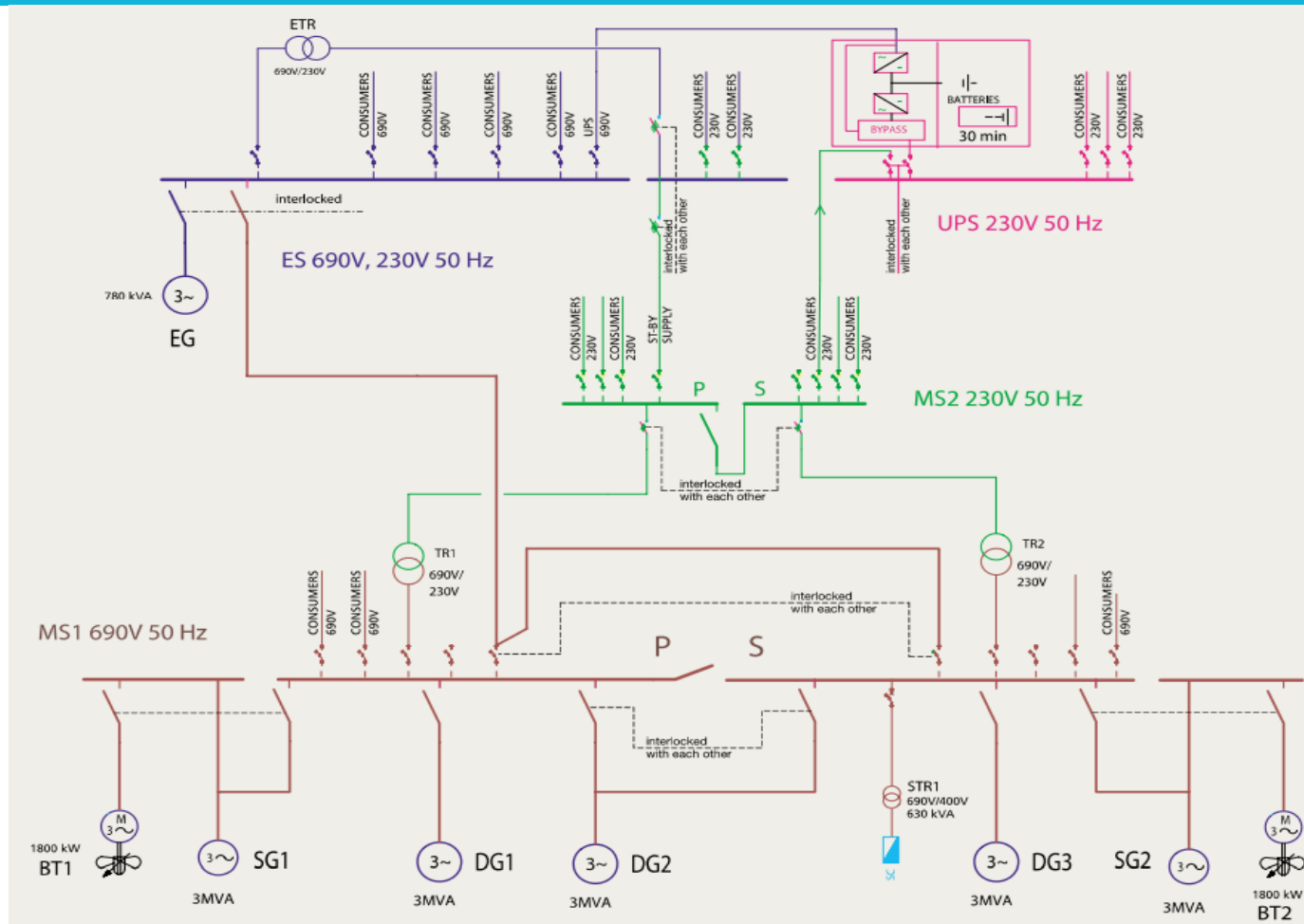


Fig. 2 Low-voltage 690V network for auxiliary power station
(The ship's electrical network, engine room and automation Wärtsilä Corporation)

Power Management System (PMS)

- ▶ Έναρξη - διακοπή γεννητριών και επιτήρηση σφαλμάτων
- ▶ Αυτόματος συγχρονισμός
- ▶ Έλεγχος εξάρτησης φορτίου
- ▶ Έλεγχος αύξησης φορτίου
- ▶ Παρακολούθηση διακοπών τροφοδοσίας
- ▶ Επιτήρηση «απαιτητικών» καταναλωτών
- ▶ Αυτόματη διακοπή φορτίων (ac compressors, αντλίες, εξαερισμός κ.α)
- ▶ Επιλογή προγράμματος λειτουργίας (harbour, manoeuvring, sea)
- ▶ Έλεγχος και μεταφορά φορτίου στην Shaft Generator

Αυτοματισμοί Ελέγχου Γεννήτριας

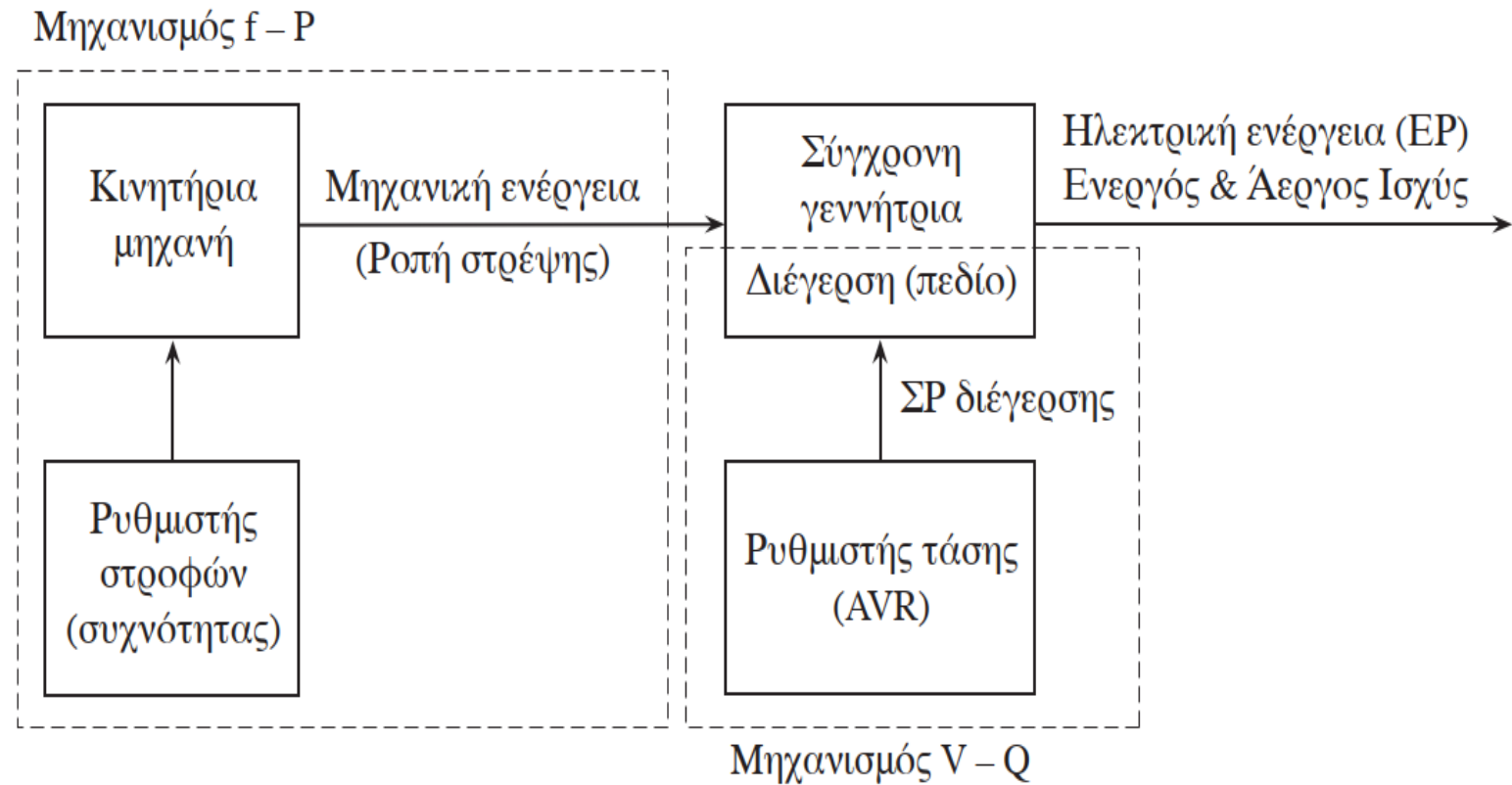


Fig. 3 Η σύγχρονη γεννήτρια ως παραγωγός ισχύος (Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου - Φραγκόπουλος, Προυσαλίδης 2019)

ΣΤΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Speed Droop:

$$X_p = \frac{n_L - n_V}{n_N} = \frac{f_L - f_V}{f_N}$$

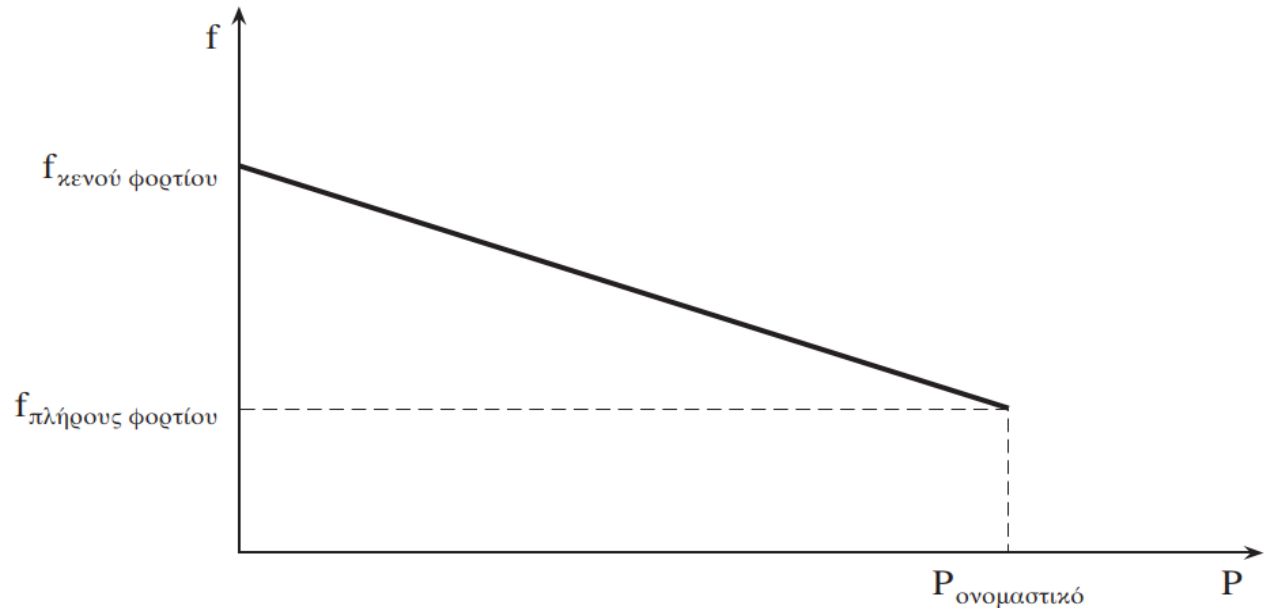


Fig. 4 Χαρακτηριστική f - P
(Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου - Φραγκόπουλος, Προυσαλίδης 2019)

- n_L : η ταχύτητα περιστροφής σε μηδενικό φορτίο
- n_V : η πραγματική ταχύτητα περιστροφής στο φορτίο
- n_N : η ονομαστική ταχύτητα περιστροφής

Governor Motor Controller

Σκοπός: Διατήρηση σταθερής συχνότητας

f-P Μηχανισμός:

$$P = \frac{V \cdot E}{X} \sin \delta$$

E: η εξ επαγωγής τάση της γεννήτριας

V: η τάση στους ακροδέκτες της γεννήτριας

X: η επαγωγική αντίσταση των τυλιγμάτων

δ : η γωνία ισχύος (ρυθμίζεται απ' τον GMC)

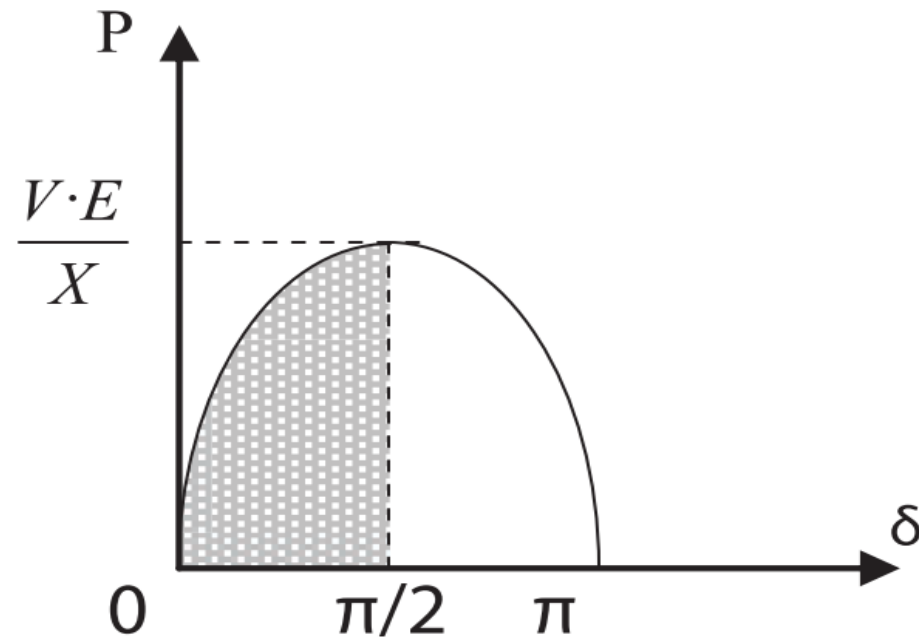


Fig. 5 Χαρακτηριστική δ-P
(Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου - Φραγκόπουλος,
Προυσαλίδης 2019)

Αύξηση ρυθμού έγχυσης καυσίμου \Rightarrow Αύξηση ταχύτητας περιστροφής
 \Rightarrow Αύξηση συχνότητας δικτύου

Στατισμός Τάσης

Voltage Droop:

$$X_Q = \frac{\Delta V}{\Delta Q} = - \frac{2X}{E \cos \delta}$$

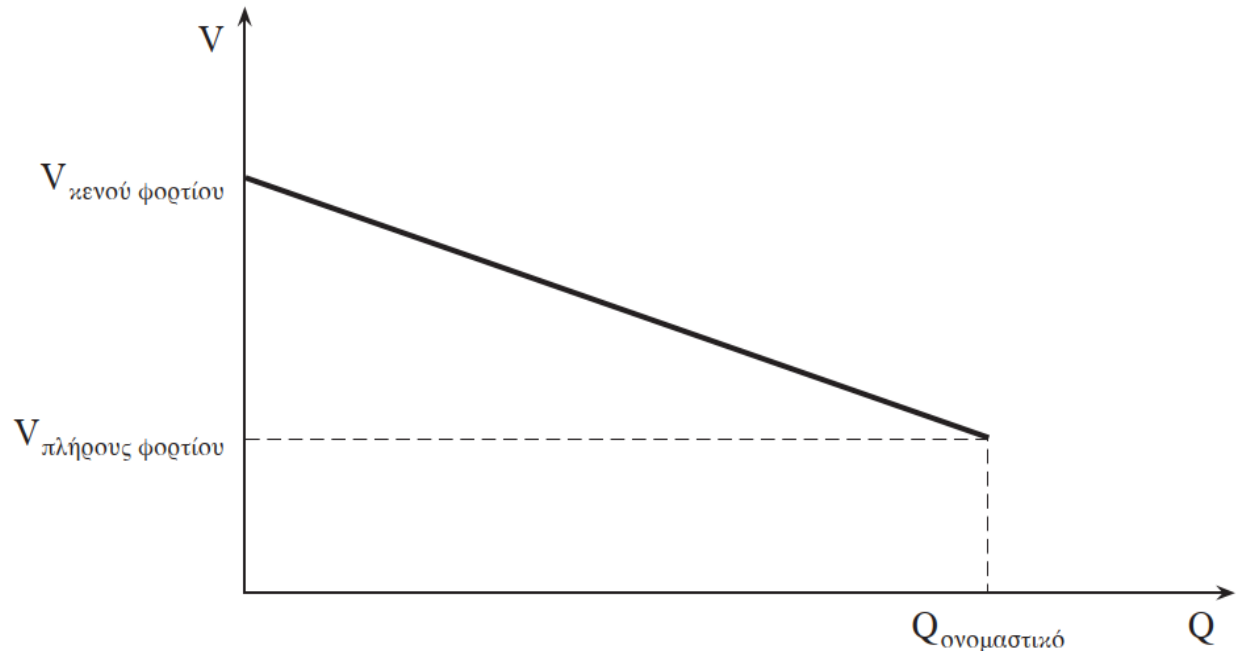


Fig. 6 Χαρακτηριστική V-Q
(Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου - Φραγκόπουλος, Προυσαλίδης 2019)

όπου,

- X: η σύγχρονη αντίδραση τυλιγματος
- E: η εσωτερική τάση της γεννήτριας
- δ: η γωνία ισχύος

Automatic Voltage Regulator

Πλεονεκτήματα:

- ▶ Σταθεροποίηση της τάσης εξόδου της γεννήτριας με άμεση χρονική απόκριση.
- ▶ Γρήγορη συγκέντρωση τάσης κατά την εκκίνηση της γεννήτριας.
- ▶ Ισομερισμός φορτίων κατά την παράλληλη λειτουργία.
- ▶ Ενδεικτικά σφάλματος σε περιπτώσεις υπέρτασης/υπότασης.

V-Q Μηχανισμός:

$$Q = \frac{V}{X}(E \cos \delta - V)$$

E: η εξ επαγωγής τάση της γεννήτριας

V: η τάση στους ακροδέκτες της γεννήτριας

X: η επαγωγική αντίσταση των τυλιγμάτων

δ : η γωνία ισχύος

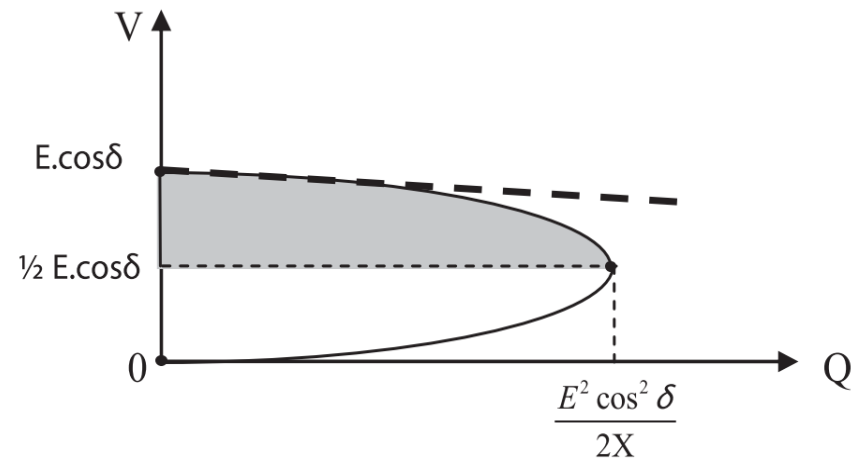


Fig. 7 Χαρακτηριστική δ -Q
(Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου - Φραγκόπουλος,
Προυσαλίδης 2019)

Automatic Voltage Regulator (2)

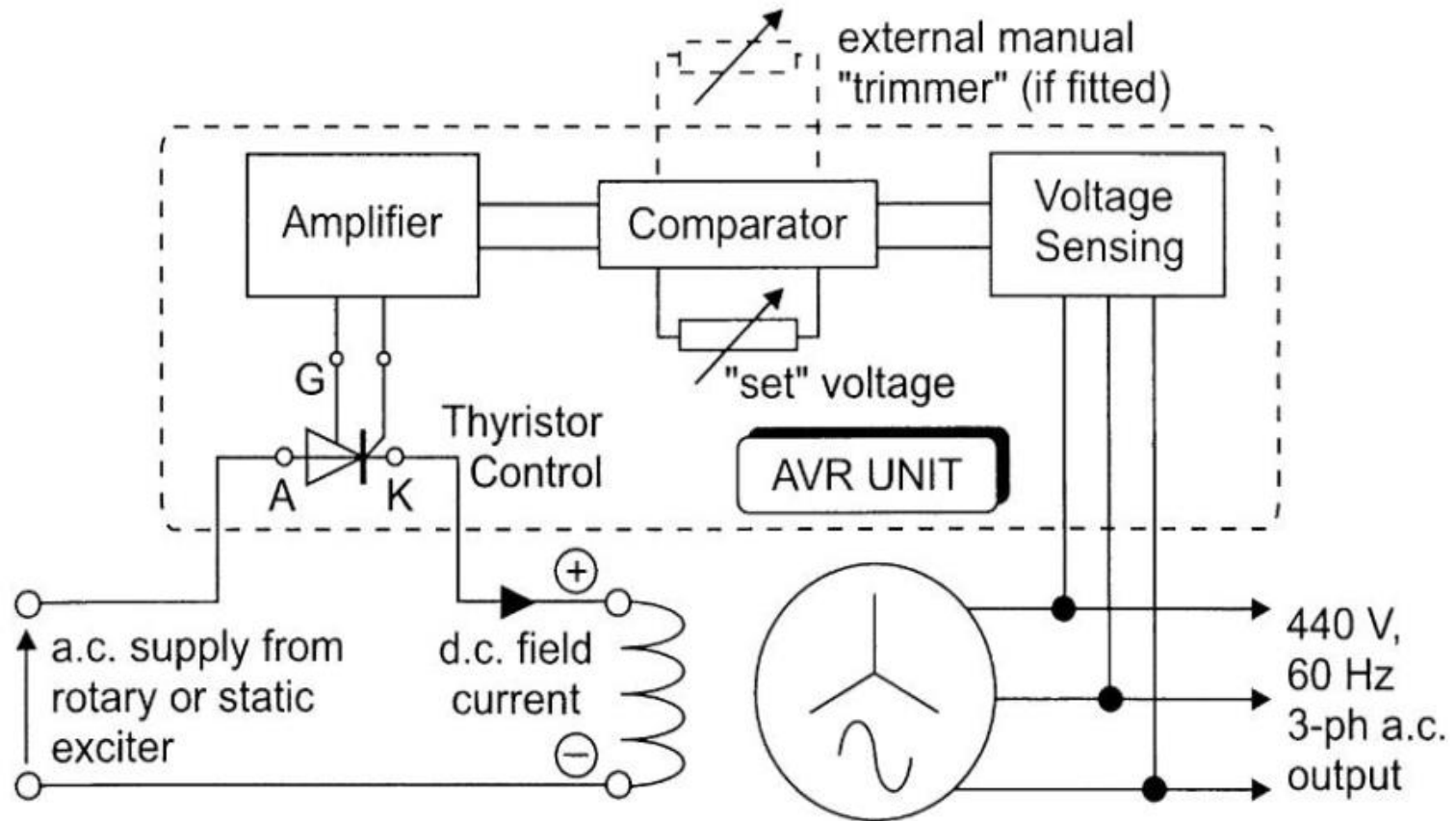


Fig. 8 AVR block diagram

(Practical Marine Electrical Knowledge - Dennis T. Hall 1999)

Παράλληλη Λειτουργία Εναλλακτών

Πλεονεκτήματα:

- ▶ Συνεχής λειτουργία – Άμεση συντήρηση
- ▶ Αποδοτικότητα
- ▶ Μικρό μέγεθος εξοπλισμού
- ▶ Αξιοπιστία και σταθερότητα

Προϋποθέσεις Παραλληλισμού

- ▶ Ίδια διαδοχή φάσεων
- ▶ Ίσες συχνότητες
- ▶ Ίσες τάσεις
- ▶ Τάσεις 'εν φάσει' μία προς μία

Διαδικασία Παραλληλισμού

- ▶ Ρυθμίζεται η ταχύτητα περιστροφής της ηλεκτρογεννήτριας ώστε η συχνότητα της να είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή του δικτύου (της τάξης του 1%).
- ▶ Ρυθμίζεται η τάση του εναλλακτήρα ώστε να είναι λίγο μεγαλύτερη από την τάση του δικτύου (της τάξης του 5%).
- ▶ Οπλίζεται ο ACB όταν οι δύο γεννήτριες βρίσκονται σε φάση.

Για να επιτευχθεί ο συμφασισμός ο ACB πρέπει να οπλίσει τη στιγμή που ο δείκτης του συγχροσκοπίου βρίσκεται στην ανώτερη θέση, περιστρεφόμενος δεξιόστροφα με γωνιακή ταχύτητα μικρότερη του 1 RPS



Fig. 9 Ziegler SQ Led Synchronoscope
(<https://www.zieglergroup.com/>)

ΜΕΡΟΣ Β΄
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ

Σχεδιαστικά Εργαλεία

- Γλώσσα Προγραμματισμού: **python 3.7**
- Σχεδιαστικό Εργαλείο: **tkinter**
- Περιβάλλον: **Visual Studio Code & pycharm**
- Πρόσθετα εργαλεία: **Adobe Photoshop, Inkscape**

Κατάλογος βιβλιοθηκών python

- ✓ **tkinter**: για τη σχεδίαση του γραφικού περιβάλλοντος
- ✓ **PIL**: για την επεξεργασία εικόνων (.png)
- ✓ **pandas**: για δημιουργία και ανάλυση δυναμικών δομών
- ✓ **numpy**: για δημιουργία και ανάλυση δυναμικών δομών
- ✓ **matplotlib**: για εκτύπωση διαγραμμάτων
- ✓ **math**: για υλοποίηση σύνθετων μαθηματικών εκφράσεων
- ✓ **cmath**: για υλοποίηση μαθηματικών εκφράσεων στο σύνολο των μιγαδικών.
- ✓ **sys**: για δυνατότητα επικοινωνίας του προγράμματος με το λειτουργικό
- ✓ **cx_Freeze**: για τη δημιουργία εκτελέσιμου κώδικα (.exe)

Οργάνωση Κώδικα

- Βοηθητικές ρουτίνες
 - `simulator.py`
 - `setup.py`
 - `messages.py`
- Κύριες ρουτίνες
 - `dc_power.py`
 - `rlc_circuits.py`
 - `three_phase.py`
 - `synchro.py`

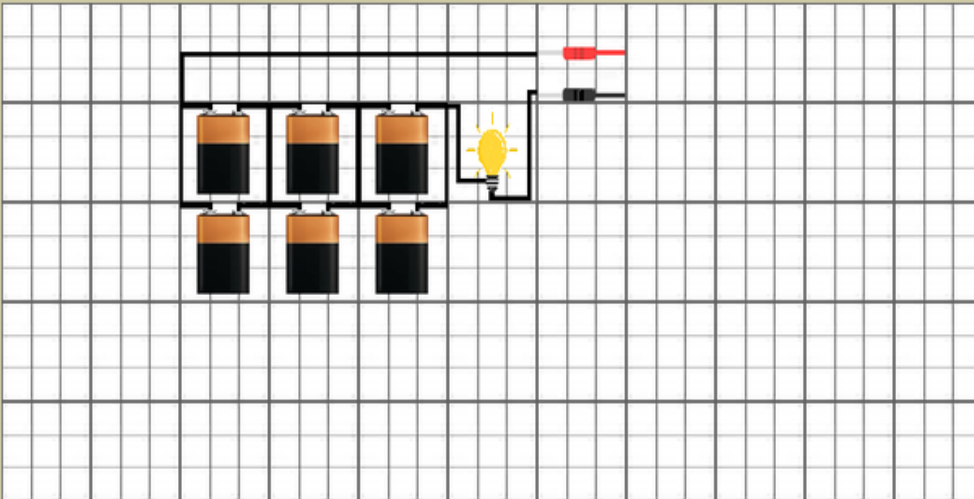
Main Menu

Το κύριο μενού περιλαμβάνει τις επιλογές:

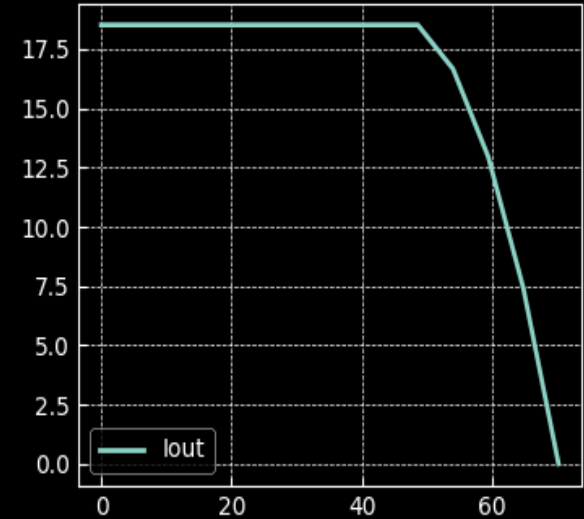
- ▶ Basics
 - DC Circuits
 - RLC Circuits
 - 3-Phase
- ▶ Advanced
 - Synchro
- ▶ Tools
 - Diagram Style
 - Export Diagram
- ▶ Help
 - User Manual
 - About us

DC Circuits

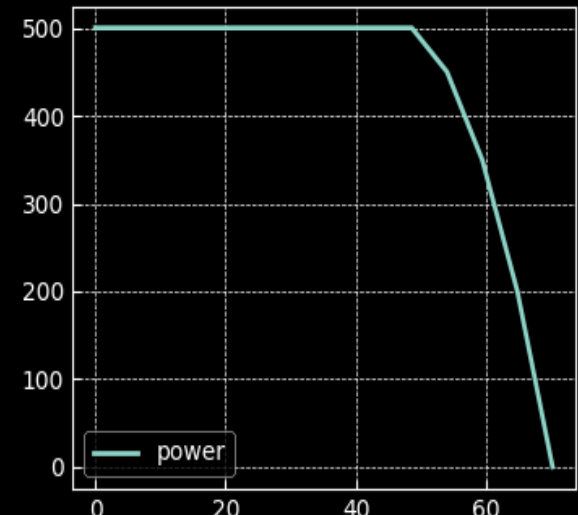
S P X 24V
0.5W



Battery Current per hour (mA/h)



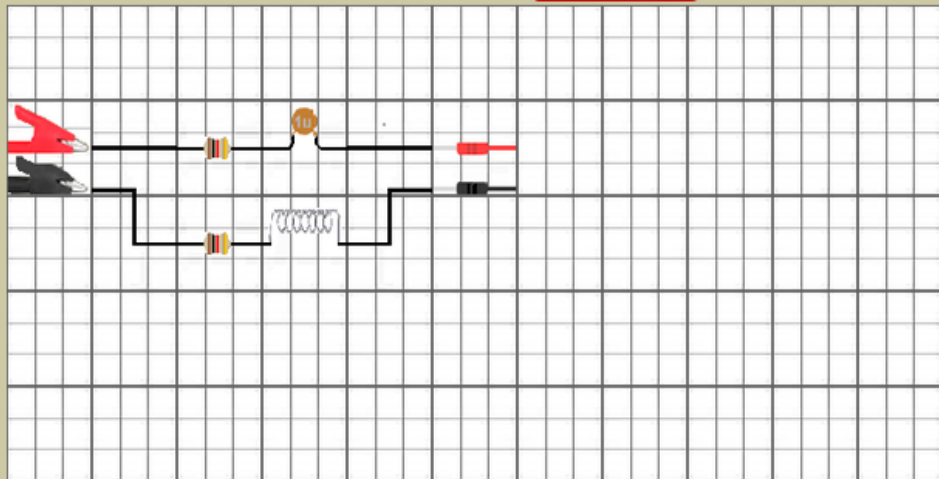
Battery Power per hour (mW/h)



RLC Circuits



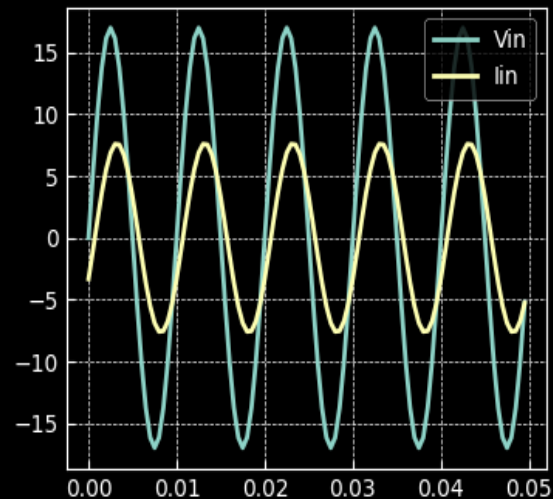
$\cos\phi = 0.901$
 $\text{phase} = -25.716^\circ$



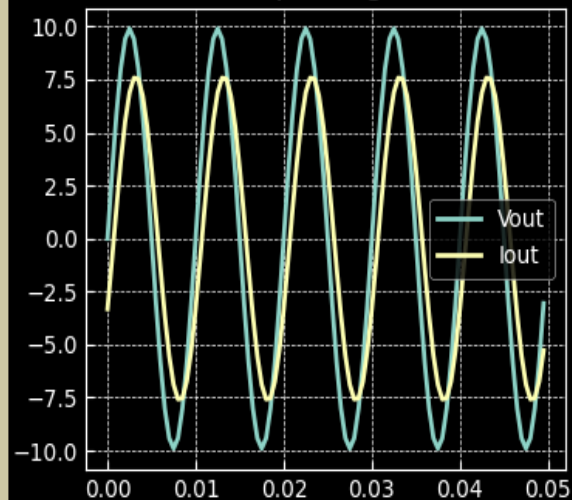
coil 1



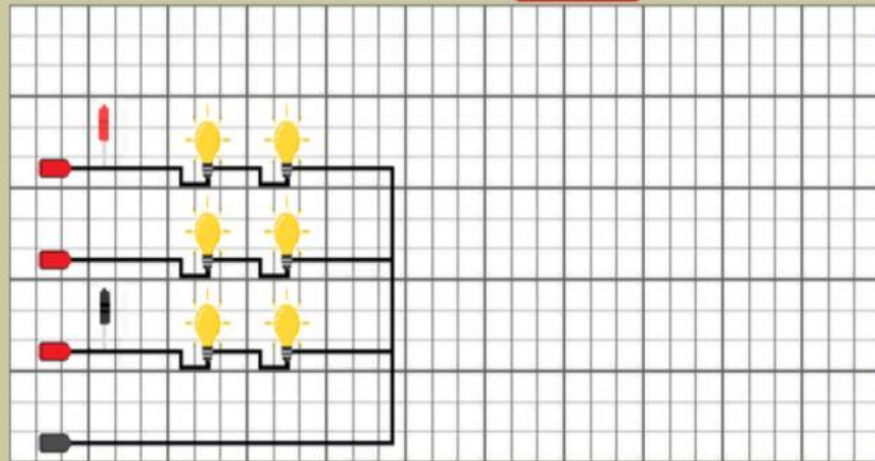
Input Signal



Output Signal



3-Phase Circuits



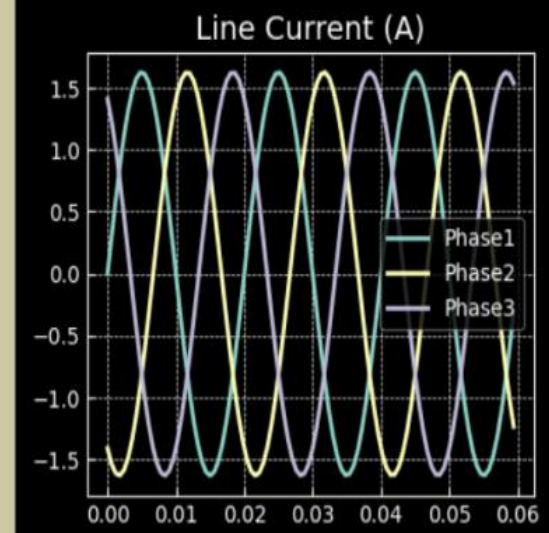
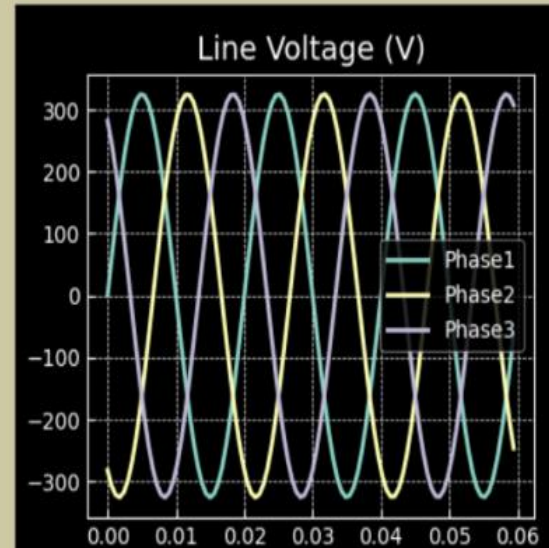
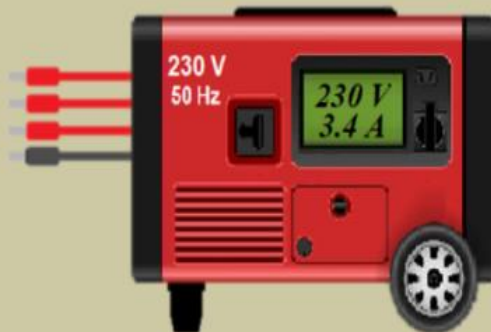
Star Gr

Φ1

Φ2

Φ3

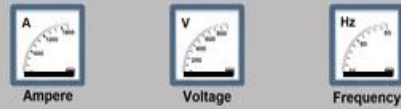
X



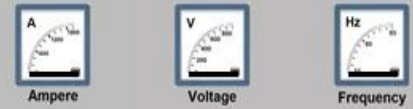
DGs Synchronization



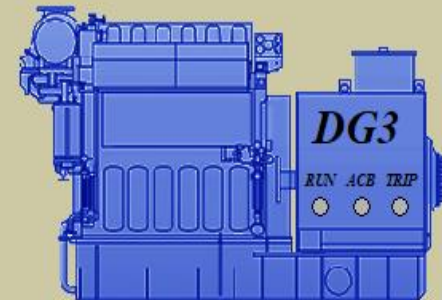
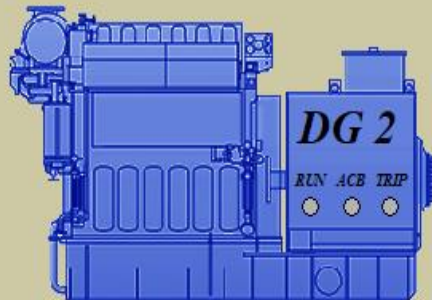
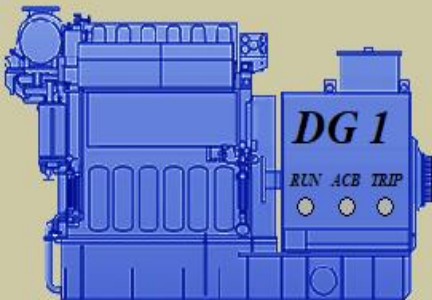
No 1



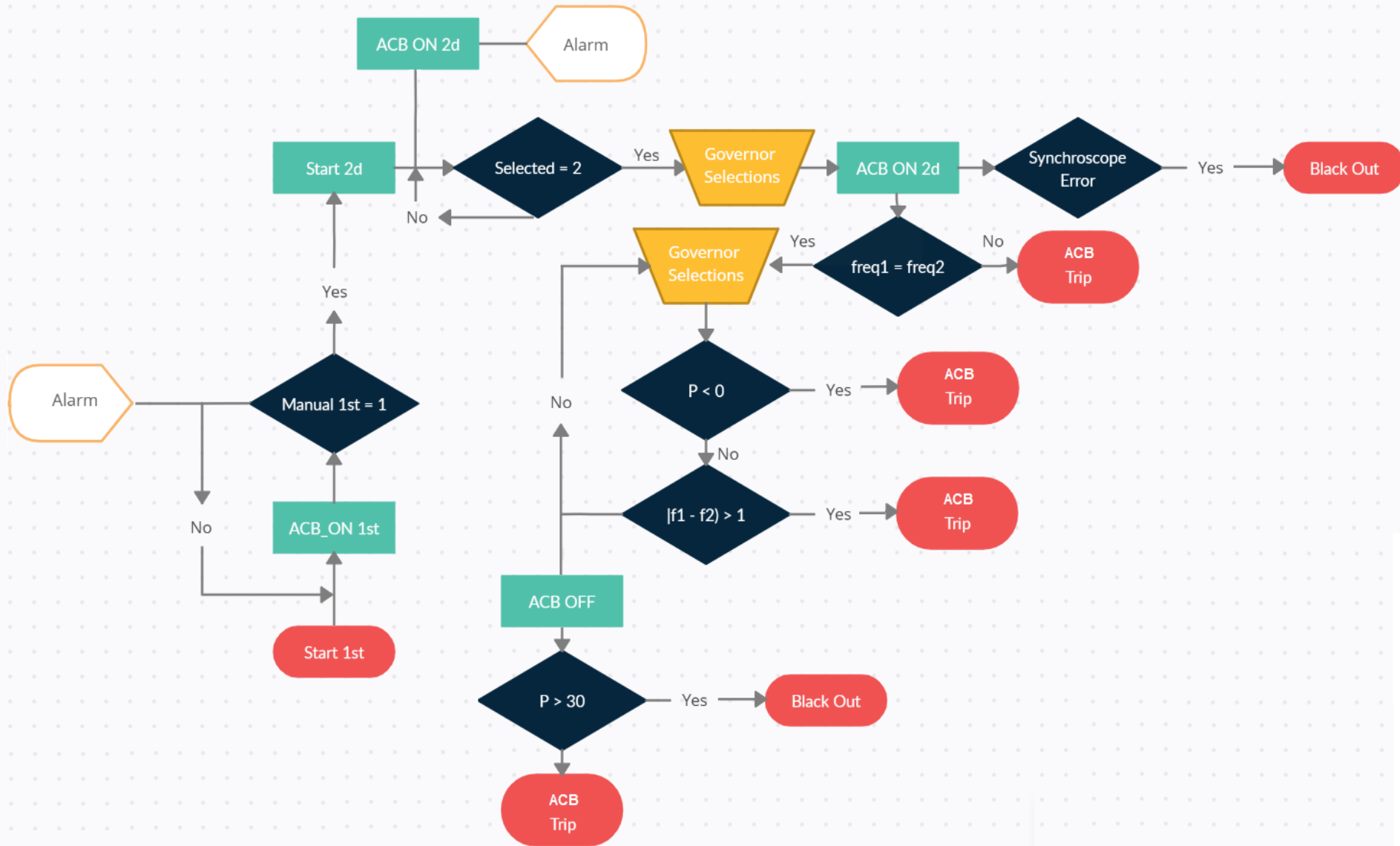
No 2



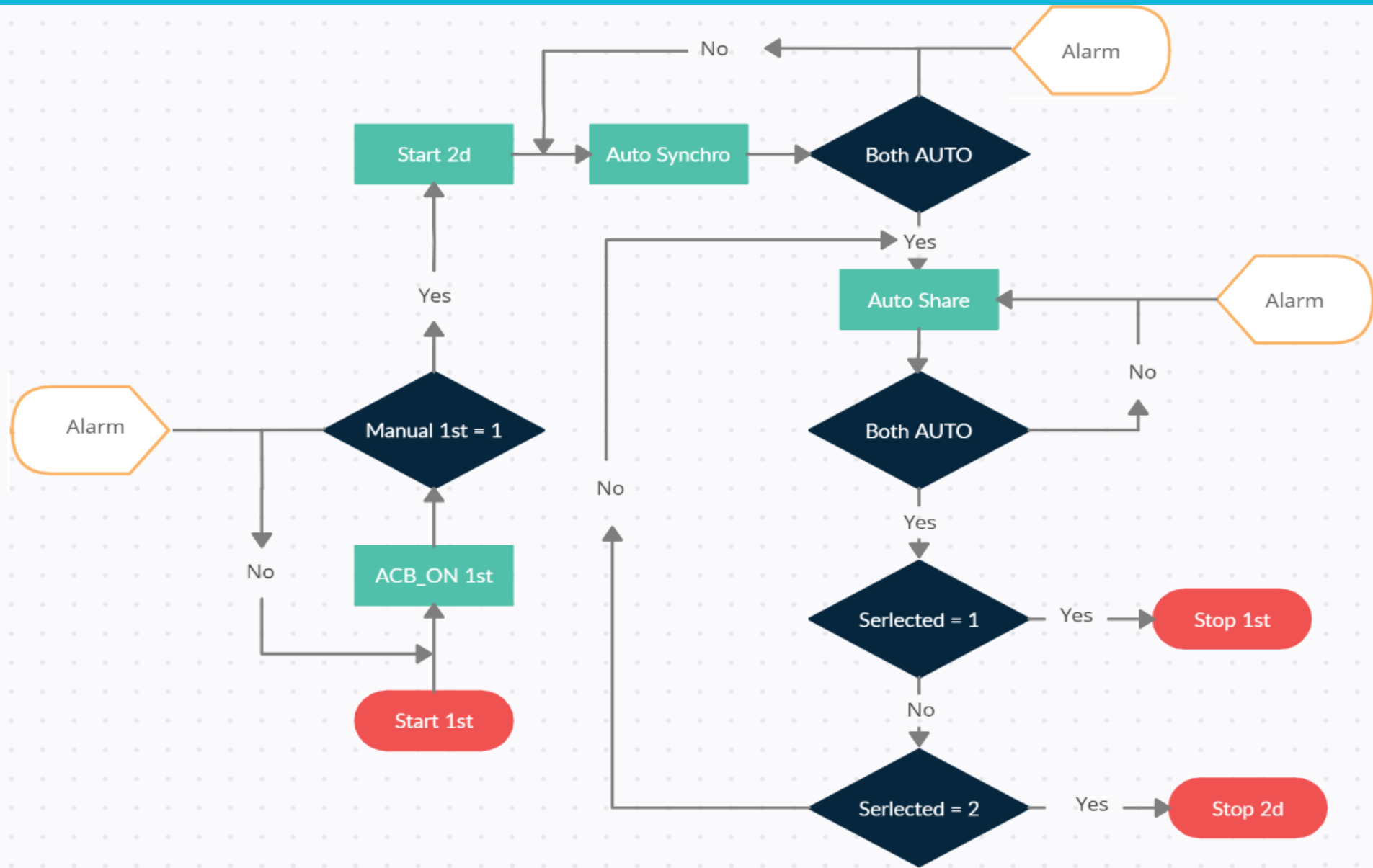
No 3



Manual Synchronization



Auto Synchronization



Ευχαριστώ για την προσοχή σας,
Γεώργιος Π. Δήμιζας