

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет
Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи
магістра

(рівень вищої освіти)

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

На тему: «Аналіз схемо-технічних рішень щодо зниження несинусоїдальності
напруги живлення електроенергетичних систем плаваючих засобів за
рахунок компенсації реактивної потужності»

КНУ.МР.141.25.667-03

Виконав студент II курсу , групи СЕР-24м /Микита ВАЩЕНКО/
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
«Системи електропостачання промислових підприємств,
міст та локальних об'єктів»

(шифр і назва спеціальності, освітньо-професійної програми)

Керівник:

д.т.н., професор

_____/Олег СІНЧУК/

Нормоконтролер:

д.т.н., професор

_____/Олег СІНЧУК/

Завідувач кафедри,

д.т.н., професор

_____/Олег СІНЧУК/

Гарант ОПП:

к.т.н., доцент

_____/Олексій МИХАЙЛЕНКО/

Кривий Ріг
2025 р.

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: магістр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

ВАЩЕНКО Микита Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Аналіз схемо-технічних рішень щодо зниження несинусоїдальності напруги живлення електроенергетичних систем плаваючих засобів за рахунок компенсації реактивної потужності»
2. Строк подання студентом роботи 15 грудня 2025 р.
3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи
Мета роботи – аналіз схемо-технічних рішень щодо зниження несинусоїдальності напруги живлення електроенергетичних систем плаваючих засобів. Завдання кваліфікаційної роботи: розробка схемо-технічних рішень щодо компенсації реактивної потужності в мережі живлення електроенергетичних систем плаваючих засобів.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)
1. Аналіз пристроїв ЕЕС з ПП в умовах існуючих МС. 2. Аналіз пасивних фільтро-компенсуючих установок і їх вплив на точність компенсації реактивної потужності й зниження несинусоїдальності напруги. 3. Схемотехнічні рішення фільтро-компенсуючих установок для ЕЕС МС з ПП.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Схемотехнічні рішення розбудови СЕЕС з ПП. 2. Аналіз схемотехнічних рішень керованих пасивних ФКУ ступінчастого регулювання. 3. Оцінка коефіцієнта несинусоїдальності напруги. 4. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Сінчук О.М.		
II	Сінчук О.М.		
III	Сінчук О.М.		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	Огляд існуючої побудови ЕЕС МС із ПП	6 вересня 2025 р.
2	Приклад ЕЕС структури МС з ПП	11 вересня 2025 р.
3	Отримання даних аналізу ЕЕС	13 вересня 2025 р.
4	Визначення гармонійних складових	17 жовтня 2025 р.
5	Способи зниження гармонійного складу	20 листопада 2025 р.
6	Математична база некерованих ФКУ	27 листопада 2025 р.
7	Аналіз керованих ФКУ	09 грудня 2025 р.

Дата видачі завдання 01.09.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Микита ВАЩЕНКО
(ПІБ)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олег СІНЧУК
(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Аналіз схемо-технічних рішень щодо зниження несинусоїдальності напруги живлення електроенергетичних систем плаваючих засобів за рахунок компенсації реактивної потужності», КНУ.РМ.141.25.667-03

Мета дослідження – аналіз схемо-технічних рішень щодо зниження несинусоїдальності напруги живлення електроенергетичних систем плаваючих засобів за рахунок компенсації реактивної потужності.

Об'єкт дослідження – електроенергетична система плаваючих засобів.

Предмет дослідження – напруга живлення електроенергетичної системи плаваючого засобу.

У роботі були розглянуті основні аспекти різних за своєю структурою морських суден.

Було визначено важливість схемотехнічних рішень щодо забезпечення плавності регулювання характеристик ЕЕС з ПП.

Були отримані характеристичні рівняння щодо визначення гармонійних складових.

Були розглянуті перехідні процеси при складанні контурів компенсації несинусоїдальності напруги мережі живлення.

Були розглянуті можливості застосування пасивних ФКУ у їх керованому та некерованому рішенні.

Були отримані енергетичні розподіли складових потужності на прикладі системи живлення МС з ПП.

Розглянуто питання застосування ступінчастої схеми ФКУ з реалізацією впливу нелінійного навантаження та визначенням гармонійних показників у мережі живлення МС з ПП.

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНА СИСТЕМА ПЛАВАЮЧОГО ЗАСОБУ,
НЕСИНУСОЇДАЛЬНІСТЬ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ, СХЕМО-ТЕХНІЧНІ
РІШЕННЯ, КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. Аналіз пристроїв ЕЕС з ПП в умовах існуючих МС.....	8
1.1. Огляд існуючої побудови ЕЕС МС із ПП	10
1.2. Приклад ЕЕС структури МС з ПП	20
1.3. Отримані дані аналізу ЕЕС	21
РОЗДІЛ 2. Аналіз пасивних фільтро-компенсуючих установок і їх вплив на точність компенсації реактивної потужності й зниження несинусоїдальності напруги.....	23
2.1. Визначення гармонійних складових	26
2.2. Способи зниження гармонійного складу	29
РОЗДІЛ 3. Схемотехнічні рішення фільтро-компенсуючих установок для ЕЕС МС з ПП.....	30
3.1. Математична база некерованих ФКУ	31
3.2. Аналіз керованих ФКУ	34
Висновки	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38
ДОДАТКИ.....	40

ВСТУП

Із середини минулого сторіччя з'являється потреба у розвитку малого морського флоту.

Переважно на таких установках морських суден використовується живлення від перетворювальних пристроїв подвійного роду струму відносно мережі живлення.

Особливостями формування ЕЕС МС з ТП є ряд необхідних факторів, що впливають на процес перетворення електричної енергії

Так можна відзначити наступні особливості:

- Поняття безпеки системи живлення.
- Реалізація унеможливлення виходу з ладу основного обладнання шляхом реалізації функції резервного живлення.
- Реалізація дублювання обладнання відповідальних механізмів із збереженням працездатності.
- Економічні аспекти експлуатації.
- Прагнення до максималізації показників перетворення електричної енергії.
- Забезпечення надійності роботи й простоти обслуговування.
- Екологічність та унеможливлення впливу на навколишнє середовище.

РОЗДІЛ 1. Аналіз пристроїв ЕЕС з ПП в умовах існуючих МС

У зв'язку із цим було розглянуто схеми ЕЕС судів МС, для чого було складено їх класифікацію. Дослідження параметрів ЕЕС, які використовуються ДЕУ, а також завдяки опису типу напівпровідникових систем, було виконано класифікацію систем, що використовуються у складі ЕЕС подвійного роду струму, що представлено на рис. 1.1.

Згідно із представленою класифікацією розглянемо структури побудови ЕЕС судів і МС подвійного роду струму.

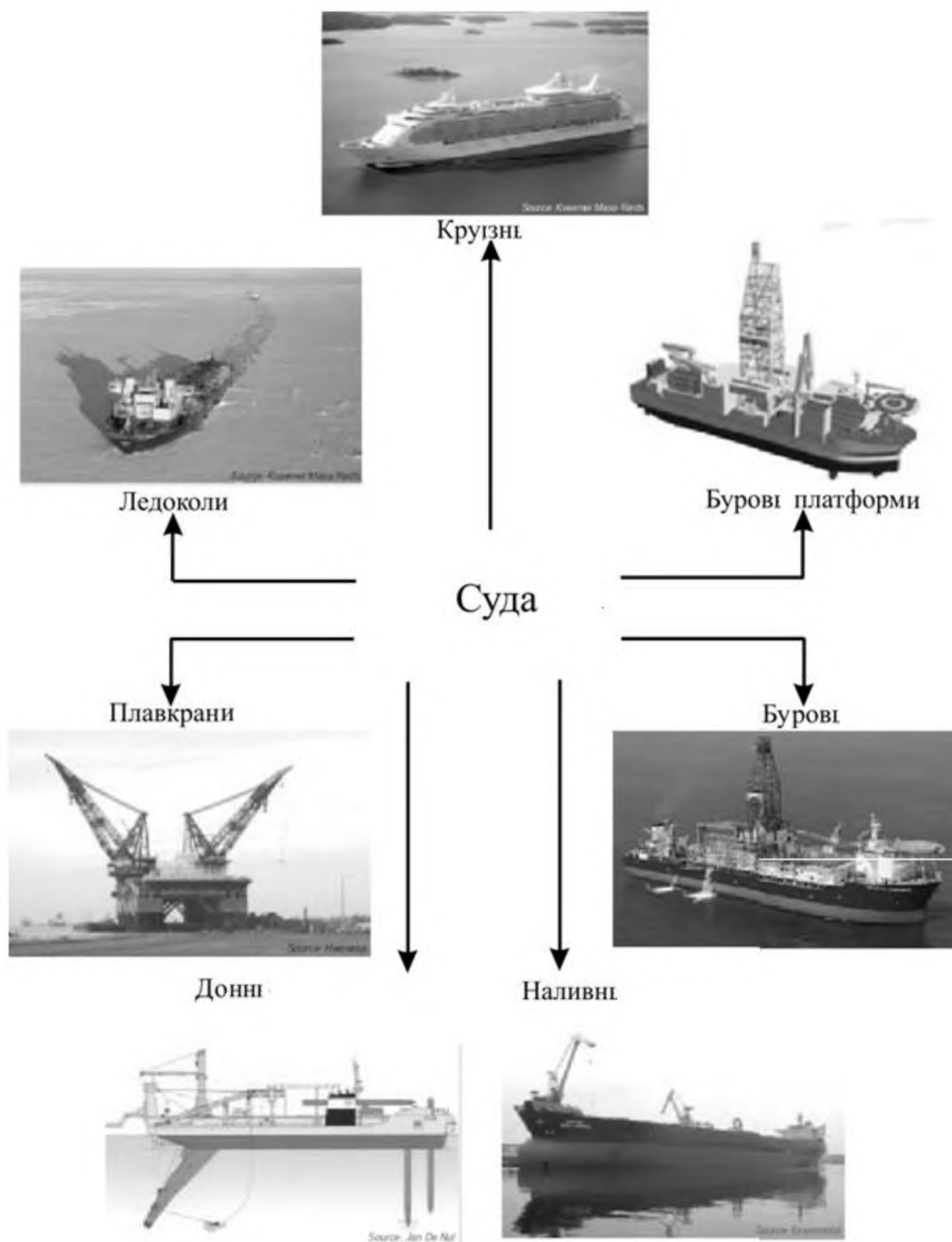


Рис. 1.1. Суда і МС з ЕЕС подвійного роду струму

1.1. Огляд існуючої побудови ЕЕС МС із ПП

На рис. 1.2 розглянуто типові ЕЕС подвійного роду струму, які використовуються на круїзних судах.

Основні вимоги при розбудові системи ЕЕС, рис. 1.2, було забезпечення безпечності експлуатації.

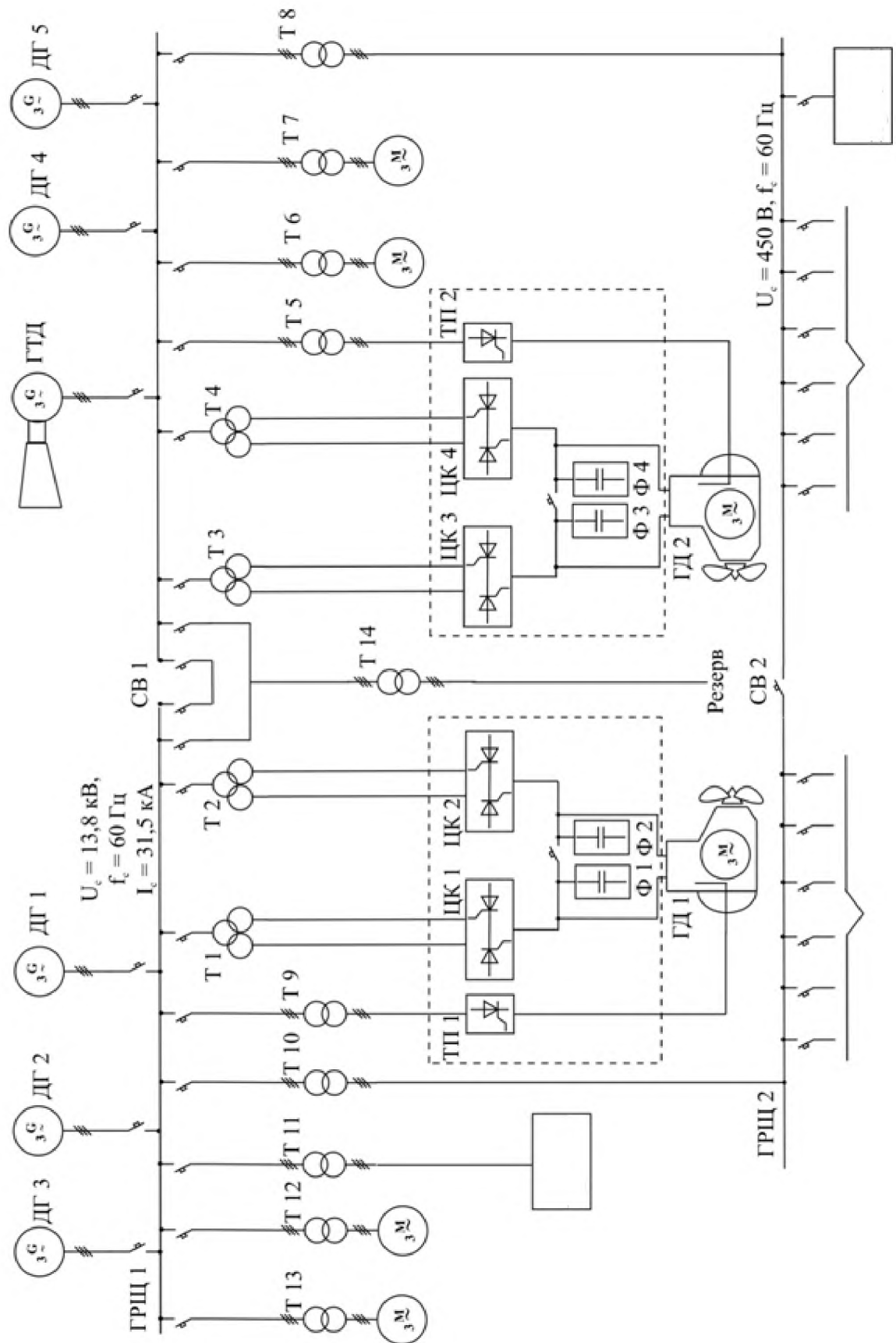


Рис. 1.2. Схема ЕЕС подвійного роду струму

Відповідно до місцезнаходження морського судна можна виділити деякі класи.

Представимо систему ЕЕС подвійного роду струму, що реалізовано на морських суднах наливного класу, як показано на рис. 1.3.

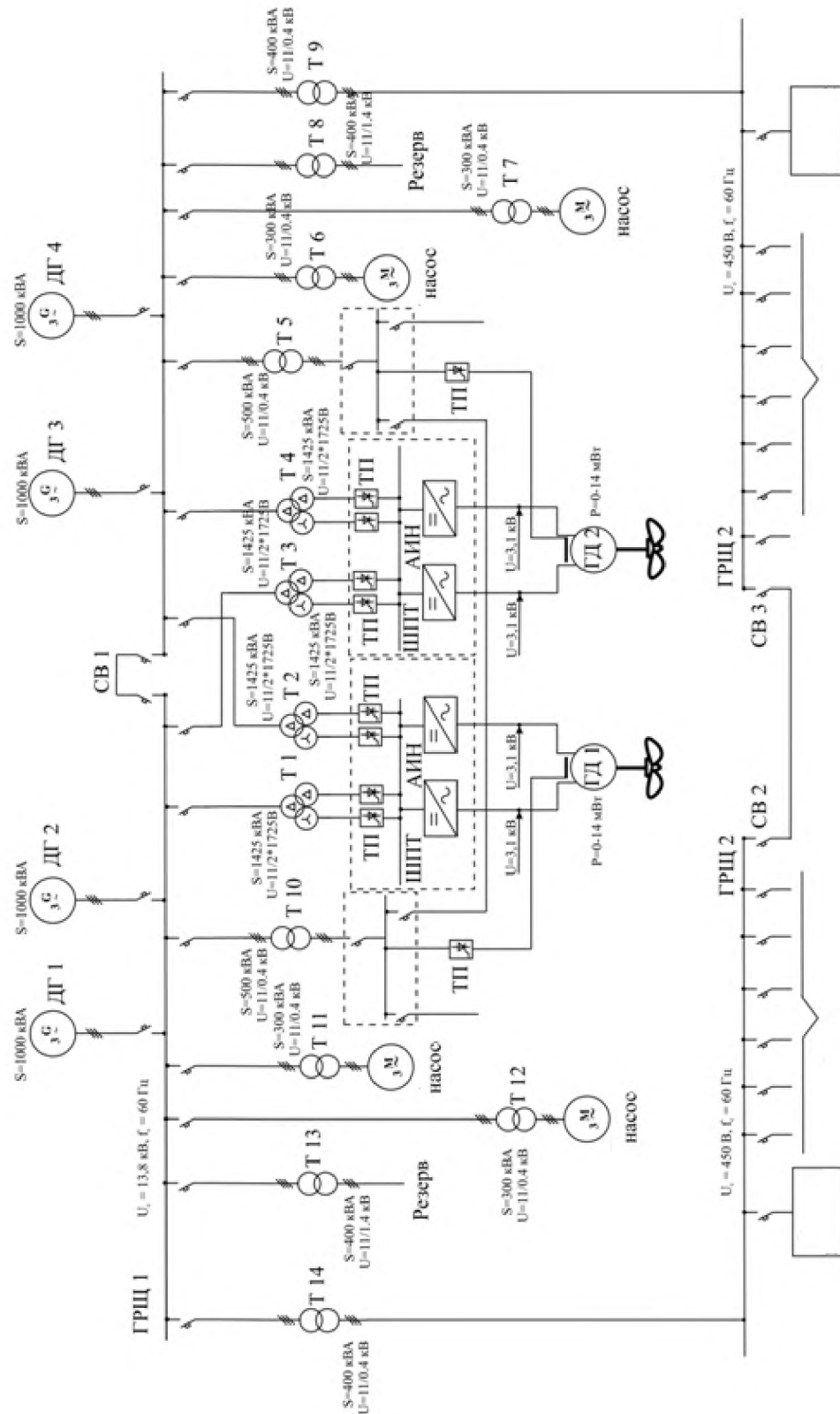


Рис. 1.3. ЕЕС подвійного роду струму, що реалізовано на морських судах наливного класу

Складність експлуатації морських суден обумовлює необхідність забезпечення реалізації високої маневреності, що у свою чергу додає необхідність використовувати позиціонування плавзасобу відносно навколишніх об'єктів, останнє можливо лише при забезпеченні високих енергетичних показників.

Система ЕЕС для судів даного типу представлена на рис. 1.4.

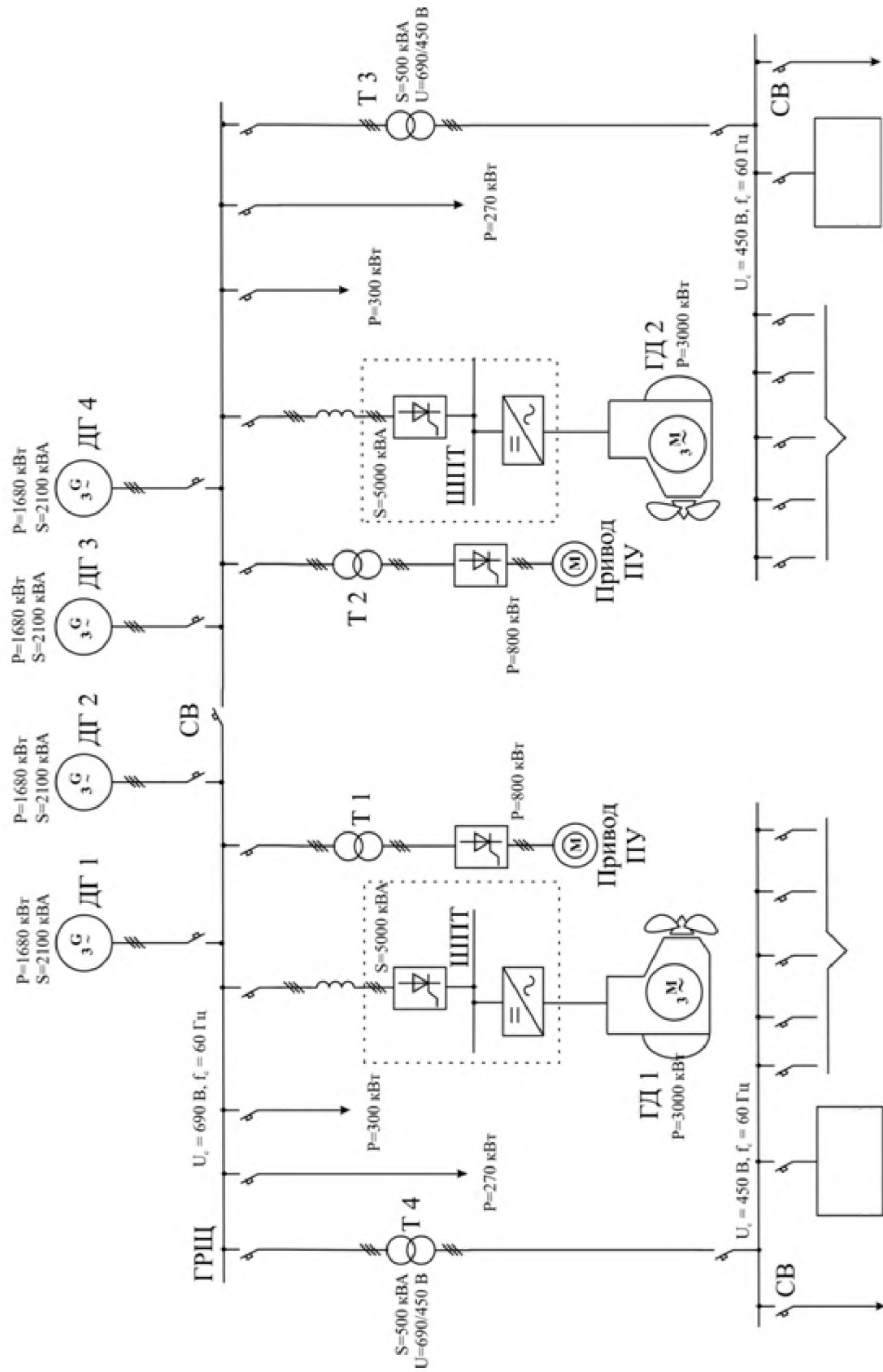


Рис. 1.4. Типова схема СЕЕС для судів класу плавзасобів

У плінні усього терміну експлуатації бурових суден вони є споживачами великої потужності.

Це пов'язане зі зміною місця буравлення, складним позиціонуванням над місцем буравлення, та й узагалі, технологія процесу буравлення шпари є неоднозначною.

Тому, для потреби забезпечення зменшення споживання електричної енергії було рекомендоване використання систем живлення головних споживачів (що підрулюють пристрої (ПУ), ГЕД, бурові установки й т.п.) на базі ТП-ДПТ. Система споживання ЕЕС для бурових судів представлена на рис. 1.5.

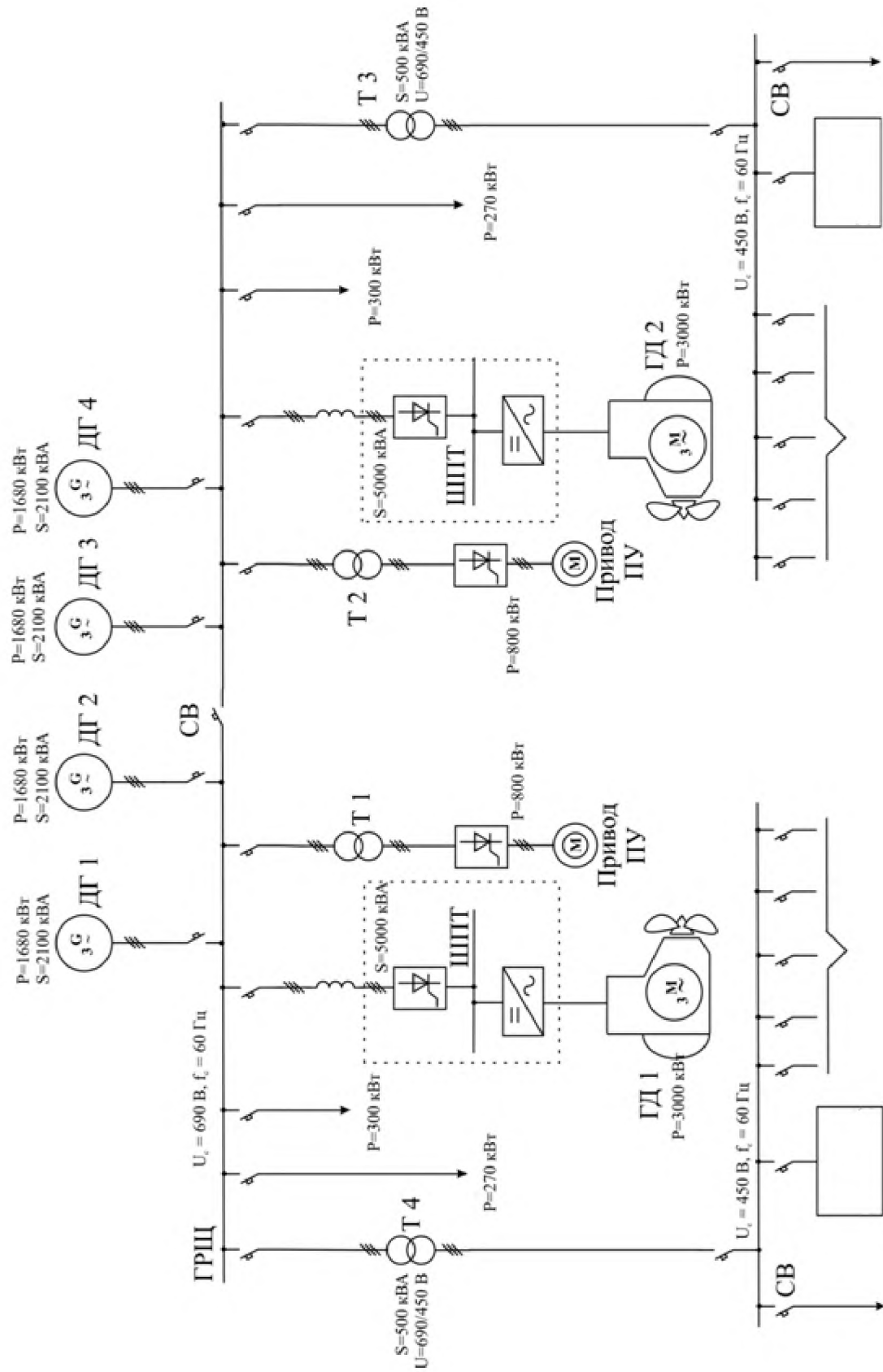


Рис. 1.5. ЕЕС для бурових судів

У зв'язку із потребами умов експлуатації, можна перелічити такі як: метеорологічні, необхідність забезпечення великої перевантажувальної здатності ЕЕС та механічної частини електроприводів – доцільним є використання системи постійного струму.

Система ЕЕС криголаму представлена на рис. 1.6.

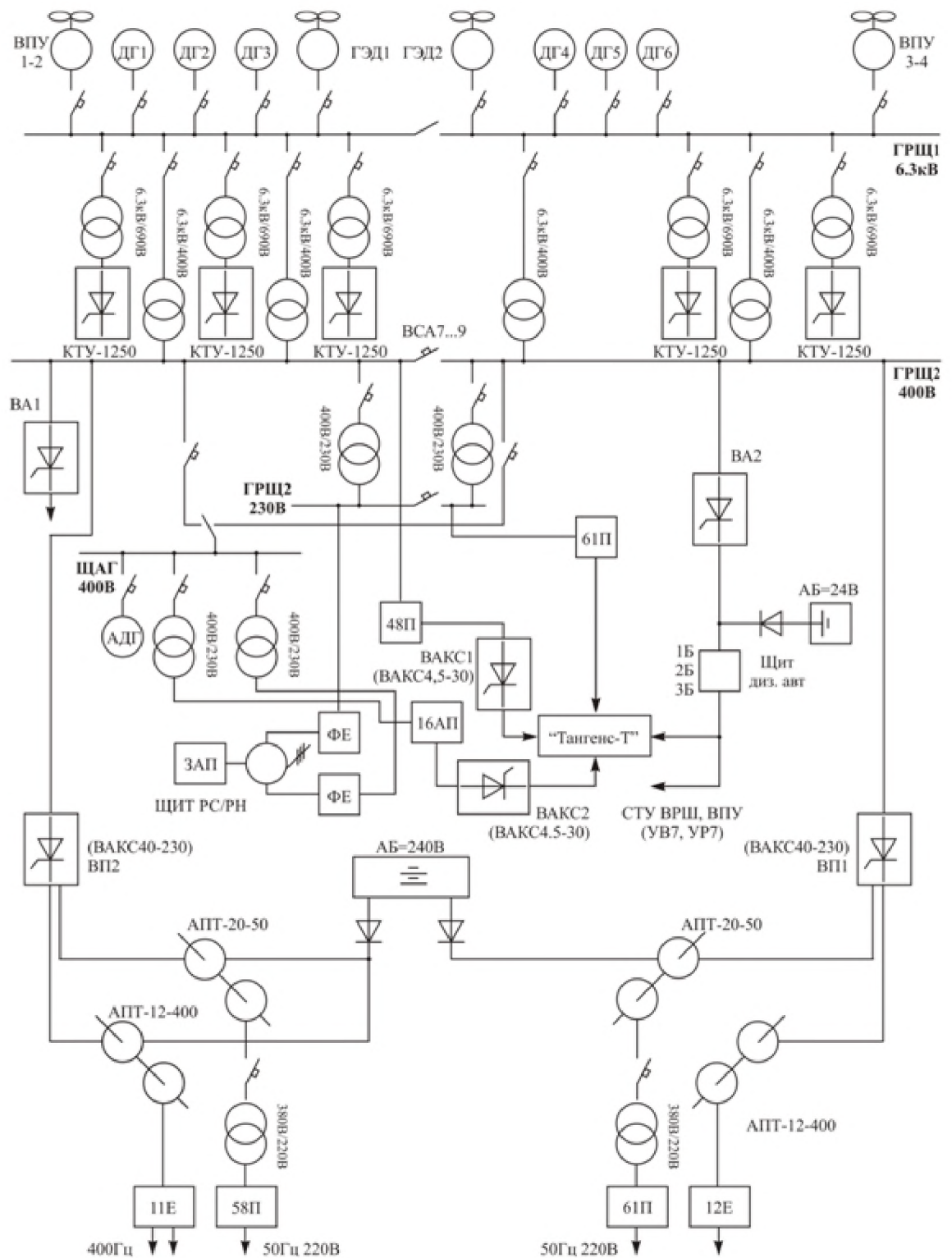


Рис. 1.6. Система ЕЕС криголаму

1.2. Приклад ЕЕС структури МС з ПП

Розглянемо типову систему МС на прикладі структурної схеми ЕЕС плавкрана, представлену на рис. 1.7.

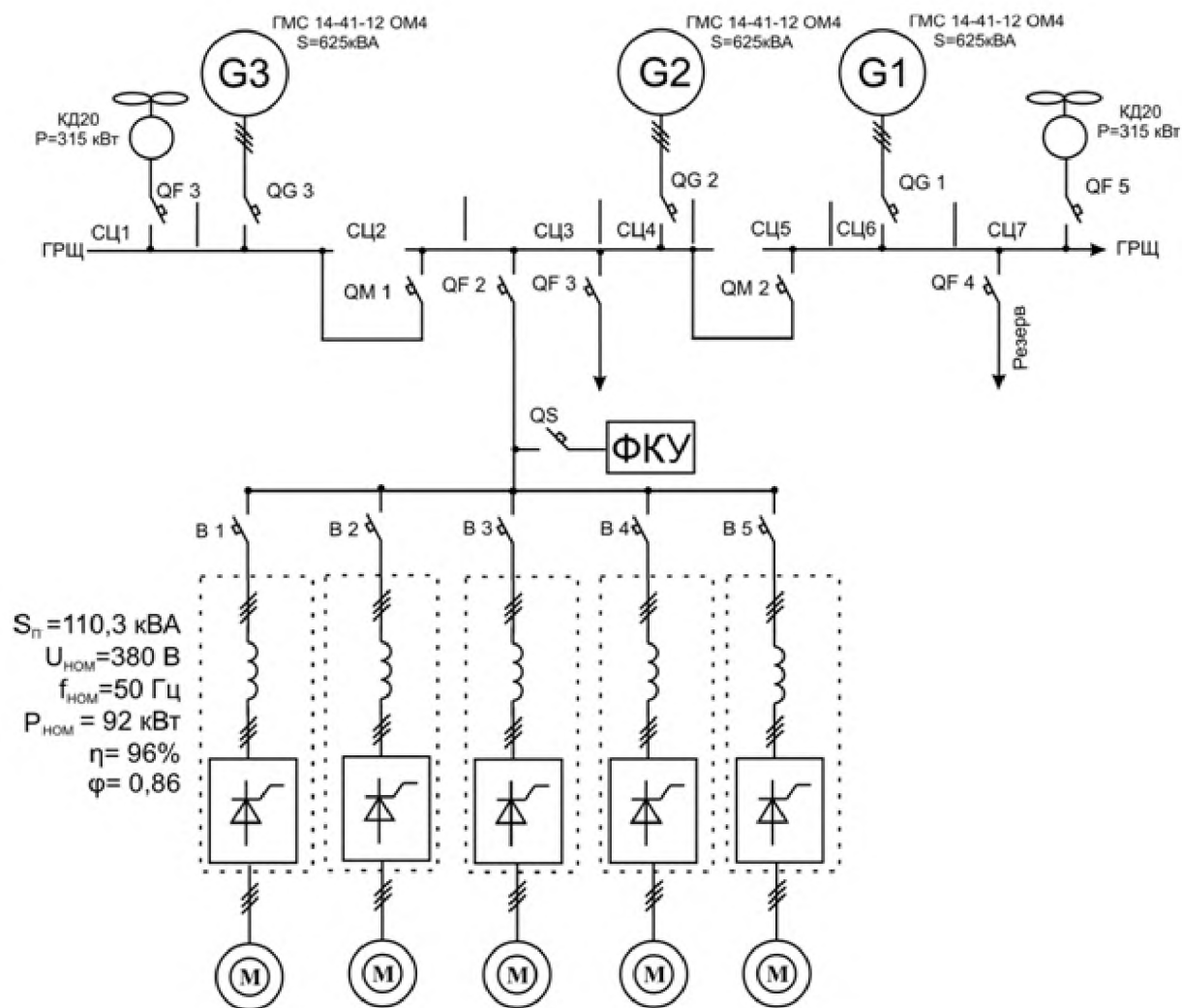


Рис. 1.7. Структурна схема ЕЕС плавкрана

1.3. Отримані дані аналізу ЕЕС

Проведемо аналіз показників використання систем ЕЕС подвійного роду струму.

Досліджуванні дані зведено в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1. Аналіз показників використання систем ЕЕС подвійного роду струму.

Параметри СЕЕС	Тип судна					
	Круїзні судна	Наливні	Суду забезпечення	Бурові судна	Криголами	Плавкрани й МС
Джерела енергії	ДГ: 5х2000 кВт ГТД: 1х1 мВт	ДГ: 4х10 мВт	ДГ: 4х1 мВт	ДГ: 6-8х3-10 мВт	ДГ: 5х6,75 мВт	ДГ: 2-4х0,5-1 мВт
Тип пропульсивної установки	Azipod	ВФШ	Azipod	Azipod, ВФШ, Athimut	Athimut, ВРШ	Athimut, Azipod, ВРШ
Напруга на шинях ГРЩ	13,8 кВ	11 кВ	0,4-0,6 кВ	8-11 кВ	до 11 кВ	0,4-1 кВ
Кількість ГЕД	2	2	2	2-4	2-4	2
Потужність ГЕД	8000 кВт	14 мВт	3 мВт	2,5-3,5 мВт	1-3 мВт	0,3-1 мВт
Тип перетворювачів	ТП, НПЧ, Цикло-конвертор	ТП, НПЧ	ТП, НПЧ	ТП, НПЧ, Цикло-конвертор	ТП, НПЧ	ТП, НПЧ, Цикло-конвертор
Потужність ТП	6–10 мВт	8–14 мВт	до 3 мВт	1–4 мВт	2,5–6 мВт	до 1 мВт
Кількість ПУ	2-4	2-4	1-2	4	до 4	2-4
Потужність ПУ	до 1 мВт	до 1 мВт	до 0,5 мВт	1-1,7 мВт	1-1,5 мВт	до 1 мВт
Наявність ФКП	Є	Є	Є	Є	Є	Є

РОЗДІЛ 2. Аналіз пасивних фільтро-компенсуючих установок і їх вплив на точність компенсації реактивної потужності й зниження несинусоїдальності напруги

Запишемо основні рівняння щодо визначення складових фільтро-компенсуючих установок:

Можна визначити:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \cdot 100\% , \quad (2.1)$$

Тоді за напругою:

$$\Delta U_{\text{вст}} = \frac{U - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\% , \quad (2.2)$$

Коефіцієнт викривлення:

$$K_{\text{НЕС}} = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

За модулем:

$$K_{MOD} = \frac{U_{m\max} - U_{m\min}}{2 \cdot U_m} \cdot 100\% \quad (2.4)$$

Тоді за напругою:

$$\Delta U_{ПЕР}^H = \frac{U_{ПЕР\min} - U_{HOM}}{U_{HOM}} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

А отже:

$$\Delta U_{ПЕР}^B = \frac{U_{ПЕР\max} - U_{HOM}}{U_{HOM}} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

Тоді частотна характеристика:

$$\Delta f_{ПЕР}^H = \frac{f_{ПЕР\min} - f_{HOM}}{f_{HOM}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

А коефіцієнт перерегулювання:

$$\Delta f_{IEP}^B = \frac{f_{IEPmax} - f_{HOM}}{f_{HOM}} \cdot 100\% \tag{2.8}$$

2.1. Визначення гармонійних складових

Можна записати:

$$\nu = mk \pm 1, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.9)$$

Тоді за струмом:

$$I_\nu = \frac{3E}{\nu\pi X_K} \sqrt{\left(\frac{\sin \frac{\nu-1}{2}\gamma}{\nu-1}\right)^2 + \left(\frac{\sin \frac{\nu+1}{2}\gamma}{\nu+1}\right)^2 - \frac{2}{\nu^2-1} \cdot \sin \frac{\nu-1}{2}\gamma \cdot \sin \frac{\nu+1}{2}\gamma \cdot \cos(2\alpha + \gamma)} \quad , \quad (2.10)$$

Коефіцієнт зсуву:

$$\varphi_\nu = \operatorname{arctg} \frac{B_1(\alpha, \gamma)}{B_2(\alpha, \gamma)} \quad (2.11)$$

Викривлення:

$$I_1 = \frac{3E}{\pi X_K} \sqrt{(\gamma + \sin \gamma)^2 - 4\gamma \sin \gamma \cos^2(\alpha + \gamma/2)}; \quad (2.12)$$

Тоді:

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg} \frac{\sin \gamma \cdot \cos(2\alpha + \gamma) - \gamma}{\sin \gamma \cdot \sin(2\alpha + \gamma)}. \quad (2.13)$$

А отже:

$$U_{\Pi\nu} = I_\nu \nu X_K. \quad (2.14)$$

Тоді характеристика:

$$U_{S\nu} = a U_{\Pi\nu}, \quad (2.15)$$

А коефіцієнт:

$$\gamma = \arccos(\cos \alpha - I_{d\Pi}^*) - \alpha;$$

$$I_{d\Pi}^* = \frac{2I_d X_K}{\sqrt{6} E k_T}. \quad (2.16)$$

Тоді узагальнений вираз:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{\nu=2}^{\infty} (I_{\nu} \nu X_S)^2}}{U_1} \quad , \quad (2.17)$$

2.2. Способи зниження гармонійного складу

У спектрах напруг і струмів ЕЕС крім канонічних гармонік, що відповідають ідеальним симетричним режимам [5, 12], присутні:

- неканонічні гармоніки основних комутаційних викривлень, обумовлені несиметрією керування (2,3,4,6,8,9,10,...) і несиметрією живлячих напруг (3,9,15,...);
- канонічні й неканонічні гармоніки ВЧК, що супроводжують комутацію вентилів (діапазон частот гармонік даного виду – одиниці – десятки кГц).

РОЗДІЛ 3. Схемотехнічні рішення фільтро-компенсуючих установок для ЕЕС МС з ПП

Оскільки підвищення фазності регульованих ПП із фазовим регулюванням випрямленої напруги практично не знижує максимальне значення коефіцієнта несинусоїдальності напруги в ЕЕС, основним засобом обмеження величини несинусоїдальності в даній системі є силові мережні фільтри [15].

3.1. Математична база некерованих ФКУ

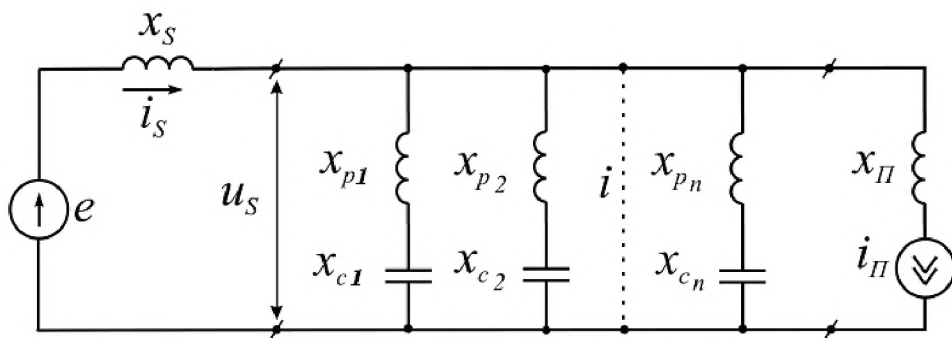
Запишемо основні рівняння:

$$X_s = \frac{U_F^2}{2 \sum_{i=1}^N \frac{S_{Fi}}{\bar{x}_{qi} + \bar{x}_{di}} + S_{AD} K_{II}}, \quad (3.1)$$

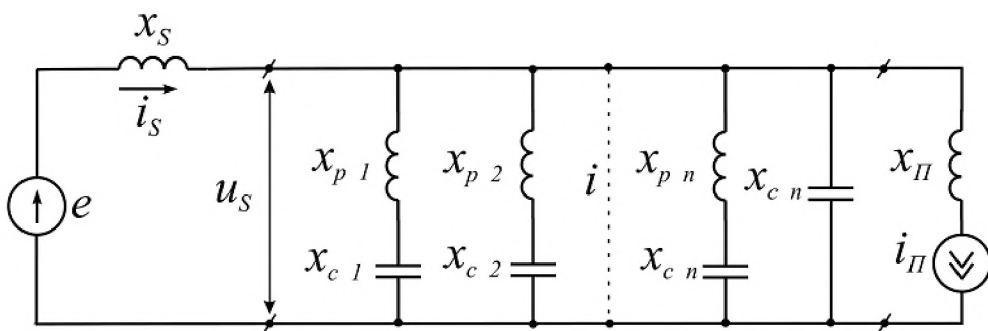
Тоді коефіцієнт несиметрії:

$$k_{I\nu} = \left(1 + \nu X_s \sum_{i=1}^l \frac{\nu}{X_{p0i} \cdot (\nu - \nu_{0i})} \right), \quad (3.2)$$

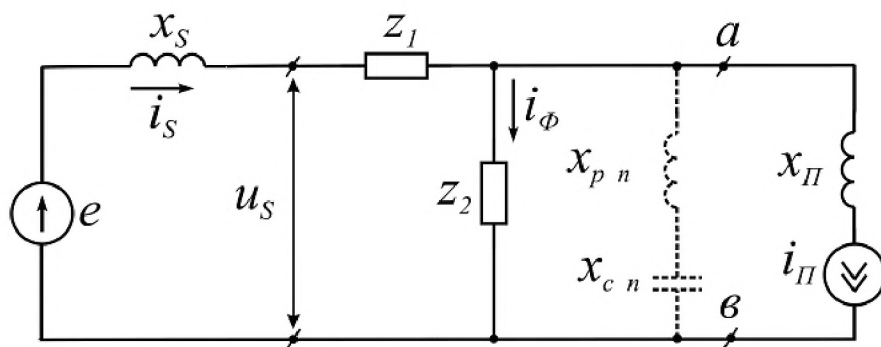
Розглянемо схеми заміщення ЕЕС з ПП.



a)



б)



в)

Рис. 3.1. Схеми заміщення ЕЕС з ПП

Тоді остаточно можна буде визначити параметри фільтро-компенсуючої установки для ЕЕС МС з ПП:

$$k_{I\nu} = \left(1 + \nu X_s \sum_{i=1}^l \frac{\nu}{X_{p0i} \cdot (\nu - \nu_{0i})} - \frac{\nu^2 X_s}{X_c} \right). \quad (3.3)$$

3.2. Аналіз керованих ФКУ

Розглянемо структуру схеми з ФКУ та ПП.

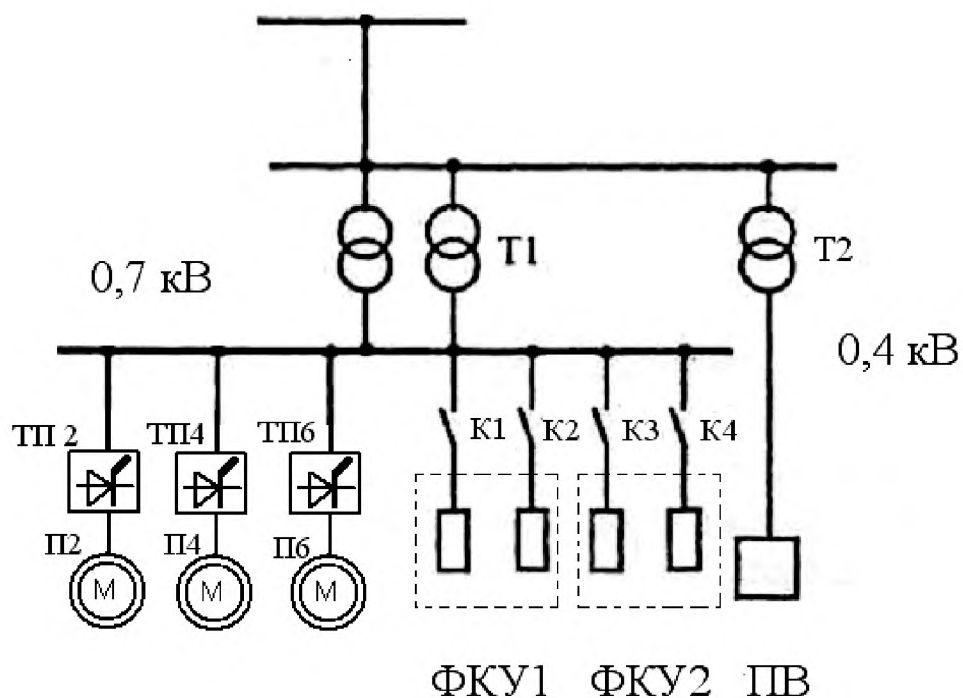


Рис. 3.2. Структура схеми з ФКУ та ПП

У якості основної вимоги до системи можна прийняти умову, що при збільшенні довжини кабельної лінії має зберігатись незмінними параметри режимів роботи технологічного обладнання, а саме швидкості, моменту та потужності головних електроприводів.

Графіки що ілюструють залежність енергетичних показників кабельної лінії від її протяжності, представлені на рис.3.3.

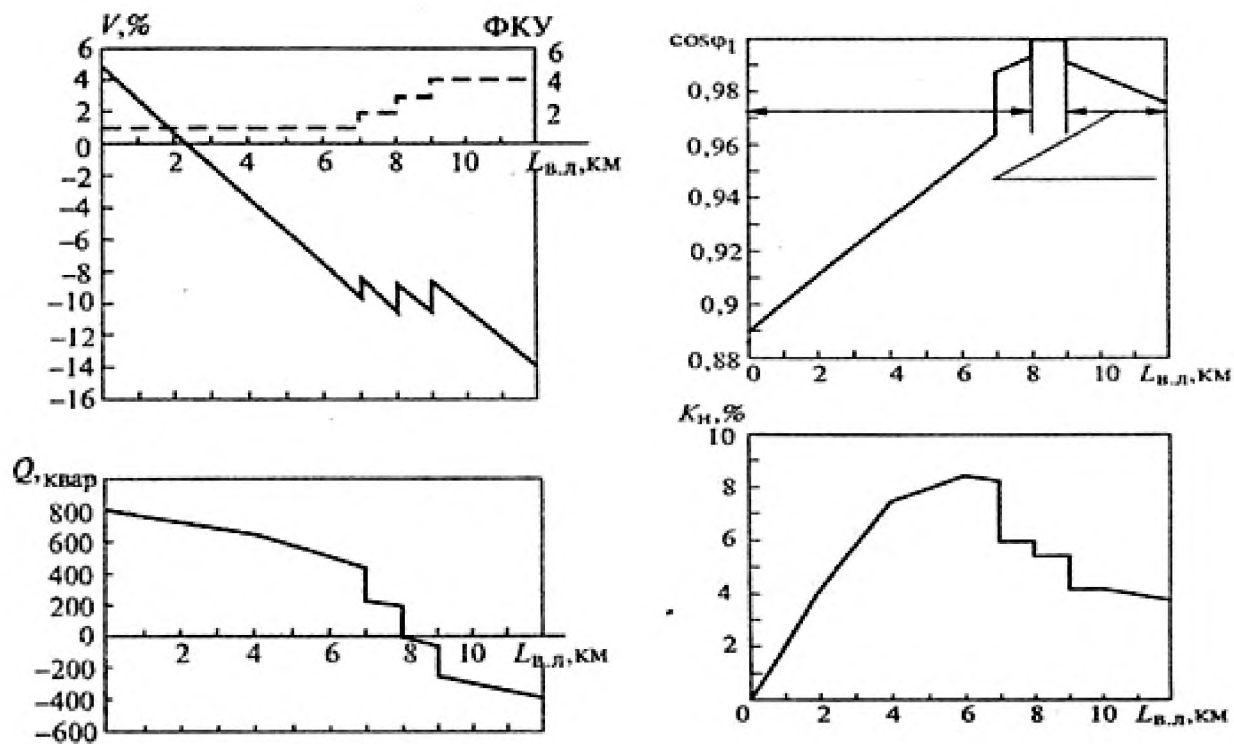


Рис. 3.3. Графіки що ілюструють залежність енергетичних показників кабельної лінії від її протяжності

Розглянемо більш удосконалену структуру.

Висновки

Мета дослідження – аналіз схемо-технічних рішень щодо зниження несинусоїдальності напруги живлення електроенергетичних систем плаваючих засобів за рахунок компенсації реактивної потужності.

Об'єкт дослідження – електроенергетична система плаваючих засобів.

Предмет дослідження – напруга живлення електроенергетичної системи плаваючого засобу.

У роботі були розглянуті основні аспекти різних за своєю структурою морських суден.

Було визначено важливість схемотехнічних рішень щодо забезпечення плавності регулювання характеристик ЕЕС з ПП.

Були отримані характеристичні рівняння щодо визначення гармонійних складових.

Були розглянуті перехідні процеси при складанні контурів компенсації несинусоїдальності напруги мережі живлення.

Були розглянуті можливості застосування пасивних ФКУ у їх керованому та некерованому рішенні.

Були отримані енергетичні розподіли складових потужності на прикладі системи живлення МС з ПП.

Розглянуто питання застосування ступінчастої схеми ФКУ з реалізацією впливу нелінійного навантаження та визначенням гармонійних показників у мережі живлення МС з ПП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Derek A. Paice: Power Elektronik Converter Harmonics. IEEE Press. New-York. 1996.
2. Sabin D.Daniel, Sundaram Ashok. Quality Enhances Reliability//Spectrum IEEE. 1996. № 2. С. 38-44.
3. Dixon J., Contardo J., Moran L. DC Link Fuzzy Control for an Active Power Fitter, Sensing the Line Current Only // Proc. IEEEPESC, Vol. 2.-1997.-P. 1109-1114.
4. Wagner, V.E. Chairman. (1993). IEEE task force on the effects of harmonics on equipment. Effects of harmonics on equipment, IEEE Transactions on Power Delivery, 8(2) 672-680.
5. J. Mindykowski, M. Szweda, T. Tarasiuk: Voltage and frequency deviations in exemplary ship's network – research for ship owner. Electrical Power Quality and Utilisation, Magazine Vol. I, No 2,2005, pp. 55-61.
6. IEC 61000-4-30. Testing and Measurement Techniques Power Quality Measurement Methods.
7. T. Tarasiuk, J. Mindykowski: How to Measure and Estimate the Power Quality Parameters in Ship Systems Proceedings of the 23th IEEE Instrumentation and Technology Conference, 24-27 April, Sorrento, Italy, 2006, pp. 1608-1613.
8. IEC 60092-101. Electrical installations in ships. Definitions and general requirement.
9. R. Dugan, M. McGranaghan, S. Santoso, H. Wayne Beaty: Electrical Power Systems Quality. 2nd ed. 2003
10. A. Shpilberg, S. Muchiyev, T. Yung: Passive programmable wide-range filter, Patent WO 99/38256. 29 July 1999

11. Матеріали інтернет ресурсу: <http://www.abb.com/marine>
12. Матеріали інтернет ресурсу: <http://www.bmt.org>
13. Матеріали інтернет ресурсу: www.sam-electronics.de
14. Матеріали інтернет ресурсу: www.ntnu.no
15. Матеріали інтернет ресурсу: www.abb.com/controlsystems
16. Матеріали інтернет ресурсу: EPCOS AG, www.epcos.com
17. Матеріали інтернет ресурсу: ABB, <http://www.abb.ua>
18. Матеріали інтернет ресурсу: Schneider Electric, <http://www.schneider-electric.com.ua>

ДОДАТКИ

Суда і МС з ЕЕС подвійного роду струму

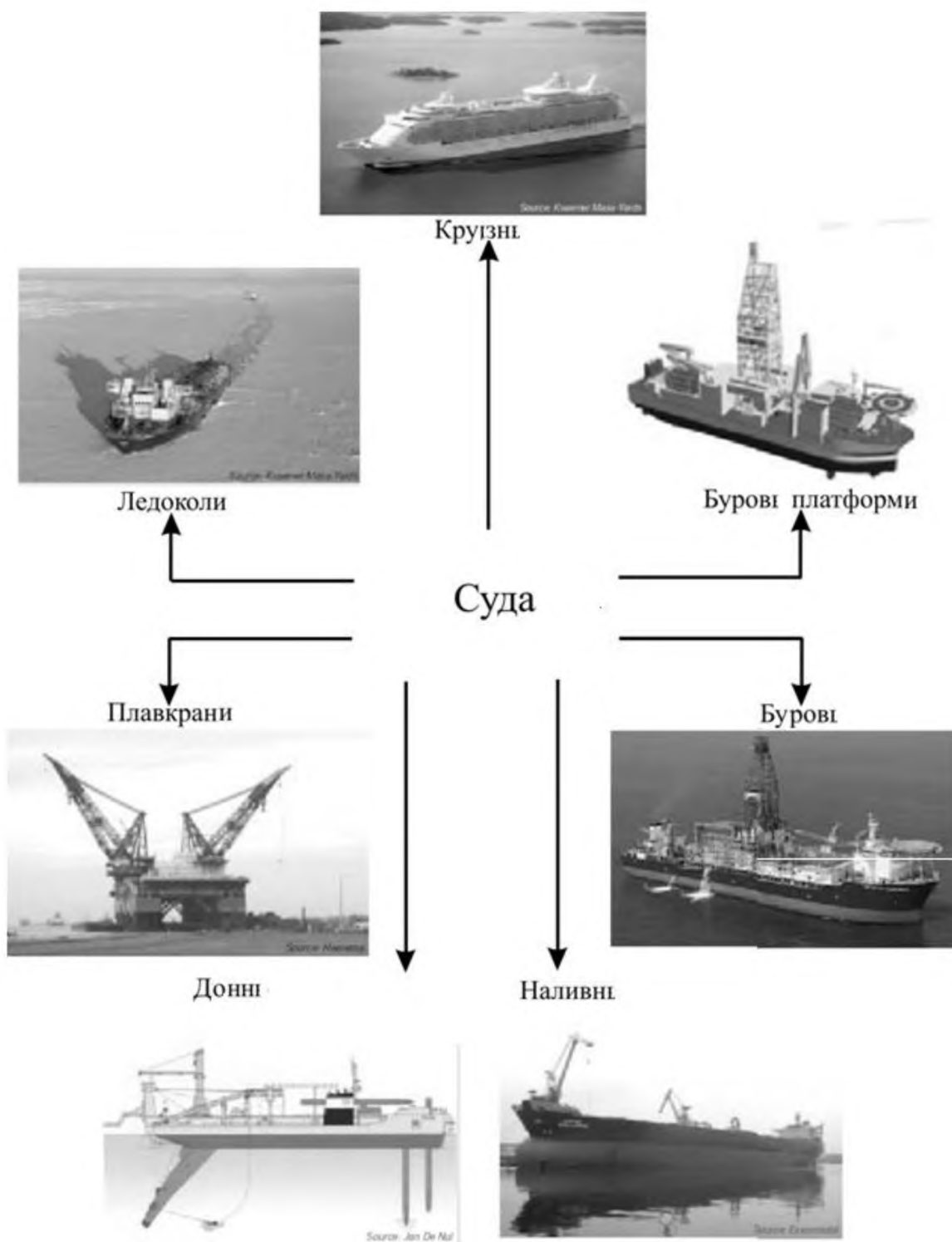
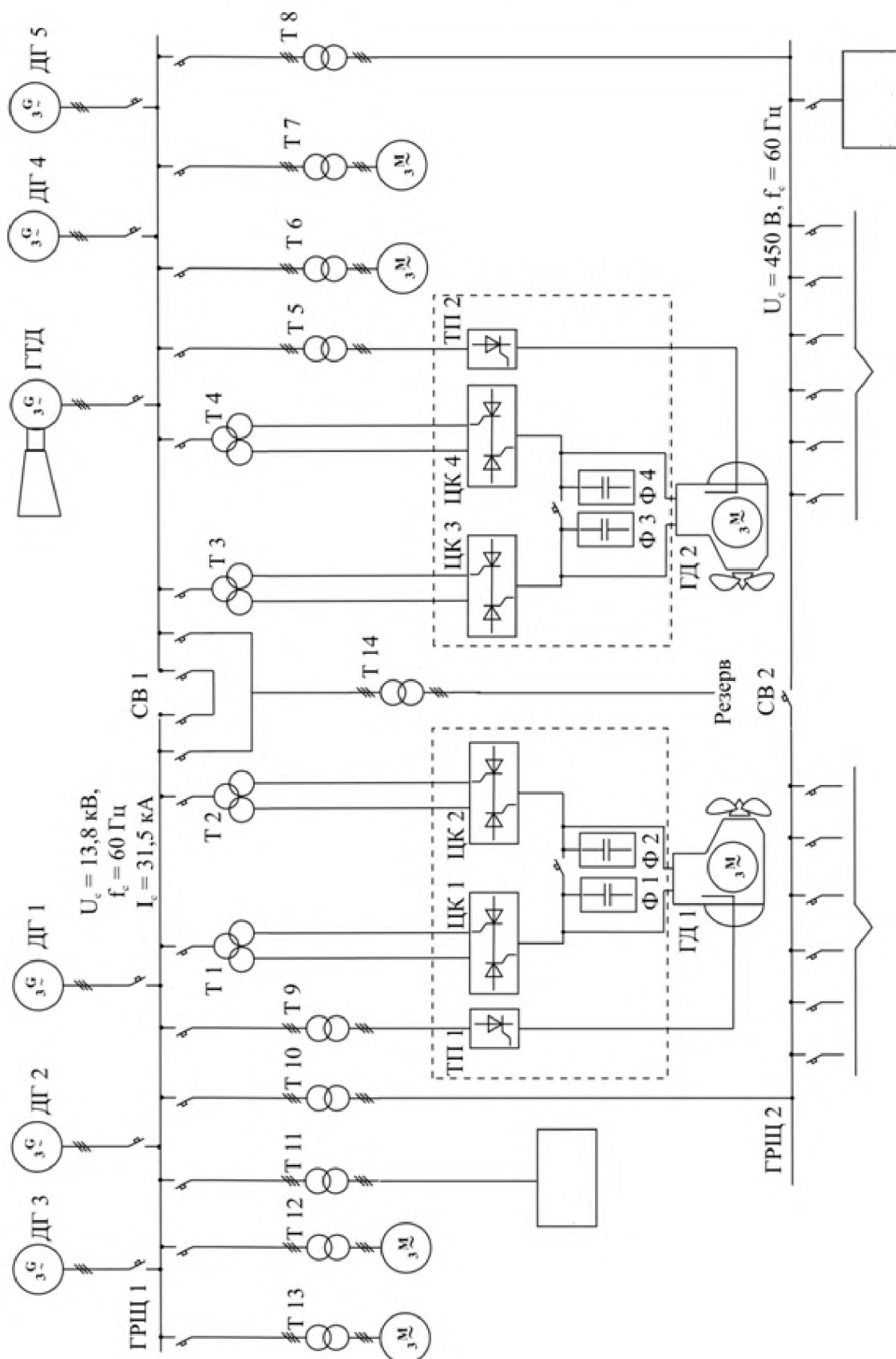
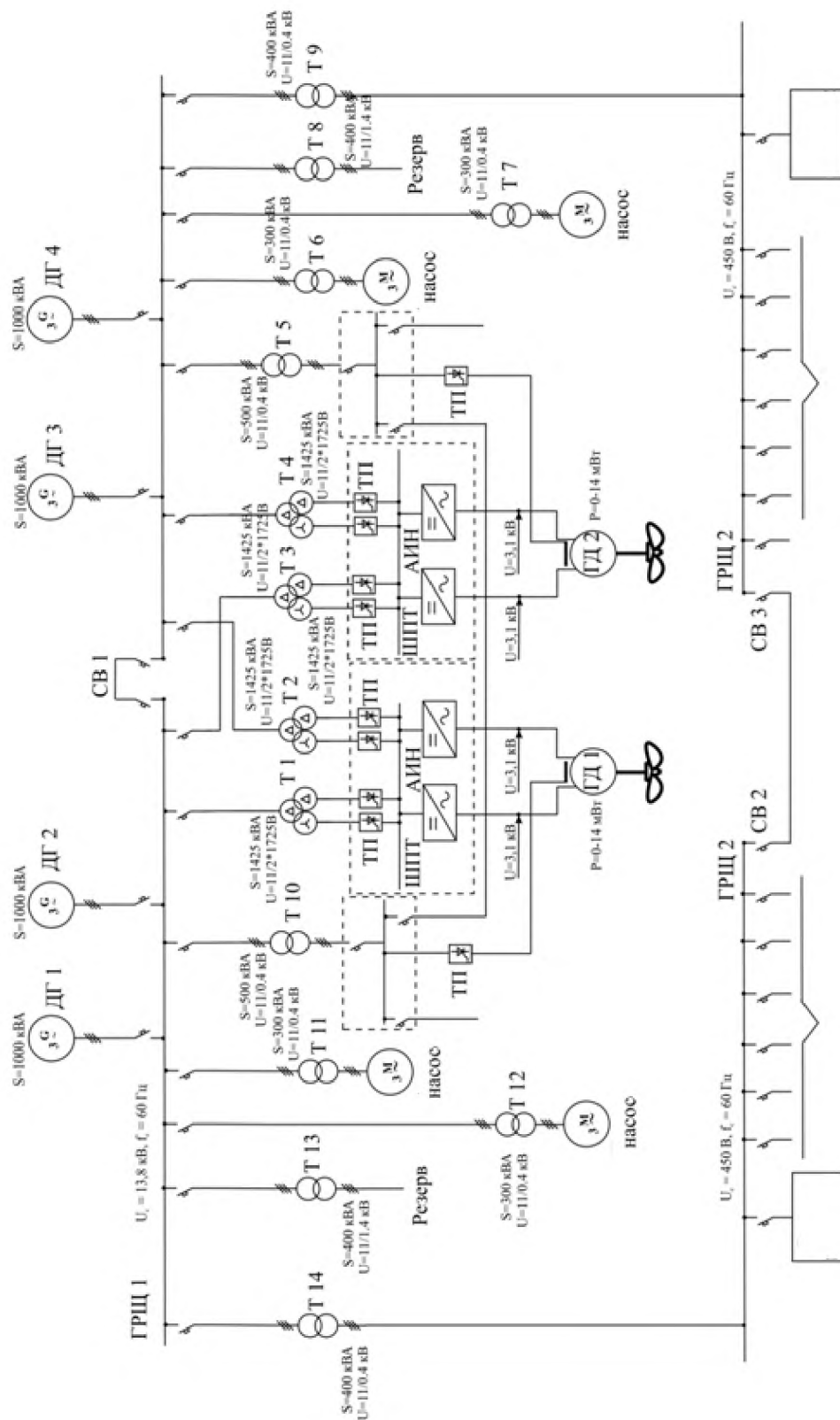


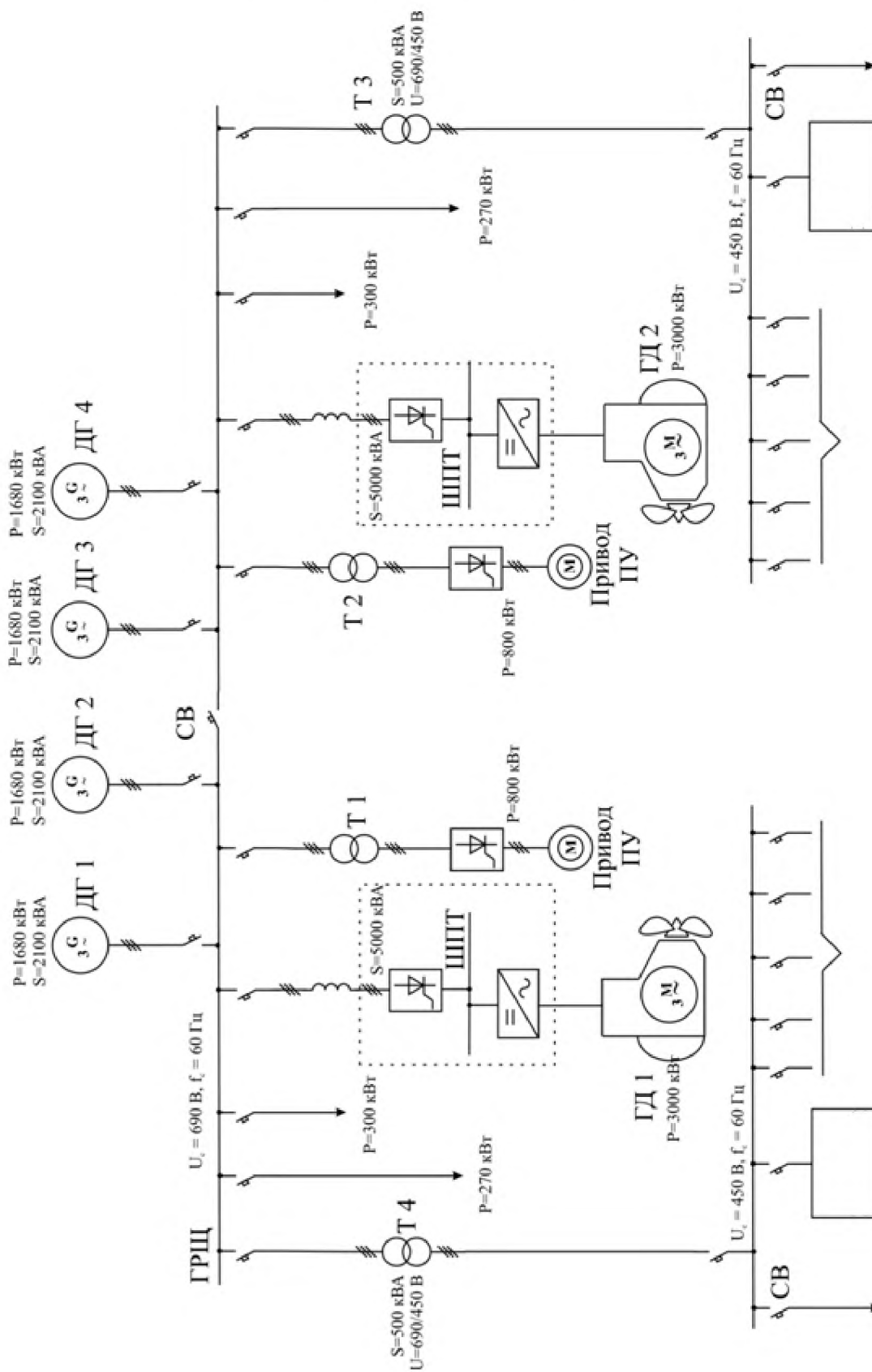
Схема ЕЕС подвійного роду струму



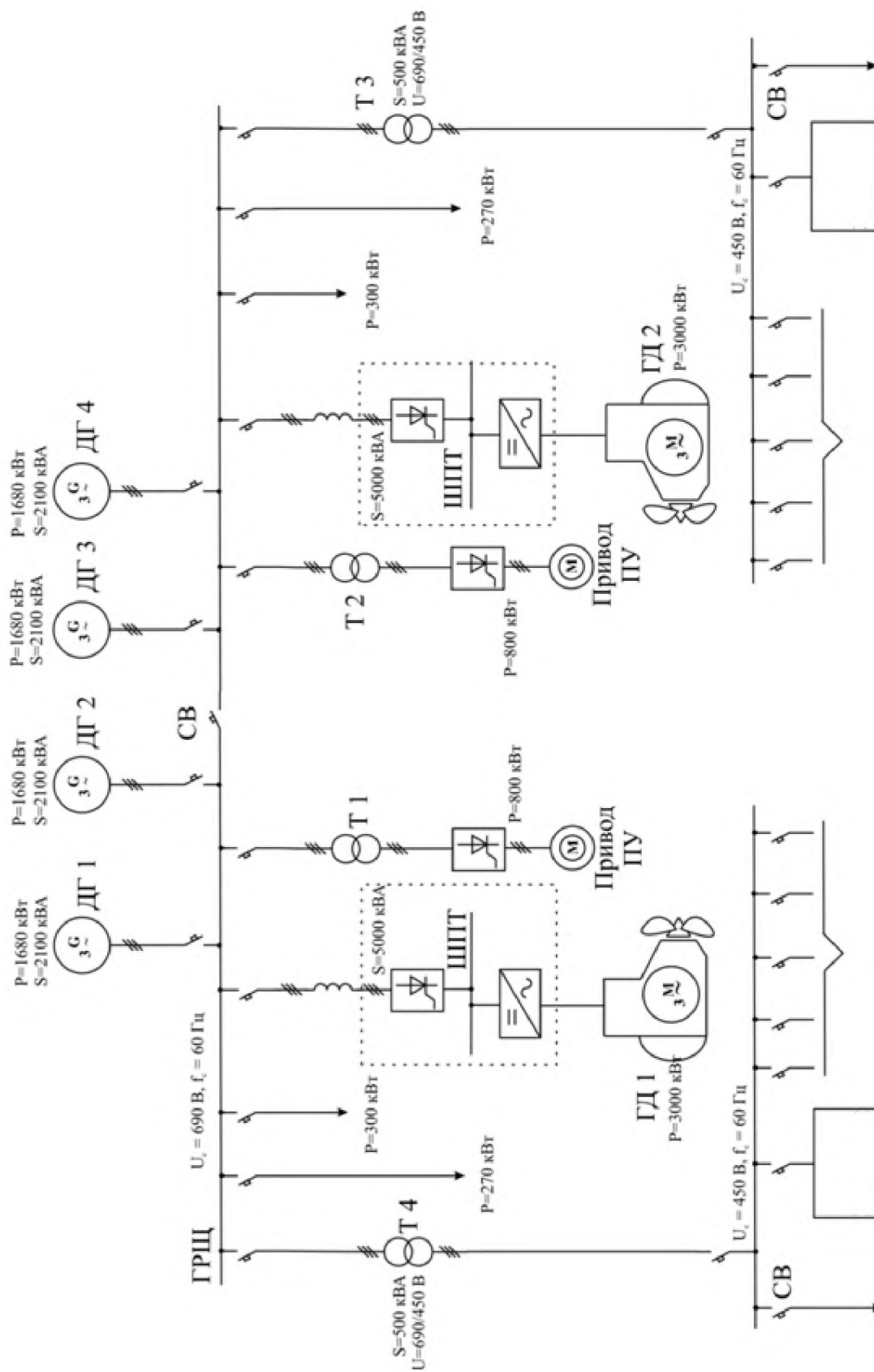
ЕЕС подвійного роду струму, що реалізовано на морських судах
наливного класу

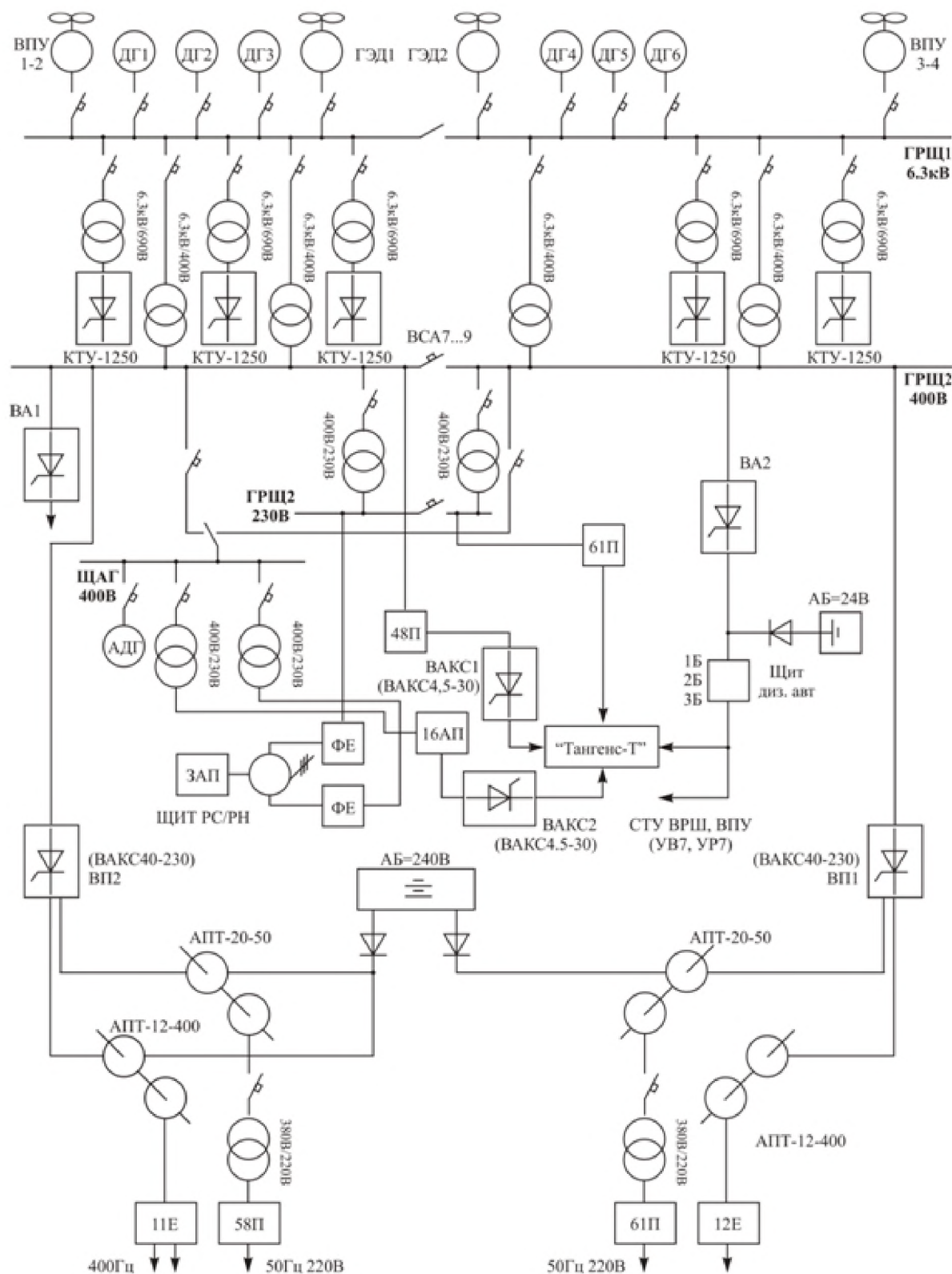


Типова схема СЕЕС для судів класу плавзасобів

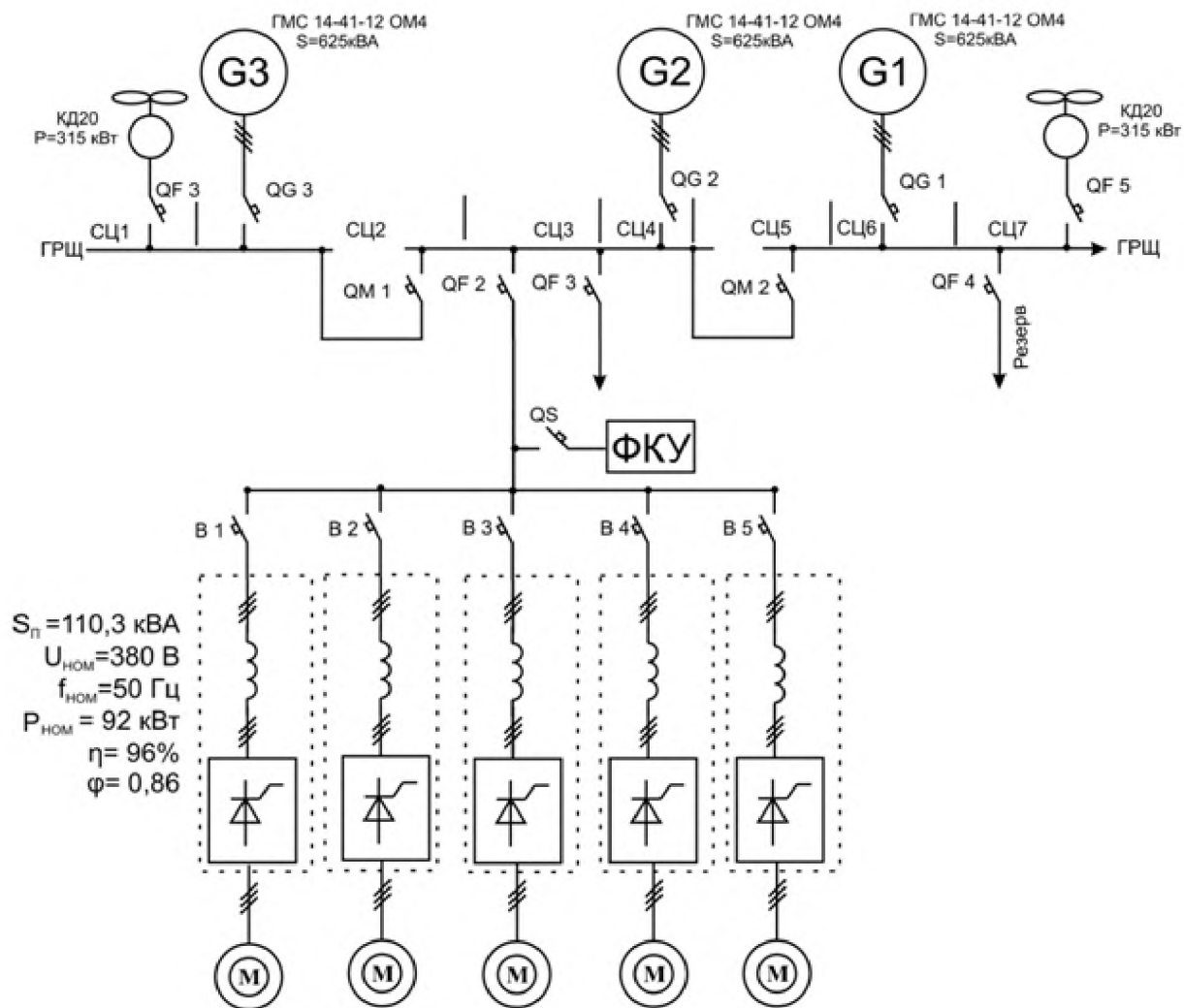


ЕЕС для бурових судів





Структурна схема ЕЕС плавкрана

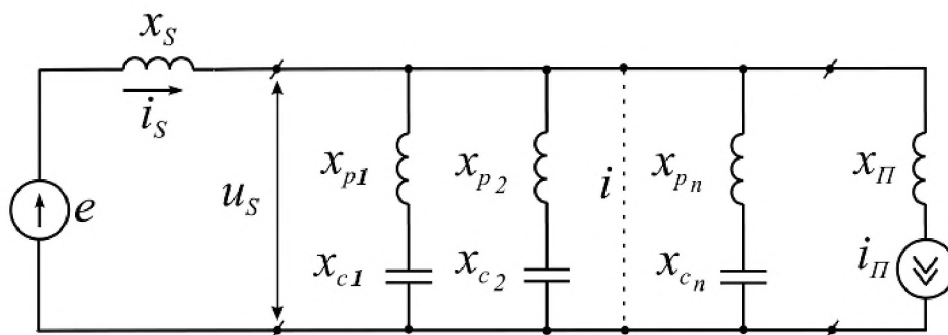


Аналіз показників використання систем ЕЕС

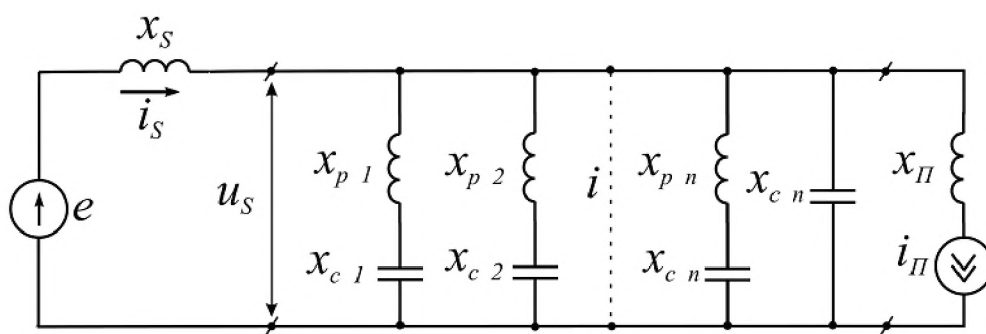
подвійного роду струму

Параметри СЕЕС	Тип судна					
	Круїзні судна	Наливні	Суду забезпечення	Бурові судна	Криголами	Плавкрани й МС
Джерела енергії	ДГ: 5х2000 кВт ГТД: 1х1 мВт	ДГ: 4х10 мВт	ДГ: 4х1 мВт	ДГ: 6-8х3-10 мВт	ДГ: 5х6,75 мВт	ДГ: 2-4х0,5-1 мВт
Тип пропульсивної установки	Azipod	ВФШ	Azipod	Azipod, ВФШ, Athimut	Athimut, ВРШ	Athimut, Azipod, ВРШ
Напруга на шинях ГРЩ	13,8 кВ	11 кВ	0,4-0,6 кВ	8-11 кВ	до 11 кВ	0,4-1 кВ
Кількість ГЕД	2	2	2	2-4	2-4	2
Потужність ГЕД	8000 кВт	14 мВт	3 мВт	2,5-3,5 мВт	1-3 мВт	0,3-1 мВт
Тип перетворювачів	ТП, НПЧ, Цикло- конвертор	ТП, НПЧ	ТП, НПЧ	ТП, НПЧ, Цикло- конвертор	ТП, НПЧ	ТП, НПЧ, Цикло- конвертор
Потужність ТП	6–10 мВт	8–14 мВт	до 3 мВт	1–4 мВт	2,5–6 мВт	до 1 мВт
Кількість ПУ	2-4	2-4	1-2	4	до 4	2-4
Потужність ПУ	до 1 мВт	до 1 мВт	до 0,5 мВт	1-1,7 мВт	1-1,5 мВт	до 1 мВт
Наявність ФКП	Є	Є	Є	Є	Є	Є

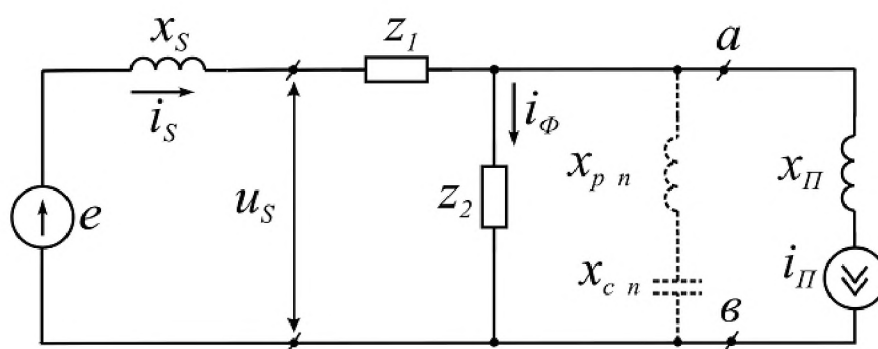
Схеми заміщення ЕЕС з ПП



a)

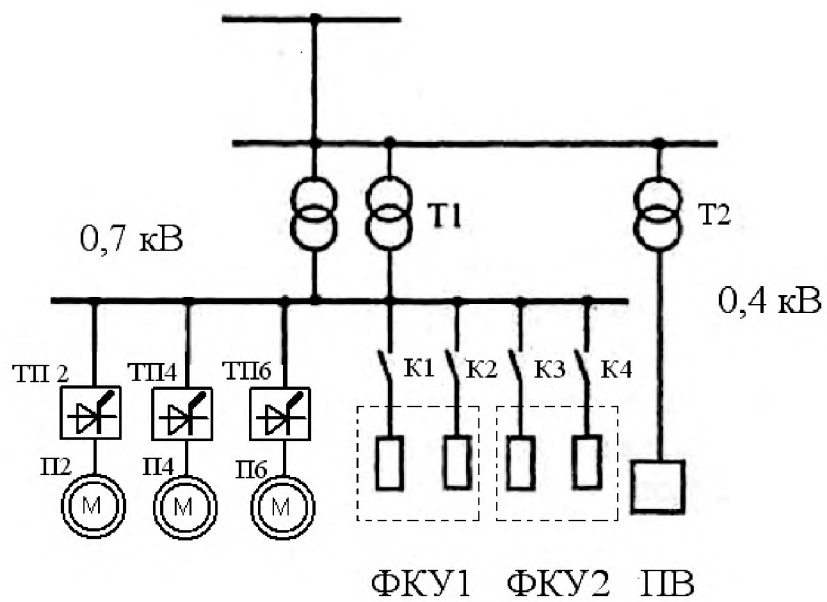


б)

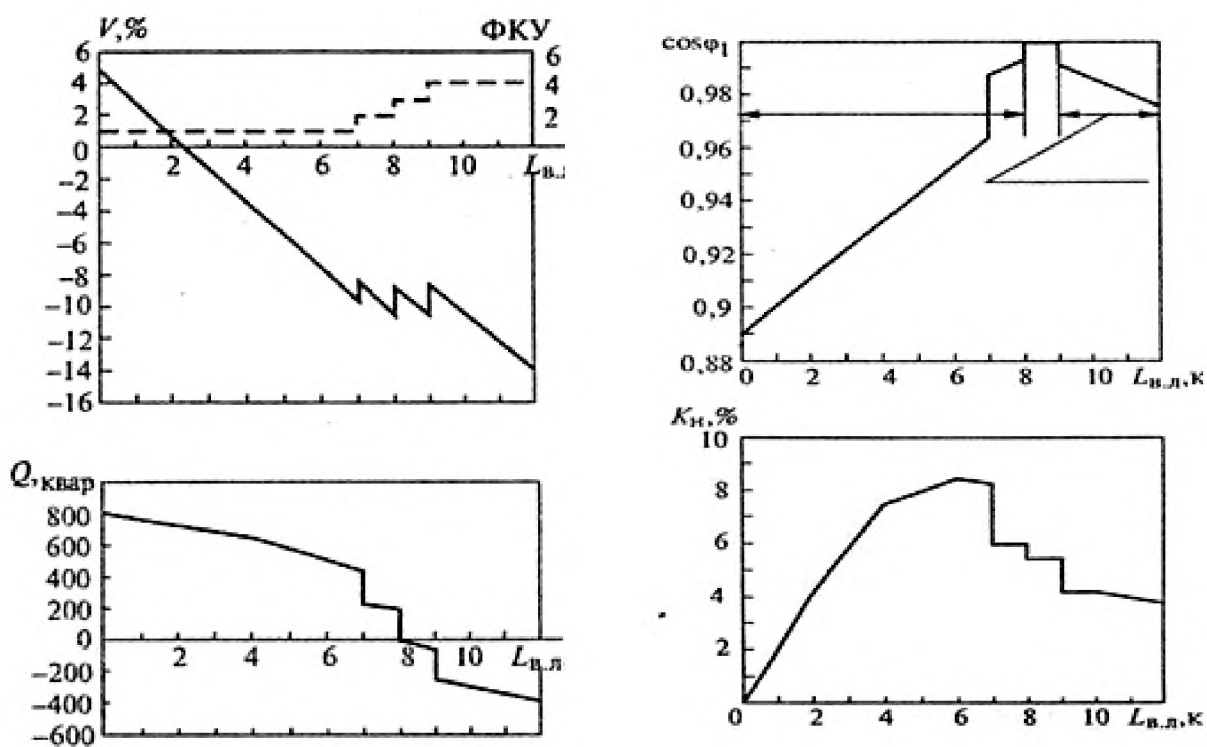


в)

Структура схеми з ФКУ та ПП



Графіки що ілюструють залежність енергетичних показників кабельної лінії від її протяжності



ФКУ зі східчастим регулюванням

