

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА СХЕМНИ РЕШЕНИЯ ЗА КОРАБНИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ С ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ПРОПУЛСИВНИ УРЕДБИ

Валентин Гюров, Пламен Парушев, Гинка Иванова, Милен Дуганов
valentin.giurov@tu-varna.bg, pvparushev@abv.bg, ginkahivanova@tu-varna.bg, m.duganov@tu-varna.bg

Технически университет-Варна
ул. „Студентска” №1, 9010 Варна
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: корабни електроенергийни системи, електрически пропульсивни уредби, електрообзавеждане на кораба.

Резюме: При своето историческо развитие, основната архитектура на корабните електроенергийни системи преминава от постояннотокова (DC) към променливотокова (AC), която е масово използваната на съвременните кораби и плавателните средства. Това е предизвикано от развитието на електрообзавеждането, видовете електрически потребители и нуждата от все по-големи мощности и нива на напрежение. Същевременно с това, на корабите се наблюдава все по-широка употреба на електрически пропульсивни уредби, които претърпяха своето развитие от AC-AC конвертори (циклоконвертори и др.) до съвременни честотни AC-DC-AC регулатори, използвани в AC мрежа. Преминването към изцяло електрическо пропульсивно задвижване, съчетано с масовото внедряване на електронни преобразуватели и VFD на всички звена от системата, както и нуждата от лимитиране разпространението на висшите хармоници и реактивните мощности в цялата система, предопределя възможността за все по-широко използване на кораби с хибридна AC/DC/AC архитектура. Понастоящем може да се считат за единични случаи при големите кораби, съответно при електроенергийни системи с голяма мощност, но вече са много често срещано решение в малотонажното корабостроене (яхти, суперяхти, малки плавателни съдове, електрически моторни лодки и др.). Архитектурата може да се класифицира като особено перспективна поради още три значими фактора, определящи нейното развитие: възможност за преминаване на концепция за запазване от акумулатори за характерен времеви период (запазвани от мощни Li-ion акумулатори в зоните на пристанищата и при маневриране с оглед постигане на нулеви емисии на парникови газове в близост до населени места); възможност за лесно интегриране на възобновяеми енергийни източници и в частност фотоволтаични модули; възможност за реализиране на унифицирани системи за брегово електрозахранване.

В доклада е представен сравнителен анализ на различните архитектури на корабни електроенергийни системи, като особено внимание се обръща на възможностите за внедряване на хибридни AC-DC-AC архитектури, техните основни предимства и оценка на евентуалните проблеми при реализацията им.

ВЪВЕДЕНИЕ

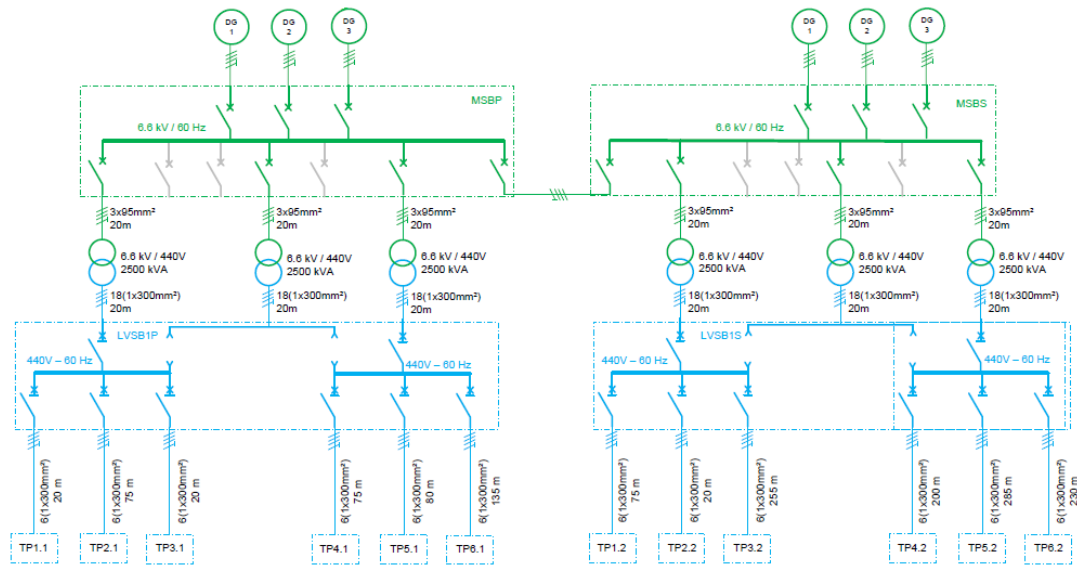
Още с възникването си в края на 19-ти и началото на 20-ти век, корабните електроенергийни системи в унисон със съществуващото ниво на техниката са ползвали съответните схемни решения, предопределени до голяма степен от видовете електрически машини и използваните напрежения. Първите схеми са ползвали изцяло постояннотокова архитектура (DC генератори, DC шинна система и DC електрически потребители). Въпреки ускореното навлизане на AC мрежите в началото на 20-ти век, проектирането на корабни електроенергийни системи е показало известен консерватизъм чак до средата на 20-ти век, запазвайки DC мрежите. Причина за това е бил баланса между положителни и отрицателни фактори между двете основни архитектури, като при относително малките мощности, предимствата на DC мрежите, свързани с лесно управление на генераторите и електрическите задвижванията с конвенционални средства, лесно осигуряване на аварийно хранване с акумулатори и др., е бил надделяващ фактор над увеличените масогабаритни размери и по-сложната експлоатация на машини с колекторночетков апарат, още повече, че последното до голяма степен се определя от качеството на ремонта и компетенцията на експлоатационния персонал, което специално при корабните екипажи винаги е било на достатъчно високо ниво. В този тип мрежи, проблемите свързани с реактивни мощности, хармонични замърсявания и др. обект на настоящия проект, практически не са съществували. По същество всички мрежи са били DC на ниво ниско напрежение (до 1000V) и проблемите, свързани с тяхното управление, са се свеждали до осигуряване на баланс на мощностите и ниво на напрежението.

С развитието на корабостроенето и строителството на все по-големи кораби, съответно притежаващи много по-големи инсталирани мощности, както и навлизането на нови по характер електрически потребители, се е появила нуждата от използване на различни нива на напрежение - средно (MV) и ниско (LV), а същевременно по-добрите масогабаритни показатели на AC машините са се оказали много по-значим фактор. Това е предопределило преминаването на архитектурата на мрежите към изцяло променливотокова с конвенционално управление, като в енергийния микс се появяват и неактивни мощности – реактивна и пулсираща [1], [2], [3].

През 70-те години на 20-ти век се наблюдава масово навлизане на силнотоково и слаботоково електронно електрообзавеждане и електрооборудване, което води до съответните проблеми, свързани с качеството на електрическата енергия и режими на електропотребление, които са актуални и до днес.

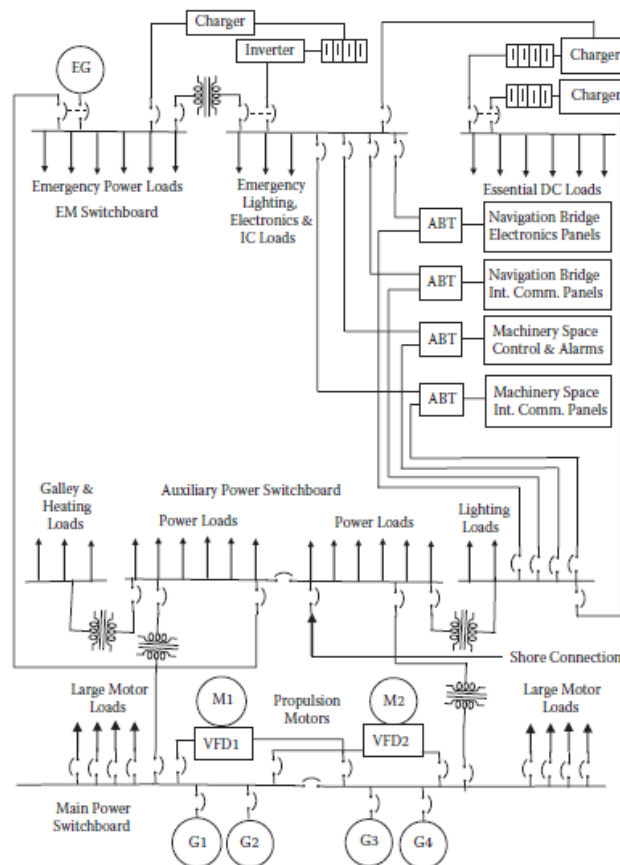
КОНВЕНЦИОНАЛНИ ПРОМЕНЛИВОТОКОВИ (AC) И ХИБРИДНИ (AC-DC-AC) КОРАБНИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ

В края на 80-те и началото на 90-те години на 20-ти век започва и постепенното масово навлизане на честотното управление на асинхронни задвижвания, а също така и управлението на електрически пропульсивни уредби със силови електронни преобразуватели – отначало циклоконвертори, а понастоящем честотни регулатори (VFD), Този тип архитектура и нейните близки усъвършенствания са основните за съвременните кораби. В наши дни схемотехниката се определя в голяма степен от вида на основното задвижване на кораба – с двигатели с вътрешно горене, задвижващи валова линия и винт, или с електрически пропульсивни уредби. Първите са все още преобладаващо решение за всякакви видове кораби за превоз на товари.



Фиг. 1. Конвенционален тип АС схема на контейнеровоз със секционирана шинна система и работни напрежения 6.6 kV и 0.44 kV.

Конвенционална АС схема на контейнеровоз, базирана на употребата на две нива на напрежение – 6.6 kV и 0.44 kV е показана на Фигура 1. Основното задвижване на кораба е двигатели с вътрешно горене и валовиния задвижваща корабни винтове.

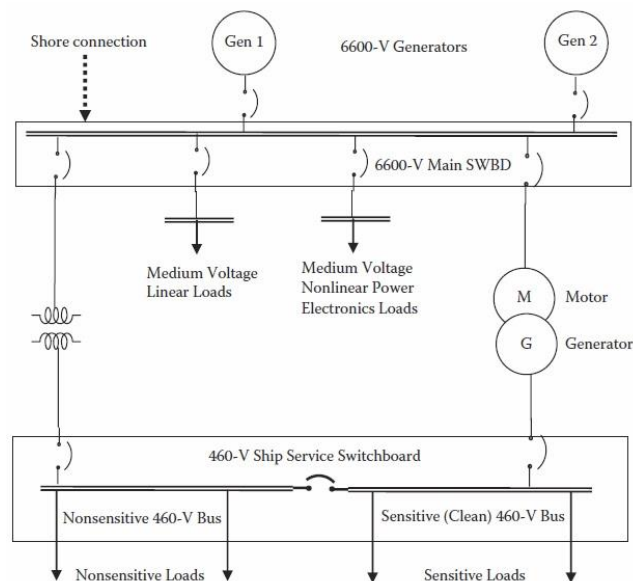


Фиг. 2. Конвенционален тип АС схема на пасажерски кораб с четири нива работни напрежения - 6.6 kV и 0.44/0.23/0.11 kV

Характерна схема от вторият тип кораби (с електрическо пропульсивно задвижване с честотно управление) е показана на Фигура 2. Схемата е типична за големи па-

сажерски кораби и се типизира като конвенционален АС тип с различни нива на напрежение. Схемата осигурява трикратно резервиране на критично важните потребители за сигурността на плаване (от друга секция генератори, от аварийен генератор и от акумулаторни уредби за крайни потребители). Наличието на голямо многообразие трифазни и еднофазни консуматори, силова електроника, конвенционални елементи с висока индуктивност (силови трансформатори, двигатели, генератори) и др., предопределят наличието на всички проблеми, свързани с режими на електропотреблението, режими на активната и неактивните мощности, висши хармоници на тока и напрежението, електромагнитна съвместимост. Всички те изискват постоянно усъвършенстване на методите за анализ и оценка на влиянието им, както и методите за минимизиране на вредното им въздействие.

Един от традиционните начини за локализиране действието на висшите хармоници на напрежението и тока е използването на концепцията „чиста мрежа” („clean bus”). Това е свързано с използването на специално звено двигател-генераторна („леонардова”) група. Решението е свързано с висока техническа сложност при експлоатацията на съоръженията, а също така и увеличени загуби на мощност, предизвикано от използването на две допълнителни електрически машини, които служат единствено за пълно галванично разделяне. Пример за такъв тип система е показан на Фигура 3. За кораби с по-голяма мощност решението е технически нецелесъобразно, т.к. двигател-генераторната група трябва да бъде с мощности от порядъка на стотици kW, което освен останалите недостатъци, води до недопустимо увеличаване на масогабаритните размери на корабната електроенергийна система.

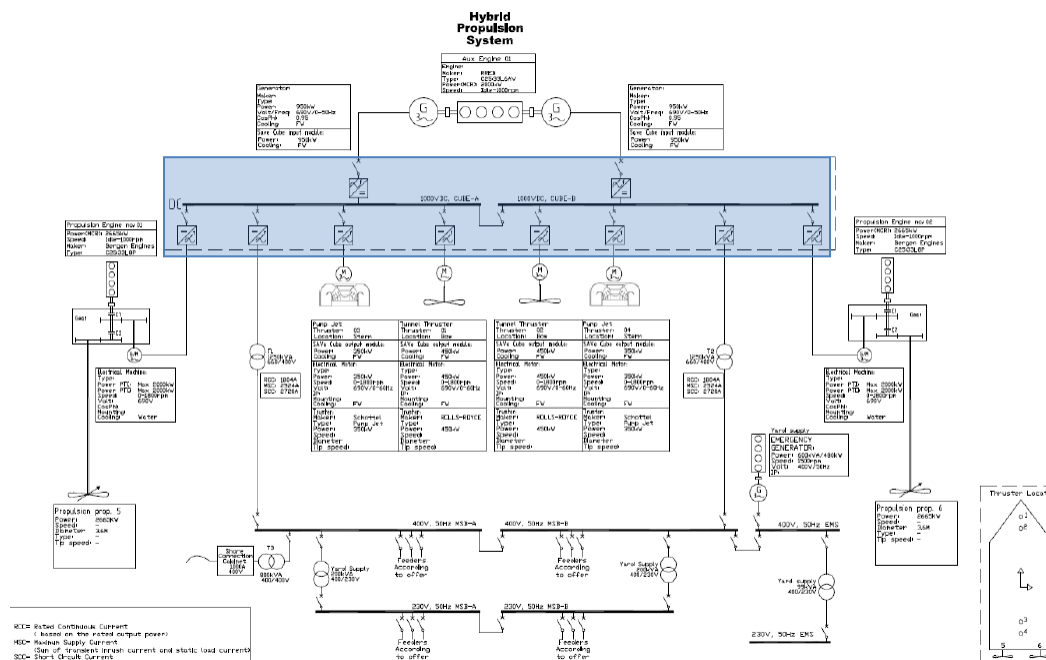


Фиг. 2. Конвенционален тип АС схема с работни напрежения 6.6 kV и 0.460kV в концепция „чиста мрежа”

ХИБРИДНИ АС/DC/АС АРХИТЕКТУРИ И ТЕХНИТЕ ПЕРСПЕКТИВИ

Преминаването на изцяло електрическо пропульсивно задвижване, съчетано с масовото внедряване на електронни преобразуватели и VFD на всички звена от системата, както и нуждата от лимитиране разпространението на висшите хармоници и реактивните мощности в цялата система, предопределя възможността за все по-широко използване на кораби с хибридна АС/DC/АС архитектура [4], [5]. Понастоящем може да се считат за единични случаи при големите кораби, съответно при електроенергийни

системи с голяма мощност, но вече са много често срещано решение в малотонажното корабостроене (яхти, супер-яхти, малки плавателни съдове, електрически моторни лодки и др.). Горепосоченото определя този тип архитектура като особено перспективна и с очакване да стане доминираща в близките години. Това изисква разработването на нови и усъвършенстването на съществуващи методи за оценка на качеството на електрическата енергия, режимите на електропотребление и загубите на мощност в такъв тип системи.



Фиг. 3. Хибриден тип AC/DC/AC корабна електроенергийна система.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният сравнителен анализ описва предимствата и недостатъците на използваните архитектури в корабните електроенергийни системи. В резултат на проучването може да се посочи, че хибридната AC-DC-AC архитектура е най-перспективната за кораби с изцяло електрическо задвижване и мощни VFD управления. Масовото внедряване на такъв тип корабни електроенергийни системи ще бъде свързано с нуждата от усъвършенстване на методите за оценка на качеството на електрическата енергия и загубите на мощност в корабни електроенергийни системи, свързани със значи проучвания в областта на многократна трансформация на електрическата енергия.

Представеното изследване е част от работата по проект НП2/2022 „Разработване и усъвършенстване на методи за определяне на качеството на електрическата енергия в конвенционални AC и хибридни AC/DC/AC корабни електроенергийни системи”, финансиран по Фонд научни изследвания – Технически университет - Варна.

Представеното изследване е извършено с оборудване по проект КП06КП-06-Н37/28 „Изследване режимите на електропотребление в електроснабдителни системи за градски електрически транспорт с двупосочен пренос на мощност”, финансиран от Фонд „Научни изследвания”, 2019-2022 г.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Patel M. Shipboard electrical power system, CRC Press, ISBN 978-1-4398-2817, 2012.
- [2] Chalfant J., Chryssostomidis C., Analysis of various all electric-ship electrical distribution system topologies, MIT Open access article, ESTS.2011.5770844, 2014.
- [3] Chalfant J., Chryssostomidis C., Angle M., Study of parallel AC and DC electrical distribution in the all-electric ship, Proceedings of the grand challenges in modeling and simulation, (GCMS10), Ottawa, Canada, 2010.
- [4] Doerry N., Next generation integrated power system (NGIPS) technology, Development Roadmap, Naval Sea Systems Command, Washington, Navy Yard, DC, Ser 05D/349, 2007.
- [5] Kyunghwa K., Park K., Roh G., Kangwoo C., DC-grid system for ships: a study of benefits and technical considerations, Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping, Vol 2., No 1, pp.1-12, Taylor&Francis, ISBN 2572-5084, 2018.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SCHEMATIC SOLUTIONS FOR SHIP ELECTRICAL SYSTEMS WITH ELECTRIC PROPULSION

Valentin Gyurov, Plamen Parushev, Ginka Ivanova, Milen Duganov

*Technical University of Varna
1 Studentska, Varna 9010
BULGARIA*

Keywords: *ship electrical power systems, electrical propulsion systems, ship's electrical equipment.*

Abstract: *In its historical development, the basic architecture of the ship's electrical power systems goes from direct current (DC) to alternating current (AC), which is the mass used on modern ships and vessels. At the same time, ships are seeing an increasingly widespread use of electric propulsion systems, which underwent their evolution from AC-AC converters (cycloconverters, etc.) to modern AC-DC-AC frequency regulators used in an AC network. The transition to all-electric propulsion, combined with the mass implementation of electronic converters and VFDs in all parts of the system, as well as the need to limit the spread of higher harmonics and reactive powers throughout the system, predetermines the possibility of increasingly widespread use on ships with hybrid AC/DC/AC architecture. At present, they can be considered isolated cases in large ships, respectively in high-power electrical systems, but are already a very common solution in small-tonnage shipbuilding (yachts, superyachts, small vessels, electric motorboats, etc.). The architecture can be classified as particularly promising due to three more significant factors determining its development: the possibility of switching to a battery power concept for a characteristic period of time (powered by powerful Li-ion batteries in port areas and when maneuvering with a view to achieving zero emissions of greenhouse gases near populated areas); possibility of easy integration of renewable energy sources and in particular photovoltaic modules; the possibility of implementing unified systems for shore power supply. The report presents a comparative analysis of the various architectures of ship power systems, paying particular attention to the possibilities of implementing hybrid AC-DC-AC architectures, their main advantages and an assessment of possible problems in their implementation.*