



РАЦИОНАЛИЗИРАНЕ И ОПТИМИЗИРАНЕ НА ЕНЕРГЕТИЧНИТЕ ПРОЦЕСИ В КОРАБНИТЕ ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ ЧРЕЗ ПРИЛАГАНЕ НА КОМПЛЕКСЕН МНОГОФАКТОРЕН ПОДХОД

Гинка Иванова, Валентин Гюров, Румен Киров
ginkahivanova@tu-varna.bg

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

Ключови думи: *Корабни електроенергийни системи, Енергийна ефективност, Режимы и оптимизация в корабни електроенергийни системи.*

Резюме: *При експлоатацията на корабите, морските организации въвеждат правила и стандарти, най-често създадени на базата на критерии, които са в недостатъчна степен научно обосновани. Навлизането на иновативните технологии с разширено използване на електронизация и компютъризация в корабните електроенергийни системи (КЕЕС), създава предпоставки за влошаване на показателите за качество на електрическата енергия (ПКЕЕ), електромагнитната съвместимост (ЕМС) и електроенергийната ефективност (ЕЕЕФ). Това налага формулиране на съвременни постановки, концепции и подходи, с цел рационализиране и оптимизиране на различните енергетични процеси в КЕЕС. Прилагането на комплексен експертен подход се изразява в схващането, че освен създаване на високоефективни и практически приложими нормативни изисквания, е необходимо морските организации да осъществяват своята дейност чрез реализиране на прогресивни проектни решения с използване на високи нива на автоматизация и компютъризация на инженерния труд.*

I. ВЪВЕЖДАЩ ЕКСПЕРТЕН АНАЛИЗ ВЪРХУ ПРОБЛЕМИТЕ НА КЕЕС

КЕЕС са автономни електрически системи, които са характеризират с голяма чувствителност към преходните процеси (късите съединения имат относително големи стойности) и към влошеното качество на ЕЕ. Тъй като са с ограничена мощност, при хранване на мощни потребители, КЕЕС трябва да бъде правилно оразмерена, така че съизмеримостите с мощността на генератора потребители, да не предизвикат големи колебания на напрежението и излизане от синхронизъм.

Електромагнитните смущения в автономните ситеми са по-силно изразени и имат по-голям негативен ефект върху функционирането на КЕЕС, в сравнение със системите с неограничена мощност. Това предполага и изисква по специално отношение към този проблем от страна на морските организации и експлоатиращия персонал на КЕЕС. Тъй като качеството на ЕЕ е в пряка релация с електромагнитните смущения, то удовлетворяване на изискванията за ниво на ПКЕЕ, оказва своето положително влияние за понижаване на негативния ефект от електромагнитните смущения. От своя стра-

на електромагнитните смущения определят в голяма степен показателите и характеристиките на ЕМС. Количествените параметри за оценка на ЕМС зависят в силна степен както от нивото на ПКЕЕ, така също и от схемотехническите особености на корабното електрообзавеждане и КЕЕС като цяло. Повишаването на напрежението на клемите на корабните съоръжения и системи и на шинните системи обуславя по-високи нива на генерираните от изправителите и инверторите висши хармоници на тока и напрежението. Аналогично, повишаването на несиметрия на напрежението води до увеличаване на стойността на линейните напрежения. Всички тези аспекти свързани с експлоатацията и функционирането на КЕЕС имат своето технико-икономическо измерение, но също така, което е много по-важно, са тясно свързани с безопасността при експлоатация на кораба.

Анализът показва, че различните видове корабни електрозадвижвания имат различно поведение, отношение и чувствителност към реализираните схемни решения и нивото на ПКЕЕ. Така например, доказано е, че ЕМС между промишлените електронни преобразуватели (изправители, инвертори, честотни регулатори и др.) и кондензаторните батерии, зависи от редица фактори, като параметрите и характеристиките им, токове на к.с. в разглежданата контролна точка, режимите на работа и особеностите на КЕЕС, нивото на ПКЕЕ и не на последно място от схемите им на свързване. При съвместната работа на промишлени електронни преобразуватели и кондензаторни батерии може да се получи силно изявена електромагнитна несъвместимост, дори и при незначителни нива на ПКЕЕ, доста по-ниски от предписаните в стандарта за КЕЕС. В разглеждания случай е възможно възникване на аварийни ситуации, свързани с повреждане на КБ от възникналото претоварване от токове на висши хармоници, дори при нива на THDI, доста по-ниски от нормативно изискуемите.

Енергийната ефективност, в съответствие с изискванията на Lloyd се оценяват чрез т.н. обобщен показател за енергийна ефективност EEDI (Energy Efficiency Design Index), който отчита параметри като натоварване, специфична консумация за гориво, емисии от CO₂, екологично въздействие на горивото, влиянието на иновативни технологии и специфични проектни решения и др. характерни показатели. Електроенергийната ефективност всъщност се разглежда като част от енергетичната ефективност, като това специално понятие е различно в общия термин, използван в този аспект. Такъв подход е неуместен и неправилен, т.к. електроенергетичните процеси в КЕЕС имат самостоятелна физическа същност. Би следвало да се препоръча и е необходимо „Електроенергийната ефективност“ да се разглежда като отделна, напълно самостоятелна и независима енергетична категория, изискваща създаването на своя нормативна база и собствени правила за адаптиране. Препоръчва се провеждане на изследователски процес, които да даде възможност да се дефинират и формулират основни характеристики и критерии за електроенергийната ефективност в КЕЕС, които да отразяват влиянието на различни енергетични показатели и ПКЕЕ и да се отчитат особеностите на електротехническите процеси и явления в КЕЕС. За провеждане на адекватен анализ на процесите в КЕЕС е необходимо да се разработят методики, работещи по оптимизационни критерии, за оценка на електроенергийната ефективност, ПКЕЕ, загуби на мощност и ел. енергия, определени чрез диференциран подход и др. показатели и характеристики. Математическите основи на тези методики се препоръчват да бъдат съвременни теоретични инструменти, като напр. „Теория на планиране на експеримента“ (ТПЕ), „Векторно и матрично смятане“, „Корелационен и дисперсионен анализ“ и др.

Предложените апаратни средства за енергиен анализ и одит на КЕЕС е необходимо да дават възможност за диференцирани и интегрални оценки, да притежават опростени схемни решения, мобилност и универсалност, да осигуряват възможности за

мониторинг, архивиране на данните, комуникация на по-високи йерархични нива и много други възможности.

За изграждане на надеждни и оптимизирани КЕЕС от особено значение е проектантските институти и организации да изготвят високо качествени проекти, в които да се използват прогресивни технически решения, най-иновативни технологии, съвременни компютърни и микропроцесорни системи за управление и модерна и надеждна елементна база. От своя страна корабостроителниците трябва да изградят корабите с най-модерни, ефективни и рационални строителни технологии, с използването на автоматизирани линии и роботи и висока интелектуализация на човешкия труд. Подготовката на кадри за корабното дело, извършвана в специализирани звена на различни университети е необходимо да се извършва с висок професионализъм и ерудиция на преподавателския състав, така че кадрите да са високо квалифицирани и подготвени за работа в трудните корабни условия.

II. НОРМАТИВНИ ИЗИСКВАНИЯ ЗА ПКЕЕ В КЕЕС

Стандартизационните изисквания, свързани с ПКЕЕ, се определят от вида на ЕЕС, на различните държави. За корабните регистрови компании, опериращи плавателни съдове на европейски държави, валидност имат стандартите от група EN, IEC, IEEE. Техническото съдържание на IEC стандартите се поддържа под постоянно наблюдение, като по този начин се гарантира, че съдържанието отразява настоящето състояние на технологията. [1,2]

Стандартите които пряко касаят нормативната регулация на качеството на електроенергията и енергопотреблението в кораби са:

IEC60092 - Група стандарти за устройство на електрическите инсталации на корабите на море. Тези стандарти формират код на практическото тълкуване и усилват изискванията на Международната конвенция за безопасност на човешкият живот на море (SOLAS). Частта от IEC60092 е приложима за електрически инсталации, използвани на борда на корабите. Основните стандарти от тази група са:

IEC60092-3: Електрически инсталации в кораби - Част 3: Електрически кабели (изграждане, тестване и експлоатация).

IEC60092-201: Електрически инсталации в кораби - Част 201: Система за проектиране.

IEC60092-301: Електрически инсталации в кораби - Част 301: Оборудване-Генератори и двигатели.

IEC60092-305: Електрически инсталации в кораби – Част 305: Акумулаторни батерии.

IEC60092-306: Електрически инсталации в кораби – Част 306: Осветителни тела и аксесоари.

IEC60092-352: Електрически инсталации в кораби – Част 352: Избор и монтаж на кабели за системи за ниско напрежение.

IEC60092-502: Електрически инсталации в кораби-Част 502: Специални функции – танкери.

IEC60092-504: Електрически инсталации в кораби – Част 504: Контрол и апаратура.

IEC60167: Методи за изпитване и определяне на съпротивлението на изолацията на твърди изолационни материали.

IEC60529: Степени на защита, осигуреност на обвивката (IP код).

Основните ПКЕЕ съгласно стандарта 60092 – 101 са:

За променливотокова разпределителна система:

- *Допустими отклонения от номиналното напрежение: +6 % - 10%; циклично отклонение на напрежението - 2%;*

- Несиметрия на напрежението, включително несиметрия на дефазирането на напрежението като резултат от включване на несиметричен товар - 7%; несиметрия на линейното напрежение :3%;
 - Колебание на напрежението (преходни напрежения)+20%- 20%;
 - Времето за възстановяване на напрежението до номинална стойност: 1,5сек;
 - Хармонични изкривявания: THDu <5%; Kv <3%;
- Характеристики свързани с честотата:
- Граници на изменение на честотата +5% -5%;
 - Циклично отклонение на честотата: 0,5%;
 - Колебание на честотата +10% -10%;
 - Време за възстановяване до номинална стойност: максимум 5сек. Сумата на честотните колебания във всяка точка на системата не трябва да надвишава 12,5%.
- Изисквания на стандарта при постояннотокова разпределителна мрежа са:
- Отклонение на напрежението (продължително) +10% -10%;
 - Отклонение на напрежението за времето на цикъл: 5%;
 - Пулсации на напрежението над стабилно постоянно напрежение:10%.

III. ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ В КЕЕС

ЕМС е способността на крайният консуматор на електрическа енергия да функционира нормално в заобикалящата го електромагнитна среда. Нуждата от подобряване на характеристиките на електрозадвижванията и гребните електрически уредби изисква внедряването на статични преобразуватели. Техният дял в КЕЕС постоянно се увеличава, като стават едни от основните елементи, определящи структурата на КЕЕС. Сумарната мощност на устройствата, притежаващи силови полупроводникови елементи, които са източници на висши хармоници, става съизмерима с генерираната мощност в КЕЕС. Те са нелинеен и несиметричен товар, който влияе върху работата на КЕЕС, като изкривява формата на напрежението и тока, натоварва допълнително енергосистемата с реактивен товар, увеличавайки загубите и нагряването на ел.машините, кабели и кондензатори. Те възбуждат висшите хармоници на напрежение и ток в диапазона от честоти от няколко херца до десетки и стотици мегахерца, които въздействат на системата и устройствата и тяхното управление. От друга страна нестабилният характер на параметрите на режима в КЕЕС (напрежение и честота) влияят върху работата на силовите преобразователи (СП).

В практиката е възприет тристранен подход за решаване проблемите с ЕМС в корабните електрическите мрежи и техническите средства, включени към нея. Тези подходи се състоят в: определяне на допустимите нива на електромагнитни смущения, създавани от техническите средства, определяне на допустимото ниво на устойчивост на тези средства към електромагнитните смущения, постъпващи от системата и допустимите нива на електромагнитни смущения в системата. Целта на тези подходи, а следователно и управлението на качеството на ЕЕ, е предотвратяване на неблагоприятни последици, възникващи от загуба на мощност и енергия при преноса и използването на ЕЕ, избягване на възможността за работа на електрообзавеждането в среда недаваща възможност за достигане на номиналните му параметри или излизане от строя на обзавеждане поради продължителната му работа в електромагнитна среда извън номинално предписаната за него.

Осигуряването на ЕМС се извършва чрез решаване на следните основни задачи [3,4,5,6,7].

- *Подтискане на хармониците на напреженията и токовете, генерирани от статичните преобразуватели в КЕЕС и товара;*
- *Подтискане на високо честотните колебания на напрежението в КЕЕС;*
- *Компенсация на реактивна мощност;*
- *Стабилизация на основният хармоник на мрежово напрежение (50Hz);*
- *Стабилизация или регулиране по зададен закон на изходното напрежение или ток;*
- *Подтискане на смущенията в каналите за управление на СП.*

Следователно, осигуряването на ЕМС може да се извърши само чрез комплексни мероприятия, отчитайки при това, че електромагнитните процеси в КЕЕС имат случаен характер. Методите и средствата за това са два основни вида: структурни и системни.

А. Структурни методи

Структурните методи, предвиждащи въздействие непосредствено върху СП, се състоят в избор, построение и оптимизация на схемите на преобразуване и системите за управление с цел понижаване на влиянието върху КЕЕС и товара [1,2,8,9,10].

- *Схемни решения, осигуряващи минимизация на хармониците при рационално съотношение на параметрите на СП;*
- *Избор на рационален метод за регулиране на СП;*
- *Въздействие на системата за управление на СП чрез използването на допълнителен сигнал.*

Към методите от първа група могат да се отнесат повишаването на броя на фазите на СП, създаването на условен режим на повишена фазност чрез включването на нулеви вентили. Същността на решенията от втората група съставят избора на метода за преобразуване на променливото напрежение в постоянно и въвеждането на специални закони за управление на тиристорите. Въздействието върху системата за управление на СП за минимизация на неканоничните хармоници и стабилизация на изходните напрежение или ток може да се извърши чрез въвеждането на обратни връзки.

Б. Системни методи

Към **системните решения** се отнасят: [1,11,12,13]

- *Корекцията на структурата на КЕЕС;*
- *Включването на филтро-компенсиращи устройства;*
- *Включването на демпфиращи устройства;*
- *Използването в системите за самовъзбуждане на синхронен генератор (СГ) на коректори на напрежение, позволяващи да се стабилизира основният хармоник на напрежението на шините на главно разпределително табло (ГРТ).*

Системните технически средства снижават хармониците до ниво, определяно от съвкупността от елементи и възли на КЕЕС. За високо чувствителните консуматори е целесъобразно да се използва индивидуална защита. Като такава защита могат да се използват широкополосни пасивни филтри. Осигуряването на ЕМС е взаимосвързано с повишаването на фактора на мощността.

Повишаването на този показател се достига чрез четири групи решения:

- *Усложняване на закона за управление на тиристорите;*
- *Усложняване на схемата на преобразуване;*
- *Извеждане на преобразователя в режим на генериране на реактивна енергия;*
- *Използване на компенсиращи устройства.*

Към първата група се отнасят несиметричното и поредното управление на тиристорите. При несиметричното управление се възбуждат допълнителни хармоници,

затова е целесъобразно то да се използва при групово управление на СП, когато чрез схемата на включване те се понижават.

Втората група мероприятия е свързана с въвеждането схемата на преобразуване на допълнителни възли. Към схемите с подобрени енергетични характеристики се отнасят СП с нулеви и допълнителни вентили, с регулиране на първичната страна на трансформатора, а така също с фазостъпално регулиране на променливотоковата страна. Широки възможности за повишаване на фактора на мощността има изправянето чрез изкуствена комутация на вентилите, което се отнася към третата група методи. Четвъртата група методи най-вече се изпълнява чрез включване на кондензаторни батерии, които обаче могат да увеличат несинусоидалността. По-перспективни са тиристорните източници на реактивна мощност. За КЕЕС е целесъобразно проблемът да се реши за сметка на рационалния избор на броя и мощността на синхронните генератори (СГ). Обаче за мощните КЕЕС е целесъобразно да се използват мероприятията, разгледани по-горе.[1,2,14,15]

Обикновено регулируемото изправяне се осъществява чрез управляем изправител или чрез широчинно-импулсно преобразуване (ШИП). Първият метод се използва в повечето случаи, обаче в много случаи е рационален втория начин, при който може да се избира честотата на комутацията на вентилите, което позволява съществено да се повиши честотата на основната пулсация на изходното напрежение и да се намали масата на филтъра. В ШИП няма неканонични хармоници поради несиметрично управление, а несиметричното захранване предизвиква хармоници с по-малки амплитуди в сравнение с изправителите. Обаче в ШИП възникват и неканонични хармоници от друг тип-така наречените странични честоти, борбата с които е трудна, т.к. тези хармоници са нискочестотни. В ШИП се използва неуправляем изправител, фактора на мощността е по-висок от този на управляемия изправител. При повишаване на честотата на комутацията на вентилите се влошава работата на отделни възли, особено на кондензаторите, увеличава се нивото на смущенията. Перспективно е използването на ШИП в устройства, чувствителни към пулсациите на напрежението. При използването на управляеми изправители фактора на мощност се повишава чрез несиметрично или поредно управление. Поредното управление се използва в схеми с последователно съединение на изправителите, като при това се усложняват схемите на преобразуване.

IV. КРИТЕРИИ ЗА ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ В СЪОТВЕТСТВИЕ С ИЗИСКВАНИЯТА НА LLOYD

Енергийната ефективност е един от най-важните проблеми в корабоплаването. Високата цена на горивата и непрекъснатото увеличаване на нивата на въглеродни емисии са едни от големите предизвикателства, които трябва да бъдат решавани от корабособствениците. Съществува нормативна методика (приета от Lloyd), за оценка на енергийната ефективност в различните класове кораби чрез въвеждане на обобщен показател за енергийна ефективност EEDI (Energy Efficiency Design Index) [16,17,18]. Чрез въздействие върху някои от показателите за енергийна ефективност може да се постигнат по-добри резултати и технически решения, които ще доведат до намаляване на разхода на гориво и емисиите на CO₂.

Една от организациите, която работи за постоянно подобряване на енергийната ефективност на корабите и устойчивостта на морските дейности е German Lloyd. Тя се ангажира с оценка на необходимостта от мерки за непрекъснато подобряване на енергийната ефективност. Тези стандарти се отнасят до изискванията на Международната морска организация за енергийна ефективност, които са променени в нова глава 4 Mar-

роl, приложение 6. EEDI, чрез който се оценява ефективността на кораба с помощта на двигателна сила. Насоките важат само за постигнатата EEDI.

EEDI се прилага за кораби, дефинирани в Регламент 2.23 и правило 20 от MARPOL приложение VI от 400 GT и по-горе: *кораби за насипни товари; танкери; газови носители; носители на втечен природен газ; контейнерни кораби; общо товарни кораби; хладилни товарни кораби; комбинирани превозвачи; ро-ро товарни кораби; ро-ро товари и ро-ро пътнически кораби; круизни кораби с неконвенционално задвижване.* [12,13,14]

Постигнатото EEDI се изчислява със следната опростена формула:

$$(1) \quad AttEEDI = (MEE + AEE - ERIT) \cdot \frac{1}{TW}$$

където: MEE - емисии на CO₂ предизвикани от главните двигатели [tCO₂.DWT]; AEE – емисии на CO₂ предизвикани от спомагателните двигатели [tCO₂.DWT]; ERIT - намаляване на емисиите в резултат на иновативни технологии [tCO₂.DWT]; TW - транспортна работа [DWT];

Изчисляването на MEE, AEE, ERIT и TW се извършва с помощта на съответните формули (16,17,18) от които следва че изискванията на Loyd за енергийна ефективност се базират основно на иновации в механичната част на КЕЕС. За получаване на „Електроенергийна ефективност” е необходимо да се формулира и дефинират такива показатели, критерии и методики, които да отразяват същността на електроенергетичните процеси в КЕЕС, респективно отчитане и влиянието на ПКЕЕ върху Електроенергийната ефективност. Тук се предлага възможност за количествена оценка на качеството на електрическата енергия в контекста на дефиницията на EEDI. С такова усъвършенстване на анализа може да се направи обективна оценка за подобряването на енергийната ефективност с EEDI при отчитането на влиянието на качеството на електрическата енергия върху разхода на гориво и парниковите емисии.

Дефиницията на EEDI показва, че качеството на електрическата енергия не може да повлияе на MEE, ERIT и TW. Увеличаването на енергийната консумация, предизвикана от влошено качество на електрическата енергия води до увеличаване на индекса AEE, но това не е включено в действащата стандартизирана методика.

Изчисляване на AEE – емисии от спомагателните двигатели:

$$(2) \quad AEE = (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) + \left(\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff}(i)} \right)}{C_{FAE} \cdot SFC_{AE}} \right)$$

където: P_{AE}[kW] – мощност на спомагателните двигатели, която е теоретично необходима за подsigуряване работата на главните двигатели и периферните съоръжения, технологичните съоръжения и битовия товар на кораба; C_{FAE} [t-CO₂/t-Fuel] – коефициент на екологично въздействие на горивата; SFC_{AE} [t-Fuel/kWh] – специфична консумация на гориво от спомагателните двигатели;

Притеглената средна стойност на i на брой спомагателни машини се определя с формулата:

$$(3) \quad SFC_{AE} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{AE}} SFC_{AE(i)} \cdot MCR_{AE(i)}}{\sum_{i=1}^{n_{AE}} MCR_{AE(i)}}$$

Второто събираемо на формула (2) показва влиянието на валови (shaft) двигатели, иновативни енергоспестяващи технологии и реконструкции с цел намаляване на енергопотреблението:

$$\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}$$

където: f_i корекционен коефициент отчитащ влиянието на специално проектирани енергоефективни елементи на кораба. Ако няма такива се приема стойност 1; $P_{PTI(i)}$ [kW] – 75% от номиналната механична мощност на “shaft” двигателите разделена на к.п.д. на генераторите;

$$(4) \quad P_{PTI(i)} = 0.75 \cdot \frac{P_{SMR(i)}}{\eta_{Gen}}$$

$P_{SMR(i)}$ [kW] – номинална механична мощност на “shaft” двигателите;

$$(5) \quad \eta_{Gen} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{AE}} \eta_{Gen(i)} \cdot P_{Gen(i)}}{\sum_{i=1}^{n_{AE}} P_{Gen(i)}}$$

$P_{Gen(i)}$ [kW] – изходна мощност на i -ия генератор; $f_{eff(i)}$ - коефициент отчитащ влиянието на всяка иновативна технология; $P_{AEff(i)}$ [kW] - намаляване на консумираната мощност от спомагателните двигатели поради наличието на иновативни технологии на главните двигатели;

Увеличаването на загубите на мощност от наличие на реактивна мощност, висши хармоници и/или несиметрия се определя с формулата [6,11,12].

$$(6) \quad \Delta P_{LPQ} \approx \frac{1}{PF^2} = \frac{1}{P^2} (P^2 + Q^2 + N^2 + D^2)$$

Дефиницията на АЕЕ може да бъде прецизирана чрез включване на две компоненти – първата показваща влиянието на увеличението на загубите на мощност от ниско качество на електроенергията (low power quality – LPQ) - ΔP_{LPQ} и втората показваща ефективността от внедряване на специализирани технически средства за подобряване на качеството, като компенсиращи системи, пасивни филтри, активни

филтри, FACTS) - $P_{AEeffPQ(i)}$. Включването на двете компоненти трябва да бъде в абсолютни единици [kW].

Тогава израза (2) се преобразува във вида:

$$(7) \quad AEE = (P_{AE} + \Delta P_{LPQ}) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} + \left(\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} - f_{eff(i)} \cdot P_{AEeffPQ} \right)}{C_{FAE} \cdot SFC_{AE}} \right)$$

За различните видове кораби увеличаването на загубите на мощност, причинени от по-ниско качество на електрическата енергия (ΔP_{LPQ}) ще има различно въздействие върху общото потребление на енергия. Различно съотношение на компонентите във формулата (7) показва причините за влошаването на качеството на електрическа енергия и технически решения, които могат да бъдат приложени, за да бъде то подобро. При използването на тази дефиниция, намаляването на потреблението на електрическа енергия чрез прилагане на технически решения за подобряване на качеството на електрическата енергия е сравнима с използването на възобновяеми енергийни източници.

В резултат на това може да се постави задачата: кой от тези два метода е по-ефективен - инсталиране на възобновяеми енергийни източници или технически решения за подобряване на качеството на електрическата енергия? На практика в много случаи най-ефективно ще бъде едновременно прилагане на двата метода.

Влиянието на отделните компоненти във формула (6) – несиметрия, нелинейност и реактивна мощност се определят с формулите:

$$(8) \quad \Delta P_Q = \frac{Q^2}{P^2} \cdot 100[\%] \quad (9) \quad \Delta P_N = \frac{N^2}{P^2} \cdot 100[\%] \quad (10) \quad \Delta P_D = \frac{D^2}{P^2} \cdot 100[\%]$$

Съотношението между (8), (9) и (10) показва какви технически решения могат да бъдат ефективно прилагани:

- Ако (8) има най-голяма стойност е ефективно използването на компенсиращи системи с кондензаторни батерии;
- Ако (9) и (10) имат значими стойности, тогава е ефективно използването на пасивни филтро-компенсиращи системи;
- Ако и трите компонента имат значими стойности е ефективно използването на активни филтри.

От практическа гледна точка е важно определянето на икономията на първични енергийни носители (горива) предизвикано от подобряване на качеството на електрическата енергия чрез специализирани технически средства. Така може да бъде оценена технико-икономическата ефективност. Това може да се определи от формула (2) при изключването на параметър C_{FAE} [t-CO₂/t-Fuel]. Резултатът ще бъде количествен в гориво [t-Fuel].

$$(11) \quad AEC_{BASIC} = (P_{AE} \cdot SFC_{AE}) + \left(\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right)}{SFC_{AE}} \right)$$

$$(12) \quad AEC_{PQ} = (P_{AE} + \Delta P_{LPQ}) \cdot SFC_{AE} + \left(\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{PTI}} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) \cdot SFC_{AE} \right)$$

Икономия на гориво [t-Fuel] от прилагане на специализирани средства за подобряване на качеството на електрическата енергия може да бъде определена с формулата 2

$$(13) \quad FR = AEC_{BASIC} - AEC_{PQ}$$

Синтезираната методика показва взаимовръзката между ПКЕЕ и нормативният индекс EEDI. По разработеният метод може да бъде извършена количествена оценка за:

- *Влиянието на влошените качествени показатели върху EEDI;*
- *Степента на влияние на отделните компоненти – пулсираща, деформационна и реактивна мощност върху индекса EEDI;*
- *Значимост на видовете технически средства, които могат да бъдат приложени за подобряване на показателите за качество – компенсирани системи, пасивни филтро-компенсирани системи или активни филтри;*
- *Реализирана икономия в първичен енергоносител – корабно гориво от прилагането на технически средства за подобряване на показателите за качество на електрическата енергия в корабни електроенергийни системи.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящото изследване е разработен обобщен експертен анализ върху проблемите в КЕЕС, като са маркирани основните въпроси и задачи за решаване с цел подобряване на неините експлоатационни параметри. Представен е научно – обоснован подход за същността, обхвата и тенденциите при рационализиране и оптимизиране на процесите в КЕЕС, свързани с ПКЕЕ, ЕМС и ЕЕЕФ. В съответствие с изискванията на Lloyd е приложен иновативен подход за разширяване на факторното пространство на индекса на енергийна ефективност EEDI и обвързването му с ПКЕЕ, респективно ЕМС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Масларов, Г., Електроенергетика и електрообзавеждане на кораба. Книга втора: Основи на корабните електрообзавеждания. Варна, ИК "Стено", 2011
- [2] Масларов, Г., Електроенергетика и електрообзавеждане на кораба. Книга първа : Автоматизирани корабни електроцентрали, ИК "Стено" Варна, 2008
- [3] Butler K.L., Ehsani M., Flexible Ship Electric Power System Design, Naval Research Grant, 2002
- [4] Beides H. M., Heydt G. T., Power System Harmonics Estimation, Monitoring, Electric Machines Power Systems., vol. 20, P. 93–102, 1992
- [5] Castellan, S., R. Menis, and G. Sulligoi, EMTDC-Based Simulation of Harmonic Pollution in All-electric cruise liner: Analytical Approach and Experimental Validation, Electrical Engineering Research Report, No. 20, Dec. 2005
- [6] Collombet C., Lupin J.M., Schonek J., Harmonic Disturbances in Networks
- [7] Кузнецов, В. , А. Григориев, В. Данимок, Снижение несиметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях , Киев, Наукова Думка, 1992

- [8] Adnanes A.K., Energy Efficiency in Marine Vessels, ABB 2012
- [9] Mindykowski, J., Assessment of Electric Power Quality in Ships fitted with Converter Sub-systems. ISBN 83-88621-07-6, 2004
- [10] Akagi, H., E. Watanabe, M. Aredes, Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning, IEEE Press, 2007, ISBN 978-0-470-10761-4
- [11] Al-Tallaq, K., E. Feilat, A New Power Definition in Harmonic Distorted Power Systems, C4-102, Cigre, Paris, 2004
- [12] Lloyd's Register, Procedure for Calculation and Verification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI), No38, 2013
- [13] Lloyd's Register, Guidelines for Determination of the Energy Efficiency Design Index, 2013
- [14] Lloyd's Register, Guidelines on Survey and Certification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI)" IMO Resolution MEPC 214(63), 2012

RATIONALIZATION AND OPTIMIZATION OF THE ENERGY PROCESSES IN SHIPS ELECTRICAL POWER SYSTEMS BY APPLYING A COMPREHENSIVE MULTI-FACTOR APPROACH

Ginka Ivanova, Valentin Gyurov, Rumen Kirov
ginkahivanova@tu-varna.bg

Technical University of Varna, 1 Studentska, Varna 9010
BULGARIA

Key words: *Ship Power Systems, Energy Efficiency, Modes and Optimization in Ships Electrical Systems.*

Abstract: *In the operation of ships, maritime organizations establish rules and standards, most often established on the basis of criteria that are insufficiently scientifically substantiated. The penetration of innovative technologies with the advanced use of electronics and computerization in ship electrical power systems (SEPS) creates prerequisites for deterioration of electrical energy quality (EEQ), electromagnetic compatibility (EMC) and energy efficiency (EE). This necessitates the formulation of modern concepts, concepts and approaches in order to streamline and optimize the various energy processes in SEPS. The implementation of a complex expert approach is based on the belief that in addition to creating highly effective and practicable regulatory requirements, maritime organizations need to carry out their work by implementing progressive design solutions using high levels of automation and computerization of engineering work. An important part of the presented research is an author's approach for improvement of the EEDI Energy Efficiency Index by including parameters that takes into account low power quality of the electric power. Thus, a quantitative estimate of the cause of the index's deterioration is possible, which takes into account not only its value but also the percentage ratio between the individual partitions of non-active power. The proposed methodology can offer different types of technical means for improvement of power quality - capacitive type reactive power compensation systems, passive filters, active filters, symmetrical devices and assessment of the efficiency of their deployment. Subsequently, it is possible to recalculate the resultant energy efficiency index, which is compared with that obtained without the use of additional technical devices.*