

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

маг. инж. Гинка Христова Иванова

**ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА КАЧЕСТВОТО НА
ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ НА КОРАБА И ВЛИЯНИЕТО
МУ ВЪРХУ РЕЖИМИТЕ НА РАБОТА НА КОРАБНАТА
ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНА СИСТЕМА И КОРАБНОТО
ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за получаване на образователна и
научна степен “доктор”**

**по докторска програма
„Електроснабдяване и електрообзавеждане”
Към професионално направление
„5.2. Електротехника, електроника и автоматика”**

Научен ръководител: доц. д-р инж. Румен Киров

Рецензенти:

- 1.**
- 2.**

Варна, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден на 24 януари 2018год. в катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане”, на разширен катедрен съвет, съгласно заповед на ректора на ТУ- Варна от 18 януари 2018год. №18 и е насочен за защита.

Докторантката работи в катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане”.

Автор: инж. Гинка Христова Иванова

Заглавие: Изследване и анализ на качеството на електрическата енергия на кораба и влиянието му върху режимите на работа на корабната електроенергийна система и корабното електрообзавеждане

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-ВАРНА

маг.инж. Гинка Христова Иванова

**ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА КАЧЕСТВОТО НА
ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ НА КОРАБА И ВЛИЯНИЕТО
МУ ВЪРХУ РЕЖИМИТЕ НА РАБОТА НА КОРАБНАТА
ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНА СИСТЕМА И КОРАБНОТО
ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за получаване на образователна и
научна степен "ДОКТОР"**

Варна, 2018 г.

Дисертационният труд съдържа 143 страници, включващи 53 фигури, 7 таблици, оформени в 4 глави и списък на използваната литература от 114 заглавия, от които 18 са на кирилица и 96 са на латиница. В автореферата всички означения, номерацията на формулите, фигурите и таблиците са според означенията в дисертацията.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на2018год.от
.....часа, в.....зала, на открито заседание на жури, сформирано със заповед
на Ректора...../.....год.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересующите се във ФД”Докторанти”, стая 318 НУК.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

АКТУАЛНОСТ НА ТЕМАТА

В съвременните кораби се въвеждат иновативни технологии с масово навлизане на електронизация във всички сфери. Внедряване на регулируеми полупроводникови задвижвания, микропроцесорно управление на различни електротехнически съоръжения, компютързация и мониторинг на редица енергетични и технологични процеси. Електронизираните съоръжения и техните системи за контрол, регистрация и управление, създават предпоставки за влошаване на показателите за качество на електрическата енергия (ПКЕЕ) и често предизвикват сериозни смущения при експлоатация на корабните електроенергийни системи (КЕЕС). Недопустимите стойности за отклонение и колебания на напрежението и тока, несиметрия и несинусоидалност на напрежението и тока, а така също повишената вероятност за прекъсване на електроснабдяването на потребителите имат негативни икономически последици, най-често изразяващи се в значими загуби на активна мощност и повишена вероятност за настъпване на аварийна ситуация. Тези загуби трябва да се оценяват чрез прилагане на диференциран подход, т.е. в парциален вид, отнесени към всеки един от изследваните ПКЕЕ.

Влошените ПКЕЕ и предизвиканите от тях смущения по природа имат електромагнитен характер. Работейки в такава среда от съществено значение е различните потребители и КЕЕС като цяло да не създават условия за влошаване на нормалното си съвместно съществуване. В тази връзка под електромагнитна съвместимост (ЕМС) се разбира свойството (способността, възможността) на корабното електрообзавеждане и неговите системи и елементи да работят нормално и надеждно в съществуващата електромагнитна среда на КЕЕС и да не създават недопустими смущения, нарушаващи нормалната работа на другите корабни електрообзавеждания, както и на КЕЕС като цяло. Терминологията, дефинициите и характеристиките на ЕМС произхождат и са в пряка връзка с ПКЕЕ. При провеждане на изследователски процес върху ПКЕЕ и ЕМС се препоръчва да се прилага комплексен многофакторен подход на базата на Теория на планиране на експеримента (ТПЕ). По този начин най-адекватно и в пълна степен може да се оцени влиянието на съществените фактори върху изходните параметри, като се препоръчва да се отчита и въздействието на статичните характеристики на товара (СХТ) върху ПКЕЕ.

В унисон с горе казаното, се препоръчва разглеждане и анализ на енергетичните параметри на КЕЕС, като възприетият подход се прилага в аналогичен аспект – да се отчита комплексно влиянието на режимите на работа на КЕЕС

върху ПКЕЕ и ЕМС. Прилагането на научно – обосновани подходи в изследователския процес, а също и при създаване на иновативни технически системи, методики и постановки е задължително условие за получаване на оптимални резултати при експлоатацията на КЕЕС. Освен споменатото по горе научно – обосновано използване на вероятно – статистически подходи, е наложително изграждането, експлоатацията и оптимизирането на КЕЕС да става на базата на прецизни детерминирани подходи и теории, като например теорията на моментната мощност на Akagi, преобразуванията на Park, бързото преобразуване на Фурие, а също и практично-приложната концептуална теория на Р. Дрехслер.

Съвременните енергетични постановки, занимаващи се с оптимизация на различни процеси разглеждат проблемите, свързани с „Енергийната ефективност” като важен елемент и основно изискване при техникоикономическите анализи. В болшинството от разглежданията обаче, концепцията за постигане на „Енергийна ефективност” не тангира с формите, обосновките и критериите на т.н. „Електроенергийна ефективност”, в чиято природа са вкоренени принципите и същността на Електроенергетиката. Необходимо е „Енергийната ефективност” да се разглежда в светлината на изискванията на „Електроенергийната ефективност” като напълно адекватен и научно обоснован подход.

Възможностите за използване на FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems) в корабни условия все повече нарастват през последните години. Освен управление по напрежението и подобряване на ПКЕЕ, FACTS способстват за увеличаване преносната способност на трансфериращите съоръжения в КЕЕС, а също така те са важен компонент на т.н Smart Grid, т.е. интелигентни (умни) мрежи. Поради тези причини тяхното използване в КЕЕС вероятно е оправдано и целесъобразно. В тази връзка е необходимо да се проведе съответно изследване на различни приложения на FACTS и активни филтри и се обоснове или отхвърли тяхното използване.

Необходимостта от провеждане на различни по характер изследвания в КЕЕС съществува, това е наложително и необходимо от гледна точка на особеностите на кораба като съоръжение, работещо в екстремални условия. В тази връзка е необходимо и съответната уникална изследователска апаратура да съответства на повишените изисквания и отговорности на този процес, като се създава и изгражда на базата на научно-обосновани критерии, подходи и теоретични постановки.

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Въз основа на поставените задачи в индивидуалния план на докторантурата, вземайки предвид формулите във „въведението“ и „Обобщения експертен анализ“ (т. 1.6) съображения, а също така анализа на различни постановки в Първа Глава и основните изводи към нея, може да се формулира основната цел на дисертационната работа по следния начин:

- Да се анализират различни теоретични инструменти с прилагане на вероятно статистически и детерминиран подход за изследване, оценка и установяване на влиянието на енергетичните показатели и ПКЕЕ върху режимите на работа на КЕЕС и корабното електрообзавеждане.

- Да се анализират и систематизират прогресивни технически средства за минимизиране и съвременни методи за оптимизиране на ПКЕЕ в КЕЕС, даващи възможност и перспектива за прилагането им в реални КЕЕС.

- Да се проведат практически изследвания и анализ за установяване режимите на работа в КЕЕС и влиянието на ПКЕЕ върху работата на различни възли и елементи на КЕЕС, а също така да се създаде мониторингова система и разработи концепция и подход за използване на ТПЕ при изследване на КЕЕС.

За постигане на по-горе описаната цел е необходимо да се решат следните задачи:

- 1. Да се извърши обследване на методите за оценка на различни енергетични показатели в КЕЕС като се приложи вероятно статистически и детерминирани подходи. Да се анализира фундаменталната „Теория на моментната мощност“ и се посочи обхвата на нейното приложение в изследователския процес и при създаването на хардуерни системи.*
- 2. Да се разработи експериментално приложима методика за определяне на „Обобщени притеглени показатели“ за несиметрия и несинусоидалност, съобразно новите нормативни изисквания, а също така в съответствие с актуалните изисквания на Lloyd да се анализират критериите за постигане на висока енергийна ефективност.*
- 3. Да се синтезира методическа постановка за приложение на ТПЕ при изследване на ПКЕЕ в КЕЕС, а също така аналогична теоретична постановка за анализ на загубите на мощност от влошени ПКЕЕ.*

4. *Да се анализират и изследват възможностите за прилагане на FACTS като изключително иновативна технология за подобряване на ПКЕЕ в КЕЕС.*
5. *Да се синтезира изследователска постановка и състави алгоритъм на база на концепцията на Дрехслер за определяне загубите на мощност от влошени ПКЕЕ, а също така да се разработи методика за оптимизиране „Електроенергийната ефективност“ по критерий „Качество на ЕЕ“*
6. *Въз основа на „Теория на моментната мощност“ да се разработи мониторингова система за контрол, регистрация и управление на ПКЕЕ в КЕЕС, която да работи в реално време и да е универсално приложима и за неелектрични параметри.*
7. *Да се извършат реални изследвания на режимите на работа и ПКЕЕ в различни възли и елементи на КЕЕС с помоща на разработената в задача №2 методика и чрез концепцията „ $\cos\phi - P$ “ план да се оценят загубите на мощност и се дефинират оптимални работни области на СТ. Да се разработи подход и софтуерно приложение в среда MathCAD за реално приложение и използване на методиката от задача №2 с данни получени от преносими прибори.*
8. *Да се извърши емуляция на мониторинговата система за контрол, регистрация и управление, разработено в задача №6, като в среда LabView се обработят и анализират различни енергетични и ПКЕЕ.*
9. *Да се разработи подход и софтуерно приложение за използване ТПЕ, методично разработена в задача №3, за изследване на различни процеси в КЕЕС. Софтуерното приложение да е в среда MathCAD и да дава възможност за автоматичен избор на плана на експеримента.*

ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Обект на изследване е КЕЕС на пасажерски кораби клас 1А1, като реалните изследвания са проведени с помоща на преносими анализатори.

МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ

Основната база данни в дисертацията е информацията, сканирана от преносими цифрови анализатори, въз основа на които се извършва анализ, прогнозиране и моделиране на процесите в КЕЕС. За целта се използват основни положения от теория на вероятностите и математическата статистика, прилага се ефективно Теория на планиране на експеримента, а също корелационен и дисперсионен анализ. Методическите постановки и техническите системи за изследване са разработени чрез прилагане на авангардни теории (Теория на моментните мощности, Теория на матричното смятане и др.), а софтуерните приложения са в среда MathCAD, LabView и др.

НОВИ НАУЧНИ РЕЗУЛТАТИ

1. В дисертационната работа се анализирани различни характеристики, изисквания и параметри на КЕЕС, свързани с количествени показатели и ПКЕЕ. Проведен е систематизиран преглед на стандартите свързани с качеството на електрическата енергия и ЕМС и са маркирани негативните явления от неспазване на нормативните изисквания. Представени са в систематизиран вид различни детерминирани и вероятно – статистически методи за практическо определяне на ПКЕЕ, широко използвани в различни теоретични постановки и изследователски процеси. Анализирани са основните характеристики на ЕМС и са посочени структурни и системни методи и подходи за постигане на високи нива на ЕМС. Разработен е обобщен експертен анализ върху проблемите в КЕЕС, в които са маркирани основните въпроси и задачи за решаване в КЕЕС с цел подобряване нейните експлоатационни параметри.

2. Потвърдена е високата приложимост, достоверност, значимост и адекватност на вероятно – статистическите методи за изследване както на енергетични, така и на ПКЕЕ. Аргументирано и в пълен вид и обем е представена ТПЕ като мощен инструмент за експериментални изследвания и оптимизация на процесите. Формулирани и обяснени са различни планове от 2-ри порядък, подчертани са достойнствата и предимствата на плановете от вида V_m като се препоръчва използването им за изследване в КЕЕС. Направено е изложение на P - q теорията на Akagi, приложима на различни места в дисертацията, а също подробно, с използване на матричното смятане е разработена иновативна методика за определяне на обобщени притеглени показатели за несиметрия и несинусоидалност. Приложен е критичен подход при анализ на критериите за енергийна ефективност, при които се констатира неотчитане на характерните особености на енергийната ефективност като специфична енергийна категория, но този пропуск и недостатък е отстранен в следствие чрез подходящо теоретично развитие на разглежданата концепция. Предложена е оригинална теоретична постановка, осигуряваща висока точност, всеобхватност и прецизност при определяне загубите на мощност от влошени ПКЕЕ с отчитане на пулсиращата, деформационната, реактивната и „скритата“ мощности, като по този начин е апробиран т.н. парциален подход при определяне на тези загуби. По аналогичен начин, с отчитане на пулсиращата и деформационната мощ-

ности е доразвита концепцията на „cosφ – P” плана за дефиниране на оптимални работни области на силовите трансформатори.

3. Застъпва се тезата за безпроблемно приложение на FACTS в КЕЕС на по-мощните кораби, като се утвърждава твърдението, че това е технико – икономически оправдано и целесъобразно. Разработен е уникален мобилен измервателен комплекс, измерващ диференцирано загубите на мощност от влошени ПКЕЕ в реално време с възможност за архивиране и пренасяне на информацията в различни комуникационни среди. Разработена е мониторингова система за контрол, регистрация и управление на ПКЕЕ, базирана на „Теорията на моментната мощност” на Akagi и хардуерно изградена въз основа на многофункционалната DAQ карта на National Instruments. Системата измерва, изчислява и създава база данни, работи в реално време и е подходяща за периодичен контрол, диагностика и следремонтни проверки в КЕЕС. Приложен е иновативен подход за оптимизиране на индекса за енергийна ефективност EEDI, като е разширен неговия функционален обхват с включване на ПКЕЕ и отчитане тяхното влияние при оценката на разхода на първичния енергоносител – корабното гориво.

4. Представени и анализирани са резултатите от апробацията на концепцията на „cosφ – P” плана, като по данни от цифров анализатор в MathCAD среда са определени оптимални работни области за СТ TRBHT и TRTHT на круизен кораб 1A1 и е отчетен ефекта от приложените мероприятия, възлизащ на около 77MWh икономия на ЕЕ в годишен разрез. Разработен е подход и софтуерно приложение в среда MathCAD за практическо изчисляване на притеглени показатели за несиметрия и несинусоидалност с данни, получени от преносими цифрови анализатори FLUKE 434. Апробацията на мониторинговата система за контрол, регистрация и управление на енергетични и ПКЕЕ е направена в среда Lab View, като данните от различни мрежови анализатори се изследват едновременно. В среда MathCAD е апробиран авторски подход за автоматично провеждане на активно – пасивен планиран експеримент от типа B_3 отново чрез използване на данни от съвременни цифрови измервателни системи или SCADA, като метода осигурява значително намаляване на времето за провеждане на експеримента.

РЕАЛИЗАЦИЯ В ПРАКТИКАТА

Предложената мониторингова система за контрол, регистрация и управление измерва, изчислява и създава база данни, работи в реално време и

директно може да се използва за диагностика и контрол в КЕЕС. Усъвършенстваната постановка за определяне индекса на енергийната ефективност с отчитане влиянието на ПКЕЕ има функцията за директна оценка на разхода на първичния корабен енергоносител. Чрез “cosφ – P” плана могат да се определят оптимални области в работата на корабните силови трансформатори, с което рязко се повишава ефективността на КЕЕС. Чрез иновативна постановка с използване на ТПЕ и софтуерно приложение в среда MathCAD, се създава мощен инструмент за изследване, анализ и оптимизация на процесите в КЕЕС в реално време.

КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА ПЪРВА

АНАЛИЗ НА РАЗЛИЧНИ ПОСТАНОВКИ, СВЪРЗАНИ С КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ В КОРАБНИТЕ ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ (КЕЕС)

Важна особеност на КЕЕС е автономността и ограничеността на разполагамата мощност. Тя оказва влияние върху протичащите процеси и налага определени изисквания към електрообзавеждането. Специално за КЕЕС най-важно изискване е безконтактното функциониране и осигуряване на непрекъснатото произвеждане, преобразуване, разпределение и пренасяне на ЕЕ.

Въпросът за качеството на ЕЕ е от първостепенно значение за надеждното функциониране на КЕЕС. Корабните електроцентрали са автономни, те са с ограничена мощност, като трябва да осигурят електроенергия с необходимото качество. Понятието ”качество на електроенергията” означава доставяне на ЕЕ на потребителите без прекъсване, като нейните параметри са в определени граници, позволяващи нормалното функциониране на всички свързани в корабна мрежа потребители и ел. задвижвания. През последните години на качеството на ЕЕ на борда на корабите се обръща доста голямо внимание, поради нарастването на така наречените „съвременни товари” и ел. задвижвания, които от една страна влошават качеството на ЕЕ, а от друга, се нуждаят от добро качество на ЕЕ. Типичен пример за това са управляващите блокове на постоянни и променливи електродвигатели с променлива честота на въртене. Техният брой значително нараства в корабното ел. обзавеждане през последните години. Влошаване на качеството на ЕЕ от тези товари води до съществени финансови загуби в КЕЕС. Точно определение за оптимално качество на електроенергия не съществува, тъй като то зависи от конкретното

захранващо устройство – за даден товар или ел.задвижване то може да е благоприятно, а за друг товар да е неблагоприятно.

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.

Осигуряването на EMC се извършва чрез решаване а следните основни задачи [25,31,32,38,39]

- *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 силови преобразуватели (СП).*

Следователно, осигуряването на EMC 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 на понижаване на влиянието върху КЕЕС и товара [11,12,14,15].

- *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.*

Б. Системни методи

Към **системните решения** се отнасят: [21,14,54,70]

- *Корекцията на структурата на КЕЕС;*

- Включването на филтро-компенсиращи 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).

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ПЪРВА ГЛАВА

1. В тази глава са представени различни параметри на КЕЕС, дадени са общи характеристики и изисквания към тези параметри и е проведен общ преглед върху качеството на ЕЕ в КЕЕС. Във връзка с масираното навлизане на електрониката в КЕЕС се препоръчва хармонизиране и актуализиране на стандартите, свързани с качеството на ЕЕ, а също така провеждане на непрекъснат мониторинг на тези показатели. Предевяват се изисквания и към корабостроителниците – още на етап проектиране да се изготвят оптимизирани технически решения, удовлетворяващи изискванията на стандартите. Пояснява се, че тези изисквания са свързани с подготовката на високо квалифицирани кадри, както за проектиране и изграждане на кораби и техните КЕЕС, така и за правилната и надеждна експлоатация.

2. В главата са проанализирани различни методи за практическо определяне на ПКЕЕ. Те се използват при формулиране на различни методики за изчисляване на ПКЕЕ и при синтезиране на различни системи за апаратурно изследване на тези показатели в КЕЕС. При анализа са използвани вероятно статистически и детерминирани подходи, а също така изчисления с комплексни числа и векторно смятане.

3. Систематизирани са и е проведен анализ на стандартите, касаещи електрическите инсталации и уредби в КЕЕС в частност и нормативните изисквания за ПКЕЕ. Обстойно са маркирани абсолютните стойности и границите на изменения по различните показатели. Анализирани са негативните явления при съществени отклонения от нормативните изисквания. Описана е същността, обхвата и задачите на ЕМС, а също така са набелязани мерки за подобряване и гарантиране на ЕМС. Формулирани и анализирани са структурни и системни методи за осигуряване на високи

нива ЕМС и са посочени схемно технически постановки, удовлетворяващи изискванията за ЕМС.

ГЛАВА ВТОРА

АНАЛИЗ НА РАЗЛИЧНИ ТЕОРЕТИЧНИ ИНСТРУМЕНТАРИУМИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ И ОЦЕНКА НА ЕНЕРГЕТИЧНИ ПОКАЗАТЕЛИ И ПКЕЕ В КЕЕС

Съществуват няколко мощностни теории, базирани на използването на моментната мощност. Под метод на моментната мощност в повечето случаи се разбира теорията на Akagi-Naboe. Тя е известна с наименованието “Theory of Instantaneous Active Power and Reactive Power” или опростено „p-q Theory”. Първоначално p-q теорията е измислена за трифазни трипроводни мрежи, като в последствие е разширена от Watable и Aredes за трифазни четирипроводни мрежи с нулев проводник. P-q теорията спада към теориите във времевата област (за разлика от теориите в честотната област, като разложението на Фурие), което позволява тя да бъде използвана както за стационарни режими, така и за преходни. Това я прави една от най-използваната за управление на активни филтри.

Същността на p-q теорията е трансформация от стационарна система с a-b-c координати в система с координати α - β -0. Тя съответства на алгебричната трансформация, известна като трансформация на Clarke, при която координатите α - β са ортогонални една спрямо друга, а координатата 0 съответства на компонентите с нулевата последователност. Компонентите на нулевата последователност се различават от компонентите на нулевата последователност, изчислявани по метода на симетричните съставящи (трансформация на Fortescue) с коефициент равен на $\sqrt{3}$.

Напреженията и токовете представени в α - β -0 координатна система се дефинират с изразите:

$$\begin{bmatrix} u_0 \\ u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad T = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

При p-q теорията, компонентите на мощностите се изчисляват от напреженията и токовете в α - β -0 координати, като всеки компонент се разделя на постоянна и променлива стойност.

Предложена е методика с цел осигуряване на бърз анализ на масиви от данни, записвани от стационарни или преносими цифрови анализатори, чрез използване на софтуерно приложение в среда MathCAD. Като основен инструмент е възприето матричното изчисление. Файлът с измерванията се

присвоява чрез оператор като матрица, като размерността и е автоматична – зависи от избраните за запис величини (брой стълбове на матрицата) и продължителността на измерването (брой редове на матрицата -n).

$$data := filename.xlsx \quad n := rows(data) \quad (2.8)$$

Забележка: Използван оператор „:=” от синтаксиса на MathCAD за присвояване на променлива

В последствие, всяка една електрическа величина се извлича от общата матрица като матрица стълб. Задаването на напреженията (като rms) става по следния начин:

$$U_{12} := data^{(2)} \quad U_{23} := data^{(3)} \quad U_{31} := data^{(4)} \quad (2.9)$$

Забележка: Оператор ⁽ⁿ⁾ задава извличане на матрица стълб от общата матрица “data”.

По аналогичен начин се дефинират токовете, активни, реактивни мощности, пълна мощност, PF, THDU, THDI. Въвежда се променлива j – брояч на редове, който е по-малък с 1, т.к. първият ред от файла е „character” формат.

$$j := 1..n - 1 \quad (2.10)$$

Последователност на методиката:

Изчисляване на еквивалентното напрежение и ток

$$U_{e_j} := \sqrt{\frac{U_{12_j}^2 + U_{23_j}^2 + U_{31_j}^2}{3}} \quad I_{e_j} := \sqrt{\frac{I_{12_j}^2 + I_{23_j}^2 + I_{31_j}^2}{3}} \quad (2.11)$$

Изчисляване на rms за фундаменталните хармоници от показанията за rms на напреженията и THDU

$$U_{12_F_j} := \frac{U_{12_j}}{\sqrt{\left(\frac{THDU_{12_j}}{100}\right)^2 + 1}} \quad U_{23_F_j} := \frac{U_{23_j}}{\sqrt{\left(\frac{THDU_{23_j}}{100}\right)^2 + 1}} \quad U_{31_F_j} := \frac{U_{31_j}}{\sqrt{\left(\frac{THDU_{31_j}}{100}\right)^2 + 1}} \quad (2.12)$$

По аналогичен начин се изчисляват и rms на фундаменталните хармоници на токовете. Изчисляване на TDD – total demand distortion.

$$VTDD_{12_j} = \sqrt{\frac{U_{12_j}^2 - U_{12_F_j}^2}{U_{12_j}^2}} \quad VTDD_{23_j} = \sqrt{\frac{U_{23_j}^2 - U_{23_F_j}^2}{U_{23_j}^2}} \quad VTDD_{31_j} = \sqrt{\frac{U_{31_j}^2 - U_{31_F_j}^2}{U_{31_j}^2}} \quad (2.13)$$

По аналогичен начин се изчислява TDD за токовете – ITDD

Изчисляване на обобщените трифазни коефициенти VTDD_{3P} и ITDD_{3P}

$$VTDD_{3P_j} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\sum_{i=1}^3 THDU_{ij}^2 \cdot \frac{U_{i-Fj}^2}{U_{e_{ij}}^2}} \quad ITDD_{3P_j} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\sum_{i=1}^3 THDI_{ij}^2 \cdot \frac{I_{i-Fj}^2}{U_{e_{ij}}^2}} \quad (2.14)$$

Изчисляване на DI – deviation index

$$VDI_{12_j} := \sqrt{\frac{|U_{12_j} - U_{e_j}|^2}{U_{e_j}^2}} \cdot 100 \quad VDI_{23_j} := \sqrt{\frac{|U_{23_j} - U_{e_j}|^2}{U_{e_j}^2}} \cdot 100 \quad VDI_{31_j} := \sqrt{\frac{|U_{31_j} - U_{e_j}|^2}{U_{e_j}^2}} \cdot 100 \quad (2.15)$$

Изчисляването на DI за токовете се извършва по аналогичен начин.

Изчисляване на общ коефициент на несиметрия TU (total unbalance) за напреженията и токовете.

$$VTU_j := \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{VDI_{12_j}^2 + VDI_{23_j}^2 + VDI_{31_j}^2} \quad ITU_j := \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{IDI_{12_j}^2 + IDI_{23_j}^2 + IDI_{31_j}^2} \quad (2.16)$$

Изчисляване на TDDW (Total Demand Distortion Weighted) – обобщен притеглен коефициент на хармонично изкривяване за всяка фаза и THDW – притеглен THD за всяка фаза.

$$ITDDW_{12_j} := \frac{ITDD_{12_j} \cdot S_{12_j}}{S_{3P_j}}, \text{ аналогично за токове „23” и „31”}$$

$$ITHDW_{12_j} := \frac{ITHD_{12_j} \cdot S_{12_j}}{S_{3P_j}}, \text{ аналогично за токове „23” и „31”} \quad (2.17)$$

Изчисляване на трифазен THDW (Total Harmonic Distortion Weighted) – обобщен притеглен коефициент на хармонично изкривяване.

$$ITHDW_j := \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{ITHDW_{12_j}^2 \cdot \frac{I_{12_j}^2}{I_{e_j}^2} + ITHDW_{23_j}^2 \cdot \frac{I_{23_j}^2}{I_{e_j}^2} + ITHDW_{31_j}^2 \cdot \frac{I_{31_j}^2}{I_{e_j}^2}} \quad (2.18)$$

Изчисляване на трифазен общ притеглен коефициент на несиметрия TUW (Total Unbalance Weighted)

$$ITUW_j := \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{IDIW_{12_j}^2 \cdot \frac{S_{12_j}^2}{S_{3P_j}^2} + IDIW_{23_j}^2 \cdot \frac{S_{12_j}^2}{S_{3P_j}^2} + IDIW_{31_j}^2 \cdot \frac{S_{12_j}^2}{S_{3P_j}^2}} \quad (2.19)$$

Предложената методика позволява анализ на електропотреблението и ПКЕЕ с използването на нови подобрени обобщени трифазни показатели, които са притеглени спрямо товара и по-адекватно отразяват енергетичното му въздействие и съответно значимостта на показателите. Приложението на предложената методика при извършването на експериментални изследвания с използ-

ването на съвременни цифрови анализатори тип Fluke в корабната енергийна система на пасажерски кораб е показано в Глава 4.

Енергийната ефективност е един от най-важните проблеми в корабоплаването. 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) [109,110,111]. 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.

Изчисляването на постигнатото EEDI се извършва с опростената формула 2.21

$$AttEEDI = (MEE + AEE - ERIT) \cdot \frac{1}{TW} \quad (2.21)$$

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 изчислява по формула (2.22), (2.23), (2.24) и (2.25).

Изчисляване на MEE – емисии от главните двигатели

$$MEE = \left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) \quad (2.22)$$

където: P_{ME(i)} [kW] - 75% от максимално-продължителният товар (MCR) на главните двигатели. Ако се използва валогенератор, тогава:

$$P_{ME(i)} = 0.75 \cdot (MCR_i - P_{PTO}) \quad (2.23)$$

P_{PTO} [kW] - 75% от номиналната механична мощност на валогенератора разделена на к.п.д. на валогенератора; C_{FME(i)} [t-CO₂ / t-Fuel] – коефициент на екологично въздействие на горивата; SFC_{ME(i)} [t-Fuel/kWh] – специфична консумация на гориво на главните двигатели при натоварване 75% MCR; f_i корекционен коефициент отчитащ влиянието на специално проектирани енергоефективни елементи на кораба. Ако няма такива се приема стойност 1

Изчисляване на AEE – емисии от спомагателните двигатели:

$$AEE = (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) + \left(\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right)}{C_{FAE} \cdot SFC_{AE}} \right) \quad (2.24)$$

където: P_{AE} [kW] – мощност на спомагателните двигатели, която е теоретично необходима за подсигуряване 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:

$$SFC_{AE} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{AE}} SFC_{AE(i)} \cdot MCR_{AE(i)}}{\sum_{i=1}^{n_{AE}} MCR_{AE(i)}} \quad (2.25)$$

Второто събираемо на формула (2.24) показва влиянието на валови (shaft) двигатели, иновативни енергоспестяващи технологии и реконструкции с цел намаляване на енергопотреблението:

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

където: f_i корекционен коефициент отчита 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;

$$P_{PTI(i)} = 0.75 \cdot \frac{P_{SMR(i)}}{\eta_{Gen}} \quad (2.26)$$

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

$$\eta_{Gen} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{AE}} \eta_{Gen(i)} \cdot P_{Gen(i)}}{\sum_{i=1}^{n_{AE}} P_{Gen(i)}} \quad (2.27)$$

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

ERIT – намаляване на емисиите чрез иновативни технологии:

$$ERIT = \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \quad (2.28)$$

където: $f_{eff(i)}$ - коефициент отчитащ влиянието на всяка иновативна технология; $P_{eff(i)}$ [kW] намаляване на консумацията на главните двигатели причинено от иновативни технологии касаещи механичната мощност; C_{FME} [t-CO₂/t-Fuel] – коефициент на екологично въздействие на горивата; SFC_{ME} [t-Fuel/kWh] – специфична консумация на гориво от главните двигатели ;

TW (transport work) – изчисляване на транспортната работа

$$TW = f_i \cdot f_l \cdot f_w \cdot f_c \cdot Capacity \cdot v_{ref} \quad (2.29)$$

където: f_i - корекционен коефициент отчитащ влиянието на специфични проектни решения, които намаляват тонажа на кораба; f_l - корекционен коефициент отчитащ общото карго на кораба; f_w - корекционен коефициент отчитащ намаляването на скоростта при влошени условия за плаване; f_c - корекционен коефициент отчитащ намаляването на полезния обем на танкери; $Capacity$ – според типа на кораба. За всички видове, освен круизни и контейнеровози $Capacity = DWT_{Summer Load Draft}$. За контейнеровози $Capacity = 0,7 \cdot DWT_{Summer Load Draft}$; v_{ref} - скорост на кораба за работа с допустим EEDI

Проведеният по – горе анализ показва че изискванията на Lloyd 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.

При приложението на ТПЕ съществуват две основни задачи:

Планиране на експеримента с цел получаване на математически модели;

Планиране на експеримента с цел получаване на оптимални стойности на факторите.

Обекта на изследване по определението на Фишер се разглежда като „черна кутия” – обект, за който не е известна функционална връзка между входовете и изходите (фиг. 2.6.). Величините Y_j ($j=1, 2, \dots, l$) характеризират целта на изследване и се наричат параметри на оптимизация (ПО) или изходни параметри (ИП). Всички управляеми фактори X_i ($i=1, 2, \dots, m$), чрез които изследователят въздейства върху „черната кутия“ се наричат съществени фактори (СФ). Факторите X_i са неслучайни и независими помежду си, за да

може експериментаторът да управлява дадения процес. Под независими трябва да се разбират такива, които нямат пряка еднозначна функционална зависимост.



Фигура 2.6. Обект на изследване – „черна кутия”

Множеството фактори W_k ($k=1,2,\dots,q$), които са неуправляеми, но оказват влияние върху Y_j се наричат смущаващи фактори. При отчитане на действието им, при определени фиксирани нива на съществените фактори, изходните параметри ще имат случаен характер. Тогава е необходимо да се отчете зависимостта между условното математическо очакване на разглежданият параметър и множеството на съществените фактори (2.30).

При несиметричен и несинусоидален режим на работа пълната мощност S се определя от израза [6,10,11,12,54]:

$$S = \sqrt{(U_A^2 + U_B^2 + U_C^2)(I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + nI_N^2)} \quad (2.60)$$

където: P , Q , N , D , S_0 са съответно активната, реактивната, пулсиращата, деформационната и скрита мощности.

Отделните съставни на (2.61) се определят с помощта на изразите [6, 10]:

$$P = R_e(S); \quad Q = \sqrt{(\text{mod}S)^2 - P^2}; \quad N = \varepsilon_i \cdot \text{mod}S; \quad \varepsilon_i = I_2/I_1$$

$$S_0 = \alpha_i S; \quad \alpha_i = \frac{I_0}{I_1}; \quad D = \sqrt{3U^2 \left(\sum_{v=2}^{\infty} I_{A_v}^2 + \sum_{v=2}^{\infty} I_{B_v}^2 + \sum_{v=2}^{\infty} I_{C_v}^2 + n \sum_{v=2}^{\infty} I_{N_v}^2 \right)}$$

където: ε_i и α_i са коефициенти на несиметрия и неуравновесеност, определени съответно като отношение на токовете на обратната към правата последователност (I_2, I_1) и на нулевата към правата последователност (I_0, I_1).

Факторът на мощност K_m може да се определи от израза [6,12]:

$$K_m = \frac{P}{S} = \cos \varphi \sqrt{\frac{1 - K_D^2}{1 + \varepsilon_i^2 + (3n + 1) \cdot \alpha_i^2}} \quad (2.62)$$

където: S_a -парциална симетрична съставляваща на пълната мощност, K_D - трифазен коефициент на деформация на токовете.

Изразът (2.62) може да се опрости, ако се въведе обобщен коефициент на несиметрия и неуравновесеност ε [24]:

$$K_m = \cos \varphi \sqrt{\frac{1 - K_D^2}{1 - \varepsilon^2}} = g \cdot \cos \varphi \quad (2.65)$$

където: g -коефициент на деформирано електропотребление, характеризиращ резултатното влияние на В.Х., несиметрията и неуравновесеността на токовете, определен от израза:

$$g = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + N^2 + (3n + 1)S_0^2 + D^2}} \quad (2.66)$$

Общите загуби на мощност при система с ННР на токовете се определят от израза [6]:

$$\Delta P \approx \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{P^2} (P^2 + Q^2 + N^2 + (3n + 1)S_0^2 + D^2) \quad (2.67)$$

Анализ на (2.67) дава възможност да се дефинират следните загуби на неактивните мощности:

парциална част на загубите от реактивна мощност $\Delta P_Q = \frac{Q^2}{P^2} \cdot 100[\%]$ (2.68)

парциална част на загубите от пулсираща мощност $\Delta P_N = \frac{N^2}{P^2} \cdot 100[\%]$ (2.69)

парциална част на загубите от деформ. мощност $\Delta P_D = \frac{D^2}{P^2} \cdot 100[\%]$ (2.71)

Анализ на горните формули показва следното:

Традиционният подход за анализ на електропотреблението само на базата на $\cos \varphi$, не дава възможност да се проконтролират изследваните процеси на електропотребление и да се оценят допълнителните загуби на мощност от понижено качество на електроенергия. Оценка на загубите с помощта на класическият $\cos \varphi$ може да се използва само при симетрична и синусоидална система, което е изключително рядко в съвременните електроснабдителни системи. Препоръчва се предложената теоретична постановка да се използва за създаване на изследователска система с универсална приложимост, което е направено в трета глава, т.3.2.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ВТОРА ГЛАВА

1. Направен е опит за систематизиране и анализ на нергетичните показатели в КЕЕС, като е приложен вероятно – статистически подход за оценка на различни параметри. Отвърждава се становището, че стохастичните методи са с висока адекватност, достоверност, значимост и тъждественост при изследване на процесите в КЕЕС, което до скоро не се приемаше от изследователите. Препоръчва се използването на тези методи при създаване на енергийни баланси, построяване на статичните характеристики на товара, методите за регулиране на напрежението, честотата и други анализи. Предоставени са принципни постановки на теорията на моментните мощности (P - q теорията), използвани за оценка на ПКЕЕ в КЕЕС, разработени от Clark, Park, Akagi и др. P - q теорията може да се прилага както за стационарни, така и за преходни режими в трифазни четири проводни мрежи с нулев проводник, като се характеризира с простота на изчисленията с използване само на аритметични операции. Представянето на тези постановки се обвързва с анализа на FACTS и активните филтри, разгледани в трета глава, а също така има релация с конструирането „Мониторингови системи за контрол, регистрация и управление” на ПКЕЕ, разработени в т.3.4

2. Разработена е методика за изчисляване на нови обобщени притеглени показатели за несиметрия и несинусоидалност като основен математически инструмент, който се използва с матричното смятане. Методиката дава възможност за бърз анализ на масиви от данни в матрична форма, като файловете с измерванията се обработват автоматично. Иновативния подход в тази методика се изразява в дефинирането на значително подобрени трифазни ПКЕЕ, притеглени спрямо товара като по този начин те имат значително по реално и адекватно енергетично въздействие върху процесите в КЕЕС. Аprobация на тази методика е проведена в глава 4 от дисертацията, като там е представен количествен анализ на ефекта от приложимостта на методиката в реални условия.

3. Извършен е анализ на критериите за „Енергийна ефективност” в съответствие с изискванията на Lloyd. Анализа на критериите за „Енергийна ефективност” (ЕЕф) показва, че те са основават на намаляване на консумацията, предизвикана от иновации в механичните системи на КЕЕС. Този факт не отразява възможностите за постигане на ЕЕЕф. В международните и национални нормативни корабни документи понятието не е дефинирано като специална категория, свързана с електроенергийното обслужване.

Необходимо е ЕЕЕф да се дефинира и регламентира, като самостоятелна енергийна категория, като се маркират и формулират основни параметри, характеристики и критерии,отразяващи по правилен начин природата и физическата същност на електроенергийните процеси и явления в КЕЕС.

4. Представен е анализ на ТПЕ, като инструмент препоръчван за използване при анализ на енергийните процеси в КЕЕС. Чрез него могат да се получават математически модели описващи връзките между различни енергетични показатели и ПКЕЕ, а също така да се решават оптимизационни задачи, даващи възможност да се дефинират оптимални области на изменение на съществени фактори и изходните параметри. Поради сложния характер на някои от процесите на КЕЕС, за тяхното адекватно и по-точно описание са формулирани и обяснени различни планове от 2-ри порядък, които дават възможност за постигане на оптимизационни решения. Апробиране на методиката е проведено в 4-та глава на дисертацията.

5. Масовото използване на електронни елементи и системи в КЕЕС способства за влошаване на ПКЕЕ и рязко увеличава дялът на загубите на ЕЕ от влошени ПКЕЕ. Използването на традиционни подходи за определяне на тези загуби не дава точни, пълни и адекватни резултати. Предложената теоретична постановка има за цел да осигури висока точност и прецизност при определяне загубите от влошени ПКЕЕ. Тя отчита влиянието на пулсиращата, деформационната, реактивната и т.н. скрита мощности.Методика дава възможност за количествена оценка на т.н. парциални загуби, има универсална приложимост и е апробирана в трета глава на дисертационната работа. Аналогичен подход за оценка на загубите в СТ е приложен при използване на т.н. разширена концепция „cosφ-P”плана. С отчитане на пулсиращата и деформационната мощност математическата формулация значително по-точно може да определя работните области на СТ и да оптимизира тяхната работа по критерии минимум на общите загуби на мощност ΔP. Аprobация на този подход за конкретен кораб е проведена в четвърта глава на дисертационната работа.

ГЛАВА ТРЕТА

АНАЛИЗ НА ПРОГРЕСИВНИ ТЕХНИЧЕСКИ СРЕДСТВА И СЪВРЕМЕННИ МЕТОДИ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ ПКЕЕ В КЕЕС

Включването на силови електронни устройства придава известна адаптивност в процеса на пренасяне и разпределение на електрическа енергия, поради което използваните ги системи се наричат Flexible Alternating Current Transmis-

sion Systems (FACTS). По – долу са описани накратко особеностите на използваните в т.н. FACTS силови електронни устройства.

Статичен компенсатор на реактивна енергия - Static Var Compensator (SVC)

Съставен е от тиристорно-управляеми индуктивности, тиристорно – превключвани кондензатори и пасивни резонансни филтри. Чрез системата за управление на компенсатора може плавно да се изменя стойността на еквивалентната индуктивност, а съответно натоварването на източника с реактивна енергия.

Статичен синхронен компенсатор (STATCOM)

Съставен е от съгласуващ трансформатор, инвертор, захранван от източник на напрежение - voltage source converter (VSC) и система за управление. Чрез управлението изходният му ток I_{OUT} може или да изпреварва на $\pi/2$, или да изостава на $\pi/2$ от напрежението на линията V_T . В първия случай STATCOM се явява източник на реактивна енергия, а във втория – консуматор на реактивна енергия.

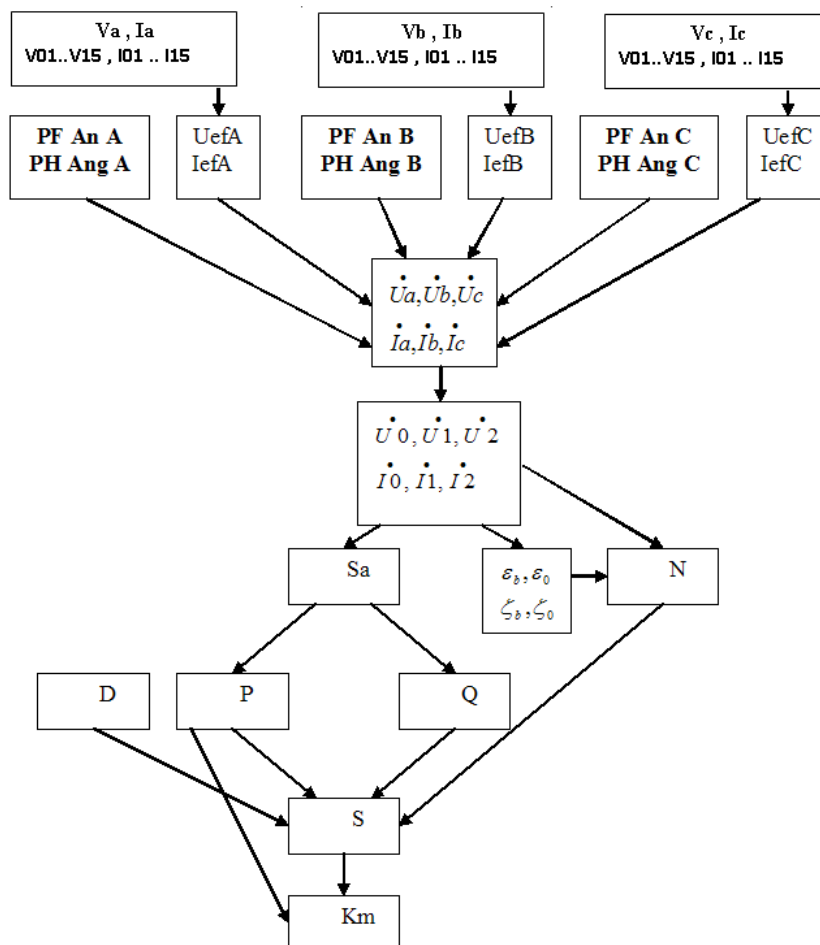
Активни филтри

Активните филтри са средство за филтриране на висшите хармоници в тока и/или напрежението, подобряване на фактора на мощността, симетриране и регулиране на напрежението. В зависимост от схемата – последователен, паралелен или комбиниран, те могат да осъществяват съответно напреженова, токова или смесена компенсация. Активните филтри от паралелен и комбиниран тип са с по-голяма приложимост в КЕЕС, поради по-голяма необходимост от компенсация на тока.

Заклучение: FACTS системите са мощно техническо средство за подобряване на ПКЕЕ в КЕЕС, но все още са слабо разпространени, поради ограниченото им приложение и високата цена, а също така и нужда от висококвалифициран персонал за поддръжката им. Ограниченото им разпространение се обуславя от факта, че употребата им е целесъобразна когато имаме нужда от едновременна филтрация, компенсация и регулиране на напрежението и то на голям брой хармонични съставлящи. Това е възможно да се случва основно на пасажерски кораби с голяма мощност, а също така на съвременни кораби от търговския флот, съвременни танкери и др.

Във втора глава на дисертацията, т.2.6 е представена теоретична постановка за определяне загубите на мощност от влошени ПКЕЕ. На тази база, за извършване на експериментални изследвания е синтезирана хардуерна постанов-

ка и разработен специален софтуер, представляваща оригинален технолгичен измервателен комплекс. Той има следната структура:



Фиг.3.14. Блок схема за определяне енергетичните параметри на ЕСС

Представената експериментална постановка, работеща с предложения алгоритъм, дава добри възможности за получаване на експресна оценка на различните парциални загуби на мощност от влошени ПКЕЕ.Тя е мобилна, универсално приложима, лесна за монтаж и експлоатация и значителна част от нейните модули се използват в изследователския процес на тази разработка.

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.

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

$$\Delta P_{LPQ} \approx \frac{1}{PF^2} = \frac{1}{P^2} (P^2 + Q^2 + N^2 + D^2) \quad (3.23)$$

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

Тогава:

$$AEE = ((P_{AE} + \Delta P_{LPQ}) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) + \left(\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} - f_{eff(i)} \cdot P_{AEeffPQ} \right)}{C_{FAE} \cdot SFC_{AE}} \right) \quad (3.24)$$

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 формули (2.17) и (2.24) при изключването на параметър C_{FAE} [t-CO2/t-Fuel]. Резултатът ще бъде количествен в гориво [t-Fuel].

$$AEC_{BASIC} = (P_{AE} \cdot SFC_{AE}) + \left(\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right)}{SFC_{AE}} \right) \quad (3.26)$$

$$AEC_{PQ} = ((P_{AE} + \Delta P_{LPQ}) \cdot SFC_{AE}) + \left(\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} - f_{eff(i)} \cdot P_{AEeffPQ} \right)}{SFC_{AE}} \right) \quad (3.27)$$

Икономия на гориво[t-Fuel] от прилагане на специализирани средства за подобряване на качеството на електрическата енергия може да бъде определена с формула (2.30)

$$FR = AEC_{BASIC} - AEC_{PQ} \quad (3.28)$$

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 мощности върху индекса EEDI;

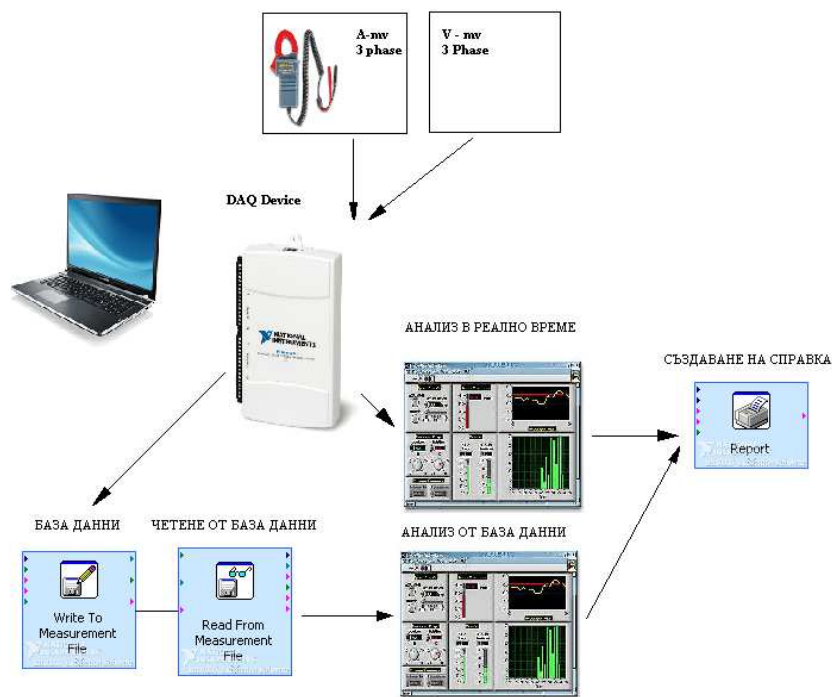
- Значимост на видовете технически средства, които могат да бъдат приложени за подобряване на показателите за качество – компенсирани системи, пасивни филтро-компенсирани системи или активни филтри;
- Реализирана икономия в първичен енергоносител – корабно гориво от прилагането на технически средства за подобряване на показателите за качество на електрическата енергия в корабни електроенергийни системи.

Задачата, свързана с анализ на режима на електропотреблението, характера на натоварването, показателите на качество на електрическата енергия в КЕЕС, изисква постоянното усъвършенстване както на техническите средства, така и на използваните теоретични модели и софтуерни приложения. Показаната подолу техническа система е многофункционална и отворена за доразвиване, базираща се на мултифункционалните DAQ устройства (devices) на фирмата National Instruments и софтуерната платформа LabView.

Разработената система използва както класически методи за анализ, така и теория на моментната мощност на Akagi, теоретично представена във глава втора, т.2.2.2

3.4.1. Структура на системата

Системата е изградена като преносима, включваща персонален компютър с вградена мултифункционална DAQ карта, clamp (A към mV) преобразуватели и специализирана входна част, състояща се от NI6210 USB преобразовател и разработен допълнително входен модул. Структурата на системата е показана на фиг.3.15



Фиг. 3.15. Структура на системата

ИЗВОДИ ОТ ТРЕТА ГЛАВА

1. Проведен е анализ относно ефективността и възможностите за внедряване на FACTS в КЕЕС. Въз основа на това е направен опит за оборване на схващането за отказ от приложението на FACTS в КЕЕС по икономически съображения. Защитава се тезата, че при големите кораби от пътническият и търговски флот е целесъобразно използването на FACTS. Тъй като тяхната цена като електроенергетично съоръжение е незначителна (несъизмеримо по-малка) по отношение стойността на кораба като цяло. Освен това при мощните КЕЕС на тези кораби, негативните явления, свързани с качеството на ЕЕ, са силно изразени и внедряването на FACTS ще доведе до значително подобряване на електроенергийната ефективност.

2. На базата на теоретично разглеждане в глава 2, т.2.6. е синтезирана експериментална постановка за определяне загубите на мощност в отделни елементи и съоръжения на КЕЕС. Тя представлява мобилен измервателен комплекс, в който е застъпен диференциран принцип за оценка загубите на мощност. Системата дава възможност за парциален анализ на загубите в тяхната обща структура, като определя количествено съставляващите, породени от пулсиращата, деформационната и реактивната мощности. Работи в реално време и предоставя възможности за архивиране и пренасяне на информацията на по-високо йерархично ниво.

3. Въз основа на анализ на критериите за „Енергийна ефективност” в съответствие с изискванията на Lloyd (т.2.4) е приложен иновативен подход за разширяване на факторното пространство на този изходен параметър с нови съществени фактори. Изследвана е взаимовръзката между индекс на енергийна ефективност EEDI и показателите за качество на електрическата енергия и разхода на първичен енергоносител – корабно гориво. Предложено е обогатяване на съществуваща методика от гледна точка анализа на електроенергийната ефективност, чрез включване в нея на показателите за качество на електрическата енергия и показатели отразяващи увеличението на загубите на мощност в парциален вид – с отчитане на различните съставляващи на загубите. Анализа включва и изследване на взаимовръзката между влошени показатели на качеството на електрическата енергия и оценка разхода на първичен енергоносител – корабно гориво.

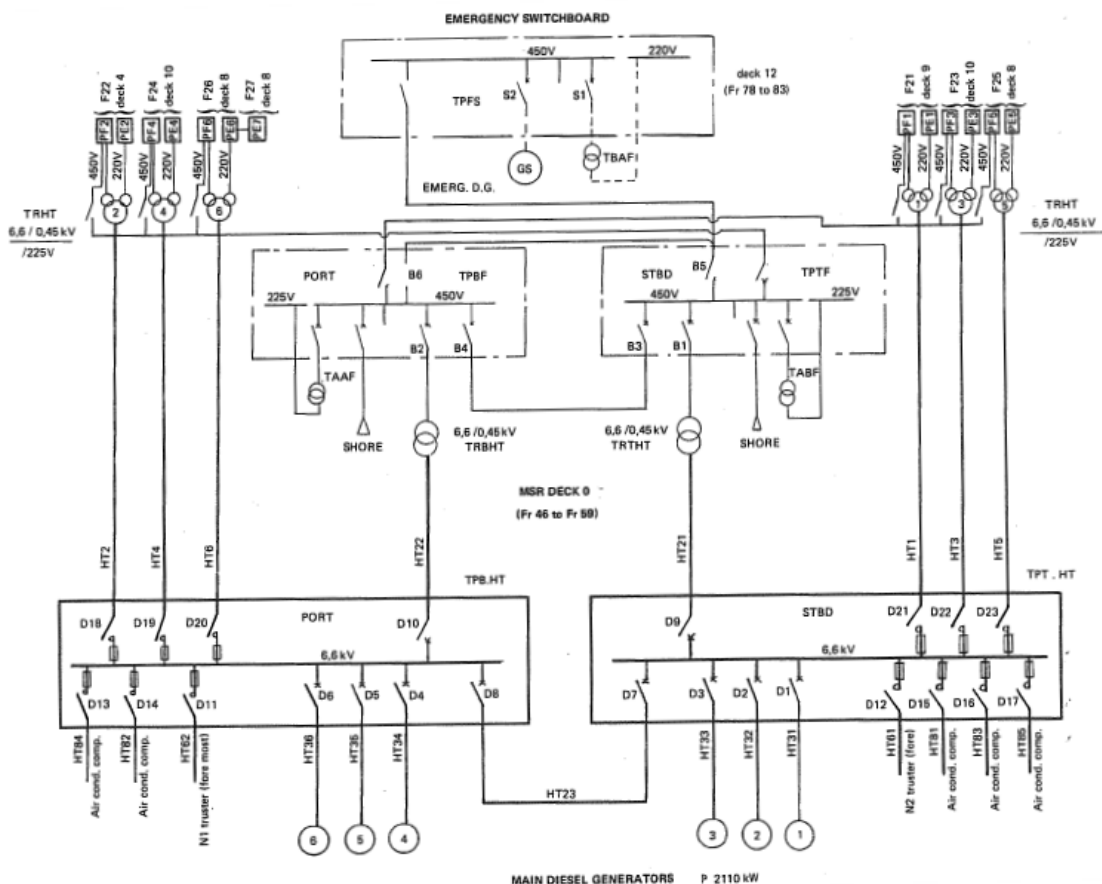
4. Базирана на теорията на моментната мощност на Akagi(т.2.2.2) е разработена мониторингова система за контрол, регистрация и управление на ПКЕЕ в КЕЕС. Структурно системата е максимално опростена, изградена е въз основа на многофункционалната DAQ карта на National Instruments и разра-

ботен допълнителен входен модул който, използва софтуерна платформа на LabView. Входящи величини са моментните стойности на трите фазни напрежения и токове, регистрирани от Clamp преобразуватели, като е възможно да се следят повече от 16 входящи аналогови сигнала. Системата измерва, изчислява и създава база данни както за електрически, така и за неелектрически параметри, което я прави универсално приложима. Работи в реално време, анализира потреблението на различни потребители и звена от КЕЕС без извеждането им от експлоатация, и е изключително подходяща за периодичен контрол и следремонтни проверки.

ГЛАВА ЧЕТВЪРТА

ПРАКТИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И АНАЛИЗ НА ПКЕЕ В КЕЕС

Обект на изследване е круизен кораб клас 1A1 с брутен тонаж 73000 GRT, дължина 268 м., пасажери 2500 души и екипаж и спомагателен персонал 1200 души. Принципна схема на корабната електроенергийна система е показана на фиг.4.1.



Фиг. 4.1. КЕЕС на круизен кораб клас 1A1

Електрозахранването се осъществява от 6 генератора Wartsila VASA 2200 kW/6,6kV и аварияен генератор Detroit Allison 400 kW/0,46 kV. Електропотребителите са разделени на две основни групи – потребители хотелска част (помещения, общи части и каюти), захранвани от шест силови трансформатора (СТ) 6.6/0,46/0,23 kV и основни системни потребители (консуматори в машинно отделение), които се захранват от двата силови трансформатори TRBHT и TRTHT, обект на настоящето изследване. Тук основен потребител са електрозадвижванията за ляв и десен борд. Двата СТ схемотехнически имат възможност за разделна, съвместна и работа в паралел. Параметрите им са както следва: TRBHT – Alstom 1000 kVA, Dyn 11, 60Hz, 6600/450/225 V, $\Delta P_0=2,2$ kW, $\Delta P_K=11,2$ kW; TRTHT – Alstom 1229 kVA, Dyn 11, 60Hz, 6600/450/225 V, $\Delta P_0=2,5$ kW, $\Delta P_K=13,2$ kW

СТ имат близки данни за загуби на празен ход и к.с. и отговарят на условията за работа в паралел.

Практическото определяне на резултатите е реализирано чрез изследване на загубите на мощност в силови трансформатори на круизен кораб, като са показани традиционни методи за оценка с коефициента на натоварване β , а също така и приложението на методика $\cos\phi$ -P план, адаптирана към изследвания обект и възможните режимни състояния на трансформаторите – самостоятелен, съвместен и работа в паралел. Използвани са данни от проведено експериментално изследване по време на преход по атлантически маршрут Сао Пауло-Барселона. Експерименталното изследване е проведено чрез измерване на различни параметри с преносим анализатор Fluke 434, като за всеки календарен ден е съставена база данни. Характерно е, че за въпросният период, плаването е в открити води и протича при еднакви метеорологични условия, като курсът е без пасажери, т.е. можем да приемем с висока степен на достоверност, че товарите графици са ергодични. По време на курса работят четири от шестте генератора.

Освен анализ и оценка на нормираните ПКЕЕ се предлага и използването на нови показатели, с чиято помощ може да се постигне по-прецизен анализ, отчитащ и влиянието на товара върху тези показатели.

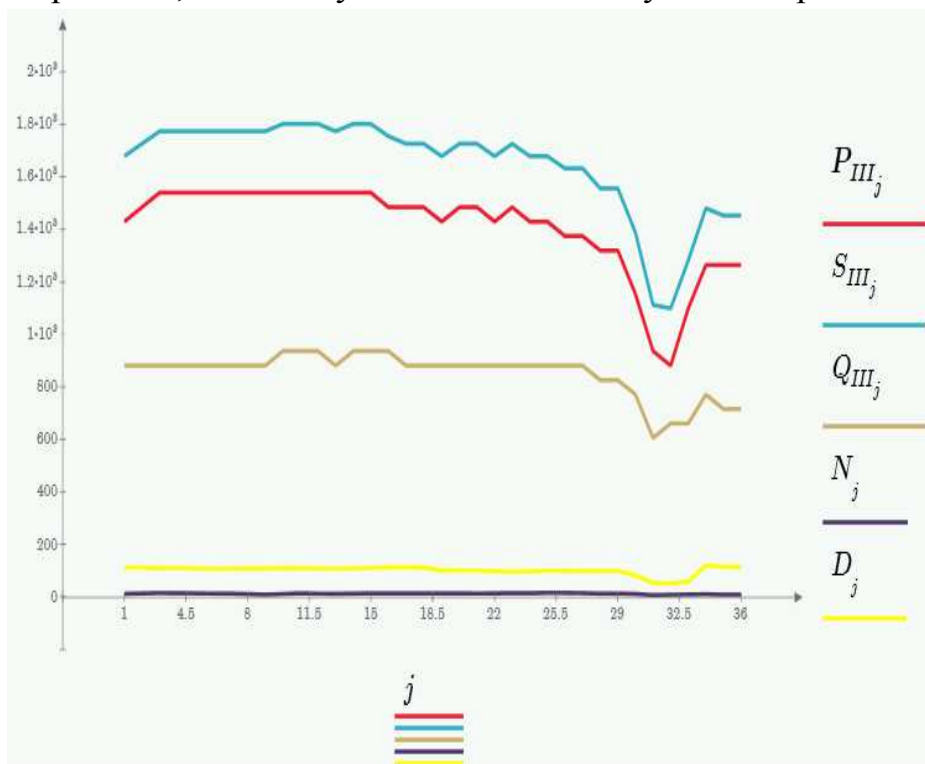
Разработени са три методики за анализ на режимите на електропотребление и ПКЕЕ.

А. Методика в MathCAD Prime за оценка на загубите на мощност в силовите трансформаторис използването на цифрови анализатори

Оценката на загубите на мощност и енергия е съществен елемент от съвременните способности за постигане на електроенергийна ефективност и намаляване

на вредните емисии от парникови газове. В представеното изследване е акцентирано върху оценка на загубите на мощност в СТ, които са основно звено от корабните енергийни системи.

На фиг. 4.2 е показан товаров график за пълна S [kVA], активна P [kW], реактивна Q [kVAr], деформационна D [kVA] и пулсираща N [kVA] мощности и за фактор на мощността PF за характерен 24-часов период. Индексът j показва номера на измерването, като в случая то е на 30 минутен интервал.



Фиг. 4.2. Съставящи на електропотреблението за 24 часов период
Оценка на загубите на мощност с $\Delta P=f(\beta)$

Загубите на мощност във функция от натоварването се определят с формула (4.1)

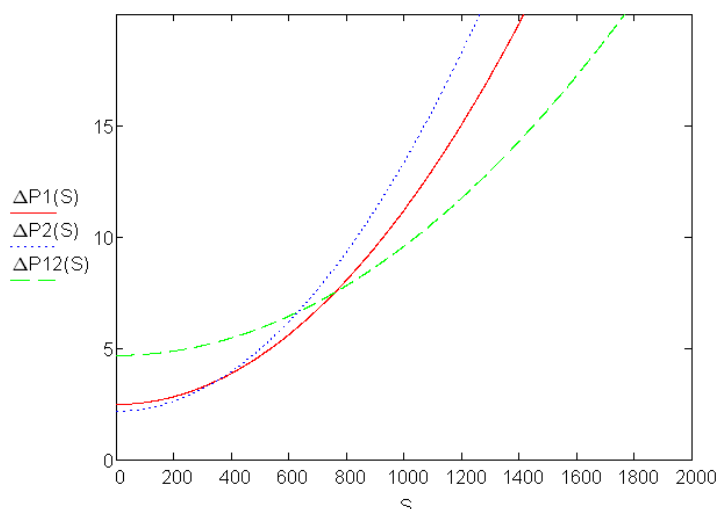
$$\Delta P_{1(2)} = \Delta P_{o_{1(2)}} + \beta^2 \cdot \Delta P_{k_{1(2)}} \quad (4.1)$$

където условно 1 – трансформатор TRBHT, 2 – трансформатор ТРТНТ

При паралелна работа израз (4.11) придобива вида:

$$\Delta P_{12} = (\Delta P_{o_1} + \Delta P_{o_2}) + \left(\frac{S}{S_{1H} + S_{2H}} \right)^2 \cdot (\Delta P_{k_1} + \Delta P_{k_2}) \quad (4.2)$$

Графичното представяне при изменение на β от 0 до 1 за конкретния тип трансформатори е показано на фиг. 4.5.. От графиките могат да се определят оптималните зони за работа на трансформаторите: натоварване до 400 kW – само Тр.2, от 400 до 750 kW – само Тр.1 и над 800 – работа в паралел.



Фиг. 4.5. $\Delta P=f(\beta)$ [kW] за Тр.1 и Тр.2 и паралелна работа

Предвид близките стойности на ΔP_0 и ΔP_K на двата трансформатора, над 800 kW общите загуби при работа в паралел или при съвместна работа ще са приблизително равни.

Оценка на загубите на мощност с отчитане на реактивния характер на товара с методика $\cos\varphi$ -P план [93].

От проведеното изследване (фиг. 4.2) се вижда, че за целия период фактора на мощността (в случая може да се говори за еднаквост между PF и $\cos\varphi$ поради ниските стойности на N и D) е под 0,9, като за средната стойност е $\cos\varphi=0.852$. Това предопределя наличие на съществени стойности на реактивната мощност и нуждата от употребата на тази методика.

В съответствие с $\cos\varphi$ -P план (виж т.2.6) се записва

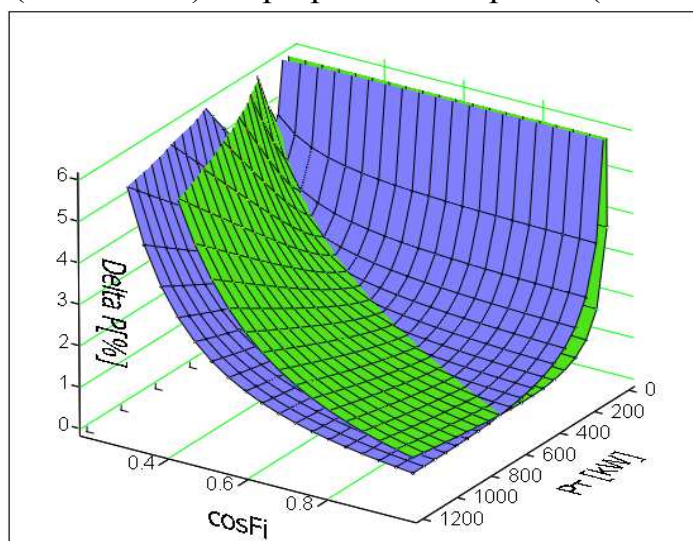
$$\Delta P(\cos\varphi, P_T) = \frac{P_0 + k \cdot \left(\frac{P_T}{\cos\varphi}\right)^2}{P_T + P_0 + k \cdot \left(\frac{P_T}{\cos\varphi}\right)^2} \cdot 100[\%] \quad (4.3) \quad k = \left(\frac{P_K}{S_H}\right)^2 \quad (4.4)$$

където: P_T – консумирана активна мощност на вторичната страна на СТ [kW]; k – отношение, представено с израз (4.4).

Повърхнината на Тр.2 има сходна форма на тази за Тр.1. При работа в паралел, израз (4.3) може да бъде преработен в израз (4.5).

$$\Delta P_{12}(\cos\varphi, P_T) = \frac{P_{01} + P_{02} + k_{12} \cdot \left(\frac{P_T}{\cos\varphi}\right)^2}{P_T + P_{01} + P_{02} + k_{12} \cdot \left(\frac{P_T}{\cos\varphi}\right)^2} \cdot 100[\%] \quad (4.5) \quad k = \left(\frac{P_{K1} + P_{K2}}{S_{H1} + S_{H2}}\right)^2 \quad (4.6)$$

На фиг. 4.7 са показани повърхнините на загубите при работа само на един трансформатор Тр.1(зелен цвят) и при работа в паралел (син цвят).



Фиг. 4.7. Повърхности на загубите за изследваните трансформатори

Сечението на тази повърхнина с равнина съответстваща на определено ниво на загубите, ще представлява крива $\cos\phi=f(P_T)$. При проведеното изследване се вижда, че най-високите стойности за $\cos\phi$ са 0,87, а най-ниските 0,81, т.е. при това натоварване работа в зона на загубите 1% е невъзможна без компенсация на реактивните товари.

Заклучение: Работните точки се намират между кривите за 1.5% и 1%. Формата на повърхнините на загубите е такава, че зоната между двете криви е широка, т.е. оптимална компенсация на реактивни товари, може да намали активните загуби с не повече от 0.5%. Тази стойност може да бъде използвана впоследствие за икономическа оценка от ефективността от внедряване на компенсиращи системи до нива $\cos\phi > 0,9$. От фиг.4.2 може да се заключи, че поради много по-малката стойност на D и N, т.е. слабо влияние на хармониците и несиметрията, повърхнината на загубите ще има малка деформация, като от двете, по-значимо влияние има деформационната мощност. В такъв случай, от средствата за подобряване на качеството на ел. енергия на ниво 6.6 kV, пасивните филтро-компенсиращи системи могат да бъдат значително по-ефективно решение от активните филтри, които от своя страна имат по-висока себестойност.

Представеното изследване показва начин за подобряване на енергийната ефективност чрез по-прецизно управление на оптималната работна област на силовите трансформатори и регулиране на фактора на мощността. За конкретния случай икономия от 0,5% се равнява в абсолютни стойности на

икономия на ел. енергия от 77MWh годишно при движение без пасажери и леки метеорологични условия (малък брой корекции на курса).

Б. Методика в MathCAD Prime 3.0 за изчисляване на нови обобщени притеглени показатели за несиметрия и несинусоидалност VTU, ITU и ITHDW, ITUW

Тук се акцентира върху възможностите за използване на някои нови показатели за качеството на ЕЕ и ЕМС, които не са регламентирани от нормативната база (виж глава т.2.3). Разработено е практическо софтуерно приложение в среда MathCAD Prime и е показана употребата ѝ при проведено експериментално изследване на круизен кораб клас 1A1.

Методиката дава възможност за бърз анализ на масиви от данни, записвани от стационарни или преносими цифрови анализатори, чрез използване на софтуерно приложение в среда MathCAD Prime 3.0, реализирано с матрично изчисления в т.2.3. Файлът с измерванията както беше пояснено в т.2.3 се присвоява чрез оператор като матрица, като размерността и е автоматична – зависи от избраните за запис величини (брой стълбове на матрицата) и продължителността на измерването (брой редове на матрицата - n).

$$data := filename.xlsx \quad n := rows(data) \quad (4.7)$$

Всяка една електрическа величина впоследствие се извлича от общата матрица като матрица стълб. При използване на изходния файл на анализатори от среден и висок клас (Fluke), задаването на напреженията (като rms) става по следния начин:

$$U_{12} := data^{(2)} \quad U_{23} := data^{(3)} \quad U_{31} := data^{(4)} \quad (4.8)$$

Напрежения, токове, активна, реактивна мощност, пълна мощност, PF, THDU, THDI, се дефинират по аналогичен начин.

Подолу са проведени изчисления в указаната последователност по методиката, представена във втора глава, т.2.3, формули 2.11 до 2.19

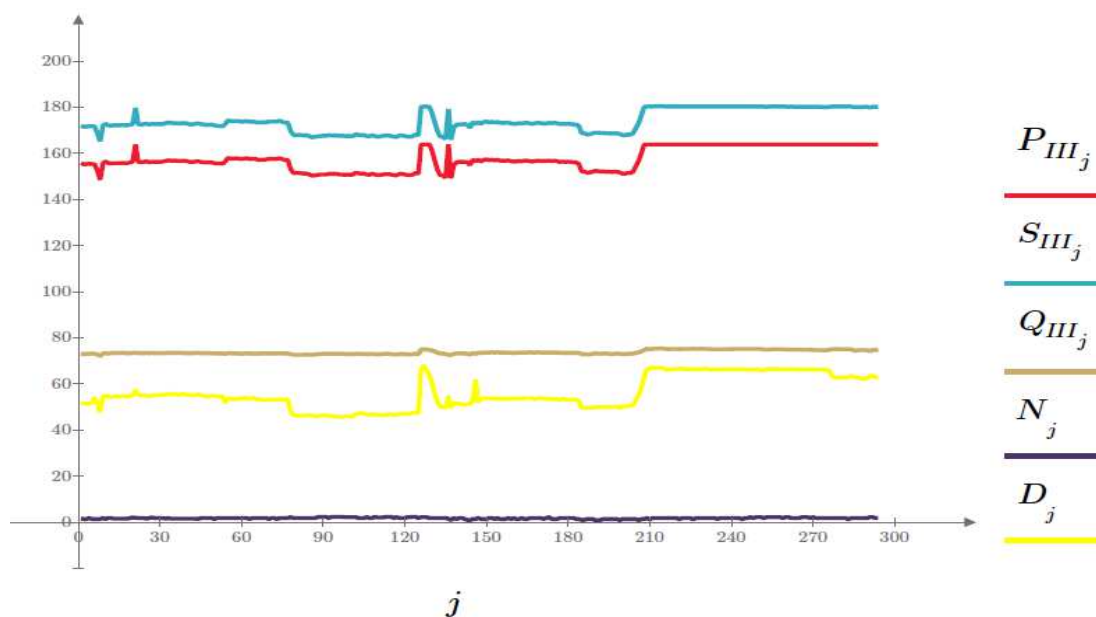
1.) Изчисляване на еквивалентното напрежение и ток (формула 2.11); 2) Изчисляване на rms за фундаменталните хармоници от показанията за rms на напреженията и THDU (Формула 2.12). По аналогичен начин се изчисляват и rms на фундаменталните хармоници на токовете; 3.) Изчисляване на TDD – total demand distortion по IEEE (Формула 2.13). По аналогичен начин се изчислява TDD за токовете – ITDD; 4.) Изчисляване на обобщените трифазни коефициенти VTDD_{3P} и ITDD_{3P} (формула 2.14).; 5.) Изчисляване на DI – deviation index (формула 2.15); 6.) Изчисляване на общ коефициент на несиметрия TU 7.)Изчисляване на TDDW (Total Demand Distortion Weighted); 8.) Изчисляване

на трифазен THDW (Total Harmonic Distortion Weighted); 9.) Изчисляване на трифазен общ притеглен коефициент на несиметрия TUW (Total Unbalance Weighted)

Обект на изследване

Предложената методика е използвана при извършено изследване на круизен кораб Sovereign, клас 1A1. Получените бази данни са обработени с предложената методика. По-долу са представени графичните зависимости за изменението на електропотреблението и на различните ПКЕЕ и ЕМС.

Представено е приложението на методиката за една от подстанциите, захранваща технологични консуматори за вентилация и климатизация за хотелска част – Substation#3 440V. За характерен 24-часов товаров график измененията на активната P [kW], реактивната Q [kVAr], пълната S [kVA], пулсиращата N [kVA] и деформационната D [kVA] мощности са показани на фиг. 4.10



Фиг. 4.10.Изменение на мощностите за 24 часов интервал.

Притегленият коефициент на несиметрия има незначителни стойности и малка разлика спрямо ITU поради липсата на значима несиметрия. Показаният пример онагледява предимствата при използването на някои показатели за качеството на ел.енергия, които не са дефинирани от стандартите.

Резултати и изводи

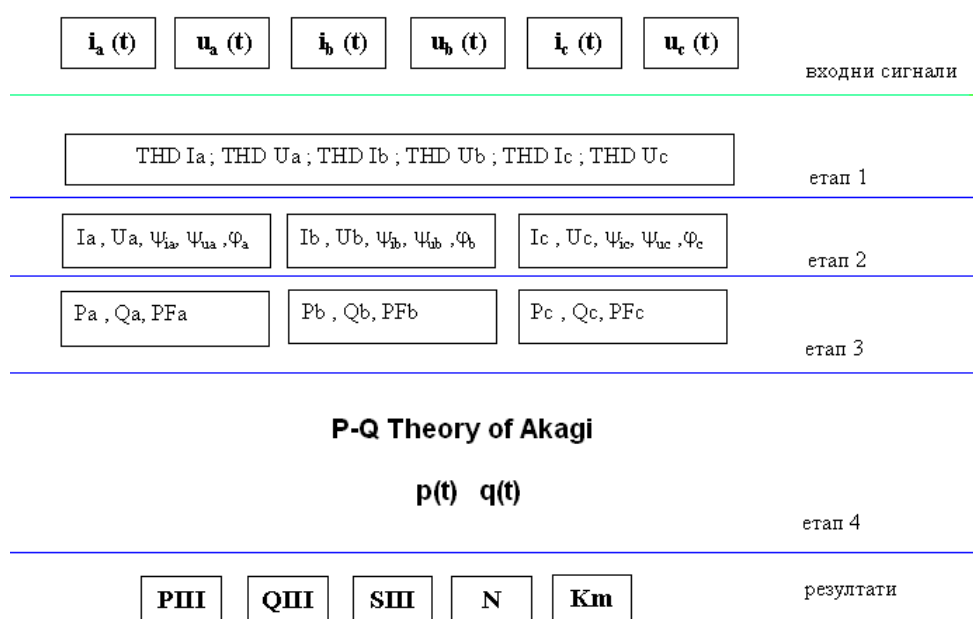
Използването на някои нови показатели за оценка на качеството на ЕЕ и ЕМС в корабни енергийни системи е възможно и удачно, т.к. по-добре онагледяват енергетичното влияние на несиметричните и нелинейните потребители.

За разглеждания случай са възможни две мерки за подобряване на качеството на ел. енергия – подобряване на фактора на мощността до нива над 0.92, което според редица изследвания, може да доведе до намаляване на загубите на мощност с 14% (от конвенционалните загуби в линиите) и намаляване на хармоничния състав на тока. Предложените показатели дават по-нагледна оценка на енергетичното влияние на хармоничния състав. В случая то възлиза на 4.8 до 6% от общото токово натоварване и респективно мощност при отчетени нива за THDI в границите 8-10%. Практическите мероприятия за компенсация и филтрация са технико-икономическа оптимизационна задача, която не е предмет на настоящето изследване.

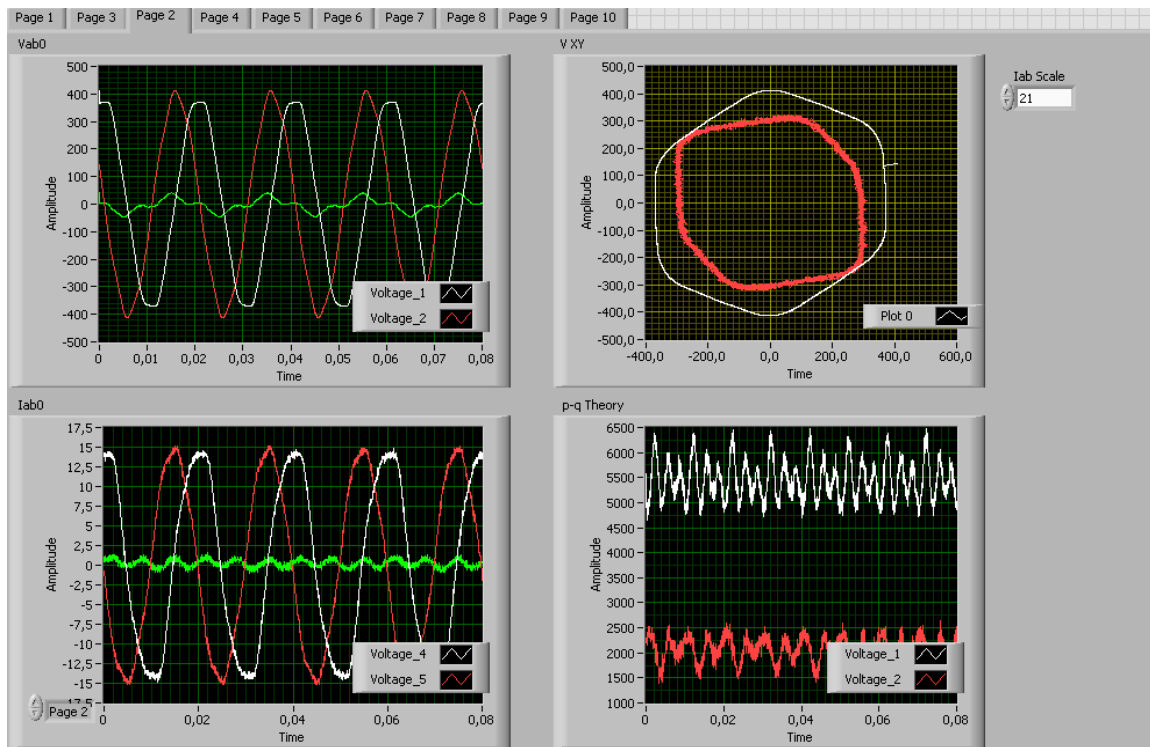
В. Методика в MathCAD Prime 3.0 за определяне на показателите за качество на ел. енергия по класически начини

Извършено е експериментално изследване на пасажерски кораб клас 1A1, като чрез изчисленията по-долу е показан анализа на секция 6.6 kV с разработената методика. По аналогичен начин са получени зависимости за шест от 11-те подстанции и някои специфични потребители (ОВК, осветление и др.)

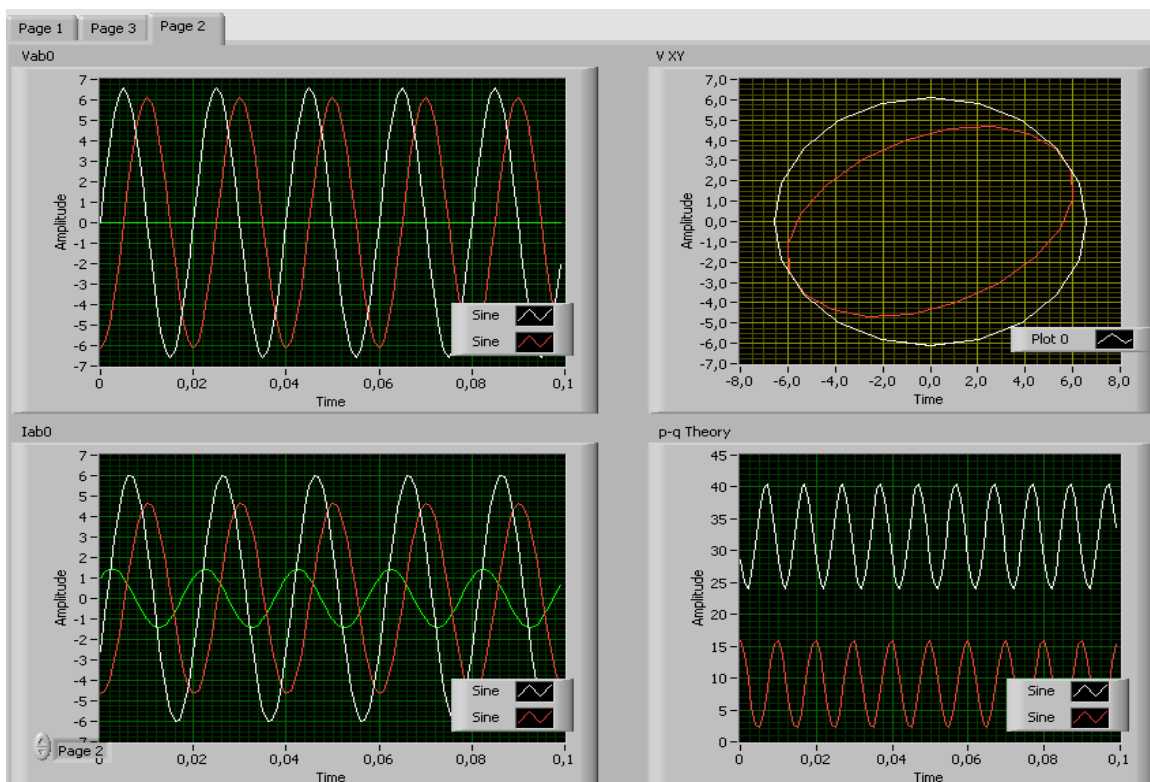
Разработена в глава трета, т.3.4 мониторингова система има доста широки възможности. Получената база данни от изследванията може да бъде обработвана с редица софтуерни продукти (съвместима е с Excel, Mathcad и др.), но LabView предлага възможност за измерване, изчисление и създаване на справки в реално време.



Фиг. 4.18. Етапи на изчислителните процедури



Фиг. 4.21. Екран визуализация р-q терория при наличие на несиметрия и несинусоидалност



Фиг. 4.22. Екран визуализация р-q терория при наличие липса на в.х., симетрия на тока и несиметрия на напрежението

За целта се прави блокова диаграма, позволяваща създаването на определени алгоритми и ползването на виртуални инструменти. В случая е систематизирана методика на изчисленията, извършваща поетапно изчислителните процедури, показани на фиг.4.18

Фронт панелът позволява използването на коригиращи коефициенти (например въвеждането на коефициентите на трансформация на токови и напреженови измервателни трансформатори) Показват се също и ефективните стойности на изчисляваните величини – честота, фазови ъгли, ъгли на дефазирание, THD, активна, пълна, реактивна мощности за всяка фаза, трифазните мощности (активна, пълна, реактивна), факторът на мощност (пофазно и като трифазна величина), комплексният вид на векторите на правата и обратна последователност на токовете и напреженията и др.

Заключение

Разработената система за изследване режимите на работа на КЕЕС и отделни потребителския приложения в научно-изследователската дейност, инженерната практика и лабораторните изследвания в учебния процес. Съчетавайки предимствата на различни измервателни уреди (многоканални осцилоскопи, волтметри, амперметри, уреди за измерване на мощност, спектрален състав, дефазирание и др.) използвани едновременно, системата дава възможност за измерване, обработка, изчисления, запис и създаване на справки за различни енергийни показатели и ПКЕЕ. Възможностите на предлаганата система за доразвиване, промяна спрямо спецификата на изследваните обекти и пр., я прави особено подходяща при изследвания, периодичен контрол, след ремонтна проверка и решаване на конкретни проблеми при експлоатация на КЕЕС.

4.3. Разработване на подход и софтуерно приложение за използване на ТПЕ при изследване и анализа на КЕЕС

В съответствие с направеният сравнителен анализ във втора глава, т.2.5, между различните типове планове, техните предимства и недостатъци, а също така и спецификата на обекта на изследване – корабна електроенергийна система, е избрано използването на Vm план с три съществени фактора, от типа В3. Тъй като цел на дисертационната работа е изследването на различни количествени показатели на електропотреблението и показатели за качеството на електрическата енергия, в реални енергийни системи, то в настоящият раздел се представя авторски подход за употреба на ТПЕ в комбинация със съвременни цифрови измервателни средства (преносими анализатори или SCADA) и използване на софтуерни продукти.

За корабните електроенергийни системи са характерни всички недостатъци, свързани с прилагането на изцяло активен експеримент – в повечето случаи е трудно, а понякога и недопустимо от технологични съображения, да се осъществява пряко въздействие върху енергетични параметри (промяна на напрежение, честота, режими на натоварвания и др.); дори и в случаите в които е възможно, предвид основните функции на корабната система, не се допуска провеждането на такива изследвания. Това определя и малкият брой налични изследвания на режимите на електропотребление като цяло, а също така не е известно до този момент да е използвана ТПЕ за анализ в корабни електроенергийни системи. Отчитайки тези фактори, е разработен следният подход:

А. Използване на активно-пасивен експеримент. Чрез измервателна техника ще се следи непрекъснатото изменение на определени величини – фактори и изходни параметри, а в случаите, в които величините не се измерват пряко, ще се извършва изчисляване на параметрите в програмна среда;

Б. Специално разработено програмно приложение ще следи изменението на величините и по вградена логика ще дефинира наличието на „опит“ – т.е. едновременно настъпване на събитие по желани нива на следените фактори.

В. При последователното настъпване на всички опити, програмното приложение ще отчита „извършването на експеримент“ – т.е. ще изчисли всички регресионни коефициенти и ще построи съответните математически модели.

Г. Създадената база данни ще позволява анализ на паралелните опити и оценка по критерии за достоверност и адекватност.

ИЗВОДИ ОТ ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

1. Извършена е апробация на предложената глава втора т.2.6. методика, основаваща се на оценка на загубите на мощност чрез концепцията на „cosφ-P” плана. Във MathCAD среда по данни от цифрови анализатори (Fluke 434), са определени оптимални работни зони за СТ TRBHT и TPТHT на круизен кораб IAI при разделна и паралелна работа, с отчитане на реактивния характер на товара, пулсиращите и деформационните мощности. Резултатите от изследването показват практическите възможности за подобряване на електроенергийна ефективност на КЕЕС за този круизен кораб чрез прецизно управление на оптималните работни области на СТ и регулиране на cosφ. Ефекта от тези мероприятия в конкретния случай се изразява в постигане на икономия на ЕЕ около 0,5%, което в абсолютна стойност възлиза на около 77MWh в годишен разряд.

2. Предложената в глава втора методика за експериментални изследвания в КЕЕС, включваща нови и нестандартизирани обобщени и притеглени показатели за несиметрия и несинусоидалност VTU , ITU и $ITHDW$, $ITUW$. В настоящата глава на нейна база е разработен подход и софтуерно приложение в среда $MathCAD Prime 3.0$ за реално използване на методиката с данни, получени от преносими цифрови анализатори или налични $SCADA$ системи. Предложеният подход убогатява съществуващите методи за оценка и анализ на електропотреблението и дава по-добър енергетичен ефект. Показано е, че подобряването на $cos\varphi$ до ниво над 0,92 води до намаляване загубите на активна мощност от порядъка на 14%, а хармоничния състав на тока при $THDI$ в границите (8-10)% увеличава общото токово натоварване, респективно мощност в границите 4,8 до 6%. Тези конкретни параметри дават възможност за по точна оценка на мероприятията свързани с компенсация на реактивни товари и филтрацията на хармониците.

3.С помощта на предложената мониторингова система в глава 3, т.3.4 са обработени в среда $LabView$ различни енергийни параметри и ПКЕЕ. Съчетавайки предимствата на различни измервателни уреди, използвани едновременно, системата дава възможност за измерване, обработка и анализ и това я прави особено подходяща при следремонтна профилактика, периодичен контрол и решаване на конкретни проблеми при експлоатацията на КЕЕС.

4.Разработен е авторски подход и софтуерно приложение за апробиране ТПЕ при изследване и анализ на процесите в КЕЕС. Софтуерното приложение е в среда $MathCAD$ и дава възможност за автоматично извършване на активно-пасивен планиран експеримент от типа B_3 чрез използването на данните от съвременни измервателни цифрови измервателни системи и или $SCADA$. Предложеният подход претендира за новост в методите за анализ на КЕЕС, прави употребата на ТПЕ практически възможна, като същевременно значително намалява времето на провеждане на такъв тип експерименти. Чрез него се обогатяват съществуващите методи за анализ и оценка на режимите на електропотребление.

ПРЕТЕНЦИИ ЗА ПРИНОСИ

1. Научни приноси

1. Предложена и апробирана е иновативна теоретична постановка за оптимизиране и усъвършенстване на индекса на енергийна ефективност EEDI с отчитане влиянието на ПКЕЕ, като чрез тази нова по същество методика най-точно и адекватно се оценява разхода на първичния корабен енергоносител.
2. На база на ТПЕ е разработен теоретичен авторски подход и софтуерно приложение в среда MathCAD за автоматично провеждане на планирани експерименти чрез използване на данните от мрежови анализатори или SCADA, като се постига спестяване на средства, време, труд и съществено повишаване качеството и ефективността на изследователският процес.

2. Научно-приложни приноси

1. Разработена и апробирана е иновативна методика за определяне на обобщени притеглени спрямо товара показатели за несиметрия и несинусоидалност с възможност за автоматична обработка и бърз анализ на масиви от данни в матрична форма, с което се постига дефиниране на значително подобрени трифазни ПКЕЕ, отчитащи по реално и адекватно енергетично въздействие на процесите в КЕЕС.
2. С използването на „Теорията на моментната мощност” е разработена мониторингова система за контрол, регистрация и управление на ПКЕЕ на базата на многофункционалната DAQ карта и допълнителен входен модул с използване на софтуерна платформа на LabView. Входящи величини са моментните стойности за токове, напрежения и др. неелектрични параметри, като системата е изключително подходяща за пълна диагностика, периодичен контрол и следремонтни проверки в КЕЕС.
3. На базата на проведен анализ се защитава тезата за целесъобразно използване на FACTS и активните филтри в КЕЕС на големите кораби от пътническия флот, като ефекта от това внедряване се изразява в значително подобряване на електроенергийна ефективност и ПКЕЕ при срок на откупуване на съоръженията, доста по-нисък от нормативния.

ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА ВЪВ ВРЪЗКА С ДИСЕРТАЦИЯТА

- [1]. Gyurov, V., **G. Ivanova**, R. Kirov, Possibility of Applying Economic Performance Indicator in Power Supply Systems in the Presence of Non-Sinusoidal Regimes, International Scientific Symposium Electrical Power Engineering, Varna, 2014, Proceeding of Paper, p.39-41, ISBN 978-954-20-0497-4
- [2]. Gyurov, V., **G. Ivanova**, R. Kirov, Study on Power Loss in Substation Transformers of Passenger Liner 1A1 Class, International Scientific Conference Unitech 2014, Proc. Of Papers, Vol. I., p. 84-87, ISSN 1313-230X
- [3]. **Ivanova, G.**, V. Gyurov, R. Kirov, B. Aprahamian, Application of Some New Power Quality Indices in Analysis of the Shipboard Electrical System Efficiency, Journal of Marine Technology and Environment, 2015, Vol I., p. 37-40, ISSN 1844-6116
- [4]. Kirov, R., V. Chikov, N. Makedonski, **G. Ivanova**, I. Iliev, Study of the Contents and Share of Abnormal Harmonics, due to Work of the Power Converters, 14th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA2015, Proceedings, pp.189-191, ISSN 1313-4965
- [5]. **Ivanova, G.**, Possibilities for Improvement of Energy Efficiency According to Quality of Electrical Energy in Shipboard Power Systems with the Use of Index EEI, 14th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA2015, Proceedings, pp.177-181, ISSN 1313-4965
- [6]. **Ivanova, G.**, B. Aprahamian, V. Gyurov, Monitoring System for Control, Registration and Management of Energy Quality Indicators in Ship Power Systems, Journal of Marine Technology and Environment, 2015, Vol2., p. 43-50, ISSN 1844-6116
- [7]. Гюров, В., **Г. Иванова**, К. Недев, Изследване режимите на електропотребление и качествени показатели на електрическата енергия на круизен кораб в режим на преход, Годишник на ВВМУ „Н. Вапцаров“, гр. Варна, 2016

СЪКРАЩЕНИЯ ИЗПОЛЗВАНИ В ТЕКСТА

АСФ – Активен силов филтър;
БКР – Български корабен регистър;
ВХ – висши хармоници;
ГРТ – главно разпределително табло;
ЕЕ – електрическа енергия;
ЕЕЕф – електроенергийна ефективност;
ЕМС – електромагнитна съвместимост;
ИП – изходни параметри;
ИВХ – източник на висши хармоници;
КЕЕС – корабна електроенергийна система;
КБ – кондензаторна батерия;
ННР – несиметричен и несинусоидален режим;
НН – ниско напрежение;
ОЦКП - ортогонално централно композиционни планове;
ОВК – отопление, вентилация и климатизация;
ПО – повърхнина на отклика;
ПКЕЕ – показатели за качеството на електрическата енергия;
РЦКП - ротатабелни централно композиционни планове;
САРН – система за автоматично регулиране на напрежението;
СП – силови преобразуватели;
СГ – синхронен генератор;
СТТ- статични характеристики на товара;
СН – средно напрежение;
СТ – силови трансформатори;
СРФ – силови резонансни филтри;
ТПЕ – Теория на планиране на експеримента;
ФО – функция на отклика;
ЧВ – честота на въртене;
ШИМ – широчинно-импулсна модулация;
ШИП – широчинно-импулсно преобразуване;
ШС – шинна система;
SVC – статичен компенсатор на реактивна енергия;
SSSC – статичен синхронен последователен компенсатор;
TCSC – тиристорно управляем последователен компенсатор;
UPFC – универсален контролер на потока на мощност;
UPQC – универсален подобрител на качеството на електрическата енергия;

