

**ВВМУ „НИКОЛА ЙОНКОВ ВАПЦАРОВ”
ФАКУЛТЕТ „ИНЖЕНЕРЕН”
Катедра „ЕЛЕКТРОТЕХНИКА”**

Инж. Гинко Ангелов Георгиев

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ
ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ В КОРАБНИ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ**

Научна специалност 02.04.15 „Електроснабдяване и електрообзавеждане”

АВТОРЕФЕРАТ
на
ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД

За придобиване на образователната и научна степен
„ДОКТОР”

Научни ръководители:

1. доц.д-р.инж.Петко Д. Петков-ВВМУ-Варна
2. доц.д-р.инж.Марин М. Недев-ВВМУ-Варна

ВАРНА 2012

Дисертационният труд се състои от 141 страници

Основен текст - 126 стр.

Брой на литературните източници – 113

Брой на фигурите – 98

Брой на таблиците – 8

Брой на приложенията – 1

Брой на публикациите по дисертацията - 7

Защитата на дисертационния труд ще се състои на от
.....ч. в зала на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”

Рецензиите, становищата на членовете на научното жури и
авторефератът са публикувани в сайта на училището

www.naval-acad.bg

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в
канцеларията на катедра „Електротехника”, при ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”,
Варна, Адрес: Варна, ул. ”Васил Друмев” №73

Дисертантът работи в „ЕК ИП 5” ООД и е задочна форма на обучение в катедра „Електротехника” при факултет „Инженерен” на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”.

Изследванията от дисертационния труд за извършени във ВВМУ, ТУ-Варна и др.

Дисертационният труд е насочен за защита от Факултет „Инженерен” при ВВМУ „Н. Й. Вапцаров” в съответствие на чл. 5, ал. 1 от ЗРАС.

Автор: Гинко Ангелов Георгиев

Заглавие: Изследване на възможности за въздействие върху енергийната ефективност в корабни електроенергийни системи

Тираж 10 броя

Дисертационният труд обхваща пет глави с общ обем 142 печатни страници, в това число и списък на използваната литература съдържаща 113 заглавия. Изложеният материал е илюстриран със 98 фигури и 95 формули. В автореферата всички означения, номерации на формулите, фигурите и таблиците са според означенията в дисертацията.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от разширен катедрен съвет на катедра „Електротехника”, при ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, Варна състоял се на: 15.03.2012 г.

Защитата на дисертацията ще се състои на.....от часа на в зала..... на ВВМУ. На заседание пред специализирано жури.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на катедра „Електротехника”, при ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, Варна

Автор: инж. Гинко Ангелов Георгиев

Заглавие: **„ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВЪЗДЕЙСТВИЕ
ВЪРХУ ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ В КОРАБНИ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ”**

Обща характеристика на дисертационния труд

Актуалност на темата

Енергийната ефективност е обобщаващо понятие. С него се определят степените на полезност на енергийните превръщания по веригата на енергийния цикъл от проучването и добива до крайното потребление на енергийните носители. През последните години понятието енергийна ефективност стана синоним на нов мироглед, философия и политика за осигуряване на хармония между енергетиката и природата. За тази цел в редица развити икономики са приети стратегии, в това число и в нашата страна за развитие на енергетиката и енергийната ефективност. Поставят се дългосрочни цели, които са универсални и отговарят на нуждите на страната ни.

Като един от елементите включващи се в енергийната ефективност се явява електроенергийната ефективност. Тя се определя предимно от техническите загуби при производството, преноса, разпределението и използването на електроенергията. Поради неоспоримите постижения на силовата полупроводникова техника използвана в различни преобразователни и хранящи устройства относителния дял в корабното електрообзавеждане на този вид нелинейни устройства през последните 15-20 г. нарасна по отношение на линейните в електрическо отношение потребители. Същевременно в някои корабни постройки, в това число и специализирани, несиметричното натоварване в електроразпределителните им мрежи има чувствителен дял. Вероятностния характер на включване на редица еднофазни потребители създават несиметрия в корабните мрежи.

Появите на висши хармоници и несиметрии в корабните електроразпределителни мрежи в качеството на смущения в тях бележат ясно очертана тенденция за по-нататъшно нарастване. Това се отразява негативно върху нормалната работа на електрическите потребители, като се завишават електрическите загуби в тях, намалява се тяхната производителност, като същевременно се появяват и други вторични негативни последици. Всичко това се

отразява върху енергийната и в частност електроенергийна ефективност.

Ето защо в настоящият дисертационен труд, основен акцент при решаване на проблемите свързани с енергийната ефективност в корабни условия се поставя в по-тесен контекст на проблема, а именно работа на електроснабдителните системи и силово електрообзавеждане в условия на смущения с висши хармоници и несиметрия.

Цели и задачи на дисертационния труд:

- Приложение на обобщени подходи за анализ и оценка на електроенергийни процеси в електроразпределителни мрежи и електрически потребители на корабни системи;
- Изследване влиянието на преходни процеси и смущения от несиметрии и висши хармоници върху енергийната ефективност на основни елементи от електрообзавеждането на корабни системи;
- Симулационни изследвания на специализирани технически средства за подобряване енергийната ефективност в корабни електроенергийни системи;
- Експериментални изследвания на възможностите за управление на енергийната ефективност в корабни условия.

Методи на изследването

При изследване на възможностите за въздействие върху енергийната ефективност в корабни електроенергийни системи основно е използван метода на „изобразяващия вектор” в съчетание с теорията на „моментните мощности”. В дисертационния труд част от резултатите са получени посредством компютърни симулации в среда Simulink на Matlab, а други посредством физическо моделиране и изпитване в лабораторни и реални условия.

Нови научни резултати:

В дисертационния труд са получени следните основни резултати:

1. Изяснена е целесъобразността от използване на „изобразяващия вектор“ в съчетание с метода на „моментната“ мощност за анализ и оценка на възможностите за въздействие върху енергийната ефективност в автономни (корабни) електроенергийни системи при наличие на смущения породени от преходни процеси, висши хармоници и несиметрия.

2. Доказано е, че техническите загуби могат да бъдат представени във вид на „изобразяващ вектор“. Това дава възможност за детерминиране компонентите на техническите загуби получавани от лош $\cos\phi$, висши хармоници и несиметрия в токовото натоварване по отделно и като цяло.

3. Изяснено е, че представянето на техническите загуби посредством „изобразяващ вектор“, създава предпоставки за развитие на системи за наблюдение, анализ и въздействие върху енергийната ефективност в корабни условия.

Практическа ценност:

Практическата ценност на резултатите се състои в следното:

1. Установено е, че посредством бързодействащ статичен компенсатор (БСК) се постига управление напрежението на електроенергиен източник (СГ) от автономна (корабна) система в режим свързан с развъртане на асинхронно електрозадвижване (АЕЗ). Това има за последици като цяло повишаване на енергийната ефективност в системата.

2. Изяснено е, че при наличие на висши хармоници в корабните електроенергийни системи е целесъобразно използване на хибридни филтри. Те запазват работоспособност при промяна честотата на мрежата и температурни промени в околната среда. Тези филтри могат да потискат висши хармоници под нормативната стойност на $THDi$ от 5% само с два пасивни и активни елемента настроени за 5-ти и 7-ми хармоници. Мощността на активните им елементи не превишава 10% от мощността на нелинейните товари. Ниската им себестойност в сравнение със силовите активни филтри, обуславя тяхната целесъобразност от

приложение за повишаване енергийната ефективност в корабни условия.

3. Уточнено е, че с помощта на специализирани технически средства основаващи се на импулсна токова добавка към несинусоидален ток потребяван от нерегулируем трифазен изправител се постига коригирана форма близка до синусоидална. В тези устройства се използва токов генератор съставен от двойка идуктивности управлявани противотактно от високочестотни комутатори. Това обуславя тяхното възможно използване за повишаване на енергийната ефективност в корабните електроенергийни системи.

Реализация в практиката:

Реализирани са изследвания и са оценени въздействията върху Електроснабдителната система от мощен честотопреобразувател във Военноморска база Атия осъществяващ брегово захранване на военните фрегати по натовски стандарт.

На база извършени измервания и анализи на проблемите, свързани с резонансни процеси при работа на мощни полупроводникови изправители, генериращи висши хармоници е реализирана и внедрена система за компенсация на реактивната мощност във фирма Enersys – Търговище. Това е реализирано в условия на смущения предизвикани от висши хармоници.

Публикации:

По дисертационния труд са публикувани седем авторски публикации. Основните резултати са докладвани на форуми с международно участие в гр.Варна, Габрово, В. Търново и Констанца – Румъния.

Кратко съдържание на дисертационния труд

Глава първа

Съвременно състояние на проблема свързан с въздействие върху енергийната ефективност в корабни електроенергийни системи.

В тази глава е направен обзор на съвременното състояние на проблема свързан с въздействие върху енергийната ефективност в корабни електроенергийни системи. Направена е оценка на прилаганите методи и технически средства свързани с ограничаване на електрическите загуби при разпределение и използване на енергията. Направен е критичен анализ на теоретичните методи, използвани за изследване на електроенергийни процеси в електроразпределителни мрежи и потребители. Анализирани са проблеми свързани с реализиране на мониторинг и прилагане на съвременни информационни технологии при осъществяване на енергийна ефективност.

В резултат от направения анализ са формулирани основни изводи от проучването:

1. Управлението на енергийната ефективност в корабните електроенергийни системи поставят за решаване важни проблеми от теоретичен и практично приложен характер. Налага се провеждане на задълбочени изследвания с оглед намиране на ефективни решения. Това се обуславя основно от нарастващите тенденции за смущаване на електрическите системи на корабите с висши хармоници и несиметрии

2. Прилагането на определени решения свързани с управление на енергийните процеси в корабни условия е свързано с реализиране на конкретен мониторинг и е обусловено от мениджърски цели и задачи. Те имат конкретен характер за конкретни обекти.

3. Нарастващата тенденция за смущения от висши хармоници и несиметрии в корабните електрически системи изисква прилагане на рационални подходи по-различни от класическите при решаване на въпросите с енергийната ефективност и енергопроцесите като цяло.

4. В световната практика са разработени разнообразни методи и технически средства за управление на електроенергийните процеси и свързаните с тях електрически загуби в условие на смущения породени от висши хармоници и несиметрии в електроразпределителните системи. Една значителна част от тези въпроси са намерили своето частично или цялостно решение. Развитието на елементната база на силовата електроника и новите методи на високочестотни модуляции доведе до създаване на многофункционални устройства на база на активни филтри. На този етап основна пречка за масовото им внедряване е високата им себестойност . Това налага търсенето на други технико-икономически ефективни и целесъобразни решения при детерминирани случаи на смущения в корабните електроразпределителни системи.

5. Проблема с управление на енергийната ефективност в условия на смущения в корабните електроразпределителни системи, както и протичащите силно изразени преходни процеси на кораба поради съизмеримост на генериращите мощности и товара, изисква прилагане на специализирани математически методи за анализ и изследване на такъв вид режими. Все още обаче в теоретичен и практично-приложен аспект този въпрос не е решен цялостно. Особено внимание трябва да се обърне на възможността за адаптиране на подхода свързан с използване на „изобразяващия вектор” в комбинация с метода на „моментните мощности” за оценка на енергийната ефективност.

Глава втора

Приложение на обобщени подходи за анализ и оценка на електроенергийни процеси в електроразпределителни мрежи и силовото електрообзавеждане в корабни системи.

Основните цели в тази глава са следните:

- Използване възможностите на теорията на „изобразяващия вектор” в съчетание с теорията на „моментната мощност” за анализ

и оценка на електромагнитните процеси в корабните системи. Това включва обобщен подход при определяне състоянието на електрическите величини ток и напрежение в условията на електрически системи със смущения, определяне на пълната мощност и нейните компоненти, както и поражданите технически загуби от такива режимни състояния;

- Приложение на симулационни модели за изследване режимните характеристики на силовите елементи от електрообзавеждането в корабните системи в условия на смущения от висши хармоници и несиметрии.

Определяне на техническите електрически загуби като „изобразяващ вектор” при смущения с висши хармоници и несиметрия в електроенергийната система на кораба .

Техническите електрически загуби се определят основно от големината и характера на електрическите товари. Тези загуби върху реалната компонента на импеданса на електроразпределителната система като „изобразяващ вектор” може да се представят във вида.

$$\overline{\Delta P}(t) = \frac{3}{2} R_{\Sigma} \bar{I}^2(t) \quad (2.31)$$

където: R_{Σ} - представлява еквивалентното активно електрическо съпротивление от импеданса на електрическата мрежа.

$\bar{I}(t)$ - „изобразяващ вектор” на тока определен от зависимостта (2.6)

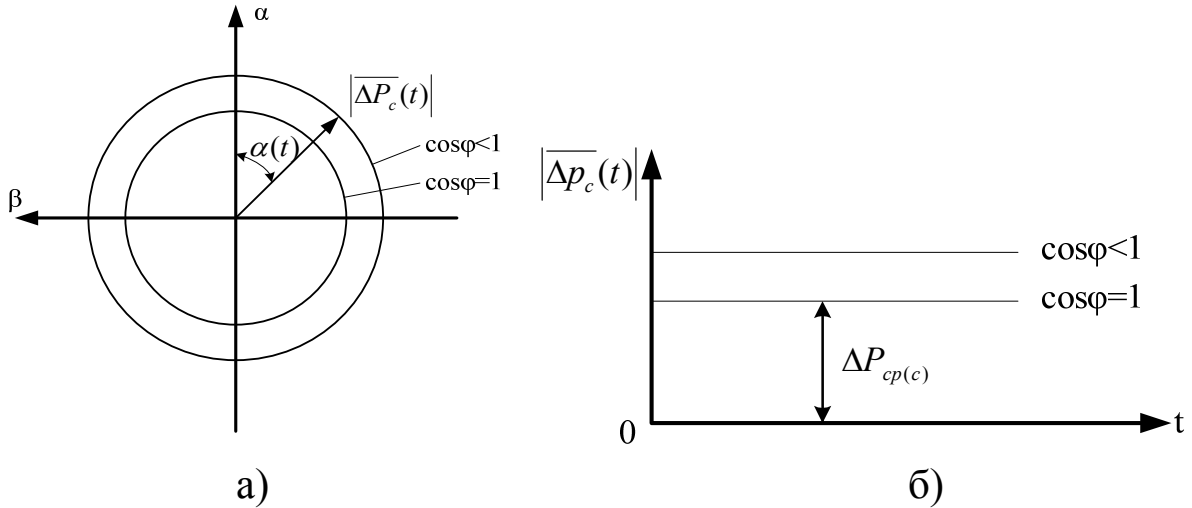
След заместването на (2.6) в (2.31) за „изобразяващия вектор” на електрическите загуби се получава зависимостта:

$$\overline{\Delta P}(t) = \frac{3}{2} R_{\Sigma} |\bar{I}(t)|^2 \cdot e^{j2\alpha(t)} \quad (2.32)$$

Фазата на „изобразяващия вектор” $\alpha(t)$ в най-общия случай на изменение на фазните токове формираци „изобразяващия вектор” се определя от израза:

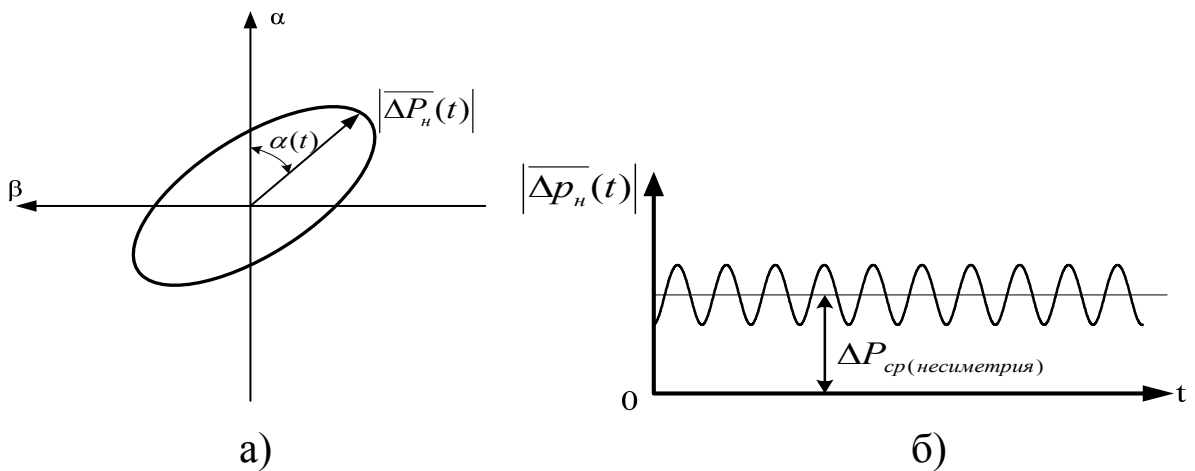
$$\alpha(t) = \arccos \frac{i_\alpha}{|\bar{I}(t)|}$$

В случай на пълна симетрия и отсъствие на висши хармоници в потребявания ток ходографа на $\bar{\Delta P}(t)$ и неговия модул са показани на фиг. 2.10



(фиг. 2.10)

При наличието на несиметрия, ходографа и модула на $\bar{\Delta P}(t)$ имат вида отразен на фиг.2.11

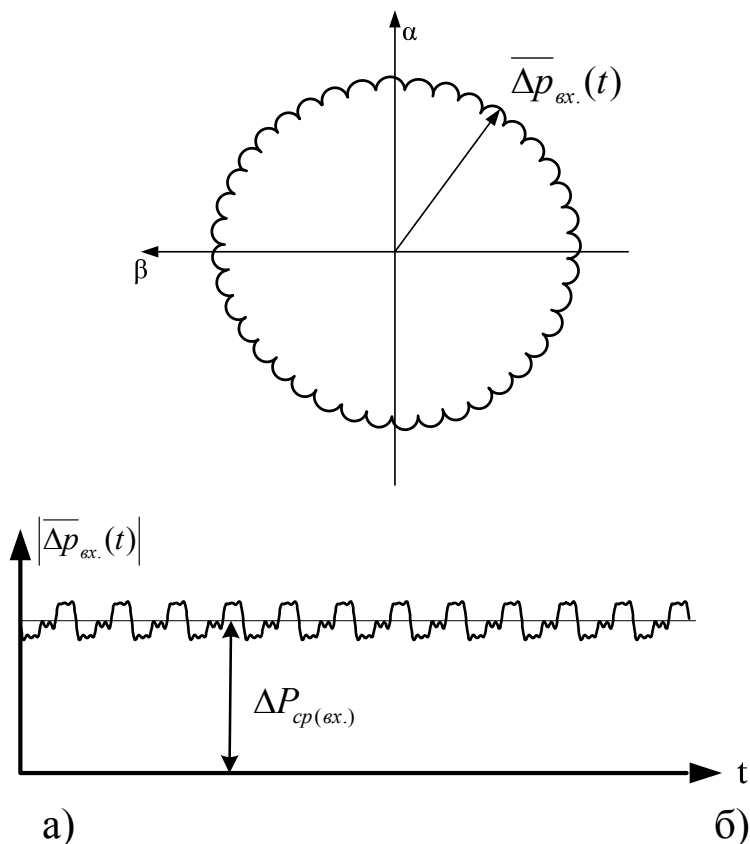


фиг.2.11

Средната загуба за период определя електрическите загуби върху R_{Σ} на електроразпределителната мрежа на кораба.

$$\Delta P_{cp(нес.)} = \frac{1}{T} \int_0^T \overline{|\Delta p_{нес.}(t)|} dt \quad (2.33)$$

В случай на наличие на висши хармоници в електрическата мрежа, ходографа и модула на $\overline{\Delta p}(t)$ придобиват вида показан фиг. 2.12



фиг. 2.12

Средната загуба върху R_{Σ} при наличието на висши хармоници се намира от интеграла:

$$\Delta P_{cp(ex)} = \frac{1}{T} \int_0^T \overline{|\Delta p_{ex}(t)|} dt \quad (2.34)$$

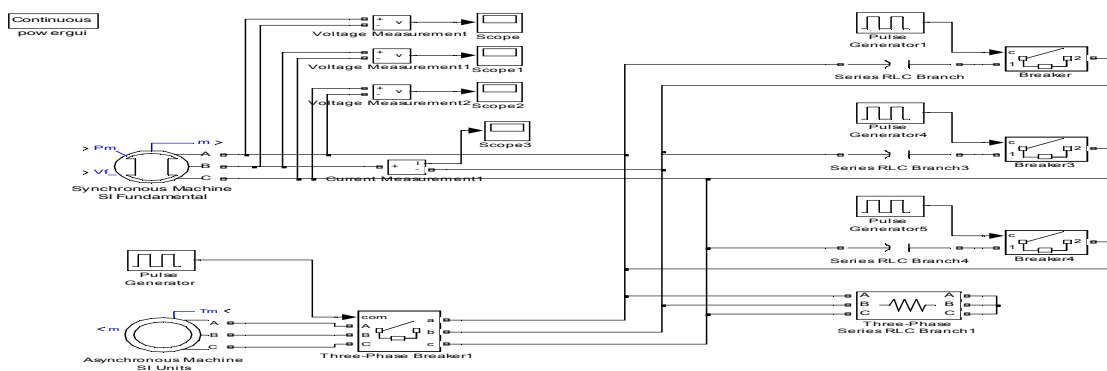
Глава трета

Изследване на преходни и установени режими на основни елементи от електрообзавеждането на корабни системи системи при наличие на несиметрия и висши хармоници и влиянието им върху енергийната ефективност.

Експлоатацията на електрообзавеждането в корабни системи в преходни и установени режими в условия на несиметрия и висши хармоници се характеризира с влошаване на технико-икономическите му характеристики. Това се отразява неблагоприятно не само върху електроенергийната ефективност, но и върху енергийната ефективност като цяло в системите на кораба. За да се реализират организационни или технически целесъобразни в икономически план решения е необходимо да се познават добре режимните характеристики на електрообзавеждането работещо в условията на влошени показатели за качеството на захранващото напрежение с възможност за оценка на получаваните резултати от това въздействие. За постигане на тези цели е необходимо провеждане на целенасочени изследвания за конкретни обекти и за конкретен характер на натоварване на електрообзавеждането. При осъществяване на тази задача е приемливо да се използват два подхода:

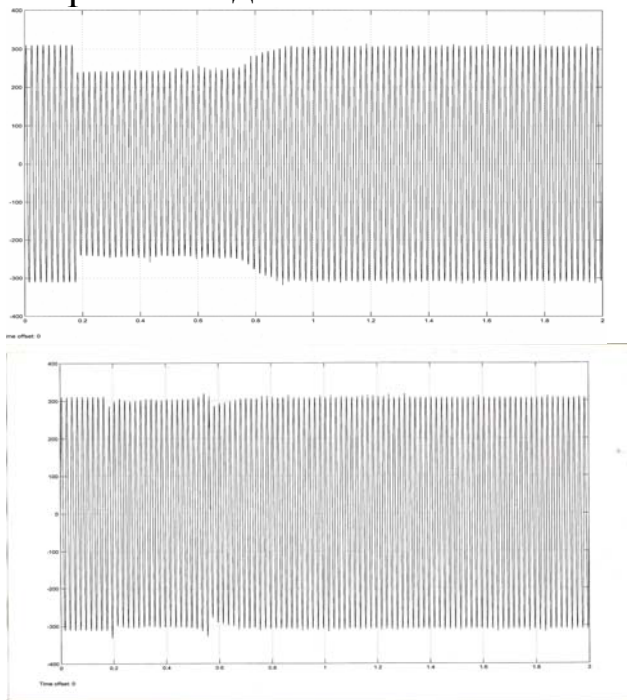
- чрез математическо моделиране на процесите
- чрез физическо моделиране на процесите в лабораторни или реални условия

Симулационно изследване на асинхронно елетрозадвижване:



Фиг.3.1

Симулационната схема се състои от генератор с $P=200$ КВт и асинхронен двигател с $P=90$ КВт включван под натоварване. От фиг.3.2а може да се проследи развитието на преходния процес при развъртане на двигателя.



а)

б)

Фиг. 3.2

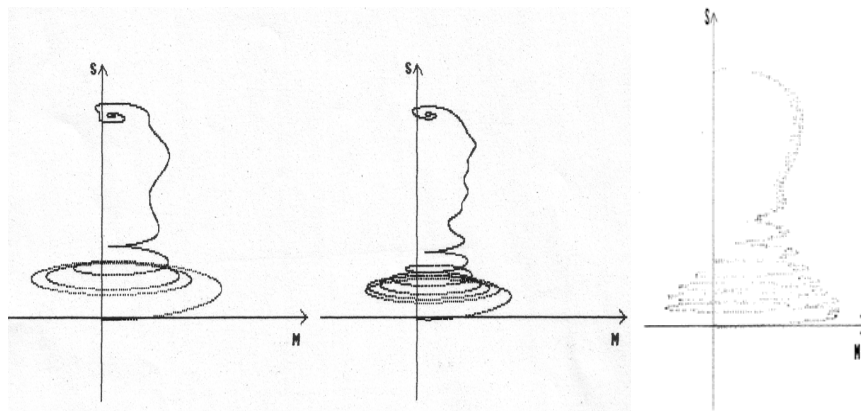
В началния момент на включване на двигателя във времето ($0+$) се получава най-големия провал в напрежението на шините на захранващия източник (генератор). Големината му зависи от съотношението на свръхпреходното индуктивно съпротивление на генератора и преходното индуктивно съпротивление на асинхронния двигател.

С оглед на това да се ограничи провала в напрежението на шините на генератора в пусков режим на асинхронния двигател се реагира капацитивна реактивна мощност посредством бързодействащ статичен компенсатор, както това е показано на Фиг.3.1, при включен бързодействащ статичен компенсатор.

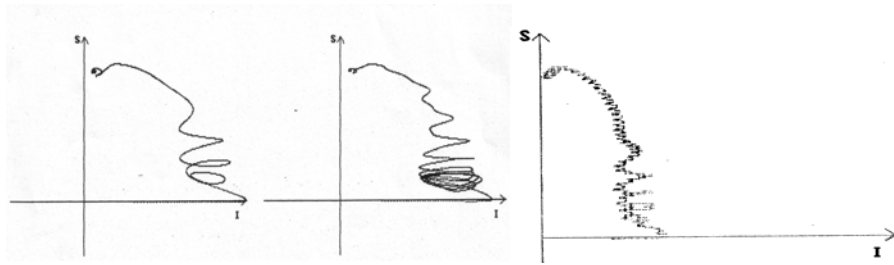
От направените аналитични изследвания за загубата на енергия в разгледаното асинхронно електрозадвижване в пусков режим съгласно (3.5) се установи, че в зависимост от степента на компенсация в провала на напрежението на клемите на асинхронния двигател тази енергия се намалява от 1.5 до 2 пъти .

Изследване влиянието на захранващото напрежение с влошено качество при наличие на несиметрия и висши хармоници върху асинхронни корабни електрозадвижвания.

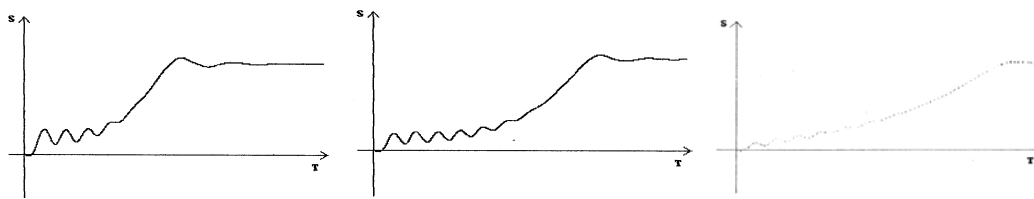
Изследването е извършено на основа на математически модел и програма реализирана на базата на преобразуванията на Парк-Горев



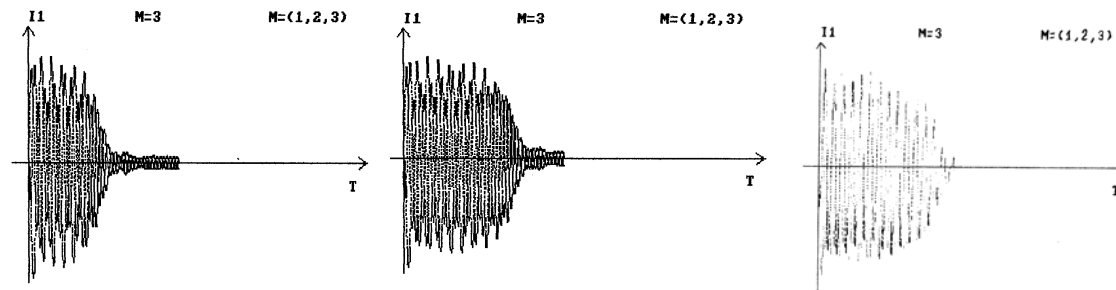
Фиг.3.3



Фиг. 3.4



Фиг. 3.5



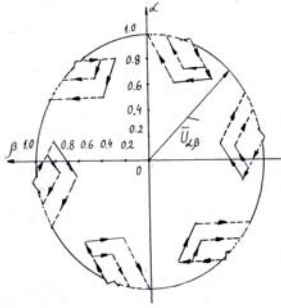
Фиг.3.6

Внимателният анализ на графиките дава възможност да се направят редица важни заключения, касаещи намаляване на момента развиван от двигателя при несиметрии и висши хармоници в захранващото напрежение, удължаване на времето на развъртане на електрозадвижването, както и удължаване на времето на протичане на пусковите токове през двигателя. Всичко това води до влошаване на работата на асинхронните задвижвания в преходен и установен режим на работа и намаляване на енергийната ефективност при тяхната експлоатация.

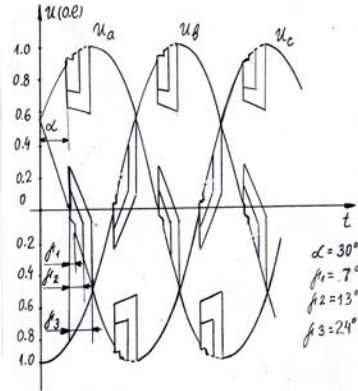
Изследване работата на автономно работещ синхронен генератор със съизмерим по мощност нелинеен товар - мостов изправител

Широкото внедряване на силовата полупроводникова техника като съставна част на съвременното електрообзавеждане поставя за решаване на редица проблеми в корабните електроенергийни системи. Този проблем възниква особено остро тогава, когато съществува съизмеримост по мощност между захранващия енергиен източник и силовия полупроводников преобразувател явяващ се като нелинеен електрически товар. Такива са случаите в повечето кораби електроходи, както и в съвременните корабни електрозадвижвания комплектовани с честотопреобразуватели. Обратното влияние на нелинейните потребители върху захранващия източник предизвикват смущения и върху нормалната работа на останалите линейни потребители включени към този източник, като влошават техните работни и енергетични характеристики, т.е. като цяло влошават енергийната ефективност на кораба. Аналитичното изследване е осъществено въз основа на математически модел на СГ и мостов изправител, представени във векторен вид.

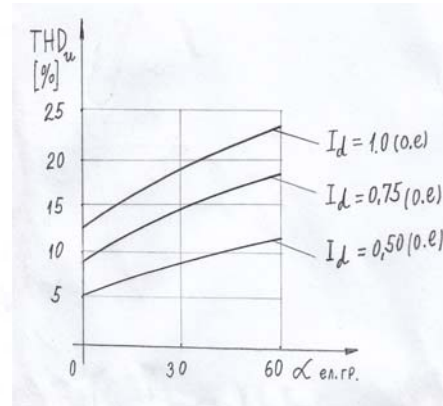
$$\begin{aligned} -\overline{U}_{dq} &= \frac{d}{dt} \overline{\psi}_{dq} + j \overline{\psi}_{dq} + r \overline{I}_{dq} \\ \overline{U}_f &= \frac{d}{dt} \overline{\psi}_{fdq} + r_f \overline{I}_f \\ \overline{\psi}_{dq} &= x_m \overline{I}_{dq} + x_m \overline{I}_f \\ \overline{\psi}_{fdq} &= x_m \overline{I}_{dq} + x_f \overline{I}_f \\ \overline{I}_{\alpha\beta} &= \overline{I} \cdot I_d \\ \overline{I}_{\alpha\beta} &= \overline{I}_{dq} \cdot e^{jt} \\ \overline{U}_{\alpha\beta} &= \overline{U}_{dq} \cdot e^{jt} \end{aligned} \quad (3.16)$$



фиг. 3.7



фиг. 3.8



фиг. 3.9

От получените резултати, показани на фиг. 3.7, 3.8, 3,9 се вижда, че с увеличаване на натоварването от страна на полупроводниковия преобразувател и дълбочината (ъгъла) на управление нараства THD_u, тоест нараства изкривяването в напрежението и се увеличават висшите хармоници в него за сметка на основния хармоник. Като се има предвид, че и в потребявания от полупроводниковия преобразувател ток съществува безкраен нечетен ред от висши хармоници следва, че в системата генератор-полупроводников изправител се формира мощност различна от активната и реактивна такава, дължаща се на пораждащите се висши хармоници. Тази мощност се дължи на възникващи деформации във формата на кривата на напрежението и тока в системата генератор-преобразувател и се определя като деформационна. При съблюдаване на обстоятелството, че масогабаритните параметри на електрообзавеждането са в пряка зависимост от пълната номинална мощност, то появата на деформационна мощност води до повишаване на пълната такава,

т.е. до претоварване. За да се избегне подобно режимно състояние от претоварване се ограничава консумацията на активна мощност. По този начин се намалява полезната използваемост на електрообзавеждането, което се отразява на енергийната ефективност.

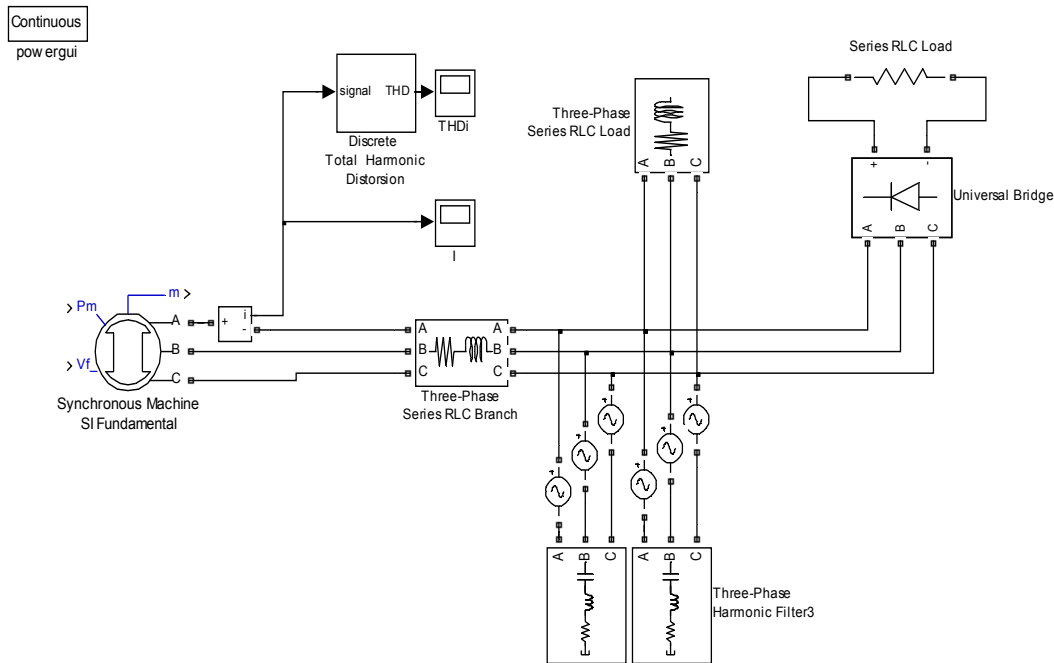
Глава четвърта

Изследване на възможност за използване на специализирани технически средства при подобряване енергийната ефективност в корабни електроенергийни системи

Наличието на висши хармоници и несиметрии в корабните електроенергийни системи е свързано с увеличаване на електрическите загуби в тях. Повишаването на енергийната ефективност в тези системи изисква намаляване на електрическите загуби с използване на специализирани технически средства. Прилаганите в световната практика устройства, като например силови активни филтри, които притежават многофункционалност имат ограничено приложение. Те са с голяма инсталирана мощност, което определя и тяхната висока себестойност. Постигането на енергийна ефективност в условия на висши хармоници и несиметрии изисква тяхното минимизиране до определени нива. Това трябва да се реализира с устройства имащи високи технико-икономически показатели. В настоящата глава се правят изследвания основно на приложения свързани с използването на хибридни филтри и специализирани технически средства посредством импулсни въздействия върху формата на кривата на тока.

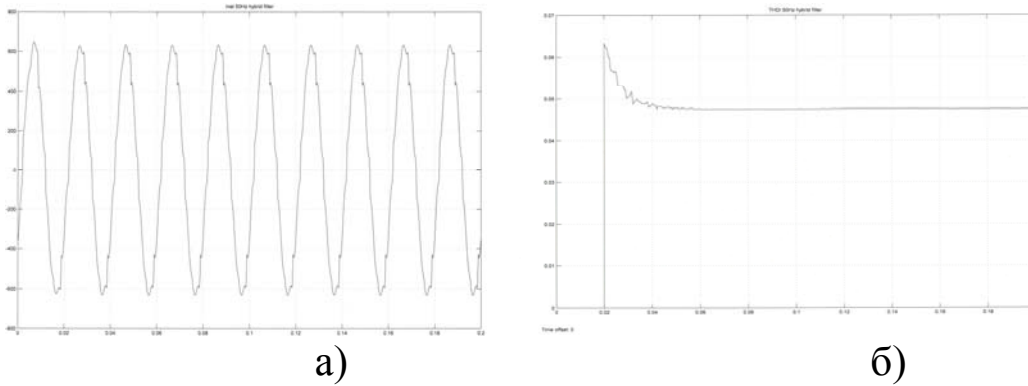
Изследване функционалната пригодност на специализирани технически устройства за ограничаване на висши хармоници в корабни електроенергийни системи посредством хибридни филтри.

Представени са резултати от проведено изследване свързано с приложимостта на хибридни филтри в корабните електроенергийни системи. Те представляват комбинация от резонансни (L-C) филтри с включени активни елементи към тях. Изследването е проведено на базов модел на корабна електроенергийна система показана на фиг.4.7, където от страна на пасивната част от филтъра участвуват (L-C) елементи само за 5-тия и 7-мия хармоници. Параметрите на синхронния генератор, нелинейния и линейния товари са идентични на изследвания модел с резонансните филтри.



Фиг.4.7

На фиг.4.8 са поместени резултати получени от изследване на базисния модел на корабна електроенергийна система с включен хибриден филтър при мрежова честота 50Hz.

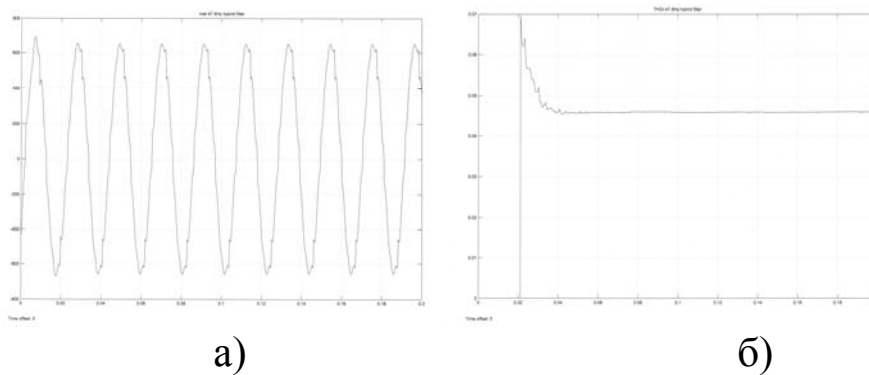


фиг.4.8

На фиг.4.8а) е показана формата на кривата на тока протичащ през енергийния източник. Формата му е с незначителни отклонения от синусоидалната. Деформациите в него са оценени със заснетото $THDi$, отразено на фиг.4.8б). След приключване на преходния процес неговата стойност възлиза на 4.82%, което е под горната граница на нормативната.

Този резултат се постига с въздействие от страна на активните елементи на филтъра за 5-тия и 7-мия хармоници с напрежение от 7V и съответно от 5V.

При работна честота на мрежата 47,5 Hz, получените резултати от изследването на хибридният филтър са отразени на фиг.4.9



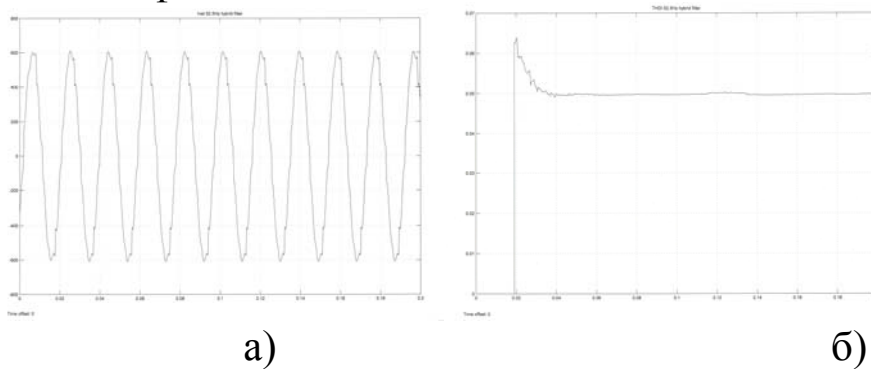
фиг.4.9

Изменението на фазния ток през източника е показан на фиг.4.9а). От фигурата се вижда, че той е с незначителни деформации. Съдържащите се в него висши хармоници са оценени посредством $THDi$ заснето на фиг.4.9б). Стойността му след

затихване на преходни процеси възлиза на 4.58% , т.е. в рамките на допустимата нормативна стойност.

Това работоспособно състояние на хибридния филтър се достига с въздействие на активните му елементи за 5-тия и 7-мия хармоници с напрежения от 9V и съответно от 6V.

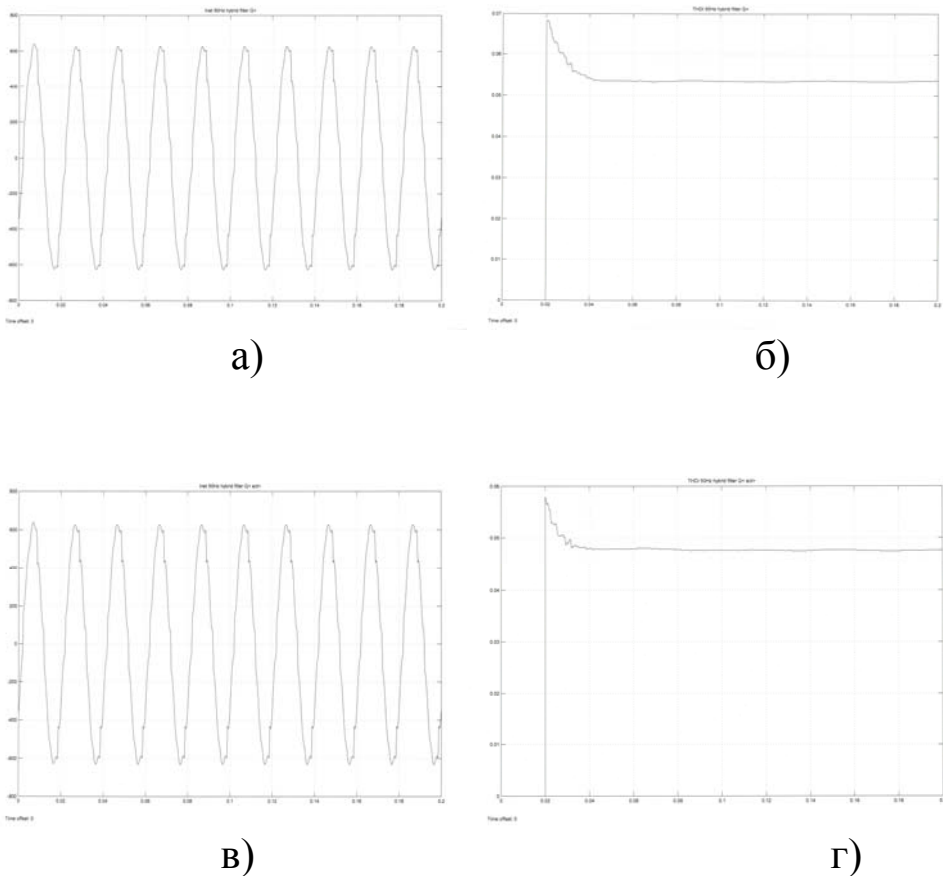
В случай на отклонение на работната честота в мрежата до стойност 52.5 Hz, резултатите получени от изследването на хибридния филтър съгласно използвания базисен модел са посочени на фиг.4.10



фиг.4.10

Фазния ток през захранващия източник съдържа незначителни изкривявания във формата си. Това показва получения резултат от проведеното изследване, което е отразено на фиг.4.10а). Деформациите в кривата на тока са определени от изчисленото THDi показано на фиг.4.10б), като стойността му след установяване на преходния процес възлиза на 4.9%. Това означава, че хибридния филтър при тази честота на корабната мрежа запазва своята функционална работоспособност. Това режимно състояние на филтъра се постига с въздействие върху активните му елементи за 5-тия и 7-мия хармоници с напрежение от 9V и съответно от 6V.

Работоспособността на хибридния филтър съгласно базисната схема е изследвана, като е отчетено и температурно въздействие на околната среда, основно оказваща влияние свързано с понижаване на качествения му фактор. Резултата от изследването е отразен на фиг.4.11.



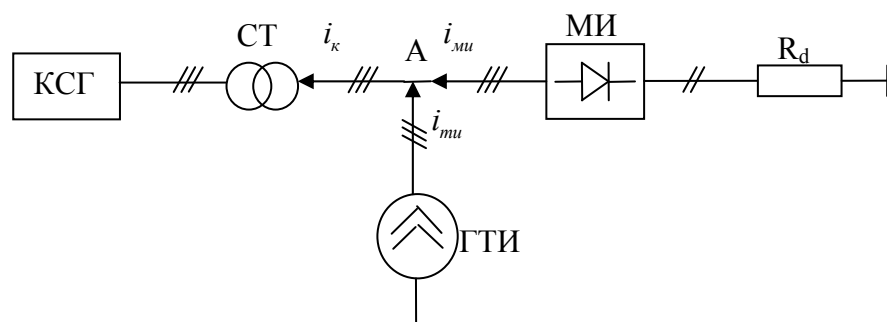
фиг.4.11

На фиг.4.11а) е показана формата на кривата на тока през енергийния източник. От фигурата се вижда, че при влошаване на качествения фактор на филтъра вследствие на температурна промяна изкривяванията във формата на кривата на тока се увеличават, а $THDi$ (фиг. 4.11б) излиза от нормативно определените граници и възлиза на 5.5%. Затова се прилага допълнително въздействие от активните елементи при същия (влошен) качествен фактор и резултатът е: подобрена форма на тока (фиг.4.11в) и $THDi=4.88\%$ (фиг.4.11г), което показва, че филтъра запазва своята работоспособност и при температурни промени на околната среда. Това се постига с въздействие на активните елементи на филтъра за 5-тия и 7-мия хармоници с напрежения от 8V и съответно от 6V.

Направените изследвания на хибридни филтри за ограничаване на висши хармоници в корабни електроенергийни системи показват, че те изпълняват функционалното си предназначение. Постиганото филтриране на висшите хармоници на тока, определено посредством THDi при гранични изменения на честотата и температурни влияния на околната среда в корабните електроенергийни системи остава в границите на нормативно допустимата стойност от 5%. Това се осъществява само с L-C резонансни групи подбрани за 5-тия и 7-мия хармоници и с въздействие на съответните им активни елементи. Необходимата мощност на тези активни елементи за поддържане функционалната работоспособност на хибридните филтри не надвишава 10% от мощността на нелинейните товари. Относителната простота на тези филтри, намаления брой резонансни групи (само за 5 и 7 хармоници), както и малката мощност на активните групи определя тяхната сравнително ниска себестойност в сравнение със силовите активни филтри. Последните се оразмеряват за мощност равна или малко по-голяма от мощността на нелинейните товари. При почти едни и същи филтриращи възможности с хибридните филтри, силовите активни филтри имат чувствително по-висока себестойност поради голямата си инсталирана мощност. Именно тази особеност ограничава тяхното широко използване при решаване на въпроси свързани с енергийната ефективност. В това отношение проблема с енергийната ефективност при наличие на висши хармоници в корабните електроенергийни системи придобива технико-икономически характер. Отчитайки направените до тук констатации може да се заключи, че пред хибридните филтри се очертават аргументирани перспективи за тяхното използване при решаване на проблема с енергийната ефективност на кораба.

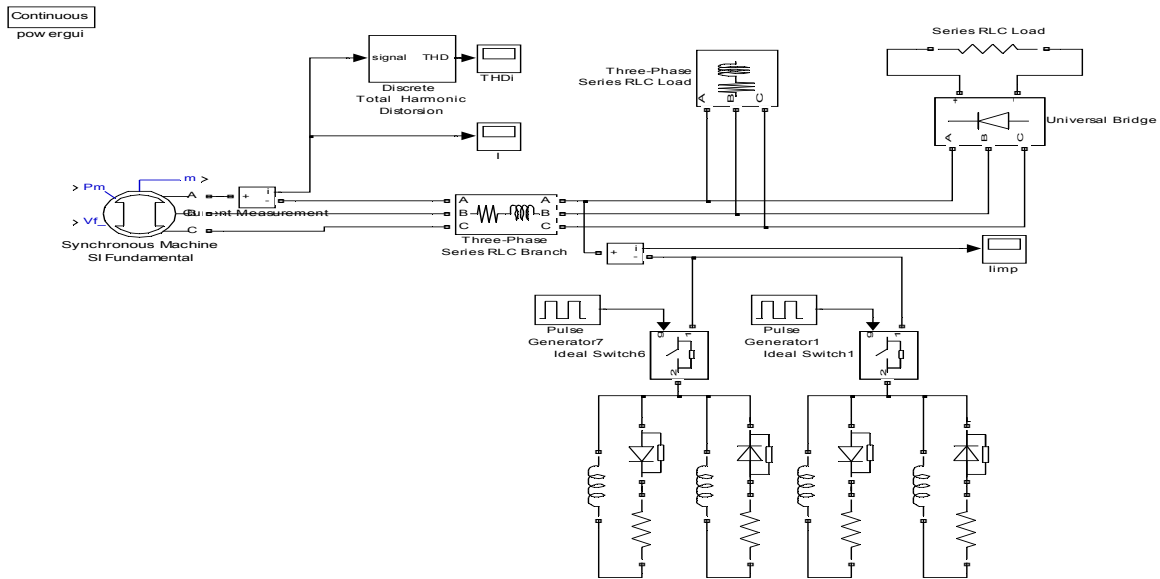
Изследване на възможности за ограничаване на висшите хармоници в корабни електроенергийни системи със специализирани технически средства посредством импулсни въздействия.

В корабните електроенергийни системи болшинството от използваните нелинейни товари са реализирани с неуправляеми трифазни мостови изправители. Така например в съвременните корабни електрозадвигвания широко приложение са намерили честотопреобразувателите. Те се реализират предимно със звено по постоянен ток изпълнявано с неуправляем трифазен изправител по схема "Ларионов". Потребяването на несинусоидален ток от такива изправители е строго детерминиран във времето. При промяна на натоварването в тях основно се мени големината (амплитудата) на тока, а междуточковата пауза остава практически постоянна. Това дава възможност да се потърсят нови подходи за решаване проблема с генерираните от тях висши хамоници. На фиг. 4.14 е показана принципна схема на включване на ГТИ към мостов изправител с оглед корекция на формата на кривата на тока близка до синусоидална.



Фиг.4.14

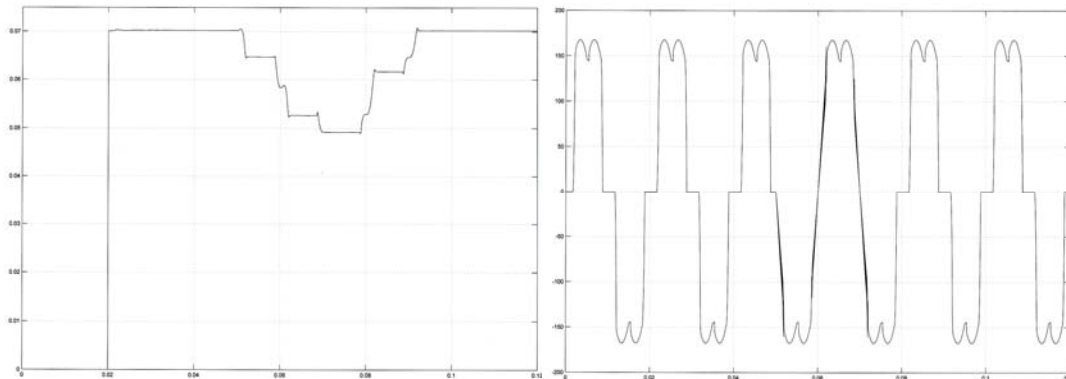
За целта при формиране на добавяните коригиращи токови импулси се използват сдвоени индуктивности. Всяка една от тях се управлява противотактно от високочестотни комутатори. Базовата схема за изследване работоспособността на специализираното устройство е показана на фиг.4.17.



Фиг.4.17

Електроенергийния източник представлява синхронен генератор с мощност 400 KVA захранващ нелинеен товар (неуправляем мостов изправител) с мощност 50 KW и линеен товар с компоненти на пълната мощност $P=150\text{ KW}$ и $Q=200\text{ KVAr}$. На клемите на мостовия трифазен неуправляем изправител е включено устройство за добавяне на токови импулси във времето на токовите паузи на консумирания от изправителя ток. Сумирането на токовите импулси към основния ток на изправителя се осъществява през бързодействащи електрически ключове. Формирането на коригиращите токови добавки се формира от двойка индуктивности комутирани противотактно на равни времеви интервали от високочестотни комутатори. По време на пауза на комутаторите, индуктивностите се разреждат през шунтиращи диоди. Големината на токовите импулси се управлява посредством регулиране честотата на високочестотните комутатори в границите от 10 до 70 KHz. Времето за подаване на добавяните токови импулси в безтоковата пауза на потребявания от изправителя ток се определя от продължителността на самата пауза. За неуправляемите изправители тя варира в рамките на около 60 електрически градуса. Смяна поляритета на подаваните коригиращи токови импулси се осъществява посредством превключващи ключове, както това е показано на базовата схема. Резултати от проведено изследване

свързано с работоспособността на устройството са показани на фиг.4.18



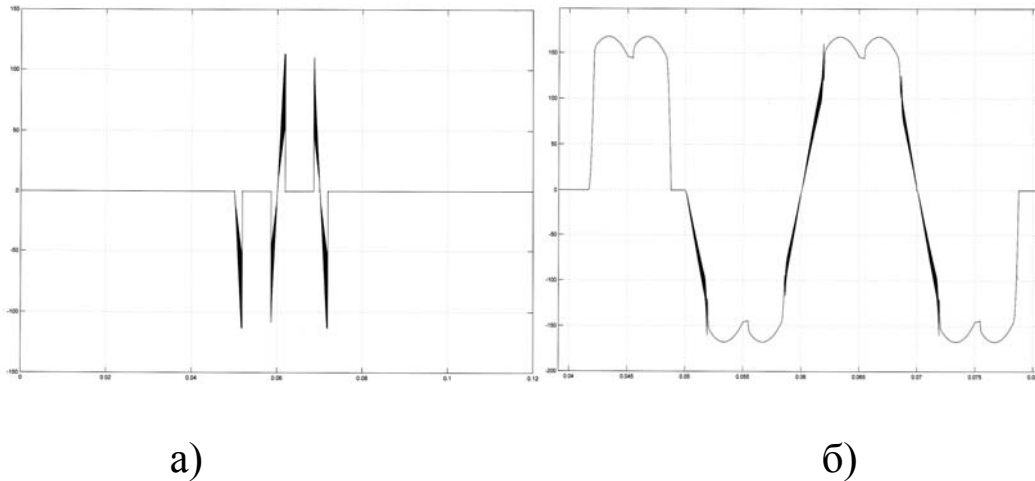
а)

б)

Фиг.4.18

На фигурата са отразени резултати отнасящи се до изменение на THDi (фиг. 4.18а), отчитащо изкривяването в кривата на тока през енергийния източник, както и формата на кривата на самия ток в нелинейния товар преди и след провеждане на импулсна токова корекция със специализираното устройство (фиг. 4.18б). От фигурата се вижда, че THDi в изследваната корабна електроенергийна система преди включване на специализираното устройство възлиза на 7.2%. Тази стойност превишава нормативно установената от 5%, което означава, че изследваната корабна електроенергийна система ще работи при повишени ел.загуби, т.е. с понижена енергийна ефективност. След включване на специализираното устройство постепенно THDi започва да намалява. Това е така, защото формата на кривата на коригирания ток през източника се доближава до синусоида (потискат се висшите хармоници). THDi се понижава стъпаловидно, защото корекция на формата на тока се извършва поетапно. Отначало това се осъществява в отрицателната полувърлна, а после и в положителната полувърлна на тока. Това отчетливо се вижда от постигнатите при изследването резултати. В края на изследването при наличие на импулсна корекция на тока THDi достига стойност равна на 4.91%. Тази стойност определяща наличието на висши хармоници в тока с токова корекция е по-ниска от

нормативната(5%). Това означава, че изследваната енергийна система ще работи с по-малки ел.загуби, т.е. с подобрена енергийна ефективност. Формата на коригиращите токови импулси и извадка от формата на коригирания ток потребяван от нелинейния товар са показани на фиг.4.19а) и фиг.4.19б)

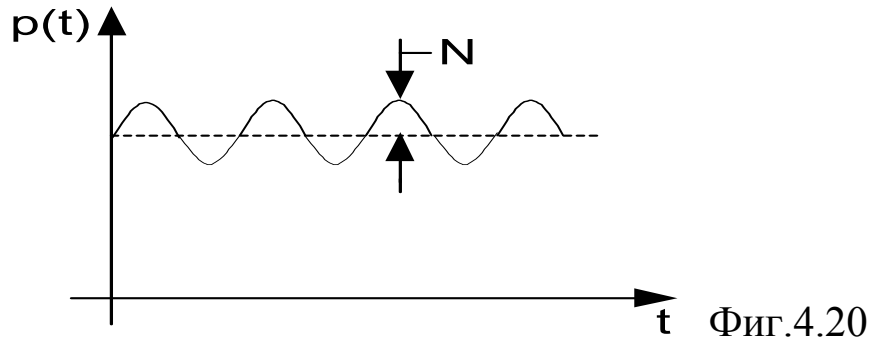


Фиг.4.19

По-задълбочените изследвания показват, че този вид специализирани устройства могат да бъдат приложени само на клемите на неуправляеми мостови изправители т.е. в по-тесен кръг нелинейни товари. Това означава, че тези устройства за повишаване енергийната ефективност в корабните енергийни системи имат значително по-ограничено приложение в срвнение с хибридните филтри.

Изясняване на възможността за динамично токово симетриране в корабни електроенергийни системи.

При наличие на несиметрия в трифазните електроснабдителни системи се получава неуравновесеност в изменение на трифазната моментна мощност, както това е показано на Фиг. 4.20



Известно е л[26] че, амплитудата на отклонението от постоянната съставлява на моментната мощност в трифазната система носи информация за пулсиращата мощност, която има неактивен характер. Големината на тази мощност определя степента на несиметрия в трифазните електроенергийни мрежи. При отсъствие на несиметрия, пулсиращата мощност е равна на нула, а трифазната моментна мощност е константна във времето величина. От това следва, че процеса на симетриране може да се реализира с добавяне на реактивна мощност в отделните фази на трифазната система така, че нейната големина да бъде равна на пулсиращата, но противоположно дефазирана. В този случай трифазната моментна мощност на системата ще бъде постоянна величина, т.е.:

$$p(t) = p_a(t) + p_b(t) + p_c(t) + q_{su}(t) = \text{const} \quad (4.5)$$

където: $p_a(t)$, $p_b(t)$, $p_c(t)$ - представляват моментните мощности съответно на фаза a, b и c

$q_{su}(t)$ - представлява моментната мощност вкарвана в системата от симетриращото устройство

Зависимост (4.5) е необходимо и достатъчно условие трифазната система да бъде симетрирана, от което следва още зависимостта:

$$n_a(t) + n_b(t) + n_c(t) + q_{su}(t) = 0 \quad (4.6)$$

където: $p_a(t)$, $p_b(t)$, $p_c(t)$ – представляват пулсиращите мощности съответно на фаза a, b и c

Съгласно л[17], пулсиращите мощности за съответните фази в комплексен вид се определят от равенствата :

$$\dot{N}_a = \dot{U}_a \dot{I}_a, \dot{N}_b = \dot{U}_b \dot{I}_b, \dot{N}_c = \dot{U}_c \dot{I}_c \quad (4.7)$$

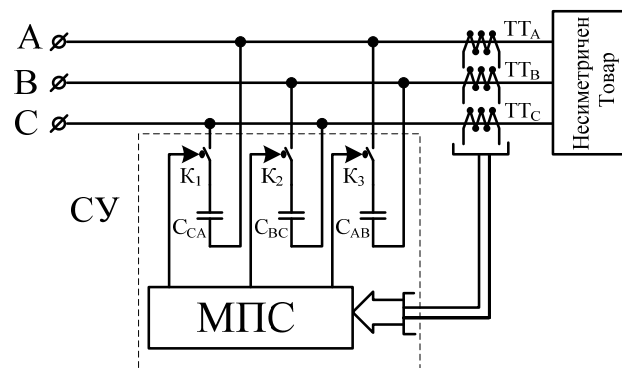
при което: - $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ – комплексни ефективни стойности на фазните напрежения

- $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ – комплексни ефективни стойности на фазните токове

Вектора на пулсиращата мощност за трифазната система е равен на сумата от векторите на пулсиращите мощности на отделните фази т.е

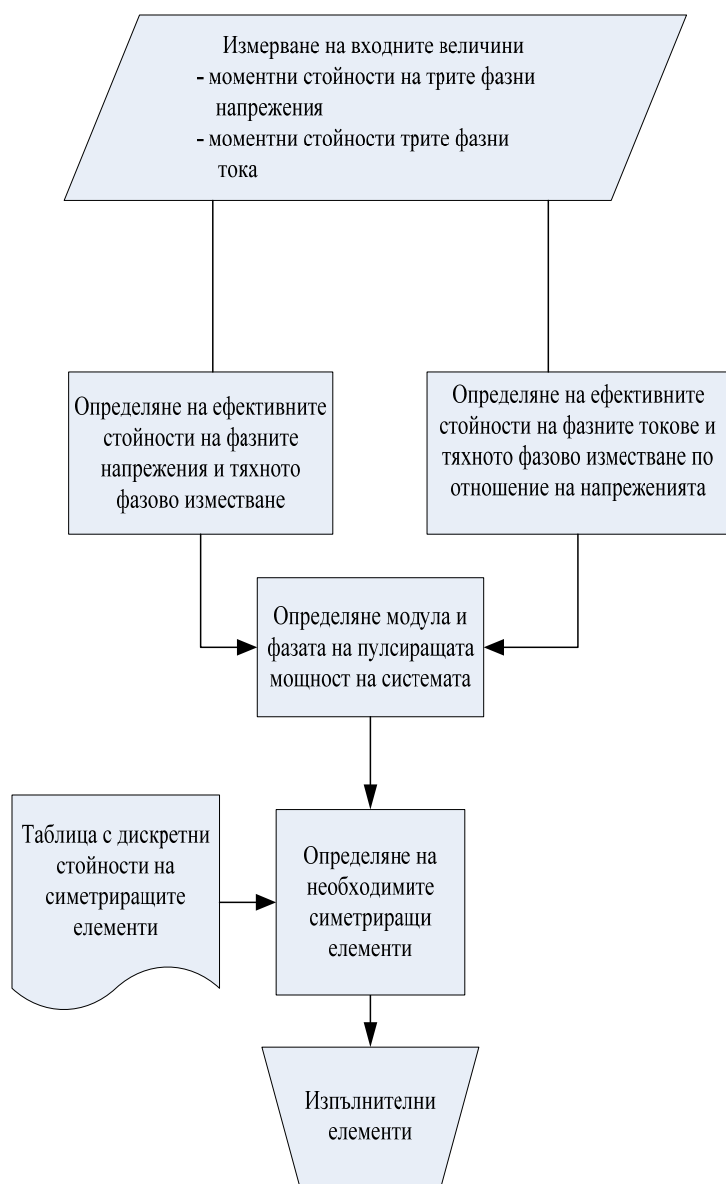
$$\dot{N}_{ns} = \dot{N}_a + \dot{N}_b + \dot{N}_c \quad (4.8)$$

От зависимост (4.8) следва, че, вектора на мощността генерирана от симетриращото устройство Q_{su} трябва да е равна по модул на вектора \dot{N}_{ns} , но противоположен по фаза. Следователно процеса на симетриране в трифазните системи е свързан с компенсиране на пулсиращата мощност в нея. Това се осъществява посредством генериране на реактивна мощност от устройства изпълнени предимно с управляеми кондензаторни батерии. Едно схемотехническо решение на симетриращо устройство е показано на Фиг.4.21.



Фиг. 4.21

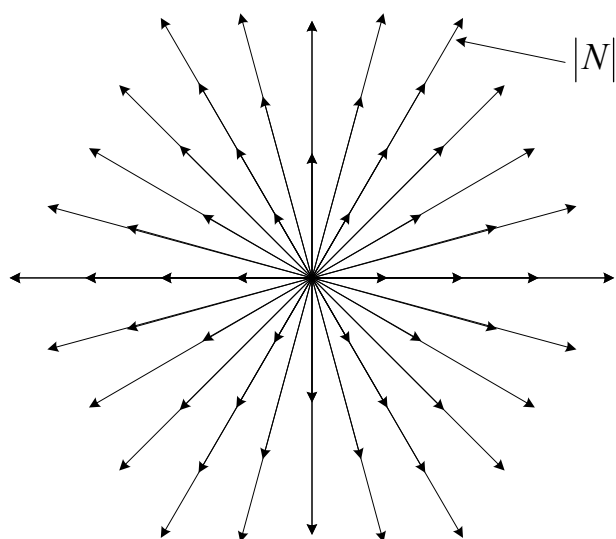
Управлението на комутиращите кондензаторни елементи се осъществява от микропроцесорна система (МПС). Алгоритъмът на това управление е посочен на Фиг.4.22.



Фиг.4.22

Точността на токовото симетриране зависи от дискретизацията на управляваната кондензаторна мощност в симетриращото устройство.

На Фиг.4.23 е посочена векторна диаграма показваща изменението на симетриращата мощност по модул и фаза за симетриращо устройство изпълнено с четири групи батерии свързани в паралел за всяко рамо на триъгълника.



Фиг.4.23

Всяка батерия се управлява от МПС като се комутира посредством променливотокови полупроводникови комутатори (ТК). Моментата на включване и изключване на батериите се осъществява, когато напрежението върху тях преминава през нулата. По този начин се оптимизират преходните процеси при управление на кондензаторната мощност.

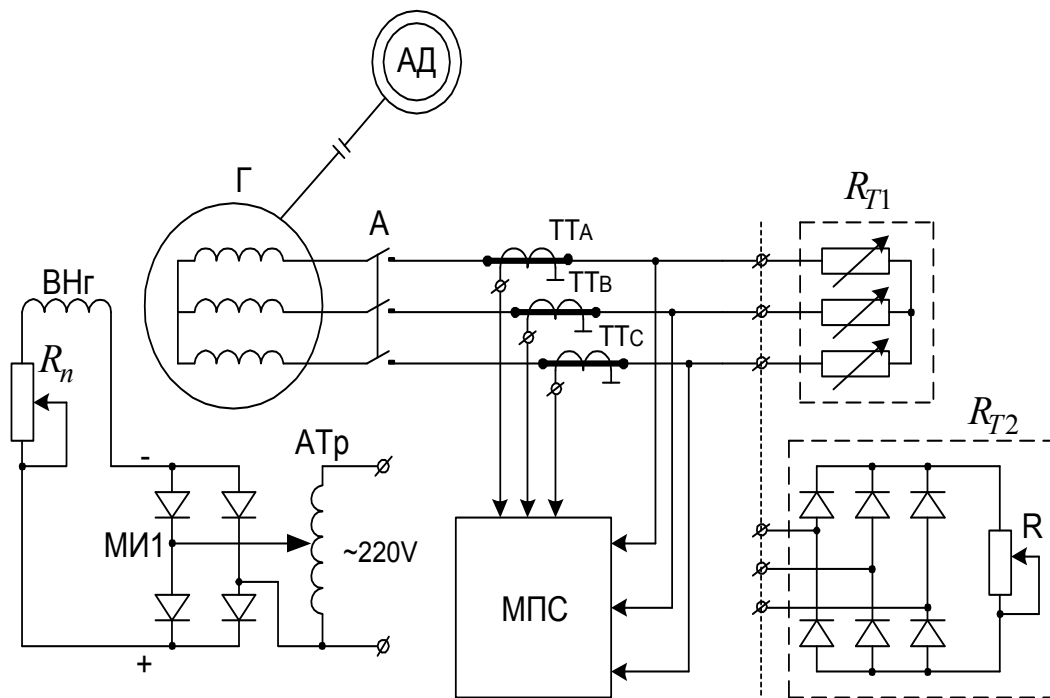
Глава пета

Експериментално изследване натоварването в автономни електроенергийни системи и управление на енергийната ефективност в тях.

В тази глава са отразени получени резултати от проведени експериментални изследвания в лабораториите на ТУ-Варна и ВВМУ-Варна, както и реализирани измервания на територията на Военноморска база „Атия”.

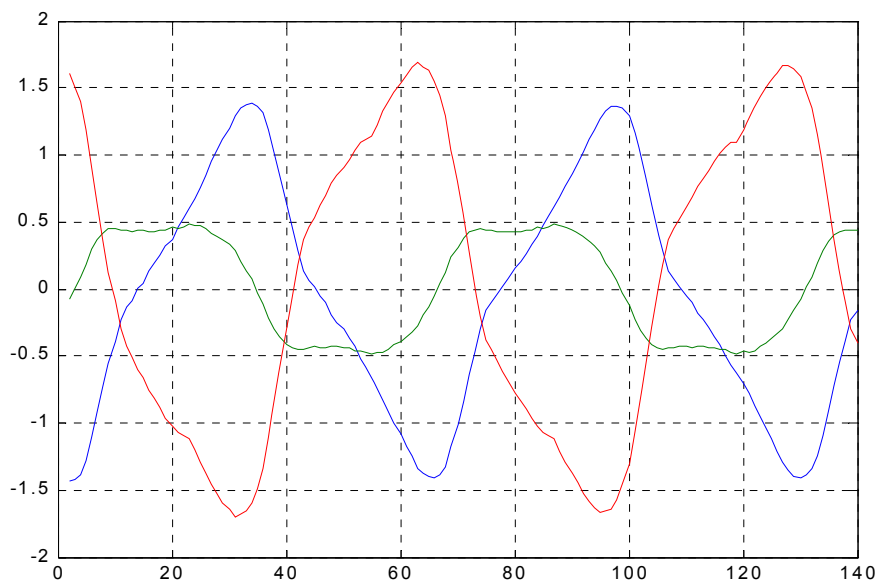
Изследване натоварването на автономно работещ електроенергиен източник с несиметричен и нелинеен в електрическо отношение товар.

Изследваната автономна електроенергийна система в лабораторни условия симулира корабна система. Електрическото натоварване поотделно се осъществява с линеен несиметричен и нелинеен (мостов трифазен изправител) товар. Тези два вида електрически товари се явяват смутители за автономната система, тъй като предизвикват несиметрия и висши хармоници. Изследването е проведено в лабораторни условия върху физически модел на автономна електрическа система, принципната схема на която е посочена на фиг. 5.1

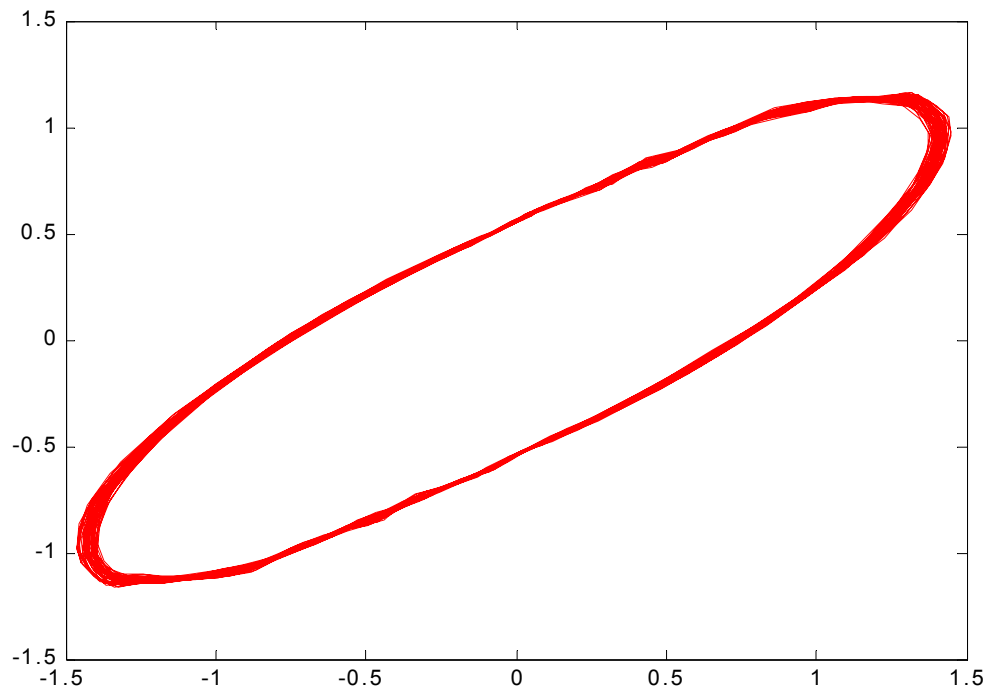


Фиг.5.1

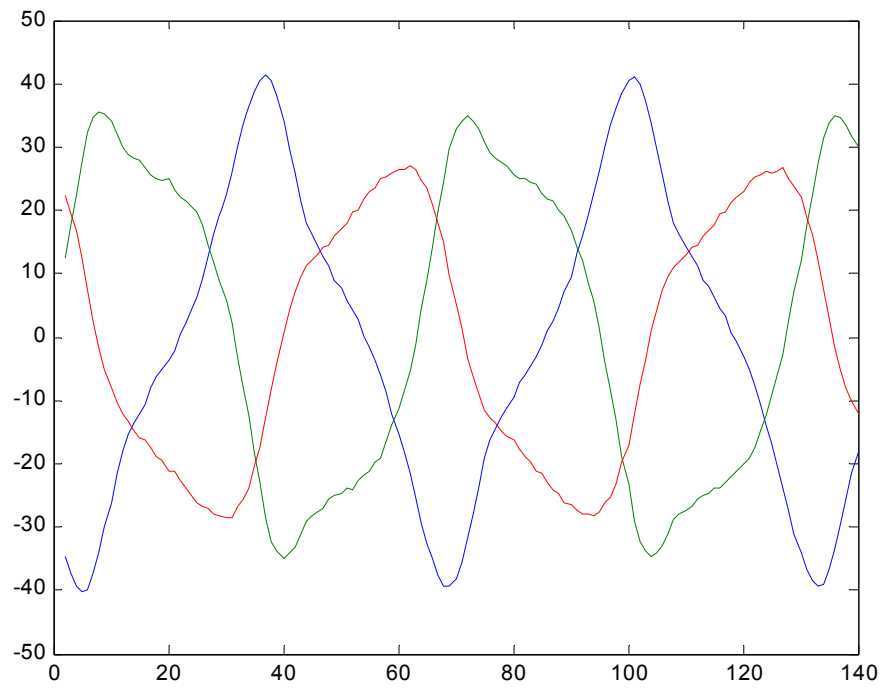
От заснетите експериментално осцилограми се вижда, че несиметрията в натоварването на автономния генератор поражда освен несиметрия във фазните токове още и висши хармоници в тях. Несиметричните и несинусоидални токове от своя страна пораждат съответстващи несиметрии и деформации във формата на кривата на фазните напрежения, показани съответно на фиг. 5.3.а) и 5.3.б).



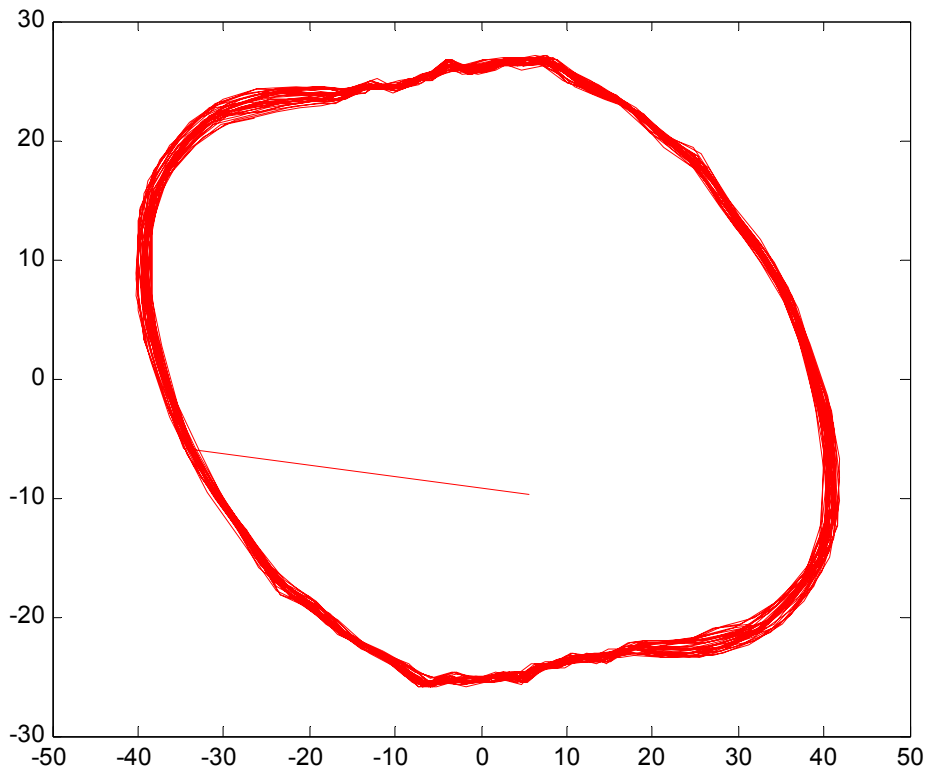
Фиг. 5.2.а) Форма на фазните токове в координатна система „a,b,c”



фиг. 5.2.б) Ходограф на “изобразяващия вектор” на тока в координатна система “ $\alpha\beta$ ”

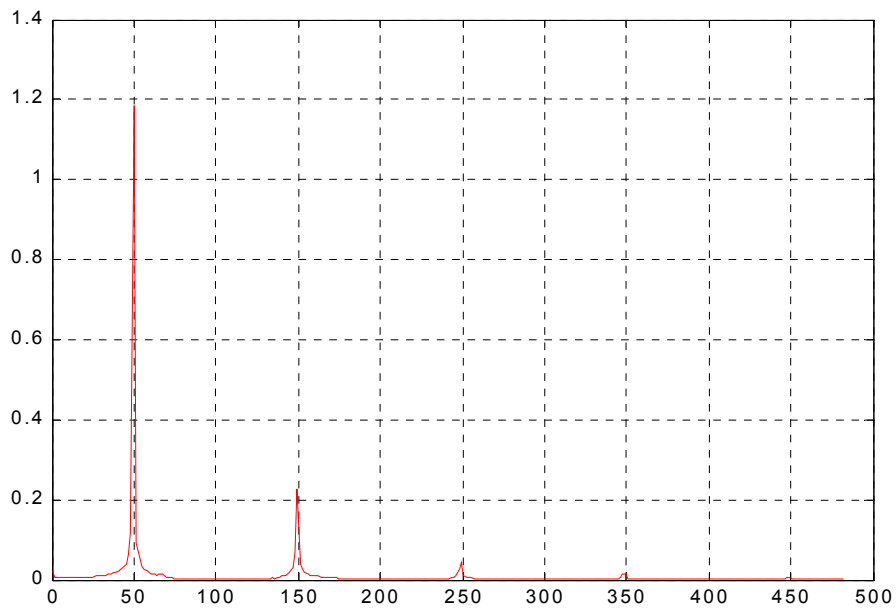


фиг. 5.3.а) Форма на фазните напрежения в координатна система “abc”



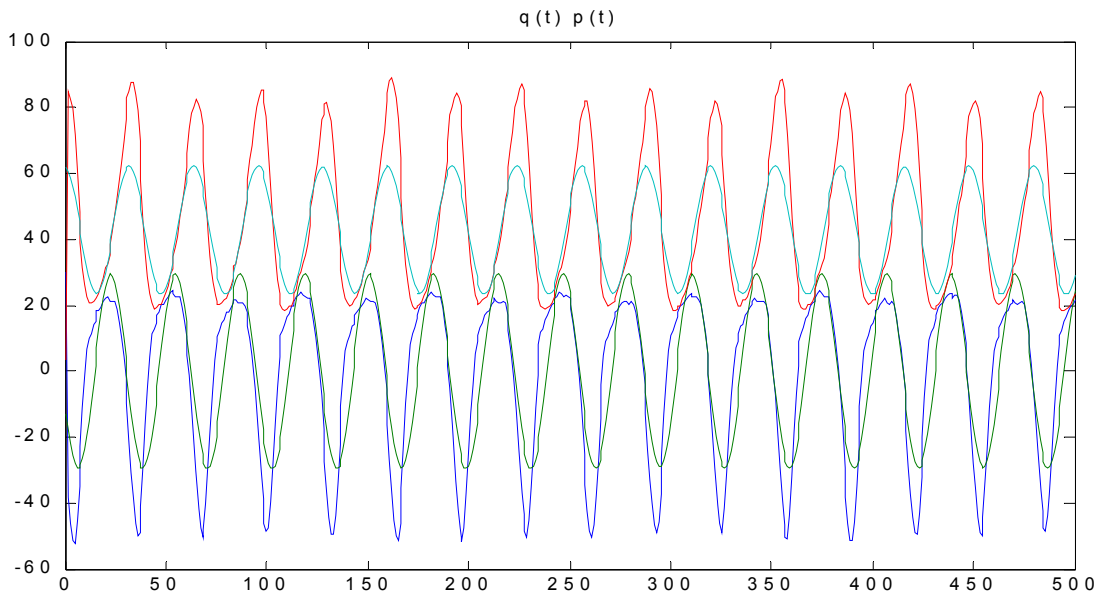
фиг. 5.3.б) Ходограф на “изобразяващия вектор” на напрежението в координатна система “ $\alpha\beta$ ”

От направения хармоничен анализ на формата на кривата на фазните токове (фиг. 5.4) се вижда, че несиметрията предизвиква безкраен ред от нечетни висши хармоници. Подобно е състоянието и на хармоничния състав на фазните напрежения. От проведения експеримент се вижда и значително присъствие на третия хармоник и кратните на три, независимо, че трифазната система е трипроводникова.



фиг. 5.4 Хармоничен (Фурие) анализ

Заснетите моментни стойности на $p(t)$ и $q(t)$ са посочени на фиг. 5.5. От фигурата се вижда, че съществува значително колебание на трифазната моментна мощност $p(t)$, което представлява индикация, че системата е разбалансирана, т.е. в нея присъствуват както висши хармоници, така и несиметрия в тока и напрежението.



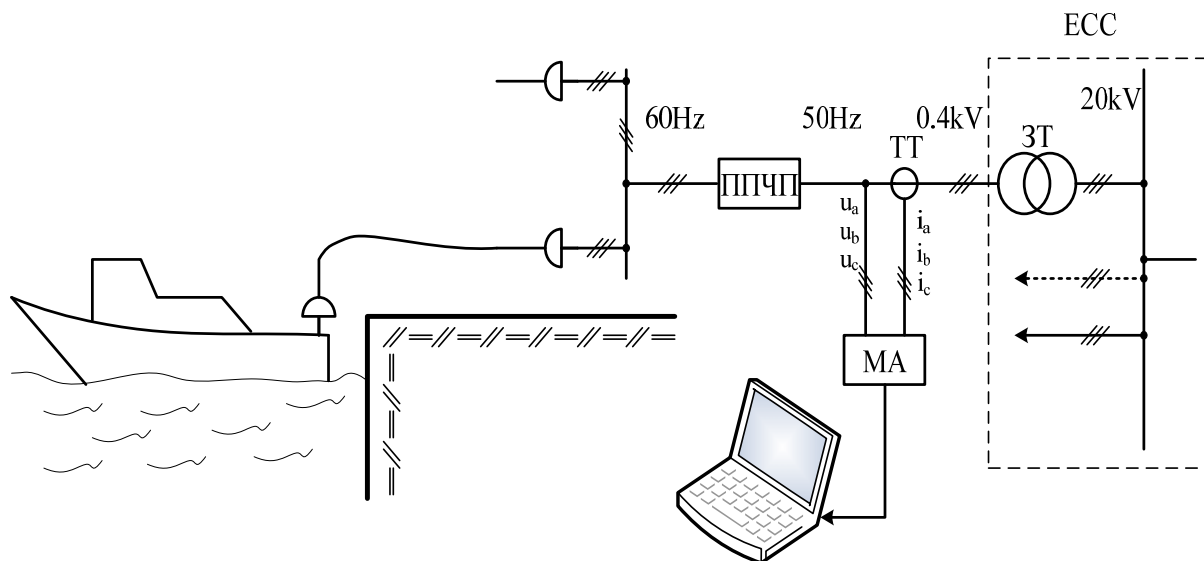
фиг. 5.5 Моментни стойности на $p(t)$ и $q(t)$

Изследване влиянието на силов полупроводников честотопреобразувател върху електроснабдителната мрежа на военноморска база „Атия”.

Във военноморска база „Атия” за нуждите на бреговото захранване на корабите намиращи се на стоянка е монтиран силов полупроводников честотопреобразувател. Неговото предназначение е свързано с преобразуване на промишлената честота на бреговата мрежа от 50 Hz на честота 60 Hz с цел захранване на кораби отговарящи на Натовските стандарти. Въведеният в експлоатация силов полупроводников честотопреобразувател е инверторен тип със звено по постоянен ток. Като цяло честотопреобразувателя съвместно с включения към него товар се явява нелинеен в електрическо отношение потребител. Това на практика означава, че той консумира ток по първи хармоник и смущава ел.мрежа като вкарва в нея висши хармоници. Звеното по постоянен ток за

преобразувателя е реализирано от неуправляем трифазен мостов изправител. Поради появата на висши хармоници в потребявания от преобразувателя ток се получава и отклонение от синусоидалната форма на напрежението.

Изследване влиянието на силовия полупроводников честотопреобразувател върху електроснабдителната мрежа на военното поделение е осъществено със специализиран измервателен комплект-мрежов анализатор. Изследването е извършено съгласно показаната на Фиг.5.6 ел.схема.



Фиг.5.6

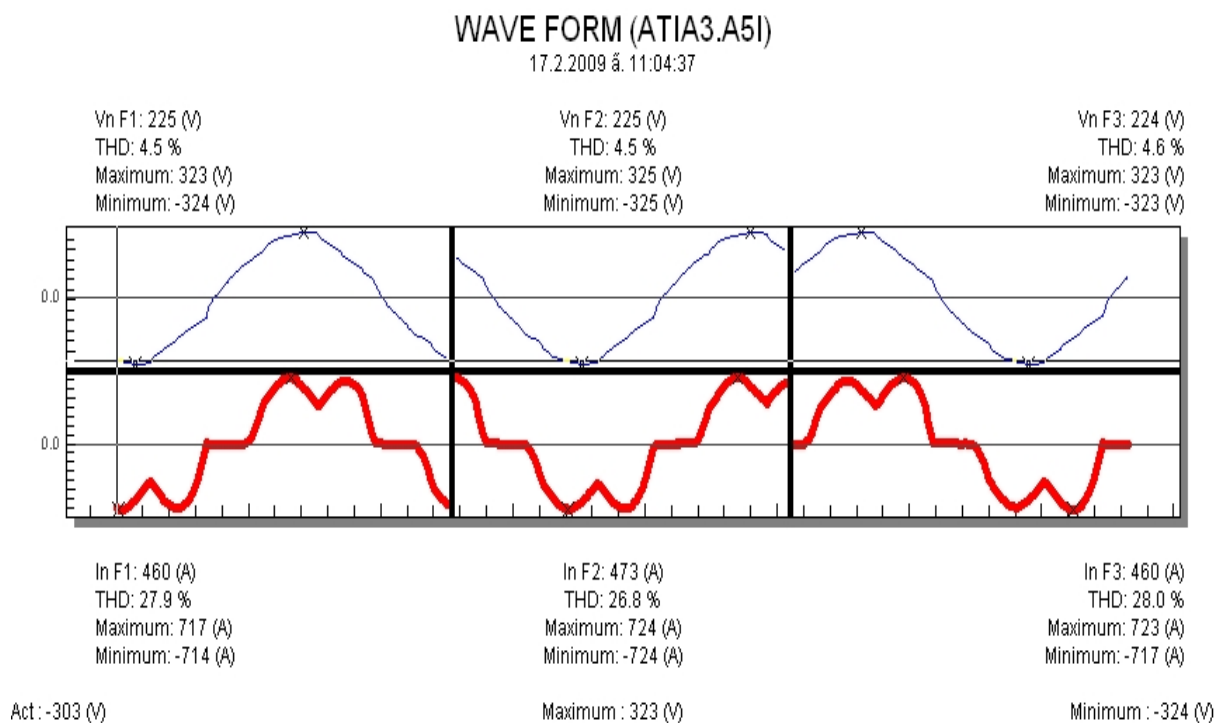
където:

- ППЧП-представлява силовия полупроводников честотопреобразувател
- ЗТ – захранващ трансформатор
- ЕСС – електроснабдителна система на поделението
- МА – мрежов анализатор

- ТТ – измервателни токови трансформатори
- ПК-преносим компютър

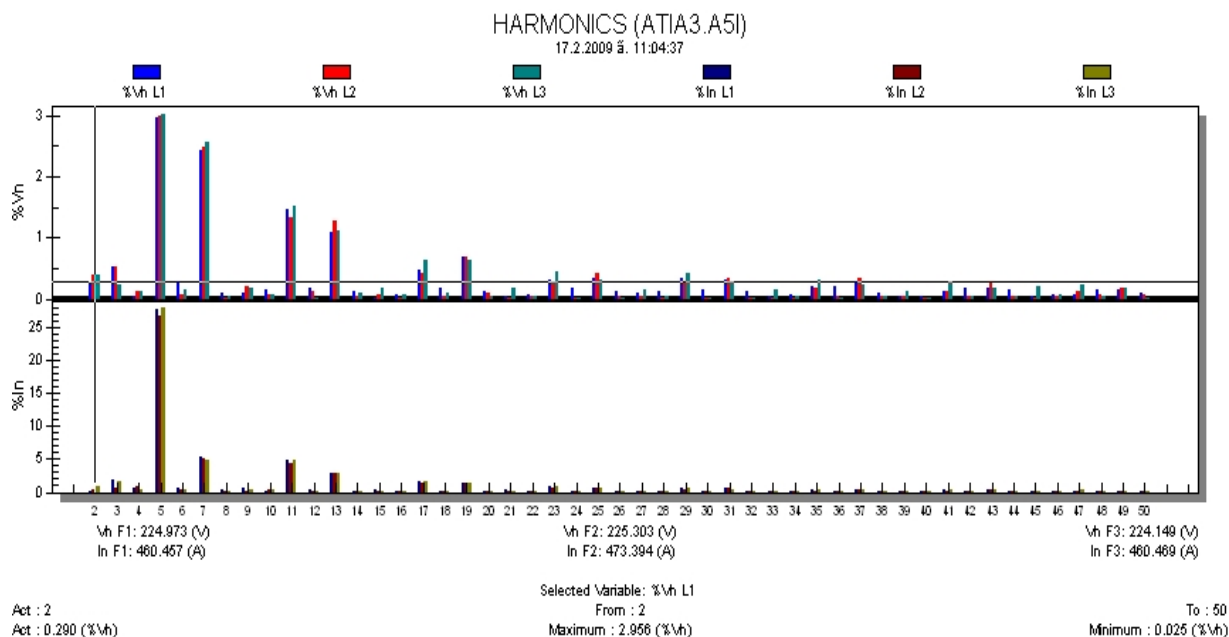
Консумираната активна мощност в динамика на работа на честотопреобразувателя е показана на Фиг.5.7. За изследвания промеждутък от време активната мощност се изменя в границите от 246 до 304 kw.

Нелинейният характер на потребление на честотопреобразувателя е заснет за трите фазни тока, както и съответните им фазни напрежения (Фиг.5.9) със съответстващите им THD. Поради значителната деформация във формата на кривата на консумирания ток (наличие на висши хармоници) THDi достига стойности от 28% при нормативно допустима от 5%. Това означава, че честотопреобразувателя значително смущава електроснабдителната мрежа на поделението.



Фиг.5.9

Спектърът на генерираните висши хармоници в мрежата е показан за съответните фази на Фиг.5.10. Ясно е очертано изменението на доминиращите нечетни висши хармоници .

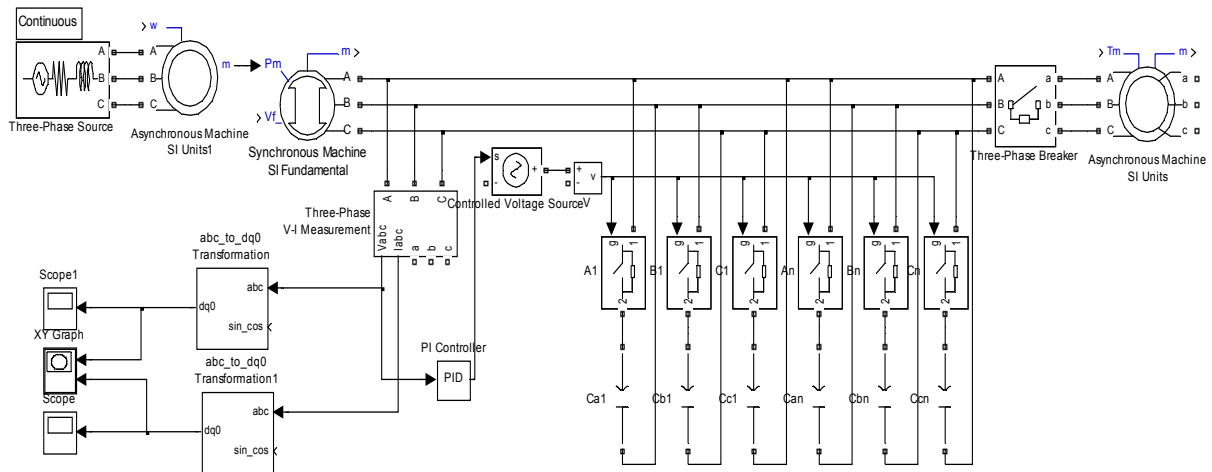


Фиг.5.10

Експериментално изследване на възможности за въздействие върху енергийната ефективност в пусков режим на корабни електрозадвижвания.

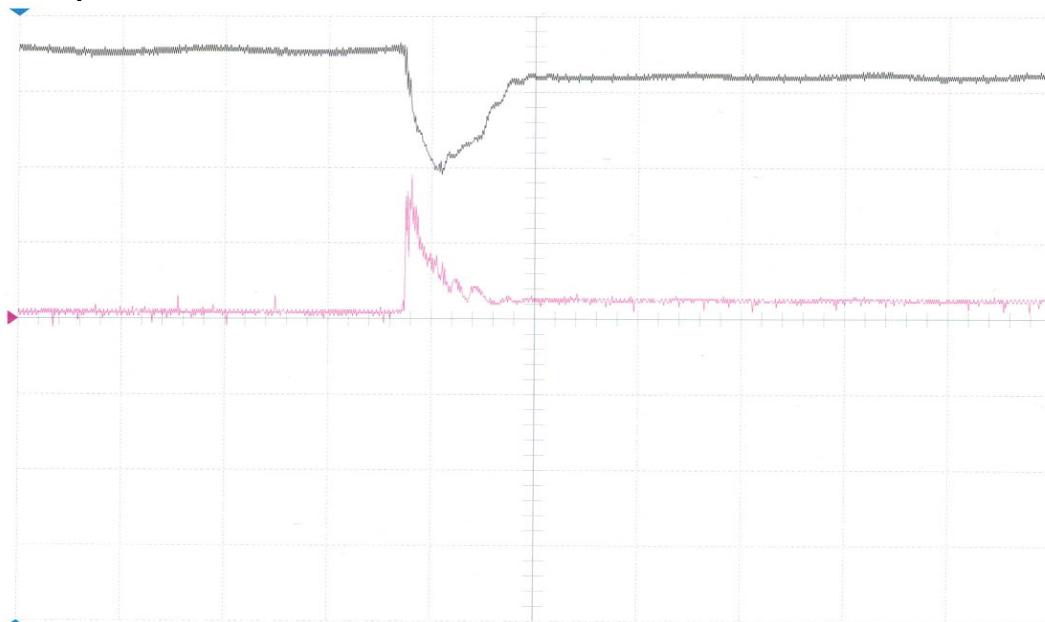
Показани и оценени са резултати от извършени експериментални изследвания върху лабораторен модел на корабна електроенергийна система с влючено към нея съизмеримо по мощност корабно електрозадвижване. Експерименталното изследване основно е съсредоточено върху пусков преходен процес на корабно електрозадвижване. Оценена е възможността и техническите средства за неговото управление с цел подобряване на

енергийната ефективност в корабната система. Електрическата схема на опитната постановка е показана на фиг.5.14.



Фиг.5.14

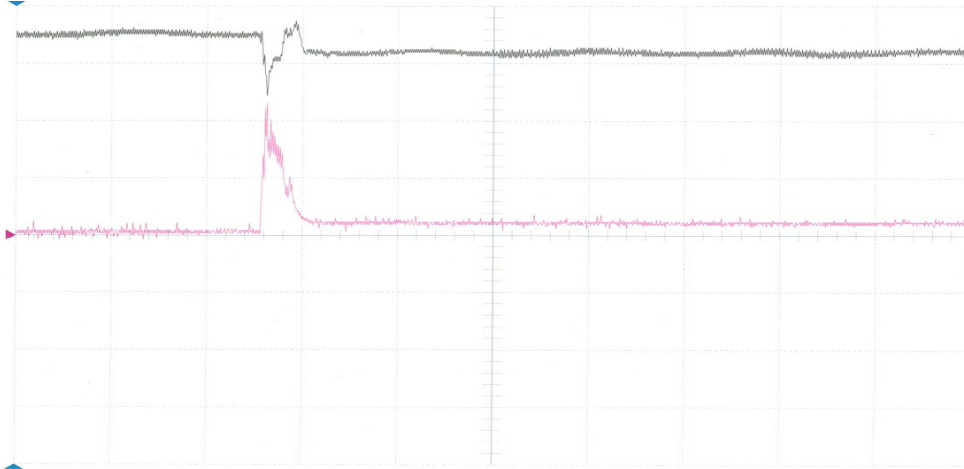
На фиг.5.15 е показан резултат получен от изследване на преходен процес при включване на АЕЗ.



Фиг.5.15

На фигурата са показани резултати от изменение на модулите на „изобразяващите вектори” на напрежението и тока по време на протичане на преходния процес, обуславян от развъртането на АЕЗ. Вижда се, че отклонението на напрежението на клемите на СГ е значително, като неговата големина зависи от съотношението на мощността на източника (СГ) и мощността на АЕЗ. Най-голямо отклонение (провал) в напрежението се получава в началния момент от включването на АЕЗ. Той се определя от голямата начална стойност на пусковия ток на АД. Това може да се види като се проследи едновременно изменението на модула на „изобразяващия вектор” на тока и модула на „изобразяващия вектор” на напрежението по време на преходния процес. Тези провали в напрежението по време на преходния процес влияят върху големината на развивания от АД момент. Той намалява с намаляване на напрежението на квадрат. Предизвиква се „затягане” при развъртането на АЕЗ, като протичащия преходния процес се удължава във времето. Това има за последици увеличени електрически загуби в този режим на работа на АЕЗ. Появата на значителни по големина и продължителност провали в напрежението се отразяват неблагоприятно и върху нормалните експлоатационни режими и на останалото електрообзавеждане включено към клемите на СГ. Всичко това предизвиква влошаване на енергийната ефективност в корабната електроенергийна система в режимите на пускане на съизмерими по мощност АЕЗ.

На фиг. 5.18 са показани резултати от изследване на преходен процес при включване на АЕЗ с едновременно въздействие от страна на БСК. Устройството се управлява от реализирана обратна стабилизираща връзка по напрежение. На осцилограмата е заснето изменението на модула на „изобразяващия вектор” на напрежението на клемите на СГ и тока потребяван от АЕЗ.



Фиг.5.18

Плучените резултати показват, че с едновременното влючване на АЕЗ и на БСК се постига компенсация в провала на напрежението на клемите на СГ за времетраенето на преходния процес, възникващ от пускането на електрозадвижването. Това от своя страна води до повишаване на развивания от АД момент и съкращаване времето на развъртане на електрозадвижването. Получените резултати недвусмислено показват функционалната работоспособност и пригодност на БСК за управление на преходни процеси в автономни електроенергийни системи. Компенсацията на провала в напрежението на клемите на СГ съкращава времето на развъртане на АЕЗ. Подобрява се режима на работа на останалото електрообзавеждане включено към автономната електроенергийна система. Всичко това има за последици повишаване на енергийната ефективност в системата като цяло.

В резюме могат да бъдат посочени следните основни приноси получени в дисертационния труд, а именно:

1. Изяснена е целесъобразността от използване на „изобразяващия вектор” в съчетание с метода на „моментната” мощност за анализ и оценка на възможностите за въздействие върху енергийната ефективност в автономни (корабни) електроенергийни системи при наличие на смущения породени от преходни процеси, висши хармоници и несиметрия.

2. Обосновано е, че при използване на „изобразяващия вектор” се детерминират по обобщен начин компонентите на пълната мощност (P , Q , D , N) в условия на смущения на

енергосистемите с висши хармоници и несиметрии. Определяне на реактивната мощност (Q) и неактивните деформационна (D) и пулсираща (N) имат водещо значение при оценка на възникващите технически загуби, влияещи директно върху енергийната ефективност в корабните електроенергийни системи.

3. Доказано е, че техническите загуби могат да бъдат представени във вид на „изобразяващ вектор“. Това дава възможност за детерминиране компонентите на техническите загуби получавани от лош $\cos\phi$, висши хармоници и несиметрия в токовото натоварване по отделно и като цяло.

4. Изяснено е, че представянето на техническите загуби посредством „изобразяващ вектор“, създава предпоставки за развитие на системи за наблюдение, анализ и въздействие върху енергийната ефективност в корабни условия.

5. Установено е влиянието на преходните процеси, висшите хармоници и електрическата несиметрия върху режимните характеристики на основните елементи от силовото електрообзавеждане на корабните енергийни системи. Получените резултати показват влошаване на енергийната ефективност в тях .

6. Доказано е по експериментален път, че несиметрията в натоварването на корабните електроенергийни източници (синхронни генератори) поражда освен несиметрия и безкраен ред от висши хармоници. Независимо, че корабните електроенергийни системи (преобладаващата част от тях) са трифазни с изолиран звезден център, в тях се появяват трети и кратния на третия хармоник хармоници.

7. Установено е, че посредством бързодействащ статичен компенсатор (БСК) се постига управление напрежението на електроенергиен източник (СГ) от автономна (корабна) система в режим свързан с развъртане на асинхронно електродвижване (АЕЗ). Това има за последици като цяло повишаване на енергийната ефективност в системата.

8. Изяснено е, че при наличие на висши хармоници в корабните електроенергийни системи е целесъобразно използване на хибридни филтри. Те запазват работоспособност при промяна

честотата на мрежата и температурни промени в околната среда. Тези филтри могат да потискат висши хармоници под нормативната стойност на THDi от 5% само с два пасивни и активни елемента настроени за 5-ти и 7-ми хармоници. Мощността на активните им елементи не превишава 10% от мощността на нелинейните товари. Ниската им себестойност в сравнение със силовите активни филтри, обуславя тяхната целесъобразност от приложение за повишаване енергийната ефективност в корабни условия.

9. Уточнено е, че с помощта на специализирани технически средства основаващи се на импулсна токова добавка към несинусоидален ток потребяван от нерегулируем трифазен изправител се постига коригирана форма близка до синусоидална. В тези устройства се използва токов генератор съставен от двойка идуктивности управлявани противотактно от високочестотни комутатори. Това обуславя тяхното възможно използване за повишаване на енергийната ефективност в корабните електроенергийни системи.

10. Изяснена е възможност за осъществяване на динамично токово симетриране с управляеми кондензаторни елементи с цел повишаване енергийната ефективност при несиметрия в корабни електрически мрежи.

11. Получените в дисертационния труд теоретични резултати са потвърдени от проведените експериментални изследвания.

Публикации по дисертационния труд

1. Инж. Гинко А. Георгиев „Повишаване на енергийната ефективност в пусков режим на корабни електрозадвижвания.” Юбилейна научна сесия с международно участие, посветена на 130-тата годишнина от основаването на Морско училище 1881-2011 г.
2. Инж. Гинко А. Георгиев, доц. д-р инж. Петко Д. Петков „Влияние на полупроводниковите преобразуватели върху генерираното напрежение от корабни генератори” Тринадесета международна конференция по електрически машини, задвижвания и енергийни системи – ЕЛМА 2011г. Варна
3. М.Недев, П.Петков, Г.Стоилов, В.Чиков, Г.Ангелов "Изследване влиянието на силов полупроводников честотопреобразувател върху електроснабдителната мрежа на военоморска база АТИЯ "- Сборник трудове на ВВМУ-Варна,
4. Petkov P., Stoilov G., Nedev M., Chikov V., Angelov G., A dynamic current unit for getting symmetry of three phase electrical power system. Journal of Marine Technology and Enviroment. vol. 1 2009, Romania
5. Nedev M., Petkov P., Chikov V., Angelov G., An estimating of electrical power for suppression of harmonics in the electrical distribution bars and systems with the current impulses influence. Journal of Marine Technology and Enviroment. vol. 1 2009, Romania.
6. П. Д. Петков, Г. А. Георгиев, В. Ч. Чиков „Изследване на преходни процеси в система Преобразувател-АД”. Сборник научни трудове, Юбилейна научна сесия-35 год. ТУ-Варна, Октомври 1997 год.
7. доц. ктн. инж. Петков П. Д., ст. ас. инж. Парушев Пл. В., ас. инж. Георгиев Г. А „Приложение на изобразяващия вектор за

оценка качеството на електрическата енергия и пълната мощност в електрическите системи”. Научна конференция, посветена на 30-годишнината на ВМЕИ-Габрово, 1994г.