ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

инж. Пламен Великов Парушев

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА НЕСИМЕТРИЧНИ И НЕЛИНЕЙНИ ПРОИЗВОДСТВЕНИ АГРЕГАТИ ВЪРХУ ПОКАЗАТЕЛИТЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за присъждане на образователна и научна степен „ДОКТОР”

Научен ръководител: доц. д-р инж. Росен Василев

Рецензенти:

1. ……

2. …….

Варна
2014

Дисертационният труд е обсъден на 28.04.2014г. в катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане” и насочен за защита.

Докторантът работи в катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане”.

Автор: инж. Пламен Великов Парушев
Заглавие: Изследване на влиянието на несиметрични и нелинейни производствени агрегати върху показателите на качеството на електрическата енергия

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

инж. Пламен Великов Парушев

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА НЕСИМЕТРИЧНИ И НЕЛИНЕЙНИ ПРОИЗВОДСТВЕНИ АГРЕГАТИ ВЪРХУ ПОКАЗАТЕЛИТЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за присъждане на образователна и научна степен „ДОКТОР”

Варна
2014

Дисертационният труд съдържа 163 страници, включително 163 фигури, 11 таблици и 1 приложения, оформени в пет глави, общи изводи и списък на използвана литература от 118заглавия, от които 52 на кирилица и 66 - на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на …….. г. от…… часа в …….. на открито заседание на жури, сформирано със заповед на Ректора №……../ …….г.

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

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Несиметрията и нелинейният характер на електрическите потребители водят до поява на допълнителни загуби в електрическите системи, електрическите машини и силовите трансформатори, затрудняват компенсацията на реактивната мощност, съкращават срока на експлоатация на съоръженията и влошават качеството на работа на системите за релейна защита, автоматика, телемеханика и връзки.

Един от основните показатели, по който се оценява електроснабдяването в електрическите системи е качеството на електрическата енергия. То се характеризира не само с техническата допустимост на параметрите, с които електрическата енергия се подава на потребителите, но и с икономическата ефективност на оползотворяването на тази енергия. Техническите условия, лимитиращи границите на изменение на качествените показатели на ел. енергия се определят от неблагоприятните икономически последствия, до които може да доведе нарушаването на тези граници. Ето защо, въпросът за качеството на ел. енергията, а от там и на ел. снабдяването на индустриалните обекти има както техническо, така и икономическо значение.

С повсеместното навлизане на мощни нелинейни и несиметрични в електрическо отношение потребители се поставят за решаване актуални за практиката проблеми, свързани със състоянието на качествените показатели на електрическата енергия. Това налага провеждането на изследвания с оглед намиране на ефективни методи и средства, за осигуряване нормална работа на потребителите на електрическа енергия.

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

На базата на направения критичен анализ на състоянието на проблема и поставените изисквания към качеството на електрическата енергия, както и методите и средствата за нейното подобряване се формулира **целта на настоящия дисертационен труд:**

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЕТО НА НЕСИМЕТРИЧНИ И НЕЛИНЕЙНИ АГРЕГАТИ ВЪРХУ ПОКАЗАТЕЛИТЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ.

За постигане на поставената цел се решават следните **основни задачи:**

1) Изследване и анализ на показателите на качеството на електрическата енергия в условията на несиметрично и нелинейно натоварване.
2) Изследване влиянието на системите за симетриране върху работата на производствени агрегати в промишлени обекти.
3) Изследване влиянието на силови филтри в електроснабдителните системи на промишлени обекти.

4) Експериментално изследване на качеството на електрическата енергия в реални обекти и възможности за подобряването му.

Методи за изследване

При изследване на влиянието на несиметрични и нелинейни производствени агрегати върху показателите на качеството на електрическата енергия е използван метода на „изобразяващия вектор", в съчетание на метода на симетричните съставящи, хармоничния анализ на Фурие и метода на моментните мощности. В дисертационния труд част от резултатите са получени посредством компютърна симулация в среда на MathLab и LabVIEW , а друга - чрез физическо моделиране, изпитване в лабораторни условия и измервания в реални обекти.

Научна и практическа новост

1. Създаден е модел на симетриране на динамично изменящи се несиметрични потребители в електроснабдителната система на индустриален обект. Получени са резултати, показващи изменението на коефициентите на несиметрия по напрежение и ток във веригата на симетрирания несиметричен електрически товар, при промяна на потребяваната мощност в границите 30-100% от мощността на несиметричния потребител.

2. Оценено е влиянието на генерираните висши хармоници в процеса на токово симетриране на бързо изменящи се несиметрични електрически товари върху качеството на захранващото напрежение в заводска подстанция.

3. Разработен е подход за оптимизиране на параметрите на силовите филтри при наличие на несиметрия и несинусоидалност на захранващото напрежение на индустриални обекти.

4. Изведена е зависимост за определяне на компонентите на силови филтри. Изследвани са режими на работа с изградени по тази зависимост филтри в нормално-експлоатационен и авариен режим. Определени са компонентите на пълната мощност, отдавана от силовите филтри в електрическата мрежа. Изследвано е използването на комбинирани силови електрически филтри в схемата на промишлено предприятие, съдържащи звено за активно въздействие.

5. Изведен е коефициента на ефективност на комбинирания филтър във функция на импеданса на мрежата.

6. Получена е зависимостта на амплитудата и фазата на напрежението на звеното за активно въздействие в комбинираните филтри.

7. Получени са симулационни резултати от изследване на действието на комбинирани електрически силови филтри със реално съществуващи енергийни източници.

Приложимост и полезност

Предложеното инженерно решение за симетриране на динамично изменящ се несиметричен електрически товар е проверено в лабораторни изпитания и апробирано в реален обект.

Експериментални изследвания са проведени при анализ на влиянието на тиристорни преобразуватели на напрежение върху качествените показатели на електрическата енергия и на енергийната ефективност.

Изследванията са разширени чрез анализ на качеството на електрическата енергия в ЕЕС в Североизточна България и са дадени съответни препоръки. Фирма E.ON е представила съответен документ.

Резултатите от дисератционния труд могат да намерят приложение в по-нататъчни изследвания и разработки на управляващи системи. Синтезираният обобщен алгоритъм за обработка на измервателна информация е с приложения в лаборатории за калибриране и проверка и в образователния процес. Разработената виртуална система за изследване характеристиките е приложена в лабораторни условия.

Апробация

Основните резултати от изследванията са представени в:

Acta Universitatis Pontica Euxinus, Ovidius University of Constanta, Romania, 2004; Acta Universitatis Pontica Euxinus, Perm State Technical University, Русия, 2005; Международной научно-технической конференции «Энергетика глазами молодежи», 21-25 ноября 2011, Самара, Россия; Юбилейна научна сесия '94 с международно участие, ВМЕИ-Габрово, България; Годшник на ТУ Варна 2001, ISSN 1311-896X; Годишна научна сесия с международно участие, ТУ - Варна, 2003. Годишник на ТУ-София, том 63, книга 6, 2013г.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Първа глава

СЪСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМИ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ

Разгледана е същностната характеристика на качеството на електроенергията, факторите влияещи върху него, както и нормативните изисквания за качество. Направен е обзор на методите и средствата за неговото подобряване и стоящи в основата на съвременното състояние на проблема за качеството на електроенергията. На тази база са направени следните изводи:

1. В света се осъвременяват националните стандарти и нормативните изисквания на международните организации, свързани с показателите на качество на електроенергията. Това потвърждава актуалността на проблема и потребността провеждане на целенасочени изследвания.

2. Възникването на несиметрични режими и висши хармоници в електрическите системи поставят важни проблеми от научен и приложен аспект, изискващи актуални инженерни решения. В значителна степен тези въпроси, възникващи при симетриране на несиметрично натоварени електрически системи със статични потребители са намерили своето решение.

3. Все още съществуват нерешени проблеми, свързани с токовото симетриране на трифазните електрически системи, при динамично изменящи мощността си несиметрични електрически потребители и при наличие на несиметрия и несинусоидалност в захранващото напрежение.

4. Влиянието на висшите хармоници върху съоръженията от ЕЕС на индустриалните обекти е неблагоприятно и води до поява на допълнителни загуби в електрическите машини и силовите трансформатори, затруднява се компенсацията на реактивната мощност, съкращава се срокът на експлоатация на изолацията, влошава се качеството на работа на системите за релейна защита, автоматика, телемеханика и връзки.

5. Проблемът с минимизирането на висшите хармоници цялостно не е приключен като решение. Съществуващият подход с използване на статични електрически филтри не позволява адекватното им управление, а въвеждането на активни филтри е с мощности, съизмерими със захранващия източник и с висока цена. Това налага търсене на подходящо решение.

6. Нерешен е проблемът за избор на критерия на задаващите параметри на системите за управление на симетриращите устройства при наличие на несиметрия и несинусоидалност в захранващото напрежение.

7. Липсват цялостни, комплексни изследвания за влиянието на електрическата мощност на захранващия източник и на паралелно работещите производствени агрегати върху наличието на висши хармоници и на несиметрия в захранващото напрежение. Създаването на детайлен симулационен модел би дал възможност за широкообхватно изследване, оценка на влиянието на несиметричните и нелинейни производствени агрегати върху качеството на електрическата енергия и избор на подход за неговото подобряване.

Втора глава

ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ПОКАЗАТЕЛИТЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ В УСЛОВИЯТА НА НЕСИМЕТРИЧНО И НЕЛИНЕЙНО НАТОВАРВАНЕ

Основни нормативни документи и сравнителен анализ на нормативните изисквания в различните страни

В съответствие с новият закон за стандартизация, всички държавни стандарти имат препоръчителен характер. Основен нормативен документ за

показателите за качеството на електрическата енергия (ПКЕЕ) в Република България са Показатели за качество на електроснабдяването, приети от ДКЕВР с Решение N П-3 от 30.06.2004 на база на стандарта EN 50160, който от 2006 г. е БДС EN 50160. Този стандарт изцяло замени стария БДС 10 694-80. Основните показатели, които се нормират са следните: отклонение на честотата, отклонение на напрежението, бързи изменения на напрежението, несиметрия на напрежението, несинусоидалност на напрежението, краткотрайни спирания на напрежението, краткотрайни и продължителни прекъсвания.Те се отнасят за мрежи НН и СН (до 35 kV), тъй като основно в тези мрежи са потребителите, влошаващи в най-голяма степен качеството на електроенергията. Стандарт за ПКЕЕ за мрежи ВН и свръхвисоко до този момент няма разработен.

В сравнение със стария стандарт, по отношение на несиметрията тук не се нормират съставящите с нулева последователност, което е съществен пропуск при нашите условия на експлоатация на ЕСС. Прибавени са следните показатели за случайни прекъсвания, свързани с надеждността на електроснабдяването:

-Средна продължителност на прекъсването SAIDI (System Average Interruption Duration Index);

-Средна честота на прекъсванията на системата *SAIFI* – определя се като отношение на общия брой прекъсвания на засегнатите потребители към общия брой потребители в ЕСС за период;

- Средна продължителност на прекъсванията на електроснабдяването за потребител CAIFI (Customer Average Interruption Frequency Index). Определя се като отношение на общия брой прекъсвания към общия брой на прекъснатите потребители в ЕСС;

- Средна продължителност на едно прекъсване CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) - определя се като отношение на сумарната продължителност на прекъсването към общия брой прекъсвания за периода (година):

Изследвани са показателите SAIDI [мин./год.] и SAIFI [бр./год.] за редица европейски страни, както и нормените изисквания за интегралния коефициент на несинусоидалност - THD_U и коефициента на хармоника - K_{U_v}. Систематизирани са основните източници на висши хармоници в индустриалните обекти.

Стандарти , касаещи електромагнитната съвместимост:

-IEC 61000-3-2(2000) EMC – допустими нива на хармоничния състав за потребители ниско напрежение с ток до 16 А включително;

-IEC 61000-3-4(1998) EMC – допустими нива на хармоничния състав за ЕСС ниско напрежение с консумация , по-голяма от 16 А;

-IEC 61000-3-6(1996) EMC – допустими нива на хармоничния състав за ЕСС средно и високо напрежение.

По- голямата значимост на посочените IEC стандарти се поражда от факта, че те дават сериозни ограничения както върху хармоничния състав на напрежението, така и върху този на тока. Най - големите изисквания има стандарт IEEE519. Там различните допустими нива се нормират не само от номера на хармоника, а и от отношението на консумирания ток към тока на късо съединение в точката на присъединяване на потребителя.

Въпреки препоръчителния характер на съществуващите стандарти, всички страни въвеждат съответни нормативни стойности за показателите на качеството на електрическата енергия. Извършения анализ на тези показатели показва взаимовръзката между тях и особено силното въздействие на несиметричните и несинусоидални режими на работа. При съвременното бурно развитие на електронните компоненти и масовото им използване в производствената дейност и битовите електроуреди се наблюдава силно замърсяване на мрежата с висши хармоници и съответно нейното несиметриране.

Обект и технология при изследване ПКЕЕ при несиметрично и несинусоидално натоварване

Настъпилите промени в политическата система на страната през 1989г. дадоха и продължават да дават отражение върху социалната и икономическа сфера. Снижаването на производствената дейност на редица промишлени предприятия, промяна в технологичната им и предметна дейност се отразява и върху електроенергийната система в страната, която вече 25 години се характеризира с ясно очертаваща се тенденция за намаляване на електропотреблението.

Анализът показва , че за всички отрасли от промишлеността и комунално – битовия сектор за разглеждания период се наблюдава тенденция с периоди за намаляване на електропотреблението, последвано от слабо нарастване. Променя се и процентното участие в потреблението на ЕЕ от страна на ПП. Докато в началото на периода то е 55%-60%, то в последните години вече достигна до около 40%. Дейността на малките стопански предприятия не могат да покрият отпадането на крупните промишлени обекти. В индустрията най- съществено снижение се наблюдава в машиностроенето, електротехническата, електронната и химическата промишленост – 30%. За различните области на транспортния сектор снижението е в границите 3÷17 %, за селското стопанство 32÷38% , а в бюджетната и публичната сфера – над 20%. Трябва да се отбележи, че повечето от предприятията, въпреки голямото намаляване на консумираната ЕЕ, не преструктурираха техническите си ресурси. Забелязват се силно изразени негативни тенденции в режима на реактивните товари, рязко влошаване на ПКЕЕ и допълнителни загуби на ЕЕ.

Основната информационна основа в изследването е получена от над 200 промишлени обекти. Най-значимите от тях са групирани в 9 отрасъла, за

които са представени данни за средно-годишния товар $S_{ср.г.}$ и средно-годишния $cos\varphi_{ср.г.}$. Посочените обекти работят в режим на понижено натоварване средно в границите 19÷45%.

Изведени са основните принципи и изисквания при избора на специализирана апаратура за измерване на ПКЕЕ и методологията за определяне на местоположението на контролните точки при измерването, с което се гарантира прецизност и адекватност на изследванията.

Комплексна методика за определяне на загубите от влошени ПКЕЕ при несиметрично и нелинейно натоварване

При разработване на постановката се приемат следните изходни условия:

- При определянето на загубите на мощност от влошени ПКЕЕ да се използва комплексен многофакторен подход изразяващ се в създаване на математическа постановка за едновременно въздействие на съществените фактори върху изходните параметри;

- Изследването и оптимизиране на загубите от влошени ПКЕЕ е чрез създаването на математически модели с използване метода на планиране на експеримента, като предвид на добрите им статистически свойства се препоръчва използването на Bm планове.

- Икономическите загуби, обусловени от влошени ПКЕЕ са резултат от съвместното действие на несиметрията, несинусоидалността и отклонението на напрежението при работа на ЕСС;

- Определянето на икономическите загуби се основава на количествена оценка на три вида отрицателни последствия:

= увеличаване загубите на активна мощност;

= съкращаване живота на елементите на ЕСС;

= увеличаване на капиталните вложения в ЕСС;

- Оценката за икономическите загуби е предназначена за предварителни разчети на икономическата целесъобразност от внедряване на мероприятия за повишаване на ПКЕЕ;

Основни положения на комплексната методика

Определят се годишните икономически загуби, като сума от загубите от несиметрия и несинусоидалност на напрежението и загубите от отклонението му:

$$У = У_{Н} + У_{ОТК}\ [лв./год.] \qquad (2.8)$$

където: $У_{н}$ – икономически загуби от несиметрия и несинусоидалност на напрежението [лв./год.];

$У_{откл}$ – икономически загуби от отклонение на напрежението [лв./год.];

Загубите от несиметрия и несинусоидалност имат три съставящи:

1.Съставяща обусловена от допълнителни загуби на активна мощност :

$$У_1 = 0{,}01.Ц_e \sum_{i=1}^{n} \Delta P_i.T_i \ \ [лв./год.] \qquad (2.9)$$

където: $Ц_e$ – цена на 1 [kWh] активни загуби на електроенергия [лв./kWh], определена като специфичен разход независещ от товара;

ΔP_i – допълнителни загуби на активна мощност в i – тата група еднородни елементи [kW];

T_i – годишен фонд работни часове в i – тата група еднородни елементи [часа/год.], определен от реални данни или ориентировъчно от таблици, n – брой на разглежданите групи еднородни елементи.

2.Съставяща, обусловена от съкращаване живота на електротехническото оборудване :

$$У_2 = \sum_{i=1}^{n} З_i \left(\frac{\gamma_i - 1}{1 + \alpha_н T_{нi}} \right) \ [лв./год.] \qquad (2.10)$$

където: $З_i$ – ПГР за i – тата група еднородни потребители [лв./год.];

γ_i – кратност на намаляване на живота на i – тата група еднородни елементи[о.е.];

$\alpha_н$ – нормативен коефициент на ефективност на капиталовложенията[1/год.];

$T_{нi}$ – номинален живот за i – тата група еднородни елементи [год.];

Таблица 2.10. Технико-икономически анализ в реален обект

Ел.Обзавеждане	$P_н$, $S_н$,$I_л$,$I_п$, $I_с$	$\alpha_н$, [%] $\varepsilon_{ст}$, [о.е.]	U_i [о.е.] I_i [A]	K [лв.]	T [h]	ΔP ,[kW], [%]	$K_н$ [о.е.]	Ψ [о.е.]
АД 6 kV (общо) $P_н$ > 100 kW $K_{АД}$ = 0,7 $P_н$ 5-100 kW $K_{АД}$ = 2	28700[kW] 20500[kW] 8200[kW]	11.1 15,6 0,039	U_5 = 0,135 U_7 = 0,094 U_9 = 0,057 U_{11} - 0,032 U_{13} - 0,015 U_{15} = 0,011	$K^{3-100}_{АД}$ = 102 000 $K^{3-100}_{АД}$ = 156 000	$T_{АД}$ = 1500	$\Delta P_{АД}$ = 493,6[kW] $\Delta P_{АД}$ = 1,72 [%]	1,54	4,67
СД 6 kV K^{-} = 0,27 K^{-} = 0,4 δ^{-} = 434 δ^{-} = 389	1800 [kW]	11,1 0,024	U_5 = 0,11 U_7 = 0,082 U_9 = 0,076 U_{11} - 0,053 U_{13} - 0,022	$K_{СД}$ = 32 000	$T_{СД}$ = 1600	$\Delta P_{СД}$ = 2,68 [kW] $\Delta P_{СД}$ = 0,15 [%]	1,94	6,96
СТ 110/6 kV K^{-} = 0,5 K^{-} = 0,3 δ^{-} = 338 δ^{-} = 113	50000 [kVA]	9,4 0,013	U_5 = 0,073 U_7 = 0,061 U_9 = 0,034 U_{11} - 0,021 U_{13} - 0,022	ННР $K^{110}_{ст}$ = 140 000 Сим. режим $K^{110}_{ст}$ = 122 000	$T^{110}_{ст}$ = 8760	$\Delta P^{110}_{ст}$ = 35,29 [kW] $\Delta P^{110}_{ст}$ = 0,07 [%]	0,35	1,42
СТ 6/0,4 kV K^{-} = 02,67 K^{-} = 0,62 δ^{-} = 610 δ^{-} = 207	18460 [kVA]	9,4 0,019	U_5 = 0,098 U_7 = 0,084 U_9 = 0,072 U_{11} - 0,065 U_{13} - 0,025 U_{15} = 0,018	$K^{0}_{ст}$ = 195 000	$T^{0}_{ст}$ = 8760	$\Delta P^{0}_{ст}$ = 167,83 [kW] $\Delta P^{110}_{ст}$ = 0,91 [%]	1,48	4,38
КБ 6 kV K^{-} = 0,003 K^{-} = 0,003 δ^{-} = 2,6 δ^{-} = 2,6	1350 [kVA]	9,4 0,023	U_5 = 0,142 U_7 = 0,112 U_{11} - 0,094 U_{13} - 0,021	$K_{КБ}$ = 15 600	$T_{КБ}$ = 7 000	$\Delta P_{КБ}$ = 1,18 [kW] $\Delta P_{КБ}$ = 0,088 [%]	0,76	2,14
Осветителна уредба ЛНС a = 0,0953 c = 0,0339 -Газоразрядни a=0 c = 0,0203	90 [kW] 600 [kW]	$\delta U_л$ = 0,062 $\delta U_п$ = 0,035 $\delta U_с$ = 0,021		$K_{СУ}$ = 25 000	$T_{СУ}$ = 6500			
ЕМ 110 kV -Въздушна r_0 = 0, 158[Ω/km] ВЕЛ 24 km	$I_л$ = 52 $I_п$ = 37 $I_с$ = 36 $I_л$ = $I_п$ = $I_с$ = 45	2,8	I_5 = 7,9 I_6 = 4,8 I_7 = 2,1 I_8 - 0,18	$K^{ННР}_{ЕМ}$ = 220 000 $K^{СИМ}_{ЕМ}$ = 210 000	$T_{ЕМ}$ = 8760	$\Delta P^{ННР}_{ЕМ}$ = 24,287 [kW] $\Delta P^{СИМ}_{ЕМ}$ = 23,036 [%]		

3.Съставяща, обусловена от намаляване ефективността на използване на транзитиращите елементи от електрическата мрежа :

$$У_З = \sum_{j=1}^{m} \Delta З_j \ \text{[лв./год.]} \qquad (2.11)$$

където: $\Delta З_j$ – допълнителни ПГР за усилване на j - тия транзитиращ елемент [лв./год.];

m – броя на транзитиращи елементи от електрическата мрежа;

ПГР на $З_i$ се определят от формулата:

$$З_i = \alpha_н . K_i + И_i \ \text{[лв./год.]} \qquad (2.12)$$

където: K_i – капиталовложения за i – тата група еднородни елементи [лв.];

$И_i$ – годишни експлоатационни разходи [лв./год.], в които влизат и отчисления за амортизация и разходи за обслужване.

Нормативният коефициент на ефективност е в границите $\alpha_н$ = 0,01 ÷ 0,15.

Приложение при изследване на ЕСС на мощен промишлен обект.

Представено е изследване по гореизложената методика в „Титан –Златна Панега Цимент" АД, където по сух способ от варовик и мергел се произвежда портланд цимент при консумация около 150 kWh за тон. Схемата на електроснабдяване посочва като основен източник за захранване районната подстанция „Златна Панега". Два въздушни електропровода (ВЕЛ) 110 kV – съответно от подстанция Луковит и от подстанция Тетевен я захранват. Два силови трансформатора по 25 MVA 110/6/0,4 участват в ЕСС , като пет входа на заводската разпределителна подстанция осъществяват връзката на СН 6kV. Реализиран е непрекъснат производствен процес, като заводът работи на три смени. Той има пет основни цеха : „Кариера", цех „ Суровинни мелници и пещи", цех „Циментови мелници", цех „Опаковка" и спомагателни цехове. В табл.2.10. са изведени крайните резултати от проведения технико-икономически анализ по предложената методика.

В резултат на извършените анализи и проведените изследвания в тази глава могат да се направят следните изводи:

1. Извършено е подробно изследване на основните нормативни документи по отношение на показателите на качеството на електрическата енергия във водещите икономически развити страни и е осъществен сравнителен анализ на съществуващите нормативни изисквания. Въпреки препоръчителния характер на съществуващите стандарти, всички страни въвеждат съответни нормативни стойности за показателите на качеството на електрическата енергия. Извършеният анализ на тези показатели показва взаимовръзката между тях и особено силното въздействие на несиметричните и несинусоидални режими на работа. Налага се изводът, че е необходимо да се нормират и съставящите с нулева последователност, както и въвеждане в стандарта на следните показатели за случайни прекъсвания, свързани с надеждността на електроснабдяването: средна продължителност на прекъсването; средна честота на прекъсванията на системата; средна продължителност на прекъсванията на електроснабдяването за потребител; средна продължителност на едно прекъсване.

2. В резултат на използване на изследвания, проведени в над 200 промишлени обекти е извършено тяхното групиране в 9 отрасъла като са представени данни за средно- годишния товар $S_{ср.г}$ *и средно-годишния* $\cos\varphi_{ср.г}$. *Посочените обекти работят в режим на понижено натоварване средно в границите 19÷45%, като това води до регистриране на допълнителни загуби по мощност, свързани с намалени товари при големи инсталирани трансформаторни мощности. Регистрират се също така негативни тенденции в режима на реактивните товари и рязко влошаване на ПКЕЕ. Забелязват се силно изразени негативни тенденции в режима на*

реактивните товари, рязко влошаване на ПКЕЕ и допълнителни загуби на ЕЕ. За извършване на качествени изследвания на ПКЕЕ е предложена технология на изследването, свързана с предварително осъществяване избор на адекватна специализирана апаратура и определяне контролните точки на измерването с оглед на получаване на точни и представителни резултати. Набелязани са основните принципи и изисквания при нейната реализация.

3. Предложена е комплексна методика за определяне икономическите загуби от влошени ПКЕЕ при несиметрично и нелинейно натоварване. Икономическите загуби, обусловени от влошени ПКЕЕ са резултат от съвместното действие на несиметрията, несинусоидалността и отклонението на напрежението при работа на ЕСС. Определянето на икономическите загуби се основава на количествена оценка на три вида отрицателни последствия:

- увеличаване загубите на активна мощност;

- съкращаване живота на елементите на ЕСС;

- увеличаване на капиталните вложения в ЕСС;

Оценката за икономическите загуби е предназначена за предварителни разчети на икономическата целесъобразност от внедряване на мероприятия за повишаване на ПКЕЕ.

4. В резултат на апробацията на методиката за конкретен обект са получени резултати, от които се потвърждава, че влошаването на показателите за качество на електрическата енергия води до сериозни икономически загуби. Тези загуби се изчисляват в стойността на произвежданата продукция и предизвикват повишаване на стойността ѝ.

Влошените ПКЕЕ увеличават загубите на мощност, като за различните потребители са в граници от 1 до 400 kW. Така се реализира допълнителна консумация на електроенергия , която за покриване на тези загуби е в размер на около 2 мил.kWh годишно.Тези загуби представляват съществена част от сумарните икономически загуби от влошени ПКЕЕ и са около 80% от тях.

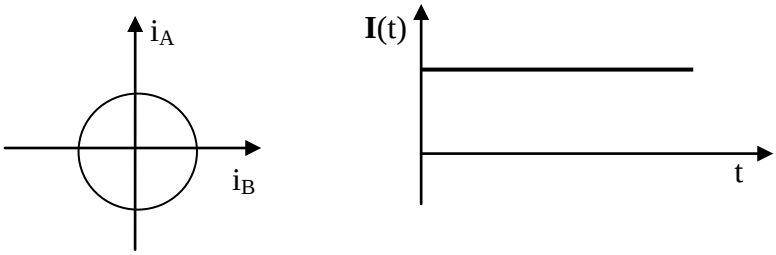
Чрез направеният анализ се дава сериозно основание за потвърждаване на необходимостта от прилагане на технически средства за минимизиране нивото на ПКЕЕ, за създаване на по-добри условия за експлоатация на електрообзавеждането..

Трета глава

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА СИСТЕМИТЕ ЗА СИМЕТРИРАНЕ ВЪРХУ РАБОТАТА НА ПРОИЗВОДСТВЕНИ АГРЕГАТИ В ПРОМИШЛЕНИ ОБЕКТИ И ОТРАЖЕНИЕТО ВЪРХУ КЕЕ

Обща теоретична постановка.

В настоящата глава основен акцент се поставя върху изследването на възможността за токово симетриране на динамично изменящи се несиметрични потребители при управление на симетриращите елементи по схема "Щайнмец" с оглед получаване на най-удовлетворително протичане на преходните процеси от гледна точка на техния размах и продължителност във времето. Отчитат се параметрите на електроснабдителната система и включените към нея други потребители. Реализирано е симулационно изследване с помощта на продукта "Mathlab" на поведението на динамично-изменящ се несиметричен потребител в случаите на управление на симетричните мощности посредством дискретизация на реактивната капацитивна мощност. При количественото изследване на установените несиметрични режими е възможно да се използва методът на симетричните съставящи, предложен от Фортескьо. При анализа на преходните процеси е използван методът на симетричните съставящи по отношение на моментните стойности.



Фиг.3.1. Изобразяващ вектор на тока

Изобразяващият вектор на тока се описва със зависимостта:

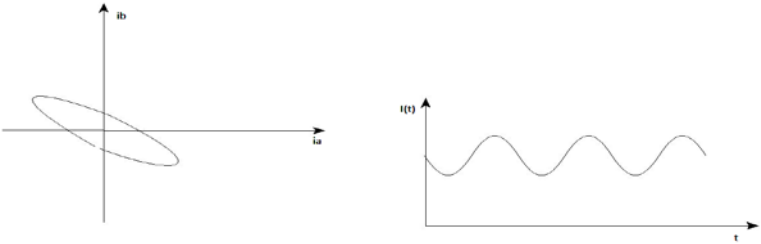
$$\bar{I}(t)=\frac{2}{3}.\left(i_A+a.i_B+a^2.i_C\right),\ \bar{I}(t)=I_m.e^{j\omega t} \tag{3.10}$$

Графичното представяне на Изобразяващият вектор на тока е показан на фиг.3.1.

Моментната стойност на изобразяващия вектор на тока (фиг.3.2) е:

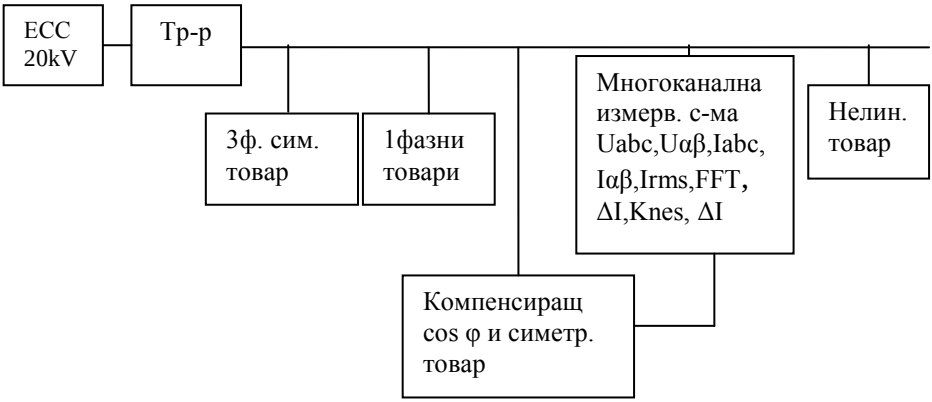
$$\bar{I}.(t)=\frac{2}{3}.\left[\left(i_{A1}+i_{A2}\right)+a.\left(a^2.i_{B1}+a.i_{B2}\right)+a^2.\left(a.i_{C1}+a^2.i_{C2}\right)\right]=$$

$$=\bar{I}_1(t)+\bar{I}_2(t)=I_{m1}.e^{j\omega t+\varphi 1}+I_{m2}.e^{-j\omega t+\varphi 2} \tag{3.13}$$



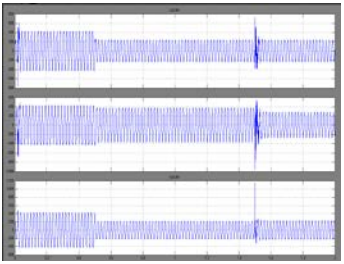
Фиг.3.2. Моментна стойност на изобразяващия вектор при несиметрия

Изследване на токовото симетриране на динамично изменящ се несиметричен потребител с дискретно управление на симетриращата мощност

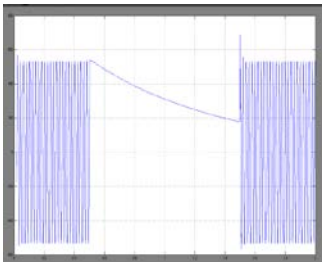


Фиг.3.3. Токово симетриране на дискретизирано управление на симетриращата мощност

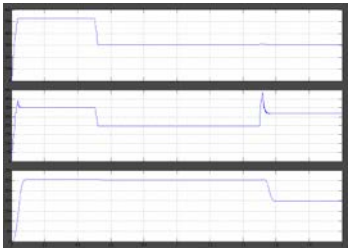
Анализът и изследването на токовото симетриране по схемата на „Щайнмец" посредством дискретизиране на симетриращата капацитивна мощност е осъществен чрез блоково моделиране на системата на симетриране на динамично изменящ се несиметричен електрически товар и е показана на фиг.3.3–фиг.3.5 и фиг.3.7– фиг.3.8.



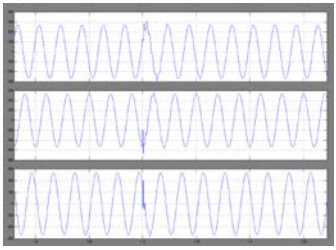
Фиг.3.4 Изменение на фазните токове



Фиг.3.5.Изменение напрежението на кондензаторните батерии

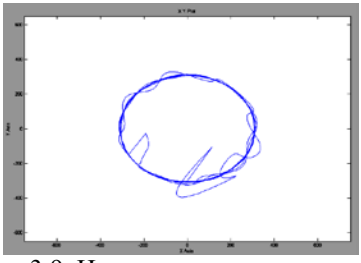


Фиг.3.7.Преходен процес на ефект. стойност на клоновите токове

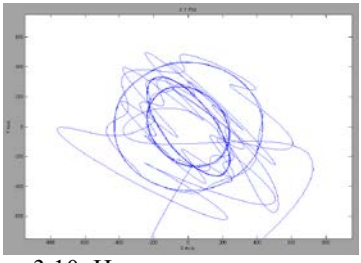


Фиг.3.8. Изменение във формата на кривата на захранв. напрежение

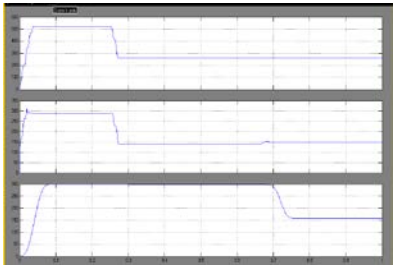
При наличие на смущения, породени от преходния процес, се появяват кратковременни отклонения от основния ходограф, който е окръжност. Съпоставянето на амплитудите на смущенията с радиуса на окръжността на съответния ходограф носи конкретна информация за големината на смущението, отнесена към амплитудата на установената стойност на напрежението или тока- фиг.3.9 и фиг.3.10.



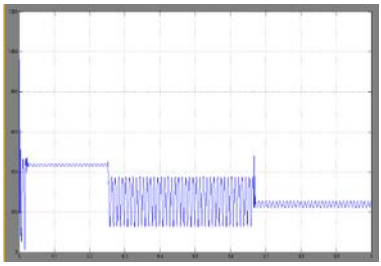
Фиг.3.9. Изменение на напрежението в захранващата система



Фиг.3.10. Изменение на тока в преходен режим



Фиг.3.15. Намаляване на пиковите в процеса на превключване



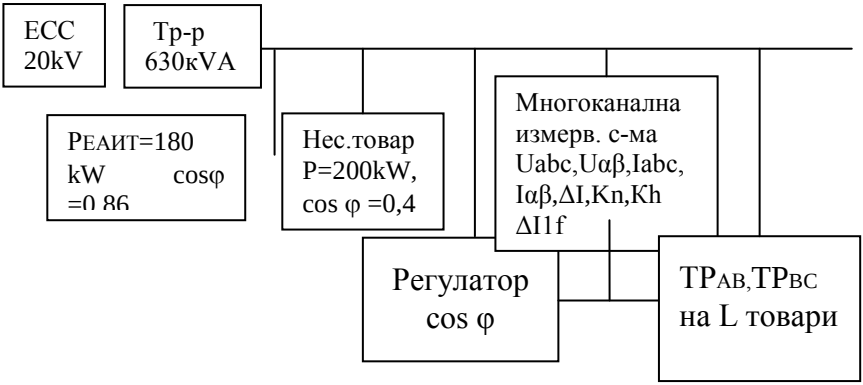
Фиг.3.16. Изменение на модула на тока, изобразяващия вектор на тока

Чрез динамично управление, осигуряващо съкращаване на времената на превключване се намаляват пиковите натоварвания (фиг.3.15), но от фиг.3.16, описваща процеса на превключване чрез изменението на модула на изобразяващия вектор на тока, е видно, че съществуват периоди от време, където коефициентът на несиметрия е по–голям от допустимите нормативни изисквания.

Симетриране на динамично изменящи се несиметрични потребители в електроснабдителната система на промишлено предприятие

Наличието на мощни несиметрични в електрическо отношение потребители изисква прилагането на различни схеми за симетриране. Динамично изменящите се товари определят прилагането на системи за управление на симетриране с необходимото бързодействие. Предложено е едно решение на система за симетриране, анализиран е критерият й за управление и влиянието върху ПКЕЕ.

Създаден е симулационен модел на основата на програмния продукт „Mathlab", който реализира блоковата схема от фиг.3.18 и поддържане на изпълнението на зависимост (3.19):

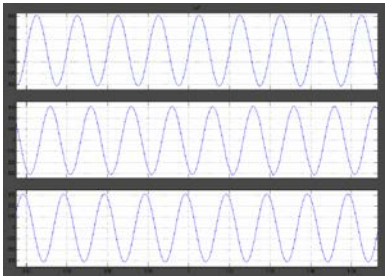


Фиг. 3.18. Принципната схема за динамично симетриране

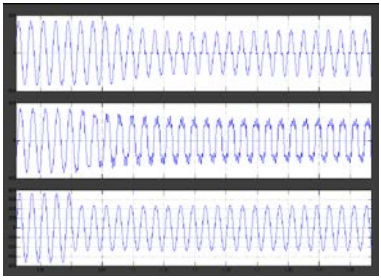
$$|I_{AB}| = |I_{BC}| = \frac{|I_{CA}|}{\sqrt{3}}, \tag{3.19}$$

при което: $|I_{AB}|, |I_{BC}|, |I_{CA}|$ са съответно модулите на клоновите токове на симетриращото устройство и несиметричния електрически товар.

Оценено е влиянието на генерираните висши хармоници в процеса на токово симетриране на бързо изменящи се несиметрични електрически товари и влиянието върху качеството на захранващото напрежение в заводска (цехова) подстанция. За тази цел е определен коефициентът на несинусоидалност по напрежение на шинната система на цехов трансформатор, захранващ несиметричен потребител и еквивалентен активно-индуктивен симетричен товар. Удачно е осъществяване на токово симетриране при динамично изменящ се електрически товар чрез плавно управление – фиг.3.23 и 3.24.

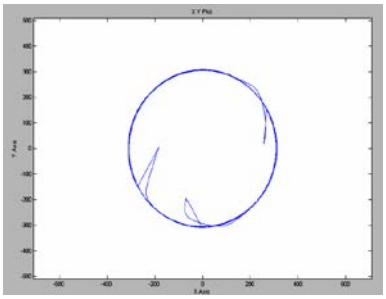


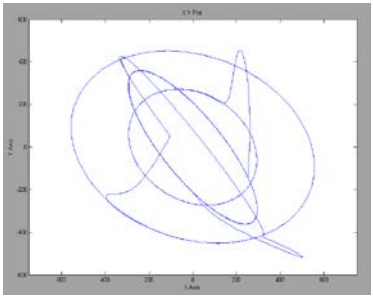
Фиг.3.23. Изменение на захранващото напрежение при плавно симетриране токове в процеса на симетриране



Фиг.3.24. Изменение на фазните

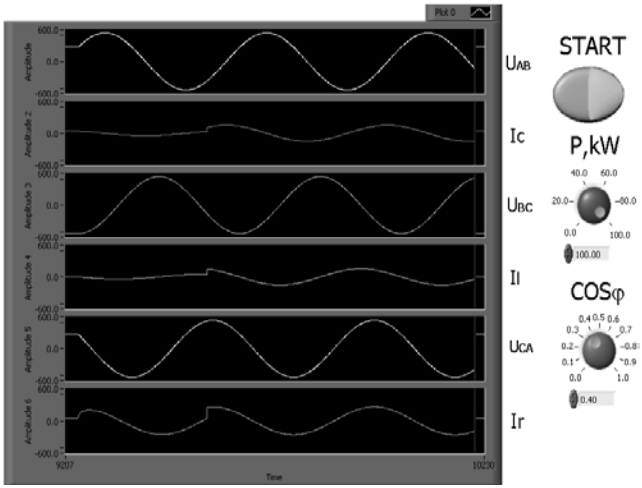
Използването на предложената електрическа схема за управление на симетрирането при динамичноизменящи се електрически товари в значителна степен намалява отклонението на напрежението и съкращава преходния процес – представени чрез ходографа на изобразяващия вектор (фиг.3.26 и фиг.3.27).





Фиг.3.26.Отклонение на напрежението при управление на симетрирането

Фиг.3.27.Изменение на тока при управление на симетрирането



Фиг.3.31. Фронт - панел ВИ

Разработване на модел на система за симетриране на токове в среда Lab View и изследване нейното влияние

Предложено е съвременно решение за изследване, посредством разработването на модел на система за симетриране на токове в среда LabVIEW на фирмата National Instruments. На фиг.3.31 е показан общият вид на фронт-панела на разработения виртуален инструмент в програмна среда Lab View. Логическите връзки между елементите са изпълнени в панел Diagram.

Към съответните входове се подава информация за константи, равни съответно на 0°, 120°, -120°, преобразувани с помощта на блока в радиани. Токът на товара (електрическа пещ) е първи блок. На входовете му «R», «Zr», «t», «a» се подава информация от блока за начално изчисляване на параметрите (фиг.3.32) и от брояча на цикъла. Вход «ω» се използва за задание на ъгъла на изместване на фазите. Изходът «Ir» е включен към Waveform Chart и блока за изваждане, откъдето се получават токовете на фазите. Изход «Ir» е включен към аналогов амперметър от меню Numeric на

палета Controls Palette и към блока за изваждане, изчисляващ фазния ток. Вторият блок представлява токът на симетриращата индуктивност, която има входове «Zl», «t», «ω» и “φ”.

С помощта на третия блок се моделира токът на симетриращия капацитет. Той има входове «Zc», «t», «ω» и «φ», които са подобни на вече споменатите, при това вход «φ» се използва за моделиране на капацитивната компонента на тока. Изходите «Ic» и «Ice» се съединяват аналогично.

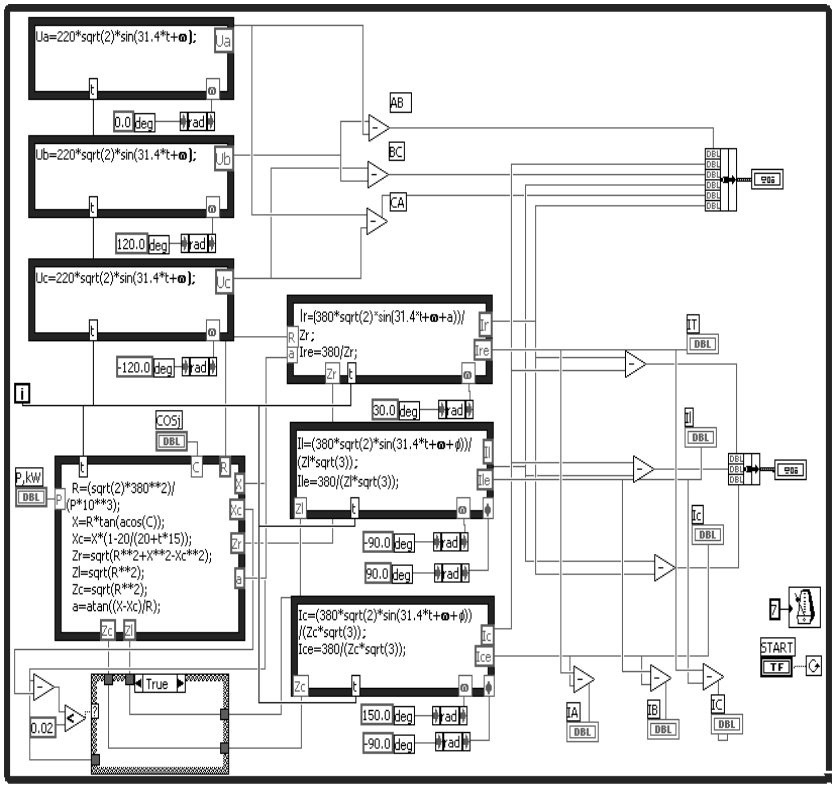
Блокът на тока на пещта получава данни от блока за изчисление на параметрите. Съществен параметър на този блок е променливата «a», съответстваща на ъгъла на фазовото изместване, предизвикано от индуктивния товар. Изчисляват се моментната и ефективната стойности на тока и се подават съответно към Waveform Chart и към аналоговия амперметър.

Регулиране на симетрирането на индукционна пещ в среда с висши хармоници

Наличието на мощни несиметрични в електрическо отношение потребители, каквито са индукционните промишлени пещи, изисква прилагането на различни схеми за симетриране. Динамично изменящите се товари определят прилагането на системи за управление на симетрирането с необходимото бързодействие. Изследвана е система за симетриране на Щайнмец и е анализиран критерият й за управление случай на симетриране при управление на динамично изменящ се електрически товар - индукционен тиглов електротермичен агрегат

За да се постигне бързодействие на процеса на симетриране при динамично изменящ се товар и спазването на условията на Щайнмец е необходимо динамично изменение на симетриращите товари. Директното приложение на схемата определя заложеното в принципа й изчакване на времето на разряд на кондензаторните групи преди да се извърши последващата комутация, което снижава бързодействието й.

Развивайки идеята, описана в [39], е синтезирана схема на управление на симетриращи реактивни елементи. Предложеният принцип е да се регулира индуктивния товар между фази B и C, а регулирането на капацитивната мощност между фази A и B да се извърши по нова схема – чрез регулиране на паралелно включен втори индуктивен товар.



Фиг.3.32. Блок-диаграма на ВИ

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ ОТ ТРЕТА ГЛАВА

1. Разработен е симулационен модел посредством „Mathlab" за токово симетриране на динамично изменящ се несиметричен потребител с дискретно управление на симетриращата мощност. Изследван е процесът на симетриране на токовете и въздействието върху качеството на електрическата енергия – пикове и провали в изменението на токовете и напреженията. Добра качествена оценка на процесите се постига с използване теорията на изобразяващия вектор. Важно условие при управление на симетриращите устройства във функция от изменението на несиметричния товар е избрания момент на тяхното комутиране. Съществен проблем при превключвания със силови контактори е невъзможността за подбиране на момента на комутация, следствие на което се получават големи стойности на токовете и провали в напрежението на захранващия източник

2. Разработен е симулационен модел посредством „Mathlab" и е изследвано симетрирането на динамично изменящи се несиметрични потребители и ефекта върху електроснабдителната система на промишлено предприятие. Чрез анализ на съвместната работа на симетрирания несиметричен товар и еквивалентния активно-индуктивен симетричен товар се оценяват коефициента на несинусоидалност и коефициента на несиметрия по напрежение върху шинната система на вторичната страна на цеховия трансформатор. Може да се направи извод, че качеството на електрическата енергия на шинната система на цеховия трансформатор, захранващ електрическите потребители, при реализирания начин на токово симетриране и при бързо изменящи се несиметрични електрически товари, остава в рамките на нормативните стойности. Най-голямата стойност на коефициента на несиметрия по напрежение не превишава 4,3%, а коефициентът на несинусоидалност по напрежение 1,8%, при нормативни стойности за двата коефициента 5%. Получените резултати показват качествено симетриране на бързо изменящи се товари и възможност за практическа реализация.

3. Разработен е и успешно приложен модел на виртуален инструмент в среда LabVIEW на система за симетриране на токовете при работата на динамично изменящи се несиметрични производствени агрегати. Създаденият ВИ позволява лесна визуализация на изследваните процесите и успешно да се демонстрират нормалните и аварийни режими на работа на изследваната система. Използването на тези авангардни инструменти позволява да се автоматизира инженерния труд, да се развие система за визуализация при управление на процесите. Симулационният модел осигурява ефективен анализ и оптимизация на различни методи за управление и избор на параметри на реактивните елементи за симетриране. Спомага за изследване на въздействието им върху показателите на качеството на електрическата енергия.

4. Проведено е моделно изследване за оценка бързодействието критерия за управление при регулиране симетрирането на индукционна пещ. Препоръчва се системата за регулиране на симетриращите елементи да използва ефективната стойност на клоновите токове. На практика, при наличие на висши хармоници в кривата на тока, полученото симетриране е в диапазона на 5%. Напрежението на шинната система, към която са включени останалите потребители се понижава с 1-5 волта, което е допустимо и не нарушава тяхната съвместна работа .

5. От изследванията и анализа на работата на електрическата схема "Щайнмец" следва, че появата на пикови на токовете може да се отстрани чрез подходящо управление на симетриращите елементи, при използване на съвременна силова полупроводникова техника и ново схемно решение. Времената за превключване на симетриращите елементи могат да бъдат сведени в рамките до 10ms, което дава възможност да се

постигане високо качество на управление на процесите на симетриране и удовлетворяване на изискванията на стандарта за качество на електрическата енергия .

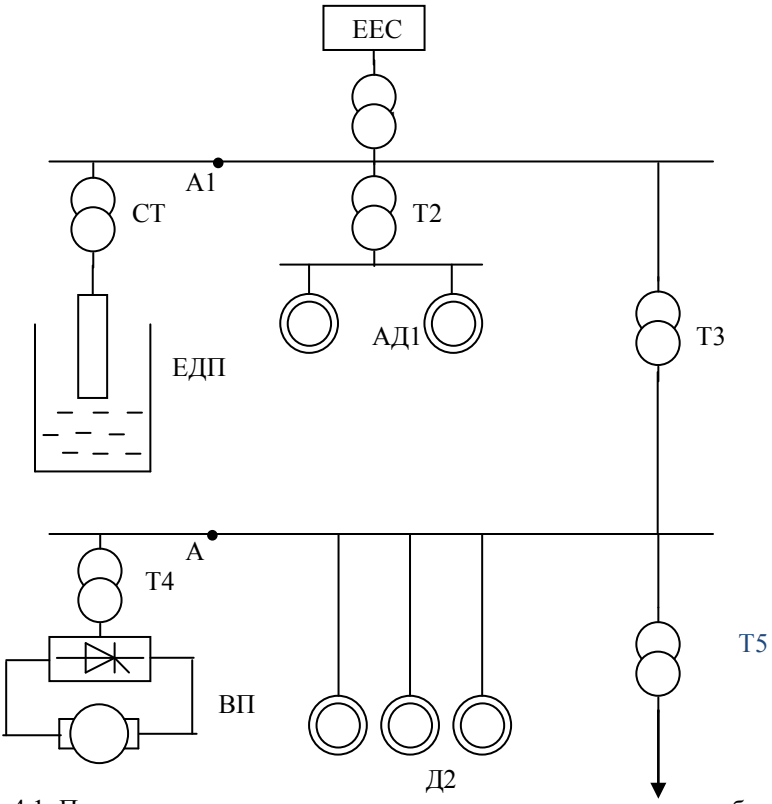
Четвърта глава
ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА СИЛОВИ ФИЛТРИ В ЕЛЕКТРОРАЗПРЕДЕЛИТЕЛНАТА СИСТЕМА НА ПРОМИШЛЕНИ ОБЕКТИ

Обща теоретична постановка.

Несинусоидалната форма на тока и напрежението оказват съществено негативно влияние върху захранващата електрическа система. Появяват се допълнителни загуби в електрическите мрежи, електрическите машини, силовите трансформатори, съкращава се срока на експлоатация на изолацията на силовите кабели и т.н. Влошава се работата на устройствата на автоматиката и телемеханиката, точността на електрическите измервания. Затруднява се, а в някои случаи става и невъзможно, използването на силови вериги в качеството им на канали за предаване на информация за микропроцесорни системи. При наличие на висши хармоници се нарушава работата на потребителите на електроенергия, ограничава се използването на кондензаторни батерии, поради тяхното претоварване с токове от висши хармоници и възникване на резонансни явления.

Определяне на коефициента на несинусоидалност на напрежението в отделни точки на електроразпределителната система

В основата на разработените математически модели е залегнало изчисляването на линейна електрическа верига, като в заместващата електрическа схема нелинейните елементи, а именно полупроводниковите преобразуватели и други нелинейни товари, са представени като източници на ток. Изследва се конкретен обект, представляващ ЕРС на ИО при работа на мощни нелинейни в електрическо отношение производствени агрегати. За определяне на еквивалентните величини на хармониците на напрежението и тока в различните точки на ЕРС, за всеки хармоник се съставя еквивалентна заместваща схема на общата принципна схема от фиг.4.1. Източниците на в.х. могат да се представят в схема на идеален източник на напрежение с безкрайно вътрешно съпротивление или в схема на идеален източник на ток с ограничена мощност.



Фиг.4.1. Принципна схема на електрозахранване на индустриален обект

Разработване на подход за оптимизиране параметрите на силови резонансни филтри

Несинусоидалната форма на тока и напрежението оказват негативно влияние върху захранващата система и включените към нея потребители. С оглед повишаване качеството на електрическата енергия в електроснабдителните системи на индустриалните обекти , снижаването на нивото на висшите хармоници се явяват важни организационни и технически задачи.

Съобразено от уравнения (4.17):

$$U_C \le 1.1\ U_{cv}; \qquad Q_C \le 1.35 Q_{cv}; \qquad I_C \le 1.3\ I_{cv}, \tag{4.17}$$

се стига до извода, че при капацитет C_{min}, кондензаторът е претоварен понеже: $Q_C \le Qc_v$, или изразено в проценти, може да се запише:

$$\frac{Q_{C1}+Q_{Cv}}{Q_C}100=135\,\% \tag{4.18}$$

При отчитане на условие (4.17), следва да е изпълнено условието:

$$\frac{Q_{C1}}{Q_{Cv}}\le\frac{100}{35}=2.68. \tag{4.19}$$

За да се използва напълно кондензатора и се ограничи претоварването му, съотношението на реактивните мощности, дадени с уравнение (4.19) може да се представят по следния начин:

$$\frac{Q_{C1}}{Q_{Cv}}\le 3 \tag{4.20}$$

Отговарящият капацитет е означен като C_{min}, а реактивната мощност, отговаряща на кондензаторната мощност, съответства на Q_{cmin}. Компенсиращата мощност на целия филтър, може да се изрази с:

$$Q_{CF}=Q_{C1}-Q_{L1}=3\left[U_{C1}^2\omega_1 C-\frac{U_{L1}^2}{\omega_1 L}\right], \tag{4.21}$$

която ще бъде по–малка от реактивната мощност, образувана върху индуктивността L, а съответно този израз може да представи във вида:

$$Q_{CF}=3\left\{(aU_r)^2\omega_1 C-[U_r(1-a)]^2\frac{1}{\omega_1 L}\right\}. \tag{4.22}$$

В краен резултат се получава:

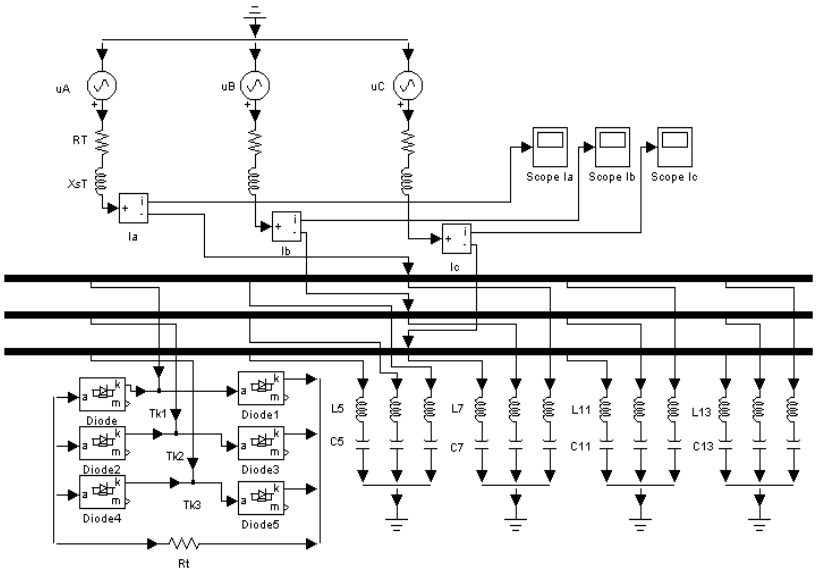
$$Q_{CF\,min}=3\sqrt{\frac{a}{\nu}}I_\nu U \tag{4.26}$$

Таблица 4.1

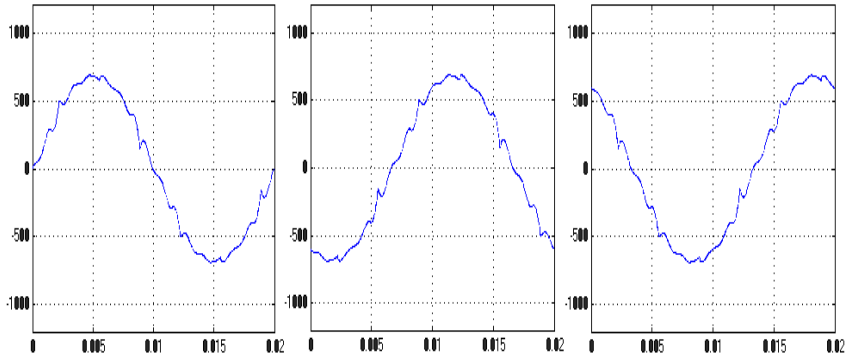
υ	5	7	11	13
$I_υ$,A	18.668	9.524	3.857	2.762
a	1.042	1.021	1.008	1.006
Q_{CFmin},kVAr	10.23	4.37	1.4	0.92
$C_υ$,μF	200	75.2	30	20
$L_υ$,mH	2.076	2.43	3.032	3.298

С помощта на посочените изрази практически могат да се изчислят стойностите на капацитета на кондензатора C и индуктивността на бобината L на филтъра и се определят големините на хармоничните токове, представени в табл.4.1.

Видът на токовете, получени в резултат на апробация на предложения подход за оптимизацията на параметрите на силовите филтри от посочената на фиг.4.6 електрическа схема са представени на фиг.4.7.



Фиг.4.6. Електрическа схема на компенсация на висши хармоници чрез силови филтри



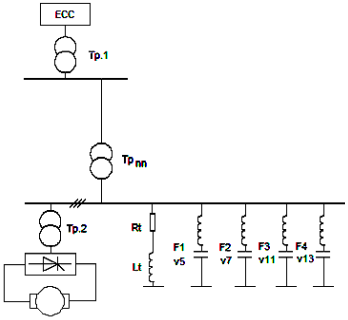
Фиг.4.7. Вид на токове, получени в резултат на оптимизация на силовите филтри

Изследване на ФКС при включване на мощен нелинеен потребител.

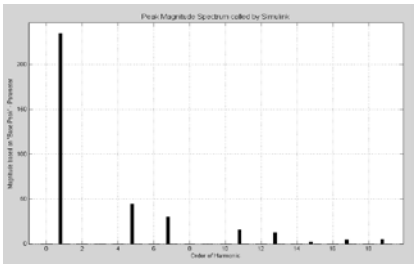
Отделните филтри, обединени в комплексна филтрокомпенсираща станция, освен че компенсират и филтрират висшите хармоници, също така отдават в електроснабдителната система допълнителна реактивна капацитивна мощност. Поради това обстоятелство, филтрокомпенсиращите

станции за висши хармоници успешно се използват и за компенсиране фактора на мощността на електрическите потребители.

Реализиран е симулационен модел, посредством който при отчитане параметрите на ЕСС на индустриален обект (ИО), характера и мощността на нелинейния смущаващ елемент и включените линейни потребители като еквивалентен товар може да се определи ефективността на работа на филтрокомпенсиращата станция, реално отдаваната реактивна капацитивна мощност в ЕСС на ИО и реализираните активни загуби в елементите на ФКС при зададен качествен фактор. Моделът създава възможност да се проконтролира претоварването на елементите на филтъра по напрежение и ток.



Фиг.4.8. Схема на ЕСС на ИО



Фиг.4.9.Генерирани хармоници

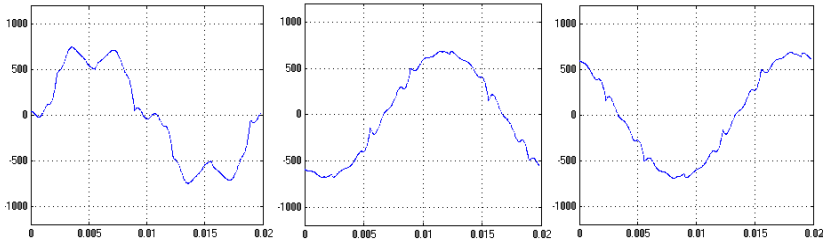
Разгледан е конкретен случай, чиято схема е представена на фиг.4.8, при който мощността на трансформатора е 630 кVA, включен е нелинеен товар с мощност 300 kW, еквивалентен линеен товар от 150 kW и комплект силови електрически филтри, влизащи в състава на ФКС за потискане на генерираните от товара висши хармоници. За генерираните от изправителя хармоници са получени стойности, показани на фиг.4.9.

Изследване работата на ФКС в аварийни режими

Изследвани са аварийни режими при работа на филтрокомпенсираща станция в промишлено предприятие, породени от отпадането на елементи или цели комплекти силови филтри, настроени за даден хармоник. Анализирано е влиянието на такива режими по отношение състоянието на тока и на компонентите на пълната мощност на филтрокомпенсиращата станция

Симулационният модел дава възможност да се определи изменението на сумарната филтрокомпенсираща мощност, както и изменението на фазните токове в нормален и различни аварийни режими.Анализирано е влиянието на такива режими по отношение състоянието на тока и на компонентите на пълната мощност на филтрокомпенсиращата станция

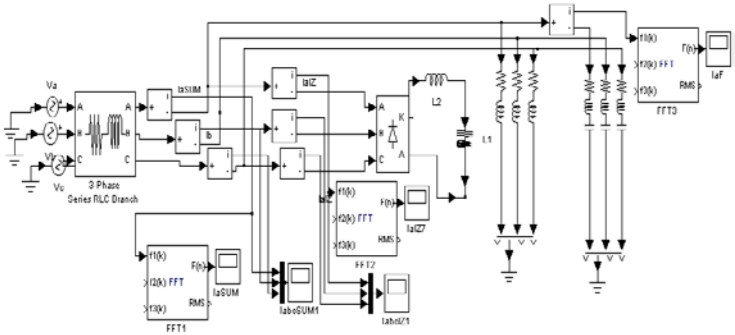
На фиг.4.14. е показано изменението на кривата на фазните токове, където е настъпило еднофазно прекъсване в схемата на силовия филтър за пети хармоник.



Фиг.4.14. Изменение на кривата на фазните токове при еднофазно прекъсване

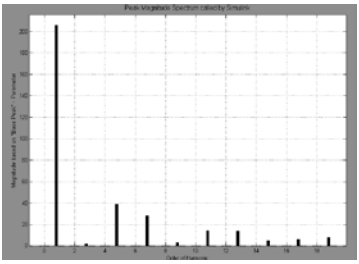
Възможности за филтриране на висши хармоници чрез комбинирани филтри

Изследвана е възможността за приложение на комбинирани електрически силови филтри, с оглед подобряване филтриращите свойства на пасивните филтри, при променлива конфигурация на мрежата. Изследването е проведено с използване възможностите на програмния продукт Mathlab, като е реализирана симулационна схема, представена на фиг. 4.28. Захранващият трансформатор е от цех на индустриално предприятие с мощност 630 kVA. В резултат на работата на неуправляемия изправител в мрежата се генерират висши хармоници. Техният спектрален състав се анализира чрез блок FFT2. Нивото на хармониците на тока е показан на фиг.4.29.

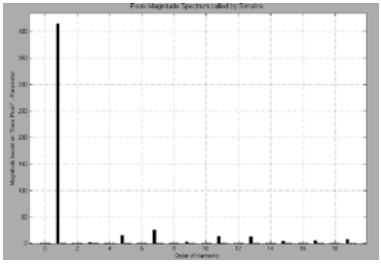


Фиг.4.28. Симулационна схема на система от промишлени агрегати .

Комбинацията от полезните страни на пасивните и активни филтри се явява ново решение на проблема. Тук са представени резултатите от симулационно изследване на проектирани комбинирани силови филтри при подтискане на пети хармоник.

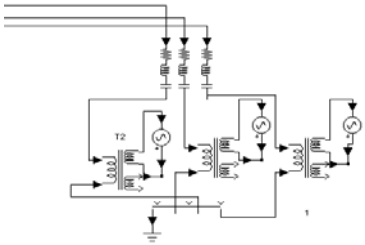


Фиг.4.29.Ниво на хармоници на тока без филтриране

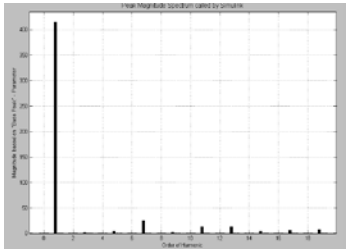


Фиг.4.30. Ниво на хармониците на тока след филтриране

Схемното решение на комбиниран силов филтър само за пети хармоник е представено на фиг.4.32. Последователно на съставните елементи на филтъра R,L и C е включен блок за активно въздействие, съдържащ трансформатор T2, на чиято вторична намотка е подадено напрежение с управляеми честота и фаза. Ефективността от действието на така реализирания комбиниран филтър се състои в намаляване на остатъчния пети хармоник на тока през трансформатора. Получените резултати са отразени на фиг.4.33.



Фиг.4.32.Схема на комбиниран силов филтър за пети хармоник



Фиг.4.33. Намаляване на остатъчния пети хармоник

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ ОТ ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

1. Разработена е методика за изчисляване параметрите на силовите резонансни филтри, обвързващ стойностите на висшите хармонични на токовете с генерираната реактивна мощност и повишаването на напрежението. Оценява се въздействието на филтъра чрез въвеждането на фактор на повишаване на напрежението, дава се възможност за контрол на несинусоидалността на системата чрез определяне коефициента на несинусоидалност в конкретна точка от ЕСС.

2. Разработен е симулационен модел посредством „Mathlab", чрез който при отчитане параметрите на ЕСС на индустриален обект, характера и мощността на нелинейния смущаващ елемент и включените линейни потребители като еквивалентен товар може да се определи ефективността на работа на филтрокомпенсиращата станция, реално

отдаваната реактивна капацитивна мощност и реализираните активни загуби в елементите на ФКС при зададен качествен фактор, като се обработят получените резултати за реалната и имагинерна компонента на пълната мощност, представена като изобразяващ вектор. Моделът създава възможност да се контролира претоварването на елементите на филтъра по напрежение и ток, като са изградени опции за провеждане на хармоничен анализ на тока в мощния нелинеен смущаващ елемент през отделните филтри и ФКС като цяло, както и на потребявания ток от ЕСС на ИО.

3. Разработени са симулационни модели, чрез които са проведени изследвания на аварийни режими при работа на филтрокомпенсираща станция в промишлено предприятие, породени от отпадането на елементи или цели компекти силови филтри, настроени за даден хармоник. Анализирано е влиянието на такива режими по отношение състоянието на тока и на компонентите на пълната мощност на филтрокомпенсиращата станция. Изследвани са режимите на работа на ФКС при отпадане на част от силовите филтри както и при отпадане на елементи от филтъра. Предложения подход и създадените модели създават успешна основа на провеждането на контрол и оценка на състоянието на мрежата. Получените симулирани аварийни режими позволяват използването на графични или аналитични методи за подобряване функционирането на силовите филтри и предотвратяване на негативните последици в следствие реални аварийни ситуации.

4. Проведено е моделно изследване на възможностите за филтриране на висши хармоници посредством комбинирани филтри чрез симулационен модел създаден в средата на Mathlab, като са представени резултатите от симулационно изследване на проектирани комбинирани силови филтри при подтискане на пети хармоник. Изведени са някои съществени за работата на силовите филтри зависимости: зависимост на коефициента на ефективност на филтъра във функция от импеданса на мрежата; зависимост на коефициента на ефективност на трансформатора във функция от импеданса на мрежата; зависимост на амплитудата на напрежението на звеното за активно въздействие във функция от импеданса на мрежата; зависимост на фазата на напрежението на звеното за активно въздействие във функция от импеданса на мрежата.

5. Въз основа на направените проучвания и изследвания е избран метод на филтриране, състоящ се във въвеждане на управление на силови филтри чрез въвеждане на активно звено за въздействие. Показано е, че на тази база, могат да се снижат неблагоприятните ефекти от висшите хармоници, в разглежданата електрическа система от агрегати с фиксирана структура, до основните допустими нормативни изисквания на БДС. При реализиране на системите за управление на блока за активно въздействие е необходимо да бъдат оптимизирани коригиращите сигнали по честота, амплитуда и фаза.

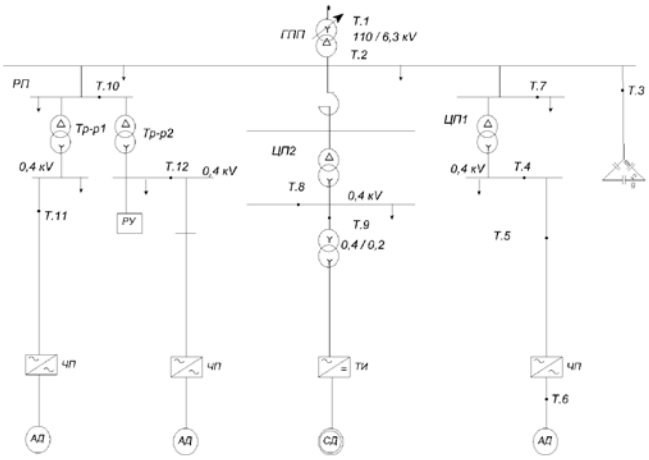
Пета глава

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН АНАЛИЗ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ ПРИ РАБОТА НА ИНДУСТРИАЛНИ ОБЕКТИ

Детайлният анализ на потребителите на електрическа енергия, откроява два типа обекти, които активно влияят върху качеството й. От една страна това са обекти, служещи за регулиране на количеството подавана енергия към реалния потребител, а от друга - самият консуматор. И при двата типа обекти са налице особени свойства, които поради своята специфика на функциониране и приложение оказват влияние върху качеството на електрическата енергия.

Определяне на характерните възли за оценка нивата на висшите хармоници.

Разработената във втора глава методика е приложена при определяне на характерните възли за оценка нивата на висшите хармоници. Въз основа на извършените изследвания в редица предприятия от минно-добивната промишленост е структурирана една примерна схема (фиг.5.1), обединяваща характерните особености на електрическите мрежи в предприятия от този вид. Тук основните консуматори на електрическа енергия са съсредоточени в мелнично-флотационните и трошачките цехове и оборотното водоснабдяване.



Фиг. 5.1 Схема на електроснабдяване на предприятие за добив и преработка на руда

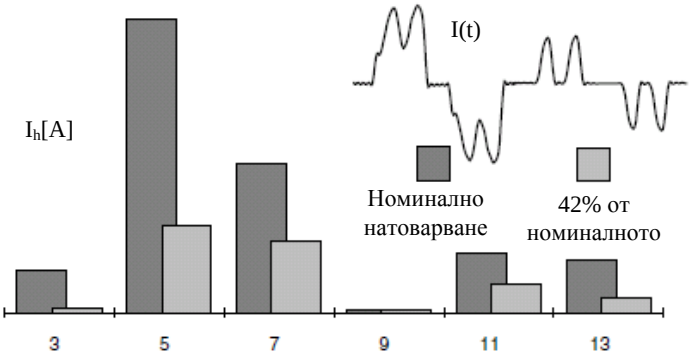
Посочени са характерните възли на електроснабдителната система, за които е необходимо да бъдат определени нивата на висшите хармоници и се препоръчва да се провеждат измерванията.

Изследване на потребители с честотопреобразуватели, работещи с понижено натоварване

Въздействието на статичните преобразуватели се изразява в два аспекта:

- генериране в мрежата на хармоници на напрежение и ток с различна физическа природа;
- консумиране от мрежата на реактивна мощност.

На фиг. 5.5 е представена формата на кривата на тока при номинално натоварване и при понижено натоварване на честотопреобразувател. От фигурата се вижда, че при понижено натоварване (обороти на двигателя) хармоничния състав на тока се променя, като висшите хармоници значително се завишават.



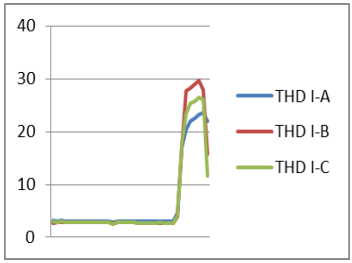
Фиг. 5.5. Изменение на генерирания от честотопреобразуватели хармоничния състав при различни натоварвания на управлявания АД

Обследваните производствените мощности са на територията на област Шумен. Предназначението им е за обработка и производство на мляко, млечни произведения и междинни продукти. Реализирани са изследвания върху шест трансформатора, намиращи се на територията на завода, които захранват различни производствени линии. Преди обновлението задвижванията са били без честотни управления, като в последните 3 години пусковата апаратура и управлението са заменени с честотни управления и автоматизация на базата на PLC. Компенсацията на страна ниско напрежение е съсредоточена в трафопостовете и тя действа и в момента , като е с занижено натоварване , но нейното използване не може да се избегне.

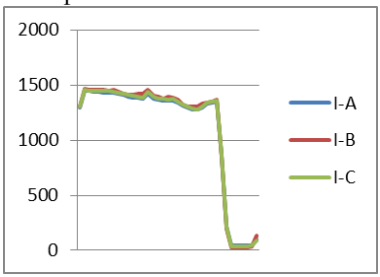
След въвеждане на честотните управления и автоматизираното управление са регистрирани нежелани явления във вид на рязко намаляване живота на кондензаторните батерии, а в два от цеховете кондензаторните

уредби излизат от експлоатация. Направено е заснемане на характеристиките с уред PNA 760 във всички трафопостове.

На фиг.5.10–фиг.5.11 са показани данни за различни контролни точки на ЕСС на фирмата. Те дават изменението на коефициента на несинусоидалност в [%] и изменението на тока в [А] за всяка фаза.

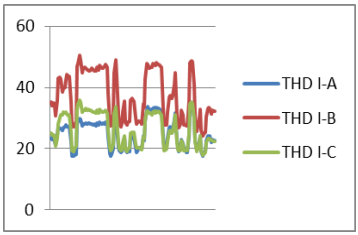


Коефициент на несинусоидалност

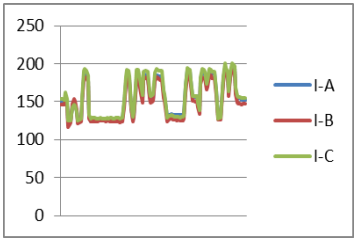


Ток във всяка от фазите в [А]

Фиг.5.10. Контролна точка „цех кисело мляко и субпродукти -2“



Коефициент на несинусоидалност



Ток във всяка от фазите в [А]

Фиг.5.11. Контролна точка „цех готова продукция и хладилни инсталации -1“

Негативните ефекти се изразяват главно в генерирането от входния трифазен мостов изправител на висши хармоници в тока които при подходящи съотношение между мощността на изправителя и захранващия източник (цеховия трансформатор) реализират и изкривявания в напрежението, които от своя страна заедно с несинусоидалния ток генерират деформационна мощност която по своя характер е неактивна. Това води до понижаване фактора на мощността-k_m и до увеличаване загубите по преноса-$\Delta P_{заг.}$

Освен чисто активните загуби на енергия се засилва стареенето на изолационните материали поради факта, че работят при честоти, многократно превишаващи номиналната. Това води до чисто химически процеси на стареене на изолационните материали и допълнителното им нагряване. То е по-високо поради „скин” ефекта в масивни връзки и едножилни кабели с голямо сечение. В резултат са по-големи загубите в магнитните сърцевини на трансформаторите, изчислени за работа при номинална честота.

В някои измервани точки се наблюдават несинусоидалност на тока по-голяма от 30% което е характерно за недонатоварени честотопреобразуватели, особенно отчитайки факта, че по линията има и други потребители. Поради тази причина е добре да се използват преобразуватели с близка мощност до тази на двигателя, а където е възможно вместо тях да се използват устройства за плавен пуск.

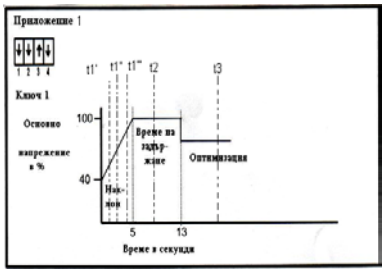
В кондензаторните уредби се перпоръчва използването на разстройващи дросели с p=5.67-6% , което извежда резонансната честота на системата на честота 210Hz , която не присъства в мрежата (най-ниската засечена честота на висш хармоник е 250Hz). Необходимо е номиналното напрежение на кондензаторите да е 440V. В линиите, които са с несинусуидалност от около 10% и не се предвижда включването на нови честотопреобразуватели да се използуват кондензаторни батерии за номинално напрежение 440V или такива, предназначени за слабо замърсени мрежи.

В линиите, които са без разстройващи дросели се препоръчва използването на „cos φ" регулатори с възможност за измерване THD, I,U, които да са с опция за изключване на кондензаторните батерии при повишаване на THD над зададена стойност или при поява на резонансни токове.

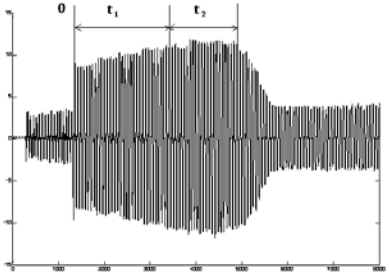
Анализ на влиянието на тиристорен преобразувател на напрежение върху качествените показатели на електрическата енергия

Обект на анализа е тиристорен преобразувател на напрежение, работещ съвместно с асинхронен двигател. Изследвани са качествените показатели на енергопотреблението в преходен режим, при линейно нарастване на захранващото напрежение на двигателя и в установен режим на работа.

Показани са функционалните възможности на ТПН в пусков режим при различна продължителност на отделните му етапи и влиянието върху влошаване на качеството на електрическата енергия. В t=0 се задават напрежения съответно 40, 50 и 65 % от основното. Избрани са произволни времена t_1' t_1'', t_1''' и t_2 , в които сечения са фиксирани характерите на захранващите напрежения и токове.

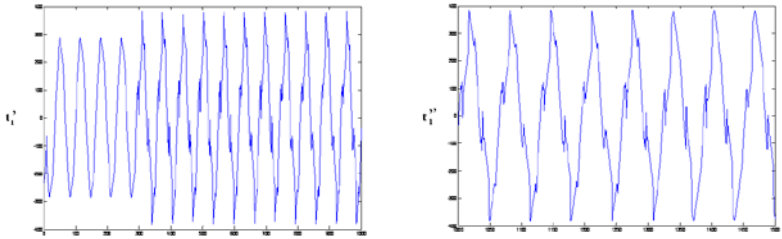


Фиг.5.17.Диаграма на захр. напрежение



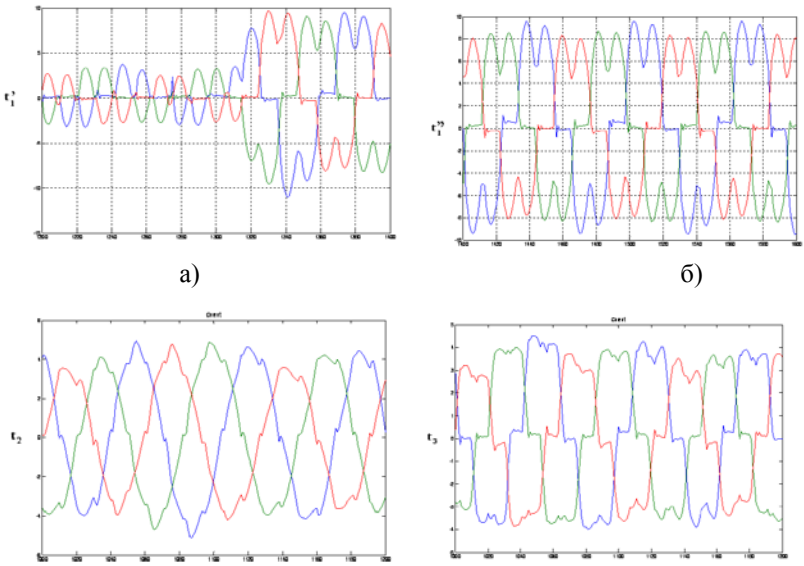
Фиг. 5.18 Диаграма на тока

Изследвани са три форми на кривата на напрежението, подавано на двигателя. За случая, показан на фиг.5.17 (едностранна обвивна крива на захранващото напрежение) и ток – фиг.5.18 са показани захранващите фазови напрежения на двигателя и времедиаграмите на токовете в различните сечения – фиг.5.19 и фиг.5.20.



а) б)

Фиг.5.19. Захранващите фазови напрежения на двигателя в сечения на времето t_1' t_1''



а) б)

в) г)

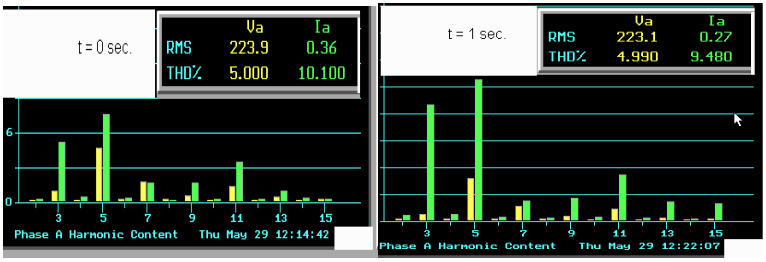
Фиг.5.20. Диаграма на токовете в сеченията t_1' t_1'', t_2, и t_3

Изследване на хармониците на тока при регулиране светлинния поток на луминисцентни лампи

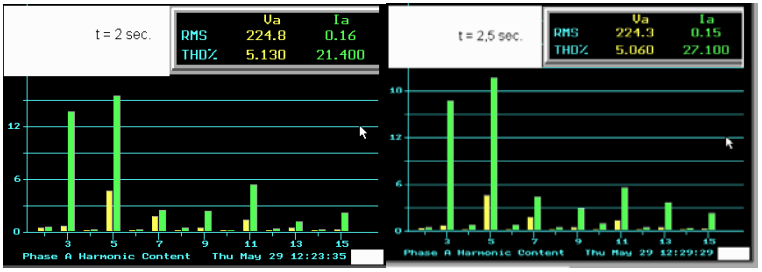
Един съвременен метод за изменение на светлинния поток на осветителни обекти е чрез изменение дълбочината на регулиране на

захранващото напрежение. Същевременно не се обръща достатъчно внимание на негативните проявления при това регулиране. В този параграф е изследван реален обект с осветителен товар от типа на луминисцентни лампи. Анализът е проведен по отношение наличието и изменението на хармониците на тока и напрежението в захранващата мрежа.

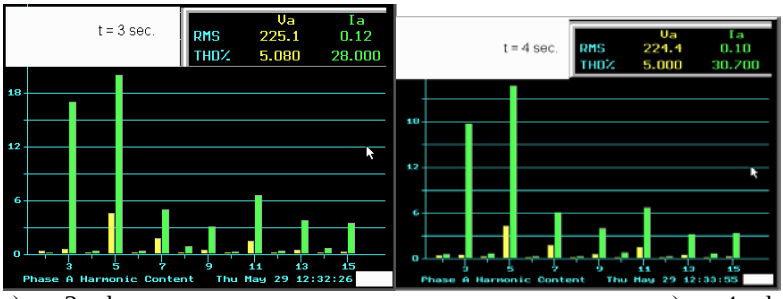
Резултатите от изследването са показани във вид на диаграми на фиг.5.29, при различен момент ***t*** от началото на регулирането.



а) t = 0 sek. б) t = 1 sek



в) t = 2 sek г) t = 2,5 sek



д) t = 3 sek е) t = 4 sek

фиг.5.29. Хармоничен състав на фаза А при различен момент t от началото на регулиране

Вероятностно-статистически подход при определяне загубите на мощност при несиметрични и несинусоидални режими

В резултат на многобройни предхождащи изследвания е обосновано удачното приложение на Теорията на планиране на експеримента при анализа на електроснабдителните системи в условията на несиметрични и несинусоидални режими. Съгласно тях като препоръчителен се налага план В3, общия вид на който е:

$$\hat{y} = b_0 + b_1.\dot{x}_1 + b_2.\dot{x}_2 + b_3.\dot{x}_3 + b_{12}.\dot{x}_1.\dot{x}_2 + b_{13}.\dot{x}_1.\dot{x}_3 + b_{23}.\dot{x}_2.\dot{x}_3 + b_{11}.\dot{x}_1^2 + b_{22}.\dot{x}_2^2 + b_{33}.\dot{x}_3^2$$

Таблица 5.1. Интервали и нива на вариране на съществените фактори

Фактор	Интервал на вариране	Долно ниво (-1)	Средно ниво (0)	Горно ниво (+1)
$X_1 = \delta U[\%]$	10 %	-10 %	0 %	+10 %
$X_2 = \varepsilon_2\ [\%]$	1 %	0 %	1 %	2 %
$X_3 = K_{HC}[\%]$	2,5 %	0 %	2,5 %	5 %

Коефициентите на регресионния модел се определят от матричната форма

$$\mathbf{B = [F^T.F]^{-1}.F^T.Y} \qquad (5.2)$$

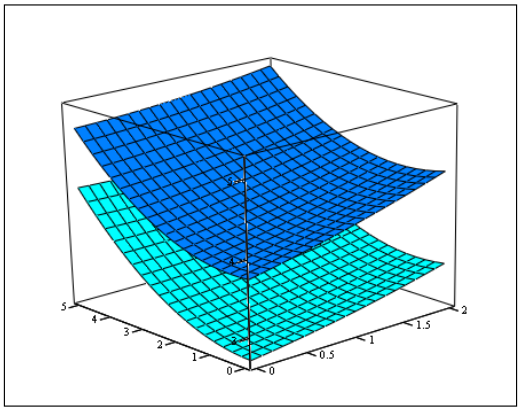
Проверката за значимост на регресионните коефициенти се извършва по t-критерия на Стюдънт, адекватността на математическите модели се проверява по критерия на Фишер за ниво на значимост α и съответни степени на свобода. Определя се и коефициента на множествена корелация R.

Таблица 5.2 Математически модели по отрасли

№	отрасъл	
1	Машиностроене	$y = 3{,}158 - 0{,}068\,\dot{x}_1 + 0{,}0825\,\dot{x}_2 + 0{,}080\,\dot{x}_3 - 0{,}051\,\dot{x}_1\dot{x}_2 + 0{,}009\,\dot{x}_1\dot{x}_3 + 0{,}0285\,\dot{x}_2\dot{x}_3 + 0{,}0615\,\dot{x}_1^2 + 0{,}0174\,\dot{x}_2^2 - 0{,}026\,\dot{x}_3^2$
2	Химическа и добивна промишленост	$y = 2{,}569 - 0{,}068\,\dot{x}_1 + 0{,}0705\,\dot{x}_2 + 0{,}054\,\dot{x}_3 + 0{,}056\,\dot{x}_1\dot{x}_2 + 0{,}017\,\dot{x}_1\dot{x}_3 - 0{,}044\,\dot{x}_2\dot{x}_3 - 0{,}027\,\dot{x}_1^2 - 0{,}038\,\dot{x}_2^2 + 0{,}054\,\dot{x}_3^2$
3	СМК, строителни материали, пътно строителство.	$y = 2{,}353 - 0{,}012\,\dot{x}_1 + 0{,}073\,\dot{x}_2 + 0{,}055\,\dot{x}_3 + 0{,}019\,\dot{x}_1\dot{x}_2 - 0{,}011\,\dot{x}_1\dot{x}_3 - 0{,}044\,\dot{x}_2\dot{x}_3 + 0{,}015\,\dot{x}_1^2 + 0{,}045\,\dot{x}_2^2 + 0{,}060\,\dot{x}_3^2$
4	Електротехническа промишленост.	$y = 3{,}151 + 0{,}081\,\dot{x}_1 + 0{,}074\,\dot{x}_2 + 0{,}176\,\dot{x}_3 + 0{,}007\,\dot{x}_1\dot{x}_2 + +0{,}041\,\dot{x}_1\dot{x}_3 - 0{,}051\,\dot{x}_2\dot{x}_3 + 0{,}040\,\dot{x}_1^2 + 0{,}066\,\dot{x}_2^2 + 0{,}056\,\dot{x}_3^2$
5	Текстилна, шивашка и обувна промишленост	$y = 2{,}781 - 0{,}060\,\dot{x}_1 + 0{,}072\,\dot{x}_2 + 0{,}079\,\dot{x}_3 - 0{,}008\,\dot{x}_1\dot{x}_2 + +0{,}047\,\dot{x}_1\dot{x}_3 - 0{,}0175\,\dot{x}_2\dot{x}_3 + 0{,}040\,\dot{x}_1^2 + 0{,}028\,\dot{x}_2^2 - 0{,}012\,\dot{x}_3^2$
6	Хранително-вкусова промишленост и административен сектор	$y = 2{,}766 - 0{,}037\,\dot{x}_1 + 0{,}067\,\dot{x}_2 + 0{,}086\,\dot{x}_3 - 0{,}016\,\dot{x}_1\dot{x}_2 + +0{,}019\,\dot{x}_1\dot{x}_3 - 0{,}055\,\dot{x}_2\dot{x}_3 + 0{,}093\,\dot{x}_1^2 + 0{,}045\,\dot{x}_2^2 + 0{,}076\,\dot{x}_3^2$

Методиката е приложена при обработка на усреднените експериментални резултати от обследването на обектите, групирани по отрасли във втора глава. Изходен параметър са загубите от влошени ПКЕЕ, а като съществени фактори са избрани коефициента на несиметрия, отразяващ несиметричните режими; коефициента на несинусоидалност, отразяващ несинусоидалните режими и отклонението на напрежението.

Интервалът на вариране и нивата на факторите са дадени в таблица 5.1. В табл.5.2. са представени получените математически модели за някои отрасли. На фиг. 5.26 графично са показани зависимости на загубите на мощност, за отрасъл Електро промишленост от несиметрия и несинусоидалност при отклонение на напрежението 5% и 10%.



$Surf_{dU5\%}$, $Surf_{dU10\%}$

Фиг.5.26 Изменение на ΔP_{MP} за отрасъл Електро промишленост

От фиг.5.26 се констатира, че изменение на ΔP_{MP} за отрасъл Електро промишленост от отклонение на напрежението при различни стойности на K_{HS} и ε_U=0 определят дъгообразна повърхнина.Тя определя зона на минимизация в случаи на номинални стойности на съществените фактори. Регистрираните тенденции в параметъра на оптимизация $\Delta P_в^*$ са ярко изразени, и показват, че функцията на отклика се поддава на минимизация.Обяснението на този факт е в разнопосочното влияние на някои от съществените фактори при различни нива на други фактори и вероятността за взаимодействие и взаимозависимост на факторите.

При изменение на ε_U в границите (0÷1)%, загубите на мощност се увеличават от 3 до 4,5 %, т.е. приблизително с 1,5%, докато с увеличаването на ε_U от 1 до 2% загубите нарастват средно с около 3 %. Тази тенденция важи за целия изследван диапазон на изменение на напрежението в границите – 10% ÷+10%.

В резултат на анализа на ММ за различните отрасли се открояват някои характерни особености:

- Отклонението на напрежението е факторът, влияещ най-разнообразно и с различно по характер влияние върху изследваните потребители.

- Върху агрегати от отрасъл строителство влиянието на отклонението на напрежението е незначително , а на хранително вкусова - значимо.

- При сектор електротехническа промишленост съществено влияят и трите фактори, като значими са и ефектите им на взаимодействие.

- Получават се минимални загуби при нулеви стойности на коефициентите на несиметрия и несинусоидалност, но допустимо близки до тях са и загубите при Кнс= до 2,5% и ε_U до 1%.

Обобщавайки анализите на графичните интерпретации и математическите модели, могат да се направят следните по-важни изводи, съответстващи на основните цели и тенденции при определяне на загубите от влошени КПЕЕ:

1. За изследваните отрасли загубите на мощност от влошени КПЕЕ в най-силна степен се проявяват в отрасли Хранително вкусова и Електротехническа промишленост. Това се дължи на крайно нерационално изградената захранваща и преносна мрежа, с голям брой табла, различни по вид и сечение кабелни системи, лошо организирана, експлоатирана и крайно амортизирана. Влиянието и на трите съществени фактори е значимо, ефекти на взаимодействие не се проявяват, но влиянието на квадратичните членове също е значимо.

2. Резултатите за отрасъл строителство показват относително малки активни загуби от влошени КПЕЕ. Обяснението е че се дължи на значителното намаляване на инсталираните мощности и свиване на производството.

3. За отрасъл Електротехническа промишленост влиянието и на трите съществени фактора е значимо, като тук се наблюдава въздействие и на ефектите на взаимодействие X_1X_2 и X_2X_3, като вторият ефект е с положително влияние, т.е. несиметричните и несинусоидалните режими действат синхронно и еднопосочно върху $\Delta P_в^*$.

При отрасъл строителство се прави извода – влиянието на K_{HC} е незначимо и в сравнение със всички други групи потребители ,като този фактор има най-малък регресионен коефициент, т.е. висшите хармоници обуславят минималния дял от загубите в $\Delta P_в^*$.

З А К Л Ю Ч Е Н И Е

В съответствие с поставената цел и формулираните задачи за решаване, като резултат от разработването на дисертационната работа могат да бъдат направени следните изводи:

1. В резултат на изследванията, проведени в над 200 промишлени обекти е извършено тяхното групиране в 9 отрасъла като са представени данни за средно- годишния товар $S_{ср.г}$ *и средно-годишния* $\cos\varphi_{ср.г}$. *Посочените обекти работят в режим на понижено натоварване средно в границите 19÷45%, като това води до регистриране на допълнителни загуби по мощност, свързани с намалени товари при големи инсталирани трансформаторни мощности. Регистрират се също така негативни тенденции в режима на реактивните товари и рязко влошаване на ПКЕЕ. Забелязват се силно изразени негативни тенденции в режима на реактивните товари, рязко влошаване на ПКЕЕ и допълнителни загуби на ЕЕ. За извършване на качествени изследвания на ПКЕЕ е предложена технология на изследването, свързана с предварително осъществяване избор на адекватна специализирана апаратура и определяне контролните точки на измерването с оглед на получаване на точни и представителни резултати. Набелязани са основните принципи и изисквания при нейната реализация.*

2. Предложена е комплексна методика за определяне икономическите загуби от влошени ПКЕЕ при несиметрично и нелинейно натоварване. Икономическите загуби, обусловени от влошени ПКЕЕ са резултат от съвместното действие на несиметрията, несинусоидалността и отклонението на напрежението при работа на ЕСС. Определянето на икономическите загуби се основава на количествена оценка на три вида отрицателни последствия:

- увеличаване загубите на активна мощност;

- съкращаване живота на елементите на ЕСС;

- увеличаване на капиталните вложения в ЕСС;

Оценката за икономическите загуби е предназначена за предварителни разчети на икономическата целесъобразност от внедряване на мероприятия за повишаване на ПКЕЕ.

3. В резултат на апробацията на методиката за конкретен обект са получени резултати, от които се потвърждава, че влошаването на показателите за качество на електрическата енергия води до сериозни икономически загуби. Тези загуби се изчисляват в стойността на произвежданата продукция и предизвикват повишаване на стойността ѝ.

Влошените ПКЕЕ увеличават загубите на мощност, като за различните потребители са в граници от 1 до 400 kW. Така се реализира допълнителна консумация на електроенергия , която за покриване на тези

загуби е в размер на около 2 мил.kWh годишно.Тези загуби представляват съществена част от сумарните икономически загуби от влошени ПКЕЕ и са около 80% от тях.

Чрез направеният анализ се дава сериозно основание за потвърждаване на необходимостта от прилагане на технически средства за минимизиране нивото на ПКЕЕ, за създаване на по-добри условия за експлоатация на електрообзавеждането.

4. Разработени са симулационни модели посредством „Mathlab" за токово симетриране на динамично изменящ се несиметричен потребител с дискретно управление на симетриращата мощност и е изследван ефекта върху електроснабдителната система на промишлено предприятие. Изследван е процесът на симетриране на токовете и въздействието върху качеството на електрическата енергия – пикове и провали в изменението на токовете и напреженията. Удачна качествена оценка на процесите се постига с използване теорията на изобразяващия вектор. Важно условие при управление на симетриращите устройства във функция от изменението на несиметричния товар е избрания момент на тяхното комутиране. Съществен проблем при превключвания със силови контактори е невъзможността за подбиране на момента на комутация,в следствие на което се получават големи стойности на токовете и провали в напрежението на захранващия източник. Чрез анализ на съвместната работа на симетрирания несиметричен товар и еквивалентния активно-индуктивен симетричен товар се оценяват коефициента на несинусоидалност и коефициента на несиметрия по напрежение върху шинната система на вторичната страна на цеховия трансформатор. Може да се направи извод, че качеството на електрическата енергия на шинната система на цеховия трансформатор, захранващ електрическите потребители, при реализирания начин на токово симетриране и при бързо изменящи се несиметрични електрически товари, остава в рамките на нормативните стойности.

5. Разработен е и успешно приложен модел на виртуален инструмент в среда LabVIEW на система за симетриране на токовете при работата на динамично изменящи се несиметрични производствени агрегати. Създаденият ВИ позволява лесна визуализация на изследваните процесите и успешно да се демонстрират нормалните и аварийни режими на работа на изследваната система. Използването на тези авангардни инструменти позволява да се автоматизира инженерния труд, да се развие система за визуализация при управление на процесите. Симулационният модел осигурява ефективен анализ и оптимизация на различни методи за управление и избор на параметри на реактивните елементи за симетриране. Спомага за изследване на въздействието им върху показателите на качеството на електрическата енергия.

6. Проведено е моделно изследване за оценка бързодействието критерия за управление при регулиране симетрирането на индукционна пещ. Препоръчва се системата за регулиране на симетриращите елементи да използва ефективната стойност на клоновите токове. На практика, при наличие на висши хармоници в кривата на тока, полученото симетриране е в диапазона на 5%. Напрежението на шинната система, към която са включени останалите потребители се понижава с 1-5 волта, което е допустимо и не нарушава тяхната съвместна работа.

7. Разработена е методика за изчисляване параметрите на силовите резонансни филтри, обвързващ стойностите на висшите хармонични на токовете с генерираната реактивна мощност и повишаването на напрежението. Оценява се въздействието на филтъра чрез въвеждането на фактор на повишаване на напрежението, дава се възможност за контрол на несинусоидалността на системата чрез определяне коефициента на несинусоидалност в конкретна точка от ЕСС. Въз основа на направените проучвания и изследвания е избран метод на филтриране, състоящ се във въвеждане на управление на силови филтри чрез въвеждане на активно звено за въздействие. Показано е, че на тази база, могат да се снижат неблагоприятните ефекти от висшите хармоници, в разглежданата електрическа система от агрегати с фиксирана структура, до основните допустими нормативни изисквания на БДС.

8. Разработени са симулационни модели посредством „Mathlab", чрез който при отчитане параметрите на ЕСС на индустриален обект, характера и мощността на нелинейния смущаващ елемент и включените линейни потребители като еквивалентен товар се определя ефективността на работа на филтрокомпенсиращата станция, реално отдаваната реактивна капацитивна мощност и реализираните активни загуби в елементите на ФКС при зададен качествен фактор. Контролира се претоварването на елементите на филтъра по напрежение и ток, като са изградени опции за провеждане на хармоничен анализ на тока в мощния нелинеен смущаващ елемент през отделните филтри и ФКС като цяло, както и на потребявания ток от ЕСС на ИО. Изследвани са и аварийни режими при работа на филтрокомпенсираща станция в промишлено предприятие, породени от отпадането на елементи или цели компекти силови филтри, настроени за даден хармоник. Анализирано е влиянието на такива режими по отношение състоянието на тока и на компонентите на пълната мощност. Създадените модели дават успешна основа на провеждането на контрол и оценка на състоянието на мрежата. Получените симулирани аварийни режими позволяват използването на графични или аналитични методи за подобряване функционирането на силовите филтри и предотвратяване на негативните последици в следствие реални аварийни ситуации.

9. Извършена е апробация на разработените методики в предходните глави в реални индустриални обекти от различни области на промишлеността и е показана тяхната приложимост за оценка влиянието на несиметричните и несинусоидални производствени агрегати върху качеството на електрическата енергия. Извършено е обобщено изследване на обособени в няколко отрасла от промишлеността потребители. За различните отрасли са определени загубите на мощност при несиметрични и несинусоидални режими. На базата на ТПЕ са получени ММ за тези загуби и е обоснована възможността за оптимизация на изходния параметър, което е показано и чрез графична интерпретация. Методиката и крайните резултати дават възможност за определяне влиянието на несиметричните и несинусоидални потребители и дефиниране на оптимални стойности на съществените фактори.

Авторът защитава следните основни резултати от проведените дисертационни изследвания:

- Важно условие при управление на симетриращите устройства във функция от изменението на несиметричния товар е момента на тяхното комутиране. При превключвания със силови контактори е невъзможно подбирането на момента на комутация, следствие на което се получават големи стойности на токовете и провали в напрежението на захранващия източник.

- Появата на пикови стойности може да се отстрани чрез управление на симетриращите елементи, при използване на съвременна силова полупроводникова техника и ново схемно решение.

- Времената за превключване на симетриращите елементи могат да бъдат сведени в рамките до 10ms, което дава възможност да се постигане високо качество на управление на процесите на симетриране и удовлетворяване на изискванията на стандарта за качество на електрическата енергия.

- Оценявайки получените резултати може да се направи извод, че качеството на електрическата енергия на шинната система на цеховия трансформатор, захранващ електрическите потребители, при реализирания начин на токово симетриране и при бързо изменящи се несиметрични електрически товари, остава в рамките на нормативните стойности. Най-голямата стойност на коефициента на несиметрия по ток не превишава 4,3%, а коефициентът на несинусоидалност по напрежение 1,8%. Получените резултати показват качествено симетриране на бързо изменящи се товари и възможност за практическа реализация.

- За някои групи потребители и отрасли са получени статичните характеристики на товара, даващи възможност да се определи и

оптимизира балансовото уравнение на мощността и да се препоръчат технико-икономически режими на работа с понижена консумация на ЕЕ.

- Въз основа на направените проучвания и изследвания е избран метод на филтриране, състоящ се в реализиране на управление на силови филтри чрез въвеждане на активно звено за въздействие. Показано е, че на тази база, могат да се снижат неблагоприятните ефекти от висшите хармоници, в разглежданата електрическа система от агрегати с фиксирана структура, до основните допустими нормативни изисквания на БДС. При реализиране на системите за управление на блока за активно въздействие е необходимо да бъдат оптимизирани коригиращите сигнали по честота, амплитуда и фаза.

- Може да се твърди, че с използването на съвременна силова полупроводникова техника, може да се реши успешно управлението на симетриращите елементи. Предотвратява се появата на пикови стойности при превключването на филтросиметриращите елементи. Времената за превключване на симетриращите елементи се сведждат до 7ms, което означава постигане на високо качество на управление на влиянието на несиметрията и удовлетворяване на изискванията на стандарта за качество на електрическата енергия.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

А. Научни приноси

1. Разработен е подход за оптимизиране на параметрите на силовите филтри при наличие на несиметрия и несинусоидалност на захранващото напрежение на индустриални обекти. Изведена е нова зависимост за определяне на компонентите на силови филтри, гарантиращи оптимална филтрация на предварително определени честоти.

Б. Научно-приложни приноси

1. Създадени са модели на динамично изменящи се несиметрични потребители и е оценено тяхното влияние върху качеството на електрическата енергия, както и явленията при тяхното симетриране. Получени са резултати за изменение на коефициента на несиметрия по напрежение и ток във веригата на симетрирания несиметричен електрически товар, при изменение на потребяваната мощност в границите 30÷100 % от мощността на несиметричния потребител. Оценено е влиянието на генерираните висши хармоници в процеса на токово симетриране върху качеството на захранващото напрежение в заводска подстанция. Извършена е апробация в действащ индустриален обект

2. Разработен е и успешно приложен модел на виртуален инструмент в среда LabVIEW на система за симетриране на токовете при работата на

динамично изменящи се несиметрични производствени агрегати. Симулационният модел осигурява ефективно изследване и оптимизация на различни методи за управление и избор на параметри на реактивните елементи за симетриране и оценка на влиянието им върху качеството на електрическата енергия.

3. Изследвано е използването на комбинирани силови електрически филтри , съдържащи звено за активно въздействие. Изведен е коефициентът на ефективност на комбинирания филтър във функция на импеданса на мрежата. Получена е зависимост на амплитудата и фазата на напрежението на звеното за активно въздействие в комбинираните филтри. Представени са резултати от проведени реални изследвания в лабораторни условия.

4. Създаден е модел на симетриране на динамично изменящи се несиметрични потребители в електроснабдителната система на индустриален обект (индукционна пещ), с наличие на висши хармоници. Предложена е модификация на критерия за оценка на несиметрията по ток в процеса на управление на симетриращите мощности, съгласно който в диапазона 0-60% от $P_н$ при симетриране по първи хармоник на фазните токове, стойностите на пулсиращата мощност са по-малки от пулсиращата мощност, при симетриране по ефективна стойност на фазните токове.

В. Приноси за практиката

1. С помощта на симулационни модели са изследвани преходните процеси в електроснабдителната система при различни смущения. Получените експериментални резултати показват ефективността на предложеното управление.

2. Промишлените индукционни пещи работят с натоварване над 40% Рн, в следствие на което се препоръчва като по ефективно системата за регулиране на симетриращите елементи да използва ефективната стойност на клоновите токове. На практика, при наличие на висши хармоници в кривата на тока, полученото симетриране в този случай е в диапазона до 5%. Напрежението на шинната система, към която са включени останалите потребители се понижава с 1-5 волта, което е допустимо и не нарушава тяхната съвместна работа.

ОСНОВНИ ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Петков П., Парушев П., Георгиева Г., Приложение на изобразяващия вектор за оценка качеството на електрическата енергия и пълната мощност в

електрическите системи, Юбилейна научна сесия ‘94 с международно участие, ВМЕИ-Габрово, България,с.49-55

2. Петков П., Парушев П.В., Изследване на влиянието на мощни производствени агрегати върху електроснабдителната система на промишлените предприятия, Годшник на ТУ Варна ISSN 1311-896X,2001,с. 769-774

3. Парушев П.В., Изследване на работата на силови филтри в аварийни режими, Годишна научна сесия с международно участие, ТУ - Варна, 2003, България,с.75-78

4. Parushev P., Application of PCPICE when investigating processes in electrical supply systems of industrial enterprises Ovidius University Annals ISSN 1223-7221,Constanta, Romania, 2004, p.417-419

5. Petkov P., Parushev P., Balancing of Dynamically-Varying Elektrical Loads, Acta Universitatis Pontica Euxinus, Ovidius University of Constanta, Romania, 2004,p.

6. Parushev P., Study of a filtering-compensating stations woruing at industry enterprises, Acta Universitatis Pontica Euxinus, Perm State Technical University, Русия, 2005,p.

7. Парушев П.В., Джагаров Н.Ф., Модель системы симметрирования токов в среде Labview. Научные труды Международной научно-технической конференции «Энергетика глазами молодежи», 21-25 ноября 2011, Самара, Россия, Том 3,. ISBN 978-5-7964-1475-0. с.326-331

8. Пламен Парушев, Владимир Чиков, Валентин Гюров, Росен Василев, Никола Македонски, Изследване показателите на качеството на електрическата енергия в условията на несиметрично и нелинейно натоварване, Годишник на ТУ-София, том 63, книга 6, 2013г., ISSN:1311-0829, V-та конференция на Електротехнически факултет „ЕФ 2013“, 2-5 Септември 2013г., Созопол, България, с.219-227.

9. Пламен Парушев, Владимир Чиков, Валентин Гюров, Росен Василев, Никола Македонски, Относно възможностите за постигане на електромагнитна съвместимост при потребители, работещи в режим на понижено натоварване, Годишник на ТУ-София, том 63, книга 6, 2013г., ISSN:1311- 0829, V-та конференция на Електротехнически факултет „ЕФ 2013“, 2-5 Септември 2013г., Созопол, България,. с.229-236

Abstract (Резюме на английски език)

The nonlinear properties of electrical devices and the asymmetrical load on an electrical circuit have a significant effect on the quality of the electrical energy. Consequently, this leads to the occurrence of additional losses in the electrical systems, machines and power transformers. Furthermore, it becomes more challenging to achieve a compensation of the inactive energy, there is noticeable

shortening of the period for exploitation of isolation and a deterioration of the quality of work of electrical defense systems, automatics, telemechanics and connections. It is safe to say that the problem with the quality of the electrical energy is world widely a pressing topic of current research in the field.

It is essential that the following tasks are to be completed:

1. Examination and analysis of the characteristics of the quality of electrical energy in the conditions of asymmetrical and nonlinear load on the circuit.
2. Examining the influence of systems for achieving symmetry in the activity of manufactured aggregates on industrial sites.
3. Examination of the effect of power transformers in the systems for delivery of electricity on industrial sites.
4. Experimental research of the quality of electrical energy in functional industrial enterprises and exploring the opportunities for its improvement.

There is a developed method of optimising the parameters of power filters when there is asymmetry and nonlinearity present in the lead voltage of industrial sites. Also, a novel dependence for determining the components of power filters is found. It vouches for ideal filtration of the previously established frequencies.

There are created models of dynamically changing asymmetrical electrical devices and their influence over the quality of the energy is further evaluated, as is the effect of their nonlinearity. Consequently, a test on the efficiency of the models in functional industrial enterprises is performed.

In addition to this, the usage of combined electrical power filters that serve as a link for active impact is examined. The ratio of efficiency of the linking filter is measured in a function of the inductivity of the circuit. A correlation established between the amplitude and the phase of voltage in the active impact compartment of the linking filter.

There is another model created to show the accomplishment of symmetry in dynamically changing asymmetrical consumers acting in the systems for delivery of electricity on industrial sites, while there are devices present who generate supreme frequencies. There is a suggested modification of the criteria for evaluation of asymmetry in a current existing in the process of managing the symmetry creating powers.

Резюме на русском языке (Резюме на руски език)

Влияние нелинейности электрических потребителей и несимметричной нагрузки сетки существенно влияют на качество питания. Это приводит к дополнительным потерям в электрических систем, электрических машин и силовых трансформаторов, сложной компенсации реактивной мощности , сокращение срок службы изоляции и снижение производительность систем , релейной защиты , автоматики и телеметрии .

Бесспорным является актуальность проблема по качеству и он остается на постоянное внимание исследователей. В мировой практике существует повышенный интерес исследователей и многих попыток решения .

Решени являются следующие задачи:

1) Изучение и анализ показателей качества электроэнергии при асимметричной и нелинейной нагрузки .

2) Изучение влияния систем на балансе эксплуатация энергоблоков в промышленных обектов .

3) Изучение влияния силовых фильтров в энергетических систем промышленных объектов .

4) Экспериментальное исследование качества электроэнергии в реальных объектов и возможностей для улучшения.

Разработан подход к оптимизации параметров силовых фильтров в присутствии асимметрии и несинусоидальним напряжением питания промышленных объектов . Просмотрена новую зависимость для определения компонентов силовых фильтров для оптимальной фильтрации заранее определенных частотах.

Сделани модели динамического изменения нерегулярных пользователей и оценки их влияние на качество питания , а также явления их сбалансирование . Апробация делается в существующей промышленной площадке.

Исследовано использование комбинированного фильтра электропитания , включающей в себя блок активного влияния. Отображаем коэффициент эффективности комбинированного фильтра в зависимости от сети импеданса. Создан баланс модели динамического изменения асимметричных пользователей в системе питания промышленного объекта (индукционной печи) с наличием гармоник. Предложено е изменение критериев для оценки асимметрии в процес управлении балансировки сети.

Благодарности

Авторът желае да изкаже своите благодарности на:

- Научния си ръководител доц. д-р инж. Росен Василев - за неговата посветеност и всеотдайност ;
- Доц. д-р инж. Любомир Димитров - за подкрепата при разработването на дисертационния труд;
- Доц. д-р инж. Румен Киров - за изключително ценните корективи и помощ при отстраняване на слабостите в научния изказ ;
- Доц. д-р инж. Димитър Матев – за колегиалните съвети и консултациите по дисертацията
- целия състав на катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане “ за съдействието , за съвместната работа и осигуряването на работни условия, като предпоставка за успешното разработване на дисертацията.

Съдържание

1.Обща характеристика на дисертационния труд…… 5

2.Глава 1. Състояние на проблема и постановка на задачата…….. 7

3.Глава 2. Изследване и анализ на показателите на качеството на електрическата енергия в условията на несиметрично и нелинейно натоварване……. 8

4.Глава 3. Изследване влиянието на системите за симетриране върху работата на производствени агрегати в промишлени обекти и отражението въху качеството на електрическата енергия…….. 16

5.Глава 4. Изследване влиянието на силови филтри в електроразпределителната система на промишлени обекти…… 25

6.Глава 5. Експериментален анализ на качеството на електрическата енергия при работа на индустриални обекти…… 33

7.Заключение…….. 42

8.Приноси на дисертационния труд…… 46

9.Основни публикации по дисертацията…….. 47

10.Резюме на английски език……... 48

11.Резюме на руски език……. 49

12.Благодарности…..…… 51

13.Съдържание ……. 52