

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-ВАРНА
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА “ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕ И ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ”

маг.инж. Николай Ангелов Найденов

ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА
ЕФЕКТИВНОСТ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ
ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕ НА ВИСОКОТЕХНОЛОГИЧНИ
СРЕДСТВА ЗА МОНИТОРИНГ, КОНТРОЛ И УПРАВЛЕНИЕ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за присъждане на образователна и
научна степен "ДОКТОР"

Докторска програма по „Електроснабдяване и
електрообзавеждане”

Научен ръководител
Доц. д-р инж. Румен Михайлов Киров

Рецензенти:

- 1.**
- 2.**

Варна
2017

Дисертационният труд е обсъден на 02.11.2016г. в катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“ и насочен за защита.

Докторантът работи в Шнайдер Електрик България на позиция Директор Проекти и Крайни клиенти.

Автор: маг. инж. Николай Ангелов Найденов

Изследване и анализ на електроенергийната ефективност в електроснабдителните системи при използване на високотехнологични средства за мониторинг, контрол и управление.

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-ВАРНА
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА “ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕ И ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ”

маг.инж. Николай Ангелов Найденов

ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА
ЕФЕКТИВНОСТ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ
ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕ НА ВИСОКОТЕХНОЛОГИЧНИ
СРЕДСТВА ЗА МОНИТОРИНГ, КОНТРОЛ И УПРАВЛЕНИЕ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за присъждане на образователна и
научна степен "ДОКТОР"

Докторска програма по „Електроснабдяване и
електрообзавеждане”

Варна
2017

Дисертационният труд обхваща 4 глави с общ обем от 168 печатни страници, в това число и списък на използваната литература, съдържаща 111 заглавия. В автореферата всички означения, номерацията на формулите, фигурите и таблиците са според означенията в дисертацията.

Защитата на дисертацията ще се състои на 29.05.2017г. в конферентна зала на НУК, на ТУ-Варна на заседание на научно жури, назначено от Ректора на ТУ-Варна.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Електротехническият Факултет при ТУ-Варна.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

АКТУАЛНОСТ НА ТЕМАТА

Засилените дискусии, относно климатичните изменения, както и повишения обществен интерес към енергийните въпроси доведоха до това, че намаляването на потреблението на енергия се превърна в един от основните приоритети при формиране на бъдещите концепции за снабдяване с енергия. Нарастването на цената на енергията, поради растящия недостиг на ресурси, но и събития като ядрената катастрофа във Фукушима (Япония), превърнаха енергийната ефективност в ключов фактор за всеки икономически успех.

ЕС разработи редица директиви за енергийна ефективност, които имат следните цели:

- *да постави обща рамка за подпомагане на енергийната ефективност в ЕС и да осигури постигането на европейската цел за 20 % спестяване на първичната енергия до 2020 г.;*
- *да се повиши ефективността по цялата верига - от производството, през преноса и разпределението до крайното потребление на енергия, както и да се поставят национални цели в областта на енергийната ефективност.*

Националната индикативна цел за енергийни спестявания се определя като процент от базовата стойност на крайното енергийно потребление (КЕП). Първият период, за който се изчислява национална индикативна цел за енергийни спестявания, е с продължителност 9 години, с начална дата 01.01.2008г. и с крайна дата 31.12.2016г. Болшинството от нормативни документи и стандарти в тази връзка се отнасят до сградната инфраструктура, в известна степен до транспорта, одитират се някои потребители и системи, а също така се разглеждат възможностите за ограничаване на парниковите емисии. Липсват нормативни документи за осъществяване на задълбочен анализ и създаване на директиви за постигане на електроенергийна ефективност (ЕЕЕФ) в електрическите системи.

За контрол и управление на енергийната ефективност за изградени системи за енергиен мениджмънт (СЕМ), чиито цели се свеждат до намаляване на енергийните разходи и въздействието върху околната среда чрез постоянно и систематизирано управление на енергията. Ползите за предприятието са финансови и са свързани с намаляване на разходите и повишаване на конкурентоспособността на продукцията или услугите. Към това следва да се прибавят подобрена организация на процесите и имидж, екологични ползи,

енергийна сигурност и управление на риска по отношение на енергийните доставки и др.

Икономическата оценка на ефекта ит внедряване на СЕМ може да се даде от препоръчвания от ЕС метод ПОЛЗА-РАЗХОД (PV-Present value), широко използван в различни сфери от икономиката.

Съществува известна празнота по отношение на нормативни документи, характеризиращи ЕЕЕф. Необходимо е да се създадат показатели и характеристики, свързани с електротехническите процеси в ЕСС и това е една от задачите в настоящата разработка. За целта са проведени комплексни експериментални изследвания в реални обекти и са предложени критерии за оценка в индустрията и КБС на базата на предварително разработени теоретични подходи.

Системите за енергиен мениджмънт и диспечерско управление обуславят висока степен на ЕЕЕф. В тази връзка са разработени научно-обосновени принципи и критерии, въз основа на които е изградена такава система в ЕСС на ТУ-Варна. Това създава добри условия за икономия на ел.енергия, оптимална експлоатация на електротехническите съоръжения, възможности за рационализация и оптимизация, а също така и за контрол и диагностика на предложената тематика на дисертационната работа.

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Във връзка с маркираните в увода съображения, анализа на изследваните постановки, критичния експертен анализ и подход, представените основни изводи и резултати към първа глава, а също така вземайки предвид поставените задачи в индивидуалния учебен план на докторантурата, може да се формулира основната цел на дисертационната работа по следния начин:

- **Да се изучат и обследват нормативните изисквания, теоретичните подходи и достижения по енергийна ефективност и се създават методически постановки за провеждане на измервания, регистриране, събиране и обработка на данни от прецизна електронна апаратура;**
- **С помощта на създаден измервателен комплект и разработен софтуер да се изследват и анализират електроенергийните параметри и процеси в ЕСС на промишлени обекти, като се създадат основни предпоставки и се предложат нови принципи**

и критерии за оценка на електроенергийната ефективност в индустрията;

- Да се приложат създадените методи, потвърдени от изследователския процес, в електроснабдителните системи чрез използване на съвременни високотехнологични средства за мониторинг, контрол и управление;
- Да се изгради система за диспечеризация и енергиен мениджмънт с действаща ЕСС (за предпочитане ЕСС на ТУ-Варна), като в нея се инплантира SCADA (Schneider Electric) система, която да се използва за диагностика и анализ в реален експлоатационен режим, а също така и за учебно-образователна цел.

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

- 1. Да се извърши задълбочено и пълно обследване на нормативната база на международното национално законодателство по енергийна ефективност и се анализираат системите за енергиен мениджмънт, като се приложи критичен експертен подход относно приложимостта, универсалността и ефективността на съществуващите методи за оценка на енергийната ефективност, отнесени към специфичните особености на електроенергетиката.*
- 2. Да се анализират характеристичните показатели на и теоретичните постановки за извършване на обследване за енергийна ефективност в различни сфери на икономиката и се оцени тяхната адекватност и приложимост за оценка на електроенергийната ефективност на ЕСС. Да се извърши апробиране на технологията за енергийна ефективност в реален обект, като се определят показателите за енергийна ефективност и се определи категорията на обекта.*
- 3. Възможностите за икономия на ел.енергия в ЕСС са свързани с минимизиране на загубите на мощност и ел.енергия. В тази връзка да се анализираат различни методи за определяне на тези загуби, да се даде експертна оценка за тяхната адекватност, обосновааност и тъждественост и на тази база да се предложат адаптирани методики за оценка на електроенергийната ефективност в ЕСС.*

4. *Показателите за качество на електрическата енергия (ПКЕЕ) са важен фактор за постигане икономия на ел.енергия. В тази връзка, на базата на литературни проучвания и създаден опит, да се систематизира научно обоснована и универсално приложима методика за определяне на парциалните загуби на мощност от влошени ПКЕЕ, която да се използва като основен критерии за оценка на ЕЕЕф. Въз основа на тази методика да се изгради измервателен комплект с помощта на високо-технологични компоненти и специализиран софтуер, с който да се провеждат експериментални изследвания.*
5. *Компенсацията на реактивни товари (КРТ) е ефективен способ за икономия на ел.енергия. В тази връзка е необходимо да се покажат и анализират резултати и да се маркират основните изисквания към този процес в промишлеността и комунално-битовия сектор (КБС), а също така да се набележат методи и способности за оценка на ЕЕЕф чрез КРТ.*
6. *Системите за енергиен мениджмънт и диспечерско управление на ЕСС са важна предпоставка за повишаване на ЕЕЕф. Това обуславя и специалното отношение към тези системи в настоящата разработка. Необходимо е да се анализират принципите и критериите при изграждане на системите за диспечеризация и енергиен мениджмънт (СДЕМ), да се формулират алгоритми и посочат особеностите при тяхното създаване, а също така да се маркират основните възможности на тези системи. Архитектурната структура на СДЕМ трябва така да бъде създадена, че да дава възможност за оценка на енергетичните показатели и ПКЕЕ и от там, чрез пълна автоматизация на процесите, да се прави експертна оценка и мониторинг на ЕЕЕф.*
7. *Във връзка с една от целите на дисертационната работа, да се синтезира, проектира и изгради СДЕМ в ЕСС на ТУ-Варна. Обхвата на функционалните възможности на СДЕМ се свеждат до системите на електроснабдяване на университета, включващо петте хранващи трафопоста, производствен корпус в Машинен факултет и лабораторната база на катедра ЕСЕО. СДЕМ да бъде изградена с високо-технологичните продукти на ф. Schneider Electric, съответно LAN мрежа, концентратори и първични преобразуватели, обединени чрез SCADA и да се превърне в основен*

функционален елемент от проектирания “Център за диспечерско управление и енергиен мениджмънт” (ЦДУЕМ) към ТУ-Варна.

- 8. В съответствие с конкретно изискване във формулираните по-горе основни цели на дисертационната работа, да се инплантира SCADA (Schneider Electric) с учебно-образователна цел в лабораторния комплекс по “Електроснабдяване” на катедра ЕСЕО, ТУ-Варна. Обхвата на системите да включва всички лабораторни стендове, а самата тя се явява част от ЦДУЕМ.*
- 9. Да се анализират резултатите от експерименталните изследвания на ЕЕЕф по критерий “регулиране на напрежението” в отрасловата структура на страната, като чрез управление режима на напрежение се оцени количествено специфичния разход на ел.енергия като глобален показател за електроенергийна ефективност. Резултатите от изследването да се обобщят по отрасли, като се анализират в зависимост от натоварването cosφ и нивото на напрежението.*
- 10. В различни промишлени обекти да се проведат експериментални изследвания на ЕЕЕф по критерий “качество на електрическата енергия”. Резултатите да се анализират и да се даде препоръка до колко този подход и критерий е адекватен и приложим за електроенергийна оценка на ефективността в промишлените обекти.*
- 11. Да се анализират и обобщят резултатите от експериментални изследвания в отрасловата структура на страната на електроенергийната ефективност по критерий “Компенсация на реактивните товари”. Да се приложи метода “полза-разходи” (PV - Present Value), като основна характеристика, препоръчвана от ЕС за оценка на енергийната ефективност на проектите.*
- 12. В съответствие с една от целите на дисертационната работа, да се проведат изследвания за електроенергийна ефективност в ЕСС на ТУ-Варна с цел оптимизиране експлоатацията на силовите трансформатори. Да се даде оценка на актуалното им състояние и се препоръчат мероприятия за рационализиране режимите им на работа.*

Въз основа на теоретичните и експериментални изследвания на дисертационната работа да се предложи програма за създаване на адаптирани постановки, методики и критерии за ЕЕЕф в индустрията и КБС.

ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Това са различни промишлени обекти, обединени в 9 отрасли, мощни промишлени обекти от различни региони на страната и ЕСС на ТУ-Варна.

МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ

Като основна информационна база в дисертацията са послужили данни за електрическите характеристики на различните изследвани обекти, получени чрез пасивен или активно-пасивен експеримент. Анализът и моделирането им се извършва с апарата на математическата статистика и теория на планиране на експеримента. Използваните теоретични постановки са анализирани доразвити чрез класически подходи или чрез използване на софтуерни продукти. Апаратната част за изследванията представляват измервателен комплект, съставен от високотехнологични компютърни и микропроцесорни компоненти.

НОВИ НАУЧНИ РЕЗУЛТАТИ

- 1. Методите, принципите и критериите за енергийна ефективност са насочени основно към сградите и техните системи и инсталации, като ЕЕЕф е частично и повърхностно застъпена. В настоящата разработка се препоръчва и са дадени методически указания за формулиране и дефиниране на основни показатели, характеристики, критерии и методики за оценка на ЕЕЕф, синтезирани на базата на експериментални изследвания. Такъв един подход се базира на базата за получаване на статут на ЕЕЕф като отделна, напълно самостоятелна и независима енергийна категория. При такава постановка разработените нормативни изисквания, концепции и методики трябва да дават възможност за решаване на оптимизационни задачи по различни критерии като например оптимални загуби на мощност, качество на ЕЕ, надеждност на електроснабдяването и др. При създаването на съответните теоретични постановки е целесъобразно да се препоръча всеобхватно, рационално убедително и масирано използване на вероятностно-статистически подходи. Системите за диспечеризация и енергиен мениджмънт, които осигуряват високо ниво на ЕЕЕф, трябва да се оценява чрез използване на технико-икономически подходи, създадени на базата на*

препоръчания от ЕС метод „полза-разход“. Такъв подход, с използване на PV (Present-Value) метода е апробиран за оценка на ЕЕЕф по критерии „компенсация на реактивните товари“ в четвърта глава на настоящата разработка, като по убедителен начин се потвърждава възможността за използването му при оценка на ЕЕЕф в ЕСС на индустрията и КБС. Функционалните възможности на СДЕМ като технологичен обхват е необходимо да се разширят с използване на допълнителни критерии, свързани с оптимизация, диагностика, разционализиране, прогнозиране, нормиране и др. нестандартни и несистемни технически дейности. Такъв оригинален подход е представен в трета глава, като са предложени два критерия, свързани с надеждност и технологичност на електроснабдяването и електропотреблението.

2. В настоящата разработка се предлага създаване на комплексна методика за оценка на ЕЕЕф. Принципите за синтезиране на такава методика са маркирани в теоретичния анализ на втора глава и експерименталните изследвания, проведени в четвърта глава на дисертационната работа. Основни компоненти на комплексната методика са:

- Методите за определяне на конвенционалните загуби на мощност и ел.енергия и възможностите за тяхното оптимизиране ;
- Допълнителните загуби на активна мощност вследствие влошени ПКЕЕ и методите за минимизирането им;
- КРТ като изключително ефективен способ за икономия на ЕЕ в индустрията и бита, както и др. компоненти.

В дисертационната работа е предложен оригинален подход, като посочените съставлящи се предлага да се разглеждат, в съответствие с ТПЕ (виж т.22, ф-ла 2.29), като СФ, влияещи върху функцията на отклика или параметъра на оптимизация, в случая ЕЕЕф. При изменение на СФ на определени нива и постигане на определени ефекти на взаимодействие между тях, може да се получи оптимизиране на ЦФ.

3. В ЕСС на ТУ-Варна е внедрена СДЕМ, създадена на базата формулирането в т.3.1.2 и 3.1.3 прогресивни и научно-обосновани принципи, критерии и архитектурен строеж. На базата на

POWER SCADA Schneider Electric се осъществява мониторинг и оптимизирано управление на енергетичните процеси, извършва се диагностициране на електроснабдяването и електрообзавеждането на университета и се провежда учебно-образователен процес. Системата е основен функционален елемент на ЦДУЕМ и е първи по рода си сред университетите в страната. Методологичните основи за създаване на този център се базират на принципите на предложената комплексна методика, като по този начин се постига в максимална степен адаптиране на технологичен продукт към нормативно-концепционална система.

4. *В отрасловата структура на страната в дългогодишен период са проведени фундаментални изследвания за установяване на влиянието на ОН върху специфичния разход на ЕЕ и на КРТ върху някои икономически характеристики. Категорично е установено, че в режим на понижена консумация е целесъобразно да се работи с напрежения в диапазона $(0,9 \div 1)U_N$ и се препоръчва КРТ да се използва като основен критерий за постигане на ЕЕЕф в ЕСС на промишлените обекти и КБС. В пет мощни промишлени предприятия в различни региони на страната (от Девня до Радомир и от Златна Панега до Шумен и Оброчище) са проведени много функционални изследвания за установяване състоянието на енергетичните характеристики и нивото на ПКЕЕ, а също и за определяне на допълнителните активни загуби на мощност от влошено качество на ЕЕ. Като общ извод от тези изследвания може да се послужи констатацията за повишаване на специфичния разход на ЕЕ при понижено напрежение, като тази констатация е в сила основно в режима на понижено натоварване. По отношение на оптимизиране на експлоатационните характеристики на СТ, се препоръчва да се организира икономически целесъобразен режим на работа с минимални загуби на активна мощност.*

РЕАЛИЗАЦИЯ В ПРАКТИКАТА

Предложените постановки за определяне на ЕЕЕф ще се използват за създаване на нормативна база на самостоятелна електроенергийна категория за оценка на технико-икономическите параметри на ЕСС в индустрията и КБС.

Проведените изследвания в отрасловата структура на страната и за някои мощни промишлени обекти е използвано в конкретни обекти за подобряване режимите на експлоатация на електрическите съоръжения и постигане на икономия на ел.енергия. Ефектът от внедрявания в различни обекти е потвърден със съответните документи за ползи и икономически ефект.

КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА ПЪРВА

АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПРОБЛЕМА, СВЪРЗАН С ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ (ЕСС)

Цели на енергийна ефективност в съответствие със ЗЕЕ

Националната цел за енергийна ефективност се определя като количество спестявания в първично и крайно енергийно потребление до 31/12/2020 година, което трябва да доведе до повишаване на енергийната ефективност с 25 % до 2020 и 50 % намаляване на енергийната интензивност, сравнено с нивата на 2005 година.

Националната индикативна цел за енергийни спестявания се определя като процент от базовата стойност на крайното енергийно потребление (КЕП). Първият период, за който се изчислява национална индикативна цел за енергийни спестявания, е с продължителност 9 години, с начална дата 01.01.2008г. и с крайна дата 31.12.2016г. Стойността на националната индикативна цел за първия период е равна на 9 на сто от базовата стойност на КЕП за периода 2001-2005г. Вторият от трите национални плана за действие по енергийна ефективност (НПДЕЕ), разработен въз основа на Директива 2006/32/ЕО за енергийните услуги, изключва от приложното си поле потреблението на горива от въздушния и водния транспорт, както и потреблението на енергия и горива от предприятия, осъществяващи дейности, посочени в Директива 2003/87/ЕС за търговия с емисии. Вторият тригодишен план обхваща периода 2011-2013г. и формулира междинна индикативна цел за този период, представляваща 6% от осреднената стойност на КЕП, в обхвата на Директивата, за периода 2001-2005г.

Обследвания за енергийна ефективност:

Въвежда се задължение във всички отоплявани и/или охлаждаеми сгради, държавна собственост, ежегодно да се предприемат мерки за подобряване на енергийните характеристики на поне 3 % от общата им разгъната застроена

площ. Насърчава се осигуряването за всички крайни клиенти на обследвания за енергийна ефективност във всички сектори и задължава предприятията, които не са в категория малки и средни да се подлагат на обследване за енергийна ефективност поне веднъж на всеки четири години. Обследванията трябва да са разход, но ефективни и да се извършат от квалифицирани и акредитирани експерти.

Управление на енергията и система за управление на енергията

Управлението на енергията съгласно дефиницията на Асоциацията на Немските инженери (VDI 4602) представлява: *предвидено, организирано и системно координиране на доставянето, преобразуването, разпространението и използването на енергия, с цел удовлетворяване потребностите на дадена организация, в зависимост от нейните екологични и икономически цели. Управлението на енергията цели да снижи енергийните разходи и да увеличи енергийната ефективност, намалявайки вредното въздействие върху околната среда и удовлетворявайки изискванията на клиентите.*

Системата за управление на енергията (СУЕ) служи за внедряване на управлението на енергията в дадена фирма, като осигурява необходимите ресурси за прилагане концепцията за енергийна ефективност във всички процеси и с активно участие на всички служители. Съгласно ISO 50001 (клауза 3.9) СУЕ представлява: “свкупност от взаимно свързани или взаимодействащи си елементи за установяване на енергийна политика и енергийни цели и процеси и процедури за постигане на тези цели”. По подобие на управлението на околната среда или на качеството, системата за управление на енергията се изгражда основавайки се на подхода **PDCA (Plan- Do- Check- Act/ Планиране-Изпълнение-Проверка-Действие)**. Това позволява на организацията да подобрява непрекъснато своите енергийни характеристики.

Основните етапи при внедряване на СУЕ са:

- *Събиране на данни относно текущото състояние, въз основа на които да се определят първите действия за постигане на икономии на енергия;*
- *Въвеждане на допълнителни или нови правила за управление на системата.*
- *Цялостно функциониране на системата за управление съгласно цикъла PDCA, насочено към непрекъснато подобряване.*

Система за енергиен мениджмънт

Най-общо при системата за енергиен мениджмънт (СЕМ) се прилага системен подход на всички етапи на закупуване, преобразуване и използване на енергията в дадено предприятие. Тя се състои от отделни елементи, които служат за определяне на енергийната политика с цели и процедури за постигане на поставените цели. През 2009г. е въведен европейски стандарт БДС EN 16001:2009, а през 2011г. - международен стандарт за такъв тип системи БДС EN ISO 50001:2011 „Системи за управление на енергията. Изисквания с указания за прилагане". Стандартът поставя минималните изисквания за внедряване на СЕМ и е от управленски тип, което означава, че може да бъде интегриран в управленската система на предприятието, включително към системите за управление на качеството (разработени съгласно изискванията на стандарт БДС EN ISO 9001), за безопасни условия на труд (OHSAS 18001) и управление на околната среда (БДС EN ISO 14001), където такива са разработени. Стандартът за СЕМ е достатъчно гъвкав и може да се внедри дори и в малки фирми, които не разполагат със сертифицирани системи за управление, но имат желанието и амбицията да прилагат систематичен подход за управление на енергията.

Целта на СЕМ се свежда до намаляване на енергийните разходи и въздействието върху околната среда чрез постоянно и систематизирано управление на енергията. Ползите за предприятието са финансови и са свързани с намаляване на разходите и повишаване на конкурентоспособността на продукцията или услугите. Към това следва да се прибавят подобрена организация на процесите и имидж, екологични ползи, енергийна сигурност и управление на риска по отношение на енергийните доставки и др.

Разработване и внедряване стъпка по стъпка

Разработването и внедряването на СЕМ условно може да се раздели на 4 основни етапа и един подготвителен, всеки от които има за цел изпълнението на отделни дейности, които следват стандарта БДС EN ISO 50001. Основа на стандарта е цикълът на Деминг за непрекъснато подобряване: Планиране-Изпълнение-Проверка-Действие.



Системи за енергиен мониторинг

Системата е предназначена за предприятия, в които съществува необходимост от достатъчно точно и оперативно следене на разходите на всички основни енергоносители, информацията от която да се използва за управление на енергопотреблението. Основна цел на системата е съкращаването на енергийните разходи за сметка на подобрен енергиен мениджмънт чрез:

- *събиране на регулярна информация за действителната консумация на енергия (горива, пара, електроенергия, газ, вода и др.) и параметрите на енергоносителите (дебит, налягане, температура, cosφ и др.);*
- *събиране на регулярна информация за качеството и количеството на произведената продукция по производствени звена и общо;*
- *поддържане на регулярна информация за състоянието на енергийните съоръжения;*
- *следене времето на работа на енергийните и технологичните съоръжения, съставяне и изпълнение на ремонтните графици;*
- *формиране и актуализиране на фирмените разходни норми за енергопотреблението по производствени звена и отделни консуматори;*
- *обработване на информацията за разходите на енергия, определяне на специфичните разходи и индексите на енергопотребление и предоставяне им в подходящи разрезни на ръководителите на различните подразделения и служби;*
- *следене и координация на мерките за икономия на енергия и оценка на енергийните спестявания.*

Представените в първа глава литературни проучвания за нормативните документи и законодателство по енергийна ефективност, а също и за системите за енергиен мениджмънт, както и направеният критичен експертен анализ и подход, дават основание да се формулират следните изводи и представят съответните резултати, както следва:

- 1. Анализът на законодателството и останалите нормативни документи в областта на ЕЕФ показва, че приетите в ЕС, САЩ, Китай, България и други страни стандарти, имат обзорно информативен характер, построени са като относително задължителни директиви, даващи общи указания и препоръки, касаещи най-вече сградната инфраструктура, в известна степен и транспорт. Препоръчва се също така одитиране за някои потребители и системи, като по-категоричен подход е приложен по отношение на възможностите за ограничаване на парниковите емисии. Липсват нормативни документи с характер на директиви за осъществяване на анализ и прилагане на конкретни указания и препоръки за електроенергийна ефективност в ЕСС, което е съществен пропуск, т.к. класическата електроенергетика и традиционното електроснабдяване в настоящия момент се нуждаят от интензивно развитие, реновиране и модернизация.*
- 2. Стандартите, свързани с енергийните информационни системи, дават указания за архитектурата, структурата и донякъде на принципите за тяхното изграждане. Освен това те препоръчват да се прави мониторинг и анализ на параметри и характеристики, имащи общ характер – обикновено свързани със системите за управление на производство, финансово-икономически анализи, управление на качеството на различни дейности от сферата на администрацията, опазване на околната среда и др. Проблемите на електроенергетиката, ЕСС и електротехническото оборудване, като например въпросите, свързани със загубата на мощност и енергия, качеството на електроснабдяването, надеждността на ЕСС и др., се разглеждат индиректно и в доста ограничена степен. Още по-ограничено са застъпени подходи и възможности за рационализиране, оптимизиране, нормиране и др. Нестандартни и несистемни технически дейности.*

При използване на високо-технологични системи за диспечеризация и енергиен мениджмънт следва да се оценява ползата от прилагането им чрез унифицирани икономически подходи, създадени на базата на практично-приложните методики за ЕЕЕф, базирани на препоръчания от ЕС, метод ПОЛЗА-РАЗХОД (PV)

ГЛАВА ВТОРА

ТЕОРЕТИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ВЪРХУ МЕТОДИТЕ ЗА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ И СЕМ

През последните години, в резултат на развитието на технологиите се създадоха сгради, в които са изградени системи с възможност за регулиране, управление и мониторинг на енергийните процеси. В САЩ експериментално са създадени сгради с **“нулева консумация”**, които освен че не ползват външна енергия, могат да произвеждат енергиен излишък, който да се трансферира и търгува на енергийния пазар. За управлението на този процес се създава диспечерски център и т.н. интелигентни мрежи, в които се мениджират междусградните енергийни потоци.

Сградната инфраструктура трябва да отговаря на много изисквания, които оказват пряко влияние върху чувството за комфорт или дискомфорт.

Светлинен, топлинен, въздушен и хигиенно-хранителен комфорт [6]

• Светлинен комфорт

Удовлетворяване на изискванията за светлинен комфорт може да се постигне чрез достигане на специфичните енергийни мерки за паспортизиране на осветителната система- $SEM_{zone}^{lighting}$. Мярката за оценка на енергийната ефективност на осветителните тела е:

$$SEM_{lamps} = \frac{P_H}{\Phi} \left[\frac{W}{lm} \right],$$

където: P_H [W]- номинална електрическа мощност; Φ [lm]- светлинен поток.

• Топлинен комфорт

Топлинните условия в помещението могат да се оценят с т. н. температура на усещане ($t_{ус.}$), определена от израза:

$$t_{ус} = t_a + \frac{Q_{я}}{A_B(\alpha_k + \alpha_l \cdot f_s + \beta)} [^{\circ}C],$$

където: t_a - температура на тялото [$^{\circ}C$]; $Q_{я}$ - явен топлинен поток [W], дължащ се на температурната разлика ($t_k - t_a$); t_k - температура на кожата; A_B - площта на

облечен човек; f_s - фактор отчитащ приноса на частите на тялото, участващи в топлообмена; β [$W/m^2 \cdot ^\circ K$]- коефициент отчитащ топлообмена при дишане (аналог на α_k).

- **Въздушен комфорт**

За специфична енергийна мярка за паспортизиране на вентилационните системи може да се приеме формулата:

$$SEM_{Vent} = \frac{P_{Supply} + P_{Return}}{m_{Return} - m_{Supply}} \left[\frac{W}{kg \cdot s^{-1}} \right],$$

където: $P_{Supply} + P_{Return}$ [W]- електрическа мощност на захранващата и изхвърлящата система; $m_{Return} - m_{Supply}$ [$kg \cdot s^{-1}$]- масов дебит на замърсяващата субстанция.

- **Хигиенно-хранителен комфорт**

Битовите уреди за хигиена (топла вода за битови нужди) и за приготвяне и съхранение на храна, имат съществен дял в сградният фонд.

$$SEM_m^{Hyg} = \frac{W_g}{V_H} \left[\frac{kWh}{m^3} \right],$$

където: W_g [kWh]-годишна консумация на електроенергия; V_H [m^3]- нетен обем на използваната инсталация.

Енергийната ефективност може да се оцени чрез т.н. индекс на енергийна ефективност IEE_{Heater} :

$$IEE_{Heater} = \frac{SEM^{Heater}}{EE^{Heater}}; \quad \eta = \frac{1}{IEE_{Heater}}$$

където: SEM^{Heater} и EE^{Heater} са реално използваната първична енергия и теоретично необходимото количество енергия. Реципрочната стойност на IEE_{Heater} е коефициентът на полезно действие на системата η .

Енергийна ефективност на сградната обвивка

Специфичната енергийна мярка SEM_{Env} се дефинира като отношение на потребяваната мощност за поддържане на топлинен комфорт в паспортизираната сграда P_{Buil} към пълната околна повърхност на ограждащата конструкция A_o по температурната разлика $\Delta t = (t_i - t_e)$ на вътрешния и външния въздух:

$$SEM_{Env} = \frac{Q_{Buil}}{A_o \cdot \Delta t} \left[\frac{kW}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

Енергийна ефективност и енергиен мениджмънт

След въвеждането на дадена сграда в експлоатация възниква проблема за обезпечаване на такава поддръжка, която да осигурява надеждна и икономична работа на нейните системи. Основнен субект в това отношение е **сградният енергиен мениджър**, който трябва перфектно да познава фазите на инвестиционния процес, работата на OCAP и M, условията за обслужване на банкови кредити и възвращаемост на инвестициите и др. Необходимо е да бъде изградена сградна енергийна стратегия, която да обхваща следните четири направления:

- *Минимизиране енергийните разходи (режим на разумни енергийни икономии);*
- *Регенерация и рекуперация на отпадната вътрешносградна енергия и енергията на околната среда;*
- *Задоволяване на енергийните потребности със собствено производство (стратегия на нулевия баланс-Energy zero);*
- *Нетно производство на енергия и участие в обособен междусграден пазар на енергия в т.н. “интелигентни мрежи“ (стратегия-Plus Energy).*

Стратегията трябва да се базира на директивите на ЕК касаещи икономията на електроенергия, а именно:

- *Директива за проектиране на електродомакински уреди (2005/32/ЕС);*
- *Директива за етикетване на домакинските уреди (92/75/ЕС);*
- *Директива за енергийните характеристики на сградите (2002/91/ЕС).*

За оценка на енергийната ефективност по част “Електрическа”, ОВК проектантите използват израза:

$$EP_{ОВК} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot e_i = (Q_H + Q_C + Q_{AC} + Q_{HW}) \cdot e_i, [kWh/(m^2 \cdot год.)] \quad (2.1)$$

където: Q_H -потребна енергия за отопление (heating) [kWh/m^2]; Q_C - потребна енергия за охлаждане (cooling) [kWh/m^2]; Q_{AC} - потребна енергия за вентилация (air conditioning) [kWh/m^2]; Q_{HW} - потребна енергия за битова топла вода [kWh/m^2]; e_i - коефициент, отчиташ загубите за добив/производство и пренос на i -тата съставляваща на потребната енергия. В случая на използване на първичен енергоносител електрическата енергия $e_i=3$ [8].

- **енергийни разходи за осветление**

$$C_e = \left[k_T k_{\text{ПРА}} P_{\text{ИНСТ}} \left(1 + \psi \frac{\Delta U_{\text{CP}}}{100} \right) + Q_{\text{КБ}} \cdot \Delta'_p \right] \cdot T \cdot \beta_{\text{CP}}, [\text{лв}]$$

където: k_T -е коефициент на търсене за осветителни уредби; $k_{\text{ПРА}}$ -коефициент, който се отчитат загубите на електрическа енергия в ПРА; ψ - коефициент, който се отчита разпределението на лампите по захранващата линия; ΔU_{CP} - загубата на напрежение от трансформаторното табло на лампите, намиращи се на средата на осветителната електрическа мрежа, %; $Q_{\text{КБ}}$ - реактивната мощност на кондензаторите на подобряване $\cos\phi$; Δ'_p - относителната загуба на активна мощност в кондензаторите, kW/kVA_r; T – сумарната средногодишна продължителност на включване на осветление, h; β_{CP} - средногодишна цена на електрическата енергия за осветление, лв./kWh.

- **енергийни разходи за отопление**

$$C_{\text{OT}} = [(Q_{\text{CP.OTP}} T_{\text{ГР}}) + (Q_{\text{CP.OTД}} T_{\text{ГД}})] \cdot \text{Ц}_{\text{ТЕ}} \cdot f_1 f_2 f_3, [\text{лв}]$$

където: $Q_{\text{CP.OTP}}$ е средният отоплителен товар на помещението при работен режим, kW; $Q_{\text{CP.OTД}}$ е средният отоплителен товар на помещението при неработен (дежурен) режим, kW; $T_{\text{ГР}}$ -годишна часова използваемост на отоплителна уредба при работен режим, h; $T_{\text{ГД}}$ - годишна часова използваемост на отоплителна уредба при неработен (дежурен) режим, h; $\text{Ц}_{\text{ТЕ}}$ - цена на топлинната енергия (в зависимост от използвания енергоносител), лв./kWh; f_1 - фактор, отчитащ поддържана според изискванията на обитателите действителна температура в помещенията; f_2 - фактор, отчитащ предназначението на сградата дневна продължителност на експлоатация; f_3 - фактор, отчитащ начинът на регулиране на топлинната мощност.

- **енергийни разходи за охлаждане**

$$C_{\text{ОХ}} = (Q_{\text{CP.ОХ}} + Q_{\text{ТП}}) T_{\text{ГОХ}} \cdot \beta_{\text{СРОХ}}, [\text{лв}]$$

където: $Q_{\text{CP.ОХ}}$ - средният охладителен товар на помещението от топлопреминаване, kW; $Q_{\text{ТП}}$ - топлинни печалби от вътрешни топлинни източници и слънчево греене, kW; $T_{\text{ГОХ}}$ - годишна часова използваемост на охладителна уредба, h; $\beta_{\text{СРОХ}}$ -средногодишна цена на електрическата енергия за охлаждане, лв./kWh.

- **енергийни разходи за вентилация**

$$C_{\text{В}} = k_T [V_{\text{В}} (N_{\text{НВ}} + N_{\text{СВ}})] \cdot T_{\text{В}} \beta_{\text{CP}}, [\text{лв}]$$

където: k_T - коефициент на търсене за вентилатори и аспирации за санитарно – хигиенна вентилация; $V_{\text{В}}$ - дебита на вентилационната уредба, m³/h; $N_{\text{НВ}}$ - специфичния разход на електрическа енергия на нагнетателната вентилация, kWh/m³; $N_{\text{СВ}}$ - специфичния разход на електрическа енергия на смукателната

вентилация, kWh/m³; T_B - годишна използваемост на вентилационната уредба, h; β_{CP} - средногодишна цена на електрическата енергия за вентилация, лв./kWh.

Апробиране на технологията за енергийна ефективност по концепцията “Интелигентен дом”

С помощта на системите за сградна автоматизация може да се реализира концепцията “Интелигентен дом” и да се постигнат следните положителни ефекти:

- *Осигуряване на надеждно управление на сградните инсталации- ОВК, осветление, електрически инсталации;*
- *Гарантиране на по-висок комфорт на обитателите на сградите;*
- *Повишаване нивото на енергийната ефективност чрез оптимизация на използваните ресурси;*
- *Автоматизирано разпределение на консумираните енергии между обитателите на сградите;*
- *Улесняване на фасилити мениджмънт екипите при експлоатация на сградните съоръжения;*
- *Увеличаване на сигурността на обитателите с внедряването на пожароизвестителни и сигнално-охранителни системи и др.*

За оценка на енергийната ефективност на сградите при проектиране и изграждане на системи “Интелигентен дом” могат да се използват показателите, дефинирани от стандарт EN 15232 [11]. В съответствие с него за всяка сграда в зависимост от използваната система за автоматизация се определя съответния ВАС клас на ефективност (Building Automation and Control). ВАС класовете са буквено изражение от А до D, в две групи – жилищни и нежилищни сгради. На база направената класификация по ефективност, в зависимост от типа сграда се избират ВАС факторите на ефективност $f_{BAC.HC}$ и $f_{BAC.EL}$. Първият показва влиянието на системите за автоматизация върху подобряване на енергийната ефективност за използваната топлинна енергия, а вторият – за използваната ел.енергия. В сгради, където основен енергиен носител е електроенергията, системите за автоматизация имат двустранен ефект – от една страна намаляване на общото потребление за ел.енергия на системите, от друга – подобряване на работата на ОВК системите, което води до допълнително намаляване разхода на ел.енергия. Количествената оценка се извършва на база предложената в [11] методика:

Постигане на електроенергийна ефективност чрез оптимизиране на конвенционалните загуби на мощност и ел.енергия

Структурно загубите на мощност и ел. енергия, включват в себе си загуби при транспортиране, или трансфер (това са всички технически загуби) и загуби при потребление на ел. енергия (загуби от грешки, кражби, разхищения и др.). За промишлени обекти, частта от техническите загуби, зависещи от товара, могат да се определят с един от следните детерминирани методи [40 ÷ 47] : метод със средните товари (6, 10, 20, 35, 110, 220kV); метод с времето на максималните загуби (6, 10, 20, 35 kV); метод на обобщената информация за схемите и товарите на промишлените обекти (0,4kV); практическиприложни вероятностно-статистически методи и подходи (0.4,6,10,20, 35kV).

- **Метод на средните товари**

Загубата на електрическа енергия ΔW , при този метод се определя от изразите :

$$\Delta W = \Delta P_{cp} \cdot T \cdot K_{\phi}^2 \quad (2.11) \quad K_{\phi}^2 = \sum_{i=1}^m P_i^2 \Delta t_i / P_{cp}^2 \cdot T \quad (2.12)$$

където : ΔP_{cp} - загуби на мощност в мрежата при средни стойности на товара в разглеждания възел; T - продължителност на разглеждания интервал; K_{ϕ} - коефициент на формата на товаровия график (Т.Г.) за разглеждания интервал; P_i - товар на i -тата степен на Т.Г. с продължителност Δt_i ; m - брой на степените на Т.Г.; P_{cp} - среден товар за разглеждания период T .

- **Метод с времето на максималните загуби**

За определяне на ΔW , по този метод се използва израза:

$$\Delta W = \Delta P_{max} \cdot T \quad (2.16) \quad \tau = \sum_{i=1}^m P_i \Delta t_i / P_{max}^2 \cdot T \quad (2.17)$$

където : ΔP_{max} - загуби на мощност в режим на максимален товар на обекта ; τ - относителният брой часове с максимални загуби на мощност ; P_{max} - максимална стойност на товара от всичките m стойности P_i в разглеждания интервал.

- **Метод на обобщената информация за схемите и товарите на обекта**

Метода е приложим за мрежи 6, 10 и 0,4 kV и се състои в определяне на загубите на ел. енергия в зависимост от дължината и количеството на линиите, сумарната мощност и количеството на ел. оборудването, получени на база

техническите параметри на захранващите линии и ел. оборудването. Използват се обобщени данни за мрежите – брой линии, сечение и дължина на кабелите в главните участъци, сумарна дължина и средно сечение на магистралите, аналогична информация за отклоненията (еднофазни, двуфазни, трифазни и т.н.). Необходимо е да се отчита и делът на електроенергията d_H , която се консумира директно от шинната система в ЦП без загуби от пренос. Отчитайки горните съображения се предлага следния израз за определяне на ΔW :

$$\Delta W = K_{HH} \frac{W^2(1 - d_H)^2 \cdot (1 + \tan(\varphi))^2 \cdot L_{\text{екв}}}{F_{\Gamma} \cdot D} \cdot \frac{1 + 2K}{3K} \quad (2.20)$$

$$K_{HH} = 7,78 - 2,67d_p - 1,48d_p^2 \quad (2.21)$$

където : W - консумирана електроенергия за D на брой дни ; $L_{\text{екв}}$ - еквивалентна дължина на захранващата линия; F_{Γ} - сечение на главната захранваща линия; K_{HH} - коефициент отчитащ разпределението на товарите по дължината на захранващата линия и разпределението им по фази, за $r_0 = 28,5/F$; d_p - дял на товарите , разпределени по дължината на захранващата линия;

- **Практично-приложни вероятностно-статистически методи и подходи**
Разглеждат се три основни групи методи :
- *Първа група статистически методи [42].*

Базират се на адекватно определяне на товарите и еквивалентните съпротивления в ЕСС на разглежданите обекти R_e и X_e . Това са съпротивления на условно неразклонена мрежа, токът по която е равен на тока на главния участък на мрежата и загубите на ел. енергия са равни на действителните загуби в мрежата. За магистрална линия с дължина l и m на брой разпределени ел. товари, R_e и X_e са приблизително равни

- *Втора група статистически методи*

Определянето на загубите на електроенергия става с отчитане на β -разпределението на товара. Основна характеристика на груповия годишен товаров график, е продължителността на максималния товар T_{max} . В зависимост от стойността на T_{max} , функцията на разпределение на товара се мени между крайните стойности I_{min} и I_{max} . Може да се построи график по продължителността на товара (подреден график). Той се подчинява на β -разпределението $B(x, \gamma, \eta)$, което се дефинира с интеграла.

- Трета група статистически методи [42,43,44,45].

Това са най-съвременни методи с използване на регресионни модели, получени, чрез прилагане на теорията за планиране на експеримента (ТПЕ). При планиране от втори порядък, се използват следните многофакторни модели от вида :

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{\substack{i,k=1 \\ i < k}}^m b_{ik} x_i x_k + \sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2 \quad (2.29)$$

където : b_0, b_i, b_{ik}, b_{ii} - регресионни коефициенти на модела (свободен член, пред първите степени, ефекти на взаимодействие и пред квадратичните членове); x_i - съществени фактори (СФ) на брой m ; Y - изходен параметър (ИП).

Постигане на електроенергийна ефективност чрез подобряване качеството на електрическата енергия

Теоретична постановка

Известно е, че пълната мощност S зависи от несиметрията, неуравновесеността и изкривяването (деформацията) на формата на кривата на токовете и напреженията и може да се представи с помощта на израза:

$$S = \sqrt{(U_A^2 + U_B^2 + U_C^2)(I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + nI_N^2)} \quad (2.41)$$

където: $U_A, U_B, U_C, I_A, I_B, I_C, I_N$ са ефективните стойности на напреженията и токовете на трите фази и нулевия проводник (I_N), а n е коефициент показващ колко пъти съпротивлението на неутралата превъзхожда съпротивлението на фазовия проводник.

При симетрична система напреженията ($U_A=U_B=U_C=U$) и симетрична система токовете несъдържащи в.х. ($I_A=I_B=I_C, I_N=0$) за пълната мощност се записва:

$$S=3UI$$

Може да се докаже, че при несиметричен и несинусоидален режим (ННР) на токовете и напреженията за S важи формулата [54]:

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2 + N^2 + D^2 + (3n + 1)S_0^2)} \quad (2.42)$$

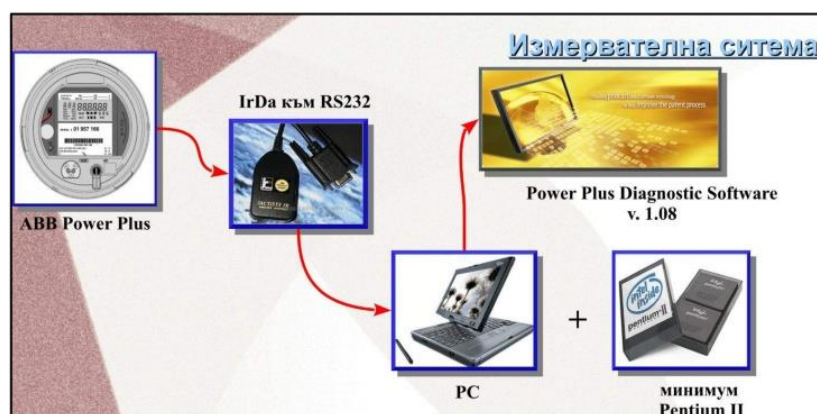
където: P, Q, N, D, S_0 са съответно активната, реактивната, пулсиращата, деформационната и скрита мощности.

Следователно от израза (2.42) следва, че при трансфера на активната мощност P в несиметрична, неуравновесена и деформирана система от токове и напрежения, се пренася допълнително не само реактивната мощност Q , но и пулсиращата мощност N , предизвикана от несиметрично потребление на ел.енергия, скрита мощност S_0 , предизвиквана от неуравновесеност на електропотреблението и деформационна мощност D , предизвикана от наличието на в.х. на I и U .

Експериментална постановка и алгоритъм на изчислителните процедури

За извършване на експериментални изследвания е синтезирана хардуерна постановка и разработен специален софтуер, като по този начин е създаден технологичен измервателен комплект, състоящ се от следните елементи (фиг.2.4) [56].

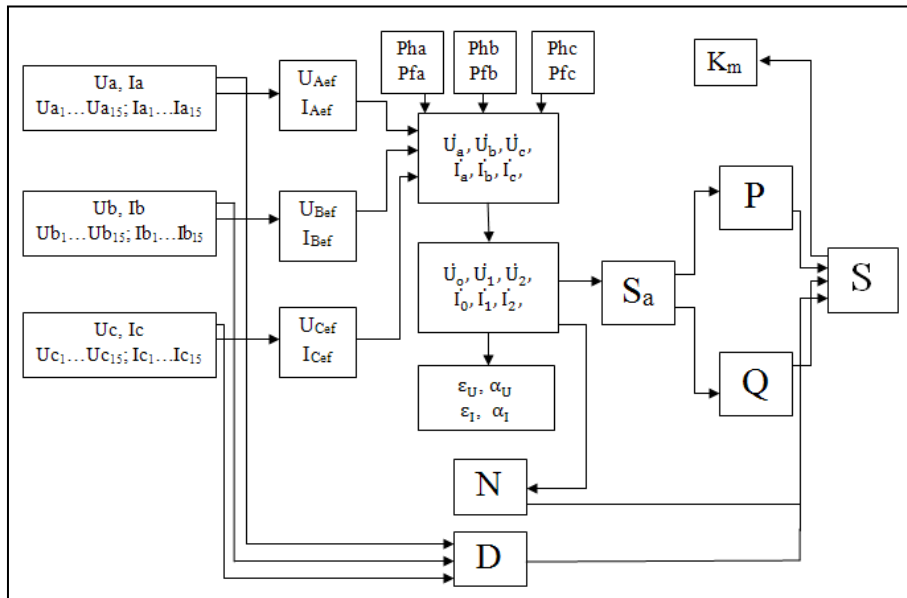
- *ABB Power Plus тип AIRL+ с клас на точност 0.2 с допълнително обезопасени (чрез изолиран сноп) токови и напреженови вериги;*
- *IRDA към RS232 преобразувател;*
- *Преносим персонален компютър;*
- *Power Plus Diagnostic Software (PPDS), разработен от ABB POWER T&D.*



Фиг.2.4

Системата позволява съвместна работа и с други модели цифрови анализатори, след съгласуване на изходния формат на данните с разработения алгоритъм в среда MathCAD. В случая това е файл в DAT формат с определена големина. Целият файл, съдържащ измерваните величини, се присвоява като една матрица с име data, като по нататък от нея се извличат стойностите на величините за анализ. По този начин само със смяна на името на матрицата, MathCAD прави автоматично анализ на всеки изследван обект. Матрицата съдържа стойности за първите хармоници на

токовете и напреженията ($I_A, I_B, I_C, U_A, U_B, U_C$) и стойностите на хармониците до 15-ти в проценти от първия, а също така и ъглите на дефазирание Phaa и Phab и Phac на напреженията, спрямо реперното напрежение U_A и ъглите на дефазирание на токовете, спрямо съответните напрежения Pfaa , Pfab и Pfac , отчетени по първи хармоник. На фиг.2.5 е показана блок схема за определяне на различни енергетични параметри.



Фиг.2.5

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

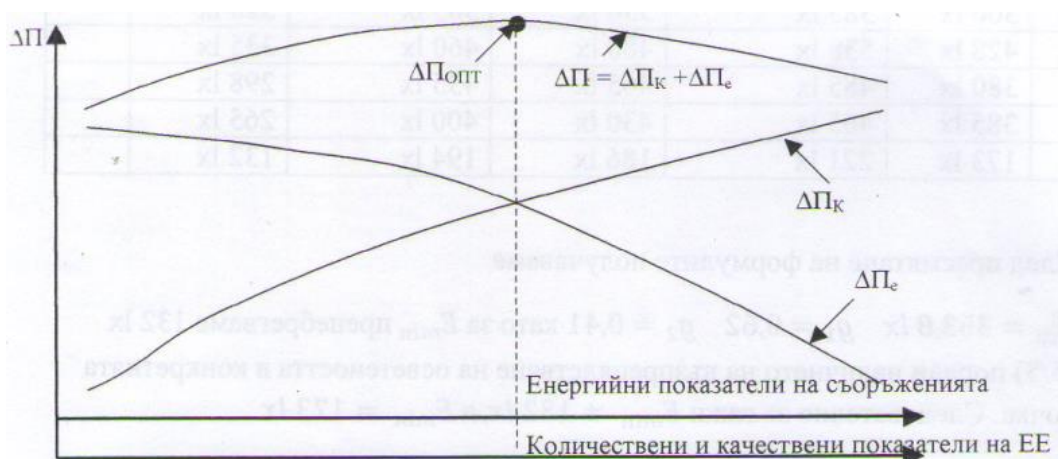
Постигане на електроенергийна ефективност чрез компенсация на реактивните товари

Обща постановка

Към електрическата енергия, която се трансферира от ЕСС до потребителите трябва да се подхожда по качествено нов начин, т.е. тя да се възприема като стока, която създава пари и принадлежна стойност $\Delta\Pi$.



С наличните парични средства не трябва просто да се купуват електротехнически съоръжения, а следва да се инвестира във внедряване на висококачествени и ефективни изделия, с висока надеждност и работещи с параметри определени от нормативните изисквания. Тази задача би следвала да се решава от специалисти във електроразпределителните предприятия (ЕРП), които ще изпълняват функциите на **мениджъри по енергийна ефективност**.



Представена е принципната зависимост $\Delta\Pi$ от електроенергийните показатели от една страна:

$$\Delta\Pi_e = f(\Delta E_{\Pi})$$

където: ΔE_{Π} - специфичен собствен разход на електрическа енергия и собствена цена за конкретно електротехническо съоръжение;

и от количествените и качествените показатели на електрическата енергия от друга: $(\Delta\Pi_k = f(\cos\varphi, \delta U, \Delta U, \text{ННР}))$

където: δU и ΔU - отклонение и колебание на напрежението.

Един от най-резултатните начини за постигане на висока ЕЕЕф е **компенсацията на реактивните товари (КРТ)**. Понастоящем такава в комунално-битовия сектор не се извършва. Счита се, че товара има предимно активен характер и компенсация не се налага.

Компенсация на индуктивните товари

- **Промислен сектор**

Изследванията, проведени в периода 1994-2012г. в над 900 обекта в страната показват, че среднодневния $\cos\varphi$ има индуктивен характер и е в границите $0,83 \div 0,89$ ($\tan\varphi_{\text{cp}} = 0,57$). Загубите на активна мощност в системата са:

- ΔP_a - загуби на активна мощност само от активна мощност P [kW];
- ΔP_p - загуби на активна мощност, предизвикани от P и Q [kW].

$$\Delta P_a = \frac{P^2}{U^2} R \qquad \Delta P_p = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2 + (1 + \tan^2 \varphi^2)}{U^2} R$$

- **Комунално-битов сектор**

В последните години в комунално-битовия сектор масово навлязоха потребители, имащи нелинеен характер (кондиционери, фризери, хладилници, микровълнови печки, електронни перални, ново поколение телевизори, най-разнообразна електронна бяла техника, енерго-икономични лампи с електронна ПРА и много други потребители с голяма наситеност на електроника). В процеса на своята експлоатация всички те внасят деформация на формата на кривата на тока и напрежението и обуславят, възникване на деформационна мощност D. Освен това несиметрията на тока и напрежението, което е обичайно явление за електроснабдителната система на битово-комуналния сектор, създава пулсираща мощност N. Двете субстанции на мощността D и N имат реактивен характер и трябва да се отчитат при компенсацията на реактивните товари и подобряване на фактора на мощността K_D :

$$k_m = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + N^2 + D^2}}$$

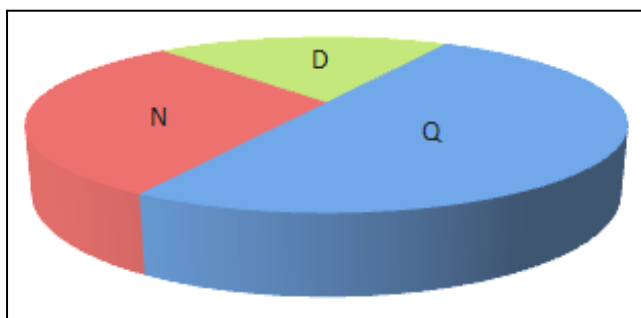
Изследванията показват, че k_m , който при гореспоменатите условия не съвпада с $\cos\varphi$, има стойности доста по-ниски от по-горе цитираните за $\cos\varphi$:

$$k_m = 0,84 \div 0,93$$

Това обуславя и значително по-големи загуби на мощност и ел.енергия. Съотношението Q/N/D е приблизително 50/30/20, т.е. Q и N+D са съизмерими (фиг.2.8).

Имало е случаи, когато N+D превишава Q. Причина за това в този конкретен случай е голямата несиметрия на тока, като дялът на N достига (90÷95)% от Q. В такива случаи компенсацията на реактивните товари е целесъобразна и наложителна. Изследванията показват, че техническите загуби на ел. енергия ΔE в битовият сектор възлизат на (12÷15)% от консумираната

електрическа енергия. Една ефективна компенсация на индуктивните товари може да снижи тези загуби с 20%. Това ще доведе до реална икономия на ел.енергия в границите (1,3 ÷ 1,6)%, като срока на откупуване на компенсиращите съоръжения се понижава до границите 1 ÷ 3 години.



Фиг.2.8

Компенсация на капацитивните товари

- **Промишлен сектор**

С внедряване на статичните електромери рязко изпъкна проблема с връщаната капацитивна енергия от промишлените предприятия и фирмите към системата, генерирана от кабелната мрежа СН (табл.2.10).

Табл.2.10 Промислени обекти с кабелна мрежа СН в [%]			
0м	до 100м	100÷1000м	1000÷10000м
84,7%	8,2%	3,8%	1,3%
<p>фактор на реактивност представляващ отношението на върнатата капацитивна към консумирана активна енергия</p> $q_k = \frac{E_{qk}}{E_a} \cdot 100 [\%]$			
0,03%	23,8%	34,9%	118,4%

В резултат на това се увеличават загубите на активна мощност $\delta(\Delta P)$ – табл.2.11

Табл.2.11 Увеличени загуби на активна мощност $\delta(\Delta P)$ %				
q_k [%]	0 ÷ 1	1 ÷ 10	10 ÷ 50	50 ÷ 100
$\delta(\Delta P)$ [%]	0,23	2,66	7,85	11,23
T [год]	(2,3 ÷ 7) год	(0,6 ÷ 1,9) год	(2 ÷ 8) мес	(0,7 ÷ 1,3) мес
$K_c = I_c / I_{\Delta P}$	1,3 ÷ 1,9	2,4 ÷ 3,3	3,6 ÷ 5,4	5,9 ÷ 17,5

- **Комунално-битов сектор**

СТ в комунално-битовия сектор се захранват с кабели 10 или 20 кV, които генерират капацитивна енергия. В табл.2.12 са показани измененията на загубите $\delta(\Delta P)$ и срока на откупуване T за този сектор.

Табл.2.12 T , $\delta(\Delta P)$ и q за комунално-битов сектор			
$q_k[\%]$	0÷1	1÷10	10÷50
$\delta(\Delta P)[\%]$	0,145	2,78	8,55
$T[\text{год}]$	(5÷8,5)год	(2,5÷6,2)год	(1,6÷2,9)год

Представените във втора глава литературни проучвания за теоретичните подходи по ЕЕФ, анализирани методи за определяне на конвенционалните загуби и загубите от влошени ПКЕЕ, както и обзора върху КРТ, дават възможност да се направят следните по-важни изводи и представят съществените резултати от тази глава:

- 1. Анализирани показатели за светлинен, топлинен, въздушен и хигиенно-хранителен комфорт в сградната инфраструктура, се разглеждат без да се държи сметка на характерни за електроенергетиката показатели и параметри. В международните и националните нормативни документи и понятието „електроенергийна ефективност” не е дефинирано като специална категория, свързана с електроенергийното обслужване. Не съществува терминология, специфични показатели, изчислителни процедури и методически постановки за оценка на ЕЕЕф. Необходимо е ЕЕЕф да се дефинира и регламентира като самостоятелна енергийна категория, като се маркират и формулират основни параметри, характеристики и критерии, отразяващи по правилен начин природата и физическата същност на електроенергийните процеси и явления. Методите за оценка на ЕЕЕф трябва да дават възможност да се формулират оптимизационни задачи по различни критерии, които да отразяват влиянието на загубите на мощност и е. енергия, ПКЕЕ и др. енергетични показатели върху параметъра на оптимизация.*
- 2. Въведените показатели за оценка на ЕЕФ в осветителни уредби LЕNI и ELI, дават ограничена представа за електротехническата същност на изследваните технико-икономически параметри. Тяхната приложимост е основно за сградната инфраструктура,*

като осветителната уредба се оценява по общи енергийни относителни показатели и се определят характеристики с ергономическа насоченост. Библиографският анализ показва наличие още на редица относителни и абсолютни показатели с различна идентификация, предметна насоченост и предназначение. Това голямо разнообразие създава трудности при прилагане на комплексен подход за оценка на ЕЕЕф в индустрията и КБС. Необходимо е да се създаде унифицирана комплексна методика, разглеждаща осветлението като електроенергиен и производствен фактор, участващо в пазарна среда като потребител на ел.енергия с вложен капитал и период на възвращаемост.

- 3. Във връзка с целите на дисертационната работа е проведено изследване на методите за определяне на конвенционалните загуби на мощност и ел.енергия. Сравнителният анализ на различните методи показва високата адекватност, достоверност, значимост и тъждественост на вероятно-статистическите подходи при определяне на конвенционалните загуби. В тази връзка е целесъобразно да се препоръча при създаване на комплексни методики за оценка на ЕЕЕф в ЕСС на индустрията и КБС, да се включи със съответно тегло участие този значим параметър електроенергетиката.*
- 4. Масовото навлизане на нелинейни електронни елементи и системи в индустрията и КБС увеличава рязко дялът на загубите на ел.енергия от влошени ПКЕЕ. При това положение традиционния подход за определяне на общите загуби само чрез стойността на $\cos\varphi$ не дава възможност да се проконтролират в пълнота изследваните процеси на електропотреблението и да се оценят допълнителните загуби на мощност от влошено качество на електроенергия, което от своя страна води до съществени неточности и непълноти. Наличието на деформационна и пулсираща мощност, а също така отклонението и колебанието на напрежението и тока, оказват своето влияние за поява на допълнителни загуби и промяна в структурата на общите активни загуби. Съвременните изследвания показват, че загубите от влошени ПКЕЕ са съизмерими с конвенционалните и*

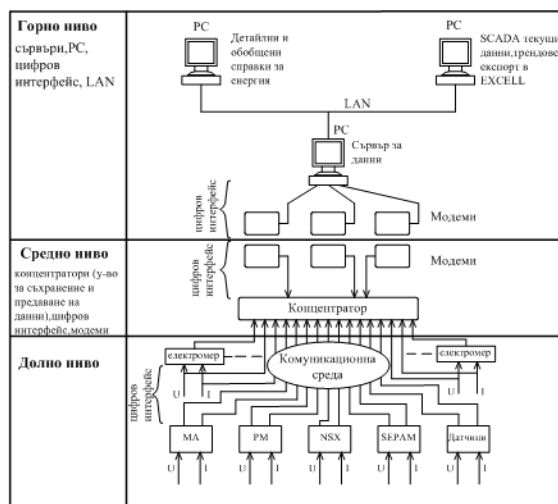
следователно, при създаване на комплексна методика за оценка на ЕЕЕф трябва да се държи сметка на този съществен факт.

5. Компенсацията на реактивни товари е мощен способ за постигане на ЕЕЕф. Въз основа на проведени изследвания и експертен опит може да се препоръча провеждане на двустранна компенсация в промишлеността и КБС – едновременно компенсиране на индуктивните и капацитивните товари със съответни компенсиращи системи. При такъв подход се реализира икономия на ел.енергия в границите (3÷5)% при срок на откупуване на компенсиращите съоръжения (1÷2)г. ЕЕЕф съществено се увеличава при използване на оптимизирано управление на процеса на компенсация чрез въвеждане на микропроцесорен регулатор, работещ по критерии, посока и големина на реактивната мощност. В този случай се компенсират и съставлящите, създадени от пулсиращата N и деформационната мощност D , които също имат реактивен характер, при разработване на адекватна методика за оценка на ЕЕЕф, в нейната същност трябва да се зложат така описаните принципни постановки за ефективна КРТ.

ГЛАВА ТРЕТА

ПРАКТИЧЕСКО ИЗГРАЖДАНЕ НА СИСТЕМА ЗА ДИСПЕЧЕРИЗАЦИЯ И ЕНЕРГИЕН МЕНИДЖМЪНТ

СДЕМ всъщност представляват системи за автоматична регистрация, контрол и управление на електропотреблението, изградена на три нива (фиг.3.1):



Фиг.3.1

- *ниско ниво* – това са монофазни или трифазни електронни електромери за търговско или контролно измерване четириквadrантна схема на мерене с цифров интерфейс и други допълнителни опции. Тука може да се включат мрежови анализатори (МА), мерители (РМ), автоматични прекъсвачи с логически и измервателни функции (SEPAМ), датчици и др.;
- *средно ниво* – състои се от концентратор на данните, постъпващи от ниско ниво и модеми за комуникация с горно ниво;
- *горно ниво* – реализира се от сървър за данни и специализирани компютри, свързани в LAN мрежа. Това всъщност е диспечерски център, в които се събират, съхраняват, обработват и архивират данни, извършва се диспечеризация на системата чрез SCADA, контролират се и се управляват различни енергетични показатели и ПКЕЕ, следи се за състоянието на системата, нейните елементи и други функции.

Алгоритми при изграждане на СДЕМ

Прогнозирането на изменението на ЕЕ може да се прави в 3, 5, и 30 минутен разрез. Под *перспективно прогнозиране* се разбира осъществяване на прогноза в края на разчетния период, докато *текущото прогнозиране* се осъществява за всеки интервал от дискретизацията на изследвания период. Например при 30 минутен интервал текущото прогнозиране може да се извърши по следния алгоритъм. Предварително интервалът от 30 мин се разбива по 10 триминутни интервали, като мощността от последния 3 минутен интервал на предния период се умножава по 10. След изтичане на първите 3 минути мощността на този интервал се умножава по 9 и се сумира с мощността от първото изчисление, т.е. алгоритъма може да се формулира по следния начин: *мощността на съответния 3 минутен интервал се умножава по броя на оставащите интервали, след което това произведение се сумира със сумарната стойност на мощността за всички предходни 3 минутни интервали.*

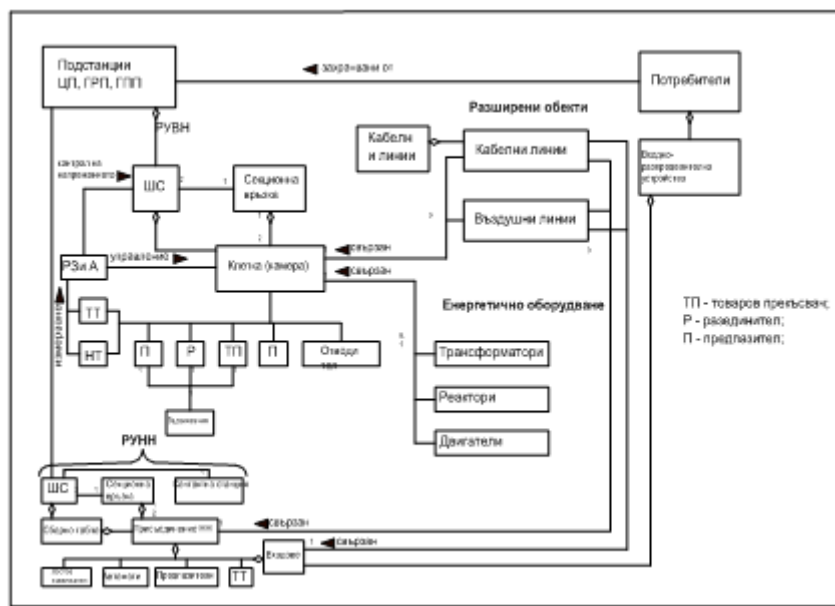
Формулизацията на този алгоритъм може да се запише като се направят следните разсъждения. Ако поредния 30 минутен интервал започва, то прогнозната стойност на мощността в края на l -я 30 минутен интервал ще бъде:

$$P^l = P_{10}^{l-1} \cdot 10$$

където: P_{10}^{l-1} – мощност в края на $(l-1)$ – я интервал; 10 – брой на 3 минутните интервали за 30 минутния изследван период.

Особености при изграждане на СДЕМ

При разработване на автоматизирани системи за енергиен мениджмънт в промишлени обекти, трябва да се използват съвременните достижения в областта на информационните технологии. Подобни системи представляват комплекс от подсистеми с единно информационно техническо обезпечаване, включващо специализирано програмно обезпечаване за базата данни, подсистеми за мониторинг и графично изображение, подсистеми за контрол, регистрация и управление на електропотреблението, подсистеми за изследване и диагностика на надеждността, подсистема за оптимизиране режимите на работа, подсистеми за анализ на състоянието на елементите, архивиране, информационно обслужване, достъп, възможност за обратна връзка и т.н. Примерна блокова структура на обект за автоматизиране на информационните процеси е представена на фиг.3.2:



Фиг.3.2

Основни технически възможности, архитектурен строеж и топология по СДЕМ за промишлени обекти.

Основни технически възможности на СДЕМ

СДЕМ дава възможност за автоматизирано контролиране и управление на различни енергетични показатели и ПКЕЕ в ЕСС на промишлените обекти при съблюдаване на следните принципни изисквания към техническите средства.

Основен функционален елемент на този център е SCADA – система, която ще обедини всички енергийни звена, консумативи и технологични субстанции на ТУ-Варна в една единна платформа за наблюдение, контрол, анализ,

оптимизация, прогнозиране и управление. В настоящия момент към СДЕМ са обхванати следните обекти: петте ТП, изграждащи пръстена на захранването на ТУ-Варна; УПБ на машинно-технологичен факултет с петнадесет високотехнологични машини и новоизградено осветление, захранени от четири силови табла; студентско общежитие бл.18 със съществуващо захранване от ГРТ на блока; лаборатория „Електроснабдяване“ (102б ЕФ) със седем лабораторни стенда.

Общо описание на реализираната СДЕМ Power SCADA

Представява съвкупност от апаратно-програмни средства, даващи възможност за анализ, прогнозиране и управление на различни процеси. В конкретния случай SCADA е автоматизирана система, която обработва и преобразува получената информация от първичните преобразуватели (мрежови анализатори, контролери, микропроцесорни защиты, автоматични прекъсвачи, концентратори и др.) и формира управляващи команди. Функциите на SCADA са със разпределена архитектура, т.е. съществува координация между параметрите на системата и информацията, която натрупват устройствата от по-ниско ниво. Освен съхраняване на информацията с възможност за нейната обработка, системата я визуализира във вид на графики, хистограми и др. Създава отчети, чрез проследяване и анализ на изследваните параметри, създава база данни и архивира различни параметри, като ток, напрежение, мощност, различни енергетични показатели и характеристики на качеството на ЕЕ, открива аварийни и критични ситуации и алармира за тях и други функции. SCADA системата работи със специализиран софтуер POWER SCADA, който и изключително удобен за близък и отдалечен мониторинг на електроенергийни процеси, включително и хармоници, анализ и оптимизация на ел. товари и ел. схеми и вериги, определят се загубите на ел. енергия, архивирание на данни и процеси, създаване на исторически трендове и др.

LAN мрежа

Изградената LAN мрежа е със скорост на трансфер на данни около 100 Mbps и включва следните хардуерни компоненти: терминални устройства WS (work station); интерфейсни мрежови карти (NIC); хъб (повторител, концентратор); рутер (маршрутизатор); комутатор (switch) и др. Преносната среда е изградена чрез UTP кабели, а достъп до общите ресурси се осъществява, чрез „peer-to-peer“ технология. За комуникация на сървъра с анализиращите устройства са използвани TCP/IP протокол.

Концентратор EGX 1000

С негова помощ се дава пълен достъп до цялата информация за измерванията и състоянието на свързаните устройства със следните възможности:

- *оптично изолиран сериен порт RS485/RS232; съвместимост с две и четири проводни връзки;*
- *маршрутизиране от сериен интерфейс към MODBUS TCP/IP с разширена защита с помощта на филтри;*
- *приложение от Modbus TCP/IP към RS485 или RS232 и от RS485 или RS232 Modbus сериен интерфейс към Ethernet Modbus TCP/IP.*

Първични преобразуватели

- *Изследване на комуникационно-защитна апаратура СН;*
- *Изграждане на енергетичните и показателите на качеството на ЕЕ;*
- *Изследване на пасивен филтър;*
- *Изследване на режимите на работа на силови трансформатори;*
- *Компенсация на реактивните товари с помощта на синхронни двигатели (СД);*
- *Компенсация на реактивните товари с помощта на кондензаторни батерии;*
- *Оперативни превключвания в цехови и заводски подстанции;*
- *Изследване влиянието на честотните регулатори, върху показателите на качеството на ЕЕ.*

Имплантиране на SCADA (Schneider Electric) система с учебно-образователна цел в лаборатории по „Електроснабдяване и електрообзавеждане“ на кат. ЕСЕО към ТУ-Варна.

Въведение

Създаването на висококвалифицирани специалисти в техническите университети в страната, с ориентация към рационално и ефективно използване на електрическата енергия, е немислимо без реновиране на лабораторната и изследователската база и интензификация на научно-изследователските дейности в посочената област. В тази връзка в съответствие с Националната програма за енергийна ефективност и тенденциите за повишаване нивото на обучението във ВУЗ, ръководството на ТУ-Варна поставя началото за

разработване на целева програма по създаване на методи и средства за икономия на електрическа енергия, повишаване надеждността и качеството на електроснабдяването, изграждане на интелигентни системи за наблюдение, контрол и мониторинг, разработване на ефективни постановки за автоматизирано управление, решаване на оптимизационни задачи в електроенергетиката, усъвършенстване на учебната и научно-изследователската работа в Университета и други.

Същност, цели и задачи на техническото решение.

Във връзка с гореизложените постановки в катедра ЕСЕО на ТУ-Варна и създадена нова лаборатория с повишена функционалност и висока технологична определеност. Тя е изградена изцяло с еднородна фирмена ориентация, като голяма част от съоръженията и софтуерните продукти са дарение на Шнайдер Електрик. Основната концепция при изграждане на лабораторията е тя да се превърне в солидно научно-изследователско и образователно звено, като прерасне в „Център за диспечерско управление и енергиен мениджмънт“. Целите и задачите на този център ще се развият в следните направления:

- **научно-изследователски;**
- **образователни;**
- **комерчески;**
- **представителни**

Основен функционален елемент на този център е SCADA система, която ще обедини основните енергийни звена на ТУ-Варна в една единна платформа за наблюдение, контрол и управление на различни енергетични процеси.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) е система за автоматизация на процеси, и има следните основни функции: събиране и обработка на данни от всякакви датчици; изпращане на данните от датчиците към по-високите нива на системата; представяне на данните в удобна за възприемане от човека форма; регистриране на данните на един или няколко носителя, с цел тяхното документиране и архивиране; подпомагане на операторите в изчисляването на управляващите въздействия и вземането на решения; комуникиране на решенията на по-горните нива до блоковете, работещи с управляващите устройства; проследяване на изпълнението на управляващите въздействия, задействане на аларми и защиты при възникване на критични ситуации; архивиране на информацията и други.

Практическа реализация

Извършена е реконструкция на съществуващите лабораторни стендове в лабораторията „Електроснабдяване“ и обединяването им в система за мониторинг и контрол на базата на POWER SCADA.

Проведения изследователски процес и предложените технически решения, дават възможност да се направят следните основни изводи и се представят съответни резултати, към трета глава от дисертационната работа:

1. Формулирани са основни принципи и критерии за изграждане на СДЕМ, като са взети предвид, освен технико-икономически изисквания и такива, свързани с надеждността, сигурността и технологичността на системите. Предложените алгоритми, архитектурния сграден и технологичните възможности на СДЕМ, дават възможност за постигане на пълна автоматизация на процесите, като се осигурява възможност за мониторинг и регистриране на различни енергетични показатели и ПКЕЕ, чрез предложената оригинална и нестандартна блокова схема. По този начин се постига в максимална степен адаптиране на СДЕМ, към основните изисквания, препоръки и указания за постигане на ЕЕЕФ, предоставени в I и II глава на дисертационната работа.

2. В съответствие с основните цели на дисертационната работа е синтезирана и изградена СДЕМ в ЕСС на ТУ-Варна. Архитектурата на системата включва Power SCADA, LAN мрежа, концентратор EGX 1000 и първични преобразуватели, като всички основни и помощни съоръжения са от фирмата на Schneider Electric.. С помощта на СДЕМ се управляват 4 основни енергийни обекта на ТУ-Варна – ЕСС, изградена от пет ПТ; Учебно-производствена база на Машинно-технологичен факултет; Студентско общежитие бл.18; Лабораторен комплекс на кат. ЕСЕО. Системата е основен функционален елемент на ЦДУЕМ, ще се използва за оптимизиране на управляваните обекти, а също така ще има силно изразени диагностични функции с цел реновиране на остарялата ЕСС на университета.

3. Освен технологични и експлоатационни функции, изградената СДЕМ притежава и учебно-изследователски функции. В ЦДУЕМ се предвижда провеждане на лабораторни упражнения, за обучение на студенти, в максимална степен адаптирани към реалните

управляващи функции на SCADA системата. Освен това се планира провеждане на обучение, чрез различни курсове на външни специалисти от промишлеността и КБС, с цел повишаване на тяхната квалификация.

ГЛАВА ЧЕТВЪРТА
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНА
ЕФЕКТИВНОСТ И АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Експериментално изследване на електроенергийната ефективност по критерий „регулиране на напрежението“

За сравнително дълъг период от време (1993-2015г) характерен с понижено натоварване, за болшинството от изследваните 167 промишлени обекти, групирани в 9 отрасли, са определени основните енергетични характеристики:

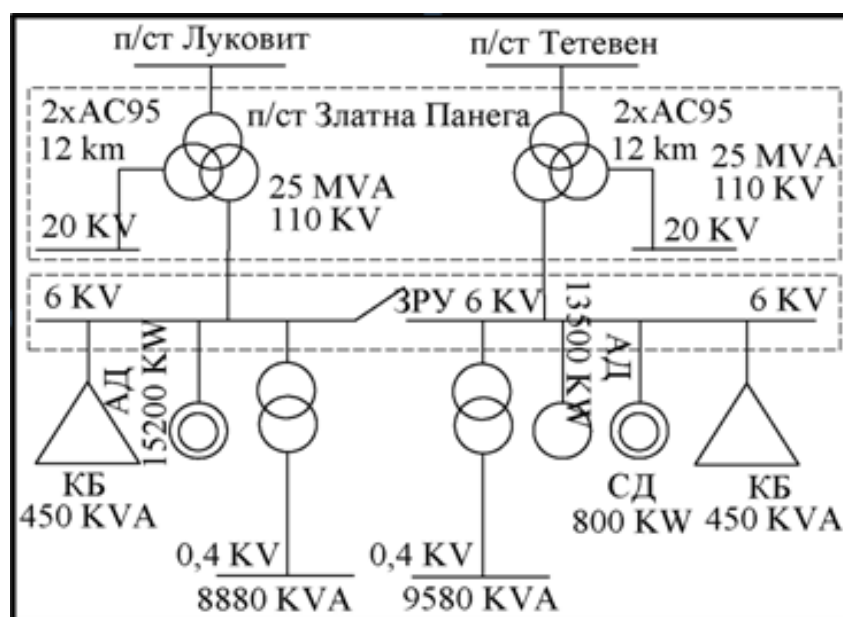
- Средногодишен пълен товар $S_{срз} [MVA]$;
- Годишната консумация на ел. Енергия $W_z [10^3 MWh/z]$;
- Средногодишен активен товар $P_{срз} [MW]$;
- Средногодишен $\cos\varphi (tg\varphi) - \cos\varphi_{срз} (tg\varphi_{ср})$.

Регистрираните данни от изследванията се групират за две степени на комутатора на напрежение на силовите трансформатори в заводските подстанции (+5% и -5%), представени в табл. 4.2.

Табл. 4.2 Съотношения на напреженията при различни степени на превключвателя на намотките на СТ				
Положение на превключвателя	Отклонение ВН [%]	Напрежение ВН [V]	Отклонение НН [%]	
			Грубо	Точно
1 (Е1)	+5%	21000	0%	0.25%
2 (Е2)	0%	20000	+5%	5.26%
3 (Е3)	-5%	19000	+10%	10.8%

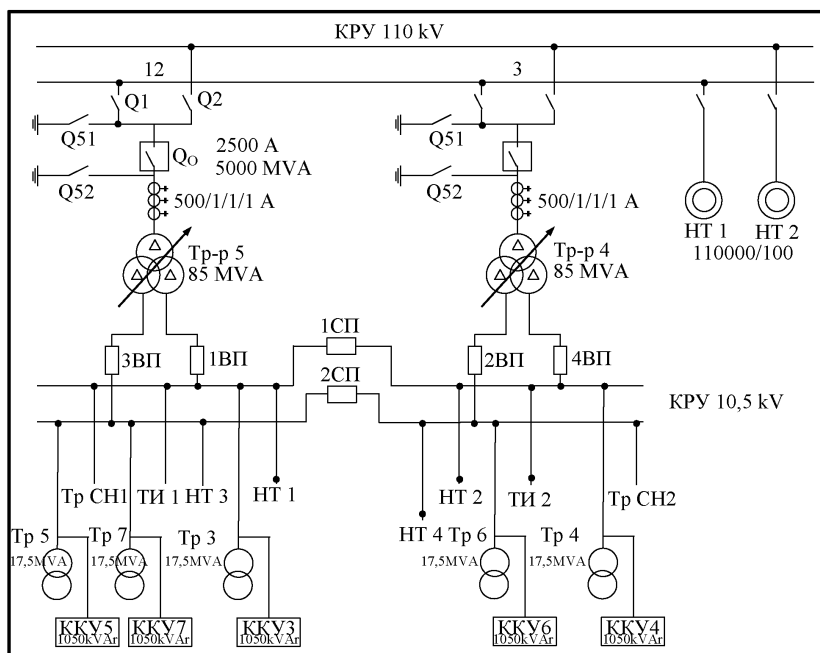
**Експериментални изследвания на електроенергийната ефективност
по критерий „Качество на електрическата енергия”
Фирма „Титан-Златна Панега Цимент АД”**

Проведено е изследване в ЕСС на „Титан- Златна Панега Цимент“ АД с цел набелязване на мерки за постигане на електроенергийна ефективност. В завода по сух способ от варовик и мергел се произвежда портланд цимент при консумация около 150 kWh за тон. Работният процес е непрекъснат, заводът работи на три смени и е изграден от пет основни цеха: цех „Кариера“, цех „Суровинни мелници и пещи“, цех „Циментови мелници“, цех „Опаковка“ и спомагателни цехове. Опростеният вид на ЕСС на фирмата е представен на фиг. 4.9. Електроснабдяването се осъществява чрез районна п/ст „Златна Панега“, захранвана от два въздушни електропровода 100 kV от п/ст Луковит и п/ст Тетевен. Силовите трансформатори са тринамотъчни по 25 MVA 110/20/6 kV, като връзката на СН 6 kV се осъществява посредством три входа (5 секции) на заводската разпределителна подстанция от двата СТ, чрез единична шинна система.

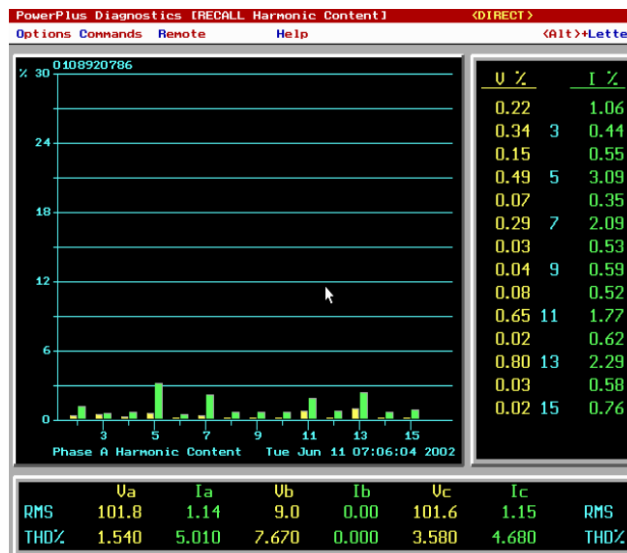
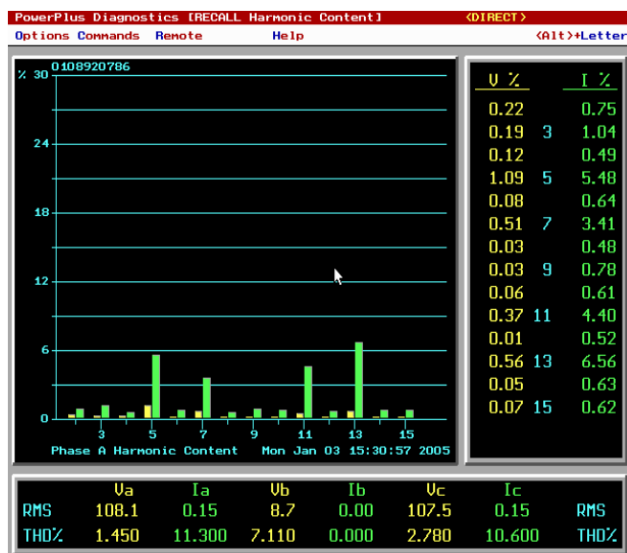


Фирма „ПОЛИМЕРИ” АД - гр.Девня

ЕСС на „Полимери“ АД има четири тринамотъчни СТ с мощност 75 и 85 MVA на напрежение 110/ 10.5/ 10.5 kV и пет СТ с мощност 17.5 MVA на напрежение 10.5/ 0.6 kV, захранващи изправителите на електролизните уредби. На фиг. 4.10 е представена част от схемата на ЕСС на фирмата.



Извършено е изследване на хармоничния състав на напрежението и тока до 15-и хармоник, без да е включена компенсиращата уредба. На фиг. 4.11 и фиг. 4.13 са показани резултатите за фаза А на СТЗ. Вижда се, че в спектралния състав фигурират и четни хармоници, макар и с много малко дялово участие в THD_I [%]. Най-големи стойности имат 5-и, 7-и, 11-и и 13-и хармоници на тока, които са в границите $3.14 \div 6.52$ %.



Фирма „ЛеКоКо“ – гр. Радомир

Проведено е изследване на електродъговата пещ (ЕДП) на фирмата с мощност 25MW и капацитет 100 тона с помощта на измервателният комплект ALPHA Power + на фирма АBB- САЩ. Честотният състав на висшите хармоници на тока и реактивната мощност се изменят в широки граници, като за втори и трети хармоник те са в границите $5 \div 26$ % [1,2,3]. Това способства за

намаляване мощността на ЕДП и влошаване на фактора на мощността и използването на силови резонансни филтри (СРФ) е наложително.

Табл. 4.7. Реализиране на 3 LC групи и три мощности за трети хармоник						
Положение на P2, P3	P2-вкл.	Q _Ф [kVAr]	P2-вкл.	Q _Ф [kVAr]	P2-изкл.	Q _Ф [kVAr]
	P3-вкл.		P3-изкл.		P3-изкл.	
L [mH]	L ₁₃ -L ₃₃	5640	L ₁₃ -L ₃₃ L ₁₅ -L ₃₅	4373	L ₁₃ -L ₃₃ L ₁₅ -L ₃₅ L ₁₇ -L ₃₇	3916
	22.8		29.5		32.82	
C [μF]	C ₁₃ -C _{N3}	4.94	C ₁₅ -C _{N5}	3.82	C ₁₇ -C _{N7}	3.43
	4.94		3.82		3.43	
Реализиране на 2 LC групи и три мощности за трети хармоник						
Положение на P2, P3	P2-вкл.	Q _Ф [kVAr]	P2-изкл.	Q _Ф [kVAr]	-	
	P3-изкл.		P3-вкл.			
L [mH]	L ₁₃ -L ₃₃ L ₁₅ -L ₃₅	4373	L ₁₃ -L ₃₃ L ₁₅ -L ₃₅ L ₁₇ -L ₃₇	3916	-	
	29.5		32.82			
C [μF]	C ₁₃ -C _{N3}	3.82	C ₁₃ -C _{N3} C ₁₅ -C _{N5}	3.43	-	
	3.82		3.43			

Фирма „АЛКОМЕТ“ – гр. Шумен

Фирмата е изградена от 3 основни цеха – леярен, валцов и пресов, и няколко спомагателни цехове с основна дейност преработка на алуминий, и производство на изделия от алуминий, и неговите сплави. Електроснабдяването се осъществява от две подстанции (фиг. 4.19) – п/ст 100 захранва леярен и валцов цех, и п/ст 200 захранва пресов, ЕРЦ, РМЦ и топлосилов цех. Янсеновите регулатори са тип РС-Н-Ш . 200-110/В, с 27 стъпала с моторно задвижване и се управляват от АРН, с което се осигурява синхронно включване на двата янсена (еднаквост на стъпалата), и пот този начин не е необходимо дежурния оператор да упражнява постоянен контрол на напрежението.

Фирма „ЕВРОМАНГАН АД“ – Оброчище

Обект на изследване е най-голямата манганова мина в Европа, разположена на 35 км. от Варна и на 10 км. от Балчик. Добивът се извършва на 320 метра под повърхността на земята от два рудника (Фронтони комплекс и Подземен рудник) с производителност 100 – 500 хил. тона годишно при непрекъснат 24 часов режим на работа. Основния добив на руда се извършва в рудник „Фронтони комплекс“ с въртящ се работен орган (добивен комбайн), който изземва рудата, изсипва я на верижен транспортър и след раздробяването ѝ от мощни трошачки тя се подава към главните транспортни

ленти и се събира в подземен бункер. Тук се пълнят вагони, избутват се до рудодвора на шахта „Капитална”, вагоните се качват в надшахната кула и се изсипват в бункер за събиране на извозената руда.

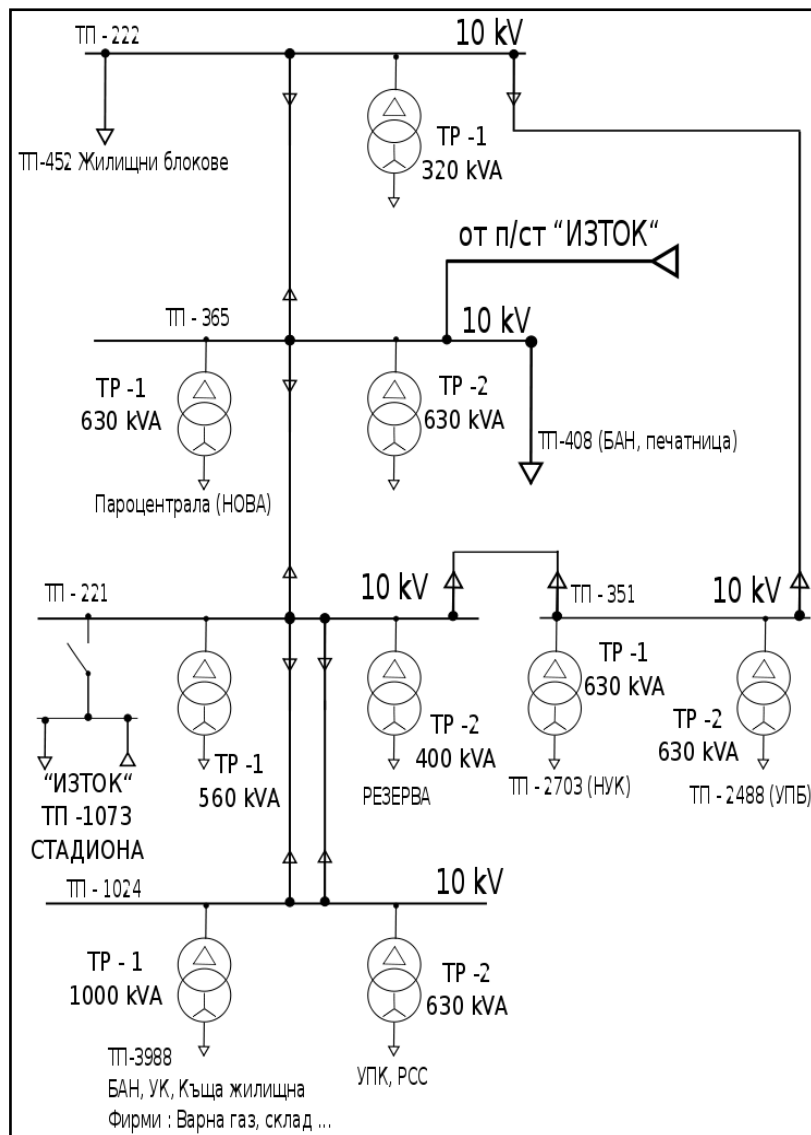
Таблица 4.10. Изследвани показатели в ЕСС на фирмата							
S_{cp} [kVA]	$\cos\varphi_{cp}$ [-]	Q_{kcp} [kVAr]	δU [%]	ε_U [%]	ε_I [%]	THD_U [%]	THD_I [%]
Подземна част							
818	0,83	202	0,93±1,01	1,71±2,46	4,62±28,3	2,67±12,8	4,79±33,1
Надземна част							
632	0,88	136	0,95-1,03	0,96-1,97	3,15-14,7	2,12-9,85	4,55-27,8

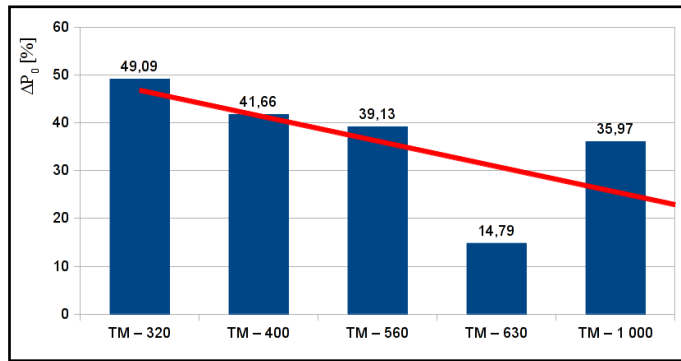
Експериментални изследвания на електроенергийната ефективност при експлоатация на силови трансформатори

Изследванията в т.2.2.1 се отнасят до определяне на загубите на мощност и ел.енергия в глобален аспект – обобщен подход за ЕСС като цяло или за част от тях. Силовите трансформатори (СТ) са основен елемент от всяка ЕСС и оптимизиране на загубите в тях дава възможност за постигане на значима икономия на ел.енергия. За целта с технически средства е обследвана и анализирана ЕСС на Технически университет – Варна [48].

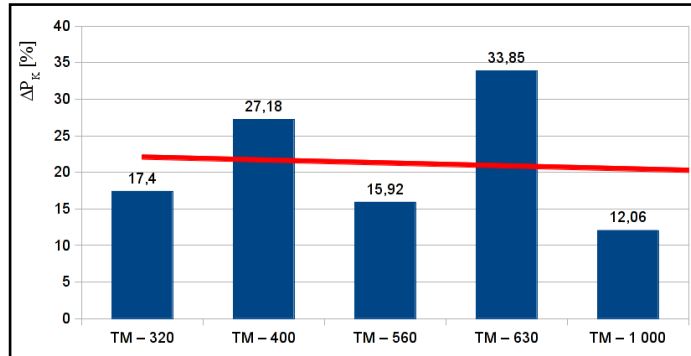


Захранването с ел. енергия е осъществено от страна СН 10 kV на районна подстанция Изток през трансформаторен пост (ТП) 408 посредством кабел АСБ 3(1x120) с дължина $L = 500$ м, свързан на шините на ТП 365. ЕСС е изградена във вид на пръстен посредством пет на брой ТП, показано на фиг. 4.25, като захранващия контур за п/ст Изток се затваря с връзка на ТП 221 с ТП 1073. По този начин се реализира резервиране на всяка една ТП. В нормален режим на работа клон 7 е изключен – включва се при аварийни ситуации, като се осъществява захранване на съответните ТП в зависимост от отпадналия клон. Реализирана е и двойна връзка между ТП 221 и ТП 1024, съответно с кл.2-1 и кл.2-2. На фиг. 4.26 е представена еднолинейната схема на ЕСС на университета.

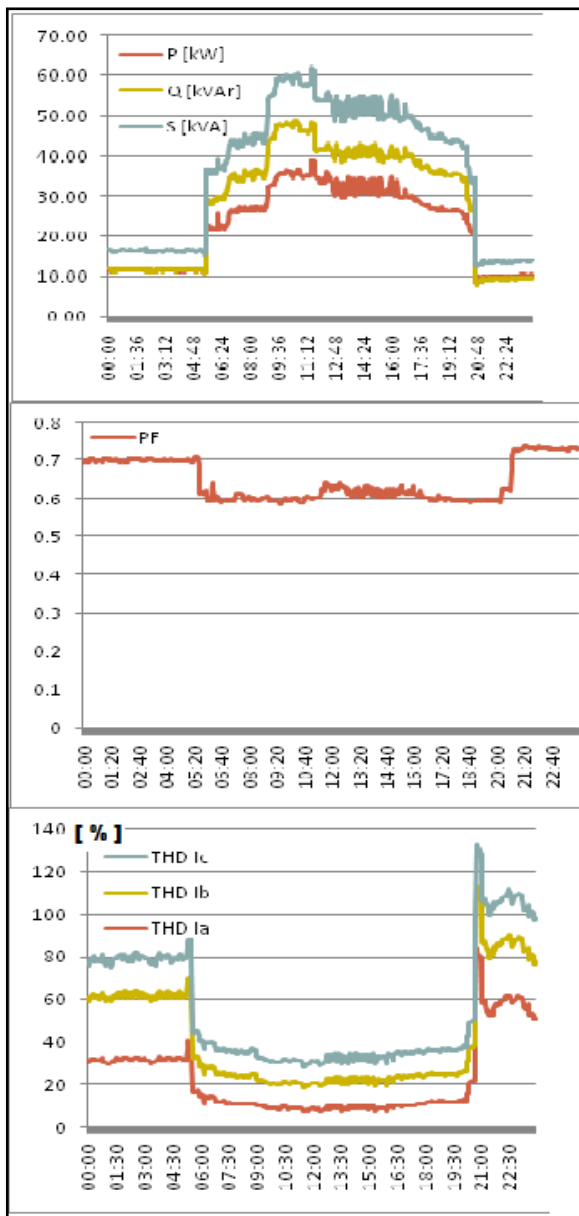




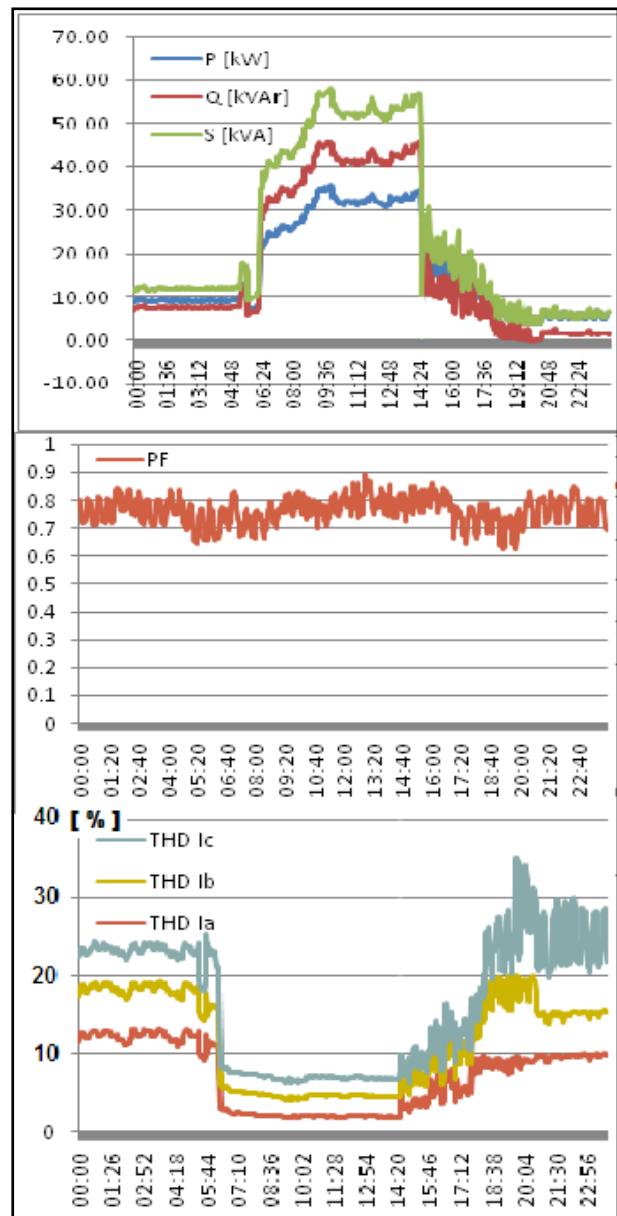
Фиг. 4.27. Загуби на празен ход за СТ на ТУ - Варна



Фиг. 4.28. Загуби на к.с. за СТ на ТУ – Варна



Фиг.4.30



Фиг.4.31

На фиг.4.30 и фиг.4.31 са представени характерни зависимости за параметрите $S, P, Q, PF, THD_{Ia}, THD_{Ib}$ и THD_{Ic} , получени за летен и зимен период. За двата сезона товарите S, P и Q , измерени за различни ТП, запазват обща тенденция на изменение в денонощен разрез.

Фактора на мощността PF за летния период достига твърде ниски стойности до $PF = 0,6$, докато за зимния период минималните стойности са около $PF \approx 0,7$. Това обуславя и необходимостта от компенсация на реактивните товари. Интегралния коефициент на несинусоидалност THD за токовете на трите фази за летния период се изменя в твърде широки граници

$\text{THD}_I \approx (10 \div 100)\%$, а за зимния период $\text{THD}_I \approx (5 \div 30)\%$. Това означава, че масово използваните в университета електронни, микропроцесорни и компютърни системи работят при влошени условия на електромагнитна съвместимост.

Като цяло ЕСС на обекта се характеризират с много висока степен на амортизация на силовите елементи – СТ, прекъсвачи, разеденители, и др. Това води до съществено намаляване на надеждността на ЕСС.

Проведените експериментални изследвания в реални промишлени обекти и анализа на получените резултати дават възможност да се направят следните основни изводи и се представят съответните резултати към четвърта глава от дисертационната работа:

- 1. Машабно експериментално изследване на ЕЕЕф по критерии „регулиране на напрежението” е проведено в дългогодишен период в девет отрасли от индустрията и КБС. Целта на изследването е да се установи влиянието на отклонението на напрежението върху изменението на специфичния разход на ЕЕ. За болшинството от разглежданите отрасли е установена ясно изразена тенденция за намаляване на специфичния разход на ЕЕ при напрежение на шинните системи и клемите на потребителите в диапазон $U=(0.9\div 1)U_N$. Изследванията също така показват, че КРТ е ефективно мероприятие за икономия на ЕЕ не само при оптимално и високо напрежение, но и при ниски натоварвания на промишлените обекти (ПО), като при тях е регистрирано по-силно изразено намаляване на специфичния разход на ЕЕ в сравнение с по-високи стойности за $\cos\phi$ при по-ниски от номиналните напрежения и това благоприятства прилагане на дуалистичен подход за едновременно регулиране на U и КРТ.*
- 2. В съответствие с целите и задачите на дисертационната работа са проведени експериментални изследвания в редица мощни промишлени обекти по критерий „качество на електрическата енергия”. Резултатите от изследванията в ЕСС на ф. ”Титан-Златна Панега Цимент” показват увеличение на допълнителните загуби от пулсираща и деформационна мощност в границите 18.72 до 26.9% от конвенционалните, което води до допълнителен разход на ЕЕ около $(1,5\div 2)\%$ на стойност 150 хил.лв. за година. С цел подобряване на ЕЕЕф, освен класическата КРТ е целесъобразно използване на*

филтрокомпенсиращи устройства. За фирма „Полимери“ е констатирано подобряване на ЕЕЕф в режим на понижено натоварване, т.к. там основен потребител са електролизните уредби, а за ф. „ЛеКоКо“, след проведена реконструкция на ОРФ се постига ефективна компенсация на трети хармоник за ЕДП, с което допълнителните загуби на мощност от влошени ПКЕЕ се намаляват от (10÷35)% до (4÷7)%. Аналогични изводи могат да се направят и за изследванията във ф. „Алкомет“ и „Евроманган АД“. Влошените ПКЕЕ повишават съществено допълнителните загуби от ННР, като и тук се забелязва тенденция за подобряване на ЕЕЕф при понижено натоварване.

3. Изследването на ЕЕЕф по критерии „компенсация на реактивните товари“ е проведено в отрасловата структура на страната за дълъг период от време в режим на понижена консумация на ел.енергия. Тук са показани възможностите за намаляване загубите на мощност и постигане икономия на ел.енергия, като отново е потвърдена възможността технико-икономическите показатели на ЕСС да се използват като средство за оценка на електроенергийната ефективност. Показана е и възможност за оценка на ЕЕЕф при КРТ в индустрията и КБС с помощта на метода „полза-разходи“ чрез индексите NVP , ЧДП и ИП.
4. В тази глава е анализирана възможността за постигане на ЕЕЕф при работа на СТ. Изследвана е ЕСС на ТУ-Варна в режим на реална експлоатация, като са установени влошени експлоатационни характеристики на ЕСС-силна амортизация на съоръженията, влошени енергетични и ПКЕЕ. Предложен е вариант за постигане на икономически целесъобразен режим на СТ, водещ до съществено намаляване на общите загуби на мощност и ел.енергия при тяхната експлоатация.

ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА ВЪВ ВРЪЗКА С ДИСЕРТАЦИЯТА

- [1]. Киров Р., Илиев И., Найденов Н, Изследване на електроенергийната ефективност оп отрасли при управление режима на напрежение на ЕСС, Варна, Международна конференция „Електроенергетика 2014”.
- [2]. Киров Р., Илиев И., Найденов Н, Русев Д., Изследване резултати и препоръки за постигане на електромагнитна съвместимост, Варна, Международна конференция „Електроенергетика 2014”.
- [3]. Киров Р., Гюров В.Н, Илиев И., Найденов Н, рачев С., Характеристики на електропотреблението в циментовата промишленост, Габрово, Унитех 2014, ISSN 1313-230X
- [4]. Киров Р., Гюров В.Н, Илиев И., Найденов Н, Относно практически възможности за постигане на електроенергийна ефективност и електромагнитна съвместимост при експлоатация на електрически пещи, Габрово, унитех 2014, ISSN 1313-230X.
- [5]. Киров Р.М., Гюров В.Н, Илиев И, Найденов Н, Относно практически възможности за постигане на електроенергийна ефективност и електромагнитна съвместимост при експлоатация на електрически пещи, УНИТЕХ, Габрово, 21-22 ноември, 2014г.
- [6]. Найденов Н., Киров Р., Съвременни постановки, нормативни изисквания и тенденции за постигане на енергийна ефективност, UNITECH 2014, Габрово, 21 ÷ 22 ноември 2014г, стр 1-139 ÷ 1-144, ISSN 1313-230X.
- [7]. Киров Р.М., Гюров В.Н., Македонски Н.И, Найденов Н., Резултати, тенденции и практически съвети за постигане на електроенергийна ефективност в промишлеността и бита, Енергиен форум 2014, стр.407-424
- [8]. Rumen Kirov, Valantin Gyurov, Nikolay Naydenov, Ilian Iliev, Techno-Economic Analisis of the consequences of lower Power Quality ELEKTROENERGETIKA 2015, September, Stara Lesna, Slovak Rpublic ISBN 978-80-553-1442-6.
- [9]. Rumen Kirov, Valantin Gyurov, Nikolay Naydenov, Ilian Iliev, Study Analysis and Recommendation for Improving the Electromagnetic compability in branch structure of the Republic of Bulgaria, ELEKTROENERGETIKA 2015, september, Stara Lesna, Slovak Rpublic ISBN 978-80-553-1442-6.
- [10]. Valantin Gyurov, Rumen Kirov, Nikolay Naydenov, Vladimir Chikov, study on Indeces for energy efficiency with the use of power measurement and control systems in electrical distribution networks, ELEKTROENERGETIKA 2015, September, Stara Lesna, Slovak Rpublic ISBN 978-80-553-1442-6.
- [11]. Киров Р.М., Гюров В.Н, Найденов Н, Илиев И., Изследване на енергетичните характеристики и качеството на електрическата енергия е електроснабдителните системи на „Евроманган” АД, енергиен форум 2015г., стр 30-35.
- [12]. Naydenov N., Implementation of SCADA System (Schneider Electric) with Training and Educational Purposes in the Laboratories of “ Electric Power Supply

and Electrical equipment” of the Department “Electric Power Supply and Electrical Equipment” at the Technical University of Varna, Electroenergetica, Varna, 2016, ISSN 1313-230X.

Публикации [8] [9] и [10] са с импакт факторл

СЪКРАЩЕНИЯ ИЗПОЛЗВАНИ В ТЕКСТА

ЕЕФ – енергийна ефективност;

ЕЕ – електрическа енергия;

ЕЕЕф – електроенергийна ефективност;

ЕМС – електромагнитна съвместимост;

ЕРП – електроразпределителни предприятия;

ЕС – европейски съюз;

ЕСС – электроснабдителни системи;

КРТ – компенсация на реактивните товари;

КБС – комунално-битов сектор;

МА – мрежови анализатори;

ННР – несиметричен и несинусоидален режим;

ПКЕЕ – показатели за качеството на електрическата енергия;

СДЕМ – Системи за диспечеризация;

СУЕ – система за управление на енергията;

СЕМ – система за енергиен мениджмънт;

ЦП – цехова подстанция;

ВАС – Building Automation and Control TAB – Testing, Adjusting, Balancing;

ELI – Ergonomic Lighting Indicator;

LENI – Lighting Energy Numeric Indicator;

ZEH – Zero energy house;