

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО РОБОТИКА

Секция „Роботика в енергетиката“

маг. инж. Десислава Иванова Делчева

ПОВИШАВАНЕ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА
ЕФЕКТИВНОСТ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за присъждане на образователна и научна степен „Доктор“

Научен ръководител:

Доц. дн инж. Илиян Христов Илиев

София, 2025 г.

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита от разширен семинар на лаборатория „Роботизирани системи в енергетиката“ към Институт по роботика - БАН

Защитата на дисертационния труд ще се състои в зала 427, бл.2. в Институт по роботика - БАН

Материалите по дисертационния труд са на разположение в деловодството на Институт по роботика - БАН

Благодарност: Изказвам уважение и благодарност към научния ми ръководител за ценните указания и практически препоръки при създаването на настоящата дисертация.

Научно жури

1. Доц. д-р Даниела Димитрова Парашкевова - ИР-БАН
 2. Проф. д-р инж. Август Йорданов Иванов - ИР-БАН
 3. Проф. д-р инж. Георги Митков Павлов - ВТУ „Тодор Каблешков“
 4. Доц. д-р Любомир Симеонов Секулов - ВТУ „Тодор Каблешков“
 5. Доц. д-р Христо Тодоров Ибришимов – Технически университет – Габрово
- Резерва:

1. Проф. д-р Мая Найденова Игнатова - ИР-БАН
2. Проф. д-р инж. Тодор Стоянов Джамийков – ИКТТ – БАН

Автор: Десислава Иванова Делчева

E-mail: desidelcheva79@gmail.com

Заглавие: Повишаване на електроенергийната ефективност в електроснабдителните системи

А. ВЪВЕДЕНИЕ

В последните 25 години Р. България се намира в тежка икономическа криза, изразяваща се в рязко намаляване на производство или пълно унищожаване на някои видове производства, коренна техническа, структурна, производствена и организационна промяна в промишлените обекти (ПО) и комунално-битовия сектор (КБС), което доведе до рязко понижаване на електропотреблението. Електроснабдителните системи (ЕСС) на ПО са изградени при други условия и изисквания за тяхното функциониране. Натоварването на мощностите на ПО, продължителността на тяхната работа и надеждността в експлоатацията им са добре обмислени, проектирани и реализирани при друга нормативна база, технически стандарти и технологични характеристики.

Промениха се чувствително и външните фактори, като взаимоотношенията с доставчиците на енергийни ресурси, възниква нов пазар на електротехническо обзавеждане и електротехнически услуги, настъпи промяна в собствеността на електроразпределителните предприятия (ЕРП), а също така се промени философията на формиране и реализиране на цената на електрическата енергия (ЕЕ). Всички тези фактори оказаха негативно въздействие за правилното функциониране на ЕСС на ПО и КБС в годините на прехода.

Електрическата енергия като материална субстанция притежава количествена и качествена страна. Качествената страна има количествен израз и се характеризира с т.н. показатели за качество на ЕЕ (ПКЕЕ). Обикновено те се отъждествяват с регламентирани от националните и международните стандарти специфични характеристики на захранващото напрежение.

По принцип качеството на ЕЕ представлява съвкупност от изисквания, описващи особеностите на процеса на предаване на ЕЕ за нейното непрекъснато използване с конкретни нормативно определени параметри на захранващото напрежение. Като резултат от двустранен процес на генерация и консумация, извършван едновременно в реално време, ЕЕ и нейното качество имат отношение, както към доставчиците, така и към потребителите на ЕЕ. В това отношение, основна задача на този процес е достигане на максимална удовлетвореност на потребителите от условията на електроснабдяване, а също така регламентиране на изисквания и отговорности към производителите на ел. обзавеждане и потребителите на ЕЕ, за производство на технически съоръжения и експлоатацията им без създаване на електрически смущения от тяхна страна.

Иновативните съвременни технологии изискват електронизация, въвеждане на регулируеми полупроводникови задвижвания и управление на

електричните процеси в мощните потребители, като електродъгови пещи, заваръчни агрегати, електролизни уредби, електрически багери, кранове, електровози и тролей, промишлено осветление и много други. Тези потребители и електронните им системи за контрол, регистрация и управление предизвикват сериозни смущения, като отклонение и колебание на напрежението и тока, несиметрия и несинусоидалност на напрежението и тока, както и повишена вероятност за прекъсвания на електроснабдяването от най-различен характер. Влошаването на ПКЕЕ от страна на потребителите на ЕЕ има сериозен негативен икономически ефект, изразяващ се в повишени загуби на мощност и ЕЕ.

Създаването на смущения от електромагнитен характер от страна на някои потребители може да се предизвика влошаване на нормалната работа на другите потребители, а също така да се влошат параметрите на мрежата, с което се намалява нейната пропускателна способност и качеството на ЕЕ, преминаваща по тази мрежа. В тази връзка под електромагнитна съвместимост (ЕМС) се разбира способността на електрообзавеждането и неговите елементи да работят нормално в електромагнитна среда на съществуваща ЕСС на ПО и да не създават недопустими смущения, нарушаващи нормалната работа на другите потребители, както и на ЕСС като цяло. Съществува пряка връзка между ПКЕЕ и характеристиките, даващи възможност за количествена оценка на ЕМС. В резултат на експериментални изследвания може да се установят вероятностно-статистически зависимости, както между отделните ПКЕЕ, така и между един или няколко ПКЕЕ и ЕМС, определена количествено от тях.

Цели и задачи на дисертационния труд

Целта на настоящия дисертационен труд е следната:

Да се проучат и разработят актуални теоретични постановки за минимизиране на загубите на мощност в ЕСС, които да намерят приложение в процесите на изследване и оптимизиране на баланса на мощностите в промишлени обекти и отрасли, като се направи технико - икономическа оценка на режимите на работа при дефиниран критерий за оптимизация.

За постигане на тази цел е необходимо да се формират и решат следните задачи:

1. Да се изследват начините за оптимизиране управлението на мощностите на промишлените предприятия за повишаване ефективността на електропотреблението им. За оптималната работа на машини и съоръжения в промишлените предприятия е от съществено значение познаването на техните параметри и взаимодействието помежду им. Оптимизирането на технологични процеси и режими на работа са неразривно свързани с търсенето на оптимални решения. Те се взимат на базата на задълбочени изследвания и анализ.
2. Да се направи обобщаване съвременните теоретични постановки за изследване, анализ на актуални теоретични постановки за минимизиране на загубите на мощност на електрическа енергия, методи с практически приложни интегрални характеристики;
3. Да се проведе практично приложно изследване на баланса на мощностите в ЕСС на промишлени обекти и отрасли и синтезиране на теоретична постановка на изследователския процес, приложен в подходящ за изследване обект;
4. Да се изследват възможностите за оптимални технико – икономически режими на работа на ЕЕС по критерий $\Delta P < 0$ за оптимизиране на балансовото уравнение на мощността.

Методи на изследване

Дисертационният труд се базира на голям обем експериментални изследвания, като всички данни и измервани величини са обработени и анализирани с методите на математическата статистика, теорията на планиране на експериментите и други инструменти.

Апробация на работата

Значителна част от резултатите на работата са представени в дисертацията и публикациите на автора.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационния труд е в обем на 173 стр., структурирана е в 4 глави, съдържа множество формули 235, 112 фигури, 43 таблици, 116 заглавия на литературни източници от които 75 на кирилица и 41 на латиница.

Навсякъде в дисертационния труд основните термини и определения са представени с техните съкращения и обозначения. Те съответно, за улеснение на прочита са изнесени в отделна страница в началото на дисертацията.

Б.КРАТКО ИЗЛОЖЕНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ПЪРВА ГЛАВА

ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР ВЪРХУ ШИРОК КРЪГ ВЪПРОСИ, СВЪРЗАНИ С ТЕМАТИКАТА НА РАЗРАБОТКАТА

1.1 Числови характеристики

За изучаване на дадено явление или процес не е необходимо да се познава изцяло с.в., а е достатъчно да се знаят някои нейни характеристики, наречени числови характеристики (ч.х.). Те се разделят на следните групи

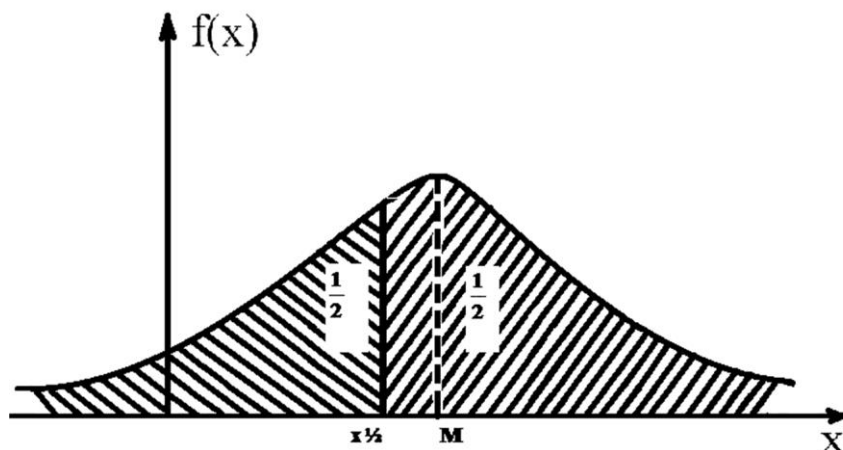
а) ч.х., определящи положението на с.в.; б) ч.х., определящи разсейването на с.в.; в) ч.х. свързани със симетрията и степента на заостреност на разпределението (р) на с.в. Към първата група ч.х. се отнасят математическото очакване (м.о.), модата и медианата. $M[x]$ на коя да е с.в. x представлява сума от произведенията на всички нейни стойности x_i и техните вероятности P_i .

$$M[x] = x_1 P_1 + x_2 P_2 + \dots + x_n P_n = \sum_{i=1}^n x_i P_i ; \quad (1.5)$$

М.о. е център, около който се групират в една или друга степен възможните стойности на дадената с.в. и с достатъчна от вероятностна гледна точка точност може да се приеме, че то е равно на средноаритметичната стойност на наблюдаваните значения на с.в. М.о. притежава следните свойства:

а) м.о. на постоянна величина е самата величина $M[C]=C$; б) постоянният множител може да се изнесе пред знака на м.о. – $M[C.x]=C.M[x]$; в) м.о. на произведение от две независими с.в. е равно на произведението на техните м.о. – $M[xy] = M[x].M[y]$; г) м.о. на сума от две с.в. е равно на сумата м.о. на събираемите – $M[x+y]=M[x]+M[y]$; М.о. на дадена с.в. съвпада с нейния първи начален момент. Мода на с.в. x се нарича онази нейна стойност, на която отговаря най- голямата вероятност (в.), т.е. за която закона разпределение (з.р.) има максимум (фиг. 1.5 т. М). Медиана се нарича стойността $x^{1/2}$ на с.в., за която е изпълнено условието (фиг. 1.5 т. $x^{1/2}$); $P(x < x^{1/2}) = P(x > x^{1/2})$, където $P(x < x^{1/2})$ представлява вероятността случайната величина x да приема стойности по-малки от $x^{1/2}$.

Към втората група ч.х. се отнася размаха, дисперсията (д.), средното квадратично отклонение (с.к.о.) и коефициента на вариация.



Фиг. 1.5

Използването на третия централен момент за определяне степента на асиметрия се дължи на следното: както вече се изясни четните централни моменти са винаги по-големи от нула. Нечетните централни моменти от трети и по-висок ред са равни на нула само при симетрично p , и са различни от нула при несиметрични p . За оценка степента на асиметрия естествено е да се избере най-простия от тях, т.е. третия централен момент.

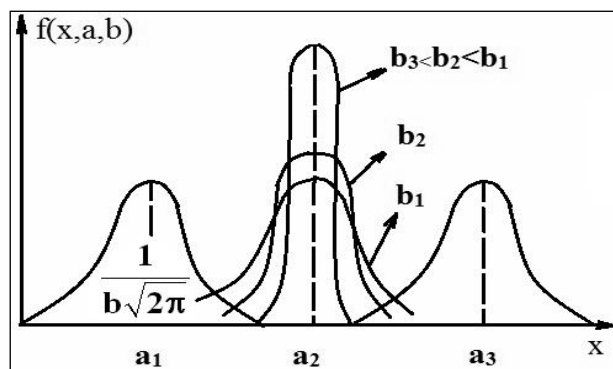
1.1 Нормален закон на разпределение

Много често за p на с.в. се съди от плътността на p , представляващо първа производна на функцията на разпределение $F(x)$:

$$F(x) = F'(x) \quad (1.15)$$

Нормалният закон (н.з.) на p , известен още като закон на Гаус намира широко приложение в техниката и в частност при изследване на ЕСС. На н.з. се подчиняват такива с.в., върху които влияят голям брой независими и равностойни по въздействието си фактори. Въздействията на факторите при това се сумират. В ЕСС такива с.в. са напреженията, токовете, различните товари и др.. На практика се смята, че p от 10 до 20 еднакво разпределени стойности на с.в. е достатъчно близко н.з. В частни случаи дори и при $n=6$ се получава приемливо приближаване до н.з. Плътността на p на н.з. и интегралната функция на p се задават със следните изрази:

$$f(x) = \frac{1}{b\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2b^2}}; F(x) = \frac{1}{b\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-a)^2}{2b^2}} dx; \quad (1.16)$$



Фиг. 1.8

Вижда се, че н.р. се определя от два параметъра: **a** и **b**. Може да се докаже, че: $M[x]=a$; т.е. м.о. на н.р. е равно на параметъра **a**, $\sigma[x]=b$, т.е. с.к.о. на н.р. е равно на параметъра **b**.

Влиянието на параметрите на н.р. върху формата на нормалната крива е следното: при изменение на параметъра **a**, не се изменя формата на нормалната крива, а това води само до придвижването ѝ по оста **0x**-надясно, ако **a** се увеличава и наляво, ако **a** намалява (фиг.1.8). По-особено е въздействието на параметъра **b** върху н.з.. С увеличаването на **b** (фиг.1.8), максималната ордината на н.з. намалява, самата крива става по-полегата т.е. снижава се към оста **0x**: при намаляване на **b**, кривата става по островърха и се разтяга в положително направление по оста **0y**.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ПЪРВА ГЛАВА

1. Разработени са теоретични основи за определяне на изчислителните товари на ниво проектиране и експлоатация на ЕСС. Анализът има за цел да представи указания за прилагането на разработените методики при определяне на различните видове мощности и възникващите загуби при техния трансфер, които са съставна част на балансовото уравнение на мощността при неговото оптимизиране. Постановките имат вероятно – статистически характер, което е най – адекватният подход при изследване процесите в ЕСС на ПО. Формулирани са подробни указания за определяне на максимално – продължителния товар при различни варианти, а също така е представена практично – приложна обстановка за изчисляване на характеристиките на товарите при несиметрично разпределяне на мощностите в трифазната система.

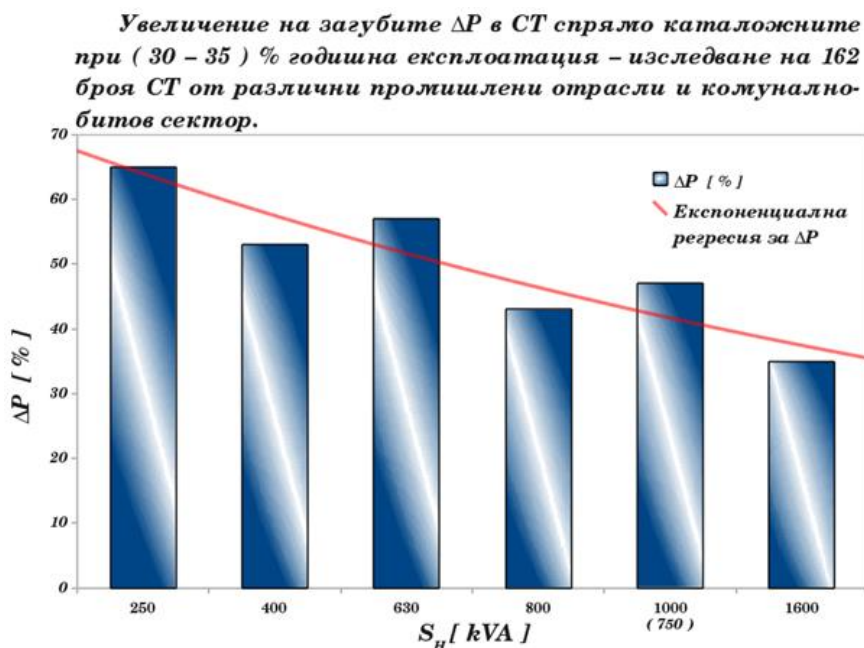
2. *Разработен е концептуален критичен подход при изследване на мощностите в ЕСС на ПО, който има за цел да даде указания и маркира основните направления при съставяне на баланса на мощностите при експлоатацията на енергитичните съоръжения. Разгледани са особеностите и характеристиките на електроенергийната инфраструктура и трансферираната през нея ЕЕ като материални субстанции на една обща единна система. Анализирани са реактивните връзки между различни електроенергитични категории, като са представени тенденциите и насоките на тяхното проявление и реализиране, а също така са дадени и някои количесвени съотношения в тази връзка. Маркирани са конкретни методически указания за осъществяване и създаване на рационални подходи за съставяне на баланса на мощностите в теоретичен и практично – приложим аспект.*

ВТОРА ГЛАВА

ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА АКТУАЛНИ ТЕОРЕТИЧНИ ПОСТАНОВКИ ЗА МИНИМИЗИРАНЕ НА ЗАГУБИТЕ НА МОЩНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ.

1.1. Особености и количествени характеристики на загубите на мощност и ел. енергия в различни звена на ЕЕС на страната

Тенденциите за изменението на загубите на мощност и електрическа енергия ΔP и ΔW в ЕСС на развитите страни са разнообразни – за някои се наблюдава повишаване, за други стабилизация, а за трети намаление. За САЩ и Русия например в началото на 21 век се регистрира ръст на ΔP в сравнение с периода 1970 – 1980г., за разлика от Швеция, Чехия, Германия и Япония където се регистрира понижение. Във Франция, Великобритания и Канада, изменение почти не се забелязва. Причините за динамиката на загубите са най-различни. Страните с по-ниски загуби съумяха своевременно да увеличат пропускателната способност на мрежите ВН, в сравнение с ръста на потребление, а също така организираха и внедриха в по-висока степен и по-ефективна компенсация на реактивните товари. В същото време по-дългите разстояния от подстанциите до крайният потребител, характерни за по-големите държави, оказват негативно влияние върху ΔP и това е основна причина за ръста на загубите при тях.



Фиг. 2.4

Продължителния период на експлоатация рязко влошава енергетичните параметри на СТ и намалява к.п.д.-то им с $(1 \div 3,5)\%$. От фиг. (2.4) се вижда, че повишаването на ΔP е по-чувствително за маломощните СТ, а също за най-често срещаната гама мощности 630 и 1 000 kVA.

2.2. Релативна връзка на загубите на мощност и параметрите на електрическите мрежи

Намаляване на плътността на тока, респективно увеличаване на пропускателната способност е възможно да се постигне чрез изграждане на кабелни и въздушни линии с по – голямо сечение. Това може да стане на стадий строителство или при реконструиране на съществуващите ЕСС. В последните години това мероприятие масово се провежда чрез някои задължителни предписания от страна на доставчика на ел. енергия при строителството на трафопостове, захранващи табла и кабелни трасета. Така например за градски и промишлени мрежи ЕРП-тата изискват минималните сечения на кабелните линии НН да бъдат 185 мм². Това не винаги е финансово изгодно за инвеститорите, но в болшинството от случаите е икономически оправдано. Всъщност това мероприятие се състои в създаване на методически правила, имащи за цел постигане на унификация при използване на различни сечения кабели. При тази постановка се търси компромис между две противоречиви тенденции:

- **Намаляване на загубите на ел. енергия с прилагане на по – големи сечения, което на практика води до намаляване на експлоатационните разходи C със ΔC ;**
- **Допълнителен разход на цветни метали в резултат на преоразмеряване на захранващите мрежи, което означава, че капиталовложенията K ще се увеличат с ΔK .**

Изхождайки от горните съображения могат да се разгледат два варианта:

I. Вариант – без унификация на сеченията на кабелната мрежа, като броя на използваните сечения е без ограничение;

II. Вариант – оптимална унификация на сеченията, като техния брой може да се сведе и до единица.

Сравнението на двата варианта се извършва по критерии минимум на ПГР. За първият вариант може да се запише:

$$Z_I = \alpha_H K + \quad (2.39)$$

За вторият вариант, както беше споменато, капиталовложенията K и експлоатационните разходи C ще се изменят с ΔK и ΔC :

$$Z_{II} = \alpha_H(K + \Delta K) + (C - \Delta C) \quad (2.40)$$

За да е ефективна дълбоката унификация е необходимо да бъде изпълнено условието: $Z_{II} < Z_I$ или $\alpha_H(K + \Delta K) + (C - \Delta C) < \alpha_H K + C$

Ако означим разликата $Z_{II} - Z_I$ с μ се получава:

$$\mu = \alpha_H(K + \Delta K) + (C - \Delta C) - \alpha_H K - C = \alpha_H \Delta K - \Delta C \quad (2.41)$$

Следователно могат да се запишат условията:

$\mu < 0$ - икономически целесъобразна унификация на сеченията на кабелната мрежа;

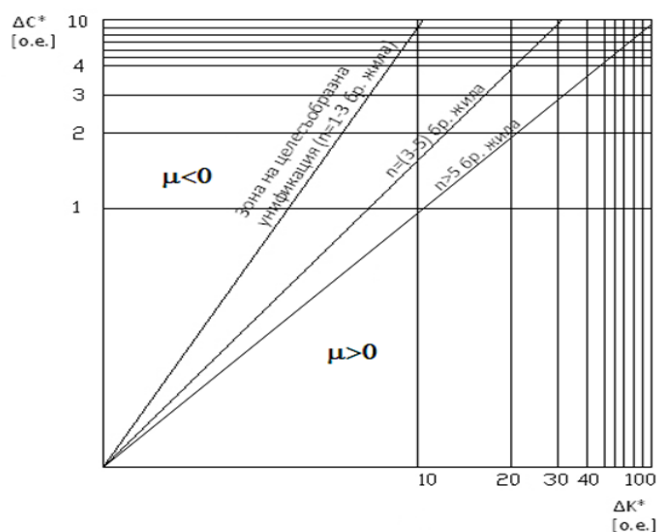
$\mu > 0$ - икономически неефективна унификация.

Изразът (2.66), удовлетворяващ първото условие ще бъде: $\alpha_H \Delta K - \Delta C < 0$ следователно $\alpha_H \Delta K < \Delta C$

При общо приет срок на откупуване $T_{отк} = 10$ г.; $\alpha_H = 0,1$ и следователно:

$$\Delta K < 10 \Delta C \quad (2.42)$$

Може да се направи извода, че за да бъде една дълбока унификация ефективна е необходимо намалението на експлоатационните разходи, получено от занижените загуби на мощност, да е с един порядък по – голямо, отколкото повишението на капиталовложенията, предизвикано от използване на кабелни мрежи с по – големи сечения. На базата на (2.3) са определени осреднени графични зависимости в о.е. и представени в логаритмичен мащаб за градски мрежи 0,4, 10 и 20 kV (фиг.2.7), като при разчетите ΔP се намалява до стойности $\Delta P = (7 \div 8,5)\%$.



Фиг.2.7 Осреднени графични зависимости за ΔK^* в относителни единици

Градските разпределителни мрежи, както на ниско напрежение, така и на средно напрежение имат редица специфични особености: еднотипност на използваните елементи, възможности за използване на съвременни индустриални технологии за монтаж и експлоатация, сравнително неголяма дължина, възможности за развитие и др. Тези особености са сериозна предпоставка за разработване на принципни постановки за унификация на сеченията на кабелните и въздушните линии, дори и за създаване на условия за „дълбока“ унификация с брой на сеченията $n=1$.

С помощта на гореизложената методическа постановка са извършени разчети за определяне на оптималния брой сечения на градски кабелни мрежи. Обект на изследване е ЕСС на гр. Варна на средно напрежение 10 и 20 kV и ниско напрежение 0,4 kV. Броя на изследваните трафопостове е 57, като част от тях са на 20 kV, а друга част на 10 kV. В болшинството от разгледаните случаи силовите трансформатори са 2x1000 kVA и 2x630 kVA. Специфичната плътност на товара ω е свързана с конкретното им разположение в кварталите „Чайка“, „Левски“, „Аспарухово“ и „Владиславово“, и се изменя в доста широки граници: $\omega = (2 \div 13)$ [MVA/km²]. Средната плътност на товара за града като цяло е около $(7,5 \div 8)$ MVA/km². Определя се от средната инсталирана мощност от всички трафопостове ($S_{cp} = 1540 \div 1640$ MVA) и застроената площ на града $F \approx 205$ km².

В табл.2.2 и табл.2.3 са показани препоръчителният брой сечения в обобщен вид.

Табл .2.2		
$\mu < 0$ – целесъобразна унификация на броя на сеченията		
Кабелна мрежа	$\omega < 6$ [MVA/km ²]	$\omega \geq 6$ [MVA/km ²]
0,4 kV 2x1000 kVA; 2x630 kVA	3÷4 сечения 50, 70, 90, 120 мм ² Алуминий	1÷2 сечения 90 и 120 мм ² Алуминий
10 kV 2x1000 kVA; 2x630 kVA	2÷3 сечения 120, 150, 185 мм ² Алуминий	1÷2 сечения 120 и 150 мм ² Алуминий
20 kV 2x1000kVA; 2x630 kVA	1÷2 сечения 150 и 185 мм ² Алуминий	1 сечение 185 мм ² Алуминий

Табл. 2.3		
$\mu > 0$ – икономически неефективна унификация на броя на сеченията		
Кабелна мрежа	$\omega < 6$ [MVA/km ²]	$\omega \geq 6$ [MVA/km ²]
0,4 kV 2x1000 kVA; 2x630 kVA	4÷8 сечения 25, 35, 50, 90, 120, 150, 185 мм ²	3÷5 сечения 50, 90, 120, 150 и 185 мм ²
10 kV 2x1000 kVA; 2x630 kVA	3÷5 сечения 35, 50, 90, 120, 150 мм ²	3÷4 сечения 50, 90, 120 и 150 мм ²
20 kV 2x1000kVA; 2x630 kVA	3÷4 сечения 90, 120, 150 и 185 мм ²	3 сечение 120, 150 и 185 мм ²

На база на проведените изследвания може да се направи следното обобщение:

1. Независимо от стойността на параметъра μ , при $\omega \geq 6$ MVA/km², оптималния брой сечения е до $n = 3$. При $\omega < 6$ MVA/km² този брой може да достигне $n = 6$ и повече.
2. За мрежи СрН унификацията на броя на сеченията на кабелите е доста по строго в сравнение с мрежи НН. Докато максималния брой на сеченията за кабели СрН е 1÷5 сечения, то за НН е 1÷8 сечения.
3. При дълбока унификация на сеченията на кабелните линии може да се постигне съществено снижаване на загубите на активна мощност, икономическия ефект от което съществено надхвърля допълнителните инвестиции, необходими за изграждане на усилената кабелна мрежа.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ВТОРА ГЛАВА

1. Във връзка с целите на разработката 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, обоснованост и тъждественост на вероятностно-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 теглово участие този значим параметър за електроенергетиката.

2. Разработен е комплексен многофакторен подход на базата на Теорията на планиране на експеримента и са получени мултифакторни математически модели за пет отрасли на индустрията в страната, с помощта на които се осъществява управление и оптимизиране на

конвенционалните загуби на мощност чрез подходящо въздействие от страна на с.ф. Този подход е с висока практично-приложна стойност и е апробиран в десетки промишлени обекти в индустрията и КБС.

3. Проведените изследвания за 20 годишен период (1994÷2013г.) в отрасловата структура на страната, показва че за болинството от анализираниите промишлени обекти и отрасли осреднените във времето конвенционални загуби на мощност са около 10%, с тенденция за покачване, като понастоящем те са вече около 14%. Експлоатацията на промишлени обекти, характеризираща се с режим на понижено натоварване, създава предпоставки за влошаване на техннко-нкономнческите показатели и генериране на нови тенденции за повишаване на конвенционалните загуби на мощност и електрическа енергия. Необходимо е спешно преструктуриране, реновиране и модернизиране на енергийните обекти и ЕСС в индустрията и бита и оптимизиране режимите на работа на ЕСС с цел спиране на тази негативна тенденция. Икономическите основания и предимства за това са приемливите срокове за откупуване на вложените инвестиции и капиталовложения, по-ниски от нормативно определените.

4. Предложен е метод, базиран на решаване на оптимизационна задача по критерий минимум на ПГР чрез дълбока унификация на сеченията на кабелните линии за НН и СН. В зависимост от специфичната плътност на товара ω [MVA/km²] е определена целесъобразността от такава унификация с цел постигане занижени загуби на мощност и ел.енергия. Методиката е апробирана за кабелната мрежа на гр. Варна, като са определени оптимален брой сечения на напрежение 0,4kV; 10kV и 20kV. Ефектът от повишаване на пропускателната способност на мрежите чрез унифициране на сеченията на кабелните линии се определя от понижениите загуби на мощност и ел.енергия, които достигат до нива $\Delta P=(7\div 8,5)\%$. Реализираните икономии при това са по-големи от направените инвестиции за усилване на кабелната мрежа.

5. Конвенционалните загуби на мощност и ел.енергия са основен енергетичен показател, който характеризира процесите в ЕСС от техннко-нкономнчески аспект. В тази връзка този показател може да се дефинира и утвърди като основен критерий за рационална експлоатация на ЕСС и да се използва при създаване на методологична постановка за оценка на Електроенергийната ефективност. Проведените изследвания в отрасловата структура на страната чрез Метода на планиране на експеримента са добра методологична основа, а получените адекватни, значими, достоверни и надеждни резултати могат да послужат като изходна база за изграждане на концепции за нормиране, стандартизиране и прогнозиране параметрите и характеристиките на електроенергийната ефективност, свързани със загубите на мощност и ел.енергия

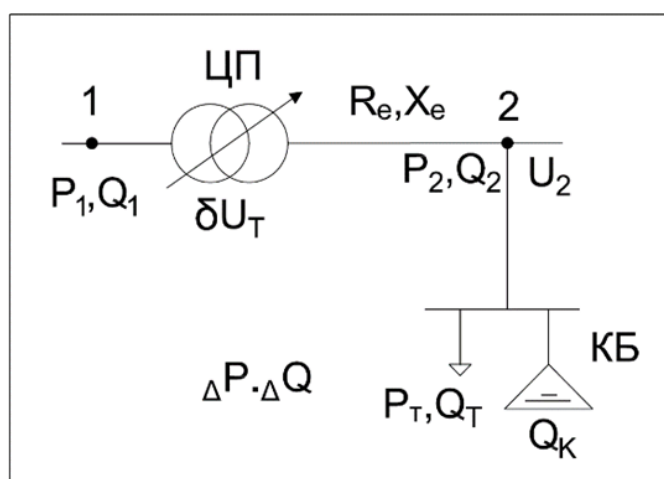
ТРЕТА ГЛАВА

ПРАКТИКО-ПРИЛОЖНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА БАЛАНСА НА МОЩНОСТИТЕ В ЕСС НА ПРОМИШЛЕНИ ОБЕКТИ И ОТРАСЛИ

3.1. СИНТЕЗИРАНЕ НА ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА НА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИЯ ПРОЦЕС

ЕСС са симбиоза от схематически постановки и режимни компоненти, в която основни параметри са мрежовите характеристики, загубите на мощност и електрическа енергия, процесите на КРТ, изменението на напрежението и баланса на мощностите.

Процесите на КРТ и регулиране на напрежението в ЕСС на ПП (фиг. 3.1) оказват директно въздействие върху загубите на мощност, респективно върху баланса на ЕЕ. Загубите на активна мощност в т. 2 от (фиг. 3.1), при изменение на режима на напрежение, могат да се представят във вида:



Фиг. 3.1

$$\Delta P(U) = \Delta P_a(U) + P_r(U) = \frac{R_e}{U_{2H}^2} \cdot U_{2*}^{-2} \cdot [P_2^2(U) + Q_2^2(U)] \quad (3.1)$$

където: $U_{2*} = U_2 / U_{2H}$.

При изменение на напрежението U_2 в границите $\pm 10\% U_H$ статичните характеристики могат да се представят във вида:

$$P_2(U) = P_2 \cdot U_{2*}^p \quad Q_2(U) = Q_2 \cdot U_{2*}^p \quad (3.2)$$

където: p и q са характеристични коефициенти, специфични за различните потребители;

P_2 и Q_2 – активна и реактивна мощност в т.2 при $U_2=U_{2H}$.

Ако във възловата точка 2 са включени няколко ЕП с активни и индуктивни мощности P_i и Q_i , то за p и q се получават изразите:

$$p = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \frac{P_i}{P_\Sigma} \quad q = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \frac{Q_i}{Q_\Sigma} \quad (3.3)$$

С отчитане на (3.2) изразът (3.1) се записва:

$$\Delta P(U) = \frac{R_e}{U_{2H}^2} \cdot [P_2^2 \cdot U_{2*}^{(p-1)} + Q_2^2 \cdot U_{2*}^{2(q-1)}] \quad (3.4)$$

При напречна КРТ в т. 2, вследствие на увеличаване на напрежението, се получава положителен регулиращ ефект върху активния и реактивен товар, т.е. увеличаването им, и отрицателен регулиращ ефект върху загубите на активна мощност. Съответно върху баланса на мощността въздействат две противоречиви тенденции и с цел да получим ефект на намаляване на електропотреблението, е необходимо да променяме напрежението в ЦП. Следователно, оптимизирането на такъв режим на работа може да стане, като едновременно извършваме КРТ и управляваме режима на напрежение.

При КРТ, във възлова точка 2, реактивната мощност ще бъде:

$$Q_2' = Q_2 - Q_k = Q_2 - k \cdot Q_2 = Q_2 \cdot (1-k), \text{ т.е. } \frac{Q_2'}{Q_2} = 1-k \quad (3.5)$$

където: $k=Q_k/Q_2$. Тогава, в съответствие с (3.5), за q се получава изразът:

$$q' = q \frac{Q_2}{Q_2'} - q_k \frac{Q_k}{Q_2'} = q \frac{1}{1-k} - q_k \frac{1}{1-k} \quad (3.6)$$

където: q' – нова стойност на характеристичния коефициент, отчитащ КРТ; q_k – характеристичен коефициент за КБ. Изследванията показват, че $q_k=2$ и тогава (3.6) се записва:

$$q' = q \frac{1}{1-k} - 2 \frac{1}{1-k} \quad (3.7)$$

При включване на КБ в т.2 напрежението U_2 се увеличава със стойност $U_k = k \cdot Q_2 \cdot X_e / U_{2H}$ и отчитайки добавката на напрежение от трансформатора δU_{T*} , относителното изменение на напрежението в т.2 ще се определи от:

$$U_{2**} = U_{2*} + \frac{X_e \cdot k \cdot Q_2}{U_{2H}^2} m \delta U_{T*} \quad (3.8)$$

Вземайки предвид (3.1 ÷ 3.8), изразът (3.4) се записва:

$$\Delta P(U) = \frac{R_e}{U_{2H}^2} \cdot \left[P_2^2 \cdot U_{2*}^{(p-1)} + Q_2^2 (1-k)^2 \cdot U_{2*}^{2(q-1)} \right] \quad (3.9)$$

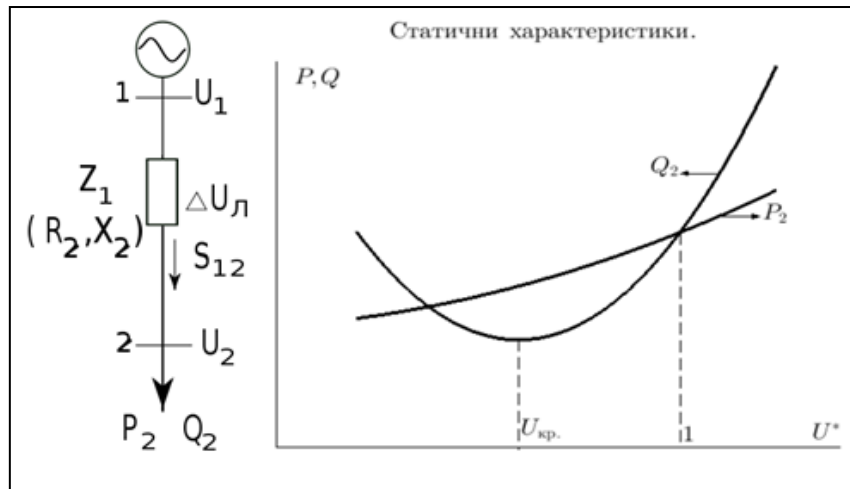
Прилагането на вероятностно-статистически методи на базата на ТПЕ, за определяне на загубите на мощност и електроенергия са подходи с висока достоверност и адекватност. Определянето на СФ в този процес е от най-голямо значение за постигане на точни и достоверни резултати. Тук е направена оценка на техническите особености на влияещите върху загубите СФ.

2.2. Относително отклонение на напрежението (U_*)

Режимът на напрежение директно влияе върху загубите на мощност чрез статичните характеристики $(U) = P \cdot U^p; Q(U) = Q \cdot U^q$;

$$\Delta P = R_{екв} \cdot U_H^{-2} [P^2 U^{2(p-1)} + Q^2 U^{2(q-1)}] \quad (3.20)$$

където : p и q – характеристични коефициенти за активен и реактивен товар;



Фиг.3.4 Статични характеристики в ЕСС

Изменението на напрежението се осъществява от регулиращите устройства – янсенови регулатори, волтдобавъчни трансформатори, синхронни компенсатори, напречно и надлъжно включени КБ и др. Товарите също имат регулиращ ефект, изяснено чрез (фиг.3.4). Напрежението в края на линията е $U_2 \approx U_1 - \Delta U_{\text{л}} = U_1 - \frac{P_2 x_2 + Q_2 x_2}{U_2}$. Ако по някаква причина напрежението в точка 2 - U_2 се понижи, в съответствие със статичните характеристики (фиг.2.7), ще се намалят стойностите на P_2 и Q_2 , намаляват се и загубите на напрежение $\Delta U_{\text{л}}$, и следователно стойността на U_2 ще се увеличи. В това се състои и т.н. регулиращ ефект, валиден ако е изпълнено условието $U > U_{\text{кр.}} \approx (0,7 \div 0,8)U_{\text{н}}$. При $U < U_{\text{кр.}}$ понижението на U_2 предизвиква нарастване на Q_2 (фиг.2.7), увеличаване на $\Delta U_{\text{л}}$ и допълнително понижаване на U_2 . След това Q_2 отново нараства, създава се лавинообразен процес и настъпва срыв на напрежението U_2 , което е аварийна ситуация. Предотвратяване на аварията може да се реализира чрез задействане на системата за автоматично регулиране на напрежението или изключване на товара.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ТРЕТА ГЛАВА

1. Формулирани са теоретичните основи и е обоснована възможността за използване на ТПЕ при определяне на СХТ. Проведените продължителни активно-пасивни експерименти за 6 отрасли в

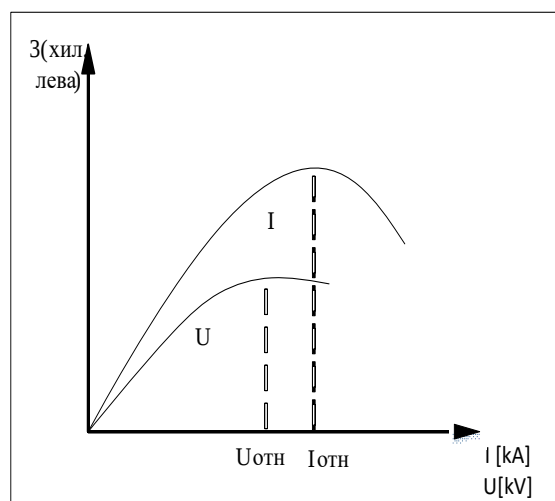
промишлеността и КБС в страната, при две нива на натоварване β_1 и β_2 , дават възможност и основание да се определят СХТ $P^*(U)$ и $Q^*(U)$. В резултат на вероятно-статистическа обработка на данните с помощта на ТПЕ, са получени ММ, направени са теоретични сравнителни анализи, определено е влиянието на натоварването β върху поведението на $P^*(U)$ и $Q^*(U)$, а също и върху характеристикните коефициенти $\bar{p}$ и $\bar{q}$ и регулиращите ефекти S_p и S_q . Чрез анализ на литературни източници и резултатите от изследванията е установено влиянието на СХТ върху електроенергийната ефективност на различни по характер потребители, както и за ЕСС като цяло.

ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

ОПТИМАЛНИ ТЕХНИКО – ИКОНОМИЧЕСКИ РЕЖИМИ НА РАБОТА НА ЕЕС ПО КРИТЕРИЙ $\Delta P < 0$

4.1. Влияние на качеството на напрежението върху технико-икономическите показатели на електролизния процес

Върху режима на електролизния процес и разхода на електрическа енергия голяма роля оказва качеството на напрежението, съставено от постоянна и променлива част. В тази връзка е необходимо да се установи оптимален режим по напрежение, обуславящо оптимални показатели, т.к. частта на ел. енергия достига до 40% от себестойността на продукцията. При дванадесет фазна схема на изправителя, обикновено вторичната намотка на захранващия трансформатор се състои от 4 части, две от които са по схема звезда и две в Δ , като векторите на вторичното напрежение са дефазирани на 30° . Напрежението се регулира под товар с помощта на стъпкови регулатори или плавно, с регулиране на индуктивността на дросели с насищане. При съвместна работа на два изправителя се обезпечава компенсация на 5-ти и 7-ми хармоник на тока, докато при разделна работа този ефект не се получава. В резултат на това загубите на мощност от наличието на висши хармоници са значителни. Оптимизиране на режима на напрежение на електролизния процес може да се извърши по критерий минимум на приведените годишни разходи. Основните съществени фактори, влияещи върху ПРГ, са обемът на произвежданата продукция, специфичният разход на електрическа енергия за единица продукция, загубите на активна и реактивна мощност в СТ и др., като първите два имат доминиращо значение, а третият може да се пренебрегне. При експериментални изследвания могат да се съставят функциите $3(U)$ и $3(I)$, представляващи зависимости на ПРГ от напрежението и тока на електролизерите фиг. 4.38.



Фиг. 4.38. Оптимални стойности $U_{\text{опт}}$ и $I_{\text{опт}}$

$$3(U) = a + cU^2; \quad 3(I) = d + f \cdot I^2 \quad (4.1)$$

Оптималните стойности $U_{\text{опт}}$ и $I_{\text{опт}}$ се определят като се диференцират изразите и производните се приравняват на нула:

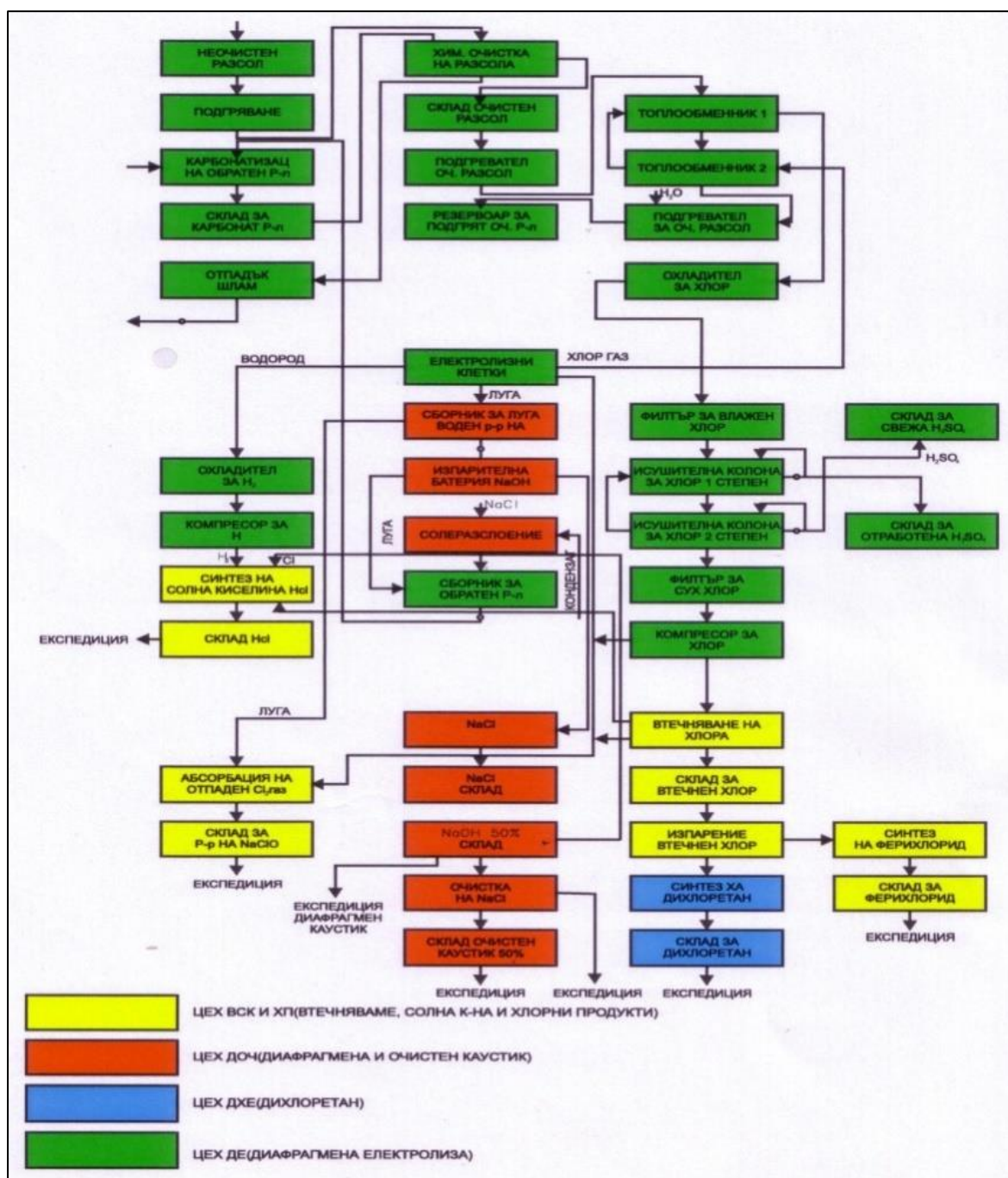
$$\partial 3 / \partial U = 0 \rightarrow U_{\text{опт}}; \quad \partial 3 / \partial I = 0 \rightarrow I_{\text{опт}} \quad (4.2)$$

$U_{\text{опт}}$ и $I_{\text{опт}}$ могат да обуславят еднакви или различни максимални стойности на ПРГ, като при втория случай се препоръчва оптимизирането на режима на електролизната уредба да се извърши чрез автоматично регулиране на стойността на тока.

4.2. Компенсация на реактивните товари - ефективен способ за икономия на ЕЕ при електролизните уредби

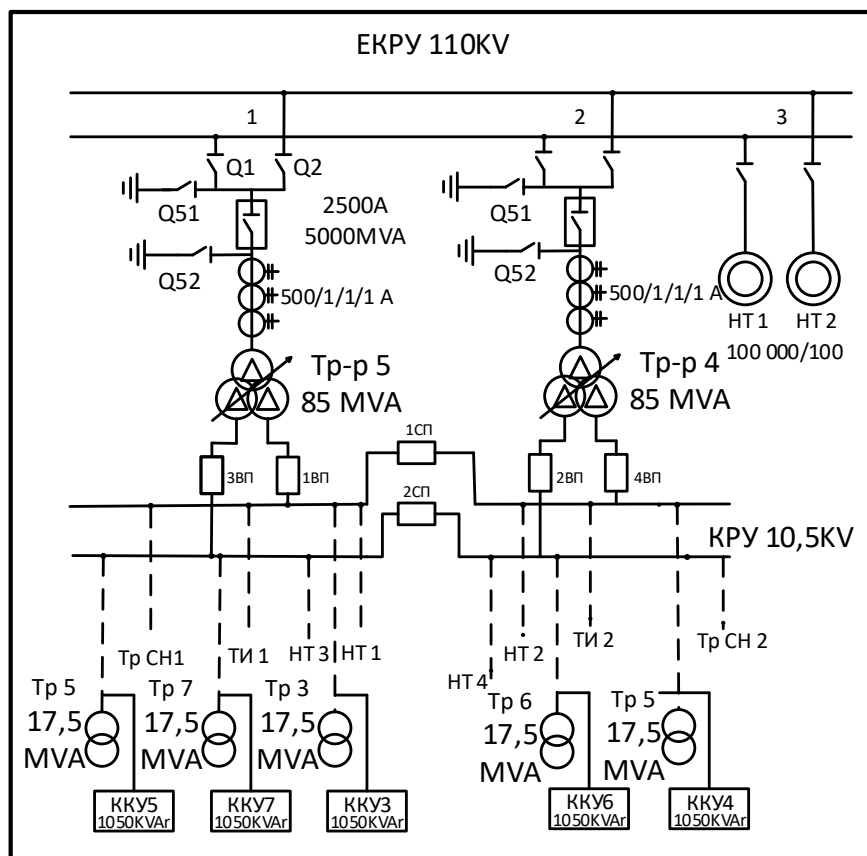
Обект на настоящото разглеждане е ЕСС на голям химически завод за производство на ПВЦ. Производствените му звена преработват до стокови продуктите на хлоралкалната електролиза от цех „Електролизен” (фиг. 4.41). Постъпващият разтвор на натриев хлорид, под въздействието на постоянен ел. ток се разлага на ванна луга /12 – 13 % NaOH/, влажен хлор и водород. Ванната луга се подава в цех „Каустик” за концентриране. Водородът и изсушеният и компримиран хлор се приемат в цех „Втечняване” за преработка до стокови продукти – течен хлор и солна киселина. В цех „Каустик” ванната луга се концентрира до 50 % диафрагмен каустик, а в цех „ДХЕ”, чрез директен синтез на изпарения хлор, от цех „Втечняване и солна киселина” и получавания по тръбопровод етилен, се получава дихлоретан. Синтезът се осъществява в реактор и скрубър в присъствие на катализатор. Цех „АВ” и цех „ПВК” осъществяват производството и доставката на

необходимите за производствените процеси азот, компримиран въздух, охладена оборотна и свежа вода, и топлоенергия.



Фиг. 4.41 Технологична схема на химически завод

Електролизният процес се осъществява в електролизери НУ 42 – 75, с общ брой на ваните 168. Същите са с модифицирана азбестова диафрагма и са произведени в САЩ, Италия и Германия. Електролизата се съпровожда от сложни процеси по повърхността на електродите. Границата електрод – разтвор играе ролята на кондензатор с активно-капацитивна проводимост, като тук се генерират и висши хармоници на тока (в.х.т.). По такъв начин, към анодния ток се наслагват и променливи съставлящи, които нарушават стационарността на електролизния процес. Експерименталните изследвания показват, че при наличие на пулсации в изправения ток, технологичният процес протича по-интензивно, отколкото при тяхното отсъствие. При пулсации с честота до 100 Hz, капацитетът на кондензатора „електрод – разтвор“ е най-голям и скоростта на протичане на технологичния процес рязко се увеличава.



Фиг. 4.42. Еднолинейна схема на завода

Пулсациите на тока подобряват също така равномерното му разпределение по повърхността на електродите, а също и газоотделянето от последните. Съществено влияние върху тока и напрежението ($I_{\text{ел}}$, $U_{\text{ел}}$) на електролизерите оказва отклонението на напрежението в захранващата мрежа на обекта $U_{\text{мр}}$ (фиг. 4.42).

Това са трансформатори Тр 3, 4, 5, 6, 7, $U_{\text{мр}} = 10,5 \text{ kV}$, при които регулирането на напрежението се осъществява ръчно под товар с диапазон на регулиране $11 \times 1,5 \%$. Зависимостта $U_{\text{ел}} = f(I_{\text{ел}}, U_{\text{мр}})$ е необходимо да се оптимизира не само по отношение на технологичните параметри на електролизера, но и с отчитане на съществения фактор $U_{\text{мр}}$. Както беше показано, приведените годишни разходи зависят в квадратична форма от $U_{\text{мр}}$ и $I_{\text{ел}}$ (фиг. 4.42) и могат да се дефинират оптимални стойности $U_{\text{мропт}}$ и $I_{\text{елопт}}$. Икономическият ефект от въвеждане на стабилизация на $I_{\text{ел}}$ в околността на оптималната стойност $I_{\text{елопт}}$ достига стойности (35 – 40) хил. лв. за година. Електролизните уредби се захранват с постоянно напрежение и ток $U_{\text{ел}} = 600 \text{ V}$; $I_{\text{ел}} = 240 \text{ A}$, получени от 12 фазни неуправляеми изправители схема Ларионов, с естествено минимизиране нивото на висшите хармоници $n=12$; $k = \pm 1$. Техен основен недостатък е генерирането на в.х.т. и консумацията на реактивна мощност от мрежата, което налага съответната компенсация. Компенсиращата система на $10,5 \text{ [kV]}$, $Q_k=5100 \text{ [kVAr]}$, е изградена основно за подобряване на фактора на мощността на цех “Електролиза”, който е основен енергиен консуматор на завода. Необходимата компенсираща мощност се определя с помощта на израза:

$$Q_k = k \cdot P_{\text{ср}} \cdot (\text{tg}\varphi_{\text{е}} - \text{tg}\varphi_{\text{ж}}) \quad (4.3)$$

където: $P_{\text{ср}}$ [kW] – среден месечен товар за пром. обекти; $\text{tg}\varphi_{\text{е}}$ и $\text{tg}\varphi_{\text{ж}}$ - естественият и желаният $\text{tg}\varphi$, съответстващи на $\cos\varphi_{\text{е}}$ и $\cos\varphi_{\text{ж}}$; k – коефициент, отчитащ неравномерността на товаровия график ($k = 1,05 - 1,25$). В таблица 4.13 са представени показаните по-горе величини като средни стойности за съответния месец.

Анализът на получените в табл. 4.13 резултати показва, че най-голямата реактивна мощност е за месец декември, при която $Q_k = 1247,26 \text{ kVAr}$. На базата на тази мощност са избрани кондензаторните батерии и е уточнено

тяхното разпределение по групи. Мощността на кондензаторните батерии се избира в съответствие с формулата:

$$\sum Q_{\text{кб}} \approx Q \quad (4.4)$$

Табл. 4.13 Енергетични показатели в годишен разрез						
Месец	k	P _{ср.}	Q _{ср.}	Tgφ _с	Tgφ _ж	Q _к
	[-]	[kW]	[kVAr]	[-]	[-]	[kVAr]
Януари	1,01	9 688,28	7 970,11	0,823	0,484	3 317,146
Февруари	1,01	9 235,57	7 441,81	0,806	0,484	3 003,592
Март	1,01	11 930,72	9 183,47	0,770	0,484	3 446,308
Април	1,01	10 244,21	7 610,63	0,743	0,484	2 679,783
Май	1,01	12 197,78	9 260,68	0,759	0,484	3 387,933
Юни	1,01	10 018,86	7 657,08	0,764	0,484	2 833,334
Юли	1,01	11 745,86	8 480,69	0,722	0,484	2 823,470
Август	1,01	12 983,06	8 850,42	0,628	0,484	2 596,352
Септември	1,01	14 281,67	10 099,38	0,070	0,484	3 216,661
Октомври	1,01	14 623,89	10 275,07	0,703	0,484	3 234,658
Ноември	1,01	18 075,14	18 075,14	0,682	0,484	3 614,660
Декември	1,01	17 971,00	17 971,25	0,718	0,484	4 247,260

Възприемаме принципа на групова компенсация на реактивните товари, като броят на групите съответства на броя на токоизправителите, и всяка група е присъединена към съответен изправител (фиг. 4.42). Мощността и енергетичните параметри на отделните изправители са еднакви, което е основание компенсиращите мощности на отделните групи да бъдат също еднакви. Отчита се също така и фактът, че прекомерното раздробяване води до значително увеличаване на комутационно-защитната апаратура и усложнява схемата. Мощността на комплектните кондензаторни устройства, при компенсация на средно напрежение (6 – 10 kV), се определя от табл. 4.14:

Табл. 4.14						
Препоръчителна мощност на ККУ за U _н = 6 – 10 kV						
300	450	600	750	900	1050	1200

Изхождайки от горните съображения, а също и от стандартната гама на мощностите на произвежданите от различни фирми кондензаторни батерии,

се избира кондензаторната мощност на всяка група (ККУ) да бъде $Q_{\text{КБг}} = 805 \text{ kVar}$, следователно за общата компенсираща мощност се получава:

$$\sum_{i=1}^5 Q_{\text{КБ}i} = 4025 \text{ kVar} \quad (4.5)$$

За подобряване на мощностите във всяка група се изхожда от статистическите данни за динамиката на необходимата компенсираща мощност Q_k , представена в табл. 1. Вижда се, че разликата между най-голямата и най-малката стойност на Q_k е:

$$\Delta Q_{\text{Кmax}} = Q_{\text{Кmax}} - Q_{\text{Кmin}} \approx 2000 \text{ kVar}. \quad (4.6)$$

Най-правилен от практическа гледна точка е подходът за разпределение на , правопрпорционално на всяка компенсираща група. Последното означава, схемно да се осигури възможност за включване и изключване на компенсираща мощност в границите 350 – 400 kVar. Понастоящем, съобразно Европейските норми, повечето кондензаторни батерии се произвеждат за $U_n = 7,2 \text{ kV}, 12 \text{ kV}, 24 \text{ kV}$. Това е основание всяка група да бъде съставена от две кондензаторни батерии със стандартни мощности при $U_n = 7,2 \text{ kV}$, съответно равни на: $Q_{\text{КБ1}} = 700 \text{ kVar}$, $Q_{\text{КБ2}} = 350 \text{ kVar}$. Същите, работещи при номинално напрежение $U_n = 10,5 \text{ kV}$, ще имат мощност съответно: $Q_{\text{КБ1}} = 536 \text{ kVar}$, $Q_{\text{КБ2}} = 268 \text{ kVar}$. Полученото дотук се определя от израза:

$$Q_{\text{КБ}} = Q_{\text{КБн}} \frac{U^2}{U_n^2} \quad (4.7)$$

Така реализираното три стъпково изграждане на всяка група дава възможност за постигане на оптимизирани режими на реактивните мощности. Вследствие на всичко това се избират пет броя ККУ, като мощността на всяко едно е $Q_{\text{ККУ}} = Q_{\text{КБ1}} + Q_{\text{КБ2}} = 700 + 350 = 1\,050 \text{ kVar}$. Всяко от тях е съставено от два броя ККУ с посочена мощност и се изгражда от две самостоятелни полета с възможност за независимо комутиране. Избрани са следните трифазни кондензаторни батерии:

$Q_{\text{КБ1}}$ – тип CPEFS 23 – 12,5/700 производство на ZEZ Silko ;

$Q_{\text{КБ2}}$ – тип CPEFS 23 – 12,5/350 производство на ZEZ Silko ;

Q_{KB21} – тип CPAKS 11 – 12/100 производство на ZEZ Silko ;

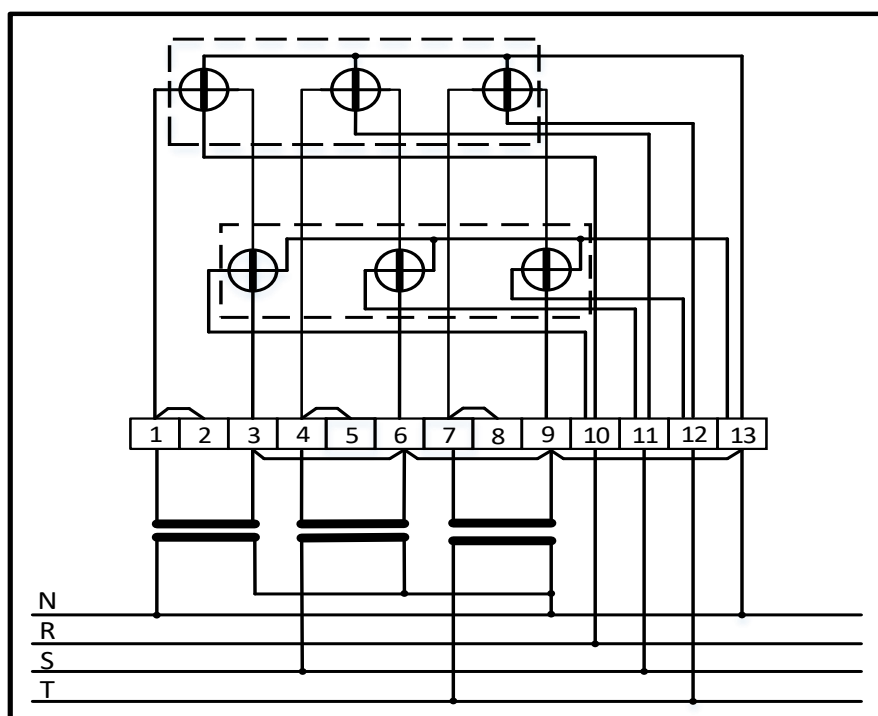
Q_{KB22} – тип CPAKS 11 – 12/250 производство на ZEZ Silko ;

Q_{KB21} и Q_{KB22} са свързани паралелно, които работят като една КБ, с мощност 350kVAr.

При синтеза на схемното решение е застъпен принципът за реализиране на максимално опростена схема, като в същото време се осигурява необходимата надеждност в работата на съоръжението. Освен това, схемното решение, в много силна степен, трябва да застъпва основната функция на съоръжението, а именно ефективна компенсация на реактивните товари, и в по-малка степен, останалите по-второстепенни функции, като например регулиране на напрежението, регулиране на тока и други.

Висшите хармоници на напрежението влияят съществено на режима на работа на кондензаторните батерии. В значителна степен се изменя линейният характер на честотните характеристики на мрежата и е възможно възникването на резонансни явления в $L - C$ контура на мрежата и КБ. Използването на ФКУ за намаляване на THD, чрез подтискане на част от висшите хармоници, е не винаги ефективно, тъй като освен канонични хармоници, съществуват и аномални, които трудно се прогнозират и анализират. Като най-прост метод за реализиране на ФКУ може да се счита използването на КБ, включени непосредствено към шинната система без реактори, какъвто е случаят в настоящата схема. КБ имат основна функция компенсация на реактивните товари, но наред с това те се явяват и естествени филтри на висшите хармоници на тока, тъй като съпротивлението им се намалява с нарастване на честотата и се осъществява шунтиране на съответния хармоник на тока.

За определяне на показателите на качество на ел. енергия и на ефекта от компенсацията на реактивните товари са проведени изследвания с помощта на измервателна система, на базата на ABB Power Plus, работеща със софтуер PPDS, разработен от Power T&D. За нуждите на изследването е разработен специален алгоритъм в среда Mathcad.



Фиг. 4.43 Схема на свързване на измервателната апаратура

Системата се свързва към съществуващото измерване по схема показана на фиг. 4.43.

Ефектът от компенсацията се изразява с намаляване на реактивния товар Q и деформационната мощност D , съответно с около 29% и 52%, с което загубите на мощност и електрическа енергия се намаляват в границите (30 – 40)% и консумацията на електрическа енергия се снижава с (2-4)%.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

1. Постигането на електроенергийна ефективност, в индустрията и КБС, е многопараметрична задача и тя трябва да се решава по критерий, определен от неравенството $\delta P^ < 0$. Експериментално е доказано, че с намаляване на напрежението U_{2**} в границите $\pm 10\%$ и увеличаване на $\cos\phi$, потребляемата мощност, респективно δP^* се намалява и може да приеме отрицателни стойности. Това намаление е толкова по-силно изразено, колкото е по-малък коефициентът на товара β . Получените с помощта на ТПЕ аналитични изрази за δP^* дават възможността да се минимизира балансовото уравнение на мощността, чрез такова съчетаване на влияещите фактори, така че*

да се изпълни условието $\delta P^* < 0$. Над 60% от изследваните промишлени обекти с понижено натоварване $\beta < 0.5$ удовлетворяват това условие. В резултат на изследванията е предложена методика за икономичен режим на работа на ЕСС по критерий $\delta P^* < 0$ и дефинирани оптимални области и диапазони на изменение на СФ.

2. Проведени са анализи и са дадени указания и препоръки за постигане на ЕЕЕф при експлоатация на различни електрически уредби. При електролизните уредби е потвърдена възможността за оптимизиране на режима на работа чрез регулиране на захранващото напрежение. Набелязани са редица целесъобразни мерки за икономии на електрическа енергия при електродъговите и електросъпротивителните пеци. Посочени са редица мероприятия и технически възможности за усъвършенстване на електрозаваръчната технология. Възможностите за постигане на електроенергийна ефективност, при компресорните и вентилационните уредби, са детайлно анализирани. Проведено е изследване с цел набелязване на мерки за икономично потребление при мощни еднофазни потребители, като са маркирани основни принципи и възможности за намаляване на общите загуби на мощност и електрическа енергия.

ОБЩИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

В работата подробно са разгледани класически примери, като съвременните системи за задвиждане, непрекъснатите източници на захранване (UPS), софт стартери за двигатели и много други. В бъдещето индустриално развитие тази тенденция все повече ще се наложи. Тъй като преобразователната технология навлиза широко в индустриалните предприятия, системите за електроснабдяване се замърсяват и идеалният синусоидален ток и напрежение се срещат рядко. От друга страна, тези модерни системи увеличават проблемите, особено по отношение качеството на мощността.

Направеният анализ на методите за определяне на изчислителните товари и техните характеристики дават възможност за по-пълно, достоверно и точно определяне на различните видове мощности и загубите, свързани с тях и от там се създават по ефективни постановки за съставяне на оптимални баланси на тези енергийни показатели и характеристики. При изследването им трябва да се подхожда комплексно, като се отчита влиянието на различни съществени фактори, възникващи на различни нива на ЕСС, а понякога предизвикани дори и от действието на природни явления. Нарушаването на енергийните баланси най-често е вследствие на нерационалната работа на силовото електрообзавеждане на ниско, средно или високо напрежение, възникналите явления при аварийни, предходни и комутационни процеси, а така също и при грешки и нецелесъобразно управление и манипулации на електротехническите съоръжения и системата като цяло. Както беше маркирано по-горе, въздействие върху енергийните баланси могат да оказват и естествени (природни) източници на енергия и смущения, като мълниите, магнитното поле на Земята, статичното електричество и други. Следователно, върху електроенергийните характеристики и баланси на мощностите, могат да оказват влияние от една страна електроенергийната инфраструктура, представляваща стационарна материална субстанция с електротехнически и технико-икономически показатели и от друга страна, това е трансферираната през тази инфраструктура електрическа енергия, която е също специфична материална субстанция със своите особени параметри и характеристики.

Болшинството от промишлените обекти не реструктурираха своите ЕСС в съответствие с новите условия на електропотребление с понижено натоварване и това води до влошени технико-икономически показатели в

процеса на експлоатация. Необходимо е да се вземат спешни мерки за повишаване на електроенергийната ефективност в ЕСС на промишлените обекти и комунално-битовия сектор. Реновирането и модернизацията на електрическите съоръжения в електроенергетиката, обуславя рязко намаляване на загубите на мощност и ел. енергия и има своите технико-икономически основания и предимство предвид сравнително приемливите срокове на откупуване, по-ниски от нормативно утвърдените.

Направена е методическа постановка, където са извършени разчети за определяне на оптималния брой сечения на градски кабелни мрежи. Обект на изследване е ЕСС на гр. Варна на средно напрежение 10 и 20 kV и ниско напрежение 0,4 kV.

На база на проведените изследвания може да се направи следните изводи:

1. Независимо от стойността на параметъра μ , при $\omega \geq 6 \text{ MVA/km}^2$, оптималния брой сечения е до $n = 3$. При $\omega < 6 \text{ MVA/km}^2$ този брой може да достигне $n = 6$ и повече.
2. За мрежи СрН унификацията на броя на сеченията на кабелите е доста по строго в сравнение с мрежи НН. Докато максималния брой на сеченията за кабели СрН е $1 \div 5$ сечения, то за НН е $1 \div 8$ сечения.
3. При дълбока унификация на сеченията на кабелните линии може да се постигне съществено снижаване на загубите на активна мощност, икономическия ефект от което съществено надхвърля допълнителните инвестиции, необходими за изграждане на усилената кабелна мрежа.

В. АВТОРСКА СПРАВКА ЗА ПРИНОСИТЕ НА РАЗРАБОТКАТА НАУЧНИ ПРИНОСИ

1. Синтезиран е метод в многофакторно пространство за оценка на загубите на активна мощност в зависимост от четири основни фактора, даващ възможност за определяне на оптимални области с минимална стойност на изходния параметър.

2. Предложен е научно обоснован метод и вероятностно - статистически подход за анализ на баланса на мощностите в промишлените обекти и в отрасловата структура на страната, с помощта на които в глобален аспект се обосновава критерий за постигане на висока енергийна ефективност.

НАУЧНО - ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Представена е постановка в практично приложен аспект за определяне на електрическите товари в промишлени обекти на база прилагане на вероятностно - статистически подход в изследователски процес, с помощта на която най – адекватно и точно се определят загубите на мощност и електрическа енергия.

2. Разработена и анализирана е методология за оценка на електроенергийната ефективност с цел практичното прилагане в реалната експлоатация на различни електрически съоръжения и уредби.

Публикации на автора във връзка с дисертационния труд

1. Илиян Илиев, Десислава Делчева, Росен Йорданов, Минимални загуби на електрическа енергия в процеса на експлоатация на силов трансформатор, Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“, 2023 г., стр. 233 – 236, ISSN 2738-8808.
2. Илиев И., Делчева Д., Синтез на техническо решение за компенсация на капацитивния товар. Енергиен форум 24-27 юни 2025., София. ISSN 1313-2962, стр. 434-440
3. Илиев И., Делчева Д., Минимизиране загубите на мощност чрез оптимизиране ел.графици на промишлени обекти. Енергиен форум 24-27 юни 2025., София. ISSN 1313-2962, стр. 419-433
4. Илиев И., Петров П., Делчева Д., Оптимално разпределение и разположение на компенсиращите мощности в международен аспект. Енергиен форум 24-27 юни 2025., София. ISSN 1313-2962, стр. 525-535
5. Илиев И., Делчева Д., Методическа постановка за определяне икономическите загуби от влошени показатели в качеството на електрическата енергия. Енергиен форум 27-30 юни 2023., София. ISSN 1313-2962,

Автор: Десислава Иванова Делчева

E-mail: desidelcheva79@gmail.com

**Заглавие: „Повишаване на електроенергийната ефективност в
електроснабдителните системи”**