ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ

КАТЕДРА „ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕ И ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ“

маг. инж. Младен Антонов Пройков

„ИЗСЛЕДВАНЕ, АНАЛИЗ И ПРЕПОРЪКИ ЗА ПОСТИГАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ В РЕЖИМ НА ПОНИЖЕНО НАТОВАРВАНЕ“

АВТОРЕФЕРАТ

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

Научни ръководители:
1. доц. д-р инж. Румен Михайлов Киров
2. проф. д.н. инж. Росен Николов Василев

ВАРНА
2018

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ

КАТЕДРА „ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕ И ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ“

маг. инж. Младен Антонов Пройков

„ИЗСЛЕДВАНЕ, АНАЛИЗ И ПРЕПОРЪКИ ЗА ПОСТИГАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ В РЕЖИМ НА ПОНИЖЕНО НАТОВАРВАНЕ“

АВТОРЕФЕРАТ

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

Научни ръководители:
1. доц. д-р инж. Румен Михайлов Киров
2. проф. д.т.н. инж. Росен Николов Василев

ВАРНА
2018

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита от разширен катедрен състав на катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“, на „Електротехнически факултет“ към „Технически университет“ – Варна на **21.06.2018г.**

Изследванията по дисертационният труд са извършени в „Елкабел“ АД - гр. Бургас, „Промет стийл“ ЕАД – гр. Бургас, Мини „Марица – изток“ – гр. Бургас

Защитата на дисертационният труд ще се състои в зала **121** на „Технически университет“ - Варна

Материалите по дисертационният труд са на разположение в канцеларията на катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“ при „Технически университет“ - Варна

Благодарност: *Изказвам признателност, уважение и благодарност към двамата научни ръководители за ценните указания, съвети и практически препоръки при създаването на настоящата дисертация, а също и за всестранната подкрепа и съдействие в преодоляване на затрудненията от най – различен характер.*

Автор: Младен Антонов Пройков
e-mail: m_proykov@abv.bg
Заглавие: *„Изследване, анализ и препоръки за постигане на електромагнитна съвместимост в електроснабдителните системи в режим на понижено натоварване“*

А. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

При изследване и анализ на електромагнитната съвместимост (ЕМС) трябва да се подхожда комплексно, разглеждайки източниците на електромагнитни смущения, каналите на тяхното разпространение, техническите средства за изследването им и възможностите за минимизиране на негативното им влияние. Нарушаването на ЕМС е свързано както с действието на електроенергийните съоръжения и свързаните с тях явления и процеси, но и с действието на естествени източници, като електромагнитни смущения от мълниите, магнитното поле на Земята, влиянието на статичното електричество и др. Негативното въздействие на електромагнитните смущения трябва да се разглежда както от технико – икономически аспект, така и като екологическо и здравословно влияние върху обществото.

Електромагнитните смущения въздействат негативно както на цялата електро - енергийна инфраструктура така и на трансфериираната през нея електрическа енергия (ЕЕ). Проблемите свързани с качеството на ЕЕ, нейното контролиране, управление и оптимизиране, имат релативна връзка с устойчивостта и надеждността на ЕСС, загубите на ЕЕ, специфичния разход на ЕЕ за единица продукция, електроенергийната ефективност, претоварване или недонатоварване на мрежите и съоръженията, генериране на прекомерни количества реактивни потоци и др. Направеният анализ показва, че ЕМС трябва да се разглежда в пряка връзка с ПКЕЕ и характеристики зависещи от КЕЕ, като: „надеждност и устойчивост на ЕСС“; „ЕЕЕф“; „специфичен разход на ЕЕ“; „загуба на мощност и ЕЕ“; „структурни и схемотехнически особености на ЕСС“ и др.

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Целта на настоящия дисертационен труд е:

Да се проведат изследвания на мощни промишлени обекти за ЕМС, като се анализира влиянието на ПКЕЕ върху различни характеристики на ЕСС в нормален режим и в режим на понижена консумация. Да се проведе обстоен анализ на основните потребители, влошаващи ЕМС в реалните промишлени обекти в страната и се предложи въвеждане на мерки, ограничения и технически решения за подтискане на негативните явления, влошаващи ЕМС. Да се предложат научно обосновани, адекватни на условията на електроенергийните съоръжения препоръки за подобряване на ЕМС в отрасловата структура на страната, които да представляват наръчник и ценно помагало за проектанти и експлоататори в техния професионален труд.

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

1. Да се анализират задълбочено и пълно характеристиките на електромагнитните въздействия, влияещи върху ЕМС и се маркират основните източници, предизвикващи силно изразено негативно влияние върху биологичните функции на човешкия организъм и влошаващи нормалната експлоатация на електрообзавеждането.

2. Аналитично, обстоятелствено и пълно да се обследват националните и международните стандарти за електромагнитни въздействия и качество на ЕЕ, пряко свързани с ЕМС. Анализа да дава възможност за маркиране на тенденции, препоръки и указания за подтискане и минимизиране на негативните последствия от тези въздействия, както и да съдържа критични елементи относно обективността, приложимостта при прилагането им в условията на електроенергийната обстановка и режимите на работа на електрооборудването в страната.

3. Да се формулират и предложат научно – обосновани методически постановки, оценяващи въздействието на електромагнитните смущения и качеството на КЕЕ върху ЕМС, като се акцентира върху анализа и преценката за вероятността за възникване на резонансни явления в ЕСС.

4. Да се синтезират практично приложни постановки имащи пряка връзка с провеждане на изследователския процес. Тези методики да се създадат на база на задълбочени проучвания и прецизен експертен анализ, да са адекватни, научно – обосновани и тъждествени и да използват диференциран подход в екпериментaлните изследвания.

5. Да се проведат реални изследвания за установяване на корелационни зависимости между различни енергетични показатели и ПКЕЕ, с цел маркиране възможностите за подобряване на ЕМС. Да се формулира методика за оценка влиянието на комутационните пренапрежения върху работата на ел. обзавеждането и чрез прилагане на вероятностно – статистически подходи се установи степента на това влияние.

6. Да се проведат мащабни и задълбочени изследвания в режим на понижено натоварване, за установяване влиянието на ПКЕЕ върху ЕМС, като се определи тежеста на резонансните явления в това влияние. Чрез прилагане на комплексен многофакторен подход в изследователския процес да се формулират правила и указания в отрасловата структура на промишлеността, за подобряване на характеристиките на ЕМС при експлоатация на ЕСС.

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 експеримента (ТПЕ), Matlab, Mathcad и др.

Апробация на работата

Значителна част от резултатите от работата са представени в публикации (седем обявени в дисертацията) на следните научни форуми:

- XXVI-та Международна научна конференция, Стара Загора, юни 2016г.
- XVI-та национална конференция по осветление с международно участие BulLight 2017, Созопол, май 2017г.
- XXVII-та Международна научна конференция, С. Загора, юни 2017г.
- Научна конференция „Енергиен форум“, Варна, юни 2017г.
- VII-ма международна конференция BalkanLight, София, юни 2018г.
- Научна конференция „Енергиен форум“, Варна, юни 2018г.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **186** стр., структуриран е в 4 глави, съдържа множество формули, фигури, таблици, **127** литературни източници, на кирилица и латиница. В автореферата номерацията на фигурите, формулите и таблиците съответства на тази в дисертационния труд.

Навсякъде в дисертационния труд и реферата, основните термини и определения са представени с техните съкращения и обозначения, които за улеснение са изнесени на отделна страница в началото на дисертационния труд.

Б. КРАТКО ИЗЛОЖЕНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ПЪРВА ГЛАВА

ЛИТЕРАТУРЕН ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗ НА ШИРОК ВЪПРОСИ, СВЪРЗАНИ С ТЕМАТИКАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.

Редица международни организации, като Световната организация по здравеопазване (СОЗ), Международната електрическа компания (МЕК), Международната организация за защита от йонизирани излъчвания (IKPA), Европейския комитет за нормиране в областта на електротехниката (CEU) и др., разработват нормативни изисквания за оценка на въздействието върху човека на електромагнитните полета. При оценка на въздействието на електромагнитните полета чрез тока, за безопасни при производствени и битови условия се считат стойностите от таблица 1.1.

Таблица 1.1 Допустими стойности на тока през човека в [mA] при честота 50Hz, в зависимост от времето на протичане

Условия	Време на протичане [s]											
	0,01÷0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	>1
Производствени	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Битови	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	2

Напрегнатостта на магнитното поле на Земята се изменя в широки граници, като за България, то е от порядъка на 40A/m. При напрегнатост на външното електромагнитно поле (50 ÷ 1000)mA/m^2 и честота 50Hz, в организма на човека се наблюдават: изменения на синтеза на протеини и ДНК, нарушение на йонното равновесие, изменение в процеса на делене на клетките, силно възбуждане на централната нервна система, аритмия и сърдечна фибрилация.

Разгледани са нормативните изисквания на организации като CELENEC, IRPA CEU ENV 50166. Нормативните изисквания се базират на следните параметри: продължителност на въздействието на електрическото поле (при променливо и постоянно); условия на околната среда (битови или промишлени); степен на облъчване (частично или цялото тяло на човека).

В таблица 1.3 са представени допустимите напрегнатости на полето и продължителността на въздействието му, за подстанции с въздушни линии на ВН и СВН, в случаите когато обслужващият персонал се намира постоянно под въздействието на електрическо поле.

Таблица 1.3. Допустима продължителност на работа на персонала в електрическо поле на промишлена честота

Напрегнатост на електрическото поле E[kV/m]	Допустима продължителност на пребиваване на персонала в течение на едно денонощие

5	$10^3 \div 5*10^4$
10	$10^2 \div 10^4$
15	$10 \div 5*10^2$
10 ÷ 25	10^3

Направена е класифицикация на източниците за влошаване на електромагнитната съвместимост и са представени нормативни изисквания от национални (ANSI – САЩ, ГОСТ – Русия, CNS – Китай, YIS – Япония, БДС – България, табл. 1.5) и международни стандарти от групите EN, IEC, IEEE и др.

Таблица 1.7 Стандартизирани ПКЕЕ в съответствие с БДС EN 50160					
N	Характеристика	Мрежи НН	Мрежи СН	Означение (формула)	Причина влошаване
1	Отклонение на честотата f, от номиналната честота fн - Δf(%)	(49,5÷50,5)Hz за 99,5% от год. период или (47÷52)Hz целогод	(49,5÷50,5)Hz за 99,5% от год. период или (47÷52)Hz целог.	$\Delta f = \frac{f_i - f_н}{f_н} 100$	ЕСС
2	Отклонение на напрежението U от номиналното Uн - ΔU(%)	±10%Uн за 95% за 1 седм. при ср. еф. ст-ст за 10мин; +10%/-15%Uн за 100% за 1 седм. при ср. еф. ст-ст за 10мин.	±10%Uн за 95% от период от 1 седм. при ср. еф. стойност за 10мин.	$\Delta U_т = \frac{U_i - U_н}{U_н} 100$	ЕСС
3	Краткотрайно спадане на напрежението	Очакваният брой може да бъде от няколко десетки до хиляда за 1г.	Очакваният брой може да бъде от няколко десетки до хиляда за една год.	$\delta U = \frac{U_н - U_{min}}{U_н} * 100$	ЕСС
4	Краткотрайни прекъсвания	От няколко десетки до няколко стотици за период от 1 год.	От няколко десетки до няколко стотици за период една год.	SAIFI; CAIFI	ЕСС
5	Бързи изменения на напрежението за период (1÷2)sec - δU(%)	≤5%Uн; изменен. до 10%Uн, с малка продължителност могат да настъпят няколко пъти дневно при някои условия. Фликер P_h≤1 за 95% за период от 1 седм.	≤4%Uн; изменения до 6%Uн, с малка продължителност могат да настъпят няколко пъти дневно при някои условия. Фликер P_h≤1 за 95% / 1седм.	$\delta U_i = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_н} 100$	Потребители с променливо натоварване.
6	Несинусоидалност на напрежението – оценява се с интегралния коеф. THD_U (%), коеф. на хармоника K_U (%). Аналогично се определят и за тока I в (%).	Ср. еф. ефективна стойност за 10мин. на всяка една от хармоничните съставящи на U за 95% от период от една седм. да не надвишават тези в таблици 1.6 и 1.7	Ср. еф. ефективна стойност за 10мин. на всяка една от хармоничните съставящи на U за 95% от период от една седм. да не надвишават тези в таблици 1.6 и 1.7.	$K_{Iv} = \frac{I_v}{I_{(1)}} 100$ $K_{Uv} = \frac{U_v}{U_{(1)}} 100$ $THDU = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} 100$ $THDI = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2}}{I_{(1)}} 100$	Потребители с променливо натоварване.

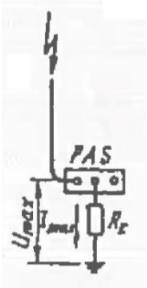
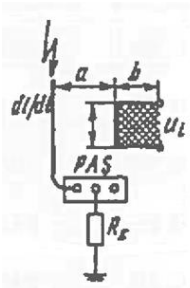
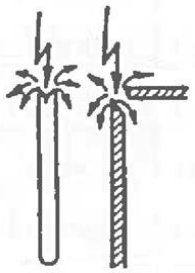
7	Несиметрия на напрежението – оценява се чрез съставящите с обратна U_2 , права U_1 и нулева U_0 последователност. Нормират се съставящите с обратна последователност в (%). Аналогично и за тока I в (%).	Ср. еф. ефективна стойност за 10мин. на U с обратна последователност трябва да бъде в границите (0÷2)%Uн от правата последователност за 95% за период от една седм. В някои райони на мрежата могат да бъдат до 3%Uн.	Ср. еф. ефективна стойност за 10мин. на напрежението с обратна последователност трябва да границите (0÷2)%Uн от правата последователност за 95% за период от една седм. В някои райони на мрежата могат да бъдат до 3%Uн.	$\varepsilon_U = \frac{U_2}{U_1} 100$ $\alpha_U = \frac{U_0}{U_1} 100$ $\varepsilon_I = \frac{I_2}{I_1} 100$ $\alpha_I = \frac{I_2}{I_1} 100$	Потребители с променливо натоварване.
8	Продължителни прекъсвания	Прекъсване над 3 мин. с год. честота (10 ÷ 50) пъти в год., в зависимост от района.	Прекъсване над 3 мин. с год. честота (10 ÷ 50) пъти в год., в зависимост от района.	SAIDI; CAIDI	ЕСС

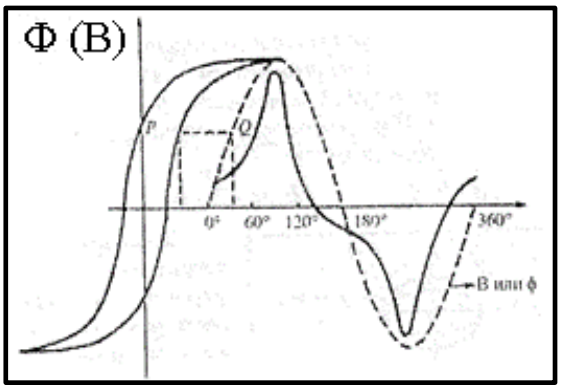
Голяма част от повредите и авариите в П/ст ВН се дължат на неправилни сработвания на релейните защити (РЗ) при различни к.с. или попадения на мълнии. В табл. 11 са дадени примери за подобни събития с настъпилите последствия и възможните причини.

Таблица 1.11 Примерни повреди при неправилна работа на РЗ от въздействието на електромагнитните полета		
Събития	Последствия	Причини
Комутация в първичните вериги		
Комутация на разединител в П/ст с елегазова РУ	Лъжливо сработване на РЗ, изключва се линия 110kV	Неизправно РУ. Високо ниво на импулсни смущения.
Комутация на прекъсвач 10kV в П/ст със ЗРУ	Лъжливо сработване на РЗ, изключва се линия 110kV	Импулсни смущения в постоянно – токовата мрежа, по – големи от 2kV.
Комутация на разединител в П/ст с елегазова РУ	Повредено електронно реле	Високо ниво на импулсни смущения. Ниска устойчивост на електронното реле на смущения.
1. Комутация на разединител в П/ст с елегазова РУ	Повреда в работата на автоматиката за контрол на елегаза. Блокиране на прекъсвач 110kV.	Ниска устойчивост на смущения на апаратурата.
Комутация на прекъсвач 110kV в П/ст със ОРУ	Лъжливо изключване на прекъсвач на 220kV.	Импулсни смущения в мрежата за оперативен ток.
Къси съединения към земя на ниво ВН		
6а. К.с. към земя на шини 110kV в П/ст с ОРУ 6б. Близко к.с. към земя в П/ст с ОРУ	Повреда в апаратурата на РЗ, комутационната апаратура в таблата за постоянен ток. Изключване на шест линии 110kV. Запалване на кабелите в кабелния канал.	Неизправно ЗУ. Застъпване с ЗУ на веригата за постоянен ток. Неизправно ЗУ.
К.с. към земя на шини 110kV в П/ст с ОРУ	Фалшиво сработване. Изключване на линия 500kV.	Неизправно ЗУ.
К.с. към земя на шини в П/ст със ЗРУ	Фалшиво сработване на РЗ. Изключване на линия 110kV.	Неизправно ЗУ.
К.с. към земя на шини 110kV в открита П/ст с ОРУ	Фалшиво сработване. Изключване на блок генератори на ТЕЦ.	Неизправно ЗУ.
Попадение на мълния на територията на подстанция		

Попадение на мълния в мълниеприемник на ОРУ на П/ст	Повреда на устройства в системата за автоматично управление. Пожар на реле в разпределителното табло.	Неправилно изпълнена мълниезащита.
Попадение на мълния в мълниеприемник на ОРУ на П/ст	Изключване на осем прекъсвача в РУ 110kVи два прекъсвача в РУ 220kV	Неправилно изпълнена мълниезащита.
Стационарни режими		
Нормален режим в ТЕЦ	Фалшиво сработване на микропроцесорната защита на генератора. Изключване на блок генератора.	Смущения във веригите с дискретни сигнали. Неекранирани кабели.

Мълнията, като най – мощен природен източник на електромагнитни смущения има силно влияние в мястото на удара в земята и близо до него, където амплитудата и ускорението на тока са най – големи. Въздействието на електромагнитното поле на мълниите се проявява в най – силна степен върху разпределителната мрежа на СН и НН, като в резултат на индуктираните от мълнията пренапрежения много често се получават пробиви в изолацията на кабели и проводници (таблица 1.14).

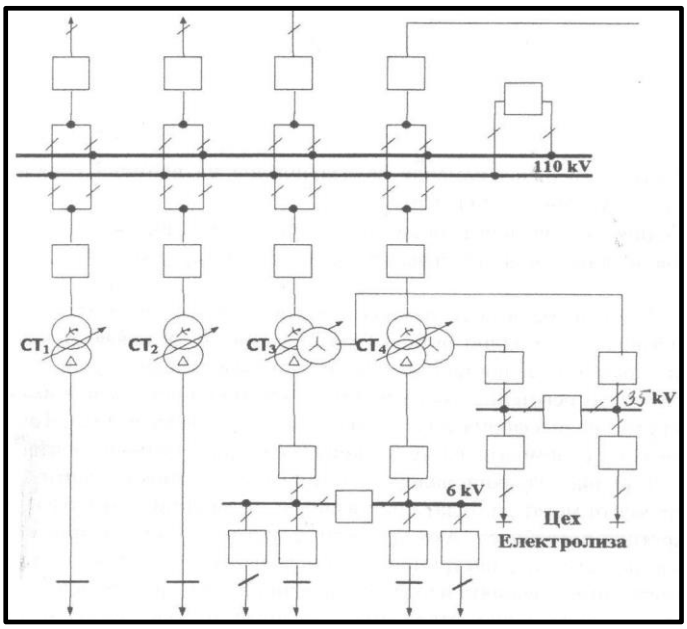
Таблица 1.14 Характеристики на въздействието на мълния върху обект				
	Параметър			
	Максимален ток I_{max}	Стръмност на тока $S = \frac{\partial i}{\partial t}$	Заряд $Q = \int c * \partial t$	Относителна енергия $S = \int i^2 * \partial t$
Големина	(2 ÷ 200)кА	(2 ÷ 200)кА/μs	(150 ÷ 300)А*с	(2,5 ÷ 10)Мдж/Ω
Въздействие в точката на удара	Повишаване на потенциала по отношение отдалечаването от земята	Индуктиране на напрежение в пръстена S	Стопяване на метала в точката на удара	Нагряване на проводниците, по които протича ток от мълнията
Схема на въздействието				
Примери	I_{max} = 200kA Re = 5Ω U_{max} = 1MV	S = 200kA/μs a = 10м. b = 0,1 (10)м. u_i = 40V (216kV)	При Q = 300C се стопяват AL плоскости с дебелина до 5мм.	При W/R = 10МДж се стопяват проводници Cu 10мм^2 и стоманени със сечение 25мм^2



фиг 1.11

В ЕСС съществуват редица източници и потребители на ЕЕ, които в значителна степен влошават качеството и респективно ЕМС. Систематизирани са следните основни източници, влошаващи ЕМС в ЕСС: силови трансформатори (СТ); електродъгови пещи (ЕДП); заваръчни агрегати (ЗА); електролизни уредби (ЕЛЛУ); компенсиращи уредби(КУ) и осветителни уредби (ОУ).

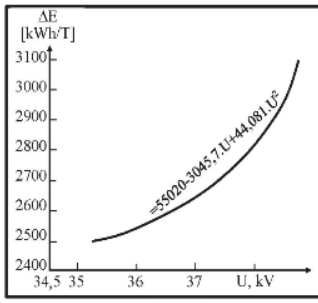
Силови трансформатори - генерират в.х. при отсъствие на товар, вследствие намагнитващия ток на трансформатора. Деформациите, илюстрирани на фиг. 1.11, предизвикват поява на токове с нулева последователност и трети и кратните на три хармоници.

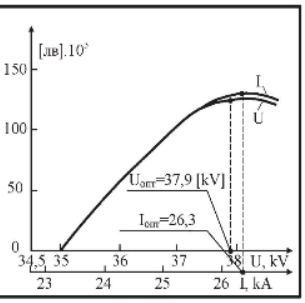


Фиг. 1.18 Еднолинейна сх. на обекта

Електролизни уредби - енергетическият процес се характеризира с генерация на в.х. на тока и напрежението и необходимост от КРТ. Обикновено енергоемкостта на електролизния процес е твърде висока и около 40% от себестойността на продукцията се пада на консумираната ЕЕ. На фиг. 1.18 е представена схемата на обекта, като с 12 фазни неуправляеми изправители.

На фиг. 1.19 и фиг. 1.20 са показани експериментално заснети характеристики за спец. разход на ЕЕ (ΔE) за 1 тон продукция в зависимост от напрежението U и икономическата ефективност ($И_0$). Изразите за $И_0(U)=f(U)$ и $И_0(I)=f(I)$ са получени по метода на най - малките квадрати, определят оптимална стойност за U и I.





Фиг.1.19 $\Delta E=f(U)$ Фиг.1.20 $И_0=f(U)$

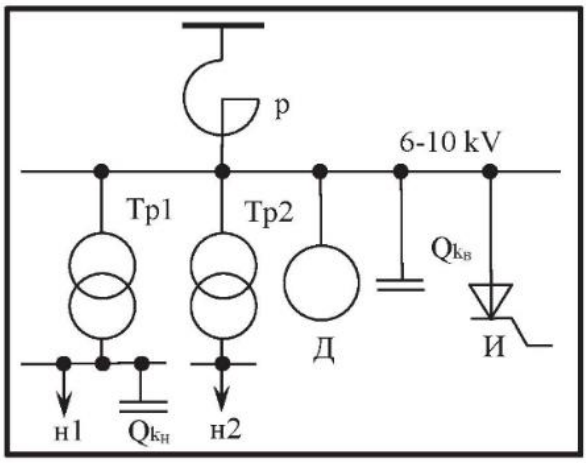
За оптимизане режима на работа на уредбата указва роля тока на уредбата. Повишаване на U води до понижаване на Кр с (5÷7)%. Понижението на U, води до нарастване на Кр и $И_0$.

$$\begin{cases} S^2 = P^2 + Q^2 + N^2 + (3n+1)S_0 + D^2 \\ D^2 = 3U^2\left(\sum_{\nu=2}^{\infty} I_{a\nu}^2 + \sum_{\nu=2}^{\infty} I_{b\nu}^2 + \sum_{\nu=2}^{\infty} I_{c\nu}^2 + n\sum_{\nu=2}^{\infty} I_{n\nu}^2\right) \\ N = \varepsilon_I\sqrt{P^2+Q^2}\,; \quad S_0 = \alpha_I\sqrt{P^2+Q^2} \end{cases} \qquad (1.26)$$

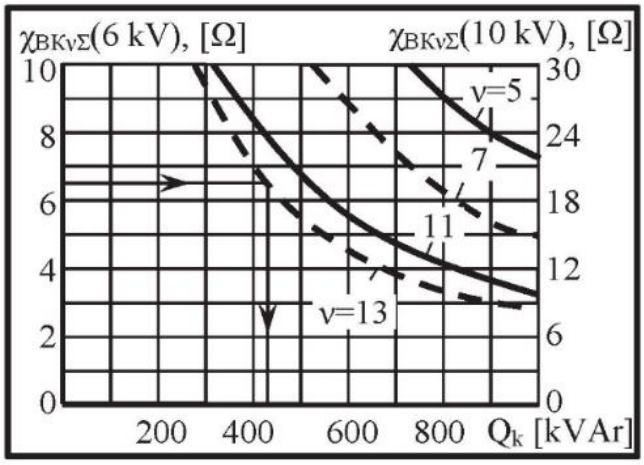
При КРТ е възможно да възникне, както резонанс на тока, така и на напрежението. По - голяма опасност представлява първият, възникващ на честоти ν = 5, 7, 11, 13, докато резонансът на напрежението е при ν = (30 ÷ 40), за които честоти токовете са малки и не създават съществени падове на напрежението в КБ и другите елементи.

При включване на КБ на страна 6, 10, 20kV и при наличие на изправител (фиг. 1.21), за определяне на тока $I_{Cв\nu}$ на ν - ия хармоник през КБ се използва изразът:

$$\mathbf{I_{Cв\nu}} = \mathbf{I_{Cв\nu}}\frac{S_{пр}}{\sqrt{\nu} * Q_{нкб} * К_R} \qquad (1.27)$$



Фиг. 1.21



Фиг. 1.22

На фиг. 1.22 са представени ограничителни криви за П/ст (6 ÷ 20)kV, определящи граничните мощности Qk на КБ за ν = 5, 7, 11, 13 хармоници.

При включване на КБ без защитни реактори, токов резонанс може да настъпи при по - високи честоти ν = 23 и 25.

Определен е диапазонът на изменение на Q_k, при който е възможно да настъпи токов резонанс при $X_{екв\nu} \leq 0{,}6\Omega$ и $X_{екв\nu} \leq 1{,}6\Omega$ съответно за мрежи 6 и 10 kV (табл. 1.17) при различни по мощност СТ, натоварени от минимална до максимална стойност.

В табл. 18 са представени мощностите на КБ, при които е възможен токов резонанс при различни "ν" при съпротивления на товара на П/ст в границите

(0,5÷5)Ω и при различни номинални мощности на СТ. От таблицата се вижда, че резонанс на тока на практика винаги възниква при ν = 5 и 7 хармоници.

Това налага, за мрежа до 1kV, при наличие на в.х. да се включва последователно реактор, индуктивното съпротивление $X_р$ на които се определя от неравенството:

$$\nu_{мин} X_р > \frac{1,1 X_{кб}}{\nu_{мин}} \qquad (1.28)$$

Таблица 1.17 Дапазон на изменение на Q_k, за СТ в мрежи (6÷10)kV, натоварени от мин. до макс. ст-ст, за които е възможно да настъпи токов резонанс, при $X_{екв\nu}$=(0,6÷1,6)Ω				
$S_{н.тр.}$	Мощност на КБ, Qk [kVAr], при хармоник			
	ν = 5	ν = 7	ν = 11	ν = 13
250	167 ÷ 227	85 ÷ 116	35 ÷ 47	25 ÷ 33
320	231 ÷ 317	118 ÷ 162	48 ÷ 65	34 ÷ 47
400	315 ÷ 360	131 ÷ 184	53 ÷ 75	38 ÷ 53
560	345 ÷ 510	176 ÷ 260	70 ÷ 105	51 ÷ 75
630	382 ÷ 575	195 ÷ 294	80 ÷ 120	56 ÷ 85
750	442 ÷ 685	228 ÷ 350	90 ÷ 140	65 ÷ 101
1000	553 ÷ 991	282 ÷ 463	115 ÷ 187	81 ÷ 134
1600	776 ÷ 1450	397 ÷ 740	162 ÷ 300	115 ÷ 215

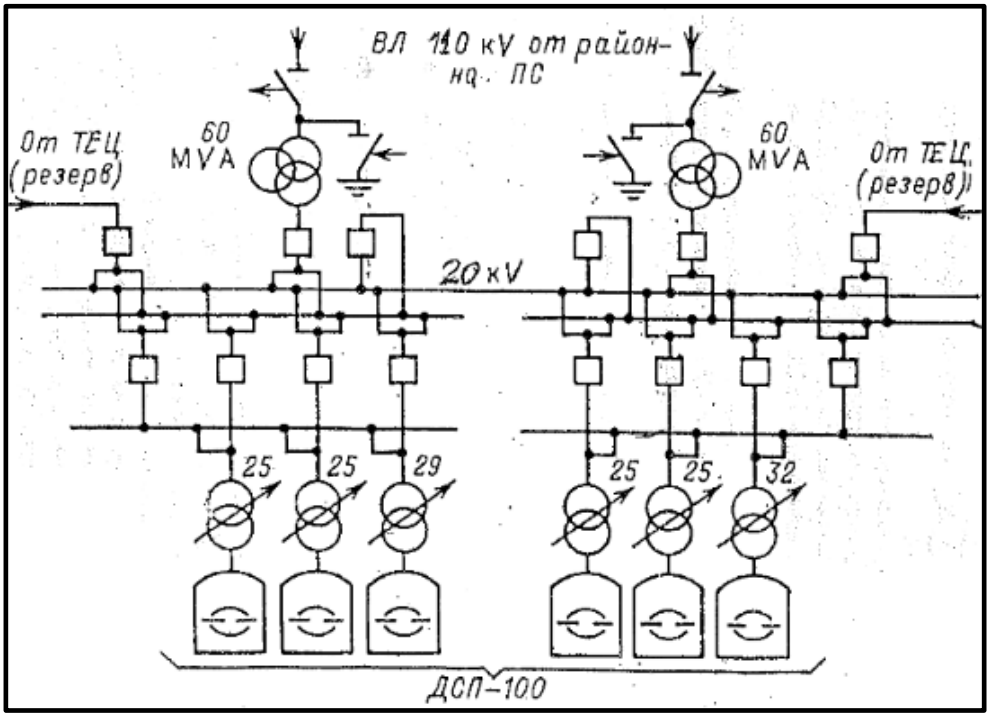
Таблица 1.18 Дапазон на изменение на Q_k при различни по мощност СТ, при които е възможен токов резонанс при различни "ν" при съпротивления на товара на П/ст в границите (0,5 ÷ 5)Ω					
$S_{н.тр.}$	Мощност на КБ, Qk [kVAr], при хармоник				
	ν = 3	ν = 5	ν = 7	ν = 11	ν = 13
250	-	175 ÷ 220	90 ÷ 110	35 ÷ 45	25 ÷ 35
320	-	230 ÷ 310	120 ÷ 160	45 ÷ 65	35 ÷ 45
400	-	260 ÷ 360	125 ÷ 185	50 ÷ 75	35 ÷ 55
560	-	300 ÷ 500	150 ÷ 260	60 ÷ 105	45 ÷ 75
630	-	320 ÷ 560	100 ÷ 300	65 ÷ 120	45 ÷ 85
750	-	350 ÷ 675	175 ÷ 350	70 ÷ 140	50÷ 100
1000	-	400 ÷ 900	200 ÷ 460	80 ÷ 185	60 ÷ 135
1600	≥1400	500 ÷ 1245	260 ÷ 740	100 ÷ 300	75 ÷ 215

Режимът им на работа на електродъговите пещи се характеризира със значително ниво на в.х. на тока и напрежението, колебания на напрежението δU≈(0,5÷1)%, несиметриия на тока и напрежението и с голямо потребление на реактивна мощност, следователно с ниски средни стойности на cosφ, в границите (0,7 ÷ 0,75).

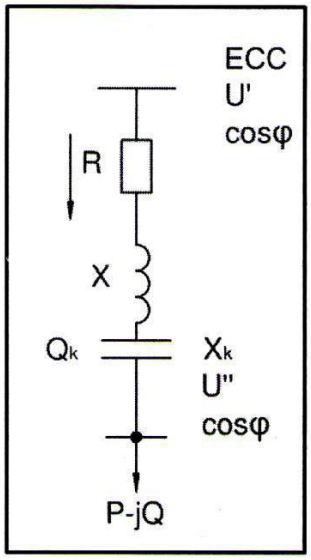
Коефициентът на несиметрия по ток ε_I може да се определи от израза:

$$\varepsilon_I = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 - 4F\sqrt{3p(p - I_A)(p - I_B)(p - I_C)}}{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + 4F\sqrt{3p(p - I_A)(p - I_B)(p - I_C)}}} \qquad (1.18)$$

Напречната КРТ се прави с цел да се достигне сравнително постоянен cosφ и може да се осъществи на страна (6÷10)kV или на страна НН 0,4kV.



Фиг. 1.12 Примерни схеми за захранване на ДСП 100



Фиг. 1.13

За ограничаване на колебанието на напрежението се използва надлъжна КРТ. Недостатък е вероятността за възникване на резонансни явления и възникване на пренапрежения при наличие на СТ. На фиг. 1.13 е представена схема на надлъжна КРТ с потребление на реактивна мощност в линията. Друга важна особенност на надлъжната КРТ е, че тя предизвиква повишение на напрежението на потребителите в зависимост от токовото натоварване.

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \frac{P_н R_1 + Q_н X_L}{U_1} \qquad (1.20)$$

При наличие на на надлъжна КРТ се получава ΔU:

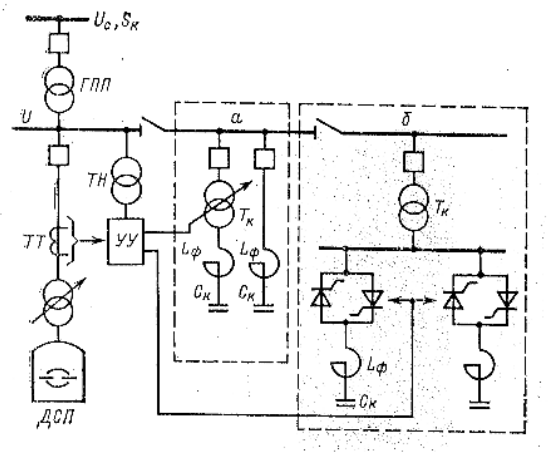
$$\Delta U' = \frac{P_н R_1 + Q_н (X_L - X_C)}{U_1} \qquad (1.21)$$

ΔU се е намалила със стойността ΔU_K:

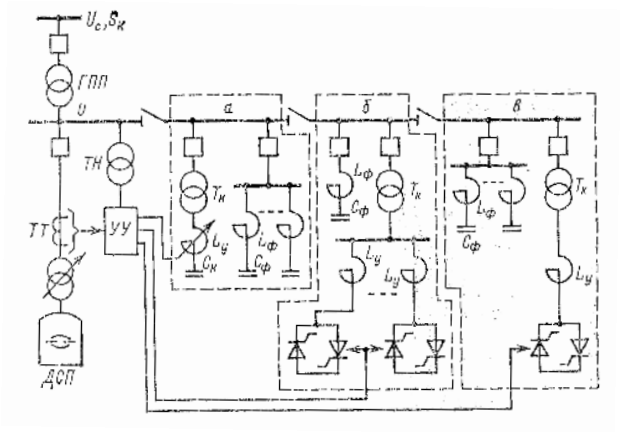
$$\Delta U_к = \Delta U - \Delta U' = Q X_C \frac{Q X_C}{U_1} \qquad (1.22)$$

Следователно надлъжната КРТ е ефективно средство за регулиране на напрежението, като при това става автоматично с изменение на товара.

Напречната КРТ бива директна, косвена и комбинирана. При директната КРТ реактивния товар на пеща се компенсира непосредствено от паралелно включени източници на реактивна мощност (фиг. 1.15). При косвените методи потреблението на реактивна енергия се регулира с помощта на управляеми реактори така, че реактивната мощност консумирана от пеща и регулирана от реактора, да бъде постоянна и да се компенсира от напречно включените нерегулируеми КБ.



Фиг. 1.15 Схеми на пряка компенсация



Фиг 1.16 Схеми на косвена компенсация

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ПЪРВА ГЛАВА

1. ЕМС трябва да се разглежда, като комплексно понятие, свързано с идентифициране на източниците на смущения, техническите и методическите средства за изследването им, установяване на негативното им влияние и възможностите за минимизирането му. В тази връзка е анализирано въздействието на електромагнитната среда върху биологичните и физиологичните функции на човешкия организъм, като се подлагат на известно съмнение научно – обосновани констатации за несъщественото влияние на електромагнитните полета върху здравето на човека. Направен е задълбочен анализ на нормативните изисквания за електромагнитните явления, респективно ЕМС при експлоатация на различни енергийни съоръжения, като са систематизирани хигиенни норми за въздействието върху човека.

2. Анализирани и обяснени са подходите за създаване на национални и международни стандарти и е застъпена постановката за комплексно разглеждане на ПКЕЕ и ЕМС, като понятия с еднородна природа. Проведен е достатъчно обоснован и обстоен анализ на стандартите и нормативните изисквания за ПКЕЕ и характеристиките за ЕМС, което е предпоставка за провеждане на задълбочена изследователска дейност с цел подобряване на ЕМС. При анализа на нормативните документи е подходено в максимална степен критично, като е обърнато внимание за допуснати непълноти,

неточности и неясноти при прилагане на стандартите при специфични условия и особени режими на работа на ЕСС.

3. Направен е обстоен и цялостен преглед, на електромагнитните източници, влошаващи ЕМС, като е анализирано влиянието на силовото обзавеждане при нормални режими на работа и при възникване на аварийни ситуации, както и влиянието на комутационни процеси, причинени от различни видове прекъсвачи и разединители. Извършено е прецизно характеризиране на показателите на заземителните устройства влошаващи ЕМС, а така също и на т.н. „бързи преходни процеси“ представляващи серия от пикови импулси.

4. Извършено е прецизно изследване на влиянието на електромагнитните смущения от мълнии при директно попадение върху П/ст, а също и върху разпределителната мрежа СН и ВН, върху системите за диспечеризация и автоматизация, върху заземителните устройства, тоководещите жила и вторичната комутация. Маркирано е и влиянието на статичното електричество и радиочестотните полета върху ЕМС, както и на електромагнитните излъчвания в мрежите НН. Анализирани са и вероятни, извънредни ситуации, свързани с влиянието на електромагнитните импулси на ядрените взривове, а също и аномалиите на повърхността на Слънцето, създаващи вторични електромагнитни смущения от магнитното поле на Земята. Всички тези явления и процеси са количествено оценени и пряко обвързани с различните силови, комутационно – защитни и управляващи електрообзавеждания, което е иновативен подход при подобни разглеждания.

5. Изследвано е влиянието на влошените ПКЕЕ върху ЕМС, като източниците за това негативно въздействие са СТ, ДСП, ЗА, ЕЛУ, КУ. Анализирани са различни режими на работа на тези съоръжения и са оценени количествено тяхното въздействие за влошаване на ЕМС. Акцентирано е върху възможността за генериране на в.х. на тока и напрежението и вероятността за настъпване на токов и напреженов резонанс. При този анализ е приложен комплексен подход, като освен несиметрията и деформациите на формата на кривата на тока и напрежението, се отчита негативното влияние от неправилно разчетена компенсация на реактивните товари.

ВТОРА ГЛАВА

ОБСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ТЕОРЕТИЧНИ И ПРАКТИЧНО – ПРИЛОЖНИ ПОСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ ЗА ОЦЕНКА НА ЕМС

При определяне влиянието на електромагнитните полета върху ЕМС се преминава през следните три етапи: *получаване на изходни данни; определяне на електромагнитните характеристики на обекта по експериментален или изчислителен път; установяване на съответствие или несъответствие между получените характеристики и нормативни изисквания.*

Представени са формули за определяне на минимално допустимите отстояния от елементи на мълниезащитните уредби до ел. съоръжения:

- от мълниеприемника до кабелния канал за вторична комутация:

$$\boldsymbol{L}_{\text{доп}} = \frac{\mathbf{U}_{\text{з}}}{\text{E}_{\text{пр.з.}}}\ ; \quad \boldsymbol{U}_{\text{з}} = \boldsymbol{R}_{\text{н}} * \boldsymbol{I}_{\text{м}} \qquad (\mathbf{2.3})$$

- от мълниеотвода, до устройствата на РЗ:

$$\boldsymbol{L}_{\text{мин}} > \frac{\mathbf{I}_{\text{м}}}{\mathbf{2\pi}\text{H}_{\text{доп.}}} \qquad (\mathbf{2.4})$$

- от мълниеотводи до силовото обзавеждане:

$$\boldsymbol{L}_{\text{доп.в}} = \frac{\mathbf{U}_{\text{м}}}{\text{E}_{\text{проб.в.}}} \qquad (\mathbf{2.5})$$

- между кабелите на вторичната комутация и силовите кабели:

$$\boldsymbol{S_{min}} = \frac{\mathbf{2L}}{\mathbf{1 + exp}\left(\mathbf{1,75 * 10^6}\,\frac{\mathbf{K}_{\text{вз}}}{\boldsymbol{I}_{\text{кс}}}\right)} \qquad (\mathbf{2.6})$$

Описани са практично – приложни методи за определяне на ПКЕЕ и оценка на влиянието им върху ЕМС.

КН δV при променливо и ударно натоварване се определя с помощта на изразите:

$$\boldsymbol{\delta V} = \frac{\mathbf{r\Delta I cos\varphi + x\Delta I sin\varphi}}{\mathbf{U}_{\text{н}}} \qquad (\mathbf{2.16})$$

За мрежи с $U_H \geq 6kV$, първите събираеми в числителя на могат да се пренебрегнат и да се запишат изразите:

$$\boldsymbol{\delta V} = \frac{\boldsymbol{\Delta Q.x}}{\mathbf{U}_{\text{н}}^{\mathbf{2}}}\mathbf{100}\ [\%]; \quad \boldsymbol{\delta V} = \frac{\boldsymbol{\Delta Q}}{\mathbf{S_k}}\mathbf{100}\ [\%] \qquad (\mathbf{2.17})$$

При прокатните станове на страна СН, пресмятането на КН може да се извърши с помощта на изразите:

$$\delta \mathbf{V}_{\text{вн}} = \frac{\Delta \boldsymbol{Q}}{\mathbf{S_k}} \mathbf{100}\ [\%]; \quad \delta \mathbf{V}_{\text{сн}} = \left(\mathbf{1} + \frac{\mathbf{S}_{\boldsymbol{k}}}{\mathbf{S}_{\text{н.тр.}}} \boldsymbol{U_k}\right) \frac{\Delta \boldsymbol{Q}}{\mathbf{S_k}}\ [\%] \qquad (\mathbf{2.18})$$

Вижда се, че тези формули не отчитат товара на прокатните станове. При работа на дъгови стоманодобивни пещи с различни мощности (2 ÷ 80)MW; (20 ÷ 300) тона, КН за работа на една пещ и група от n пещи се определя от условията [95]:

$$\delta \mathbf{V}_{(\boldsymbol{n}-\mathbf{1})} = \frac{\mathbf{S}_{\text{н.тр.}}}{\mathbf{S_k}} \mathbf{100} \leq \mathbf{1}\ [\%]\ ; \quad \delta \mathbf{V}_{(\boldsymbol{n} \leq \mathbf{4})} = \mathbf{0,85} \frac{\sqrt{\sum_{\boldsymbol{i}=\mathbf{1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{S}_{\text{н.пт}}^{\mathbf{2}}(\boldsymbol{t})}}{\boldsymbol{S_k}} \leq \mathbf{1}\ [\%]$$

$$\delta \mathbf{V}_{(\boldsymbol{n} > \mathbf{4})} = \mathbf{0,6} \frac{\sqrt{\sum_{\boldsymbol{i}=\mathbf{1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{S}_{\text{н.пт}}^{\mathbf{2}}(\boldsymbol{t})}}{\boldsymbol{S_k}} \leq \mathbf{1}\ [\%] \qquad (\mathbf{2.19})$$

При несиметрия на напреженията и токовете се влошава факторът на мощността K_p, който може да се изрази:

$$\mathbf{K_p} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{S}} = \frac{\mathbf{P}}{\sqrt{\mathbf{P^2 + Q^2 + N^2}}}\ ; \quad \boldsymbol{N} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{S}} = \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{I}} \sqrt{\mathbf{P^2 + Q^2}} \qquad (\mathbf{2.27})$$

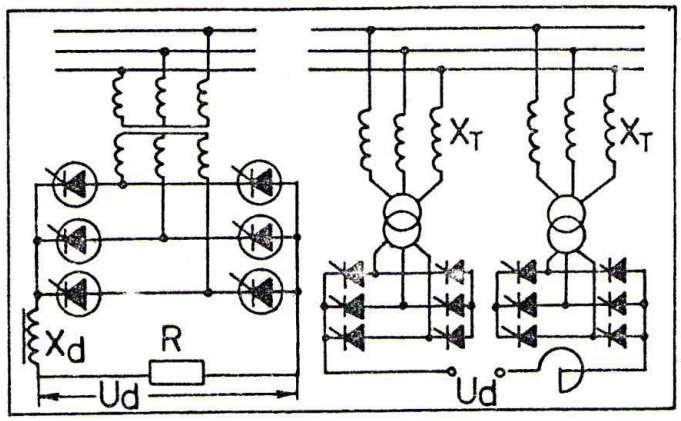
$$\mathbf{K_p} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{S}} = \frac{\mathbf{P}}{\sqrt{\mathbf{P^2 + Q^2}} * \sqrt{\mathbf{1} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{I}}^{\mathbf{2}}}} = \frac{\boldsymbol{cos\varphi}}{\sqrt{\mathbf{1} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{I}}^{\mathbf{2}}}} \qquad (\mathbf{2.28})$$

Коефициентите на несиметрия по напрежение ε_U и ток ε_I са свързани с приблизителното равенство:

$$\boldsymbol{\varepsilon_U} = \boldsymbol{\varepsilon_I} \frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{R}_{\text{т}}/\boldsymbol{R}_{\text{ф}}} \qquad (\mathbf{2.56})$$

Вентилни преобразуватели - най - голямо разпространение са намерили трифазната мостова схема на Ларионов (фиг. 2.4). Кривите на първичните токове съдържат хармоници, поредния номер на които се определя от равенството:

$$\boldsymbol{\nu} = \boldsymbol{\kappa m} \pm \mathbf{1} \qquad (\mathbf{2.29})$$



фиг. 2.4

Индуктивните съпротивления на различните елементи за ν-тия хармоник може да се пресметнат по формулите в табл. 2.3.

Таблица 2.3 Формули за индуктивните съпротивления на различни елементи за ν-тия хармоник			
№	**Наименование на елемента**	**Напрежение**	
		6 kV	**10 kV**
1	Електрическа система с мощност на трифазно к.с. S_k , MVA	$\frac{36}{S_K}$	$\frac{36}{S_K}$
2	Двунамотъчен трансформатор в ГПП с ном. мощност $S_{н,тр.}$, MVA (u_kв %)	$\frac{0,4.u_K}{S_{H.TP.}}\nu$	$\frac{1,1.u_K}{S_{H.TP.}}\nu$
3	Натоварен трансформатор в цехова подстанция ЦП, с номинална мощност $S_{тр.ЦП}$, MVA	$\frac{12}{S_{TP.ЦП}}\nu$	$\frac{34}{S_{TP.ЦП}}\nu$
4	Синхронен (асинхронен) двигател (турбогенератор) с номинална мощност $S_{дв.}$, MVA (MW)	$\frac{6}{S_{ДВ.}}\nu$	$\frac{17}{S_{ДВ.}}\nu$
5	Асинхронен товар S_a (kVA) при номинално напрежение на двигателите 380/220V; U_b- базисно напрежение, kV	$x_{ДВ.}=\frac{(9,9\div 11,5)U_b^{\,2}.10}{S_a}\nu$	
6	Реактор	$x_{P\nu.}=\nu.x_P$	
7	Кондензатори батерии; $Q_{kB(H)}$, [MVAr]	$x_{св(сн).}=\frac{U^2}{Q_{кв(н)}}\cdot\frac{1}{\nu}$	
8	Кабелна захранваща линия с $U_н$ > 1kV; b_0 [S/km] - капацитивна проводимост за единица дължина на $i^{-тата}$ линия	$x_\nu=\frac{U_\delta^{\,2}}{U_H^{\,2}\sum_{i=1}^{n}b_{0i}l_i}\cdot\frac{1}{\nu}$	

В табл. 2.4 са дадени формулите за изчисляване на номера и тока I на хармониците, генерирани от различни източници.

Таблица 2.4 Определяне на тока на хармоници с номер ν ≤ 13			
№	Източник на в.х.	Номер на хармоника ν	Ф-ла за определяне тока на хармоника
1	Вентилни преобразуватели: - 6 – фазни схеми на изправяне - 12 – фазни схеми на изправяне	ν=km±1 5, 7, 11, 13, … 11, 13, 23, 25, …	$I_ν = I_н / ν$
2	Тиристорни преобразуватели на честота	5, 7, 11, 13, …	$I_ν = I_н / (1{,}11(ν±1))$
3	Електродъгови пещи (интервал на топене)	ν=6km±1	$I_ν = I_н / ν^2$
4	Машини за заваряване	ν=6km±1	$I_ν = I_н / ν^2$
5	Газоразрядни лампи	3, 5	$I_в = 0{,}1I_н$; $I_б = 0{,}3I_н$

ЕСС съдържат капацитети и индуктивности и имат една или повече резонансни честоти. Паралелен резонанс настъпва при положение, че индуктивното съпротивление $X_ν$ на някой от хармониците "ν“, генерирани от нелинейния източник с ток $I_ν$ е равно на:

$$\boldsymbol{X_ν = X_{екв} = X_т + X_{изт}} \ [Ω] \qquad (\mathbf{2.36})$$

Тогава резонансната честота f на кръга, ще се определи от уравнението:

$$\boldsymbol{f}_р = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{2\pi}}\sqrt{\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{L}_{екв}C_{кб}} - \frac{\boldsymbol{R^2}}{\mathbf{4}\boldsymbol{L}_{екв}}} \approx \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{2\pi}}\sqrt{\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{L}_{екв}C_{кб}}} \qquad (\mathbf{2.37})$$

Колебанието на напрежението $δU_р$ и резонансния ток $I_р$ по време на паралелен резонанс се определят от изразите:

$$\boldsymbol{δU_p = QX_{L екв} * I_ν}; \quad \boldsymbol{I_p = \frac{δU_p}{X_c} = \frac{QX_c}{X_c} * I_ν == \frac{QX_{L екв}}{X_{L екв}} * I_ν = Q * I_ν} \quad (\mathbf{2.40})$$

За $δU_р$ може да се направи извода, че при паралелен резонанс дори малък по стойност ток на хармоника $I_ν$ може да причини големи колебания на напрежението. Аналогично за $I_р$ може да се заключи, че при паралелен резонанс протичащия през КБ ток се повишава Q пъти, като може да доведе до авариране на КБ или изключване на предпазителите, а също съответно претоварване на СТ.

В реалните ЕСС, X_c и X_L на системата, се променят непрекъснато, поради което е практически оправдано резонансните честоти да се определят с помощта на параметрите на електроенергийната система (ЕЕС), а именно $S_{кс}$ и $Q_к$:

$$\boldsymbol{ν_p = f\sqrt{\frac{S_{кс}}{Q_к}}} \qquad (\mathbf{2.41})$$

При последователен резонанс КБ и източника на в.х. са последователно свързани. Напрежението $U_{кб}$ върху КБ е несинусоидално, силно се увеличава и се определя от израза:

$$\boldsymbol{U}_{кб} = \frac{\boldsymbol{X_c}}{(\boldsymbol{X}_т + \boldsymbol{X}_с + \boldsymbol{R})}\boldsymbol{U_\nu} \approx \frac{\boldsymbol{X_c}}{\boldsymbol{R}} * \boldsymbol{U_\nu} \qquad (\mathbf{2.42})$$

Формулата за определяне на резонансната честота $\nu_р$ при последователен резонанс, съответно е:

$$\boldsymbol{\nu_p} = \sqrt{\frac{X_с}{X_т}} \qquad (\mathbf{2.43})$$

Резонансната честота $\nu_р$ при последователен резонанс може да се определи и чрез параметрите на ЕЕС:

$$\boldsymbol{\nu_p} = \boldsymbol{f} * \sqrt{\frac{\boldsymbol{S}_{ст}}{\boldsymbol{Q}_к\boldsymbol{U}_к}\mathbf{100} - \frac{\boldsymbol{P}_т^{\,2}}{\boldsymbol{Q}_к^{\,2}}} \qquad (\mathbf{2.44})$$

В дадена ЕСС е възможно да се получат и двата вида резонанс. Паралелен резонанс може да се формира между източника на напрежение със съпротивление $X_{изт.}$, последователно свързания СТ ($X_т$) и КБ ($X_{кб}$). Тогава формулата за определяне на резонансната честота при паралелен резонанс е:

$$\boldsymbol{\nu_p} = \sqrt{\frac{X_с}{X_{изт} + X_т}} \qquad (\mathbf{2.45})$$

При инсталиране на КБ в трафопостове и П/ст вследствие на високата стойност на качествения фактор Q = X/R, вероятността за възникване на резонанс на петия хармоник, който е най – мощен в ЕСС е съществена.

Трансфера на активната мощност P в несиметрична, неуравновесена и деформирана система от токове и напрежения, се пренася реактивна Q, пулсиращата N, предизвикана от несиметрично потребление на ел.енергия, скрита S_0, предизвиквана от неуравновесеност на електропотреблението и деформационна мощност D, предизвикана от наличието на в.х. на I и U.

Случайният характер на параметрите на ЕСПП, налага използването на вероятностно – статистически методи при изследването им, като най - точни са методите с използване на регресионни модели, получени, чрез прилагане на теорията за планиране на експеримента (ТПЕ).

Планиране на експеримента от от първи порядък.

За ПО, ФО или ЦФ, обикновено се избират ΔW, или ΔP. При изследване на множество от промишлени обекти с различен режим на работа и различни времена на експлоатация, ΔP е с по - висока тъждественост и обоснованост от ΔW. За ПО може да бъде избрана и величината δW, представляваща отклонение на фактическите загуби на електроенергия $\Delta W_ф$ от икономически целесъобразните загуби ΔW_0, валидни за моментното състояние на електроенергетиката: $\delta W = \Delta W_ф - \Delta W_0$. [88]

Общият вид на ММ може да се изпише така:

$$\tilde{y} = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \cdots + \beta_m * x_m \qquad (2.75)$$

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ВТОРА ГЛАВА

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ВТОРА ГЛАВА

1. Представени са методически постановки във формализиран вид за оценка влиянието на електромагнитните полета върху ЕМС. Използвани са, класически математически представяния и различни логаритмични форми, даващи възможност да се анализират величини, различаващи се с няколко порядъка. С помощта на дефинираните изчислителни процедури, може да се установи сходимостта между получените стойности на различните характеристики и нормативните изисквания и този подход е приложим за различни видове електрообзавеждания.

2. Проанализирани са различни практично – приложни методи за оценка на ЕМС чрез ПКЕЕ, създадени на базата на стахостични и детерминирани подходи. Представените постановки дават възможност за експресен и високоефективен анализ на показатели, характеризиращи качеството на ЕЕ, релативно свързани с ЕМС. В теоретичен план и практично приложен аспект са изследвани условията за възникване на паралелен и последователен резонанс и са изведени опростени, но достоверни формули за определяне на резонансните честоти.

3. Формулирани са методически постановки за провеждане на изследователския процес, които са апробирани в следващите глави, потвърждаващо тяхната приложимост , функционалност и достоверност. В синтезиран вид са представени числовите характеристики на случайните величини, анализирани са параметрите на нормалния закон на разпределение, като с прилагането му са определени различни вероятности и корелационни зависимости, оценени с помощта на съответни критерии за статистически проверки и хипотези. Дефинирани са основните характеристики на случайните процеси, като основно внимание е отделено на понятията стационарност и ергодичност, използвани в изследователския процес в глава 3 и глава 4 на дисертационната работа.

4. ***На базата на ТПЕ е разработен комплекссен, многофакторен подход, даващ възможност да се получат математически модели, описващи връзките между различни показатели и характеристики , свързани с ЕМС. Чрез този подход се реализира едновременно въздействие на съществените фактори върху изходните параметри, което осигурява вискока и адекватност на изчислителните процедури. Той дава възможност да се решават и оптимизационни задачи, да се дефинират оптималните области на изменение на съществешните фактори и изходните параметри и да се управлява процеса като цяло. Направен е анализ на различни планове от втори порядък, с предпочитание към плановете Вm, имащи предимство в простотата на матрицата им и използването на малък брой опити, като този план е приложен в изследователския процес на четвърта глава.***

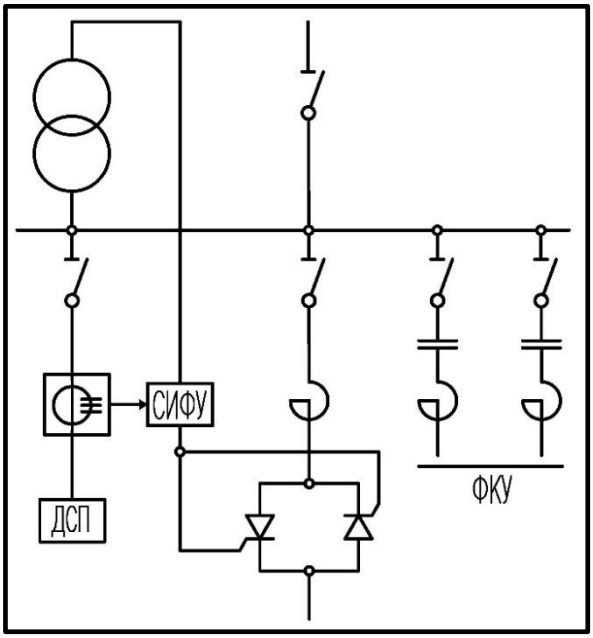
ТРЕТА ГЛАВА

ПРАКТИЧНО – ПРИЛОЖНИ, ОБЕКТНО – ОРИЕНТИРАНИ ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ ПОСТАНОВКИ ЗА АНАЛИЗ И ОПТИМИЗИРАНЕ НА ЕМС

В трета глава са разгледани методи за постигане на ЕМС, чрез комплексно въздействие върху ПКЕЕ. Обърнато е внимание на компенсирането на реактивните товари като, основно средство за обезпечаване на високо качество на ЕЕ и подобряване на ЕМС. Разгледана е възможността за прилагане на многофункционални КУ, чрез които едновременно се подобряват няколко ПКЕЕ, респективно режими на работа свързани с ЕМС на ЕСС. Например симетриращите или компенсиращите устройства използващи КБ, способстват за понижаване нивото на несиметрията, несинусоидалността, компенсират реактивната мощност и подобряват режима напрежението. Синхронните и статическите компенсатори снижават колебанието на напрежение, а също така намаляват отклонението на напрежението и несинусоидалността.

На фиг. 3.2 е показана тиристорно – реакторна група, с която се постига КРТ, намаляване на δU и несиметрията на тока при ДСП.

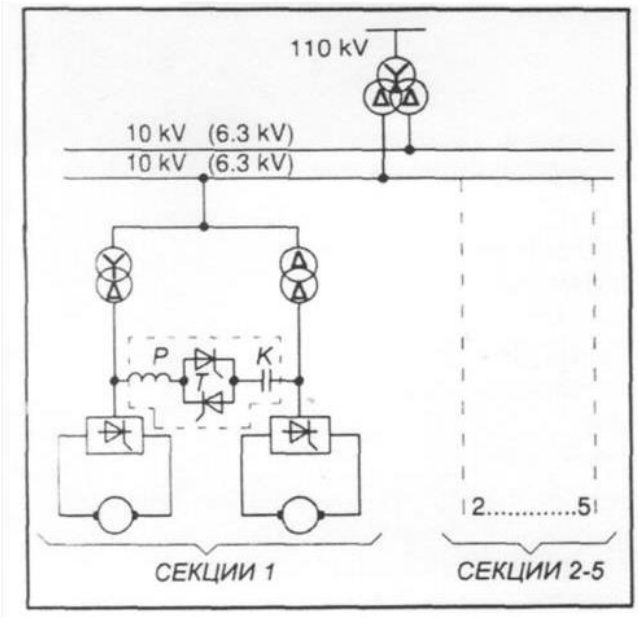
КБ се управляват с тиристори, което има редица преимущества пред синхронните компенсатори: широк диапазон и плавно регулиране на реактивната мощност, малки загуби на мощност и ЕЕ, ниски експлоатационни разходи, пофазно регулиране на мощността, задоволителна скорост на компенсация и др. Като недостатък може да се посочи във възможността за претоварване на КБ от степенното регулиране на реактивната мощност и малкото бързодействие (10 ÷ 20)ms, което ги прави неефективни за компенсация на колебанието на напрежението.



Фиг. 3.2 Схема на статичен компенсатор .

Схемата се характеризира с бързодействие, но пълно компенсиране на δU не се постига. Освен това схемата генерира в.х. на тока, като третия хармоник може да достигне до 14%, петия и седмия съответно до 5 и 2,5%. За тяхната компенсация в схемата се използва филтрокомпенсираща група (ФКУ).

Съществуват и хибридни схеми, чрез които се реализира съвместна работа на синхронен компенсатор и управляем статичен компенсатор (КБ и тиристорно – реакторни групи



Фиг.3.4 Схема на прокатен стан

Въпросите свързани с ЕМС при работата на прокатните станове е от съществено значение за тяхната експлоатация. При установен режим на работа се наблюдават съществени отклонения на напрежението δU, високи нива на несиметрия на напрежението и тока (ε_U, ε_I) и наднормени стойности за интегралния коефициент на несинусоидалност (THD_U и THD_I). Пусковите процеси са съпроводени с колебания и провали на напрежението, оценени с помощта на коефициента δU[%].

На фиг. 3.4 е представена типична пет секционна електрическа схема на прокатен стан за студено валцована ламарина. Реализирането на различните режими на работа на изправителите, с различни ъгли за управление и комутация, дават възможност за минимизиране на в.х. на тока.

Отклонението (δU) и колебанието (δV) на напрежението се определят от изразите:

$$\boldsymbol{\delta U = \frac{Q_{и_у}}{S_k}}\ ; \quad \boldsymbol{\delta V = \frac{Q_{и_п}}{S_k}} \qquad (\mathbf{3.1})$$

Интегралния коефициент на несинусоидалност по ток THD_I за изправителите се определят от израза:

$$HD_I = \frac{S_T}{S_K}\left\{\beta\left[\frac{1-\gamma^2}{U_k(1+0{,}25K_T)}\right]^{\frac{1}{2}}\right\}^{\frac{1}{2}} ; THD_I = f(S_K, \beta, U_k, \gamma, K_T) \qquad (3.2)$$

В разгледаната постановка компенсацията на реактивните товари (КРТ) се извършва с помощта на тиристорно управляеми (Т) КБ (К), защитени от в.х. и ударни токове с помощта на реактора Р. (фиг. 3.4).

Табл. 3.1 Резултати от изследването		
Параметри	Qср.кв. [kVAr]	ΔP [kW]
без КРТ	13190	47,24
с КРТ	3401	3,14

Тиристорите осигуряват бързодействие при изменението на реактивната мощност и намаляват колебанието на напрежението. КБ намаляват загубите на активна мощност ΔP (таблица 3.1), определени от израза:

$$\mathbf{\Delta P = \left(\frac{Q_{ср.кв.}}{U}\right)^2 * (R_C + R_T)\ [kW]} \qquad (\mathbf{3.5})$$

Освен това КБ играят ролята на силови филтри за в.х. и подобряват хармоничния състав на тока на изправителите, като съществено се намалява и THD_I.

За фирма „Каолин“ АД – гр. Сеново са определени средни стойности за някои енергетични характеристики в годишен разрез, предоставени в табл. 3.3.

Данните от таблицата показват, коефициент на формата вариращ в широки граници, като стойности по - високи от 1,3, обуславят големи дисперсионни съставящи на активните загуби. Коефициентът на максимума също варира в широки граници и стойности на Км. = 1,6, регистрират повишени активни загуби от дисперсионна съставяща на мощността. Липсата на компенсация на реактивните товари в отделни звена на ЕСС на фирмата или нейното нерационално и неефективно провеждане обуславят сравнително ниски стойности на средногодишния $\cos\varphi_{ср.г.}$

Таблица 3.3 Енергетични характеристики	Диапазон на изменение
Коефициент на използване на активен товар: Ки = Рср. / Рн. Рср. – средногодишен товар; Рн. – сумарен номинален товар	0,31 ÷ 0,68
Коефициент на формата на активен товар: Кф = Рср.кв. / Рср. Рср.кв. – средноквадратичен годишен товар	1,005 ÷ 1,385
Коефициент на максимума на активен товар: Км = Рм. / Рср. Рм. – максимално – продължителен год. товар	1,08 ÷ 1,643
Коефициент на запълване на товаров график: Кзг = 1 / Км. Рм. – максимално – продължителен год. товар	0,608 ÷ 0,926

Коефициент на натоварване: Кн = Рср.в. / Рн. Рср.в. – средно – год. товар за Т на включване	0,33 ÷ 0,71
$\cos\varphi_{ср.г.} = P_{ср.г.}/(\sqrt{P^2_{ср.г.} + Q^2_{ср.г.}})$ Рср.в. – средно – год. товар за Т на включване	0,75 ÷ 0,829

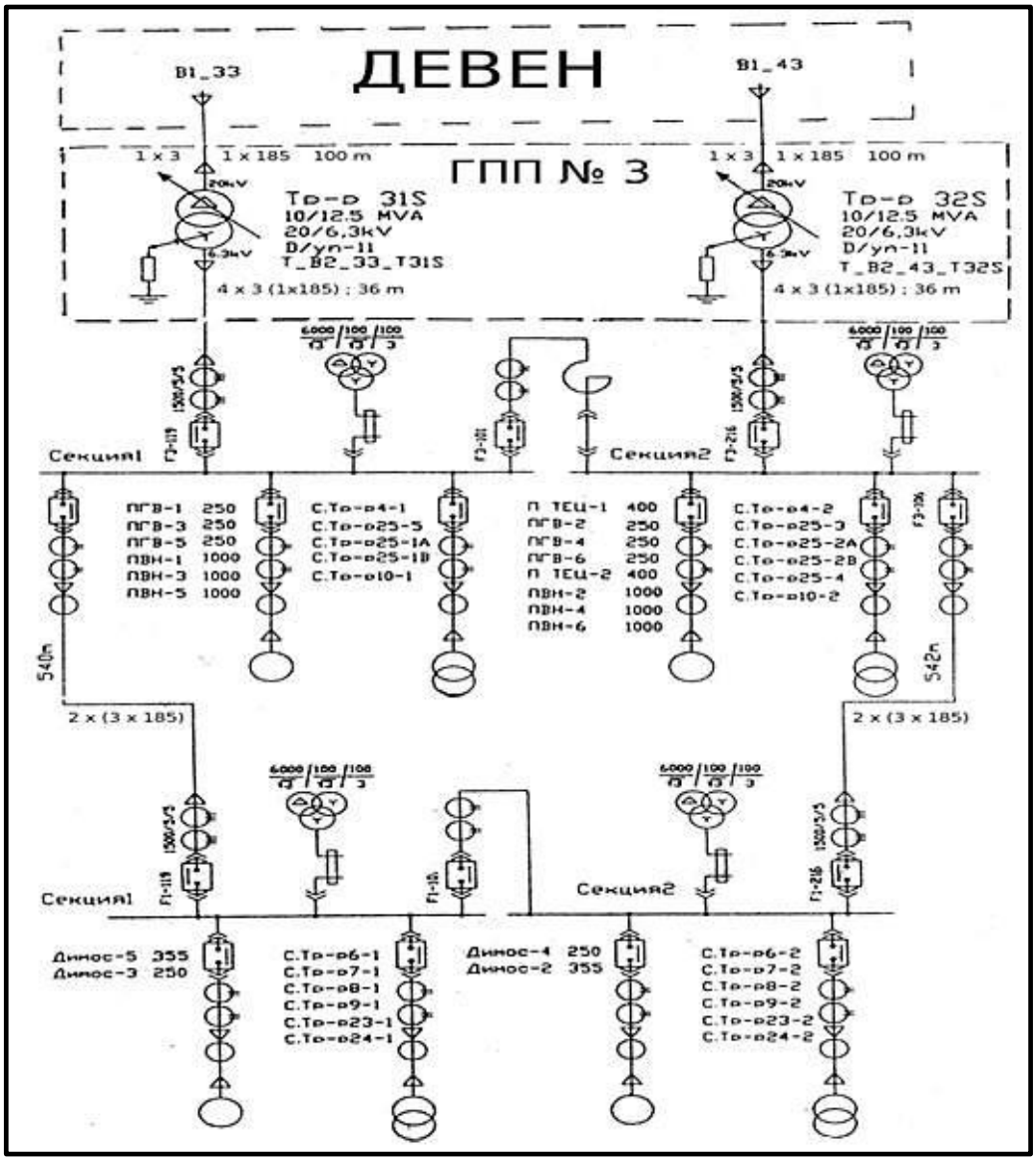
Проведено е изследване за дълъг период от време (1993 ÷ 2013г.), характеризиращо се с голяма динамика в поведението на промишлените обекти. Обхванати са 167 на брой промишлените предприятия от 9 отрасъла, имащи най - различни енергетични характеристики – средногодишен пълен товар $S_{CPг}$ [MVA]; консумирана за година електроенергия $W_Г$ [10^3 MWh/г]; средногодишен активен товар $P_{CPг}$ [MW] и средногодишен cosφ (tgφ) – $\cos\varphi_{CPг}$ ($tg\varphi_{CPг}$). Изследванията са проведени за три нива на натоварване: ниско – β_1, средно – β_2 и високо – β_3 (различни като диапазон за различните нива на натоварване). Нивата на cosθ са обособени в два режима – без КРТ (работа при нисък cosθ - режим А); с КРТ (работа при висок cosθ - режим Б).

Получените осреднени резултати за отрасъл ХДП, към които се отнася фирма „Каолин“ АД, представени в таблица 3.6.

Отрасъл	Таблица 3.6 Намаление на специфичния разход на ЕЕ: $\Delta E\ [\%] = \frac{\Delta E(U=U_{max})}{\Delta E(U)} * 100\ [\%]$					
	U = (208 ÷ 219)V, положение на комутатора – E_1			U = (228 ÷ 239)V, положение на комутатора – E_3		
	β_1 = (0,16 ÷ 0,38)	β_2 = (0,39 ÷ 0,57)	β_3 = (0,58 ÷ 0,79)	β_1 = (0,13 ÷ 0,36)	β_2 = (0,37 ÷ 0,59)	β_3 = (0,60 ÷ 0,82)
	Р Е Ж И М И А и Б			$\frac{\Delta E_А}{\Delta E_Б}$; $\frac{(cos\varphi)A}{(cos\varphi)Б}$; $\frac{(\sigma_U)A}{(\sigma_U)Б}$		
М n ≈ 380*10^3	$\frac{2,7}{4,6}$; $\frac{0,81}{0,9}$; $\frac{3,7}{3,5}$	$\frac{3,7}{5,7}$; $\frac{0,83}{0,91}$; $\frac{4,3}{3,7}$	$\frac{6,8}{7,4}$; $\frac{0,85}{0,91}$; $\frac{4,8}{3,7}$	$\frac{-1}{2,9}$; $\frac{0,8}{0,9}$; $\frac{4,5}{2,9}$	$\frac{2,4}{3,9}$; $\frac{0,82}{0,92}$; $\frac{5,1}{3,6}$	$\frac{6,4}{6,7}$; $\frac{0,83}{0,92}$; $\frac{4,2}{3,3}$
ХДП n ≈ 430*10^3	$\frac{-1,8}{-1,3}$; $\frac{0,79}{0,9}$; $\frac{3,5}{3,8}$	$\frac{-0,3}{0,2}$; $\frac{0,81}{0,9}$; $\frac{3,9}{3,5}$	$\frac{0,8}{1,7}$; $\frac{0,83}{0,91}$; $\frac{3,7}{3,5}$	$\frac{-0,2}{0,7}$; $\frac{0,77}{0,9}$; $\frac{3,15}{2,87}$	$\frac{1,8}{2,7}$; $\frac{0,79}{0,91}$; $\frac{2,83}{2,98}$	$\frac{4,2}{5,2}$; $\frac{0,83}{0,9}$; $\frac{2,9}{3,82}$
С n ≈ 310*10^3	$\frac{4,1}{5,1}$; $\frac{0,85}{0,91}$; $\frac{3,52}{3,84}$	$\frac{2,7}{3,5}$; $\frac{0,85}{0,92}$; $\frac{3,4}{3,8}$	$\frac{1,05}{1,2}$; $\frac{0,86}{0,91}$; $\frac{3,8}{2,9}$	$\frac{-0,}{1,6}$; $\frac{0,83}{0,9}$; $\frac{2,95}{2,65}$	$\frac{-0,7}{0,7}$; $\frac{0,84}{0,92}$; $\frac{3,55}{3,23}$	$\frac{-1,8}{-1,3}$; $\frac{0,86}{0,92}$; $\frac{3,8}{2,6}$
Е n ≈ 320*10^3	$\frac{0,7}{1,4}$; $\frac{0,84}{0,9}$; $\frac{2,52}{2,38}$	$\frac{1,8}{2,8}$; $\frac{0,86}{0,91}$; $\frac{2,4}{3,8}$	$\frac{2,3}{4,1}$; $\frac{0,87}{0,91}$; $\frac{3,4}{2,7}$	$\frac{1,3}{1,7}$; $\frac{0,81}{0,91}$; $\frac{3,81}{2,5}$	$\frac{-0,6}{-0,2}$; $\frac{0,84}{0,91}$; $\frac{2,6}{3,2}$	$\frac{-1,8}{-0,6}$; $\frac{0,85}{-0,9}$; $\frac{2,5}{3,2}$
ХТШО n ≈ 215*10^3	$\frac{8,1}{12}$; $\frac{0,75}{0,92}$; $\frac{2,8}{3,1}$	$\frac{10,5}{12,6}$; $\frac{0,75}{0,93}$; $\frac{2,7}{3,4}$	$\frac{11,2}{14,2}$; $\frac{0,78}{0,94}$; $\frac{2,9}{3,4}$	$\frac{1}{2,1}$; $\frac{0,74}{0,9}$; $\frac{2,6}{3,4}$	$\frac{5,1}{5,4}$; $\frac{0,74}{0,9}$; $\frac{2,2}{3,6}$	$\frac{7,5}{9,2}$; $\frac{0,75}{0,91}$; $\frac{2,4}{2,8}$
МДП n ≈ 165*10^3	$\frac{4,7}{7,2}$; $\frac{0,86}{0,9}$; $\frac{3,18}{2,45}$	$\frac{3,8}{6,2}$; $\frac{0,87}{0,9}$; $\frac{3,4}{2,5}$	$\frac{2,7}{3,2}$; $\frac{0,87}{0,9}$; $\frac{3,1}{2,8}$	$\frac{-1,8}{-0,9}$; $\frac{0,84}{0,91}$; $\frac{2,7}{1,8}$	$\frac{-1,4}{-0,1}$; $\frac{0,85}{0,91}$; $\frac{3,2}{3,5}$	$\frac{0,4}{0,8}$; $\frac{0,85}{0,9}$; $\frac{2,6}{3,4}$

ХВП $n \approx 240*10^3$	$\frac{4,6}{5,7}$; $\frac{0,87}{0,93}$; $\frac{3,3}{2,4}$	$\frac{2,75}{3,75}$; $\frac{0,88}{0,93}$; $\frac{3,6}{2,1}$	$\frac{-1,7}{-1,5}$; $\frac{0,88}{0,92}$; $\frac{2,9}{2,2}$	$\frac{-1,9}{-1,2}$; $\frac{0,85}{0,92}$; $\frac{2,9}{2,4}$	$\frac{-0,8}{-0,3}$; $\frac{0,86}{0,92}$; $\frac{3,4}{3,7}$	$\frac{1,6}{2,2}$; $\frac{0,87}{0,93}$; $\frac{2,7}{2,1}$
ГЕТ $n \approx 150*10^3$	U = (550 ÷ 590)V, положение на комутатора – E_1			U = (600 ÷ 650)V, положение на комутатора – E_3		
	$\frac{-2,9}{-1,4}$; $\frac{0,88}{0,94}$; $\frac{2,3}{2,8}$	$\frac{0,7}{2,1}$; $\frac{0,89}{0,94}$; $\frac{2,8}{2,1}$	$\frac{3,6}{4,1}$; $\frac{0,89}{0,94}$; $\frac{2,3}{2,1}$	$\frac{-3,3}{-1,9}$; $\frac{0,86}{0,94}$; $\frac{2,1}{1,7}$	$\frac{0,6}{1,2}$; $\frac{0,87}{0,94}$; $\frac{2,3}{1,6}$	$\frac{2,6}{3,1}$; $\frac{0,88}{0,93}$; $\frac{2,8}{1,6}$
КБС $n \approx 150*10^3$	$\frac{2,75}{7,2}$; $\frac{0,84}{0,91}$; $\frac{2,7}{3,6}$	$\frac{3,3}{5,2}$; $\frac{0,86}{0,91}$; $\frac{2,1}{2,9}$	$\frac{1,7}{4,3}$; $\frac{0,88}{0,92}$; $\frac{2,8}{3,5}$	$\frac{3,2}{4,2}$; $\frac{0,86}{0,92}$; $\frac{3,5}{4,8}$	$\frac{1,2}{2,6}$; $\frac{0,88}{0,9}$; $\frac{3,7}{3,2}$	$\frac{-0,}{0,6}$; $\frac{0,88}{0,91}$; $\frac{2,6}{2,9}$

Анализът им показва че при отклонение на фазното напрежение в диапазона $\delta U = (0,95 \div 1)U_н$ (положение E_1 на комутатора на СТ), се наблюдават незначителни положителни и по съществени отрицателни изменения на ΔE, като за ниските натоварвания $\beta_1 = (0,16 \div 0,38)$, ΔE се изменя в границите на $\Delta E = (-1,3 \div -1,8)\%$. Това се дължи на наличието на специфични за тази фирма и за този сектор Фиг.



3.9 Схема на ГПП №3

потребители, мощни и средномощни електролизни уредби, технологични термични инсталации, мощни специализирани задвижвания със СД и АД и др., които работят по неефективно.
При отклонение на U в диапазона $\delta U = (1 \div 1{,}05)U_н$, се наблюдава повишаване на производителността на съоръженията и ΔE, за β_2 и β_3, се намалява в границите $\Delta E = (1{,}8 \div 5{,}2)\%$. Следователно за отрасъл ХДП и за ЕСС на фирма „Каолин“ АД при ниски натоварвания с цел подобряване на условията за постигане на по – добра ЕМС е по – ефективно да се работи с по – високи напрежения. Този извод не важи за другите отрасли, където е препоръчително, в режим на понижено натоварване, с цел намаляване на специфичния разход на ЕЕ, цеховите СТ да работят с напрежения в диапазона $\delta U = (0{,}9 \div 1)U_н$, съответстващо на положение E_1 на комутатора.

Извършена реална оценка на регулиращите функции на СТ в голям промишлен обект „Солвей – Соди“ АД, гр. Девня. За обекта cosφ варира в границите (0,77 ÷ 0,82), т.е. необходима е КРТ, която може да се осъществи с помощта на КБ и СД.

Проведено е изследване за установяване на зависимостта между загубите на активна мощност ΔP (U) във функция от напрежението на шините на П/ст ГПП №3, като изменението на U се осъществява чрез различни стъпки на Янсеновия регулатор. Изхожда се от израза [3]:

$$\Delta \boldsymbol{P}(\boldsymbol{U}) = \frac{\boldsymbol{R_e}}{\boldsymbol{U}_н}\left[\boldsymbol{P}^2\boldsymbol{U}_*^{2(p-1)} + \boldsymbol{Q}^2\boldsymbol{U}_*^{2(q-1)}\right] \qquad (\mathbf{3.15})$$

Анализа на получените данни показва, че коефициентите на използване Ки за ГПП №3 се изменят в границите на (0,19 ÷ 0,31), като тези стойности са доста по – ниски от препоръчителните. Коефициента на максимума Км е в рамките на (1,08 ÷ 1,21), коефициента на формата Кф е (1,01 ÷ 1,17), което определя една сравнително добра равномерност на товаровите графици за СТ 31S и СТ32S. Средния коефициент на натоварване за двата трансформатора е $\beta \approx 0{,}21$, т.е. трансформаторите в денонощен и месечен разрез работят в режим на минимално натоварване. Cosφ е в рамките на (0,82 ÷ 0,86), следователно е необходимо прилагане на комплексен подход за КРТ и оптимизиране режима на работа на СТ.

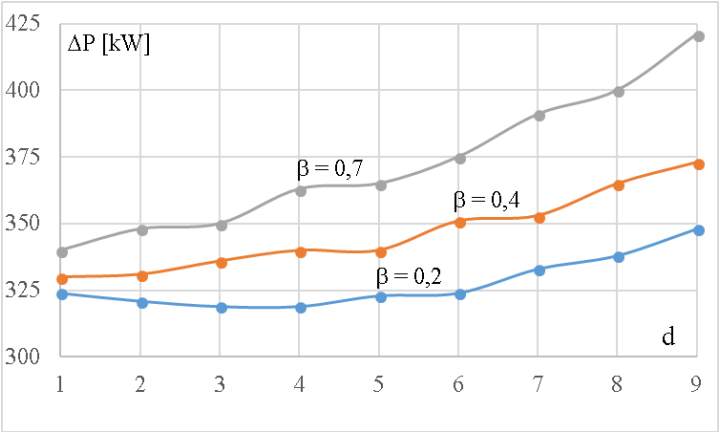
Основните потребители във фирмата са АД на 0,4kV и промишлено осветление, изпълнено с газорарядни лампи, като средната сумарна пълна мощност на тези потребители е $S_\Sigma = (31{,}58 – j39{,}76)$MVA. От тези данни се вижда, че cosφ, обусловен от натоварването на ЦП, има средна стойност $\cos\varphi_{ср.цп} = 0{,}62$, което е доста по – ниска стойност от тази на ГПП №3 [cosφ = (0,82 ÷ 0,86)] и средната за завода стойност cosφ = (0,77 ÷ 0,82). Следователно в мрежата НН и СН на обекта преобладават реактивните мощности, които предизвикват допълнителни активни

загуби и за подобряване на ЕМС и ЕЕЕф е необходимо да се извършва местна и групова КРТ, освен прилагането на централна КРТ.

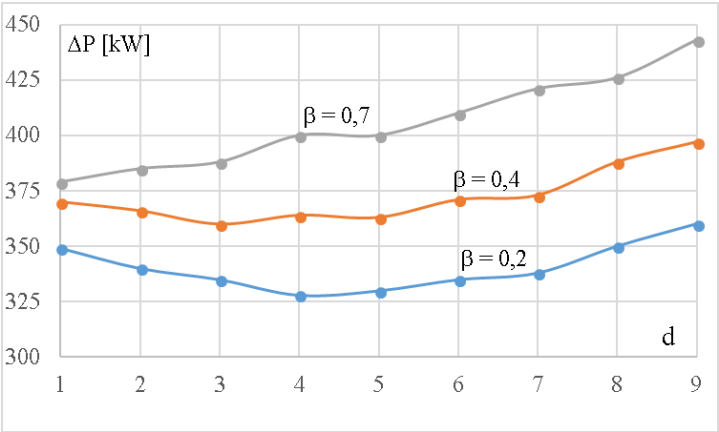
Изчислени са загубите на активна мощност в контролни точки 1 и 2 от фиг. 3.9 в зависимост от регулировъчните степени на Янсеновия регулатор, при номинален възбудителен ток на СД ($I_в$* = 1).

$$\Delta \boldsymbol{P}(\boldsymbol{U}) = \frac{\boldsymbol{R_e}}{\boldsymbol{U}_н}\left[\boldsymbol{P}^2 * \boldsymbol{U}_*^{2(p-1)} + \boldsymbol{Q}^2 * \boldsymbol{U}_*^{2(q-1)}\right] \qquad (3.16)$$

$$\begin{cases} \boldsymbol{P}(\boldsymbol{U}) = \boldsymbol{P} * \boldsymbol{U}^p\,; \quad \boldsymbol{Q}(\boldsymbol{U}) = \boldsymbol{Q} * \boldsymbol{U}^q; \\ \boldsymbol{P}(\boldsymbol{U}) = \boldsymbol{a_0} + \boldsymbol{a_1}\boldsymbol{U} + \boldsymbol{a_2}\boldsymbol{U}\,; \quad \boldsymbol{Q}(\boldsymbol{U}) = \boldsymbol{b_0} + \boldsymbol{b_1}\boldsymbol{U} + \boldsymbol{b_2}\boldsymbol{U} \end{cases} \qquad (3.17)$$



Фиг. 3.16 ΔP = f(d) за СТ 31S, секция 1 (контр. т. 1)



Фиг. 3.17 ΔP = f(d) за СТ 32S, секция 2 (контр. т. 2)

От получените резултати могат да се направят следните изводи: с увеличаване U на СТ на страна 20kV, се наблюдава тенденция за намаляване на ΔP за двете контролни точки, като тази тенденция е по – силно изразена при по – големи стойности на натоварването β = 0,7 и β = 0,4, а при малки натоварвания на ЕСС (β = 0,2), т.е. в режим на понижена консумация, загубите на мощност ΔP имат минимум в диапазона d = (3 ÷ 6), като при d < 3 се очертава тенденция за тяхното покачване. Следователно, във всички случаи повишаването на U води до намаляване на ΔP. Това зависи от влиянието на U върху статичните характеристики на товара и най – вече на зависимостта на реактивния товар от напрежението. Чрез правилно регулиране на U могат да се намалят загубите на активна мощност и от там потреблението на ел. енергия.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ТРЕТА ГЛАВА

1. Представено е влиянието на комутационните пренапрежения върху ЕМС, като се предлагат, да се използват вероятностно – статистически подходи при изследването. Потвърдена е ефикасността на нелинейните ограничители на пренапрежения и маркирани ограничителните условия за тяхното приложение.

2. Извършен е анализ на техническите средства за комплексно въздействие върху ПКЕЕ с цел подобряване на ЕМС. Обосновано е използването на филтрокомпенсиращи устройства, статичните, бързодействащи компенсатори със тиристорно регулиране, хибридните схеми и др., като е потвърдена тяхната ефикасност при използването им за комплексно подтискане на колебанието на U и I, несиметричните режими и в.х. на прокатни станове, ДСП, ЗА и др.

3. Проведен е изследователски процес за установяване корелационните връзки между ЕМС и технико – икономическите характеристики на промишлените обекти. Като критерии за електроенергийна ефективност се използва специфичния разход на ЕЕ в мощен промишлен обект (фирма „Каолин“ АД), който чрез приобщаване към мащабен изследователски процес, се обвързва със характеристиките и параметрите на системата за регулиране на напрежението и КРТ, в съответния отрасъл. Изследванията потвърждават, че за постигане на по – високо ниво на ЕМС, е необходимо захранващото напрежение, осигурявано от ЦП, да бъде в диапазона $\delta U=(1\div1,05)U_н$, съответстващо на положение E_3 на стъпалния превключвател на СТ.

4. Проведено е изследване за установяване на регулиращите функции на СТ за подобряване на ЕМС на електрообзавеждането. Като критерии за ефективност е избран прираста на загубите на мощност по отношение на коефициента на натоварване по реактивен товар на СД. Доказана е целесъобразността от използване на СД за КРТ, като регулирането на реактивната им мощност се осъществява чрез автоматично изменение на захранващото напрежение от Янсенов регулатор в П/ст 20kV на фирма „Солвей Соди“ АД. Установена е зависимостта между загубите на активна мощност във функция от U за двете секции на ГПП №3 при номинален възбудителен ток на СД. Доказано е, че статичните характеристики на товара оказват съществено влияние върху загубите на мощност ΔP, като в резултат на това влияние е възможно повишаването на напрежението да предизвиква намаляване на активните загуби на мощност, което на пръв поглед е нелогично. Това явление е особено силно изразено при малки натоварвания, когато статичните характеристики на реактивния товар имат съществено влияние върху ΔP.

ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

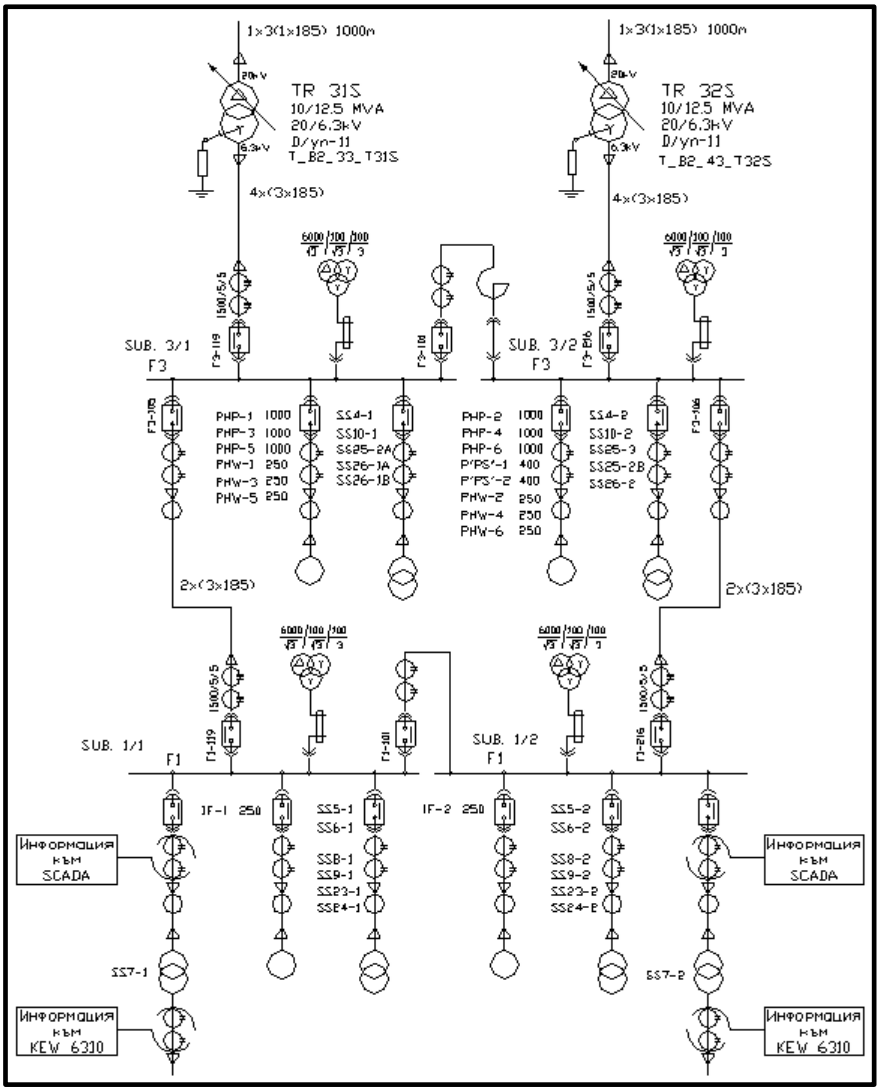
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ, АНАЛИЗ И ХАРАКТЕРНИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕМС ПРИ ПОНИЖЕНО НАТОВАРВАНЕ ЗА МОЩНИ ПРОМИШЛЕНИ ОБЕКТИ И ОТРАСЛИ.

Проведени са изследвания в пет цехови П/ст за съответните СТ, на фирма „Солвей Соди“. Заснети и изчислени са активната и реактивната мощности, cosφ, THD_I (6,3) и THD_I (0,4), хармоничния състав на тока, несиметрията на тока и напрежението и някои други показатели, характеризиращи товаровите графици

На фиг. 4.2 и са показани част от резултатите за тези измервания и са изчислени корелационните зависимости (табл. 4.2) между с.в. THD_I (6,3) и THD_I (0,4). Коефициента на корелация се определя с израза:

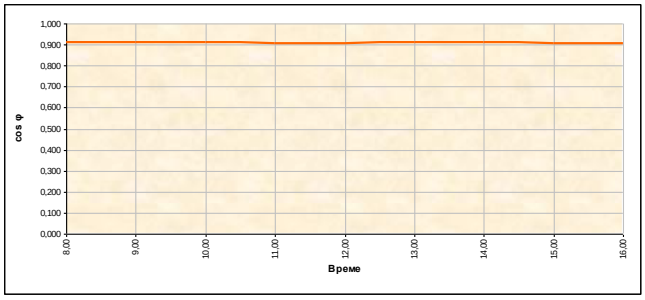
$$R_{xy} = \frac{K_{xy}}{S_y S_x} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x-\bar{x})(x-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x-\bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n}(x-\bar{y})^2}} \tag{4.1}$$

.

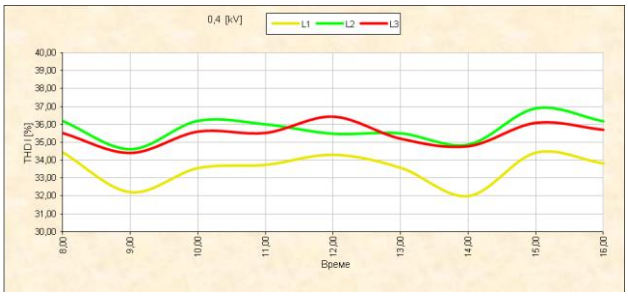


Фиг. 4.1 Контролни точки за измервания в ЦП SS7-1 и SS7-2

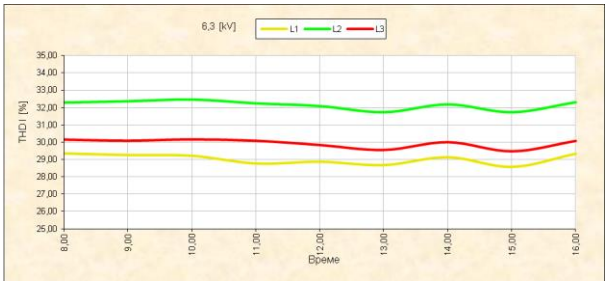
Таблица 4.2 THD_I и Rxy за различни П/ст					
THD_I и Rxy	Подстанция №				
	06 – 1	07 - 1	07 - 2	14 - 2	31 - 2
THD_I (0,4)	12,7	15,18	33,15	23,42	3,18
THD_I (6,3)	9,02	11,53	31,55	6,18	2,03
R_{xy}	0,31	0,115	-0,28	0,117	-0,11



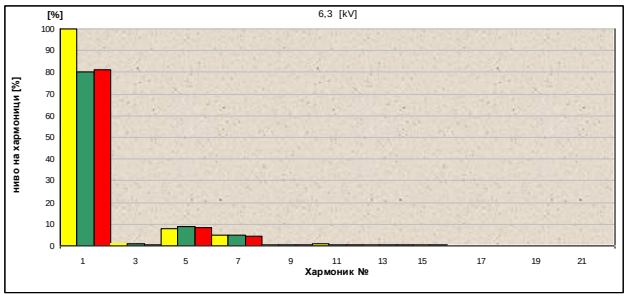
cosφ



Изменение на THD_I на страна 0,4кV



Изменение на THD_I на страна 6,3кV



Хистограма на хармониците на тока

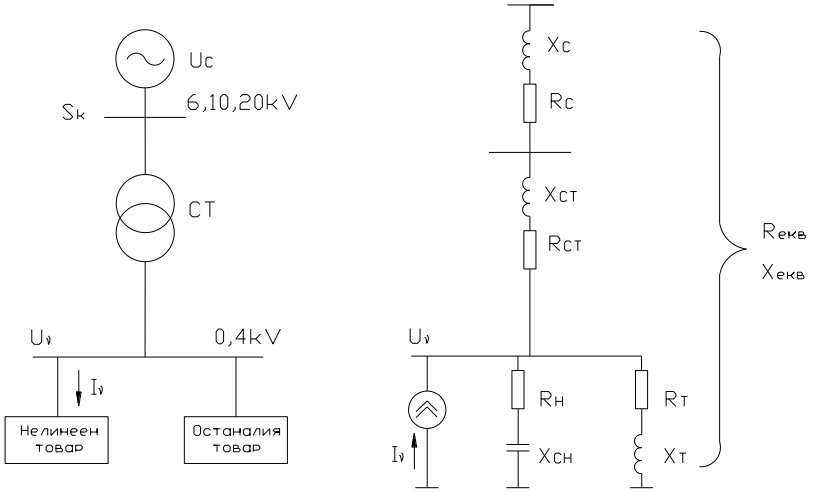
Фиг. 4.2 Резултати за част от измерванията

Получените коефициенти на корелация R_{xy}, даващи връзката между THD_I (6,3) и THD_I (0,4) имат много ниски стойности, преобладаващо положителни. Това показва, че при повишаване на THD_I за 0,4kV би следвало да се очаква и повишаване на THD_I на 6,3kV, но тази зависимост е доста слабо изразена, т.е. ниско натоварените СТ имат по – силно изразен филтриращ ефект. Средните стойности на $THD_{I(ср.)}$ за 6,3kV определяни в един и същи момент със тези за 0,4kV са по – малки в сравнение с последните. Това се дължи на филтриращите способности на СТ, шинните системи и останалите силови елементи. Степента на различие в голяма степен зависи от схемата на СТ.

Изследвани са резонансните и комутационни процеси в ЕСС на мощни промишлени обекти при понижено натоварване. Разглежда се обобщена електрическа и заместваща схема, на ЦП 60-1 на ф. „Солвей Соди“ АД (фиг. 4.5).

- Установено е че ЕСС в режим на понижен товар може да изпадне в режим на токов резонанс в диапазона на по – високите честоти (11 ÷ 17) хармоник. При

КРТ вероятността за възникване на резонанс се измества в диапазона на по – ниските честоти (4 ÷ 7) хармоник. Резултатите показват, че най – заначително претоварване от в.х. на тока се наблюдава за ЦП 07-2, като след КРТ тока на 5-тия хармоник за нелинейния товар нараства от 31,5А до 179А, което не е пропорционално на изменението на β, от 0,27 до 0,81.



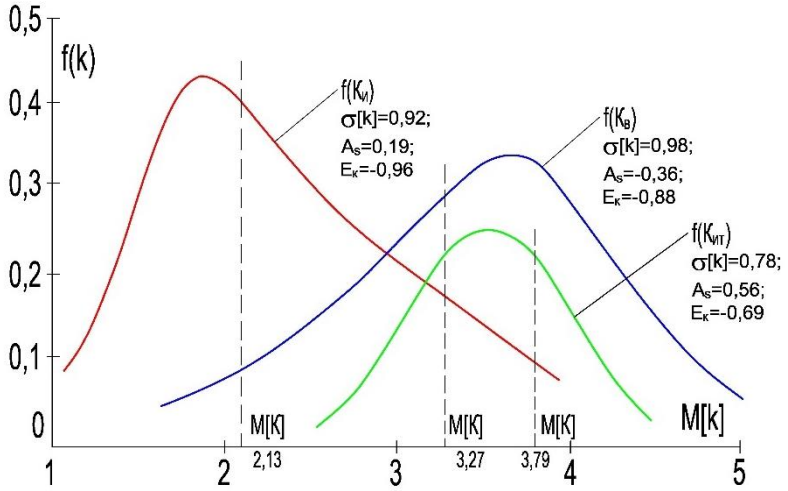
Фиг. 4.5 Еднолинейна и заместваща схема на ЦП 06-1

Анализирани са възникващите пренапрежения при комутация на СД тип СДН-15-39-10 с мощност 1000kW, във ф. „Солвей Соди“. Получените резултати са представени в табличен вид (таблица 4.6). От таблицата се вижда, че най – голяма кратност на пренапреженията се получава при изключване на СД под товар.

На фиг. 4.6 са представени плътностните криви f($K_и$); f($K_в$) и f($K_{ит}$), построени след като по критерий χ^2, е потвърден норм.закон за разпределение на изследваните с.в. $K_и$; $K_в$ и $K_{ит}$ при нива на значимост α = 0,95(вероятност за грешка 0,05).

Таблица 4.6 Стойности за статистическите параметри при комутацията СД

Показатели	Вид комутация		
	Включване на празен ход $K_в$	Изключване на празен ход $K_и$	Изключване под товар $K_{и(T)}$
M [k]	3,27	-2,13	3,79
D [k]	0,96	0,84	0,62
σ [k]	0,98	0,92	0,78
V [k]	0,3	0,43	0,205
$K_ф$ [k]	1,043	1,088	1,09
A_s	-0,36	0,79	0,56
E_k	-0,88	-0,96	-0,69
R	0,35	2,83	3,28

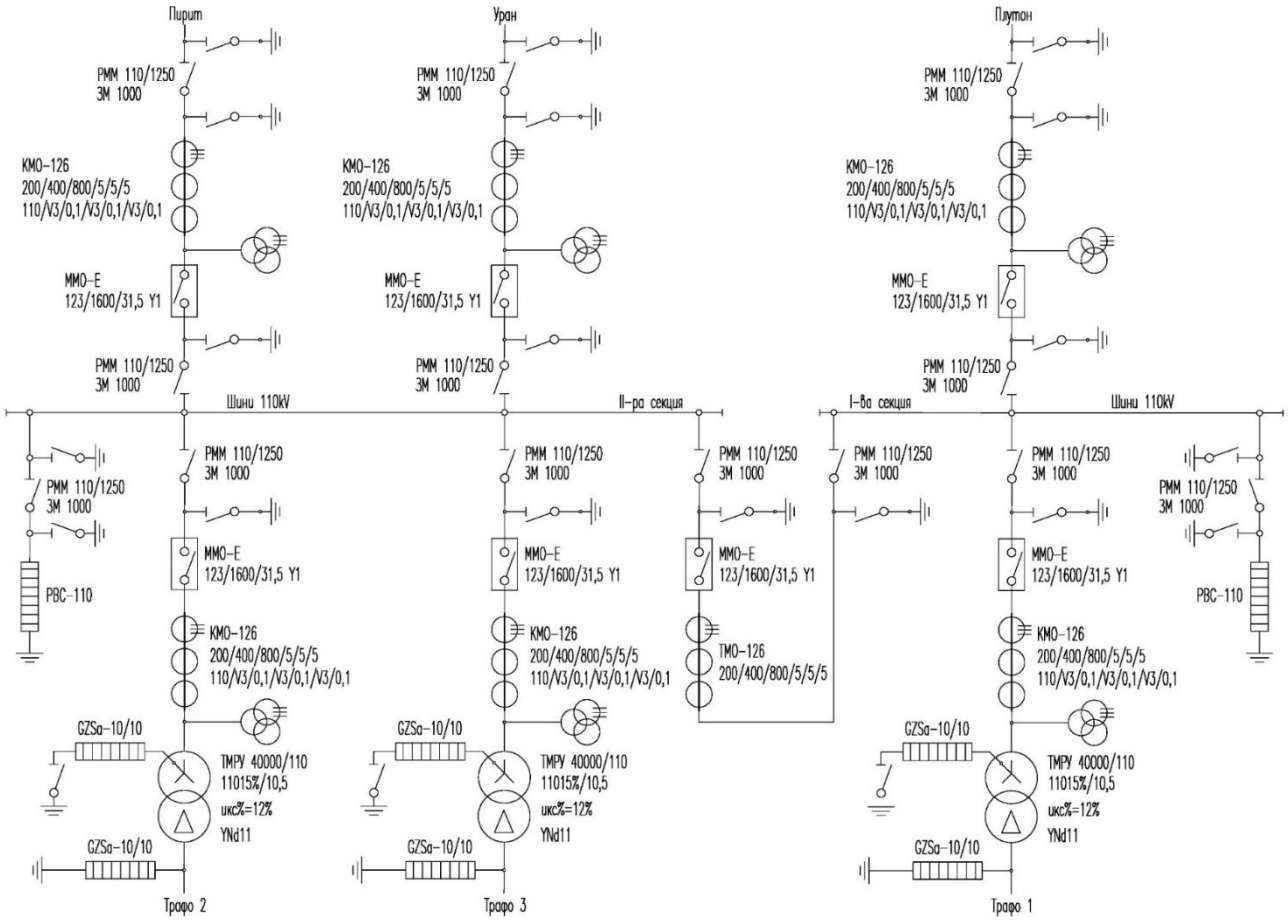


Фиг. 4.6 Плътностни криви за $f(K_и)$; $f(K_в)$ и $f(K_{ит})$

Проведени са изследвания на ЕСС (фиг. 4.18) на фирма „Промет стийл“ АД, с. Дебелт. Заснети и изчислени са активната и реактивната мощности, cosφ, THD_I (6,3) и THD_I (0,4), хармоничния състав на тока, несиметрията на тока и напрежението и някои други показатели, характеризиращи товаровите графици. Анализирани са някои показатели за качество на ЕЕ при пусков и установен режим. Данните са обработени по вероятностно – статистически способи и резултатите са обобщени по групи потребители и са представени в таблица 4.13.

Таблица 4.13 Обобщени резултати за ПКЕЕ за СТАН 300							
Група консуматори		Показатели за качество на ЕЕ					
		δU [%]	δV [%]	ε_U [%]	ε_I [%]	THD_U	THD_I
Блок А	Пусков режим	-5% ÷ +3%	3,2	5,7	25,8	18,9	37,7
	Устойчив режим	-4% ÷ +1%	2,1	2,3	12,4	7,3	14,4
Блок А	Пусков режим	-2% ÷ +2%	2,9	5,3	18,7	16,5	31,4
	Устойчив режим	-6% ÷ +3%	2,2	2,4	11,3	6,7	13,2
Блок А	Пусков режим	-6% ÷ +2%	2,8	4,4	18,2	15,2	28,3
	Устойчив режим	-5% ÷ +2%	1,9	1,7	9,4	5,9	11,5
Блок А	Пусков режим	-6% ÷ +4%	2,9	4,5	18,5	15,4	28,7
	Устойчив режим	-5% ÷ +2%	1,9	1,8	9,1	5,9	11,6

При работата на Стан 300 в установен и пусков режим, се влошават съществено ПКЕЕ за всички звена на ЕСС, а това респективно означава понижени възможности за постигане на ЕМС на електрообзавеждането в ЕСС на фирмата. Особеност на изследването на този обект е, че при нормална експлоатация се влошават практически всички енергетични показатели и ПКЕЕ. Това обуславя големи загуби на мощност и ел. енергия и прави ЕСС на фирма „Промет стийл“ АД крайно неефективна.



Фиг. 4.18 Еднолинейна схема на П/ст 110/10kV на „Промет стийл“, с. Дебелт

Проведено е изследване за определяне на вероятността P(δU) за попадане на случайната величина δU в определен, регламентиран от стандарта диапазон. За такъв, в съответствие с БДС EN 50160 е избран (-5 ≤ δU ≤ +5)%. Използват се следните вероятностно – статистически формализации:

$$\boldsymbol{P\ (\delta U_1 \leq \delta U \leq \delta U_2) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \ \Phi_0} \qquad (4.11)$$

$$\boldsymbol{t_1 = \frac{\delta U_1 - \delta U_{\text{ср}}}{\sigma_{\delta U}};\quad t_2 = \frac{\delta U_2 - \delta U_{\text{ср}}}{\sigma_{\delta U}};\quad \sigma^2_{\delta U} = (\delta U_{\text{ср.кв.}})^2 - \left(\delta U_{\text{ср.}}\right)^2} \qquad (4.12)$$

$$\boldsymbol{\delta U_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\delta U_i)^2}\ ;\quad \delta U = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\delta U_i} \qquad (4.13)$$

Времето T_1, през което случайната величина δU ще бъде извън посочения диапазон (-5 ≤ δU ≤ +5)%, се определя от израза:

$$\boldsymbol{T_1 = (1 - \Phi_0)T} \qquad (4.16)$$

За конкретно изследване за ф. „Елкабел“ АД и ф. „Каолин“ АД на база данните от измерванията, са изчислени:

- За ф. „Елкабел“ АД: дисперсията $\sigma_{\delta U}$ = 0,977, средно – квадратично отклонение $\delta U_{ср.кв.}$ = 1,257 и средната стойност $\delta U_{ср.}$ = 0,991 на случайната величина δU. Получава се, че времето през което случайната величина δU ще бъде извън посочения диапазон (-5 ≤ δU ≤ +5)%, ще бъде T_1 = 0,464, т.е. за цялото време на изследването с продължителност T = 232 часа, отклонението на напрежението ще бъде извън посочения по – горе диапазон (-5 ≤ δU ≤ +5)% в продължение на 0,464 часа (28 минути) и това е оценено с вероятност P (-5 ≤ δU ≤ +5)% = 99,8%, съгласно формула.
- За ф. „Каолин“ АД: на база на проведените изчисления е определено време T = 2136ч., в което отклонението на напрежението ще бъде извън посочения по – горе диапазон (-5 ≤ δU ≤ +5)% в продължение на 52,65ч. и това е оценено с вероятност P (-5 ≤ δU ≤ +5)% = 97,28%.

Всъщност времето T_1 е около 2,46% от общото време на изследване T, докато при изследването на фирма „Елкабел“ АД, това време беше около 0,21%, т.е. значително по – малко.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

1. Обоснована е възможността и ефикасността от провеждане на многофункционални, мащабни и пълни изследвания върху ЕМС в ЕСС, като тази постановка е апробирана чрез комплексно изследване в пет ЦП от ЕСС на фирма „Солвей Соди“. Получени са резултати, както за детерминирани величини, така и за вероятностно – статистически зависимости като се установява, че СТ работещи в режим на понижено натоварване способстват в по – силна степен за намаляване на корелационната връзка между параметрите на НН и тези на СН, т.е. ниско натоварените СТ имат по – силно изразен филтриращ ефект. Това означава подобрена ЕМС между ел. обзавеждането, инсталирано на различни нива на напрежение, когато то работи в режим на недонатоварване.

2. Доказано е чрез изследване в петте П/ст на ф. „Солвей Соди“, че токов резонанс при понижено натоварване настъпва в диапазона на по – високите честоти (11 ÷ 17 хармоник на тока), докато при провеждане на КРТ вероятността от претоварване на КБ се измества в областта на по – ниските честоти. Аналогично изследване, свързано с вероятността от претоварване на КБ от в.х. при КРТ, е направено в ЕСС на ф. „Елкабел“ АД, като е установено, че при по – ниските натоварвания резонансните честоти при напреженов резонанс се изместват в областта на по – високите честоти, т.е. констатациите при двата вида резонанс съвпадат.

3. Чрез прилагане на вероятностно – статистически подход е извършено изследване върху кратността на пренапреженията при комутиране на група от мощни СД, като е установено съществено влошаване на ЕМС на

електрообзавеждането в обекта. Потвърдена е вероятността от проникване на смущения от електромагнитен характер в системите за автоматика и управление, РЗ, терминалните устройства, системите за контрол и мониторинг и др., породени от високата кратност на пренапреженията при комутационните процеси.

4. Маркирани са характерни особености на ЕМС на някои мощни промишлени обекти при понижено натоварване. За ф. „Елкабел“ АД и за ф. „Каолин“ АД са изследвани режимите на ОН в денонощен разрез и динамиката на коефициентите на несиметрия по ток и напрежение. Установено е, че тези параметри в глобален аспект, отговарят на изискванията на стандарта БДС EN 50160. Формулирани са препоръки за рационализиране КРТ с цел подобряване на нейната ефективност и минимизиране на вероятността от възникване на резонансни явления.

5. Установени са нивата на характеристиките свързани с ЕМС при работа в преходен и установен режим на прокатен стан във ф. „Промет Стийл“ АД. Констатира се, че работата на стана е съпроводена с влошаване на всички енергетични показатели и ПКЕЕ. Това обуславя експлоатация с големи загуби на мощност и ЕЕ и се препоръчва внедряване на технически и организационни мероприятия за подобряване на ЕМС и ЕЕЕф.

6. Извършено е моделиране на енергетични процеси при понижено натоварване с използване на дефинирания в т. 2.3.2 комплексен многофакторен подход, създаден на база ТПЕ. По критерий $\delta P_* < 0$ са определени ММ за ИП $\delta P_* = f(\beta, U_{**}, \cos\varphi, H)$, като е приложен план B_4. Резултатите са представени чрез 3D визуализация в графичен вид за 6 отрасъла, на базата на което са определени оптимални области за СФ и ИП. Изследванията дават възможност да се формулират препоръчителни стойности и указания за постигане на ЕМС по отрасли, чрез дефиниране на конкретни стойности за различни показатели и характеристики.

ОБОБЩЕНИ ИЗВОДИ КЪМ ДИСЕРТАЦИЯТА

1. В дисертационната работа са формулирани методическите предпоставки за изследване и анализ на ЕМС, като тя се разглежда като комплекс от електромагнитни и кондуктивни въздействия, свързани с нормативни документи и стандарти, източниците за въздействие от природен и технически характер, а също и релативната връзка с характерни параметри, като „надеждност и устойчивост на ЕСС“, „електроенергийна ефективност“, „специфичен разход на ЕЕ“, „структурни и схемотехнически особености на ЕСС“ и др. Следователно към тази специфична електротехническа категория трябва да се подхожда комплексно, като се изучават многообразни явления и процеси от природен и технологичен

характер, разглеждани от една страна като предметна дейност с електротехнически и техникоикономически показатели и от друга страна, като материална субстанция, представляваща трансфериранатa през тази инфраструктура електрическа енергия.

2. Формулирани са методически постановки и алгоритми за провеждане на изследователския процес, които се базират на използване на детерминирани и вероятностно – статистически подходи. Представени са практично – приложни методи за оценка на параметрите и характеристиките на ЕМС, като е предложен рационален подход за оценка на резонансни явления в процес на експлоатация на ЕСС. Теоретично е разработен т.н. комплексен многофакторен подход, при който с математически формализации се описват връзките между различни показатели, свързани с ЕМС и се оптимизират различни параметри.

3. Формулирани са особеностите, влиянието и зависимостите между комутационните пренапрежения, на електрическите апарати и ЕМС и е потвърдена ефикасността на комплексното въздействие на технически средства върху ПКЕЕ с цел подобряване на ЕМС. Определени са корелационните зависимости между ЕМС и технико – икономически характеристики на ЕСС и са изследвани регулиращите функции на СТ при оптимизиране режима на напрежение и генерираните реактивни мощности от СД, използвани като компенсатори. Изследвано е влиянието на статичните характеристики на товара върху загубите на активна мощност, като е доказано, че при ниски натоварвания това влияние е в по – силна степен изразено.

4. Чрез „корелационен анализ“ е доказана възможността за подобряване на ЕМС на ел. обзавеждането вследствие на по – силно изразения филтриращ ефект на недонатоварените СТ. Токов и напреженов резонанс, при понижено натоварване на ЕСС възниква при по – високи честоти (11 ÷ 17 хармоник), а с провеждане на КРТ този диапазон се измества към по – ниските честоти. При висока кратност на комутационните пренапрежения в електрическите апарати СН, е потвърдена вероятността за влошаване на ЕМС от проникване на електромагнитни смущения в системата за автоматика, терминалните устройства, релейни защити и др. системи за контрол и мониторинг. При реални изследвания са маркирани характерни особености при експлоатацията на мощни промишлени обекти от електротехническата, химическата и добивна промишленост и металургията, като са изследвани различни режими при понижено натоварване с нормална и влошена ЕМС.

5. По критерий $\delta P_* < 0$ са моделирани ММ енергетични процеси в режим на понижено натоварване за изследваните 9 отрасъла, от промишлеността и са формулирани препоръчителни стойности и указания за постигане на ЕМС чрез дефиниране и оценяване на конкретни показатели и характеристики.

В. ПРЕТЕНЦИИ ЗА ПРИНОСИ

Научни приноси:

1. Предложена е иновативна теоретична постановка на базата на основни положения от теория на вероятностите, математическата статистика и планирането на експеримента. Апробацията на постановката е осъществена при изследване и анализ на комутационни процеси на електрически апарати СН, създаващи електромагнитни смущения и влошаване на ЕМС.

2. Формулирана е методическа постановка за провеждане на многофункционални, мащабни и пълни изследвания на ЕМС. Тази иновативна постановка изисква да се използват високо – техн. средства за мониторинг, контрол и управление, като този подход е апробиран и ефективно потвърден в изследователския процес на мощни промишлени обекти.

Научно - приложни приноси:

1. По критерий ЕЕЕф са установени корелационни зависимости между ЕМС и технико – икономическите характеристики на промишлени обекти. Изследователския процес, следвайки формулирания комплексен подход, се обвързва с характеристиките и параметрите на системите за регулиране на напрежението и КРТ, като е доказано, че постигане на високо ниво на на ЕМС в отрасъл ХДП в режим на понижено натоварване се осигурява при δU в диапазона на (1 ÷ 1,05)%.

2. Установени са регулиращите функции на СТ за подобряване на ЕМС, обвързани със загубите на мощност при СД, работещи в режим на КРТ. Определена е степента на влияние на СХТ върху загубите на активна мощност при понижено натоварване. Доказана е на практика възмощността повишаването на напрежението да предизвика намаляване на активните загуби на мощност, което по принцип се счита за нелогично.

3. При изследване и анализ на ЕМС трябва да се подхожда комплексно, като се разглеждат източниците на електромагнитни смущения, каналите на тяхното разпространение, техн. средства за експерименталното им изследване, негативното им влияние и възможностите за неговото минимизиране. Нарушаването на ЕМС е свързано с действието не само на електроенергийните съоръжения и свързаните с тях явления и процеси, като силовото обзавеждане на П/ст ВН и СН, преходни и комутационни процеси в мрежи ВН и СН, радиочестотни полета и др., но и с действието на естествени източници, като ел. магнитни смущения от мълниите, магн. поле на Земята, влиянието на статичното електричество и др. Негативното въздействие на ел. магнитните смущения също трябва да се разглежда комплексно, от технико – икономически аспект и като екологическо, медицинско и здравословно влияние в/у човека и обществото.

4. Доказано е на практика, че резонансните явления в ЕСС на промишлените обекти зависят не само от КРТ, но и от нивото на натоварване на електротехническите съоръжения. Токов и напреженов резонанс в по – силна степен е възможен при по – високи честоти, а при КРТ

вероятността за възникването му се измества в областта на по ниските честоти.

5. Въз основа на мащабни и дългогодишни изследвания на базата на ТПЕ, е разработен практично – приложен подход, даващ възможност в проектантската практика и при експлоатация на ЕСС да се определят и характеристики свързани с ЕМС.

ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА ВЪВ ВРЪЗКА С ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Снежана С., Агапиев В., Пройков М., Изследване на несиметрични и елинейни режими в трифазните, четирипроводни електрически мрежи, сборник доклади от XXVI-та Международна научна конференция, Стара Загора, 2-3 юни 2016г.
2. Пройков М., Киров Р., Изследване на електромагнитната съвместимост на светодиодните осветители, сборник доклади от XVI-та национална конференция по осветление с международно участие BulLight 2017, Български национален комитет по осветление (БНКО), България Светлина 2017, Созопол, 25 - 27 май 2017г.
3. Пройков М., Някои теоретични аспекти по електромагнитната съвместимост в промишлените предприятия, сборник доклади от XXVII-та Международна научна конференция, Ст Загора, юни 2017г.
4. Илиев И.Х., Пройков М.А., Киров Р.М., Изследване и анализ на електромагнитната съвместимост при експлоатацията на прокатни станове, сборник доклади Научно – технически съюз на енергетиците в България, Енергиен форум, Варна, 27–30 юни 2017г.
5. Илиев И.Х., Пройков М.А., Киров Р.М., Подобряване на електромагнитната съвместимост в електроснабдителните системи при надлъжна компенсация на реактивните товари, сборник доклади на Научно – технически съюз на енергетиците в България, Енергиен форум, Варна, 27 – 30 юни 2017г.
6. Пройков М., Киров Р., Сравнителен анализ на показателите за качество на електрическата енергия за някои видове светлинни източници, сборник доклади от VII-ма международна конференция BalkanLight 2018, БНКО София, юни 2018г.
7. Пройков М., Илиев И., Гюров В., Киров Р., Изследване и анализ на някои енергетични характеристики и показатели на качеството на електрическата енергия в ЕСС на „Каолин“ АД – гр. Сеново, сборник доклади на Научно – технически съюз на енергетиците в България, Енергиен форум, Варна, 26 – 29 юни 2018г.