



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – С О Ф И Я

**ИНЖЕНЕРНО ПЕДАГОГИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ - СЛИВЕН
КАТЕДРА „ЕЛЕКТРОТЕХНИКА, АВТОМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННИ
ТЕХНОЛОГИИ”**

маг. инж. Антоанета Георгиева Димитрова

**Повишаване на експлоатационната надеждност на
кондензаторни батерии в разпределителни електрически
мрежи**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на

ДИСЕРТАЦИЯ

За присъждане на образователна и научна степен

„ДОКТОР“

по професионално направление

5.2.Електротехника, електроника и автоматика,

научна специалност „ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ И СИСТЕМИ“

НАУЧНИ РЪКОВОДИТЕЛИ:

проф. д-р инж. Стефка Неделчева

доц. д-р Димитър Стоянов

Сливен, 2018

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“ към Инженерно-педагогически факултет - Сливен на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 02.04.2018 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 03.07.2018 г. от 10:00 часа в зала 1207 на ИПФ, гр. Сливен, бул. „Бургаско шосе“ 59 на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-106 от 10.04.2018 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р инж. Стефка Иванова Неделчева – председател
2. доц. д-р инж. Веселин Йорданов Чобанов – научен секретар
3. проф. д-р инж. Никола Петров Михайлов
4. доц. д-р инж. Камен Димитров Сейменлийски
5. доц. д-р инж. Таня Иванова Пехливанова-Гочева

Рецензенти:

1. проф. д-р инж. Никола Петров Михайлов
2. доц. д-р инж. Веселин Йорданов Чобанов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на ИПФ-Сливен на ТУ-София, бул. „Бургаско шосе“ № 59, Сливен.

Дисертантът е докторант в свободна форма на обучение към катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“ на ИПФ-Сливен. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научно-изследователски проекти.

Автор: маг. инж. Антоанета Георгиева Димитрова

Заглавие: Повишаване на експлоатационната надеждност на кондензаторни батерии в разпределителни електрически мрежи

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Развитието на съвременната наука и всички отрасли на производството изисква множество учени и научни екипи да работят над проекти, в които да изследват и внедряват материали, методи и технологии за повишаване на физико-механичните и експлоатационни свойства на материалите.

Задълбочената изследователска и внедрителска работа, извършена в последните години показва актуалността и перспективността на изследванията в областта на електроизолационните и диелектрични материали с цел постигане на по-високо качество, свързано с трайността и износоустойчивостта им. Насърчават се научните изследвания в областта на новите високотехнологичните и традиционните индустрии, разработване на нови, многофункционални повърхности и материали, предназначени за производството на нови продукти и процеси; по-надежден дизайн и симулация; компютърно моделиране; екологична съвместимост; интеграция на нано-, микро-, макрофункционалността при химичните технологии и индустриите, свързани с обработката на материали; новите наноматериали, включително нанокомпозити, биоматериали и хибридни материали.

Реактивната мощност е един от основните параметри, които характеризират работата на електрическите мрежи и системи. Като част от пълната мощност, реактивна мощност води до натоварване на мрежата, причинявайки допълнителни загуби, като по този начин понижава на пропускателната способност на електропроводните линии. Корекцията на фактора на мощността на електрическите товари е проблем при електроразпределителните компании и при индустриалните консуматори на електроенергия. Всеки потребител се стреми да постигне по-пълно използване на активната енергия и да намали потреблението на реактивната

Експлоатационните показатели на всяка електрическа мрежа се определят от надеждността и ефективността на нейните съставни елементи, каквито са кондензаторните батерии.

Обектът на изследване са кондензаторните батерии в електрическите разпределителни мрежи.

Целта на изследването е подобряване на експлоатационните характеристики на кондензаторните батерии в електроразпределителните мрежи.

Набелязват се следните **задачи** за изследване:

- Да се разработи методика за изследване на пробивното напрежение на твърда изолация въз основа на експериментални изследвания.
- Да се изследват възможностите за приложение на кондензаторни батерии в различни сектори на електроразпределителните мрежи.
- Да се създаде методика и софтуер за изчисляване на необходимият капацитет на кондензаторните батерии за получаване на желаният фактор на мощността.
- Да се създаде методология за оценка на експлоатационната надеждност на кондензаторни батерии.

Методи на изследване

За да се реализират целта и задачите в дисертационния труд, са използвани симулационни изследвания чрез прилагането на програмна платформа Matlab/Simulink, обработени са експериментално получени резултати и разработен софтуер в MS Excel.

Научна новост на изследването

Разработени са симулационни изследвания за електрическо оразмеряване на кондензаторните батерии в различни експлоатационни условия на клон от разпределителна мрежа. Представена е методика и софтуер за изчисляване на необходимия капацитет на

кондензаторните батерии при експлоатация на електрически двигател. Разработена е методика за изследване на пробивното напрежение на вътрешната изолация на кондензаторните батерии въз основа на експериментални изследвания. Съставена е методика за оценка на експлоатационната надеждност на кондензаторни батерии и е разработен софтуер, който ще е полезен за експлоатацията.

Приложимост и полезност на изследването

Предложените методики за изчисляване на необходимият капацитет на кондензаторни батерии, за изследване пробивното напрежение на твърдата изолация на изводите на кондензаторни батерии и разработеният софтуер са приложими и полезни за инженерната практика.

Апробация на работата

По темата на дисертационния труд има шест публикации. Четири от тях са самостоятелни. Една от тях е представена на Международна конференция Техника, Технологии и Обучение ICTTE 2016, 17-18 ноември 2016, четири са публикувани в „Известия на ТУ- Сливен“, а една в научно списание „Innovation and entrepreneurship“.

Обем и структура на дисертационния труд

Дисертационният труд съдържа пет глави, заключение и пет приложения. Той е с обем от 149 страници., в които са включени 88 фигури и 32 таблици. Списъкът с използваната литература съдържа 141 заглавия, от които 42 кирилица и 99 на латиница.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава първа

1. ОБЗОР НА МЕТОДИТЕ И ТЕХНИЧЕСКИТЕ СРЕДСТВА ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА КОНДЕНЗАТОРНИТЕ БАТЕРИИ В ЕЛЕКТРОРАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИТЕ МРЕЖИ

Ефективността на всяка електрическа мрежа се определя от намаляването на размера на загубите при преноса и разпределението на електрическа енергия, а експлоатационната надеждност зависи от състава от елементите на мрежата. По тази причина е необходимо да се анализират експлоатационните характеристики на кондензаторните батерии в електроразпределителните мрежи.

1.1. Методи за подобряване на фактора на мощността

Най-често използваните методи за подобряване на фактора на мощността са чрез:

- Синхронен двигател – при превъзбуждане, отдава индуктивна мощност и подобрява фактора на мощността в мястото на инсталирането им;
- Кондензаторна батерия – въвежда реактивна мощност без да променя активната мощност на товара.

Получаването на максимален ефект от използването на компенсиращо устройство е възможно при свързването към индивидуален товар.

Проектирането на система за компенсация на реактивна енергия с кондензаторни батерии е свързано с изчислителен процес и търсене на оптимално решение като се установят за мрежа с променливо във времето натоварване, възли където могат да бъдат инсталирани кондензаторните батерии, техният вид, независимо дали е фиксиран или модулиран в стъпки и изчисляване на тяхната мощност. На съвременното ниво на развитие на науката и техниката за целта се използват програмни продукти за симулация.

1.2. Откази, възникващи при производство и експлоатация на кондензаторни батерии

В зависимост от причините, които ги пораждат, отказите, възникващи при производство и експлоатация на кондензаторни батерии се разделят на следните групи:

- Ранни откази - около 0,5% годишно. Получават се поради лошо качество на вложените материали, неправилни операции при производство и не добър контрол от производителите. Характерни са за началния период от експлоатацията на кондензаторните батерии.
- Случайни откази - от порядъка на 0,2%. Проявяват се при неправилна експлоатация или настъпване на случайни събития.
- Откази, поради износване: Това са преобладаващите отказите при кондензаторни батерии и са в резултат на стареенето на диелектричните материали, използвани при направата им. Като процентно съотношение са най-високи.

Кондензаторните батерии се произвеждат от невъзстановими елементи, затова основно повредите могат да бъдат класифицирани чрез начина на възникване на отказа.

Основните повреди при експлоатация на кондензаторни батерии се изразяват в: късо съединение при пробив в изолацията и ръзкъсване на корпуса на кондензатора. Най-често срещаните повреди са при късо съединение при пробив в изолацията. Основно това зависи от наличието и големината на частичното разреждане на кондензатора. Това не се случва при нормална експлоатация, а когато има недостатък в материалите, които са използвани за направата му или ако има пренапрежение при неговата ежедневна работа.

Късото съединение е основният режим на повреда на кондензаторите. Този отказ е свързан с материала, структурата, производствения процес и условията на работа на кондензатора и има по-голям ефект върху надеждността при реални експлоатационни условия.

1.3. Текущи изследвания по приложение на кондензаторни батерии в електроразпределителните системи

От направеният анализ на публикациите в областта на приложението на кондензаторни батерии в разпределителни мрежи, може да се направи обобщението че:

- Използването на симулационни модели в MATLAB Simulink е предпоставка за изследване на влиянието на кондензаторните батерии в разпределителни мрежи и възможност за реализиране на добър икономически ефект.
- Определянето на оптималното място и точното оразмеряване на кондензатори в разпределителна мрежа чрез различен тип алгоритми и програмни продукти дава възможност за доброто ѝ функциониране.
- Чрез използването на специална комутационна и защитна апаратура е възможно постигането на ефикасна защита от ненормални режими на работа.

1.4. Текущи изследвания по приложение на кондензаторните батерии при електродвигатели

От направеният анализ на публикациите в областта на подобряване на фактора на мощността на електродвигатели може да се направи обобщението, че:

- Изследванията в последните години са насочени към подобряване на фактора на мощността чрез честотно управление, синхронни генератори, кондензаторни батерии;
- За по-прецизно управление на работата на електродвигателя се използват няколко кондензаторни батерии, които последователно се включват към захранващата верига на електродвигателя чрез програмируем контролер;
- Използват се сложни алгоритми за определяне на оптималния капацитет на кондензаторните батерии като невронни мрежи, генетични алгоритми;
- Изследванията в последните години са насочени към определяне на оптимални параметри на кондензаторните батерии;
- Развитието на математическото моделиране и на компютърната техника позволява разработване на ефективни методи за обработка и анализ на данните.

1.5 Фактори, влияещи върху експлоатационната надеждност на кондензаторни батерии

Големините на токовете на късо съединение и пренапреженията са основните влияещи фактори върху експлоатационната надеждност на кондензаторните батерии. Големината на токовете на късо съединение и възникващите пренапрежения зависи от заземяването на кондензаторите, което бива три вида - свързване в звезда със заземяване, свързване в звезда без заземяване и свързване в триъгълник. Влияние оказват също видовете товари, които се компенсират. Те са от решаващо значение при определяне на компенсиращата мощност, вида на кондензаторите, техните конструктивни характеристики и мястото на тяхното свързване към разпределителната мрежа.

1.6. Изолационни материали, използвани при производството на кондензатори.

Устройството на използваните в практиката кондензатори е много различно, но те винаги съдържат два електрода, разделени от диелектрик.

Разработени са различни методи за получаване, охарактеризиране и моделиране на керамични и стъклени материали и практическото приложение и развитието им. Разработват се и подходящи стъклокерамични технологии за производството на многокомпонентни електроизолационни материали.

1.7. Обобщения и изводи

В последните години кондензаторните батерии са се наложили като достъпен и надежден начин за компенсиране на реактивна енергия, както при електроразпределителните мрежа, така и в производствените предприятия.

Ефективното функциониране на електроразпределителната мрежа зависи до голяма степен от оптималното разположение и оразмеряване на кондензаторните батерии.

При производството и експлоатацията на кондензаторни батерии се наблюдават редица фактори, влияещи върху тяхната надеждност. Такива са технологията за производство, вложените диелектрични материали, околната температура, качеството на монтажа, условията на експлоатация. Върху надеждността оказват влияние големите амплитуди на пусковете и токовете на превключване.

От особена важност за използваните електроизолационни материали е стабилността им по отношение на средата в която работят, условията и времето на експлоатация. При производството на електроизолационни керамични и композитни материали със специфични свойства, технологиите имат значителна роля за получаване на изходните компоненти.

Сравнително малко са изследванията, свързани с числовото определяне на качеството на работа, свързана със симулационни анализи на експлоатацията на кондензаторните батерии в условията на електроразпределителна система и в производствени условия;

Липсват достатъчно данни за направени изследвания с използване на статистически апарат за определяне на експлоатационната надеждност на кондензаторните батерии.

Глава втора

2. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИЛОЖЕНИЕТО НА КОНДЕНЗАТОРНИ БАТЕРИИ В КЛОН ОТ ЕЛЕКТРОРАЗПРЕДЕЛИТЕЛНА МРЕЖА

Корекцията на фактора на мощността на електрическите товари е проблем при електроразпределителните компании и при индустриалните консуматори на електроенергия. Всеки потребител се стреми да постигне по-пълно използване на активната енергия и да намали потреблението на реактивната.

Проектирането на система за компенсация на реактивна енергия с кондензаторни батерии е свързано с изчислителен процес и търсене на възли където могат да бъдат инсталирани кондензаторните батерии, техният вид, независимо дали е фиксиран или модулиран в стъпки и изчисляване на тяхната мощност.

2.1. Софтуерни продукти за изследване на електроразпределителни мрежи и системи

При съвременните изследвания в областта на подобряване на фактора на мощността се прилагат САЕ системи (Computer Aided Engineering). **Основни предимства:** анализ на много

сложни системи, а също така има възможност да се решават много по-сложни задачи, което по-рано е било нереалистично, дори и невъзможно без специализиран софтуер. **Основни недостатъци:** по-голямо време се отделя за обучение за работа със САЕ системата отколкото за решението на задачата за която е предназначен програмния продукт. Избрана е програмна платформа **Matlab** с приложението MathWorks (SimPowerSystems), тъй като предлага език за програмиране от високо ниво, интерактивна среда за разработка на алгоритми, визуализация и анализ на данни, изчисления.

2.2. Обект на изследване

Изследвана е електроразпределителна мрежа на две промишлени предприятия в град Ямбол. Чрез определяне на географските им координати по система WGS84 са изчислени разстоянията от подстанция до двата обекта.

Основните характеристики на обектите използвани в изследването са:

- Подстанция 110kV/20kV и 110kV/10kV.
- Консуматор 1. Средно промишлено предприятие за производство на електрическо оборудване за автомобили. Разстояние от подстанцията до консуматора 4 km. Мощност $1+j0,2$ MVA;
- Консуматор 2. Промислено предприятие за производство на хибравлични цилиндри и помпи. Разстояние от подстанция до консуматора 6 km. Мощност $2+j1,2$ MVA.

2.3. Симулационно изследване на електроразпределителна мрежа

2.3.1. Определяне капацитета на кондензаторни батерии

Ако се добави кондензатор паралелно на товара, реактивната мощност ще намалее. Разликата между първоначалната реактивна мощност Q_1 и тази след свързването на кондензатор Q_2 се означава с Q_c . Капацитетът на свързания кондензатор зависи от реактивната мощност Q_c , VAr, честотата f , Hz и пада на напрежението през товара U_{rms} , kV. Представените зависимости са използвани при разработката на алгоритъм за определяне капацитета на кондензатор в средата на Matlab, представен като псевдокод в таблица 2.2.

Таблица 2.2. Алгоритъм за избор на кондензатор

Входни променливи		Псевдокод на алгоритъм
Vrms, V	Ефективно напрежение	%Входни данни Vrms = 1000 f = 50 P = 2e6 fp1 = 0.68 fp2 = 0.90
f, Hz	Честота на напрежението	
P, W	Активна мощност	
cos φ ₁	Начален фактор на мощността	
cos φ ₂	Желан фактор на мощността	
Изходни променливи		%Изчисляване на ъгъл, Пълна и реактивна мощност
φ ₁ , rad	Ъгъл 1	th1 = acosd(fp1)
S ₁ , VA	Пълна мощност 1	S1 = P/fp1
Q ₁ , VAr	Реактивна мощност 1	Q1 = S1 * sind(th1)
S ₂ , VA	Пълна мощност 2	%Изчисляване на крайните ъгъл, Пълна и реактивна мощност
Q ₂ , VAr	Реактивна мощност 2	th2 = acosd(fp2)
Q _c , VAr	Обща реактивна мощност	S2 = P/fp2
C, F	Капацитет на кондензатор	Q2 = S2 * sind(th2)
		%Разлика между реактивните мощности
		Qc = Q1 - Q2
		%Определяне на капацитета на кондензатор, uF
		C = [num2str(Qc / (2*pi*f * Vrms^2)*1e6, 4) ' uF']

По представените зависимости и съставения алгоритъм и изчислителна програма за определяне капацитета на кондензаторна батерия. В табл. 2.3. са нанесени стойностите на активната и реактивна мощности при изменение $\pm 10\%$ от средната за изследваният консуматор 2.

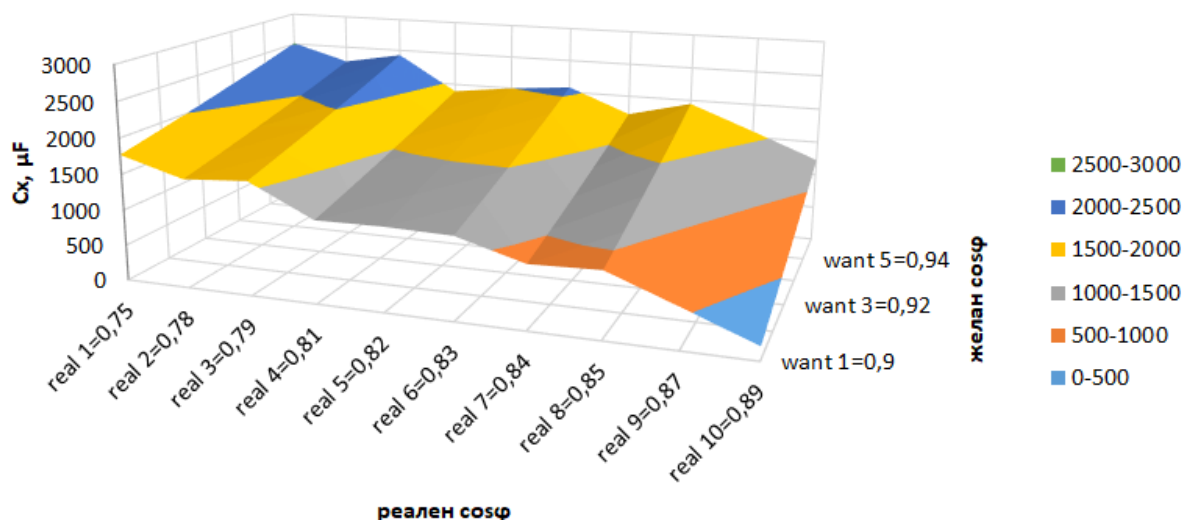
Таблица 2.3. Изходни данни за изменение на активна и реактивна мощност на консуматори

Активна мощност	P	MW	1,50	1,70	1,90	2,10
Реактивна мощност	Q	MVAr	1,1	1,3	1,5	-

Чрез изходните активна и реактивна мощности е определена ефективната мощност S, MVA . От получените резултати е изчислен фактора на мощността $\cos\phi$. За получените фактори на мощността са определени капацитетите на кондензаторните батерии при изменение на желаните стойности на фактора на мощността в диапазона $\cos\phi = 0,90-0,95$. В табл. 2.4 са представени резултатите от тези изчисления.

Таблица 2.4 Резултати при определяне капацитет на кондензаторни батерии C_x в μF в зависимост от желания и реалния фактор на мощността

P, MW	1,50	1,70	1,50	1,50	1,70	2,10	1,90	1,70	2,10	2,10
$\cos\phi$ реален	0,71	0,75	0,76	0,81	0,79	0,81	0,83	0,84	0,85	0,89
$\cos\phi$ желан										
0,90	1771	1579	1518	1144	1156	905	1135	875	551	187
0,91	1908	1734	1655	1281	1312	1097	1309	1030	743	379
0,92	2049	1894	1797	1423	1472	1295	1488	1190	941	577
0,93	2196	2061	1944	1570	1638	1501	1674	1357	1146	783
0,94	2350	2236	2098	1724	1813	1717	1869	1531	1362	998
0,95	2514	2421	2261	1887	1998	1946	2076	1717	1591	1227



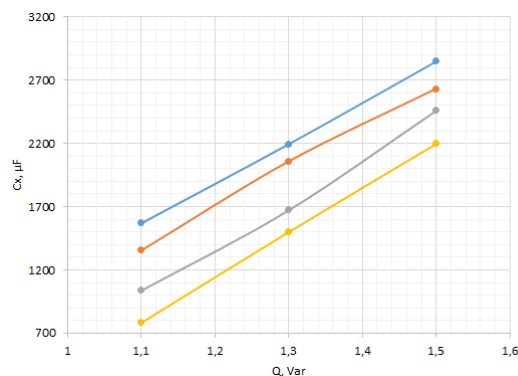
Фиг.2.4 Капацитет на кондензаторни батерии $C_x, \mu F$ в зависимост от желания и реалния фактор на мощността

Резултатите от таблицата са представени в графичен вид на фиг.2.4. Наблюдава се зависимостта, че колкото е по-малък реалния фактор на мощността и колкото е по-голям желания такъв, необходимият капацитет на кондензаторните батерии за корекция е по-голям. Анализирана е работата на консуматори чрез симулационна система, представена на фиг. 2.5. използвани са изходните данни за консуматор 2, представени в табл. 2.3 .

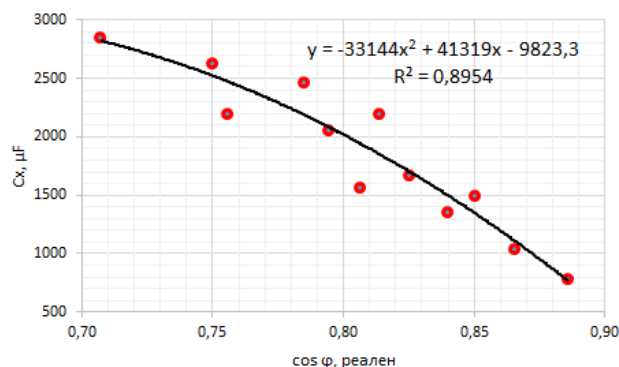
Направен е анализ на зависимостите между реактивната мощност $Q, MVAr$, фактора на мощността, който трябва да бъде компенсиран $\cos\phi_{\text{реален}}$ и необходимия капацитет на

кондензаторната батерия C_x в μF . На фиг. 2.5 е представена в графичен вид зависимостта между реактивната мощност и необходимия капацитет на кондензаторната батерия при четири различни стойности на активната мощност.

От фигурата се вижда, че зависимостта между двата параметъра е близка до линейната. С увеличаване на реактивната мощност, нараства и необходимият капацитет на кондензаторната батерия за постигане на желания фактор на мощността.



Фиг.2.5. Зависимост между реактивна мощност и необходим капацитет на кондензаторна батерия



Фиг.2.6. Зависимост между реален $\cos \phi$ и капацитет на кондензаторна батерия

На фиг. 2.6 е представена зависимостта между реалния фактор на мощността и необходимия капацитет на кондензаторната батерия за компенсирането му от 0,7 до 0,9. На графиката е представен и параметърът R^2 , който е коефициент на детерминация, високата му стойност (над 0,7) и това, че стойностите на коефициентите на модела са над 0,1 показва, че представения модел описва с достатъчна точност опитните данни. За разлика от предходната графика тук се вижда, че между необходимия капацитет и реалния фактор на мощността зависимостта е нелинейна. С нарастване на стойностите на реалния фактор на мощността, необходимият капацитет на кондензаторната батерия за неговото компенсиране намалява. Зависимостта е обратнопропорционална.

От направения анализ на зависимостта $C_x=f(P,Q)$ се вижда, че при нарастване на реактивната мощност, намаляват стойностите на реалния фактор на мощността и за компенсирането му са необходими кондензаторни батерии с по-голям капацитет.

Таблица 2.5. Обобщен анализ на резултатите за зависимостта $C_x=f(P,Q)$

$\cos \phi$ желан	P, MW	Q, MVar	C_x , μF
0,90	1,5-2,1	1,1-1,5	187-1771
0,91	1,5-2,1	1,1-1,5	379-1908
0,92	1,5-2,1	1,1-1,5	577-2049
0,93	1,5-2,1	1,1-1,5	783-2196
0,94	1,5-2,1	1,1-1,5	998-2350
0,95	1,5-2,1	1,1-1,5	1227-2514

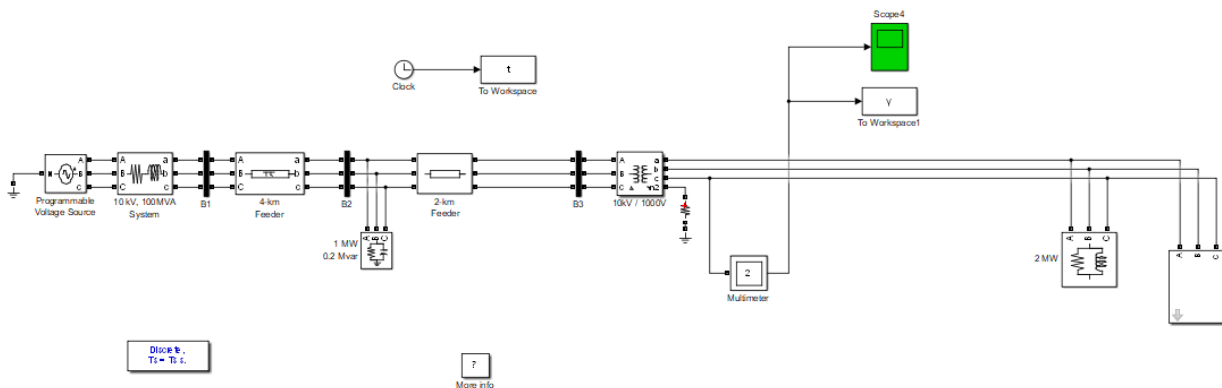
Получените резултати са дадени в таблица 2.5. Посочени са минималните и максимални стойности на величините, участващи в зависимостта, както и желания фактор на мощността.

2.3.2 Симуляционно изследване

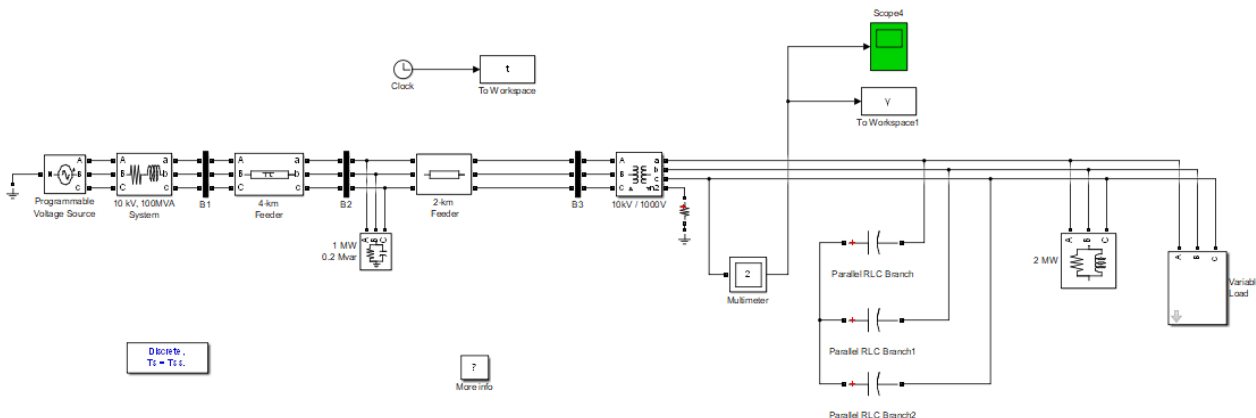
Направена е симулация на разпределителна мрежа на производствено предприятие. Използвана се симулационна схема, реализирана със SimPower Systems в Matlab среда. Схемата е модифицирана за нуждите на това изследване. Настроени са параметрите на обектите и захранващите източници.

На фигура 2.7. е представена симулация на електроразпределителна мрежа без подобряване на фактора на мощността. Елементите на схемата включват източник на променливо напрежение, включен към система с пълна мощност 100 MVA, която поддържа

напрежение от 10 kV на шина B1. Към шина B1 е присъединен електропровод с дължина 4 km, до шина B2. Чрез нея се включва Консуматор 1 с активна мощност 1 MW и реактивна такава 0,2MVar, към електроразпределителната мрежа. След него следва втори електропровод с дължина от 2 km, свързващ шина B2 с шина B3 към понижаващ трансформатор 10 kV/1000V до Консуматор 2. Той е с параметри: активна мощност 2MW и реактивна мощност 1,2 MVar.



Фиг.2.7. Схема на електроразпределителна мрежа без подобряване на фактора на мощността



Фиг.2.8. Схема на електроразпределителна мрежа с подобряване на фактора на мощността

Симулацията на електроразпределителна мрежа с подобряване на фактора на мощността е направена като към горната схема преди Консуматор 2 са присъединени три броя кондензаторни батерии свързани в звезда с капацитет на едната от 3040 μF , с цел корекция на фактора на мощността (фигура 2.8). Този капацитет е получен чрез представената програма в т.2.3.1.

На фиг. 2.9 са представени графиките на тока и напрежението без компенсация на фактора на мощността. Графиките са изчертани в Excel като са използвани данните, получени от симулационния модел в Matlab. Това е направено, защото Matlab има по-слаби възможности за визуализация на резултатите, тъй като основната му функция е изчисление на сложни по характер процеси. В MS Excel средствата за визуализация са по-усъвършенствани и улеснени, за сметка на по-слабите изчислителни ресурси.

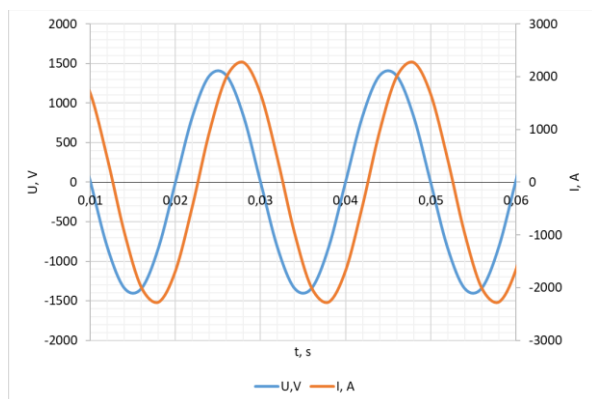
Факторът на мощността при електроразпределителна мрежа към консуматор 2 без добавена кондензаторна батерия за корекция е $\cos\phi=0,684$. Дефазирането в случая е $\phi=46,835^\circ$.

На фиг. 2.10 са представени графиките на тока и напрежението с компенсация на фактора на мощността.

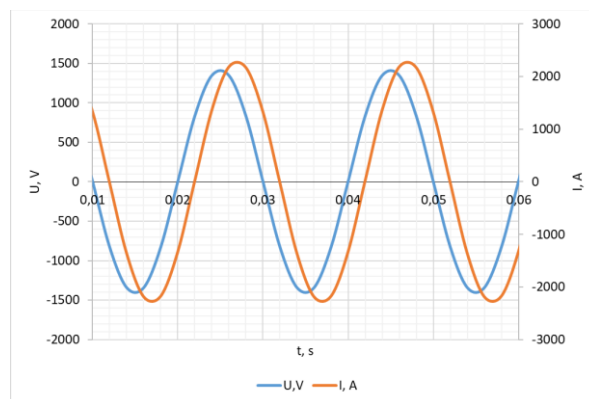
Факторът на мощността при електроразпределителна мрежа към консуматор 2 с добавена кондензаторна батерия за корекция е $\cos\phi=0,915$. Дефазирането в този случай е $\phi=23,8^\circ$.

Анализирана е работата на симулационната система от фиг. 2.7. като са направени изчисления на необходимия $\cos \varphi$ при различни натоварвания (различни активни и реактивни мощности и различни съотношения между тях). Активната мощност се променя в границите от $P=1,5 \text{ MW}$ до $P=2,1 \text{ MW}$, а реактивната от $Q=1,1 \text{ MVar}$ до $Q=1,5 \text{ MVar}$

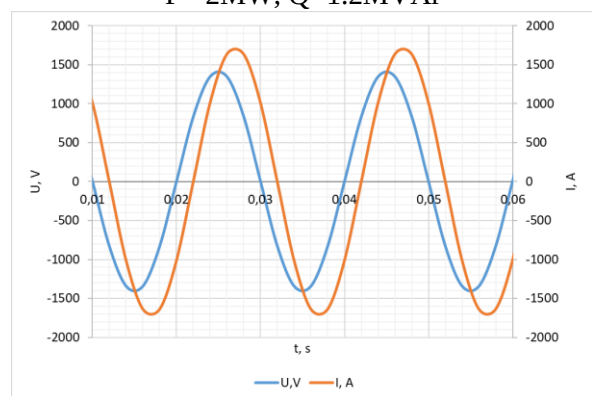
Използвани са изходните данни за натоварването на производственото предприятие, консуматор 2. Представени са графики на тока и напрежението в установен режим, от които нагледно се вижда намаляването на дефазиранието между тях.



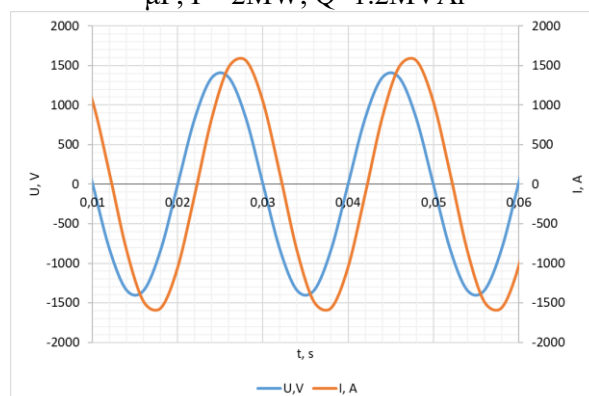
Фиг.2.9 Графики на ток и напрежение без корекция на фактора на мощността $P=2 \text{ MW}$, $Q=1.2 \text{ MVar}$



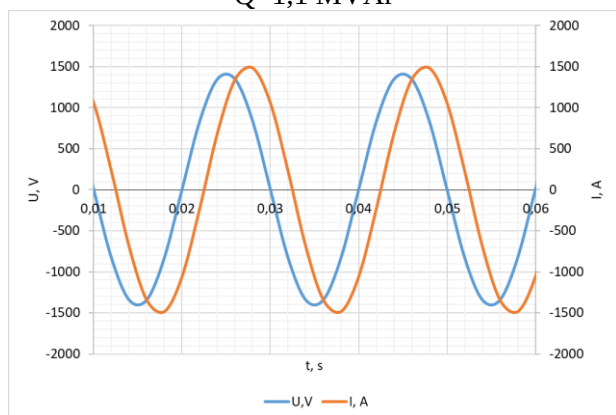
Фиг.2.10. Графики на ток и напрежение с корекция на фактора на мощността $C_x=3040 \mu\text{F}$, $P=2 \text{ MW}$, $Q=1.2 \text{ MVar}$



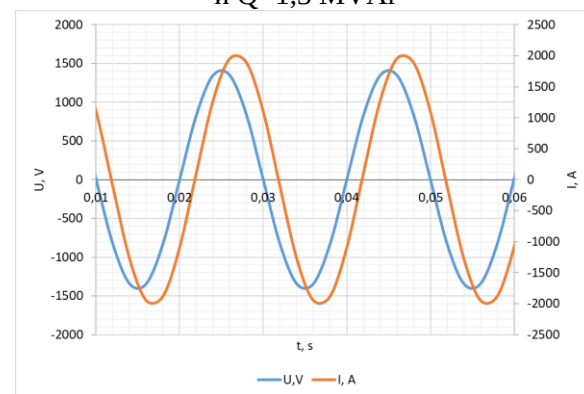
Фиг.2.11 Графики на ток и напрежение без корекция на фактора на мощността $P=1,5 \text{ MW}$ и $Q=1,1 \text{ MVar}$



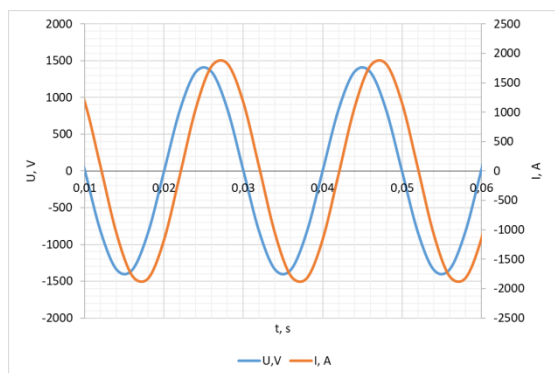
Фиг.2.12. Графики на ток и напрежение без корекция на фактора на мощността $P=1,5 \text{ MW}$ и $Q=1,3 \text{ MVar}$



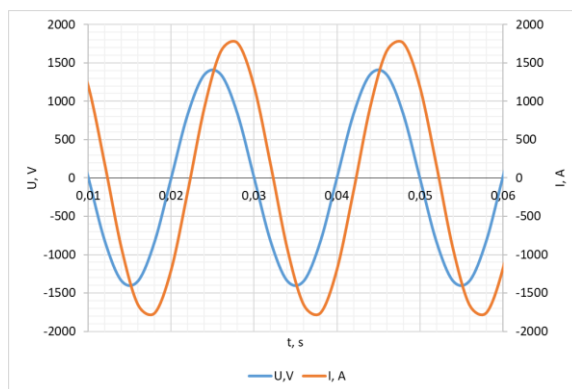
Фиг.2.13 Графики на ток и напрежение без корекция на фактора на мощността $P=1,5 \text{ MW}$ и $Q=1,5 \text{ MVar}$



Фиг.2.14 Графики на ток и напрежение без корекция на фактора на мощността $P=1,7 \text{ MW}$ и $Q=1,1 \text{ MVar}$



Фиг.2.15 Графики на ток и напрежение без корекция на фактора на мощността
P=1,7 MW и Q=1,3 MVar



Фиг.2.16 Графики на ток и напрежение без корекция на фактора на мощността
P=1,7 MW и Q=1,5 MVar

На фиг.2.11, фиг.2.12 и фиг.2.13 са представени графиките на тока и напрежението без компенсация на $\cos\varphi$. Факторът на мощността на електроразпределителната мрежа към консуматор 2 без добавена кондензаторна батерия за корекция е съответно $\cos\varphi=0,81$; $\cos\varphi=0,76$ и $\cos\varphi=0,71$. Дефазирането в тези случаи е съответно $\varphi=36,25^\circ$; $\varphi=40,91^\circ$; $\varphi=45,02^\circ$.

На фиг.2.14, фиг.2.15 и фиг.2.16 са представени графиките на тока и напрежението без компенсация на фактора на мощността. Факторът на мощността при електроразпределителна мрежа към консуматор 2 без добавена кондензаторна батерия за корекция е съответно $\cos\varphi=0,84$; $\cos\varphi=0,79$ и $\cos\varphi=0,75$. Дефазирането е съответно $\varphi=32,91^\circ$; $\varphi=37,41^\circ$ и $\varphi=41,42^\circ$.

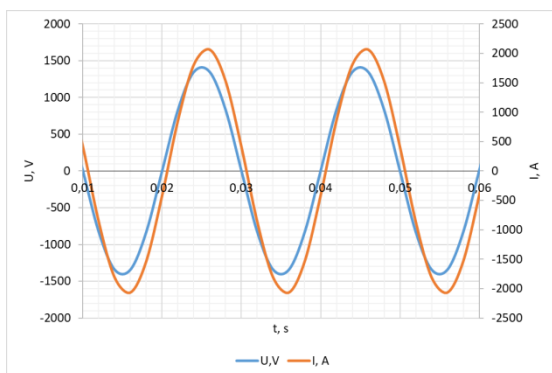
По аналогия се представят графиките на тока и напрежението без компенсация на фактора на мощността, когато фактора на мощността към консуматор 2 без добавена кондензаторна батерия за корекция е съответно $\cos\varphi=0,87$, $\cos\varphi=0,83$, $\cos\varphi=0,78$; $\cos\varphi=0,89$; $\cos\varphi=0,85$; $\cos\varphi=0,81$. Дефазирането е съответно $\varphi=30,07^\circ$; $\varphi=34,38^\circ$; $\varphi=38,29^\circ$; $\varphi=27,65^\circ$; $\varphi=31,76^\circ$; $\varphi=35,54^\circ$.

Направен е симулационен анализ на работата на електроразпределителната система при включване на кондензаторна батерия към консуматор 2. Използвана е симулационната схема, представена на фигура 2.8. Получени са резултати при желан фактор на мощността $\cos\varphi=0,93-0,98$. В табл. 2.6 са посочени изходни данни и резултати при посочената желана стойност на фактора на мощността. Посочен е необходимият капацитет на кондензаторна батерия C_x за постигане на желания фактор на мощността.

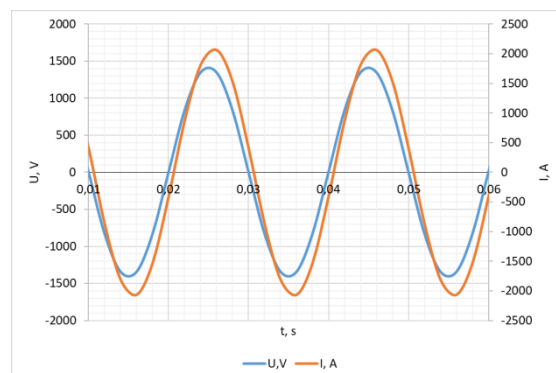
Таблица 2.6 Определяне на C_x в μF при желан фактор на мощността $\cos\varphi=0,93-0,98$

P, MW	Q, MVar	S, MVA	Cos(φ) реален	C_x , μF	Sin(φ)	φ , $^\circ$
1,50	1,1	1,86	0,81	1570	0,63	36,25
1,50	1,3	1,98	0,76	2196	0,71	40,91
1,50	1,5	2,12	0,71	2849	0,79	45,00
1,70	1,1	2,02	0,84	1357	0,57	32,91
1,70	1,3	2,14	0,79	2061	0,65	37,41
1,70	1,5	2,27	0,75	2634	0,72	41,42
1,90	1,1	2,20	0,87	1037	0,52	30,07
1,90	1,3	2,30	0,83	1674	0,60	34,38
1,90	1,5	2,42	0,78	2462	0,67	38,29
2,10	1,1	2,37	0,89	783	0,48	27,65
2,10	1,3	2,47	0,85	1501	0,55	31,76
2,10	1,5	2,58	0,81	2198	0,62	35,54

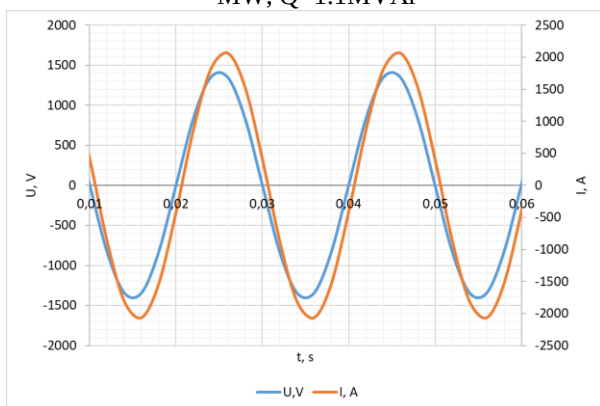
На фигури от 2.23 до 2.30 са представени графиките на токовете и напреженията в установен режим, след подходяща компенсация на фактора на мощността, изчислена от симулационния модел. Избран е $\cos\varphi=0,98$, при който $\varphi=11,47^\circ$.



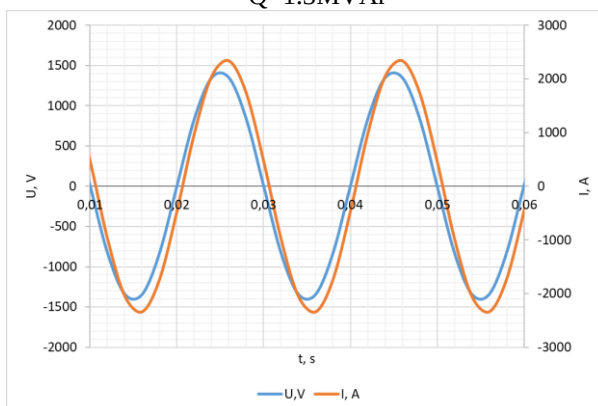
Фиг.2.23 Графики на ток и напрежение след корекция на фактора на мощността $C_x=1570 \mu\text{F}$, при $P= 1.5 \text{ MW}$, $Q=1.1\text{MVar}$



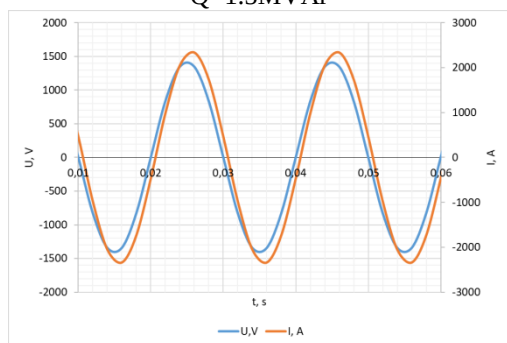
Фиг.2.24 Графики на ток и напрежение след корекция на фактора на мощността $C_x=2196 \mu\text{F}$, $P= 1.5 \text{ MW}$, $Q=1.3\text{MVar}$



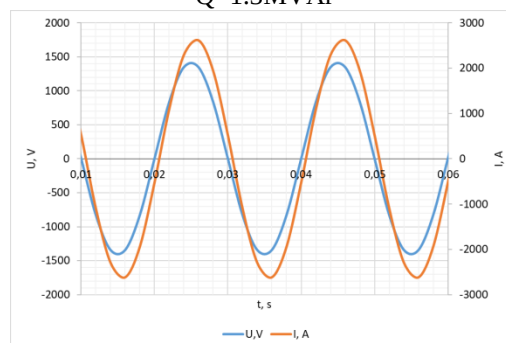
Фиг.2.25. Графики на ток и напрежение след корекция на фактора на мощността $C_x=2849 \mu\text{F}$, $P= 1.5 \text{ MW}$, $Q=1.5\text{MVar}$



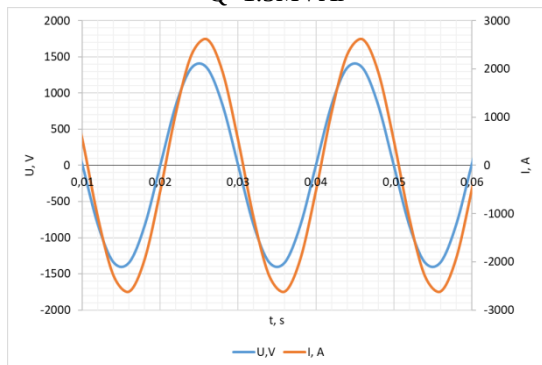
Фиг.2.26 Графики на ток и напрежение след корекция на фактора на мощността $C_x=2061 \mu\text{F}$, $P= 1.7 \text{ MW}$, $Q=1.3\text{MVar}$



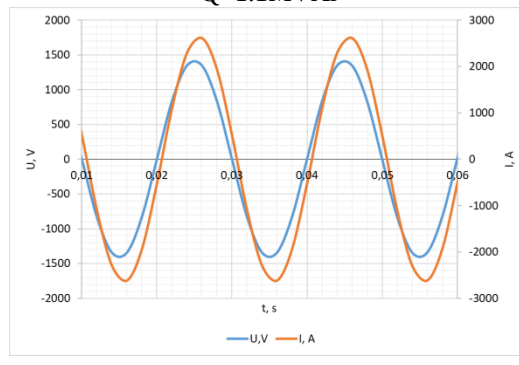
Фиг.2.27 Графики на ток и напрежение след корекция на фактора на мощността $C_x=2634 \mu\text{F}$, $P= 1.7 \text{ MW}$, $Q=1.5\text{MVar}$



Фиг.2.28 Графики на ток и напрежение след корекция на фактора на мощността $C_x=1037 \mu\text{F}$, $P= 1.9 \text{ MW}$, $Q=1.1\text{MVar}$



Фиг.2.29 Графики на ток и напрежение след корекция на фактора на мощността $C_x=1674 \mu\text{F}$, $P= 1.9 \text{ MW}$, $Q=1.3\text{MVar}$



Фиг. 2.30 Графики на ток и напрежение след корекция на фактора на мощността $C_x=2462 \mu\text{F}$, $P= 1.9 \text{ MW}$, $Q=1.5\text{MVar}$

По аналогия са получени графиките на тока и напрежението с компенсация на фактора на мощността. Факторът на мощността при електроразпределителна мрежа към консуматор 2 след включване на кондензаторна батерия за корекция е $\cos\varphi=0,95$ и $\cos\varphi=0,93$. Дефазирането в тези случаи е съответно $\varphi=18,19^\circ$ и $\varphi=21,57^\circ$.

В табл. 2.7 е направено обобщение на получените резултати. P , MW е активната мощност, Q , MVA_r е реактивната мощност. С $\cos\varphi_p$ е означен фактора на мощността преди включването на кондензаторна батерия. C_x в μF е необходимият капацитет на кондензаторната батерия за подобряване на фактора на мощността. $\varphi,^\circ$ е ъгълът на дефазиране между тока и напрежението. С $\cos\varphi$ е означен получения фактор на мощността след включване на кондензаторната батерия.

Таблица 2.7 Резултати след подобряване фактора на мощността

P, MW	Q, MVA_r	$\cos\varphi_p$	$C_x, \mu F$	$\varphi,^\circ$	$\cos\varphi$
1,5	1,1	0,81	1570	11,47	0,98
1,5	1,3	0,76	2196	11,48	0,98
1,5	1,5	0,71	2849	11,47	0,98
1,7	1,1	0,84	1357	14,07	0,97
1,7	1,3	0,79	2061	11,47	0,98
1,7	1,5	0,75	2634	21,57	0,93
1,9	1,1	0,87	1037	11,48	0,98
1,9	1,3	0,83	1674	11,48	0,98
1,9	1,5	0,78	2462	11,47	0,98
2,1	1,1	0,89	783	18,19	0,95
2,1	1,3	0,85	1501	21,57	0,93
2,1	1,5	0,81	2198	21,56	0,93

От таблицата се вижда, че приложените мерки за подобряване на фактора на мощността са ефективни и той достига стойности 0,93-0,98, което удовлетворява условието за постигане на желан $\cos\varphi \geq 0,93$.

2.4. Обобщение и изводи към глава 2

В настоящата глава е направен анализ на съществуващи програмни продукти, решаващи проблеми в сферата на електрическите мрежи от гледна точка на техните предимства и недостатъци и е избран такъв за извършване на симулационно изследване за избраната електроразпределителна мрежа.

На базата на теоретичния базис и математичен апарат е създадена компютърна програма в MATLAB Simulink, изчисляваща необходимия капацитет на кондензаторна батерия за получаване на желания фактор на мощността.

Направено е симулационно изследване на съществуваща електроразпределителна мрежа, захранваща средно промишлено предприятие. На база резултатите от симулационното изследване са предложени мерки за подобряване на фактора на мощността на вторият консуматор, използван в изследването от $\cos\varphi=0,684$ до $\cos\varphi \geq 0,93$. С предложения симулационен модел и изчисления може да се определи необходимият капацитет на кондензаторните батерии при промяна на натоварването в разглежданото промишлено предприятие.

При промяна на реактивната мощност в границите от $1,1 \div 1,5$ MVA_r стойностите на необходимия капацитет за компенсирането ѝ и подобряване на фактора на мощността се изменят от 783 μF до 2849 μF , при различни стойности на реалния $\cos\varphi$ и желания $\cos\varphi$ над 0,93.

Представените симулационни изследвания са подходящи при изследвания свързани с подобряване на енергийната ефективност на производствени предприятия.

Създадената компютърна програма в MATLAB Simulink за определяне на точният капацитет на кондензаторна батерия за повишаване на фактора на мощността е предпоставка за подобряване на надеждността при експлоатация на кондензаторните батерии.

Глава трета

3. КОМПЕНСИРАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ ПРИ РАБОТА НА АСИНХРОНЕН ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛ С МАЛКА МОЩНОСТ

3.1 Определяне на капацитета на кондензаторна батерия

3.1.1. Използвани електродвигатели

Параметрите на използваните в изследването електродвигатели са представени в табл.

3.1. Енергоефективният и енергонеефективният са използвани в симулационното изследване за определяне на необходимия капацитет на кондензаторни батерии за подобряване на фактора на мощността.

Таблица 3.1. Параметри на електродвигатели използвани в изследването

Електродвигател	U, V Y/Δ	I, A Y/Δ	P, W	rpm, min ⁻¹	cosφ	L, mH	R, Ω
Енергоефективен IE3	400/ 230	0,93/ 1,6	370	1440	0,72	118,3	12,4
Енергонеефективен	400/ 230	1,2/ 2,1	370	1380	0,76	102,5	20,8
Тестов	400/ 230	0,76/ 1,32	250	1350	0,79	146,1	40,8

Тестовият двигател е използван за валидиране на резултатите от изследването и той не участва при съставянето на методологията за работа.

3.1.2. Критерий Площ под крива

Критерият площ под крива (AUC) се използва при идентификацията на процеси, за тяхното сравнение. За изчисляване на този критерий е използвана функция trapz в Matlab, където изчисляването е по метода на трапеците и се дефинира в интервала [a,b] като:

$$AUC = \int_a^b f(x)dx \approx \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N (x_{n+1} - x_n) [f(x_n) + f(x_{n+1})] \quad (3.1)$$

където $(x_{n+1} - x_n)$ е разстоянието между всеки две точки от получената крива; N – броят на измерените стойности.

3.1.3. Критерий на Акаике

Критерият на Акаике (AIC) е критерий за оценка на получен модел. След изчисляване на няколко различни модела те могат да бъдат сравнявани с този критерий. Подходящ е този модел, при който критерия е с най-малка стойност. За определяне на стойностите на този критерий е използвана команда aic в Matlab, където AIC се дефинира като:

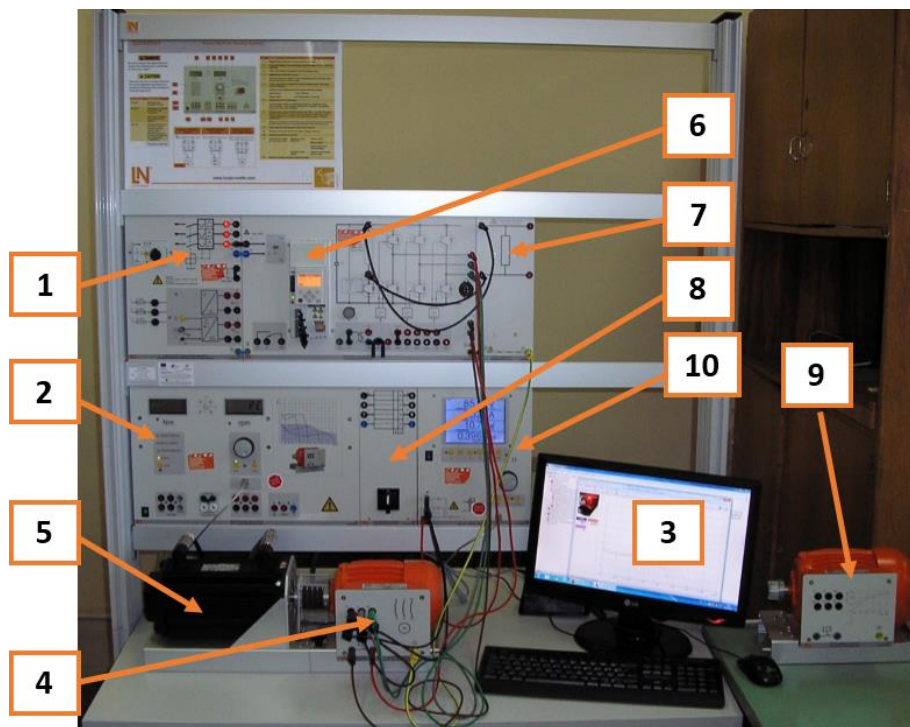
$$AIC = N \cdot \log \left(\det \left(\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varepsilon(t, \hat{\theta}_N) (\varepsilon(t, \hat{\theta}_N))^T \right) \right) + 2n_p + N \cdot ((n_y \cdot (\log(2\pi) + 1))) \quad (3.2)$$

където N е броят на измерените стойности; $\varepsilon(t)$ – векторът с размер $n_y \times 1$ от грешките на прогнозиране; θ_N – изчислени параметри; n_p – брой на изчислените параметри; n_y – брой на изходите на модела.

Коефициентите на моделите, използвани за оценка на изходните данни с AIC са определени чрез авторегресионен модел в Matlab. В Matlab коефициент AIC може да бъде изчислен само чрез използване на данни, представени чрез обектни променливи. Такъв тип данни се получават при авторегресионните модели, които са подходящ и достъпен начин за представяне на данните. Коефициентите на авторегресионния модел се изчисляват директно в Matlab чрез команда AR.

3.1.4. Описание на използваната опитна постановка

На фигура 3.1 е представен общ вид на лабораторен стенд за изследване на енергийна ефективност на електрозадвижвания, произведена от Lucas-Nülle GmbH със серийен номер на производителя LN5987, дата на производство 05/2015. Постановката е изградена на модулен принцип. Всеки елемент от захранването и управлението на електромеханичната система е обособен в отделен модул.



Фиг.3.1. Лабораторен стенд за изследване на енергийна ефективност на електрозадвижвания
1-захранващ модул; 2-управление и тестване на серводвигатели; 3-персонален компютър със софтуер; 4-стандартен електродвигател; 5-серво двигател; 6-преобразувател на честота; 7-защитен резистор; 8-гальваничен разединител; 9-енергийноэффективен двигател клас IE3; 10-USB мултиметр

Захранващ модул. Захранващият модул осигурява трифазно и монофазно променливотоково, както и постояннотоково захранване за съответния тип електрически машини, както и за синхронни такива.

Модул за управление. Модулът за управление и изпитване на серводвигатели се използва за изследване на електрически машини и задвижвания. Той се състои от устройство за цифрово управление, спирачка, автоматична и ръчна синхронизация. За управляваната машина е осигурена термозащита. Връзката на този модул с персонален компютър е посредством USB интерфейс. Захранващото напрежение е до AC 400V, максимална изходна мощност 10kVA. Модулът осигурява максимална скорост на въртене 4000 min^{-1} и максимален съпротивителен момент 30 Nm.

Модул с преобразувател на честота. Блокът с преобразувател на честота е базиран на Lenze 8400 (Lenze GmbH). Проектиран е специално за изследователската работа. Преобразувателят работи с линеен или квадратичен V/f закон и векторно управление. Управлението и заданието на преобразувателя се осъществява с потенциометър, от операторския дисплей или посредством цифровите входове. Осигурена е възможност за управление чрез интерфейс на индустриална мрежа от полево ниво CANopen. Могат да бъдат добавяни и разширения за EtherCAT, EtherNet/IP, POWERLINK, PROFIBUS, PROFINET.

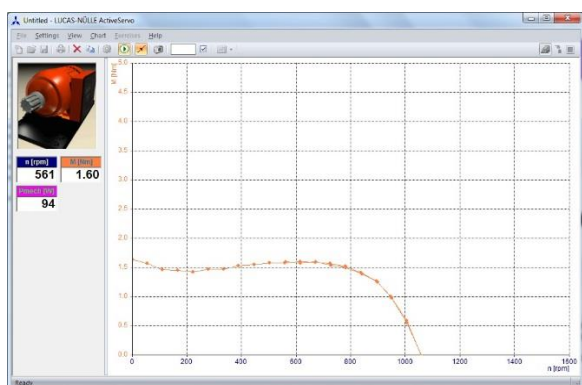
Модул за измерване. Модулът позволява измерване на честота на въртене; механична, пълна, активна, реактивна мощности; напрежение и ток на фаза; фактор на

мощността ($\cos\phi$); коефициент на полезно действие (КПД). Осигурена е USB връзка към персонален компютър, чрез която посочените параметри могат да бъдат записвани и визуализирани на персонален компютър.

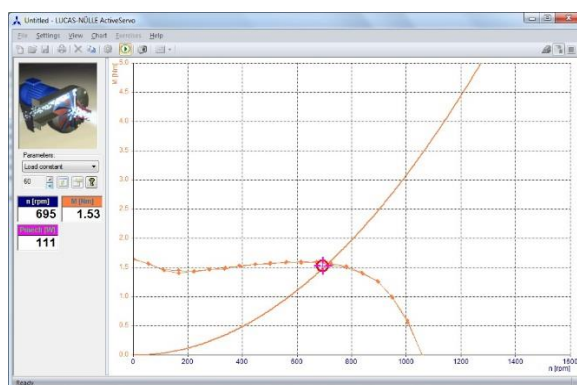
Програмно осигуряване. Програмното осигуряване е продукта “Active Servo” (Lucas-Nülle GmbH) в който има възможност за получаване на характеристики на изпитвания двигател като: честота на въртене; механична, пълна, активна, реактивна мощности; напрежение и ток на фаза; фактор на мощността ($\cos\phi$); коефициент на полезно действие (КПД). Програмното осигуряване позволява използване на по-големи натоварвания спрямо модула за управление (над 40 Nm) на електродвигателя чрез товарната машина.

На фиг. 3.2 е представен пример за определяне на механична характеристика и работна точка на електромеханична система с трифазен асинхронен двигател.

Чрез софтуерния продукт могат да бъдат симулирани електромеханични системи като: помпа, вентилатор, компресор, подъемна машина, машина за изтегляне на ламарина, инерционно колело. Могат да се определят режимни параметри на електромеханичната система при различни по вид и стойност натоварвания на двигателя.



а) получаване на механична характеристика

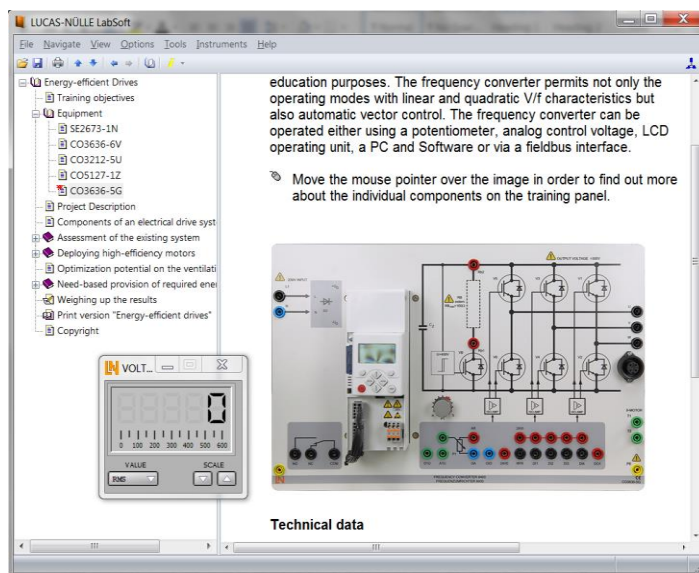


б) определяне на работна точка

Фиг.3.2. Работни екрани на програмен продукт „Active Servo”

Чрез софтуерния продукт могат да се симулират електромеханични системи и да се определят техните режимни параметри при различни по вид и стойност натоварвания на двигателя.

Опитната постановка се управлява чрез мултимедийна интерактивна среда LabSoft (Lucas-Nülle GmbH). В този програмен продукт (фиг.3.3) са осигурени виртуални инструменти за измервания в реално време и генериране на изходни сигнали. Работната област е разделена на два основни прозореца. В лявата част е съдържанието на курса във вид на хипервръзки, които се визуализират в десния прозорец.



Фиг.3.3 Екран на интерактивна среда LabSoft с виртуален инструмент „Мултиметър“

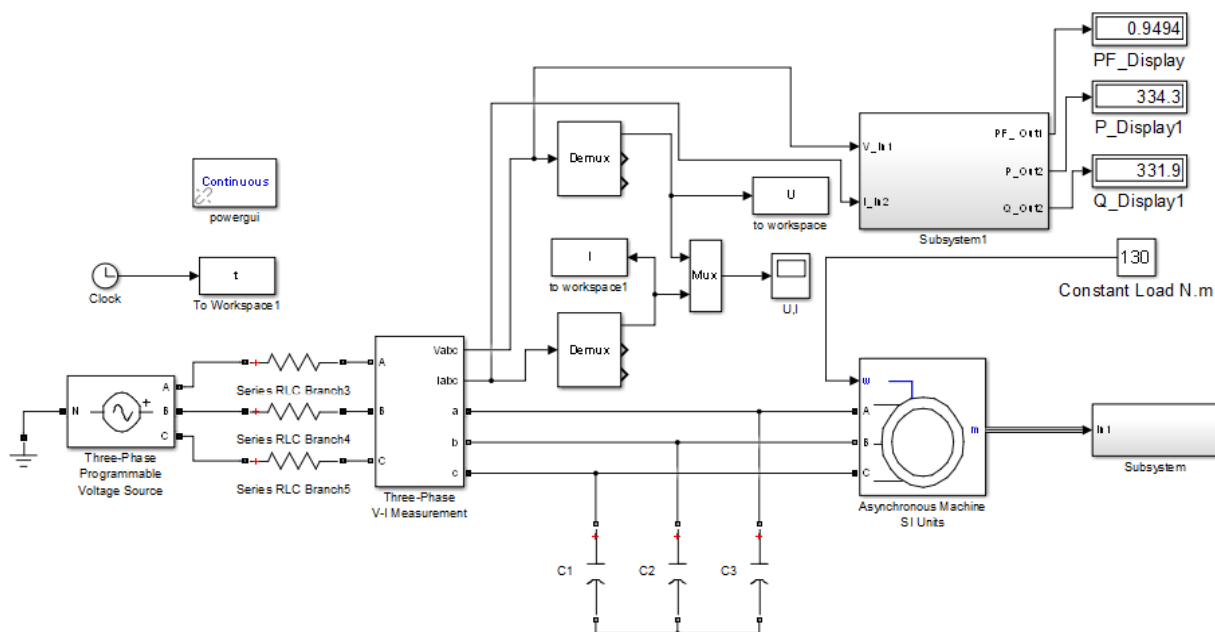
3.2. Симулационен модел на трифазен електродвигател

На първи етап от изследването е използван симулационен модел на енергоефективен и енергонеефективен електродвигатели.

Разработен е симулационен модел в Matlab/Simulink за изследване на електродвигатели. На фигура 3.4 е представен разработеният модел в общ вид. Двигателят се

захранва с блок за трифазно електрозахранване. Използван е симулационен блок за измерване на ток и напрежение в трифазна верига. Тъй като на изхода на този блок се извеждат тока и напрежението на трите фази е необходимо изходният сигнал да бъде демултеплексиран. След това, чрез мултиплексор сигналите за тока и напрежението се наслагват в един канал с цел съпоставка и визуализация на разсъгласуването им, което има отношение при определяне фактора на мощността.

В блока на трифазния асинхронен електродвигател се въвеждат следните параметри, включващи номинално захранващо напрежение, номинална мощност, свързване на статорната намотка, номинален ток, номинална честота на въртене, индуктивност и съпротивление за роторната и статорната намотки.



Фиг.3.4. Симулационен стенд за определяне на фактор на мощността на трифазен асинхронен електродвигател

3.3.Определяне на фактора на мощността по симулационен модел

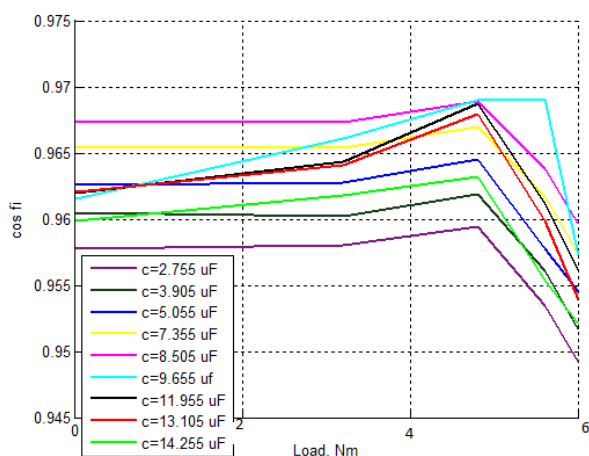
Използвани са измерените параметри на три електродвигателя – енергоефективен, енергонеефективен и трети двигател, използван за валидиране на методиката на изчисление.

Чрез симулационно изследване е определен фактора на мощността при натоварване на двигателите $L=0-6$ Nm, като са използвани стойности на капацитета на кондензаторна батерия $C=2,7-14,3$ μF .

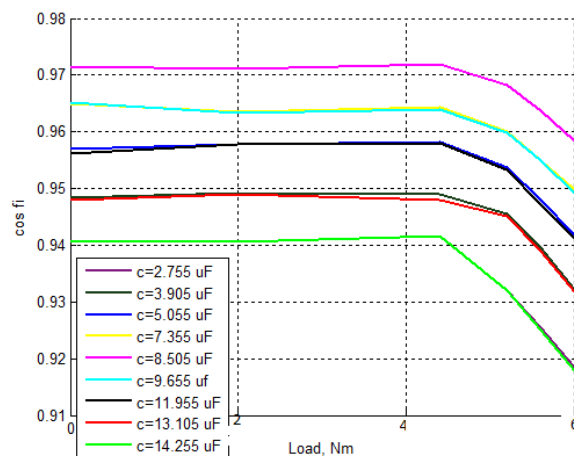
На фиг.3.6 са представени в графичен вид получените стойности за фактор на мощността за енергоефективен и енергонеефективен електродвигател при различен капацитет на кондензаторна батерия, като капацитета на кондензаторната батерия е определен чрез програмата, чийто алгоритъм е описан в глава 2, табл. 2.2

На фиг.3.7. са представени в графичен вид резултатите за получените стойности на площ под кривата (AUC) за фактора на мощността на електродвигатели при различен капацитет на кондензаторната батерия. Чрез втора производна е определена точката на промяна на посоката на получените характеристики. За енергоефективния електродвигател тя е при $C=7,31\mu F$, а за енергонеефективния при $C=7,47\mu F$.

На фиг.3.8. са представени в графичен вид резултатите за получените стойности на критерий на Акаике (AIC) за фактора на мощността на електродвигатели при различен капацитет на кондензаторната батерия. Чрез втора производна е определена точката на промяна на посоката на получените характеристики. За енергоефективния електродвигател тя е при $C=7,21\mu F$, а за енергонеефективния при $C=7,42\mu F$.

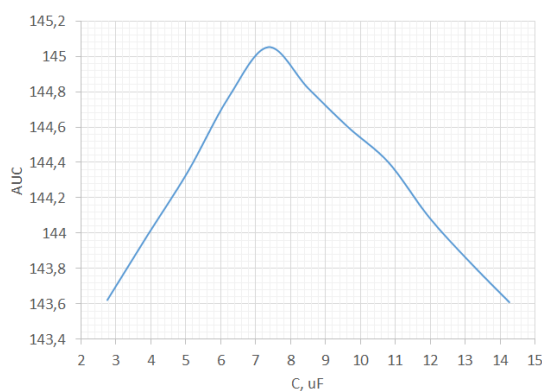


а) енергоефективен електродвигател

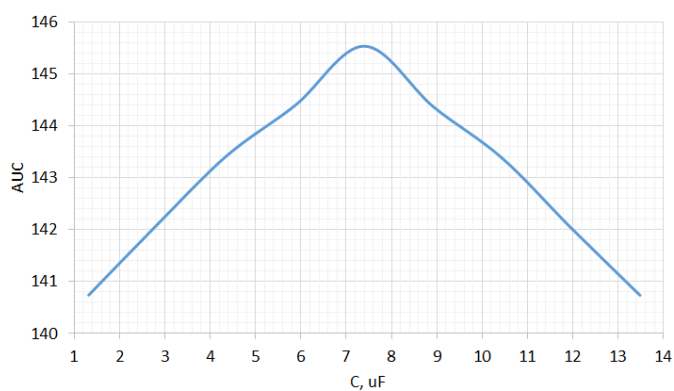


б) енергонеефективен електродвигател

Фиг.3.6.Фактор на мощността на симуирани електродвигатели при различен капацитет на кондензаторната батерия

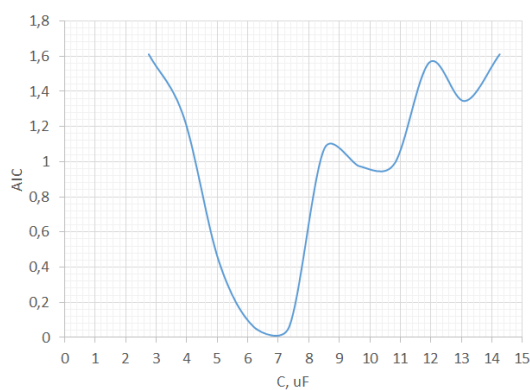


а) Енергоефективен двигател

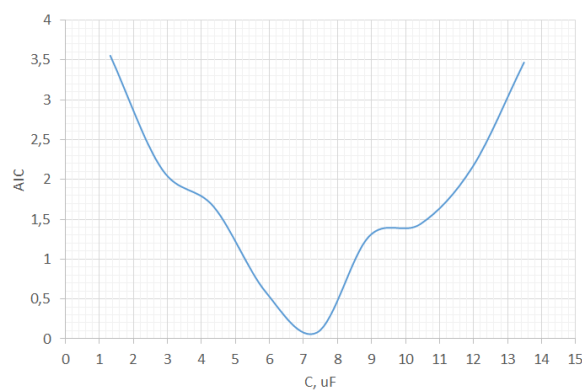


б) енергонеефективен двигател

Фиг.3.7. Площ под крива за фактора на мощността при изменение на капацитета на електродвигател



а) Енергоефективен двигател



б) енергонеефективен двигател

Фиг.3.8. Критерий на Акаике за фактора на мощността при изменение на капацитета на кондензаторна батерия

Валидиране на резултатите. Вторият етап от работата е свързан с валидиране на получените резултати и проверка на методиката на работа.

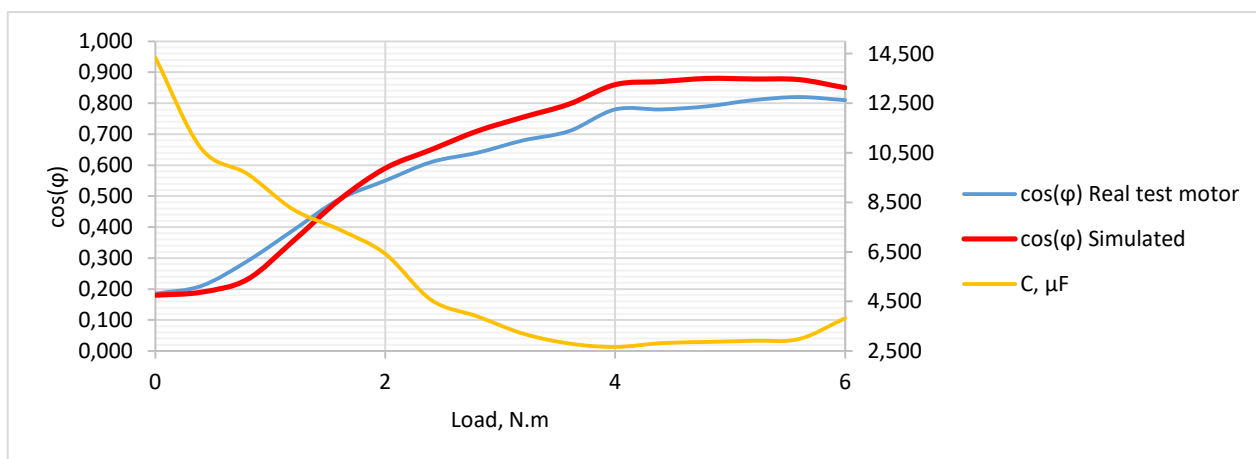
При валидирането са използвани измерените параметри на трети – тестов електродвигател, който не е използван в предходните измервания, изчисления и анализи.

Валидирането на резултатите е направено чрез измерване на параметрите на електродвигател на реална опитна постановка. При товар в диапазона $L=0-6$ Nm, подаван чрез програмното управление и товарната машина на опитната постановка. Определени са ефективните стойности на тока и напрежението на една от фазите на електродвигателя, активната и реактивна мощности и фактора на мощността.

За същият електродвигател чрез въвеждане на параметрите му в симулационния стенд са получени данни за параметрите, определени на реалния стенд.

На фигура 3.9 е представено изменението на фактора на мощността за реалния – тестов и симулирания двигател и необходимия капацитет на кондензатор от кондензаторната батерия за компенсирането му.

Направена е съпоставка на получените резултати за реалния двигател като е направена проверка чрез коефициент на корелация между стойностите на фактора на мощността, получени от тестовия стенд и реалния електродвигател. Направена е проверка на възможността за използване на този критерий като са проверени хомогенността на данните, разпределението, което е нормално. То е доказано чрез тест на Шапиро-Уилк. Резултатите показват коефициент на корелация $R=0,89$ между данните за реалния и симулирания електродвигател и малка средноквадратична грешка $RMSE=0,02$.



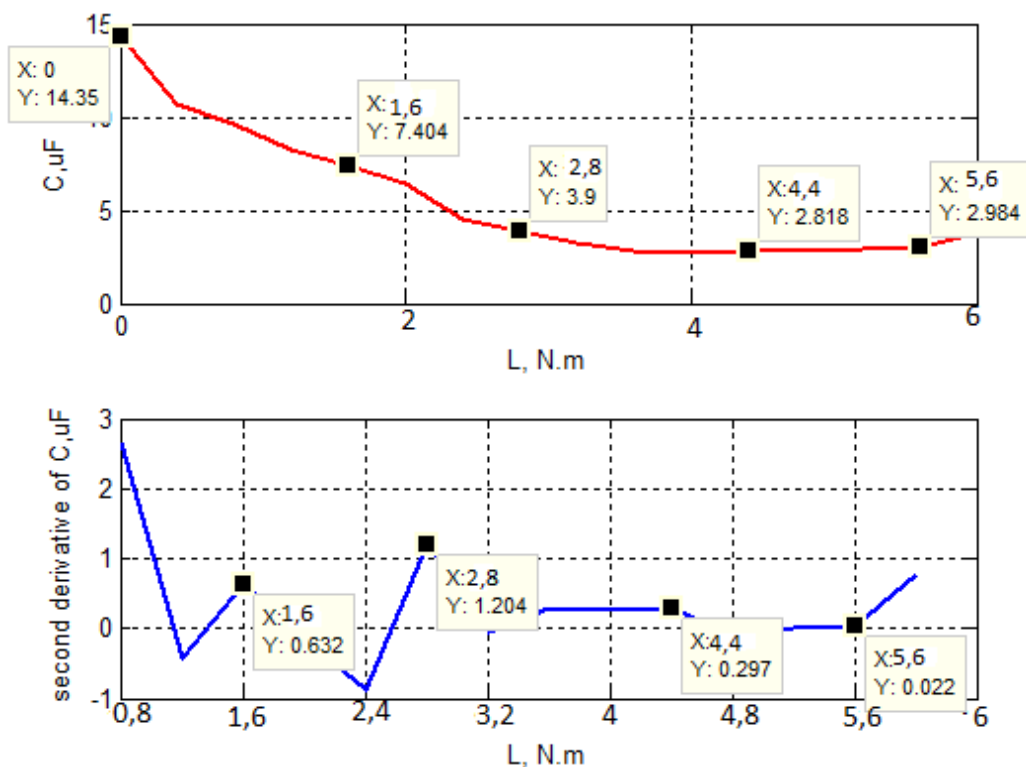
Фиг.3.9. Фактор на мощността и капацитет на кондензаторна батерия за реален-тестов и симулиран електродвигател

Изследвано е изменението на фактора на мощността в зависимост от капацитета на използваната кондензаторна батерия. Дефинирани са 4 диапазона на изменение на капацитета, от които са взети 5 капацитета, намиращи се в пиковите стойности на втората производна.

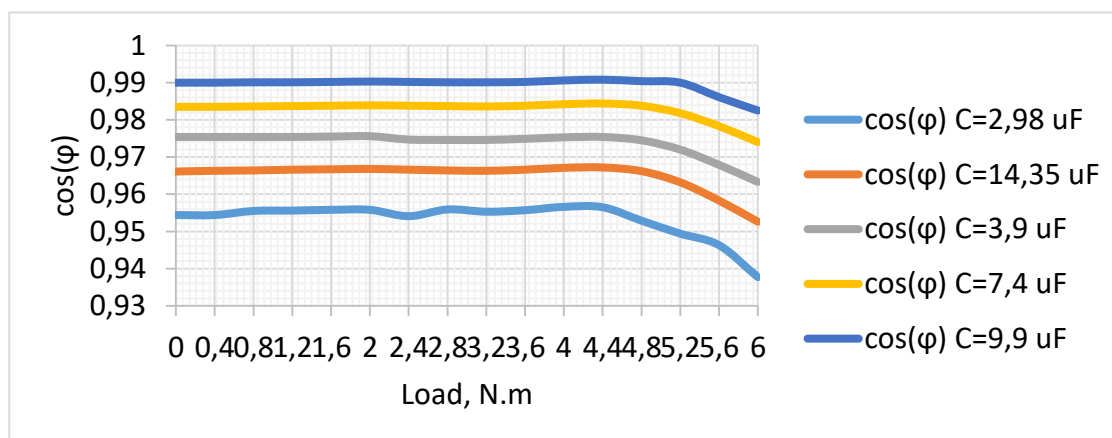
На фигура 3.10 е представен метод за избор на капацитета на кондензаторни батерии чрез втора производна на получената характеристика. Като критерии са взети максимумите на втората производна.

На фигура 3.11. е представено изменението на фактора на мощността в зависимост от капацитета на кондензаторната батерия. При повишаване на капацитета на кондензаторната батерия се повишава и фактора на мощността.

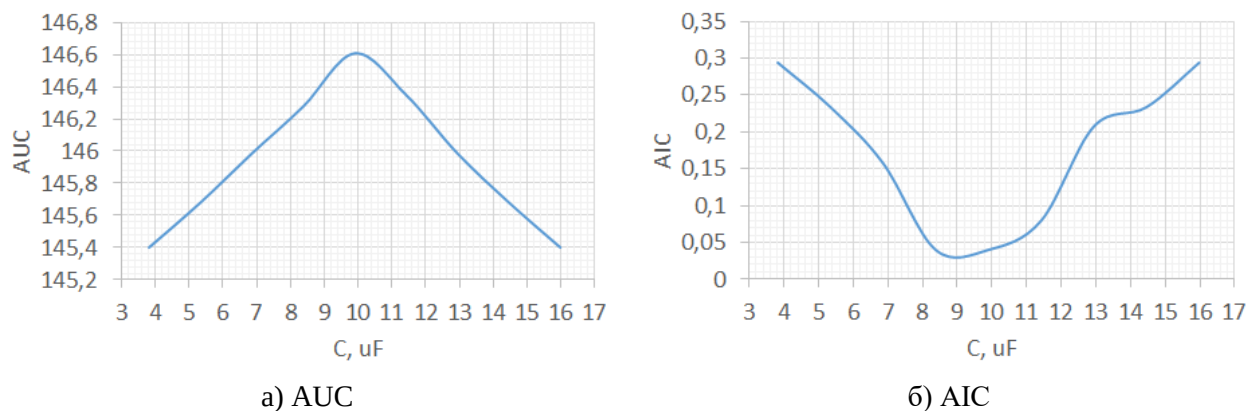
На фигура 3.12 са представени резултатите при определяне на площ под крива (AUC) и критерий на Акаике (AIC) за капацитет на кондензаторна батерия, при който се получава необходимия фактор на мощността за изследвания реален електродвигател. Подходящият за подобряване на фактора на мощността капацитет $C=9,91$ μF , определен с площ под крива и $C=8,89$ μF чрез критерий на Акаике.



Фиг.3.10. Определяне на капацитет на кондензаторна батерия чрез втора производна



Фиг.3.11. Фактор на мощността на реален-тестов електродвигател при различен капацитет на кондензаторната батерия



Фиг.3.12. Площ под крива и критерий на Акаике за изследвания реален електродвигател

Предложените процедури, използващи интервални оценки – площ под крива и критерий на Акаике могат да бъдат прилагани за определяне на необходимия капацитет на кондензаторна батерия. От получените резултати е видно, че повишаването на стойността на капацитета на кондензаторната батерия над оптималния води до влошаване на фактора на мощността. Това се дължи на дефазирането на тока и напрежението, което нараства с увеличаване на капацитета на кондензаторната батерия.

Изследваните електродвигатели са с малка мощност и за подобряване на фактора на мощността е необходима една кондензаторна батерия. При необходимост от няколко кондензаторни батерии, които да бъдат превключвани в зависимост от натоварването на електродвигателя може да бъде използван програмируем логически контролер.

3.4. Обобщение и изводи към глава 3

Представено е изследване върху възможността за използване на интервални оценки при определяне на необходимия капацитет на кондензаторна батерия за подобряване на фактора на мощността на асинхронен електродвигател. За целта е използван симулационен стенд и резултатите са валидирани с използване на реален електродвигател.

Предложеният симулационен стенд улеснява и подобрява работата при определяне на необходимия капацитет на кондензаторни батерии. За използването му са необходими параметри на електродвигателя и информация за задвижваната електромеханична система.

Доказана е възможността за използване на интервални оценки чрез критериите площ под крива и критерий на Акаике при определяне на необходимия капацитет на кондензаторна батерия за подобряване на фактора на мощността на електрозадвижване.

Критерият площ под крива е по-подходящ за практическото приложение на разработените процедури тъй като от получените графични резултати визуално по-добре се различават режимите на работа а електродвигателя и е улеснено определянето на необходимия капацитет на кондензаторната батерия. За енергоефективния електродвигател той е $C=7,31\mu F$, а за енергонеефективния $C=7,47\mu F$, при направената симулация.

При валидиране на разработената методика за определяне на подходящ капацитет на кондензаторната батерия с данни от тестов електродвигател е определен капацитет $C=9,91\mu F$, определен чрез площ под крива и $C=8,89\mu F$ чрез критерий на Акаике.

Получените резултати потвърждават посочените от други автори при изследване на методи за подобряване на фактора на мощността на електрозадвижване като ги допълват с предложените методи за интервална оценка, което е предпоставка за успешното им използване в инженерната практика и води до подобряване на експлоатационната надеждност на кондензаторните батерии.

Глава четвърта

4. ПРОБИВНО НАПРЕЖЕНИЕ НА ВЪТРЕШНАТА ИЗОЛАЦИЯ НА КОНДЕНЗАТОРНИ БАТЕРИИ

За изолация на високоволтовите кондензатори се използва: газ, течност, твърди неорганични и органични материали. При експлоатация на кондензаторните батерии най-голяма е вероятността да настъпи пробив или разряд във вътрешната изолация, отколкото да се наблюдава пълзящ разряд по повърхността на външния изолатор, а най-малка е вероятността за пробив във външната изолация (изводите на кондензаторната батерия). Ето защо целта в четвърта глава е да се състави методика и изпитателна схема за изпитване на вътрешната изолация на кондензаторните батерии, да се проведе експеримент и да се определи пробивното напрежение на вътрешната изолация при изменение на налягането, околната температура и плътността на въздуха.

4.1. Пробиви и разряди във вътрешната изолация на кондензаторните батерии

Различават се три механизма за пробив в твърдите диелектрици: импулсен, електрически, топлинен. Всеки от тях може да настъпи в изолацията в зависимост от

характера на електричното поле, в което се развива (постоянно, променливо, импулсно); от стойността на честотата; от продължителността за въздействие на напрежението; от наличието на дефекти в диелектрика, от дебелината на материала, от условията за охлаждане на електрическите съоръжения и т.н. Независимо от продължителността на експлоатацията на изолационния материал и от наблюдаваното стареене, което е неизбежен процес, при електрическите изпитания ще настъпи един от трите вида пробиви.

Разрядите се наблюдават в течните и газовите диелектрици. По принцип течните и газовите диелектрици имат по-малка електрична якост от твърдите. Ето защо общата диелектрична якост на комбинираните изолации се определя от качествата на течния диелектрик. Електрическата якост на изолация намалява с течение на времето. Ето защо в експлоатационни условия пробивните и разрядните напрежения зависят от голям брой влияещи фактори.

4.2. Статистически анализ на експериментални резултати

Пробивното напрежение $U_{пр}$ на изолацията зависи от времето за действие на приложеното напрежение, от температурата на диелектрика, от налягането и плътността на въздуха, от степента на овлажняването и т.н. Всички изброени фактори са случайни величини. За някои експерименти се налага да се изучава зависимостта на пробивното напрежение от един влияещ фактор при неизменни други параметри, защото кондензаторните батерии се монтират в закрити помещения. Броят на изпитанията трябва да е достатъчен, за да може по получената извадка данни да се определят числовите характеристики на случайната величина: математичното очакване, дисперсията и централните моменти от висок ред. Чрез ограничен брой изпитвания е необходимо да се получи оценка на числовите характеристики: на математичното очакване - средната стойност $\bar{U}$ или 50%-на стойност $U_{50\%}$, на дисперсията $D(U)$ - дисперсията на статистическата съвкупност $D^*(U)$ или средноквадратичното отклонение $\sigma = \sqrt{D^*}$.

При изследване на зависимостите между пробивното или разрядното напрежение и времето $U_{пр} = f(t)$, се търси зависимостта между средните им стойности $\bar{U}_{пр}$ и $\bar{t}$. Експериментът за определяне на една точка от зависимостта се състои от n изпитвания, във всяко от които се измерват случайните стойности на напрежението $U_{прi}$ и времето t .

Пробивните напрежения могат да имат много дискретни стойности в определен интервал. Дискретизирането се извършва, като разглежданата зона на изменение на случайната величина се разделя на интервали. Всеки интервал се свързва с определена вероятност за реализацията на случайната величина в него. Интегралната функция на разпределението определя за всички стойности на пробивното напрежение $U_{пр}$, вероятността тази стойност да бъде по-малка или равна на една предварително дадена стойност U , т.е. $F(U) = P(U_{пр} \leq U)$.

Голяма част от физичните величини с удовлетворена точност се подчиняват на нормалния закон в интервала на изменение на стойностите $(\bar{U} - 2\sigma, \bar{U} + 2\sigma)$, границите на които съответстват на вероятностите $P(U) = 0,05$ и $P(U) = 0,95$.

Информация за вероятността на пробив на изолацията при дадено въздействащо напрежение U се получава по два начина:

- от интегралната функция на разпределението $F(U_{пр})$, която показва вероятността $P(U_{пр} \leq U)$.
- от кривата $\psi(U)$, която показва вероятността $P_{пр}(U)$ да пробие изолацията при дадено напрежение U .

Експериментално полученото пробивно напрежение $U_{пр}$, което удовлетворява условието $P(U_{пр} \leq U) = 0,5$ от функцията на разпределението, е средното пробивно напрежение $\bar{U}_{пр}$. За разлика от него пробивното напрежение, което удовлетворява условието $\psi(U_{пр}) = 0,5$ е 50%-ното пробивно напрежение $U_{50\%}$.

Избира се $\Delta U = 0,03U_{50\%}$. За изпитанията трябва да има предварителни данни за средноквадратичното отклонение σ или за очакваното 50%-но пробивно напрежение. Върху изолацията се подава напрежение, близо до $U_{50\%}$, т.е. $U_0 \approx U_{50\%}$. Ако се получи пробив при следващото изпитване се подава напрежение $U_1 = U_0 - \Delta U$; ако не се получи такъв - $U_1 = U_0 + \Delta U$. След всеки опит се повтаря същата процедура.

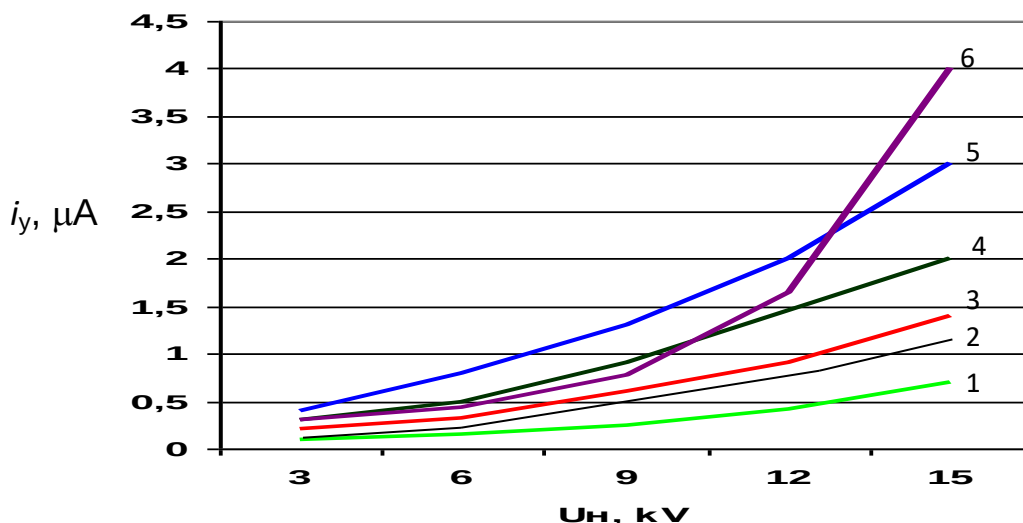
4.3. Изпитване на вътрешната изолация на високоволтовите кондензатори с повишено изправено напрежение

Измерванията се извършват с кенотронен апарат. Меренето на тока на утечка (i_y) на изолацията на електрическото съоръжение позволява да се снима характеристиката $i_y = f(U_{изп})$, където $U_{изп}$ е изпитателното напрежение $U_{изп}$ при изправен ток.

Ако токът на утечка достигне най-големите допустими стойности, изпитанието се прекратява и се изчислява големината на коефициента на нелинейност. При суха изолация коефициентът на нелинейност $k_{нелин}$ не трябва да превишава $2 \div 3$.

В изолацията, подложена на въздействието на изправеното напрежение $U^{\pm}$, протичат нищожни токове на поляризация и на практика липсват активни загуби. Затова частични разряди възникват при значително по-високи напрежения, отколкото при изпитанието с променливо напрежение $U^{\sim}$.

Отношението на изправеното напрежение $U^{\pm}$ към променливото $U^{\sim}$ може да достигне до 3 или 4. Степента на повишаване на изпитателното напрежение зависи от изпитвания обект. Кратността на изпитателното напрежение за кондензатори се приема от 2,2 до 2,5 U_n , където U_n е номиналното напрежение на изпитвания обект.



Фиг. 4.5. Зависимост на тока на утечка i_y от изпитателното напрежение за изолацията на кондензаторна батерия 6 kV: 1,2,3,4,5 – изолация с удовлетворително състояние; 6 – неудовлетворително състояние

Уредбите за изправено напрежение при изпитанията измерват и тока на утечка в зависимост от приложеното напрежение, като резултатите се сравняват с предшествващи изпитания. Тази зависимост, снета в определен диапазон, не трябва да има стръмна извивка (фиг.4.5).

Изпитанието на вътрешната изолация на кондензаторната батерия с изправено напрежение и постоянен ток с кенотрони се извършва в следната последователност:

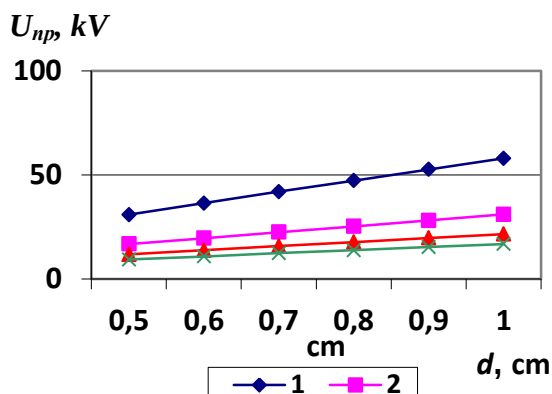
- Големината на изпитателното напрежение се избира в зависимост от номиналното напрежение на кондензаторната батерия. При кондензаторни батерии до 1 кV изпитателното напрежение се повишава със степени $0,5 U_n$ в интервала от 0,5 до $2,4U_n + 1,2$ кV и се задържа на всяка степен в продължение на 60 s. За кондензаторни батерии с напрежение от 6,6 до 20 кV изпитателното напрежение е в интервала $1,28 (2U_n + 3)$ кV.
- Измерват се токовете на утечка през 15 и 60 s на всяка степен на изпитателното напрежение. Токовете на утечка не трябва значително да се отличават от зададените стойности от завода-производител.
- В случай на нарастването на токовете на утечка при неизменно напрежение или при превишение на допустимата стойност, следва изпитанията да се преустановят и да се отстрани повредата, която ги предизвиква.
- По данните от измерванията се намира коефициентът на нелинейност, който не трябва да превишава 3.

4.4. Експериментално изследване на пробивното напрежение на вътрешна изолация от влияещите фактори

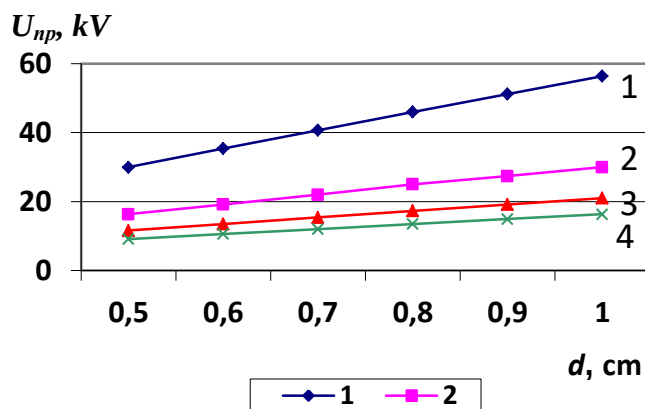
При проведения експеримент се определя пробивното напрежение на вътрешната изолация на кондензаторна батерия при изменение на налягането (фиг.4.6), околната температура (фиг.4.7) и плътността на въздуха (фиг.4.8).

Не се отчита времето за пробива, а се определя големината на пробивното напрежение при промяна на всеки един от изброените три влияещи фактора.

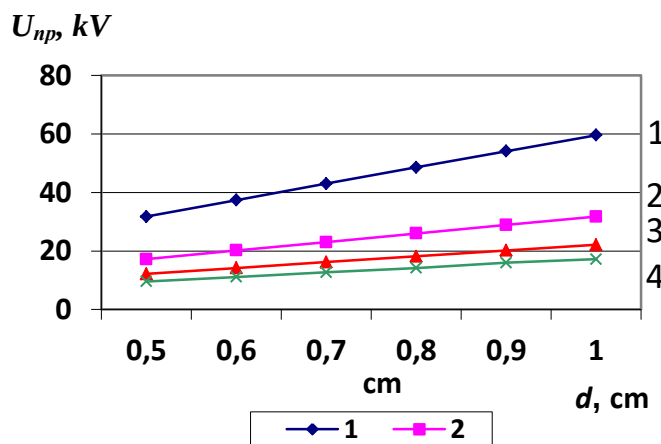
Плътността на въздуха за експеримента от фиг.4.6 се пресмята с уравнението $\delta = pT_0 / (p_0 \cdot T)$, където $p_0 = 1,013 \cdot 10^3$ hPa, $T_0 = 20^\circ\text{C}$.



Фиг 4.7. Зависимост на пробивното напрежение на вътрешна изолация от температурата: 1 - 10°C ; 2 - 20°C ; 3 - 30°C ; 4 - 40°C



Фиг.4.6. Зависимост на пробивното напрежение на вътрешна изолация от налягането: 1 - $0,983 \cdot 10^3$ hPa; 2 - $1,013 \cdot 10^3$ hPa; 3 - $1,043 \cdot 10^3$ hPa; 4 - $1,083 \cdot 10^3$ hPa при температура 20°C



Фиг.4.8. Зависимост на пробивното напрежение на вътрешна изолация от плътността на въздуха за стойностите на налягането от фиг.4.6 и на температурата от фиг 4.7

Анализът на получените резултати показва, че пробивното напрежение нараства с увеличение на плътността на въздуха и намалява с увеличаването на температурата на околната среда.

4.5. Изводи

- Пробивното напрежение на твърдата изолация е случайна величина. Броят на изпитанията трябва да е достатъчен, за да се определят числовите характеристики на случайната величина.
- Опитно полученото пробивно напрежение $U_{\text{пр}}$, което удовлетворява условието $P(U_{\text{пр}} \leq U) = 0,5$ от функцията на разпределението, е средното пробивно напрежение $\bar{U}_{\text{пр}}$. Пробивното напрежение, което удовлетворява условието $\psi(U_{\text{пр}}) = 0,5$ е 50%-ното пробивно напрежение $U_{50\%}$.
- Пробивното напрежение на вътрешната изолацията се влияе от много фактори. Независимо от това дали се изследва само един или няколко влияещи фактора върху големината на пробивното напрежение, се получават различни стойности на случайната величина, които подлежат на статистическа обработка.

Резултатите от изследванията ще бъдат полезни при анализ на експлоатационната надеждност и отказите на кондензаторните батерии, възникващи поради превишение на напрежението и съчетание на неблагоприятни въздействащи фактори.

Глава пета

5. ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАДЕЖНОСТТА НА КОНДЕНЗАТОРНИ БАТЕРИИ

За изчисление на надеждността на кондензаторни батерии се използват статистически данни за отказите получени от обслужващия персонал по време на периодичното и оперативното техническо обслужване в специално разработена информационна система в производствено предприятие в индустриална зона на град Ямбол. Събраните данни за определен период от време се подлагат на статистически анализ с цел намиране на количествените характеристики, които да бъдат използвани при пресмятането на надеждността на разглежданата система, чрез определяне на вероятността на отказ.

Кондензаторните батерии, изградени от отделни кондензатори трябва да отговарят на високи изисквания по отношение на надеждността, тъй като тази апаратура работи при сравнително тежки условия.

Като показател за надеждността на кондензаторните батерии се използва обикновено вероятността за безотказна работа, интензивността на отказите при нормални експлоатационни условия и др.

5.1. Методика за определяне на експлоатационна надеждност на кондензаторни батерии

Използвани са данни, натрупани в продължение на 144 месеца от експлоатацията на кондензаторни батерии.

За кондензаторна батерия са регистрирани $n=11$ отказа за време $P=144$ месеца. Времената на настъпване на отказите са съответно $T_i=18; 27; 33; 57; 76; 111; 120; 121; 126; 128; 132$ месеца. Те са отразени в системата за регистриране на откази в предприятието. Отказите не са взаимосвързани, което означава, че няма зависимост между времето на работа между отказите – след отстраняването на всеки отказ обектът се счита за напълно работоспособен. Отказите са независими, не се отчита евентуално влияние на външни фактори като откази в други системи.

За целите на настоящата работа е приложен метода на максималното правдоподобие (на Фишер) в съчетание с критерия χ^2 (хи-квадрат), които са се наложили като по-често

използвани в практиката. Използвана е също методологията за определяне на неопределеност при експоненциален закон на разпределение на опитни данни.

Методиката за оценка на експлоатационната надеждност на кондензаторните батерии се основава на обобщението от таблица 5.1.

За обработката на данните са използвани електронни таблици MS Excel.

Таблица 5.1. Методика за определяне показателите за надеждност на кондензаторни батерии

Етап	Математическа формулировка	Описание
1	2	3
Определяне на средната (очаквана) стойност	$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, h$	t_i – време на работа между отказите; n – брой на отказите
Определяне на средата за цялата популация	$\mu = \frac{P}{n}, h$	P – период, в който е направено измерването
Въвеждане на безразмерна величина x_i	$x_i = \frac{t_i}{\bar{y}}$	-
Определяне на брой интервали на групиране	$x_{min} = \min(x_i)$ $x_{max} = \max(x_i)$	-
Определяне на размер на интервала	$\Delta = \frac{x_{max} - x_{min}}{1 + 3,3 \lg n}$	-
Определяне брой интервали	$K = \frac{x_{max} - x_{min}}{\Delta}, \text{бр.}$	-
Определяне на период за един интервал	$\Delta_i = \frac{P}{K}, h$	-
Определяне брой на случайни реализации във всеки интервал	$m_i, \text{бр.}$	Брой откази за даден интервал
Подреждане на броя на реализациите във вариационен ред	-	-
Изчисляване на вероятността за попадане на времето за безотказ-на работа в съответния интервал	$\bar{f}_i(x) = \frac{m_i}{n \Delta_i}$	-
Построяване на хистограма с вероятностите за определяне вида на разпределението	-	-
При експоненциален закон	$f(x) = e^{-x}; x = \frac{t}{T_0} \approx \frac{t}{\mu}$	-
Проверка за съгласуваността на разпределението с опитните данни	$\Delta_{\bar{y}} = t_i - \bar{y}$	$\Delta_{\bar{y}}$ – отклонение от средната стойност
Определяне на вариация	$S^2 = \frac{1}{n} \sum \Delta_{\bar{y}}^2$	-
Определяне на стандартно отклонение	$\bar{S} = \sqrt{S^2}$	-
Определяне на граници на периода, в който е направено измерването P	$P_{min} = \bar{y} - \bar{S}, h$ $P_{max} = \bar{y} + \bar{S}, h$	-

1	2	3
Съставяне на графика на отклоненията спрямо средното време на отказ	-	-
Определяне на вероятност за възникване на отказ спрямо приетия закон на разпределение	$P_{i\text{real}} = \frac{m_i}{n}$	-
Определяне на χ^2	$\chi^2 = \frac{(m_i - nP_i)^2}{nP_i}$	-
Проверка на хипотези H_0 и H_1	-	По степени на свобода df; стойност на χ^2 , определена таблично; ниво на достоверност

5.2 Резултати от приложената методика

Съгласно представената методология за определяне на показателите на надеждност с използване на опитните данни е определена вероятността за отказ на изследваните кондензаторни батерии.

В таблица 5.2 са посочени основните данни за отказите на изследваните кондензаторни батерии. Посочени са: брой откази n ; време на работа между отказите t_i , месеца; средна стойност y_{mean} , месеци; Средната за цялата популация μ , месеци; и стойностите за безразмерната величина x_i ; също така и размер на интервала Δ .

Таблица 5.2. Основни данни за отказите на изследваните кондензаторни батерии

n, бр.	P, мес.	T_i,мес.	t_i,мес.	x_i
11	144	18	18	0,452
		27	9	2,072
y_{mean},мес.	μ,мес.	33	5	1,541
12	13,091	57	25	2,896
		76	18	0,780
Δ, мес.		111	35	0,123
0,635		120	9	0,399
		121	1	0,133
		126	5	0,345
		128	2	0,452
		132	4	2,072

В таблица 5.3 са посочени резултати за броя на отказите в получените интервали, при брой на интервалите $K=4$ интервала и период за един интервал $\Delta_i=36$ месеца. Броят откази в един интервал е сортиран в низходящ ред. Представени са и резултатите от изчисление на времето за безотказна работа в един интервал, означено като f_{mean} .

Таблица 5.3. Брой откази в получените интервали и вариацията на данните

Интервали, мес.		m_i, бр.	m_{i sort}, бр.	f_{mean}, мес.
0,00	36,00	3	6	0,0152
36,00	72,00	1	3	0,0076
73,00	109,00	1	1	0,0025
110,00	146,00	6	1	0,0025

В таблица 5.4 са представени резултати за вариацията, стандартното отклонение и проверката за съответствие с опитните данни. Определени са минимална и максимална стой-

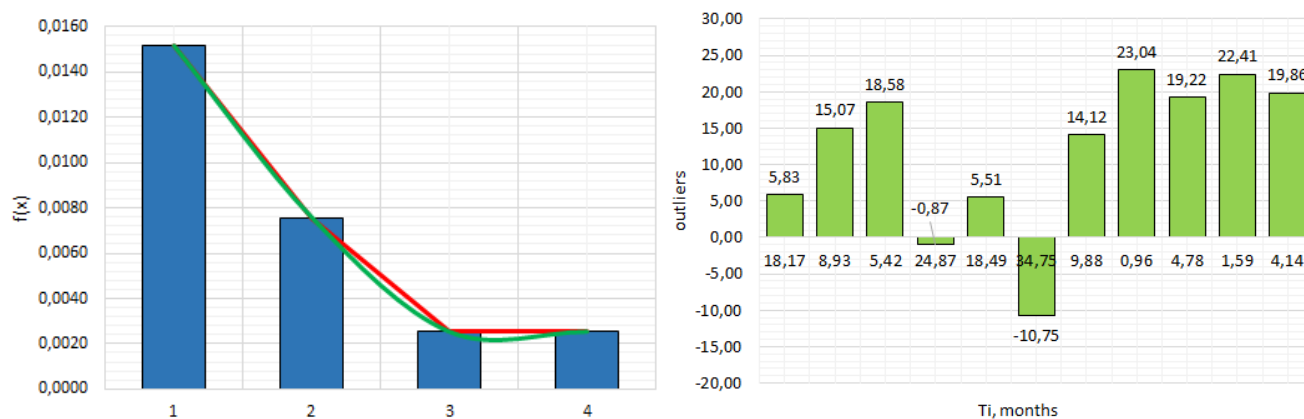
ност на граници на периода, в който е направено измерването. Посочени са и отклоненията на времената на работа до отказ спрямо средното време на отказ, означени като „outliers“.

Таблица 5.4. Вариация, стандартно отклонение и проверка за съответствие с опитните данни

Вариация S^2 , мес	$\bar{S}$, мес.	$\Delta_{i \text{ mean}}$	Δ_y^2	Outliers
105,10	10,29	6,17	38,12	5,83
		-3,07	9,44	15,07
$P_{\min}$	$P_{\max}$	-6,58	43,29	18,58
1,71	22,29	12,87	165,63	-0,87
		6,49	42,16	5,51
		22,75	517,73	-10,75
		-2,64	6,96	14,64
		-10,52	110,71	22,52
		-7,22	52,09	19,22
		-10,41	108,28	22,41
		-7,86	61,70	19,86

На фигура 5.1 са представени в графичен вид хистограмата на вероятностите и отклонението на времето на работа до отказ спрямо средното време. От хистограмата се вижда, че вероятността за безотказна работа има експоненциален закон на разпределение.

По вида на представените характеристики може да се съди, че закона на разпределение е намаляваща експонента. Наблюдават се отклонения на времената до отказ, които са в рамките на границите на периода, в който е направено изследването.



Хистограма на вероятности

б) Отклонение на времената на работа до отказ спрямо средното време до отказ

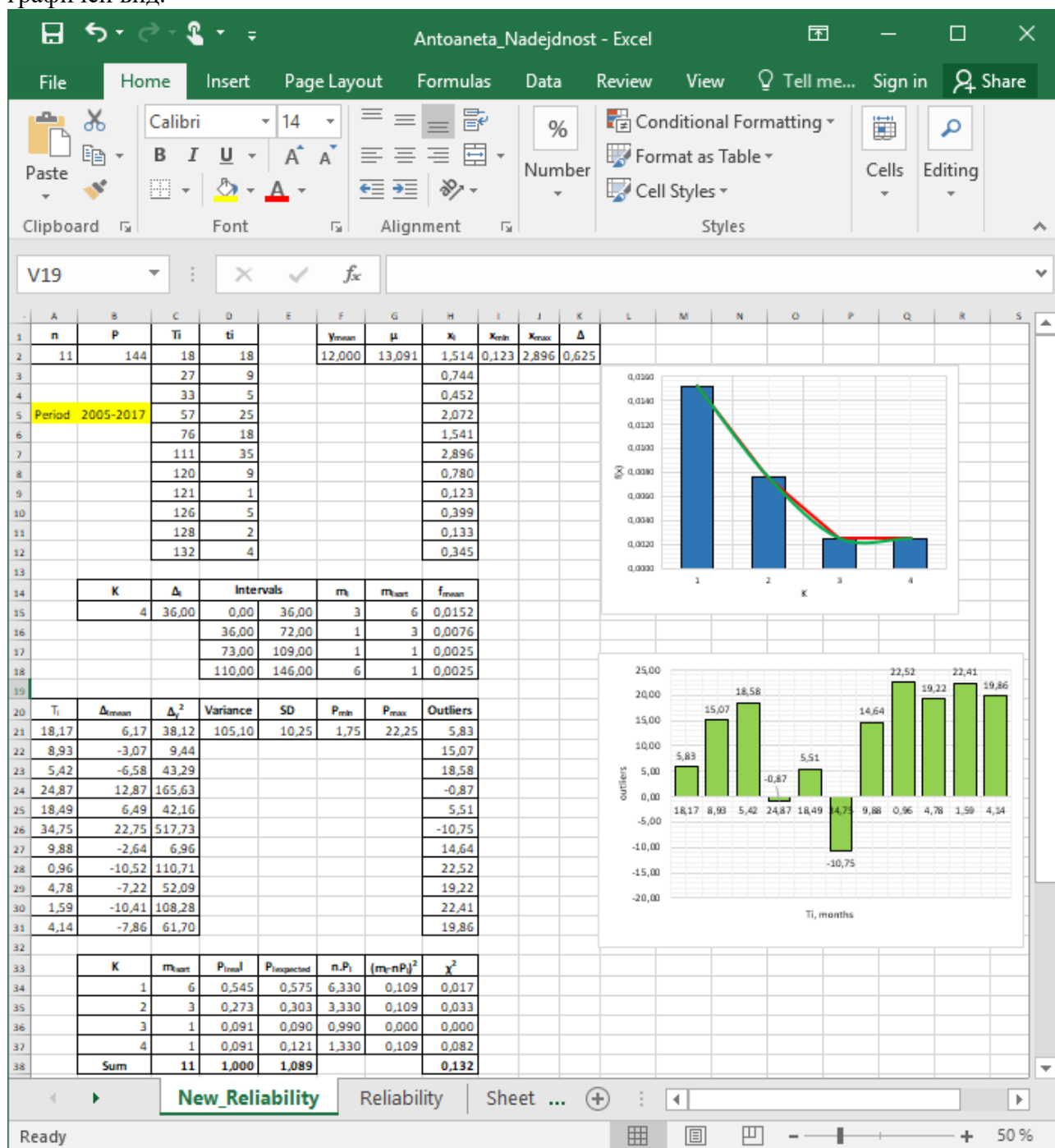
Фиг.5.1. Хистограма на вероятностите и отклонение от средната стойност

В таблица 5.5 са посочени резултатите от определяне на вероятности за възникване на отказ спрямо приетия закон на разпределение. По представените в методологията математически зависимости е получена стойността на критерия χ^2 .

Таблица 5.5. Реална и очаквана вероятности за възникване на отказ спрямо приетия закон на разпределение

К, бр.	$m_{i \text{ sort}}$ бр.	$P_{i \text{ real}}$	$P_{i \text{ expected}}$	χ^2
1	6	0,545	0,575	0,017
2	3	0,273	0,303	0,033
3	1	0,091	0,090	0,000
4	1	0,091	0,121	0,082
Sum	11	1,000	1,089	0,132

Издава се хипотезата, че кондензаторната батерия ще работи поне 12 месеца ($y=12$) без да настъпи отказ, което се означава с H_0 . Дефинира се и алтернативна хипотеза H_1 , при която отказът ще настъпи при работа на кондензаторната батерия $y < 12$ месеца. Определят се степените на свобода $df=2$. При доверителна вероятност $\alpha=0,90$. Критичната стойност на $\chi^2=0,132$. От таблица с вероятности се определя $P(\chi^2_{\text{calc}} \leq \chi^2_{\text{tbl}})=0,132 < 0,211$. Следва, че нулевата хипотеза се приема и кондензаторните батерии ще работят безаварийно поне 12 месеца. Съобразно представената методология е създадена електронна таблица за определяне на надеждност на кондензаторни батерии, която е представена на фигура 5.2. В клетки A2, B2 и колона C се въвеждат експериментално получените данни. На тяхна база се изчисляват останалите величини, описани в методологията. Резултатите се визуализират в табличен и графичен вид.



Фиг. 5.2. Електронна таблица за определяне на надеждност на кондензаторни батерии

Чрез прилагане на изчислителни методи за решаване на инженерни задачи, използвайки ефективното натрупване на данни в специално разработени системи се облекчават ежедневните дейности на обслужващия персонал свързани с планирането, експлоатацията и обслужването на кондензаторните батерии.

С напредъка на технологиите се разширяват възможностите за оптимизиране на сложните процеси, които участват в динамичната среда. Осигуряването на материали по предварителни разчети би намалило както натоварването върху обслужващия персонал, така и разходите за поддръжка на техниката, чрез подобряване на качеството и намаляване на времето за отстраняване на възникнал отказ.

Ключова роля трябва да бъде отредена на човека с подходяща професионална подготовка, който да дефинира условията и избора на метод за съответните изчисления при използване на големия обем натрупана информация и последваща интерпретация на резултатите.

5.3.Обобщения и изводи

На базата на предложената методика е разработена електронна таблица, която улеснява изчислителния процес и представя нагледно получените резултати при анализа на опитни данни за определяне на надеждност на кондензаторни батерии, което я прави подходяща за инженерната практика.

Анализирани са данни за откази на кондензаторни батерии, получени за период от 144 месеца. Получените резултати показват, че изследваните кондензаторни батерии, ще работят безотказно за период от 12 месеца при доверителна вероятност $\alpha=0,9$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По-съществените приноси в дисертацията са следните:

- Създадена е методика за електрическо оразмеряване на кондензаторните батерии при различни експлоатационни условия на клон от разпределителна мрежа. Проведени са числени експерименти в среда Matlab/Simulink, резултатите от които са обобщени и анализирани.
- Разработена е методика за изчисляване на необходимия капацитет на кондензаторните батерии при експлоатация на електрически двигатели. Проведени са числени експерименти в среда Matlab/Simulink, резултатите от които са обобщени.
- Разработена е методика за изследване на пробивното напрежение на вътрешната изолация на кондензаторните батерии за средно напрежение, въз основа на експериментални изпитания.
- Съставена е методика за оценка на експлоатационната надеждност на кондензаторни батерии и е разработен софтуер. Неговото прилагане позволява да се оценяват влияещите фактори, при които се повишава експлоатационната надеждност на кондензаторните батерии.

Създадените методики и софтуер ще бъдат полезни при експлоатация на кондензаторните батерии.

Списък на публикациите по дисертацията

1. Димитрова А., Симулационно изследване върху корекция на фактора на мощността в електроразпределителните мрежи, Международна конференция Техника, Технологии и Обучение ICTTE 2016, 17-18 ноември 2016.
2. Димитрова А., Анализ на отказите на кондензаторни батерии в разпределителни мрежи за ниско напрежение, Известия на ТУ-Сливен №1, 2017, ISSN 1312-3920, стр. 12-17.

3. Мацанков М., А. Димитрова, Статистическо разпределение на пробивното напрежение на твърда изолация, Известия на ТУ-Сливен №5, 2016, ISSN 1312-3920, стр. 37-40.
4. Мацанков М., А. Димитрова, Д. Василев, Изпитване на изолацията на високоволтови кондензатори с повишено изправено напрежение, Известия на ТУ- Сливен №5, 2017, ISSN 1312-3920, стр. 54-56.
5. Димитрова А, Възможности за подобряване на електроизолационните свойства на керамични материали чрез електромагнитна обработка, Известия на ТУ-Сливен №6, 2015, ISSN 1312-3920, стр. 50-55.
6. Dimitrova A., Analisis of SEM images of magnetically treated ceramic materials, Applied scientific journal, Innovation and entrepreneurship, vol.4№1,2016,ISSN1314-9253,pp 35-43.

IMPROVING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF CAPACITORS BANKS IN DISTRIBUTION GRIDS

Antoaneta Georgieva Dimitrova

Summary

In the dissertation a computer program was created, calculating the required capacitance of a capacitor bank to obtain the desired power factor based on theoretical analysis and mathematical apparatus. Parameters of capacitor are determined during an operation in power distribution networks and in production conditions. Simulations of the power distribution network were made without and with the correction of the power factor.

A power factor correction for a separate electric motor is presented. A simulation model was developed to study the energy efficiency of three-phase asynchronous electric motors. A simulation study has been carried out, which determines the required capacity to compensate for an energy-efficient and inefficient motor. The results are validated by the test electric motor. The criteria: area under curve and Akaike, information criterion is used to determine the appropriate capacity to adjust the power factor.

The procedure and test scheme for the internal insulation of the capacitor banks are presented. Experimental research is carried out and results are summarized that are useful for assessing the operational reliability of the capacitor banks.

An analysis of the failures of capacitor banks has been made during the period of operation. A methodology for determining the reliability of capacitor banks is presented. Based on this methodology, a spreadsheet has been created, which determines the probability of faultless operation and the average time between failures.