



ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ
„ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“



ФИЗИКО – ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА „ЕЛЕКТРОНИКА, КОМУНИКАЦИИ И
ИНФОРМАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ“

маг. Сезгин Фахри Исмаил

ПАРАМЕТРИЧНА И СТРУКТУРНА ОПТИМИЗАЦИЯ НА
ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННИ МОДЕЛИ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за придобиване на образователната и научна степен
“ДОКТОР”

Област на висше образование 5. Технически науки

Професионално направление 5.3. Комуникационна и компютърна техника

Докторска програма:

Автоматизация на области от нематериалната сфера
(медицина, просвета, наука, административна дейност и др.)

Научен ръководител:

доц. д-р инж. Слави Ясенов Любомиров

Пловдив, 2023 г.

Дисертационният труд е с обем 183 страници , включително 66 фигури, 21 таблици, оформени в увод, 4 глави, общи изводи, научно-приложни и приложни приноси, списък с използваните термини и съкращения, списък с публикациите на автора. Списъкът на цитираната литература включва 132 заглавия.

Означенията на формулите, фигурите и таблиците в автореферата съвпадат с тези в дисертационния труд.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на заседание на разширения катедрен съвет на катедра „ЕЛЕКТРОНИКА, КОМУНИКАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ“ при ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ „ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“ на 28.02.2023 г., Протокол № 48.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 19.06.2023 г. от 11:00 часа в зала “БИ 15”, ул. Костаки Пеев 21, на ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ „ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“ на заседание на научно жури.

Материалите по защитата на докторанта са на разположение на интересувашите се в канцеларията на Физико-технологичния факултет при ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ „ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“, ул. Костаки Пеев 21, ет. 4, каб. 1.

Научно жури: проф. д-р Невена Стоянова Милева
 проф. д-р Румен Костадинов Попов
 проф. д-р Тодор Стоянов Джамийков
 доц. д-р Борислав Христов Миленков
 доц. д-р Николай Атанасов Шопов

Автор: маг. Сезгин Фахри Исмаил

Заглавие: **ПАРАМЕТРИЧНА И СТРУКТУРНА ОПТИМИЗАЦИЯ НА
ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННИ МОДЕЛИ**

Тираж: 30 бр.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Темата на настоящия дисертационен труд разглежда проблем, по който в последните години се работи изключително активно в световен мащаб, той е свързан с разработването на нови телекомуникационни системи и мрежи и модели за тях. Тя е конкретизирана върху параметрична и структурна оптимизация на телекомуникационни модели.

Отчитайки актуалността и значимостта на проблема, пораждащ необходимост от търсене на нови методи и подходи, свързани със задълбочени експериментални изследвания, вниманието е насочено към телекомуникационните модели и причините, влияещи на качествените показатели на телекомуникационните мрежи и системи.

В дисертационният труд е акцентирано върху моделирането и идентификацията на специфични нелинейни системи от телекомуникационни модели. Актуалната научна задача се явява разработването и развитието на методи за осигуряване на надеждно предаване, обработка и защита на информация в телекомуникационните мрежи с цел подобряване на техническите им характеристики и повишаване на ефективността на функционирането им.

Цялостното теоретично и практическо изследване, отразено в дисертационния труд е насочено към параметрична и структурна оптимизация на телекомуникационни модели. Акцентите са фокусирани върху актуалните проблеми при оценката на системи с еволюционни алгоритми. Направен е анализ на възможностите за приложение на генетичния алгоритъм и метода на рояка частици.

Разработката на нови версии на стохастични еволюционни алгоритми е актуално и активно направление в съвременните научни изследвания по света. При реализацията на този тип алгоритми съществуват редица проблеми, основните от които са: точност, бързодействие, преодоляване на локални оптимуми и др. Наличието на нерешени проблеми налага разработване на нови версии на стохастични еволюционни алгоритми, които при определени условия дават по-добри резултати.

Актуалността на темата произтича от нарастващата сложност на проектите и мащаба на телекомуникационните системи, които ни карат да обръщаме внимание на нивото и качеството на работа на всички етапи от проекта и не на последно място нивото на изпълнение на самия процес на проектиране. Концептуалният аспект на тази задача се дължи на факта, че разработването на компетентен проект за кабелно окабеляване дори в две или три стаи с няколко десетки порта е много трудна процедура. В същите ситуации, когато броят на обслужваните работни места е достатъчно голям и в състава на телекомуникационната система има опорна подсистема, то очевидно задачата за оптимизиране на проекти за намиране на най-оптималния вариант за тяхното изпълнение, е достатъчно трудно изпълнение.

Акцентирано е върху използването на методи и техники на изкуствения интелект при оценката на състоянието на компоненти в телекомуникационните системи.

Цел на дисертационния труд:

Целта на дисертационния труд е да се изследват възможностите на генетичния алгоритъм и на методите за оптимизация, с използването на рояк от частици, при автоматизирането на процеса на определяне на структурата и параметрите на математични модели на устройства, специфични за телекомуникациите.

Задачи за постигане на целта:

1. Проучване и анализ на съществуващите методи, техники и средства на изкуствения интелект за оценка на структурата и параметрите на базови компоненти на комуникационните системи.
2. Създаване на тестови симулационни модели на специфични за комуникационните системи класове от модули и устройства апробират конкретни процедури, реализиращи алгоритмите на ГА и PSO.
3. Прилагане на методите на числения експеримент и метода на Монте - Карло симулациите за да се изследват възможностите на алгоритмите на ГА и PSO за автоматизирано определяне параметрите и структурата на специфични за телекомуникационните системи класове от модули и устройства.
4. Изследване на значимостта на факторите, влияещи върху сходимостта, грешката и бързодействието на отделните алгоритми и се извърши сравнителен анализ на качествата на предложените алгоритми.
5. Извеждане на подходи за приложението на изследваните методи на изкуствения интелект в практиката.

Използвани методи и средства на изследване:

Използваните методи за изследване са от научните области: теория на техники и средства на изкуствения интелект за оценка на структурата и параметрите на базови компоненти на комуникационните системи, методи за компютърно проектиране, моделиране и симулационен анализ.

Внедряване и практическа приложимост

Разработени са процедури, реализиращи Генетичения алгоритъм и метода на рояка частици и е изследвана значимостта на факторите, влияещи върху качествата на разгледаните алгоритми, и е проведен сравнителен анализ.

Публикации по темата

Основните резултати са публикувани в: 3 броя в annual International Conference on Education and New Learning Technologies - Web of Science, 2 броя в сборници доклади на Международна конференция на младите учени, СУБ – Смолян. Четири от публикациите са в съавторство с научния ръководител и една е самостоятелна.

Обем и структура на дисертационния труд

Дисертационният труд е с обем 183 страници, включително 66 фигури, 21 таблици, оформени в увод, 4 глави, общи изводи, научно-приложни и приложни приноси, списък с използваните термини и съкращения, списък с публикациите на автора. Списъкът на цитираната литература включва 165 заглавия, всички на латиница

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПРОБЛЕМА

В първа глава от дисертационния труд е представено проучване на основните параметрични и структурни оптимизационни процедури оказващи влияние на телекомуникационните модели.

От направения обзор се вижда, че предсказването чрез модел може да се използва при търсенето на нови и атрактивни начини. Обяснителният модел може да се прилага при изучаването на вътрешното и външното поведение на нетехнически системи, особено в случаите, когато не могат да се провеждат експерименти или пък са много скъпи, каквито са подсистемите на телекомуникационните мрежи. За оптимизация на процеса понякога реалната система се симулира чрез динамичен модел, който може да се използва в различни условия на работа. Динамичните модели също могат да се използват за откриване на грешки, като изследвания и измерван процес се сравнява с познати модели. Прилагането на еволюционните алгоритми осигурява точност, бързодействие, сходимост и устойчивост.

Констатира се, че статистическата теория на комуникацията предлага голям брой възможности за изграждане на телекомуникационни системи. Как да изберем най-подходящия вариант от този набор при дадените условия? Какви критерии трябва да се използват, за да се направи този избор? Доколко оправдано е използването на определени нови системи и модели и как да се подобрят съществуващите? Основното решение на тези проблеми в крайна сметка се свежда до оптимизиране на комуникационните модели и системи според критериите за ефективност.

Разработката на нови версии на стохастични еволюционни алгоритми е актуално и активно направление в съвременните научни изследвания по света.

Наличието на нерешени проблеми налага разработване на нови версии на стохастични еволюционни алгоритми, които при определени условия дават по-добри резултати.

Резултати от литературното проучване по темата на дисертационния труд

От проведеното литературно проучване могат да бъдат дефинирани следните проблеми:

1. Направеният преглед и анализа на състоянието на методите за моделиране и параметрична и структурна идентификация дават основание да се направи заключение, че за разлика от традиционните детерминистични методи за търсене на оптимални решения, при стохастичните има много нерешени проблеми, свързани с приложението им в конкретни сложни системи.
2. Приложението на методите на изкуствения интелект при оценка на текущото състояние и качеството на функциониране на телекомуникационните мрежи, освен със сложността на системите и техните модели е свързано и с разработването на нови изчислителни процедури, позволяващо използването на целочислени, реални и комплексни стойности на параметрите

3. Необходимо е да се намерят подходи за обучение на студентите в областта на използването на методи и техники на изкуствения интелект при оценката на състоянието на компоненти в телекомуникационните системи, целящи придобиването на знания за прилагането на тези методи в практиката.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА

В тази глава от дисертационния труд е представен метод на Монте Карло за провеждане на симулация със стохастични модели. Акцентирано е върху анализа на чувствителността с цел определяне на входните параметри, които оказват влияние върху неопределеността в изхода на модела.

Обосновано е използването на методите на изкуствения интелект ИИ (Artificial Intelligence) при идентификация на системи.

Важно място при идентификацията на системи заема процеса за идентификация на параметрите. Технически добре са обосновани редица методи, като метод на най-малките квадрати, метод на инструменталната променлива и метод на максималното правдоподобие, които съществуват за оценка на параметрите на моделите.

2.3. Методи на изкуствения интелект ИИ (Artificial Intelligence), използвани при идентификация на системи

Процедурите за вземане на самостоятелно решение от системите с изкуствен интелект се осъществяват чрез два основни подхода - конвенционален и изчислителен. При конвенционалния подход се използват методи, основани на специален формализъм и статистически анализ. На тази основа са изградени експертните системи (Expert System), системите с използване на аналогия с предишни случаи (Case-Based Reasoning), вероятностни (бейсови) мрежи (Belief Networks) и др. Изчислителния подход се свързва с използване на интерактивно обучение на системите с изкуствен интелект, основано на емпирични данни и асоциирани с тях "гъвкави" изчисления. Основни архитектури от подобен тип са невронните мрежи (Neural Networks), системите с размита логика (Fuzzy Logic), генетичните алгоритми (Genetic Algorithms), интелект на рояка (SI-Swarm Intelligence) и др.

2.4. Генетичен алгоритъм ГА.

Генетичният алгоритъм (ГА) е метод за решаване на двата вида оптимизационни задачи с и без ограничения, които се основават на естествения подбор.

2.6. Изводи

Акцентирано е върху анализа на чувствителността с цел определяне на входните параметри, които оказват влияние върху неопределеността в изхода на модела. Обосновано е използването на методите на изкуствения интелект ИИ (Artificial Intelligence) при идентификация на системи.

Важно място при идентификацията на системи заема процеса за идентификация на параметрите. Технически добре са обосновани редица методи, като метод на най-малките квадрати, метод на инструменталната променлива и

метод на максималното правдоподобие, които съществуват за оценка на параметрите на моделите.

ГЛАВА 3. СЪСТАВЯНЕ НА СИМУЛАЦИОННИ ТЕСТОВИ МОДЕЛИ НА КОМУНИКАЦИОННИ УСТРОЙСТВА И НА ПРОЦЕДУРИТЕ, ПРИЛАГАЩИ МЕТОДИ НА ИЗКУСТВЕНИЯ ИНТЕЛЕКТ

В настоящата глава от дисертационния труд се представя използването на методи и техники на изкуствения интелект при оценката на състоянието на компоненти в телекомуникационните системи.

3.1. Оценяване на параметрите на тестови линейни и нелинейни модели

3.1.1. Оценяване на модели на линейни системи

С цел да бъдат използвани за оценка на работата на ГА и ОРЧ алгоритмите, са подготвени различни линейни модели на динамични системи.

3.1.1.1. Модели тип черна кутия с линейна полиномиална структура

Различават се следните типове модели тип черна кутия с линейна полиномиална структура (3.1):

$$A(q) y(t) = \sum_{i=1}^{nu} \frac{B_i(q)}{F_i(q)} u_i(t - nk_i) + \frac{C(q)}{D(q)} e(t), \quad (3.1)$$

Полиномите A , B_i , C , D , и F_i съдържат оператора за преход q . u_i е i -тият входящ сигнал, nu е общият брой на входящите сигнали и nk_i е i -тото забавяне на входящия сигнал, което характеризира забавянето. Дисперсията на белия шум $e(t)$ се приема λ . За да се оценят полиномиалните модели трябва да се определи порядъка на полинома като набор от цели числа, които представят броя на коефициентите за всеки полином, който включваме в избраната от нас структура – n_a за A , n_b за B , n_c за C , n_d за D , и n_f за F . Трябва също да се определи броя на извадките nk , съответстващи на входящото време за забавяне дадено чрез броя на извадките преди изходящият сигнал да отговори на входящия. Броят на коефициентите в знаменателя е равен на броя на полюсите и броят на коефициентите в числителя е равен на броя нули плюс 1. Когато динамиката от $u(t)$ към $y(t)$ съдържа забавяне от nk извадки, тогава първият от коефициентите nk на B е нула.

3.2. Тестови модели на телекомуникационни устройства, към които ще се прилагат методите за идентификация, базирани на техники на изкуствения интелект

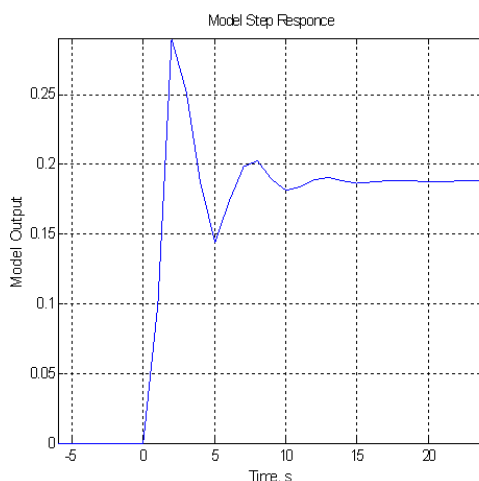
В качеството на тестови еталонни модели в тази дисертация са избрани:

- тестов модел 1 на линейна система без шум;
- тестов модел 2 на линейна система с шум;
- тестов модел 3 на аналогов лентов филтър от трети ред, с характеристика на Чебишев;
- тестов модел 4 на PLL контур с нискочестотен филтър от 4-ти ред;
- тестов модел 5 на PLL контур с нискочестотен филтър от 3-ти ред;
- тестов модел 6 нелинеен модел на охладителна система на комуникационно оборудване.

3.3.1. Тестов модел 1 на линейна система без шум

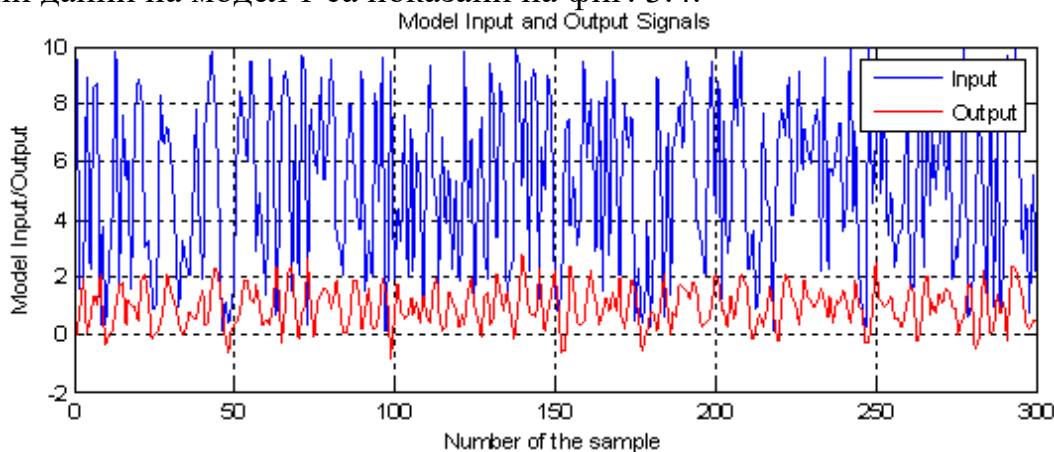
Използва се общ линеен полиномиален модел с дискретно време - IDPOLY ARX (авторегресивен с външни променливи), както е описано в табл.3.1. Компонентата на шума в този случай е нула.

Реакцията на модела при стъпаловидно входно въздействие е показана на фигура 3.3.



Фиг. 3.3 Преходна характеристика на линейната система от 3-ти ред на тестов модел 1

Генерираните входни и изходни сигнали се представят в работното пространство на Matlab като стълб, всеки от които има 300 елемента. Входните и изходни данни на модел 1 са показани на фиг. 3.4.

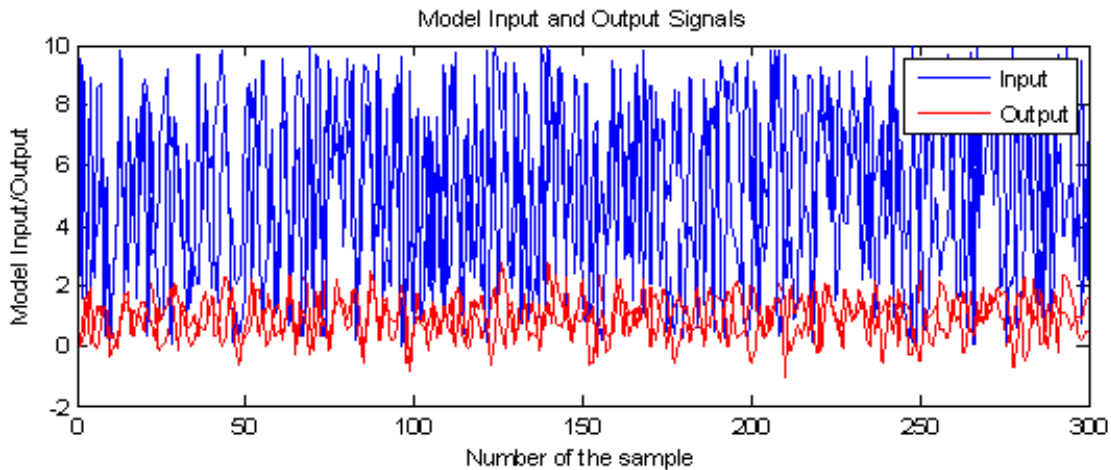


Фиг. 3.4 Тестов модел 1 – входно/изходни данни

3.2.1. Тестов модел 2 на линейна система с шум

Генериране на данните

На фиг.3.5 са показани входните и изходни данни за този случай.



Фиг. 3.5. Тестов модел 2 - графика на входящ и изходящ сигнал.

3.2.2. Тестов модел 3 на аналогов лентов филтър от трети ред, с характеристика на Чебишев

Общият вид на предавателната функция на този филтър е

$$H(s) = \frac{b(s)}{a(s)} = \frac{b(1)s^n + b(2)s^{n-1} + \dots + b(n+1)}{a(1)s^m + a(2)s^{m-1} + \dots + a(m+1)} \quad (3.14)$$

Синтезът на аналогов лентов филтър от трети ред, с характеристика на Чебишев тип I, с 3 dB неравномерност (от връх до връх) на амплитудно-честотната характеристика и лента на пропускане от 200π до 500π rad/s се извършва с помощта на Матлаб командата:

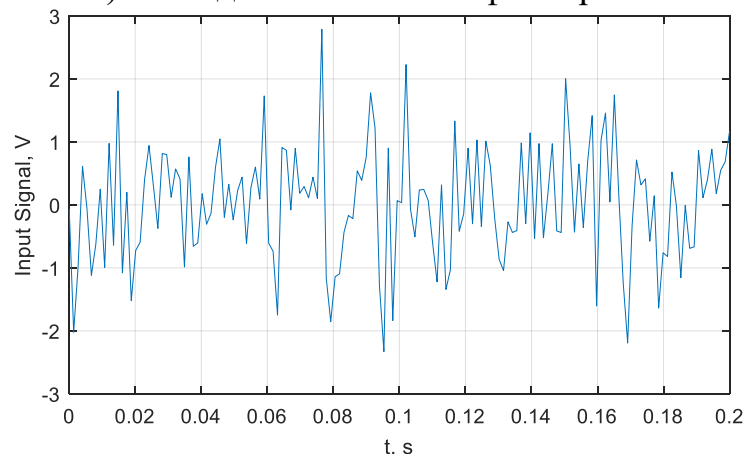
```
[b, a] = cheby1(3, 3, [200 500], 'bandpass', 's');
```

Предавателната функция на този филтър е:

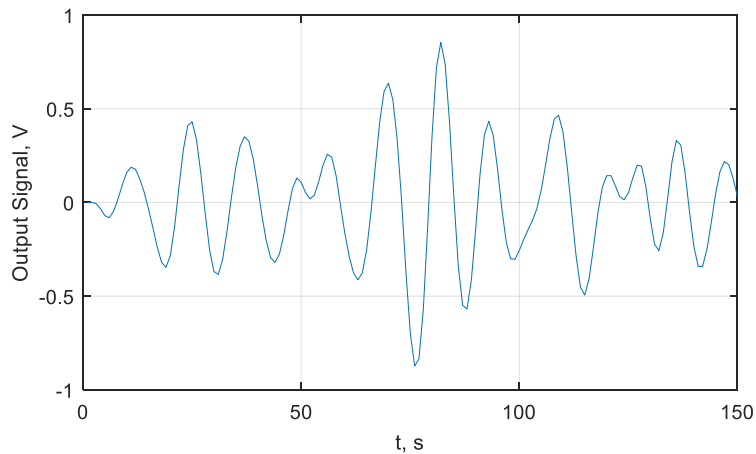
$$H(s) = \frac{6.766 \cdot 10^6 s^3}{s^6 + 179.2 s^5 + 3.836 \cdot 10^5 s^4 + 4.26 \cdot 10^7 s^3 + 3.836 \cdot 10^{10} s^2 + 1.792 \cdot 10^{12} + 10^{15}} \quad (3.15)$$

Генериране на данните

Тестовият входен сигнал, подаван на входа на филтъра представлява псевдо-случайна последователност от 150 стойности, имаща нормален закон на разпределение (Фиг. 3.7). Изходният сигнал на филтъра е показан на Фиг. 3.8.



Фиг. 3.7. Входна последователност на аналоговия лентов филтър

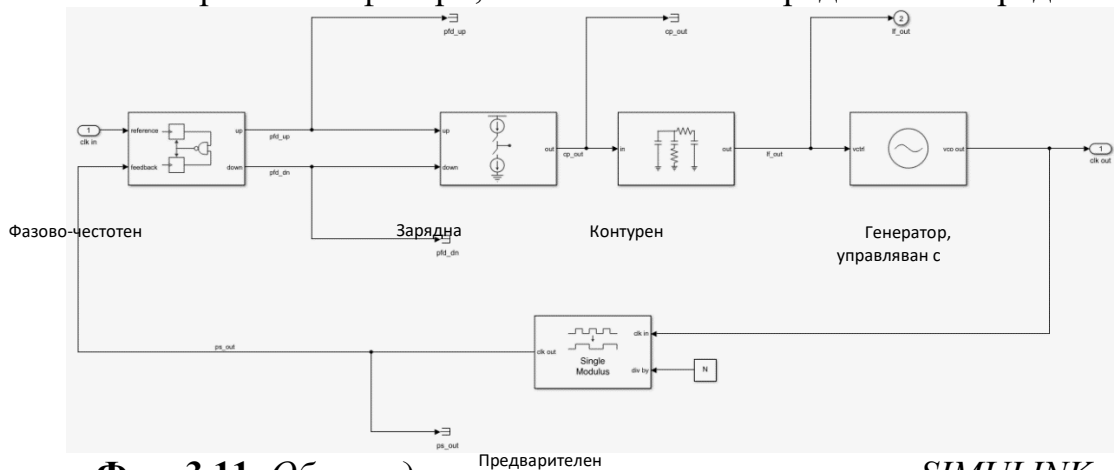


Фиг. 3.8. Изходна последователност на аналоговия лентов филтър

Данните за стойностите на входния и изходния тестови сигнали (входът и изхода на филтъра) се съхраняват в качеството си на еталонни сигнали, които ще се ползват по време на процедурите по идентификация на параметрите на филтъра. Количеството на параметрите, които ще се оценяват при този модел е 7. Това са коефициентите на s-предавателната функция: вектор a – 6 стойности ($a_0 = 1$) и вектор b – 1 стойност ($b_0 = b_1 = b_2 = b_4 = b_5 = 0$).

3.3.4. Изграждане на тестови модели на честотни синтезатори с PLL

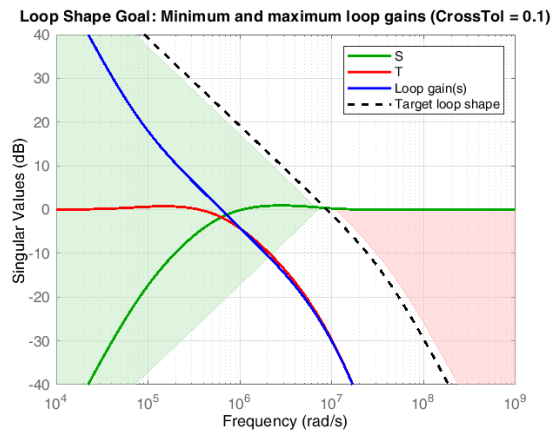
За целите на настоящето изследване са синтезирани два PLL контура, които използват различни филтри, съответно от 3-ти ред и от 4-ти ред.



Фиг. 3.11. Общ модел на честотния синтезатор в SIMULINK

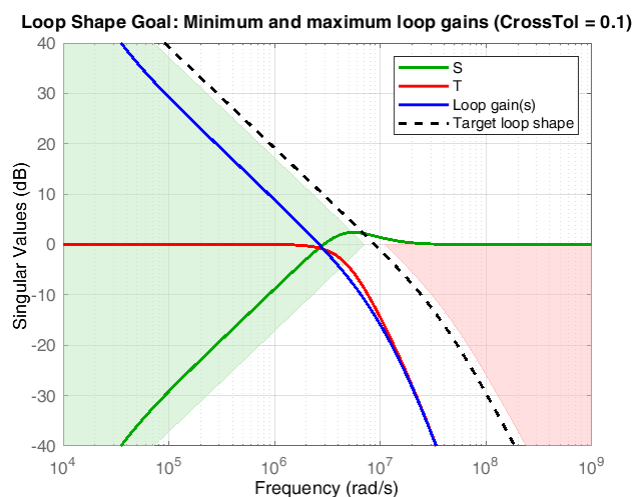
3.3.6. Тестов модел 4 на синтез на PLL контур с нискочестотен филтър от 4-ти ред

Методиката за синтез на параметрите на управляващия контур се демонстрира на примера на синтеза на нискочестотен филтър от 4-ти ред. Задават се и се наблюдават изискванията към амплитудно честотната характеристика на отворения контур (Фиг. 3.13).



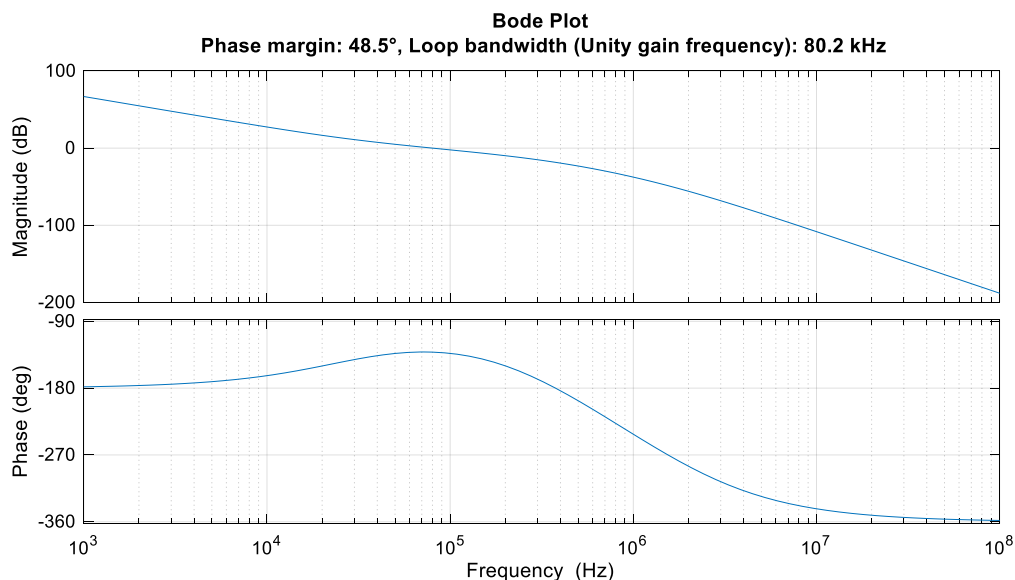
Фиг. 3.13. Целева амплитудно честотната характеристика на отворения контур

Извършва се синтеза на контура и се изобразява резултата на Фиг. 3.14

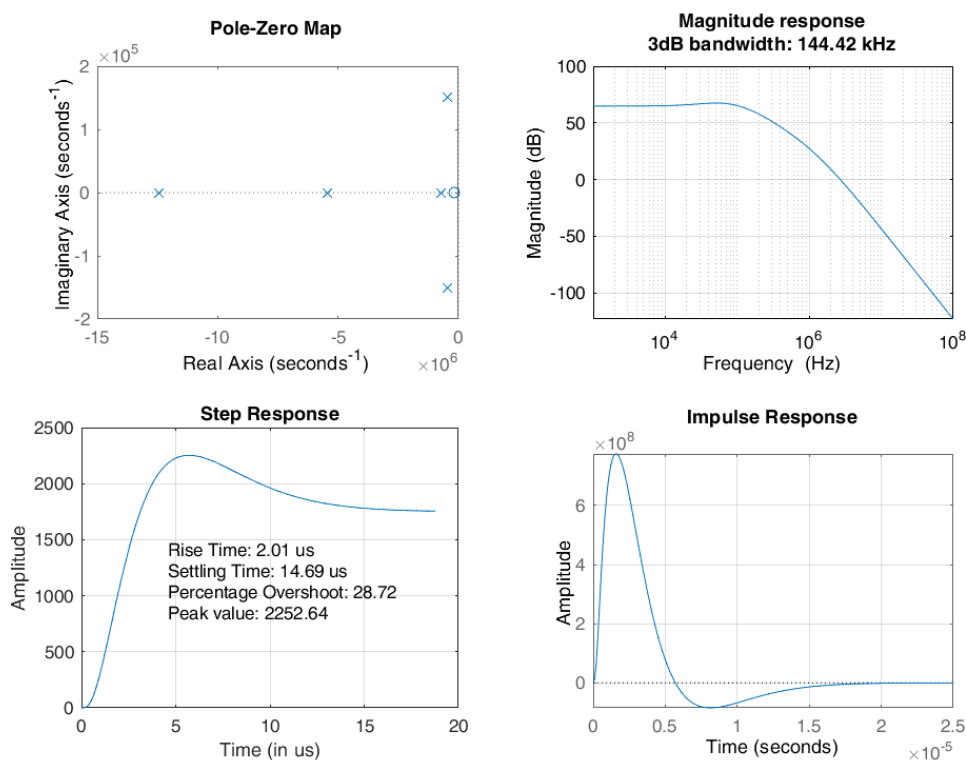


Фиг. 3.14. Настроена амплитудно честотната характеристика на отворения контур

Бодевата диаграма на отворения контур е демонстрирана на Фиг. 3.16, а нула-полюсната диаграма, амплитудно честотната характеристика, реакцията на стъпаловидно входно въздействие и импулсната реакция на системата са дадени на Фиг. 3.17.



Фиг. 3.16. Бодe диаграмата на отворения контур при филтър от 4-ти ред

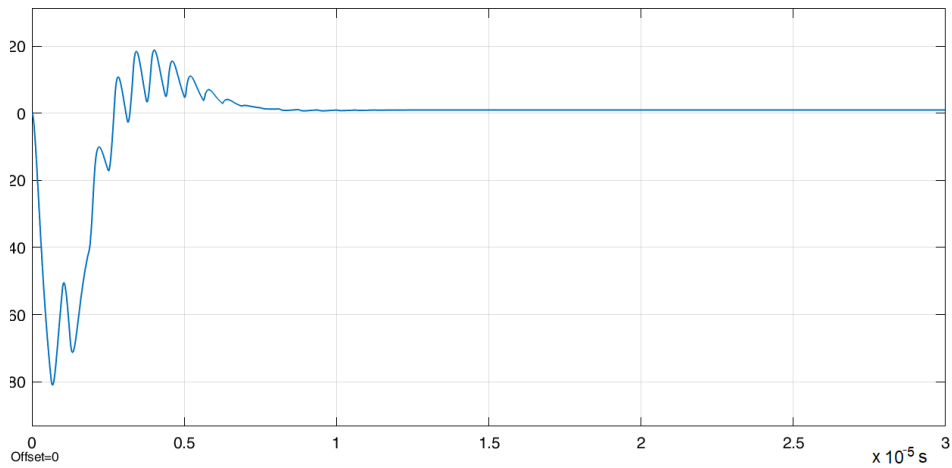


Фиг. 3.17. Нула-полусна диаграма, амплитудно честотна характеристика, реакция на стъпаловидно входно въздействие и импулсна реакция на системата при филтър от 4-ти ред

3.3.7. Тестов модел 5 на PLL контур с нискофrequentен филтър от 3-ти ред

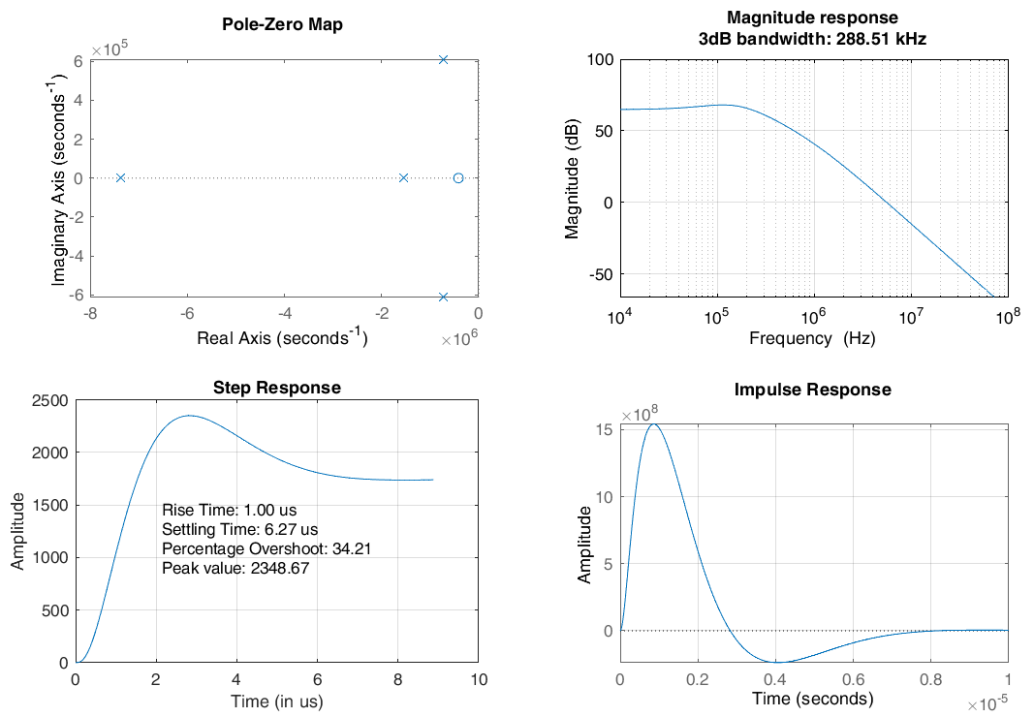
Проектирането на честотния синтезатор с използването на филтър от 3-ти ред е аналогично на това при филтъра от 4-ти ред.

При така синтезирания контур се получават следните стойности на грешката по честота в процеса на установяване (Фиг. 3.18).



Фиг. 3.18. Грешка по честота в процеса на установяване на синтезатора при използване на нискочестотен филтър от 3-ти ред

Нула-полюсната диаграма, амплитудно честотната характеристика, реакцията на стъпаловидно входно въздействие и импулсната реакция на затворената система на синтезатора при използване на нискочестотен филтър от 4-ти ред са дадени на Фиг. 3.20.



Фиг. 3.20. Нула-полюсна диаграма, амплитудно честотна характеристика, реакция на стъпаловидно входно въздействие и импулсна реакция на системата при филтър от 3-ти ред

3.3.8. Тестов модел б на нелинеен модел на охладителна система

Описание на модела

Този модел симулира процеса на нагряване на въздуха, вследствие работата на комуникационно оборудване. За целта се използват данни, получени при работата на експериментален стенд на фирмата Feedback тип РТ 326. Процесът, съдържащ се в РТ 326, включва въздух, който се изтегля от

атмосферата чрез центробежен вентилатор и се нагрява, докато преминава през нагревателна решетка, преди да бъде изпуснат в атмосферата през канал. Целта на контрола е да се поддържа температурата на въздуха на желаното ниво. Външният вид на стенда е показан на Фиг. 3.22.



Фиг. 3.22. Външен вид на стенда на фирмата Feedback min PT 326

Структурната схема на математичния модел на този стенд (разработен в среда Simulink) е показана на Фиг. 3.23, а предавателната функция е дадена с уравнение (3.21).

$$\frac{ke^{-\tau_d s}}{\tau s + 1} \quad (3.21),$$

където $k = k_1 k_2 k_3$ и

k_1 е коефициента на предаване на нагревателния елемент;

k_2 е коефициент на топлообмена;

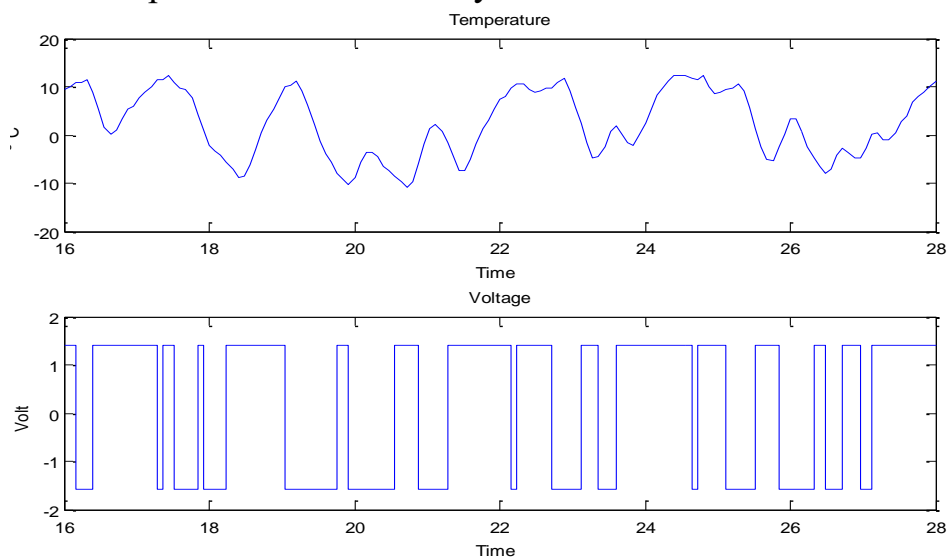
k_3 е коефициента на предаване на температурния сензор;

τ_d е времето на чистото закъснение, дължащо се на времето за придвижване на въздушните маси;

τ е времеконстанта на нагряване;

Генериране на данните:

На Фиг.3.24 е показан запис на входно-изходните данни при стъпаловидно изменение на натоварването по псевдослучаен закон.



Фиг. 3.24. *Входно-изходни данни, смети от PT 326 process trainer*

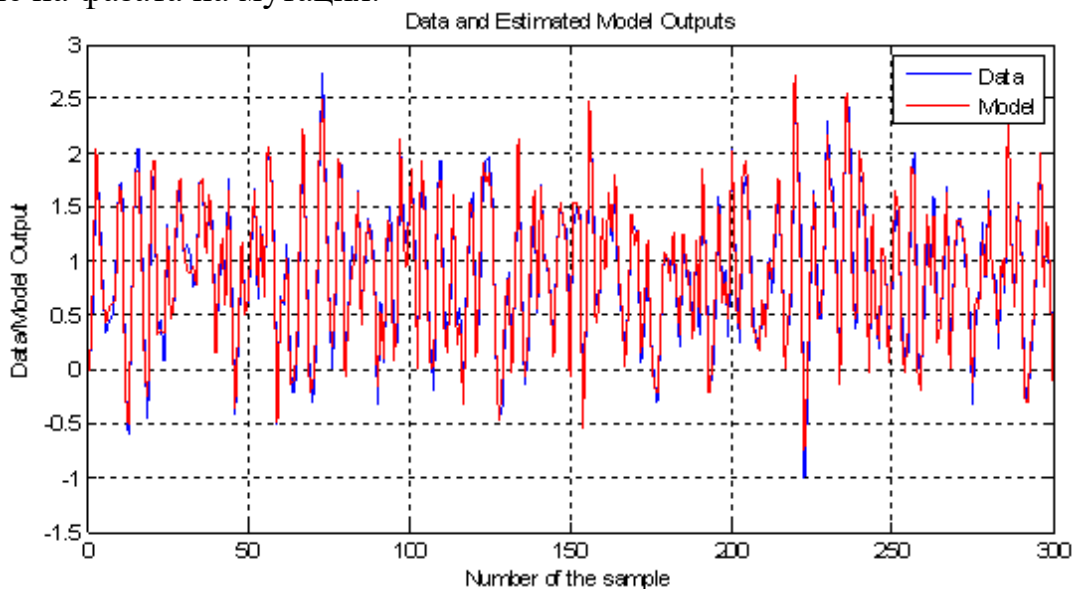
Разработените в параграф 3.3 модели се използват както следва:

- за оценка на работоспособността на кода, реализиращ генетичния алгоритъм и оптимизацията с рояк от частици (тестови модели 1 и 2);
- за провеждане на Монте Карло симулации за оценка на параметрите на линейни комуникационни системи (тестови модели 3, 4 и 5);
- за провеждане на Монте Карло симулации за оценка на параметрите на нелинейна комуникационна система (тестов модел 6);
- за провеждане на Монте Карло симулации за оценка на структурата на линейна комуникационна система (тестов модел 1).

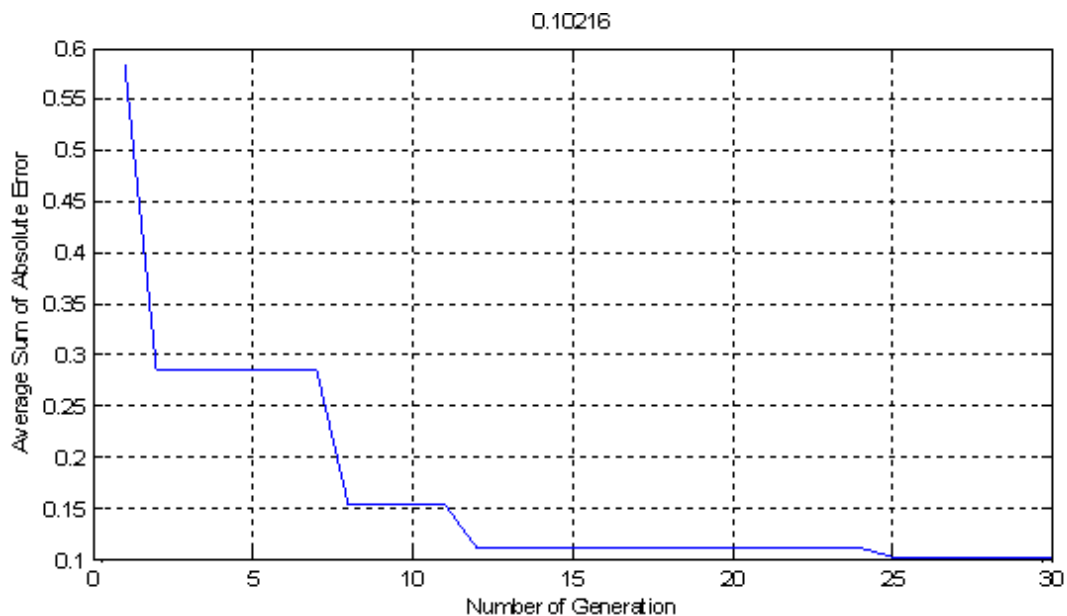
3.5.2. Резултати от теста на ГА – процедурата

Резултати от примера, използващ линейна система - тестов модел 1, както е описано в параграф 3.3.1. Допускът на грешката е $\text{err} = 0.01$, размерът на популацията се приема за **popsize = 30**, скорост на мутация **mutation_r = 0.9** и броят на поколенията е **n_generations = 30**. Фиг. 3.27 представя графично корелацията между изходните данни на обекта и модела.

Средната сума от абсолютната грешка (AvSAE), в зависимост от поколенията, е представена на фиг. 3.28. AvSAE показва стойност от 0,10216 в края на процеса на оценяването. Тази стойност се променя при различните експерименти, въпреки че параметрите на ГА остават същите. Причината за това е, че ГА използва статистически подход за генериране на първото поколение и по време на фазата на мутация.



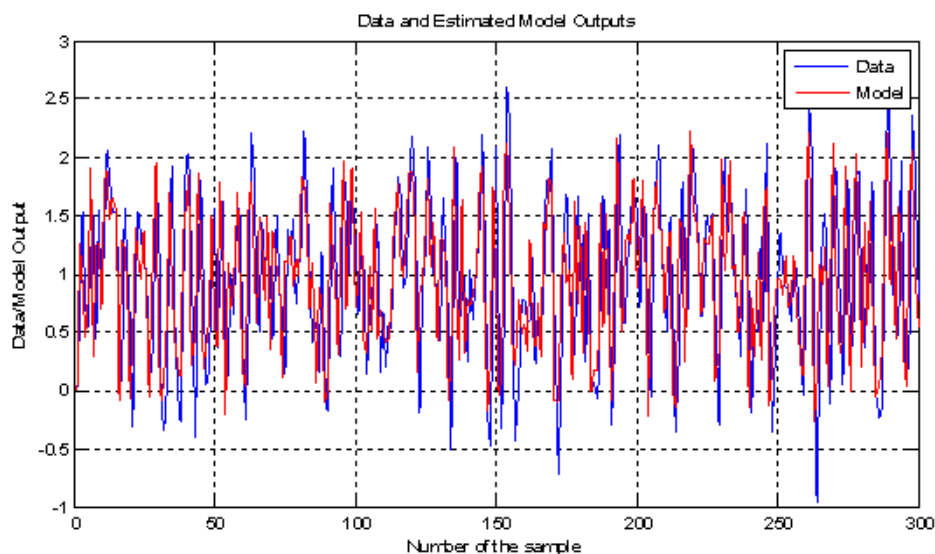
Фиг. 3.27 *Тестов модел 1- графика на изходните данни на обекта и модела*



Фиг. 3.28 *AvSAE на тестов модел 1 при оценяване, базирано на ГА*

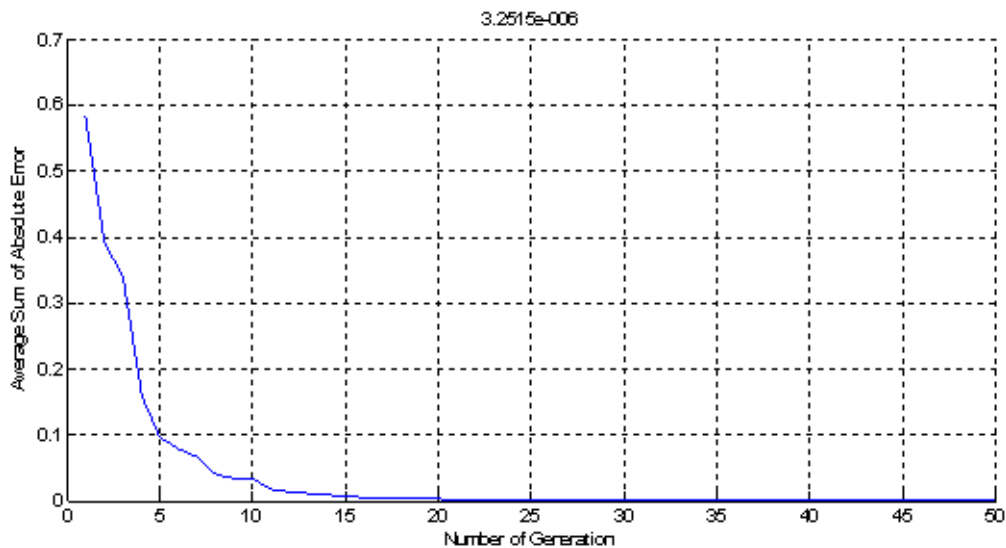
3.6.2. Резултати от теста на ОРЧ- процедурата

Резултати от примера, използващ тестов модела 1 на линейна система, както е описано в параграф 3.3.1. Допускът на грешката е $err = 0.01$, размера на популацията се приема за $swarm_size = 50$, коефициент на корекция: $correction_factor = 2$, инерция: $inertia = 0.5$ и брой на итерациите = 30. Фигура 3.30 представя графично изходните данни на обекта и модела при оценяване с ОРЧ.

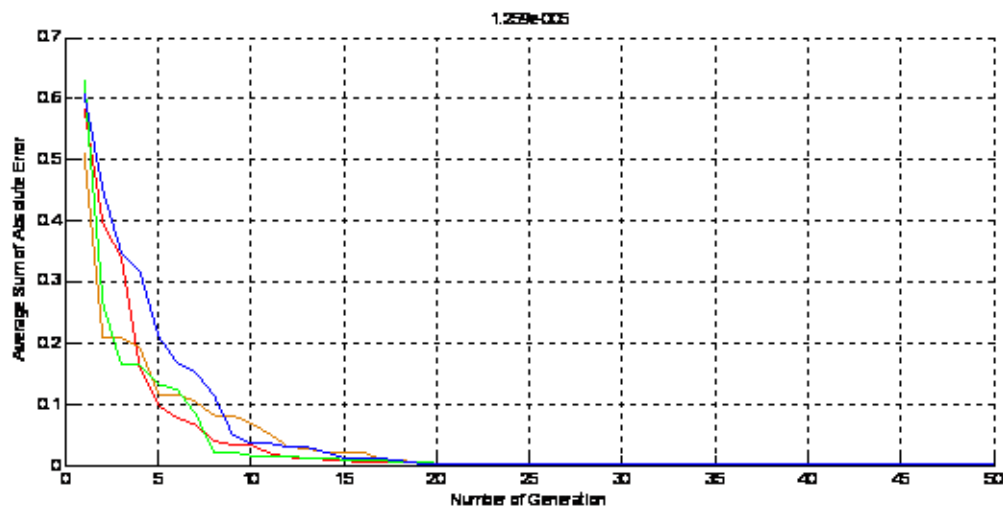


Фиг. 3.30 *Тестов модел 1 - графика на изходните данни на обекта и модела при оценяване с ОРЧ*

Средната сума на абсолютната грешка (*AvSAE*) е показана на фиг.3.31. *AvSAE* показва стойност от $3.2515e-6$ в края на процеса на оценяване. Тази стойност се променя при различните експерименти, а ОРЧ параметрите остават идентични. Причината е, че ОРЧ използва статистически подход за генериране на началната популация. Това е илюстрирано на фиг.3.32, където *AvSAE* е представен графично с различни тест кодове, без промяна на параметрите.



Фиг. 3.31 Средната сума на абсолютната грешка ($AvSAE$) за тестов модел 1 с оценяване при използване на ОРЧ



Фиг. 3.32 Тестов модел 1 - Процес на оценяване с ОРЧ в няколко експеримента с едни и същи параметри на оценявания модел

3.7. Изводи

В настоящата глава от дисертационния труд се представя използването на методи и техники на изкуствения интелект при оценката на състоянието на компоненти в телекомуникационните системи. За целта е избран следния подход (алгоритъм):

- създаване на тестови модели на базови телекомуникационни устройства в средата на Матлаб;
- тестване на създадените еталонни модели, чрез симулиране и създаване на входно-изходни набори от данни, които да се използват в процеса на идентификация на техните параметри, както и определяне на основните характеристики на тестовите модели;
- създаване, в средата на Матлаб, на процедури за реализиране на избраните методи на изкуствения интелект: генетичен алгоритъм (ГА от англ. GA –

Genetic Algorithm) и оптимизация с рояк от частици (ОРЧ от англ. ОРЧ – Particle Swarm Optimization);

- тестване на създадените процедури, реализиращи техниките на ГА и ОРЧ;
- избор на значими фактори и планиране на провеждането на числените експерименти с помощта на метода на Монте Карло симулацията;
- създаване на автоматизирана процедура, извършваща планираните експерименти и систематизираща резултатите от тях;
- извършване на сравнителен анализ и оценка на качеството на оценяване с помощта на ГА и ОРЧ на параметрите на тестовите системи;
- оценка на бързодействието на методите за идентификация и влиянието на факторите.

Представена е задача за определяне на структурата на ARX - модел. Описани са тестови модели на телекомуникационни устройства, към които ще се прилагат методите за идентификация, базирани на техники на изкуствения интелект.

В качеството на тестови еталонни модели в тази дисертация са избрани:

- тестов модел 1 на линейна система без шум;
- тестов модел 2 на линейна система с шум;
- тестов модел 3 на аналогов лентов филтър от трети ред, с характеристика на Чебишев;
- тестов модел 4 на PLL контур с нискочестотен филтър от 4-ти ред;
- тестов модел 5 на PLL контур с нискочестотен филтър от 3-ти ред;
- тестов модел 6 нелинеен модел на охладителна система на комуникационно оборудване.

Процедурата за оценяване, базирана на ГА, е написана за целите на това изследване.

Резултати от примера, използващ линейна система - тестов модел 1, както е описано в параграф 3.3.1. Допускът на грешката е $\text{err} = 0.01$, размерът на популацията се приема за **popsize = 30**, скорост на мутация **mutation_r = 0.9** и броят на поколенията е **n_generations = 30**. Фиг. 3.27 представя графично корелацията между изходните данни на обекта и модела.

Средната сума от абсолютната грешка (AvSAE), в зависимост от поколенията, е представена на Фиг. 3.28, която за AvSAE показва стойност от 0,10216 в края на процеса на оценяването.

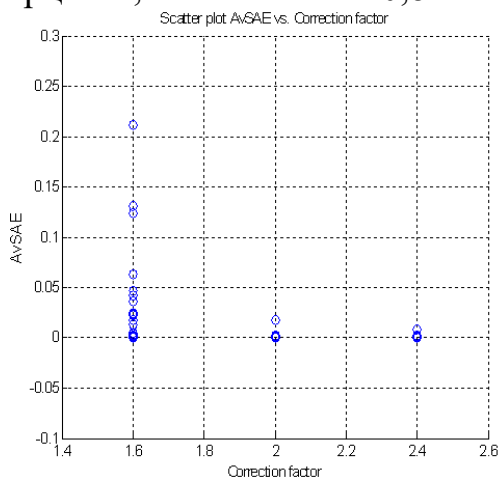
Средната сума на абсолютната грешка (AvSAE) е показана на фиг. 3.31. AvSAE отчита стойност от $3.2515e-6$ в края на процеса на оценяване. Тази стойност се променя при различните експерименти, а ОРЧ параметрите остават идентични.

ГЛАВА 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

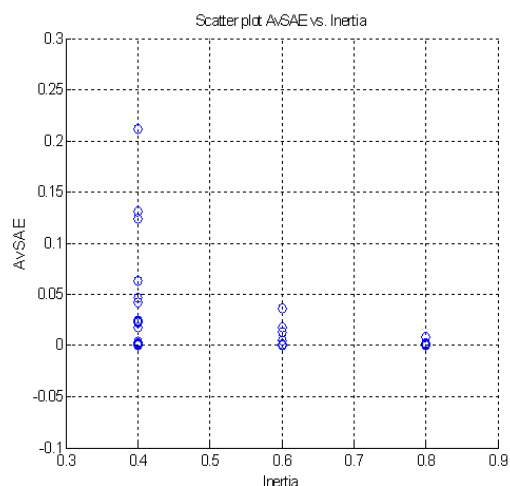
4.1.3. Проверка на значимостта на факторите в случай на линейна система без шум, оценявана с ОРЧ

На следващите фигури са представени резултатите от извършените симулации. От фиг.4.4 се вижда, че AvSAE в този експеримент е по-ниска в

случаите, когато коефициентът на корекция е 2 или 2,4. От фиг.4.5 се отчита, че за инерцията, стойността от 0,8 е най-добра.



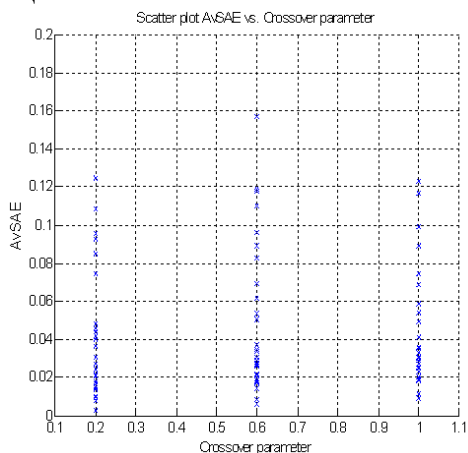
Фиг. 4.4. Диаграма на разсейване на AvSAE в зависимост от коефициента на корекция



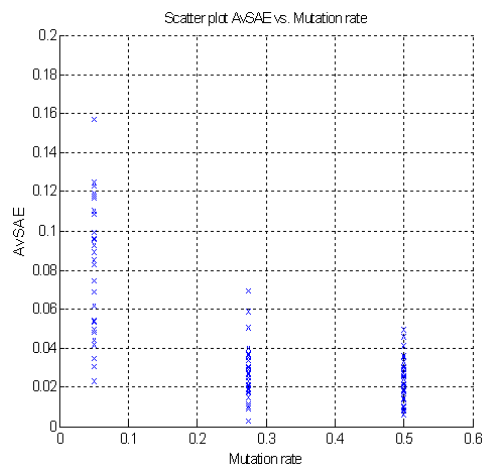
Фиг. 4.5. Диаграма на разсейване на AvSAE в зависимост от инерцията

4.1.4. Проверка на значимостта на факторите в случай на линейна система без шум, оценявана с ГА

Диаграма на разсейване на AvSAE в зависимост от параметрите на ГА са показани на фиг.4.7 и фиг.4.8. Най-добрите стойности на факторите кръстосване и мутация са 0.2 и 0.275.



Фиг. 4.7. Диаграма на разсейване на AvSAE в зависимост от фактора кръстоска



Фиг. 4.8. Диаграма на разсейване на AvSAE в зависимост от степента на мутация

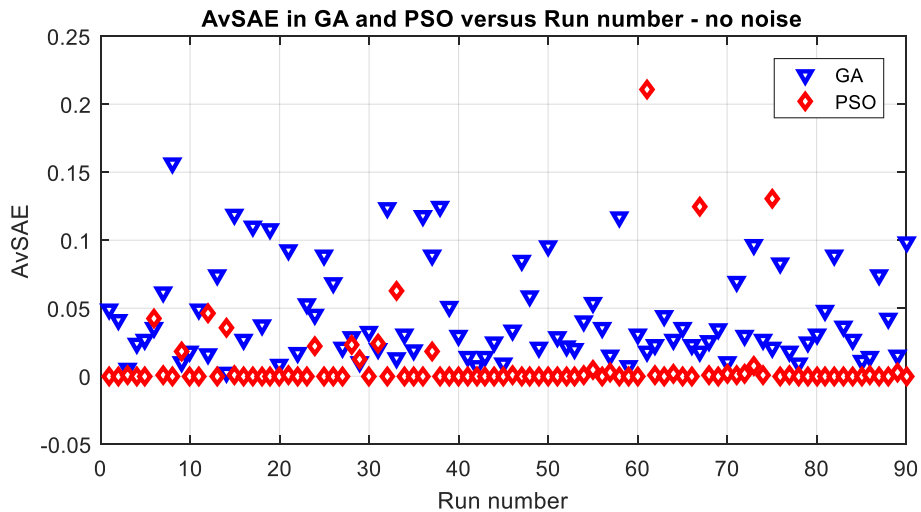
Резултатът от нулевата хипотеза „Факторът кръстосване не влияе на точността на ГА алгоритъма” и „Факторът мутация не влияе на точността на ГА алгоритъма” е:

Факторът кръстосване е значим
 $F = 20.7891$, $P = 0,1764$
 Степента на мутация е значима
 $F = 0.9961$, $P = 0,1764$

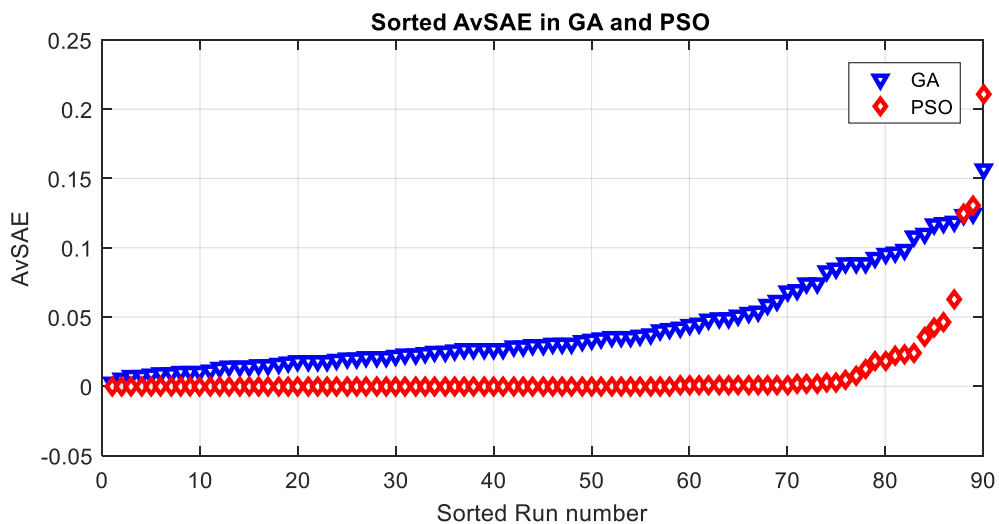
4.1.5. Сравнение на оценяването на линейна система с ГА и ОРЧ

Задачата, която се поставя е да се сравняват оценяващите алгоритми за случая на линейна система. Сравняването на оценяващите алгоритми в случай без шум се изпълнява по два начина:

1. Визуално, чрез графиките на фигури 4.10 и 4.11, които показват AvSAE за двата алгоритъма. От анализа и сравнението на получените стойности може да се направи заключението, че PSO има по-добра характеристика в разглеждания случай;
2. Чрез пресмятане на средните стойности на AvSAE, оценените параметри и сравняване. Резултатите са представени в Таблица 4.3, те дават основание да се направи извода, че PSO е с по-добра точност на оценяване.



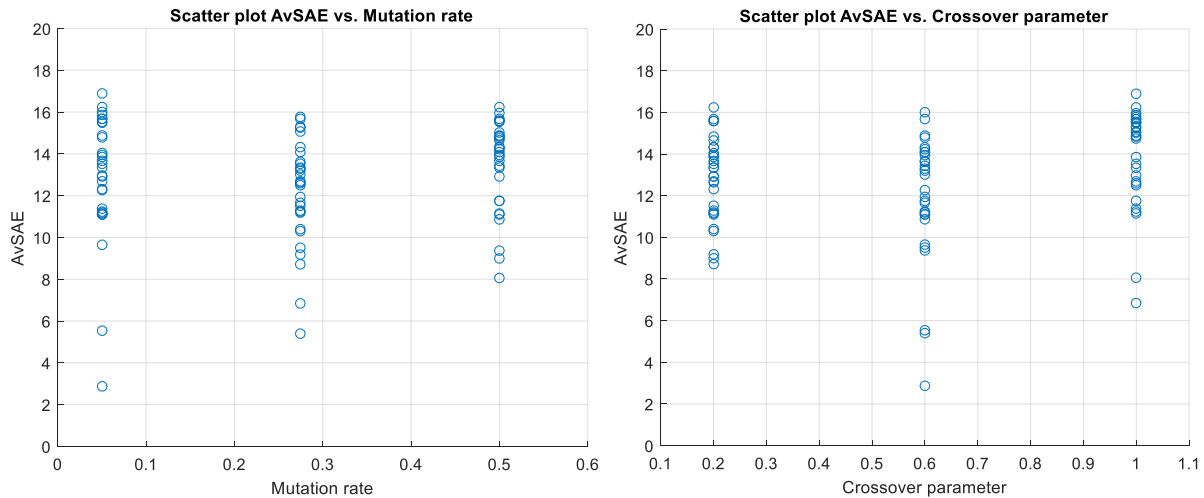
Фиг. 4.10. Стойност на AvSAE за двата алгоритъма ОРЧ (в червено) и ГА (в синьо)



Фиг. 4.11. Сортирани стойности на AvSAE за двата алгоритъма PSO (в червено) и ГА (в синьо)

4.1.1. Изпитване на аналогов лентов филтър с характеристика на Чебишев чрез използване на ГА

Диаграмите на разсейване на AvSAE за този случай са дадени на Фиг.4.12 и Фиг.4.13. И двата фактора са значими. Най-добро съчетание на стойностите на факторите е: Вероятност за мутация: 0.275; Кръстосване: 0.6.



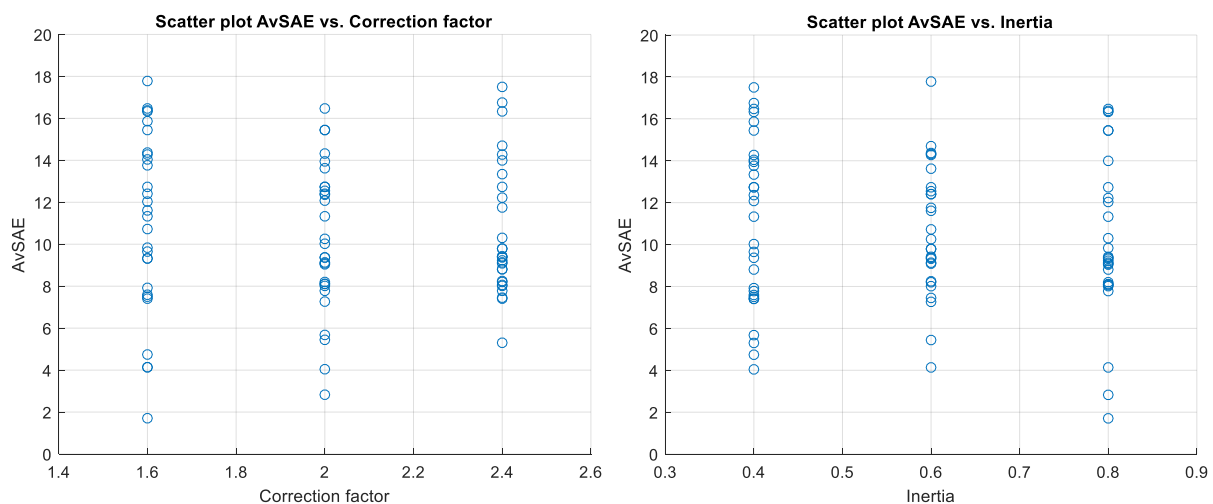
Фиг. 4.12. Диаграми на разсейване на AvSAE в зависимост от в зависимост от кръстосването и мутацията за аналогов лентов филтър, при ГА

4.1.2. Изпитване на аналогов лентов филтър чрез използване на ОРЧ

Тестът за значимост на факторите (файл Scatter_f_test4.m) в този случай дава резултати представени в Табл.4.5. Факторът инерция тук не е значим. Диаграмите на разсейване за този случай са приведени на фиг.4.14 и фиг.4.15. Най-добра стойност на корекцията е 0.2.

Таблица 4.5. Резултати от извършване на тест за значимост на факторите за аналогов лентов филтър при ОРЧ

Correction Factor is significant F = 0.7656; P = 0.1764	Inertia is not significant (F < P) F = 2.1952e-04; P = 0.1764
--	--



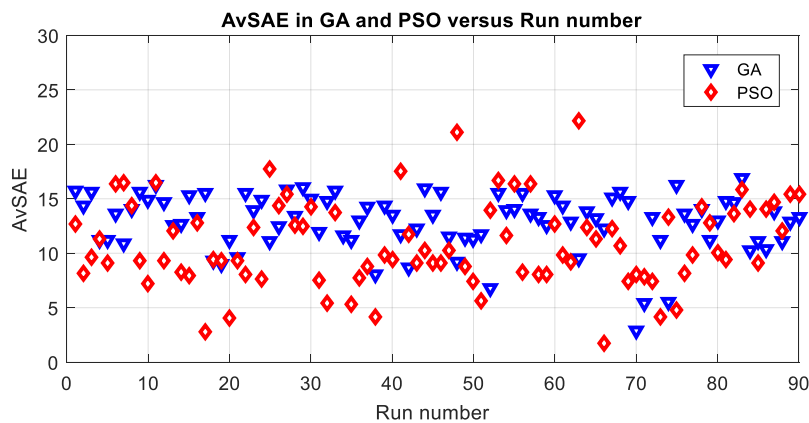
Фиг. 4.14. Диаграми на разсейване на AvSAE в зависимост от корекцията и инерцията за аналогов лентов филтър, при ОРЧ

4.1.3. Сравнение на оценяването на модела на аналогов лентов филтър с ГА и ОРЧ

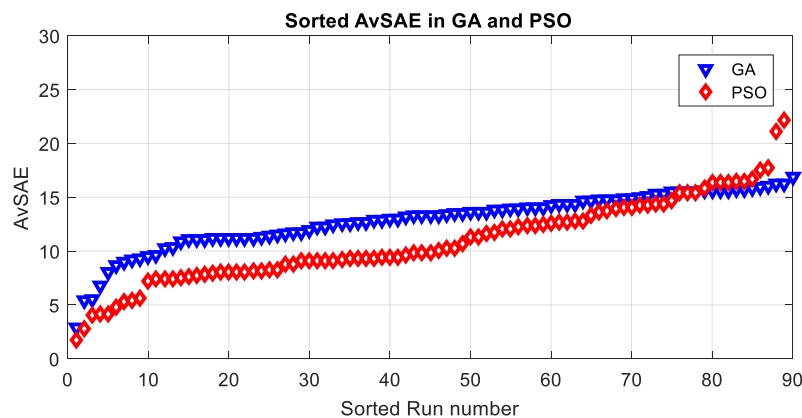
Най-добрите оценки за двата алгоритъма, заедно с оригиналните стойности на коефициентите са показани в Табл. 4.6. Алгоритъмът ОРЧ в повечето случаи осигурява по-висока точност на оценяване (фиг. 4.16 и фиг.4.17).

Таблица 4.6. Най-добрите оценки на параметрите на филтъра за двата алгоритъма

	AvS AE	b3	a1	a2	a3	a4	a5	a6
Оригин ал	----- --							
ГА	1.684	7.42282e+ 06	206.2 23	38458 3.3	4.91724e+ 07	3.79658e+ 10	2.12272e+ 12	9.56584e+ 14
ОРЧ	2.865 2	6.02475e+ 06	169.7 53	37231 7.7	3.95752e+ 07	3.63998e+ 10	1.68886e+ 12	9.29076e+ 14



Фиг. 4.16. Стойност на AvSAE за двата алгоритъма ОРЧ (в червено) и ГА (в синьо), при оценяване на аналогов лентов филтър



Фиг. 4.17. Сортирани стойности на AvSAE за двата алгоритъма PSO (в червено) и ГА (в синьо), при оценяване на аналогов лентов филтър

Грешката от оценяването на коефициентите на аналогов лентов филтър от трети ред, с характеристика на Чебишев е доста значителна и оценяването не е достатъчно качествено. Това може да се види от сравнителните диаграми (фиг. 4.16 и фиг. 4.17), където ГА отчита по-малка грешка, но въпреки това AvSAE е от порядъка на **10**, за разлика от оценяването на линейната система, където има стойности под 0.1.

Тази голяма стойност на грешката от оценяването се дължи на много-високата степен на нелинейност на цифровата предавателна функция на филтъра, която представлява частно на полиноми от 6-ти ред.

Освен това коефициентите на предавателната функция на филтъра зависят от няколко реални физични параметъра (активни съпротивления и емкости) и са взаимно свързани. Те не представляват независими параметри, което създава сериозни проблеми за процедурите за тяхната идентификация.

Другият проблем е голямото количество оценявани коефициенти и голямата разлика в техните номинални стойности, както и наличието на коефициенти с отрицателни стойности.

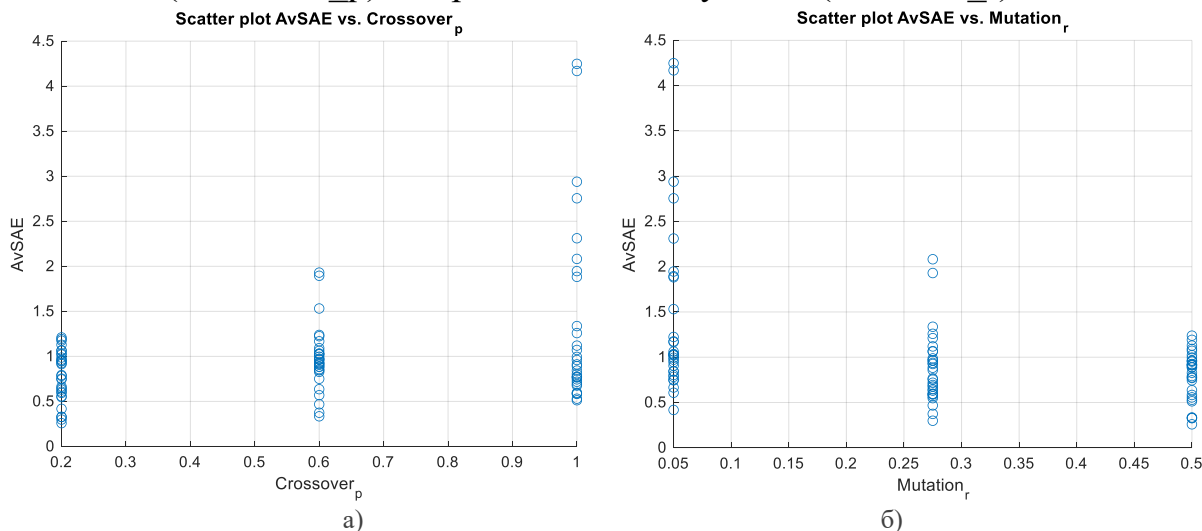
Изводът, който се налага е, че използваните алгоритми (ГА и ОРЧ), в този си вид не са подходящи за оценяване на коефициентите на предавателната функция на филтъра. Трябва да се оценяват независимите реални физични параметри – активни съпротивления и емкости.

4.2. Подготвяне на Matlab кода и изпитване на PLL с помощта на ГА и PSO при използването на филтър от 3-ти ред

4.2.1. Изпитване на честотен синтезатор с PLL контур и НЧ филтър от 3-ти ред чрез използване на ГА

Тестът на нулевата хипотеза установява, че параметърът на кръстосване (Crossover_p) и вероятността за мутация (Mutation_r), при използване на процедурата на генетичния алгоритъм не са значими.

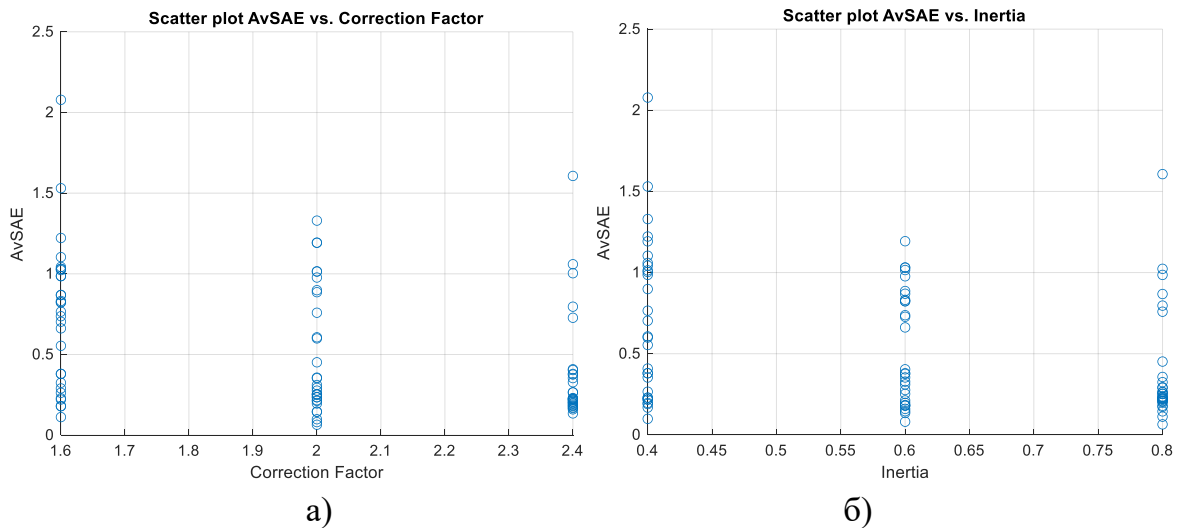
На Фиг. 4.18 а) и Фиг. 4.18 б) са показани решетъчните диаграми на разпределението на грешката AvSAE, съответно, в зависимост от параметъра на кръстосване (Crossover_p) и вероятността за мутация (Mutation_r).



Фиг. 4.18. Решетъчни диаграми на разпределението на грешката $AvSAE$, съответно, в зависимост от а) параметъра на кръстосване ($Crossover_p$) и б) вероятността за мутация ($Mutation_r$)

Изпитване на честотен синтезатор с PLL контур и НЧ филтър от 3-ти ред чрез използване на ОРЧ

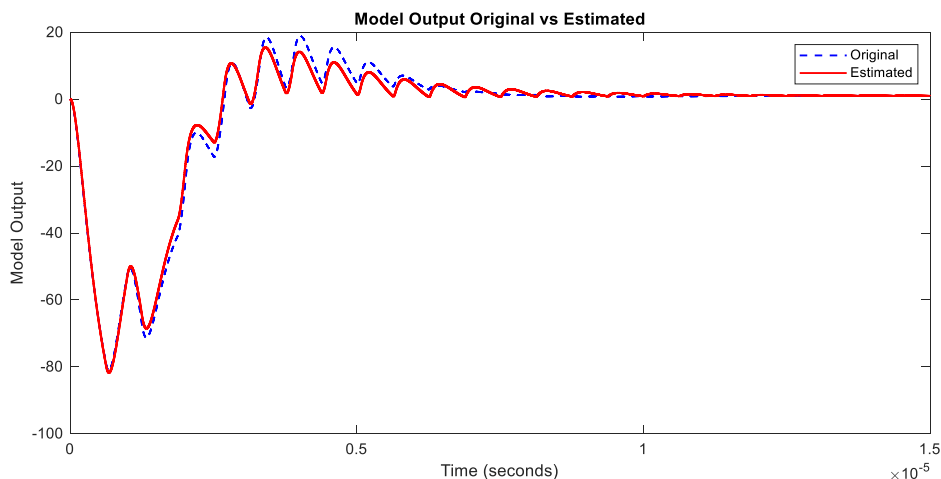
На Фиг. 4.20 а) и Фиг. 4.20 б) са показани решетъчните диаграми на разпределението на грешката $AvSAE$, съответно, в зависимост от фактора на корекция ($Correction\ Factor$) и фактора на инерция ($Inertia$).



Фиг. 4.20. Решетъчни диаграми на разпределението на грешката $AvSAE$, съответно, в зависимост от а) фактора на корекция ($Correction\ Factor$) и б) фактора на инерция ($Inertia$)

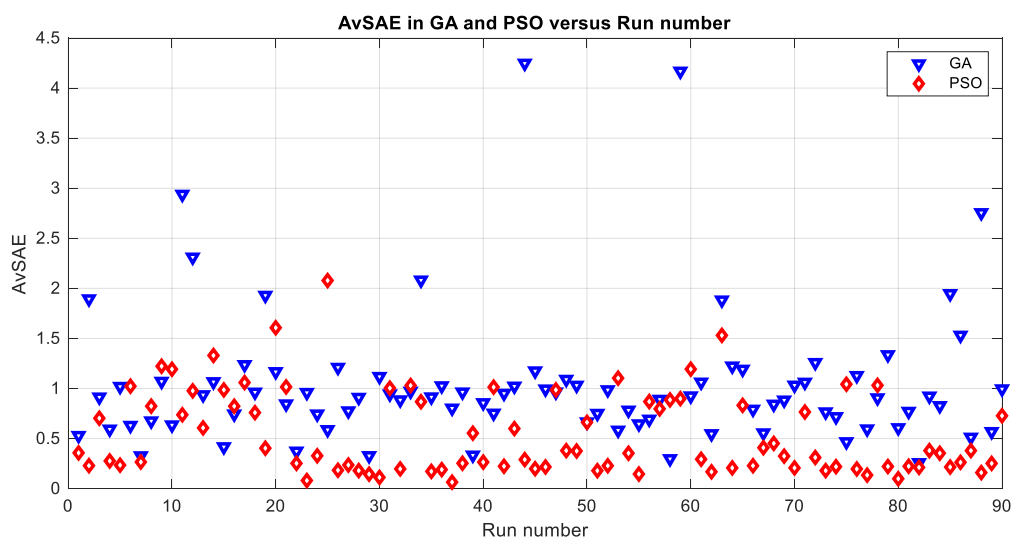
4.2.2. Сравнение на резултатите от оценяването с помощта на ГА и PSO при използването на филтър от 3-ти ред

Изходният сигнал на оценения модел е показан заедно с този на оригиналния на Фиг. 4.22. Може да се отбележи достатъчно доброто съвпадение на двете времедиаграми.



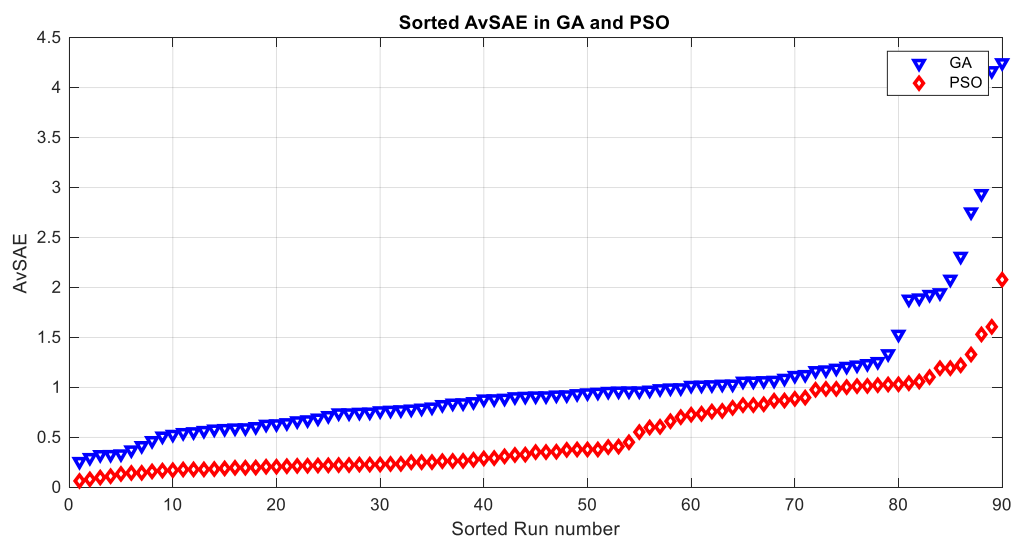
Фиг. 4.22. Изходен сигнал на оригиналния модел (с прекъсната линия) и на оценения модел (с пълтна линия)

На Фиг. 4.23. е показана осреднената стойност на абсолютната грешка AvSAE за двата алгоритъма, в зависимост от поредния номер на теста. След сортирането на стойностите на AvSAE (Фиг. 4.24.) може да се забележи, че в повечето случаи PSO осигурява по-висока точност на оценяването от ГА.



Фиг. 4.23. Средна стойност на абсолютната грешка AvSAE за двата алгоритъма, в зависимост от поредния номер на теста

Аналогично на изследванията, проведени в предишния параграф 4.2, се налага извода, че параметрите на модела на цифровия заграждащ филтър не могат да се оценят с достатъчно висока точност, чрез използването на реално-кодирани ГА и ОРЧ алгоритми.



Фиг. 4.24. Сортирани по големина стойности на абсолютната грешка AvSAE за двата алгоритъма

Продължителността на тестовите от Монте Карло симулацията за ГА алгоритъма е 1 ч. 54 мин и 06 сек. и е с 1 мин. по-малка от тази на PSO. Това показва, че ГА е с 0.88% по-бърз от PSO. Точността на оценката с PSO е средно около 2.5 ... 3 пъти по-висока от тази на ГА.

4.2.3. Изпитване на честотен синтезатор с PLL контур и НЧ филтър от 4-ти ред чрез използване на ГА

Тестът на нулевата хипотеза, че параметърът на кръстосване (Crossover_p) и вероятността за мутация (Mutation_r), при използване на процедурата на генетичния алгоритъм) не са значими?

Комбинираната решетъчна диаграма, отразяваща влиянието на двата фактора Crossover_p и Mutation_r при генетичния алгоритъм е демонстрирана на Фиг. 4.26. Може да се отбележи, че статистически най-добрата стойност на Crossover_p е 0.6, а тази на Mutation_r е 0.5.



Фиг. 4.26. Комбинирана решетъчна диаграма на разпределението на грешката AvSAE, съответно, в зависимост от параметъра на кръстосване (Crossover_p) и вероятността за мутация (Mutation_r)

4.2.4. Изпитване на честотен синтезатор с PLL контур и НЧ филтър от 4-ти ред чрез използване на ОРЧ

Тестът на нулевата хипотеза установява, че факторът на корекция (Correction Factor) и факторът на инерция (Inertia), при използване на процедурата на PSO, не са значими и дава следният резултат:

Correction Factor is significant ($F > P$)

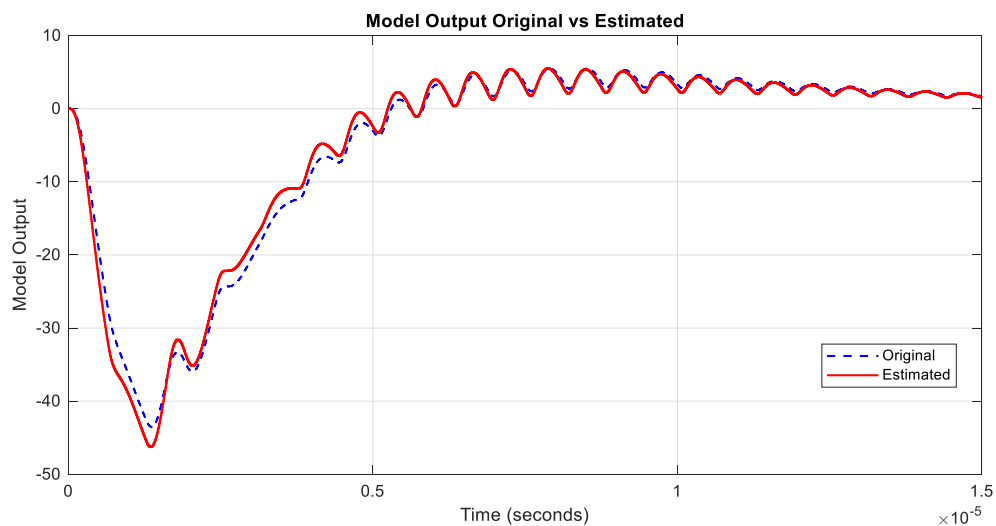
$F = 7.2175$; $P = 0.1764$

Inertia is significant ($F > P$)

$F = 5.3160$; $P = 0.1764$

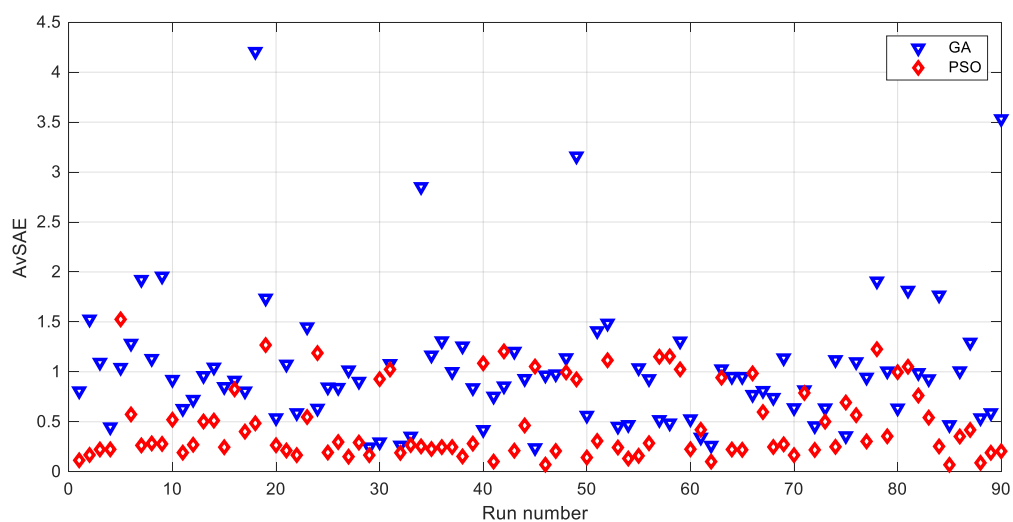
4.2.5. Сравнение на резултатите от оценяването с помощта на ГА и ОРЧ при използването на филтър от 4-ти ред

Исходният сигнал на оценения модел е показан заедно с този на оригиналния на Фиг. 4.30. Може да се отбележи достатъчно доброто съвпадение на двете време-диаграми.

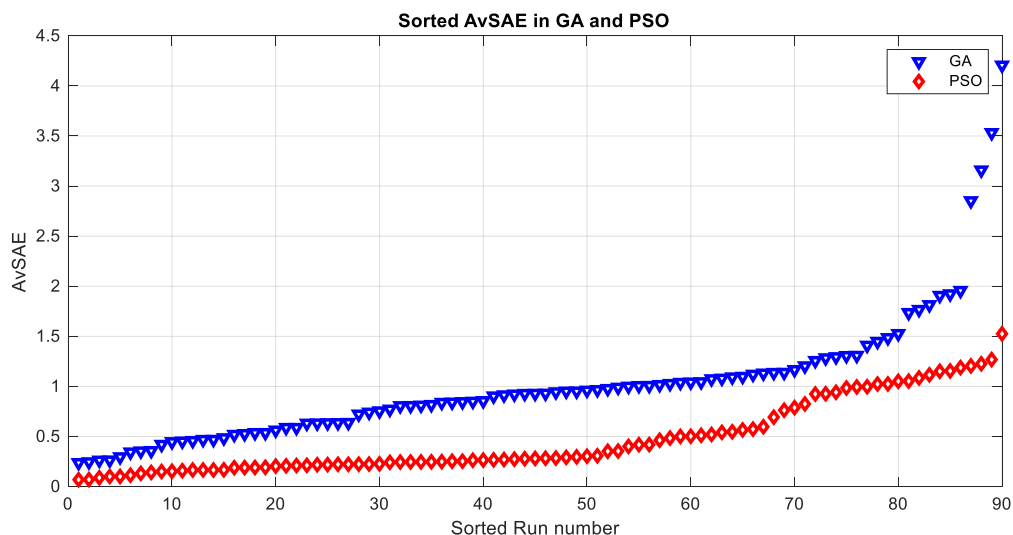


Фиг. 4.30. Изходен сигнал на оригиналния модел (с прекъсната линия) и на оценения модел (с пълтна линия)

На Фиг. 4.31 е показана осреднената стойност на абсолютната грешка AvSAE за двата алгоритъма, в зависимост от поредния номер на теста. След сортирането на стойностите на AvSAE (Фиг. 4.32) може да се забележи, че в повечето случаи PSO осигурява по-висока точност на оценяването от ГА.



Фиг. 4.31. Средна стойност на абсолютната грешка AvSAE за двата алгоритъма, в зависимост от поредния номер на теста



Фиг. 4.32. Сортирани по големина стойности на абсолютната грешка AvSAE за двата алгоритъма

И при тези тестове ГА е с 0.92% по-бърз от PSO.

Точността на оценката с PSO отново е средно около 2.5 ... 3 пъти по-висока от тази с ГА.

4.6. Изводи

В четвърта глава на дисертационния труд се представят изпитвания на линейна система с и без шум, чрез използване на реално кодиран ГА и извършване на планиран Монте Карло експеримент. Извършва се и анализ на значимостта на факторите при изпитването на линейната система.

Направено е изпитване на линейна система без шум с ОРЧ. Ограниченията в тази задача са избрани както следва: от 1,6 до 2,4 за коефициент на корекция, от 0.4 до 0.8 за параметъра инерция.

Създадена е програма за проверка на значимостта на факторите, в случай на линейна система без шум, оценявана с ОРЧ. В този експеримент се вижда, че AvSAE е по-ниска в случаите, когато коефициентът на корекция е 2 или 2,4. Установено е, че за инерцията, стойността от 0,8 е най-добра.

Направена е проверка на значимостта на факторите, в случай на линейна система без шум, оценявана с ГА. Установено е, че най-добрите стойности на факторите кръстосване и мутация са 0,2 и 0,275. Осъществено е сравнение на оценяването на линейна система с ГА и ОРЧ.

Направено е тестване на модел на честотен синтезатор с PLL контур с помощта на ГА и PSO при използването на филтър от 3-ти ред, чрез прилагане на реално кодирани ГА и ОРЧ, и извършване на планиран Монте Карло експеримент. Проведен е анализ на значимостта на факторите при изпитването на модела на филтъра.

Комбинираната решетъчна диаграма, отразяваща влиянието на двата фактора Correction Factor и Inertia е демонстрирана на Фиг. 4.21. Може да се отбележи, че статистически най-добрата стойност на Correction Factor е 2.4, а тази на Inertia е 0.6.

Създаден е Matlab код за изпитване на модела на охладителната система на комуникационно оборудване при идентификация на структурата, чрез използване на целочислено-кодирани ГА и ОРЧ и извършване на планиран Монте Карло експеримент. Провежда се анализ на значимостта на факторите. За целта са написани специални функции, реализиращи процедурите на целочислено-кодирани ГА и ОРЧ – алгоритми. Те определят стойностите на структурните индекси (n_a , n_b и n_k) на ARX – полиномиален модел (idpoly) на охладителната система.

Осъществено е изпитване при идентификация на структурата на модел на охладителната система на комуникационно оборудване чрез използване на ГА. В това изследване, в качеството на входни се използват данните, снети от лабораторен експериментален макет PT326 на фирмата Feedback.

Осъществено е изпитване при идентификация на структурата на модел на охладителната система на комуникационно оборудване чрез използване на ОРЧ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В глава първа от дисертационния труд е направено литературно проучване по конкретната проблематика. Представени са предимствата и недостатъците на съществуващите методи и алгоритми. Конкретизирани са особеностите на основните параметрични и структурни оптимизационни процедури оказващи влияние на телекомуникационните модели. Анализирани са проблемите от проведеното литературно проучване. За постигане на поставената цел се дефинират задачите на дисертационния труд. Подчертана е актуалността на проблема за определяне на разстоянието до мястото на късо съединение.

Глава втора от дисертационния труд е представен метод на Монте Карло за провеждане на симулация със стохастични модели. Акцентирано е върху анализа на чувствителността с цел определяне на входните параметри, които оказват влияние върху неопределеността в изхода на модела.

Обосновано е използването на методите на изкуствения интелект ИИ (Artificial Intelligence) при идентификация на системи. Описани са отделните функционални блокове и е дадена хардуерната платформа на реализирания модул.

В глава трета са представя използването на методи и техники на изкуствения интелект при оценката на състоянието на компоненти в телекомуникационните системи.

Дискутирани са създаването на тестови модели на базови телекомуникационни устройства в средата на Матлаб.

Представен е избор на нелинейна структура, която независимо комбинира линейни и нелинейни регресори и самата структура на нелинейността, каквото е дървото на двоичното разделяне. Най-подробно са разработени методи за класа регресионни модели.

Представена е задача за определяне на структурата на ARX - модел. Описани са тестови модели на телекомуникационни устройства, към които ще се прилагат методите за идентификация, базирани на техники на изкуствения интелект.

В глава четвърта се акцентира върху експерименталните изследвания.

В първия параграф от глава четвърта на дисертационния труд се представят изпитвания на линейна система **с и без шум**, чрез използване на реално кодиран ГА и извършване на планиран Монте Карло експеримент. Извършва се и анализ на значимостта на факторите при изпитването на линейната система

Направена е проверка на значимостта на факторите в случай на линейна система без шум, оценявана с ГА. Установено е, че най-добрите стойности на факторите кръстосване и мутация са 0.2 и 0.275. Представена е тримерна диаграма на разсейване на AvSAE в зависимост от факторите на кръстосване и мутация при ГА.

Направено е сравнение на оценяването на линейна система с ГА и ОРЧ. Таблично са дадени сравнителните резултати от оценяването на линейна система.

Грешката от оценяването на коефициентите на аналогов лентов филтър от трети ред, с характеристика на Чебишев е доста значителна и оценяването не е достатъчно качествено. Това може да се види от сравнителните диаграми (фиг. 4.16 и фиг. 4.17), където ГА отчита по-малка грешка, но въпреки това AvSAE е от порядъка на **10**, за разлика от оценяването на линейната система, където има стойности под 0.1.

Тази голяма стойност на грешката от оценяването се дължи на много-високата степен на нелинейност на цифровата предавателна функция на филтъра, която представлява частно на полиноми от 6-ти ред.

Освен това коефициентите на предавателната функция на филтъра зависят от няколко реални физични параметъра (активни съпротивления и емкости) и са взаимно свързани. Те ня представляват независими параметри, което създава сериозни проблеми за процедурите за тяхната идентификация.

Другият проблем е голямото количество оценявани коефициенти и голямата разлика в техните номинални стойности, както и наличието на коефициенти с отрицателни стойности.

Изводът, който се налага е, че използваните алгоритми (ГА и ОРЧ), в този си вид не са подходящи за оценяване на коефициентите на предавателната функция на филтъра. Трябва да се оценяват независимите реални физични параметри – активни съпротивления и емкости.

Направено е тестване на модел на честотен синтезатор с PLL контур с помощта на ГА и PSO при използването на филтър от 3-ти ред, чрез прилагане на реално кодирани ГА и ОРЧ, и извършване на планиран Монте Карло експеримент. Проведен е анализ на значимостта на факторите при изпитването на модела на филтъра.

Направено е тестване на модел на честотен синтезатор с PLL контур и НЧ филтър от 4-ти ред чрез използване на ОРЧ. На Фиг. 4.27 а) и Фиг. 4.27 б) са представени решетъчните диаграми на разпределението на грешката AvSAE, съответно, в зависимост от фактора на корекция (Correction Factor) и фактора на инерция (Inertia).

Осъществено е изпитване на структурата на модел на охладителната система на комуникационно оборудване, чрез използване на целочислено-кодирани ГА и ОРЧ и извършване на планиран Монте Карло експеримент. Провежда се и анализ

на значимостта на факторите. За целта са написани специални функции, реализиращи процедурите на целочислено-кодирани ГА и ОРЧ – алгоритми. В това изследване, в качеството на входни се използват данните, снети от лабораторен експериментален макет РТ326 на фирмата Feedback. В повечето случаи процедурата, прилагаща генетичния алгоритъм (ГА), връща стойностите: $n_a = 4$, $n_b = 5$, $n_k = 2$.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Научноприложни приноси:

1. Изследвани, систематизирани и анализирани са съществуващите методи, техники и средства на изкуствения интелект за оценка на структурата и параметрите на базови компоненти и възли на телекомуникационните системи.
2. Приложени са методите на числения експеримент и метода на Монте - Карло симулациите за изследване на възможностите на алгоритмите на ГА и PSO за автоматизирано определяне параметрите и структурата на специфични класове от модули и устройства в телекомуникационните системи.
3. Разработени са процедури, реализиращи Генетичния алгоритъм (ГА) и метода на рояка частици (PSO) и е изследвана значимостта на факторите, влияещи върху качествата на разгледаните алгоритми, и е проведен сравнителен анализ.

Приложни приноси:

1. Проведени и представени са изпитвания на линейна система **с и без шум**, чрез използване на реално кодиран ГА и извършване на Монте Карло експеримент.
2. Създадени и изследвани са Matlab кодове за изпитване на аналогов лентов филтър чрез използване на реално кодирани ГА и ОРЧ, и извършване Монте Карло симулации. Проведени са и са анализирани значимостта на факторите при изпитването на модела на филтъра.
3. Проведени и представени са изпитвания на модел на цифров честотен синтезатор използващ филтри от 3 и 4 ред, чрез използване на реално кодиран ГА, Монте Карло симулация и ОРЧ.
4. Създадени и изследвани са програмни средства в средата на Matlab за изпитване на модел на охладителната система на комуникационно оборудване при идентификация на структурата, чрез използване на целочислено-кодирани ГА и ОРЧ и извършване на планиран Монте Карло експеримент. Проведен е анализ на значимостта на факторите, като за целта са написани специални функции, реализиращи процедурите на целочислено-кодирани ГА и ОРЧ – алгоритми. Определени са стойностите на структурните индекси (n_a , n_b и n_k) на ARX – полиномиален модел (idpoly) на охладителната система.
5. Осъществено е изпитване при идентификация на структурата на модел на охладителната система на комуникационно оборудване чрез използване на

ГА и ОРЧ. За входни се използват данните, снети от лабораторен експериментален макет РТ326 на фирмата Feedback.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Lyubomirov, S.; Shehova, D.; Popov, R.; **Ismail, S.**, Development of software modules for realization of APRS-based Tracker with application in engineering education, Conference: 14th International Technology, Education and Development Conference, 2nd-4th of March, 2020, Valencia, Spain, ISBN:978-84-09-17939-8, ISSN:2340-1079, doi:10.21125/inted.2020.1420, pp. 5254-5252. - **Web of Science**
2. Lyubomirov, S., Shehova, D., **Ismail, S.** (2021). Online teaching of mobile Communication systems during the COVID-19 pandemic using MATLAB/OCTAVE, EDULEARN21: 13th annual International Conference on Education and New Learning Technologies, 5th and 6th of July, 2021, ISSN: 2340-1117. **Web of Science**
3. Shehova, D., Lyubomirov, S. **Ismail, S.** (2021). Structural identification of systems using artificial intelligence algorithms in the training of students, EDULEARN21: 13th annual International Conference on Education and New Learning Technologies, 5th and 6th of July, 2021, ISSN: 2340-1117. **Web of Science**
4. **Сезгин Исмаил.** Еволюционни алгоритми за оптимизация – състояние и перспективи. Трета национална научна конференция “Човекът и Вселената”, Съюз на учените в България – Смолян, 25–26 ноември 2021, Научни трудове, Том III, част 3, стр. 573 – 583, ISSN:1314-9490 (online).
5. **Исмаил С.,** Любомиров Сл. (2021) Идентификация на системи. Проблеми и съвременни методи. Трета национална научна конференция “Човекът и Вселената”, Съюз на учените в България – Смолян, 25–26 ноември 2021, Научни трудове, Том III, част 3, стр. 602 – 610, ISSN:1314-9490 (online).