



В В М У „НИКОЛА ЙОНКОВ ВАПЦАРОВ”
ФАКУЛТЕТ „НАВИГАЦИОНЕН”
КАТЕДРА „КОРАБОВОДЕНЕ”

инж. Евгени Стоянов Гуглев

АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ПРОЦЕСИТЕ НА НАСТРОЙКА НА РАДИОЛОКАЦИОННИТЕ СТАНЦИИ ПРИ РЕМОНТ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертация за присъждане на образователна и
научна степен „доктор“**

Професионално направление: 5.5 Транспорт, корабоплаване и авиация.

Научна специалност: „Управление на кораби и корабоводене“

Научни ръководители:

проф., д-р, инж. Чавдар Илиев Александров

проф., д-р, инж. Юрий Иванов Дачев

Рецензенти:

1. проф., д.т.н. Андон Димитров Лазаров

2. доц., д-р, Анастас Стефанов Крушев

Варна

2019 г.

Дисертационният труд е обсъден на 18.04.2019 г. в Катедра „Корабоводене“ и е насрочен за защита.

Докторантът работи в ТП „Зодиак Меритайм“ ООД

Автор: инж. Евгени Стоянов Гуглев

Заглавие: Автоматизация на процесите на настройка на радиолокационните станции при ремонт

В В М У „НИКОЛА ЙОНКОВ ВАПЦАРОВ”
ФАКУЛТЕТ „НАВИГАЦИОНЕН”
КАТЕДРА „КОРАБОВОДЕНЕ”



инж. Евгени Стоянов Гуглев

АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ПРОЦЕСИТЕ НА НАСТРОЙКА НА РАДИОЛОКАЦИОННИТЕ СТАНЦИИ ПРИ РЕМОТ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертация за присъждане на образователна и
научна степен „доктор“**

**Варна
2019 г.**

Дисертационният труд съдържа увод, четири глави и заключение. Той включва 103 страници текст, 22 фигури, 3 таблици. В библиографията са посочени 104 литературни заглавия, от които 33 са на кирилица и 71 на латиница. Означенията на формулите, фигурите и таблиците в автореферата са както в дисертацията.

**Защитата на дисертационния труд ще се състои на Г. от Ч. В на открито заседание на жури, сформирано със заповед на Началника №/..... Г. Материалите по защитата (дисертация, рецензии и отзиви) са на разположение във Факултет „Навигационен”, Катедра „Корабоводене”.
ВВМУ**

ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

За постигане на най-голяма ефективност на ремонтния процес е необходимо да се отчетат автоматично изискванията по техническите условия – т.е. пълно изключване “активното” участие на човек от управляващата верига на ремонтния процес. В случая се търси повишение на производителността на труда, чрез замяна на труда на операторите, при ремонт на настройката на радиолокационните станции (РЛС) от автоматична система. Това прави актуален проблема за създаване на гъвкава автоматизирана система (ГАС) за автоматизация на процесите на настройка на РЛС, чието практическо приложение е възможността за автоматично определяне на ремонтните параметри на съответните радиолокационни (РЛ) възли.

Избраният предмет на изследване е актуален от гледна точка на големите възможности, които създават достиженията на интегралната и микропроцесорна техника и развитието на автоматизирани процеси в настройката на РЛС при ремонт

Естествен е стремежът за автоматизиране на този процес.

В условията на съвременната, прогресивно развиваща се икономика, тенденциите на изменение в автоматизацията на ремонта са свързани както с обема на изпълняваните функции, така и с броя и вида на съставните елементи и подсистеми, с което се решават въпросите на **наложително технологично обновяване** в зависимост от областта на приложение – ремонт на радиолокационни станции

Това е бил мотивът да се търсят нови решения в автоматизацията на контрола и настройката на РЛС при ремонт.

Проблем

Разглежданите проблеми не са нови. Те съществуват от създаване на радиолокационна техника и техния ремонт. Настройката и контролът на параметрите на РЛС и на отделните устройства винаги са били обект на особено внимание и на науката и на практиката. Решаването на тези проблеми е от съществено значение за постигане на зададени тактически и технически параметри на РЛС.

Цел и задачи на изследването

Настоящата дисертационна работа е **научно-приложно изследване** в областта на автоматизацията на процеса на настройка на РЛС при ремонт.

Целта на дисертационната работа е създаване на алгоритъм към паралелно разработени за целта хардуерни решения, с което се осигуряват условията за автоматизация на процесите на настройка на РЛС при ремонт и тяхната оптимизация.

Формулираната цел се постига с решаване на следните **задачи**:

1. На базата на системния подход да се състави алгоритъм за оптимизация на процеса на настройката на РЛС.
2. Оптимизация на процеса на настройка на възли от РЛС.

3. Оптимизация на процеса на настройка на РЛС на базата на метода на стохастическа апроксимация.

4. Да се предложи подход на “глобална оптимизация” на процеса на настройка на РЛС при ремонт.

5. Да се предложи цялостен (хибриден) подход за пълна оптимизация на процеса на настройка на РЛС при ремонт.

Обект и предмет на изследване

Предмет на дисертационния труд е автоматизиране на процесите на настройка и контрол на радиолокационните станции при ремонт. Стремежът е да се разработят методи и алгоритми, ефективно обработващи в реално време възможно най- широк кръг необходима разнородна информация. Проблемите, свързани с автоматичния контрол и настройка при ремонт на печатни платки, са **предмет на изследване**.

Физическият обект на изследване е РЛС.

Решаването на задачата е свързано с делене на подзадачите на:

- Задачи за търсене на параметри на електронните компоненти, осигуряващи **локални** екстремални характеристики при настройка на РЛ сигнали (изисквани по техническото задание) и са свързани с определяне на параметрите на компонентите, осигуряващи изискваната характеристика.

- Друг тип решавани задачи са свързани с търсене на **глобален** оптимум за дължина на развивката, изисквана по техническите условия. Прилагат се **точни процедури** за подбор и използване на **хибридният подход** при глобална оптимизация, изразяваща се в намиране на няколко количествено определени локални оптимума.

Метод на изследването

Методите, чрез които са постигнати поставените задачи в дисертацията, включват:

- Адаптиране на методи, модели и алгоритми от други науки към решаване на задачата по автоматизация на контрола, настройката и измерването на параметрите на РЛС при ремонт;
- Използва се моделиране, тъй като то е универсален метод на изследване;
- Адаптиране на метода на стохастическа апроксимация;
- Експериментални изследвания, необходими за предложените алгоритми и модели;
- Използват се съвременни методи за оптимизация на процеса на настройка на РЛС, а именно: стохастическо оптимизиране, експертни оценки, размита логика в комбинация с други методи

Тестът за оптимизация на настройката се разработва по моделите за автоматично тестване на отделните възли в РЛС. Използва се моделиране, тъй като то е универсален метод на изследване и същността му се състои в следното:

Процесът на настройката, който се изследва от възела (оригинала) се замества с друг процес (разработвания модел). Резултатите от изследването са справедливи и за оригинала. Това твърдение се базира на факта, че експериментално се оценява грешката между модела и обекта, която трябва да бъде в допустимите граници.

Място на изследване

Изследванията в дисертацията са проведени в Института за радионавигационна апаратура при НПК “Черно море” – Варна.

Научна новост на изследването

- ✓ Разработване на модели и методология за автоматизация на настройката на стъпала, блокове и устройства на РЛС при ремонт.
- ✓ Оптимизация на процеса на настройка на отделни възли и устройства в статичен режим.
- ✓ Използван е метода на работните области при разработване на методика за настройка в лабораторни и експлоатационни условия, при която се постига по-бързо локализация на областите от допустими стойности на настроените елементи от електронната схема и се облекчава настройката.
- ✓ Разработена е нова информационна технология на процеса на настройка на РЛС на основата на която е предложен алгоритъм за процедурата на многоалтернативна оптимизация.
- ✓ Синтезиран е подход за глобална оптимизация на процеса на настройка на РЛС в няколко варианта – нови хибридни подходи.
- ✓ Показани са техните предимства, ситуация и място на приложение. Направен е сравнителен анализ за приложение на използваните подходи.

Практическа ценност на изследването

Предложен е хибриден подход за нарастване ефективността на автоматизацията на настройката, осигуряващ значителна адекватност на ситуацията, настройка на радиолокационната апаратура (РЛА) и избор на решение на базата на конкретни възможности.

Значимостта на приносите се приема като доразвитие на известни факти, методи и тяхното адаптиране към конкретни решения в теорията и практиката.

Апробация на изследването

Основните теоретични и приложни резултати от дисертационния труд са представени в общо три публикации, които са изнесени, както следва:

1. *Journal of Marine Technology and Environment*, Constanta, Vol.2, 2017, pp. 33 - 37, ISSN 1844-6116
2. [MATEC Web of Conferences](https://doi.org/10.1051/matecconf/201823401008) 234:01008 (2018), BulTrans 2018, DOI: 10.1051/matecconf/201823401008
3. *Journal “Information Technologies and Control”*, Vol. 1-2018 (под печат), Print ISSN 1312-2622, Online ISSN 2367-5357

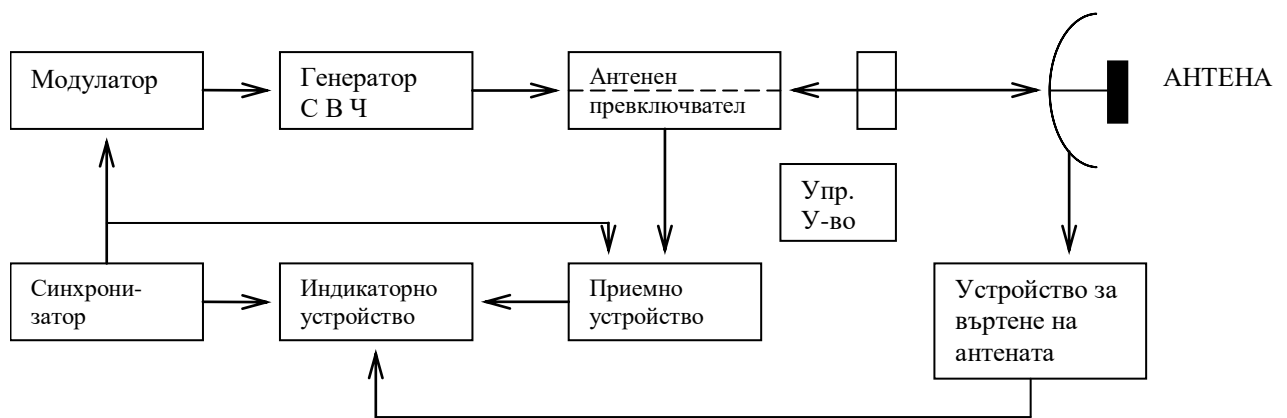
СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Гл.1. Изходна постановка при формулиране на целите.

1.1. РЛС – обект на изследването. Основни сведения.

Предметната област на изследване е ремонта на РЛС като техническо средство за корабоводене. Въпросът е многоаспектен, тъй като трябва да се обвържат въпроси на техника, технология, технически средства за контрол, програмно и апаратно осигуряване на конкретните задачи.

Физическият обект на изследване е РЛС. За целите на изследването обаче се приема базова структура на РЛС, с цел резултатите да могат лесно да бъдат мултиплицирани. От практическа гледна точка, РЛС се представя със своята функционална структура. Има йерархичен вид и се състои от прибори, блокове, електронни стъпала.



Фиг. 1.1. Базова блокова схема на РЛС

Гл.2. АИИС - елемент и средство на цялостния ремонтен процес

2.1. Постановка на задачата.

Автоматизираната изпитвателна апаратура (АИА) като **елемент** в различните АИИС (автоматизирани информационно-измервателни системи) представлява голям брой цифрови и цифроаналогови устройства в съвкупност от измервателни уреди, която включва и сложни устройства за контрол и диагностика на изпитвания обект, управлявани от компютър.

Една АИИС не е само технически средства. Моделиране, описание на обекта, съставяне на тестове, анализ на неизправностите, програмни библиотеки са даже по-основни компоненти, защото те определят **ефективността на изпитанията**. Подходът към решаването на проблемите, основан на анализа и **конструирането на система като средство за решаване на проблема**, се нарича системен подход [7]. В резултат от прилагането му като методология се създава **алгоритъм**, с което се осигуряват условията за автоматизация на процесите на настройка на РЛС при ремонт и тяхната оптимизация.

Необходимо е да се отбележи, че параметрите на компонентите имат технологични отклонения и трябва да се отчита влиянието на толеранса на произведените елементи на схемите.

2.2. Методика за изследване – създаване съвкупност от комплекс алгоритми на модел от много нива, съответни на йерархичния строеж на РЛС, при процеса на настройка. [38, 40]

За създаването ѝ на практика се прилагат принципите и етапите на моделирането [9], като се следват йерархичните нива на строеж в РЛС. За всяко ниво от РЛС се подбират: съответен комплект измервателни прибори от АИИС и адаптери, отделно за всяка подзадача (импулс). Продуктът, който се получава в резултат от прилагането ѝ, е съвкупност от алгоритми, осъществяващи настройката в йерархичното ниво на РЛС. [79, 80, 86]

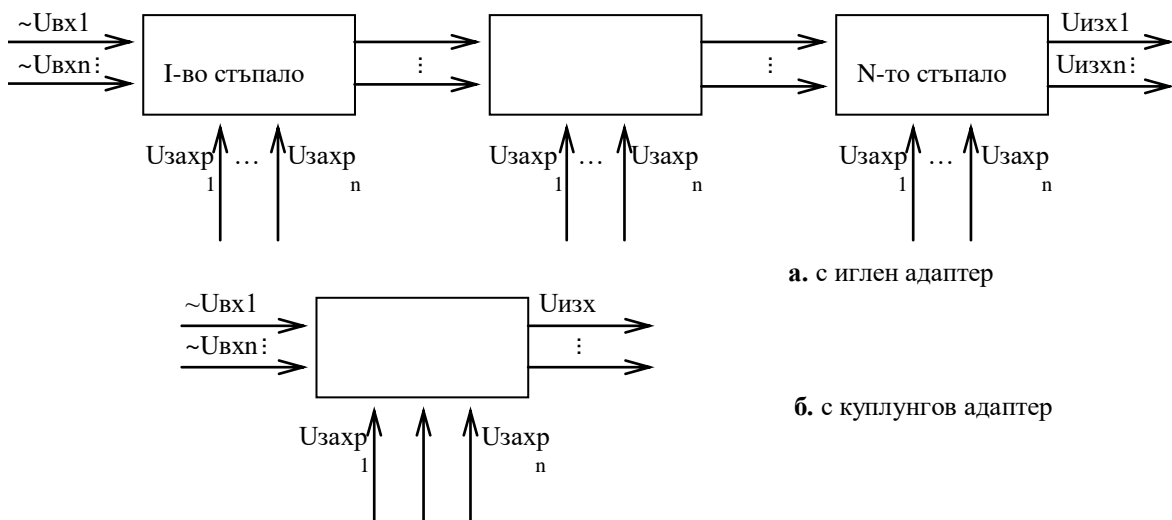
Методиката за изследване се създава на база “Инструкция за настройка” (ИН) на конкретното изделие (РЛС). Тя включва в себе си изискванията на техническите условия (ТУ) и използва АИИС като средство за постигане, посочва и схемата (алгоритъма) за оптимизиране на настройката. Чрез нея се решават всички въпроси, отнасящи се до отделното конкретно стъпало и импулс, дадени в протокола за настройка на конкретно РЛС. Методиката на изследване се създава на основание 505.081.519 МП, БДС 2.601- 82, ЗН 005-85. По методика за изследване се създава методика и програма за изпитване на всички нива от йерархичната структура на РЛС – с даден адаптер и определен набор на ИА (измервателна апаратура) в АИИС.

За целта са създадени съответни схемни функции на сигналите, предложени са съответни критерии на качество и са предложени процедури на сходимост, съобразени с режима на работа на стъпалото (предлага се процедура за режим на работа на стъпалото, приоритетно статичен). Създадена е комплексна схема на глобална оптимизация на процеса на настройка, следваща архитектурата на РЛС. Извършва се оптимизация по точки от настройката (дадена в ИН), с което се решава задачата за оптимизация на настройката на РЛС в целия процес на ремонта.

По методика на изследване се създава методика на изпитвания, обогатена с пакет алгоритми за оптимизация на настройката на сигналите с възможност за усъвършенстване и разширение на същата.

Следва методика за изследване на различни нива.

Необходимо е формиране на двете принципални схеми на модела на блока, чийто аналогови импулси ще се настройват.



Фиг. 2.2. Формиране на схема на свързване с платката.

При сх. а. платките на блока се свързват към АИИС посредством иглен адаптер. Извършва се последователно опериране (контрол, диагностика и настройка) на отделните стъпала. Адаптерът позволява премахването (изолирането) на обратната връзка между отделните стъпала и тяхното самостоятелно разглеждане е възможно.

При сх. б., блокът е свързан посредством входно-изходния си куплунг. Извършва се последователно опериране (контрол, диагностика и настройка) в реално време. Това изисква основно познаване на блока.

По принцип етапите за настройка са еднакви при схема а. и схема б.

1. Преди започване (пускане на програмата за настройка) на процеса се проверява с кратък тест наличието на съответните захранвания, необходимото състояние на релетата и ключовете, другите необходими импулси. Ако някое от тези условия не е изпълнено, се прилага съответна диагностика.

2. Прилага се функционално аналогово тестване на съответното стъпало (изследване на стъпалото в режим на работа). Ако импулсът, който ще се настройва не е с необходимата форма, тогава се извършва съответна диагностика.

3. Същият адаптер служи и за прилагане на съответната подпрограма за настройка. Тя е различна за различните блокове. Чрез нея се оптимизират параметрите на импулса до съответните, дадени по техническото задание.

2.3. Системен подход при организация на тестове за оптимизация на процеса на настройка на РЛС при ремонт.

Системен подход при съставяне на алгоритъма за оптимизация на процеса на настройка на РЛС.

Методология прилагана за процеса на вземане на решение. [60, 62, 63, 81, 84]

От позициите на системния подход се формира процес на вземане на решение, който при добър резултат се включва в организацията на тестовите последователности.

I. Постановка на задачата за оптимизация на процеса на настройка

Определя се мястото и вида на РЛ импулс, т.е. формира се конкретната задача за оптимизация:

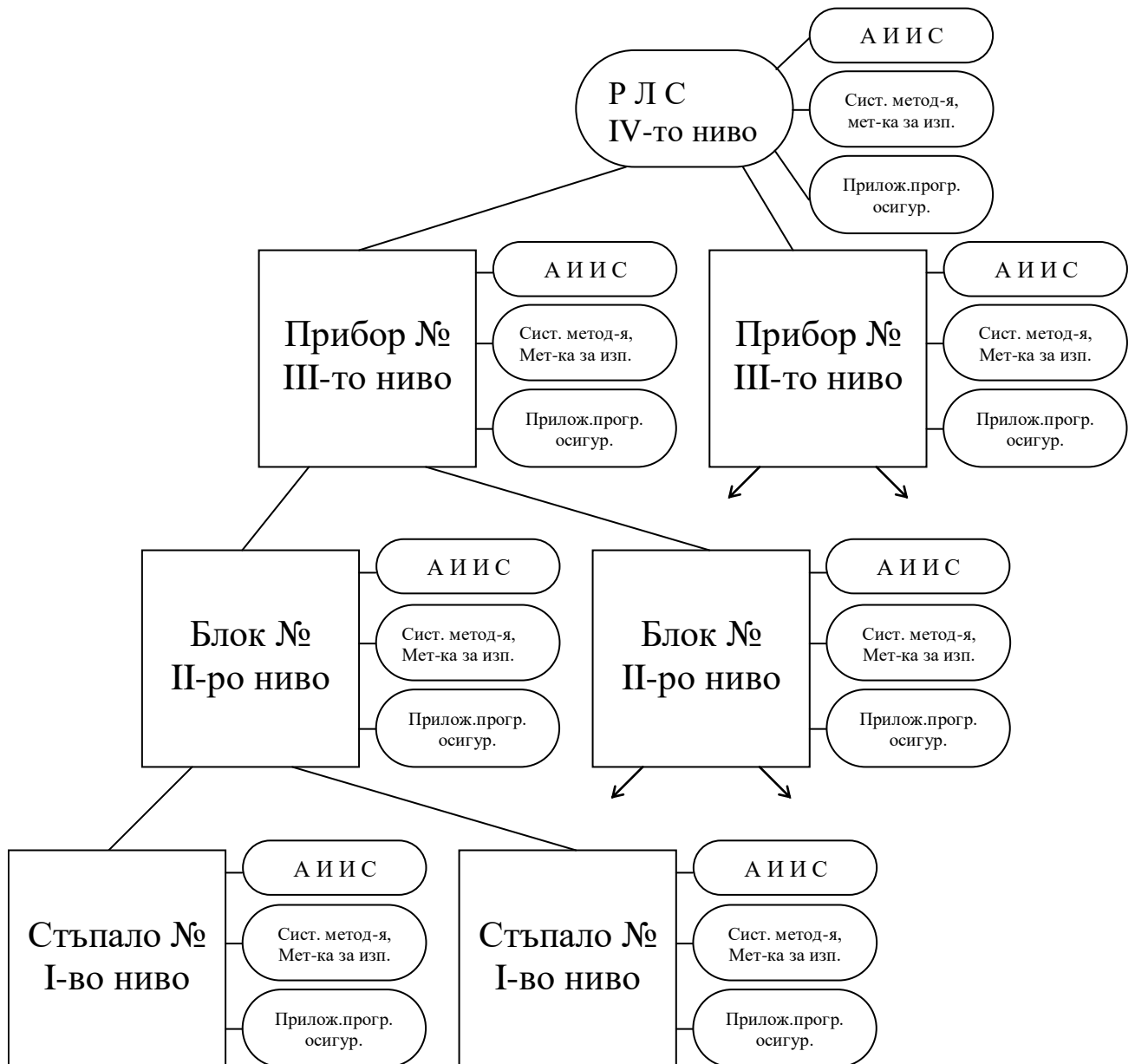
- Избор на ниво от йерархията на РЛС;
- Определяне на целите (задачите) в точката за оптимизиране

Задължително условие е всички по-ниски нива да са оптимизирани!

II.1. Локализация на съответната точка от звеното за оптимизация на процеса на настройка.

1. Логика на избор на алтернативи и обосновка:

- Изискване за “оживен” блок и други необходими условия;
- Избор на нивото от йерархията на РЛС;
- Прилагане на схемата на многоалтернативна оптимизация, осигуряваща включване на съответни дистанции;
- Избор на локална или глобална оптимизация;
- Определяне типа на режима на работа на стъпалото – статичен;
- Определяне на схемната функция;
- Избор на критерий на оптималност (целева функция);
- Определяне на типа на оптимизация – еднопараметрична или многопараметрична;
- Определяне на метода на оптимизация – стохастическа апроксимация или друг.



Фиг. 2.4. Организация на тестовите последователности за оптимизация.

Други логики за избор на алтернатива:

- За избор на други програми, промяна на хода на оптимизация на процеса на настройка на РЛС;
- За включване на различни адаптери;
- За подsigуряване на надеждна работа на съответния възел от РЛС – спускат се съответни ограничения и допускови интервали за определяне на съответните разстояния (дистанции);
- Допълнителни условия за строга последователност на импулсите за настройка, при настроени вече определени импулси;
- Програма по желание - направена е промяна на хода на настройка чрез лице приемащо решение (ЛПР).

2. Принципът на вземане на решението по тип е:

- Формална процедура – използвана широко при оптимизация на процеса на стъпала, работещи предимно в статичен режим на работа;
- Логическа процедура – използвана при многоалтернативната оптимизация.

II.2. Същинско решение. В Гл. 3.3., 3.4. има предложени процедури по поставените подзадачи (импулси) за оптимизация на процеса на настройка на възли от РЛС.

III. Анализ (изследване) на различни варианти на изхода – анализ за точност и други последствия от вземането на решение. В Гл. 3.3., 3.4. има на-правен такъв анализ.

2.3.2. Организация на ремонтните тестови последователности.

Организацията на тестовете в процеса на ремонт на РЛС, дава възможност за включване на системата в по-голяма система (ГАС на по-високо ниво) при ремонт на РЛС, а също и включване в ГАС “Организация на управлението при ремонт”. В съответствие с връзките на блоковете в РЛС (или отделните прибори) се свързват и съответните тестове в съвкупния софтуер на цялата РЛС:

- Платката съдържаща изследвания импулс се включва в АИИС посредством адаптер;
- Има налични комплекти приложни програми за контрол, диагностика и оптимизация на процеса на настройка на отделните възли и цялата РЛС.
- Прилага се съответна процедура: с която се постига многонивов модел на настройка на РЛС

Схема за оптимизация на настройката на сигнали. в РЛС.

1. Местоположението на програмата за настройка в целия софтуер се дефинира с местоположението на импулса, в РЛС.

2. Предварително се установява (при изпълнени ТУ) зависимостта между параметрите на настройвания импулс и съответните стойности на електронните компоненти от платката.

Установява се: $U_{\text{имп.}} = f(R^*, L^*, C^*)$ в най-общ вид.

3. Определя се конкретния за схемата критерий на оптималност – различен за различните видове импулси

4. Прилага се оптимизационна процедура на сходимост на горната зависимост, към получаване на необходимите параметри на импулсите.

5. Задава се необходимата точност по ТУ на параметрите на импулсите.

6. Изследва се надеждността на работа на електронната схема, при оптималните стойности на електронните компоненти по нея – по Гл. 3.3.

7. Оценява се прилагания числен метод (точност и устойчивост) и точността на различните програмируеми прибори.

Организация на тестовете

-
1. – Генериране на съответния за платката функционален тест (контрол и диагностика на платката);
 2. – Генериране на теста за оптимизация на настройката на импулсите на платка.
Възможно е всякакво връщане назад и повтаряне на някои от тестовете (при диагностика се налага), но напред йерархията в тестовете трябва да се спазва.
При смяна на платката се слага и съответен на нея адаптер, осъществяващ връзката на координатите на нейните точки с АИИС. Ако функционирането на дадена платка зависи от друга платка, то първо се извършва тестване 1 ÷ 2 и следва тест 3;
 3. – Генериране на тест за вторична настройка на платка (при синхронизиране на действието на две платки).
Аналогично се извършва донастройката (синхронизацията) на два блока, два прибора и цялата РЛС като:
 4. – Генериране на тест за вторична настройка на даден блок
 5. – Генериране на тест за вторична настройка на даден прибор;
 6. – Генериране на тест за настройка (донастройка) на цялата РЛС, или генериране на теста за глобална оптимизация на процеса на настройка на РЛС при ремонт.

За една платка с едни и същи координати, с един и същ адаптер се генерират последователно шест различни теста. Тук йерархията в отделните тестове също трябва да се спазва. Най-често вторична настройка (донастройка) на дадени блокове се извършва при подмяната им от една РЛС на друга.

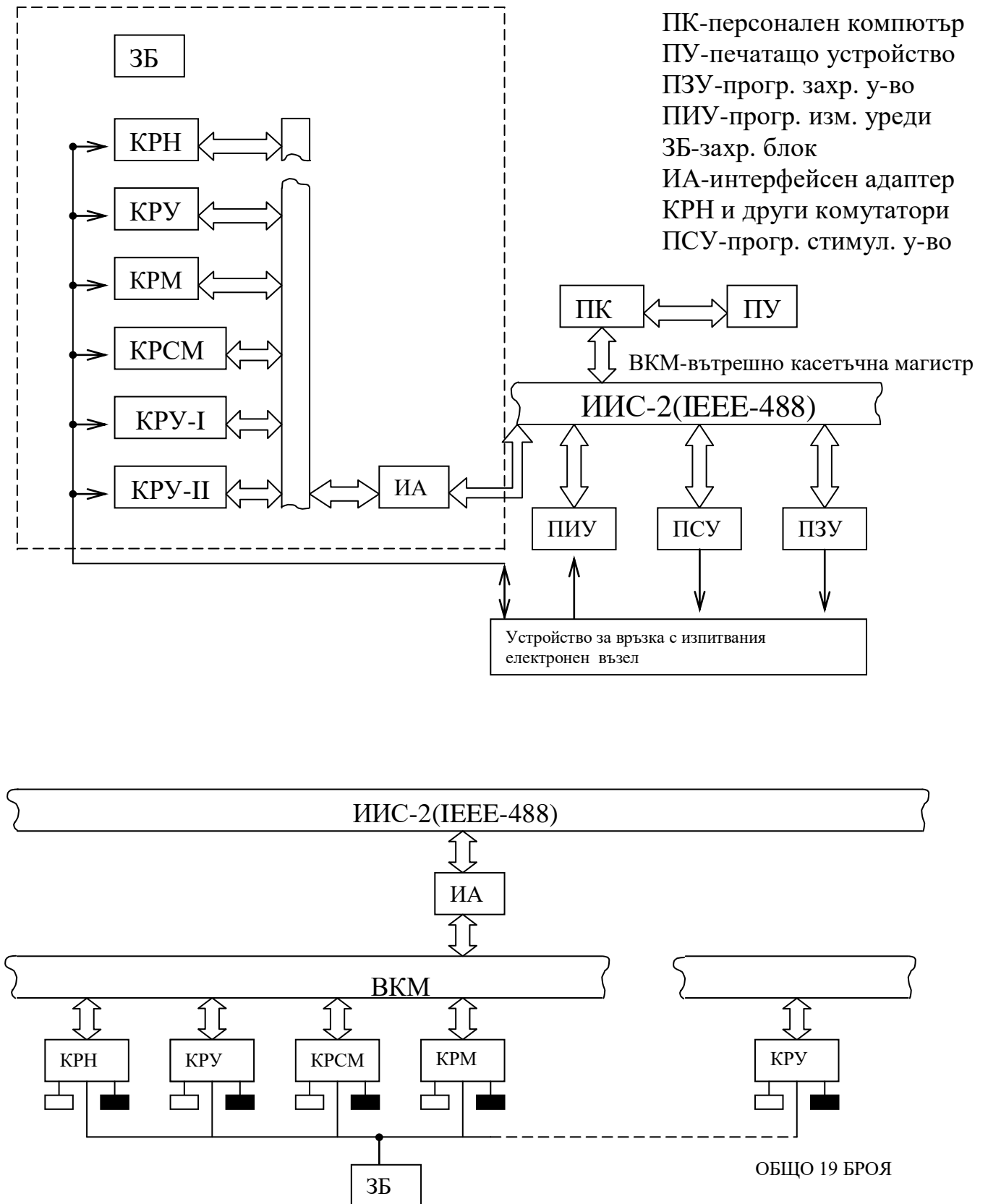
При вторична настройка (донастройка) на отделните блокове, прибори и цялата РЛС се оперира само с куплунговите адаптери, като сигналите се разглеждат под номера, в изготвената принципна пълна схема на РЛС с входно-изходните импулси на всеки един от блоковете.

Определяйки параметрите на настройката, дадени в процедурата (Гл. 3. и Гл. 4), определящи нейното поведение и имайки опростена формализована блокова структура, на практика се реализират с промяна на R^* , C^* , L^* (за което са направени съответни изследвания), с което се решава въпроса за реализация – определя се алгоритъма за оптимизация и се постига задачата за настройка при ремонт на РЛС.

2.4. САК

Разглежда се използването на система от програмируеми измервателни уреди (ИУ). Предполагането, че една комбинация от няколко ИУ ще допринесе за по-бързо, по-точно и по-икономично решаване на дадена задача в областта на измерванията е мотивировка при изграждането на система от ИУ. [17, 18, 77]

АИИС съдържа персонален компютър с контролер (в конкретният пример за ИЕЕ-488), стимулиращи, хранящи и измервателни програмируеми уреди, подсистема “Комутация” и устройство за връзка с изпитвания обект.



Фиг. 2.6 Схеми на свързване на измервателните уреди в АИИС.

Изводи към Гл. 2:

1. Прави се опит за изграждане както на система за автоматизация на процеса на настройка на РЛС, така и на организация на тестовите последователности за оптимизация.

2. В съответствие с йерархичния строеж на РЛС се предлага система-йерархия (Фиг.2.4.), при което между подсистемите на различните нива, техните цели и процеси, съществува отношение на „съподчинение”.

3. Предвижда се всяка цел (задача за оптимизация на импулс) от по-ниско ниво, в съответствие с нивовия строеж на РЛС, да осигурява постигане на цел от по-високо ниво.

4. Използват се съвременни методи за оптимизация на процеса на настройка на РЛС които са изложени в следващите глави, а именно: стохастическо оптимизиране, експертни оценки (ЛПР), размита логика в комбинация с други методи. Те оформят приложно-програмното осигуряване като част от цялата система йерархия (Фиг. 2.4.).

Гл.3. Формализация на процеса на настройка на РЛС и неговата оптимизация.

3.1. Решаване на задачата за оптимизация на процесите на настройка на РЛС при ремонт.

Разглеждайки поведението на моделите на отделните елементи, се търси описание на тяхното взаимодействие, което да бъде използвано за основата на модел, позволяващ да се проявят свойствата на РЛС като цяло за процеса на настройка.

Постановката на задачата за настройка на РЛС е:

“Дадено” (РЛС) \rightarrow “Търси се” (алгоритъм) \rightarrow “Да се определи” (необходимите параметри в дадените граници (допуски) ли са)?

Процедурата на моделиране се отнася за случай на модел, необходим за процеса на настройка, на създадена вече (работеща) система (възел от РЛС), при което структурата на същата е напълно известна.

3.2. Формализацията на статиката и оптимизация.

Под формализация на процеса на настройка на РЛС се разбира определянето на необходимите и задължителни реални дейности (операции), които следва да бъдат извършени в ремонтни условия. [8, 12, 15, 27, 41]

Оптималната настройка се разделя на два основни вида – статична и динамична, обхващащи различни класове задачи. Към първият клас се отнасят задачи, които възникват в статични системи (които не притежават елементи, натрупващи енергия). Тук спадат и задачи, възникващи в динамични системи, когато се разглеждат установените им режими. При тези задачи зависимостите между изходните величини, показателите на качество и обуславящите ги входни величини и параметри на системата се описват с алгебрични уравнения.

Такъв тип задачи се разглеждат в разработката!

Схемна функция. За тази цел се провежда “разумно” – интуитивно (от опита) опростяване на съдържателното описание на системата (електронната или електрическата схема от съответния възел на РЛС), за да се получи формализирано описание. Чрез анализ на тази информация се избират независими променливи и параметри. [19,28, 31, 40, 46, 64, 76]

“Разделяне на модела на части (постоянна и варираща) в процеса на решаване на задачата за оптимизация на настройката”. [8]

Това води до изкуствено разделяне на схемата на постоянна и променлива (варираща), за построяване на съответстващ модел във всяка итерация на процеса на търсене на желаната характеристика РЛ сигнал и смятане само на променливата част.

Опитът показва, че широк кръг задачи се решават чрез математичен модел на електронна схема, формирана във вид на „схемна функция” [8, 12]:

$$K(s, q) = A(s, q) / B(s, q) \quad (3.2.1)$$

Където :

- S – променливи,
- q – параметър на схемата.

Този математичен модел е от вида на алгебрични уравнения, в зависимост от вида на схемата – статичен обект (има статичен режим на работа на съответния възел).

Търси се зависимостта на параметрите на изходния импулс на електронната (електрическата) схема от РЛС, от промяната (вариацията) на параметрите на електронните компоненти (R^* , C^*).

Такава е зависимостта (търсената схемна функция) на импулс даден в Гл.3.4. Тя е:

$$\text{Тя е: } t_u = \alpha \cdot R^* \cdot C^* \quad (3.4.1)$$

Където:

- R^* и C^* – параметри на електронната схема, дадени за подбор по техническите условия,
- коефициент $\alpha = const$.

Използва се **критерий на приближение (съответна целева функция)**, основан на количествена оценка на разликата между истинската стойност на характеристиката на системата и нейната оценка.

3.3 Оптимизация на процеса на настройка на възли от РЛС.

Под оптимизация на параметрите на импулса се разбира избора на такива стойности на елементите от схемата, при което се изпълняват ограниченията по стойност налагани на същите (осигурява се надеждна работа) и параметърът на импулса попада в допускателен диапазон даден по техническите условия [8, 12, 17, 34].

Във всички случаи обаче следва да се съблюдава връзката :

1. Схемна функция.
2. Критерий.
3. Методи на сходимост.

В конкретния случай се предлага двуетапен подход на оптимизация.

ПЪРВИЯТ етап от задачата за оптимизация, определяща областта от допустимите стойности на параметри на елементите на схемата, е осигуряване на условието за надеждна работа:

$$SUP P \sum(t), \text{ при } U \in G \quad (3.3.5)$$

Където:

$P(t)$ – вероятност за попадане в интервала от допустими стойности на параметрите на елементи (**определя се допустимия интервал**),

U – параметър на импулса,

G – област от допустими стойности на параметрите на импулса, даден по техническите условия.

Основната задача тук е определяне областта на търсене на оптимални стойности на елементите, за осигуряване на надеждна работа на стъпалото (възела).

ВТОРИЯТ етап е избор на оптималните стойности на елементите. Тук се изследва схемата от $U_{\min} \div U_{\max}$, което позволява да се ограничи областта от допуска на оптимално решение и да се определи числото на дискретизация – k .

Схема на изследване.

За всеки импулс, при първоначална работоспособност на стъпалото, се прилагат:

1. Предварително се определят кои от регулиращите (дадени по техническите условия за подбор) елементи имат най- голяма относителна скорост на изменение на параметрите на импулсите (дадени по ТУ). при зададените условия.

2. Определят се допустимите граници на изменение на стойностите на всеки елемент (R, C) за рационален оптимален подбор.

3. Определя се стойността на “грубата” и “точната” стъпка и степента на влияние на промяната на параметрите на елементите върху изходните параметри на импулса.

4. Оптимизацията на параметрите на импулсите на сложни схеми без обратна връзка се осъществява на стъпала, започвайки с първото стъпало. При наличие на обратна връзка между стъпалата на схемата, оптимизацията се провежда отначало постъпално без обратна връзка, а след това с обратна връзка като се доуточняват резултатите.

5. Този метод съдържа основната идея на последователното стъпково търсене.

6. Прилага се за оптимизация на параметрите на импулсите на стъпала при едновременно или последователно изменение на няколко параметъра на елементи. Използва се информация, предварително натрупана за относителната скорост на изменение на параметрите на елементите, което улеснява практическата реализация на задачата.

7. Оптимизация на параметрите на импулсите на схемата се извършва след осигуряване на начална работоспособност. Измерват се необходимите изходни параметри на сигналите. След това в съответствие с приетия метод на търсене, се осигурява изменение с определена стъпка на вариращите параметри на елементи, докато не се изпълни изискването на критерия.

8. При стъпковото търсене големината на избраната стъпка за изменение на всеки параметър е „груба” и „точна”.

Стойност на „точната” стъпка (която се приема):

$$\Delta\gamma_1 = 0.01 - 0.02[g_{\max} - g_i] \quad (3.3.11)$$

Където:

g_i – Текуща стойност на параметъра,

g_{\max} – Максимално допустима стойност на параметъра на елемента.

Стойност на „грубата” стъпка (която се приема):

$$\Delta\gamma_2 = 0.1 - 0.2[g_{\max} - g_i] \quad (3.3.12)$$

Където:

g_{\max} се определя чрез последователно изменение на всеки параметър на елемент до такава стойност, при която настъпва едно от приетите ограничения.

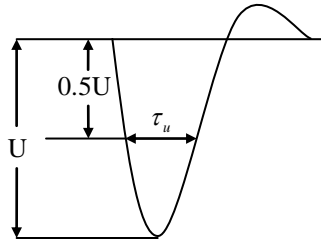
Стойностите на грубата и точната стъпка могат да се променят според степента на близост до оптимум.

9. Процесът на търсене на рационалната последователност на изменение на параметрите на елементите се прави в съответствие със степента на влияние върху изходния параметър на импулса.

10. Разглежданият подход на търсене се използва за определяне на оптимални стойности на елементи (R^* , C^*).

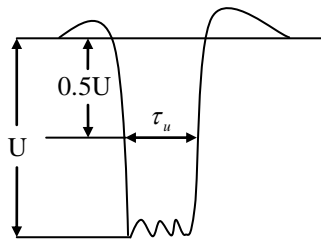
Резултати от експерименталната процедура.

Импулс за контрол.



$$U = 35 \div 50V \quad \text{СКАЛИ}$$

$$\tau_u = 0.1 \div 0.25 \mu s \quad 0.25 \div 3 \text{ мили}$$



$$U = 35 \div 50V \quad \text{СКАЛИ}$$

$$\tau_u = 0.25 \div 0.60 \mu s \quad 6, 12, 24 \text{ мили}$$

Фиг. 3.4 Импулс на контрол.

Схемна функция:

а) $U = f(C_{24}^*, R_{17}^*)$

б) $\tau_u = f(R_{24}^*, R_{15}^*)$

- **За т. а)** – Отчетена е право пропорционална зависимост от промяната на R_{17}^* ($R_{17}^* \uparrow \rightarrow U \uparrow$)

и обратно пропорционална зависимост от промяната на C_{24}^* ($C_{24}^* \uparrow \rightarrow U \downarrow$)

При определяне на областта на изменение на стойностите на елементите се установи, че:

$R_{17}^* = 82 \div 100 \Omega$ за надеждна работа на схемата (възела);

$C_{24}^* = 150 \div 330 pF$ за надеждна работа на схемата (възела);

$C_{24}^* \approx 220 pF$ за оптимална стойност на импулса на контрол.

- **За т. б)** – Отчетена е право пропорционална зависимост от изменението на параметрите на елементите R_{24}^* и R_{15}^* .

- R_{24}^* – Потенциометър.

Той трябва да бъде в средно положение за надеждна работа на стъпалото (възела).

$R_{24}^* \approx 2,2 k\Omega$ за оптимална стойност на импулса.

R_{15}^* – Потенциометър.

Той трябва да бъде в средно положение за надеждна работа на стъпалото (възела).

$R_{15}^* \approx 220 \Omega$ за оптимална стойност на импулса.

R_{24}^* и R_{15}^* могат да се задават програмно.

3.4. Оптимизация на процеса на настройка на РЛС с помощта на метода на стохастическа апроксимация при ремонт.

Прилага се за оптимизация на параметрите на импулси, при които има статичен режим на работа на електронното стъпало т. е. схемната функция е алгебрично уравнение.

Такава е зависимостта (търсената схемна функция) на импулса даден на Фиг.3.6 (стр.21).

$$\text{Тя е: } t_u = \alpha \cdot R^* \cdot C^* \quad (3.4.1)$$

Където:

- R^* и C^* – параметри на електронната схема, дадени за подбор по техническите условия,
- коефициент $\alpha = const$.

Целта е след въведени входни данни и вид на схемната функция да се търси настроената област на електронните компоненти.

Общият вид на итеративната процедура на стохастическа апроксимация, която се прилага конкретно, се представя със съотношението [15, 28, 37, 104]:

$$X_{n+1} = X_n - a_n \cdot F(X_n) \cdot \text{sign}F'(X) \quad (3.4.2)$$

Където:

- a_n – Коригиращ коефициент,
- $F(X_n)$ – Оценявана функция.

Последователността a_n се избира свободно в достатъчно широки граници и характеризира дължината на стъпката.

$$\text{Тук } a_n = \left(\frac{1}{n}\right),$$

$$X_n \rightarrow \bar{X} \quad \text{при } n \rightarrow \infty \text{ с вероятност единица.}$$

$$(\text{Lim } X_n = \bar{X}) \quad (3.4.3)$$

За голямо число итерации се осигурява приближение към търсената оптимална точка (при единствено решение на задачата). Рекурентната последователност е избрана така, че се извършва сходимост по вероятност на параметрите към необходимите оптимални стойности. Задачата се свежда до минимизиране на математическото очакване по определен итеративен метод.

$$\text{Lim } \left[X_i - \bar{X} \right] = 0 \quad \text{при } i = \infty \quad (3.4.4)$$

Аналитичен подход при получаване на настройката.

1. Сходимостта на метода се осигурява при удовлетворяване на слаби и общи условия отнасящи се до типа на a_n .

2. В процедурата на оптимизация не се предполага сходимост в средно квадратичен смисъл и затова сходимостта се постига за голям интервал от време.

3. Представлява метод на последователния градиентен спуск.

„Извършва се настройка пропорционална на градиента, като градиентните методи на спуска, използвани в този алгоритъм, може да се разглеждат като развитие на класическия метод на Нютон за изчисляване на корените на уравнението и са приложими в реални условия”. [104]

4. Този метод се отличава със слабата си сходимост в статичен режим (минимизира се максималното отклонение от еталонната стойност).

5. В статичен режим едномерният поиск в значителна степен определя бързодействието на цялата процедура на минимизация. Затова е оправдано произволно усложнение на тактиката, ако тя води в крайна сметка към намаляване числото на разглежданите точки. За ускорение на поиска, на етапа на отделяне на интервала се въвежда променлива стъпка.

Критерий се явява условието за минимум:

$$J = J(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \rightarrow \min \quad (3.4.5)$$

Където: $J = \max |\delta_i|$, $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ – параметри.

При оценка на качеството на точките от пространството според този критерий най-добра ще стане точката за която е най-малко максималното отклонение δ_i и целевата функция, съответстваща на критерия, екстремалните стойности на която указват точки, които най-добре удовлетворяват уравнението е:

$$\Phi(X_1, \dots, X_n) = \max |\Phi_i(X_1, \dots, X_n) - A_i| \rightarrow \min, \quad i = 1, \dots, n \quad (3.4.6)$$

Поискът на варианта на схемата, оптимален по този критерий се свежда до поиск на такъв набор от числени стойности на променливите, при който оценяваната функция достига екстремална стойност.

Анализи за изследователска постановка.

Разглежда се статичен режим на работа.

1. Когато във всеки момент от време е необходимо да се настройва само един параметър се прилага едномерен поиск. Той има два етапа :

- Отделяне на интервал на неопределеност.
- Съкращаване на получения интервал

2. Ако е нужно да се настроят два или по- голямо число параметри, се използва прекъснатата схема .

Функционалната зависимост на целевата функция от параметрите за настройка се извежда чрез разложение по Тейлор:

$$F(R_1, C_1) = F(R_0 + \Delta R, C_0 + \Delta C) = F(R_0, C_0) + \frac{\partial F}{\partial R} \Delta R + \frac{\partial F}{\partial C} \Delta C + \dots \quad (3.4.7)$$

Целесъобразно е използването на метода на покоординатно спускане за оптимизация на импулси, където схемната функция е многомерна.

Предлага се алгоритъм, към който са следните коментари.

1. Задава се: $C^0 \in (C_{нач.}, C_{кр.})$.

$\varepsilon = 10^{-4}$ – точност; ρ_1 – коефициент

Задава се начално условие: $R1 = R^0 1$; $C^0 1$; α_1 – коефициент; $T3 = T_{ET.1}$

2. Определя се момент $t_{изм.} = F(C^0 1)$ по $t = f(C)$ (Табл.3.2).

Определя се стъпка $\Delta C1 = \rho_1 [T_{ET.1} - t_{изм.}(C1)]$. (3.4.8)

3. Получава се:

$$C^1 1 = C^0 1 + \rho_1 [T_{ET.1} - t_{изм.}(C^1)] \quad (3.4.9)$$

$$\rho_1 = a_{n1} = \frac{1}{R1 \cdot \alpha_1 \cdot J}; J - \text{брояч} \quad (3.4.10)$$

4. Образува се итерационен процес докато $|T_{ET.1} - t_{изм.}(C^1)| < \varepsilon$

Втората част на процедурата (ако е необходимо да се прилага) е аналогична на точки 1 ÷ 4.

5. Задава се начално условие: $C^0 1; R^0 1 \in (R_n, R_{кр}); T5 = T_{ET.2}$

ρ_2 – коефициент; $\varepsilon = 10^{-4}$ – точност.

6. Определя се $t_{изм.} = F(R^0 1)$ по $t = f(R)$ (Табл.3.1).

7. Определя се:

$$R^1 1 = R^0 1 + \rho_2 [T_{ET.2} - t_{изм.}(R^1)] \quad (3.4.11)$$

$$\rho_2 = a_{n2} = \frac{1}{C1 \cdot \alpha_2 \cdot G}; G - \text{брояч} \quad (3.4.12)$$

8. Образува се итерационен процес.

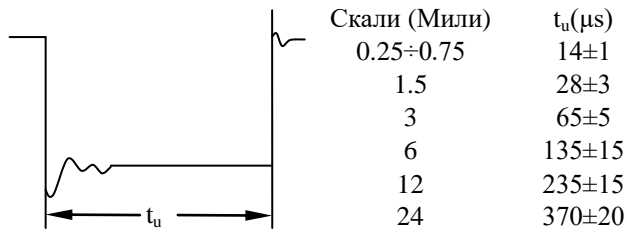
Предварителни експерименти (входни данни) за стартиране на алгоритмизираната процедура.

Изследванията са дадени в таблична форма. От съображение за практическо използване на бъдещите резултати, се оказва целесъобразно да се избере $R_{const} = 3800 \Omega$; $C_{const} = 2 \text{ nF}$, стъпките ΔR и ΔC следват редицата на елементите R и C .

Таблица 3.1.
C=2nF

R (Ω)	0	120	270	680	910	1000	1200	1400	1750	2000	2150
Tu(μs)	12,3	12,4	12,6	13,0	13,2	13,4	13,8	14,0	14,4	14,8	15,0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	2400	2500	2650	2800	3000	3200	3350	3500	3700	3800	C=2nF
	15,4	15,8	16,0	16,3	16,6	17,0	17,3	17,6	18,0	18,2	
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	

Алгоритми.



Фиг. 3.6 Импулс за настройка

А. Извършва се настройка по C (R – константа с определена стойност), която се отнася предимно за големи дистанции.

1) Начално условие: $R1$; $C1$; $A1 = \alpha_1$ – коефициент; $T3 = T_{ET}$;
 $\varepsilon = 10^{-4}$ – точност, J, I – броячи.

2) Определя се:

$$t_{изм.} = F(C^0 1) = T1(I) = F(R^0 1, C^0 1) \quad (3.4.13)$$

$$\Delta C^1 1 = \rho \left[T_{ET} - t_{изм.}(C^0 1) \right] \quad (3.4.14)$$

$$\rho = \frac{1}{R1 \cdot A1 \cdot J} \quad \rho \text{ – коефициент} \quad (3.4.15)$$

3) Определя се:

$$C^1 1 = C^0 1 + \frac{T3 - T1}{R1 \cdot A1 \cdot J} \quad (3.4.16)$$

Където:

$$T1 = T(I) + \frac{T2 - T1(I)}{C2 - C(I)} [C1 - C(I)] = T1(I) + \frac{T1(I+1) - T1(I)}{C(I+1) - C(I)} [C1 - C(I)] = F(C1 + \Delta C1, R1) \quad (3.4.17)$$

4) Дискретизация:

Най-големият интервал τ_u съдържа 100 измерени точки. При това се покрива грешката на подборните елементи, съобразно различните импулси за дистанции от 0,25 ÷ 24 Мили. Точността е 10^{-4} , която е висока точност за ремонт.

$$\left| T_{ET} - t_{изм.}(C1') \right| < \varepsilon \quad (3.4.18)$$

Б. Извършва се комбинирана настройка по R^* и C^* , която се отнася предимно за малки дистанции.

Алгоритъмът е същият. Той е разработен в два варианта.

Първи вариант – непълна стъпка.

- 1) Определя се $t_{изм.} = f(R^0, C^0)$;
- 2) Определя се “непълна стъпка“ $\alpha_1 \cdot R^0 \cdot \Delta C$;
- 3) Определя се “непълна стъпка“ $\alpha_2 \cdot C^0 \cdot \Delta R$;
- 4) Цикъл : т.2 , т.3 , т.2 , т.3 ...т.н. до края.

Недостатък: По-трудно може да се управлява процеса при глобална оптимизация на процеса на настройка.

Втори вариант – пълна стъпка (покоординатно спускане).

- 1) Определя се $t_{изм.} = f(R^0, C^0)$;
- 2) При дадено T_{ET1} се образува цикъл и се определя:

$$C^* = C^0 + \Delta C \quad (3.4.19)$$

- 3) При дадено T_{ET2} се образува цикъл и се определя:

$$R^* = R^0 + \Delta R \quad (3.4.20)$$

Недостатък: Може да се наложи допълнителна корекция.

Когато схемната функция има само един вариращ електронен елемент, то настройката се извършва по алгоритъм **А**.

Когато схемната функция притежава два и повече вариращи електронни елемента, то настройката се извършва по комплексен алгоритъм, в който се редуват **А** и **Б** алгоритми според ситуацията.

Изводи към Гл. 3:

1. Получен е достатъчно прост и надежден алгоритъм, даващ възможност да се обвържат предварително зададената схемна функция с областта на настройка на съществуващия елемент. Отчитайки характера на съответните реални явления, се оказва най-удобен метода на стохастическа апроксимация. Той е алгоритмизиран.

2. Разработеният алгоритъм е тестван с реални експлоатационни данни.

3. Определя се практически степента на влияние на отделните елементи върху параметъра на настройвания импулс, също и реда на изменение (вариране) на радио елементите (R^* , C^*), което улеснява практическата реализация на алгоритмите.

4. Прави се опит за въвеждане на стандартизация (унификация) на прилаганите алгоритми – само с промяна на входните данни е възможна приложимост в друга РЛС , което се оказва изключително удобно при ремонт.

5. Тези алгоритми правят възможно пълното изключване на “активното“ участие на човек.

6. Разработените алгоритми – „инструментално средство“ се предлагат да бъдат използвани при ремонт на РЛС

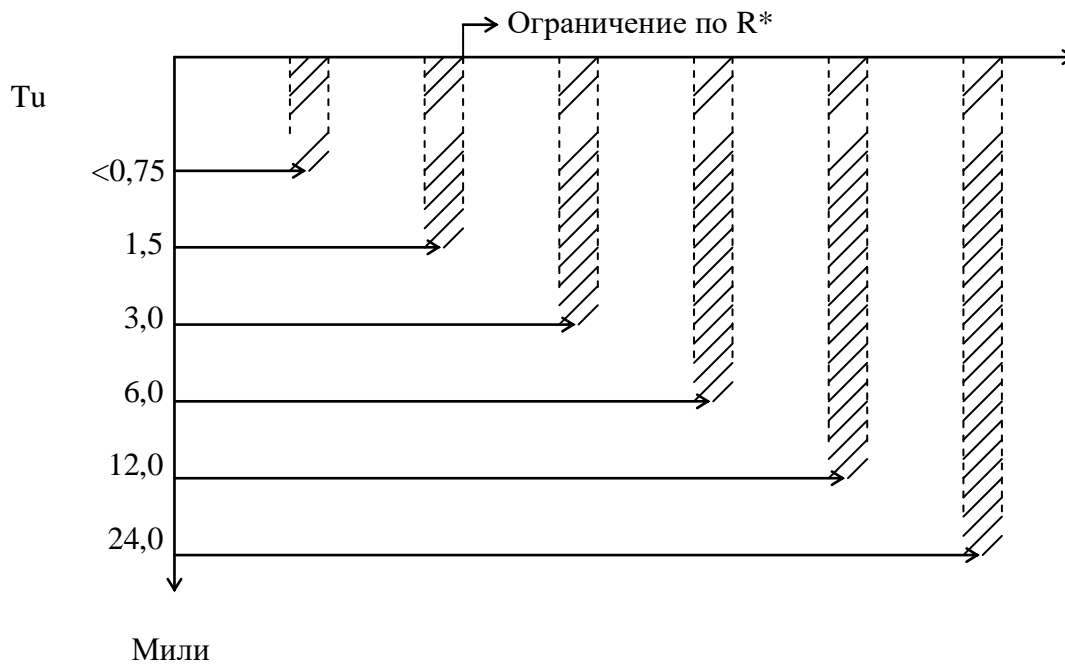
ГЛ.4 Глобална оптимизация на процеса на настройка на РЛС.

4.1. Същност на подхода.

Формализираната постановка на задачата за избор на решение (определяне на оптимални стойности на R^* , C^* ...) за различни разстояния (дистанции) се разглежда като многоалтернативен, многокритериален оптимизационен модел на сложна система.

Процесът на постановка на задачата и съгласуване на съдържателния и формален модел се провежда по описаната схема:

Фиг.4.1. дава съответните допускови области.



Фиг. 4.1. Допускови области.

По Фиг.4.2. се извършва многоалтернативна оптимизация, при наличие на ограничения (допуски), отчитани алгоритмически.

Фиг.4.3. е структурна схема на многокритериална оптимизация.

Фиг.4.4. е структурна схема на многоалтернативна оптимизация с използване на експертни оценки.

По Фиг.4.4., чрез лице приемащо решение (ЛПР), се определя дължината на развивката – дали е оптимална.

Чрез ЛПР (експертни оценки и др.) се определя визуално оптималната дължина на развивката, уточнява се точната продължителност на импулса, която се използва като точен еталон при последваща процедура по Фиг.4.3.

Предварително се сменя зависимостта $L = f(T)$ и зависимостта $T = f(R^*)$, $T = f(C^*)$ за различните дистанции, където (T – продължителност на импулса; L – дължина на развивката).

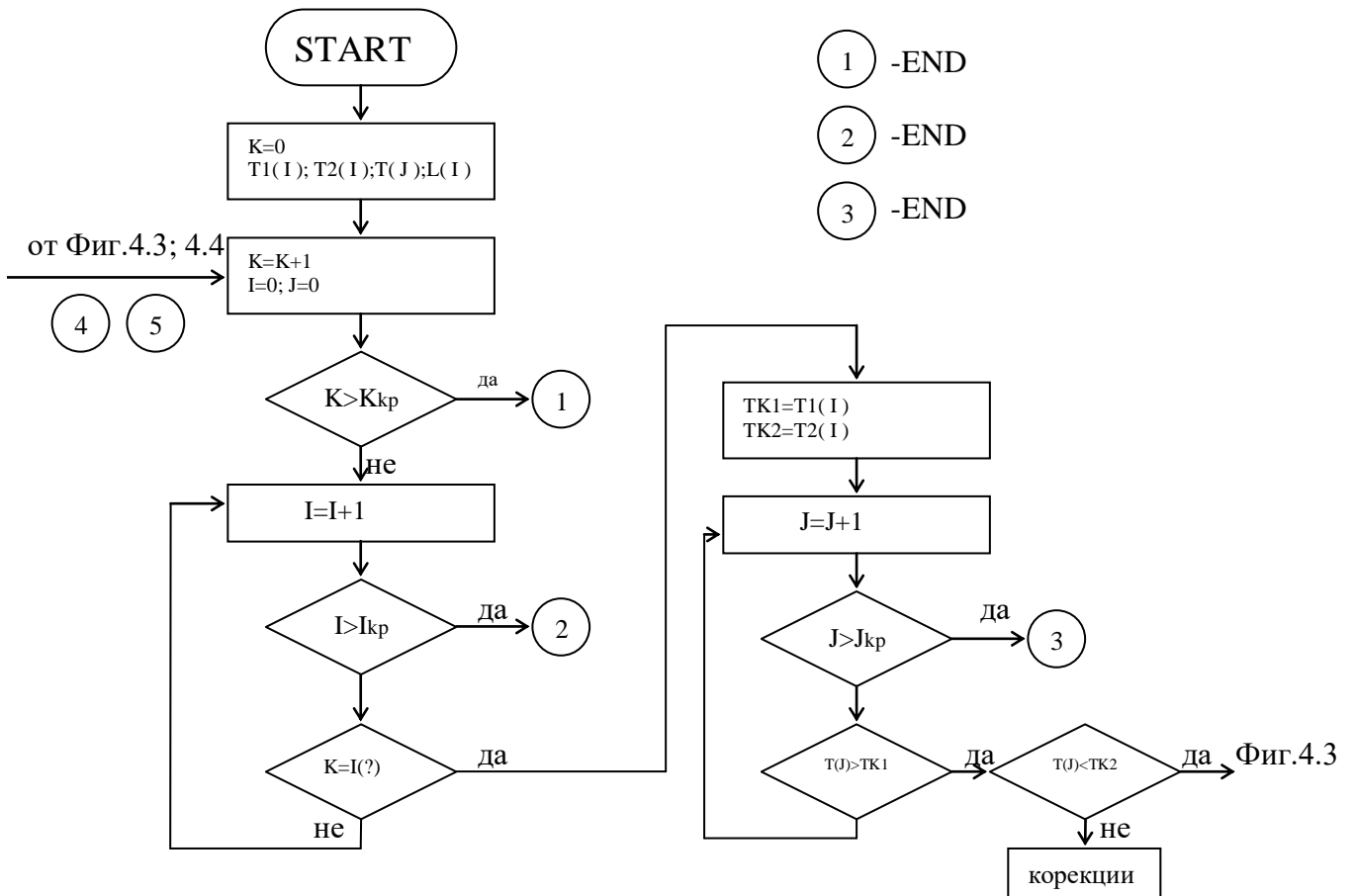
1. Фиг.4.2. – чрез многоалтернативна оптимизация се определя последователността за оптимизация на различните дистанции от Фиг.4.1.

2. ЛПР уточнява реалните граници на развивката – определя съответната действителна дължина на развивката, необходима за процедурата по Фиг.4.3.

3. По Фиг.4.3. чрез номограмата $L = f(T)$ се определя L_{opt} и съответната T_{opt} .

4. По Фиг.4.3. чрез номограмата $T = f(R^*)$, $T = f(C^*)$ следва точно определяне на оптималната стойност на R , C .

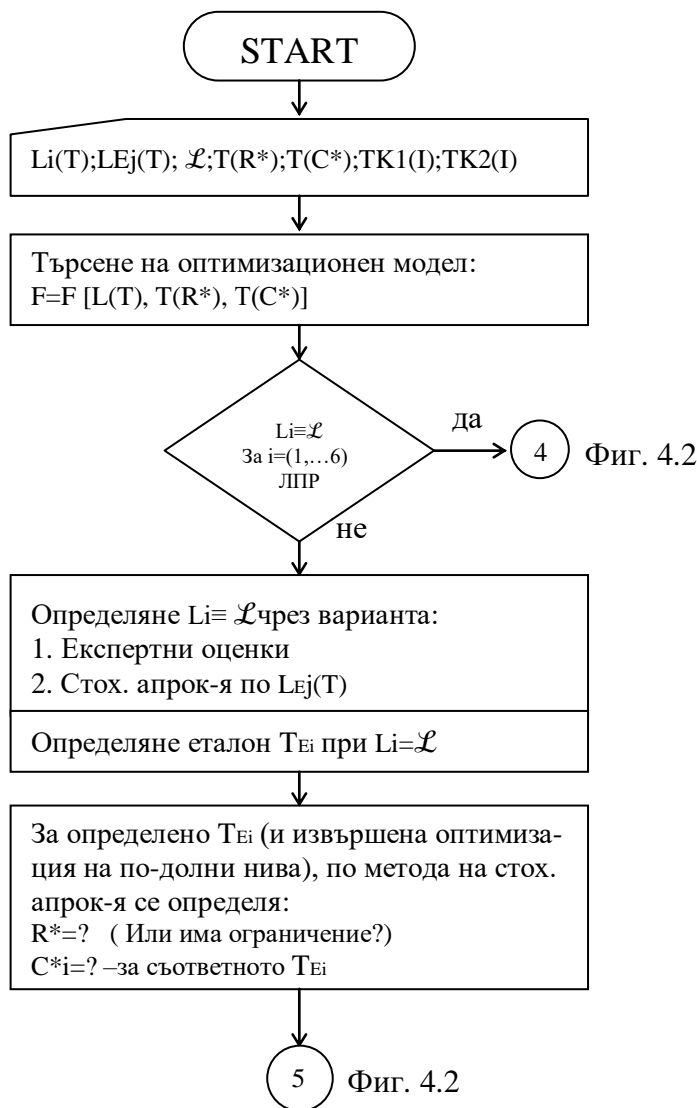
Фигури 4.2., 4.3., 4.4. са комбинирани в управляващ алгоритъм – Фиг.4.5. Структурна схема на многоалтернативна оптимизация по избор на програма на запускане.



Фиг.4.2. Многоалтернативна оптимизация

Методът на построение и решение на задачата за глобална оптимизация на РЛС в разглежданата схема се представя като последователност от решаващи правила указващи зависимост на редицата от въпроси или процедури на “експерименти” с информацията, натрупана в резултат на отговорите от предидущи въпроси, или по резултатите на по-рано проведени процедури на експеримент.

Алтернативата за включване в съответната група (за различни нива), при получен добър резултат, се поставя в съответствие с експертни оценки (за дължината на развивката), булеви променливи (алтернатива за включване за различните дистанции), или стохастически променливи – по номограми.



Фиг.4.3. Структурна схема на многокритериална оптимизация.

Алгоритъмът на задачата за глобална оптимизация се строи във форма на процедури на имитационен експеримент с многоалтернативен оптимизационен модел, осигуряващ екстремална стойност на целевата функция, т.е:

$$\Psi[X_i, L_j(T_j), T_k(R^*), T_k(C^*)] \rightarrow \min \quad (4.1.1)$$

където: X_i – булева променлива.

$$1) X_i = 1, \text{ при} \quad (4.1.2)$$

А) $I \equiv J$ – На поредната дистанция има съвпадение с точно j от определена комбинация

$L_j(T_j)$ за всяка дистанция от 1 до 6 (по Фиг. 4.1.)

Б) $T_1(I) < T_j < T_2(I)$

В) Изпълнение на други ограничения

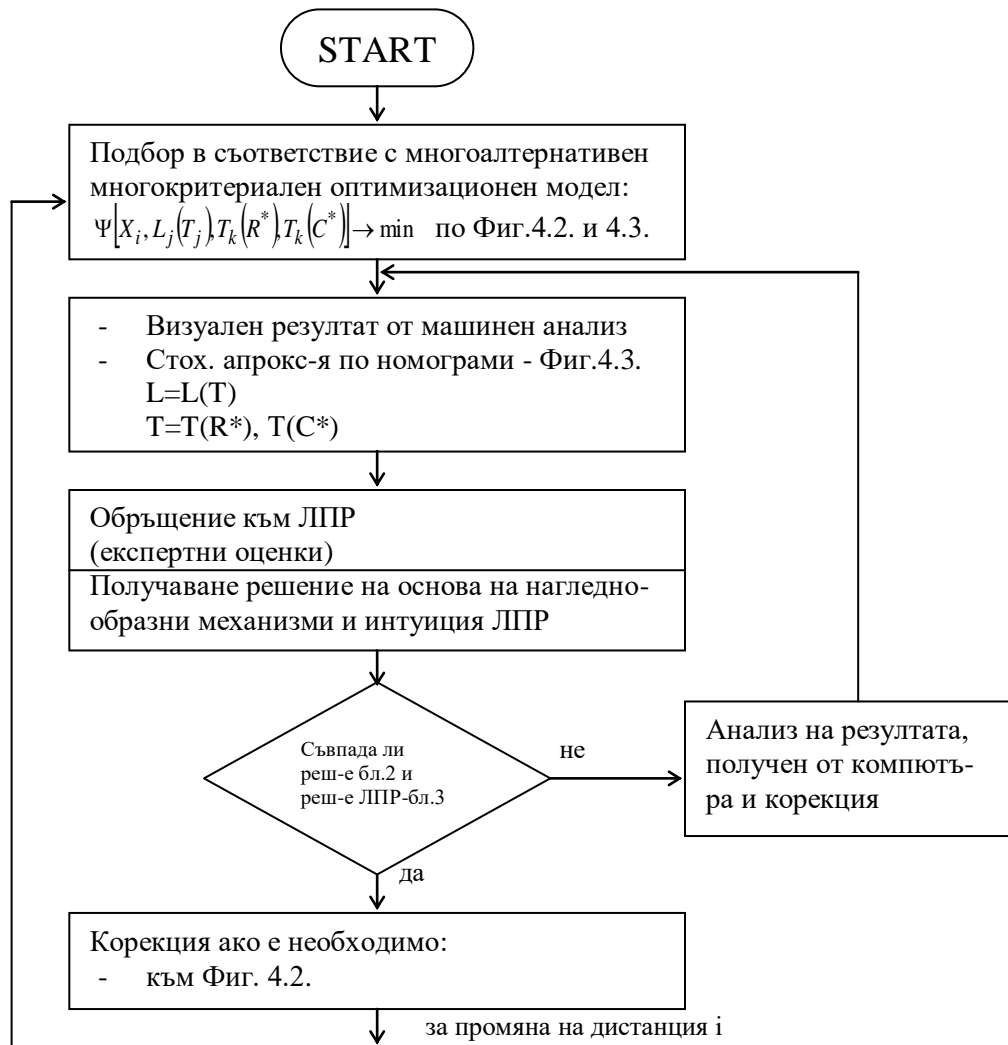
2) $X_i = 0$, при неизпълнение на някое от условия **А), Б), В)**. (4.1.3)

$L_j(T_j)$ се установява точно чрез ЛПР, експертни оценки.

$L[T(R^*), T(C^*)]; L_j(T_j)$ изискват многокритериален характер на оптимизация

$L_j; T_j; R^*; C^*$ – Стохастически величини.

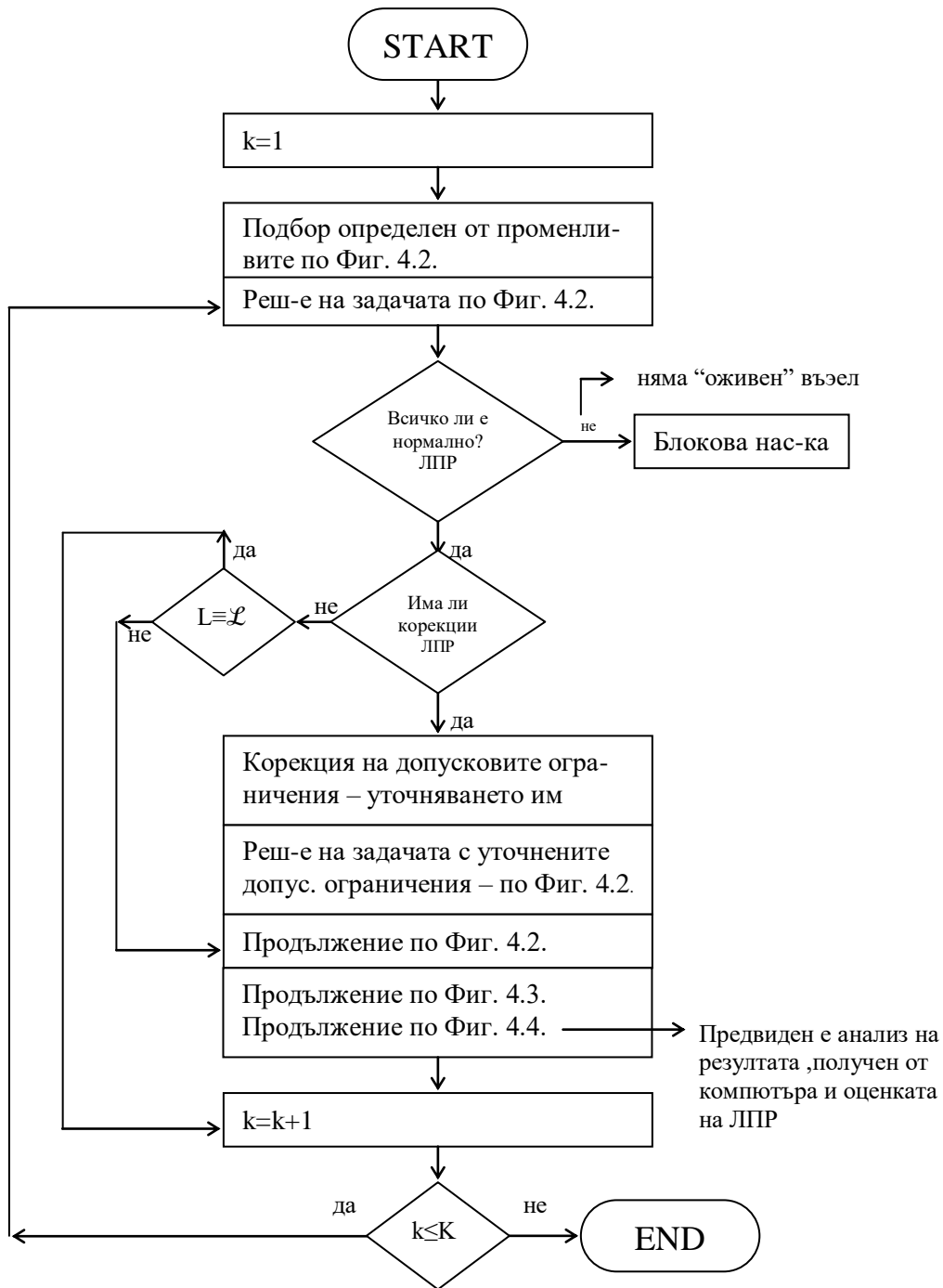
$L_j; T_j$ – Текущи, неоптимални стойности за отделни нива



Фиг. 4.4. Структурна схема на многоалтернативна оптимизация чрез експертни оценки.

За отделните нива (дистанции), чиято последователност е определена, при спазени ограничения за T – алгоритмически отчитани, точната стойност на L (развивка) за големите дистанции зависи от уточнената оптимална стойност на L за малки дистанции.

Глобалността в конкретния случай се разглежда като търсене на оптимум на базата на шест локални оптимума. По този начин автоматично се решава (намира) чисто количествения оптимум.



Фиг. 4.5. Структурна схема на многоалтернативна оптимизация по избор на програма.

Подходът е комбинация от априорен (експертни оценки и различни номограми), аксиоматически (ЛПР, експертни оценки и каталози) и адаптивен (стохастическа апроксимация) метод. Той позволява съвместяване в рамките на цялата оптимизационна процедура, движение както в алгоритмически определени и зависими едно от друго нива X_i (за различни дистанции), така и оптимизиране на $L_j = f [T(R^*), T(C^*)]$.

Етапи на оптимизацията

Етап 1 Априорни изследвания.

За дадено ниво (дистанция), в съответствие с реализацията на стохастичната величина L се сменя зависимостта $L_i(T)$, а също и $T = T(R^*)$, $T = T(C^*)$ – променя се R^* , C^* с използване на правилата: $T = \alpha \cdot R^* \cdot C^*$, определя се $L_i = L_i(T)$ за i – нива.

Провеждането на многоалтернативна оптимизация (за различни нива – съответни дистанции) и многокритериална (за всяко ниво отделно) водят до получаване на глобален оптимум.

Етап 2. Осъществява се с лица приемащи решение.

Пред ЛПР се поставя въпрос “Всички компоненти на вектора Ψ_i т.е. L_i развивка дали имат задоволителни стойности?

В случай на удовлетворителен отговор, решението на проблема е завършено.

В случай на отрицателен отговор се анализира възможността:

$$1. \Psi_i L = f(\Delta L) = f[\Delta L(T)] \rightarrow \min \quad (4.1.4)$$

– Достига се оптимум по L , определя се $T_{\text{еталон}} = T_{\text{opt}}$.

$$2. \Psi_i T = f'(\Delta T) = f'[\Delta T(R^*), \Delta T(C^*)] \rightarrow \min \quad (4.1.5)$$

– Достига се оптимум по T ; определя се R_{opt} ; C_{opt} за постигане на оптимална развивка

ΔL – Отклонение от еталонната стойност на развивката - \mathcal{L}

ΔT – Отклонение от T_{opt} , определено в т.1 по (4.1.4)

Етап 3. Спускане към оптимум.

❖ Провежда се настройка на стойностите:

$$1. L^{+1} = L + \Delta L(T) \quad (4.1.6)$$

$$– \text{Определя се } L^* = \mathcal{L} \text{ при } \Delta \Psi_{iL} \rightarrow \min \quad (4.1.7)$$

L – Дължина на развивката; \mathcal{L} – Даден еталон,

L^* – Оптимална развивка, при която се определя съответното T_{opt} по номограмата $L(T)$.

$$2. \text{Определен е точен еталон (оптимален): } T_E = T_{\text{opt}}$$

$$– \text{Определя се } T^{r+1} = T^r + \Delta T(R^*) + \Delta T(C^*) \quad (4.1.8)$$

$$– \text{Определя се } T^* = T_E, \text{ при } \Delta \Psi_{iT} \rightarrow \min \quad (4.1.9)$$

❖ Следва определяне на R^* , C^* .

$$– \text{Определя се } R^{r+1} = R^r + \Delta R \quad (4.1.10)$$

Определя се оптимално R^* чрез прилагане на метода на стохастическа апроксимация.

$$– \text{Определя се } C^{r+1} = C^r + \Delta C \quad (4.1.11)$$

Определя се оптимално C^* чрез прилагане на метода на стохастическа апроксимация.

Възможно е повишаване на скоростта на сходимост за сметка на управление на избора.

В описаната диалогова процедура се използва опита на експерта, неговата способност да работи с абстрактни и размити понятия при провеждане на автоматизиран анализ с многоалтернативни оптимизационни модели.

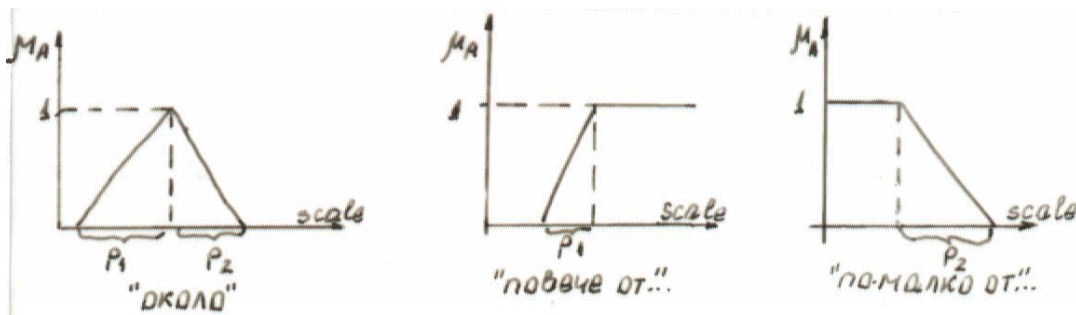
4.2. Подход на оптимизация на процеса на настройка на РЛС с помощта на теорията на размитите множества

Целта е прилагайки теорията на размитите множества при глобална оптимизация на процеса на настройка на РЛС в процеса на нейния ремонт, да се преодолее размитостта като следствие субективизма на човек при вземане на решение за оптималната развивка на РЛС.

Построява се числово представяне на принадлежност на скалите на интервалите.

Геометричният подход на оценяване е за предпочитане за даване на числени оценки. Определяйки функция на принадлежност се приемат стойности в $[0,1]$, а не само в $\{0,1\}$. На всяко измерване, съответстващо на даден квантификатор, се присвоява съответна функция на принадлежност μ_A , която описва в каква степен различните количествени константи принадлежат на размитото множество за дължина на развивката и се свързва със съответния квантификатор. Най-често се прилага сравнителният квантификатор “около”. $\mu_A=1$ означава че съответните константи от скалата напълно принадлежат на множеството.

На Фиг. 4.7. са показани използваните в системата функции на принадлежност, свързани със съответните сравнителни квантификатори: “около”, “повече от...”, “по малко от...”.



Фиг. 4.7. Сравнителни квантификатори

Функцията на принадлежност, свързана с квантификатора “около”, която се използва основно, представлява стилизирано представяне на нормалното Гаусово разпределение.

Параметърът “размах на функцията на принадлежност” (p) е важен атрибут, тъй като промяната на стойността му води до изменение на стръмността на функцията, чрез включване или изключване на нови елементи в размитото множество. В конкретния случай за размаха се задават две стойности:

- p_1 - размах за “повече от x mm развивка” – a mm;
- p_2 - размах за “по малко от y mm развивка” – b mm

Комбинацията от двата размаха дава квантификатора “около”.

Втори параметър, който оказва силно влияние върху броя на интерпретациите и предвид сложната ситуация (стохастически сигнали и размитост) е параметърът праг на функцията на принадлежност, гарантиращ валидност на интерпретацията - т.е. на принадлежност на отделната константа от скалата към множеството валидни стойности на квантификатора. Прагът получава стойности между 0 и 1. Аналогично на размаха, намаляването на стойностите на прага води до получаване на повече (но по нискокачествени) решения, а увеличаването на стойностите му намалява броя на решенията за сметка на повишеното им качество. Конкретна стойност на практика е c .

4.3. Цялостен подход за пълна оптимизация на процеса на настройка на РЛС.

Процесът на постановка на задачата и съгласуване на съдържателния и формален модел се провежда основно по описаните Фиг. 4.2. и Фиг. 4.3.

4.3.1. Разглеждат се различни вариантни подходи:

А. Първоначално идеята за този подход е изложена в Гл. 4.1, а нейното развитие тук се състои в съчетаване на различни варианти на метода на стохастическа апроксимация, разработени в Гл. 3.4, или метод на оптимизация Гл. 3.3. Предлага се подход, описан в Гл. 4.1 с Фиг. 4.2, 4.3 и разновидности в 4.4, 4.5. Това е вариант на хибриден подход, съвместяващ метода на стохастическа апроксимация, експертни оценки и участие на лице приемащо решение ЛПР.

Б. Предлага се подход, описан в Гл. 4.1, който включва Fuzzy logic вместо ЛПР. Схемите от Гл. 4.1 са същите, но процедурата с ЛПР се заменя със съответна процедура на Fuzzy logic.

В. Вариант на хибриден подход, в който на всяка стъпка се преминава последователно през процедурата на стохастическа апроксимация, описана в Гл. 3.4, процедурата на определяне дължината на развивката чрез експертни оценки и процедурата на Fuzzy logic, описана в Гл. 4.2. Получава се постепенно плавно достигане на оптимума. Тук на всяка стъпка се уточнява еталона.

Вариантите на хибридите подходи **А.**, **Б.**, **В.**, осъществени чрез процедурата на оптимизация по Гл. 3.3. е удачно да се приложат при наличие на плавно изменение на R^* (потенциометър), C^* . При дискретно изменение на R^* , C^* се прилагат вариантите на стохастическа апроксимация от Гл.3.4.

4.3.2. Алгоритъмът на задачата за глобална оптимизация се строи във форма на процедури на имитационен експеримент с модела. Многонивовият характер (шест различни дистанции) и многокритериалността на такъв експеримент изискват автоматично търсене при съответни изисквания за развивката, осигуряващи екстремална стойност на целевата функция, т.е:

$$\Psi \left[X_i, L_j(T_j), T_K(R^*), T_K(C^*) \right] \rightarrow \min \quad (4.3.1)$$

$$\text{Или } \Psi_i = \Psi_i \left[L_j(T_j), T_K(R^*), T_K(C^*) \right] = \min \text{ за всяко ниво } i.$$

Глобалната оптимизация на процеса е постигната, когато за всяко ниво е постигнат минимум на критерия Ψ_i , като се следва процедурата:

$$1. \quad \Psi_{iL} = f(\Delta L) = \max |\Delta L(T)| \rightarrow \min \quad (4.3.2)$$

$$\max |\Delta L| = \max |L_i - \mathcal{L}| \quad (4.3.3)$$

Определя се $L_{opt} \approx \mathcal{L} = \mathcal{L}, T_E = T_{opt}$

$$2. \quad \Psi_{iT} = f(\Delta T) = \max |\Delta T(R), \Delta T(C)| \rightarrow \min \quad (4.3.4)$$

$$\max |\Delta T| = \max |T_i - T_{opt}| \quad (4.3.5)$$

Определя се R_{opt}, C_{opt} за постигане на оптимална развивка.

Провеждането на многоалтернативна оптимизация (за различните нива – съответни дистанции) и многокритериална (за всяко ниво отделно) водят до получаване на глобален оптимум.

Същността на подхода на изследване е дадена в Гл. 4.1. Базирайки се на него се прави опит за създаване на нови варианти, използващи Fuzzy logic.

А. Първи подход. Разполага се с варианта на подхода, представен в Гл. 4.1, чрез прилагане на двата варианта на стохастическа апроксимация, представени в Гл. 3.4. Разполага се с варианти на стохастическа апроксимация за вариране на един, два и повече параметъра. Разполага се и с вариант на подхода, представен в Гл. 4.1, чрез прилагане на варианта на оптимизация, представен в Гл. 3.3. Фиг. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 остават същите при прилагане на този подход

Б. Втори подход. В подхода, разгледан в Гл. 4.1, вместо ЛПР се използва Fuzzy logic. Процедурата на многоалтернативна оптимизация по Фиг. 4.2. е същата. Създават се два варианта на подхода, чрез прилагане на двата варианта на стохастическа апроксимация, представени в Гл. 3.4. Създава се и вариант на подхода, чрез прилагане на варианта на оптимизация, представен в Гл. 3.3.

Фиг. 4.1., 4.2. остават същите, а изменението във Фиг. 4.3. е замяна на процедурата на ЛПР с процедура на Fuzzy logic.

Конкретна реализация на Fuzzy logic:

- **p1** - размах за “повече от x mm развивка” - a mm.
- **p2** - размах на “по-малко от y mm развивка” – b mm.
- праг на чувствителност – c .

Етапите на оптимизация – **1 и 2** са описани подробно в Гл.4.1. и остават същите, като **етап 3** се осъществява с процедура на Fuzzy logic.

✓ **Етап 3. С прилагане на Fuzzy logic.**

$$\text{а. } L^{r+1} = L + \Delta L(T) \text{ така че } \mu(L) = c ; \mathcal{L} = L = L_{opt} \quad (4.3.6)$$

Определя се T_{opt} по номограма $L(T)$ – стохастическа апроксимация.

б. Определен е точен еталон – T_E .

$$- T^{r+1} = T^r + \Delta T(R^*) + \Delta T(C^*) \quad (4.3.7)$$

Определя се $T^* = T_E$ при съответни стойности R^* , C^* определени по алгоритъма на стохастическа апроксимация.

$$- R^{r+1} = R^r + \Delta R \quad (4.3.8)$$

Определя се R^* – стохастическа апроксимация.

$$- C^{r+1} = C^r + \Delta C \quad (4.3.9)$$

Определя се C^* – стохастическа апроксимация.

В. Трети подход. На всяка стъпка се минава последователно през процедурата на стохастическа апроксимация $-T(R^*)$, $T(C^*)$, експертни оценки $L_i(T)$ и Fuzzy logic (процедурата на многоалтернативна оптимизация е същата) и се избягва използването на два еталона. Тук също се получават два варианта на подхода, при прилагане на двата варианта на стохастическа апроксимация (пълна и непълна стъпка) по Гл.3.4. и вариант на подхода, при прилагане на варианта на оптимизация по Гл.3.3.

Същност.

1. Определя се T_E за определено ΔR или C .
2. Определя се $R^{r+1} = R^r + \Delta R$ или C .
3. Определя се $T^{r+1} = T^r + \Delta T(R^*) + \Delta T(C^*)$.
4. Определя се съответно L^{r+1} по съответна номограма.
5. Определя се $L^{r+1} \equiv \mathcal{L}$ – процедура Fuzzy logic.
6. Следва т. 1.

При прилагане на различните подходи, водеща е практическата реализуемост, достоверност на оптимизацията и др.

4.3.3. Схема за глобална оптимизация на настройка.

1. Предварително се снемат и са налични номограмите $L_i(T_i)$, при $i=1\div 6$ нива (дистанции), или се ползват експертни оценки, съответни каталози и $T(R^*)$, $T(C^*)$.
2. Измерват се текущите комбинации L_i, T_i при $i=1-6$ различните нива.
3. Чрез експертни оценки и процедура на ЛПП, или Fuzzy logic става сравнение на L_i, \mathcal{L} и се определя пътя на решение на задачата.
4. Решава се първа задача: “Многоалтернативна оптимизация при алгоритмически очертани ограничения” – по Фиг. 4.2. Зададени са $T_1(I), T_2(I)$ редици – съответните двойки дават допусковия интервал за съответните нива (дистанции).
5. Решение на втора задача – “Многокритериална оптимизация за дадени нива” – Фиг. 4.3.

- Стохастическа апроксимация (експертни оценки) за минимизация по $\Psi_{L_i} \rightarrow \min$ при $L_i \equiv \mathcal{L} \rightarrow$ получава се T_{iE} ;

- Стохастическа апроксимация за минимизация по $\Psi_{T_{iE}} \rightarrow \min$ при $R^* \equiv R_{opt}$ или $C^* \equiv C_{opt}$ или и двете при $T_i = T_{iE}$.

Следва процедура на Fuzzy logic.

След всяко успешно излизане от Фиг. 4.3. се сравняват уточнените $L_i(T_i)$, с действителните чрез ЛПП, процедура на Fuzzy logic, или с експертни оценки и се вземат решения за корекции, по Фиг. 4.4.

4.3.4. Схема за експериментални изследвания

1. Експериментално се снема зависимостта (разполага се с априорни данни по нея) $L = f(T)$ и визуално чрез ЛПР се уточнява – $L \leftrightarrow T$.

2. Априорно се получава зависимостта $T = f(R^*)$, $T = f(C^*)$ като:

а. Извършва се настройка по R ($C = \text{const}$) по алгоритъма, даден в Гл.3.4.:

1. Начално условие: $C1 = \text{const.}$, $R1$, $T_{ET} = T3$, $A1 = \alpha$ - коеф., **I, J** - броячи

2. Определя се $T_{изм} = T$ по $T = f(R)$ (табл.). Получава се:

$$R^1 = R^0 + \rho(T3 - T_{изм}), \text{ където } \rho = \frac{1}{C1 \cdot A1 \cdot J}; \rho - \text{коеф.}$$

3. Определя се:

$$T1 = T(I) + \frac{T2 - T1(I)}{R2 - R(I)}(R1 - R(I)) = T1(I) + \frac{T1(I+1) - T1(I)}{R(I+1) - R(I)}(R1 - R(I)) = F(C1, R1 + \Delta C1).$$

4. Образува се итерационен процес, при който се уточнява R^* .

б. Извършва се настройка по C ($R = \text{const}$) по алгоритъма, даден в Гл.3.4.:

1. Начално условие: $C1 = \text{const.}$, $R1$, $T_{ET} = T3$, $A1 = \alpha$ - коеф., **I, J** - броячи

2. Определя се $T_{изм} = T$ по $T = f(C)$ (табл.). Получава се:

$$\Delta C^1 = \rho(T3 - T_{изм}(C^0)), \text{ където } \rho = \frac{1}{R1 \cdot A1 \cdot J}; \rho - \text{коеф.}$$

3. Определя се $C^1 = C^0 + (T3 - T1) / (R1 \times A1 \times J)$, където:

$$T1 = T(I) + \frac{T2 - T1(I)}{C2 - C(I)}(C1 - C(I)) = T1(I) + \frac{T1(I+1) - T1(I)}{C(I+1) - C(I)}(C1 - C(I)) = F(C1 + \Delta C1, R1).$$

4. Образува се итерационен процес, при което се уточнява C^* за съответните дистанции, при ограничение на R^* – уточнено преди това.

Изводи към Гл. 4:

Преимуществото на изброените подходи при осъществяване на глобална оптимизация на процеса на настройка на РЛС е:

- Възможната промяна на различните модули за оптимизация, с цел по точно адаптиране към конкретните условия на всяка РЛС.
- Прави се опит за въвеждане на стандартизация (унификация) на прилаганите алгоритми – само с промяна на входните данни е възможна приложимост в друга РЛС, което е удобно на практика.
- С промяна на размаха и прага на функцията на принадлежност, процедурата на Fuzzy logic може да се използва на различни места:
 - включена като отделна процедура в схемата за Многоалтернативна оптимизация – Фиг. 4.2., се получава модификация на същата.
 - вместо ЛППР – където е възможно.
 - включена в модификацията на Фиг. 4.2. – Многоалтернативна оптимизация, даваща възможност за оптимизация на радиоелектронни възли извън РЛС.

1. Синтезиран е подход за глобална оптимизация на процеса на настройка на РЛС в няколко варианта – нови хибридни подходи.
2. Показани са техните предимства, ситуация и място на приложение. Направен е сравнителен анализ за приложение на използваните подходи.
3. Проектирана е схема на действие, разкриваща актуалността на проблема, необходимост от внедряване на различни варианти на хибридни подходи за съответните случаи.
4. Изработването на схема и функционален алгоритъм за вземане на решение в процеса на оптимизация се обвързва с разработката на методи, схеми и средства за обработка на стохастически сигнали на отделни възли.
5. За оценка на ефективността на приложение при решение на задачите за оптимизация е показан вариант на замяна на един подход с друг.
6. Обосновава се изборът на хибридният подход и схема в конкретния отделен случай – основа за решение на отделните задачи.
7. Отделните хибридни подходи са обвързани със съответните технически средства от АИИС и водят до достоверност на решенията.
8. Синтезирани са конкретни алгоритми и схеми за действие по отделните хибридни подходи за оптимизация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Върху развитието на системите за автоматизация на ремонта влияят много фактори, но определящи между тях са свързаните със системното проектиране. Методите, моделите и програмните средства, създавани и използвани в системното проектиране, заемат основно място в компютърното проектиране (автоматизация на проектирането), т.е. в системите подпомагащи процеса на вземане на решения. Като елемент на разглежданата система за компютърно проектиране на система за автоматизация, могат да се включат средствата на теоретико-методичното, информационното, програмното, техническото и организационното осигуряване.

Икономическият и социалният ефект са свързани и обусловени един от друг. Социалният резултат от автоматизацията на ремонта може да се търси в направление на прогресивно изменение в характера и съдържанието на труда, свързани с повишаване на неговата интелектуализация. На съвременния етап, основни и перспективни остават такива конструкторско-технологически решения, които водят към снижение на трудоемкостта на изготвяне и стойност, към повишение на технологичността и осигуряват възможност за автоматизация на ремонта.

Целта на разработката е да покаже практическата ориентация на изграждане на хибридна система за оптимизация, на базата на количествено търсене на оптимум и методите на размитата логика.

Системата е ориентирана за ремонт на печатни платки за електронни изделия (в частност РЛС). Този въпрос е от изключително важно значение за модернизацията на технологиите на ремонт на печатни платки и комплектоване на изделията и е на постоянното внимание на много водещи фирми по света. При това решаването на задачата се базира на определени ограничителни условия, които се задават още в процеса на проектирането. Решаването на конкретни задачи, произтичащи от ограниченията, не променя характера на подхода, изложен в разработката.

Глобалността в конкретния случай се разглежда като търсене на оптимум, на базата на шест локални оптимума. По този начин автоматично се решава (намира) чисто количествения оптимум.

Приемането на окончателното решение е свързано с участието на оператор, чието поведение може да спомогне за неговата крайна ефективност, отчитаща възможни донастройки на локалните оптимуми. Предложени са алгоритми илюстриращи ефективността.

СПРАВКА ЗА ОСНОВНИТЕ ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИЯТА

При разработване на задачите, посочени в дисертацията, са постигнати резултати, чийто приноси могат да бъдат формулирани по следния начин:

1. Опит за създаване на методика за изследване оптимизацията на процеса на настройка на РЛС. Методиката се отнася за настройка на ниво стъпало, блок (платка), прибор и на цялата РЛС.

2. При провеждане на изследванията е използван системен подход като методология, в резултат на която е създадена организация на ремонтните тестови последователности, осигуряващи процеса на настройка на ниво стъпало, блок, прибор, цялата РЛС.

3. За настройваните стъпала работещи в статичен режим е предложен математичен модел във вид на схемна функция, даваща връзката между търсените параметри на сигналите (изисквани по ТУ) и съответните настроечни компоненти от схемите. Чрез метода на последователното приближение, на база на търсене на минимум на критерия, основан на разликата между истинската стойност на характеристиката на системата (стъпалото) и нейната оценка, се достига до оптимум.

4. За схеми включващи активни и реактивни елементи са предложени модел и алгоритъм на базата на стохастическа апроксимация. Този метод осигурява подбор на елементите от предварително зададени редици от стойности.

5. За нарастване бързодействието на алгоритъма, методът на стохастическа апроксимация може да се комбинира с метода на покоординатното спускане. Основание за това е наличието на няколко вариращи елемента в реалната схема на настройваната система, като настройката се извършва чрез последователно вариране на стойностите на настройваните елементи.

6. Необходимостта от повишаване на производителността на процеса на настройка при ремонт, налага съкращаване на общото време за настройка на цялата станция, като при това трябва да се удовлетворят изискванията за точност, предвидени в техническото задание. Предлага се непълна стъпка на комбинация от методите на стохастическа апроксимация и покоординатното спускане, за едновременно вариране на стойностите на използваните елементи (R^* , C^* ... - дадени по ТУ) на електронни схеми.

7. Решена е задачата за глобална оптимизация на процеса на настройка на РЛС, изразяваща се в едновременно достигане на шест (няколко) локални оптимума.

Алгоритъм:

а. Предлага се процедура на многоалтернативна оптимизация за избор на настройка на параметъра “дистанция”. В резултат се достига до уточняване на съответната дистанция i за последваща процедура б.

б. Предлага се процедура на многокритериална оптимизация за настройка на развивката на съответната дистанция.

Предложена е процедура на хибриден подход, организирана по съответен начин с цел автоматично търсене на движението към съответния оптимум по векторен критерий, включваща количествени модули от булеви променливи (за включване на съответна дистанция), експертни оценки, размити променливи (за дължина на развивката на съответната дистанция) и стохастически величини (за параметрите на съответните сигнали от възела).

8. За нарастване на ефективността на автоматизацията на настройката е предложен хибриден подход, осигуряващ значителна адекватност на ситуацията: “настройка на РЛА” и избора на решение, на базата на следните възможности:

А – Базов вариант, включващ ЛПП, с което се осигурява необходима точност на процесите на настройка;

Б – Вариант с размита логика, при което е алгоритмизиран дългогодишния опит на операторите, натрупан в ремонтни условия, при настройка на подобни процеси. При това се постига опростяване на алгоритмите и увеличаване на бързодействието в системата;

В – Вариант, предвиждащ комбинация между методите на експертните оценки, размитата логика и стохастическата апроксимация, увеличаващ възможностите за намиране на алгоритми с по-високо бързодействие и по-висока надеждност в процеса на работата при ремонт.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

1. **Guglev E.**, Dachev Y., Stochastic Approach to Optimize the Setting of Radiolocation Stations at Repair, *Journal of Marine Technology and Environment*, Constanta, Vol.2, 2017, pp. 33 - 37, ISSN 1844-6116
2. **Guglev E.**, Alexandrov Ch., General approach to optimize settings of ship radars repair procedures, [MATEC Web of Conferences](#) 234:01008 (2018), BulTrans 2018, DOI: 10.1051/matecconf/201823401008
3. Alexandrov Ch., Dachev Y., Dimitrakiev D., **Guglev E.**, An Approach to Optimize the Setting Process of Radar Components at Repair, *Journal "Information Technologies and Control"*, Vol. 1-2018 (под печат), Print ISSN 1312-2622, Online ISSN 2367-5357

Декларация за оригиналност

от Евгени Стоянов Гуглев

Във връзка с провеждането на процедура за защита на дисертация, декларирам, че представената от мен дисертация за получаване на образователна и научна степен „доктор” на тема „Автоматизация на процесите на настройка на радиолокационните станции при ремонт” е оригинален авторски труд.

18.04.2019г.

Декларатор:

/ инж. Е. Гуглев /

*A B S T R A C T***AUTOMATION OF THE SHIP RADAR SETTING PROCESSES AT REPAIR**

Author: Evgeni Stoyanov Guglev

The imposition of automated information measuring systems (AIMS) for the repair of radio electronic equipment is greatly stimulated by the modern requirements for high quality and minimal cost which necessitates the application of the latest achievements in the automated systems for quality control of electronic components.

Under the conditions of an up-to-date, progressive economy, the trends of innovation in the automation of the repair are related both to the volume of the functions performed and to the number and type of the components and subsystems, which solve the issues of the necessary technological renovation depending on field of application – ship radar repair.

The solution of the above mentioned problem is to be divided into the the following subtasks:

- Tasks for searching these parameters of electronic components which provide local extreme characteristics when setting the radiolocation signals (required by the technical specifications) and are related to determining the parameters of the components providing the required characteristic.
- Another type of the solved tasks is related to the search for a global optimum for the length of the scanning (required by the technical conditions). **Exact selection procedures** and the use of a **hybrid approach** to global (general) optimization are applied, which is to find several quantified defined local optimums.

The “work areas” method is used in the development of a setup methodology in laboratory and operational conditions, whereby a faster localization of the tolerance ranges of the selected adjustable elements from the electronic scheme is achieved and the setting is eased.

A new information technology for the ship radar setting process has been developed, based on which an algorithm for the multi-alternative optimization procedure is presented.

Modern methods are used to optimize the ship radar setting process, namely: stochastic optimization, expert judgments and fuzzy logic in combination with other methods.

An approach for global optimization of ship radar setting process is synthesized in several options – new hybrid approaches. Their advantages, situation and place of application are shown. A comparative analysis has been made to apply the approaches used.

The elaboration of a scheme and a functional algorithm for decision making in the optimization process is linked to the development of methods, circuits and means for processing stochastic signals of individual components.

To evaluate the application performance during optimization tasks decision , it is presented a variant of replacing one approach with another.