



**УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ**

**мр Војкан Радоњић, дипл.инж.ел.**

**ДЕТЕРМИНИСАЊЕ МОДЕЛА ТЕХНОЛОГИЈЕ  
РАДИО-РЕЛЕЈНИХ УРЕЂАЈА СА АСПЕКТА  
УНАПРЕЂЕЊА ТЕХНОЛОШКИХ ПРОГРАМА**

*-докторска дисертација-*

Чачак, 2015.г.

<b>ИДЕНТИФИКАЦИОНА СТРАНИЦА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ</b>
<b><i>I. Аутор</i></b>
Име и презиме: Војкан Радоњић
Датум и место рођења: 01.03.1969.г., Чачак
Садашње запослење: Технички директор у Техничком ремонтном заводу "Чачак", Чачак
<b><i>II. Докторска дисертација</i></b>
Наслов: Детерминисање модела технологије радио-релејних уређаја са аспекта унапређења технолошких програма
Број страница: 178
Број слика: 108
Број библиографских података: 157
Установа и место где је рад израђен: Универзитет у Крагујевцу, Факултет техничких наука Чачак
Научна област (УДК): 621.38+658.5] (043.3)
Ментор: др Слободан Ђукић, редовни професор, Факултет техничких наука Чачак
<b><i>III. Оцена и одбрана</i></b>
Датум пријаве теме: 27.10.2014. године
Број одлуке и датум прихватања докторске дисертације: IV-04-51/11 од 11.02.2015. године
Комисија за оцену подобности теме и кандидата: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. др Слободан Ђукић, редовни професор, Факултет техничких наука Чачак</li> <li>2. др Данко Јовановић, ванредни професор, Војна академија Београд</li> <li>3. др Аленка Миловановић, ванредни професор, Факултет техничких наука Чачак</li> </ol>
Комисија за оцену докторске дисертације: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. др Јерослав Живанић, редовни професор, Факултет техничких наука Чачак</li> <li>2. др Слободан Ђукић, редовни професор, Факултет техничких наука Чачак</li> <li>3. др Синиша Ранђић, редовни професор, Факултет техничких наука Чачак</li> <li>4. др Данко Јовановић, ванредни професор, Војна академија Београд</li> <li>5. др Аленка Миловановић, ванредни професор, Факултет техничких наука Чачак</li> </ol>
Комисија за одбрану докторске дисертације: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. др Јерослав Живанић, редовни професор, Факултет техничких наука Чачак</li> <li>2. др Слободан Ђукић, редовни професор, Факултет техничких наука Чачак</li> <li>3. др Синиша Ранђић, редовни професор, Факултет техничких наука Чачак</li> <li>4. др Данко Јовановић, ванредни професор, Војна академија Београд</li> <li>5. др Аленка Миловановић, ванредни професор, Факултет техничких наука Чачак</li> </ol>
Датум одбране дисертације:

# С А Д Р Ж А Ј:

<b>1.</b>	<b>УВОД .....</b>	<b>1</b>
1.1	Концепт истраживања .....	1
1.2	Предмет истраживања .....	2
1.3	Хипотезе истраживања .....	3
1.4	Преглед стања у подручју истраживања .....	4
1.5	Значај и циљ истраживања са становишта актуелности у области истраживања .....	5
1.6	Методе истраживања .....	6
1.7	Очекивани резултати докторске дисертације .....	7
1.8	Садржај дисертације .....	7
<b>2.</b>	<b>КОНЦЕПЦИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ РАДИО-РЕЛЕЈНИХ УРЕЂАЈА СА АСПЕКТА ОДРЖАВАЊА .....</b>	<b>9</b>
2.1	Намена уређаја .....	9
2.2	Технички подаци уређаја ГРЦ 408Е .....	13
2.3	Конструктивне карактеристике уређаја .....	14
2.4	Конструктивни састав и опис комплета уређаја .....	16
2.5	Принцип рада уређаја .....	18
2.6	Битна својства и концепт израде саставних модула .....	20
<b>3.</b>	<b>МОДЕЛ ТЕХНОЛОГИЈЕ ОДРЖАВАЊА РАДИО-РЕЛЕЈНИХ УРЕЂАЈА .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Модел технологије најнижег нивоа одржавања .....</b>	<b>23</b>
3.1.1	Модел технолошке операције дефектације – самотестирања .....	23
3.1.2	Надгледане (мерене) величине уређаја .....	30
3.1.3	Резултати дефектације у склопљеном стању .....	31
3.1.4	Модел технолошког поступка најнижег нивоа одржавања .....	33
<b>3.2</b>	<b>Модел технологије средњег нивоа одржавања .....</b>	<b>36</b>
3.2.1	Мерна опрема за дефектациона и завршна мерења радио-релејног уређаја .....	37
3.2.2	Модел технолошке операције мерења параметара уређаја на тест станици .....	39
3.2.3	Модел приказа, објашњења и коришћења резултата мерења са тест станицом у поступку дефектације уређаја .....	39
3.2.4	Опрема за реализацију претпостављеног модела технологије .....	49
3.2.5	Модел технолошког поступка средњег нивоа одржавања .....	51
<b>3.3</b>	<b>Модел технологије највишег нивоа одржавања .....</b>	<b>57</b>
3.3.1	Модел технолошког поступка дефектације модула уређаја .....	58
3.3.2	Модел технолошких операција за додатну проверу функционалне исправности .....	64
3.3.3	Контролно-мерна документација .....	72
3.3.4	Модел технолошког поступка највишег нивоа одржавања радио-релејног уређаја .....	73
3.3.5	Опрема за реализацију детерминисаног модела технологије .....	81
3.3.6	Резиме за претпостављени модел технологије највишег нивоа одржавања .....	82
3.3.7	Примена детерминисаног модела технологије одржавања RRU .....	83
<b>3.4</b>	<b>Модел технологије превентивног и корективног одржавања путем радио-релејног линка .....</b>	<b>94</b>

3.4.1	Концепт модела .....	94
3.4.2	SNMP протокол .....	96
3.4.3	Рутирање унутар мреже радио-релејних уређаја .....	96
3.4.4	Реализација апликације испомоћи нижим нивоима одржавања .....	97
3.4.5	Моделовање и резултати моделовања .....	99
3.5	Поузданост и погодност за одржавање .....	102
3.5.1	Ефективност и њени параметри .....	102
3.5.2	Поузданост уређаја .....	103
3.5.3	Погодност за одржавање уређаја .....	108
<b>4.</b>	<b>МОДЕЛ ОРГАНИЗАЦИЈЕ ОДРЖАВАЊА РАДИО-РЕЛЕЈНИХ УРЕЂАЈА .....</b>	<b>110</b>
4.1	Формирање варијанти организације одржавања .....	110
4.2	Критеријуми за вредновање варијанти система одржавања .....	111
4.3	Начин дефинисања модела одржавања .....	111
4.4	Оцена варијанти организације одржавања .....	112
4.4.1	Метода PROMETHEE II .....	112
4.4.2	Метода аналитичких хијерархијских процеса (АНР) .....	115
4.4.3	Комбинација метода АНР и PROMETHEE II .....	118
4.5	Модел организације одржавања RRU и његова оптимизација .....	119
4.5.1	Варијанте организације одржавања .....	120
4.5.2	Прорачуни у моделу организације одржавања .....	121
4.6	Имплементација метода вишекритеријумске анализе и резултати .....	122
4.6.1	Имплементација математичке методе PROMETHEE II .....	122
4.6.2	Имплементација софтверског модела методе PROMETHEE II .....	124
4.6.3	Имплементација математичког модела методе аналитичких хијерархијских процеса .....	127
4.6.4	Имплементација софтверског модела методе АНР .....	129
4.6.5	Имплементација комбинације метода АНР и PROMETHEE II .....	133
<b>5.</b>	<b>МОДЕЛ УНАПРЕЂЕЊА КОНСТРУКЦИЈЕ RRU МОДЕРНИЗАЦИЈОМ АНАЛОГНОГ ФИЛТРА .....</b>	<b>136</b>
5.1	Апроксимација емпиријске расподеле различитим функцијама расподеле	136
5.1.1	Вејбулова расподела .....	139
5.1.2	Експоненцијална расподела .....	140
5.1.3	Релијева расподела .....	140
5.1.4	Нормална расподела .....	142
5.2	Одређивање функције поузданости саставних модула уређаја RRU-9В	144
5.2.1	Процењене вредности показатеља поузданости модула појачавача .....	144
5.2.2	Апроксимација емпиријске расподеле различитим функцијама расподеле .....	145
5.2.3	Процењена вредност показатеља поузданости осталих модула .....	147
5.3	Одређивање функције поузданости уређаја ГРЦ 408Е .....	148
5.4	Искуства из одржавања модула филтра А19 .....	150
5.5	Постојеће конструктивно решење аналогног RF филтра .....	152
5.6	Предлог модернизације RF филтра .....	153

5.7	Резултати предложене модернизације аналогног филтра .....	156
<b>6.</b>	<b>ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА .....</b>	<b>158</b>
6.1	Научни допринос дисертације .....	159
6.2	Доказивање главних хипотеза .....	160
6.3	Предлог даљих истраживања .....	161
<b>7.</b>	<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>163</b>
	<b>ПРИЛОЗИ .....</b>	<b>169</b>

# 1 УВОД

## 1.1 Концепт истраживања

Радио-релејни уређаји за пренос говора и података су све комплекснији, непрестано се усавршавају и омогућују бржи пренос података. Због тога све више на значају добија и технологија одржавања, тј. процес који омогућава управљање техничким стањем и поузданошћу уређаја у току читавог његовог животног циклуса.

У претходном периоду Војска Србије је набавила савремене радио-релејне уређаје произвођача "Elbit System Tadiran" из Израела. Уређаји омогућују доступност информација у реалном времену, већи капацитет, бржи пренос података и лакше одржавање уређаја. Истовремено, омогућено је напуштање нижег фреквенцијског опсега и прелазак са радом у виши фреквенцијски опсег.

Да би уређај био стално расположив, тј. у оперативној употреби, неопходно је анализирати што више информација из експлоатације уређаја и на основу закључака константно унапређивати све процесе, укључујући и модернизацију уређаја. Поузданост уређаја мора се стално одржавати на потребном нивоу. Потребан ниво поузданости уређаја обезбеђује се адекватним системом одржавања.

Постоје развијени различити облици система одржавања. Тренд код савремених земаља је напуштање традиционалног превентивног одржавања и све већа примена одржавања према стању. Одржавање према стању је у потпуности усклађено са конструктивним и техничким карактеристикама уређаја. Дијагностика се спроводи ради обезбеђења коректног функционисања радио-релејног уређаја. На бази измерених одговарајућих мерних величина спроводе се мере локализације грешке, отказа, отклањања отказа, калибрације, подешавања и оправке модула.

У последњих неколико година процес глобализације и брзи развој комуникационих и информационих технологија су знатно утицали на технологију одржавања. Због тога се мора пратити развој информационо-телекомуникационих технологија. Самим тим и корисници радио-релејних уређаја, тј. персонал одржавања који је задужен за одржавање уређаја мора бити упућен у нове информационо-технолошке трендове. Главни циљ информационе и телекомуникационе технологије је да се омогући брзо и лако одржавање уређаја у сваком погледу, како би се задржао захтевани ниво поузданости и готовости уређаја.

Без примене информационих технологија данас се не може замислити ниједно савремено техничко средство. Захваљујући томе, дијагностика стања уређаја, софтверско управљање радом модула, примена дијагностике и аутоматског мерног места у технологији одржавања постају веома актуелни. Могућност приступа дијагностичким подацима и њихова употреба у функцији одржавања и модернизације уређаја представљају предност. Потребно је обезбедити да технологија радио-релејних уређаја заснована на овим постулатима, буде једноставна, примењива и ефикасна, чиме се обезбеђује техничка исправност уређаја.

Данашња пракса одржавања техничких средстава, при унапред тешко предвидивим отказима, је захтевна у смислу ангажовања људства и трошкова одржавања. Због тога је потребно истражити да ли се детерминисањем модела технологије може дати допринос успостављању адекватног система одржавања савремених телекомуникационих уређаја.

Одржавање радио-релејних уређаја у задатим границама техничких карактеристика и на потребном нивоу поузданости подразумева да се појаве стања у отказу минимизују или потпуно елиминишу. У циљу обезбеђења жељеног нивоа поузданости, односно максималне искоришћености ресурса капацитета, потребно је истражити и системски успоставити оптималну технологију и организацију одржавања. Резултати истраживања имају потенцијал да рационализују и унапреде систем одржавања.

## 1.2 Предмет истраживања

Предмет истраживања је детерминисање модела технологије дигиталних радио-релејних уређаја на основу конструктивних и техничких карактеристика дигиталног радио-релејног уређаја. Радио-релејни уређај је дизајниран као дигитални вишеканални уређај MCR (**M**ulti **C**hannel **R**atio). По конструкцији припада ALL INDOOR концепту, односно израђен је као један блок у коме су процесно повезани модули за обраду сигнала. Управљање радом модула и међусобна комуникација обавља се од стране модула A14 CPU (централна процесорска јединица). Управљачке функције и процесирање сигнала изводи се:

- микропроцесорима серије (PC-104),
- програмибилним колима CPLD (**C**omplex **P**rogrammable **L**ogic **D**evice) и
- FPGA (**F**ield **P**rogrammable **G**ate **A**rray) колима.

Сва наведена кола су израђена у VLSI (**V**ery **L**arge **S**cale **I**ntegration) технологији. Софтверско управљање радом модула из централне процесорске јединице омогућује реализацију самотестирања исправности уређаја и ближу локацију неисправног модула. Генерисањем одређеног програма за дефектацију исправности уређаја (самотестирање) проверава се исправност уређаја и на тај начин се користе позитивне конструктивне карактеристике уређаја. Један део модела технологије заснован је на софтверском тестирању исправности уређаја, који је омогућен повољним конструктивним карактеристикама уређаја. Други део модела технологије базира се на мерењу битних параметара уређаја помоћу аутоматског мерног места. Измерена дозвољена вредност параметара уређаја омогућује исправан и поуздан рад уређаја. Аутоматско мерно место, кога чини 11 најсавременијих мерних инструмената софтверски управљаних од стране програма инсталираног на рачунару и који је у функцији тестирања, омогућује следеће: мерење осетљивости пријемника за квадратурну дискретну фазну модулацију QPSK (**Q**uadrature **P**hase **S**hift **K**eysing) сигнала и квадратурну амплитудну модулацију 16QAM (**Q**uadrature **A**mplitude **M**odulation) сигнала, мерење излазне радио-фреквентне (RF) снаге за QPSK и 16QAM модулацију, мерење потрошње уређаја, мерење BER грешке у преносу сигнала (**B**it **E**rror **R**atio), проверу напона напајања, испитивање опсега једносмерног напона, проверу позива између два уређаја у линку, проверу рада у ХИТНОМ моду, мерење предајне и пријемне фреквенције, мерење параметара службеног канала и др.

Помоћу аутоматског мерног места врши се мерење око 150 различитих параметара уређаја, чијом анализом се оцењује исправност уређаја и ближе одређују евентуалне неисправности саставних модула. Саставни део претпостављеног модела технологије представља анализа измерених параметара уређаја.

Истраживања су обухватила и детерминисање оптималног модела организације одржавања који обезбеђује примену детерминисаног модела технологије. Даља истраживања биће усмерена на примену детерминисаног модела технологије код одржавања дигиталних радио-релејних уређаја путем радио-релејног линка. Наиме, приступ централној процесорској јединици уређаја која управља самотестирањем уређаја, омогућен је са SYSCON<sup>1</sup> портом, *Baseband*<sup>2</sup> портом или радио-релејним линком, при чему се за сваку врсту рада (E1, E2, 4E1)<sup>3</sup> додељује одговарајућа IP

<sup>1</sup> SYSCON port – конектор на уређају преко којег је омогућен приступ процесорској јединици или модулу A14.

<sup>2</sup> *Baseband* port – конектор на уређају преко кога подаци са уређаја који ради у основном опсегу долазе до модула A14.

<sup>3</sup> E1- врста рада при којој је брзина размене података 2048 kb/s, 4E1 – врста рада при којој се размена података обавља преко 4 независна канала брзином од по 2048 kb/s, E2 – врста рада при којој је брзина размене података 80448 kb/s.

(Internet Protocol) адреса. Комуникација између радио-релејних уређаја и управљачког рачунара остварује се помоћу SNMP (Simple Network Management Protocol) протокола. SNMP протокол је популарни мрежни протокол. Користи се за комуникацију између управљачког рачунара и радио-релејних уређаја, који сами по себи представљају рутере. На основу IP адресе, уређај као рутер одређује локацију уређаја у радио-релејној мрежи коме су послати подаци и прослеђује послате податке ка лоцираном уређају. Након реализованог самотестирања, путем SNMP протокола, врши се пренос података о измереним параметрима уређаја до управљачког рачунара. На основу њих врше се потребне анализе и доносе закључци о исправности уређаја. Овакав модел технологије олакшава и убрзава реализацију превентивног и корективног одржавања радио-релејних уређаја.

Истраживања су обухватила и детерминисање концепта модернизације аналогног RF (радио-фреквентног) филтра са савременим дигиталним филтром чиме се обезбеђује боља поузданост уређаја и унапређују технолошки програми. Наиме, аналогни филтри су габаритни, тешки, скупи и неприступачни у уређају, те на тај начин отежавају одржавање уређаја. Израђују се од скупих материјала тако да цена нових филтера чини трећину цене комплетног уређаја. Такође, фреквенцијско постављање филтра на пријемну, односно на предајну фреквенцију је споро. Управљање радом филтра реализује се корачним електромоторима чијим радом се управља из централне процесорске јединице. Током рада електромотора долази до честих отказа у раду. Због свега наведеног проистиче потреба модернизације аналогног филтра са савременим дигиталним филтром, чиме се врши потпуна дигитализација уређаја и превазилазе наведени недостаци аналогног филтра. Кориснику се додељује потпуна контрола и омогућава управљање свим модулима уређаја, а омогућен је приступ и извођење мерења како на приступним портovima и мерним тачкама, тако и на излазу уређаја.

Предложени концепт модернизације аналогног филтра сусреће се са следећим проблемом: технологија израде дигиталних кола не омогућује да дигитална кола врше одабирање сигнала на потребној фреквенцији (фреквенција одабирања је двоструко већа од централне фреквенције). Такође је излазна снага већа у односу на снагу коју подносе дигиталне компоненте па се примењује адаптивна обрада сигнала. Предложеним моделом модернизације дају се решења на нижим фреквенцијама одабирања применом "multirate" одабирања (вишебрзинских система за обраду сигнала), које омогућава обраду и са нижим фреквенцијама одабирања, а да се при томе карактеристике филтра не деградирају. Тиме се пружа могућност за померање границе фреквенцијског опсега. Обзиром на напредак технологије израде VLSI компонената, очекује се да ће компоненте новије генерације у VLSI технологији врло брзо имати примену на вишим фреквенцијама.

### 1.3 Хипотезе истраживања

На основу достигнутих научних сазнања, и свега онога што је изнето у предмету истраживања, могу се поставити четири хипотезе овог научно-истраживачког рада.

**Прва хипотеза** јесте да је могуће детерминисати модел технологије дигиталних радио-релејних уређаја у складу са конструктивним и техничким карактеристикама уређаја. При томе је могућа реализација аутоматског мерног места за мерење битних параметара уређаја, као што су: ниво предајне снаге за три опције рада (LOW, MEDIUM и HIGH) и обе врсте модулације (16QAM и QPSK), предајна и пријемна фреквенција, брзина преноса сигнала, ниво пријемног сигнала за обе врсте модулације, BER грешка у пријему сигнала, однос активне и рефлектоване снаге, напони напајања модула унутар уређаја, потрошња уређаја, мрежне адресе за приступ неком од уређаја у



радио-релејној мрежи, ниво сигнала сервисног канала, параметари службеног канала и друго.

**Друга хипотеза** јесте да је могуће научним методама вишекритеријумске анализе одредити оптималну организацију одржавања која обезбеђује реализацију детерминисаног модела технологије дигиталних радио-релејних уређаја.

**Трећа хипотеза** јесте да је могуће на основу детерминисаног модела технологије реализовати превентивно и корективно одржавање дигиталних радио-релејних уређаја путем радио-релејног линка.

**Четврта хипотеза** јесте да је могуће извршити модернизацију аналогног RF филтра одговарајућим савременим дигиталним филтром чиме се побољшава поузданост уређаја и унапређује технолошки програм одржавања.

## 1.4 Преглед стања у подручју истраживања

Захтеви за поузданим радом и дугим животним веком неког техничког средства условили су велико интересовање и рад истраживача у области одржавања техничких система. Успешан систем одржавања је систем у коме су дефинисани сви саставни елементи, чијом применом се обезбеђује поуздан рад, дуг животни век средства уз минималне трошкове одржавања.

Технологија неког техничког средства дефинише се на основу конструктивних и техничких карактеристика техничког средства са аспекта превентивног и корективног одржавања. У литератури су приказана истраживања приликом дефинисања модела технологија, тако да се у обзир узима аспект модуларног (агрегатног) принципа замене саставних склопова. Тиме се убрзава корективно одржавање и смањује средње време корективног одржавања неког средства. Такође, литературом је прецизирано да свака технологија мора експлицитно да одговори на следећа технолошка питања: **шта, када, ко, чиме и где** врши одржавање неког техничког средства. Дефинисањем технологије базирањем на овим технолошким аспектима и њеном применом обезбеђује се дуг животни век техничког средства.

У домаћој литератури која је доступна у Војсци Србије, технологије одржавања су дефинисане појединачно за свако техничко средство. Начин дефинисања и садржај технологија је у потпуности усклађен са конструктивним и техничким карактеристикама техничког средства. У наведеној литератури не постоји технологија одржавања заснована на савременим методама техничке дијагностике и на мерењу параметара техничког средства путем аутоматског мерног места. Доступна литература на свој начин третира технологију застарелих радио-релејних уређаја, заснованих на полупроводничкој техници. У литератури је обрађена проблематика израде радио уређаја код којих је омогућено софтверско управљање саставним модулима. Радио уређаји су модуларног типа и потпуно су дигитализовани. Дигитализован радио уређај има у себи уграђен дигитални филтар који омогућава рад уређаја до фреквенције од 1GHz (произвођач *Harris*). Литературом су обухваћена мерења која се односе на конкретне радио уређаје и иста се реализују специјалним мерним инструментима, чијим радом управља одговарајући софтвер. Такође, литературом су обухваћене анализе конструктивних карактеристика уређаја израђених од VLSI компонената. Делимично се у литератури сусреће поређење предности које са собом доноси дигитализација радио уређаја и врше се поређења са радио уређајима израђеним у полупроводничкој технологији. Наведене конструктивне предности дигиталних радио уређаја користе се у развоју нових технологија и служе као основ за унапређење технолошких програма.

Од стране литературе могуће је користити и фабричку документацију произвођача радио-релејних уређаја (*Elbit System Tadiran* – Израел). Документација произвођача се

састоји од електричних и електронских шема уређаја и саставних модула са описом рада и листе саставних делова модула и уређаја. Такође, користиће се техничке карактеристике електронских компоненти уграђених у саставне модуле уређаја, које су публиковане од стране произвођача.

У литератури су обухваћени алати за пројектовање дигиталних структура, као што је *Xilinx*-ов софтвер System Generator, који даје везу са Matlab-ом и омогућава снимање амплитудске и фазне карактеристике филтра. Објашњен је приступ пројектовању и употреби готових решења са компонентама из каталога произвођача. Тако су дати примери пројектовања са FPGA колима произвођача Xilinx, модел Virtex 7, којима се максимално подиже фреквенција одабирања улазног сигнала.

Организација одржавања која обезбеђује реализацију дефинисаног модела технологије, због своје специфичности у литератури се уопштено објашњава. Литературом су приказана организација одржавања у другим армијама света у којима предметни уређаји имају примену. Организација одржавања је хијерархијског типа, само са различитим бројем нивоа одржавања, различитим надлежностима и различитим односима између нивоа одржавања. Литературом је обухваћен начин дефинисања варијанти организације одржавања у општем смислу и могући критеријуми за избор најповољније варијанте организације одржавања.

Постојање више критеријума и више варијанти организације одржавања усмерава истраживања на методе вишекритеријумске анализе и одлучивања у избору најбоље варијанте, односно оптималне варијанте организације одржавања. Свеобухватне методе које математички и софтверски решавају вишекритеријумски проблем су следеће: метода вишекритеријумског потпуног рангирања PROMETHE II (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), метода аналитичких хијерархијских процеса (АНР) и комбинација ове две методе. Примена и резултати примене ових метода у решавању вишекритеријумских проблема може се наћи у литератури. Применом наведених метода у решавању вишекритеријумског проблема одлучивања доносилац одлуке, као субјективни фактор, је искључен од утицаја на избор оптималног решења. Литературом су обухваћена објашњења како доносилац одлуке може дати приоритет одређеном критеријуму уколико за то постоји потреба и извршити потребну анализу. Истраживања спроведена на овај начин, даље се у литератури анализирају на основу постављених критеријума. У спроведеним истраживањима, која су доступна у литератури, приоритетни критеријуми су готовост и трошкови одржавања. На основу вредности ових критеријума доноси се одлука о оптималном моделу организације и технологије. Ова два критеријума су често директно пропорционални, што није добро. Наиме, већа готовост средства изискује веће трошкове одржавања и обрнуто. Потребне ВС су висока готовост, док трошкови одржавања су битни али не и пресудни, обзиром да средство мора бити увек расположиво кориснику. У литератури нису спроведена истраживања модела организације одржавања која би омогућила да се повећањем вредности критеријума готовости, трошкови одржавања не мењају или имају мање вредности. Решење овог проблема је специфично и зависи од успостављене организације и технологије и њихове оптимизације.

## **1.5 Значај и циљ истраживања са становишта актуелности у области истраживања**

Научни циљ дисертације јесте истраживање модела технологије дигиталних радио-релејних уређаја са циљем формирања модела који обезбеђује поуздан рад уређаја, као и модела ефикаснијег аналогног RF филтра ради унапређења технолошких програма одржавања радио-релејних уређаја. Актуелна истраживања у овој области се односе на

проналажење одговарајуће технологије одржавања засноване на конструктивним и техничким карактеристикама радио-релејног уређаја, тј. на самотестирању и аутоматском мерном месту, који обезбеђују мерење битних параметара уређаја као што су: ниво предајне снаге за три опције рада (LOW, MEDIUM и HIGH) и обе врсте модулације (16QAM и QPSK), предајна и пријемна фреквенција, битска брзина, ниво пријемног сигнала за обе врсте модулације, BER грешка у пријему сигнала, однос активне и рефлектоване снаге, напони напајања модула унутар уређаја, потрошња уређаја, мрежне адресе за приступ неком од уређаја у радио-релејној мрежи, ниво сигнала сервисног канала, параметари службеног канала и друго. Детерминисани модел технологије радио-релејних уређаја верификоваће се кроз модел организације одржавања радио-релејних уређаја у Војсци Србије. Одговарајућим научним методама вишекритеријумске анализе одређује се оптимална организација која обезбеђује реализацију детерминисаног модела технологије радио-релејних уређаја. Један део актуелних истраживања односи се на примену детерминисаног модела технологије на било који радио-релејни уређај у успостављеној мрежи радио-релејних уређаја, путем радио-релејног линка. Истраживања у овој области односе се на дефинисање модела модернизације аналогног RF филтра заснованог на резонантним шупљинама са савременим дигиталним филтром, заснованим на FPGA технологији, чиме се повећава поузданост уређаја и унапређују технологијски програми одржавања дигиталних радио-релејних уређаја.

## 1.6 Методе истраживања

Начин истраживања одређен је предметом, научним циљем и карактером истраживања, те хипотетичким оквиром у којем су изложене претпоставке за успешан модел технологије радио-релејних уређаја. Потпуним сагледавањем наведеног проблема, начин истраживања се реализује следећим **методама**:

- **мерењем** у лабораторијским условима најсавременијим мерним инструментима и помоћу софтверски управљаног аутоматског мерног места, где се на основу резултата мерења добија увид у исправност уређаја након примењеног модела технологије,
- **моделовањем** радио-релејног линка између две радио-релејне тачке у реалном окружењу,
- **применом анализе и синтезе** за одређивање конструктивних и техничких карактеристика уређаја и одређивању модела технологије одржавања појединачних модула и целог радио-релејног уређаја, на свим нивоима одржавања,
- **посматрањем** које омогућава да се из понашања реалног система прикупи довољан број података који ће се користити за формирање адекватног модела технологије,
- **експериментом** на моделу који представља кључни критеријум провере истинитости појединих хипотеза,
- **компарацијом** која ће се користити ради упоређивања података добијених мерењем помоћу аутоматског мерног места и моделовањем, у циљу доношења што меродавнијих закључака о моделу технологије,
- **реализовањем варијанти** организације одржавања на које ће применити детерминисани модел технологије,
- **симулацијом** модела организације одржавања уз примену детерминисаног модела технологије.

Подаци и чињенице се скупљају посматрањем и мерењем у реалном времену, анализом саджаја системских и нормативно-регулативних докумената, одређених анализа и планова, проучавањем искустава у Војсци Србије и страним војскама (на основу доступних материјала), компаративним поступцима и методом разговора са

компетентним стручњацима за ову област. Такође, подаци и чињенице ће се скупљати и кроз доступне стручне публикације, интернет сајтове који третирају ову област, фабричку документацију произвођача уређаја, забелешке и видео презентације добијене током реализације обуке људских ресурса код произвођача уређаја.

Полазећи од дефинисаног предмета истраживања, изабраних метода и извора података за научну обраду, анализу и верификацију резултата, примениће се сужени обухват истраживања на *логистички батаљон Војске Србије*, који реализује детерминисани модел технологије радио-релејних уређаја. Такође, техника верификације резултата истраживања састојаће се у примени модела технологије одржавања на неисправне модуле и уређаје, од пријаве неисправности уређаја, па до његове поправке и враћања у матичну јединицу Војске Србије.

Као инструменти за евиденцију и обраду материјала везаних за истраживање и израду коначне верзије истраживачког рада користе се персонални рачунари, разни софтверски алати, скенери, штампачи, разна стандардна, нестандардна и посебно развијена радна документација.

Садржаји рада и резултати до којих се долази у току истраживања, биће приказани текстуално, табеларно, графички, математичким релацијама, формулама, у виду дијаграма токова, дијаграма, хистограма и разних "излаза са рачунара".

## 1.7 Очекивани резултати докторске дисертације

У процесу истраживања очекује се детерминисање модела технологије дигиталних радио-релејних уређаја који ће бити усклађен са конструктивним и техничким карактеристикама радио-релејних уређаја. Модел ће бити заснован на мерењу битних параметара уређаја путем аутоматског мерног места. Такође, очекује се да ће предложени модел технологије радио-релејних уређаја омогућити задовољавајућу тачност мерења битних параметара уређаја. Додатно, очекивани резултат биће примењивост предложеног модела технологије на практичном примеру кроз поређење резултата мерења битних параметара сигнала аутоматским мерним местом са референтним вредностима. Очекује се да ће научне методе вишекритеријумске анализе омогућити избор оптималне организације одржавања радио-релејних уређаја са применом детерминисаног модела технологије. Очекује се и да ће помоћу модела технологије одржавања путем радио-релејног линка бити могуће извршити превентивно и корективно одржавање било ког уређаја у радио-релејној мрежи. На крају, претпоставља се да ће предложени модел модернизације аналогног RF филтра са савременим дигиталним филтром побољшати поузданост уређаја и унапредити технолошке програме.

## 1.8 Садржај дисертације

У првој фази истраживања (поглавље *"Концепцијске карактеристике радио-релејних уређаја"*) приказане су конструктивне и техничке карактеристике уређаја, његова намена и принцип рада.

У поглављу *"Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја"* детерминисани су модели технологије одржавања по нивоима одржавања. Модел технологије усклађен је са конструктивним и техничким карактеристикама уређаја и заснован је на резултатима дијагностичких мерења путем самотестирања уређаја као и на измереним битним параметрима уређаја путем аутоматског мерног места. Значајан део поглавља посвећен је графичким приказима мерених параметара сигнала, нумеричким вредностима параметара, моделу алгоритма дефектације исправности

уређаја и дефинисању референтних вредности параметара. Сви битни параметри груписани су у контролно-мерним листама модула и целог уређаја. Дефинисани параметри сигнала користе се у поступку дефектације и завршних испитивања уређаја и саставних модула. На крају дефинисан је и табеларно приказан технолошки поступак одржавања по нивоима одржавања.

Приликом детерминисања модела технологије највишег нивоа одржавања, због сложености и обимности технологије, обухваћен је део модула који се функцијски налазе у предајном каналу уређаја. На крају извршена је провера детерминисаног модела технологије. У лабораторијским условима извршено је моделовање и примена модела у различитим условима експлоатације при чему су реализовани елементи превентивног и корективног одржавања.

У истом поглављу детерминисан је модел технологије превентивног и корективног одржавања путем радио-релејног линка, као могући начин испомоћи нижим нивоима одржавања. Такође, извршен је прорачун параметара поузданости и погодности за одржавање. Наведени параметри неопходни су ради примене детерминисаног модела технологије кроз модел организације одржавања.

У поглављу *"Модел организације одржавања"* извршена је примена детерминисаног модела технологије одржавања. У овом делу рада проблем детерминисања модела технологије и организације одржавања сведен је у научне оквире. Наиме, научним методама вишекритеријумске анализе извршен је одабир оптималне организације одржавања, која обезбеђује примену детерминисаног модела технологије. Научне методе примењене су на претпостављени модел одржавања радио-релејних система у којима су уграђени предметни радио-релејни уређаји. Претпостављени модел одржавања заснован је на детерминисаном моделу технологије одржавања. Методама вишекритеријумске анализе изабран је оптимални модел организације одржавања, који обезбеђује реализацију детерминисаног модела технологије одржавања по нивоима одржавања.

У делу *"Модел унапређења конструкције радио-релејног уређаја модернизацијом аналогног филтра"* дат је допринос унапређењу конструктивних карактеристика уређаја. На основу искуства из одржавања предметног радио-релејног уређаја сагледана је могућност модернизације аналогног филтра са дигиталним филтром. Извршено је моделовање дигиталног филтра путем одговарајућих софтверских алата. Добијени резултати показују да се модернизацијом филтра значајно унапређују конструктивне карактеристике и технологија одржавања уређаја, уопште.

На крају сваког поглавља, на основу добијених резултата истраживања, разматране су претпостављене хипотезе и донети закључци о њиховој истинитости.

У поглављима *"Закључна разматрања"* и *"Предлог даљих истраживања"* дата су завршна разматрања и предлози даљих истраживања у овој области, чији би резултати пружили потпунији увид у могућности примене начина детерминисања модела технологије и организације одржавања на остале телекомуникационе уређаје које је набавила Војска Србије.

## 2 Концепцијске карактеристике радио-релејних уређаја са аспекта одржавања

### 2.1 Намена уређаја

Радио-релејни уређаји (у даљем тексту, RRU) намењени су за рад у оквиру интегрисаног система веза Војске Србије. Идеја о концепту *Интегрисаног Система Веза –ИСВ* родила се 2001. године израдом нормативних докумената за покретање набавке уређаја. У складу са финансијским средствима и напретком технологије израде радио-релејних уређаја на светском тржишту, више пута је одлагана реализација саме набавке, па тиме и више пута дорађивана нормативна документа. Током 2008. године почела је набавка радио-релејних уређаја најновије генерације као један од елемената интегрисаног система веза.

Основна намена радио-релејног уређаја је уградња у покретне центре везе (ПкЦВ), где служи као мобилна варијанта радио-релејне станице (слике 2.1 и 2.2). Није искључено да се предметни уређаји користе и као стационарна варијанта. На слици 2.3 приказан је генерални концепт интегрисаног система веза.

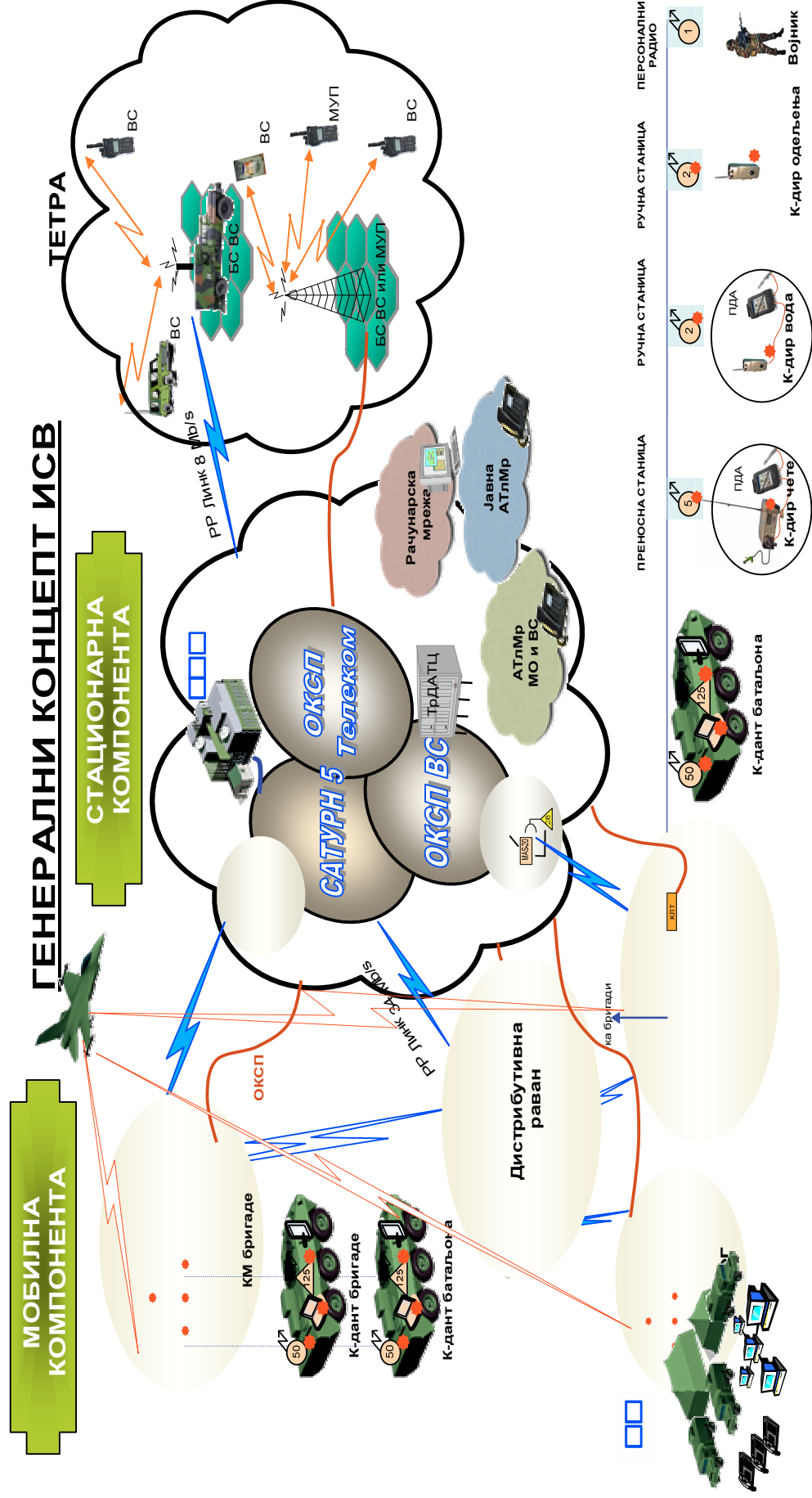


Слика 2.1 Покретни центар везе



Слика 2.2 Кабина везе

Концепцијске карактеристике радио-релејних уређаја са аспекта одржавања



Слика 2.3 Концепт интегрисаног система веза у Војсци Србије

Намена радио-релејног уређаја је да врши пренос говора и података, у приступној и дистрибутивној равни телекомуникационог-информационог система, како је то приказано на слици 2.4.

## КОНЦЕПТ МОДУЛАРНОГ ПРИСТУПА



Слика 2.4 Размена говора и података у приступној и дистрибутивној равни

Радио-релејни уређај GRC 408E је израђен на бази савремених технологија, електронике, телекомуникација и информатике, па је неопходно добро предзнање из ових области. Предзнање је потребно да би се схватио принцип рада уређаја, преносне могућности и могућност надзора и управљања са једним уређајем и мрежом радио-релејних уређаја. Радио-релејне уређаје производи фирма *ELBIT SYSTEM Land and CAI-TADIRAN* из Израела и по концепту и технологији спада у најсавременије уређаје ове врсте у свету.

Радио-релејни уређај (слика 2.5) је дизајниран као дигитални вишеканални радио-релејни уређај (енг. *Multi Channel Radio – MCR*). Припада *ALL INDOOR* концепту, односно израђен је као један блок, у коме су процесно повезане јединице за обраду сигнала на нивоу основног опсега, на међуфреквенцијском нивоу, радио-фреквенцијском нивоу и појачавач снаге.

Радио-релејни уређај је намењен да преноси говор, аудио-фреквенцијске сигнале и податке мултиплексирани временском расподелом канала као и сигнале дигиталних аутоматских телефонских централа (DATC), ATM<sup>4</sup> и IP<sup>5</sup> уређаја [1,2,10,25,26,31]. Информације у дигиталном облику може да преноси брзинама 256, 512, 1024, 2048, 8192 и 8448 kb/s, зависно од прикљученог генератора сигнала (мултиплексни - MUX, комутациони - COM или мрежни уређај - NET) и изабране модулације у модему примопредајника. Преносне могућности су приказане на слици 2.6.

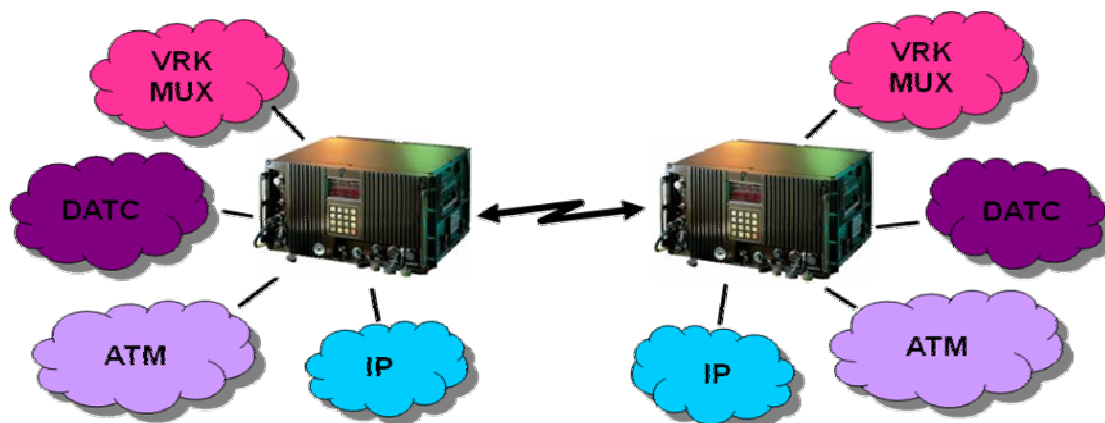
<sup>4</sup> ATM – Asinhroni transfer mod

<sup>5</sup> IP – Internet protocol





Слика 2.5 Радио-релејни уређај GRC 408E



Слика 2.6 Преносне могућности PPU GRC 408E

Радио-релејни уређај, преноси информације, вршећи QPSK<sup>6</sup> или 16QAM<sup>7</sup> модулацију сигнала носиоца, на фреквенцији из радног опсега 1350MHz до 2690 MHz. Постављање оптималних радних параметара у модулима уређаја врши централна процесорска јединица (енг. *Central Processing Unit – CPU*) аутоматизовано, а на основу параметара постављених од стране оператора у корисничком менију.

За службену комуникацију оператора, уређај има уграђен дигитални службени канал. Службени канал се може иницирати са микротелефонске комбинације прикључене на предњи панел уређаја или са екстерног дигиталног телефона. Службени канал ради по принципу "тачка-тачка" са селективним позивањем, при чему остали оператори између те две тачке не могу учествовати у комуникацији.

Системска комуникација, остварена је кроз канал за пренос системских података, *SYSCON CHANNEL*. Кроз *SYSCON CHANNEL* се преносе подаци сврстани у два виртуелна канала које централне процесорске јединице два уређаја међусобно размењују:

<sup>6</sup> Quadrature Phase Shift Keying - квадратурна дискретна фазна модулација сигнала,

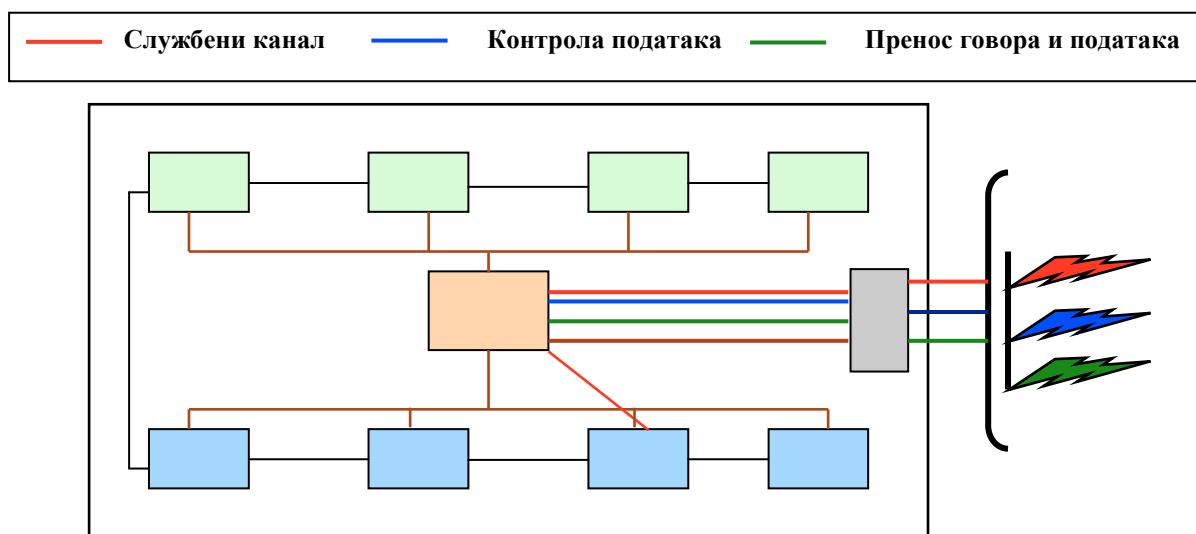
<sup>7</sup> Quadrature Amplitude Modulation - квадратурна амплитудна модулација сигнала.

1- Канал за контролне податке (*Control Data Channel – CDC*), омогућава надгледање протока података,

2- Канал за контролу линка (*Link Control Channel – LCC*), преноси телеметријске податке о линку и омогућава функционисање APC (*Adaptive Power Control*) функције (функције адаптивне контроле снаге).

Наведени виртуелни канали су јако битни и проток сигнала кроз њих ће се контролисати и анализирати у раду како би се сагледала тачност успостављене технологије одржавања. Мерење података између почетне и крајње радио-релејне станице, које комуницирају кроз виртуелне канале, омогућава увид у успешност технологије највишег нивоа одржавања, јер крајњи циљ и намена уређаја је да се тачно и на време проследи подаци за оперативну употребу, уз потврду да су подаци стигли на одредиште.

На слици 2.7 приказане су наведене комуникације које се остварују између два радио-релејна уређаја.



Слика 2.7 Комуникација унутар уређаја и између PPU

Уређај може да се користи за образовање крајње радио-релејне (PP) станице при чему је потребан и комплет уређаја који је генератор преношеног сигнала. У следећем случају уређај се може користити за образовање радио-релејне међустанице. Тада су потребна два комплекта радио-релејних уређаја, слика 2.8.



Слика 2.8 Радио-релејна међустаница

## 2.2 Технички подаци уређаја GRC 408E

### Општи подаци

- фреквенцијски опсег	1350 до 2690 MHz,
- међуканално растојање	125 kHz,
- број радних канала	10721,
- минимални размак између фреквенција Rx и Tx	60 MHz,

- модулације QPSK, 16 QAM.

### Подаци о предајнику

- излазна снага: високи ниво: 36 dBm (4 W),  
средњи ниво: 30 dBm (1 W),  
ниски ниво: 2 dBm (250 mW),  
ауто ниво: 10dBm (10 mW) до 36dBm (4 W).  
- домет у комуникацији 50 km,  
- адаптивна контрола излазне снаге у функцији смањења могућности ометања сигнала.

### Подаци о пријемнику

- максимални дозвољени ниво пријемног сигнала 13 dBm,  
- осетљивост пријемника - 87 dBm до -98 dBm.

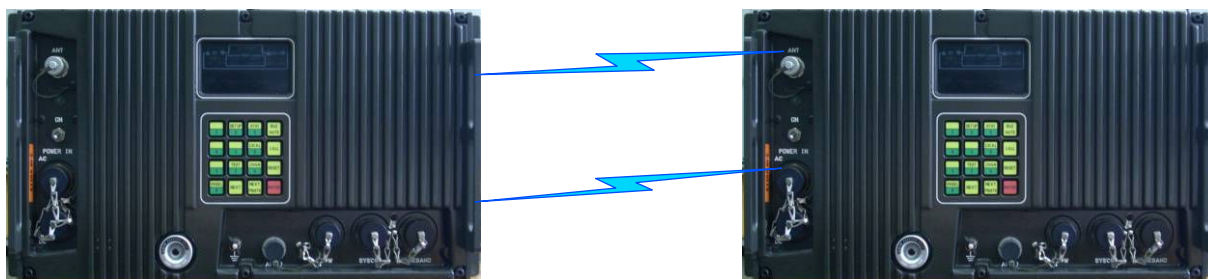
### Климо-механичке особине

- температурни опсег рада -32° до +55° C ,  
- температурни опсег складиштења -40° до +70° C .  
- маса уређаја 33 килограма.

Радио-релејни уређај функционише у NATO III+<sup>8</sup> фреквенцијском опсегу од 1350-2690 MHz. Сагласно EUROCOM стандарду, међуканалско растојање износи 125 KHz па је могуће поставити 10721 RF канал. Размак између предајне и пријемне фреквенције износи минимално 60 MHz.

## 2.3 Конструктивне карактеристике уређаја

Комуникација између оператера на две радио-релејне тачке остварује се преко радио-релејног линка (слика 2.9). Комуникација између оператера и радио-релејног уређаја остварује се једноставним интерфејсом у виду тастатуре и алфа-нумеричког дисплеја. Радне параметре оператер поставља преко тастатуре која садржи тастер за брзи приступ основним гранама корисничког менија.



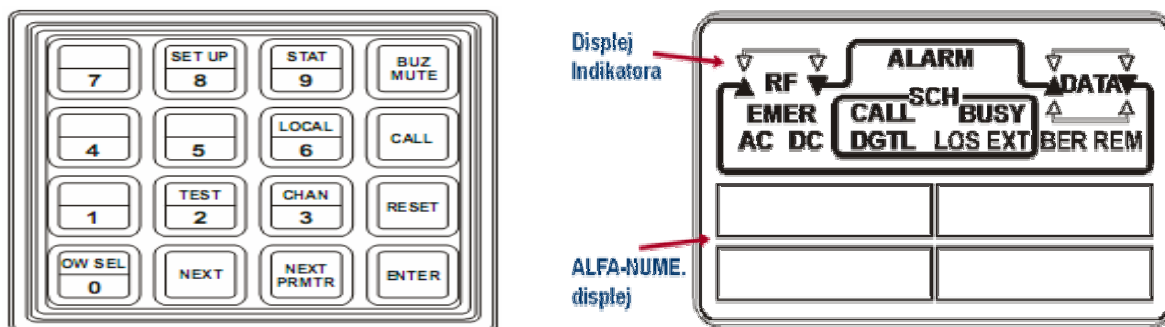
Слика 2.9 Радио-релејни линк

Дисплеј уређаја омогућава приказ одређених параметара функционисања уређаја и стања радио-релејног линка, као нормалних радних стања и аларма као стања нарушене функционалности уређаја и радио-релејне везе (слика 2.10). У комбинацији са зујалицом генерише аудио-визуелне аларме.

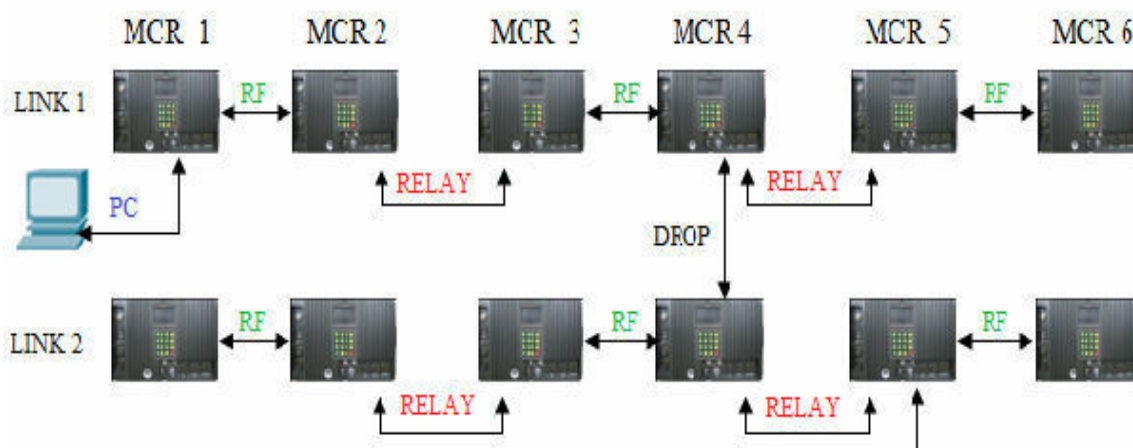
<sup>8</sup> Фреквентни опсег NATO III стандарда је од 1350 MHz до 1850 MHz.

У уређају је имплементирана централна процесорска јединица која у потпуности управља радом уређаја путем система за интерни надзор и управљање.

Системска комуникација, остварена је кроз канал за пренос системских података, *SYSCON CHANNEL*. То омогућава и организовање мреже за надзор и управљање над групом уређаја GRC 408E (слика 2.11).



Слика 2.10 Приказ тастатуре и дисплеја уређаја



Слика 2.11 Пример мреже за надзор и управљање са PPU

Службена комуникација, остварена је кроз дигитални службени канал за оператора. Канал може бити инициран са микро-телефонском комбинацијом или са екстерног дигиталног телефона.

Радио-релејни уређај поседује једноставан и лако схватљив TEST-мод који омогућава оператору извршење **САМОТЕСТИРАЊА** или **САМОДИЈАГНОСТИКЕ** исправности уређаја. TEST-мод омогућава тестирање предњег панела, модула уређаја по постављеним или фиксним параметрима, одабир до четири петље респективно процесирању сигнала. Осим тога, формира и листу упозорења и листе грешки које приказује дисплеј.

Поступак самодијагностике уређаја и њена употреба са аспекта одржавања радио-релејних уређаја, употребиће се за дефинисање једног од модела технолошких процедура.

У фази успостављања радио-релејног линка или уколико медиј преноса RF сигнала током комуникације деградира комуникацију или је онемогућава, могуће је активирати хитни мод (*Emergency Mod*). При том моду се прекида пренос сигнала основног опсега и оператору је доступан само аудио службени канал. Уређај оптимизује услове успостављања радио-релејног линка чиме обезбеђује додатних 15 dB на системско појачање. Наиме, уређај аутоматизовано поставља QPSK модулацију, АМI интерфејс са брзином преноса 1024 kb/s, при чему задржава постављени ниво снаге уз могућност одабира максималне снаге.

Уређај садржи функцију адаптивне контроле фреквенције (*Adaptive Frequency Control – AFC*). При томе се користи пет пари фреквенција (предајне и пријемне респективно) које су у поступку постављања радних параметара уписане у меморију уређаја. AFC алгоритам континуирано надзире два сензора, тј. два параметра стања линка. То су губитак синхронизације и ниво RF сигнала у пријемном каналу. Уколико се линк деградира кроз било који параметар, у трајању од  $1 \pm 0.1$  минута, AFC мења пар фреквенција следећим меморисаним паром и то на оба краја радио-релејног линка истовремено. Процес је аутоматизован и без посредовања оператера. Алгоритам ће се зауставити када се заврши један логички круг, тј. када се искористе сви меморисани парови фреквенција. Након тога је могуће ресетовати или искључити AFC функцију кроз SETUP грану у корисничком менију.

У поступку одабира нивоа RF сигнала у предајном смеру, оператеру је доступна опција адаптивне контроле снаге (*Adaptive Power Control – APC*). Алгоритам врши надзор пријемног сигнала на удаљеном крају линка - уређају В и на основу тога одређује ниво предајног сигнала ближег краја линка уређаја А. На тај начин одржава се потребан квалитет радио-релејног линка и смањује непотребно зрачење RF снаге. То је директно у функцији смањења вероватноће ометања сигнала. Када је као опција неактиван, алгоритам функционише и активан је у смислу давања предлога за промену нивоа предајног сигнала, без обзира на мануелно изабран ниво предајног сигнала.

У процесу обраде сигнала уређај користи код за корекцију грешака унапред (*Forward Error Correction – FEC*), а зависи од примењене модулације у модему и битског протока података сигнала основног опсега. Такође, користи и учешљавање бита, дуго и кратко. FEC није опција у менију. Учешљавање је скривено и заштићено лозинком доступном администратору.

## 2.4 Конструктивни састав и опис комплета уређаја

Комплет уређаја (слике 2.12, 2.13, 2.14) чине:

- примопредајник,
- каблови за прикључење на извор електричне енергије,
- прибор службеног канала,
- прибор за сигнал основног опсега (BASEBAND),
- каблови за системски канал,
- антена и антенски прибор,
- прибор за тестирање уређаја и
- документација.



Слика 2.12 Састав комплета уређаја



Слика 2.13 Антенски прибор



Слика 2.14 GRID антена

Радио-релејни уређај GRC 408 E је израђен као један блок. Конструктивну суштину представљају три главне целине:

- предњи панел – A25,
- задњи панел – A24 и
- кућиште - A23.

Свака целина обједињава и обезбеђује интерконекцију за одређен број модула. Потпуна модуларна структура објашњена је у табели 2.1.

Табела 2.1 Саставни модули уређаја

Р.бр.	ОЗНАКА	ФУНКЦИЈА
1.	A1 Модул	Модул пријемника. Филтрира Rx сигнал и конвертује га у IF сигнал <sup>9</sup> .
2.	A11 Модул	Модул интерфејс и модем. Врши корелацију Tx и Rx сигнала, модулише Tx и демодулише Rx сигнал.
3.	A13 Модул	Модул службеног канала (EOW <sup>10</sup> интерфејса) и управљач мотора. Врши корелацију EOW сигнала и проводи контролисану струју до мотора Tx/Rx филтера у модул A19.
4.	A14 Модул	Модул CPU. Контролише све функције у уређају.
5.	A18 Модул	Модул предајника. Конвертује IF сигнал у Tx сигнал и филтрира га.
6.	A19 Модул	Модул диплексера. Филтрира Tx/Rx сигнале.
7.	A21 Модул	Модул монитора снаге. Врши надзор нивоа Tx сигнала и ефикасности.
<b>A23 Модул</b>		<b>Кућиште</b>
8.	A23A1 Модул	Модул матичне плоче. Врши интерконекцију свих склопова MCR.
<b>A24 Модул</b>		<b>Задњи панел</b>
9.	A24A4 Модул	Модул појачавача снаге. Врши појачање Tx сигнала у захтевани ниво.
10.	A24A1A1 Модул	Плочица за интерконекцију са задњег панела на матичну плочу.
11.	A24A2 Модул	Модул напајања за појачавач снага. Напаја појачавач и координира појачање Tx сигнала сагласно командама из CPU.
<b>A25 Модул</b>		<b>Предњи панел</b>

<sup>9</sup> Ознаке: IF сигнал- сигнал међуфреквенције, Rx сигнал- пријемни сигнал, Tx сигнал- предајни сигнал.

<sup>10</sup> Модул EOW (Engineering Order Wire) – модул службеног канала.

12.	A25A2 Модул	Модул напајања. Напаја склопове уређаја потребним једносмерним радним напонима.
13.	A25A3 Модул	Дисплеј. Приказује радне параметре уређаја, поруке упозорења и грешке.
14.	A25A4 Модул	Тастатура. Служи као интерфејс између оператера и уређаја.
15.	A25A5 Модул	Модул за заштиту уређаја од превисоких напона напајања
16.	A25A8 Модул	Модул филтра основног опсега. Филтрира I/O (Input/Output) сигнале од/према уређају.
17.	A25A11 Модул	Штампана плочица за интерконекцију на матичну плочу.
18.	A25A12 Модул	Модул напајања са наизменичним напоном.

## 2.5 Принцип рада уређаја

Радио-релејни уређај (слика 2.15) има модуларни предајни и пријемни канал чијим радом управља централна процесорска јединица. Радио-релејни уређај у предајном смеру, сигнале основног опсега примљене из прикљученог уређаја (који генерише податке: COM, MUX, NET), заједно са сигналом службеног канала и сигнаlima системског канала прослеђује кроз филтар основног опсега (**Base Band – BB**). Након тога, примљени сигнали се уводе у склоп интерфејс, модула интерфејс-модем – A11. У том склопу се врши прилагођење сигнала за даљу обраду. Сигнал података се из серијског низа преводи у паралелни и уводи у модем. Ту се врши нека од понуђених модулација (QPSK, 16QAM) и премешта се у опсег високих фреквенција. Модулисан сигнал се уводи у модул предајник – A18 (Transmitter) и даље се конвертује у опсег радио-фреквенција (RF), 1350-2690 MHz. Новоформиран сигнал у модулу појачавача снаге (Power Amplifier – PA) појачава се на захтеван ниво и прослеђује у модул RF филтра – A19 (Diplexer). У овом склопу се предајни RF сигнал филтрира и контролише се захтевано растојање између предајне и пријемне фреквенције. У следећем кораку сигнал се уводи у монитор снаге – A21 (Power Monitor), у коме се мери директна и рефлектована снага. RF сигнал се уводи са коректним параметрима у антени и емитује кроз медијум преноса према другом уређају са којим се остварује веза.

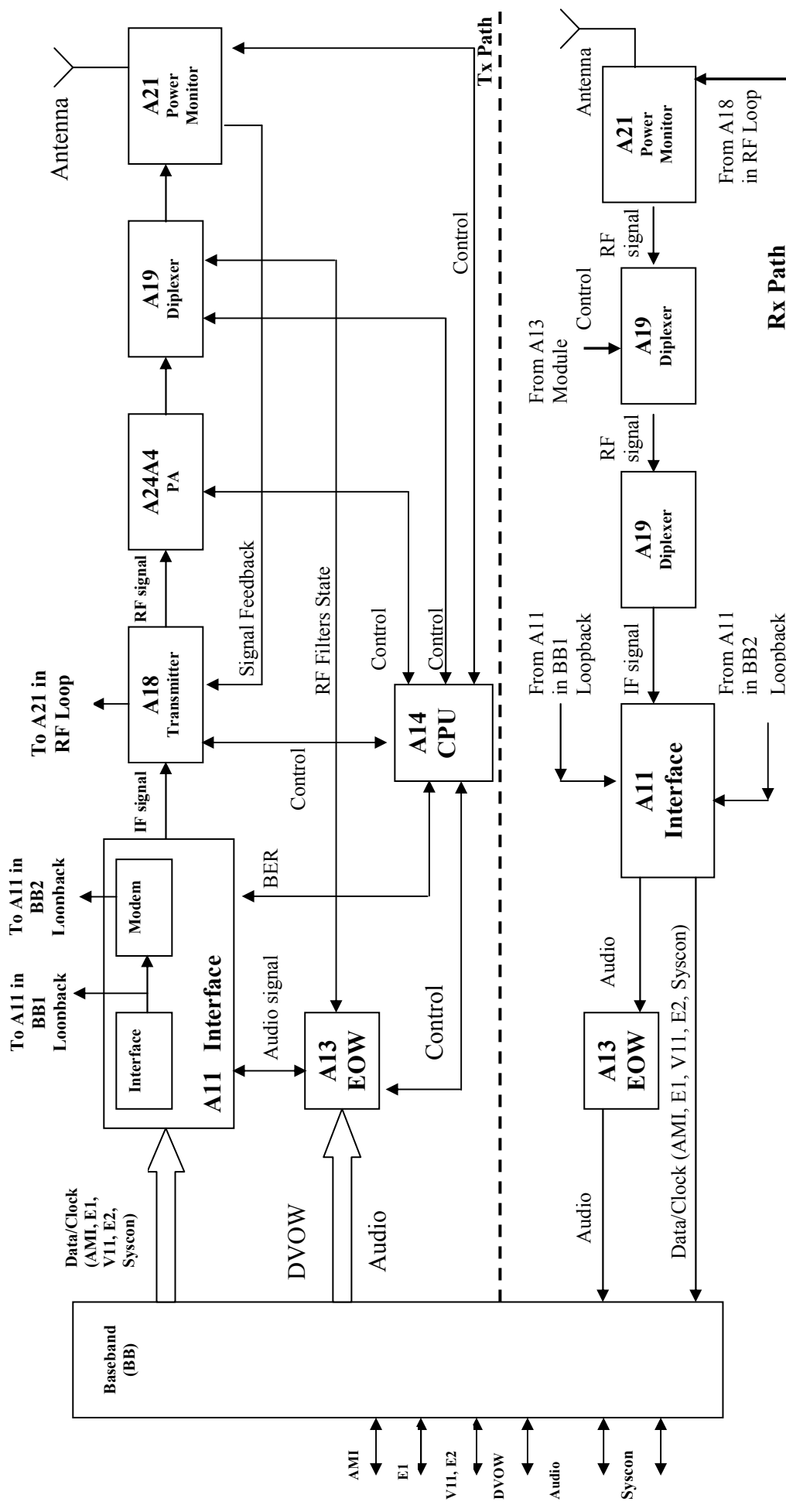
У пријемном смеру, антена прима сигнал из медијума преноса у опсегу радио-фреквенција од 1350-2690 MHz, а који емитује други уређај. Кроз склоп монитора снаге – A21, сигнал се прослеђује у диплексер – A19 и то у грану филтра пријемног RF сигнала. У другом случају, у монитор снаге може да се уводи RF сигнал из предајника у опцији затворене RF петље.<sup>11</sup>

У диплексеру – A19 се сигнал доводи на захтеван ниво, филтрира и прослеђује у пријемник – A1 (*Receiver*). Пријемник, поред процесног филтрирања и појачања сигнала<sup>12</sup> у основи врши конверзију "на ниже", односно враћа сигнал у основни опсег. Припремљен сигнал се прослеђује у склоп интерфејс-модем – A11. Након извршене демодулације, сигнал се у паралелном облику уводи у интерфејс, где се врши превођење у серијски облик, демултиплексирање, прилагођење и увођење у филтар основног опсега. На крају процеса обраде, сигнали се усмеравају према прикљученом уређају, прикључку службеног канала и прикључку системског канала, тј. према модулу централне процесорске јединице (CPU) – A14.

<sup>11</sup> Ова опција ће се користити приликом различитих лабораторијских мерења приказаних у наставку рада.

<sup>12</sup> Пријемни сигнал је реда -86 dBm, зависно од простирања сигнала и удаљености уређаја.

Концепцијске карактеристике радио-релејних уређаја са аспекта одржавања



Слика 2.15 Блок шема радио-релејног уређаја



## 2.6 Битна својства и концепт израде модула

У наставку ће се објаснити неке од карактеристика модула који се налазе у уређају, са акцентом на начин њиховог рада и везом са централном процесорском јединицом – CPU. Централна процесорска јединица – А14 и модули унутар уређаја су међусобно повезани и све док ради уређај они међусобно комуницирају. Они су међусобно повезани магистралом којом се достављају наредбе у облику одговарајућих пакета података, као и повратне информације о реализацији дате наредбе. Међусобна организација је у облику архитектуре као код комерцијалних персоналних рачунара.

Централна процесорска јединица прихвата наредбе оператера на три начина: преко SYSCON конектора, *Baseband* конектора и директно преко тастатуре. Централна процесорска јединица наредбе обликује у одговарајуће сигнале и прослеђује их даље ка модулима који их реализују. Да би процесор комуницирао са модулима и да би се остварила комуникација унутар самих модула, морају постојати одговарајућа процесорска кола. Модули су конструисани на бази [програмибилног интегралног кола](#) (*Field Programmable Gate Array – FPGA*). FPGA представља интегрисано коло пројектовано тако да се његова унутрашња структура може конфигурирати од стране крајњег корисника. Дефинисање унутрашње структуре FPGA компоненте се врши уз помоћ HDL (*Hardware Description Language*) језика или шематских дијаграма. Намена FPGA компоненти је вишеструка, а основна је да се може користити за имплементацију било које логичке функције.

FPGA треба бити програмиран да примени захтеване функције. Информације о програмским функцијама за FPGA се чувају у меморији EPROM (*Erasable Programmable Read-Only Memory – EPROM*). Након укључивања уређаја почиње поступак иницијализације FPGA кола. Када се напајање и интерна кола у FPGA стабилизују, FPGA добија програмске информације из EPROM. Са завршетком иницијализације, FPGA преузима програмске функције, а EPROM се искључује.

Функционисање модула у уређају је контролисано микрокомпјутерским системом из модула CPU – А14. Микрокомпјутерски систем преко CPU интерфејса, одређује начин рада, надзире сигнале података и такта, затвара локалне петље за тестирање уређаја, генерише контролне сигнале којима контролише рад мотора филтра у модулу – А19 и др. Овакав концепт израде уређаја са микрокомпјутерским контролисаним радом модула доноси низ предности, а неке од њих биће приказане у наставку рада. Управљачке функције и процесирање сигнала изводи се микропроцесорима серије (PC-104), програмибилним колима CPLD (*Complex Programmable Logic Device*) и FPGA колима. Сви они су израђени у VLSI (*Very Large Scale Integration*) технологији.

На основу објашњених конструктивних и техничких карактеристика дигиталног радио-релејног уређаја извршиће се детерминисање технологије одржавања уређаја. Приликом детерминисања технологије користиће се предности које са собом доноси овако конструктивно и техничко решење уређаја.

### 3 Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

Полазећи од предмета истраживања и претпостављених хипотеза, потребно је детерминисати модел технологије одржавања радио-релејних уређаја GRC 408E, који ће се базирати на примени савремених метода техничке дијагностике. При дефинисању модела технологије одржавања мора се водити рачуна о својствима уређаја, његовој поузданости и погодности за одржавање, али и оперативној готовости која се мора постићи. Детерминисани модел технологије одржавања треба експлицитно да одговори на следећа технолошка питања: шта ће се радити, како ће се радити, ко ће радити, којом опремом и алатима, колико често и у каквом радном простору.

Приликом реализације дефинисања модела технологије одржавања мора се узети у обзир дефиниција технологије, која се односи на то да технологија има пуни смисао само ако је дефинисана за конкретно средство и да се прописује техничком документацијом за одржавање на сваком нивоу одржавања. Из саме дефиниције је јасно због чега се модел технологије мора посматрати интегрално преко више модела подељених по одређеним нивоима. *Како дефинисати нивое одржавања и која је граница раздвајања између њих?*

Према дефиницији технологије, приликом њене израде за конкретно техничко средство могуће је груписање сродних технолошких операција, које чине технологију одржавања. У моделу ће се технолошке операције груписати у одређене скупове или технолошке програме, а сваки скуп ће чинити одређени ниво одржавања.

Приликом дефинисања модела технологије, паралелно са груписањем технолошких операција, водиће се рачуна о: могућностима опреме за одржавање, стручној оспособљености кадра, дубини технолошких захвата на уређају и асортиману расположивих резервних делова и модула. Такође, за технолошке поступке одржавања добијене груписањем технолошких операција, дефинисаће се одговори на технолошка питања: *шта, где, чиме, ко и када врши одређене акције одржавања*. Тиме се добија технолошки поступак одржавања по нивоима одржавања, односно, добија се техничка документација за потребни ниво одржавања.

Сагледавајући речено и имајући у виду поделу по видовима одржавања дефинисаних Правилником о одржавању средстава НВО у МО и ВС [73], препознати су услови за дефинисање модела технологије одржавања по нивоима одржавања и у раду ће се предложити и детерминисати модели за три нивоа одржавања:

- модел технологије одржавања на најнижем нивоу одржавања,
- модел технологије одржавања на средњем нивоу одржавања,
- модел технологије одржавања на највишем нивоу одржавања.

**Технолошка граница** која дефинише нивое одржавања између предложених модела технологија је виртуелна и чини је дубина технолошких захвата на самом уређају, приликом реализације технолошких операција. Водиља дубини технолошких захвата су најважније технолошке операције у процесу одржавања уређаја: *растављање, дефектација и завршна испитивања са применом савремених метода техничке дијагностике*.

Анализирајући предложене моделе технологија одржавања са технолошког и организационог аспекта, предложени модели су организовани у облику хијерархије, а најсложенији модел технологије је модел највишег нивоа одржавања, док је најпростији, модел најнижег нивоа одржавања.

Анализирајући са аспекта систематизације проблема дефинисања модела технологије одржавања, у предлогу модела, користиће се различите технике и методе за решавање проблема дефинисања технологије. Технике и методе за подршку дефинисању модела технологије су у складу са проблемом који решавају, односно

проблемом који је предмет истраживања. Предложени приступ је оправдан и рационалан, јер је прилагођен оперативној технолошкој пракси и у складу је са суштином дефиниције метода<sup>13</sup> истраживања.

У табели 3.1 приказане су карактеристичне методе и технике за решавање проблема дефинисања модела технологија одржавања по нивоима одржавања.

Табела 3.1 Приказ карактеристичних метода и техника за решавање проблема детерминисања модела технологија одржавања

Методe и технике за решавање проблема дефинисања технологија одржавања по нивоима одржавања		П1	П2	П3	П4
У1	Дефинисати технолошке операције одржавања који су саставни део технолошког поступка одржавања за одређени ниво одржавања. Технолошке операције се одвијају секвенцијално једна за другом. Поред сваке технолошке операције дати одговоре на технолошка питања.	Д			
У2	Дефинисати мерну и специјалну опрему за реализацију модела технологије одржавања		Д		
У3	Дефинисати референтне мерне параметре (бројчано или сликовито) који су показатељи исправности уређаја и основ за доношење одлуке о исправности уређаја			Д	
У4	Извршити избор организацијске јединице у којој ће се реализовати претпостављени модел технологије одржавања (место реализације технологије)				Д
<b>А1</b>	<b>Табела технолошког поступка са редно сложеним технолошким операцијама и одговорима на технолошка питања</b>	Х			
<b>А2</b>	<b>Табела са списком мерне и специјалне опреме</b>		Х		
<b>А3</b>	<b>Контролно-мерна листа са дефинисаним мерним параметрима</b>			Х	
<b>А4</b>	<b>Метода посматрања и просуђивања резултата примењеног модела технологије одржавања</b>				Х

Ознаке у табели:

У1 до У4 - ознаке услова, Д- индикатор услова ("Д"- услов је испуњен)

А1 до А4 - ознаке акција, П1-П4 – ознаке правила одлучивања

Х – показивач – индикатор акција.

С обзиром на то да су технолошке операције нижих нивоа одржавања садржане у моделу технологије највишег нивоа одржавања, оправдано је да се предложени модел технологије највишег нивоа одржавања примени у одређеној организационој јединици и на основу тога донесе закључак о валидности претпостављених модела технологија одржавања по свим нивоима одржавања.

Због сложености и обимности технолошке документације добијене дефинисањем модела технологије највишег нивоа одржавања, у раду ће бити представљен само део модела технологије. Представљени део технологије се односи на технологију највишег нивоа одржавања модула из предајног канала уређаја: А24А4 и А19. Поред тога, због значаја одређених технолошких испитивања, којима се потврђује функционална

<sup>13</sup> Метод значи начин, поступак помоћу којег се долази до научних сазнања и практичних решења. То је плански поступак за постизање циља у неком подручју или области.

исправност уређаја, представиће се технологија функционалних испитивања уређаја на одређене функције.

Извршиће се примена детерминисаног модела технологије приликом акције корективног одржавања уређаја у лабораторијским условима. На основу добијених резултата примене донеће се закључци о детерминисаном моделу технологије. Такође, детерминисани модел технологије примениће се у моделу организације одржавања уређаја. Од детерминисаног модела технологије зависи дефинисање и примена модела организације одржавања, која обезбеђује примену детерминисаног модела технологије.

### 3.1 Модел технологије најнижег нивоа одржавања

Предложени модел технологије најнижег нивоа одржавања чини технолошки поступак у коме су садржане технолошке операције, које се реализују од стране механичара за техничко одржавање<sup>14</sup>. Њиховом реализацијом се остварује техничка исправност уређаја.

Суштинска технолошка операција, која се реализује на овом нивоу одржавања и по којој се технологија разликује од технологија у другим моделима, је **технолошка операција дефектације уређаја**. На овом нивоу одржавања реализује се дефектација уређаја у склопљеном стању, помоћу софтверски управљаног програма који реализује самотестирање. Самотестирање је врста савремене методе техничке дијагностике помоћу које се прати стање исправности уређаја и реализује дефектација исправности уређаја. Реализује га сам уређај, активирањем одговарајуће маредбе на тастатури.

Технолошка операција дефектације уређаја у претпостављеном моделу најнижег нивоа одржавања заснована је на:

- 1- резултатима самотестирања и
- 2- надгледаним (мереним) величина.

#### 3.1.1 Модел технолошке операције дефектације - самотестирања

Дефектација функционалне исправности уређаја реализује се технолошком операцијом самотестирања уређаја, тј. поступком самотестирања. **Самотестирање је једна од софтверских апликација коју реализује процесор уређаја, односно централна процесорска јединица**<sup>15</sup>. Реализује се активирањем одговарајуће наредбе на тастатури предње плоче уређаја. Наредба на предњој плочи има ознаку "TEST", као што је то приказано на слици 3.1.

*Самотестирање представља софтверско детектовање функционалне исправности појединих модула у уређају чији је крајњи циљ дијагностика стања исправности уређаја.* При самотестирању софтверски програм дефектује да ли сваки модул извршава своју функцију, на основу наредбе коју доставља централна процесорска јединица. При томе, централна процесорска јединица не анализира квалитет обављене наредбе, што поступак самотестирања сврстава у најпростији алат за дијагностику стања исправности уређаја. То је, између осталог, разлог због чега се технолошка операција самотестирања користи при дефектацији у склопљеном стању. Виши ниво одржавања, користећи специјалну мерну опрему, има могућност детаљне анализе квалитета генерисаних сигнала и потенцијалних узрока отказа модула, што ће се анализирати у наставку рада.

<sup>14</sup> Механичари за техничко одржавање припадају чети или воду за техничко одржавање у оквиру логистичког батаљона.

<sup>15</sup> Централна процесорска јединица управља радом свих модула у уређају и има ознаку A14.



Слика 3.1 Тастатура уређаја са командама

Постоје четири облика самотестирања, а њихов избор врши се одговарајућом наредбом која је понуђена кроз корисничку апликацију, активирањем наредбе за почетак самотестирања. Облици теста су:

- |                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| 1- <b>SETUP PARAMETER TEST</b> , | (слика 3.2) |
| 2- <b>FIXED PARAMETER TEST</b> , | (слика 3.3) |
| 3- <b>LOOP SELECTION</b> и       | (слика 3.4) |
| 4- <b>FRONT PANEL TEST</b> .     | (слика 3.5) |



Слика 3.2 Setup parameter test



Слика 3.3 Fixed parameter test



Слика 3.4 Loop selection test



Слика 3.5 Front panel test

Самотестирање може да се врши за две врсте модула ИНТЕРФЕЈС-МОДЕМ, модул А11<sup>16</sup>:

<sup>16</sup> Постоје две врсте модула А11, за две врсте рада уређаја.

- E1, 4E1, AMI - за мање брзине преноса података и компатибилан је са постојећим мултиплексним уређајима који се користе у јединицама Војске Србије, а који пренос података са одређене тачке врше преко GRC 408E,
- V11, E2 - за савремене мултиплексне уређаје са већим брзинама преноса података и који раде са V11 протоколом.

### **Облик теста FIXED PARAMETER TEST**

Најдужи и свеобухватни тест од понуђених је **FIXED PARAMETER TEST** и на њему ће се објаснити принцип рада софтверског програма за самотестирање исправности уређаја и модула.

**FIXED PARAMETER TEST** врши тестирање у временском периоду од **5 минута и 10 секунди**. Тестирање се врши по системским заданим параметрима за проверу и то:

- фреквенцијски пар (предајна фреквенција  $T_x$  и пријемна фреквенција  $R_x$ ),
- модулација (QPSK, 16 QAM),
- битска брзина (od 1024 do 8448  $kb/s$ ),
- врста интерфејса (E1, 4E1, AMI, V11, E2).

У табели 3.2 приказане су вредности параметара по којима програм врши тестирање исправности уређаја и модула.

Табела 3.2 Параметри тестирања у уређају

Картица интерфејса број 2112-99PPP655-00 (E1, 4E1, AMI)							
П А Р М Е Т А Р				Ф А З А Т Е С Т А			
Frekq.	Modem	Bit Rate	Interface	PA	RF LOOP	BB2	BB1
TX 1350,0 RX 1420,0	QPSK	2048	E1	111	112	113	114
		1024	AMI	-	122	123	124
TX 1680,0 RX 1750,0	16QAM	2048	AMI	211	212	213	214
		8448	AMI	-	222	223	224
TX 2000,0 RX 2070,0	QPSK	8448	AMI	311	312	313	314
		2048	AMI	-	322	323	324
TX 2300,0 RX 2370,0	16QAM	2048	E1	411	412	413	414
		8448	4E1	-	422	423	424
TX 2620,0 RX 2690,0	QPSK	8448	4E1	511	512	513	514
		8448	AMI	-	522	523	524
Картица интерфејса број 2112-998RRRR20-00 (E2, V11)							
TX 1350,0 RX 1420,0	QPSK	8448	E2	111	112	113	114
		1024	V11	-	122	123	124
TX 1680,0 RX 1750,0	16QAM	2048	V11	211	212	213	214
		1024	V11	-	222	223	224
TX 2000,0 RX 2070,0	QPSK	8448	V11	311	312	313	314
		2048	V11	-	322	323	324
TX 2300,0 RX 2370,0	16QAM	8448	E2	411	412	413	414
		8448	V11	-	422	423	424
TX 2620,0 RX 2690,0	QPSK	1024	V11	511	512	513	514
		8448	V11	-	522	523	524

Када се активира наредба за самотестирање, код било ког облика тестирања па и са опцијом FIXED PARAMETER TEST, уређај поставља питање провере прикључења

вештачког оптерећења и BASE-BAND<sup>17</sup> конектора. Са вештачким оптерећењем нема исијавања електромагнетних таласа у етер, а тиме ни ометања пријемног канала уређаја, док прикључење BASE-BAND конектора симулира рад мултиплексног уређаја у чијој је функцији радио-релејни уређај. Иначе, вештачко оптерећење и BASE-BAND конектор користе се само приликом дијагностике исправности уређаја.

Након прикључења наведених елемената уређај врши подешавање параметара према табели 3.2 (означен пут тестирања плавом бојом) и то:

- предајна фреквенција -  $T_x = 1350 \text{ MHz}$ ,
- врста модулације - **QPSK**,
- битска брзина -  $2048 \text{ kb/s}$ ,
- врста рада - **E1**.

Процесор успоставља везу и шаље наредбе према модулима у складу са дефинисаним системским програмом, зависно од теста који је актуелан. Тестирање започиње са РА тестом и поруком на дисплеју TEST 111, који представља испитивање нивоа снаге на излазу из модула A18, пре појачавача снаге. Сигнал се мери на одређеној тачки у модулу A18. Тиме се мери ниво сигнала пре уласка у појачавач снаге. Резултат тестирања даје податак да ли је ниво снаге на улазу појачавача снаге довољан да би побудио појачавач снаге, а не и исправност појачавача снаге. Значи претпоставка при тестирању је да је појачавач исправан и да ће исти довољно појачати сигнал, ако му се на улаз доведе потребан ниво сигнала.<sup>18</sup> Уколико је РА тест позитиван, програм прелази на следећи облик теста који се назива RF LOOP, док је на дисплеју порука TEST 112.

При овом облику теста процесор успоставља комуникацију и тестира само део модула који се функцијски налазе у предајном и пријемном каналу уређаја. Сигнал из предајног канала са модула A18 се враћа у пријемни канал, у облику који би био као да се прима са антене. Практично затвара петљу пре појачавача снаге, односно враћа сигнал основног опсега у пријемни канал преко модула A21, као што је то приказано на слици 3.6.

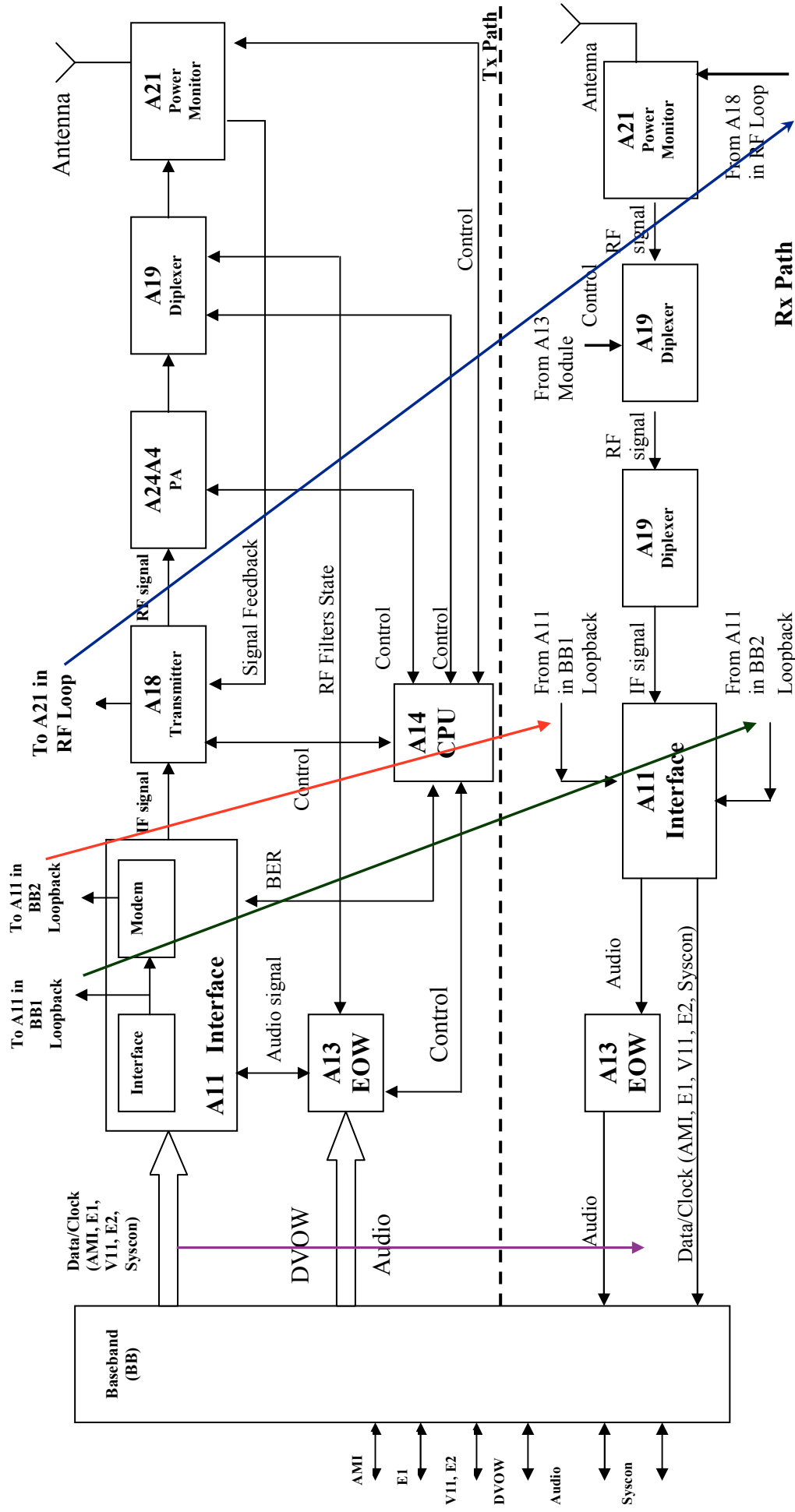
Уколико је тест позитиван, уређај ће извршити преподешавање параметара у облик:

- пријемна фреквенција-  $R_x = 1420 \text{ MHz}$ ,
- врста модулације - **QPSK**,
- битска брзина -  $1024 \text{ kb/s}$ ,
- врста рада - **AMI**,

и наставити са тестирањем уређаја према дефинисаним параметрима, док је на дисплеју порука да се реализује TEST 122. Закључује се, да програм тестирања не улази у остале ниже разредне петље, већ програм враћа тест у назад и заокружује циклус RF LOOP тестирања. То је из разлога смањења времена потребног за тестирање и из разлога што није потребно улазити у даља тестирања по петљама, јер није било никаких грешки током актуелног тестирања, тј. **модули у предајном каналу, за актуелно тестирање, су функционално исправни.**

<sup>17</sup> BASE-BAND конектор представља краткоспојник којим је обезбеђено да се излазни сигнали из уређаја поново враћају на улаз уређаја, као да су са мултиплексног уређаја.

<sup>18</sup> Управо због ове претпоставке, модел технологије је тестиран на уређају на коме је неисправан модул појачавача. Разлог за то је да се сагледа поузданост детерминисаног модела технологије при дефектацији исправности уређаја.



Слика 3.6 Блок шема радио-релејног уређаја



Даље програм врши тестирање по пријемном каналу уређаја. По истом принципу, ако су модули у пријемном каналу исправни, уређај прелази на подешавање параметара по осталим вредностима датим у табели (ток тестирања означен плавом бојом) и даље наставља TEST 211 и 212. У супротном уколико модули у пријемном каналу нису исправни, уређај прекида тестирање у RF LOOP и започиње ниже разредна тестирања у осталим петљама (означена црвеном и зеленом бојом), чији рад ће се објаснити у наставку рада.

Након завршетка тестирања на дисплеју уређаја је исписана порука о постојању грешака ( xx OFF LINE FAULTS) или не постојању грешака у тестирању уређаја (NO OFF LINE FAULTS).



Слика 3.7 Приказ када нема грешке



Слика 3.8 Приказ грешке на дисплеју

На крају самотестирања на дисплеју су исписана и два очекујућа упозорења (WARNING) са следећим кодним ознакама:

- **NO RF IN 11 A1 A19 A21** - нема RF сигнала у пријемном каналу, што је и очекивано, јер је RF сигнал доведен са модула A18 уместо са антене на пријем,
- **TX DATA IN 118 A11** – нема улазног сигнала на BASE-BAND конектору од мултиплексног уређаја, јер је на улазу постављен краткоспојник.

### **Облик теста SETUP PARAMETER TEST**

Код овог облика тестирања исправности рада уређаја и модула програм врши тестирање на потпуно исти начин као и код облика теста **FIXED PARAMETER TEST**, осим што се **тестирање ради по постављеним параметрима**, тј. на фиксним параметрима. Параметри које заузима уређај приликом тестирања су исти као и у претходном тестирању: предајна и пријемна фреквенција, врста модулације, врста рада и битска брзина. Ови параметри се не бирају од стране оператера, већ их поставља сам уређај приликом укључења. То су параметри на којима је радио уређај пре укључења самотестирања у оперативном раду.

Приликом активирања апликације SETUP PARAMETER TEST (слика 3.2) програм врши тестирање модула по четири облика теста и то:

- **TEST 1** – **PA** тест (означен плавом бојом у табели 3.2),
- **TEST 2** - **RF LOOP** тест (означен плавом бојом у табели 3.2),
- **TEST 3** - **BB2** тест (означен црвеном бојом у табели 3.2),
- **TEST 4** – **BB1** тест (означен зеленом бојом у табели 3.2).

На исти начин као и у претходном тестирању, програм активира рад TEST 1, а затим TEST 2 (слика 3.9 и 3.10).



Слика 3.9 Setup test – PA петља



Слика 3.10 Setup test – RF петља

Уколико су сви модули у предајном каналу уређаја исправни, врши се даље тестирање модула у пријемном каналу. Уколико је тест негативан, програм наставља са радом у нижеразредном тесту BB2 и BB1. Ови облици теста су помоћ механичару како би могао ближе одредити који је модул неисправан, што ће бити предмет даље анализе. Као и у претходном тестирању, тако и код овог облика тестирања, на крају се на дисплеју уређаја испишују извештаји о резултатима тестирања. Када је уређај исправан тестирање траје око **25 секунди**.

### Облик теста LOOP SELECTION

Ово је облик теста у коме, како и сам назив говори, механичар има могућност избора са којом петљом жели да тестира исправност уређаја и модула:

- петља **RF LOOP**,
- петља **BB2 LOOP**,
- петља **BB1 LOOP**,
- петља **LOOP BACK**.

Начин тестирања са опцијом RF LOOP петље је претходно објашњен. Са слике 3.6 плавом бојом је означено довођење сигнала са излаза модула A18 на улаз у модул A21. Јасно је да ако је RF LOOP тест позитиван и модули у предајном и пријемном каналу уређаја су исправни. Уколико је тест негативан програм ће по аутоматизму почети са активирањем апликације тестирања по BB2 LOOP петљи. Значи нижеразредни облици тестирања су превасходно намењени ради ближе дефектације неисправних модула у уређају. На слици 3.6, црвеном бојом је приказано довођење сигнала са излаза предајног дела модула A11 на улаз пријемног дела модула A11. Уколико је RF LOOP тест негативан, а BB2 LOOP позитиван, неисправан модул се налази у делу уређаја које ове две петље не обухватају самотестирањем исправности модула. То могу бити модули A18, A24A4, A19 или A21. Уколико је BB2 LOOP тест негативан, програм наставља тестирање модула које обухвата BB1 LOOP петља.

На слици 3.6 зеленом бојом је означено довођење сигнала са излаза интерфејса модула A11 на улаз пријемног дела модула A11. Уколико је BB1 LOOP позитиван, неисправан је модул A11 и то модем модула A11, а ако је негативан онда је неисправан неки од модула које не обухвата ова петља. То могу бити модули A11 део интерфејса, модул предње плоче или да није добар облик сигнала који долази од мултиплексног уређаја на BASE-BAND прикључак. Коректност сигнала који долази од мултиплексног уређаја тестира се са LOOP BACK петљом. Са овом петљом се проверава коректност улазних сигнала у модул A11, јер модул A11 представља везу са спољним сигнаlima који улазе у уређај. На слици 3.6 бордо бојом је приказано одвођење сигнала пре уласка у модул A11, чиме се затвара LOOP BACK петља.

На сликама 3.11 до 3.12 приказан је изглед дисплеја предње плоче приликом реализације неког од врсте теста када се врши облик теста **LOOP SELECTION.**



Слика 3.11 Петља RF



Слика 3.12 Петља LOOP BACK

### **Облик теста FRONT PANEL TEST**

На слици 3.5 приказан је изглед дисплеја на предњој плочи уређаја када је активирана опција тестирања предње плоче уређаја. FRONT PANEL TEST **траје око 1 минут** и при томе врши тестирање исправности елемената предње плоче, дисплеја и тастатуре. За време теста чује се испрекидан тон. На дисплеју, по одређеном редоследу, светле индикатори и исписана је порука "DISPLAY TEST" са приказом нарастајуће линије која показује трајање сваке фазе теста.

### **3.1.2 Надгледане (мерене) величине уређаја**

Као што је у уводном делу речено, постоје параметри које мери сам уређај, неопходни у његовој оперативној употреби, а исти се користе за дефектацију уређаја у склопљеном стању. Резултати самотестирања и мерене величине уређаја доприносе квалитетној дефектацији уређаја у склопљеном стању, тј. на основу њих се доноси закључак о исправности уређаја на најнижем нивоу одржавања ове врсте уређаја.

Уређај у свом оперативном раду ради са две врсте параметара и то са:

- 1- системским параметрима и**
- 2- надгледаним (мереним) параметрима.**

И једна и друга врста параметара подразумева да је уређај увезан у радио-релејни линк и да остварује везу са другим радио-релејним уређајем.

Надгледани параметри уређаја се могу прочитати у опцији EVAL OPERATION и то су следећи параметри:

- ниво пријемног сигнала,
- BER грешка у пријему сигнала,
- ниво предајног сигнала,
- однос активне и рефлектоване снаге,
- напони напајања за рад модула унутар уређаја,
- спољни извори напајања помоћу којих ради уређај.

Системски параметри уређаја су параметри које задаје оператер у свом оперативном раду:

- предајна фреквенција,
- пријемна фреквенција,

- врста модулације,
- врста интерфејса,
- битска брзина,
- мрежне адресе за LINK и DROP,
- број уређаја у линку и
- идентификација за позив послуживоца.

### 3.1.3 Резултати дефектације у склопљеном стању

Као резултат процеса самотестирања уређаја и мерених параметара могуће је формирати тзв. **листу могућих грешака** која указује на неисправност модула у уређају, са прегледом сумњивих модула чија неисправност узрокује неисправан рад уређаја. Грешка има ознаку кода, тако да генерисањем грешке приликом самотестирања уређаја на дисплеју се исписује нека од порука чији је садржај приказан у табели 3.3.

**Пример поруке на дисплеју: 1) NO RF IN 11 A1 A19 A21.**

Табела 3.3 је настала на основу процеса самотестирања и на основу мерених (надгледаних) параметара од стране уређаја.

Табела 3.3 Преглед могућих грешака и неисправних модула

Бр.	ПОРУКА	КОД	ОПИС ГРЕШКЕ	Сумњиви модули
1	2	3	4	5
1.	A1 CPU INTFC	10	Неисправан CPU интерфејс	A1, A14
2.	NO RF INPUT	11	Нема RF сигнала у пријему	A1, A19, A21
3.	SYNT UNLOCKED	12	RX RF синтезатор незакључан	A1
4.	SYNT IF UNLOC	13	RX IF синтезатор незакључан	A1
5.	A18 CPU INTFC	180	Неисправан CPU интерфејс	A18, A14
6.	TX PWR	181	Ниска предајна снага	A18, A24
7.	HIGH VSWR	182	Коефицијент VSWR је висок	A21, A18
8.	SYNT UNLOCKED	183	TX RF синтезатор незакључан	A18
9.	SYNT IF UNLOC	184	TX IF синтезатор незакључан	A18
10.	A11 CPU INTFC	110	Неисправан CPU интерфејс	A11, A14
11.	MUX FRAME LOS	111	Рам није синхронизован	A11, A1
12.	BER	112	Висок ниво BER	A11, A1
13.	MODEM RX DATA	113	У 16QAM/QPSK – нема података од модема	A11
14.	MODEM RX CLK	114	Нема повратног такта од RF	A11
16.	CLOCK OUT BB	117	Нема такта у основном опсегу	A11
17.	DATA IN BB	118	Нема података у основном опсегу	A11
18.	CLOCK IN BB	119	Нема такта у основном опсегу	A11
19.	FLAG CLK BB	11A	Нема TX такта 1	A11
20.	TX CLOCK BB	11B	Нема TX такта 2	A11
21.	A13 CPU INTFC	130	Неисправан CPU интерфејс	A13, A14
22.	TX FILTER	131	Неисправан TX филтер	A13
23.	RX FILTER	132	Неисправан RX филтер	A13
24.	DVOW DATA	133	Нема DVOW података из Relay	A13
25.	DVOW CLOCK	134	Нема DVOW такта из Relay	A13

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

26.	RX DATA EOW	135	Нема EOW података из RF	A13
27.	RX CLOCK EOW	136	Нема EOW такта из RF	A13
28.	TX DATA EOW	137	Нема EOW података из TX	A13
29.	TX CLOCK EOW	138	Нема EOW такта из TX	A13
30.	EOW PATH	139	EOW loop тест није успешан	A13
31.	A/D CONVERTER	140	Неисправан A/D конвертор	A14
32.	I2C BUS ERROR	141	Неисправан I <sup>2</sup> C интерфејс	A14
33.	+5 VOLT P.S.	142	Неисправно напајање напоном +5V	A25A2, A14
34.	+15 VOLT P.S.	143	Неисправно напајање напоном +15 V	A25A2, A14
35.	-15 VOLT P.S.	144	Неисправно напајање напоном -15 V	A25A2, A14
36.	+28 VOLT P.S.	145	Неисправно напајање напоном +28 V	A25A2, A14
37.	+12 VOLT P.S.	146	Неисправно напајање +12 V појачавача снаге	A25A2, A14
38.	MCR LINK	147	Нема SYSCON RF	A14
39.	CURRENT LIMIT	148	Тренутни лимит не може	A24A2, A14
40.	A25 CPU INTFC	250	Неисправан CPU интерфејс	A25A3, A14
41.	AC POWER	251	Неисправан AC извор напајања	A25A12
42.	DC POWER	252	Неисправан DC извор напајања	A25, A25A3
43.	MUX FRAME LOS	91	Рам није синхронизован	A11, A1, A19
44.	BER	92	Висок ниво BER	A11, A1, A19
45.	A21 CPU INTFC	210	Неисправан CPU интерфејс	A21, A14
46.	A19 CPU INTFC	190	Неисправан CPU интерфејс	A19, A14

На основу упутстава датим у табели ближе се може лоцирати неисправност неког од модула у уређају. Табела представља значајан допринос и олакшава рад механичару за одржавање радио-релејних уређаја. На овај начин релативно лако се може извршити дефектација исправности уређаја у склопљеном стању. Након тога се доноси одлука о акцијама корективног одржавања и слању уређаја на виши ниво одржавања. Један од разлога због чега се уређај шаље на виши ниво одржавања је пре свега да се отклоне сумње који је модул неисправан где год је, у колони "сумњиви модули" табеле 3.2, неисправност приказана са више од једног модула. За такве врсте отказа морају се урадити детаљнија мерења којима се врши анализа квалитета сигнала у појединим модулима, те на основу тих резултата се доноси одлука који ће се модул заменити исправним. Мерења на вишем нивоу одржавања се врше помоћу специјалне мерне опреме о којој ће бити речи у наставку рада. Такође, у наставку рада при дефектацији модула у уређају, понуђене опције из табеле 3.2, заједно са резултатима добијеним мерењем помоћу тест станице, користиће се за детаљнију и квалитетнију дефектацију уређаја.

Предложени модел технологије најнижег нивоа одржавања садржи све неопходне технолошке операције чијим спровођењем се утврђује техничка исправност уређаја. Реализацијом прописаних и објашњених технолошких операција тестирања, дефектација уређаја је брза, без растављања уређаја и аутоматизована. Прописане технолошке операције реализују механичари за техничко одржавање и у потпуности су прилагођене за овај ниво стручне оспособљености кадра и у складу су са постојећом опремом.

Технолошки поступак је приказан табеларно, а технолошке операције су сложене по редоследу извршења. У поступку су дати одговори на технолошка питања везана за реализацију тестирања. Резултате користи дефектатор у технолошком процесу дефектације исправности уређаја и проналажењу неисправних модула.

Карактеристично је да се прописане технолошке операције налазе у свим предложеним моделима осталих нивоа одржавања.

Предложени модел, у складу са техникама и методама за решавање проблема дефинисања технологије одржавања уређаја, ће се применити у организационој јединици, чија је основна делатност одржавање радио-релејних уређаја. На основу добијених резултата ће се донети одлука о предложеном моделу технологије одржавања на најнижем нивоу.

### 3.1.4 Модел технолошког поступка најнижег нивоа одржавања

Одржавање радио-релејног уређаја представља системску и непрекидну бригу, проверу исправности и сервисирање уређаја са циљем да се спрече и отклоне неисправности, продужи век трајања уређаја и одржи његова оперативна готовост. Радио-релејни уређај GRC 408E, потребно је проверити у следећим условима:

- одмах након прве уградње у кабину јединице система веза или објекат,
- одмах након премештања уређаја са једног места уградње на друго,
- пре покретања моторног возила у које је уграђен уређај,
- пре скидања са места уградње, ако се намерава преносити до места употребе,
- једном недељно ако се уређај не употребљава дуже време.

Најнижи ниво одржавања подразумева радове и технолошке операције из домена техничког прегледа уређаја. Реализује их механичар за радио-релејне уређаје. Техничким прегледом проверавају се функционалне исправности и комплетност радио-релејног уређаја. Технички преглед се реализује према моделу технолошког поступка приказаном у наставку рада. Технички преглед уједно представља и обуку у руковању, а посебно у испитивању исправности радио-релејног уређаја. Уочена оштећења и неисправности отклањају се на лицу места или се уређај упућује на средњи ниво одржавања.

**На овом нивоу одржавања се не сме отварати уређај нити мењати неисправни модули.** Дозвољена је замена модула A11 зависно од коришћеног мултиплексног уређаја у оперативној употреби радио-релејног уређаја.

Неисправности уређаја се отклањају у специјализованим радионицама опремљеним тест опремом, специјалним инструментима и алатима, обученим људством и резервним модулима уређаја.

После завршеног техничког прегледа од стране механичара за техничко одржавање, стање исправности уређаја и пратећег прибора уписује се у техничку књижицу уређаја.

**Модел технолошког поступка** по коме се реализује најнижи ниво одржавања и проверава функционалне исправност уређаја приказан је у наставку рада.

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

Табела 3.4 Модел технолошког поступка најнижег нивоа одржавања RRU GRC 408E

Војска Србије		Војна пошта		ТЕХНОЛОШКА ДОКУМЕНТАЦИЈА				Страна: 1			
				ТЕХНОЛОШКИ ПОСТУПАК				Ук. страна: 2			
				НАЗИВ ТЕХНИЧКОГ СРЕДСТВА				Ознака: Q52-08-001			
Идент. бр.		Номенклатурни број		Број радног налога		РАДИО-РЕЛЕЈНИ УРЕЂАЈ GRC 408E		Степен оправке			
		3210-1000-2000		12345		Серијски број		Т П			
Референтна документација		Место рада		Бр.комада		Фабрички број					
- Техничко упутство, - Фабричка документација - Тачка 3.1		Радионица за RRU		1		211PP500 AMI		00PP65			
Ред. бр.	Шифра технол. операције	Место рада		ОПИС ТЕХНОЛОШКЕ ОПЕРАЦИЈЕ				Рефер. докум.	Средства за рад	Време припреме	Време реализације
		Радионица	Радионица								
1	10201	412	274	Допрема уређаја на радно место				ТУ	Визуелно		
2	10201	412	274	Провера комплетности уређаја, прибора и антенског комплета у односу на техничку књижицу				ТУ	Визуелно		
3	10301	412	274	Чишћење уређаја, прибора и антенског комплета и визуелни преглед уређаја				ТУ	Визуелно		
4	10302	412	274	Визуелна провера исправности дисплеја и тастатуре				ТУ	Визуелно		
5	10302	412	274	Провера притегнутости конектора и преклопника на предњој плочи				ТУ	Комплет алата		
6	10303	412	274	Провера исправности заштитне боје и отклањање последица корозије на кућишту уређаја				СОРС	Визуелно		

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

7	10302	412 274	Провера исправности каблова, омска провера каблова	ТУ	Дигимер	
8	10302	412 274	Провера исправности делова антенског стуба	ТУ	Визуелно	
9	10302	412 274	<b>Дефектација уређаја у склопљеном стању и испитивање функционалне исправности уређаја применом модела технологије најнижег нивоа одржавања објашњеним у тачки 3.1 овог рада</b>	ТУ	GRC 408E	
10	10303	412 274	Замена потрошног материјала	ТУ	TK-06- 101M	
11	10324	412 274	Унос предвиђених података у техничку књижицу средства	ТУ		
12	70301	412 274	Предаја уређаја контролору – старешини који прегледа техничку исправност уређаја	ТУ		
13	10324	412 274	Овера техничке књижице средства			
14	10201	412 274	Предаја уређаја у јединицу на даље коришћење	ТУ		
<b>Датум израде:</b>				<b>Из радио технолог:</b>		<b>Одобрава:</b>
				<b>Сагласан:</b>		

**Легенда:**

- Шифра технолошке операције – из шифарника технолошких операција,
- Место рада – место где се реализује технолошка операција по шифарнику радних места,
- Радни центар – место у коме су груписане сличне технолошке операције и где се реализују поједине технолошке операције
- Време припреме – време потребно за припрему радног места, укључујући и средства за рад, како би се створили услови за реализацију технолошке операције,
- Време израде – ефективно време за реализацију прописане технолошке операције.
- ТУ – техничко упутство,
- СОРС – стандард одбране Републике Србије.



### 3.2 Модел технологије средњег нивоа одржавања

Сложенијим технолошким захватима на уређају, које реализује стручно оспособљен кадар, стварају се услови за проширење технолошке дубине радова на уређају. За разлику од претходно претпостављеног модела технологије и садржаним технолошким операцијама, модел технологије средњег нивоа одржавања је сложенији. Сложеност се огледа у растављању уређаја до **нивоа модула**, дефектацији и завршним испитивањима са специјалном мерном опремом и у сваком сегменту примењеним савременим методама техничке дијагностике.

У моделу технологије се претпоставља да се дефектација радио-релејног уређаја помоћу специјалне мерне опреме реализује на **средњем нивоу одржавања радио-релејних уређаја у јединицама Војске Србије**<sup>19</sup>. Када уређај дође на средњи ниво одржавања, механичари раде по претпостављеном технолошком поступку одржавања уређаја. Садржај технолошког поступка у првој фази чине технолошке операције које су вршене на нижем нивоу одржавања. Ту се пре свега мисли на то да једну од технолошких операција чини самотестирање уређаја (почетна дефектација уређаја у склопљеном стању), чиме се потврђује функционално стање уређаја утврђено на нижем нивоу одржавања. Резултати самотестирања и листа могућих грешака стварају слику о томе који су потенцијални модули који доводе до неисправног рада уређаја. Резултати самотестирања користе се и касније, када су доступни резултати дијагностичких мерења са тест станицом, како би дефектација стања уређаја била што тачнија. Након тога се реализују остале технолошке операције прописане у претпостављеном моделу технологије средњег нивоа одржавања радио-релејног уређаја.

Једна од најважнијих технолошких операција у моделу технологије средњег нивоа одржавања је тестирање исправности уређаја или дефектација уређаја применом **савремене методе техничке дијагностике** и употребом специјалне мерне опреме. Специјалну мерну опрему чини савремена **тест станица** у којој је интегрисан рад више врста савремених и софтверски управљаних мерних инструмената. Инструменти омогућују детаљна мерења појединих сигнала унутар уређаја помоћу којих међусобно комуницирају модули и реализују своју основну намену [85,89,90,119].

За разлику од мерења самотестирањем, код кога је битна функцијска провера рада модула, код модела средњег нивоа одржавања се практично анализира квалитет сигнала који комуницирају међусобно између модула, а унутар уређаја. Ово представља основну разлику између два модела технологија одржавања, по којима се види да је ова друга знатно технолошки сложенија.

Помоћу резултата мерења, добијених специјалним мерним инструментима, омогућује се механичарима и инжењерима да остваре увид у неисправност, односно исправност рада појединих модула унутар уређаја. Добити резултати мерења омогућују квалитетну одлуку о томе који је модул неисправан или који је модул потенцијални узрок неисправности уређаја.

Интегрисана мерна опрема чини тест станицу која извршава аутоматска мерења по дефинисаном системском програму. Тест станицом се реализују и завршна мерења на уређају потпуно аутоматизовано, тако да је искључен субјективни фактор човека. Такође, амортизација инструмената и пратећих адаптера и каблова, чија је вредност велика, је сведена на минимум<sup>20</sup>. То је битно са становишта одржавања тест станице и радио-релејних уређаја. У наставку ће се детерминисати претпостављени модел технологије одржавања радио-релејних уређаја на средњем нивоу одржавања који ће се релизовати у јединицама Војске Србије.

<sup>19</sup> Претпоставка је да средњи ниво одржавања реализују јединице за средњи ремонт, тј. логистички батаљони у складу са Правилником о одржавању средстава НВО у МО и ВС.

<sup>20</sup> Не врши се премештање инструмената, каблова, адаптера. Они стоје унутар тест станице и потпуно је аутоматизовано мерење свих параметара уређаја.

### 3.2.1 Мерна опрема за дефектациона и завршна мерења

Да би дефектација уређаја на средњем нивоу одржавања била што квалитетнија неопходно је доста релеватних резултата мерења појединих параметара уређаја. Комплетно сва мерења потребна за овај ниво одржавања реализују се помоћу *тест станице групе А завршних испитивања радио-релејних уређаја GRC 408E и GRC 408E/34*. Изглед станице приказан је на слици 3.13.



Слика 3.13 Тест станица групе А завршних испитивања

Тест станицу чине:

- група инструмената смештена у РЕК ормару,
- референтни радио-релејни уређај GRC 408E,
- рачунар са софтвером за управљање радом инструмената и штампачем,
- пратећи прибор: каблови, атенуатори и адаптери.

Тест станица групе А завршних мерења је намењена за мерења у оквиру дефектације и завршних испитивања исправности радио-релејних уређаја. Суштину станице чине мерни инструменти чијим радом управља рачунар помоћу специјално израђеног софтверског програма за рад, управљање и прикупљање података од инструмената. На основу прикупљених података програм врши анализу и поређење са референтним вредностима, те формира извештај о резултатима мерења у облику завршне листе мерења (TEST REPORT).

Инструменти уграђени у тест станицу су мерни инструменти са којима би се реализовала ручна мерења, с тим да би она трајала знатно дуже и била би знатно компликованија. Уграђени мерни инструменти у тест станицу су:

1. Мерач RF снаге *Agilent E4418B*;
2. Мерач RF снаге *Boonton 4231A*;
3. Анализатор SONET/SDH/PDH/ATM *Anritsu MP1570A/A1*;
4. Дигитални мултиметар *Agilent 34401A*;
5. Бројач фреквенције *Agilent 53131A*;

6. Анализатор дигиталног преноса *Anritsu MD6420A*;
7. Генератор импулса *KEITHLEY 3390*;
8. Тестер аудио сигнала *Audio Precision ATS-1*;
9. Тест адаптер *FINAL TEST FIXTURE for GRC-408E-GRC-408E\34*;
10. Извор напона напајања *TDK-LAMBDA*.

Мерења која се реализују током рада станице представљају стандардна мерења дигиталних радио-релејних уређаја новије генерације и општа су са становишта примене на ову врсту уређаја (излазна снага, осетљивост, тачност фреквенција, однос сигнал/шум, вредност грешке у преносу података). У исто време инструменти омогућују мерење свих битних параметара за рад уређаја и анализу функционалне исправности модула унутар уређаја.

Предност оваквог начина мерења је та што механичар (оператер станице) није у обавези да врши повезивање мерних инструмената за свако мерење или групу мерења и да читава сваку измерену вредност инструмента. Оператер станице добија комплетан извештај о сваком мерењу које су реализовали инструменти по програмским наредбама које добијају од рачунара. Обавеза оператера је да све време рада станице буде присутан, јер део програмских наредби које рачунар упућује према инструментима, захтева и активност оператера. Активност се огледа у делу који се односи на стварање услова програму да прелази са режима испитивања (мерења) из предајног у пријемни канал уређаја<sup>21</sup>.

За рад тест станице неопходно је обезбедити један референтни радио-релејни уређај. Улога референтног радио-релејног уређаја је успостављање радио-релејног линка са уређајем који се испитује на тест станици. Радио-релејни линк се успоставља преко тест станице, када се врше и одређена мерења квалитета сигнала који се преноси кроз радио-релејни линк и провера карактеристика које утичу на домет уређаја.

У комплекту тест станице налази се персонални рачунар на коме је инсталиран програм за завршна мерења и управљање радом инструмената. Програм садржи три апликације:

- завршна испитивања радио-релејног уређаја GRC 408E са AMI интерфејсом,
- завршна испитивања радио-релејног уређаја GRC 408E са V11 интерфејсом и
- завршна испитивања радио-релејног уређаја GRC 408E/34.

Оператер мора приликом покретања програма за завршна испитивања уређаја, да води рачуна о одабиру одговарајуће апликације за испитивање, као и то да референтни уређај буде комплементаран са уређајем који се испитује како не би дошло до евентуалних оштећења модула у уређају. Такође, пре укључења уређаја неопходно је прикључити проточне атенуаторе или вештачка оптерећења, који врше слабљење снаге, како би се избегла опасност од опције да је уређај остао подешен на високу снагу.

Зависно од избора апликације покреће се рад програма за тестирање испитиваног радио-релејног уређаја и реализују се мерења. Мерења се реализују комуникацијом између софтвера у рачунару, преко одговарајућег серијског порта RS-232, каблова и I/U конектора који се налазе на инструментима. Који ће инструменти вршити мерења и у ком тренутку дефинише сам програм. Реализација програмске наредбе од стране програмски дефинисаног инструмента остварује се преко IP адресе коју поседује сваки инструмент посебно.

Сви измерени параметри архивирају се у рачунару у одговарајућој бази података. Након завршених мерења реализује се форма за приказ и штампање резултата мерења.

---

<sup>21</sup> Стварање услова програму подразумева да механичар или технолог даје одговоре на постављена питања од стране програма који реализује мерења. Одговори се уносе путем тастатуре на дисплеју уређаја или тастатуре рачунара преко кога се управља инструментима.

Може се рећи да је рад са тест станицом аутоматизован и већим делом не захтева присуство оператера. Такође, не захтева се присуство контролора процеса ремонта (одржавања), јер је процес испитивања аутоматизован и искључује субјективни фактор у процесу испитивања техничке исправности радио-релејног уређаја. Овакав начин примене техничке дијагностике смањује капацитете неопходне за одржавање радио-релејних уређаја на овом нивоу одржавања.

### 3.2.2 Модел технолошке операције мерења параметара уређаја на тест станици

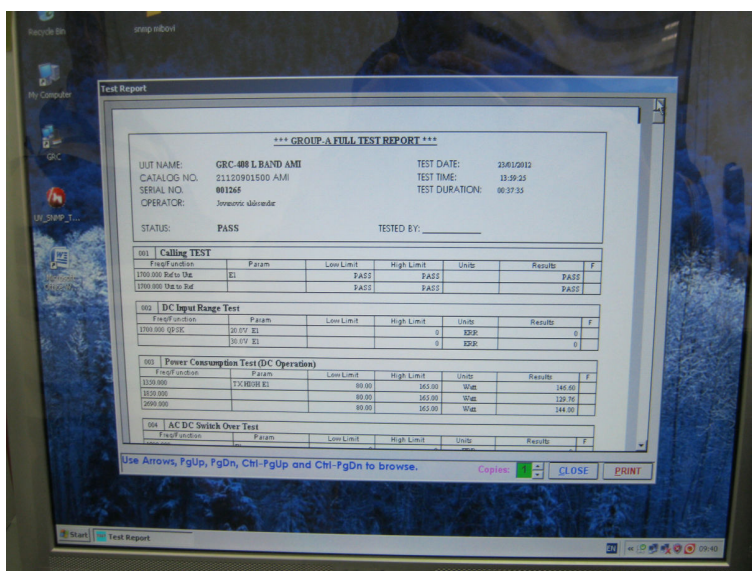
Након одговарајућих повезивања врши се прикључење уређаја на прописано напонско напајање. Успостављање комуникације између рачунара и тест станице по серијском порту RS-232 врши се аутоматски, тј. није потребно успоставити "dial-up" конекцију на рачунару. Рачунар ће препознати тест станицу убрзо након укључивања напона напајања тест станице. Укључивањем програма за дијагностику стања (завршна мерења) испитиваног радио-релејног уређаја, оператер тест станице следи упутства и захтеве које му програм предочава путем понуђених програмских прозора на монитору рачунара. Ако је завршено покретање иницијалног програма, оператер добија потврду *UUT response OK* и *REF response OK*, што говори да је комуникација тест станице са уређајем успостављена и да ће програм у наредном кораку покренути испитивања. Уколико се не добије порука да је комуникација успостављена, програм ће генерисати поруку због чега није могуће остварити комуникацију са уређајем и где треба тражити узрок грешке.

**Комплетно дијагностичко или завршно мерење траје по једном уређају око 60 минута. При томе инструменти у оквиру тест станице измере око 150 параметара битних за анализу функционалне исправности уређаја. Резултати мерења тест станицом приказани су у наставку рада.**

Након завршетка мерења тест станицом и приказа резултата мерења, због појединих специфичних мерења потребно је заменити место референтног и испитиваног уређаја и поновити мерења. Разлог за то је вишеструки. Наиме на испитиваном уређају се мери само излазни ниво RF сигнала, али не и његов квалитет. Резултати које добијемо мерењем тест станицом, а који се односе на пријемни канал, су последица преноса предајног сигнала са референтног уређаја, на основу кога добијамо увид у исправност пријемног канала у испитиваном уређају. Као што се види не постоје резултати мерења који говоре стање модула у предајном каналу, те се мора приступити **алтернативној методи** која се састоји у замени места референтног и испитиваног уређаја. Тако ће се сада у пријемном каналу вршити мерења сигнала који долази од референтног уређаја, који је претходно био испитивани уређај. На овај начин је затворен кружни пут сигнала од испитиваног уређаја кроз предајни канал, преко радио-релејног линка, кроз пријемни канал референтног уређаја, предајни канал референтног уређаја и кроз пријемни канал испитиваног уређаја.

### 3.2.3 Модел приказа, објашњења и коришћења резултата мерења са тест станицом у поступку дефектације уређаја

Након завршеног рада тест станице на монитору ће се приказати резултати тестирања испитиваног уређаја, као на слици 3.14.



Слика 3.14 Софтверска апликација и приказ дела резултата мерења

У табели 3.5 приказани су резултати завршних мерења реализованих тест станицом.

Табела 3.5 Резултати тестирања функционалне исправности уређаја тест станицом

<b>*** GROUP-A FULL TEST REPORT ***</b>						
UUT NAME:	<b>GRC-408 L BAND AMI</b>	TEST DATE:	20/01/2012			
CATALOG NO,	2112PPP1500 AMI	TEST TIME:	13:59:25			
SERIAL NO,	<b>001PPP265</b>	TEST DURATION:	00:37:35			
OPERATOR:	<b>Radonjić Vojkan</b>	TESTED BY:	_____			
STATUS:	<b>PASS</b>					
<b>001 Calling TEST</b>						
Freg/Funkcion	Param	Low Limit	High Limit	Units	Results	F
1700.000 Ref toUnt	E1	PASS	PASS		PASS	
1700.000 Ref toUnt		PASS	PASS		PASS	
<b>002 DC Input Range Test</b>						
Freg/Funkcion	Param	Low Limit	High Limit	Units	Results	F
1700.000 QPSK	20.0V E1		0	ERR	0	
	30.0V E1		0	ERR	0	
<b>003 Pover Consumption Test (DC Operation)</b>						
Freg/Funkcion	Param	Low Limit	High Limit	Units	Results	F
1350.000	TX HIGH E1	80.00	165.00	Watt	146.60	
1850.000		80.00	165.00	Watt	129.76	
2690.000		80.00	165.00	Watt	144.00	

<b>004 AC DC Switch Over Test</b>						
Freg/Funkcion	Param	Low Limit	High Limit	Units	Results	F
1700.000	E1	0	0	ERR	0	
	AC Reconnect	0	0	ERR	0	

<b>005 Sensitivity 16QAM Modem Test</b>						
Freg/Funkcion	Param	Low Limit	High Limit	Units	Results	F
1350.000	AMI 1048K		1.E-5	BER	< 1E-7	
	AMI 8192K		1.E-5	BER	< 1E-7	
1600.00	E1		1.E-5	BER	< 1E-7	
	4E1		1.E-5	BER	< 1E-7	
1850.000	AMI 1048K		1.E-5	BER	< 1E-7	
	AMI 8192K		1.E-5	BER	< 1E-7	
2400.000	E1		1.E-5	BER	< 1E-7	
	4E1		1.E-5	BER	< 1E-7	
2690.000	AMI 2048K		1.E-5	BER	< 1E-7	
	AMI 8192K		1.E-5	BER	< 1E-7	

<b>006 Sensitivity QPSK Modem Test</b>						
Freg/Funkcion	Param	Low Limit	High Limit	Units	Results	F
1350.000	AMI 256K		1.E-5	BER	< 1E-7	
	AMI 512K		1.E-5	BER	< 1E-7	
	AMI 1024K		1.E-5	BER	< 1E-7	
	AMI 2048K		1.E-5	BER	< 1E-7	
	AMI 8192K		1.E-5	BER	< 1E-7	
1600.000	E1		1.E-5	BER	< 1E-7	
	4E1		1.E-5	BER	< 1E-7	
1850.000	AMI 2048K		1.E-5	BER	< 1E-7	
	AMI 8192K		1.E-5	BER	< 1E-7	
2400.000	E1		1.E-5	BER	< 1E-7	
2400.000	4E1		1.E-5	BER	< 1E-7	
2690.000	AMI 2048K		1.E-5	BER	< 1E-7	
	AMI 8192K		1.E-5	BER	< 1E-7	

<b>007 Service Channel Level and SINAD Test</b>						
Freg/Funkcion	Param	Low Limit	High Limit	Units	Results	F
1600.000	LEVEL	0.7	1.4	V	1.09	
	SINAD	10.0	30.0	db	14.7	
2400.000	LEVEL	0.7	1.4	V	1.09	
	SINAD	10.0	30.0	db	14.7	

<b>008 Power + Freg Accuracu (Modem QPSK) Test</b>						
Freg/Funkcion	Param	Low Limit	High Limit	Units	Results	F
1350.000	LOW AMI	22.30	26.30	dBm	24.02	

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

	2048K					
	MED	28.30	32.30	dBm	30.32	
	HIGH	36.00	---	dBm	37.96	
	Accuracy	- 2.50	2.50	PPM	- 0.13	
1600.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	23.93	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.26	
	HIGH	36.00	---	dBm	38.02	
	Accuracy	- 2.50	2.50	PPM	- 0.14	
1850.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	23.96	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.28	
	HIGH	36.00	---	dBm	38.02	
	Accuracy	- 2.50	2.50	PPM	- 0.15	
2400.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	23.95	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.15	
	HIGH	36.00	---	dBm	38.02	
	Accuracy	- 2.50	2.50	PPM	- 0.20	
2690.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	23.51	
	MED	28.30	32.30	dBm	29.82	
	HIGH	36.00	---	dBm	37.28	
	Accuracy	- 2.50	2.50	PPM	- 0.20	

009		TX Power (Modem 16QAM) Test				
Freg/Funkcion	Param	Low Limit	High Limit	Units	Results	F
1350.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	24.29	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.83	
	HIGH	36.00	---	dBm	37.72	
1600.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	24.04	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.59	
	HIGH	36.00	---	dBm	37.67	
1850.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	24.18	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.73	
	HIGH	36.00	---	dBm	37.82	
2400.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	24.20	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.61	
	HIGH	36.00	---	dBm	37.53	
2690.00	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	23.95	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.33	
	HIGH	36.00	---	dBm	36.52	

<b>010 EOW Order Wire Test</b>						
<b>Freg/Funkcion</b>	<b>Param</b>	<b>Low Limit</b>	<b>High Limit</b>	<b>Units</b>	<b>Results</b>	<b>F</b>
1600.000	QPSK E1		1.E-5	BER	< 1E-5	
2400.000	16QAM 4E1		1.E-5	BER	< 1E-5	

<b>011 Emergency Test</b>						
<b>Freg/Funkcion</b>	<b>Param</b>	<b>Low Limit</b>	<b>High Limit</b>	<b>Units</b>	<b>Results</b>	<b>F</b>
2690.000	LEVEL	0.7	1.4	V	1.09	
	SINAD	10.0	30.0	dB	14.8	

**\*\*\*END OF TEST REPORT\*\*\***

Из приказаних резултата може се видети да тест станица мери параметре за 11 различитих врста функција и то:

- 1- Провера позива између референтног и испитиваног радио-релејног уређаја (**Calling TEST**) – 001,
- 2- Испитивање опсега једносмерног напона (**DC Input Range Test**) – 002,
- 3- Мерење потрошње уређаја (**Pover Consumption Test (DC Operation)**) – 003,
- 4- Провера пребацивања извора напајања уређаја (**AC DC Switch Over Test**) – 004,
- 5- Мерење осетљивости пријемника за 16 QAM модулацију (**Sensitivity 16QAM Modem Test**) – 005,
- 6- Мерење осетљивости пријемника за QPSK модулацију (**Sensitivity QPSK Modem Test**) – 006,
- 7- (**Service Channel Level and SINAD Test**) – 007
- 8- Мерење излазне РФ снаге за QPSK модулацију (**Pover + Freg Accuracu (Modem QPSK) Test**) – 008,
- 9- Мерење излазне РФ снаге за 16 QAM модулацију (**TX Power (Modem 16QAM) Test**) – 009,
- 10- EOW (**EOW Order Wire Test**) – 010,
- 11- Emergency test (**Emergency Test**) – 011.

**Провера позива између референтног и испитиваног уређаја**

Испитивање се реализује помоћу тест станице и у реализацији провере има учешћа оператера. Испитивање се састоји у функционалној провери поступка позивања референтног и уређаја који се испитује. Ово испитивање се у стварности реализује након испитивања предајне снаге (РФ снаге), а резултати у табели 3.5 се приказују као први. Реализација испитивања се врши након испитивања излазне РФ снаге, јер мора постојати одговарајућа предајна снага да би уређаји међусобно комуницирали. Ако су сви модули у предајном каналу у реду и постоји прописан ниво излазне РФ снаге, грешку током реализације испитивања позива између два уређаја може проузроковати неисправност неког од модула респективно:

- модул А13 – преко кога се управљачки сигнали укључују у заједнички предајни сигнал на модулу А11. Неисправност на модулу А13 манифестује се губитком сигнала позива,



- модул A25 – сигнал позива кога упућује један уређај другом уређају, генерише се од стране оператера преко елемената на предњој плочи, тј. на модулу A25. Уколико је неки од елемената на предњој плочи неисправан, узроковаће неисправност сигнала позива или га неће бити уопште,
- модул A14 – уколико је неисправна централна процесорска јединица (модул A14) преко које се врши софтверско управљање модулима A13 и A11, неће бити команде за реализацију наредбе позива између оператера,
- модул A11 – сигнал позива се преко модула A13 прослеђује у модул A11 где се врши његова модулација и даље слање кроз модуле у предајном каналу уређаја ка испитиваном уређају. Уколико се не изврши квалитетна модулација или уколико модул A11 не ради, сигнал позива неће стићи до другог уређаја у радио-релејном линку.

Дефектација неисправности функције уређаја, провере позива између референтног и испитиваног радио-релејног уређаја (001), реализује се као у прилогу 1. Оправка уређаја на овом нивоу одржавања у јединицама Војске Србије би се реализовала заменом модула према претпостављеном моделу алгоритма дефектације неисправности модула на средњем нивоу одржавања, датом у прилогу 1.

### **Испитивање опсега једносмерног напона напајања**

У складу са прописаним техничким карактеристикама уређаја предвиђено је да уређај може радити са два извора напајања и то: наизменичним и једносмерним. У овој фази испитивања тест станицом реализује се испитивање рада уређаја преко извора једносмерног напајања. Уређају се намерно доводе напони напајања који одступају и по горњој и по доњој граничној вредности, односно доводе се једносмерни напони 20V и 30V, респективно. При оваквој вредности једносмерног напона напајања проверава се да ли уређај ради у радном режиму. Провера се врши при вредностима фреквенције  $f = 1700 \text{ MHz}$  и QPSK модулацији. Грешку током реализације испитивања опсега једносмерног напона може проузроковати неисправност неког од следећих модула:

- модул A25A2 – модул напајања који је смештен на предњој плочи уређаја. Неисправност се манифестује тако што уређај ради када је наизменични извор напајања, а када се пребаци у режим једносмерног напајања уређај неће радити,
- модул A14 – централна процесорска јединица не врши правилно управљање радом са модулом A25.

Дефектација неисправности функције уређаја, испитивање опсега једносмерног напона напајања (002), реализује се према претпостављеном моделу алгоритма дефектације неисправности модула датом у прилогу 1. Оправка уређаја на овом нивоу одржавања у јединицама Војске Србије би се реализовала заменом модула према наведеном моделу приказаном у прилогу 1.

### **Мерење потрошње уређаја**

Тест станица проверава функцију потрошње уређаја мерењем струје потрошње. Струја потрошње и напон мере се дигиталним мултиметром. Множењем ове две величине добија се снага потрошње уређаја у дефинисаном режиму рада уређаја.

Тест станица мери струју потрошње у најекстремнијим режимима. То подразумева да је уређај подешен на највиши ниво предајне снаге, за врсту рада E1 и три различите фреквенције. Струја потрошње у резултатима мерења се изражава преко снаге уређаја. Тако доњи ниво снаге износи **80 W**, а горњи ниво снаге износи **165 W** при све три вредности предајне фреквенције. Уколико је снага потрошње изван дозвољених граница значи да је грешка у жичној форми или је неки од полупроводника који се налазе у модулима спојен према маси. Узрок оваквог стања може бити било који од модула у предајном каналу (A13, A14, A1, A18, A11 или предња плоча A25). Заменом једног по једног модула долази се до неисправног модула, а уколико се и после замене настави са истом манифестацијом, треба уређај послати на виши ниво одржавања.

Начин дефектације и оправке уређаја ради санирања неисправности уређаја услед повећане струје потрошње (003), реализовала би се према претпостављеном моделу алгоритма дефектације неисправности модула датом у прилогу 1.

### **Провера пребацивања извора напајања уређаја**

Испитивање се реализује помоћу тест станице и у реализацији провере има учешћа оператера. Испитивање се састоји у функционалној провери поступка пребацивања извора напајања уређаја (004). Наиме по софтверској наредби оператер искључује наизменично напајање уређаја, а уређај аутоматски прелази на режим напајања са једносмерног извора напајања. Кључну улогу у реализацији ове функције уређаја има реле, на предњој плочи, који реализује ову наредбу. Тако да уколико се не реализује ова функција током испитивања уређаја потребно је извршити замену модула A25, односно извршити замену целе предње плоче.

Поступак оправке и дефектације приказан је у алгоритму, у прилогу 1.

### **Мерење осетљивости пријемника за обе врсте модулације**

Мерење осетљивости пријемника је једно од најважнијих и најсложенијих мерења које реализује тест станица. Мерење осетљивости се врши за различите фреквенције, различите врсте рада уређаја, различите битске брзине. Мерење се реализује помоћу следећих инструмената у тест станици:

- PDH анализатора који мери BER, PDH AMI пријемног сигнала, *Anritsu MD6420A*, (слика 3.21),
- SDH анализатора који мери BER, SDH E1, 4E1 EUROCOM сигнала, *Anritsu MP1570A/A1* (слика 3.16),
- генератора импулса који даје одговарајуће сигнале, као улаз на *baseband* прикључак (2 048, 8 192, E1 и 4E1), *KEITHLEY 3390* (слика 3.22),
- мерача снаге PWR-1 који контролише снагу улазног сигнала (не учествује директно у резултатима мерења, његова улога је контрола саме тест станице, слика 3.17).

Обзиром на то да уређај реализује облик дигиталне модулације сигнала, параметар који се мери током мерења тест станице је грешка у преносу сигнала, **BER**. **Највећа дозвољена грешка у преносу података износи  $BER < 10^{-5}$** . При овој вредности грешке у преносу података неће доћи до нарушавања облика сигнала, односно неће бити грешке у преносу података. Вредност грешке за режиме E1 и 4E1 мери се SDH анализатором, а за AMI режиме PDH анализатором. Под претпоставком да је предајни сигнал од референтног уређаја коректан како по питању нивоа снаге тако и по питању квалитета сигнала након модулације, исти се у режиму смањене снаге предајника,

преко ослабљивача од 30dB и 50dB, доводи на улаз испитиваног уређаја. Да би се измерила грешка у преносу података уређај практично ради у режиму када је најнеповољнији пријем и тада му је доведен слаб сигнал на улаз. Уколико је вредност грешке већа од дозвољене узрок томе могу бити неки од модула, респективно:

- модул А1 – модул пријемника у коме се врши транслација спектра пријемног сигнала у више секвенци, као и прилагођење сигнала. У модулу се налазе синтезатори фреквенције којим се врши транслација спектра, тако да било какво одступање одражава се на квалитет пријемног сигнала,
- модул А11 – модул интерферса у коме се врши демодулација сигнала у основном опсегу, као и прилагођење сигнала линијским прикључцима на *baseband* конектору. Било каква неисправност модула А11 се одражава на квалитет сигнала,
- модул А14 – модул централне процесорске јединице која управља радом и надгледањем рада целог уређаја. Било каква неисправност у раду модула, одражава се на неисправан рад целог уређаја.

Дефектација неисправности функције уређаја, мерење осетљивости уређаја за 16 QAM модулацију (005), реализовала би се као у претпостављеном моделу приказаном у прилогу 1. На потпуно идентичан начин реализује се мерење осетљивости пријемника за QPSK модулацију (006). Оправка уређаја на овом нивоу одржавања у јединицама Војске Србије реализовала би се заменом модула према асортиману модула приказаним у наведеном моделу.

### **Сервисни канал и SINAD Test**

Провера сервисног канала представља проверу канала преко кога два уређаја, тј. њихови процесори размењују информације.

Реализује се помоћу следећих инструмената из тест станице:

- Анализатора аудио сигнала *Audio Precision ATS-1* (слика 3.23),
- Мерача снаге PWR-1, који контролише снагу улазног сигнала (не учествује директно у резултатима мерења, његова улога је контрола саме тест станице, слика 3.17).

Провера се састоји у томе што генератор аудио сигнала генерише одређену комбинацију аудио сигнала, затим се тај сигнал преноси сервисним каналом и након демодулације се мери ефективни ниво сигнала (напон) на анализатору аудио сигнала и однос сигнал/шум у SINAD вредности. SINAD вредност представља меру квалитета сигнала у основном (аудио) опсегу. То је однос између збира средње снаге сигнала, шума и дисторзије сигнала и збира средње снаге шума и дисторзије сигнала. Провера сервисног канала се врши за две врсте фреквенција, док референтна вредност ефективног нивоа напона износи 0.7-1.4 V, а односа сигнал/шум у SINAD-има 10-30 dB.

Уколико је измерена вредност већа од референтне узрок неисправности може бити неки од следећих модула:

- модул А25 предња плоча – у преносном путу од улазног конектора, који се налази у модулу А25, до матичне плоче може доћи до прекида сигнала ,
- модул А11- у коме се врши мултиплексирање као и раздвајање сигнала сервисног канала из предајног или пријемног сигнала, респективно,
- модул А14 – у случају када је неисправно управљање од стране процесора.

Дефектација неисправности функције уређаја, провера сервисног канала (007), реализовала би се према претпостављеном моделу у прилогу 1. Оправка уређаја на овом нивоу одржавања у јединицама Војске Србије реализовала би се заменом модула, приказаним у прилогу 1.

### **Мерење излазне RF снаге за обе врсте модулације**

Мерење излазне снаге, исто као и мерење осетљивости, је једно од најважнијих и најсложенијих мерења које реализује тест станица. Мерење излазне RF снаге се врши за различите нивое снаге, различите фреквенције, различите врсте рада уређаја, различите битске брзине. Мерење излазне снаге и тачности фреквенције при којима се мери излазна RF снага реализује се помоћу следећих инструмената у оквиру тест станице:

- Power meter 2, помоћу кога се мери излазна снага, *Agilent E4418B* (слика 3.19),
- Бројач фреквенције, помоћу кога се мери фреквенција излазног RF сигнала, *Agilent 53131A* (слика 3.18).

Мерење излазне снаге по наредби софтверског програма тест станице, прво се реализује за QPSK модулацију. То је из разлога што се пре мерења излазне RF снаге врши провера тачности заузимања фреквенције и иста се, као што смо раније рекли, врши само за QPSK модулацију. Зато су у тачки (008) табеле 3.5 обједињене ове две врсте мерења.

Доња и горња гранична вредност излазне RF снаге имају различите вредности зависно од задатог режима снаге. Минимална вредност излазне RF снаге износи 22.30 dBm, а максимална вредност износи 36 dBm.

Уколико је вредност грешке већа од дозвољене узрок томе могу бити неки од модула:

- модул A18 – модул предајника у коме се врши припрема сигнала за пренос. У модулу се врши промена фреквенције у два степена (две међуфреквенције), тако да се због тога у предајнику налазе два синтезатора. Поред тога у модулу A18 се налази интерфејс модула A21 према процесору, као и интерфејс самог модула A18. Ту је и низ елемената чија је улога регулација предајног сигнала, тако да грешка у раду било ког елемента у модулу узрокује грешку у раду модула A18, а тиме и грешку у резултатима мерења. Одступања у раду модула A18 у најгорем случају могу проузроковати прекид радио-релејног линка, односно прекид везе,
- модул A14 – централна процесорска јединица која управља радом модула A18 и осталим модулима у предајном каналу,
- модул A11 – модул интерфејса у коме се врши обрада NF сигнала који долази на уређај преко *baseband* прикључка. Такође, у модулу се реализује модулација NF сигнала. Грешке које се могу јавити у модулу A11 неће се одразити на ниво излазног RF сигнала већ на величину грешке у преносу података или губитак радио-релејног линка. Тиме модул A11 посредно утиче на RF снагу уређаја.

На потпуно идентичан начин реализује се мерење RF снаге за 16 QAM модулацију.

Начин дефектације и оправке уређаја за случај одступања резултата мерења излазне RF снаге за QPSK и 16QAM модулацију у односу на референтне вредности (008 и 009), приказан је претпостављеним моделом у прилогу 1, за обе врсте модулације респективно.

### **Провера EOW (службеног) канала**

Испитивање и мерење се изводе како би се проверила исправност рада службеног канала.

Реализује се помоћу следећих инструмената из тест станице:

- Генератор импулса који даје одговарајуће сигнале, као улаз на EOW прикључак (E1 i 4E1), *KEITHLEY 3390*, (слика 3.22),
- PDH анализатор који мери BER PDH EOW пријемног сигнала, *Anritsu MD6420A* (слика 3.21),
- Мерач снаге PWR-1 (слика 3.17) који контролише снагу улазног сигнала (не учествује директно у резултатима мерења, његова улога је контрола саме тест станице).

Улазни прикључци овог канала су на EOW и AUDIO прикључку предње плоче. Преко EOW прикључка ради дигитални телефон код кога је, како и назив каже, улазни сигнал дигитални. Преко AUDIO прикључка спаја се микротелефонска комбинација, преко које се шаље аналогни сигнал, који се у модулу A13 дигитализује и шаље даље кроз предајни канал уређаја.

Провера службеног канала се врши мерењем грешке у преносу, тј. BER-а сигнала који креће од референтног уређаја, преноси се радио-релејном везом и стиже до испитиваног уређаја. Сигнал се демодулише и враћа у основни опсег када се на SDH анализатору мери грешка. Може се приметити да се на овај начин испитује службени канал у пријемном смеру на испитиваном уређају, али не и у предајном смеру испитиваног уређаја. За потпуну слику исправности неопходно је да референтни и испитивани уређај замене места и понови се провера службеног канала.

Уколико се током провере, тест станицом, установи неисправност службеног канала, грешку треба тражити у неком од следећих модула:

- модул A13 – где је случај да модул не ради правилно дигитализацију сигнала,
- модул A25 – када се сигнал не преноси добро преко предње плоче A25,
- модул A14 – који врши управљање свим модулима у предајном каналу и модулом A13,
- модул A11 – у коме се врши модулација сигнала.

Дефектација неисправности функције уређаја, провера службеног канала (010), реализовала би се према претпостављеном моделу приказаном у прилогу 1. Оправка уређаја на овом нивоу одржавања у јединицама Војске Србије реализовала би се заменом модула на начин приказаним у прилогу 1.

### **Провера рада уређаја у *Emergency modu***

Провера рада уређаја у *Emergency modu* реализује се са *Emergency Test*-ом, помоћу следећих инструмената из тест станице:

- Анализатор аудио сигнала *Audio Precision ATS-1* (слика 3.23),
- Мерача снаге PWR-1 који контролише снагу улазног сигнала (не учествује директно у резултатима мерења, његова улога је контрола саме тест станице, слика 3.17),
- Генератора импулса *KEITHLE*, који даје одговарајуће сигнале као улаз на *baseband* прикључак, 1024 kb/sec (слика 3.22).

Референтни и испитивани уређаји се по наредби тест станице уводе у *Emergency mod* рада. То значи да се оба уређаја, програмском наредбом, постављају да раде са најоптималнијим параметрима фреквенције, снаге RF сигнала и модулације. Од испитиваног уређаја се, слично као код испитивања сервисног канала, NF сигнал води на дигитални мултиметар где се мери ефективна вредност напона и на анализатор аудио сигнала где се израчунава однос сигнал/шум (SINAD). На тај начин се проверава квалитет дигиталне радио-релејне везе.

Као што је раније речено, након завршетка испитивања, треба заменити места испитиваног и референтног уређаја и поновити проверу рада уређаја у *Emergency modu*. Уколико су измерене вредности током провере рада уређаја у *Emergency modu*, ван дозвољених узрок се треба тражити у неком од следећих модула:

- модул А14 – који управља радом свих модула,
- модул А25 – уколико је неисправан неки од подмодула на предњој плочи,
- модул А1 и А18 – који се налазе у преносном путу сигнала,
- неки од осталих модула у предајном каналу уређаја.

Дефектација неисправности функције уређаја, провера рада уређаја у *Emergency modu* (011), реализовала би се према претпостављеном моделу приказаном у прилогу 1. Оправка уређаја на овом нивоу одржавања у јединицама Војске Србије реализовала би се заменом модула приказаним у прилогу 1.

Неисправни модули се по предложеном хијерархијском нивоу одржавања упућују на највиши ниво одржавања, где се врши њихова оправка и по потреби калибрација. Уколико се заменом модула не добија функционална исправност уређаја, онда се поступа тако што се врате неисправни (затечени) модули у уређај и цео уређај се упућује на виши ниво одржавања.

### 3.2.4 Опрема за реализацију претпостављеног модела технологије

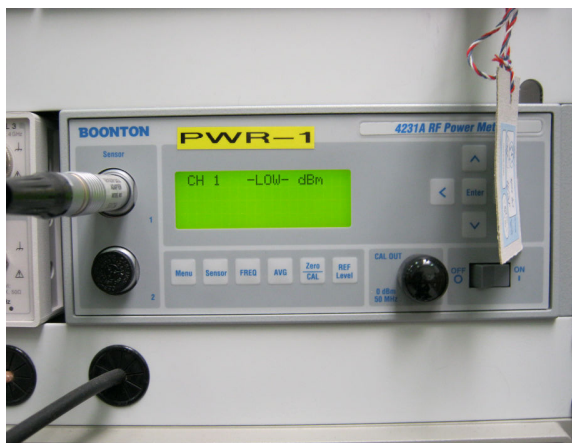
Тест станицу којом се реализује средњи ниво одржавања чине мерни инструменти приказани на сликама од 3.15 до 3.24:



Слика 3.15 Извор напона напајања



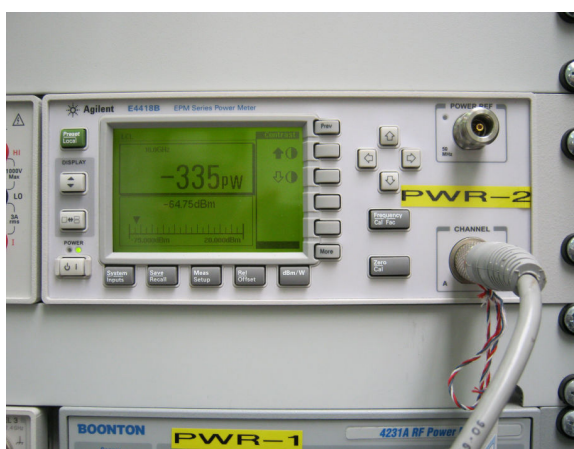
Слика 3.16 SDH анализатор грешке сигнала Anritsu MP1570A/A1



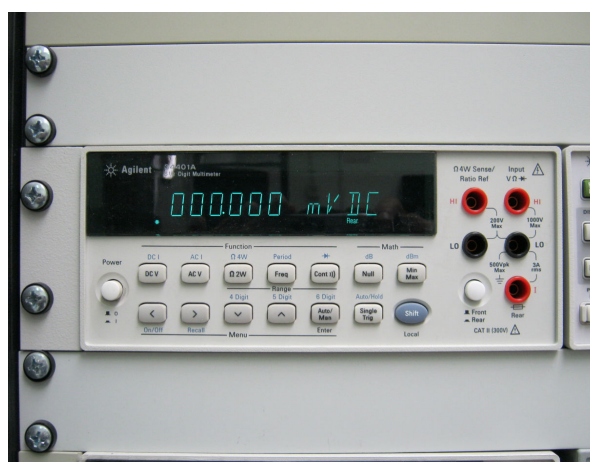
Слика 3.17 Мерач РФ снаге PWR-1 Boonton 4231A



Слика 3.18 Бројач фреквенције Agilent 53131A



Слика 3.19 Мерач снаге PWR-2 Agilent E4418B



Слика 3.20 Дигитални мултиметар Agilent 34401A



Слика 3.21 PDH анализатор грешке сигнала Anritsu MD6420A



Слика 3.22 Генератор импулса KEITHLEY 3390



Слика 3.23 Анализатор аудио сигнала Audio Precision ATS-1



Слика 3.24 Специјални адаптер

Остала опрема која служи за реализацију технолошких операција на средњем нивоу одржавања радио-релејног уређаја, приказана је у табели 3.6:

Табела 3.6 Опрема за реализацију претпостављеног модела технологије

Ред.бр.	НАЗИВ ОПРЕМЕ	Количина
1	Тест конектор, Baseband Loop	1
2	Тест конектор, EOW Loop	1
3	Атенуатор, Aeroflex , 30dB 50W	4
4	Атенуатор, Aeroflex, 20dB 25W	1
5	Кабл HDB3- 120 $\Omega$ , Tadiran	1
6	Кабл HDB3- 75 $\Omega$ , TAdiran	2
7	DC IN кабл, Tadiran	1
8	BNC кабл, Tadiran	10
9	Банана кабл , Tadiran	2
10	Фарт кабл са 50 пинова, Tadiran	1
11	Кабл RS-232, Tadiran	1
12	RF кабл, Tadiran	4
13	Baseband кабл, Tadiran	1
14	SYSCON кабл	2
15	AUDIO кабл	2
16	EOW кабл	2
17	DC кабл за напајање	1
18	AC кабл за напајање	2
19	GPIB каблови за повезивање инструмената	10

### 3.2.5 Модел технолошког поступка средњег нивоа одржавања

Средњи ниво одржавања врше механичари у специјализованим радионицама при јединицама логистичке подршке, односно логистички батаљони ВС. Радионице су опремљене тест опремом, специјалним инструментима, алатима и резервним деловима, а људство је оспособљено за реализацију прописаних технолошких операција претпостављеним моделом технологије средњег нивоа одржавања [153].



У средњем нивоу одржавања **дозвољено је расклапање уређаја** ради реализације оправке уређаја. Оправка уређаја се своди на замену неисправних модула<sup>22</sup> на начин приказан у претпостављеном моделу алгоритма дефектације неисправних модула за средњи ниво одржавања датим у прилогу 1.

**На средњем нивоу одржавања, реализација корективног одржавања се врши на принципу агрегатне замене следећих саставних модула уређаја:**

- **модул А1** – модул пријемника,
- **модул А11** – модул интерфејс и модем,
- **модул А13** – модул службеног канала,
- **модул А14** – модул централне процесорске јединице,
- **модул А18** – модул предајника,
- **модул А24А4** – модул појачавача снаге,
- **модул А25** – модул предње плоче уређаја са подсклоповима.

У случају да је после замењених модула уређај и даље неисправан, са уређајем поступити тако што се неисправни модули, првобитно уграђени, врате у уређај и уређај се шаље на виши ниво одржавања. Такође, уколико је после замене неког од наведених модула, по прописаном технолошком поступку, уређај функционално исправан, замењене модуле послати на виши ниво одржавања ради оправке.

Модел технологије средњег нивоа одржавања не дозвољава, на овом нивоу одржавања, замену саставних модула:

- **модул А19** – модул филтра,
- **модул А21** – модул монитора снаге.

За реализацију корективног одржавања на принципу агрегатне замене наведених саставних модула потребна је специјална мерна опрема, адаптери и алат. Наведена технолошка операција може се реализовати само на највишем нивоу одржавања. Због тога се, у случају неисправности уређаја због наведених модула, уређаји упућују на највиши ниво одржавања.

Јасно је да јединице логистичке подршке које спроводе средњи ниво одржавања морају поседовати наведени асортиман модула који се мењају на овом нивоу одржавања, у облику ремонтне резерве, како би могле реализовати технолошке операције замене модула у складу са прилогом 1.

**Радови из домена средњег нивоа одржавања, у превентивном смислу, реализују се сваких 5-6 година (временски ресурс) или након 18.000 сати рада<sup>23</sup>** (експлоатациони ресурс), када је неопходно заменити модул А25 који има најмање средње време између два отказа (*MTBF*). У корективном смислу, радови из домена средњег нивоа одржавања реализују се после сваког отказа или појаве неисправности уређаја. Подаци о спроведеним радовима из домена јединица логистичке подршке (средњи ниво) уписују се у техничку књижицу средства. При томе у прилогу књижице прилаже се контролно-мерни лист који је настао као резултат тестирања уређаја тест станицом и који уједно представља запис о спроведеним завршним мерењима на уређају.

Модел технолошког поступка за средњи ниво одржавања радио-релејних уређаја приказан је у табели 3.7.

---

<sup>22</sup> У моделу технологије примењено је корективно одржавање засновано на принципу агрегатне замене саставних модула, што одржавање чини ефикаснијим.

<sup>23</sup> Претпостављено је да уређај ради осам сати дневно током године, а податак је добијен статистичким прорачуном параметара поузданости и погодности за одржавање RRU GRC408E.

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

Табела 3.7 Модел технолошког поступка средњег нивоа одржавања – корективно одржавање са елементима превентивног одржавања

Војска Србије	— логистички батаљон	ТЕХНОЛОШКА ДОКУМЕНТАЦИЈА				Страна: 1 Ук. страна: 3	
		ТЕХНОЛОШКИ ПОСТУПАК				Ознака: Q52-08-001	
Идент. бр.	Номенклатурни број	Број радног налога	НАЗИВ ТЕХНИЧКОГ СРЕДСТВА				Степен оправке
	3210-1000-2000	12345	Радио-релејни уређај GRC 408E				СР
Референтна документ	Место рада		Бр. комада	Фабрички број		Серијски број	
- Техничко упутство, - Фабричка документација	Радионица за RRU		1	211500 AMI		0044465	
Ред. Бр.	Шифра технол. операције	Место рада	О П И С ТЕХНОЛОШКЕ ОПЕРАЦИЈЕ				Време реализације
1	10201	412 274	Допрема уређаја на радно место				Време припреме
2	10201	412 274	Провера комплетности уређаја, прибора и антеноског комплета у односу на техничку књижицу				Средства за рад
3	10301	412 274	Чишћење уређаја, прибора и антеноског комплета и визуелни преглед уређаја				Рефер. док.ум.
4	10302	412 274	Визуелна провера исправности дисплеја и тастатуре				Време
5	10302	412 274	Провера притегнутости конектора и преклопника на предњој плочи				Време реализације

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

				СОРС	Визуелно		
6	40210	412 363	Провера исправности заштитне боје и отклањање последица корозије на кућишту уређаја		Визуелно		
7	10302	412 274	Провера исправности каблова, омска провера каблова	ТУ	Дигимер		
8	10501	412 362	Провера исправности делова антенског стуба	ТУ	Визуелно		
9	10302	412 274	<b>Дефектација уређаја у склопљеном стању и испитивање исправности рада уређаја методом самотестирања по процедури прописаној у тачки 3.1 овог рада</b>	ТУ	<b>GRC 408E</b>		
10	70201	412 274	Анализа грешке у односу на табелу 3.3. Сагледавање могућих грешака у раду модула уређаја	ТУ	Методолошком анализом		
11	10302	412 274	<b>Дефектација уређаја у склопљеном стању и испитивање исправности рада уређаја помоћу тест станице по процедури прописаној у тачки 3.2 овог рада</b>	ТУ	<b>Тест станица</b>		
12	10302	412 274	Штампање резултата добијених завршним мерењима помоћу тест станице	ТУ	Рачунар и штампач		
13	70201	412 274	Анализа резултата добијених тест станицом и методом самотестирања ради дефектације неисправних модула, према табели 3.3 и 3.5 и претпостављеном моделу алгоритма дефектације неисправности модула датом у прилогу 1	ТУ	Методолошком анализом		
14	10303	412 274	Замена неисправних модула према претпостављеном моделу алгоритма дефектације и замена модула приказаном у прилогу 1	ТУ	Ручно		

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

15	10303	412 274	Замена потрошног материјала	ТУ	ТК-06-101М	
16	70201	412 274	<b>Завршно испитивање уређаја помоћу тест станице према технолошкој процедури прописаној у тачки 3.2 овог рада</b>	ТУ	Тест станица	
17	70201	412 274	Штампање резултата тестирања	ТУ	Рачунар и штампач	
18	10324	412 274	Унос предвиђених података у техничку књижицу средства	ТУ	Ручно	
19	70301	412 274	Предаја уређаја контролору – старешини који прегледа техничку исправност уређаја	ТУ	Ручно	
20	70301	412 274	Овера техничке књижице средства	ТУ	Ручно	
21	10201	412 274	Предаја уређаја у јединицу на даље коришћење	ТУ	Ручно	
<b>Датум израде:</b>		<b>Израдио технолог:</b>		<b>Сагласан:</b>	<b>Одобрава:</b>	

**Легенда:**

- Шифра технолошке операције – из шифарника технолошких операција,
- Место рада – место где се реализује технолошка операција по шифарнику радних места,
- Радни центар – место у коме су груписане сличне технолошке операције и где се реализују поједине технолошке операције
- Време припреме – време потребно за припрему радног места, укључујући и средства за рад, како би се створили услови за реализацију технолошке операције
- Време реализације – ефективно време за реализацију прописане технолошке операције.

Предложени модел технологије на средњем нивоу одржавања садржи све неопходне технолошке операције чијом реализацијом се обезбеђује техничка и функционална исправност уређаја. Како је речено, у уводном делу ове тачке, технолошка граница и дубина технолошких захвата је, на овом нивоу одржавања, у односу на најнижи ниво, померена. Из тог разлога у моделу је посебна пажња посвећена следећим технолошким операцијама: растављање, дефектација исправности уређаја и завршна испитивања уређаја. Такође, због значаја и велике вредности опреме и уређаја посебно је предложен начин њене употребе у реализацији споменутих технолошких операција.

Прописане технолошке операције модела технологије средњег нивоа одржавања садржане су у технолошком поступку модела технологије највишег нивоа одржавања.

Предложени модел обухвата растављање уређаја на саставне модуле и њихову замену у случају неисправности<sup>24</sup>. Ради тога је, на основу резултата тестирања добијених помоћу тест станице, предложен модел алгоритма за дефектацију неисправности модула. Моделом је предвиђено да се неисправни модули установљени поступком дефектације шаљу на оправку у установе које реализују највиши ниво одржавања.

Модел технологије на средњем нивоу одржавања је у потпуности базиран на аутоматизованом начину реализације технолошке операције дефектације и завршних испитивања, чиме је обезбеђена брза реализација споменутих технолошких операција. Тиме су створени услови да се комбинацијом примене предложеног модела алгоритма дефектације исправности модула и резултата тестирања, реализује брза оправка и повећа расположивост уређаја. Јасно је да за овај ниво одржавања, кога би спроводиле јединице средњег ремонта Војске Србије, морају имати резервни исправни модули који би се користили за оправку уређаја. Применом предложеног модела технологије побољшавају се вредности параметара погодности за одржавање ове врсте радио-релејних уређаја у Војсци Србије.

Обзиром на то да је предложени модел технологије заснован на примени савремених метода техничке дијагностике, искључен је човек као субјективни фактор у технолошким операцијама мерења параметара и у завршним испитивањима уређаја.

Предложени модел технологије одржавања, у складу са техникама и методама за решавање проблема дефинисања технологије одржавања, садржи:

- табеларни приказ технолошких операција,
- унутар табеле сложене технолошке операције по редоследу извршења,
- списак мерне опреме за овај ниво одржавања,
- контролно-мерну листу која садржи неопходне референтне и мерене параметре који обезбеђују документованост техничке исправности уређаја и
- модел алгоритма дефектације исправности уређаја и замене неисправних модула.

Обзиром на то да су технолошке операције модела технологије садржане у моделу технологије највишег нивоа одржавања, то ће се приликом примене наведеног модела, верификовати и валидност предложеног модела технологије средњег нивоа одржавања.

---

<sup>24</sup> За разлику од најнижег нивоа одржавања, код средњег нивоа одржавања, поред превентивног, дозвољено је корективно одржавање уређаја.

### 3.3 Модел технологије највишег нивоа одржавања

Модел технологије највишег нивоа одржавања реализује се у стручно оспособљеним и адекватно опремљеним установама Војске Србије, за овај вид одржавања. Сам назив модела технологије указује да се у моделу предвиђају највиши технолошки захвати, практично до нивоа компоненти. Детаљно се анализирају резултати завршних испитивања уређаја и предвиђају додатне технолошке операције које осигуравају функционалну исправност уређаја. Такође, претпостављеним моделом технологије, предвиђено је да се реализује тзв. "**контрола контроле**". То значи да је моделом предвиђена додатна провера исправности реализације одзива уређаја на програме који софтверски генеришу наредбе модулима и контролишу рад уређаја у појединим сегментима.

Постоје следећи случајеви највишег нивоа одржавања:

- одржавање модула као саставних делова уређаја и
- одржавање уређаја као целине.

За наведене случајеве, у наставку рада, детерминисаће се модел технологије највишег нивоа одржавања, који обухвата технолошке операције превентивног и корективног одржавања.

Један део технолошких операција одржавања у технолошком поступку за одржавање уређаја као целине је идентичан са технолошким операцијама за сваки модул појединачно. Како је садржај модела технологије (принцип израде технолошког поступка) сличан за све саставне модуле уређаја, а сама технологија обимна, то ће се изабрати део модула као репрезентативни, на којима ће се применити израда модела технологије највишег нивоа одржавања саставног модула. Собзиром на то, у наставку ће се претпоставити и детерминисати модел технологије и технолошке операције одржавања за део модула који су функционално смештени у предајном каналу уређаја и то:

- модул појачавача снаге A24A4 и,
- модул RF филтра A19.

Груписањем технолошких операција одржавања за саставне модуле уређаја, добија се модел технологије највишег нивоа одржавања целог уређаја. Поред тога, модел технологије садржи технолошке операције завршног испитивања са тест опремом идентичном као и за средњи ниво одржавања. На крају технолошки поступак садржи додатне технолошке операције провере функционалне исправности уређаја. Управо ове технолошке операције доприносе да је модел технологије највишег нивоа одржавања сложенији у односу на ниже нивое одржавања. Поред дубине технолошких захвата, разлика између модела технологије је и у опреми која се користи на поједним нивоима одржавања. Опрема на највишем нивоу одржавања је сложенија, а технолошки захвати на нивоу компоненте се реализују помоћу специјалних адаптера и алата.

Слично као и код претпостављеног модела технологије за средњи ниво одржавања, *најважније технолошке операције су дефектација исправности и завршна испитивања сваког модула појединачно и дефектација и завршна испитивања уређаја као целине.*

### 3.3.1 Модел технолошког поступка дефектације модула уређаја

У наставку је дато технолошко објашњење мерења неопходних сигнала, помоћу којих се дефектира исправност модула. Мерење сигнала реализује се у мерним тачкама, које су прописане фабричком документацијом, уз коришћење исправног RRU. На тај начин добија се сликовито представљање облика сигнала у мерним тачкама и исти представљају смернице механичару приликом реализације корективног одржавања, какав треба да буде сигнал у мерној тачки да би поједини модул био исправан.

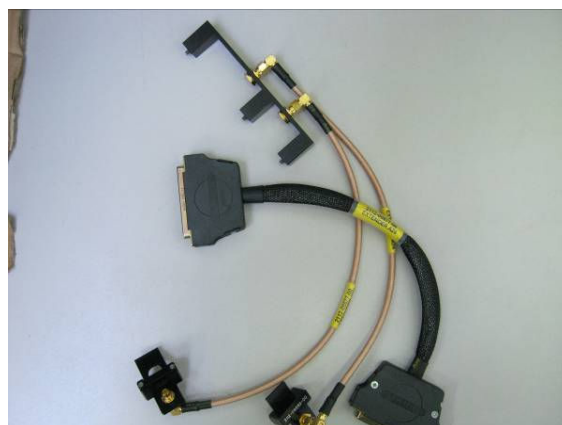
Сви битни графички облици сигнала садржани су у технолошким објашњењима датим у наставку рада, а мерне тачке и вредности сигнала садржане су у технолошким операцијама технолошког поступка и у контролно-мерним листама.

#### Модел технолошке операције дефектације модула појачавач снаге – A24A4

Појачавач снаге служи да се RF сигнал појача и доведе на ниво погодан за слање сигнала кроз средину до радио-релејног уређаја који треба да прими корисну информацију. То је широкопојасни појачавач снаге у опсегу од 1.35-2.69GHz. Појачавач снаге се напаја из посебног модула A24A2, а **напони напајања појачавача мерени на конектору J3 износе: +13V, +13V, -15V и +13V.**



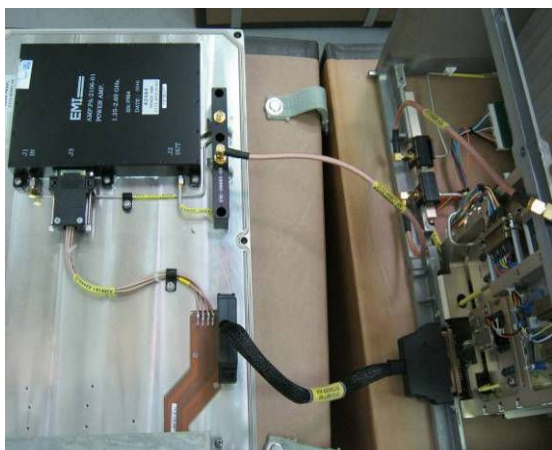
Слика 3.25 Сместај модула A24A4 у уређају



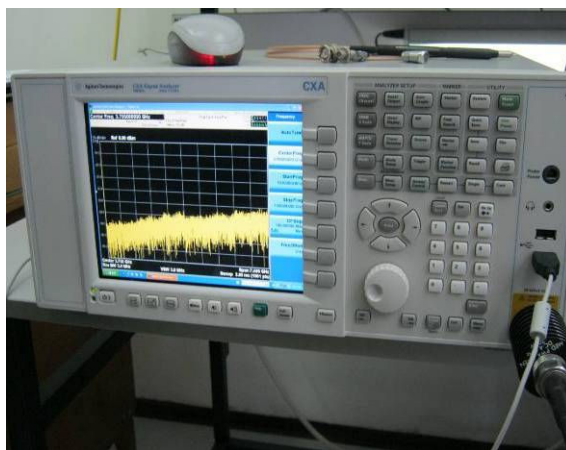
Слика 3.26 Специјални продужни каблови за рад модула A24A4

Појачавач снаге је смештен на задњој плочи уређаја како је то приказано на слици 3.25. Да би се реализовао поступак дефектације модула појачавача снаге мора се ослободити задња страна уређаја. Појачавачу снаге, преко специјалних продужних каблова приказаних на слици 3.26, омогућава се да ради у радном режиму, уз истовремено мерење радних параметара модула на мерним тачкама. Тиме су створени услови да се помоћу мерних инструмената приступи мерним тачкама ради дефектације исправности појачавача снаге, док је модул у раду и у исто време демонтиран.

Након стварања услова за мерење инструментима приступа се мерењу улазног RF сигнала у појачавач снаге. Мерења се реализују као на слици 3.27, помоћу анализатора спектра приказаног на слици 3.28.



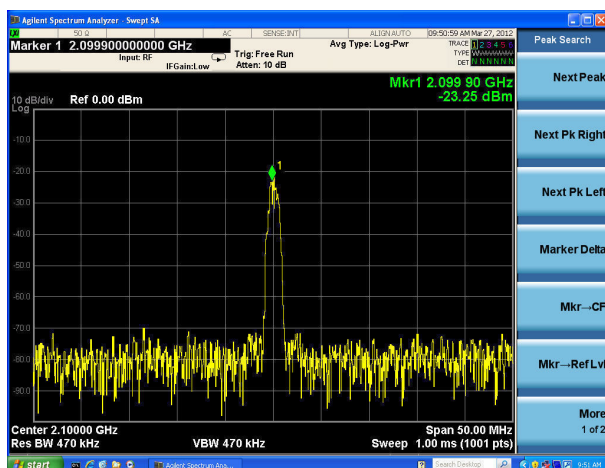
Слика 3.27 Мерење улазног сигнала у појачавач снаге



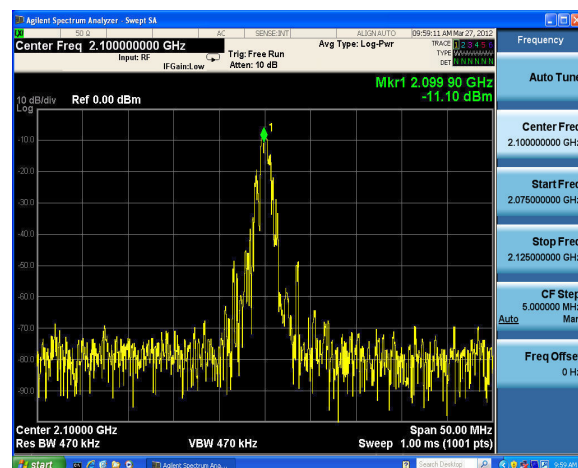
Слика 3.28 Анализатор спектра

Измерени улазни RF сигнал, при средњем нивоу снаге, приказан је на слици 3.29 и по облику и вредностима је исти као излазни сигнал из модула A18. Улазни RF сигнал је доведен на анализатор спектра преко ослабљивача од 30dB.

На слици 3.30 приказан је измерени излазни RF сигнал, при ниском нивоу снаге, који је на анализатор спектра доведен преко два ослабљивача од 30dB и 20dB. То значи да је сигнал из појачавача укупно ослабљен за 50 dB.



Слика 3.29 Улазни RF сигнал у модул A24A4



Слика 3.30 Излазни RF сигнал из модула A24A4

Претпостављени модел дефектације исправности модула A24A4 заснива се на мерењима улазног и излазног RF сигнала, снимању карактеристике и мерењу вредности напона напајања појачавача снаге. Не предвиђају се никаква мерења унутар појачавача снаге, тј. на нивоу компоненте. То је из разлога што је широкопојасни RF појачавач унутар кућишта, заливен специјалном врстом смесе, тако да је онемогућен било какав приступ компонентама. Према фабричкој документацији у случају отказа појачавача снаге предвиђа се његова замена са новим модулом.

Предвиђена мерења за проверу рада модула A24A4 су једноставна и прилагођена за овај ниво одржавања. У табели 3.8 наведена мерења су груписана и садржана у контролно-мерној листи за модул A24A4.



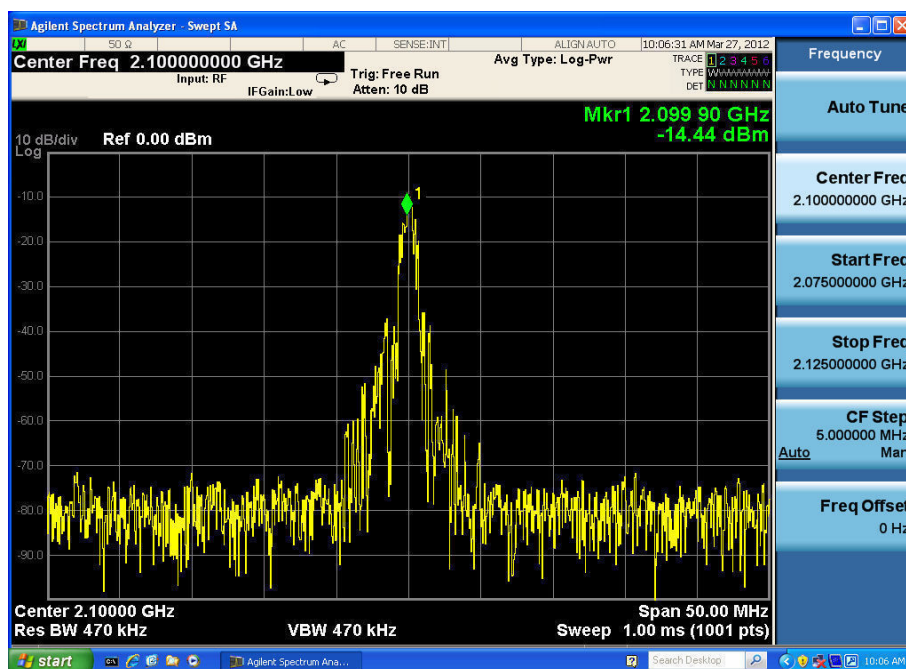
Табела 3.8 Контролно-мерна листа модула А24А4

<p style="text-align: center;"><b>ТЕХНИЧКИ РЕМОНТНИ ЗАВОД "ЧАЧАК"</b></p>		<p style="text-align: center;"><b>Контролна документа система квалитета</b></p>		Страна: 1 Ук. страна: 1	
		<p style="text-align: center;"><b>КОНТРОЛНО-МЕРНИ ЛИСТ</b></p>		<p style="text-align: center;"><b>QS 51-07-0504</b></p>	
Идент.број	Номенклатурни број	Број радног налога		Назив производа	
				<b>Модул А24А4</b>	
Референтни документ	Место контролисања	Величина узорка	Фабрички број	Серијски број	
Тачка 3.3.1					
<b>Ред. бр.</b>	<b>Мерена величина</b>	<b>Мерна тачка</b>	<b>Мерни инструмент</b>	<b>Референтна вредност или референтни облик сигнала</b>	<b>Измерена вредност или остварен захтев</b>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	Напони напајања појачавача	Конектор J3	Дигитални мултиметар	+13V, +13V, -15V, +13V	
2	Улазни RF сигнал	Специјални адаптер	Анализатор спектра	Као на слици 3.29 > 5 dBm	
3	Излазни RF сигнал	Специјални адаптер	Анализатор спектра	Као на слици 3.30 > 35 dBm	
<b>НАПОМЕНА:</b>			<b>КОНАЧНА ОДЛУКА:</b>		
Датум израде листа:		<b>Израдио технолог:</b>	<b>Одобрио:</b>	<b>Оверава извршилац контролисања:</b>	
Датум контролисања:					
				1. _____	
				2. _____	
				3. _____	

Предвиђена мерења по мерној листи омогућују увид у исправност модула.

### Модел технолошке операције дефектације модула RF филтра – А19

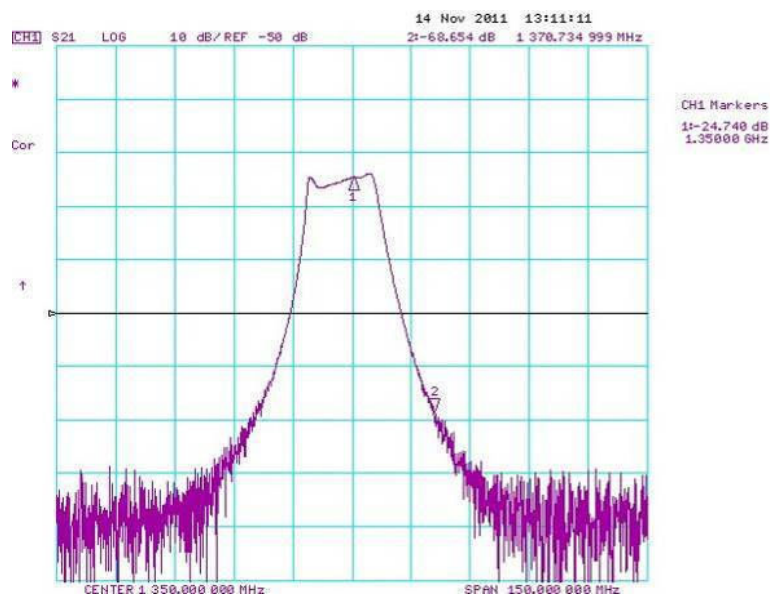
Модул А19 RF филтар састоји се из два дела и то предајног и пријемног дела филтра. Управљање радом филтра реализује се од стране модула А14, а постављање корачних мотора унутар филтра управља се управљачким сигнаlima из модула А13. Опис конструктивних карактеристика филтра и принцип рада објашњен је у тачки 5.



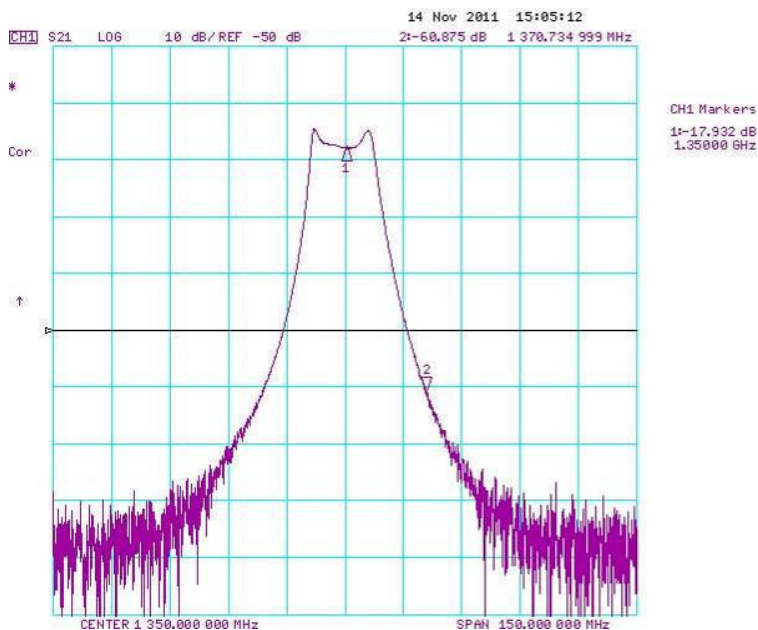
Слика 3.31 Излазни сигнал из RF филтра

Да би се олакшао процес дефектације на RF филтру се врши мерење улазног и излазног RF сигнала при задатим вредностима сигнала. На слици 3.30 приказан је измерени RF излазни сигнал на анализатору спектра који је ослабљен за 50dB из појачавача снаге, а он је уједно и улазни сигнал у RF филтар. На слици 3.31 приказан је излазни RF сигнал из модула A19 измерен анализатором спектра и ослабљен за 50dB.

На слици 3.32 приказан је пример филтарске карактеристике модула A19 снимљене помоћу анализатора мреже. Са слике се уочава да је филтарска карактеристика изобличена и да није симетрична по централној фреквенцији. Узрок овакве филтарске карактеристике је неподешеност филтра. Последица овакве филтарске карактеристике је недовољна снага сигнала на централној фреквенцији, која може проузроковати прекид радио-релејног линка и лош пријем сигнала са недозвољеним бројем грешака у преносу дигиталног сигнала.



Слика 3.32 Пример филтарске карактеристике RF филтра



Слика 3.33 Пример исправне филтарске карактеристике модула A19

На слици 3.33 приказана је снимљена **исправна** филтарска карактеристика модула A19. Мерење је вршено анализатором мреже.

На исти начин као и код модула појачавача снаге, претпостављеним моделом дефектације исправности модула A19, предвиђене су технолошке операције које обухватају мерење вредности и контролу облика улазног и излазног RF сигнала модула A19.

Референтне вредности и облик сигнала експлицитно су приказани у контролно-мерној листи за модул A19, приказаној у табели 3.9.

Табела 3.9 Контролно-мерна листа модула A19

<b>ТЕХНИЧКИ РЕМОНТНИ ЗАВОД "ЧАЧАК"</b>		<b>Контролна документа система квалитета</b>		Страна: 1 Ук. страна: 1	
		<b>КОНТРОЛНО-МЕРНИ ЛИСТ</b>		<b>QS 51-07-0505</b>	
<b>Идент.број</b>	<b>Номенклатурни број</b>	<b>Број радног налога</b>	<b>Назив производа</b>		
			<b>Модул A19</b>		
<b>Референтни документ</b>	<b>Место контролисања</b>	<b>Величина узорка</b>	<b>Фабрички број</b>	<b>Серијски број</b>	
<b>Тачка 3.3.1</b>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Ред. бр.</b>	<b>Мерена величина</b>	<b>Мерна тачка</b>	<b>Мерни инструмент</b>	<b>Референтна вредност или референтни облик сигнала</b>	<b>Измерена вредност или остварен захтев</b>
1	Улазни RF сигнал	RF улаз у филтар	Анализатор спектра	Као на слици 3.30	
2	Излазни RF сигнал	RF излаз из филтра	Анализатор спектра	Као на слици 3.31	

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

3	Филтерска карактеристика	RF излаз филтра	Анализатор мреже	Као на слици 3.33	
<b>НАПОМЕНА:</b>			<b>КОНАЧНА ОДЛУКА:</b>		
Датум израде листа: _____		<b>Израдио технолог:</b>  	<b>Одобрио:</b>  	<b>Оверава извршилац контролисања:</b>  1. _____ 2. _____ 3. _____	
Датум контролисања: _____					

Предвиђена мерења по мерној листи омогућују увид у исправност модула.

### Резиме детерминисаних модела технолошких операција за дефектацију саставних модула уређаја

У овој тачци детерминисани су модели технологије одржавања за **2 модула** који заједно са осталим модулима и кућиштем чине радио-релејни уређај. **Детерминисани модели технологије одржавања чине следећи елементи:**

- текстуално објашњење поступка дефектације,
- сликовит приказ битних параметара сигнала у поступку дефектације,
- референтне вредности сигнала,
- контролно-мерне листе чија је приоритетна намена везана за технолошки процес завршних мерења, али се користите и у поступку дефектације.

На овај начин детерминисан је такав **модел који чини новину у приступу објашњења технологије највишег нивоа одржавања**. Пратећи прописане токове у моделу, не дозвољава се извршиоцу да самостално реализује неки од технолошких захвата. Нов приступ начину дефектације модула, је логичан и **прилагођен је конструктивним и техничким својствима уређаја**. Претпостављени модел ће се применити у пракси, а резултати ће потврдити претпостављену хипотезу о моделу технологије највишег нивоа одржавања.

#### 3.3.2 Модел технолошких операција за додатну проверу функционалне исправности уређаја

Све "недоумице" које се односе на исправност уређаја настале претпоставком модела технологије средњег нивоа одржавања, на највишем нивоу одржавања морају се у потпуности отклонити. То је и логично јер на овом нивоу одржавања, постоји стручно оспособљен кадар који поседује одговарајућу високософистицирану опрему и спреман је за реализацију најсложенијих технолошких захвата.

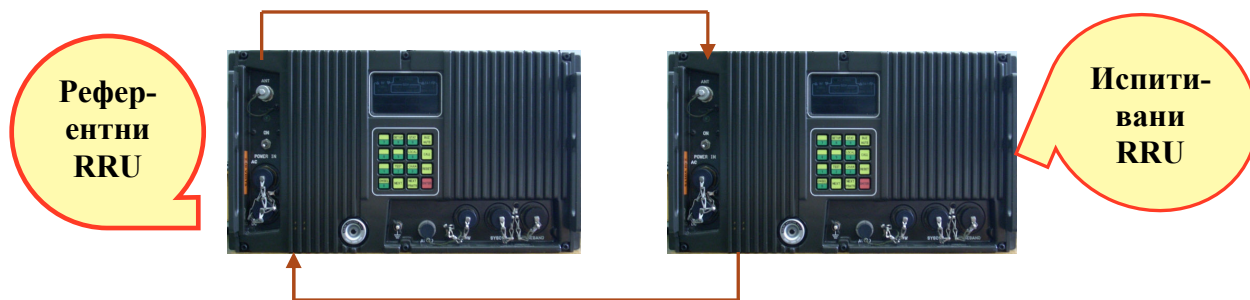
Из наведеног разлога, у наставку рада, детерминисаће се модел тзв. **додатних технолошких операција**. Додатне су у смислу разлике између модела завршних испитивања на средњем и највишем нивоу одржавања.

#### Модел технолошке операције провере сигнала у предајном и пријемном каналу испитиваног и референтног уређаја

Потреба за провером сигнала у предајном и пријемном каналу испитиваног и референтног уређаја проистекла је из чињенице да се за референтни уређај узима било који уређај који дође на највиши ниво одржавања. Идеално би било да референтни уређај буде уједно еталонски уређај. Пошто ово није ситуација, у моделу технологије највишег нивоа одржавања, код мерења на испитиваном уређају, морају се обезбедити додатне технолошке операције којима ће бити одбачена сумња у исправност референтног уређаја. На тај начин оператер ће у потпуности бити, усмерен на мерења која се реализују тест опремом.

Као што је речено, у моделу технологије средњег нивоа одржавања, потребно је извршити додатну проверу квалитета сигнала у предајном сигналу, како би били сигурни да је на излазу другог уређаја сигнал квалитетно обрађен и да он не доводи у сумњу исправност пријемника.

Претпоставимо ситуацију као на слици 3.34.



Слика 3.34 Радио-релејна траса

Као што је приказано на слици, комуникација између испитиваног и референтног уређаја се одвија у оба смера путем радио-релејне трасе<sup>25</sup>. У току испитивања уређаја тест опремом, често је ситуација да квалитет пријемног сигнала није добар, односно да је величина грешке *BER* већа од дозвољене. То нас упућује да је неисправан пријемник испитиваног уређаја.

Даље, реализацијом предвиђених дефектационих испитивања са тест опремом, установи се да је ниво предајног сигнала референтног уређаја у границама дозвољених вредности, али постоји грешка у пријему. Добијени резултати мерења указују да је присутна неисправност пријемника испитиваног уређаја.

Познавањем принципа рада уређаја и мерних тачака у којима се мере прописани параметри предајног и пријемног канала референтног и испитиваног уређаја, поставља се питање: "иако постоји дозвољени ниво сигнала у предајном каналу референтног уређаја да ли је добар квалитет предајног сигнала који испитивани уређај прима"???

Као што је познато од раније, када се каже квалитет сигнала мисли се да ли су модулатор и остали склопови у предајном каналу правилно обрадили сигнал и квалитетно га припремили за слање у етар. Ако није послат квалитетан сигнал, онда ће и на пријемнику испитиваног уређаја бити неисправан сигнал, односно грешка у преносу података ће бити ван граница дозвољених вредности.

На средњем нивоу одржавања овај проблем је решен на начин де се изврши замена места уређаја, те да се на тај начин отклони сумња у исправност пријемника испитиваног уређаја. Након тога се понове сва мерења тест опремом како је то дефинисано моделом технологије за овај ниво одржавања. Остаје, даље, проблем референтног уређаја, на којем се морају извести акције одржавања.

Приступ проблему, уз одговарајућу опрему, на највишем нивоу одржавања мора бити детаљнији у смислу да се сигнал испрати практично од аудио улаза референтног уређаја, кроз његов предајни канал, пријемни канал испитиваног уређаја и до аудио излаза испитиваног уређаја. Изабран је намерно аудио канал, јер се овај сигнал претвара у дигитални облик пре проласка кроз предајни канал.

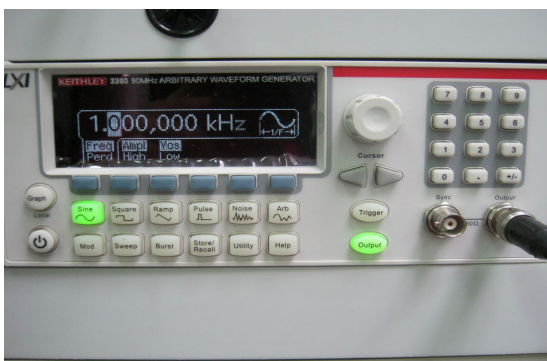
Користећи се овом идејом дефинисан је модел технолошке операције који ће омогућити поуздану дефектацију исправности квалитета било ког сигнала који пролази кроз предајни канал. На основу претпостављеног модела технолошке операције дефинисаће се контролно-мерна листа за реализацију непосредних мерења дефинисаних параметара сигнала, од улаза једног уређаја до излаза из другог уређаја.

Под претпоставком сценарија као на слици 3.34 на аудио улаз референтног уређаја прикључиће се микротелефонска комбинација (у даљем тексту, МТК). На улаз МТК доведиће се сигнал из сигнал генератора, приказаног на слици 3.35. Сигнал који генерише сигнал генератор је синусног карактера нивоа  $100\text{mVpp}$  ("пик-пик"). Референтни уређај се подеси на начин описан у тачци 3.3.4 (табела 3.14), тачка 6 (са

<sup>25</sup> Уређаји раде у дуплекс моду, тј. истовремено се реализује пријем и предаја сигнала на једном RRU.

усклађеним фреквенцијама рада на оба уређаја), ниском снагом и на излазу из референтног уређаја постављеним ослабљивачем од 20 dB.

На испитиваном уређају је на аудио прикључку прикључена МТК, која је преко BNC конектора спојена на дигитални осцилоскоп као на слици 3.36.



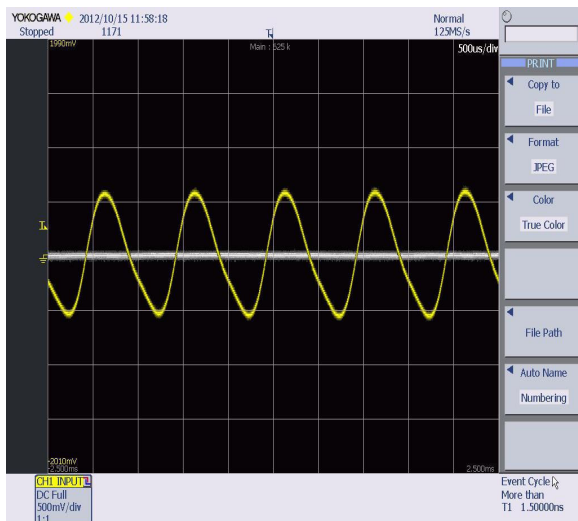
3.35 Генерисање синусног сигнала



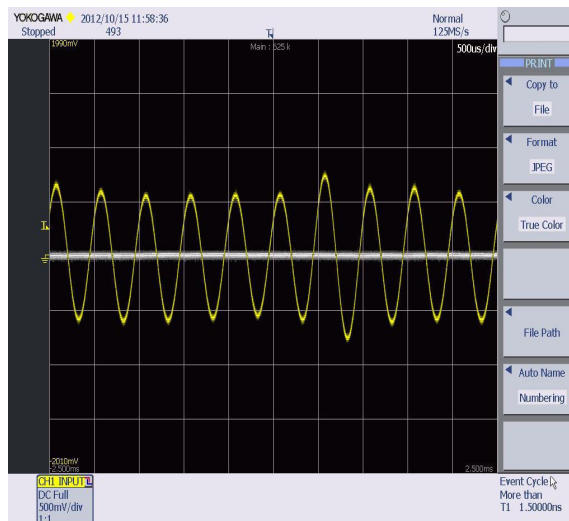
3.36 Начин прикључења МТК на осцилоскоп

Даље се постави вредност синусног сигнала тако да је фреквенција **1 KHz** (у подручју говорног сигнала). Укључи се МТК на референтном уређају и сигнал се прослеђује кроз радио-релејни линк до пријемног канала испитиваног уређаја, преко МТК на испитиваном уређају, до дигиталног осцилоскопа. То значи да се доведени облик сигнала на улазу једног уређаја, прати на излазу другог уређаја преко дигиталног осцилоскопа. **Уколико су референтни и испитивани уређаји исправни, не сме бити промене облика сигнала, осим оних који се односе на последицу утицаја филтарске карактеристике пријемног канала.** Облик сигнала на излазу испитиваног уређаја приказан је на слици 3.37. При томе су на радио-релејним уређајима измерени следећи параметри:

- ниво пријемног сигнала Rx LVL= +5 dBm,
- грешка у преносу података BER<math>10^{-6}</math>,
- ниво предајног сигнала референтног уређаја - Tx LVL= +24 dBm.



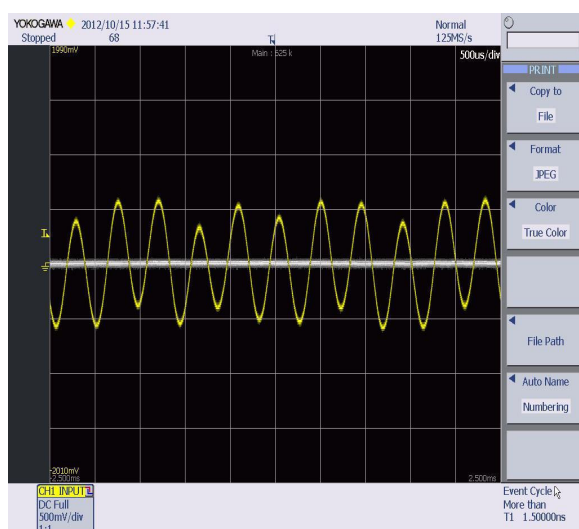
3.37 Излазни сигнал за фреквенцију 1 KHz



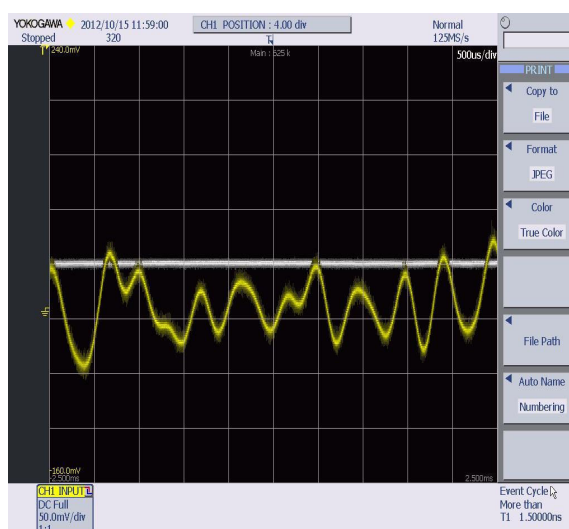
3.38 Излазни сигнал за фреквенцију 2KHz

На исти начин уз генерисање синусног сигнала вредности 2 KHz, уколико су уређаји у радио-релејном линку исправни, на излазу испитиваног уређаја добија се сигнал чији је облик са осцилоскопа приказан на слици 3.38. Даље, при вредности

фреквенције синусног сигнала од 2,2 KHz облик сигнала на осцилоскопу приказан је на слици 3.39, а за вредност фреквенције 3 KHz облик сигнала приказан је на слици 3.40.



3.39 Излазни сигнал за фреквенцију 2,2 KHz



3.40 Излазни сигнал за фреквенцију 3 KHz

На крају BNC конектор, преко кога је излаз из МТК спојен на осцилоскоп, прикључи се на анализатор аудио сигнала (слика 3.41) како би, поред таласног облика сигнала, проверили и остале битне параметре сигнала.

У табели 3.10 приказане су карактеристичне измерене вредности сигнала на излазу из испитиваног уређаја, за различите вредности фреквенција улазног сигнала.

*Вредности сигнала, за ситуације приказане у табели 3.10, заједно са претходно приказаним таласним облицима сигнала, представљају референтне параметре који се морају добити уколико су референтни и испитивани уређаји исправни.*

Табела 3.10 Карактеристичне вредности синусног сигнала на излазу испитиваног уређаја

Фреквенција синусног сигнала	SINAD	Ниво излазног сигнала
1 KHz	6 dB	380-400 mV
2 KHz	0,2 dB	360-430 mV <sup>26</sup>
2,2 KHz	0,2 dB	340-360 mV
3 KHz	1 dB	25-30 mV

На основу дефинисаног модела технолошке операције провере сигнала у предајном и пријемном каналу референтног и испитиваног уређаја, у табели 3.11, дефинисана је контролно-мерна листа која прати дефектациона и завршна испитивања уређаја на највишем нивоу одржавања.

<sup>26</sup> При овим вредностима чује се звучни тон у слушалицама МТК.



Табела 3.11 *КМЛ провере сигнала у предајном и пријемном каналу уређаја*

<b>ТЕХНИЧКИ РЕМОНТНИ ЗАВОД "ЧАЧАК"</b>		<b>Контролна документа система квалитета</b>		Страна: 1 Ук. страна: 2	
		<b>КОНТРОЛНО-МЕРНИ ЛИСТ</b>		<b>QS 51-07-0511</b>	
<b>Идент.број</b>	<b>Номенклатурни број</b>	<b>Број радног налога</b>	<b>Назив средства</b>		
			<b>RRU GRC 408 E Провера предајног и пријемног канала</b>		
<b>Референтни документ</b>	<b>Место контролисања</b>	<b>Величина узорка</b>	<b>Фабрички број</b>	<b>Серијски број</b>	
<b>Тачка 3.3.2</b>					
<b>Ред. Бр.</b>	<b>Мерена величина</b>	<b>Мерна тачка</b>	<b>Мерни инструмент</b>	<b>Референтна вредност или референтни облик сигнала</b>	<b>Измерена вредност или остварен захтев</b>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	Улазни синусни сигнал у МТК	МТК референтни уређај	Сигнал генератор	1 KHz	
2	Излазни сигнал из МТК	МТК испитивани уређај	Дигитални осцилоскоп	Као на слици 3.37	
3	Однос сигнал/шум SINAD	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала	6 dB	
4	Ниво излазног сигнала	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала	380-400 mV	
5	Улазни синусни сигнал у МТК	МТК референтни уређај	Сигнал генератор	2 KHz	
6	Излазни сигнал из МТК	МТК испитивани уређај	Дигитални осцилоскоп	Као на слици 3.38	
7	Однос сигнал/шум SINAD	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала	0,2 dB	
8	Ниво излазног сигнала	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала	360-430 mV	
9	Улазни синусни сигнал у МТК	МТК референтни уређај	Сигнал генератор	2,2 KHz	
10	Излазни сигнал из МТК	МТК испитивани уређај	Дигитални осцилоскоп	Као на слици 3.39	

11	Однос сигнал/шум SINAD	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала	0,2 dB	
12	Ниво излазног сигнала	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала	340-360 mV	
13	Улазни синусни сигнал у МТК	МТК референтни уређај	Сигнал генератор	3 KHz	
14	Излазни сигнал из МТК	МТК испитивани уређај	Дигитални осцилоскоп	Као на слици 3.40	
15	Однос сигнал/шум SINAD	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала	1 dB	
16	Ниво излазног сигнала	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала	25-30 mV	
<b>НАПОМЕНА:</b>			<b>КОНАЧНА ОДЛУКА:</b>		
Датум израде листа:		<b>Израдио технолог:</b>	<b>Одобрио:</b>	<b>Оверава извршилац контролисања:</b>	
Датум контролисања:					
				1. _____	
				2. _____	
				3. _____	

### Модел технолошке операције провере рада адаптивне контроле фреквенције

Једно од битних позитивних концепцијских својстава ове врсте радио-релејних уређаја, је њихова "жилавост" према намерним или ненамерним сметњама. Она је у овом случају испољена кроз поседовање адаптивне контроле фреквенције, *AFC* (*Adaptive Frequency Control*), тј. Аутоматског подешавања активних фреквенција (предајне и пријемне) између два радио-релејна уређаја у радио-релејном линку.

Према Плану веза, два оператера на радио-релејним уређајима који треба да остваре везу, програмирају пет фреквенцијских парова, у корисничком менију уређаја, преко којих ће уређаји бити у међусобној радио-релејној вези. Програмирање фреквентних парова се ради на начин приказан у табели 3.12:

Табела 3.12 Програмирање фреквенцијских парова

УРЕЂАЈ А				УРЕЂАЈ Б			
Предајна фреквенција		Пријемна фреквенција		Предајна фреквенција		Пријемна фреквенција	
CH-T-1	1500	CH-R-1	1970	CH-T-1	1970	CH-R-1	1500
CH-T-2	1600	CH-R-2	2200	CH-T-2	2200	CH-R-2	1600

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

CH-T-3	1700	CH-R-3	2300	CH-T-3	2300	CH-R-3	1700
CH-T-4	1800	CH-R-4	2400	CH-T-4	2400	CH-R-4	1800
CH-T-5	1900	CH-R-5	2500	CH-T-5	2500	CH-R-5	1900

У случају прекида радио-релејне везе, у времену **дуже од 60 секунди**, аутоматски долази до активирања мода *AFC*. Уређај А и уређај Б програмски прелазе у рад на следећи, други меморијски фреквенцијски пар. Уколико се не оствари веза и на том фреквенцијском пару уређаји прелазе на следећи фреквенцијски пар из табеле 3.12 и све тако до задњег (петог) меморисаног фреквенцијског пара. Уколико уређаји и на њему не могу да остваре везу, ручно на задњем фреквенцијском пару, оператер активира *Emergency mod* и доступан је службени канал. Даљи поступак је објашњен у претходној тачци.

Да би се проверила исправност уређаја, активирање мода *AFC* и рад по меморисаним фреквенцијским паровима, у лабораторијским условима, симулираће се ометање рада уређаја и прекид радио-релејне везе дуже од 60 секунди.

На исти начин као и у претходном случају, путем промењивог атенуатора прекида се радио-релејна веза повећањем губитака у траси, дуже од 60 секунди, а довољно да би се визуелно на дисплеју видело активирање *AFC* мода и прелазак на следећи меморисани фреквенцијски пар. Претходно у опционом менију унесу се фреквенцијски парови приказани у табели 3.12. Ако након преласка на следећи меморисани фреквенцијски пар смањимо слабљење успоставиће се радио-релејна веза на активној фреквенцији. У супротном уређаји ће прећи на следећи фреквенцијски пар све до задњег, када се ручно може активирати *Emergency mod*.

Све промене се визуелно посматрају на дисплеју уређаја. На крају се проба АУДИО веза између два оператера.

На основу дефинисаног модела технолошке операције провере рада адаптивне контроле фреквенције, у табели 3.13, дефинисана је контролно-мерна листа која прати дефектациона и завршна испитивања уређаја на највишем нивоу одржавања.

Табела 3.13 *КМЛ провере рада адаптивне контроле фреквенције*

<b>ТЕХНИЧКИ РЕМОНТНИ ЗАВОД "ЧАЧАК"</b>		<b>Контролна документа система квалитета</b>		Страна: 1 Ук. страна: 2	
		<b>КОНТРОЛНО-МЕРНИ ЛИСТ</b>		<b>QS 51-07-0513</b>	
<b>Идент.број</b>	<b>Номенклатурни број</b>	<b>Број радног налога</b>	<b>Назив производа</b>		
			<b>RRU GRC 408E</b> <i>Провера AFC</i>		
<b>Референтни документ</b>	<b>Место контролисања</b>	<b>Величина узорка</b>	<b>Фабрички број</b>	<b>Серијски број</b>	
<b>Тачка 3.3.2</b>					
<b>Ред. Бр.</b>	<b>Мерена величина</b>	<b>Мерна тачка</b>	<b>Мерни инструмент</b>	<b>Референтна вредност или референтни облик сигнала</b>	<b>Измерена вредност или остварен захтев</b>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	Радна предајна фреквенција	Пре опције AFC	Дисплеј уређаја	1500 MHz	

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

2	Радна пријемна фреквенција	Пре опције AFC	Дисплеј уређаја	1970 MHz	
3	Врста модулације	Пре опције AFC	Дисплеј уређаја	16 QAM	
4	Брзина преноса података	Пре опције AFC	Дисплеј уређаја	512 kb/s	
5	Ниво излазне снаге	Пре опције AFC	Дисплеј уређаја	средњи ниво	
6	Радна предајна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	1600 MHz	
7	Радна пријемна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	2200 MHz	
8	Радна предајна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	1700 MHz	
9	Радна пријемна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	2300 MHz	
10	Радна предајна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	1800 MHz	
11	Радна пријемна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	2400 MHz	
12	Радна предајна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	1900 MHz	
13	Радна пријемна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	2500 MHz	
14	Радна предајна фреквенција	Активна опција <i>Emergency moda</i>	Дисплеј уређаја	1900 MHz	
15	Радна пријемна фреквенција	Активна опција <i>Emergency moda</i>	Дисплеј уређаја	2500 MHz	
16	Врста модулације	Активна опција <i>Emergency moda</i>	Дисплеј уређаја	QPSK	
17	Брзина преноса података	Активна опција <i>Emergency moda</i>	Дисплеј уређаја	1024 kb/s	
18	Проба везе преко МТК	Активна опција <i>Emergency moda</i>	Визуелно	Остварена веза	
<b>НАПОМЕНА:</b>			<b>КОНАЧНА ОДЛУКА:</b>		
Датум израде листа: _____		<b>Израдио технолог:</b>	<b>Одобрио:</b>	<b>Оверава извршилац контролисања:</b>	1. _____ 2. _____ 3. _____
Датум контролисања: _____					

### 3.3.3 Контролно – мерна документација

У складу са захтевима система менаџмента квалитетом, у претпостављеном моделу технологије највишег нивоа одржавања радио-релејних уређаја, успостављена је документованост технолошких процеса. Контролна документа технолошког процеса највишег нивоа одржавања, у претпостављеном моделу, чине **контролно-мерне листе**, дате **кроз претходне табеларне приказе**. *Форма контролно-мерне листе која настаје аутоматизованим процесом завршних мерења тест станицом, приказана је у табели 3.5.*

Контролно-мерне листе су **записи** који показују усклађеност резултата мерења дефинисаних вредности сигнала са референтним вредностима сигнала<sup>27</sup>. Контролно-мерне листе могу настати у технолошком процесу дефектације или у технолошком процесу завршних испитивања саставних модула и/или уређаја.

**Контролно-мерне листе су документовани показатељи функционалне исправности уређаја и његових саставних модула, те у раду представљају један од главних критеријума за доношење одлука о успешности постављених хипотеза, односно успешности детерминисања модела технологија одржавања по нивоима одржавања.**

Контролно-мерне листе се након овере од стране надлежног завршног контролора прилажу уз техничку књижицу средства или технички картон модула.

Претпостављеним моделом технологије највишег нивоа одржавања радио-релејних уређаја предвиђено је укупно **16 различитих врста контролно-мерних листи**, у којима постоје **записи о 330 измерених мерних величина сигнала** битних за функционалну исправност уређаја.

**На основу детерминисаних технолошких операција одржавања саставних модула, извршено је њихово груписање и заједно са технолошким операцијама које се реализују на самом уређају, израђен је технолошки поступак приказан у табели 3.14. Технолошки поступак је израђен са истим садржајем и методом како је то урађено код технолошког поступка средњег нивоа одржавања.**

---

<sup>27</sup> Референтне вредности сигнала су прописане техничком документацијом или су због значаја измерене на еталонском уређају.

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

### 3.3.4 Модел технолошког поступка највишег нивоа одржавања радио-релејног уређаја GRC 408E

Табела 3.14 Технолошки поступак највишег нивоа превентивног и корективног одржавања RRU GRC 408E

ТЕХНИЧКИ РЕМОНТНИ ЗАВОД "ЧАЧАК"		ТЕХНОЛОШКА ДОКУМЕНТАЦИЈА		Страна: 1 Ук. страна: 9			
Идент бр.		НОМЕНКЛАТУРНИ БРОЈ		Ознака: <b>QS-51-07-0500</b>			
Номенклатурни број		Број радног налога		Степен оправке			
Референтна документна		Место рада		Г Р			
- Тачка 3.1, 3.2 и 3.3 - Фабричка документација		Бр.ком.		Серијски број			
		Одељење за ремонт RRU		1			
		Место рада		Фабрички број			
Ред. бр.	Шифра технол. операције	Место рада		Референт. документ. циља за рад	Средства за рад	Време припреме	Време реализације
		Шифра технол. операције	Радни центар				
1	10201	412 274		Упутство за процес ремонта, Упутство за рад матарина	Визуелно		
2	10301	412 274		Упутство за процес ремонта, Упутство за процес ремонта	Визуелно		
3	10302	412 274		Тачка 2.4	Визуелно		

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

4	10302	412 274	<p><b>ФУНКЦИОНАЛНА ПРОВЕРА ИСПРАВНОСТИ УРЕЂАЈА - САМОТЕСТИРАЊЕ:</b></p> <p>На основу тачке 3.1 извршити функционалну проверу уређаја GRC 408E према следећем:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Припремити уређај за извршење самотестирања,</li> <li>- Извршити самотестирање функционалне исправности уређаја путем реализације FIXED PARAMETAR TEST-а,</li> <li>- Пратити реализацију тестирања и резултате добијене тестирањем,</li> <li>- Извршити самотестирање функционалне исправности уређаја путем реализације SETUP PARAMETAR TEST-а,</li> <li>- Пратити реализацију тестирања према фиксним задатим параметрима рада уређаја према следећем:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- реализација PA теста,</li> <li>- реализација RF LOOP теста,</li> <li>- реализација BB2 теста,</li> <li>- реализација BB1 теста.</li> </ul> </li> </ul> <p>- Резултате тестирања упоредити са понуђеном листом грешки и наставити са детаљнијим тестирањем, реализацијом теста LOOP SELECTION:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- реализовати RF LOOP тест,</li> <li>- реализовати BB2 LOOP тест,</li> <li>- реализовати BB1 LOOP тест,</li> <li>- реализовати LOOP BACK тест.</li> </ul> <p>- Резултате добијене самотестирањем упоредити са понуђеном листом грешки,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Реализовати FRONT PANEL тест,</li> <li>- Извршити читавање системских параметара,</li> <li>- Извршити читавање надгледаних (мерених) параметара,</li> <li>- Извршити поређење свих добијених резултата тестирања са понуђеном листом грешки и сортирати могуће неисправне модуле у уређају,</li> </ul> <p>Након функционалне провере искључити уређај, угасити изворе напајања.</p>	Тачка 3.1	Дефинисано технолошким поступком у тачки 3.1	
---	-------	------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------	----------------------------------------------	--

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

5	10302	412 214	<p>Проверити функцију и принцип рада лоцираних неисправних модула у уређају, ради лакше дефектације и праћења резултата тестирања тест станицом.</p> <p><b>ФУНКЦИОНАЛНА ПРОВЕРА ИСПРАВНОСТИ УРЕЂАЈА РЕАЛИЗАЦИЈОМ ДИЈАГНОСТИЧКИХ ИСПИТИВАЊА ТЕСТ СТАНИЦОМ:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Припремити тест станицу за реализацију дијагностичких испитивања функционалне исправности уређаја у склопљеном стању,</li> <li>- Припремити инструменте у тест станици,</li> <li>- Проверити напајање тест станице,</li> <li>- Проверити исправност прикљученог рачунара са софтверским програмом,</li> <li>- Припремити уређај за прикључење на рачунар и тест станицу,</li> <li>- Прикључити уређај, довести напајање на уређај, поставити вештачко оптерећење на антенски конектор,</li> <li>- Повезати уређај са тест станицом,</li> <li>- Повезати еталонски уређај са тест станицом,</li> <li>- Прикључити напајање и укључити рачунар, тест станицу и уређај,</li> <li>- Унети податке о уређају у програм,</li> <li>- Пратити рад тест станице и поступити по дефинисаном поступку рада са тест станицом у тачки 3.2.1, 3.2.2 и 3.2.3</li> <li>- Резултате тестирања тест станице оштампати у складу са тачком 3.2.3 (QMS 51-07-0515), <b>табела 3.5</b> и упоредити са резултатима добијеним самотестирањем.</li> </ul> <p><b>РАСТАВЉАЊЕ УРЕЂАЈА:</b></p>	Тачка 3.2	Дефинисано поступком рада са тест станицом	Алгоритам		
6	10302	412 214						
7	10301	412 274	<p>Пумпицом за вакуум ослободити уређај унутрашњег притиска ваздуха у уређају. Извршити ослобађање горњег поклопаца уређаја и извадити модуле: A11, A13, A14, A18, A1, A25, A25A2, A25A12, A25A3. Одложити секције на радно место за испитивање. Извршити потребна чишћења секција, спојева, прикључака.</p>	Тачка 3.3	Комплет алата	радио-механичара		





Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

15	10302	412 274	<b>ДЕФЕКТАЦИЈА ИСПРАВНОСТИ МОДУЛА А14</b> ..... .....				
16	10302	412 274	<b>ДЕФЕКТАЦИЈА ИСПРАВНОСТИ МОДУЛА А18</b> ..... .....				
17	10302	412 274	<b>ДЕФЕКТАЦИЈА ИСПРАВНОСТИ МОДУЛА А24А4</b> Извршити демонтажу задњег поклопа уређаја. Прикључити специјалне продужне каблове на модул, чиме се увезује модул А24А4 са осталим модулима у уређају, према тачки 3.3.1.1 овог рада. Извршити мерења на модулу, према тачки 3.3.1.1 и табели 3.8, део који се односи на модул А24А4 (QS51-07-0504). Добијене резултате мерења унети у контролно-мерни лист. По потреби извршити замену целог модула или извршити оправку блока за напајање А24А2. Поновити мерења дефинисана тачком 6 технолошког поступка.	Тачка 3.3.1	Дефинисано у тачки 3.3.2		
18	10302	412 274	<b>ДЕФЕКТАЦИЈА ИСПРАВНОСТИ МОДУЛА А19</b> Извршити ослобађање таласовода на улазу у модул А19. Прикључити анализатор спектра и реализовати мерење према тачки 3.3.1.2 овог рада. Извршити мерења на модулу, према тачки 3.3.1.2 и табели 3.9, део који се односи на модул А19 (QS51-07-0505). Вратити улазни таласовод и ослободити излазни таласовод из модула, након чега поновити мерење према тачки 3.3.1.2 овог рада. Извршити мерења на модулу, према тачки 3.3.1.2 и табели 3.11, део који се односи на излазни део модула А19 (QS51-07-0505). Добијене резултате мерења унети у контролно-мерни лист. По потреби извршити подешавање или замену целог модула А19. Поновити мерења дефинисана тачком 6 технолошког поступка.	Тачка 3.3.1	Дефинисано у тачки 3.3.2		
19	10302	412 274	<b>ДЕФЕКТАЦИЈА ИСПРАВНОСТИ МОДУЛА А21</b> ..... .....				

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

20	10302	412 274	<b>ДЕФЕКТАЦИЈА ИСПРАВНОСТИ МОДУЛА А1</b> .....				
21	10302	412 274	<b>ДЕФЕКТАЦИЈА ИСПРАВНОСТИ МОДУЛА А25А2</b> .....				
22	10302	412 274	<b>ДЕФЕКТАЦИЈА ИСПРАВНОСТИ МОДУЛА А25А12</b> .....				
23	10302	412 274	<b>ДЕФЕКТАЦИЈА ИСПРАВНОСТИ МОДУЛА А25А3</b> .....				
24	10304	412 274	<b>МОНТАЖА УРЕЂАЈА</b> Извршити монтажу модула у уређај. Учврстити и проверити спојеве на конекторима. Учврстити модуле и горњу плочу уређаја. Визуелно прегледати уређај и припремити уређај за функционална испитивања исправности уређаја путем самотестирања и тест станицом.	Тачка 3.3	Комплет алата - радио-механичара		
25	70201	412 274	<b>ФУНКЦИОНАЛНА ПРОВЕРА ИСПРАВНОСТИ УРЕЂАЈА - САМОТЕСТИРАЊЕМ</b> Извршити функционалну проверу уређаја GRC 408E према тачки 4 технолошког поступка.	Тачка 4 ТХП			
26	70201	412 274	<b>ФУНКЦИОНАЛНА ПРОВЕРА ИСПРАВНОСТИ УРЕЂАЈА РЕАЛИЗАЦИЈОМ ДИЈАГНОСТИЧКИХ ИСПИТИВАЊА ТЕСТ СТАНИЦОМ</b> Извршити функционалну проверу уређаја GRC 408E према тачки 6 технолошког поступка. Добијене резултате ошамати у складу са табелом 3.5 (QMS 51-07-0515).	Тачка 6 ТХП	Дефинисано у тачки 3.3.5		

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

27	70201	412 274	<p><b>ФУНКЦИОНАЛНА ПРОВЕРА ИСПРАВНОСТИ УРЕЂАЈА- проверка сигнала у предајном и пријемном каналу испитиваног и еталонског уређаја</b></p> <p>Добијене резултате унети у контролно-мерни лист према табели 3.11 (QMS 51-07-0511).</p> <p><b>ФУНКЦИОНАЛНА ПРОВЕРА ИСПРАВНОСТИ УРЕЂАЈА- проверка рада уређаја у <i>Emergency mod</i>-у</b></p> <p>.....</p>	Тачка 3.3.2	Дефинисано у тачки 3.3.2		
28	70201	412 274	<p><b>ФУНКЦИОНАЛНА ПРОВЕРА ИСПРАВНОСТИ УРЕЂАЈА- проверка рада адаптивне контроле фреквенције - AFC</b></p> <p>.....</p>		Дефинисано у тачки 3.3.2		
29	70201	412 274	<p>Повезати испитивани уређај у радио-релејну трасу, како је то урађено у претходним мерењима (тачка 3.3.2.2). Извршити програмирање фреквенцијских парова према табели 3.12 датој у тачки 3.3.2.2. Приступити мерењима, као у тачки 6 технолошког поступка, а затим повећати губитке на траси повећањем отпора на промењивом ослабљивачу у трајању од најмање 60 секунди, све до активирања мода AFC, када ослабљивач вратити у почетни положај. Добијене вредности унети у контролно-мерни лист.</p> <p>Поновити мерења, с тим да након активирања мода AFC, оставити ослабљивач на постављену вредност до промене свих меморисаних фреквенцијских парова. Добијене резултате унети у контролно-мерни лист према табели 3.13 (QMS 51-07-0513).</p>	Тачка 3.3.2	Дефинисано у тачки 3.3.2		
30	70201	412 274	<p><b>ФУНКЦИОНАЛНА ПРОВЕРА ИСПРАВНОСТИ УРЕЂАЈА- проверка рада опције адаптивне контроле снаге - AFC</b></p> <p>.....</p>		Дефинисано у тачки 3.3.2		

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

31	10324	412 274	Комплирање уређаја и састава комплекта уређаја по Записнику о пријему средстава на ремонт, техничкој књижици и тачки 2.4.	Тачка 2.4	Визуелно	
32	70301	412 274	<b>ЗАВРШНО ИСПИТИВАЊЕ УРЕЂАЈА И ПРЕДАЈА ПО ТЕХНИЧКОЈ ИСПРАВНОСТИ НАДЛЕЖНОМ ЗАВРШНОМ КОНТРОЛОРУ</b> Реализовати мерења на уређају према детерминисаном моделу технолошког поступка на ред.броју: 26, 27,28,29 и 30. <b>ПРЕДАЈА УРЕЂАЈА У МАГАЦИН ИСПРАВНЕ ТЕХНИКЕ</b> Предати уређај и делове комплекта са документацијом у магацин исправне технике. Одјавити и раздужити радну документацију.	ТХП	Дефинисано у тачки 3.3.5	
33	10201	412 274	<b>УКУПНО ВРЕМЕ ПРИПРЕМЕ И РЕМОНТА:</b> Поступак израдио: Надлежни технолог	Упутство за процес ремонта	Ручно	
<b>ДАТУМ:</b>			<b>Поступак израдио:</b>	<b>САГЛАСАН:</b>	<b>ОДОБРИО:</b>	
			Надлежни технолог	Начелник СТП	Начелник ОКК	

Легенда:

- Шифра технолошке операције – из шифарника технолошких операција,
- Место рада – место где се реализује технолошка операција по шифарнику радних места,
- Радни центар – место у коме су груписане сличне технолошке операције и где се реализују поједине технолошке операције
- Време припреме – време потребно за припрему радног места, укључујући и средства за рад, како би се створили услови за реализацију технолошке операције
- Време израде – ефективно време за реализацију прописане технолошке операције.

### 3.3.5 Опрема за реализацију детерминисаног модела технологије

Опрема која се користи у реализацији детерминисаног модела технологије највишег нивоа одржавања радио-релејног уређаја приказана је у табели 3.15.

Табела 3.15 *Опрема за реализацију претпостављеног модела технологије*

Ред.бр.	НАЗИВ ОПРЕМЕ	Количина
1	Извор напона напајања, Tadiran	1
2	SDH анализатор грешке сигнала Anritsu MP1570A/A1	1
3	Мерач RF снаге PWR-1 Boonton 4231A	1
4	Бројач фреквенције Agilent 53131A	1
5	Мерач снаге PWR-2 Agilent E4418B	1
6	Дигитални мултиметар Agilent 34401A	1
7	PDH анализатор грешке сигнала Anritsu MD6420A	1
8	Генератор импулса KEITHLEY 3390	1
9	Анализатор аудио сигнала Audio Precision ATS-1	1
10	Адаптер – веза између PP линка, инструмената и софтвера у рачунару	1
11	Дигитални осцилоскоп, Yokogawa	1
12	Анализатор спектра, Aeroflex	1
13	Дигитални мултиметар, Tektronix	1
14	Анализатор мреже NETWORK ANALYZER, Agilent	1
15	Тест конектор, Baseband Loop, Tadiran	1
16	Тест конектор, EOW Loop, Tadiran	1
17	Атенуатор, Aeroflex, 30dB 50W	4
18	Атенуатор, Aeroflex, 20dB 25W	1
19	Кабл HDB3- 120 $\Omega$ , Tadiran	1
20	Кабл HDB3- 75 $\Omega$ , TAdiran	2
21	DC IN кабл, Tadiran	1
22	BNC кабл, Tadiran	10
23	Банана кабл, Tadiran	2
24	Флерт кабл са 50 пинова, Tadiran	1
25	Кабл RS-232	1
26	RF кабл, Tadiran	4
27	Baseband кабл, Tadiran	1
28	SYSCON кабл, Tadiran	2
29	AUDIO кабл, Tadiran	2
30	EOW кабл, Tadiran	2
31	DC кабл за напајање	1
32	AC кабл за напајање	2
33	GPIB каблови за повезивање инструмената	10
34	Специјални адаптер за модул A11, Tadiran	1
35	Специјални адаптер за модул A13, Tadiran	1
36	Специјални адаптер за модул A14, Tadiran	1
37	Специјални адаптер за модул A18, Tadiran	1
38	Специјални адаптер за модул A1, Tadiran	1

### Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

39	Специјални продужни каблови за модул А24А4, Tadiran	2
40	Специјални продужни каблови за модул А25, Tadiran	3
41	Специјални продужни кабл за модул А25А2, Tadiran	1
42	Специјални продужни кабл за модул А25А12, Tadiran	1
43	Специјални продужни кабл за модул А25А3, Tadiran	1
44	SYSCON кабл за повезивање уређаја са рачунаром, TP3 Чачак	1
45	Промењиви ослабљивач вредности 0-50 dB	2

#### 3.3.6 Резиме за претпостављени модел технологије највишег нивоа одржавања

Детерминисани модел технологије садржи технолошке операције чијом реализацијом се у потпуности обезбеђује техничка исправност уређаја. Дубина технолошког захвата на уређајима је померена до највише границе, тј. до нивоа компоненте у модулима уређаја<sup>28</sup>. То значи да на највишем нивоу одржавања је таква стручна оспособљеност кадра и технолошка опремељеност, да обезбеђују замену компоненти у модулима ради довођења модула и самих уређаја у технички исправно стање. То је омогућено коришћењем специјалних адаптера чиме се обезбеђује приступ компонентама у модулима. На основу тога, у моделу технологије највишег нивоа одржавања садржане су технолошке операције којима се предвиђа непосредно мерење сигнала на компонентама у модулу.

Предложени модел садржи технолошке операције највишег нивоа одржавања за укупно **11** саставних модула уређаја и технолошке операције највишег нивоа одржавања за сам уређај GRC 408E. Због обимности технологије у раду је приказан само део технологије одржавања за 2 саставна модула уређаја, који припадају предајном каналу уређаја.

Предложени модел технологије одржавања има нов приступ у дефектацији исправности модула (случај када модули без уређаја долазе на оправку), јер је дефектатору, било у технолошком процесу дефектације или завршних испитивања, доступан **текстуални, бројчани и сликовит облик референтних сигнала**. Тиме је олакшан рад дефектатору, а сам технолошки процес дефектације поуздан.

Такође, детерминисани модел технологије садржи додатне технолошке операције по коме се он разликује од модела технологије средњег нивоа одржавања. Додатне технолошке операције разликују се са аспекта технолошких захвата, стручној оспособљености и мерној опреми која се користи само на овом нивоу одржавања. Њиховом применом реализује се тзв. "контрола контроле". Врши се провера одзива уређаја на задате програмске наредбе, односно провера алгоритма у уређају и да ли уређај извршава све оно што је предвиђено програмским алгоритмом.

На овај начин је претпостављени модел технологије одржавања уређаја у потпуности усклађен са конструктивним и техничким карактеристикама уређаја.

Модел технологије садржи такве технолошке операције које захтевају високу стручну оспособљеност и технолошку опремељеност, тако да се могу реализовати само у установама предвиђеним за највиши ниво одржавања. Такве установе морају имати специјалне адаптере и алате, мерне инструменте, асортиман резервних делова и модула како би се спровеле прописане технолошке операције.

Карактеристично је да се део технолошких операција које се односе на дефектацију и завршна испитивања модула помоћу тест опреме, применом савремених метода техничке

<sup>28</sup> Корективно одржавање на највишем нивоу одржавања подразумева замену неисправних компоненти на штампаним плочама.

дијагностике, садржи и исти је као у претпостављеном моделу технологије средњег нивоа одржавања.

Детерминисани модел технологије је у складу са техникама и методама за решавање проблема дефинисања технологије одржавања, садржи табеларни приказ технолошких операција сложених по редоследу извршења, списак мерне опреме и специјалних адаптера за овај ниво одржавања, контролно-мерне листе за сваки саставни модул посебно и сваки програмски алгоритам посебно са референтним и измереним параметрима на модулу и уређају. Тиме се обезбеђује документованост техничке исправности модула или уређаја. Такође, технолошки поступак одржавања даје експлицитне одговоре на напред дефинисана технолошка питања.

Јасно је да установа или предузеће које спроводи највиши ниво одржавања мора поседовати асортиман резервних делова и модула који се мењају на овом нивоу одржавања.

**Радови из домена највишег нивоа одржавања, у превентивном смислу, реализују се сваких 10 година, колики је оријентационо временски и експлоатациони ресурс.** У корективном смислу, радови из домена највишег нивоа одржавања реализују се после сваког отказа или појаве неисправности модула из уређаја, а који се дефектира на средњем нивоу одржавања. Такође, на овај ниво одржавања може се упутити и цео уређај уколико се отказ није могао отклонити на средњем нивоу одржавања (због модула A19 и A21).

Подаци о спроведеним радовима из домена највишег нивоа одржавања уписују се у техничку књижицу средства или у технички картон модула. При томе у прилогу књижице прилажу се контролно-мерне листе које су настале као резултат тестирања уређаја тест станицом и које уједно представљају запис о спроведеним завршним мерењима на уређају.

На крају, детерминисани модел технологије примениће се у организационој јединици, те ће се на основу резултата створити увид у успешност примене предложеног модела технологије највишег нивоа одржавања.

### 3.3.7 Примена детерминисаног модела технологије одржавања RRU

У претходној тачки детерминисани су модели технологије одржавања RRU по нивоима одржавања. Приликом детерминисања модела закључено је да сваки виши ниво одржавања садржи технолошке операције нижег нивоа одржавања. Управо та чињеница искористиће се за примену модела технологије највишег нивоа одржавања. На тај начин применом модела највишег нивоа одржавања, провериће се модел технолошког поступка и за остале нивое одржавања.

У овом делу истраживања извршиће се примена детерминисаног модела технологије одржавања, ради потврде њене успешности у технолошким процесима дефектације, оправке RRU и завршних испитивања. На тај начин потврђује се *прва хипотеза: могуће је детерминисати модел технологије дигиталних RRU у складу са конструктивним и техничким карактеристикама уређаја, уз реализацију аутоматског мерног места за мерење битних параметара уређаја.* Битни параметри уређаја помоћу којих се доноси одлука о техничкој исправности RRU садржани су у претходно дефинисаним контролно-мерним листама.

Сагледавање истинитости претпостављене хипотезе и исправности детерминисаног модела технологије одржавања RRU реализоваће се применом модела највишег нивоа одржавања у лабораторијским условима. У складу са дефинисаном контролно-мерном листом извршиће се дефектациона испитивања и провера исправности једног RRU



фамилије GRC 408E, који је са средњег нивоа одржавања упућен на корективно одржавање из надлежности највишег нивоа одржавања.

Поступајући у складу са технолошким поступком (табела 3.14) извршиће се мерења дефинисана технолошким операцијама у тачки 4-6 табеле 3.14. Добијени резултати дијагностичких испитивања штампају се из рачунара који управља радом тест станице (табела 3.5). Даље се поступа у складу са технолошким операцијама, тј. реализују се појединачна испитивања исправности саставних модула ради локације неисправног. Након тога врши се оправка неисправног и понавља завршно испитивање уређаја у складу са табелом 3.14.

Током примене детерминисаног модела технологије, сакупљаће се релевантни резултати о успешности примене модела, помоћу различитих метода дефинисаних у делу који се односи на начин истраживања. До резултата се долази на више начина, а доминантни су резултати који се добијају мерењем прописаних параметара уређаја било мерним инструментима или применом савремене методе техничке дијагностике кроз аутоматизовану тест опрему. Резултати моделовања се приказују табеларно и графички у складу са дефинисаним контролно-мерним листама. Добијени резултати примене претпостављених модела треба да буду у оквиру прописаних вредности, како би претпостављена хипотеза била исправна.

**Резултати примене детерминисаног модела технологије одржавања**

Детерминисани модел технологије примениће се при корективном одржавању RRU упућеног са средњег нивоа одржавања. Поступајући у складу са технолошким поступком извршиће се дијагностичка испитивања исправности RRU. Добијени резултати дијагностичких испитивања приказани су у табели 3.16.

Табела 3.16 Резултати тестирања функционалне исправности уређаја тест станицом

*** GROUP-A FULL TEST REPORT ***						
UUT NAME:	<b>GRC-408 L BAND AMI</b>	TEST DATE:				
23/01/2012						
CATALOG NO,	2112PPP1500 AMI	TEST TIME:				
13:59:25						
SERIAL NO,	<b>50133333223645</b>	TEST DURATION:				
OPERATOR:	Radonjić Vojkan					
STATUS:	<b>FAIL</b>	TESTED BY:	_____			
<b>001</b>	<b>Calling TEST</b>					
Freq/Funkcion	Param	Low Limit	High Limit	Units	Results	F
1700.000 Ref toUnt	E1	PASS	PASS		PASS	
1700.000 Ref toUnt		PASS	PASS		PASS	

<b>002 DC Input Range Test</b>						
<b>Freg/Funkcion</b>	<b>Param</b>	<b>Low Limit</b>	<b>High Limit</b>	<b>Units</b>	<b>Results</b>	<b>F</b>
1700.000	20.0V E1		0	ERR	0	
	QPSK					
	30.0V E1		0	ERR	0	
<b>003 Pover Consumption Test (DC Operation)</b>						
<b>Freg/Funkcion</b>	<b>Param</b>	<b>Low Limit</b>	<b>High Limit</b>	<b>Units</b>	<b>Results</b>	<b>F</b>
1350.000	TX HIGH E1	80.00	165.00	Watt	146.60	
1850.000		80.00	165.00	Watt	129.76	
2690.000		80.00	165.00	Watt	144.00	
<b>004 AC DC Switch Over Test</b>						
<b>Freg/Funkcion</b>	<b>Param</b>	<b>Low Limit</b>	<b>High Limit</b>	<b>Units</b>	<b>Results</b>	<b>F</b>
1700.000	E1	0	0	ERR	0	
	AC	0	0	ERR	0	
	Reconnect					
<b>005 Sensitivity 16QAM Modem Test</b>						
<b>Freg/Funkcion</b>	<b>Param</b>	<b>Low Limit</b>	<b>High Limit</b>	<b>Units</b>	<b>Results</b>	<b>F</b>
1350.000	AMI		1.E-5	BER	< 1E-7	
	2048K					
	AMI		1.E-5	BER	< 1E-7	
	8192K					
1600.00	E1		1.E-5	BER	< 1E-7	
	4E1		1.E-5	BER	< 1E-7	
1850.000	AMI		1.E-5	BER	< 1E-7	
	2048K					
	AMI		1.E-5	BER	< 1E-7	
	8192K					
2400.000	E1		1.E-5	BER	< 1E-7	
	4E1		1.E-5	BER	< 1E-7	
2690.000	AMI		1.E-5	BER	< 1E-7	
	2048K					
	AMI		1.E-5	BER	< 1E-7	
	8192K					
<b>006 Sensitivity QPSK Modem Test</b>						
<b>Freg/Funkcion</b>	<b>Param</b>	<b>Low Limit</b>	<b>High Limit</b>	<b>Units</b>	<b>Results</b>	<b>F</b>
1350.000	AMI 256K		1.E-5	BER	< 1E-7	
	AMI 512K		1.E-5	BER	< 1E-7	
	AMI		1.E-5	BER	< 1E-7	
	1024K					
	AMI		1.E-5	BER	< 1E-7	
	2048K					

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

	AMI 8192K	1.E-5	BER	< 1E-7		
1600.000	E1	1.E-5	BER	< 1E-7		
	4E1	1.E-5	BER	< 1E-7		
1850.000	AMI 2048K	1.E-5	BER	< 1E-7		
	AMI 8192K	1.E-5	BER	< 1E-7		
2400.000	E1	1.E-5	BER	< 1E-7		
2400.000	4E1	1.E-5	BER	< 1E-7		
2690.000	AMI 2048K	1.E-5	BER	< 1E-7		
	AMI 8192K	1.E-5	BER	< 1E-7		
<b>007</b>	<b>Service Channel Level and SINAD Test</b>					
<b>Freg/Funkcion</b>	<b>Param</b>	<b>Low Limit</b>	<b>High Limit</b>	<b>Units</b>	<b>Results</b>	<b>F</b>
1600.000	LEVEL	0.7	1.4	V	1.09	
	SINAD	10.0	30.0	db	14.7	
2400.000	LEVEL	0.7	1.4	V	1.09	
	SINAD	10.0	30.0	db	14.7	
<b>008</b>	<b>Power + Freg Accuracu (Modem QPSK) Test</b>					
<b>Freg/Funkcion</b>	<b>Param</b>	<b>Low Limit</b>	<b>High Limit</b>	<b>Units</b>	<b>Results</b>	<b>F</b>
1350.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	24.02	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.32	
	<b>HIGH</b>	<b>36.00</b>	<b>---</b>	<b>dBm</b>	<b>30.55</b>	<b>*</b>
	Accuracy	- 2.50	2.50	PPM	- 0.13	
1600.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	23.39	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.26	
	HIGH	36.00	---	dBm	38.02	
	Accuracy	- 2.50	2.50	PPM	- 0.14	
1850.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	23.95	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.28	
	HIGH	36.00	---	dBm	38.02	
	Accuracy	- 2.50	2.50	PPM	- 0.15	
2400.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	23.94	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.15	
	HIGH	36.00	---	dBm	38.02	
	Accuracy	- 2.50	2.50	PPM	- 0.20	
2690.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	23.51	
	MED	28.30	32.30	dBm	29.82	

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

	HIGH	36.00	---	dBm	37.28	
	Accuracy	- 2.50	2.50	PPM	- 0.20	
<b>009</b>	<b>TX Power (Modem 16QAM) Test</b>					
<b>Freg/Funkcion</b>	<b>Param</b>	<b>Low Limit</b>	<b>High Limit</b>	<b>Units</b>	<b>Results</b>	<b>F</b>
1350.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	24.29	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.83	
	<b>HIGH</b>	<b>36.00</b>	<b>---</b>	<b>dBm</b>	<b>30.47</b>	<b>*</b>
1600.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	24.04	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.59	
	HIGH	36.00	---	dBm	37.67	
1850.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	24.18	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.73	
	HIGH	36.00	---	dBm	37.82	
2400.000	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	24.20	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.61	
	HIGH	36.00	---	dBm	37.53	
2690.00	LOW AMI 2048K	22.30	26.30	dBm	23.94	
	MED	28.30	32.30	dBm	30.33	
	HIGH	36.00	---	dBm	36.52	
<b>010</b>	<b>EOW Order Wire Test</b>					
<b>Freg/Funkcion</b>	<b>Param</b>	<b>Low Limit</b>	<b>High Limit</b>	<b>Units</b>	<b>Results</b>	<b>F</b>
1600.000	QPSK E1		1.E-5	BER	< 1E-5	
2400.000	16QAM 4E1		1.E-5	BER	< 1E-5	
<b>011</b>	<b>Emergency Test</b>					
<b>Freg/Funkcion</b>	<b>Param</b>	<b>Low Limit</b>	<b>High Limit</b>	<b>Units</b>	<b>Results</b>	<b>F</b>
2690.000	LEVEL	0.7	1.4	V	1.09	
	SINAD	10.0	30.0	dB	14.8	

**\*\*\*END OF TEST REPORT\*\*\***

Статус испитаног уређаја је: "FAIL", што значи да је уређај неисправан. Добијене вредности сигнала при мерењима на редном броју 008 и 009, нису у складу са референтним вредностима. Мерења се односе на излазну снагу уређаја при обе врсте модулације (16QAM и QPSK). Као што се види у табели 3.16, вредност максималне снаге за обе врсте модулације је испод референтне вредности која износи 36 dBm. Измерена вредност је 30.35 dBm, односно 30.47 dBm, респективно.

Како је у питању неиспуњење захтева за максималном снагом излазног сигнала, претпоставља се да је неисправан неки од модула у предајном каналу. То могу бити модули: A18, A24A4, A19 и A21. Сагледавајући резултате тестирања из тачке 4 табеле 3.16, уочава се да су резултати показали исправност уређаја. Такође, применом алгоритма дефектације уређаја (прилог 1) на средњем нивоу одржавања претпоставља се да је покушана оправка уређаја. Како је уређај послат на виши ниво одржавања, очигледно је да модул A18 није неисправан, иначе би био замењен на средњем нивоу одржавања. Претпоставља се да је неисправан неки од модула у предајном каналу који се по функцији налази иза модула A18. То су модули: A24A4, A19 или A21. Ову претпоставку потврђује слика 3.6, са које се види да се приликом тестирања уређаја тестом "FIXED PARAMETER TEST", сигнал са модула A18 води у пријемни део модула A21, уместо даље у модуле предајног канала. На тај начин се изузимају из тестирања остали модули у предајном каналу. Како је пријем сигнала добар, очигледно је да доведени сигнал са модула A18 је у границама референтних вредности и да неисправност треба тражити у осталим модулима предајног канала.

Даље ће се извршити расклапање уређаја и поступити у складу са тачком 17 табеле 3.14. Омогућиће се рад модула појачавача снаге A24A4 преко продужних каблова (адаптера), како је то објашњено у тачки 3.3.1.1. Даље се реализују мерења у складу са контролно-мерном листом модула A24A4 приказаном у табели 3.8. Наведена мерења представљају дефектацију исправности модула A24A4. Добијени резултати приказани су у табели 3.17.

Табела 3.17 Резултати мерења на модулу A24A4

ТЕХНИЧКИ РЕМОНТНИ ЗАВОД "ЧАЧАК"		Контролна документа система квалитета		Страна: 1 Ук. страна: 1	
		КОНТРОЛНО-МЕРНИ ЛИСТ		QS 51-07-0504	
Идент.број	Номенклатурни број	Број радног налога		Назив производа	
				Модул A24A4	
Референтни документ	Место контролисања	Величина узорка	Фабрички број	Серијски број	
Тачка 3.3.1					
Ред. бр.	Мерена величина	Мерна тачка	Мерни инструмент	Референтна вредност или референтни облик сигнала	Измерена вредност или остварен захтев
1	2	3	4	5	6
1	Напони напајања појачавача	Конектор J3	Дигитални мултиметар	+13V, +13V, -15V, +13V	НЕ +11.81 V -13.15 V
2	Улазни RF сигнал	Специјални адаптер	Анализатор спектра	Као на слици 3.29 > 5 dBm	ДА 5.2 dBm

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

3	Излазни RF сигнал	Специјални адаптер	Анализатор спектра	Као на слици 3.30 > 36 dBm	<b>НЕ</b> 30 dBm
<b>НАПОМЕНА:</b>			<b>КОНАЧНА ОДЛУКА:</b> <i>Модул A24A4 је неисправан.</i>		
Датум израде листа:		<b>Израдио технолог:</b>	<b>Одобрио:</b>	<b>Оверава извршилац контролисања:</b> 1. _____ 2. _____ 3. _____	
Датум контролисања:					

Добијени резултати мерења показују да мерењем напона напајања модула A24A4 измерена вредност напона је +11.81V, односно -13.15 V што је мање од референтних вредности. Због тога је снага сигнала на излазу из појачавача снаге мања од референтне вредности и износи око 30 dBm.

Подсклоп који је одговоран за генерисање једносмерног напона напајања за модул A24A4 је модул A24A2 (P.A.P.S.- Power Amplifier Power Suply). Даљим мерењем на самом модулу A24A2 установљено је да је транзистор MOSFET ознаке SUP 75 N06-08 променио карактеристику и не даје довољну вредност једносмерног напона<sup>29</sup>. То се манифестује на модул A24A4, тако што је излазно појачање сигнала недовољно (око 30 dBm).

Након замене наведеног транзистора, поновљено је мерење у складу са контролно-мерном листом (табела 3.8). Снага излазног сигнала износи 37.2 dBm. **Добијени резултати су у складу са референтним вредностима из табеле.**

Поновљена су дијагностичка мерења у складу са тачком 25 и 26 технолошког поступка приказаног у табели 3.14. Добијени резултати су у складу са референтним вредностима, чиме су створени услови за наставак испитивања функционалне исправности уређаја у складу са технолошким поступком. Реализоваће се мерења по тачки 27-30 табеле 3.14. Добијени резултати мерења приказани су у табелама 3.18 и 3.19.

У складу са тачком 3.3.2.1 извршена је провера сигнала у предајном и пријемном каналу уређаја. Добијени резултати приказани су у табели 3.18. Из добијених резултата се констатује да је уређај исправан.

Табела 3.18 Резултати провере сигнала у предајном и пријемном каналу уређаја

<b>ТЕХНИЧКИ РЕМОНТНИ ЗАВОД "ЧАЧАК"</b>		<b>Контролна документа система квалитета</b>		Страна: 1 Ук. страна: 2
		<b>КОНТРОЛНО-МЕРНИ ЛИСТ</b>		<b>QS 51-07-0511</b>
<b>Идент. број</b>	<b>Номенклатурни број</b>	<b>Број радног налога</b>	<b>Назив средства</b>	
			<b>RRU GRC 408 E</b>	

<sup>29</sup> MOSFET транзистор представља извор напона за модул A24A4.

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

					Провера предајног и пријемног канала	
Референтни и документ	Место контролисања		Величина узорка		Фабрички број	Серијски број
Тачка 3.3.2						
Ред. Бр.	Мерена величина	Мерна тачка	Мерни инструмент		Референтна вредност или референтни облик сигнала	Измерена вредност или остварен захтев
1	2	3	4		5	6
1	Улазни синусни сигнал у МТК	МТК референтни уређај	Сигнал генератор		1 KHz	1KHz
2	Излазни сигнал из МТК	МТК испитивани уређај	Дигитални осцилоскоп		Као на слици 3.37	ДА
3	Однос сигнал/шум SINAD	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала		6 dB	5.99 dB
4	Ниво излазног сигнала	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала		380-400 mV	391 mV
5	Улазни синусни сигнал у МТК	МТК референтни уређај	Сигнал генератор		2 KHz	2 KHz
6	Излазни сигнал из МТК	МТК испитивани уређај	Дигитални осцилоскоп		Као на слици 3.38	ДА
7	Однос сигнал/шум SINAD	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала		0.2 dB	0.2 dB
8	Ниво излазног сигнала	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала		360-430 mV	393 mV
9	Улазни синусни сигнал у МТК	МТК референтни уређај	Сигнал генератор		2.2 KHz	2.2 KHz
10	Излазни сигнал из МТК	МТК испитивани уређај	Дигитални осцилоскоп		Као на слици 3.39	ДА
11	Однос сигнал/шум SINAD	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала		0.2 dB	0.2 dB
12	Ниво излазног сигнала	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала		340-360 mV	348 mV

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

13	Улазни синусни сигнал у МТК	МТК референтни уређај	Сигнал генератор	3 КHz	3 КHz
14	Излазни сигнал из МТК	МТК испитивани уређај	Дигитални осцилоскоп	Као на слици 3.40	ДА
15	Однос сигнал/шум SINAD	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала	1 dB	1 dB
16	Ниво излазног сигнала	МТК испитивани уређај	Анализатор аудио сигнала	25-30 mV	29 mV
<b>НАПОМЕНА:</b>			<b>КОНАЧНА ОДЛУКА:</b> <b>Предајни и пријемни канал – ИСПРАВАН.</b>		
Датум израде листа: _____		<b>Израдио технолог:</b>	<b>Одобрио:</b>	<b>Оверава извршилац контролисања:</b> 1. _____ 2. _____ 3. _____	
Датум контролисања: _____					

У складу са тачком 3.3.2.2 извршена је провера рада адаптивне контроле фреквенције. Добијени резултати приказани су у табели 3.19. Из добијених резултата се констатује да је уређај исправан.

Табела 3.19 Резултати провере рада адаптивне контроле фреквенције

<b>ТЕХНИЧКИ РЕМОНТНИ ЗАВОД "ЧАЧАК"</b>		<b>Контролна документа система квалитета</b>		Страна: 1 Ук. страна: 2	
		<b>КОНТРОЛНО-МЕРНИ ЛИСТ</b>		<b>QS 51-07- 0513</b>	
<b>Идент.број</b>	<b>Номенклатурни број</b>	<b>Број радног налога</b>	<b>Назив производа</b>		
			<b>RRU GRC 408E</b> <i>Провера AFC</i>		
<b>Референтни документ</b>	<b>Место контролисања</b>	<b>Величина узорка</b>	<b>Фабрички број</b>	<b>Серијски број</b>	
<b>Тачка 3.3.2</b>					
<b>Ред. бр.</b>	<b>Мерена величина</b>	<b>Мерна тачка</b>	<b>Мерни инструмент</b>	<b>Референтна вредност или референтни облик сигнала</b>	<b>Измерена вредност или остварен захтев</b>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>



Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

1	Радна предајна фреквенција	Пре опције AFC	Дисплеј уређаја	1500 MHz	1500 MHz
2	Радна пријемна фреквенција	Пре опције AFC	Дисплеј уређаја	1970 MHz	1970 MHz
3	Врста модулације	Пре опције AFC	Дисплеј уређаја	16 QAM	16 QAM
4	Брзина преноса података	Пре опције AFC	Дисплеј уређаја	512 kb/s	512 kb/s
5	Ниво излазне снаге	Пре опције AFC	Дисплеј уређаја	средњи ниво	средњи ниво
6	Радна предајна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	1600 MHz	1600 MHz
7	Радна пријемна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	2200 MHz	2200 MHz
8	Радна предајна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	1700 MHz	1700 MHz
9	Радна пријемна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	2300 MHz	2300 MHz
10	Радна предајна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	1800 MHz	1800 MHz
11	Радна пријемна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	2400 MHz	2400 MHz
12	Радна предајна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	1900 MHz	1900 MHz
13	Радна пријемна фреквенција	Активна AFC	Дисплеј уређаја	2500 MHz	2500 MHz
14	Радна предајна фреквенција	Активна опција <i>Emergency moda</i>	Дисплеј уређаја	1900 MHz	1900 MHz
15	Радна пријемна фреквенција	Активна опција <i>Emergency moda</i>	Дисплеј уређаја	2500 MHz	2500 MHz
16	Врста модулације	Активна опција <i>Emergency moda</i>	Дисплеј уређаја	QPSK	QPSK
17	Брзина преноса података	Активна опција <i>Emergency moda</i>	Дисплеј уређаја	1024 kb/s	1024 kb/s
18	Проба везе преко МТК	Активна опција <i>Emergency moda</i>	Визуелно	Остварена веза	ДА
<b>НАПОМЕНА:</b>			<b>КОНАЧНА ОДЛУКА:</b> Остварена везе – уређај ИСПРАВАН.		

Модел технологије одржавања радио-релејних уређаја

Датум израде листа: _____	<b>Израдио технолог:</b>	<b>Одобрио:</b>	<b>Оверава извршилац контролисања:</b>  1. _____  2. _____  3. _____
Датум контролисања:  _____			

У наставку су реализована испитивања уређаја од стране завршног надлежног контролора (тачке 31 и 32 табеле 3.14) и доноси се одлука о исправности уређаја. Обзиром на то да су резултати дијагностичких испитивања у складу са референтним вредностима, **одлука је да је RRU технички исправан** и да се може вратити у оперативну употребу.

На овај начин, у лабораторијским условима, примењен је детерминисани модел технологије одржавања дигиталног RRU. Реализовано је:

- корективно одржавање RRU упућеног са средњег на највиши ниво одржавања,
- корективно одржавање неисправног саставног модула ради довођења уређаја у функционално исправно стање,
- остала прописана мерења по технолошком поступку највишег нивоа одржавања RRU којима се утврђује функционална исправност уређаја.

На основу добијених резултата моделовања закључује се да детерминисани модел технологије омогућава успешно и ефикасно одржавање RRU. Такође, испуњена је прва хипотеза ове дисертације: *дефинисан је модел технологије одржавања у складу са конструктивним и техничким карактеристикама уређаја при чему је могућа реализација аутоматског мерног места за мерење битних параметара уређаја.*

Добијени резултат примене детерминисаног модела технологије је у оквиру прописаних вредности, тако да је претпостављена хипотеза истинита.

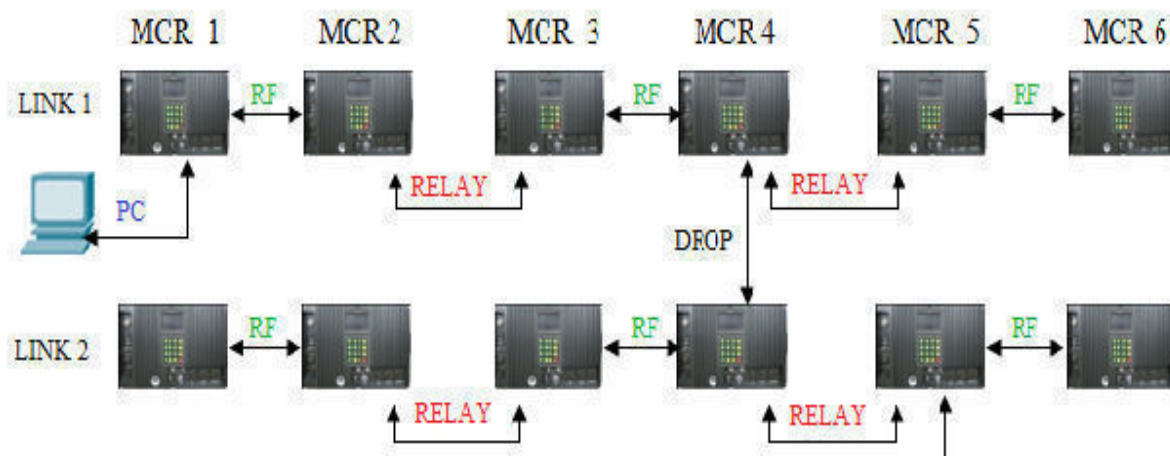
### 3.4 Модел технологије превентивног и корективног одржавања путем радио-релејног линка

#### 3.4.1 Концепт модела

Концепт одржавања заснован је на испомоћи техничког одржавања основном одржавању и испомоћи вишег нивоа одржавања нижим нивоима одржавања. Испомоћ је заснована на реализацији превентивних радњи одржавања и дијагностици стања у оквиру корективног одржавања.

Пошто су радио-релејни уређаји софтверски управљани уређаји, управо та предност ће се искористити за дефинисање модела испомоћи нижим нивоима одржавања у одржавању уређаја. Испомоћ се састоји у томе да капацитети вишег нивоа одржавања, *путем радио-релејног линка*, могу очитати битне параметре уређаја на основу којих се могу реализовати акције превентивног или корективног одржавања.

Посматрајући слику 3.41 на којој је представљена мрежа радио-релејних уређаја на некој територији, било ком уређају у мрежи, може се приступити путем радио-релејног линка.



Слика 3.41 Пример радио-релејне мреже за надзор и управљање

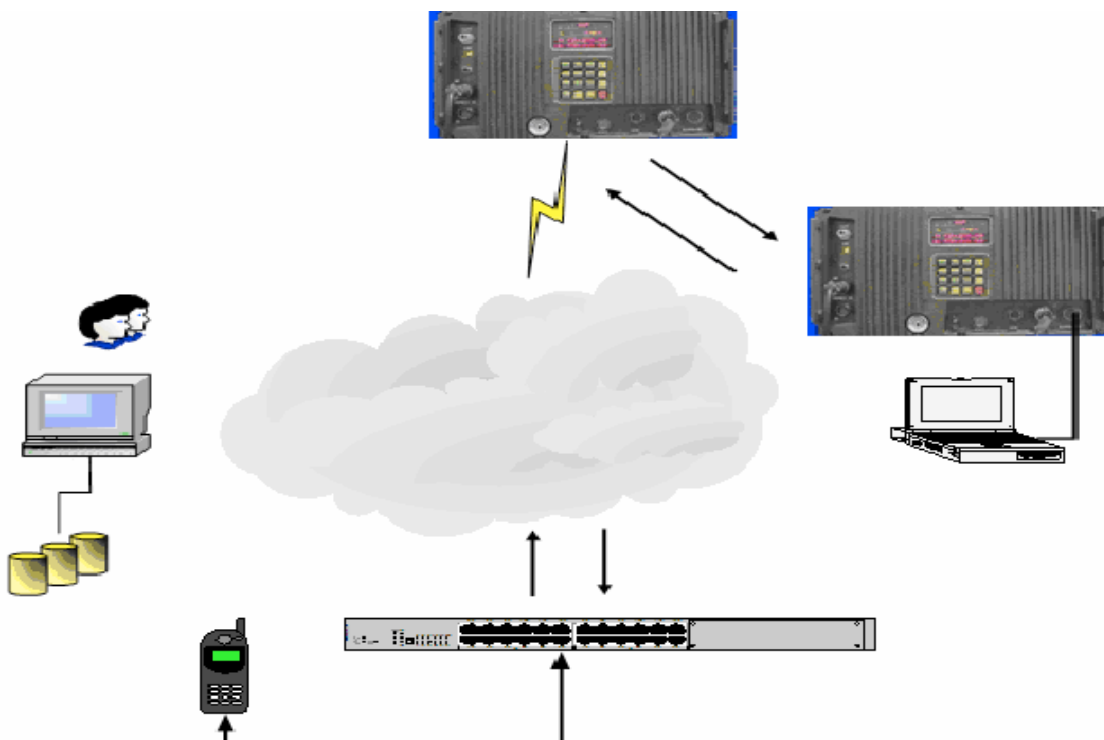
Дефинисање модела испомоћи је идеја којом се жели стручно помоћи непосредно оператеру и механичару за техничко одржавање из нижег нивоа одржавања. Развијање ове врсте модела испомоћи је резултат праксе, реалности процеса одржавања и присутности идеје о сталном усавршавању дуготрајног процеса одржавања техничких система.

Испомоћ се састоји у томе да се резултати самотестирања исправности радио-релејног уређаја, на основу којих се утврђује исправност уређаја, на поменуте начине, допреме до стручног лица. Стручно лице, на основу резултата, доноси одлуку о стању исправности уређаја или по потреби врши даљу дефектацију уређаја. Такође, на исти начин, уколико је уређају, који се налази у оперативној употреби, истекао ресурс (временски или експлоатациони) и потребно је извршити превентивни технички преглед, уређај се не мора допремати у радионицу са удаљеног стационарног или мобилног чворишта везе. Коришћењем предложеног модела одржавања, реализују се неопходне акције превентивног одржавања.

На овај начин се правилно, плански и рационално управља капацитетима појединих нивоа одржавања, уређаји су за кратко време расположиви, а ефикасност процеса одржавања је већа.

Као што је речено у уводном делу, радио-релејном уређају могуће је приступити у смислу управљања и контроле директно преко SYSCON конектора (RS-232 порта),

преко уређаја који су у радио-релејном линку или преко сигнала у основном опсегу (*baseband* прикључка) или неком комбинацијом (слика 3.42).



Слика 3.42 Принципска шема приступа радио-релејном уређају

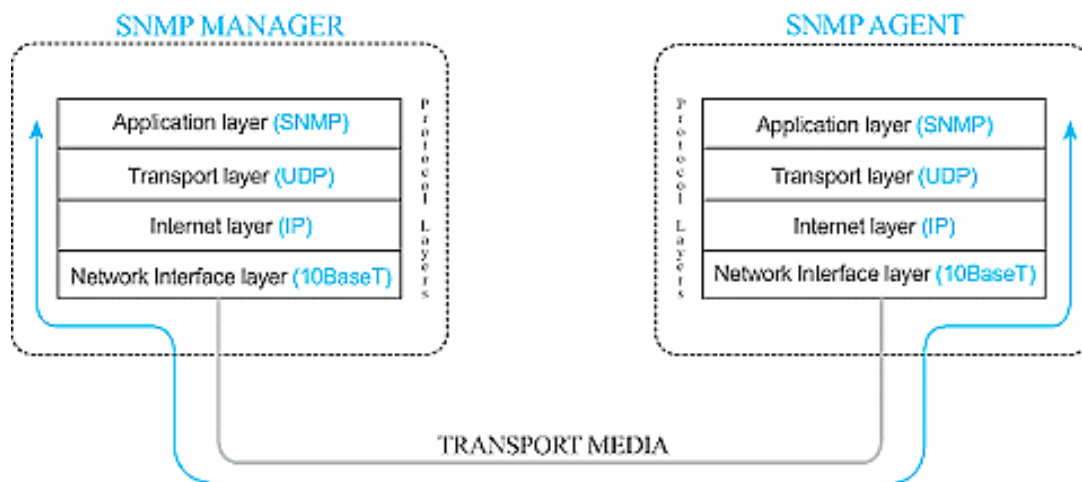
На овај начин се са било ког уређаја могу добити подаци неопходни за квалитетно одржавање. Ексклузивност добијања параметара самотестирања, са неког од радио-релејних уређаја из радио-релејне мреже, заснована је на раду оперативног софтверског система уређаја. Наиме, оперативним системом уређаја предвиђено је да се подаци, који се односе на резултате самотестирања уређаја и на вредности надгледаних параметара уређаја, чувају у меморији централне процесорске јединице. Даљинским путем се приступа меморији и преузимају се подаци за даље стручне анализе [111,112,114].

Софтверским пакетом уређаја предвиђено је да се преко даљинске контроле могу очитати вредности параметара, али се наредбе и одабир врсте теста, не могу активирати даљински. *Активирање режима тестирања и одабир врсте теста* се искључиво ради преко тастатуре уређаја. То значи, да је овим моделом предвиђено да то ради непосредно оператер на уређају или механичар за техничко одржавање. Овакав начин активирања самотестирања је из разлога што се одређене акције морају спровести на самом уређају приликом његовог тестирања (поставити вештачко оптерећење, поставити *baseband* прикључак и сл.), што очигледно даљинским путем то није могуће реализовати.

Значи, тестирање уређаја покреће оператер или механичар са нижег нивоа одржавања, на захтев стручног лица са вишег нивоа одржавања. Пре тога, предузимају се неопходне радње припреме уређаја, као и организовања алтернативног радио-релејног правца. Након самотестирања и преузимања података од стране стручног лица, уређај се враћа у оперативну употребу. Са преузетим резултатима самотестирања и надгледаних параметара из оперативне употребе уређаја, стручно лице може да започне неопходне анализе. Обе врсте параметара су довољне да се изврши квалитетна анализа резултата на основу којих се доноси закључак о стању исправности уређаја и ком сегменту треба усмерити неопходне акције одржавања.

### 3.4.2 SNMP протокол

Један од најчешће коришћених апликативних IP (Internet Protocol) базираних протокола за комуникацију, надгледање и управљање је SNMP протокол (*Simple Network Management Protocol*) [113,115].



Слика 3.43 Организација SNMP управљања

Објекти који се могу надгледати SNMP протоколом су рутери, свичеви, радне станице, штампачи и сви они објекти који су поред IP и TCP (Transmission Control Protocol) комуникације подржани SNMP протоколом на апликативном нивоу. Популарност овог протокола је заснована на једноставној комуникацији, као и томе што се на нижим слојевима, SNMP протокол ослања на широко коришћеним IP и TCP протоколима.

Одржавање комуникације између рачунара и радио-релејног уређаја остварује се помоћу следећих софтвера:

- SNMP агента – софтвер који ради на страни уређаја који се надгледа (RRU GRC 408E). Њиме се одређује начин приступа уређају и дефинише се MIB база (Management Information Base),
- SNMP менаџера – софтвер који ради на страни рачунара којим се надгледа рад уређаја. Он омогућава и дефинише начин приступа уређају од стране рачунара.

SNMP агент и SNMP менаџер се укључују као радна алатка у неки од стандардних програмских језика. MIB база је скуп величина које карактеришу рад надгледаног уређаја. Свака величина има свој број, који се у SNMP терминологији назива OID<sup>30</sup>. Тако, када рачунар шаље захтев за читање неке величине (нпр. предајне фреквенције), он у формату наредбе у пољу за надгледану величину уписује број (нпр. 1.3.6.4.999.888.1.1.0) тако да уређај препознаје да се ради о предајној фреквенцији.

### 3.4.3 Рутирање унутар мреже радио-релејних уређаја

У претходној тачки објашњен је део модела који се односи на комуникацију на апликативном нивоу између рачунара и радио-релејног уређаја. Међутим, поред комуникације са једним уређајем, модел одржавања предвиђа приступ било ком уређају

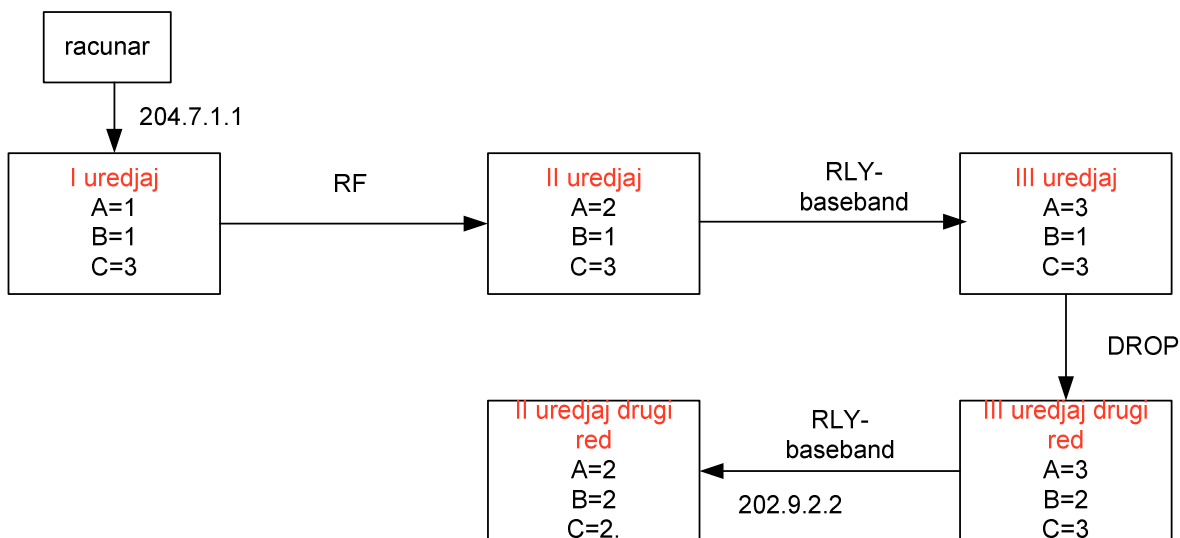
<sup>30</sup> OID – Object Identifiers – број за адресирање података у MIB бази.

у мрежи радио-релејних уређаја, на неки од наведених начина: преко радио-релејне везе, преко прикључка на серијском порту уређаја или преко прикључка за сигнале у основном опсегу (*baseband* прикључка).

Код мреже радио-релејних уређаја GRC 408E, одређивање IP адресе сваког уређаја у мрежи, усмеравање података ка дефинисаној IP адреси и рутирање података решено је на тај начин што сваки од уређаја у мрежи преузима улогу рутера на себе, тј. сваки уређај у мрежи врши рутирање. Иницијализација SNMP везе се остварује према задатој IP адреси. Међутим, IP адреса није динамичка, већ је **одређена положајем уређаја у мрежи** (као на слици 3.41). На пример, ако се цела мрежа састоји од само два уређаја и то једног преко кога се врши управљање и другог у RF вези са првим, оба уређаја ће имати тачно дефинисане IP адресе. Приступање једном или другом уређају се врши избором IP адресе која се користи приликом иницијализације SNMP везе.

Уколико желимо да приступимо уређају који је у RF вези са директно надгледаним уређајем, користићемо IP адресу која одговара његовом положају, али ће улогу рутера преузети први уређај. Он ће на основу IP адресе из поступка иницијализације закључити на који порт треба проследити поруку (RF порт, серијски или *baseband* порт). На тај начин формира се мрежа радио-релејних уређаја који практично сами врше рутирање.

На слици 3.44 приказан је један од могућих сценарија положаја уређаја у мрежи уређаја. Параметре које корисник уноси преко тастатуре уређаја GRC 408E (А, Б, Ц) говоре уређају које је његово место у мрежи и на основу тога одређују му на који порт треба да проследи поруку коју је добио, како би уређај, са којим се захтева SNMP комуникација, био адекватно иницијализован.



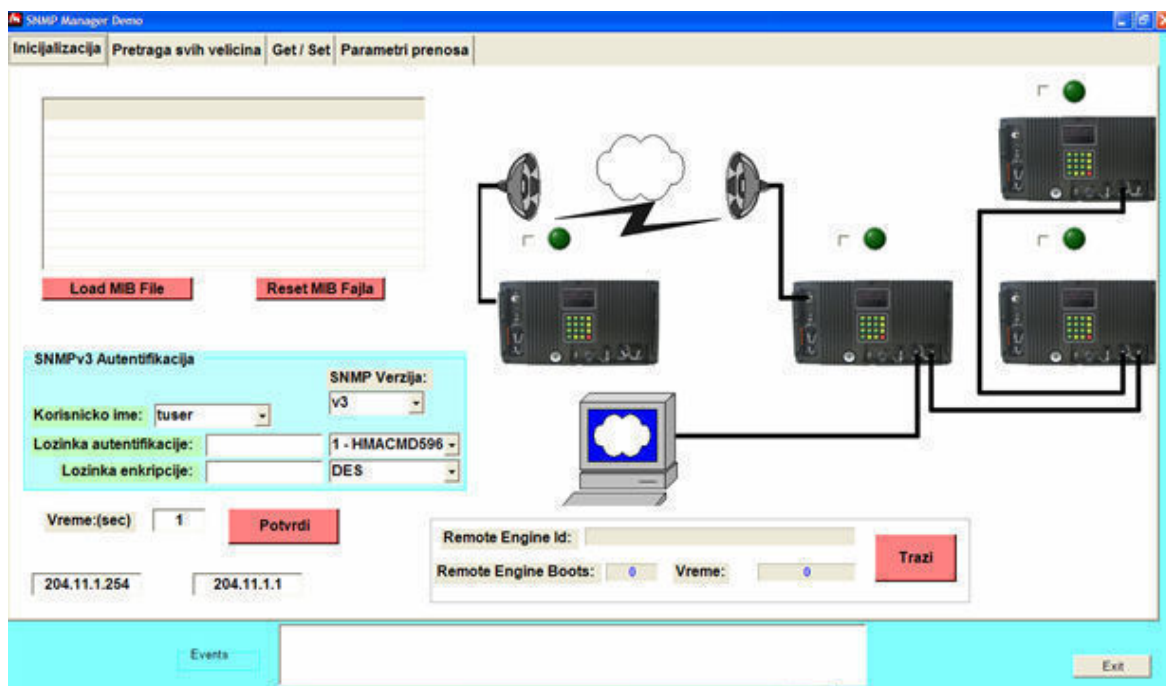
Слика 3.44 Пример организације радио-релејне мреже

### 3.4.4 Реализација апликације испомоћи нижим нивоима одржавања

Апликација за даљински приступ било ком уређају у мрежи израђена је стандардним програмским језиком опште намене VB.NET. Осим основног програмског језика обезбеђен је алат за комуникацију са SNMP протоколом. У моделу је комуникација са протоколом оставрена преко ActiveX (agent) IP Works S/SNMP V8.

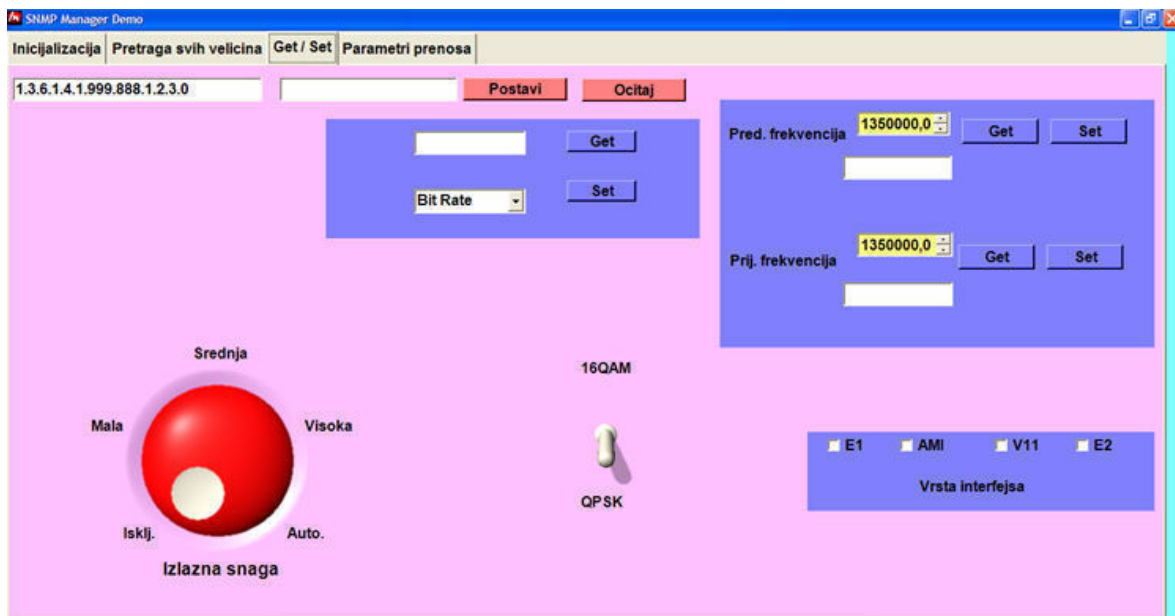
Комуникација са неким од уређаја у мрежи остварује се преко радио-релејног линка или заштићене рачунарске мреже. Преко апликације приказане на слици 3.45 врши се

одабир комуникације и уређаја коме се жели приступити ради преузимања резултата тестирања или надгледаних параметара уређаја.



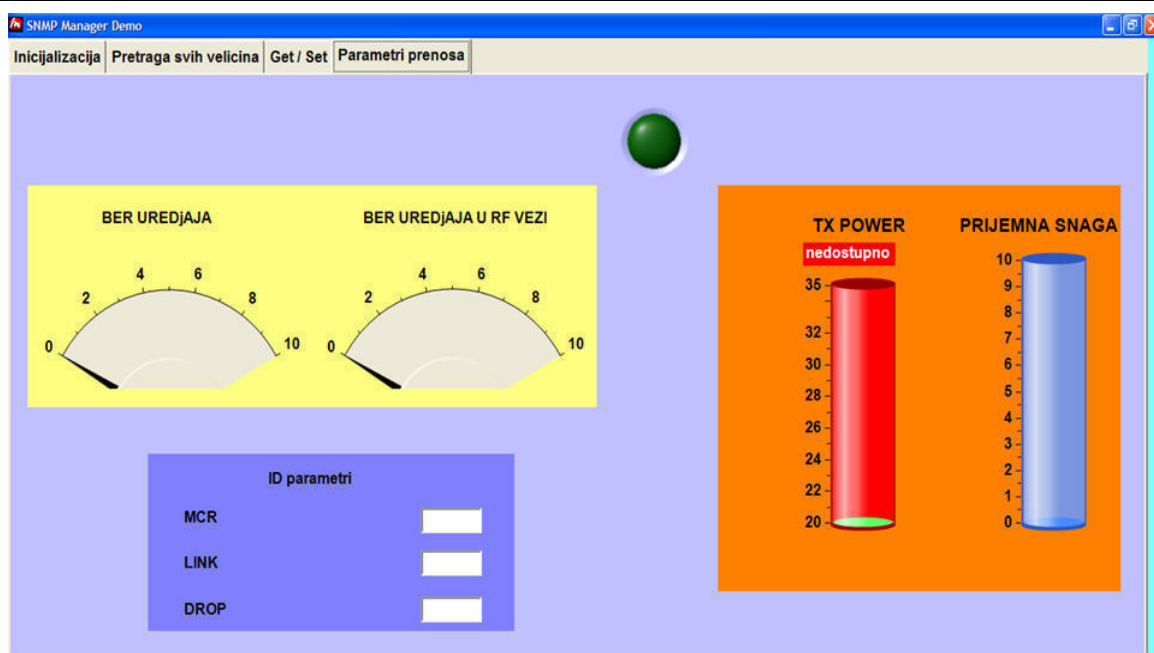
Слика 3.45 Одабир врсте комуникације и уређаја у мрежи

Након одабира врсте комуникације и уређаја у мрежи, преко апликације приказане на слици 3.46 задају се параметри испитиваном уређају пре почетка иницијализације самотестирања.



Слика 3.46 Задавање параметара испитиваном уређају

Завршетком самотестирања уређаја врши се читавање параметара уређаја преко апликације приказане на слици 3.47.



Слика 3.47 Очитавање измерених параметара тестирања уређаја у мрежи

Квалитет помоћи који виши ниво одржавања може пружити нижем нивоу одржавања зависи од квалитета и асортимана мерних величина које су доступне корисницима. Радио-релејни уређај GRC 408E даје могућност контроле великог броја параметара који се мере и чије се стање у MIB бази перманентно ажурира. То су величине које карактеришу квалитет преноса сигнала (однос активне и рефлектоване снаге, предајни и пријемни ниво сигнала, BER и сл.), величине које карактеришу рад уређаја (једносмерни напони напајања модула, могућност затварања петљи на карактеристичним местима у уређају и сл.), као и резултати тестирања уређаја неким од инсталираних тест процедура које су имплементирани у уређају од стране произвођача. По доступности свим наведеним мерним величинама и резултатима тестирања приступа се реализацији неких од технолошких процедура наведених у тачки 3.1 овог рада.

На основу свих прикупљених информација путем даљинског надзора, могу се донети квалитетне одлуке и послати упутства нижим нивоима одржавања о даљем поступку. Након извршене акције одржавања може се поновити процедура тестирања уређаја.

### 3.4.5 Моделовање и резултати моделовања

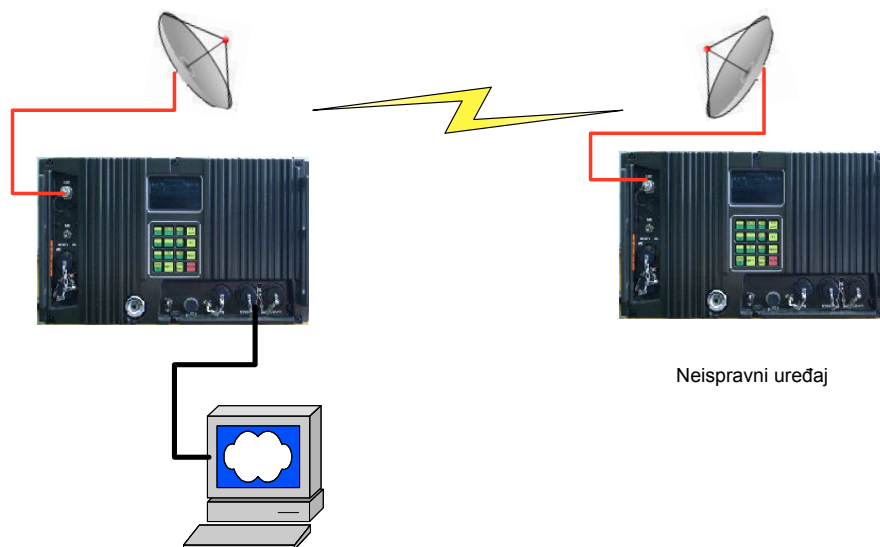
У овом делу истраживања извршиће се примена детерминисаног модела испомоћи нижим нивоима одржавања путем радио-релејног линка, ради потврде њене успешности у процесима превентивног и корективног одржавања. На тај начин потврђује се трећа хипотеза: *да је могуће на основу детерминисаног модела технологије реализовати превентивно и корективно одржавање дигиталних радио-релејних уређаја путем радио-релејног линка.*

Сагледавање истинитости претпостављене хипотезе и исправности детерминисаног модела испомоћи нижим нивоима одржавања реализоваће се применом модела одржавања путем радио-релејног линка у лабораторијским условима. Конкретно, моделоваће се поступак у коме ће се, путем радио-релејног линка, приступити удаљеном уређају, констатовати неисправност одређеног модула и дефинисати потребна акција одржавања. Такође, на исти начин извршиће се технички преглед уређаја у оном делу који се односи на његову функционалну исправност.



Моделовање испомоћи нижем нивоу одржавања реализовано је на примеру једноставног модела испомоћи приликом корективног одржавања једног од радио-релејних уређаја у радио-релејној мрежи. Механичар са I нивоа одржавања, приликом реализације техничког прегледа, уочио је неисправан рад уређаја. Обратио се вишем нивоу одржавања, ради испомоћи и даљем поступању у довођењу уређаја у функционално исправно стање. Даље, механичар је, у складу са инструкцијама добијених са вишег нивоа одржавања, реализовао SET UP PARAMETAR TEST, на начин објашњен у тачки 3.1.1.

Неисправном уређају је приступљено, на већ објашњен начин, путем радио-релејног линка, као на слици 3.48.



Слика 3.48 Модел повезивања RRU ради испомоћи нижем нивоу одржавања

Даље је извршено исчитавање података из MIB базе неисправног уређаја. Добијени резултати приказани су на слици 3.49.

OID	Name	Value
1.3.6.1	Integer	255
1.3.6.1	Integer	255
1.3.6.1	OctetString	JRX DATA OUT 116 A11 JTX DATA IN 118 A11
1.3.6.1	OctetString	NO ONLINE FLTS
1.3.6.1	OctetString	NO OFFLINE FLTS
1.3.6.1	OctetString	NO OFFLINE FLTS

Total: 89    Find Remote Objects     Stop

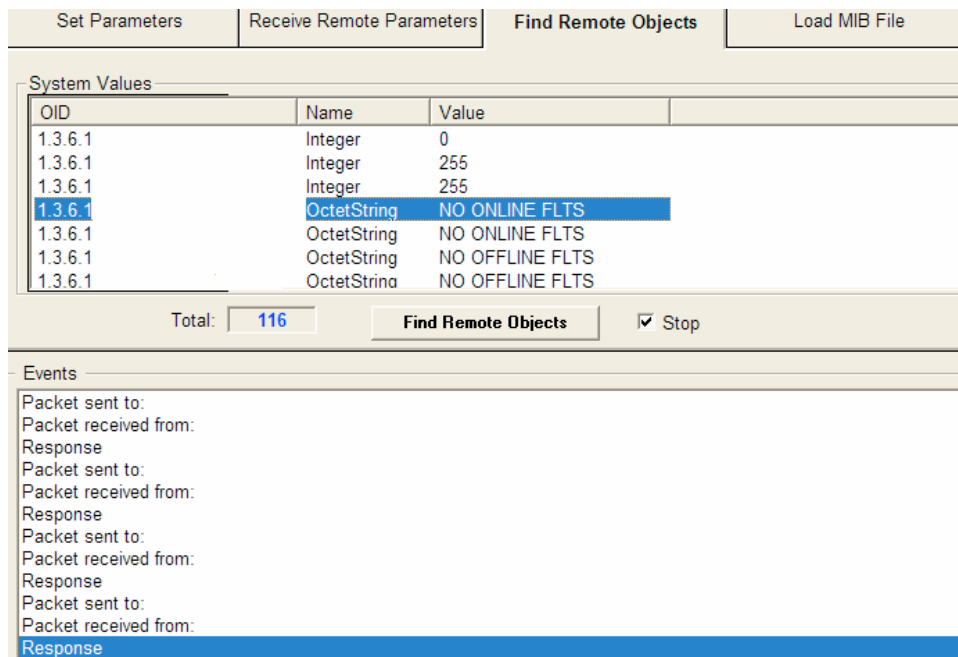
Events  
 Packet sent to:  
 Packet received from:  
 Response  
 Packet sent to:  
 Packet received from:  
 Response  
 Packet sent to:  
 Packet received from:  
 Response  
 Packet sent to:  
 Packet received from:  
 Response

Слика 3.49 Стање MIB базе неисправног уређаја након тестирања

Након читавања података из MIB базе примењен је модел технологије корективног одржавања, објашњен у тачкама 3.1 и 3.2. Из добијених резултата тестирања, може се закључити неисправност уређаја која се манифестује кодном грешком 116 (обојено

плавом на слици 3.49). Као највероватнији неисправан модул наводи се модул A11. Даљом анализом измерених параметара закључује се да су остали параметри уређаја у границама референтних вредности. Тако су предајна и пријемна фреквенција и BER у границама референтних вредности, што нам говори да су RF модули исправни и да је највероватније квар заиста у модулу A11.

Механичар са нижег нивоа одржавања извршио је замену модула A11 са новим и поновио тестирање уређаја. На идентичан начин приступило се MIB бази и извршено је читавање података. Добијени резултати приказани су на слици 3.50.



Слика 3.50 MIB база уређаја након акције корективног одржавања

Из добијених резултата тестирања закључује се да су сви параметри уређаја у границама референтних вредности, те је уређај функционално исправан.

На овај начин искоришћена је могућност даљинског надзора и контроле рада уређаја, као и могућност приступа подацима рада и тестирања уређаја који се чувају у MIB бази, ради реализације испомоћи нижим нивоима одржавања. Предложеним моделом одржавања уређаја, процес одржавања је реалан, практичан, ефикасан и економичан. Са свим наведеним предностима процес одржавања се оптимизује, а са капацитетима за одржавање се рационално располаже.

Приликом моделовања испомоћи нижем нивоу одржавања извршена је примена претпостављених модела технологије превентивног и корективног одржавања, дефинисаних у претходним тачкама.

На овај начин, у лабораторијским условима, примењен је детерминисани модел испомоћи нижим нивоима одржавања путем радио-релејног линка. Реализовано је:

- прикупљање података путем радио-релејног линка ради реализације превентивног одржавања,
- прикупљање података путем радио-релејног линка ради дефектације исправности уређаја, и локације неисправног модула,
- пружена је помоћ у локацији неисправног модула.

На основу добијених резултата моделовања закључује се да детерминисани модел испомоћи нижим нивоима одржавања путем радио-релејног линка омогућава успешно и ефикасно одржавање RRU. Такође, испуњена је трећа хипотеза ове дисертације: *да је*

могуће на основу детерминисаног модела технологије реализовати превентивно и корективно одржавање дигиталних радио-релејних уређаја путем радио-релејног линка. Добијени резултати примене детерминисаног модела су у оквиру прописаних вредности, тако да је претпостављена хипотеза истинита.

### 3.5 Поузданост и погодност за одржавање

У процесу експлоатације радио-релејних уређаја у току трајања средства као целине, његови саставни модули и компоненте у оквиру модула изложени су сталном дејству околине и варијацијама (поремећајима) који се јављају у процесима промене стања на релацији улаз-излаз, што резултира отказима различитих врста. Таква промена стања изазива потребу одржавања RRU, односно примену поступака за спречавање појаве стања "у отказу", с једне стране, или враћање RRU по појави стања "у отказу" у стање "у раду", с друге стране. Другим речима одржавање обухвата поступак превентивног или корективног одржавања како би се техничко-експлоатационе карактеристике задржале у задатим границама у сваком тренутку. Тако се кроз одржавања спречава или утиче на појаву да RRU буде у стању "у отказу".

#### 3.5.1 Ефективност и њени параметри

Ефективност RRU зависи од његове оперативне готовости и поузданости ( $G_{OP}, R(t)$ ). Време у отказу утиче на ефективност уређаја, а тиме и на готовост.

Ефективност уређаја представља вероватноћу извршења функције циља, односно изражава способност уређаја да у одређеној мери задовољи функцију критеријума у датом временском интервалу и у датим условима:

$$E_{RRU} = R(t) \cdot G_{OP}(t), \quad (3.1)$$

где су:

- $R(t)$  - функција поузданости,
- $G_{OP}(t)$  - оперативна готовост уређаја.

Наведени израз даје зависност ефективности RRU од његове оперативне готовости и функције поузданости. Ако је у питању потреба повећања ефективности, онда се читав задатак своди на повећање оперативне готовости или поузданости RRU. Ако је задатак повећања оперативне готовости, онда се мора смањити "време у отказу". RRU треба да буде са таквим конструктивним и техничко-технолошким карактеристикама да ће у свом радном веку захтевати што мањи број интервенција одржавања, а интервенције одржавања, применом метода техничке дијагностике у моделу технологије одржавања, да буду што краће. На ефективност уређаја може се утицати и повећањем поузданости<sup>31</sup> уређаја у целини.

У прилог реченом иде и дефиниција оперативне готовости где се она представља као однос времена "у раду" и укупног времена (време "у раду" и време "у отказу"):

<sup>31</sup> Поузданост уређаја зависи од поузданости саставних модула и компоненти, којих у уређају GRC 408E има преко 3000. Сви они нису истог века трајања и поузданости, те се различитим поступцима одржавања мора остварити тражена поузданост уређаја у целини.

$$G_{OP}(t) = \frac{t_r}{t_r + t_o} \tag{3.2}$$

Из израза (3.2) закључује се да на оперативну готовост RRU, а тиме и на његову ефективност, битан утицај има:

- примена поступака одржавања или **ТЕХНОЛОГИЈА ОДРЖАВАЊА** и
- **ОРГАНИЗАЦИЈА ОДРЖАВАЊА**.

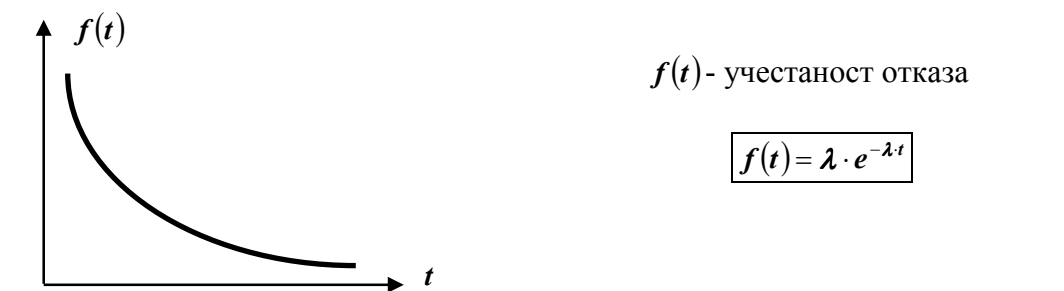
**Технологија одржавања** и **организација одржавања** директно утичу на готовост и ефективност уређаја кроз утицај на наведена времена у изразу (3.2). Да би уређај био ефективнији, потребно је повећати време у раду  $t_r$ , тј. време између два отказа, али и смањити време у отказу. Смањење времена у отказу се остварује правилним избором технологије одржавања која зависи од конструкције уређаја, али и избором оптималног модела организације одржавања.

### 3.5.2 Поузданост уређаја

Поузданост RRU је, поред оперативне готовости, битан фактор који утиче на укупну ефективност уређаја, односно успешан рад уређаја. Поузданост представља вероватноћу безотказног рада уређаја.

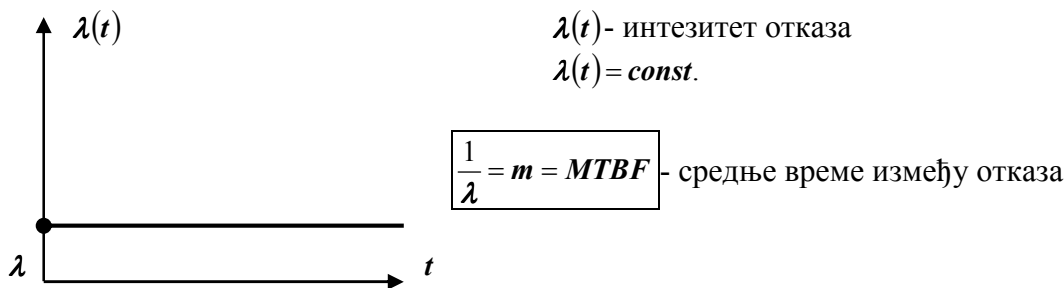
У наставку рада, извршиће се прорачун параметара интензитета отказа саставних компоненти и модула RRU, како би се могли правовремено реализовати поступци превентивног одржавања. На тај начин се продужава век уређаја и повећава се ниво поузданости до вредности каква је била пре предузимања превентивних поступака.

Основни модел поузданости који ће се користити у раду, при случајним отказима RRU, има **експоненцијалну расподелу** и приказан је на слици 3.51.



Слика 3.51 Учестаност отказа у функцији времена експоненцијалног карактера

Претпоставка модела је да, у периоду нормалног рада, интензитет отказа има **константну вредност**, како је то приказано на слици 3.52.

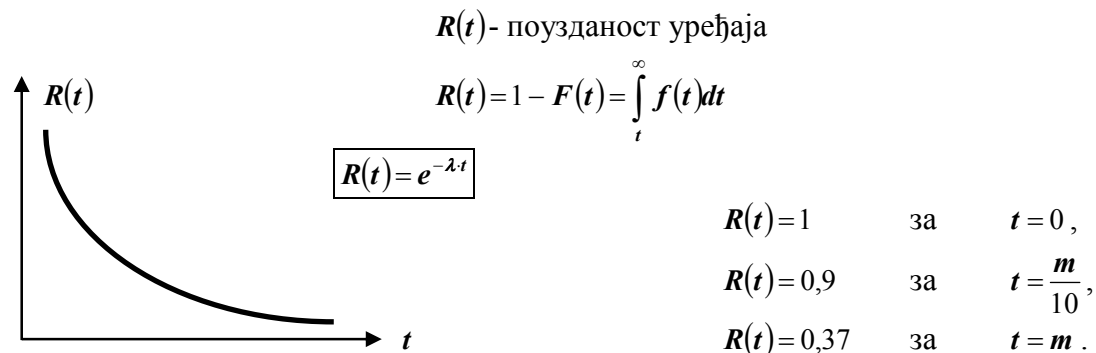


Слика 3.52 Интензитет отказа у функцији времена

Из наведеног следи да је **средње време** између два отказа:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = m . \tag{3.3}$$

На основу претпоставки модела, **функција поузданости** има облик као на слици 3.53.



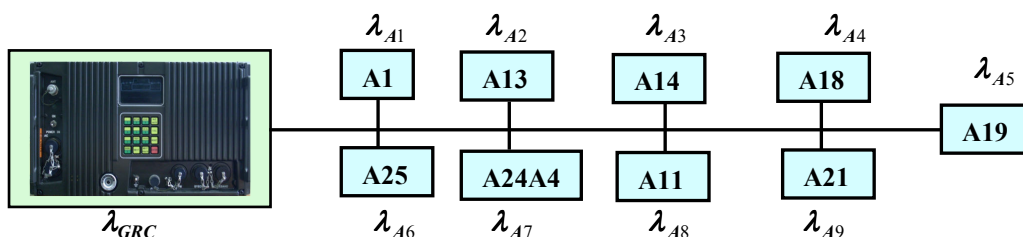
Слика 3.53 Функција поузданости уређаја

### Концепција израчунавања поузданости уређаја

Поузданост уређаја израчунаће се преко поузданости и интензитета отказа саставних модула и компоненти уређаја. Узима се у обзир претпостављени модел функције поузданости (експоненцијални облик) и да је вредност интензитета отказа константна вредност.

Практично конструкција уређаја је таква да се уређај састоји од саставних модула, а саставни модули од компоненти израђених по MIL стандарду. Саставни модули у уређају су повезани серијски, тако да неисправност једног модула, узрокује неисправност целог уређаја. Такође, RRU је из категорије поправљивих уређаја.

Први корак у прорачуну параметара поузданости и интензитета отказа је да се уређај подели на елементарне или саставне модуле (слика 3.54).



Слика 3.54 Распоред интензитета отказа по саставним модулима

Интензитет отказа модула  $\lambda_A$  је збир интензитета отказа његових саставних компоненти  $\lambda_i$ . Такође, интензитет отказа RRU је збир интензитета отказа саставних модула.

Поузданост уређаја израчунава се на начин:

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} , \tag{3.4}$$

а укупни интезитет отказа RRU је:

$$\lambda_{GRC} = \lambda_{A1} + \lambda_{A2} + \dots + \lambda_{A9}. \quad (3.5)$$

Израз за израчунавање интезитета отказа RRU је један од елементарних израза у одређивању поузданости електронских система, уз претпоставке наведене у уводном делу. Код коришћења ове формуле се мора бити обазрив, да се не би погрешно користила. Да би се израз правилно користио, морају бити испуњене следеће претпоставке:

- конфигурација уређаја мора бити стварно серијска,
- компоненте морају бити независне,
- интезитет отказа мора бити константа.

Интезитет отказа  $\lambda_i$  сваке компоненте уграђене у модуле уређаја зависан је од разних оптерећења: електричних, механичких, температурних, хемијских и др. Приликом одређивања вредности интезитета отказа компоненти и модула у уређају посебна је пажња посвећена квалитету одређивања наведених вредности. Вредности интезитета отказа компоненти улазни су подаци за одређивање интезитета отказа модула, те уколико те вредности нису прецизне, долази до грешке у одређивању вредности интезитета отказа целог уређаја.

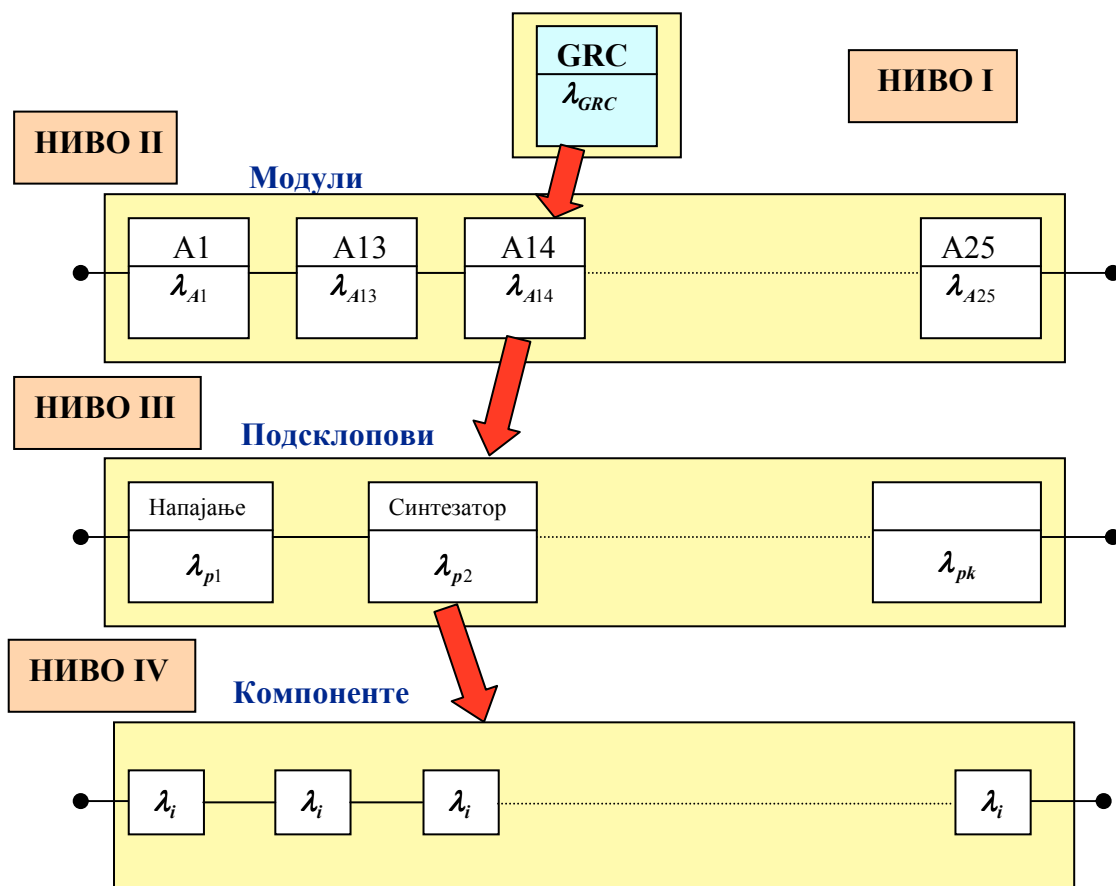
### Прорачун параметара поузданости и резултати

RRU GRC 408E је стране производње и параметри поузданости уређаја и његових саставних делова нису познати. Карактеристично за уређај је да су његове компоненте углавном израђене у SMD технологији (Surface Mounted Devices – површински монтирани елементи), те су у односу на компоненте у другим и сличним уређајима, много издржљивије на све промене којима је изложен уређај. Интезитет отказа  $\lambda$ , код ове врсте компоненти, је пуно већи. У домаћој литератури не постоје стандарди посвећени овој врсти технологије осим делом превода страних војних стандарда.

На слици 3.55 приказан је RRU по модулима (склоповима), подсклоповима и компонентама. Са слике се види да се RRU конструктивно састоји из четири нивоа. На слици 3.55 су следеће ознаке:

- $\lambda_{GRC}$  - интезитет отказа уређаја,
- $\lambda_{A1, \dots}$  - интезитет отказа одговарајућег модула,
- $\lambda_{pk \dots}$  - интезитет отказа одговарајућег подклопа,
- $\lambda_i$  - интезитет отказа  $i$  - те компоненте.

Како отказ у раду RRU зависи од отказа неких од 9 модула, а отказ сваког од модула зависи од саставних компоненти, директан начин одређивања интезитета отказа заснован је на прикупљању и обради великог броја података о отказима. Извори података за електронске компоненте систематизовани су у стандардима [133,134,135,136].



Слика 3.55 Подела RRU по функцијским и технолошким целинама

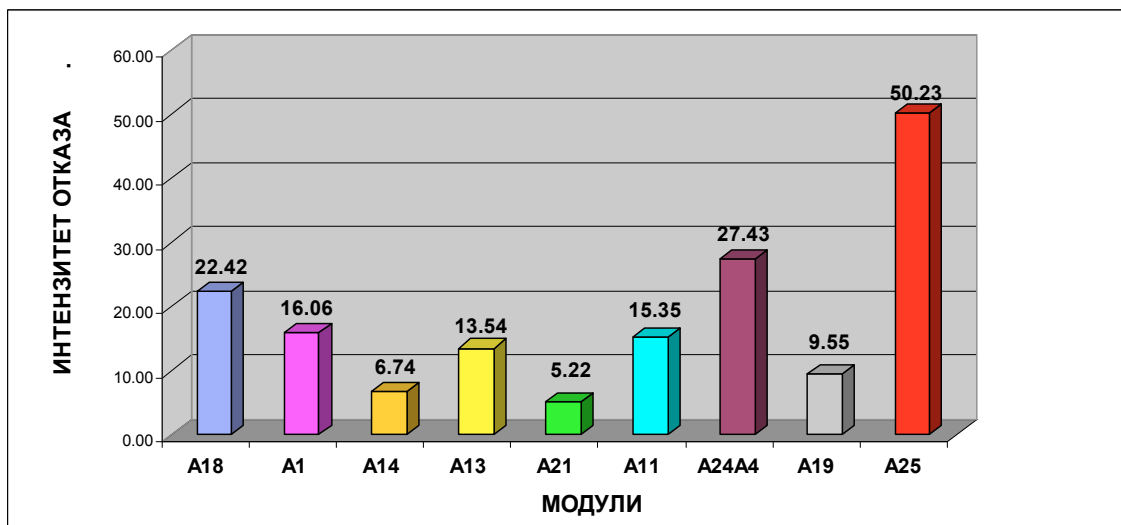
У истраживањима су коришћени подаци о интензитету отказа и времену MTBF за сваку саставну компоненту према наведеним стандардима и вршени су даљи прорачуни параметара поузданости. У истраживањима је доступна листа саставних делова уграђених у сваки модул, појединачно.

На основу прорачунатих вредности интензитета отказа саставних модула RRU, у табели 3.20 извршено је груписање добијених резултата и према изразу (3.5) прорачуната је вредност интензитета отказа за RRU GRC 408E ( $\lambda_{GRC}$ ) и средње време између два отказа *MTBF* [122,125].

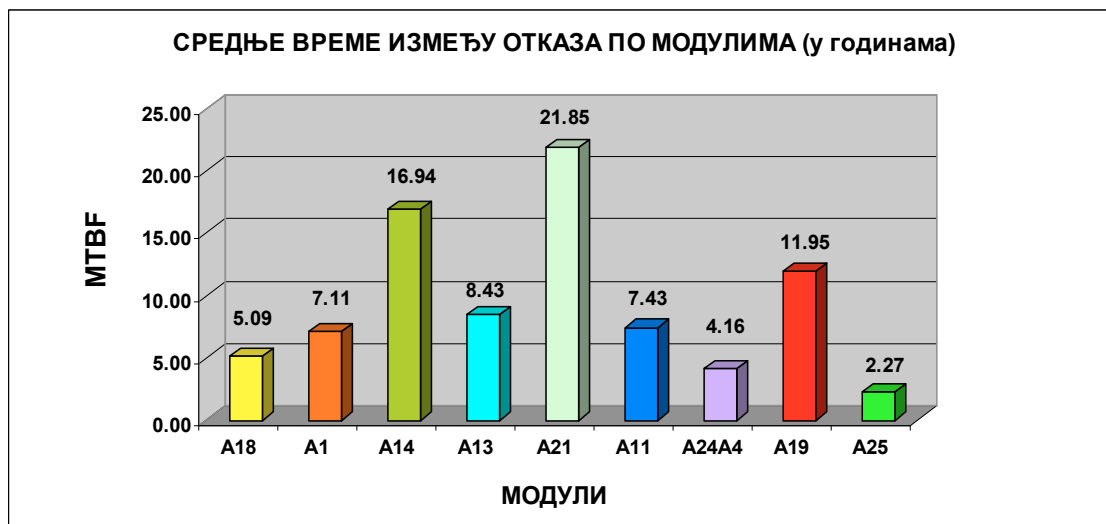
Табела 3.20 *Интезитет отказа саставних модула RRU*

Р/б	НАЗИВ МОДУЛА	Интезитет отказа $\lambda (\times 10^{-6} h^{-1})$	MTBF (h)	MTBF (godina)
1	Предајник A18	22,42	44.612	5.09
2	Пријемник A1	16,06	62.274	7.11
3	Централна процесорска јединица (CPU) A14	6,74	148.358	16.94
4	Службени канал EOW A13	13,54	73.874	8.43
5	Интерфејс и модем A11	15,35	65.127	7.43
6	Појачавач снаге A24A4	27,43	36.451	4.16
7	Предњи панел A25	50,23	19.908	2.27
8	Филтер или диплексер A19	9,55	104.717	11.95
9	Монитор снаге A21	5,22	191.433	21.85
<b>RRU GRC 408E:</b>		<b>166,54</b>	<b>6004,51</b>	<b>0.68</b>

На слици 3.56 графички је приказан интензитет отказа по модулима, а на слици 3.57 средње време између отказа по модулима.



Слика 3.56 Приказ интензитета отказа по саставним модулима RRU



Слика 3.57 Приказ средњег времена између отказа по модулима

Укупни интензитет отказа RRU износи  $\lambda_{GRC} = 166,54 \cdot 10^{-6} h^{-1}$ , на основу чега средње време између отказа за RRU износи  $MTBF = 6004,51 h$ . Добијени резултат показује да ће до непоузданог рада уређаја или до отказа доћи након 6004,51 сати непрекидног рада, под максималним оптерећењем уређаја. Средње време између два отказа за RRU GRC 408E има вишеструко већу вредност у односу на уређаје исте намене, али израђене у полупроводничкој технологији.

Међутим, подједнако треба анализирати и прорачунате вредности интензитета отказа и  $MTBF$  за саставне модуле. Модули који имају најмању вредност средњег времена између отказа  $MTBF$  су модули:

- A25  $MTBF = 19908 h$  и
- A24A4  $MTBF = 36451 h$ .

Познавајући конструктивне карактеристике модула и принцип рада, добијени резултати су очекивани. Наведени модули су по конструкцији састављени од класичних, углавном полупроводничких компоненти. Такође, током рада у уређају ови модули су



изложени великим струјним и напонским оптерећењима, што додатно повећава могућност отказа.

Са аспекта средњег времена између отказа израженом у јединици године ( $MTBF(\text{godina})$ ), ако уређаји раде непрекидно 24 сата под пуним оптерећењем, превентивни преглед треба да се ради једанпут годишње, а са аспекта модула једанпут у две године. При томе превентивно, због истека ресурса, треба заменити модул А25, а након четири године и модул А24А4.

Уколико RRU ради 8 сати дневно под пуним оптерећењем, онда би експлоатациони ресурс за замену модула А25 износио 6 година, а за модул А24А4, 12 година.

Код осталих модула, прорачунате вредности средњег времена између отказа имају пуно веће вредности од модула А25 и А24А4. Тиме се обезбеђује вишегодишњи исправан и поуздан рад уређаја. У односу на RRU ранијих генерација, RRU GRC 408E има вишеструко мању вредност интезитета отказа и знатно већу вредност средњег времена између отказа, што уређај чини поузданијим за рад и оперативну употребу.

У пракси, RRU GRC 408E се уграђује у покретне центре везе, односно мобилне варијанте система везе. Намена ових центара је таква да они раде много краће и под мањим оптерећењем него што је то разматрано у овим истраживањима. Уређаји који раде 24 часа се користе у стационарним варијантама, где непрекидно функционишу радио-релејни линкови.

Квантитативне вредности прорачунатих параметара интезитета отказа и средњег времена између отказа, **улазни** су подаци за израчунавање параметара погодности за одржавање, односно за прорачун времена потребних за превентивно и корективно одржавање уређаја.

### 3.5.3 Погодност за одржавање уређаја

Погодност за одржавање је битна компонента готовости и ефективности уређаја. Укупна погодност за одржавање састоји се од конструктивне (унутрашње) и логистичке (спољне) погодности за одржавање. Према концепцији система одржавања, разликују се:

- погодност за превентивно одржавање,
- погодност за корективно одржавање и
- погодност за комбиновано одржавање.

Параметре погодности за одржавање чине:

- средње време корективног одржавања,
- средње време превентивног одржавања.

На основу [ 122,124 ] извршен је прорачун средњег времена превентивног одржавања за I ниво одржавања и оно износи  $M_{pr} = 75,125 \text{ min}$ . На исти начин извршен је прорачун средњег времена превентивног одржавања за II ниво одржавања и оно има вредност:  $M_{pr} = 109,24 \text{ min}$ . На II нивоу одржавања предвиђено је корективно одржавање на нивоу модула. Након прорачуна средње време корективног одржавања износи  $M_{cr} = 2,86 \text{ sati}$  или  $M_{cr} = 171,87 \text{ min}$ . У добијено средње време корективног одржавања урачунато је време неопходно за тестирање уређаја или модула тест станицом, било у оквиру дефектације или завршне контроле исправности уређаја. Уколико се из било ког

разлога не врши тестирање уређаја тест станицом средње време корективног одржавања има знатно мању вредност и износи  $M_{ct} = 0,86 \text{ sati}$  или  $M_{ct} = 51,87 \text{ min}$ .<sup>32</sup>

Под истим претпоставкама приступа се прорачуну средњег времена одржавања RRU на III нивоу одржавања. На овом нивоу одржавања реализују се технолошка процедура највишег нивоа одржавања која се углавном односи на акције корективног одржавања. Користећи исте услове моделовања, прорачунато средње време корективног одржавања на III нивоу одржавања износи  $M_{ct} = 3,29 \text{ sati}$  или  $M_{ct} = 197,40 \text{ min}$ . Прорачунато време одржавања односи се на одржавање једног модула упућеног на оправку са нижег нивоа одржавања. Приликом прорачуна времена корективног одржавања није урачунато време потребно за калибрацију поједних модула у уређају, када се врши замена саставних компоненти.

У табели 3.21 приказан је резиме прорачунатих средњих времена превентивног и корективног одржавања на основу статистичких података о временима одржавања, по претпостављеним нивоима одржавања.

Табела 3.21 Средње време превентивног и корективног одржавања

Ниво одржавања	I	II	III
Врста одржавања	ниво одржавања	ниво одржавања	ниво одржавања
Превентивно одржавање (min)	79,125	109,24	---
Корективно одржавање (min)	----	171,87	197,40

Прорачунате вредности средњих времена превентивног и корективног одржавања, као параметри погодности за одржавање, улазни су подаци у претпостављени модел одржавања. Заједно са параметром поузданости утичу на оперативну готовост RRU. Узајамна повезаност прорачунатих параметара поузданости и погодности за одржавање RRU, долази до изражаја приликом прорачуна оперативне готовости уређаја у претпостављеном моделу одржавања.

У наставку рада извршиће се оптимизација модела одржавања.

<sup>32</sup> У овом случају завршно испитивање исправности уређаја врши се самодијагностиком исправности уређаја, како је то предвиђено моделом технологије на I нивоу одржавања.

## 4 МОДЕЛ ОРГАНИЗАЦИЈЕ ОДРЖАВАЊА RRU

Одржавање техничких средстава у ВС спроводи се у систему одржавања који је сложен организациони хијерархијски систем. Са аспекта техничког одржавања модел одржавања конципиран је у три нивоа одржавања:

- најнижи ниво одржавања (реализују јединице за техничко одржавање),
- средњи ниво одржавања (реализују логистички батаљони),
- највиши ниво одржавања (реализује ремонтни завод).

### 4.1 Формирање варијанти организације одржавања

Претпостављени модел технологије је детерминисан у три нивоа. Његову реализацију обезбеђује претпостављени модел организације одржавања.

Систем одржавања било ког техничког средства може се реализовати на различите начине у више различитих варијанти. Варијанте система одржавања могу се стварати на разликама које произилазе из приступа:

- концепцији одржавања техничких средстава,
- технологији одржавања техничких средстава,
- организацији одржавања.

*Концепција* одржавања RRU, као што је раније наведено, дефинисана је Правилником о одржавању средстава НВО у МО и ВС [73]. Концепција одржавања RRU ближе је дефинисана и предложена у [127,130]. На тај начин дефинисан је модел концепције одржавања RRU према стању са контролом нивоа поузданости. У односу на концепцију одржавања која је дефинисана у складу са конструктивним карактеристикама уређаја, не постоји могућност више варијанти одржавања.

*Модел технологије* одржавања предложен је у односу на конструктивне и техничко-технолошке карактеристике RRU. Обзиром на то да се модел технологије односи на конкретно средство, нема могућности предлагања више варијанти одржавања са аспекта технологије одржавања.

*Организација одржавања* одређује однос између појединих нивоа одржавања и осигурава да се модели технологије одржавања реализују на појединим нивоима одржавања. Организација одржавања решава суштинско питање: где ће се и на ком нивоу одржавања реализовати одређени модел технологије одржавања. Другим речима, организација одржавања одређује надлежност у систему одржавања.

На основу начина дефинисања надлежности у одржавању, организација одржавања се може предложити у више варијанти организације одржавања. Исти технолошки програми могу се изводити на различитим нивоима одржавања, те се отуд организационе варијанте одржавања разликују по надлежностима у одржавању. Вредновањем и избором најповољније варијанте организације одржавања генерише се однос између предложених варијанти организације одржавања.

Вредновање и оцена појединих варијанти организације одржавања врши се на основу критеријума за вредновање варијанти система одржавања.

## 4.2 Критеријуми за вредновање варијанти система одржавања

Основни проблем дефинисања организације одржавања није садржан у дефинисању више варијанти организације одржавања, већ како предложене варијанте што реалније оценити (вредновати) и тиме створити услове за избор најбоље.

За потребе међусобног упоређивања предложених варијанти организације одржавања RRU, користиће се следећи критеријуми [39]:

- оперативна готовост (расположивост),
- средње време застоја због одржавања,
- средње време застоја у одржавању због снабдевања са резервним деловима,
- трошкови транспорта због одржавања,
- трошкови набавке опреме,
- трошкови обуке и
- квалитет реализованих технолошких програма.

За сваку предложену варијанту организације одржавања одређују се вредности критеријума.

## 4.3 Начин дефинисања модела одржавања

Начин дефинисања модела одржавања начелно је приказан на слици 4.1.



Слика 4.1 Начин дефинисања модела одржавања

Улазни подаци у модел одржавања групишу се у четири групе и то:

- *средство* за које се оптимизује одржавање (поузданост средства, погодност за одржавање, експлоатација, количине, трошкови транспорта и др.),
- *нивои одржавања* (трошкови одржавања за сваки ниво одржавања),
- *технологија одржавања* (модел технологије систематизован кроз технолошке програме у коме су садржане радње превентивног и корективног одржавања),
- *надлежности одржавања* (расподела надлежности за број претпостављених варијанти одржавања).

Излазни подаци из модела могу се груписати у две групе и односе се на:

- вредност критеријума за вредновање варијанти организације одржавања (за сваку предложену варијанту),
- ограничења за систем одржавања (ради контроле задовољења ограничења).

#### 4.4 Оцена варијанти организације одржавања

Након што су све варијанте организације одржавања вредноване са више критеријума (критеријумских функција) доноси се одлука о томе која је варијанта организације одржавања најповољнија или бар не слабија од других.

Обзиром на немогућност вредновања варијанти једним критеријумом-показатељем ваљаности система одржавања, очито је да при избору треба водити рачуна о више међусобно контрадикторних критеријума. Да би избор био што објективнији, потребно је у избору користити неку од *метода вишекритеријумске анализе*.

У спроведеним истраживањима користе се методе вишекритеријумске анализе и одлучивања које су широко заступљене у литератури и то:

- метода PROMETHEE II и
- метода аналитичких хијерархијских процеса (АНР).

Такође, у истраживањима ће се, при избору оптималне варијанте организације одржавања, применити и комбинација метода PROMETHEE II и АНР.

##### 4.4.1 Метода PROMETHEE II

Фамилија метода за вишекритеријумску анализу и одлучивање под називом "Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations" и скраћеницом PROMETHEE II, развијена је у варијантама I, II, III и IV, од стране више аутора (Brans-1984., Brans и Marechal-1984., Brans и Vincke-1985., Marechal-1985.). Током 1992. и 1995. године исти аутори су развили верзије V и VI, са знатно бољим графичким интерпретацијама резултата.

Поставиће се следећи вишекритеријумски проблем:

$$\max(g_1(a), g_2(a), \dots, g_j(a), \dots, g_k(a), a \in A), \quad (4.1)$$

где је  $A$  коначан скуп могућих алтернатива (варијанти одржавања),  $\{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$  и  $\{g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_j(\cdot), \dots, g_k(\cdot)\}$  су скуп критеријума.

Доносилац одлуке мора да идентификује једну алтернативу оптимизујући све критеријуме. Основни подаци вишекритеријумског проблема налазе се у табели одлучивања [140,141,143].

Табела 4.1 Табела одлучивања

$a$	$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$	.....	$g_j(\cdot)$	.....	$g_k(\cdot)$
$a_1$	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	.....	$g_j(a_1)$	.....	$g_k(a_1)$
$a_2$	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	.....	$g_j(a_2)$	.....	$g_k(a_2)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				
$a_i$	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	.....	$g_j(a_i)$	.....	$g_k(a_i)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				
$a_n$	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	.....	$g_j(a_n)$	.....	$g_k(a_n)$

Као што се види из табеле 4.1, за сваку алтернативу одређене су вредности критеријума. Сваком критеријуму у матрици одлучивања потребно је доделити одговарајућу тежину  $w_j$ . Сет додељених тежина критеријума  $\{w_j, j=1,2,\dots,k\}$  дефинише релативну важност критеријума у процесу одлучивања. Тежина критеријума представља позитиван број који је независан од јединице мере датог критеријума. Што је његова вредност већа, следи да доносилац одлуке придаје већу важност датом критеријуму. Тежине додељене критеријумима морају бити нормализоване, тј. мора важити једнакост:

$$\sum_{j=1}^k w_j = 1. \quad (4.2)$$

PROMETHEE метода базира се на међусобном поређењу сваког пара алтернатива по сваком од изабраних критеријума. Доносилац одлуке има могућност да на основу таквог поређења додели преференцију једној од алтернатива. Преференција може узети вредност у интервалу од 0 до 1. Већа преференција се изражава већом вредношћу из датог интервала. Ово значи да за сваки критеријум, доносилац одлуке разматра одређену функцију преференције. Постоји шест стандардних типова (критеријума) функције преференције [145]:

- обичан критеријум,

$$P(d) = \begin{cases} 0, & d = 0 \\ 1, & d \neq 0 \end{cases}$$

- квази критеријум или "  $U$  " функција,

$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq m \\ 1, & d > m \end{cases}$$

- критеријум са линеарном преференцијом или "  $V$  " функција,

$$P(d) = \begin{cases} 0, & d < 0 \\ d/n, & 0 \leq d \leq n \\ 1, & d > n \end{cases}$$

- ниво критеријум или "  $Step$  " функција,

$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq m \\ 1/2, & m < d < n \\ 1, & d \geq n \end{cases}$$

- критеријум линеарне преференције са подручјем интерферентности,

$$P(d) = \begin{cases} 0, & d < m \\ \frac{d-m}{n-m}, & m < d \leq n \\ 1, & d > n \end{cases}$$

- Гаусов критеријум

$$P(d) = 1 - e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}},$$

где је: -  $P(d)$ - функција преференције  
 -  $m$  - праг индиференције,  
 -  $n$  - праг строге преференције,  
 -  $\sigma$  - средња вредност између  $m$  и  $n$ .

Функција преференције је:

$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)] \quad a, b \in A \quad (4.3)$$

где је:  $d_j(a, b) = q_j(a) - q_j(b)$  и за коју важи следећа релација:

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1. \quad (4.4)$$

Функција преференције одређује се на основу разлике вредности критеријума одређене алтернативе  $a_i$  са осталим алтернативама  $a_s$ , разматрајући сваки критеријум,  $k_j$ .

Индекс преференције  $IP(a_i, a_s)$  за разматрани пар акција  $(a_i, a_s)$  једнак је суми производа тежине критеријума и вредности функције преференције [144]:

$$IP(a_i, a_s) = \sum_{j=1}^m t_j \cdot P_j(a_i, a_s). \quad (4.5)$$

За одређивање улазног тока акције користи се израз [44,142]:

$$T^+(a) = \sum_{x \in A} IP(a, x) \quad \text{или} \quad T^+(a) = \frac{\sum_{x \in A} IP(a, x)}{i-1}. \quad (4.6)$$

Излазни ток акције одређује се на следећи начин:

$$T^-(a) = \sum_{x \in A} IP(x, a) \quad \text{или} \quad T^-(a) = \frac{\sum_{x \in A} IP(x, a)}{i-1}. \quad (4.7)$$

Одређивање чистих токова врши се на начин да се израчунава разлика улазног и излазног тока сваке акције. Добијене вредности разлике токова се након тога рангирају. Она акција са највећом вредношћу је уједно и најбоља.

Као што се закључује успешност примене PROMETHEE методе у процесу одлучивања зависи од следећих фактора:

- могућности и искуства доносиоца одлуке да своје преференције између алтернатива по сваком разматраном критеријуму изрази на интервалној скали,
- доносилац одлуке мора бити у стању да важност сваког критеријума изрази на интервалној скали,
- добијено решење након рангирања представља најбољи компромис између анализираних критеријума.

Утицај наведених фактора, како на доносиоца одлуке тако и на успешност методе, ублажена је применом готових софтверских програма, који успешно симулирају рад методе PROMETHEE. Током спроведених истраживања коришћено је готово софтверско решење [126,138].

Доносилац одлуке има у понуди избор функције преференције, уношење вредности тежинских коефицијената и вредности алтернатива по сваком критеријуму. Све друге вредности програм сам прорачунава и омогућава табеларни и графички приказ добијених резултата. У наставку је извршено рангирање предложених модела организације одржавања коришћењем софтверског решења и приказани су добијени резултати, на основу којих су изведени одређени закључци.

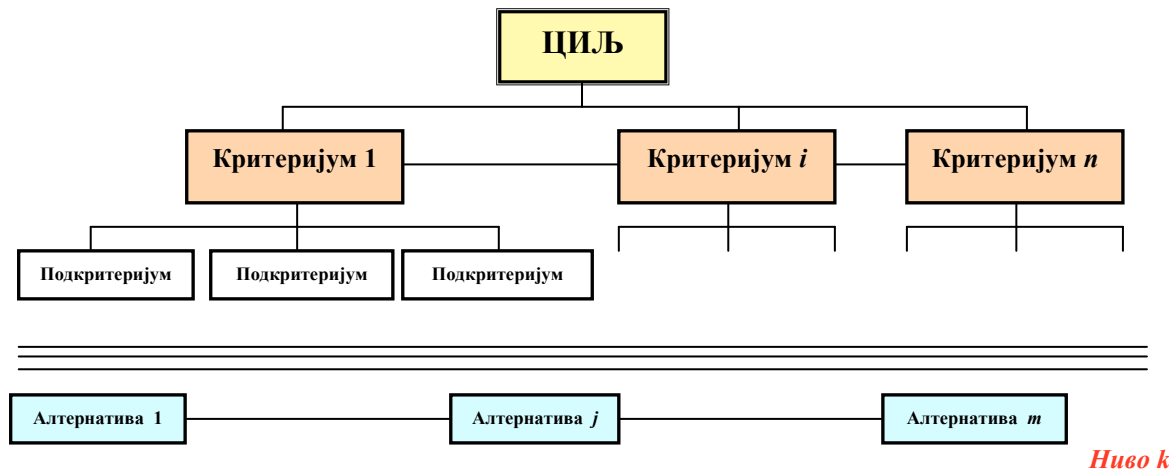
#### 4.4.2 Метода аналитичких хијерархијских процеса (АНР)

Метода аналитичких хијерархијских процеса или краће АНР метода представља једну од најпознатијих метода за вишекритеријумско одлучивање. Примењује се у анализи одлучивања и доношењу одлука у решавању комплексних проблема чије елементе чине: циљеви, критеријуми, подкритеријуми и алтернативе.

АНР метода развијена је 70.-тих година прошлог века од стране Thomas L. Saaty-ја.

АНР метода омогућава креирање хијерархије проблема, а затим вредновање у паровима елемената хијерархије (циљева, критеријума и алтернатива). На крају се врши синтеза свих вредновања и по строго утврђеном математичком моделу одређују тежински коефицијенти свих елемената хијерархије. Збир тежинских коефицијената елемената на сваком нивоу хијерархије једнак је 1, што омогућава доносиоцу одлуке да рангира све елементе у хоризонталном и вертикалном смислу.

Методолошки посматрано, АНР метода је вишекритеријумска тежинска метода која се заснива на разлагању сложеног проблема у хијерархију. Циљ се налази на врху хијерархије, док су критеријуми, подкритеријуми и алтернативе на нижим нивоима. На слици 4.2 приказан је општи хијерархијски модел у АНР-у [40,41,44,74].



Слика 4.2 Општи хијерархијски модел у АНР-у

На нивоу 1 је  $n$  критеријума који се у паровима, свако са сваком, пореде у односу на непосредно надређени елемент на вишем нивоу (на слици је то "циљ" на нултом нивоу). Потребно је укупно  $n \times (n-1)/2$  поређења. Исти поступак се примењује идући кроз хијерархију према доле, све док се на последњем нивоу  $k$  не изврше поређења свих алтернатива.

Свако поређење два елемента хијерархије (модела) врши се коришћењем *Satijeve* скале (табела 4.2).

$$S = \left\{ \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \right\} \quad (4.8)$$



Табела 4.2 *Satijeva* скала вредновања

Значај	Дефиниција	Објашњење
1	Истог значаја	Два елемента су идентичног значаја у односу на циљ
3	Слаба доминантност	Један елемент се незнатно фаворизује у односу на други
5	Јака доминантност	Један елемент се знатно фаворизује у односу на други
7	Демонстрирана доминантност	Доминантност једног елемента потврђена у пракси
9	Апсолутна доминантност	Доминантност највишег степена
2, 4, 6, 8	Међувредности	Потребан компромис или даља подела

Резултати поређења елемената на датом нивоу хијерархије смештају се у одговарајуће матрице поређења. На пример, ако се међусобно пореди  $n$  елемената у односу на одговарајући елемент на непосредно вишем нивоу хијерархије, тада се при поређењу елемента  $i$  у односу на елемент  $j$  путем *Satijeva* скале одређује нумерички коефицијент  $a_{ij}$  и смешта на одговарајућу позицију у матрици  $A$ :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}. \quad (4.9)$$

Реципрочна вредност резултата поређења се смешта на позију  $a_{ji}$  да би се очувала конзистентност расуђивања.

Матрица  $A$ , у којој су смештени резултати поређења, може се написати и у облику  $X$ :

$$X = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}, \quad (4.10)$$

где  $w_i$  представља релевантни тежински коефицијент елемента  $i$ . Да би се из матрице  $A$  екстраховале вредности вектора тежинских коефицијената  $w^T = \{w_1, \dots, w_n\}$ , *Saty* је предложио да се за матрицу  $A$  најпре одреди њена максимална сопствена вредност  $\lambda_{\max}$ . Одговарајући вектор сопствених вредности матрице може се узети као вектор приближних вредности тежинских коефицијената,  $w^T$ , јер важи:

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = n \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

АНР метода помаже доносиоцу одлуке у процесу расуђивања и вредновања елемената хијерархије. АНР метода одмерава степен неконзистентности и о томе обавештава доносиоца одлуке. Да би се израчунао степен конзистентности ( $CR$ ), прво се израчунава индекс конзистентности ( $CI$ ) према релацији:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - 1}{n - 1} \quad (4.12)$$

где је  $\lambda_{\max}$  максимална сопствена вредност матрице поређења. Што је  $\lambda_{\max}$  ближе броју  $n$ , мања ће бити неконзистентност. Да би се израчунао  $\lambda_{\max}$ , прво се множи матрица поређења са вектором тежинских коефицијената да би се одредио вектор  $b$ :

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

Дељењем коресподентних елемената вектора  $b$  и  $w$  добија се:

$$\begin{bmatrix} \frac{b_1}{w_1} \\ \frac{b_2}{w_2} \\ \dots \\ \frac{b_n}{w_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

одакле је:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (4.15)$$

Заменом вредности  $\lambda_{\max}$  у израз (4.12), одређује се индекс конзистентности. Одатле следи да степен конзистентности представља однос индекса конзистентности и случајног индекса ( $RI$ ):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.16)$$

Случајни индекс зависи од реда матрице, а преузима се из табеле 4.3 у којој први ред представља ред матрице поређења, а други случајне индексе:

Табела 4.3 *Случајни индекси*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.0	0.00	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Ако је степен конзистентности ( $CR$ ) мањи од 0,10 резултат је довољно тачан и нема потребе за корекцијама у поређењима и понављању прорачуна.

Поред математичке основе за решавање вишекритеријумског одлучивања у избору најоптималнијег решења, у пракси се користе и софтверска решења. Ради лакше примене методе АНР развијен је, и у истраживањима ће се користити, оригиналан софтверски алат из класе система за подршку одлучивању EXPERT CHOICE<sup>33</sup> [146,147].

Рад у софтверу, као и код математичког облика методе АНР, своди се на четири фазе:

- структурирање проблема,
- прикупљање података,
- оцењивање релевантних тежина,
- одређивање решења проблема.

Софтвер EXPERT CHOICE омогућује широку лепезу графичког приказивања решења што има много лакше прихватање и схватање решења од стране доносиоца одлуке. Спроведена истраживања реализована су математичким и софтверским начином решавања проблема избора оптималне варијанте организације одржавања и извршено је поређење добијених резултата.

#### 4.4.3 Комбинација метода АНР и PROMETHEE II

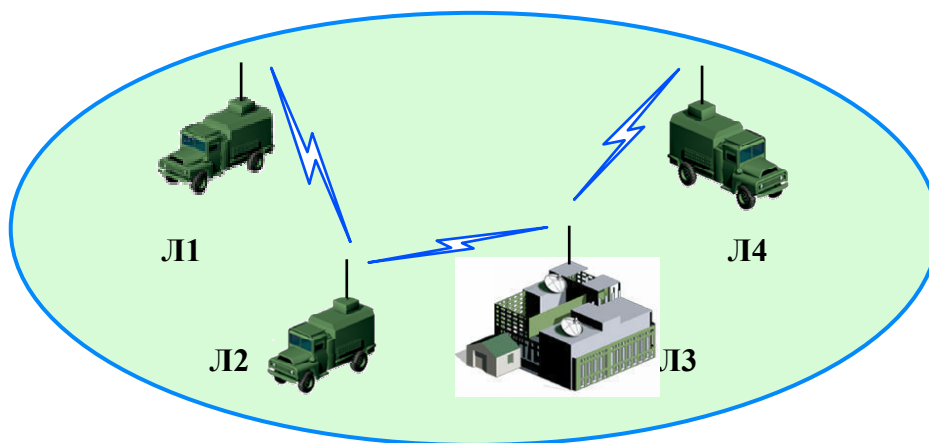
Од када је *Saaty* представио метод АНР, а Brans и Mareschal метод PROMETHEE II, оба су успешно примењивани на бројне ситуације одлучивања. Компаративна анализа обе методе, предности и недостаци, као и предлози за унапређење, PROMETHEE методе са неком од идеја АНР методе описани су у литератури [148,149]. У раду ће се избор оптималне организације одржавања узети као модел за вишекритеријумску анализу и извођење научног експеримента у коме је демонстрирана могућа комбинована примена метода АНР и PROMETHEE при избору варијанте оптималне организације одржавања. Искоришћена је добра карактеристика АНР методе да се на нивоу критеријума (у хијерархији) утврде тежине, а да се затим ове тежине користе у методи PROMETHEE при вредновању алтернатива варијанти организације одржавања. Другим речима, улаз у PROMETHEE метод (тежински коефицијенти) је познат и не одређују се.

У наставку су приказани резултати примене комбинације метода АНР и PROMETHEE и поређења добијених резултата са резултатима примене метода вишекритеријумске анализе појединачно.

<sup>33</sup> Expert Choice је заштићени знак компаније Expert Choice, Inc-The Decision Support Software Company, 4922 Ellsworth Avenue, Pittsburgh, PA 15213, USA

#### 4.5 Модел организације одржавања RRU и његова оптимизација

На слици 4.3 претпостављен је модел радио-релејног система у оквиру кога се налазе покретни центри везе. Покретни центри везе су мобилне варијанте радио-релејних станица у оквиру којих раде RRU типа GRC 408E. Претпостављени модел радио-релејног система, са аспекта функције одржавања, у надлежности је једног логистичког батаљона Војске Србије. Логистички батаљон је у потпуности опремљен и обучен за реализацију превентивног и корективног одржавања према детерминисаном моделу технологије одржавања. Практично логистички батаљон може да реализује технолошке програме закључно са средњим нивоом одржавања, било у превентивном или корективном смислу.



Слика 4.3 Претпостављени модел радио-релејног система

Ознаке Л1, Л2, Л3 Л4 престављају територијалне локације у којима су смештене мобилне варијанте радио-релејних станица или покретни центри везе.

Претпоставља се да модел организације одржавања са аспекта *техничког одржавања*, у складу са Правилником о одржавању средстава НВО у МО и ВС [73,106], је хијерархијског типа у три нивоа одржавања:

1. **I ниво** – реализује технолошке програме најнижег нивоа одржавања,
2. **II ниво** – реализује технолошке програме средњег нивоа одржавања,
3. **III ниво** – реализује технолошке програме највишег нивоа одржавања.

Као што је речено у тачки 4.1, варијанте одржавања у односу на концепцију, технологију и организацију одржавања, могу да буду различите само са аспекта организације одржавања. Због тога су истраживања заснована на формирању различитих варијанти организације одржавања. У односу на претпостављени модел одржавања са слике 4.3 претпостављене су четири варијанте организације одржавања. Технолошки програми и надлежности сваке варијанте организације одржавања у реализацији технолошких програма приказани су у табели 4.4.

Табела 4.4 Претпостављене варијанте одржавања са технолошким задацима

Варијанте одржавања ----->	I	II	III	IV
Нивои одржавања са технолошким задацима				
<b>I ниво одржавања</b> – технички преглед кога реализују јединице за техничко одржавање II нивоа одржавања	X		X	
<b>I ниво одржавања</b> – основно одржавање и технички преглед кога реализују непосредни корисници RRU		X		X

<b>II ниво одржавања</b> – корективно одржавање на нивоу модула, кога реализује II ниво одржавања	X	X		
<b>II ниво одржавања</b> – корективно одржавање на нивоу модула, кога реализује II ниво одржавања са покретном радионицом у којој се налази опрема за II ниво одржавања и сет резервних модула			X	X
<b>III ниво одржавања</b> – корективно одржавање на нивоу компоненте, кога реализује III ниво одржавања	X	X	X	X

#### 4.5.1 Варијанте организације одржавања

**Модел I варијанте организације одржавања** претпостављен је на начин да је у његовој надлежности реализација технолошке процедуре на следећи начин:

I ниво одржавања – технолошки програм најнижег нивоа одржавања кога реализује стручни кадар јединице за техничко одржавање II нивоа одржавања (логистички батаљон),

II ниво одржавања – технолошки програм средњег нивоа одржавања кога реализује стручни кадар II нивоа одржавања (логистички батаљон),

III ниво одржавања – технолошки програм највишег нивоа одржавања кога реализује ремонтни завод.

Претпоставља се да за све четири варијанте организације одржавања, III ниво одржавања се реализује на исти начин од стране стручног кадра ремонтног завода.

**Модел II варијанте организације одржавања** претпостављен је на начин да је у његовој надлежности реализација технолошких процедура на следећи начин:

I ниво одржавања – технолошки програм најнижег нивоа одржавања кога реализују непосредни корисници RRU,

II ниво одржавања – технолошки програм средњег нивоа одржавања кога реализује стручни кадар II нивоа одржавања (логистички батаљон).

**Модел III варијанте организације одржавања** претпостављен је на начин да је у његовој надлежности реализација технолошких процедура на следећи начин:

I ниво одржавања – технолошки програм најнижег нивоа одржавања кога реализују стручни кадар јединица за техничко одржавање II нивоа одржавања (логистички батаљон),

II ниво одржавања – технолошки програм средњег нивоа одржавања кога реализује стручни кадар II нивоа одржавања (логистички батаљон) са покретном радионицом у којој се налази мерна опрема за средњи ниво одржавања и сет резервних модула.

**Модел IV варијанте организације одржавања** претпостављен је на начин да је у његовој надлежности реализација технолошких процедура на следећи начин:

I ниво одржавања – технолошки програм најнижег нивоа одржавања кога реализују непосредни корисници RRU,

II ниво одржавања – технолошки програм средњег нивоа одржавања кога реализује стручни кадар II нивоа одржавања (логистички батаљон) са покретном радионицом у којој се налази мерна опрема за средњи ниво одржавања и сет резервних модула.

Из претпостављеног модела и варијанти организације одржавања јасно се види да су технолошки програми различити по нивоима одржавања, те су због тога варијанте одржавања, поред тога што су организационо различите, и по технолошком основу различите.

#### 4.5.2 Прорачуни у моделу организације одржавања

Према претпостављеном моделу радио-релејног система са слике 4.3 главни радио-релејни правци су од локације Л3 према Л4 и од локације Л3 према локацији Л2. Међусобна удаљеност између локација је око 80 километара. Претпоставка је да се јединица која реализује средњи ниво одржавања налази на локацији Л3, а ремонтни завод се од локације Л3 (у којој је смештен логистички батаљон) налази на удаљености око 200 километара. Претпоставка је да се на локацијама налази следећи број RRU:

Табела 4.5 Претпостављени број RRU по локацијама

Локација	Број RRU на локацији	Број RRU са радом 8 часова дневно	Број RRU са радом 16 часова дневно
Л1	4	3	1
Л2	4	3	1
Л3	2	-	2
Л4	4	3	1
$\Sigma$	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>5</b>

На четири локације укупно ради 14 RRU типа GRC 408E. Од тога 9 уређаја ради 8 часова дневно, а 5 уређаја 16 часова дневно. Посматрани временски период је 15 година или 3 временска периода од по 5 година.

Претпоставка је да се технички преглед реализује један пут годишње и да временски траје 1 сат и 15 минута [121,122,124], без обзира ко га реализује. Претпоставља се да на сваком РРС, у 5 година рада, постоји 1 интервенција од стране стручног кадра са вишег нивоа одржавања (II ниво одржавања). За 5 година рада у отказу је било свих 14 RRU, а са II нивоа одржавања на виши ниво (III ниво одржавања) послато је 2 комада RRU, ради замене модула A19 или A21.

Време експлоатације  $t_R$  је:

$$t_{R1} - 9 \text{ ком.} \times 8 \text{ (сати/дневно)} \times 365 \text{ дана} \times 15 \text{ година} = 394.200 \text{ сати,}$$

$$t_{R2} - 5 \text{ ком.} \times 16 \text{ (сати/дневно)} \times 365 \text{ дана} \times 15 \text{ година} = 438.000 \text{ сати.}$$

$$t_R = t_{R1} + t_{R2} = 394.200 + 438.000 = 832.200 \text{ сати.}$$

Укупно време рада 14 комада RRU за 15 година износи 832.200 сати.

У табели 4.6 приказан је рекапитулација извршених прорачуна дефинисаних критеријума за четири варијанте организације одржавања.

Табела 4.6 Рекапитулација прорачуна критеријума

Критеријуми /варијанте	I варијанта	II варијанта	III варијанта	IV варијанта
Готовост	0,9669	0,97	0,986	0,99
Средње време одржавања (h)	28.445,40	24.990,20	11.743,44	8.287,52

## Модел организације одржавања радио-релејних уређаја

<b>Чекање резервних делова (h)</b>	10.080	10.080	1440	1440
<b>Трошкови транспорта (дин.)</b>	2.094.000,00	1.068.000,00	1.638.000,00	612.000,00
<b>Трошкови опреме (дин.)</b>	24.197.283,00	24.197.283,00	36.295.924,50	36.295.924,50
<b>Трошкови обуке (\$)</b>	36.950,00	48.170,00	36.950,00	48.170,00

На основу претпостављеног модела одржавања радио-релејних система са слике 4.3 и претпостављених технологија одржавања у тачки 3.1, 3.2 и 3.3, извршиће се оптимизација модела одржавања. [Оптимизација подразумева:](#)

- 1- дефинисање модела варијанти одржавања (табела 4.4),
- 2- прорачун вредности критеријума за сваку претпостављену варијанту организације одржавања (табела 4.6) и
- 3- избор најповољније варијанте организације одржавања, неком од научних метода.

**Оптимизација се односи на претпостављени модел одржавања са слике 4.3.**

### 4.6 Имплементација метода вишекритеријумске анализе и резултати

#### 4.6.1 Имплементација математичке методе PROMETHEE II

На претпостављени модел одржавања и претпостављене моделе варијанте организације одржавања, уз прорачунате параметре критеријума, извршиће се примена методе вишекритеријумске анализе и одлучивања PROMETHEE II, у избору оптималног модела варијанте организације одржавања.

Вредност сваког критеријума према варијантама организације одржавања приказан је у табели 4.7 [ 126,128 ].

Табела 4.7 *Преглед параметара за имплементацију методе PROMETHEE II*

Критеријуми	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
	max	min	min	min	min	min	max
<b>I варијанта</b>	0,967	0,43	0,43	0,38	0,2	0,21	9
<b>II варијанта</b>	0,97	0,38	0,43	0,19	0,2	0,28	5
<b>III варијанта</b>	0,986	0,18	0,06	0,30	0,3	0,21	5
<b>IV варијанта</b>	0,99	0,12	0,06	0,11	0,3	0,28	5
<b>Тежински коефицијенти</b>	<b>0,25</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>0,20</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>0,25</b>
Функција преференције (тип)	"Linearna"	"V"	"V"	"V"	"V"	"V"	"Uobičajena"
"m" индиференција	0,008	-	-	-	-	-	-
"n" преференција	0,022	0,29	0,42	0,22	0,11	0,08	-

*Легенда:*

K1 - критеријум готовости

K2 – критеријум- средње време застоја због одржавања

## Модел организације одржавања радио-релејних уређаја

K3 – критеријум- средње време застоја у одржавању због снабдевања са резервним деловима  
 K4 – критеријум- трошкови транспорта због одржавања  
 K5 – критеријум- трошкови набавке опреме  
 K6 – критеријум- трошкови обуке  
 K7 – критеријум- квалитет реализованих технолошких програма  
 m,n – параметри облика функције

Критеријум K7 – квалитет реализованих технолошких програма вреднује се према табели 4.8.

Табела 4.8 *Линеарна скала квантификације квалитативних атрибута*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Изузетно ниска			Ниска		Средња		Висока			Изузетно висока

У табели 4.9 приказане су вредности улазних ( $T^+$ ) и излазних ( $T^-$ ) токова акција.

Табела 4.9 *Вредности улазних и излазних токова акција*

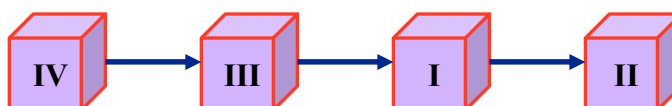
	I варијанта	II варијанта	III варијанта	IV варијанта	$T^+$
I варијанта	0	0,439	0,562	0,594	0,531
II варијанта	0,543	0	0,155	0,205	0,301
III варијанта	0,59	0,44	0	0,192	0,407
IV варијанта	0,63	0,34	0,29	0	0,42
$T^-$	0,587	0,406	0,335	0,33	0

На основу разлике улазног и излазног тока акције, у табели 4.10 приказане су вредности чистих токова и рангирање варијанти организације одржавања.

Табела 4.10 *Вредности чистих токова*

	$T^+$	$T^-$	$T$	РАНГ
I варијанта	0,531	0,587	-0,056	<b>3</b>
II варијанта	0,301	0,406	-0,105	<b>4</b>
III варијанта	0,407	0,335	0,072	<b>2</b>
IV варијанта	0,42	0,33	<b>0,090</b>	<b>1</b>

Након извршеног рангирања варијанти организације одржавања по методи PROMETHEE II, а на основу наведених критеријума, **најоптималнија је IV варијанта организације одржавања**. Доносилац одлуке је кроз вредност тежинских коефицијената дао акценат на критеријуму "готовости" и "квалитету изведених технолошких програма". На основу математичких прорачуна **најбоље је рангирана IV варијанта организације одржавања**.



Слика 4.4 *Рангирање варијанти организације одржавања*



Уколико доносилац одлуке сматра да су му трошкови транспорта важнији по тежини од критеријума "квалитета", те да је вредност тежинских коефицијената  $t_4 = 0,25$  и  $t_7 = 0,2$ , онда вредност чистих токова и рангирање варијанти организације одржавања изгледа као у табели 4.11.

Табела 4.11 Вредност чистих токова

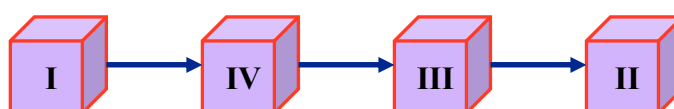
	$T^+$	$T^-$	$T$	РАНГ
<b>I</b> варијанта	0,2898	0,4330	-0,1433	<b>3</b>
<b>II</b> варијанта	0,1803	0,3278	-0,1475	<b>4</b>
<b>III</b> варијанта	0,2550	0,2478	0,0072	<b>2</b>
<b>IV</b> варијанта	0,4401	0,1564	<b>0,2836</b>	<b>1</b>

Као што се може видети повећањем важности критеријума трошкова транспорта на рачун смањења квалитета, не доводи до промене у рангирању варијанти организације одржавања.

Уколико доносилац одлуке смањи вредност тежинских коефицијената за критеријуме "готовости" и "трошкова транспорта" на рачун повећања "квалитета", тј.  $t_1 = 0,15$ ,  $t_4 = 0,15$  и  $t_7 = 0,35$ , вредност чистих токова и рангирање ће бити као у табели 4.12.

Табела 4.12 Вредност чистих токова

	$T^+$	$T^-$	$T$	РАНГ
<b>I</b> варијанта	0,528	0,207	<b>0,321</b>	<b>1</b>
<b>II</b> варијанта	0,362	0,585	-0,223	<b>4</b>
<b>III</b> варијанта	0,466	0,477	-0,011	<b>3</b>
<b>IV</b> варијанта	0,445	0,53	-0,08	<b>2</b>



Слика 4.5 Рангирање варијанти организације одржавања

Као што се може видети додавањем значају критеријуму "квалитета реализованих технолошких процедура" *најоптималнија је I варијанта организације одржавања RRU* према претпостављеном моделу одржавања.

#### 4.6.2 Имплементација софтверског модела методе PROMETHEE II

Као и у претходној тачки, на претпостављени модел организације одржавања, примењен је софтверски модел методе PROMETHEE II [138]. Улаз у програм су прорачунати параметри по сваком критеријуму и приказани су на слици 4.6.

## Модел организације одржавања радио-релејних уређаја

Scenario1	Gotovost	Srednje vre...	Zastoj zbog r/d	Troškovi trn...	Troškovi opr...	Troškovi obuke	Kvalitet
Jedinica	koefijent 0-1	sat	sat	din	din	din	uticaj
Klaster/Grupa	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Preferencije</b>							
Min/Max	max	min	min	min	min	min	max
Težina	0,25	0,10	0,05	0,20	0,10	0,05	0,25
Preferentna Fun.	Linearna	V-oblik	V-oblik	V-oblik	V-oblik	V-oblik	Uobičajena
Granice	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan
- Q: Indiferentnost	0,008	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
- P: Preferencija	0,022	0,29	0,42	0,22	0,11	0,08	n/d
- S: Gausova	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
<b>Statistika</b>							
Minimum	0,967	0,12	0,06	0,11	0,20	0,21	3,00
Maksimum	0,990	0,43	0,43	0,38	0,30	0,28	5,00
Prosek	0,978	0,28	0,24	0,24	0,25	0,24	3,50
Standardno odstupanje	0,010	0,13	0,18	0,10	0,05	0,04	0,87
<b>Vrednovanja</b>							
<input checked="" type="checkbox"/> I alternativa	0,967	0,43	0,43	0,38	0,20	0,21	vrlo visok
<input checked="" type="checkbox"/> II alternativa	0,970	0,38	0,43	0,19	0,20	0,28	umereno
<input checked="" type="checkbox"/> III alternativa	0,986	0,18	0,06	0,30	0,30	0,21	umereno
<input checked="" type="checkbox"/> IV alternativa	0,990	0,12	0,06	0,11	0,30	0,28	umereno
<input type="checkbox"/> V alternativa	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
<input type="checkbox"/> VI alternativa	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
<input type="checkbox"/> VII alternativa	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
<input type="checkbox"/> VIII alternativa	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d

Слика 4.6 Прорачун параметара за методу PROMETHEE II

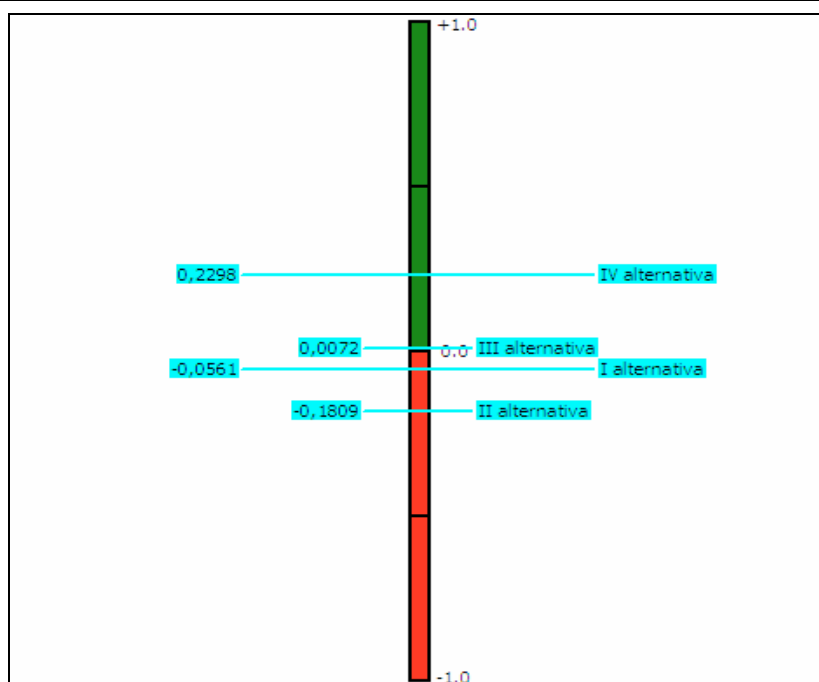
Вредност параметара је исти као у математичком моделу, чије су вредности дате у табели 4.7.

Применом софтверског модела извршени су прорачуни улазних, излазних и чистих токова, а њихове вредности и ранг приказани су у табели 4.13.

Табела 4.13 Вредност токова добијена софтверским путем

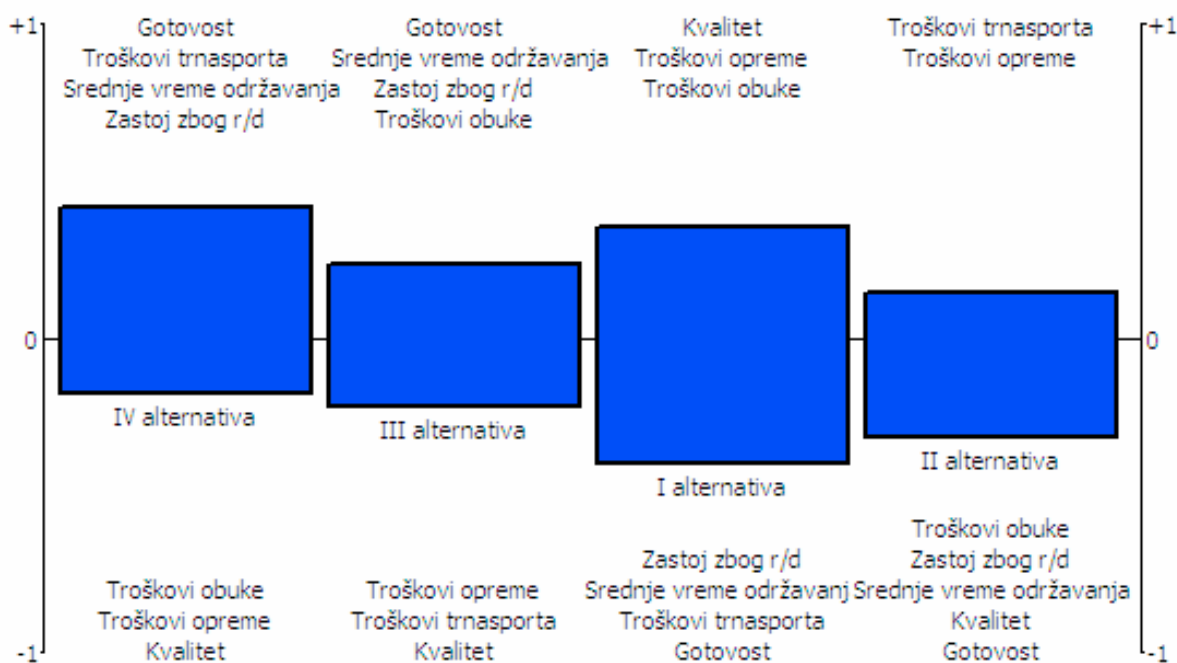
	$T^+$	$T^-$	$T$	РАНГ
<b>IV</b> варијанта	0,4029	0,1731	<b>0,2298</b>	<b>1</b>
<b>III</b> варијанта	0,2489	0,2417	0,0072	<b>2</b>
<b>I</b> варијанта	0,3398	0,3959	-0,0561	<b>3</b>
<b>II</b> варијанта	0,1576	0,3384	-0,1809	<b>4</b>

На слици 4.7 приказане су вредности чистих токова и добијени ранг. Из табеле 4.13 и са слике 4.7 се види да IV варијанта организације одржавања (алтернатива) има највећу вредност чистих токова, те на тај начин ова варијанта организације одржавања доминира у односу на остале претпостављене варијанте организације одржавања.



Слика 4.7 Вредност чистих токова и ранг алтернатива

Слика 4.8 омогућује увид у утицај сваког од седам критеријума на претпостављене (четири) варијанте организације одржавања.



Слика 4.8 Утицај критеријума на претпостављене варијанте организације

Са слике се види да доминатност IV варијанте организације одржавања доносе критеријуми: готовост, трошкови транспорта због одржавања, средње време одржавања и средње време застоја у одржавању због резервних делова. Ови критеријуми имају највеће тежинске коефицијенте (слика 4.6), те је из тог разлога IV варијанта најдоминантнија. Даље, на слици се види утицај осталих критеријума на претпостављене варијанте организације одржавања. На IV варијанту организације одржавања негативно утичу три критеријума: трошкови обуке, трошкови опреме и

квалитет реализованих технолошких процедура. Детаљнијом анализом се уочава да почетна улагања у обуку и опремање су већа у односу на друге претпостављене варијанте. Такође, радови се обављају у покретној радионици, где квалитет радова није исти као када се радови изводе у одговарајућим стационарним радионицама.

Закључак је да су резултати рангирања претпостављених варијанти организације одржавања, добијени математичким и софтверским путем, идентични. У оба случаја **најповољнија је IV варијанта организације одржавања** у односу на дефинисане критеријуме за оцењивање.

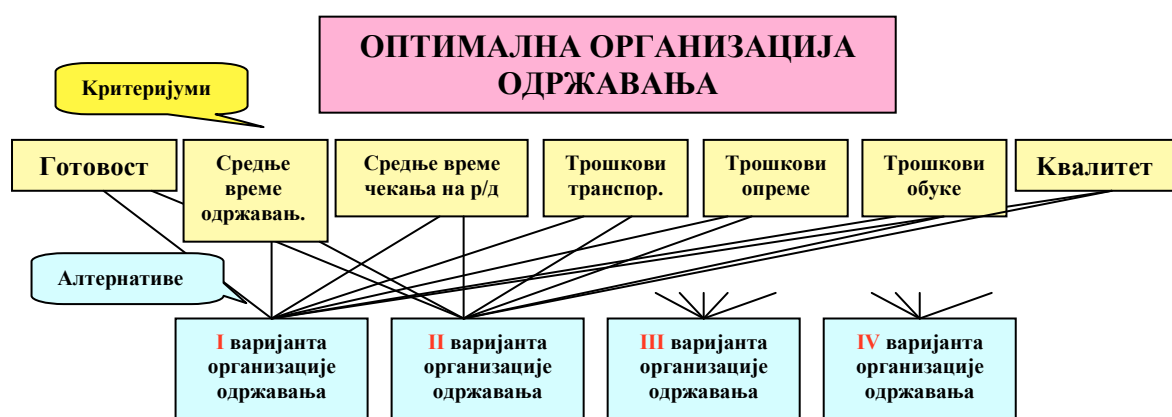
Из спроведних истраживања закључује се следеће:

- на основу претпостављеног модела одржавања и варијанти организације одржавања, применом математичког и софтверског модела вишекритеријумске методе PROMETHEE II, у односу на најважније критеријуме (готовост и трошкови транспорта због одржавања), најоптималнија је **IV варијанта организације одржавања**,
- само у случају доминантности критеријума квалитета реализованих технолошких програма доминатна је I варијанта организације одржавања, док у осталим ситуацијама је доминатна IV варијанта организације одржавања.

#### 4.6.3 Имплементација математичког модела методе аналитичких хијерархијских процеса

На претпостављени модел одржавања (слика 4.3) и претпостављене моделе варијанти организације одржавања, примениће се вишекритеријумска метода аналитичких хијерархијских процеса (АНП) у избору оптималне варијанте организације одржавања.

Прво ће се, на основу наведених модела одржавања, извршити структурирање проблема на начин да ће се извршити декомпоновање проблема истраживања у серију хијерархија. Циљ је дефинисан и он гласи: **"Избор оптималног модела варијанте организације одржавања"**. Структурирање проблема приказано је на слици 4.9.



Слика 4.9 Структурирање проблема избора оптималне организације одржавања

У табели 4.14 приказана је одговарајућа хијерархијска структура проблема поређења седам дефинисаних критеријума за оцену модела варијанти организације одржавања по принципу сваки са сваким. Наиме пореди се сваки критеријум са сваким и при томе се одређује важност сваког критеријума у поређењу са осталим критеријумима. Додела вредности приликом поређења критеријума (вредновање

важности критеријума), врши се у складу са *Satijev*-ом скалом (табела 4.2). Доследност у процени важности критеријума проверава се израчунавањем односа конзистентности. Добијене вредности поређења критеријума смештају се у одговарајућу матрицу поређења која је представљена у табеларном облику (табела 4.14).

Табела 4.14 Табеларни приказ матрице процене критеријума

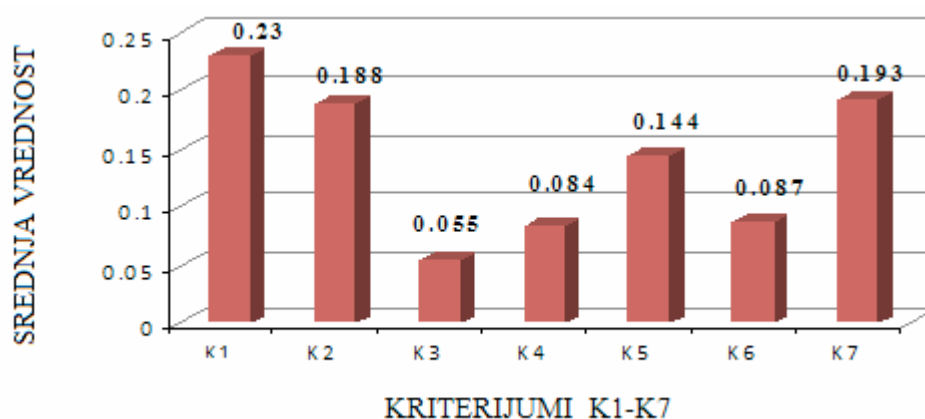
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	1	2	3	2	2	3	1
K2	0,5	1	3	2	2	3	1
K3	0,33	0,33	1	2	3	2	3
K4	0,5	0,5	2	1	3	2	2
K5	0,5	0,5	3	3	1	2	2
K6	0,33	0,33	2	2	0,5	1	2
K7	1	1	3	2	2	2	1
Σ	4,16	5,66	17	12,5	8,21	12	4,83

Матрица сопствених вектора критеријума приказана је у табели 4.15.

Табела 4.15 Табеларни приказ матрице сопствених вектора критеријума

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	Σ	Средња вредност
K1	0,24	0,35	0,176	0,16	0,24	0,25	0,20	1,616	<b>0,230</b>
K2	0,12	0,176	0,176	0,16	0,24	0,25	0,20	1,322	<b>0,188</b>
K3	0,08	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,068	0,388	<b>0,055</b>
K4	0,12	0,088	0,117	0,08	0,04	0,04	0,103	0,588	<b>0,084</b>
K5	0,12	0,088	0,176	0,24	0,121	0,16	0,103	1,008	<b>0,144</b>
K6	0,08	0,06	0,117	0,16	0,06	0,083	0,103	0,609	<b>0,087</b>
K7	0,24	0,176	0,176	0,16	0,24	0,16	0,2	1,352	<b>0,193</b>

На слици 4.10 приказан је поредак критеријума у дефинисаном моделу одржавања.



Слика 4.10 Графички приказ поретка критеријума у моделу

Са слике се види да критеријуми готовости и квалитета имају највеће средње вредности. Однос конзистенције износи  $C.R. = 0,04 < 0,1$ .

На исти начин како су одређене вредности сопствених вектора критеријума одређују се вредности сопствених вектора алтернатива (варијанти организације одржавања). Вредности сопствених вектора алтернатива одређују се у односу на сваки критеријум.

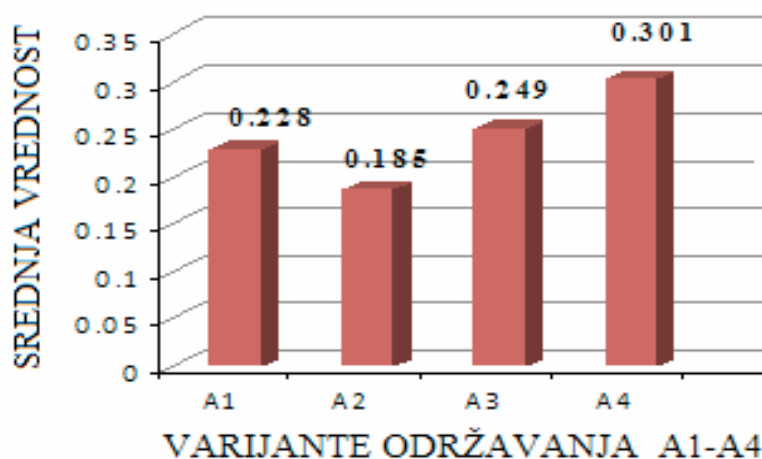
Свеукупна синтеза проблема **избора оптималне варијанте организације одржавања** израчунава се тако што се за сваку варијанту множи њено учешће (тежина) у оквиру посматраног критеријума, разматрајући свих седам критеријума. У табели 4.16 приказан је резиме добијених резултата матрице сопствених вектора у односу на свих седам критеријума. У табели 4.17 израчунат је међузбир и извршено је рангирање.

Табела 4.16 Резиме резултата методе АНР

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1	0,095	0,09	0,124	0,0895	0,4	0,375	0,448
A2	0,16	0,133	0,124	0,2335	0,4	0,124	0,16
A3	0,275	0,29	0,375	0,209	0,1	0,375	0,25
A4	0,465	0,4775	0,375	0,464	0,1	0,124	0,11
Тежине	0,230	0,188	0,055	0,084	0,144	0,087	0,193

Табела 4.17 Израчунавање међузбира

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	$\Sigma$	РАНГ
A1	0,0218	0,0169	0,0068	0,0075	0,057	0,032	0,086	0,228	3
A2	0,0368	0,025	0,0068	0,019	0,057	0,0107	0,030	0,185	4
A3	0,0632	0,054	0,0206	0,017	0,0144	0,0326	0,048	0,249	2
A4	0,1069	0,0897	0,0206	0,038	0,0144	0,0107	0,021	0,301	1



Слика 4.11 Коначни ранг варијанти организације одржавања

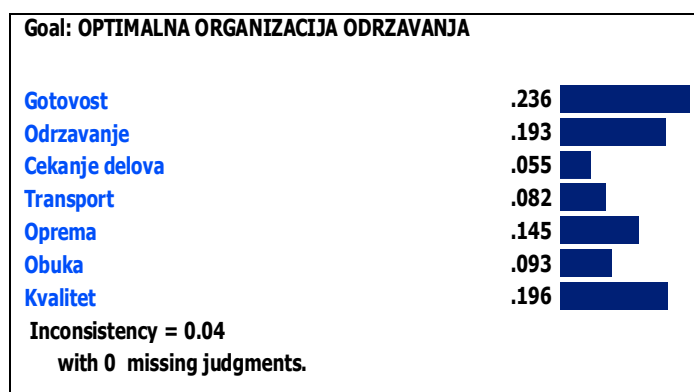
На основу резултата у табели 4.17 и са слике 4.11, који су добијени применом математичког модела методе АНР, закључује се да IV варијанта организације одржавања има највећу вредност ранга. Због тога је IV варијанта најбоља од анализираних варијанти организације одржавања.

**IV варијанта оптимизује претпостављени модел одржавања са слике 4.3.**

#### 4.6.4 Имплементација софтверског модела методе АНР

У овом делу истраживања извршиће се решавање проблема *избора оптималног модела варијанте организације одржавања RRU* применом софтверског програма "Expert Choice". Примена софтверског програма извршиће се на претпостављени модел одржавања (слика 4.3) и на претпостављене моделе варијанти организације одржавања, са циљем избора најбоље варијанте која оптимизује претпостављени модел одржавања. На крају се упоређују добијени резултати са резултатима добијеним путем математичког модела (претходна тачка).

На слици 4.12 приказан је графички поредак критеријума у дефинисаном моделу одржавања [118,128,156].



Слика 4.12 Приказ важности критеријума у моделу

Са слике 4.21 се види да критеријум "готовост" има највећу вредност сопственог вектора. Одмах иза њега највећу вредност има критеријум "квалитет". Коefицијент конзистенције износи  $C.R. = 0,04 < 0,1$ . Закључује се да ова два критеријума имају највећу важност за доносиоца одлуке приликом поређења варијанти одржавања.

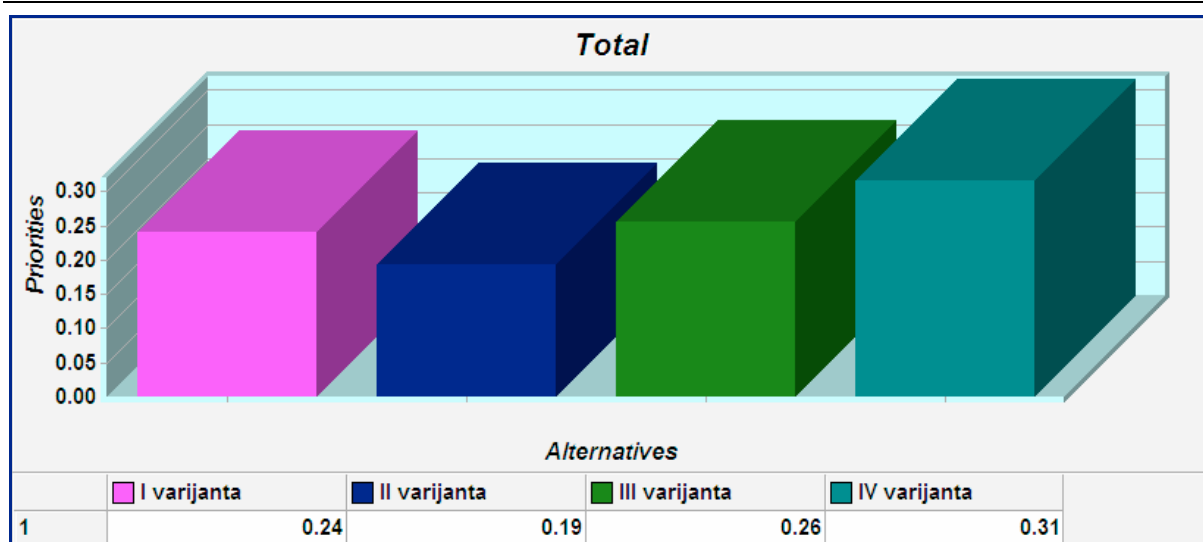
Свеобухватна синтеза проблема, као и у математичком моделу, добија се сабирањем умножака сопствених вектора сваке варијанте и учешћа (тежине) у оквиру посматраног критеријума. У табели 4.18 приказани су коначни резултати умножака, на основу којих је на слици 4.13 дат графички приказ добијених резултата.

Табела 4.18 Приказ коначних резултата

Алтернативе	I варијанта	II варијанта	III варијанта	IV варијанта
<b>РАНГ</b>	<b>0,236</b>	<b>0,193</b>	<b>0,256</b>	<b>0,315</b>
<b>K1</b> ( $L^{34}=0,236$ )	0,204	0,343	0,593	1
<b>K2</b> ( $L=0,193$ )	0,192	0,272	0,614	1
<b>K3</b> ( $L=0,055$ )	0,33	0,33	1	1
<b>K4</b> ( $L=0,082$ )	0,182	0,482	0,304	1
<b>K5</b> ( $L=0,145$ )	1	1	0,25	0,25
<b>K6</b> ( $L=0,093$ )	1	0,33	1	0,33
<b>K7</b> ( $L=0,196$ )	1	0,374	0,578	0,264

На слици 4.13 представљено је графичко поређење претпостављених варијанти организације одржавања.

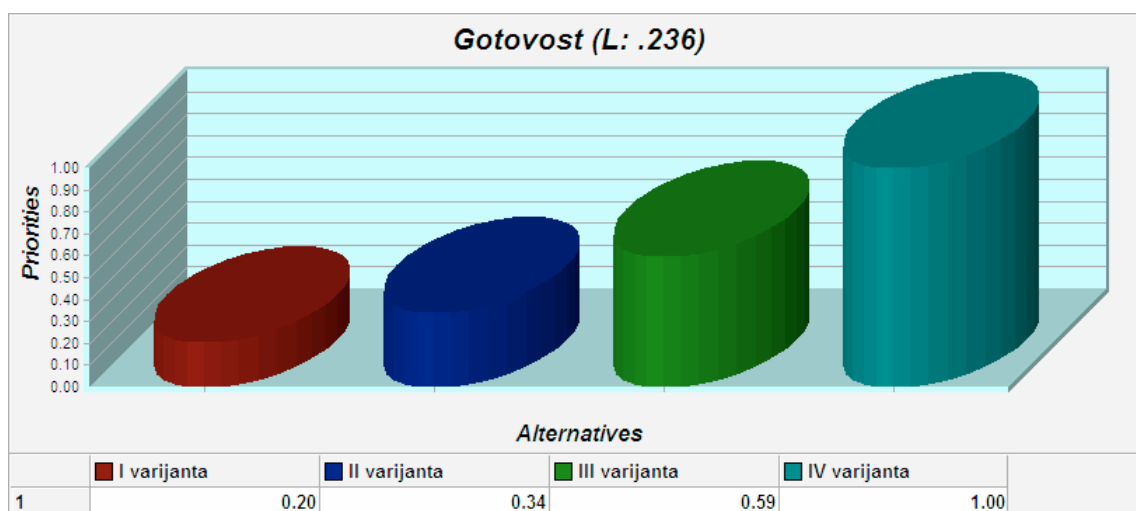
<sup>34</sup> L- тежински коefицијент



Слика 4.13 Коначни поредак претпостављених варијанти одржавања

Са слике 4.13 се види да **IV варијанта организације одржавања** има највећу вредност, као и код математичког модела, те **представља оптимални избор организације одржавања** за дефинисани модел и критеријуме за поређење варијанти.

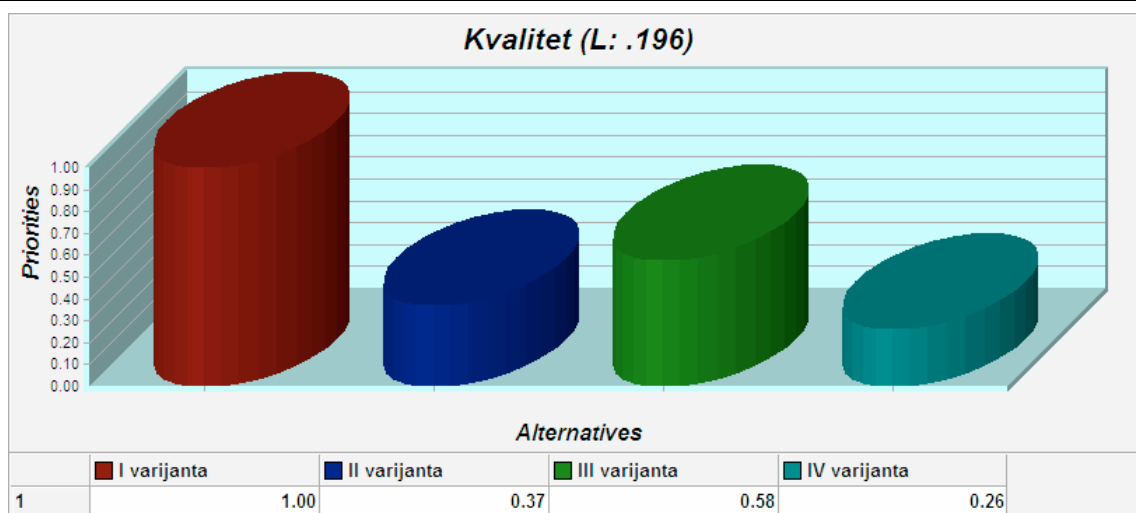
На слици 4.14 приказано је графичко поређење претпостављених варијанти организације одржавања у односу на доминатан критеријум K1- готовост. Са слике се види да је **IV варијанта доминатна** у односу на друге варијанте и **представља оптимални избор**, јер оптимизује претпостављени модел одржавања.



Слика 4.14 Поређење варијанти у односу на доминатан критеријум K1

Уколико доносилац одлуке даје доминатну важност критеријуму K7, добијени резултат оптималне варијанте организације одржавања приказан је на слици 4.15.

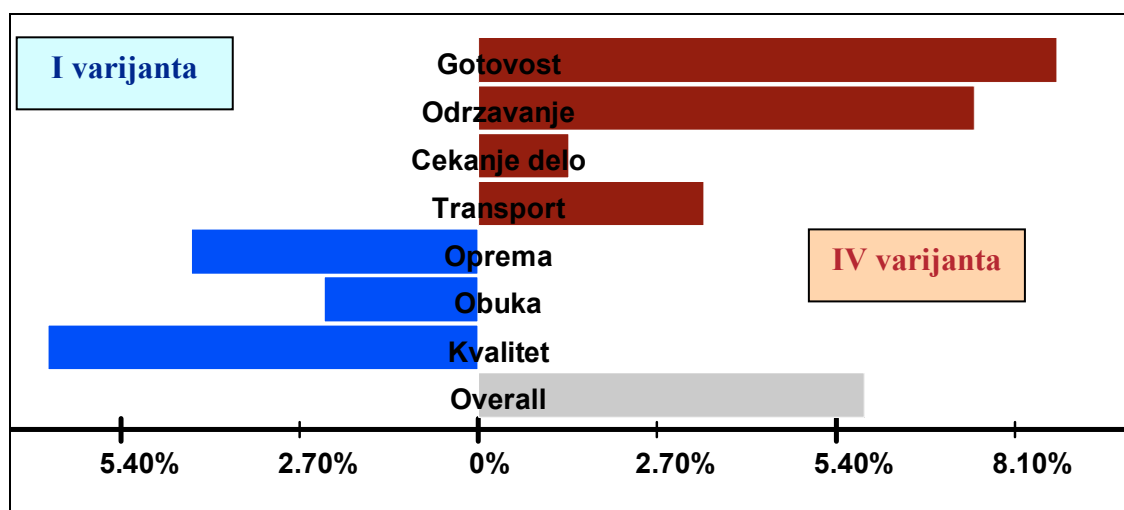




Слика 4.15 Поређење варијанти у односу на доминантан критеријум K7

Добијени резултати са слике 4.15 указују да **I варијанта организације одржавања представља оптималну варијанту организације одржавања**, за претопстављени модел одржавања.

На слици 4.16 извршено је међусобно поређење две доминатне варијанте организације одржавања, тј. I и IV варијанте.



Слика 4.16 Међусобно поређење доминатних варијанти одржавања

Са слике 4.16 се види да је по четири критеријума: готовост, средње време застоја због одржавања, средње време застоја у одржавању због снабдевања са резервним деловима и трошкови транспорта због одржавања, IV варијанта организације одржавања боља од I варијанте. По три критеријума: трошкови опреме, трошкови обуке и квалитет реализације технолошких програма, је боља I варијанта организације одржавања. Од четири критеријума по којима је боља IV варијанта организације одржавања, два критеријума (готовост и трошкови транспорта због одржавања) имају велике вредности тежинских коефицијената.

Упоредњујући IV варијанту са другим варијантама долази се до закључка, да се одржава висок ниво готовости уређаја, док су трошкови транспорта мали. Трошкови транспорта су управо код IV варијанте најмањи. Такође, време које се изгуби на чекање резервних делова је код ове варијанте минимално.

Добијени резултати су идентични са резултатима добијеним математичким моделом. Са обе методе добија се да је **IV варијанта организације одржавања оптимална и да врши оптимизацију претпостављеног модела одржавања**.

#### 4.6.5 Имплементација комбинације метода АНР и PROMETHEE II

Код имплементације методе PROMETHEE II, како је приказано у тачки 4.6.1 и 4.6.2, доносилац одлуке бира вредности тежинских коефицијената, у односу на то који критеријум је за њега важнији. Да би се избегла субјективност доносиоца одлуке при избору тежинских коефицијената, искористиће се добре карактеристике методе АНР, јер се код ње на основу критеријума утврђују вредности тежинских коефицијената. Добијене вредности тежинских коефицијената користе се у методи PROMETHEE II при вредновању варијанти организације одржавања.

На основу спроведених истраживања у тачкама 4.6.3 и 4.6.4 (табела 4.15) добијене су вредности тежинских коефицијената, које ће се искористити у формирању матрице одлучивања за методу PROMETHEE II и приказане су у табели 4.19.

Табела 4.19 Матрица одлучивања за метод PROMETHEE са тежинама критеријума из АНР

Критеријуми	max	Тежинс. коефиције- нти	Варијанте одржавања				Тип функције префере- нције
	min		I	II	III	IV	
<b>K 1</b>	max	<b>0,24</b>	0,96	0,97	0,98	0,99	V
<b>K 2</b>	min	<b>0,19</b>	0,43	0,38	0,18	0,12	V
<b>K 3</b>	min	<b>0,06</b>	0,43	0,43	0,06	0,06	V
<b>K 4</b>	min	<b>0,08</b>	0,38	0,19	0,30	0,11	V
<b>K 5</b>	min	<b>0,14</b>	0,20	0,20	0,30	0,30	V
<b>K 6</b>	min	<b>0,09</b>	0,21	0,28	0,21	0,28	V
<b>K 7</b>	max	<b>0,20</b>	5	3	3	3	I

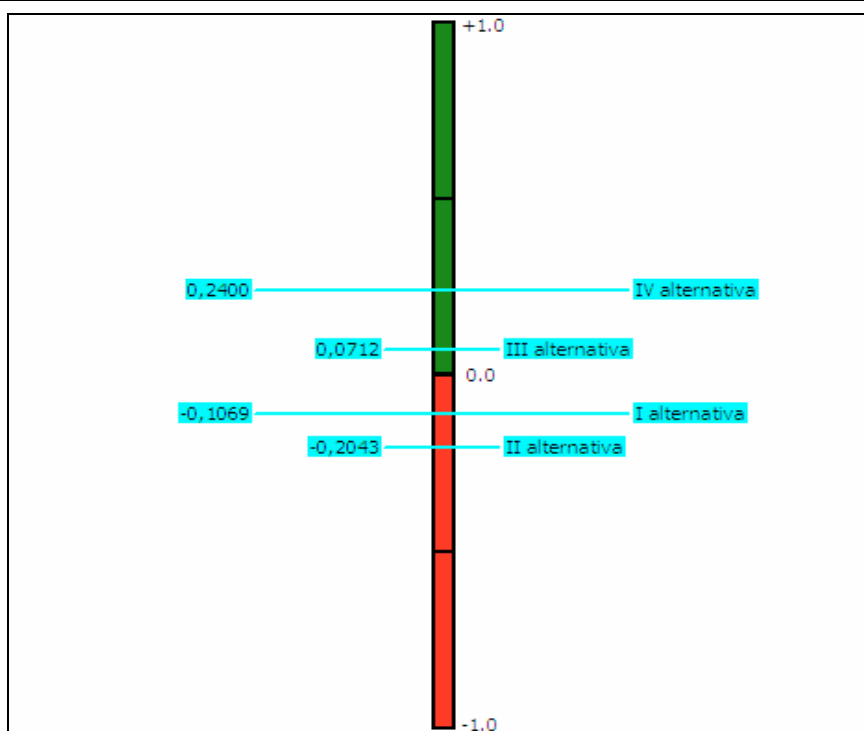
Применом софтверског програма за метод PROMETHEE II, добијени су резултати приказани у табели 4.20 и графички на слици 4.17.

Табела 4.20 Комплетно рангирање резултата по PROMETHEE II

РАНГ	Алтернативе (варијанте)	$T$	$T^+$	$T^-$
<b>1</b>	<b>IV варијанта</b>	<b>0,24</b>	<b>0,435</b>	<b>0,195</b>
2	III варијанта	0,071	0,324	0,253
3	I варијанта	-0,106	0,326	0,433
4	II варијанта	-0,204	0,188	0,392

Потпуно рангирање варијанти организације одржавања методом PROMETHEE II показало је да **најбољи ранг има модел IV варијанте организације одржавања**, а затим редом III, I и на крају II варијанта организације одржавања.

Закључује се да резултати добијени комбинацијом метода АНР и PROMETHEE II и само методом АНР су идентични. Модел IV варијанте хијерархијске организације одржавања у три нивоа је оптимални избор за претпостављени модел одржавања. Оптималност је постигнута кроз то што модел IV варијанте организације одржавања омогућује највиши ниво готовости (расположивости) RRU уз најмање трошкове одржавања уређаја током животног века и нешто веће почетне трошкове улагања у опрему уз захтевани квалитет реализације технолошких програма.



Слика 4.17 Графички приказ ранга алтернатива по методи PROMETHEE II

Модел IV варијанте организације одржавања RRU представља оптималан избор организације одржавања и оптимално решење које највише задовољава претпостављене критеријуме и обезбеђује реализацију претпостављених модела технологије одржавања.

Помоћу примењених математичких и софтверских метода вишекритеријумске анализе, кроз истраживања су добијени идентични резултати оптималног модела варијанте организације одржавања RRU уз исте критеријуме и тежинске коефицијенте. Обзиром на то да се ради о RRU који се користи на битним мобилним чвориштима везе, већи је значај дат критеријуму "готовости", не занемарујући критеријум трошкова одржавања RRU током животног века. У решаваном хипотетичком примеру избора оптималног модела варијанте одржавања са четири предложена модела хијерархијских варијанти организације одржавања, вишекритеријумске методе АНР и PROMETHEE су се показале као успешан алат у процесу одлучивања. Добијен је исти ранг варијанти организације одржавања, што говори о правилном избору потребних параметара и веродостојности добијених резултата.

Закључује се да детерминисани модел технологије одржавања, који у себи садржи програме превентивног и корективног одржавања и који се реализују у три нивоа одржавања, а у односу на претпостављени модел одржавања, најбоље се реализују кроз примену модела IV варијанте организације одржавања. Тако се на првом нивоу реализује модел технологије најнижег нивоа одржавања (вид превентивног одржавања) од стране непосредних корисника RRU. На другом нивоу реализује се модел технологије средњег нивоа одржавања (комбинација превентивног и корективног одржавања) од стране логистичких батаљона ВС, коришћењем покретне радионице у којој се налази мерна опрема и сет резервних модула. На трећем нивоу одржавања реализује се модел технологије највишег нивоа одржавања (комбинација превентивног и корективног одржавања до нивоа компоненте), од стране ремонтног завода у адекватним просторијама и радним местима.

Избором IV варијанте организације одржавања као оптималне и као варијанте која оптимизује претпостављени модел одржавања добија се да је постигнута висока готовост, док су трошкови одржавања смањени (у односу на друге варијанте). На овај

начин је постигнут допринос у истраживањима, јер су два контрадикторна критеријума сведени у меру која даје оптимално решење. Такође, постигнуто је да оба критеријума буду оптимални.

На овај начин је потврђена истинитост друге хипотезе: *да је могуће научним методама вишекритеријумске анализе одредити оптималну организацију одржавања која обезбеђује реализацију детерминисаног модела технологије дигиталних радио-релејних уређаја.*

## 5 МОДЕЛ УНАПРЕЂЕЊА КОНСТРУКЦИЈЕ RRU МОДЕРНИЗАЦИЈОМ АНАЛОГНОГ ФИЛТРА

Сагледавајући примену предложеног модела технологије одржавања са аспекта функције поузданости уређаја (као елемента свеукупне ефективности уређаја), долази се до закључка да се поједини технолошки процеси одржавања могу и даље унапредити.

Анализом и поређењем функције поузданости RRU GRC 408E са постојећим RRU, типа RRU-9B<sup>35</sup>, који се налази у оперативној употреби, долази се до закључка да је **потребно поједина конструктивна решења у блиској будућности унапредити**. Прилог томе је и анализа са теротехнолошког аспекта, која обухвата анализу показатеља поузданости, искуства из експлоатације и одржавања и трошкове одржавања. Такође, сагледана су и решења модернизације које је спровео произвођач уређаја GRC 408E, тако да су размишљања о модернизацији усмерена у том правцу.

Побољшањем конструктивног решења уређаја доприноси се подизању нивоа квалитета одржавања, ефикасности функционисања уређаја, смањењу трошкова одржавања и отказа.

Спроведена истраживања реализована су у лабораторијским условима и коришћењем одговарајућих софтверских решења.

### 5.1 Апроксимација емпиријске расподеле различитим функцијама расподеле

Темељ спроведених истраживања је **поређење функције поузданости две врсте RRU** (GRC 408E и RRU-9B). Функција поузданости се одређује за цео уређај и саставне модуле, а након тога се врши поређење. Резултати поређења функције поузданости, у комбинацији са искуством из експлоатације и одржавања, представљаће основ за предложену модернизацију.

Истраживања су условљена низом проблема, јер не постоји довољан број података који се могу искористити као показатељи ефикасности експлоатације уређаја GRC 408E у пракси и временима отказа уређаја. Стога су анализа и реализована истраживања усмерени у правцу да се поједине функције поузданости, које су неопходне у даљим истраживањима и анализи за предметне уређаје прорачунавају на различите начина:

- за RRU-9B на основу  $n$  броја узорака о временима отказа уређаја који су радили у радио-релејним системима и који су долазили на оправку и ремонт у времену од 2006.-2013. године,
- за GRC 408E на основу интезитета отказа саставних компоненти сваког појединачног модула.

Одређивање функције поузданости RRU-9B реализује се одређивањем закона расподеле времена рада до отказа уређаја. Узорак времена рада до отказа је величине  $n = 50$ , где су последице отказа биле неисправности модула приказани у табели 5.1.

---

<sup>35</sup> Радио-релејни уређај под ознаком RRU-9B, произвођача "Искра" налази се у употреби у ВС од осамдесетих година прошлог века и ради на нижем фреквенцијском опсегу.

Табела 5.1 Груписање података о неисправности модула који су довели до отказа RRU-9B

Ред. број	НАЗИВ САСТАВНОГ МОДУЛА	Број отказа модула
1	Модул напајања	21
2	Модул појачавача	10
3	Пилотска секција	5
4	Регулатор излазне снаге	5
5	Делитељ фреквенције у пријемнику	4
6	Модулатор	3
7	Филтар	2
<b>РАДИО-РЕЛЕЈНИ УРЕЂАЈ RRU-9B:</b>		<b>50</b>

На основу података о временима рада до отказа уређаја RRU-9B одређује се емпиријска функција расподеле рада уређаја до отказа. Након тога одговарајућим поступком извршиће се апроксимација емпиријске расподеле са одговарајућом теоријском, а потврда о апроксимацији верификоване се одговарајућим тестирањем [41].

Како је у раду неопходно одредити функцију поузданости за уређај и за саставне модуле то ће се у анализи применити две врсте прорачуна и то [42]:

- за уређај – прорачун за велики узорак,
- за модуле – прорачун за мали узорак.

У анализи су доступни следећи подаци:

- број узорака -  $n = 50$ ,
- минимално време рада уређаја до отказа -  $t_{\min} = 30.000 \text{ h}$ ,
- максимално време рада до отказа -  $t_{\max} = 90.000 \text{ h}$ .

Статистичке мере су:

- $t_{sr} = 62.100 \text{ h}$ ,
- стандардна девијација  $SD = 16.158 \text{ h}$ ,
- медијана времена рада  $mdeijana = 63.000 \text{ h}$ ,
- ранг (распон)  $rang = 67.000 \text{ h}$ .

Број интервала израчунава се према изразу:  $z = 1 + 3.3 \cdot \log(n)$ . У овом случају усваја се број интервала:  $z = 7$ .

Процењене вредности показатеља поузданости приказане су у табели 5.2.

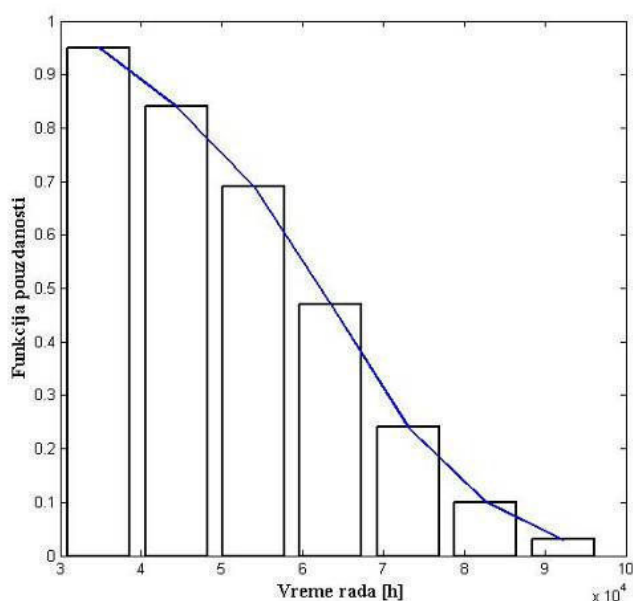
Табела 5.2 Процењене вредности показатеља поузданости

$i$	1	2	3	4	5	6	7
$n_i$	5	6	9	13	10	4	3
$cn_i s$	2.5	8	15.5	26.5	38	45	48.5
$sv_{inter}$	34785.7	44357.1	53928.5	63499.9	73071.3	82462.7	92214.1
$f(10^{-4})$	0.1045	0.1254	0.1881	0.2716	0.2090	0.0836	0.0627
$R$	0.95	0.84	0.69	0.47	0.24	0.10	0.03
$F$	0.05	0.16	0.31	0.53	0.76	0.9	0.97
$h(10^{-3})$	0.011	0.0149	0.0273	0.0578	0.0871	0.0836	0.209

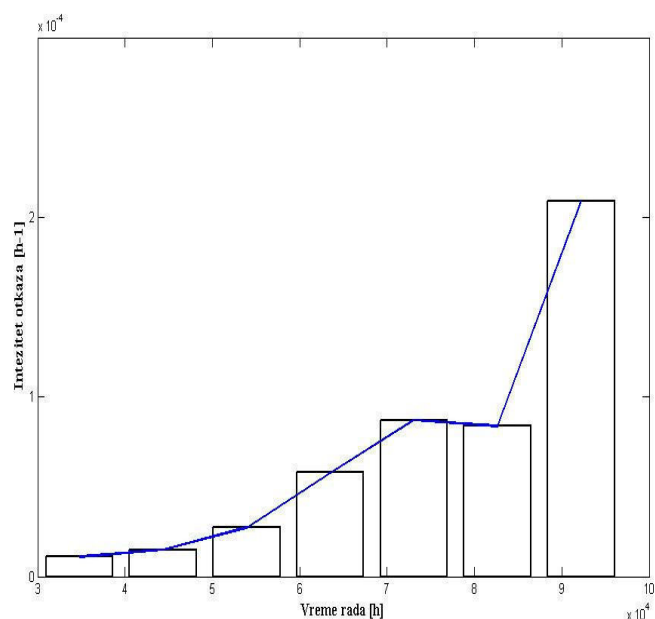
У табели 5.2 коришћене су следеће ознаке:

- $i$  - редни број интервала,
- $n_i$  - број отказа у интервалу,
- $cn_i s$  - број отказа на средини интервала,
- $sv_{inter}$  - средња вредност интервала,
- $f$  - функција учестаности стања у отказу,
- $R$  - функција поузданости,
- $F$  - функција кумулативне расподеле вероватноће- функција непоузданости,
- $h$  - функција интензитета отказа.

На основу процењених вредности показатеља поузданости из табеле 5.2 нацртане су процењене функције поузданости (слика 5.1) и интензитета отказа (слика 5.2).



Слика 5.1 Приказ процењене функције поузданости



Слика 5.2 Приказ процењене функције интензитета отказа

У раду ће се процењена (емпиријска) функција поузданости апроксимирати одговарајућим теоријским расподелама: *Вејбуловом, експоненцијалном, Рејлијевом и нормалном*. Извршиће се тестирања на основу којих ће се закључити којој теоријској расподели је најприближнија емпиријска расподела, односно која од теоријских расподела најбоље апроксимира вредности емпиријске расподеле.

### 5.1.1 Вејбулова расподела

Коришћењем програмског пакета MATLAB израчунавају се: параметар облика, положаја и вредност апроксимативне Вејбулове расподеле. У циљу тестирања хипотезе о апроксимацији емпиријске расподеле Вејбуловом расподелом, оформљена је табела 5.3. Тестирање се врши тестовима Колмогоров-Смирнова, Пирсона и Романовског.

Табела 5.3 Подаци за апроксимацију емпиријске функције са Вејбуловом

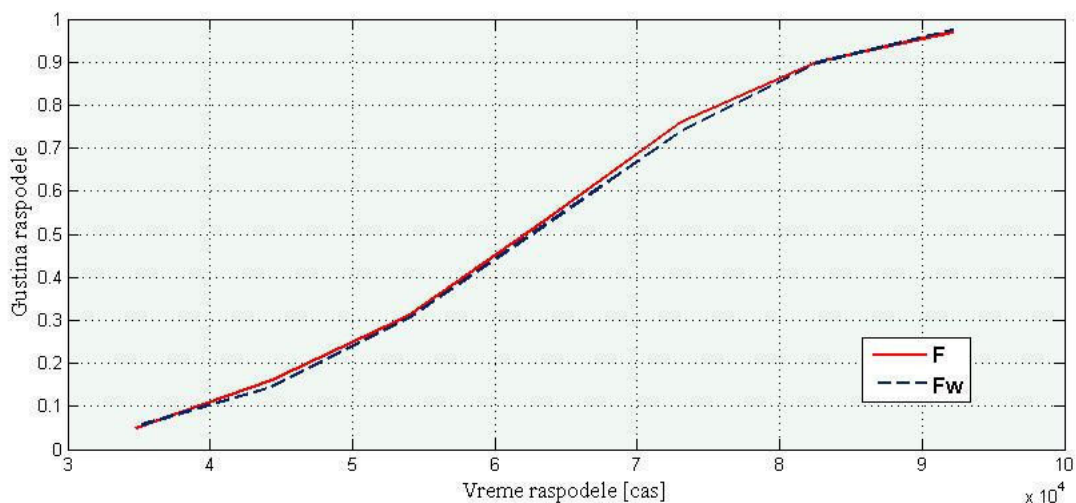
$i$	$sv_{inter}$	$F$	$F_w$	$\Delta F$	$\chi^2$
1	34785.7	0.0500	0.0532	0.0032	0.0002
2	44357.1	0.1600	0.1445	0.0155	0.0017
3	53928.5	0.3100	0.3040	0.0060	0.0001
4	63499.9	0.5300	0.5197	0.0103	0.0002
5	73071.3	0.7600	0.7392	0.0208	0.0006
6	82642.7	0.9000	0.8983	0.0017	0.0000
7	92214.1	0.9700	0.9745	0.0045	0.0000
<b>Max(<math>\Delta F</math>)</b>					<b>0.0208</b>
<b><math>\chi^2</math></b>					<b>0.0028</b>
Степен слободе - $k$					<b>4</b>
<b>Romanovski – <math>R_o</math></b>					<b>1.4132</b>

У табели су коришћене следеће ознаке:

- $i$  - редни број интервала,
- $sv_{inter}$  - средња вредност интервала (h),
- $F$  – функција кумулативне расподеле вероватноће (функција непоузданости),
- $F_w$  – апроксимативна Вејбулова (теоријска) расподела вероватноће,
- $\Delta F = |F - F_w|$  - апсолутна вредност разлике емпиријске и теоријске кумулативне расподеле,
- $\chi^2 = \frac{|F - F_{tw}|^2}{F_{tw}}$  - "hi-kvadrat" вредност за један интервал  $i$ ,
- $k = z - r - 1$  – број степена слободе;  $z$  - број интервала;  $r$  - број параметара теоријске расподеле,
- $R_o = \frac{|Suma(\chi^2) - k|}{\sqrt{2k}}$  - упоредна вредност за тест Романовског.

На слици 5.3 приказано је одступање апроксимативне Вејбулове расподеле од емпиријске расподеле.





Слика 5.3 Графички приказ одступања Вејбулове расподеле  $F_w$  од емпиријске расподеле  $F$

### Тестирање тестом Колмогоров-Смирнова

За усвојени ниво ризика  $\alpha = 0.2$  и величину узорка  $n = 50$ , таблична вредност износи  $d_\alpha = D_{dozv} = \frac{1.07}{\sqrt{n}} = 0.1414$ . Према табели 5.2, највећа вредност одступања између теоријске Вејбулове расподеле  $F_w$  и процењене вредности функције поузданости  $Max(\Delta F) = 0.0208$ . Како је максимално одступање мање од дозвољене вредности, тј.  $0.0208 < 0.1414$ , то апроксимација емпиријске расподеле теоријском Вејбуловом расподелом задовољава тест Колмогоров-Смирнова.

### Тестирање тестом Пирсона

За усвојени ниво значајности  $\alpha = 0.05$  и број степена слободе  $k = 4$  таблична вредност за  $\chi^2$  је 9.488. Како је израчуната вредност  $\chi^2 = 0.0028 < 9.488$ , то Вејбулова расподела задовољава тест Пирсона.

### Тестирање тестом Романовског

Како је израчуната вредност за тест Романовског  $R_o = 1.4132$  мања од 3, апроксимативна Вејбулова расподела задовољава тест Романовског.

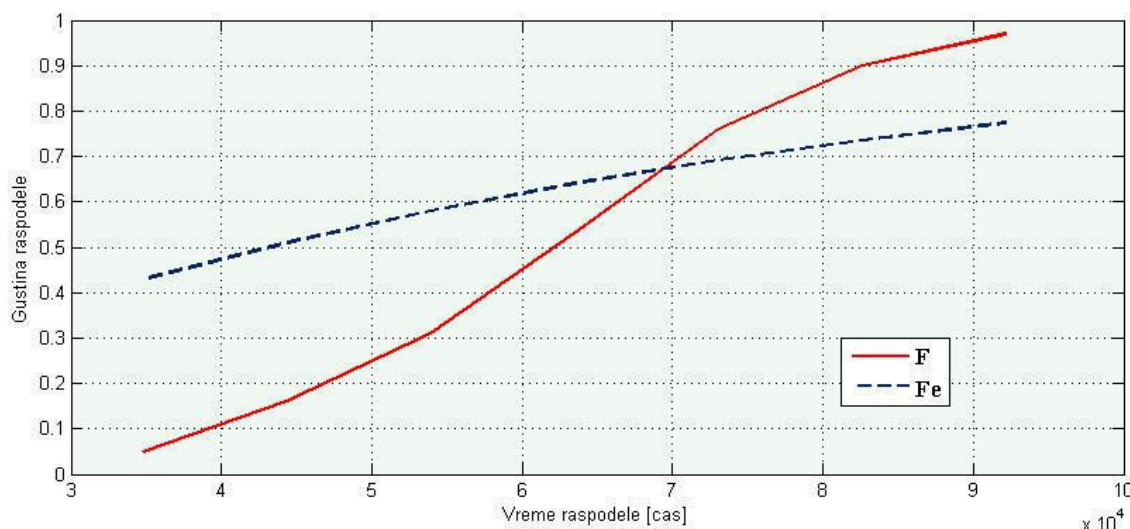
## 5.1.2 Експоненцијална расподела

На сличан начин као у претходној тачки у табели 5.4 приказани су прорачунати подаци о теоријској експоненцијалној расподели, а на слици 5.4 приказано је њено одступање од емпиријске расподеле.

Табела 5.4 Подаци за апроксимацију емпиријске расподеле са експоненцијалном

$i$	$sv_{inter}$	$F$	$Fe$	$\Delta F$	$\chi^2$
1	34785.7	0.0500	0.4289	0.3789	0.3347
2	44357.1	0.1600	0.5105	0.3505	0.2406
3	53928.5	0.3100	0.5804	0.2704	0.1260

4	63499.9	0.5300	0.6403	0.1103	0.0190
5	73071.3	0.7600	0.6917	0.0683	0.0067
6	82642.7	0.9000	0.7357	0.1643	0.0367
7	92214.1	0.9700	0.7735	0.1965	0.0499
				<b><math>Max(\Delta F)</math></b>	<b>0.3789</b>
				<b><math>\chi^2</math></b>	<b>0.8137</b>
				Степен слободе - <b><math>k</math></b>	<b>5</b>
				<b><math>Romanovski - R_o</math></b>	<b>1.3238</b>



Слика 5.4 Графички приказ одступања експоненцијалне расподеле  $F_e$  од емпиријске расподеле  $F$

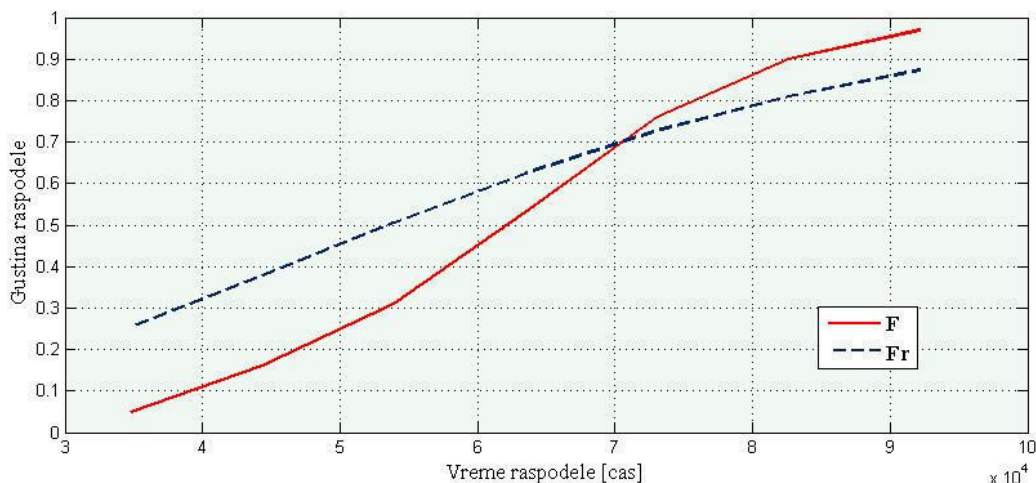
Спроведеним тестирањем апроксимативна експоненцијална расподела не задовољава тест Колмогоров-Смирнова, јер је  $Max(\Delta F) = 0.3789 > D_{dozv} = 0.1414$ . Остале тестове апроксимативна експоненцијална расподела задовољава, јер је  $\chi^2 = 0.8317 < 9.488$  и  $R_o = 1.3238 < 3$ .

### 5.1.3 Релијева расподела

Слично као у досадашњој анализи, у табели 5.5 приказани су прорачунати подаци о теоријској Релијевој расподели, а на слици 5.5 приказано је њено одступање од емпиријске расподеле.

Табела 5.5 Подаци за апроксимацију емпиријске расподеле Релијевом

$i$	$sv_{inter}$	$F$	$Fr$	$\Delta F$	$\chi^2$
1	34785.7	0.0500	0.2549	0.2049	0.1647
2	44357.1	0.1600	0.3803	0.2203	0.1276
3	53928.5	0.3100	0.5070	0.1970	0.0765
4	63499.9	0.5300	0.6249	0.0949	0.0144
5	73071.3	0.7600	0.7270	0.0330	0.0015
6	82642.7	0.9000	0.8100	0.0900	0.0100
7	92214.1	0.9700	0.8735	0.0965	0.0107
				<b><math>Max(\Delta F)</math></b>	<b>0.2203</b>
				<b><math>\chi^2</math></b>	<b>0.4054</b>
				Степен слободе - <b><math>k</math></b>	<b>5</b>
				<b><math>Romanovski - R_o</math></b>	<b>1.4529</b>



Слика 5.5 Графички приказ одступања Релијеве расподеле  $F_r$  од емпиријске расподеле  $F$

Сprovedеним тестирањем показује се да апроксимација емпиријске расподеле Релијевом расподелом не задовољава тест Колмогоров-Смирнова, јер је  $Max(\Delta F) = 0.2203 > D_{dozv} = 0.1414$ . Остале прорачунате вредности задовољавају тест Пирсона и Романовског.

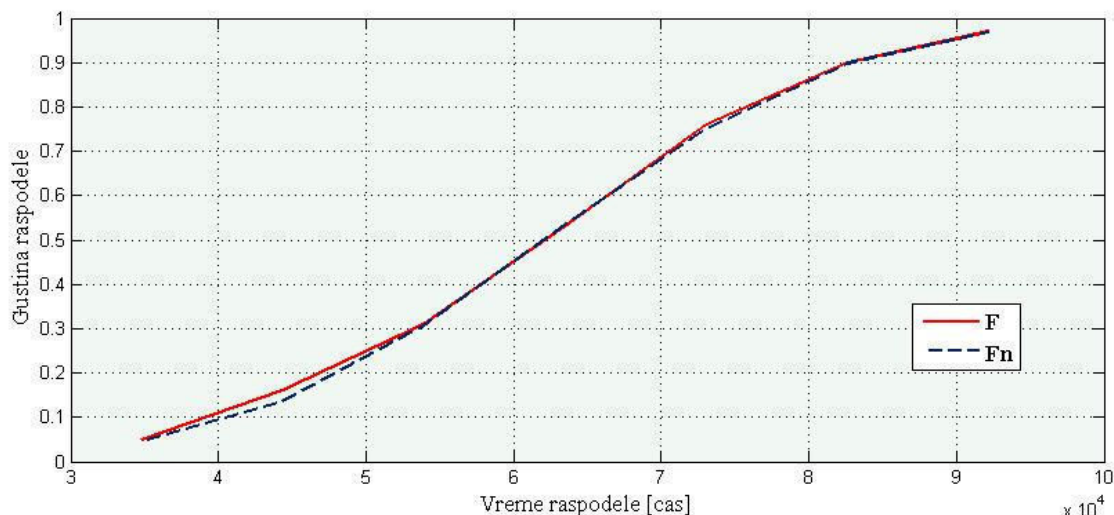
#### 5.1.4 Нормална расподела

У табели 5.6 приказани су подаци о теоријској нормалној расподели, а на слици 5.6 одступање нормалне расподеле од емпиријске расподеле.

Табела 5.6 Подаци за апроксимацију емпиријске расподеле нормалном

$i$	$sv_{inter}$	$F$	$F_n$	$\Delta F$	$\chi^2$
1	34785.7	0.0500	0.0455	0.0045	0.0004
2	44357.1	0.1600	0.1361	0.0239	0.0042
3	53928.5	0.3100	0.3065	0.0035	0.0000
4	63499.9	0.5300	0.5345	0.0045	0.0000
5	73071.3	0.7600	0.7514	0.0086	0.0001
6	82642.7	0.9000	0.8982	0.0018	0.0000
7	92214.1	0.9700	0.9688	0.0012	0.0000
				<b><math>Max(\Delta F)</math></b>	<b>0.0239</b>
				<b><math>\chi^2</math></b>	<b>0.0048</b>
				Степен слободe - $k$	<b>4</b>
				<b><math>Romanovski - R_o</math></b>	<b>1.4125</b>

На основу података из табеле 5.5 закључује се да апроксимација емпиријске расподеле са нормалном расподелом задовољава све три врсте теста.



Слика 5.6 Графички приказ одступања нормалне расподеле  $F_n$  од емпиријске расподеле  $F$

На основу до сада спроведних истраживања закључује се следеће:

- апроксимација емпиријске расподеле са теоријском Вејбуловом и нормалном расподелом задовољава све три врсте теста,
- апроксимација емпиријске расподеле Релијевом и експоненцијалном расподелом не задовољавају тест Колмогоров-Смирнова, а задовољава тест Пирсона и Романовског.

*На основу закључка не може се усвојити хипотеза која теоријска расподела најтачније апроксимира емпиријску расподелу, те ће се наставити са даљом анализом.*

Груписањем броја отказа по интервалима времена отказа уређаја изгубила се тачност статистичких мера. Користећи наредбе у програмском пакету MATLAB израчунаће се функција кумулативне расподеле вероватноће, тј. функција непоузданости  $F$  из података о временима отказа RRU-9В за величину узорка  $n = 50$ .

За статистичку обраду података коришћен је *Statistics Toolbox for use with MATLAB*. Добијени резултати приказани су у табели 5.7 [132].

Табела 5.7 Вредности функције вероватноће

Расподела	Став о хипотези	$P$	$D_n$	$D_{dozv}$
<b>Вејбулова</b>	0	<b>0.9832</b>	<b>0.0622</b>	0.1484
<b>Експоненцијална</b>	1	$5.8 \times 10^{-8}$	0.4089	0.1484
<b>Релијева</b>	1	0.0032	0.2489	0.1484
<b>Нормална</b>	0	0.9807	0.0635	0.1484

Хипотеза: "0" прихвата се, "1" не прихвата се,

$P$  - вероватноћа да је претпостављена теоријска расподела приближна емпиријској,

$D_n$  - одступање теоријске расподеле од емпиријске расподеле.

На основу резултата из табеле 5.7 најприближнија теоријска расподела емпиријској расподели је Вејбулова расподела, са највећом вредношћу вероватноће  $P = 0.9832$  и најмањим одступањем  $D_n = 0.0622 < D_{dozv}$ .

Усваја се Вејбулова расподела за апроксимативни модел поузданости уређаја RRU-9В са параметрима размере  $\eta = 6.8231 \times 10^4$  и параметром облика  $\beta = 4.3141$ . Након

спроведене анализе израз за *функцију поузданости* (вероватноћу исправног рада) уређаја RRU-9B гласи:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^p} = e^{-\left(\frac{t}{6.8231 \times 10^4}\right)^{4.3141}} \quad (5.1)$$

## 5.2 Одређивање функције поузданости саставних модула уређаја RRU-9B

Следећи корак у анализи је одређивање функције поузданости саставних модула. Овај податак је неопходан за даљу анализу како би се вршило поређење са функцијама поузданости саставних модула уређаја GRC408E. У одређивању функције поузданости детаљно ће се приказати начин одређивања параметара функције поузданости само на репрезентативном модулу, а за остале модуле приказаће се готови резултати. Процена показатеља поузданости и помоћних величина врши се методом за мали узорак и коришћењем следећих израза [47]:

- прираштај редног броја:  $p = \frac{(n+1) - (\text{prethodni red broj})}{1 + (n - n_i)}$ , где је  $n = 50$ ,  $n_i$  - остатак након неактуелних отказа осталих модула,
- стварни ранг (редни број) резултата:  $SR$  = кумулативни прираштај редног броја,
- медијални ранг:  $MR = \frac{(SR - 0.3)}{(n + 0.4)}$ ,
- функција кумулативне расподеле или функција непоузданости  $F = MR$ ,
- функција поузданости:  $R = 1 - F$ ,
- функција интезитета отказа:  $h = \frac{1}{n - SR + 0.7 \cdot \Delta t}$ , где је  $\Delta t = (t_{j+1} - t_j)$  - време рада између отказа, а  $t_j$  време рада до отказа актуелног модула.

### 5.2.1 Процењене вредности показатеља поузданости модула појачавача

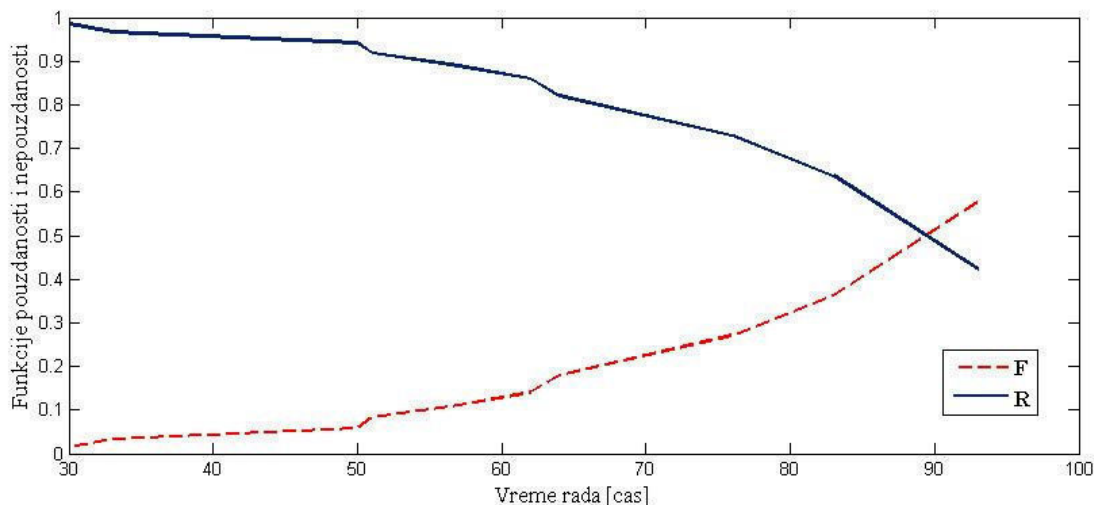
Процењене вредности показатеља поузданости модула појачавача<sup>36</sup> приказане су у табели 5.8.

Табела 5.8 *Процењене вредности показатеља поузданости модула појачавача*

Р.бр. отказа појачавача	Р.бр. отказа RRU-9	t [čas]	P	SR	MR (%)	$\Delta t$ [h]	F	R	h [h] <sup>-1</sup>	f [h] <sup>-1</sup>
1	1	30	1.0000	1.0000	1.3889	3	0.0139	0.9861	6.71E-03	6.61E-03
2	2	33	1.0000	2.0000	3.3730	17	0.0337	0.9663	1.21E-03	1.17E-03
3	12	50	1.2250	3.2250	5.8036	1	0.0580	0.9420	2.11E-02	1.98E-02
4	13	51	1.2250	4.4500	8.2341	6	0.0823	0.9177	3.60E-03	3.31E-03
5	19	57	1.4106	5.8606	11.0329	5	0.1103	0.8897	4.46E-03	3.97E-03
6	23	62	1.5565	7.4171	14.1213	2	0.1412	0.8588	1.16E-02	9.92E-03
7	29	64	1.8949	9.3120	17.8810	12	0.1788	0.8212	2.01E-03	1.65E-03
8	43	76	4.6320	13.9440	27.0715	7	0.2707	0.7293	3.89E-03	2.83E-03
9	44	83	4.6320	18.5760	36.2620	10	0.3626	0.6374	3.11E-03	1.98E-03
10	49	93	10.808	29.3840	57.7064		0.5771	0.4229		

<sup>36</sup> У раду је као репрезентативни модул за приказ спроведене анализе изабран **модул појачавача** снаге уређаја RRU-9B

На основу процењених вредности показатеља поузданости за модул појачавача, из табеле 5.7, на слици 5.7 приказане су графичке вредности функција поузданости ( $R$ ) и непоузданости ( $F$ ) модула појачавача.



Слика 5.7 Графички приказ процењених вредности функција поузданости и непоузданости модула појачавача

Проверу хипотезе о апроксимацији емпиријске расподеле неком од теоријских расподела вршиће се графоаналитичким методама [41]. За разлику од графичке методе, вршиће се аналитичко одређивање параметара регресивне праве  $Y = aX + b$  методом најмањих квадрата. Коefицијенти регресивне праве одређују се помоћу једначина:

$$a = \frac{\sum (x_i \cdot y_i) - \frac{\sum x_i \cdot \sum y_i}{n}}{\sum (x_i^2) - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}, \quad (5.2)$$

$$b = \frac{\sum y_i}{n} - a \cdot \frac{\sum x_i}{n}. \quad (5.3)$$

Коefицијент детерминације се одређује према следећој формули:

$$KD = \frac{\left( \sum (x_i \cdot y_i) - \frac{\sum x_i \cdot \sum y_i}{n} \right)^2}{\left( \sum (x_i^2) - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right) \cdot \left( \sum (y_i^2) - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \right)}. \quad (5.4)$$

## 5.2.2 Апроксимација емпиријске расподеле разчитим функцијама расподеле

### Вејбулова расподела

У случају графо-аналитичке методе, код Вејбулове расподеле, на  $X$  осу уносе се вредности за  $w$  дефинисане изразом  $w = \ln(\ln(1/R(t)))$ , а на  $Y$  осу вредности  $\ln(t)$ .

Према формулама (5.2), (5.3) и (5.4) израчунаће се коефицијенти  $a_w$ ,  $b_w$  и  $KD_w$ , а на основу њих параметри Вејбулове расподеле:

$$\begin{aligned} - \beta &= \frac{1}{a_w} = 3.3946 && \text{- параметар облика,} \\ - \eta &= e^{b_w} = 103.967 && \text{- параметар раземере.} \end{aligned}$$

На сличан начин као у претходној тачки врши се тестирање хипотезе о апроксимацији емпиријске расподеле Вејбуловом расподелом, тестом Колмогоров-Смирнова. За усвојени ниво ризика  $\alpha=0.2$  и величину узорка  $n=10$ , таблична вредност  $D_{dozv} = 0.1414$ . Највећа разлика између теоријске расподеле и процењених вредности износи  $\max(\Delta F) = 0.0812 < D_{dozv} = 0.1414$ .

Закључује се да теоријска апроксимативна Вејбулова расподела задовољава тест Колмогоров-Смирнова.

### Експоненцијална расподела

Код експоненцијалне расподеле, на  $X$  осу уносе се вредности дефинисане изразом  $X_e = \ln(R(t))$ , а на  $Y$  осу вредности  $Y_e = t$ . Као и у претходном случају израчунавају се коефицијенти дефинисани формулама (5.2)-(5.4), а на основу њих средња вредност експоненцијалне расподеле  $\lambda$  према изразу:  $\lambda = |a_e| + b_e = 113.2523$ .

За усвојени ниво ризика  $\alpha=0.2$  и величину узорка  $n=10$ , таблична вредност  $D_{dozv} = 0.1414$ , а највећа разлика између теоријске расподеле и процењених вредности износи  $\max(\Delta F) = 0.2989 > D_{dozv} = 0.1414$ . Апроксимативна експоненцијална расподела не задовољава тест Коломогоров-Смирнова.

### Нормална расподела

Применом графо-аналитичке методе, на  $X$  осу уносе се вредности за  $z$  дефинисане изразом:

$$z = p - \frac{c_0 + c_1 \cdot p + c_2 \cdot p^2}{n + d_1 \cdot p + d_2 \cdot p^2 + d_3 \cdot p^3}, \text{ при чему је } p = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)}, \text{ а константе имају следеће вредности: } c_0 = 2.51, c_1 = 0.80, c_2 = 0.01, d_1 = 1.43, d_2 = 0.18 \text{ и } d_3 = 0.0001. \text{ На } Y \text{ осу уносе се вредности } t.$$

Непознати параметри  $\mu$  и  $\sigma$  нормалне расподеле одређују се помоћу израза:

$$\begin{aligned} - \mu &= b_1 = 112.7115 && \text{- средња вредност и} \\ - \sigma &= a_n = 38.2798 && \text{- стандардна девијација.} \end{aligned}$$

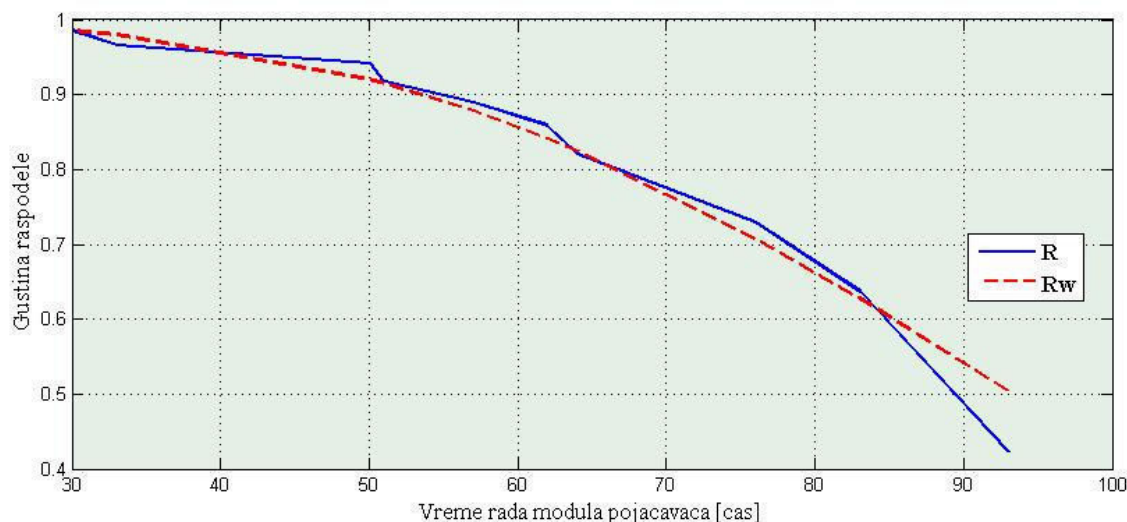
Највеће одступање између теоријске и процењене вредности расподеле износи:  $\max(\Delta F) = 0.2738 > D_{dozv} = 0.1414$ , те апроксимација емпиријске расподеле са нормалном теоријском расподелом не задовољава тест Колмогоров-Смирнова.

Из спроведене анализе закључује се да једино Вејбулова расподела задовољава тест Колмогоров-Смирнова. Из тог разлога усваја се Вејбулова расподела, као апроксимативна расподела емпиријске расподеле, са параметрима: облика  $\beta = 3.3946$  и

размере  $\eta = 103.967$ . Израз за вероватноћу исправног рада (функција поузданости) модула појачавача уређаја RRU-9B је облика:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{103.967}\right)^{3.3946}} \quad (5.5)$$

На слици 5.8 приказано је одступање Вејбулове расподеле функције поузданости ( $R_w$ ) од емпиријске расподеле функције поузданости ( $R$ ) за модул појачавача (мали узорак).



Слика 5.8 Приказ одступања Вејбулове расподеле од емпиријске расподеле за модул појачавача

### 5.2.3 Процењена вредност показатеља поузданости осталих модула

На идентичан начин спроведена је анализа и тестирање апроксимативних расподела осталих саставних модула уређаја, а добијени резултати приказани су у табели 5.9.

Табела 5.9 Вредности функције поузданости саставних модула уређаја RRU-9B

Модул	$n$	$\max(\Delta F)$	Врста расподеле	Функција поузданости
Појачавач	10	0.0812	Вејбулова	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{103.967}\right)^{3.3946}}$
Пилотска секција	5	0.0499	Вејбулова	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{107.5013}\right)^{4.3703}}$
Напајање	21	0.1164	Вејбулова	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{79.57}\right)^{4.527}}$
Регулатор излазне снаге	5	0.1089	Вејбулова	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{91.457}\right)^{8.179}}$
Пријемник	4	0.0289	Вејбулова	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{111.3629}\right)^{4.5439}}$
Филтар	2	0	Вејбулова	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{100.8706}\right)^{8.1265}}$
Модулатор	3	0.0104	Вејбулова	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{150.8002}\right)^{3.0346}}$



<b>RRU-9B</b>	<b>50</b>	<b>0.0208</b>	<b>Вејбулова</b>	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{6.8231 \times 10^4}\right)^{4.3141}}$
---------------	-----------	---------------	------------------	------------------------------------------------------------------

На основу добијених резултата може се закључити да емпиријску расподелу најтачније апроксимира *Вејбулова расподела*, како за цео уређај, тако и за саставне модуле уређаја RRU-9B.

### 5.3 Одређивање функције поузданости уређаја GRC 408E

Процењене вредности параметара поузданости предметног уређаја коришћени су из доступне литературе [122], а у табели 5.10 приказани су подаци о интезитету отказа  $\lambda$  и средњем времену рада до отказа *MTBF*, целог уређаја и саставних модула уређаја од модула A18-A25.

Табела 5.10 *Параметри поузданости уређаја GRC 408E и саставних модула*

Параметри	A18	A1	A14	A13	A21	A11	A24A4	A19	A25	GRC
$\lambda$ ( $\times 10^{-6} \text{ h}^{-1}$ )	22.42	16.06	6.74	13.54	5.22	15.35	27.43	9.55	50.23	<b>166.54</b>
<i>MTBF</i> (h)	44612	62274	148358	73874	191433	65127	36451	104717	19908	<b>6004</b>
<i>MTBF</i> (god.)	5.09	7.11	16.94	8.43	21.85	7.43	<b>4.16</b>	11.95	<b>2.27</b>	<b>0.68</b>

Спроведена анализа је реализована на основу претпоставке да времена рада до отказа имају експоненцијални карактер, а интезитет отказа је константа [150]. Облик функције поузданости саставних модула и уређаја приказан је изразом:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (5.6)$$

Функција поузданости уређаја GRC 408E је облика:

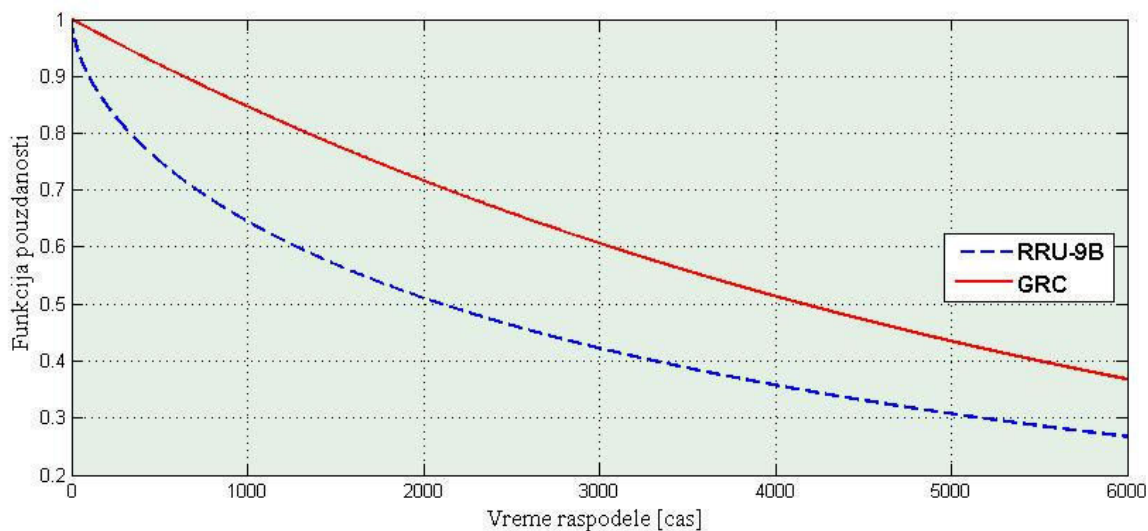
$$R(t) = e^{-(166.54 \times 10^{-6})t} \quad (5.7)$$

Функција поузданости модула филтра A19 (репрезентативни пример) има облик:

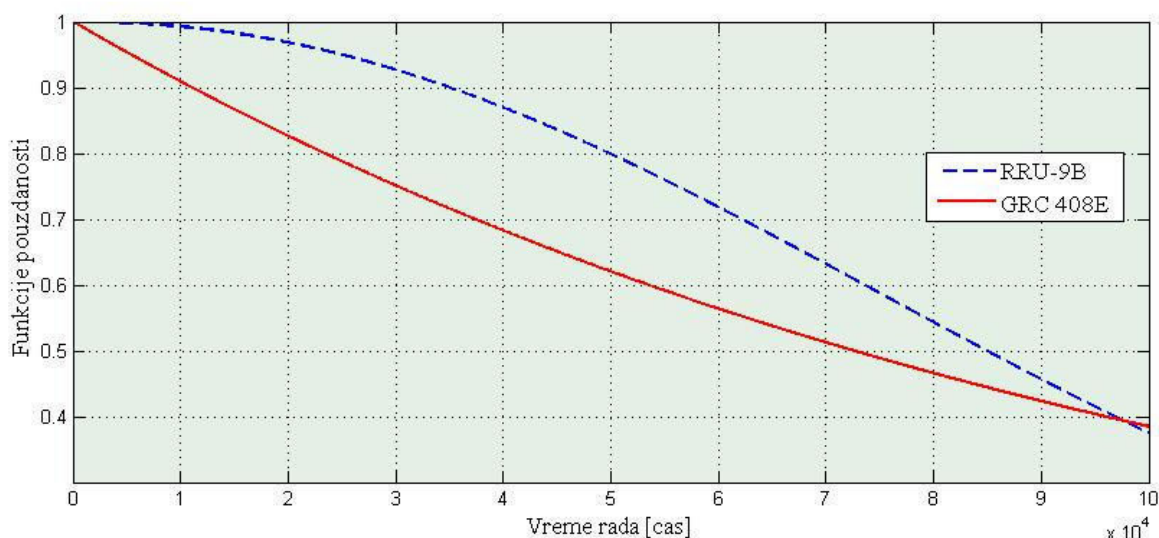
$$R(t) = e^{-(9.55 \times 10^{-6})t} \quad (5.8)$$

Графички приказ поређења функција поузданости уређаја RRU-9B и GRC 408E приказан је на слици 5.9. Са слике се може закључити, да вредности функције поузданости уређаја GRC 408E имају веће вредности од RRU-9B. Веће вредности су последица тога што је интезитет отказа саставних модула мањи, јер се ради о савременим уређајима, конструктивно израђеним у SMD технологији. Међутим, анализом и поређењем функција поузданости саставних модула, закључује се да је вредност функције поузданости саставног модула филтра A19, код GRC 408E, мања у односу на RRU-9B.

Графичко поређење функција поузданости модула филтра A19, приказано је на слици 5.10.



Слика 5.9 Графичко поређење функција поузданости уређаја RRU-9B и GRC 408E



Слика 5.10 Графичко поређење функција поузданости модула филтра уређаја RRU-9B и GRC 408E

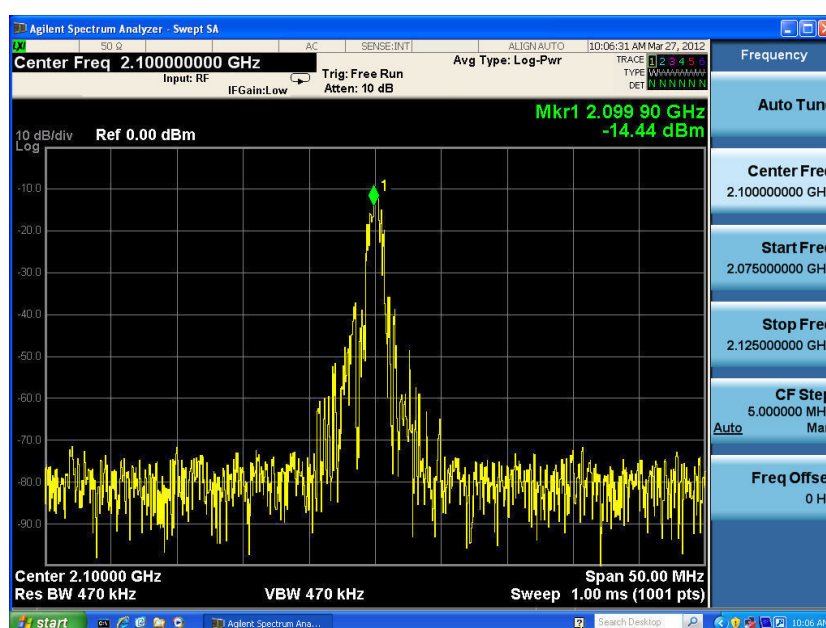
Сprovedеном анализом закључује се да вредности функције поузданости саставних модула уређаја GRC 408E и целог уређаја имају веће вредности у односу на модуле и уређај RRU-9B (што се види на слици 5.9), осим модула филтра. Код модула филтра карактеристика функције поузданости је боља код уређаја RRU-9B, него код уређаја GRC 408E и зато је потребно извршити његово побољшање. Резултати добијени спроведеном анализом су очекивани, јер је уређај GRC 408E савремени уређај, конструисан и израђен у савременој технологији, од компоненти које имају мањи интезитет отказа. Модул филтра A19 је конструктивно сличан модулу филтра код уређаја RRU-9B, али има веће вредности интезитета отказа  $\lambda$ , а тиме и мање вредности функције поузданости. То је из разлога што је модул A19 конструктивно надограђен елементима који омогућују софтверско управљање радом филтра. Колико се конструктивно добило на побољшању уређаја, са аспекта поузданости се изгубило, јер су вредности функције поузданости модула A19 мање у односу на исти модул код уређаја RRU-9B.

Даља анализа везана за модул A19 усмериће се према области одржавања уређаја и предметног модула, како би спроведена истраживања била свеобухватна.

## 5.4 Искуства из одржавања модула филтра A19

Модул A19 је радио-фреквенцијски (RF) филтар. Чине га предајни и пријемни део који раде истовремено у различитим фреквенцијским каналима. Растојање између предајног и пријемног канала је минимално 125 kHz. Укупно има 10721 фреквенцијски канал, а разлика између предајне и пријемне фреквенције је минимално 60 MHz.

Управљање радом филтра реализује се од стране централне процесорске јединице (модула A14), преко модула A13 (модул службеног канала), који шаље управљачке сигнале корачним моторима за њихово позиционирање. Правилним позиционирањем мотора обезбеђује се постављање филтра на задату предајну, односно пријемну фреквенцију. На слици 5.12 приказан је спектар улазног сигнала у RF филтар, ослабљен 60 dB из појачавача снаге. Снага сигнала износи -14.44 dBm укључујући слабљење атенуатора.

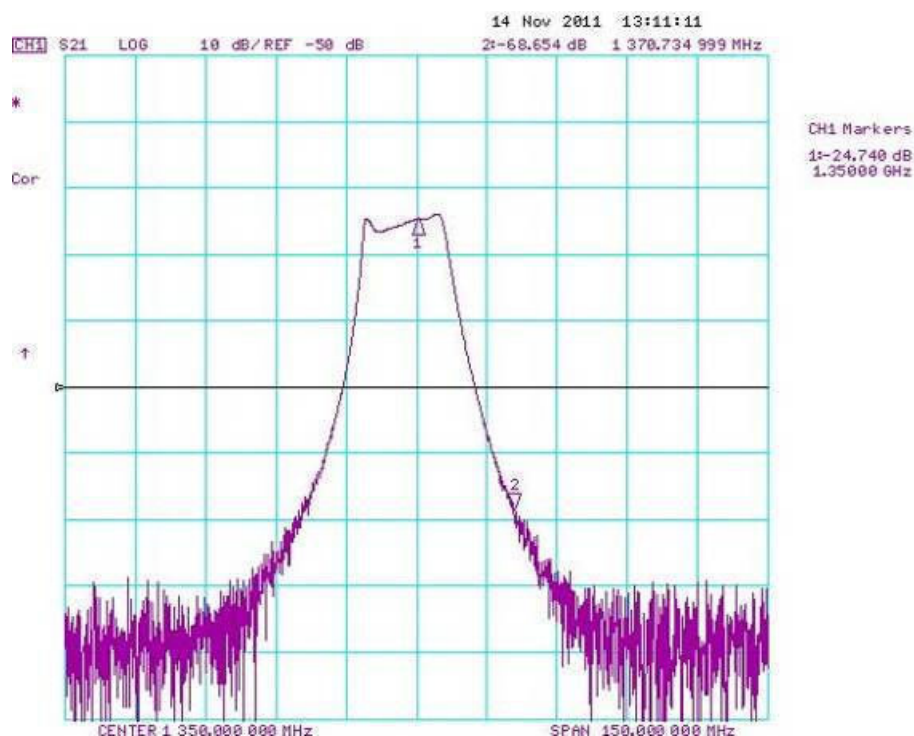


Слика 5.11 Улазни сигнал у RF филтар

На слици 5.12 приказан је пример филтарске карактеристике модула A19, снимљене анализатором мреже, у току технолошког процеса одржавања уређаја GRC<sup>37</sup>. Са слике се уочава да је филтарска карактеристика изобличена и да није симетрична по централној фреквенцији. Узрок изобличености филтарске карактеристике може бити различит. Применом технолошких процедура највишег нивоа одржавања, на одређеном броју уређаја и филтара, дошло се до показатеља да је узрок изобличености филтарске карактеристике: неподешеност филтра, грешка у позиционирању степ мотора и грешка меморије.

Последице изобличености филтарске карактеристике су недовољна снага сигнала на актуелној фреквенцији и прекид радио-релејног линка, лош пријем сигнала са недозвољеним бројем грешака у преносу сигнала. Ове неисправности добијају се као резултат тестирања уређаја дијагностичком опремом у лабораторијским условима, при реализацији средњег и највишег нивоа одржавања уређаја GRC 408E. Актуелна неисправност се не може уочити самотестирањем уређаја, тј. технолошком процедуром и дијагностичком опремом на нижем нивоу одржавања.

<sup>37</sup> Технолошком процедуром и дијагностичком опремом на највишем нивоу одржавања могуће је снимити филтарску карактеристику модула A19. Снимање карактеристике се реализује у току поступка дефектације модула одговарајућим инструментом. Технолошка процедура највишег нивоа одржавања једина прописује и дозвољава све технолошке операције одржавања модула A19.



Слика 5.12 Изобличена филтарска карактеристика

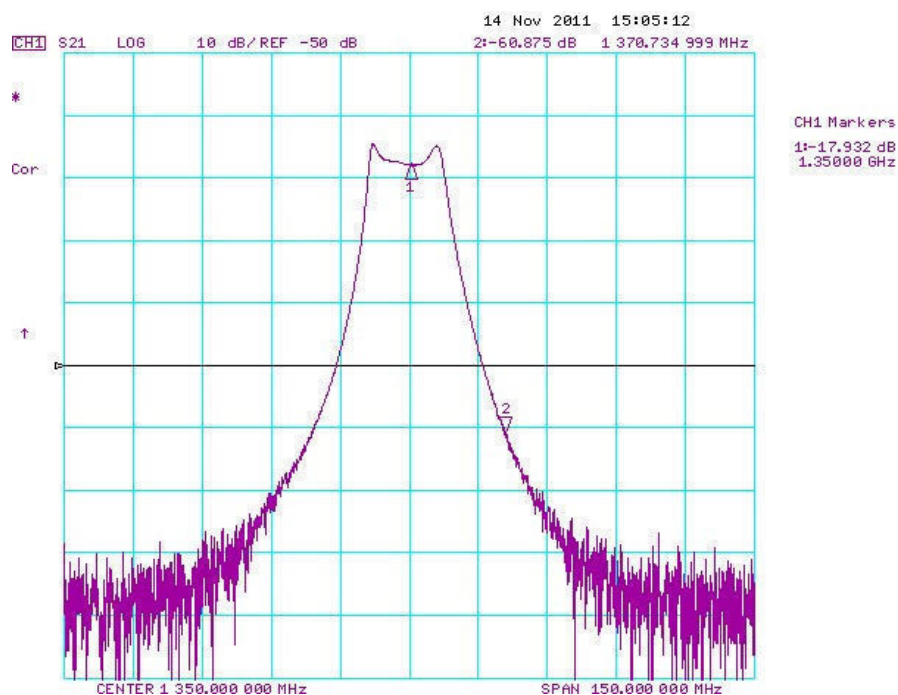
Реализацијом превентивног одржавања и применом технолошке процедуре за средњи ниво одржавања [121], у одређеном временском периоду и на одређеном броју уређаја, констатована је неисправност која се манифестује кроз неисправност модула A19. Узрок неисправности уређаја GRC 408E, на количини од 19 % укупног броја неисправних уређаја, била је неисправност модул A19. Због тога су уређаји послати на највиши ниво одржавања. Остатак процента неисправних уређаја односи се на неисправност модула: пријемника, предајника, напајања уређаја, напајања модула појачавача снаге и процесорске јединице.

У складу са организацијом одржавања, дефектација и оправка уређаја, због ове врсте неисправности, може се реализовати само на највишем нивоу одржавања. Применом акција корективног одржавања на уређају и самом модулу A19, на највишем нивоу одржавања, добија се филтарска карактеристика као на слици 5.13, а тестирањем уређаја, дијагностичком апаратуром у лабораторијским условима, констатована је исправност уређаја.

Искуства из одржавања показују да је релативно велики број уређаја GRC био неисправан услед неисправности модула A19, у релативно кратком експлоатационом времену.

Спроведена истраживања, реализована поређењем функција поузданости уређаја и саставних модула, са приказаним лабораторијским мерењима и искуствима из одржавања ове врсте уређаја и отказа који су постојали због модула A19, оправдавају размишљање да истраживања треба усмерити ка модернизацији модула A19. Прилог овим истраживањима додатно оправдава и чињеница што је произвођач уређаја "Elbit System Tadiran", почео серијску производњу и има у понуди продају ове врсте уређаја новије генерације са новим решењем модула A19, реализованим као дигитални филтар, коме је фреквентни опсег рада до 900MHz.

Постојеће решење модула филтра A19 и предлог модернизације приказани су у наставку рада.

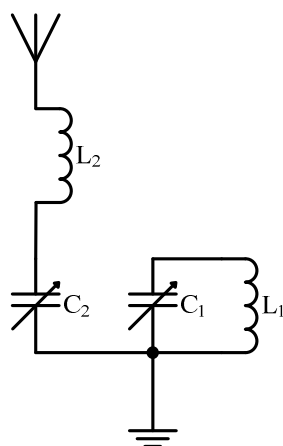


Слика 5.13 Исправна филтарска карактеристика након акције одржавања

## 5.5 Постојеће конструктивно решење аналогног RF филтра

Већина филтара у радио-релејној техници реализује се као филтри са резонантним шупљинама, обзиром на захтевану излазну снагу и на коришћени фреквенцијски опсег. Филтри са резонантним шупљинама карактеришу релативно стабилне амплитудске и фазне карактеристике на високим учестаностима, релативно уске прелазне зоне и слабо изражени прелазни процеси.

Начелна електрична шема филтра са резонантним шупљинама представљена је на слици 5.14. Модул филтра А19 представља LC филтар код којег се подешавање врши механички, променом зазора између завртњева и тела кутије филтра (променом димензија резонатора), чиме се мењају капацитивности кондензатора C1 и C2, са слике 5.14.



Слика 5.14 Конструкција филтра са резонантним шупљинама

RF филтар је врста појасног филтра. Карактеристика појасног филтра је да он пропусти све сигнале у фреквенцијском опсегу од  $\pm 200\text{MHz}$  у односу на централну

фреквенцију. То значи, ако је централна фреквенција 1900 MHz, да ће бити пропуштени сви сигнали у фреквенцијском опсегу од 1899.8 – 1900.2 MHz. Управљање радом и подешавање филтра A19 на радну (централну) фреквенцију врши се помоћу корачних-степ мотора. У модулу A19 налазе се 2 мотора за предајни и пријемни део филтра, односно за постављање филтра по задатим вредностима предајне и пријемне фреквенције. Податак о централној фреквенцији шаље модул A14 (процесор) према модулу A13. У модулу A13 податке прима FPGA кола које управља радом транзистора снаге (FET-ови). Транзистори према модулу A19 шаљу управљачке сигнале за постављање корачних мотора у одговарајућу позицију. Управљачки сигнали су у облику броја импулса, који одговарају одређеној фреквенцији. Податак о паровима (број импулса-фреквенција) налази се у EPROM меморији, смештеној у модулу филтра A19. Овај податак из EPROM меморије узима процесор (A14), на основу кога генерише управљачки сигнал према модулу A13.

Искуства из одржавања показују следеће мане модула филтра A19:

- спора комуникација са централном процесорском јединицом,
- спор одзив на управљачки сигнал,
- примена електромотора у позиционирању филтра на задату фреквенцију, чиме је повећан интезитет отказа модула,
- неповољне карактеристике погодности за одржавање у смислу немогућности агрегатне замене, без додатних поступака калибрације и подешавања са додатном специјалном опремом,
- одржавање је могуће само у организацији највишег нивоа одржавања уз велико време за корективно одржавање.

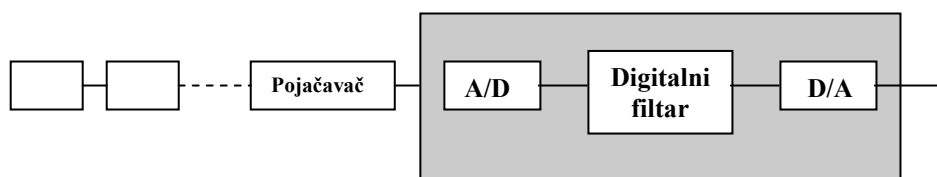
Интезитет отказа, прорачунат на основу саставних елемената модула A19, износи  $\lambda = 9.55 \times 10^{-6} [h^{-1}]$ . Фабричка вредност новонабављеног модула A19, не рачунајући увозне дажбине, износи око **35%** вредности целог уређаја. Као што се види RF филтар има значајан новчани удео у целокупном износу новчане вредности целог уређаја.

На основу спроведене анализе дошло се до закључка да је потребно спровести истраживања у циљу изналажења решења за побољшање конструктивних карактеристика филтра.

У наставку рада спроведена су истраживања и дат предлог могуће модернизације модула A19 у смислу дигитализације филтра као једно од могућих решења на пољу побољшања карактеристика модула A19 и целог уређаја.

## 5.6 Предлог модернизације RF филтра

На слици 5.15 приказана је блок-шема са предлогом могуће модернизације постојећег аналогног RF филтра.



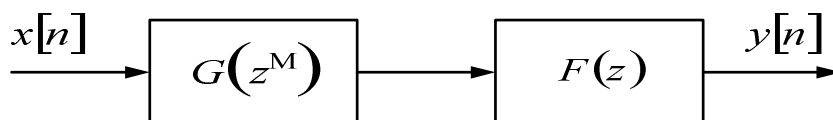
Слика 5.15 Блок-шема модерновог модула RF филтра

Са слике 5.15 се види да модернизовани сет, који би се имплементирао уместо модула A19 (RF филтра), чини A/D конвертор, дигитални филтар и D/A конвертор. Конвертори су комерцијалне изведбе и нису предмет спроведених истраживања.

Алати за пројектовање дигиталних структура које произвођачи програмабилног хардвера дају корисницима у новије време постају све потпунији и нуде све више слободе при пројектовању. Кориснику је пружена могућност да, приликом пројектовања, бира да ли ће да користи неко од готових решења, оригиналним алатом произвођача или неким стандардним алатом (укључујући и MATLAB).

У спроведеним истраживањима, моделовање дигиталног филтра реализовано је коришћењем Xilinx-овог софтвера *System Generator*, који даје везу са MATLAB-ом и омогућава снимање амплитудске и фазне карактеристике филтра. При томе је коришћена најновија генерација FPGA чипова (Xilinx-ов Virtex 7) који омогућава значајно увећање максималне фреквенције одабирања [33,34].

Предлог модернизације RF филтра заснован је на техници фреквенцијског маскирања (*Frequency-response masking technique*). Наиме, предложен је ускопојасни филтар изведен као каскадна веза периодичног модел филтра  $G(z^M)$  и маскирајућег филтра  $F(z)$ , како је то приказано на слици 5.16. Периодични модел филтра се користи јер има уску филтарску карактеристику, а тиме и ужи пропусни опсег. При томе периодични филтар ствара одређене периодичне одразе који се поништавају маскирајућим филтром [154,155].

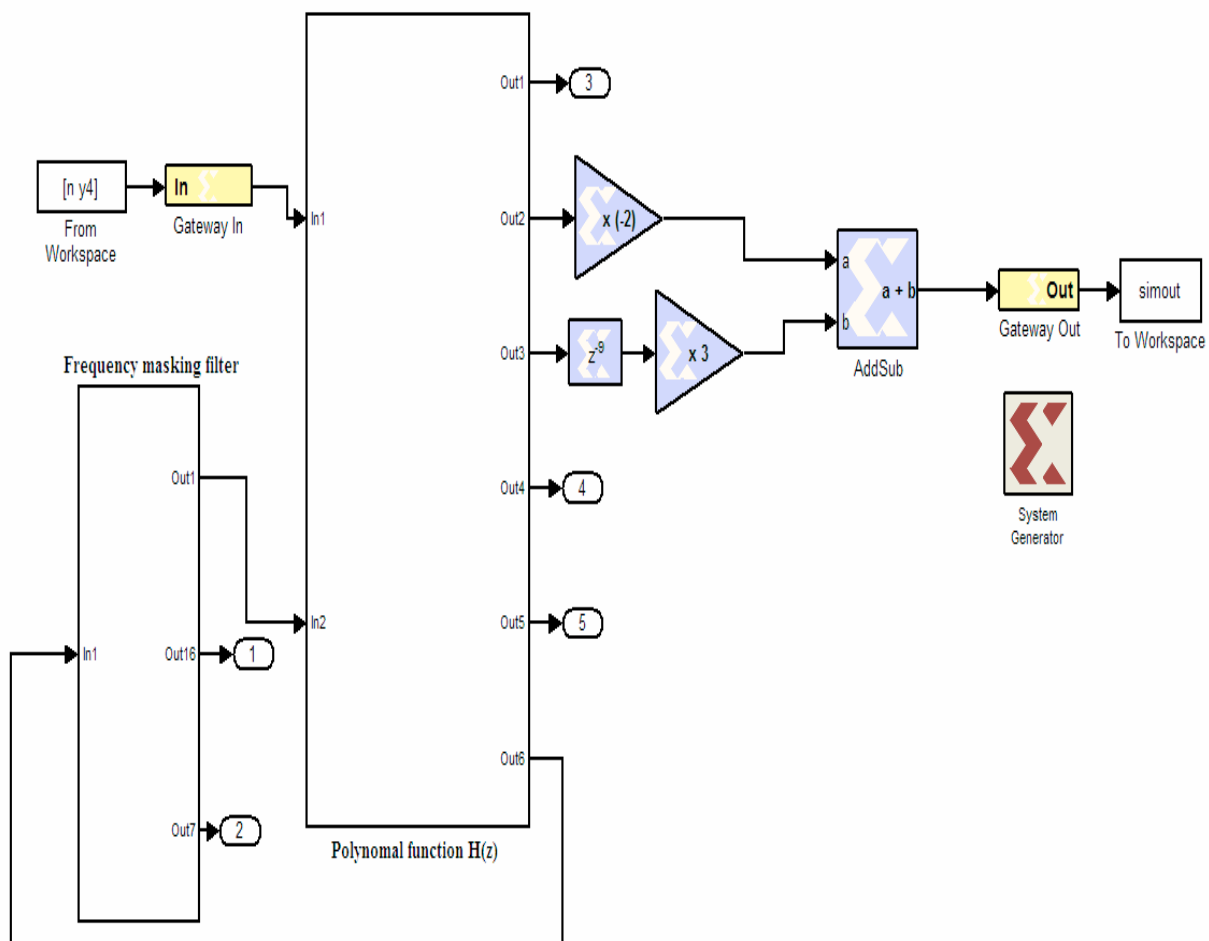


Слика 5.16 Каскадна веза периодичног модел филтра и маскирајућег филтра

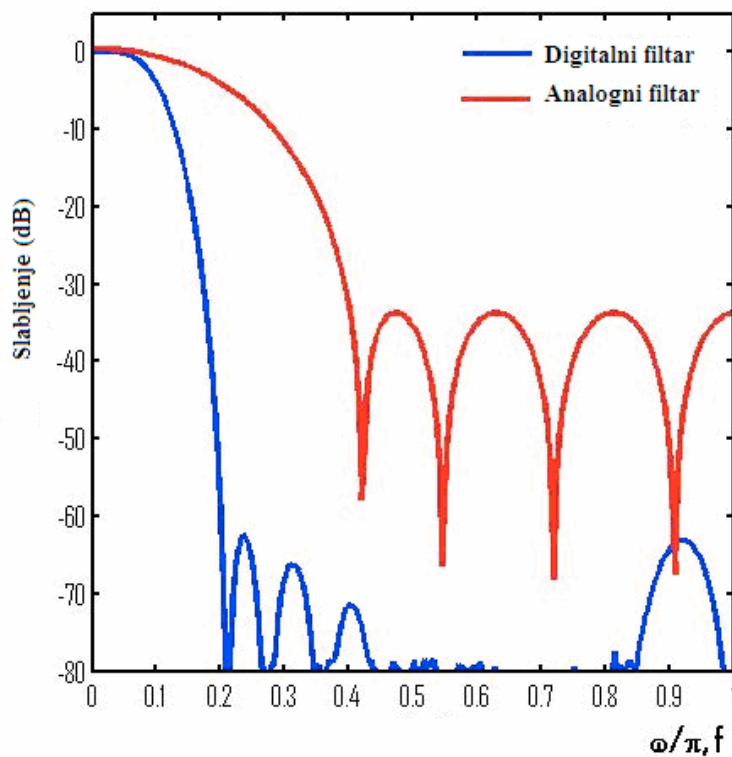
Софтверска реализација модела дигиталног филтра приказана је на слици 5.17. На слици 5.18 дат је упоредни приказ амплитудске карактеристике постојећег аналогног филтра и предложеног модела дигиталног филтра.

Као што се види са слике 5.18, карактеристика дигиталног филтра је са стрмом прелазном зоном. Одступања на карактеристици дигиталног филтра су последица начина снимања амплитудске карактеристике (по принципу одбирак по одбирак). Пикови у непропусном опсегу су последица одраза периодичног филтра, које није у потпуности отклонио маскирајући филтар. Приликом моделовања софтверским алатом, за маскирајући филтар је изабран филтар нижег реда. То је филтар са слабијом амплитудном карактеристиком, чиме се добија на уштеди хардверских ресурса. Због избора филтра нижег реда јављају се одрази у непропусном опсегу које маскирајући филтар не отклања у довољној мери.

Обзиром на то да су одрази испод границе захтеваног слабљења (-60 dB), исти немају ефекта на квалитет сигнала.



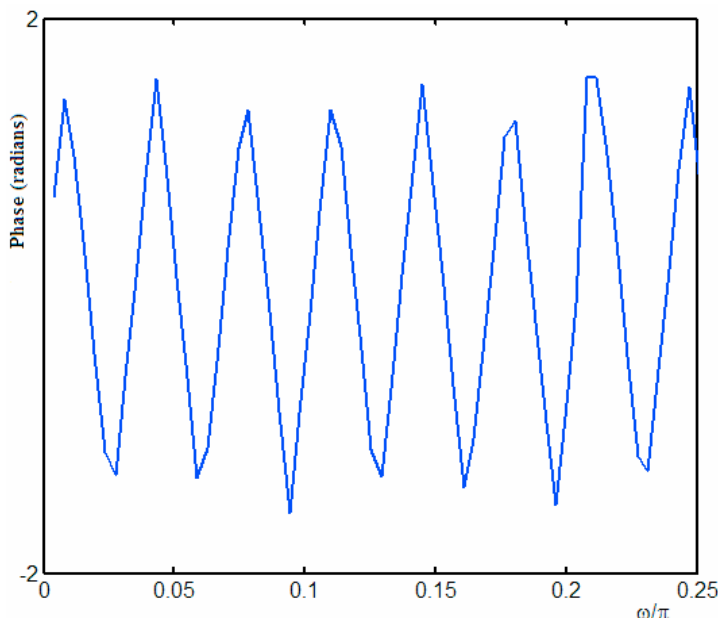
Слика 5.17 Реализација дигиталног филтра



Слика 5.18 Упоредни приказ амплитудских карактеристика реализованог дигиталног филтра и постојећег аналогног филтра



Предложени модел дигиталног филтра на слици 5.16 представља FIR (Finite Impulse Response) филтар. Фазна карактеристика FIR филтра је линеарна, те је и фазна карактеристика предложеног модела дигиталног филтра линеарна. Линеарност фазне карактеристике се постиже применом *Sharpening* методе [35,36], где се у комбинацији са техником фреквенцијског маскирања ненарушава линеарност фазне карактеристике. Да је фазна карактеристика линеарна показује слика 5.19, која представља фазну карактеристику предложеног модела дигиталног филтра са слике 5.16.



Слика 5.19 Фазна карактеристика модела дигиталног филтра

На основу доступне литературе о фабричким карактеристикама саставних делова модернизационог сета [151,152], могуће је прорачунати интезитет отказа предложеног модернизационог сета, који се састоји из дигиталног филтра и конвертора сигнала. Прорачуната вредност **интезитета отказа** предложеног **модернизационог сета** износи:  $\lambda = 0.96 \cdot 10^{-6} h^{-1}$ , што је знатно мање него интезитет отказа аналогног филтра. Новчана вредност модернизационог сета орјентационо износи 3% вредности уређаја, што је, у односу на новчану вредност аналогног филтра, много мања вредност.

Ограничавајући фактор за примену предложене модернизације је да се у будућем периоду створе хардверски услови који ће омогућити рад дигиталног филтра на фреквенцијама, на којима ради предметни RRU. Обзиром на напредак технологије израде VLSI (*Very Large Scale Integration*) компоненти, за очекивати је да ће компоненте **новије генерације** у VLSI технологији врло брзо имати примену на вишим фреквенцијама.

## 5.7 Резултати предложене модернизације аналогног филтра

На основу добијених резултата моделовања дигиталног филтра и сагледавања могућности његове примене у уређају GRC 408E, може се закључити:

- јако уска прелазна зона, чиме се постиже оштра амплитудна карактеристика и побољшавају конструктивне карактеристике филтра,
- интезитет отказа модернизационог сета је мањи, за ред величине, у односу на досадашњу вредност интезитета отказа модула A19,
- цена модернизационог сета је много мања од цене аналогног RF филтра,

- тежина и габарити су много мањи што чини да је уређај лакши за рад и транспорт,
- омогућено је одржавање у смислу агрегатне замене модернизационог сета новим или пребацивањем са другог уређаја, што није могуће у тренутној изведби филтра без калибрације и додатних подешавања, који се морају извести у лабораторијским условима,
- агрегатна замена модернизационог сета омогућава да се корективно одржавање реализује на средњем нивоу одржавања и у кратком времену,
- корективно одржавање је једноставно и своди се на замену једне компоненте FPGA чипа или DSP процесора,
- време корективног одржавања је краће него код аналогних механичких филтара са резонантним шупљинама, те су побољшане карактеристике погодности за одржавање,
- омогућена је поуздана дијагностика исправности модернизационог сета на свим нивоима одржавања,
- управљање радом дигиталног филтра од стране централне процесорске јединице је олакшано и поуздано, а брзина одзива филтра на промену фреквенције је тренутна.

На основу добијених резултата софтверског моделовања и искуства из одржавања, закључује се да је модернизација модула RF филтра корисна у циљу **побољшања карактеристика поузданости и унапређења технолошког процеса одржавања**. Предложена модернизација побољшава карактеристике поузданости и погодности за одржавање ове врсте радио-релејних уређаја, са много мањим финансијским средствима неопходним за њихову имплементацију у самом уређају.

Спроведена истраживања дају допринос у области одржавања ове врсте уређаја, јер се на основу добијених резултата закључује да ће у будућности бити могућа замена постојећег аналогног филтра са новим дигиталним филтром и да је предложена модернизација оправдана са свих аспеката одржавања.

Добијени резултати моделовања потврђују истинитост четврте хипотезе: *могуће је извршити модернизацију аналогног RF филтра одговарајућим савременим дигиталним филтром чиме се побољшава поузданост уређаја и унапређује технолошки програм одржавања.*

## 6 ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Проблем истраживања у овој дисертацији је био да се детерминише модел технологије дигиталних радио-релејних уређаја и сагледа аспект технолошког унапређења. Област примене начина детерминисања модела технологије је веома широка и обухвата читав спектар конструктивних решења, управљачких архитектура, софтверских и хардверских концепата, рачунарских платформи, различитих система одржавања техничких средстава. Из тог разлога, у дисертацији су приказани основни појмови из области аутоматске мерне технике (системи за аквизицију података, индустријска комуникација, инструментација), на којој се базира детерминисани модел технологије. Такође, приказан је приступ моделовању дигиталног филтра коришћењем *Xilinx*-овог софтверског алата (System Generator). Пажња је посвећена могућностима које пружа конструктивно решење дигиталног радио-релејног уређаја, примена телекомуникационих сервиса и софтверских агената.

Познавање архитектуре радио-релејних уређаја, аутоматских система и модела комуникације је предуслов за детерминисање модела технологије одржавања, модела испомоћи нижим нивоима одржавања и моделовања модернизације аналогног филтра. Све то је у циљу повећања ефикасности одржавања дигиталних радио-релејних уређаја. Избор модела технологије и организације одржавања је важан за ефикасан систем одржавања. У дисертацији је приказан оптимални модел технологије и организације одржавања са крајњим циљем ефикасног одржавања. Циљ истраживања је био да се:

- детерминише модел технологије одржавања дигиталних радио-релејних уређаја, чијом применом се обезбеђује поуздан рад уређаја,
- научном методом изабере оптимална организација одржавања, која ће омогућити ефикасно одржавање,
- истражи аспект технолошког унапређења, заснован на принципу модернизације аналогног филтра са циљем побољшања конструктивних карактеристика уређаја и технологије одржавања,
- применом даљинског надзора путем радио-релејног линка, примени детерминисани модел технологије са циљем ефикасног одржавања.

У циљу провере постављених хипотеза у докторској дисертацији је, у лабораторијским условима, примењен детерминисани модел технологије одржавања. Такође, путем рачунарског моделовања извршен је избор оптималног модела организације одржавања и модел дигиталног филтра којим се побољшавају конструктивне карактеристике уређаја и тиме технологија одржавања.

Анализом изведеног истраживања могуће је извести следеће закључке:

- 1- укључујући конструктивне карактеристике радио-релејног уређаја и карактеристике аутоматског мерног места детерминисан је модел технологије који омогућује ефикасно одржавање уређаја,
- 2- могуће је унапредити конструктивне карактеристике уређаја и технологију одржавања уколико се аналогни филтар модернизује са дигиталним филтром,
- 3- коришћење система за даљински надзор над радом уређаја омогућена је применом детерминисаног модела технологије путем радио-релејног линка,
- 4- модел организације одржавања обезбеђује примену детерминисаног модела технологије, а проблем избора оптималне организације одржавања је сведен у начуне оквире,
- 5- оптимална варијанта организације одржавања омогућује ефикасну примену модела технологије чиме је повећана оперативна готовост, уз смањење трошкова одржавања.

У спроведеном истраживању приликом детерминисања технологије и избора оптималног модела организације одржавања, акценат је дат на логистичком батаљону који представља, у техничко-технолошком и организационом смислу спрегу између корисника средстава и највишег нивоа одржавања.

Нормативна документа по којима је уређен систем одржавања у Војсци Србије уопштено детерминишу одржавање различитих техничких система, различите конструктивне сложености. Кроз реализовано истраживање, у границама дефинисаним нормативним документима, постигнут је циљ истраживања.

Генерално посматрано, реализовано истраживање омогућава остварење следећих ефеката у Војсци Србије:

- поуздан рад радио-релејних уређаја у оквиру покретног телекомуникационог центра (радио-релејног система), чиме се повећавају оперативна и функционална способност Војске Србије,
- напуштање рада у постојећем и прелазак у виши фреквенцијски спектар,
- смањење трошкова одржавања – остварује се знатна уштеда у одржавању, како предложеним моделом организације, тако и применом одржавања путем радио-релејног линка,
- перманентно унапређење – тежња ка вишој поузданости, ефикаснијем одржавању представља природну потребу да се унапређују конструктивне карактеристике и систем одржавања.

## 6.1 Научни допринос дисертације

Докторска дисертација представља конкретан допринос истраживањима у области: телекомуникација, теледијагностици и дијагностици и одржавању техничких система. Примена праћења дијагностичких параметара уређаја и њихова примена у реализацији превентивног и корективног одржавања, је још увек недовољно истражена. Подразумева се да је оптимизација организације одржавања, заснована на моделу технологије базираној на дијагностичким методама, недовољно истражена. У оквиру ове докторске дисертације сакупљена су бројна искуства истраживача и самог произвођача уређаја који су се бавили експерименталним и теоријским истраживањима из ове области.

Како је истакнуто, проблематика која је тема дисертације је веома актуелна и заокупља све већу пажњу научне и стручне јавности, јер се ради о интересовањима из већег броја научних области, што јој даје мултидисциплинарни карактер. Након детаљног увида у домаћу литературу, радове из области одржавања и нормативних докумената Војске Србије којима је уређена област одржавања техничких система, намеће се констатација да се овој проблематици не посвећује довољна пажња. Војска Србије врши набавку савремених телекомуникационих уређаја, оспособљава кадар за одржавање, набавља опрему у складу са постојећим правилницима. При томе су од изузетног значаја кључни елементи система одржавања: концепција, технологија и организација одржавања. Инсистира се на развоју, модернизацији, оптимизацији одржавања, смањењу трошкова одржавања, у циљу побољшања перформанси система одржавања. То подразумева примену таквих решења која ће допринети повишењу поузданости техничких система.

*Теоријски допринос докторске дисертације* огледа се у проученој проблематици детерминисања модела технологије и организације одржавања и њиховом утицају на укупан систем одржавања. Због тога што је технологија примењива само уколико се односи на конкретно средство, није било пуно радова у којима су анализирана могућа решења детерминисања модела технологије. Како организација одржавања омогућује

примену технологије, тако је и овај део недовољно садржан у радовима. Коришћење радио-релејног уређаја као рутера у систему даљинског надзора чиме је омогућен приступ неком од уређаја у мрежи радио-релејних уређаја, омогућена је примена превентивног и корективног одржавања. И ова област нема конкретне примере примене. Модернизација аналогног филтра са дигиталним филтром, заснованом на каскадној вези периодичног модел филтра и маскирајућег филтра није довољно истражена и примењена, а показано је да се може постићи побољшање. Докторска дисертација је указала на сву сложеност и значај ефикасне технологије и организације одржавања, поузданост и оперативну готовост уређаја и може да буде користан извор за даља истраживања.

*Емпиријски допринос докторске дисертације* представљају вишегодишњи резултати истраживања који су потврдили полазне хипотезе. Добијени резултати, који су проистекли из експерименталног рада, указују на могућност примене истих у Војсци Србије, што може да допринесе значајном времену оправке (погодност за одржавање), смањи трошкове одржавања, повећа оперативну готовост уређаја и допринесе повећању укупне поузданости радио-релејног система у којем је предметни уређај уграђен.

Постављене хипотезе у истраживању су доказане, а истраживањем је потврђена корелација између савремених телекомуникационих технологија и поузданости техничких система у процесу одржавања.

Резултати добијени имплементацијом модела технологије и организације одржавања, као и предложеног модела дигиталног филтра, недвосмислено указују на предности који се могу остварити улагањем и успостављањем истраживаног система одржавања.

## 6.2 Доказивање главних хипотеза

Истраживање у оквиру ове дисертације имало је за основни циљ детерминисање таквог модела технологије, који заједно са моделом организације одржавања омогућује већу готовост уређаја уз мање трошкове одржавања. Даље, модернизацијом аналогног филтра савременим дигиталним филтром побољшају се технолошки аспекти одржавања уз одржив ниво поузданости уређаја.

Постављени циљ остварен је доказивањем следећих хипотеза:

1-Хипотеза по којој је могуће детерминисати модел технологије дигиталних радио-релејних уређаја у складу са конструктивним и техничким карактеристикама уређаја, при чему је могућа реализација аутоматског мерног места за мерење битних параметара уређаја, при чему је:

*Истраживање показало да је имплементацијом детерминисаног модела технологије, аутоматским мерним местом, остварено мерење 330 битних параметара уређаја помоћу којих се може остварити увид у исправност уређаја, ближе локализовање грешке и квалитетније завршно испитивање уређаја.*

2-Хипотеза по којој је могуће научним методама вишекритеријумске анализе одредити оптималну организацију одржавања која обезбеђује реализацију детерминисаног модела технологије дигиталних радио-релејних уређаја, при чему је:

*Истраживање показало да је применом три врсте метода вишекритеријумске анализе, чиме је проблем дефинисања модела организације и примене детерминисаног модела технологије сведен у научне оквире, одређена оптимална организација одржавања дигиталних радио-релејних уређаја. Оптималност организације одржавања је постигнута по критеријумима оперативне готовости и трошкова*

*одржавања, јер је предложеном варијантом организације и технологије повећана готовост уз најмање трошкове одржавања.*

3-Хипотеза по којој је могуће извршити модернизацију аналогног RF филтра одговарајућим савременим дигиталним филтром чиме се побољшава поузданост и унапређује технолошки програм одржавања, при чему је:

*Истраживање показало да модел филтра који се састоји из каскадне везе периодичног модел филтра и маскирајућег филтра има повољнију (ужу амплитудску карактеристику) филтарску карактеристику од аналогног филтра. Реализација дигиталног филтра је финансијски пуно повољнија. Интезитет отказа модула филтра је за ред величина мањи, чиме је поузданост модула и целог уређаја повољнија.*

4-Хипотеза по којој је, на основу детерминисаног модела технологије, могуће реализовати превентивно и корективно одржавање уређаја путем радио-релејног линка, при чему је:

*Истраживање показало да улога радио-релејног уређаја као рутера у мрежи радио-релејних уређаја може се искористити за примену технологије путем радио-релејног линка. Дијагностички параметри тестирања уређаја користе се за реализацију превентивног одржавања. Такође, измерени параметри омогућују ближу локализацију грешке у раду уређаја, те на тај начин омогућују брже корективно одржавање. На овај начин омогућено је да виши нивои одржавања пруже стручну помоћ у одржавању, нижим нивоима одржавања.*

Постављени циљеви и хипотезе су доказани у лабораторијским условима при чему је показана њихова примењивост.

### **6.3 Предлог даљих истраживања**

Актуелност проблематике детерминисања модела технологије, организације и конструктивних унапређења, истраживање реализовано у оквиру ове докторске дисертације, као и добијени резултати, упућују да има простора и потребе за наставком истраживања. На основу резултата и закључака датих у претходним поглављима, предлоге даљих истраживања можемо сумирати у следећем:

- ❖ Конструктивно унапређење уређаја модернизацијом аналогног филтра са дигиталним филтром зависи од брзине хардверског развоја електронских кола. Она треба да омогуће одговарајућу фреквенцију одабирања, обзиром на то да уређај ради на вишим фреквенцијама. Из тог разлога даља истраживања би била у смеру испитивања хипотезе конкретне примене модернизованог филтра и снимање унапређених техничких карактеристика самог уређаја.
- ❖ Детерминисани модел испомоћи нижем нивоу одржавања путем радио-релејног линка моделован је и испитан у лабораторијским условима. Будућа истраживања треба да дају одговор на то како би се, ради читавања битних параметара уређаја, даљинским путем приступило неком од радио-релејних уређаја у мрежи радио-релејних уређаја, када је мрежа распоређена по целој територији Републике Србије.
- ❖ Применом метода вишекритеријумске анализе изабран је оптимални модел организације одржавања. У истраживањима се дошло до резултата да је четврта предложена варијанта организације одржавања оптимална. При томе је оперативна готовост повећана, а трошкови одржавања минимални у односу на

остале предложене варијанте. Потребно је модел организације и технологије применити у пракси и након одређеног временског периода сагледати ефикасност елемената система одржавања.

- ❖ На основу података из експлоатације уређаја сагледати који модули радио-релејног уређаја ГРЦ 408Е најчешће отказују. Из досадашњих података експлоатације уређаја највише отказа је било због модула једносмерног напајања, модула напајања појачавача снаге и модула предајника. Даља истраживања је могуће усмерити у правцу конструктивне модернизације наведених модула.

## 7 ЛИТЕРАТУРА

- [1] M. R. Stojić, *Digitalni sistemi upravljanja*, Univerzitet u Beogradu 1998.,
- [2] R.K. Simić, *Digitalne telekomunikacione mreže*, Akademski misao, 2005.,
- [3] B. C. Kuo, F. Golnaraghi: *Automatic Control Systems*, Eighth Edition, Appendix I, Discrete-data Control Systems, 2003.,
- [4] D. Ibrahim: *Microcontroller Based Applied Digital Control*, John Wiley & Sons, 2006.,
- [5] Ž. Đurović, B. Kovačević: *Digitalni signali i sistemi, pregled teorije i rešeni zadaci*, Akademski misao, 2004.,
- [6] K. Ogata: *Discrete-time Control Systems*, Second Edition, Pentice Hall, 1995.,
- [7] S. N. Vukosavić, *Digitalno upravljanje električnim pogonima*, Akademski misao 2003.
- [8] S.N. Vukosavic, *Digital Control of Electrical Drives*, Springer 2007.,
- [9] W. Leonhard, *Control of Electrical Drives*, Springer - Verlag 1999.,
- [10] *Digitalni radio-relejni uređaji*, Institut IMTEL Beograd, 1999.
- [11] R.E. Collin: *Antennas and Radiowave Propagation*, McGraw-Hill, New York, 1985.
- [12] M. P. M. Hall: *Effects of the Troposphere on Radio Communications*, Peter Peregrinus, London, 1979.,
- [13] J. Zatkalik: *Radiolokacija I deo*, Nauka Beograd, 1995.,
- [14] *Visokofrekventne veze: visokofrekventna telefonija i telefonski uređaji nosećih frekvencija, usmerene radio-relejne veze i radio-relejni uređaji*, Vojna štamparija Split, 1975.,
- [15] F. Ivanek: *Terrestrial Digital Microwave Communications*, Artech House, 1989.,
- [16] A. A. Đorđević, D. Tošić: *Mikrotalasna tehnika*, Akademski misao, ETF, Beograd, 2006.,
- [17] D. Dobričić: *Prijemni antenski TV sistemi*, Beograd, 2000.,
- [18] H. Ingvar, P. Thorvaldsen: *Planning of line-of-sight radio reley systems*, Nera 1999.,
- [19] D. Roddy, J. Coolen: *Electronic communications*, Prentice-Hall International Editions, USA 1984, ISBN 0-13-250440-5.,
- [20] V. Radonjić: *Uticaj sredine na prostiranje elektromagnetnih talasa kod digitalnih radio-relejnih uređaja GRC 408E*, Vojnotehnički glasnik 1/2011, Beograd, 2011.,
- [21] V. Radonjić, M.M. Šunjevarić: *Analiza faznih metoda radio-goniometrije u uslovima realnog okruženja*, ETRAN 98, 1998.,
- [22] *Zbirka propisa iz oblasti radio-relejnih sistema, uputstva i pravilnici*, Zajednica JPTT Beograd, 1999.,
- [23] *Pravilnik o kontroli kvaliteta telekomunikacionih sredstava i objekata*, Zajednica JPTT Beograd, 1998.,
- [24] *Uputstvo o načinu korišćenja sistema za daljinsko nadgledanje radio-relejnih stanica*, Zajednica JPTT Beograd, 1990.,
- [25] *"Digitalni višekanalni radio-relejni uređaj serije GRC 408E"*, skripta Vojna akademija Beograd, 2010.,
- [26] *"Multi-channel radio GRC-408E (MCR)"*, korisničko uputstvo, verzija F 2112-09585-00-0A, Elbit Systems, Izrael, 2008.,
- [27] *"Multi-channel radio GRC-408E (MCR)"*, uputstvo za održavanje, verzija F 2112-09586-00, Elbit Systems, Izrael, 2009.,
- [28] *"Multi-channel radio GRC-408E (MCR)"*, tehničko uputstvo, verzija F 2112-09587-00, Elbit Systems, Izrael, 2009.,
- [29] *"Prezentacije sa kursa za 1. i 2. nivo poznavanja i rukovanja RRU GRC-408"*, Elbit Systems Land and C<sup>4</sup>I-Tadiran, 2008.,
- [30] *"Prezentacije sa kursa za 3. i 4. nivo tehničkog održavanja RRU GRC-408"*, Elbit Systems Land and C<sup>4</sup>I-Tadiran, 2009.,
- [31] [www.tadcomm.com](http://www.tadcomm.com)
- [32] V.Radonjić: *Uticaj sredine na prostiranje elektromagnetskih talasa kod digitalnih radio-relejnih veza*, Magistarska teza, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerziteta u Kragujevcu, 2010.,
- [33] M. Ćirić and V. Radonjic: *Realization of Multistage FIR Filters using Pipelining-Interleaving*, TELFOR Journal, Vol. 4, No.2, pp. 107-110, 2012.,
- [34] M. Ćirić, V. Radonjić: *Primena protočne obrade signala na realizaciju FIR filtara*, ETRAN 07, 2007.,



- [35] M. P. Ciric, V. Radonjic, R. Krneta, N. Stefanovic, "FIR Filter Sharpening by Frequency Masking and Pipelining-Interleaving Technique", *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol. 14, no. 4, pp. 65-72, 2014, doi:10.4316/AECE.2014.04010,
- [36] M. Ciric, V. Radonjic: *FIR Filter Sharpening by Frequency Masking and Pipelining-Interleaving Technique*, 6th International scientific conference on defensive technologies OTEH 2014, Belgrade, 2014.,
- [37] S. Minić, Ž. Arsenić: *Modeli održavanja tehničkih sistema*, VIZ Beograd, 1998.,
- [38] M. Tomić, Ž. Adamović: *Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema*, Tehnička knjiga, 1986.,
- [39] Z. Pešić: *Tehnologija održavanja motornih vozila*, VIZ Beograd, 2009.,
- [40] I. Nikolić, S. Borović: *Višekriterijumska optimizacija*, Centar vojnih škola VJ, Beograd, 1996.,
- [41] D. Čatić: *Razvoj i primena metoda teorije pouzdanosti*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2005.,
- [42] G. Ivanović, D. Stanivuković: *Pouzdanost - analiza i projektovanje*, Tehnička uprava SSNO, 1988.,
- [43] M. Barković: *Definiranje održavanja tehničkih materijalnih sredstava u oružanim snagama stranih zemalja*, Naučno-tehnički pregled, br.6, Beograd, 1991.,
- [44] S. Opricović: *Višekriterijumska optimizacija*, Naučna knjiga Beograd, 1986.,
- [45] B. Krstić: *Eksploatacija motornih vozila i motora*, Mašinski fakultet Kragujevac, 1997.,
- [46] Adamović Ž.: "Menadžment industrijskog održavanja", Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 2008. godina,
- [47] Ramović R.: "Pouzdanost sistema elektronskih, telekomunikacionih i informacionih", Katedra za mikroelektroniku i tehničku fiziku, Beograd 2005. godine,
- [48] Petković R., Kokanović M., Čirović M.: "Organizacija održavanja TMS" CVTŠ KoV, Zagreb, 1985. godina
- [49] Kokanović M., Čirović M., Modrić Z.: "Logističko inženjerstvo", CVTŠ KoV, Zagreb, 1988. godina
- [50] Adamović Ž.: "Logistički sistem održavanja", Privredni pregled, Beograd, 1989,
- [51] S. Muždeka: *Logistika – Logističko inženjerstvo*, Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" i SSNO Tehnička uprava Beograd, Vojna štamparija, Split, 1981.,
- [52] D. Jovanović: *Informacioni sistem logistike*, Medija centar ODBRANA, Beograd, 2013.,
- [53] Aleksić M.: "Metodologija izbora koncepcija održavanja kompleksnih brodskih sistema", doktorska disertacija, Vojna akademija, Beograd, 2006.,
- [54] John Langford: "Logistics: Principles and Applications", 2nd Ed. (McGraw-Hill Logistics Series), ISBN-10: 007147224X, ISBN-13: 9780071472241, McGraw-Hill Professional, 2006,
- [55] Benjamin S. Blanchard: "Logistics Engineering & Management" (6th Edition), ISBN-10: 0131429159, ISBN-13: 9780131429154, Prentice Hall, 2003.,
- [56] James H. Henderson: "Military Logistics Made Easy: Concept, Theory, and Execution", ISBN-10: 1434374920, ISBN-13: 9781434374929, AuthorHouse, 2008.,
- [57] James H. Henderson: "Logistics In Support Of Disaster Relief", ISBN-10: 1434334708, ISBN-13: 9781434334701, AuthorHouse, 2007.,
- [58] James H. Henderson: *The Process of Military Distribution Management: A Guide to Assist Military and Civilian Logisticians in Linking Commodities and Movement*, ISBN-10: 1425945252, ISBN-13: 9781425945251, AuthorHouse, 2006.,
- [59] G. Don Taylor: *Logistics Engineering Handbook*, ISBN-10: 084933053X, ISBN-13: 9780849330537, CRC Press, 2007.,
- [60] John E. Edwards: *Combat Service Support Guide*, ISBN-10: 0811731553, ISBN-13: 9780811731553, Stackpole Books, 2004.,
- [61] William G. T. Tuttle Jr.: *Defense Logistics for the 21st Century*, ISBN-10: 1591148839, ISBN-13: 9781591148838, US Naval Institute Pre, 2005.,
- [62] Satish C Ailawadi, Rakesh Singh: *Logistics Management*, ISBN-10: 8120327802, ISBN-13: 9788120327801, Prentice-Hall of India Pvt.Ltd, 2005.,
- [63] Kent Gourdi: *Global Logistics Management*, ISBN-10: 1557868832, ISBN-13: 9781557868831, Wiley, 2000.,
- [64] Craig Voortman: *Global Logistics Management*, ISBN-10: 0702166413, ISBN-13: 9780702166419, Juta Academic, 2004.,

- [65] M.R.Belmont, R.J. Bland, C.A. Brookes, J.Knežević: *Determination of a Strategy for Dynamic Control of Maintenance Processes for Elektric Vehicle Components*, XXI FISITA Congress, Beograd 1986.
- [66] Zelenika, R., Pupavac, D.: *Menadžment logističkih sustava*, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci i IQ PLUS d.o.o. Kastav, Rijeka, 2008.,
- [67] Zelenika, R.: *Logistički sustavi*, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2005.,
- [68] М. Павлић: “Систем анализе и моделирање података“, ИДП Научна књига, Бгд, 1990.,
- [69] Истраживачки пројекат: „Концепт развоја служби логистике“, ГШ ВС – Управа за логистику: (Наређење Начелника Управе за логистику ГШ ВС (Ј-4), Инт. број 128-1, од 21.01.2009. године),
- [70] Андрејић М., Соколовић В., Миленков М.: *Концепт развоја служби логистике*, Војнотехнички гласник, ISSN 0042-8469, UDC 623 + 355/359, UDC: 355.41, број 4, година 2010, стр. 37-62, Београд, научни чланак.,
- [71] Petrović S.: *"Mogućnosti poboljšanja procesa održavanja tehničkih sistema u VS"*, Mašinski fakultet u Nišu, 2011.,
- [72] *"Pravilo tehničke službe"*, TU SSNO, Beograd, 1979.,
- [73] *"Pravilnik o održavanju sredstava NVO u MO i VS"*, SVL, Beograd, 2013.,
- [74] Vasić B.: *"Neodređenosti u održavanju"*, NIRO OMO, Beograd, 1997.,
- [75] Vujanović N.: *"Teorija pouzdanosti tehničkih sistema"*, VINC, Beograd, 1990.,
- [76] Lohmann V.: *"Integrated Substation Automation Enable New Strategies For Power T&D"*, ABB Power Automation Ltd, Baden/Switzerland,
- [77] Netherton D.: *"Failure Mode"*, <http://athoscorp.com/Failure> Mode,
- [78] Continuous Maintenance, <http://www.spear.navy.mil/spam/SSDS/FMA/index.htm>,
- [79] *Maintenance Programs and Terminology* <http://www.spectraquest.com/products.html>,
- [80] Adamović Ž.: *"Tehnička dijagnostika"*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1998.,
- [81] *OSA-CBM Glossary*, <http://www.osacbm.org>,
- [82] Fitch J.: *"what is Proactive Maintenance?"*, <http://maintenanceresources.com>,
- [83] Woodhouse J.: *"Combining the best lits of RCM, RBI, TPM, TQM, Six-Sigma and other solutions"*, The Woodhouse Partnership Ltd,
- [84] Wright E.: *"Defense Asquisition management: A Reader"*, US Naval Postgraduate Schools, ISBN 978-1-4502-2610-3, 2010.,
- [85] Aleksić M.: *"Dijagnostika i održavanje elektronskih sistema na brodu"*, skripta u pripremi,
- [86] Barković M.: *"Prilog optimizaciji višenivojskog sistema održavanja elektronskih sredstava"*, Doktorska disertacija, VVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1989.,
- [87] Đorđević D.: *"Optimizacija periodičnosti preventivnog održavanja motornih vozila na bazi kriterija gotovosti"*, magistarski rad, VVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1986.,
- [88] Radonjić V.: *"Analiza radio-goniometrijskih metoda fazne interferometrije"*, specijalistički rad, TF Čačak, 2005.,
- [89] V.Radonjić: *"Primena savremene metode tehničke dijagnostike u funkciji unapređenja održavanja radio-relejnih uređaja"*, Vojnотехнички гласник број 2/2012, Београд, 2012.,
- [90] Todorović P., Jeremić B., Mačuzić I.: *"Tehnička dijagnostika"*, Mašinski fakultet Kragujevac, 2009.,
- [91] Radoičić G.: *"Održavanje kao element integralne logističke podrške u sistemu pružanja komunalnih usluga"*, simpozijum transport i logistika, Niš, 2008.,
- [92] Josipović N.: *"Tehnološka globalizacija i specijalizacija proizvodnje"*, Beograd, 2001.,
- [93] Jeremić M.B.: *"Terotehnologija, tehnologija održavanja tehničkih sistema"*, ESKOD, 1992.,
- [94] Todosijević M.: *"Uticaj održavanja i remonta na radnu sposobnost mašina za građevinske radove"*, IMK 14.oktobar Kruševac, 2006.,
- [95] Topić G.: *"Modeliranje poslovnih procesa i optimizacija ljudskih resursa u složenim poslovnim sistemima"*, ERP&Business Processes, Zagreb, 2004.,
- [96] Žugaj M.: *"Osnove znanstvenog i stručnog rada"*, Zagreb r.o. za grafičku delatnost, Samobor, 1989.,
- [97] Minić S., Arsenić Ž., Todorović J.: *"Trade-off model preventivnog održavanja tehničkih sistema"*, Vojnотехнички гласник број 6/1996, Београд, 1996.,
- [98] Minić S., Arsenić Ž.: *"Programski paket PROFAZ za upravljanje procesom preventivnog održavanja"*, Vojnотехнички гласник број 6/1997, Београд, 1997.,

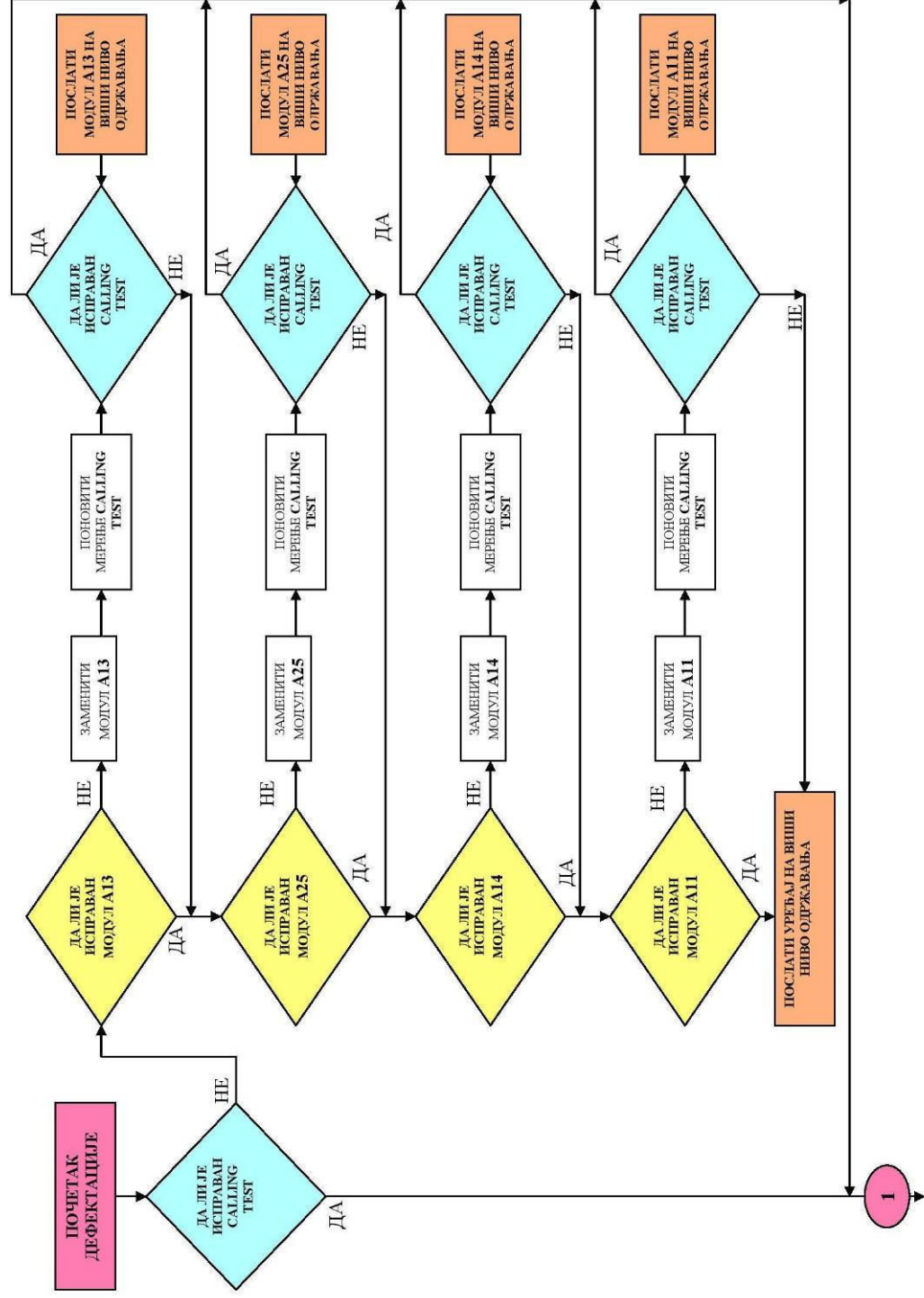
- [99] Korolija D.: "Model korektivnog održavanja elektronskih uređaja u sistemu održavanja sa više nivoa", Vojnotehnički glasnik broj 6/1997, Beograd, 1997.,
- [100] Čosović D.: "Ispitivanje pogodnosti za održavanje elektronskih uređaja", Vojnotehnički glasnik br. 6/2003, Beograd, 2003.godina, UDC:621 38-7:519.23
- [101] Čosović D.: "Statističke metode za ispitivanje pogodnosti za održavanje uređaja", Vojnotehnički glasnik br. 4-5/2003, Beograd, 2003.godina, UDC:62-7:519.23
- [102] Stefanović R.: "Postojeći mobilni radio-komunikacioni sistemi i pogodnost za njihovo korišćenje u VJ", Vojnotehnički glasnik broj 6/1997, Beograd, 1997.,
- [103] Đurković S.: "Razrada tehnološkog postupka pri ugradnji i opremanju instrumenata u vazduhoplovu", Vojnotehnički glasnik broj 4/2011, Beograd, 2011.,
- [104] Sokolović V., Pavlović S., Janković D.: "Analiza modela održavanja vazduhoplova", Vojnotehnički glasnik broj 4/2011, Beograd, 2011.,
- [105] M.Andrejić, M.Milenkov, V.Sokolović: "Logistički informacioni sistem", Vojnotehnički glasnik, broj 1/2010, Beograd,
- [106] "Uputstvo za rad jedinica za tehničko održavanje i srednji remont", GŠVJ Tehnička uprava, Beograd, 1997.,
- [107] Electronics, Integrated Publishing <http://www.tpub.com>,
- [108] S.Pokorni: "Pouzdanost, raspoloživost i održavanje informaciono komunikacionih sistema", INFOTEH – Jahorina, 2011.,
- [109] S.Petrović: "Analiza mogućnosti primene koncepta održavanja borbenih vozila prema stvarnom stanju, OTEH Beograd, 2009.,
- [110] M.Andrejić, M.Milenkov: "Tehnička podrška", recenzirani udžbenik, Univerzitet odbrane Vojna akademija, Beograd, 2008.,
- [111] Vukas D.: "Rekonfiguracija sistema prenosa u mobilnoj telefoniji iz mešovite topologije zvezda i lanac u topologiju prstena", Mobtel, Beograd, 2003.,
- [112] Zečević M., Obradović D., Radan B.: "Novi softver za daljinsko nadgledanje i upravljanje mrežom digitalnih radio-relejnih uređaja", TELFOR 2006, Beograd, 2006.,
- [113] Stanić M., Mičić N., Vulićević V.: "Organizacija softverskog sistema SUNCE+", TELFOR 2010, Beograd, 2010.,
- [114] Obradović D., Zečević M., Livrinić J.: "Daljinski nadzor i upravljanje mrežom digitalnih radio-relejnih uređaja u mobilnoj telefoniji Srbije", Institut IMTEL Beograd, 2004.,
- [115] Obradović D., Zečević M., Lukić N.: "Realizacija sistema daljinskog nadgledanja i upravljanja radio-relejne mreže MTS-a", TELFOR 2006, Beograd, 2006.,
- [116] Jovanović P, Bojović Ž., Mičić Z.: "GIS softver za projektovanje i održavanje radio-relejne mreže CARRD.net", Institut IMTEL Beograd, 2006.,
- [117] Borović S.: "Ekspertni sistem za rukovođenje tehničkim obezbeđenjem", Doktorska disertacija, CVTŠ KoV JNA "General armije Ivan Gošnjak", Zagreb, 1989.
- [118] V.Radonjic, S.Đukić, D.Jovanovic, M.Ciric, S.Petrovic: Implementation of analytic hierarchy process method in the selection of the optimal maintenance organization for specific purpose devices, Serbian Journal of Electrical Engineering, Vol. 11, No. 3, October 2014,
- [119] V. Radonjić, Jovanović D.: "Održavanje radio-relejnih uređaja primenom savremene metode tehničke dijagnostike", 15.DQM Međunarodna konferencija Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću ICDQM 2012, Beograd, 2012. godine,
- [120] V. Radonjić, Ćirić M., Jovanović D.: "One model of assistance on the lower levels in the maintenance of modern radio-radios GRC systems", 5th International scientific conference on defensive technologies OTEH 2012, Belgrade, 2012.
- [121] V.Radonjić, D.Jovanović, I.Milojević: Tehnološka procedura srednjeg nivoa održavanja savremenih radio-relejnih uređaja, 16. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću" ICDQM-2013 Beograd, str. 465-470,
- [122] V.Radonjić, D.Jovanović, I.Milojević: Proračun parametara pouzdanosti kod uspostavljanja organizacije održavanja radio-relejnih uređaja, 16. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću" ICDQM-2013 Beograd, str. 471-476,
- [123] D.Jovanović, V.Radonjić: Ocena uspešnosti održavanja jedne vrste radio-uređaja, 16. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću" ICDQM-2013 Beograd,
- [124] D.Jovanović, V.Radonjić: Određivanje parametara pogodnosti za održavanje radio-relejnih uređaja primenom grafičke metode, 16. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću" ICDQM-2013 Beograd,

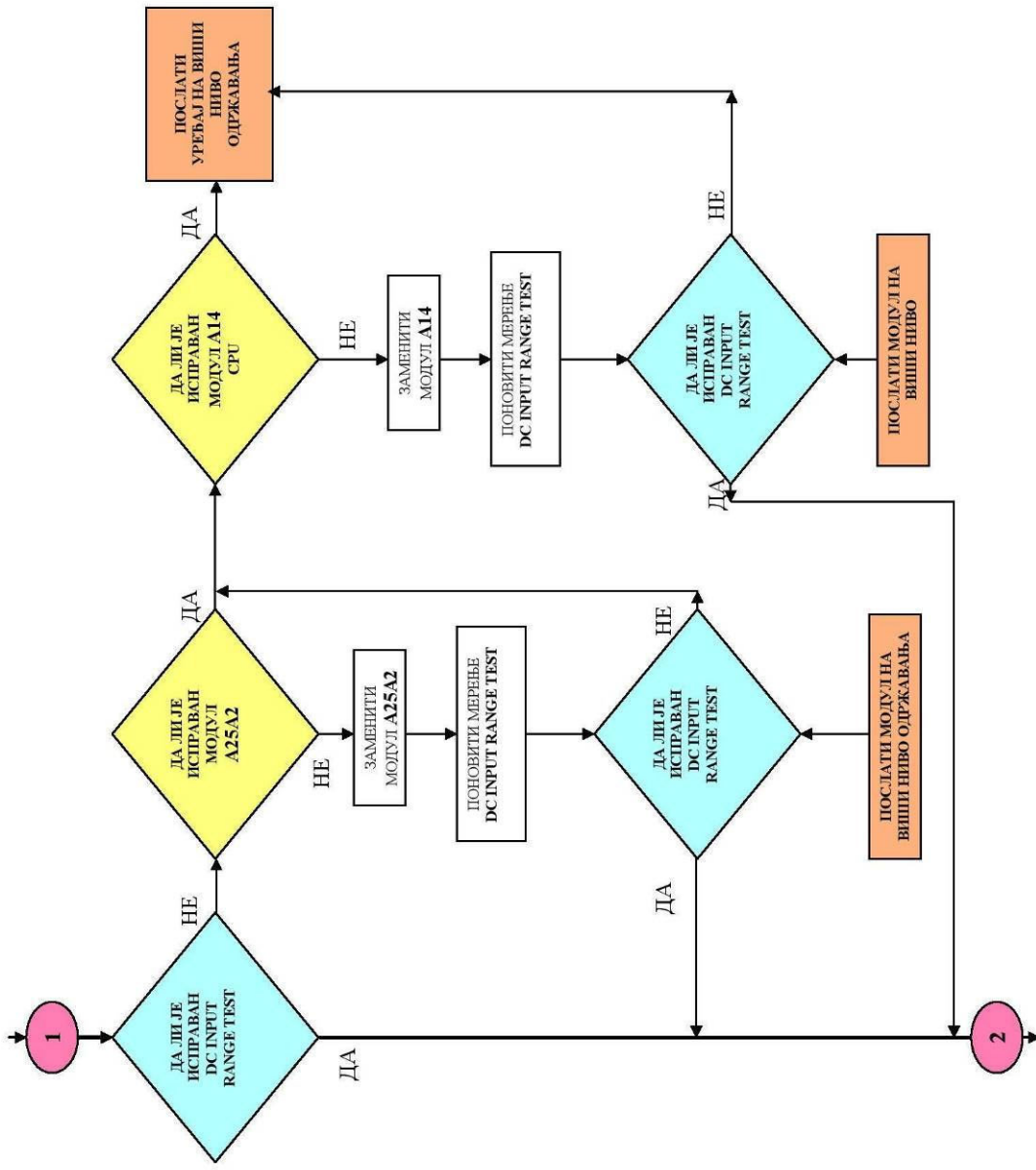
- [125] V.Radonjić, M. Andrejić, D.Jovanović, I.Epler: *Organizacija tehnološkog procesa remonta složenih tehničkih sistema u Tehničkom remontnom zavodu u Čačku*, 16. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću" ICDQM-2013 Beograd,
- [126] V.Radonjić, S.Petrović, M.Andrejić, D.Jovanović: *Izbor optimalne organizacije održavanja uređaja posebne namene primenom metode višekriterijumske analize PROMETHEE II*, 17. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću" ICDQM-2014 Beograd,
- [127] V.Radonjić, S.Petrović, M.Andrejić, D.Jovanović: *Model koncepta održavanja prema stanju uređaja posebne namene*, 17. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću" ICDQM-2014 Beograd,
- [128] V.Radonjic, M.Ciric, M.Andrejic, S.Petrovic: *Implementation of analytic hierarchy process method in the selection of the optimal maintenance organization for specific purpose devices*, 6th International scientific conference on defensive technologies OTEH 2014, Belgrade, 2014.,
- [129] V. Radonjić, M. Andrejić, I. Epler: *Organizacija tehnološkog procesa remonta složenih tehničkih sistema u Tehničkom remontnom zavodu u Čačku*, MilitaryTechnicalCourier/Vojnotehnički glasnik, Beograd, бр. 2/2014, broj stranica 23,
- [130] V.Radonjić, D.Jovanović, M.Ćirić: *Optimalni model koncepta održavanja radio-relejnih uređaja*, MilitaryTechnicalCourier/Vojnotehnički glasnik, Beograd, бр. 3/2014, broj stranica 23 (dvadeset tri),
- [131] V.Radonjić, D.Jovanović, G.Živanović, B.Resimić: *Unapređenje balističkih karakteristika i održavanja zaštitnih balističkih prsluka*, MilitaryTechnicalCourier/Vojnotehnički glasnik, Beograd, бр. 4/2014, broj stranica 16 (šesnaest),
- [132] V.Radonjić, S.Đukić, D.Jovanović, S.Petrović: *Unapređenje održavanja uređaja specijalne namene realizacijom modernizacije analognog filtra*, MilitaryTechnicalCourier/Vojnotehnički glasnik, Beograd, бр. 3/2015, broj stranica 28 (dvadeset osam),
- [133] Vojni standard MIL-STD-470 I 471A: *"Pogodnost za održavanje sistema i uređaja"*, prevod sa engleskog, TU SSNO, 1984. godina,
- [134] Vojni standard MIL-HDBK-217D :*"Reliability Prediction of Electronic Equipment"*,
- [135] Vojni standard MIL-HDBK-217F: *" Reliability prediction of electronic equipment"*,1991.,
- [136] Vojni standard MIL-HDBK-217F: *" Reliability prediction of electronic equipment"*, Notice 2, 1995.,
- [137] Denson W.: *"Reliability assessment of critical electronic components"*, RL-TR-92-197, Final Technical Report, 1992.,
- [138] [www.promethee-gaie.net/software.html](http://www.promethee-gaie.net/software.html) (22.02.2014.),
- [139] [www.expertchoice.com](http://www.expertchoice.com) (27.04.2014.),
- [140] S. Prvulović, D. Tolmač, Đ. Nikolić: *" Primena PROMETHEE II metode u dijagnostici uspešnosti proizvoda od gume "* Teh. dijagnostika, br. 3, 2008. god.,
- [141] J.P. Brans, B. Mareschal, Ph. Vincke: *" How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method"*, European Journal of Operational Research, 24(2): 228-238,, 1986. godina,
- [142] M. Čupić, M. Suković, *Višekriterijumsko odlučivanje - metode i primeri*, Univerzitet "Braća Karić", Beograd, 1995.,
- [143] T. Saaty, *An Eigenvalue Allocation Model for Priorization and Planning*, University of Pennsylvania, 1972.,
- [144] J.P. Brans, Jean-Pierre, B. Mareschal. "PROMETHEE methods." *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. Springer New York, 2005. 163-186,
- [145] Čupić M., Tummala R.V.M. Suknović M.: *"Odlučivanje: Formalni pristup"*, FON, Beograd, 2001.,
- [146] Devetak M.S., Terzić R.M.: *"Primena metode analitičkih hijerarhijskih procesa u izboru optimalnog taktičkog radio-sistema"*, Vojnotehnički glasnik, 2011., No3,
- [147] Terzić M.: *"Primena metode višekriterijumskog odlučivanja u nabavnoj funkciji sistema odbrane korišćenjem softvera EXPERT CHOICE"*, Vojno delo Beograd, 2010.,
- [148] Čupić A., Blagojević M., Marković D.: *"Kombinovani pristup određivanju težinskih koeficijenata za izbor tehničkog sistema"*, Tehnička dijagnostika br. 4, 2007.,

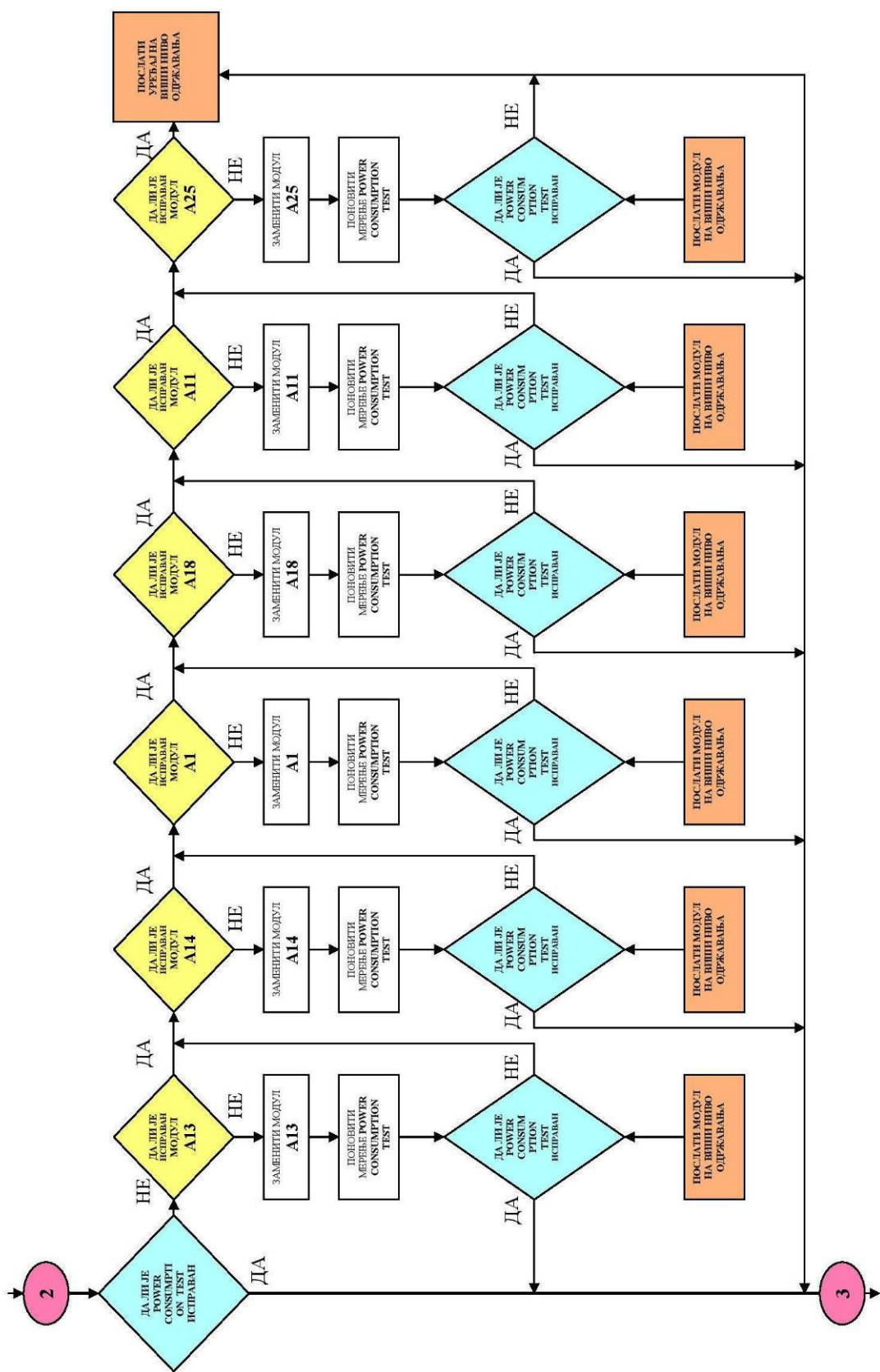
- [149] Draginčić J., Marković V.,: *"Kombinovanje metoda AHP i PROMETHEE pri izboru najpogodnijeg rešenja oblaganja kanala za navodnjavanje"*, Vodoprivreda 0350-0519, 45(2013),
- [150] Adamović Ž., Stanković N., Savić B.,: *"Pouzdanost mašina i postrojenja"*, StylosArt, N.Sad, 2011.,
- [151] <http://www.buyaltera.com/scripts/partsearch.dll>
- [152] <http://www.analog.com/en/digital-to-analog-converters/high-speed-da-converters/products/index.html>
- [153] Radonjić V., Đukić S., Jovanović D., Ćirić M.,: *"Poboljšanje modela tehnologije srednjeg nivoa održavanja radio-relejnih uređaja"*, Vojnotehnički glasnik 4/2015.,
- [154] Kaiser, F.J., & Hamming, R.W.: *Sharpening the response of a symmetric nonrecursive filter by multiple use of the same filter.*, IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. ASSP-25, pp 415-422, 1977.,
- [155] Poucki, V.M., Ženuva, A., Lutovac, M.D., & Karcnik, T.: *Eliptic IIR filter sharpening implemented on FPGA*, Digital Signal Processing 20 (2010), pp 13-22, 2009.,
- [156] V.Radonjić, S.Đukić, I.Milojević, D.Jovanović: *Primena kombinacije metoda višekriterijumske analize kod izbora optimalne organizacije održavanja radio-relejnih uređaja*, 18. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću" ICDQM-2015 Prijevor, 2015,
- [157] D.Jovanović, V.Radonjić, I.Milojević: *Primena logističkog kontrolinga pri kreiranju proizvodnog informacionog sistema*, 18. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću" ICDQM-2015 Prijevor, 2015.

Модел алгоритма дефектације исправности и замене саставних модула уређаја

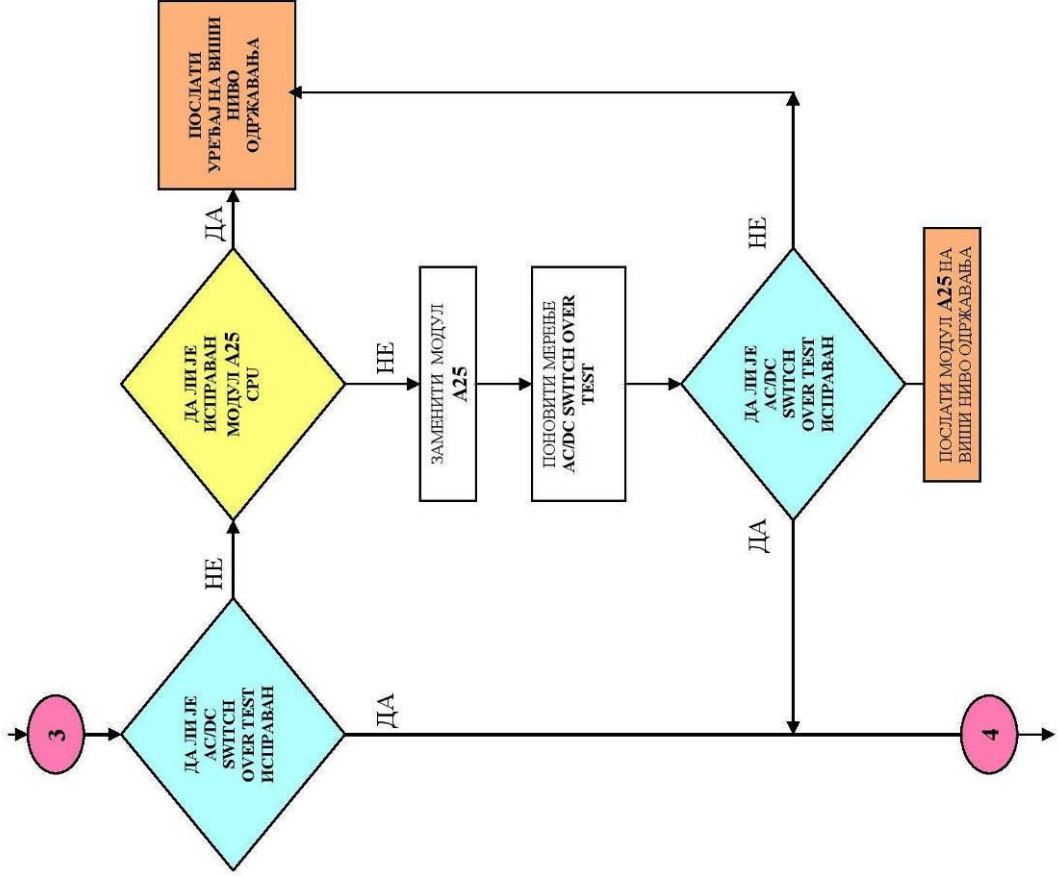
Прилог 1

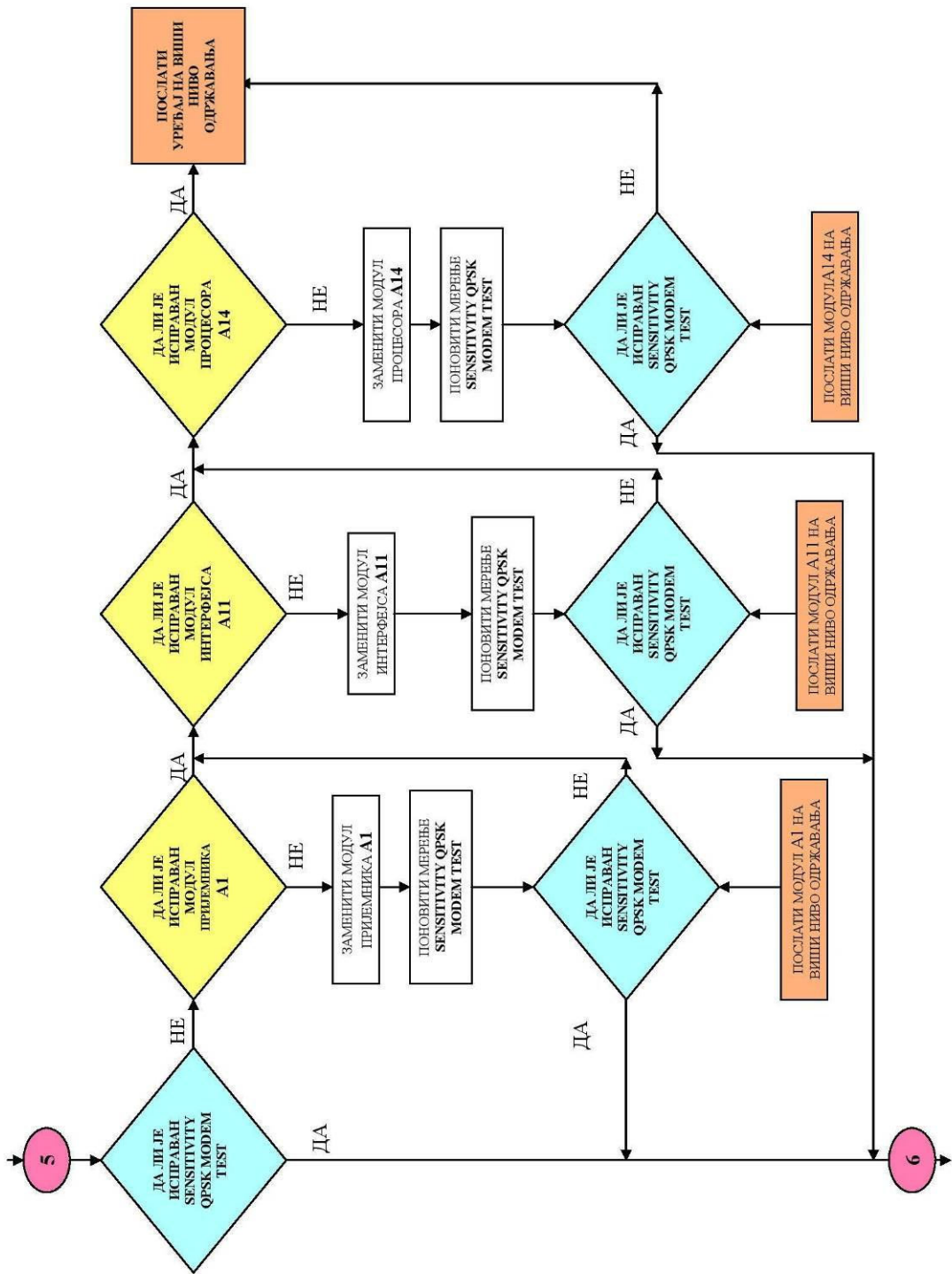


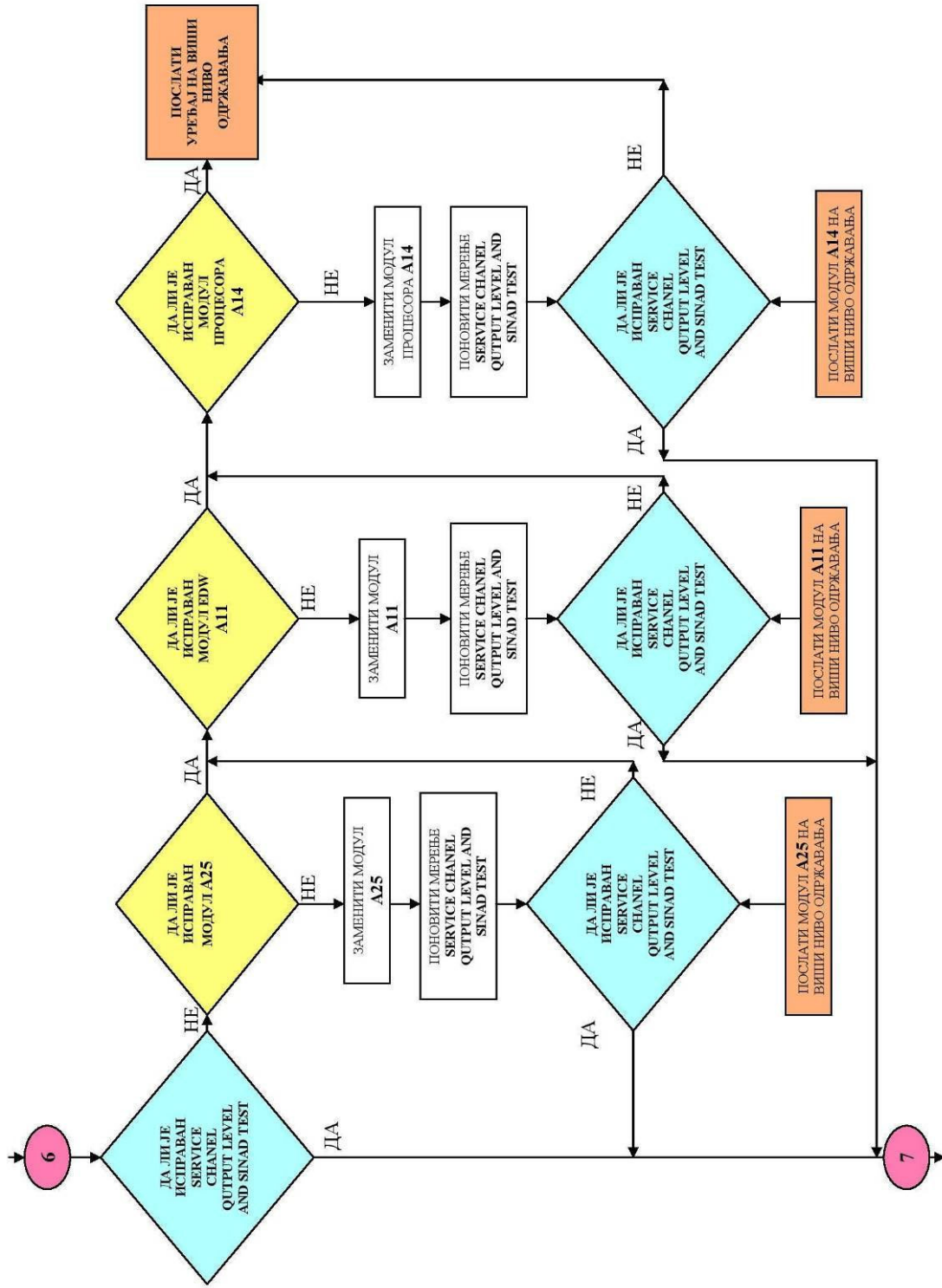


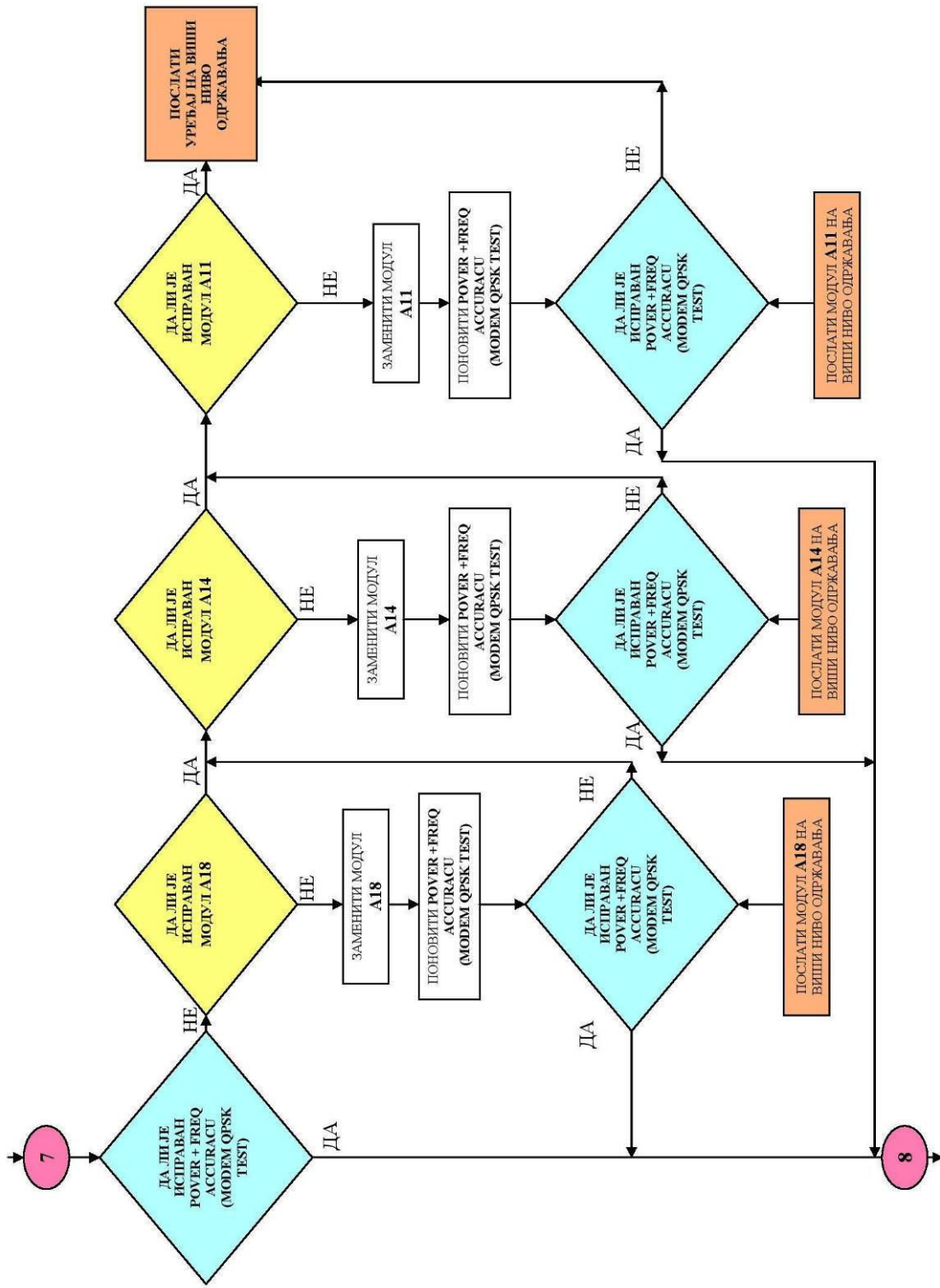


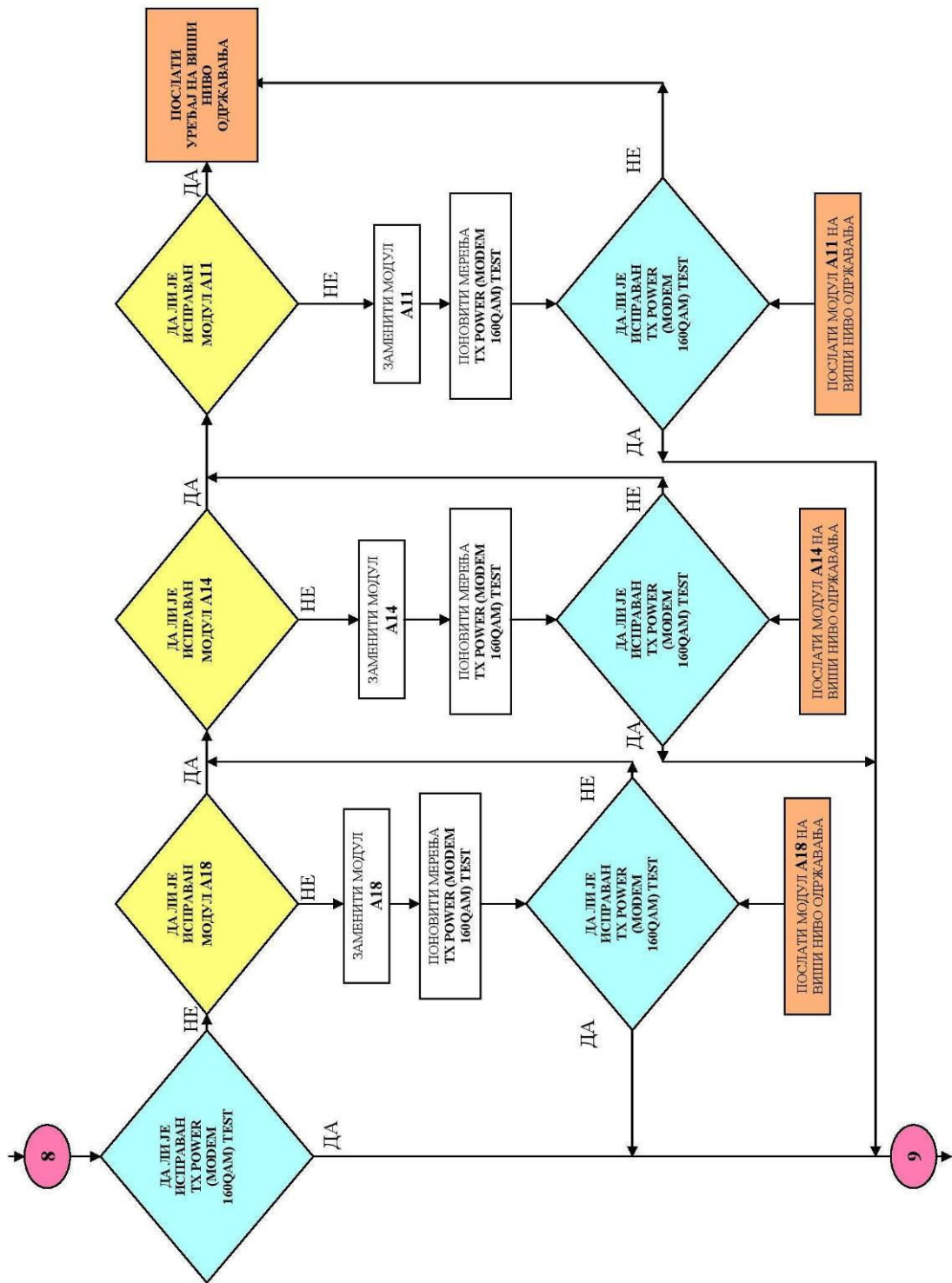


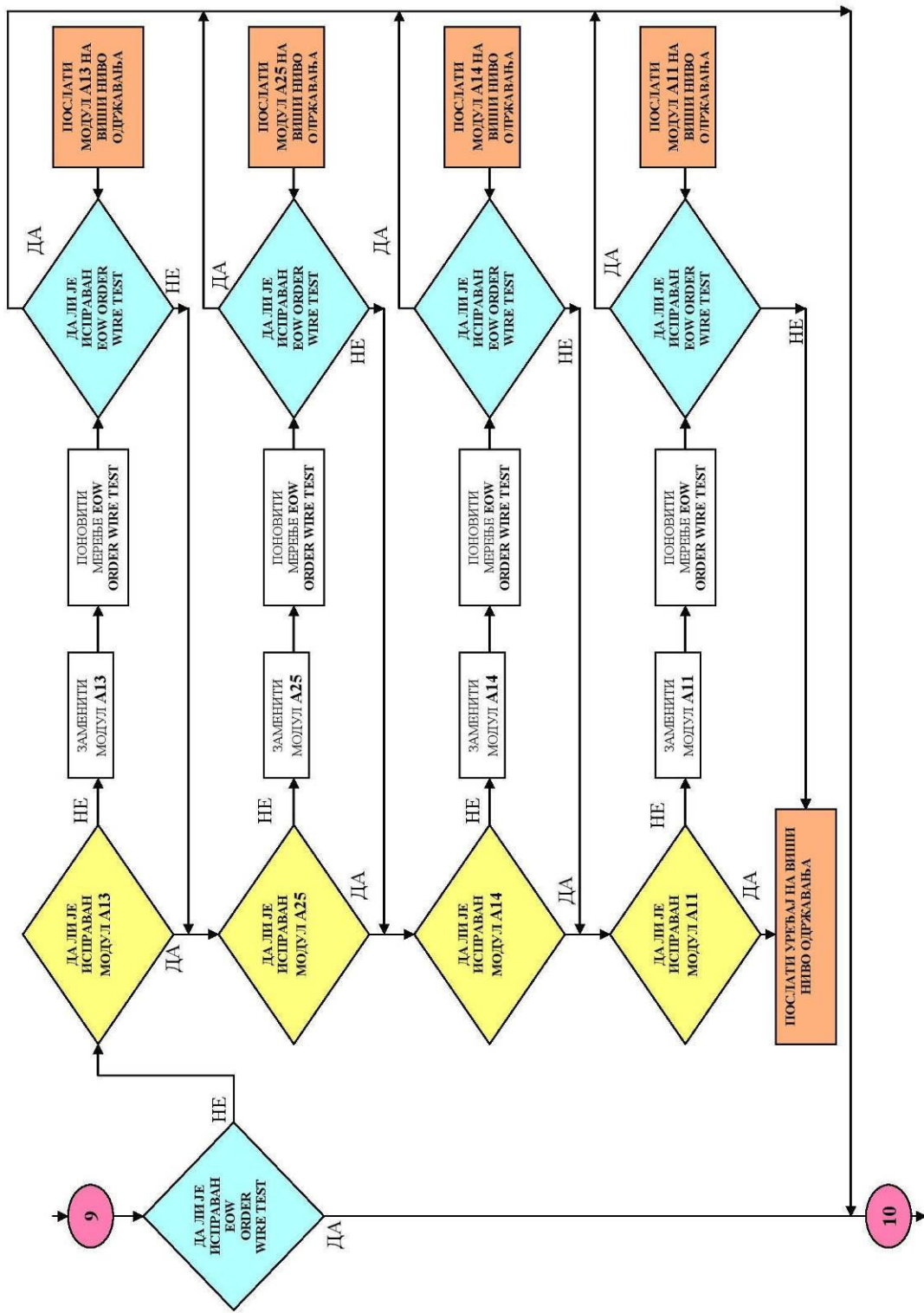


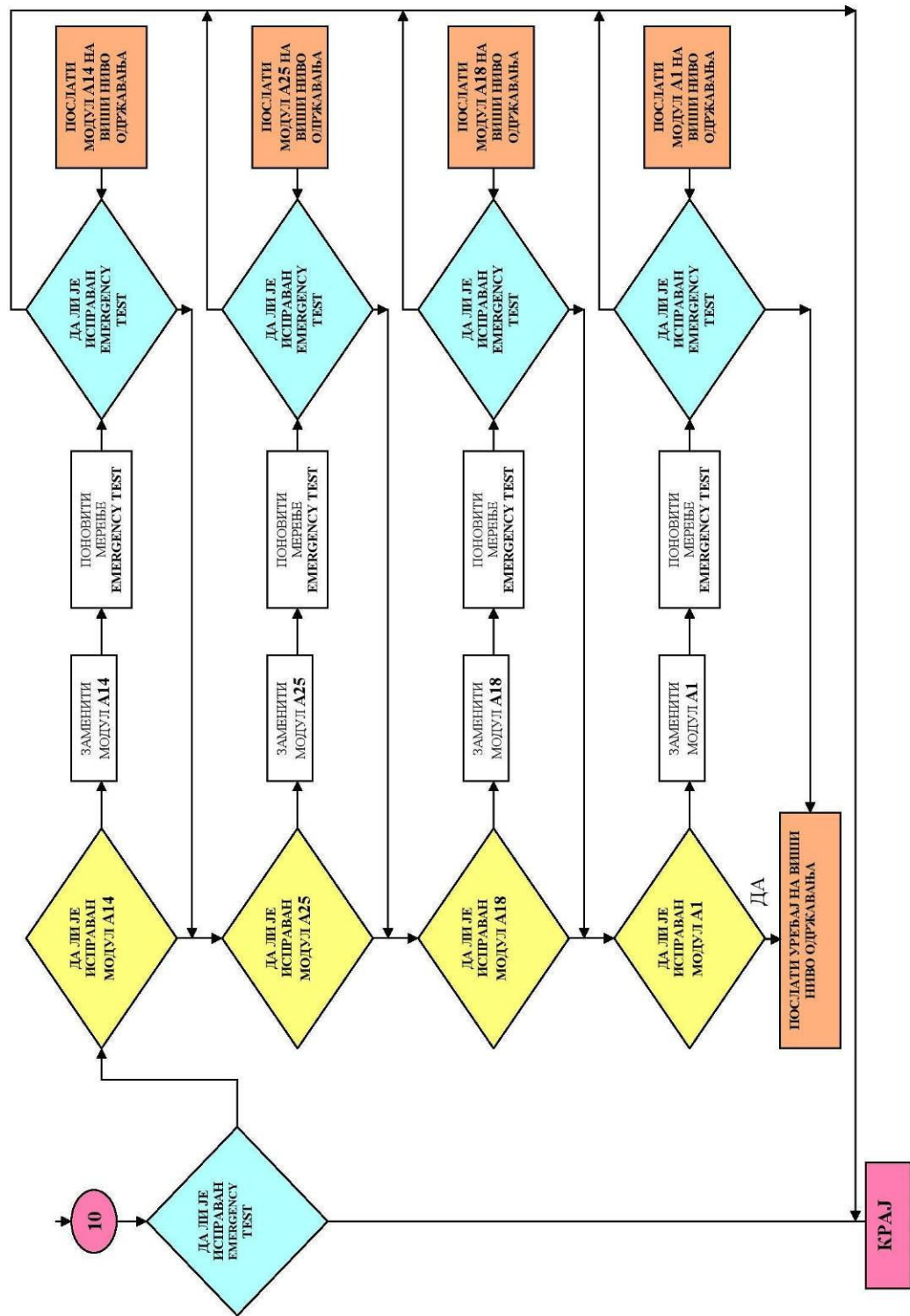












# FIR Filter Sharpening by Frequency Masking and Pipelining-Interleaving Technique

Milenko P. CIRIC<sup>1</sup>, Vojkan M. RADONJIC<sup>1</sup>, Radojka R. KRNETA<sup>2</sup>, Nenad J. STEFANOVIC<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tehnicko Remontni Zavod "Cacak" Dr. Dragise Misovica 167, 32000 Cacak, Serbia

<sup>2</sup> Faculty of Technical Sciences Cacak, University of Kragujevac, Svetog Save St. 65, 32000 Cacak, Serbia

cciro@bluenet.rs

**Abstract**—This paper focuses on the improvements of digital filters with a highly sharp transition zone on the Xilinx FPGA chips by combining a sharpening method based on the amplitude change function and frequency masking and PI (Pipelining-Interleaving) techniques.

A linear phase requires digital filter realizations with Finite Impulse Response (FIR) filters. On the other hand, a drawback of FIR filters applications is a low computational efficiency, especially in applications such as filter sharpening techniques, because this technique uses processing the data by repeated passes through the same filter.

Computational efficiency of FIR filters can be significantly improved by using some of the multirate techniques, and such a degree of computation savings cannot be achieved in multirate implementations of IIR (Infinite Impulse Response) filters. This paper shows the realization of a filter sharpening method with FIR filters combined with frequency masking and PI (Pipelining-Interleaving) technique in order to effectively realize the filter with improved characteristic. This realization at the same time keeps the good features of FIR filters such as the linear phase characteristic.

**Index Terms**—Digital filters, Field programmable gate arrays, FIR filters, Filtering theory, Programmable logic devices.

## I. INTRODUCTION

The first approach to improving stop-band attenuation with a filter sharpening method was to process the data by repeated passes through the same filter. Each pass, while increasing the minimum stop-band attenuation  $k$  times, also increases the pass-band ripple also  $k$  times in decibels. It also increases the order of the equivalent filter.

The following method for filter sharpening was a method, based on the idea of the amplitude change function [1]. With this method, a signal is also processed several times with the same filter, but the output signal is formed from the input signal and other filtering stages output signals in a specific order. This method was restricted to symmetric, finite impulse response (FIR) filters with a constant group delay.

However, the fact that FIR filters order is considerably higher than that of an equivalent IIR filter, and that FIR filters computational efficiency is considerably poorer, has resulted in searching for new methods, with IIR filters in the sharpening structure [2, 3]. These solutions are based on the addition of new blocks to the sharpening structure, in order to eliminate the influence of initial filter non-linear phase characteristics. The advantage of this solution is increased computational efficiency, which is achieved with IIR filters

as an initial filter in the sharpening structure. On the other hand, in order to improve computational efficiency, nonlinear phase characteristics of sharpening filter are obtained, and this fact is the main drawback of these methods.

In contrast to such a solution, in this paper, a sharpening filter is implemented with FIR filters. Computational efficiency is achieved with frequency masking and PI technique instead of IIR filter usage. This technique uses the fact that computational requirements for FIR filters can be reduced by the sampling rate conversion, and such a degree of computation savings cannot be achieved with multirate IIR filters implementations [4]. This solution keeps the good properties of FIR filters (especially a linear phase characteristic). At the same time, significant savings of hardware resources were achieved. By combining both techniques, frequency masking for a sharp transition band and filter sharpening for high stop-band attenuation, filter characteristics can be considerably improved.

This paper presents a design method that consists of a low-order FIR filter realized with a frequency masking technique, and included in the sharpening method. The overall structure is realized in PI technique. The advantage of an FPGA implementation of the proposed filter sharpening method is illustrated by several examples.

Section II describes basic principles of sharpening method based on the idea of the amplitude change function. In this section is suggested frequency masking technique as an initial filter, in sharpening method realization.

Section III gives an efficient solution for polynomial realization of amplitude change function, with modified PI technique. It also shows how to include suggested initial filter in overall structure.

This structure is realized with Xilinx FPGA chips in section IV. This section shows way of realization and simulation results with amplitude characteristic of overall filter.

All these properties of sharpening method with frequency masking and PI technique are used in section V for narrowband filter realization. Filter narrowing is performed by increasing frequency masking factor  $M$  while PI technique is used for efficient realization.



II. FIR FILTER SHARPENING METHOD AND FREQUENCY MASKING TECHNIQUE

II.a PROPERTIES OF FIR FILTER SHARPENING METHOD

The basic principle of sharpening method based on the idea of the amplitude change function is shown in Figure 1. Input data sequence is running through a filter giving both the output sequence and the residual sequence.

The residual is then added to the original signal and this sum is again run through the filter, giving the overall filtering operation

$$H(z)[1 + 1 - H(z)] = H(z)[2 - H(z)] = H(z)[1 + H_r(z)], \tag{1}$$

where

$$H_r(z) = 1 - H(z), \tag{2}$$

is the filter residual.

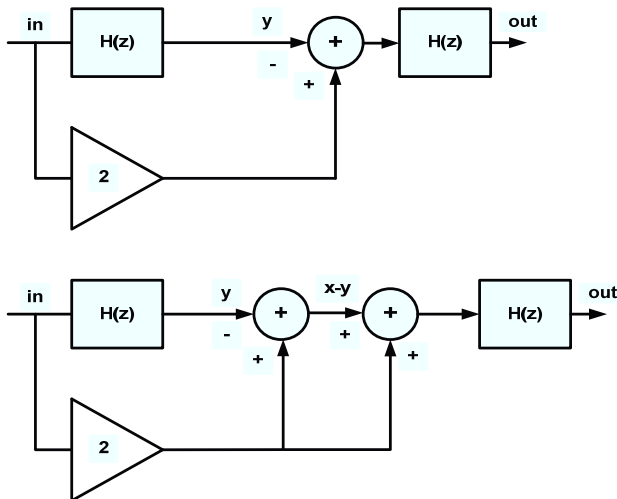


Figure 1. Principle of sharpening method based on the idea of the amplitude change function

This overall operation is called twicing. Figure 2 shows the second-order amplitude change function (solid line) and several other functions (dashed lines). With linear phase filters (filters with a constant group delay), by multiple filter using, it is possible to realize such amplitude change functions as to make improvements in stop-band, pass-band or in both.

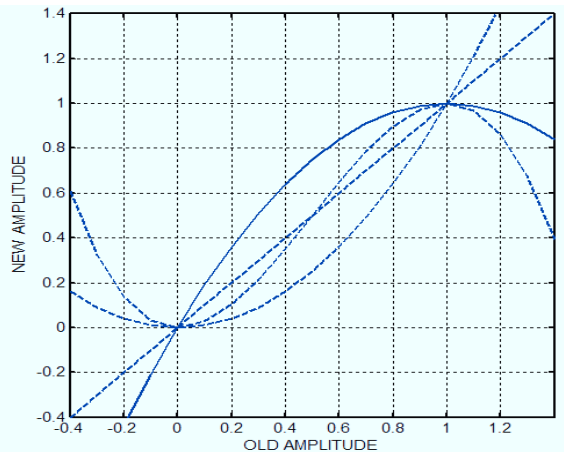


Figure 2. Amplitude change functions

II.b MULTIRATE FIR FILTER SHARPENING METHOD REALIZATION

Using the fact that multirate techniques applied to FIR filters keep a linear phase characteristic, it seems logical to use a multirate FIR filter as an initial filter, in sharpening method realization. As the sharpening method uses a polynomial realization of filter transfer function, from different multirate methods, it is necessary to find an appropriate method, applicable in practice. The main problem with polynomial functions realization with PI technique, are critical loop limitations. These limitations are caused by feedback loops and sample rate conversions, when combining signals with different sample rates.

Frequency masking technique is a multirate technique which is appropriate for sharp linear phase filters realizations [5, 6, and 7]. This advantage derives from the frequency masking filter structures (Figure 3).

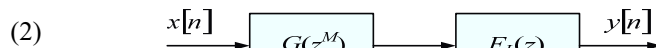


Figure 3. Cascade connections of periodic model filter and masking filter

Although the frequency masking technique is a multirate technique, actually there is no sampling rate change through the filter. Narrowing of the filter bandwidth is performed by replacing each model filter unit delay  $z^{-1}$  with the delay block  $z^{-M}$ , where  $M$  is an integer. In this way, the frequency response of the filter  $G(z^{j\omega})$  is made periodic. The FIR filter in the cascade  $F_L(z)$  is used to eliminate (mask) the images from the periodic model filter frequency response. Figure 4 shows the characteristics of model filter  $G(z)$ , periodic model filter  $G(z^M)$ , masking filter  $F_L(z)$  and overall narrow-band low-pass filter  $H_L(z)$ .

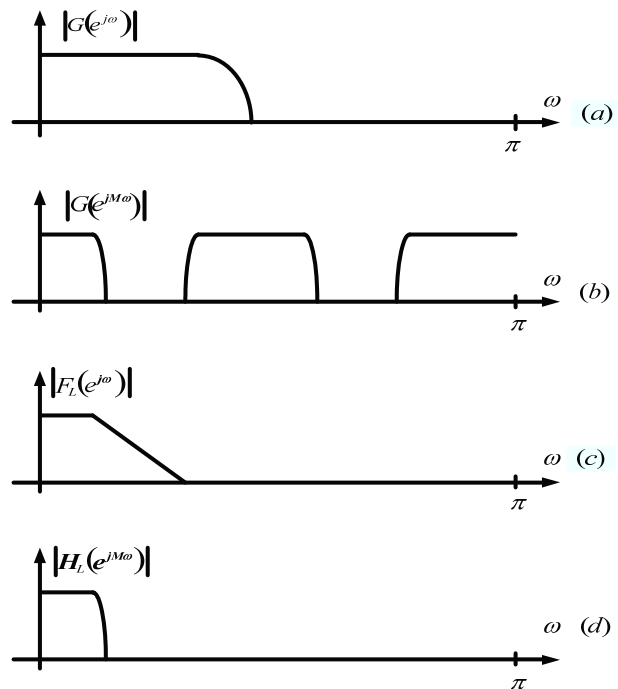


Figure 4. A cascade of two identical filters realized by using a single filter

The important outcome of the proposed approach is that the transition band of the overall filter  $B_{ov}$  is  $M$  times smaller

than the model filter transition band  $B_{mod}$ ,

$$B_{ov} = B_{mod} / M . \tag{3}$$

Consequently, the pass-band bandwidth is also reduced by the same factor, and filtering is performed with non-recursive filters, without sample rate conversions, and without feedback loops. In practice, this means realization without up-sampler and down-sampler blocks. Hence, this method is suitable for sharpening method design.

### III. POLYNOMIAL FUNCTIONS REALIZATIONS USING MODIFIED PIPELINING-INTERLEAVING (PI) TECHNIQUE

If two independent signal sequences  $\{x_1(n)\}$  and  $\{x_2(n)\}$  are required and if they have to be filtered by the same filter, an alternative to using two separate filters is a multirate implementation [8, 9], which is shown in Fig. 5.

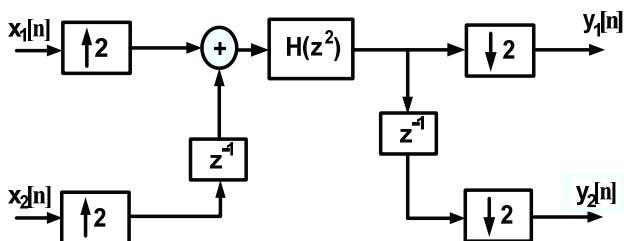


Figure 5. Pipelining-Interleaving (PI) techniques

This structure uses a single (pipelined/interleaved) filter for two identical filter implementations. Moreover, the clock rate for this implementation must be double the data rate.

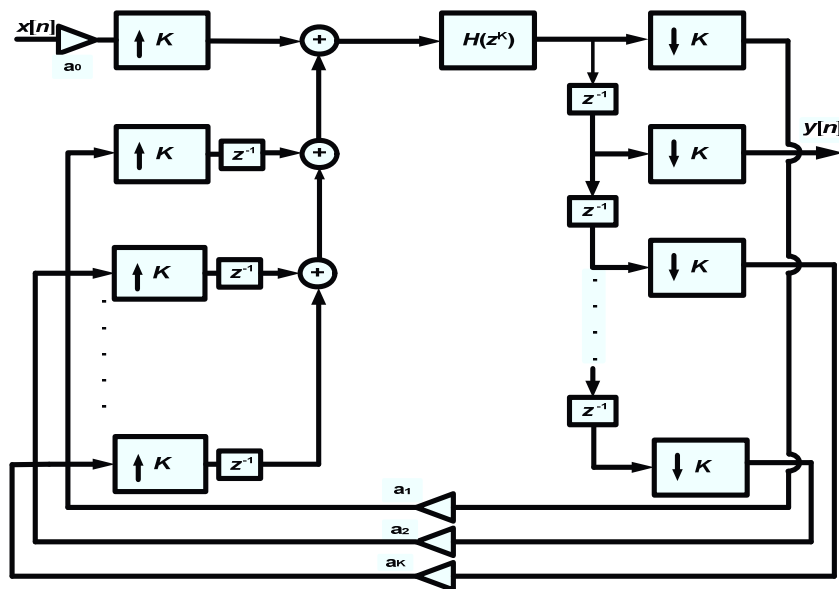


Figure 7. A cascade of two identical filters realized by using a single filter Realization of polynomial functions of  $H(z)$

The signal at the output  $y$  from Figure 7 would be:

$$Y(z) = X(z) \cdot H(z), \tag{4}$$

where

If only one input signal sequence is to be filtered, the first output sequence  $\{y_1(n)\}$  can be returned to the second input  $x_2(n)$ . In this way  $H(z^2)$  is used for implementing  $H^2(z)$  as shown in Fig. 6.

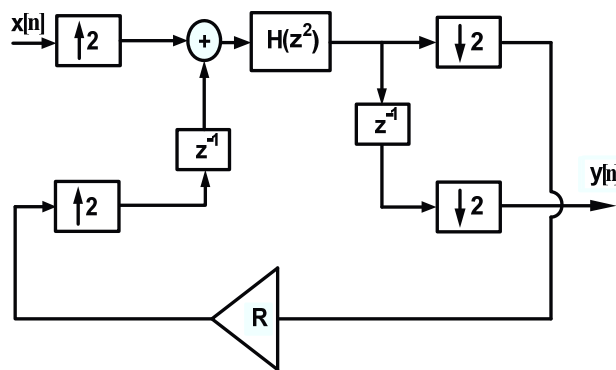


Figure 6. A cascade of two identical filters realized by using a single filter

This pipelined/interleaved implementation of a digital filter can easily be extended to  $H(z^K)$  ( $K$  is an arbitrary positive integer), and to the implementation of polynomial functions of  $H(z)$  [10]. Fig. 7 gives such an implementation. It should be noted that that today we got a different opportunities for sample rate conversion change [11, 12], even with rational factor of change.

$$H(z) = a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3} + \dots + a_N z^{-N} . \tag{5}$$

For such filter transfer function, a single filter can be used, but the clock rate must be  $N$  times the data rate. If the sampling rate is much lower than the clock frequency at which the system works, the use of parallel hardware

unnecessarily consumes resources available elements on the chip. The main reason for application of the PI technique is that signals are processed in parallel and thus avoid the realization when the signal processing is performed sequentially.

Amplitude change functions are actually polynomial transfer functions of initial filter. In our case, the amplitude

change function is realized with FIR filters and frequency masking technique, thus these filters are ideal candidates for the modified PI technique implementation. In addition, with a, for example, fifth order amplitude change function and PI implementation, by changing only polynomial coefficients (they can be reloadable), a bunch of fifth or smaller order functions can be realized.

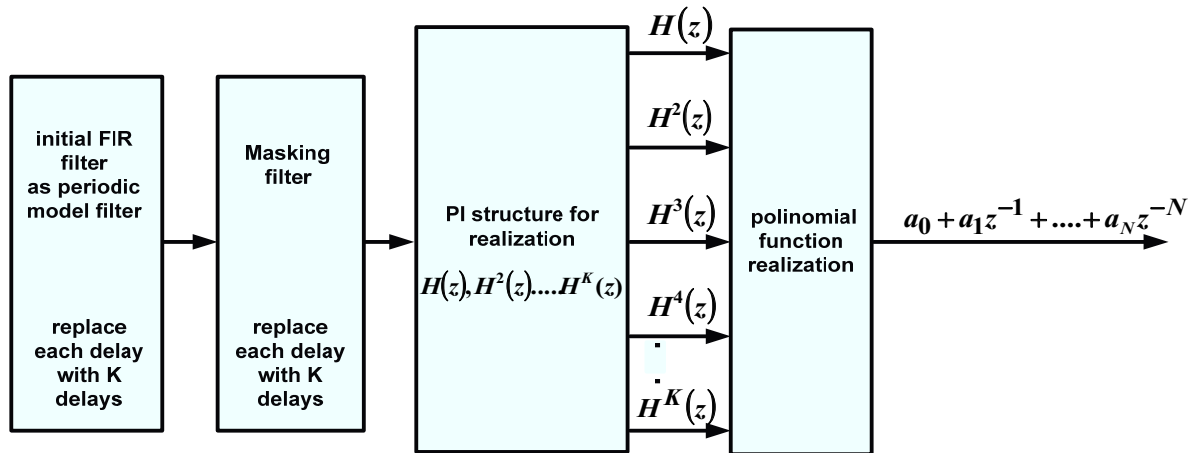


Figure 8. Block diagram of overall sharpening filter

IV. FPGA REALIZATION OF SHARPENING FILTER

This section presents the implementation structures of sharpening frequency masking FIR filters when they are implemented with the Xilinx FPGA chips.

Let's consider the realization of sharpening FIR narrowband low-pass filter with the Xilinx FPGA Virtex5 series using PI realization and frequency masking technique, as shown in Figure 8. Filter is implemented using the Xilinx's System Generator. What is realized first is a block of frequency masking filter, whereby a model filter and masking filters are realized as FIR filters.

Then such a block, as a subsystem, is used for amplitude change function implementation. As this implementation means polynomial functions realizations, this structure is implemented using a modified PI technique. So, in the end, at the output of structure from Figure 8, we obtain polynomial functions realizations, i.e. our sharpening filter output.

IV.a LOW-PASS DIGITAL FILTER IMPLEMENTATION USING FREQUENCY MASKING TECHNIQUE

Software tools for designing structures that digital programmable hardware manufactures provide for users in recent years have become more complete and offer more and more freedom in design. The user has the option to choose whether to use one of the solutions from a wide range of forms for a specific digital structure, or design will start from beginning, using the standard programming languages [13, 14, 15], original manufacturer tool, or use some of the standard tools (including Matlab) and then again via software manufacturers make a compilation in VHDL, Verilog HDL, or the Verilog code [16, 17].

In our example, filter design starts from frequency masking filter realization, by using the Xilinx's System Generator tools FDA tool and FIR compiler tool [18]. Such

a FIR filter will be included in the further procedure (frequency masking and modified PI technique).

A model filter can be a lower order filter with poorer specifications:

$$\omega_{pass} = 0,1 \cdot \pi \text{ rad / sample}$$

$$\omega_{stop} = 0,4 \cdot \pi \text{ rad / sample}$$

$$A_{pass} = 0,5 \text{ dB}$$

$$A_{stop} = 40 \text{ dB}$$

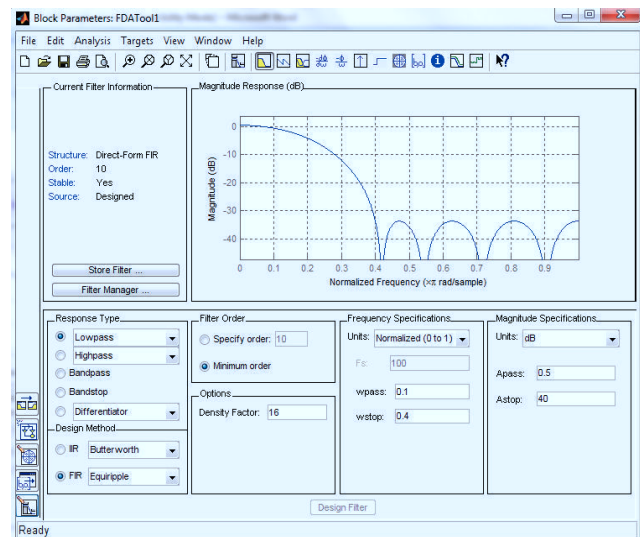


Figure 9. Model filter design using FDA tool

This model filter requires a masking filter in order to eliminate (mask) the images from the periodic model filter frequency response, with specifications:

$$\omega_{pass} = 0,1 \cdot \pi \text{ rad / sample}$$

$$\begin{aligned} \omega_{stop} &= 0,7 \cdot \pi \text{ rad/sample} \\ A_{pass} &= 0,5 \text{ dB} \\ A_{stop} &= 40 \text{ dB} \end{aligned}$$

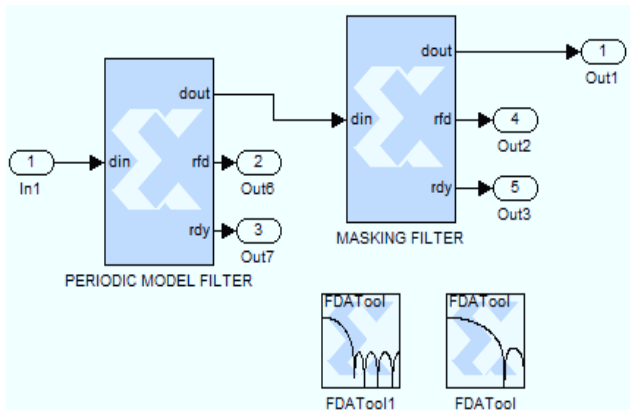


Figure 10. Frequency masking technique realizations

For such masking filter specifications, we will use a third order FIR equiripple filter and in this manner realize a frequency masking filter as illustrated in Figure 9.

Both filters are realized using *FIR compiler* and *FDA tool* (Figure 9 and Figure 10). A periodic model filter is obtained from the model filter by replacing each delay with two delays with choosing FIR compiler option “Filter type” to be “interpolated” and zero packing factor to be “2” (for  $M = 2$ ).

In this stage, with model filter definition and with factor  $M$  selection, overall filter pass-band and stop-band frequencies are determined. The following sharpening method is used only to improve filter attenuation in the stop-band and reduce ripple in the pass-band. So, with choosing  $M = 2$ , the characteristic of frequency masking filter, recorded in out 1 (Figure 10) will be:

$$\begin{aligned} \omega_{pass} &= 0,05 \cdot \pi \text{ rad/sample} \\ \omega_{stop} &= 0,2 \cdot \pi \text{ rad/sample} \\ A_{pass} &= 0,5 \text{ dB} \\ A_{stop} &= 40 \text{ dB} . \end{aligned}$$

This characteristic is shown in Figure 11.

#### IV.b PI REALIZATION OF AMPLITUDE CHANGE FUNCTION

After frequency masking filter selection, our multirate filter should be included in amplitude change functions realization. As discussed, it will be an efficient PI realization, in order to decrease FIR filter complexity. Amplitude change function, in general, can be an arbitrary polynomial function  $H(z)$ ,

$$H(z) = a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + a_3z^{-3} + \dots + a_Kz^{-K} . \quad (6)$$

With PI filter realizations, in a multirate filter each delay must be replaced with  $K$  delays. For a periodic model filter, this operation is already partially performed, so

instead of twice, delays replacements can be performed once, and in the following manner:

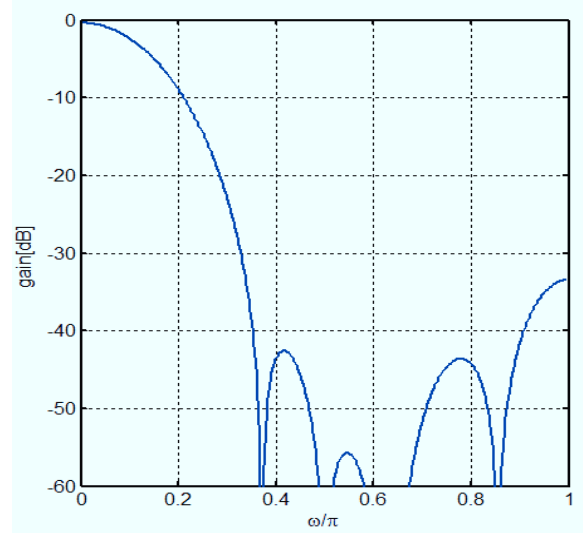


Figure 11. Amplitude characteristic of frequency masking filter

- Periodic model filter – replace each delay with  $M \cdot K$  delays,  $M$  is the frequency masking factor, and  $K$  is the  $H(z)$  order. This operation can be performed by using “FIR compiler” option “Filter type” to be “interpolated” and zero padding factor to be “ $M \cdot K$ ”,
- Masking filter - replace each delay with  $K$  delays. This operation can be performed by using “FIR compiler” option “Filter type” to be “interpolated” and zero padding factor to be “ $K$ ”.

The frequency masking filter defined in this manner can be included in the structure shown in Figure 12, which presents the FPGA implementation of the fourth order PI structure from Figure 6. On output ports (1-5), we will obtain  $1, H(z), H^2(z), H^3(z)$  and  $H^4(z)$  transfer function of input filter (filter between input port 2 and output port 6).

It should be noted that the additional delays in channels, as well as channels distribution, depend on the used multirate filter and selection of downsample/upsample method (the first value of frame is the last value of frame, with or without latency, etc.).

#### IV.c FPGA REALIZATION OF DIGITAL FILTER BY COMBINING SHARPENING, FREQUENCY MASKING AND PI TECHNIQUE

Now, after initial implementation of the FIR filter (with frequency masking technique), amplitude change function can be used in order to complete sharpening method realization. So, between input port 2 and output port 6 of the structure from Figure 12, we should connect our FIR digital filter realized with frequency masking technique. Signals on the output ports should be processed as a polynomial according to the amplitude change function.

Figure 13 shows a realization with the simplest amplitude change function  $F(H) = 3H^2 - 2H^3$ , and Table 1 gives an overview of a few amplitude change functions [1].

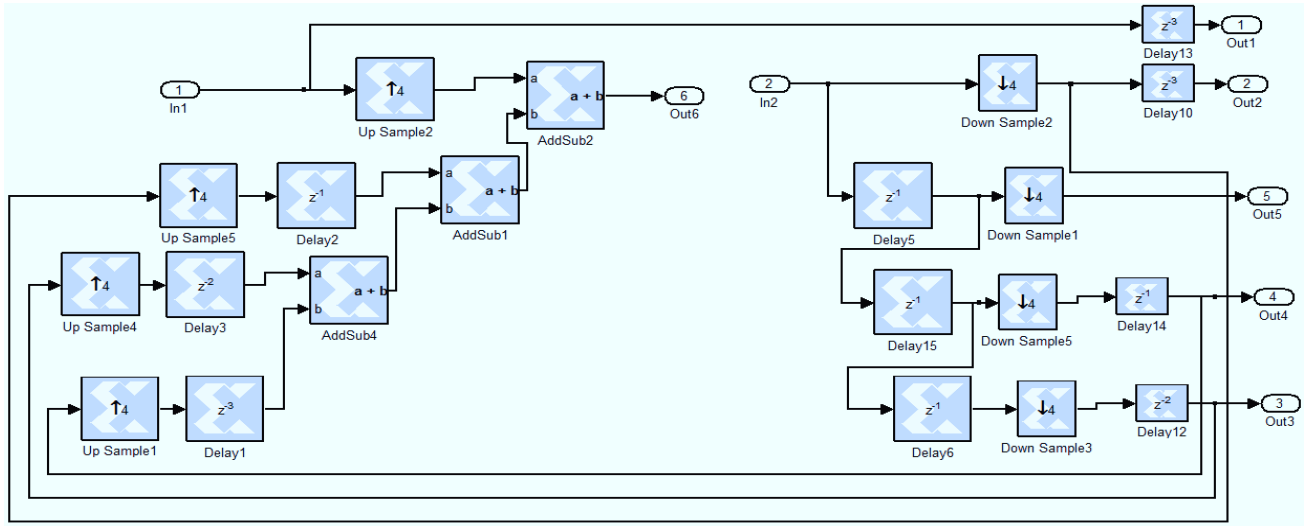


Figure 12. 'System Generator' model of frequency masking filter insertion in FPGA PI structure

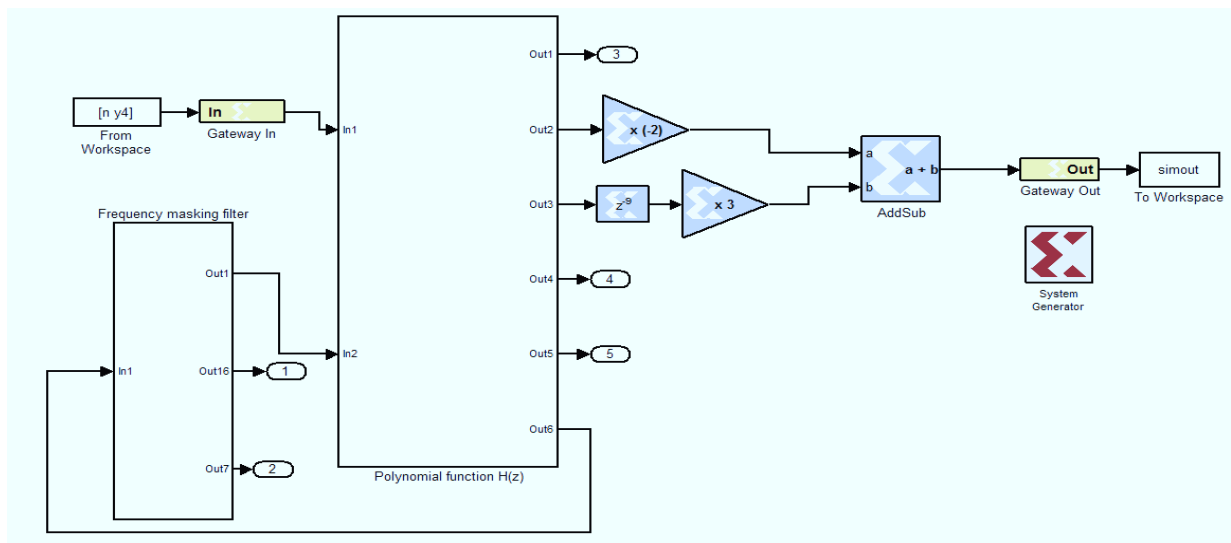


Figure 13. 'System Generator' model of frequency masking filter insertion in FPGA PI structure

With increasing of functions order, improvements of amplitude characteristic will be bigger and bigger. In contrast to these improvements, a higher order of amplitude change functions also means increasing filter complexity. At the end, savings of hardware resources that we have achieved with frequency masking and PI techniques can be considerably reduced.

TABLE I. AMPLITUDE CHANGE FUNCTIONS

1	$F(H) = H$
2	$F(H) = H^2(3 - 2H)$
3	$F(H) = H^3(10 - 15H + 6H^2)$
4	$F(H) = H^4(35 - 84H + 70H^2 - 20H^3)$

Except for filter complexity, with a modified PI technique (Figure 12), the signal is processed several times consecutively across the same filter, and the influence of fixed point implementation is intensified more than in the

individual filter application. Each signal passing through the loop, leads to the accumulation of fixed point implementation errors. By amplitude change function order increasing, down/up sample factors need to be higher. According to this, the number of loops (with the structure from Figure 13, 4th-order amplitude change functions can be realized) required for PI implementation of the filter also grows. So, this effect would have a greater impact with such an implementation, and it is necessary to consider a fixed point implementation problem during filter design.

Therefore, the selection of amplitude change function should be a compromise between desired amplitude characteristics of the filter, consumption of hardware resources and acceptable value of fixed point implementation errors.

Figure 14 shows the amplitude characteristic of filter sharpening structure with amplitude change function  $F(H) = 3H^2 - 2H^3$ , and factor  $M = 2$  of frequency masking subsystem filter. Improvements in relation to initial filter characteristics in stop-band are significant (the new minimum stopband attenuation is about 30 dB better than initial). Figure 15 shows the pass-band of same filter, and we can see also improvements in the pass-band (pass-band ripple is reduced by 1 dB). At the same

time, the sharpening filter retains the linear phase characteristic (Figure 16).

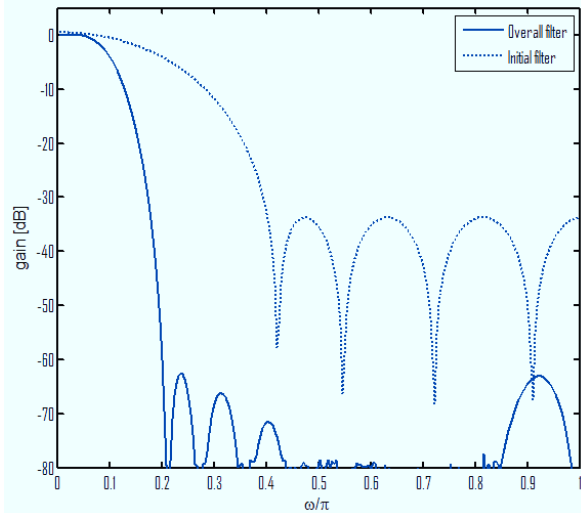


Figure 14. Amplitude characteristic of overall filter

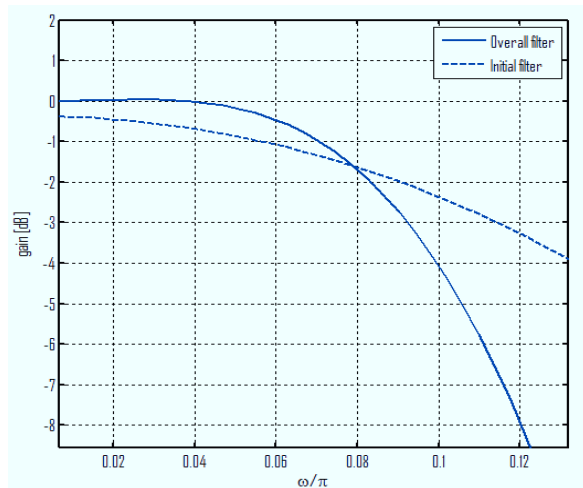


Figure 15. Amplitude characteristic of overall filter – Pass-band

### V. REALIZATION OF NARROWBAND DIGITAL FILTERS USING MODIFIED PI TECHNIQUE

FIR filters realized with a frequency masking and PI technique [19] can be used for sharpening method implementation. However, besides improving the filter performance in terms of pass-band and stop-band attenuation, with additional usage of frequency masking technique the filter performance can also be improved in terms of narrowband realization [20].

Filter pass-band and transition zone, with factor  $M$  increasing (Figure 1), can be significantly narrowed. On the other hand, with this narrowing, some new effects will occur.

The masking filter, whose role is to eliminate images from a periodic filter spectrum, now must be  $K$  times ( $K$  is the number of  $M_u$  factor reductions) narrower than the original masking filter. This causes increasing of masking filter order and overall filter complexity. At the end, with fixed point implementation, errors in the stop-band will be increased. This effect is illustrated in Figure 17, which shows the amplitude characteristic of our filter from Figure 11, for increased factors  $M = 4$  and  $M = 8$ ). Stop-band errors are increased with a growth of factor  $M$  and complexity of the filter.

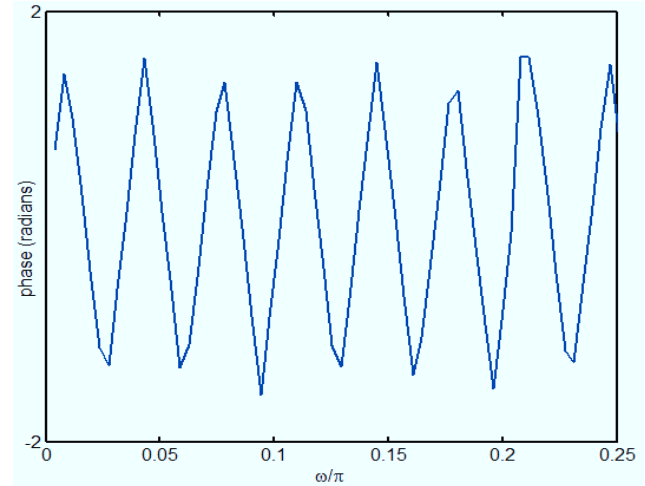


Figure 16. Phase characteristic of overall filter

In the case of very narrow-band bandpass filtering, as with other multirate realizations, in cases where the decimation/interpolation factor  $M$  is too large, say  $M \geq 10$ , it is preferable to use  $r$ -stages ( $r \geq 2$ ) multirate filters [3], according to the effect which occurs with a considerable increase of factor  $M$ . This effect is illustrated in Figure 18, which shows the pass-band of our filter from Figure 11, for increased factors  $M = 4$  and  $M = 8$ ). Unfortunately, with the sharpening method, a multistage approach cannot be used, because multistage filtering with two and more stages increases filter complexity. Since the sharpening method involves multiple uses of the same filter, (in the given example, third order amplitude change function is used), any complexity increase of the basic filter will significantly affect the overall filter characteristic.

So, for frequency masking FIR realization (and other multirate realizations) of initial filter with the sharpening method, for narrowband digital filters realization, we can use only low order factor  $M$  filters and multirate filters realized in one stage.

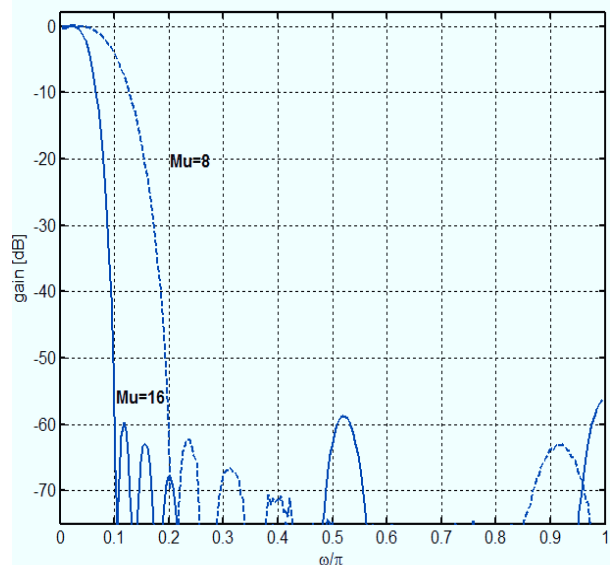
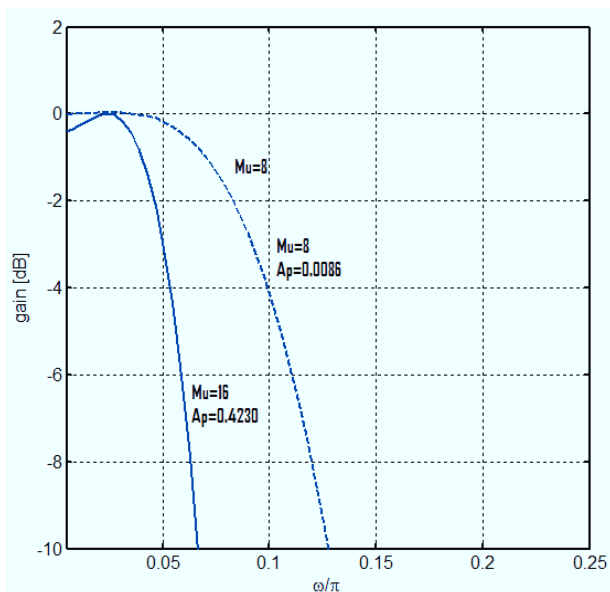


Figure 17. Stop-band errors with increased factor  $M$

Acceptable values of the  $M$  factor depend on initial filter specifications and amplitude change function order. The realized filter must be verified for each specific case. In our example, realization with  $M = 8$  is acceptable.

Figure 18. Pass-band attenuation Stop-band errors (increased factor  $M$ )

## VI. CONCLUSION

Low computational efficiency is the main drawback of FIR filter applications that involve cascade multiple filtering with the same filter. One such method is filter sharpening method that involves polynomial functions implementations.

The application of multirate multistage techniques combined with pipelining/interleaving technique provides a solution for the rationalization of hardware resources for applications that involve multiple use of the same filter several times or a hardware structure that can be rearranged so that the signal processing is performed in parallel. Combining the operations related to the implementation of PI procedure together with the operation related to the filter realization, it is possible to achieve additional improvements of filters structure. In this paper, for filter sharpening method, we introduce an original approach to algorithm development and digital filter design using pipelining/interleaving and frequency masking technique.

By combining these techniques with filter sharpening method, computational efficiency of overall sharpening FIR filter can be considerably improved, and, at the same time, the good features of FIR filters remain preserved, such as the linear phase characteristic.

With software capabilities offered by chip manufacturer, using the proposed technique, a general solution can be developed ("*IP Core*"), and used as a tool for narrow-band digital filter design.

## REFERENCES

[1] J. F. Kaiser and R. W. Hamming, "Sharpening the response of a symmetric nonrecursive filter by multiple use of the same filter,"

- IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-25, pp. 415–422, Oct. 1977.
- [2] V. M. Poucki and A. Žemva and M. D. Lutovac and T. Karčnik "Elliptic IIR filter sharpening implemented on FPGA," Digital Signal Processing 20 (2010) 13–22, May 2009.
- [3] V. Poučki, A. Žemva, M. Lutovac, T. Karčnik, "Chebyshev IIR filter sharpening implemented on FPGA", in: 16th Telecommunication Forum Telfor 2008, pp. 432–435.
- [4] Milic L. Multirate filtering for digital signal processing: MATLAB applications. Hershey, PA: Information Science Reference; 2009.
- [5] Lim, Y.C. (1986). Frequency-response masking approach for the synthesis of sharp linear phase digital filters. IEEE Transactions on Circuits and Systems, 33(4), 357-364.
- [6] Lim, Y. C., & Lian, Y. (1994). Frequency-response masking approach for digital filter design: complexity reduction via masking filter factorization. IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, 41(8), 518-525.
- [7] Lim, Y. C., & Yang, R. (2005). On the synthesis of very sharp decimators and interpolators using the frequency-response masking technique. IEEE Transactions on Signal Processing, 53(4), 1387-1397.
- [8] Z. Jiang, A.N. Wilson, A pipelined/interleaved IIR digital filter architecture, Acoust., Speech Signal Process. 3 (1997) 2217–2220.
- [9] K. K. Parhi and D. G. Messerschmitt, "Pipeline interleaving and parallelism in recursive digital filters-Part I: Pipelining using scattered look-ahead and decomposition," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. 37 no. 7, pp. 1099-1117, July 1989.
- [10] Z. Jiang and A. N. Willson, "Efficient digital filtering architectures using pipelining/interleaving," IEEE Trans. Circuits Syst., vol. 44, no. 2, pp. 110-118, February 1994.
- [11] G. Antonesei, C. Turcu, A. Graur, "Conceptual Implementation of Sample Rate Convertors for DACs," Advances in Electrical and Computer Engineering, vol. 10, no. 2, pp. 53-60, 2010, doi:10.4316/AECE.2010.02009.
- [12] G. Antonesei, C. Turcu, A. Graur, "Basic Consideration for Signal Processing Solutions Used in Sigma-delta Based ADC and DAC Converters," Advances in Electrical and Computer Engineering, vol. 10, no. 1, pp. 71-78, 2010, doi:10.4316/AECE.2010.01013.
- [13] K. I. Kum, J. Kang, W. Sung, "AUTOSCALER For C: An Optimizing Floating-Point to Integer C Program Converter For Fixed-Point Digital Signal Processors", IEEE Trans. on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, vol. 47, issue 9, pp. 840-848, Sep. 2000.
- [14] D. Menard, D. Chillet, F. Charot, O. Sentieys, "Automatic Floating-point to Fixed-point Conversion for DSP Code Generation", in Proc. of the 2002 International Conference on Compilers, Architecture, and Synthesis for Embedded Systems, Oct. 2002.
- [15] A. Barleanu, V. Baitoiu, A. Stan, "Digital filter optimization for C language," Advances in Electrical and Computer Engineering, vol. 11, no. 3, pp. 111-114, 2011, doi:10.4316/AECE.2011.03018.
- [16] Signal processing toolbox for use with MATLAB. User's guide, The MathWorks Inc., 3 Apple Hill Drive, Natick, MA, 2006.
- [17] Filter design toolbox for use with MATLAB. User's guide, The MathWorks Inc., 3 Apple Hill Drive, Natick, MA, 2006.
- [18] System Generator for DSP, release 10.1, March, 2010, www.xilinx.com.
- [19] M. Ciric and V. Radonjic, "Realization of Multistage FIR Filters using Pipelining-Interleaving," TELFOR Journal, Vol. 4, No.2, pp. 107-110, 2012.
- [20] Ramstad, T.A., & Saramäki, T. (1990, May). Multistage, multirate FIR filter structures for narrow transition band filters. Proc. 1990 IEEE Int. Symp. Circuits and Systems – ISCAS, New Orleans, Louisiana, 2017 – 2021.

## Selection of the Optimal Maintenance Organization for Specific Purpose Devices

Vojkan Radonjić<sup>1</sup>, Slobodan Đukić<sup>2</sup>, Danko Jovanović<sup>3</sup>,  
Milenko Ćirić<sup>1</sup>, Saša Petrović<sup>4</sup>

**Abstract:** This paper is a result of a broader study, oriented to optimization of maintenance process for special purpose devices and presents the selection of optimal maintenance variant for selected specific purposes device, using the method of analytic hierarchy process, with assumed model of device usage. This paper formalizes the decision process, decision-makers subjectivism boils down to an acceptable level, improves optimization approach for solving the problems in hierarchical systems, and encourages training in the improvement of decision makers in solving problems of multi character.

**Keywords:** Multi-criteria analysis, the method of analytic hierarchy process, organization of maintenance

### 1 Introduction

Application of modern logistic concepts requires that for each technical device that is inserted into the Serbian Army is develop: the concept of maintenance, maintenance organization and maintenance technology. Decisions are made by respecting the characteristics and properties of the resources, technical and tactical demands of the holder, the designer and the device user. All the factors that should be taken into consideration can be divided into several groups: tactical, technical and logistics factors. One of the major problems in the logistical support in the Army of Serbia is the development and selection of the adequate maintenance process for special purposes devices [1, 2]. Observing the problem from the point of decision-making, can be seen that this is a multi-criteria problem. Good decisions on the selection of the appropriate maintenance can be taken only if the decision-making process is formalized and implemented based on scientific method, with consideration of

---

<sup>1</sup>Tehnički remontni zavod „Čačak”, 32000 Čačak, Serbia;

E-mails: vojkan.r69@gmail.com; milenko.ciric4@gmail.com

<sup>2</sup>Faculty of Technical Sciences Čačak, University of Kragujevac, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Serbia;

E-mail: slobodan.djukic@ftn.kg.ac.rs

<sup>3</sup>Univezitet odbrane, Vojna akademija, 11000 Beograd, Serbia; E-mail: danko.jovanovic17@gmail.com

<sup>4</sup>Generalštab VS, Uprava za logistiku, 11000 Beograd, Serbia; E-mail: saskop@eunet.rs



several variants of the maintenance and multiple criteria of different complexity and different levels of significance.

Knowledge from practice shows that the decisions on the selection of appropriate maintenance organization are made with a lot of subjectivity, intuitive and experience, without the use of available modern methods, techniques, software and equipment.

In order to increase the objectivity of the decision-maker in process of choosing the optimal organization of maintenance, this work presents the application of the method of analytic hierarchy process and the use of „*Expert Choice*” software for optimal variant selection of the special purpose devices maintenance. In developing and defining the variants of maintenance are taken into account all elements of the system (resources, personnel, equipment maintenance and diagnostics, space and facilities), maintenance and their characteristics, maintenance procedures, maintenance methods, methods of repair and maintenance of well-known organizational forms.

## 2 AHP Method

The method of analytic hierarchy process (AHP) has developed by Thomas Saaty. This method is a tool that assists decision makers in solving complex multicriteria decision problems. Method of the AHP is based on a hierarchical decomposition the complex problems in a real system. The aim is at the top of the hierarchy, while the criteria, sub-criteria and alternatives are at lower levels. Application of the method proceeds in four phases:

- structuring the problems,
- collecting the data,
- evaluation of relevant weight and
- finding the solutions.

Structuring the problems consists of a problem decomposition into a series of hierarchies, defining objectives, criteria, sub-criteria and alternatives.

With collecting the data and their measurement begins the second phase of the AHP method. The decision maker assigns a relative evaluation criteria by comparing them in pairs of one hierarchical level and so for all levels of the entire hierarchy. For this purpose it is used nine-point scale [3]. Upon completion of the second phase, is obtained matrix of comparing the respective couples, or matrix of estimation criteria.

Evaluation of relevant weight is the phase in which the matrix of pairs comparisons ”translates” into the problem of determining eigenvalues and normalized in order to obtain their own unique vector weight for all criteria.

## Selection of the Optimal Maintenance Organization for Specific Purpose Devices

Finding the solutions is the last phase of the AHP method, and she involves finding the composite normalized vectors. After determination of the sequence vector for model ordering activity criteria, for this criteria starts the process of determination for order of importance model activity. The overall synthesis of the problem is performed in the following manner: involvement of each alternative is multiplied by the weight of the monitored criteria, and then these values are summed separately for each alternative. The resulting information is the weight of the observed model alternative. By comparing the weight of each alternatives, we determine their order in the model. AHP method has the ability to identify the consistency of decision-makers in the process of comparing elements from hierarchy. Since the comparison of alternatives is based on a subjective assessment from decision maker, it is necessary its constant monitoring in order to ensure the required accuracy [4, 5]. AHP method enables monitoring of consistency in such a way that is by using consistent index, calculate the ratio of consistency. If for matrix of comparisons is relationship between consistency  $C.R. \leq 0.10$ , evaluation of relevant significance criteria are counted as **acceptable**.

### 3 Solving the Problems of Optimal Device Maintenance Organization using the Software “Expert Choice”

The special purpose device is used within the radio-relay system of the Army. Variants of system maintenance are assumed according to technological maintenance programs that include the necessary technological operations and should be implemented in each of the proposed levels of maintenance (**Table 1**).

**Table 1**  
*Assumed variants maintenance organization with technological tasks.*

Maintenance variants ----->	I	II	III	IV
Maintenance levels with a technological tasks				
I level of maintenance – technical inspection which is realized by II level of maintenance units	X		X	
I level of maintenance – basic maintenance and technical inspection which is realized by immediate device users		X		X
II level of maintenance – corrective maintenance at the module level, which is realized by II level of maintenance units	X	X		
II level of maintenance – corrective maintenance at the module level, which is realized by II level of maintenance units with a mobile workshop which contains equipment for level II maintenance and spare modules			X	X
III level of maintenance – corrective maintenance at the components level, which is realized by III level of maintenance units	X	X	X	X

Assumed technology programs creates conditions that presume hierarchical organization of maintenance at three levels, in terms of technology, clearly separated powers, responsibilities and duties of each level of maintenance [6, 7]. The objective function is defined by selecting the optimal variant of the maintenance special purposes devices.

The decision maker is in a position to choose between 4 different versions of the maintenance of appropriate technological applications which are shown in Table 1.

Selection is based on 7 criteria that can be seen in Fig. 1. Structured problem of choosing the optimal maintenance organization is represented in Fig. 1.

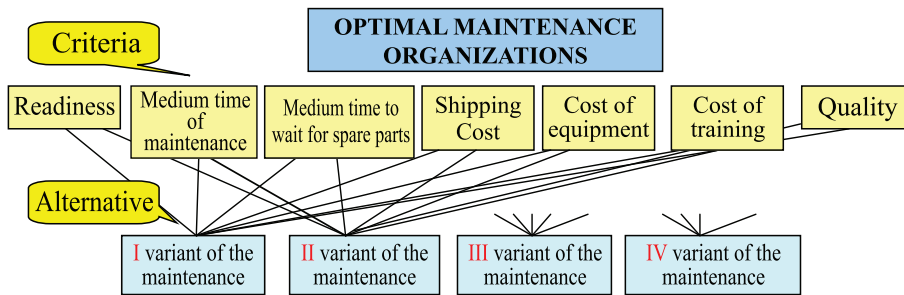


Fig. 1 – The structure of the optimal choice problem for special purpose devices maintenance.

In further studies of optimal maintenance organization by the method of AHP, we used the results obtained by using the software solutions “Expert Choice” [8]. Fig. 2 shows the ranking criteria defined in the model. From the picture you can see that the criteria “Readiness” and “Quality” have the highest values of their own vector. Consistency coefficient is  $C.R. = 0.04 < 0.10$ .

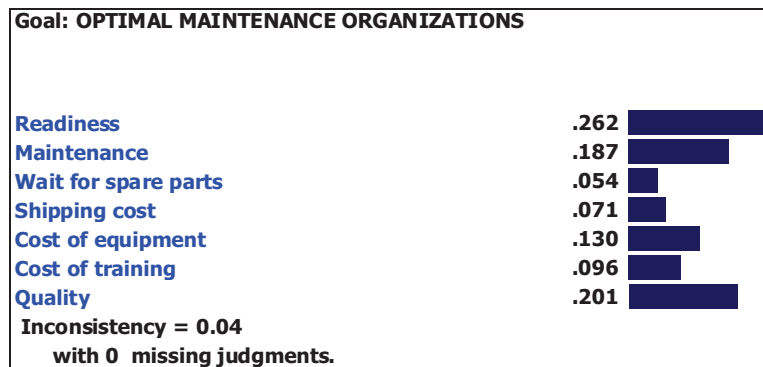


Fig. 2 – Displaying important criterion in the model.

Selection of the Optimal Maintenance Organization for Specific Purpose Devices

In the same way are determined the eigenvectors of alternatives in relation to each criterion individually Fig. 3 shows comparison of alternatives weights of alternatives and presented order of alternatives in relation to criterion *K1* (readiness).

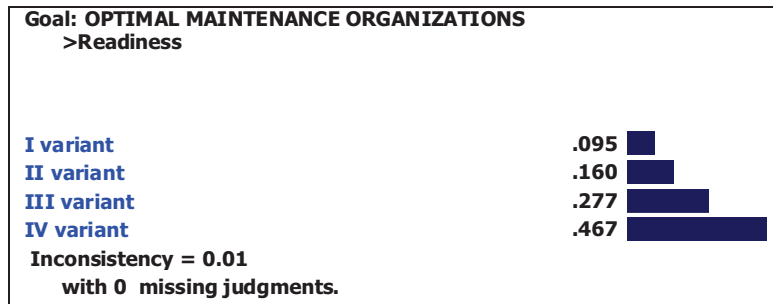


Fig. 3 – Importance of alternatives in relation to criterion *K1* (readiness).

By using a software application “Expert Choice” were calculated eigenvectors alternatives (variants maintenance) in relation to other 6, and the criteria are shown in the following figures.

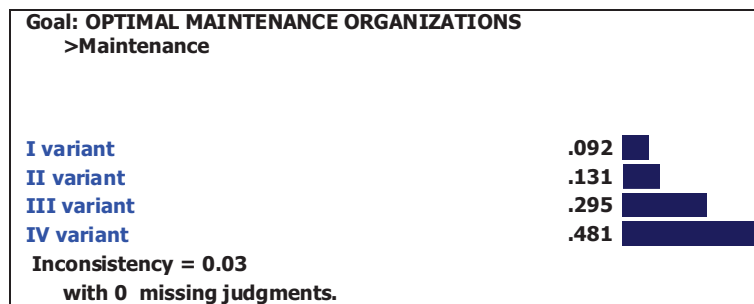


Fig. 4 – Importance of alternatives with respect to criterion *K2* (mean time of maintenance).

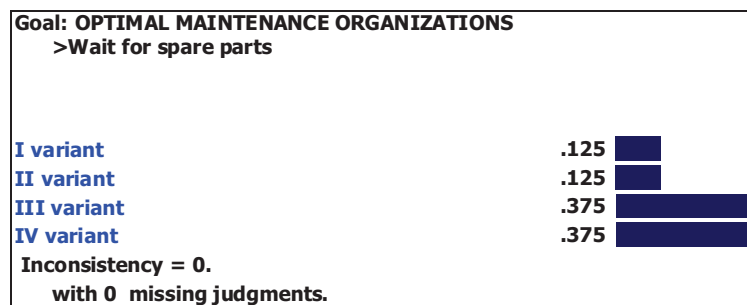


Fig. 5 – The importance of alternatives to criterion *K3* (mean waiting time for spare parts).

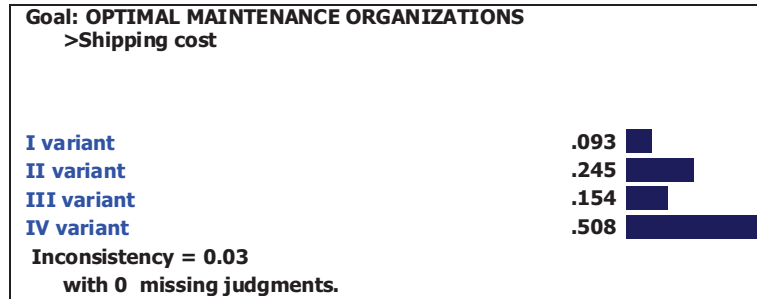


Fig. 6 – The importance of of alternatives against the criteria K4 (transport costs due to maintenance of the devices).

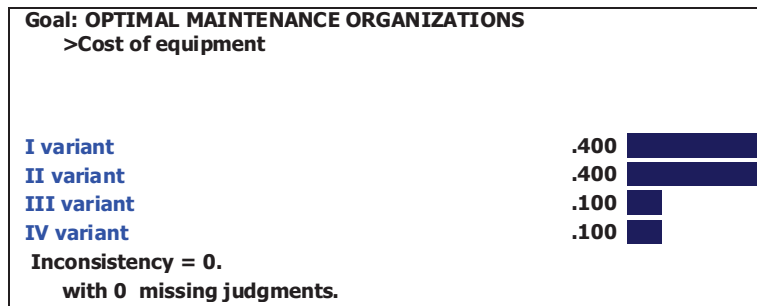


Fig. 7 – The importance of of alternatives against the criteria K5 (equipment costs).

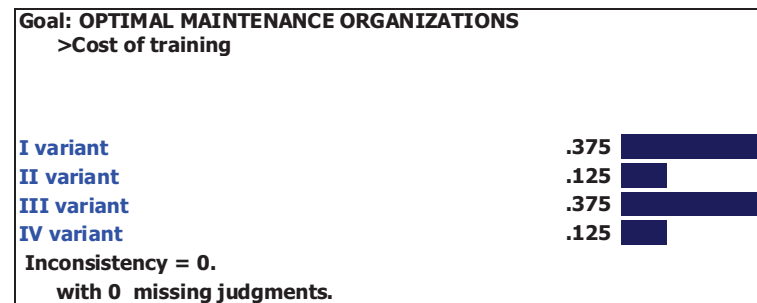


Fig. 8 – The importance of of alternatives against the criteria K6 (training costs).

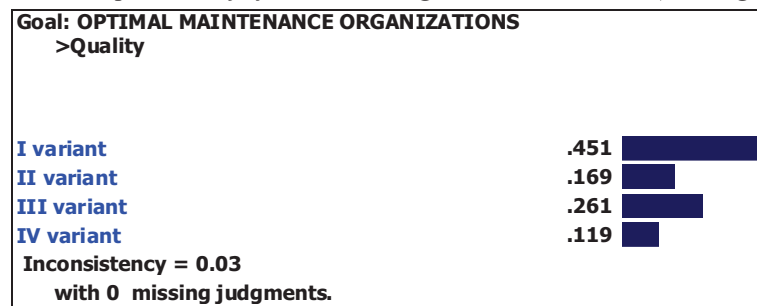


Fig. 9 – The importance of of alternatives against the criteria K7 (quality).

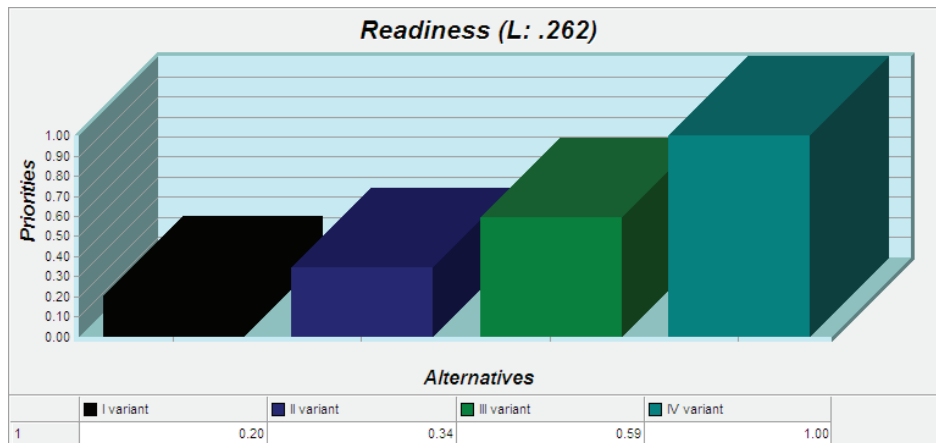
## Selection of the Optimal Maintenance Organization for Specific Purpose Devices

A comprehensive synthesis of *optimal choice problem for the special purposes devices* maintenance is obtained by adding the products of its own vector of each alternative, and participation (weight) within the observed criteria. **Table 2** below presents final table of the obtained results, and these results are shown graphically in Fig. 13.

Maintenance of devices for special purposes, organized by the presumed IV variants of maintenance organization is the optimal choice for the defined criteria, which directly attaches importance to the criterion of readiness and indirectly to maintenance costs (Fig. 11). Other presumed variants have worse performance in relation to these criteria

**Table 2**  
*The final table of the results (L – the criteria weight ratio).*

Alternative	Total Rang	Readiness (L: .236)	Maintenance (L: .193)	Waiting for spare parts (L: .055)	Transport (L: .082)	Equipment (L: .145)	Training (L: .093)	Quality (L: .196)
<b>I variant</b>	0.236	0.204	0.192	0.333	0.182	1	1	1
<b>II variant</b>	0.193	0.343	0.272	0.333	0.482	1	0.333	0.374
<b>III variant</b>	0.256	0.593	0.614	1	0.304	0.25	1	0.578
<b>IV variant</b>	0.315	1	1	1	1	0.25	0.333	0.264



**Fig. 11** – Comparison of variants in relation to dominant maintenance readiness criteria.

Suppose that the decision maker have to give the dominant importance of the criteria of “quality” in relation to a criterion of readiness and other criteria (Fig. 12). In this case, by increasing criteria of quality for 15% **I variant** of maintenance of special purpose devices becomes the optimal choice, until II i III variant of maintenance organization remains unchanged, and rank IV variants of the maintenance decreases.

Also, **I variant** of maintenance organization has the highest value when ranking is the dominant criteria for selecting the initial investment in equipment and training of employees.

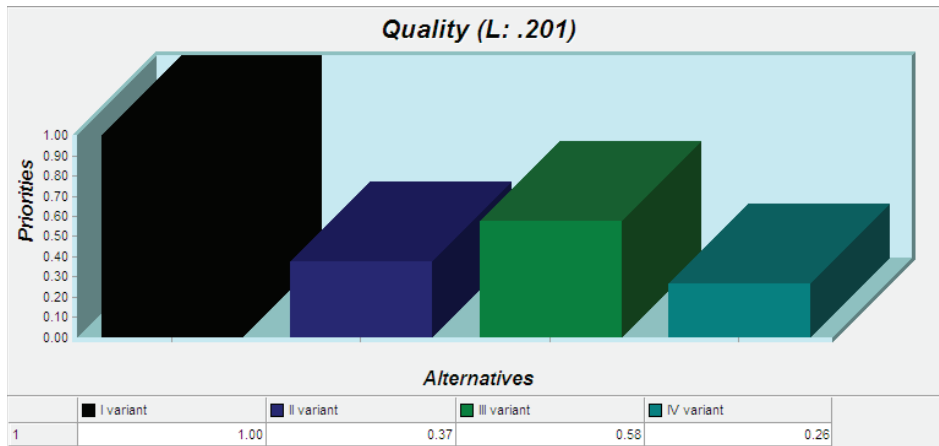


Fig. 12 – Comparison of variants in relation to dominant maintenance quality criteria.

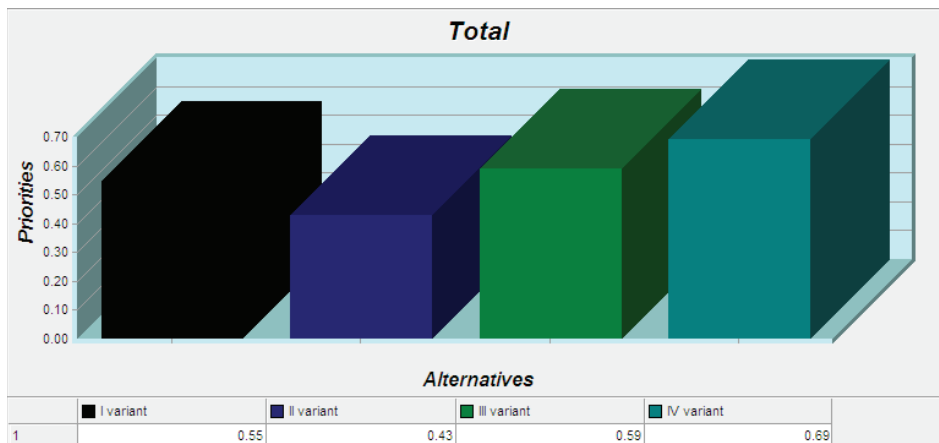
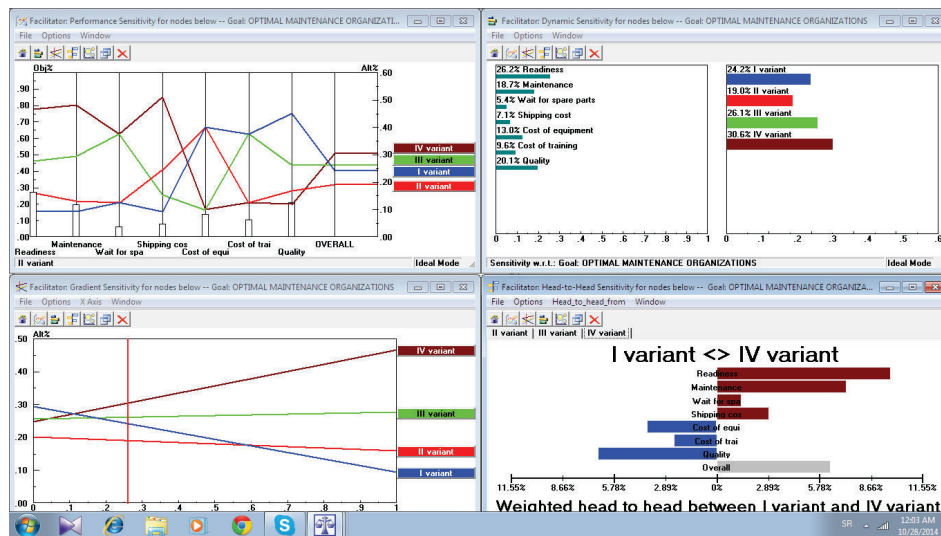


Fig. 13 – Final Ranking of presumed maintenance variants.

## Selection of the Optimal Maintenance Organization for Specific Purpose Devices

From the aspect of the transporting cost, it is preferable to implement **IV variant** maintenance as optimal choice of the maintenance organization.

Fig. 13 shows ranking of superiors maintenance variants, and final rank, and Fig. 14 shows the final solution for the problem of optimal supervisor of maintenance of special purposes devices, for the considered criteria and alternatives.



**Fig. 14** – View of the final decision choice of optimal maintenance organization in different graphs sensitivity.

## 4 Conclusion

In solving the problem of optimal maintenance organization for special purposes devices, in order to increase the objectivity of the decision makers and to optimize decision-making process, we applied the method of analytic hierarchy process. In addition to defining problems, criteria and alternatives of the maintenance organization, is described the process of application methods, and the problem is solved using the software Expert Choice. It can be concluded that for a given problem, directly prefer two criteria: the quality and readiness of the indirect costs of transportation to maintain the product. Criteria for readiness and quality are mutually opposed, so that although the lead IV variant for the maintenance organization, if the decision maker decides that the quality has a dominant importance, the solution will also be a **I variant** of maintenance for special purposes devices. The used software package is a very powerful tool for decision makers which well knows the concept and logic multi-criteria decision making, usage of the considered devices and realistic system



maintenance. Used tool allows also improving the training of decision-makers in real logistical and other organizational systems in solving problems of multi character (most in the environment). The tool provides a number decision maker analysis: a sensitivity analysis, the analysis of reaching the goal and what if analysis, in accordance with their preferences and aversions.

## **5 References**

- [1] M. Andrejic, M.M.Milenkov: Osnovi logistike, Medija centar odbrana, Beograd, 2012.
- [2] M. Andrejić: Metode i tehnike za podršku planiranja u vojnim organizacionim sistemima, Vojnotehnički glasnik, Vol. 49, No.1, 2001, pp. 36 – 53.
- [3] T. Saaty: An Eigenvalue Allocation Model for Prioritization and Planning, Energy Management and Policy Center, University of Pennsylvania, Working Paper, 1972.
- [4] I. Nikolić, S. Borović: Višekriterijumska optimizacija–metode, primena u logistici, softver, Centar vojnih škola VJ, Beograd, 2006.
- [5] M. Čupić, M.Suković: Višekriterijumsko odlučivanje – metode i primeri, Univerzitet Braća Karić, Beograd, 1995.
- [6] Z. Pešić: Tehnologija održavanja motornih vozila, VIZ Beograd, 2009.
- [7] V. Radonjić, D. Jovanović, I. Milojević: Reliability Calculation of Parameters for the Establishment of Maintenance Organizations Radiorelay Equipment, Proceedings of the 16th DQM International Conference, Dependability and Quality management, ICDQM-2013, Belgrade, 2013, pp. 471–476. (In Serbian).
- [8] [www.expertchoice.com](http://www.expertchoice.com)
- [9] A. Ishizaka, A.Labib: Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefits and limitations, Journal of Operational Research Society, Vol.22, No.4, 2009, pp. 201–220.
- [10] T. L. Saty: Decision making with the analytic hierarchy process, International Journal of Services Sciences, Vol. 1, No.1, 2008, pp. 83–98.
- [11] O. Alanbay: ERP Selection using Expert Choice software, ISAHP 2005, Honolulu, Hawaii, July 8-10, 2005.