

# UNAPREĐENJE ODRŽAVANJA UREĐAJA SPECIJALNE NAMENE REALIZACIJOM MODERNIZACIJE ANALOGNOG FILTERA

Vojkan M. Radonjić<sup>a</sup>, Slobodan R. Đukić<sup>b</sup>,  
Danko M. Jovanović<sup>c</sup>, Saša M. Petrović<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Tehnički remontni zavod Čačak,

e-mail: vojkan.r.69@gmail.com

<sup>b</sup> Univerzitet u Kragujevcu, Tehnički fakultet Čačak,

e-mail: slobodan.djukic@ftn.kg.ac.rs

<sup>c</sup> Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija,

e-mail: danko.jovanovic@gmail.com

<sup>d</sup> Generalštab Vojske Srbije, Uprava za logistiku, Beograd,

e-mail: saskop@eunet.com

DOI: 10.5937/vojtehg63-5412

OBLAST: održavanje tehničkih sistema  
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak  
JEZIK ČLANKA: srpski

## Sažetak:

*U radu će biti izvršena analiza i poređenje pokazatelja pouzdanosti dve vrste uređaja specijalne namene koji se koriste u radio-relejnim sistemima.*

*Na osnovu rezultata sprovedene analize, stečenog iskustva iz domena najvišeg nivoa održavanja uređaja, predložiće se modernizacija postojećeg analognog radio-frekventnog filtera sa odgovarajućim digitalnim filterom. Predložena modernizacija unapređuje tehnološki proces održavanja uređaja, poboljšava karakteristike pogodnosti za održavanjem, povećava pouzdanost u radu uređaja uz znatno smanjenje troškova održavanja uređaja.*

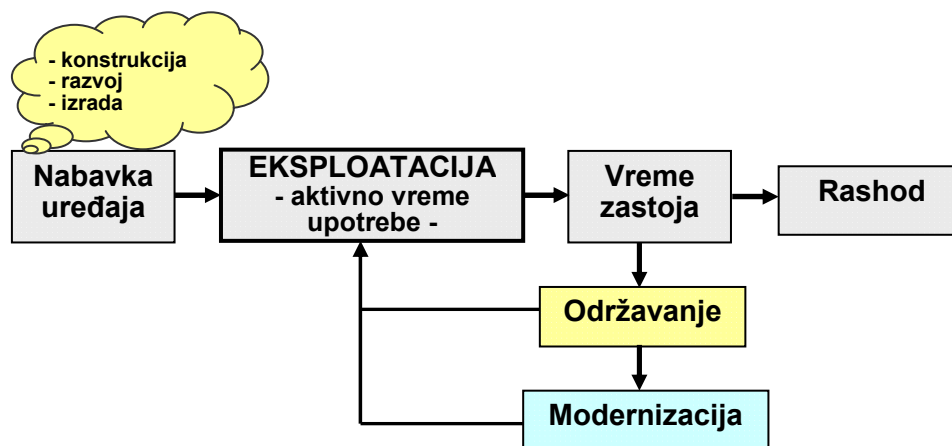
Ključne reči: *pouzdanost, održavanje, modernizacija, filter.*

## Uvod

Svako tehničko sredstvo tokom svog životnog veka prolazi različite faze od konstrukcije, razvoja, izrade, eksploatacije, održavanja do rashoda, kada prestaje životni vek (slika 1). U radu su sprovedeni istraživanja i analiza na uređaju specijalne namene GRC 408E, koji u domaćim institucijama nije prošao faze konstrukcije, razvoja i izrade.

U dostupnoj literaturi iz ove oblasti predstavljen je optimalni model koncepta održavanja i organizacija održavanja ove vrste uređaja (Rado-

njić, i dr., 2014), (Radonjić, i dr., 2013). Metod održavanja sastoji se u održavanju prema stanju sa kontrolom pouzdanosti i kontrolom bitnih parametara koji utiču na funkcionalnu ispravnost uređaja. Organizacija održavanja sastoji se od tri nivoa održavanja u skladu sa postojećom specijalnom mernom opremom, obučanim ljudstvom i propisanim tehnološkim procedurama za svaki nivo održavanja.



Slika 1 – Ilustracija životnog veka uređaja  
 Figure 1 – Display of the product life  
 Рис. 1 – Структура существования продукта

U radu će se održavanje uređaja analizirati i sa terotehnološkog pristupa, koji podrazumeva analizu „slabih mesta” na osnovu pokazatelja pouzdanosti, iskustva iz eksploatacije i održavanja efikasnosti i uvećanja troškova održavanja.

Posmatrajući sliku 1 na kojoj su prikazane moguće faze životnog veka tehničkog sredstva, uočava se vreme zastoja u radu uređaja zbog održavanja. Takođe, na slici je prikazano da se modernizacija uređaja realizuje u okviru održavanja uređaja, što je najracionalnije.

Do potrebnih elemenata za ideju modernizacije nekog dela uređaja dolazi se detaljnom analizom pokazatelja pouzdanosti i iskustva iz eksploatacije. Svakako, bilo koji oblik modernizacije doprinosi podizanju nivoa kvaliteta održavanja, efikasnosti funkcionisanja uređaja, smanjenju troškova održavanja i zastoja.

Sprovedena istraživanja u radu temelje se na:

1. određivanju funkcija pouzdanosti uređaja RRU-9B i njegovih sastavnih modula,
2. određivanju funkcija pouzdanosti uređaja GRC 408E i njegovih sastavnih modula,

3. analizi i međusobnom poređenju vrednosti funkcija pouzdanosti ove dve vrste uređaja i njihovih sastavnih modula,
4. laboratorijskim merenjima karakteristika,
5. iskustvu iz najvišeg nivoa održavanja uređaja GRC 408E.

Na osnovu sprovedene analize i dobijenih rezultata istraživanja predložena je modernizacija jednog od sastavnih modula sa napred navedenim ciljem.

### *Uslovi u kojima se realizuju istraživanja*

Istraživanja su uslovljena nizom nepogodnosti. Pre svega, ne postoji dovoljan broj podataka koji se mogu iskoristiti kao pokazatelji efikasnosti eksploatacije uređaja u praksi i vremenima otkaza uređaja. Stoga su analiza i realizovana istraživanja usmereni u pravcu da se funkcije pouzdanosti, koje su neophodne u daljim istraživanjima i analizi, za predmetne uređaje, proračunavaju na dva načina:

– za RRU-9B na osnovu  $n$  broja uzoraka o vremenima otkaza uređaja koji su radili u radio-relejnim sistemima i koji su dolazili na opravku u vremenu od 2006. do 2013. godine,

– za GRC 408E na osnovu intenziteta otkaza sastavnih komponenti svakog pojedinačnog modula.

Proračunate vrednosti funkcija pouzdanosti za predmetne uređaje poslužiće za grafoanalitičko poređenja funkcija pouzdanosti. Na osnovu tih rezultata, stečenog iskustva iz održavanja, predložiće se potrebna modernizacija, način njene realizacije i prikazati dobijeni rezultati modelovanja odgovarajućim softverskim alatima.

### **Određivanje funkcije pouzdanosti uređaja RRU-9B**

Određivanje funkcije pouzdanosti realizuje se određivanjem zakona raspodele vremena rada do otkaza uređaja. Uzorak je veličine  $n = 50$ , gde su posledice otkaza bile neispravnosti sledećih modula:

- |                                     |                 |
|-------------------------------------|-----------------|
| – modul napajanja                   | – 21 slučaj,    |
| – modul pojačavača                  | – 10 slučajeva, |
| – pilotska sekcija                  | – 5 slučajeva,  |
| – regulator izlazne snage           | – 5 slučajeva,  |
| – delitelj frekvencije u prijemniku | – 4 slučaja,    |
| – modulator                         | – 3 slučaja,    |
| – filter                            | – 2 slučaja.    |

Na osnovu podataka o vremenima rada do otkaza uređaja RRU-9B određiće se empirijska funkcija raspodele rada uređaja do otkaza. Nakon toga, odgovarajućim postupkom izvršiće se aproksimacija empirijske raspodele sa odgovarajućom teorijskom, a potvrda o aproksimaciji verifikovaće se odgovarajućim testiranjem (Čatić, 2005).

Kako je neophodno odrediti funkciju pouzdanosti i za uređaj i za sastavne module, to će se u analizi primeniti dve vrste proračuna, i to (Ivanović, Stanivuković, 1988):

- za uređaj – proračun za veliki uzorak,
- za module – proračun za mali uzorak.

Na osnovu uzorka o neispravnosti uređaja poznati su sledeći podaci:

- broj uzoraka -  $n = 50$ ,
- minimalno vreme rada uređaja do otkaza -  $t_{\min} = 30000 \text{ sati}$ ,
- maksimalno vreme rada do otkaza -  $t_{\max} = 90000 \text{ sati}$ .

Statističke mere:

- $t_{sr} = 62100 \text{ sati}$ ,
- standardna devijacija  $SD = 16158 \text{ sati}$ ,
- medijana vremena rada  $medijana = 63000 \text{ sati}$ ,
- rang (raspon)  $rang = 67000 \text{ sati}$ .

Broj intervala izračunava se prema formuli:  $z = 1 + 3,3 \cdot \log(n)$ . U ovom slučaju usvaja se broj intervala:  $z = 7$ .

Procenjene vrednosti pokazatelja pouzdanosti prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1 – Procenjene vrednosti pokazatelja pouzdanosti

Table 1 – Estimated reliability values

Таблица 1 – Оценочные значения надежности

$i$	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

U tabeli 1 korišćene su sledeće oznake:

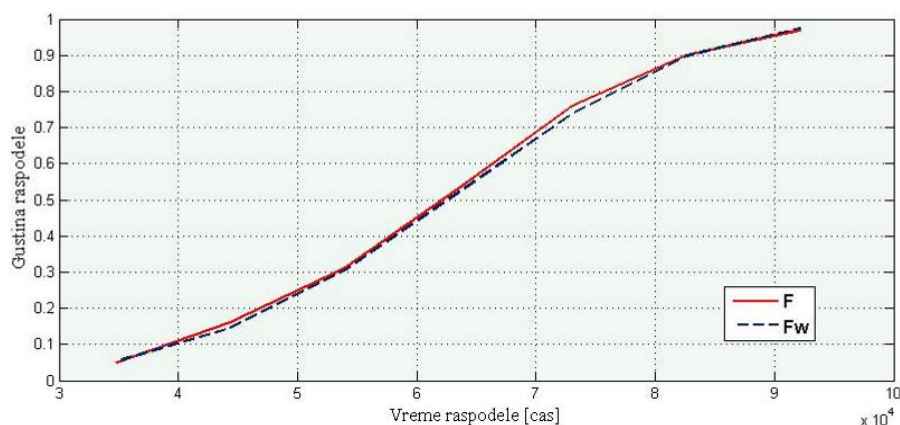
$i$  – redni broj intervala,  $n_i$  – broj otkaza u intervalu,  $cn_i s$  – broj otkaza na sredini intervala,  $sv_{inter}$  – srednja vrednost intervala,  $f$  – funkcija učestanosti stanja u otkazu,  $R$  – funkcija pouzdanosti,  $F$  – funkcija ku-

mulativne raspodele verovatnoće – funkcija nepouzdanosti,  $h$  – funkcija intenziteta otkaza.

Procenjena funkcija pouzdanosti aproksimiraće se odgovarajućim teorijskim raspodelama: *Wejbulovom, eksponencijalnom i normalnom*. Izvršiće se testiranja na osnovu kojih će se zaključiti kojoj teorijskoj raspodeli je najpribližnija empirijska raspodela, odnosno koja od teorijskih raspodela najbolje aproksimira vrednosti empirijske raspodele.

### Aproksimacija empirijske raspodele Wejbulovom raspodelom

Korišćenjem programskog paketa MATLAB izračunavaju se: parametar oblika, položaja i vrednost aproksimativne Wejbulove raspodele. Na slici 2 prikazano je odstupanje aproksimativne Wejbulove raspodele ( $F_w$ ) od empirijske raspodele ( $F$ ).



Slika 2 – Grafički prikaz odstupanja Wejbulove raspodele od empirijske raspodele  
Figure 2 – Variation of the Weibull distribution from the empirical distribution  
Рис. 2 – Отклонение распределения Вейбулла от экспериментального начения

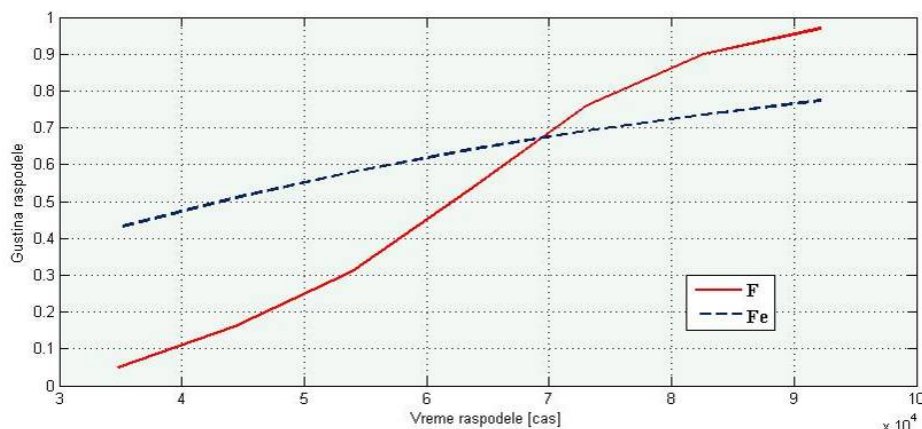
### Testiranje testom Kolmogorov-Smirnova

Za usvojeni nivo rizika  $\alpha = 0.2$  i veličinu uzorka  $n = 50$ , tablična vrednost iznosi  $d_\alpha = D_{dozv} = \frac{1.07}{\sqrt{n}} = 0.1414$ . Najveća vrednost odstupanja između teorijske Wejbulove raspodele  $F_w$  i procenjene vrednosti  $F$  iznosi  $Max(\Delta F) = 0.0208$ . Kako je maksimalno odstupanje manje od dozvoljene vrednosti, tj.  $0.0208 < 0.1414$ , to aproksimacija empirijske raspodele teorijskom Wejbulovom raspodelom zadovoljava test Kolmogorov-Smirnova.

Aproksimacija empirijske raspodele teorijskom raspodelom zadovoljava i ostale testove, jer je  $\chi^2 = 0.0028 < 9.488$  (test Pirsona) i  $R_o = 1.4132 < 3$  (test Romanovskog).

### *Aproksimacija empirijske raspodele eksponencijalnom raspodelom*

Na sličan način kao u prethodnoj tački, na slici 3 prikazano je odstupanje teorijske eksponencijalne raspodele ( $F_e$ ) od empirijske raspodele ( $F$ ).



Slika 3 – Grafički prikaz odstupanja eksponencijalne raspodele od empirijske raspodele

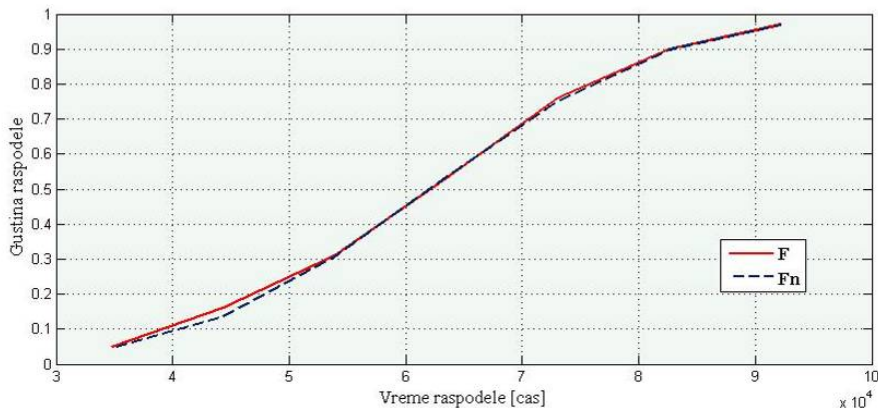
Figure 3 – Variation of the exponential distribution from the empirical distribution

Рис. 3 – Отклонения экспоненциального распределения от экспериментального значения

Sprovedenim testiranjem aproksimativna eksponencijalna raspodela ne zadovoljava test Kolmogorov-Smirnova, jer je  $Max(\Delta F) = 0.3789 > D_{dozv} = 0.1414$ . Ostale testove aproksimativna eksponencijalna raspodela zadovoljava, jer je  $\chi^2 = 0.8317 < 9.488$  i  $R_o = 1.3238 < 3$ .

### *Aproksimacija empirijske raspodele normalnom raspodelom*

Na slici 4 prikazano je odstupanje teorijske normalne raspodele ( $F_n$ ) od empirijske raspodele ( $F$ ).



Slika 4 – Grafički prikaz odstupanja normalne raspodele od empirijske raspodele  
 Figure 4 – Variation of the normal distribution from the empirical distribution  
 Рис. 4 – Отклонение нормального распределения от экспериментального значения

Kao što se može videti sa slike 4, odstupanje vrednosti teorijske normalne raspodele od empirijske su neznatne.

Na osnovu sprovedenih testiranja može se zaključiti da aproksimacija empirijske raspodele Vejbulovom i normalnom raspodelom zadovoljava sve tri vrste testa, dok aproksimacija empirijske raspodele eksponencijalnom raspodelom ne zadovoljava test Kolmogorov-Smirnova, a zadovoljava test Pirsona i Romanovskog.

Na osnovu zaključka ne može se usvojiti hipoteza o tome koja teorijska raspodela najtačnije aproksimira empirijsku raspodelu, te će se nastaviti sa daljom analizom.

Grupisanjem broja otkaza po intervalima vremena otkaza uređaja izgubila se tačnost statističkih mera. Koristeći naredbe u programskom paketu MATLAB izračunaće se funkcija kumulativne raspodele verovatnoće, tj. funkcija nepouzdanosti  $F$  iz podataka o vremenima otkaza RRU-9B za veličinu uzorka  $n = 50$ . Za statističku obradu podataka korišćen je *Statistics Toolbox for use with MATLAB*.

Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2 – Vrednosti funkcije verovatnoće  
 Table 2 – Values of probability functions  
 Таблица 2 – Значения функции вероятности

Raspodela	Stav o hipotezi	$P$	$D_n$	$D_{dozv}$
<b>Vejbulova</b>	<b>A</b>	<b>0.9832</b>	<b>0.0622</b>	<b>0.1484</b>
<b>Eksponencijalna</b>	B	$5.8 \times 10^{-8}$	0.4089	0.1484
<b>Normalna</b>	A	0.9807	0.0635	0.1484

Hipoteza: „A” – prihvata se, „B” – ne prihvata se,  
 $P$  – verovatnoća da je pretpostavljena teorijska raspodela približna empirijskoj.  
 $D_n$  – odstupanje teorijske raspodele od empirijske raspodele.

Na osnovu rezultata iz tabele 2 najpribližnija teorijska raspodela empirijskoj raspodeli je Vejbulova raspodela, sa najvećom vrednošću verovatnoće  $P = 0.9832$  i najmanjim odstupanjem  $D_n = 0.0622 < D_{dozv}$ .

Usvaja se Vejbulova raspodela za aproksimativni model pouzdanosti uređaja RRU-9B sa parametrima razmere  $\eta = 6.8231 \times 10^4$  i parametrom oblika  $\beta = 4.3141$ . Nakon sprovedene analize izraz za *funkciju pouzdanosti (verovatnoću ispravnog rada) uređaja RRU-9B* glasi:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{6.8231 \times 10^4}\right)^{4.3141}} \quad (1)$$

## Određivanje funkcije pouzdanosti sastavnih modula uređaja RRU-9B

Sledeći postupak u analizi jeste određivanje funkcije pouzdanosti sastavnih modula. Ovaj podatak je neophodan za dalju analizu radi poređenja sa funkcijama pouzdanosti sastavnih modula uređaja GRC408E. U radu će se prikazati način određivanja parametara funkcije pouzdanosti samo na modulu pojačavača, a za ostale module prikazaće se gotovi rezultati, dobijeni na opisan način. Procena pokazatelja pouzdanosti i pomoćnih veličina vrši se metodom za mali uzorak i korišćenjem sledećih formula (Ramović, 2005):

– priraštaj rednog broja:  $p = \frac{(n+1) - (\text{prethodni red broj})}{1 + (n - n_i)}$ , gde je

$n = 50$ ,  $n_i$  – ostatak nakon neaktuelnih otkaza ostalih modula,

– stvarni rang (redni broj) rezultata:  $SR$  = kumulativni priraštaj rednog broja,

– medijalni rang:  $MR = \frac{(SR - 0.3)}{(n + 0.4)}$ ,

– funkcija kumulativne raspodele ili funkcija nepouzdanosti  $F = MR$ ,

– funkcija pouzdanosti:  $R = 1 - F$ ,

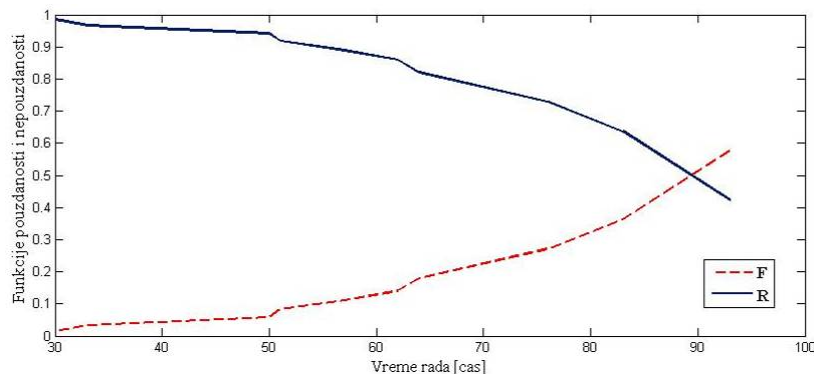
– funkcija intenziteta otkaza:  $h = \frac{1}{n - SR + 0.7 \cdot \Delta t}$ , gde je

$\Delta t = (t_{j+1} - t_j)$  - vreme rada između otkaza, a  $t_j$  vreme rada do otkaza aktuelnog modula.



### Procenjene vrednosti pokazatelja pouzdanosti modula pojačavača

Na osnovu procenjenih vrednosti pokazatelja pouzdanosti, na slici 5 prikazane su grafičke vrednosti funkcije pouzdanosti ( $R$ ) i nepouzdanosti ( $F$ ), za slučaj modula pojačavača.



Slika 5 – Grafički prikaz procenjenih vrednosti funkcija pouzdanosti i nepouzdanosti  
Figure 5 – Graphical representation of the estimated values of reliability and unreliability functions

Рис. 5 – Графическое отображение оценочного значения функций вероятности и невероятности

Proveru hipoteze o aproksimaciji empirijske raspodele nekom od teorijskih raspodela vršiće se grafoanalitičkim metodama (Čatić, 2005). Za razliku od grafičke metode, vršiće se analitičko određivanje parametara regresivne prave  $Y = aX + b$  Y metodom najmanjih kvadrata. Koeficijenti regresivne prave određuju se pomoću jednačina:

$$a = \frac{\sum (X_i \cdot Y_i) - \frac{\sum X_i \cdot \sum Y_i}{n}}{\sum (X_i^2) - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}, \quad (2)$$

$$b = \frac{\sum Y_i}{n} - a \cdot \frac{\sum X_i}{n}. \quad (3)$$

Koeficijent determinacije određuje se prema sledećoj formuli:

$$KD = \frac{\left( \sum (X_i \cdot Y_i) - \frac{\sum X_i \cdot \sum Y_i}{n} \right)^2}{\left( \sum (X_i^2) - \frac{(\sum X_i)^2}{n} \right) \cdot \left( \sum (Y_i^2) - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \right)}. \quad (4)$$

### *Aproksimacija empirijske raspodele Vejbulovom raspodelom*

U slučaju grafoanalitičke metode, kod Vejbulove raspodele, na  $X$  osu unose se vrednosti za  $w$ , definisane izrazom  $w = \ln(\ln(1/R(t)))$ , a na  $Y$  osu vrednosti  $\ln(t)$ . Prema formulama (2), (3) i (4) izračunaće se koeficijenti  $a_w$ ,  $b_w$  i  $KD_w$ , a na osnovu njih parametri Vejbulove raspodele:

$$- \beta = \frac{1}{a_w} = 3.3946 - \text{parametar oblika,}$$

$$- \eta = e^{b_w} = 103.967 - \text{parametar razmere.}$$

Na sličan način kao u prethodnoj tački vrši se testiranje hipoteze o aproksimaciji empirijske raspodele Vejbulovom raspodelom, testom Kolmogorov-Smirnova. Za usvojeni nivo rizika  $\alpha = 0.2$  i veličinu uzorka  $n = 10$ , tablična vrednost  $D_{dozv} = 0.1414$ . Najveća razlika između teorijske raspodele i procenjenih vrednosti je  $\max(\Delta F) = 0.0812 < D_{dozv} = 0.1414$ .

Zaključuje se da teorijska aproksimativna Vejbulova raspodela *zadovoljava* test Kolmogorov-Smirnova.

### *Aproksimacija empirijske raspodele eksponecijalnom raspodelom*

Kod eksponencijalne raspodele na  $X$  osu unose se vrednosti definisane izrazom  $X_e = \ln(R(t))$ , a na  $Y$  osu vrednosti  $Y_e = t$ . Kao i u prethodnom slučaju, izračunavaju se koeficijenti definisani formulama (2)-(4), a na osnovu njih srednja vrednost eksponencijalne raspodele  $\lambda$  prema formuli:  $\lambda = |a_e| + b_e = 113.2523$ .

Za usvojeni nivo rizika  $\alpha = 0.2$  i veličinu uzorka  $n = 10$ , tablična vrednost  $D_{dozv} = 0.1414$ , a najveća razlika između teorijske raspodele i procenjenih vrednosti iznosi  $\max(\Delta F) = 0.2989 > D_{dozv} = 0.1414$ . Aproksimativna eksponencijalna raspodela *ne zadovoljava* test Kolmogorov-Smirnova.

## Aproksimacija empirijske raspodele normalnom raspodelom

Primenom grafoanalitičke metode, na  $X$  osu unose se vrednosti za  $z$  definisane izrazom:

$$z = p - \frac{c_0 + c_1 \cdot p + c_2 \cdot p^2}{n + d_1 \cdot p + d_2 \cdot p^2 + d_3 \cdot p^3}, \text{ pri čemu je } p = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)}, \text{ a}$$

konstante imaju sledeće vrednosti:  $c_0 = 2.51$ ,  $c_1 = 0.80$ ,  $c_2 = 0.01$ ,  $d_1 = 1.43$ ,  $d_2 = 0.18$  i  $d_3 = 0.0001$ . Na  $Y$  osu unose se vrednosti  $t$ .

Nepoznati parametri  $\mu$  i  $\sigma$  normalne raspodele određuju se pomoću izraza:

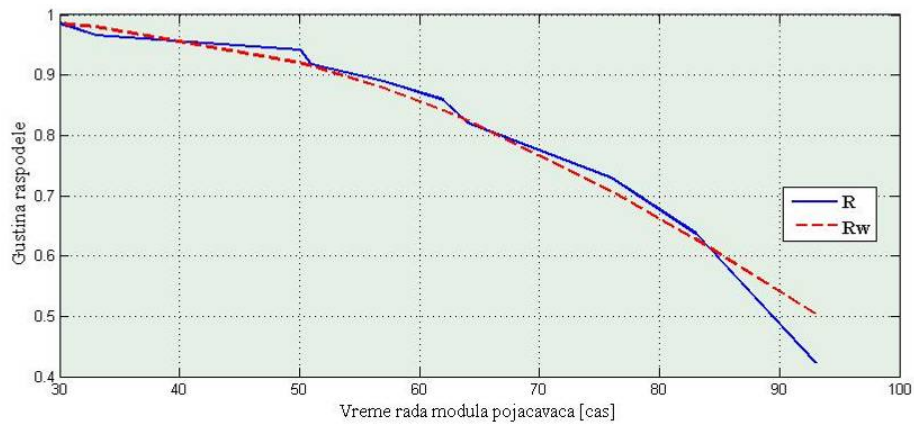
- $\mu = b_1 = 112.7115$  – srednja vrednost i
- $\sigma = a_n = 38.2798$  – standardna devijacija.

Najveće odstupanje između teorijske i procenjene vrednosti raspodele iznosi:  $\max(\Delta F) = 0.2738 > D_{dov} = 0.1414$ , te aproksimacija empirijske raspodele sa normalnom teorijskom raspodelom *ne zadovoljava* test Kolmogorov-Smirnova.

Iz sprovedene analize zaključuje se da jedino Vejbulova raspodela zadovoljava test Kolmogorov-Smirnova. Iz tog razloga *usvaja se Vejbulova raspodela*, kao aproksimativna raspodela empirijske raspodele, sa parametrima: oblika  $\beta = 3.3946$  i razmere  $\eta = 103.967$ , pa je izraz za verovatnoću ispravnog rada (funkcija pouzdanosti) modula pojačavača RRU-9B:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{103.967}\right)^{3.3946}}. \quad (5)$$

Na slici 6 prikazano je odstupanje Vejbulove raspodele ( $R_w$ ) od empirijske raspodele ( $R$ ) za modul pojačavača (mali uzorak).



Slika 6 – Prikaz odstupanja Vejbulove raspodele od empirijske raspodele za modul pojačavača  
Figure 6 – Deviations from the empirical distribution to the Weibull distribution for the power amplifier module

Рис. 6 – Отклонение распределения Вейбула от экспериментального значения для усиливающего модуля

### Procenjene vrednosti pokazatelja pouzdanosti ostalih modula

Na identičan način sprovedena je analiza i testiranje aproksimativnih raspodela ostalih sastavnih modula uređaja, a dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3 – Vrednosti funkcije pouzdanosti sastavnih modula RRU-9B  
Table 3 – Reliability function values for the RRU-9B component modules  
Таблица 3 – Значения функций надежности компонентов модуля RRU-9B

MODUL	<i>n</i>	max ( $\Delta F$ )	Usvojena raspodela	Funkcija pouzdanosti
Pojačavač	10	0.0812	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{103.967}\right)^{3.3946}}$
Pilotska sekcija	5	0.0499	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{107.5013}\right)^{4.3703}}$
Napajanje	21	0.1164	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{79.57}\right)^{4.527}}$
Regulator izlazne snage	5	0.1089	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{91.457}\right)^{8.179}}$
Prijemnik	4	0.0289	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{111.3629}\right)^{4.5439}}$

MODUL	$n$	$\max(\Delta F)$	Usvojena raspodela	Funkcija pouzdanosti
Filter	2	0	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{100.8706}\right)^{8.1265}}$
Modulator	3	0.0104	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{150.8002}\right)^{3.0346}}$
RRU-9B	50	0.0208	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{6.8231 \times 10^4}\right)^{4.3141}}$

## Određivanje funkcije pouzdanosti uređaja specijalne namene GRC 408E

Procenjene vrednosti parametara pouzdanosti predmetnog uređaja korišćeni su iz dostupne literature (Radonjić, i dr., 2013), a u tabeli 4 prikazani su podaci o intenzitetu otkaza  $\lambda$  i srednjem vremenu rada do otkaza *MTBF*, celog uređaja i sastavnih modula uređaja od A18-A25.

Tabela 4 – Parametri pouzdanosti uređaja GRC 408E

Table 4 – Reliability parameters for the GRC 408E

Таблица 4 – Параметры надежности устройства GRC 408E

Parametri	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	166.54
MTBF (h)	44612	62274	148358	73874	191433	65127	36451	104717	19908	6004
MTBF (god.)	5.09	7.11	16.94	8.43	21.85	7.43	4.16	11.95	2.27	0.68

Sprovedena analiza realizovana je na osnovu pretpostavke da vremena rada do otkaza imaju eksponencijalni karakter, a intenzitet otkaza je konstanta (Adamović, i dr, 2011). Oblik funkcije pouzdanosti sastavnih modula i uređaja prikazan je izrazom:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Funkcija pouzdanosti za uređaj GRC 408E je:

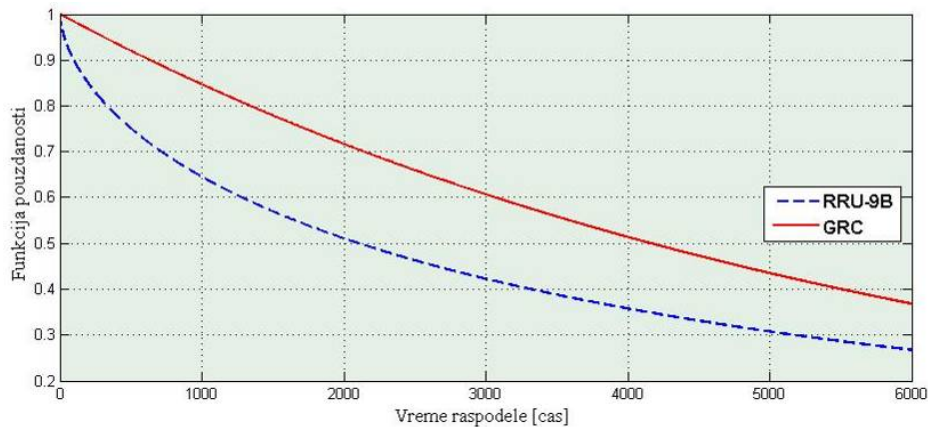
$$R(t) = e^{-(166.54 \times 10^{-6}) \cdot t} \quad (7)$$

dok je za primer modula filtera A19:

$$R(t) = e^{-(9.55 \times 10^{-6}) \cdot t} \quad (8)$$

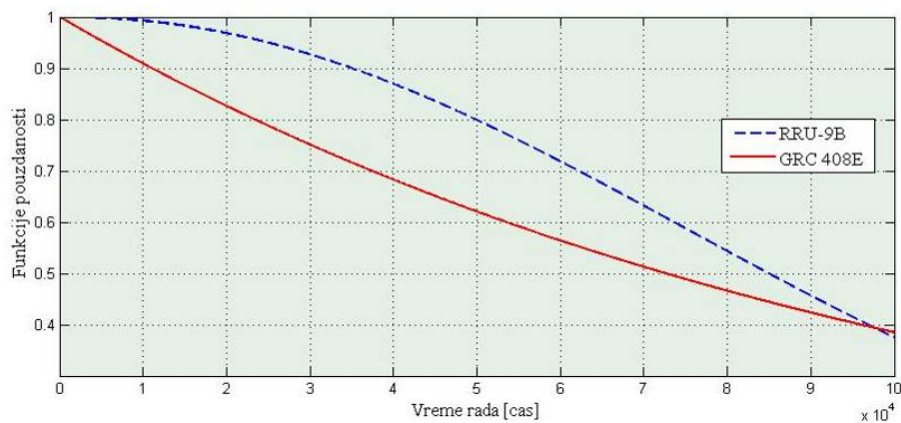
Grafički prikaz poređenja funkcija pouzdanosti uređaja RRU-9B i GRC 408E prikazan je na slici 7. Sa slike se može zaključiti da vrednosti funkcije pouzdanosti uređaja GRC 408E imaju veće vrednosti od RRU-9B. Veće vrednosti javljaju se zbog toga što je intenzitet otkaza sastavnih modula ma-

nji, jer se radi o savremenim uređajima, konstrukcijski izrađenim u SMD tehnologiji. Međutim, analizom i poređenjem funkcija pouzdanosti sastavnih modula zaključuje se da su vrednosti funkcije pouzdanosti sastavnog modula filtera A19, kod GRC 408E, manje u odnosu na RRU-9B. Grafičko poređenje funkcija pouzdanosti modula filtera prikazano je na slici 8.



Slika 7 – Grafičko poređenje funkcija pouzdanosti za uređaje RRU-9B i GRC408E  
 Figure 7 – Comparison of the reliability functions for the RRU-9B and the GRC408E  
 Рис. 7 – Графическое сравнение функций надежности устройств RRU-9B и GRC408E

Sprovedenom analizom zaključuje se da vrednosti funkcije pouzdanosti sastavnih modula uređaja GRC 408E i celog uređaja imaju veće vrednosti u odnosu na module i uređaj RRU-9B (što se vidi na slici 7), osim modula filtera A19 (slika 8).



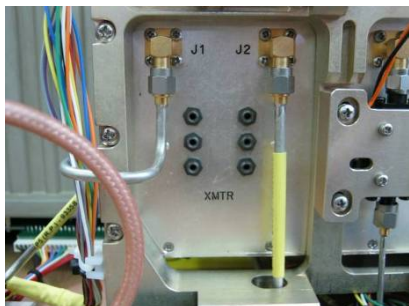
Slika 8 – Grafičko poređenje funkcija pouzdanosti modula filtera za RRU9B i GRC408E  
 Figure 8 – Comparison of the reliability functions for RRU-9B and GRC408E filter modules  
 Рис. 8 – Графическое сравнение функций надежности модулей фильтров RRU9B и GRC408E

Rezultati dobijeni sprovedenom analizom su očekivani, jer je uređaj GRC 408E savremen, konstruisan i izrađen u savremenoj tehnologiji, od komponenti koje imaju manji intenzitet otkaza. Modul filtera A19 je konstrukciono sličan modulu filtera kod uređaja RRU-9B, ali ima veće vrednosti intenziteta otkaza  $\lambda$ , a time i manje vrednosti funkcije pouzdanosti. Razlog tome je što je modul A19 konstrukciono nadograđen elementima koji omogućuju softversko upravljanje radom filtera. Koliko se konstrukciono dobilo na poboljšanju uređaja, sa aspekta pouzdanosti se izgubilo, jer su vrednosti funkcije pouzdanosti modula A19 manje u odnosu na isti modul kod uređaja RRU-9B.

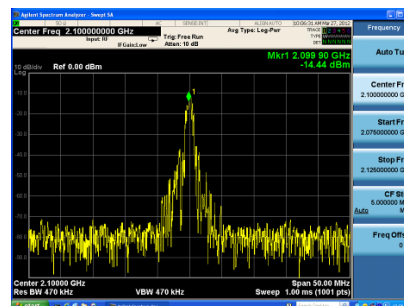
Dalja analiza vezana za modul A19 usmeriće se prema oblasti održavanja uređaja i predmetnog modula, kako bi se u istraživanjima sagledali aspekti pogodnosti za održavanjem.

## Iskustva iz održavanja modula filtera A19

Modul A19, radio-frekventni (RF) filter, sastoji se od dva dela: predajnog i prijemnog dela. Upravljanje radom filtera realizuje se od centralne procesorske jedinice (modula A14), preko modula A13 (modul službenog kanala, EOW interfejsa), koji šalje upravljačke signale koračnim motorima za njihovo pozicioniranje. Pravilnim pozicioniranjem motora obezbeđuje se postavljanje filtera na zadatu predajnu, odnosno prijemnu frekvenciju. Na slici 9 prikazan je izgled modula A19 unutar uređaja GRC, a na slici 10 RF ulazni signal u filter, oslabljen 50 dB iz pojačavača snage.



Slika 9 – Izgled RF filtera u uređaju  
Figure 9 – Layout of the RF filters in the unit  
Puc. 9 – Изображение RF фильтра в устройстве



Slika 10 – Ulazni signal u RF filter  
Figure 10 – The input signal to the RF filter  
Puc. 10 – Входящий сигнал RF фильтра

Na slici 11 prikazan je primer filterske karakteristike modula A19, snimljene analizatorom mreže, u toku tehnološkog procesa održavanja uređaja GRC<sup>1</sup>. Sa slike se uočava da je filterska karakteristika izobličena i da nije si-

<sup>1</sup> Tehnološkom procedurom i dijagnostičkom opremom na najvišem nivou održavanja moguće je snimiti filtersku karakteristiku modula A19. Snimanje karakteristike realizuje se u toku postupka defektacije modula odgovarajućim instrumentom. Tehnološka procedura najvišeg nivoa održavanja jedina propisuje i dozvoljava sve tehnološke operacije održavanja modula A19.

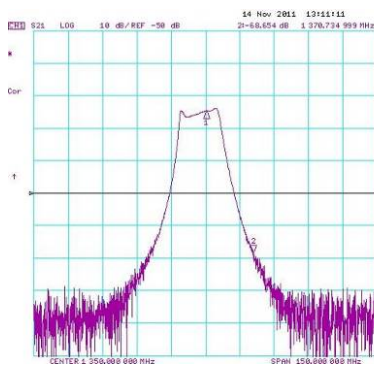
metrična po centralnoj frekvenciji. Uzrok izobličenosti filterske karakteristike može biti različit. Primenom tehnoloških procedura najvišeg nivoa održavanja, na određenom broju uređaja i filtera, došlo se do pokazatelja da je taj uzrok bio: nepodešenost filtera u 4% slučajeva, greška u pozicioniranju step-motora u 4% slučajeva i greška memorije u 1% slučajeva.

Posledice izobličenosti filterske karakteristike su nedovoljna snaga signala na aktuelnoj frekvenciji i prekid radio-relejnog linka, loš prijem signala sa nedozvoljenim brojem grešaka u prenosu signala. Ove neispravnosti dobijaju se kao rezultat testiranja uređaja dijagnostičkom opremom u laboratorijskim uslovima, pri realizaciji srednjeg i najvišeg nivoa održavanja uređaja GRC 408E. Aktuelna neispravnost ne može se uočiti samotestiranjem uređaja, tj. tehnološkom procedurom i dijagnostičkom opremom na nižem nivou održavanja.

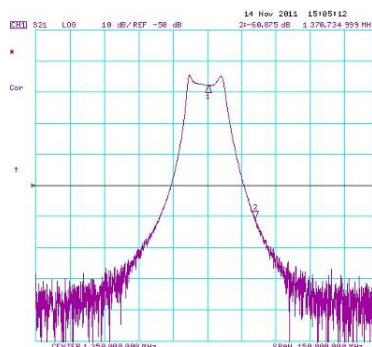
Realizacijom preventivnog održavanja i primenom tehnološke procedure za srednji nivo održavanja (Radonjić, i dr., 2013), u određenom periodu i određenom broju uređaja, konstatovana je neispravnost oko 9% ukupnog broja uređaja sa manifestacijom neispravnosti modula filtera A19, te su uređaji poslani na najviši nivo održavanja.

U skladu sa organizacijom održavanja, defektacija i opravka uređaja zbog ove vrste neispravnosti može se realizovati samo na najvišem nivou održavanja. Primenom akcija korektivnog održavanja na uređaju i samom modulu A19, na najvišem nivou održavanja, dobija se filterska karakteristika kao na slici 12, a testiranjem uređaja, dijagnostičkom aparaturom u laboratorijskim uslovima, konstatovana je ispravnost uređaja.

Iskustva iz održavanja pokazuju da je relativno veliki broj uređaja GRC bio neispravan usled neispravnosti modula A19, u relativno kratkom eksploatacionom vremenu.



Slika 11 – Izobličena filterska karakteristika  
Figure 11 – Distorted filter characteristic  
Puc. 11 – Искраженые характеристики фильтра



Slika 12 – Ispravna filterska karakteristika nakon akcije održavanja  
Figure 12 – The proper filter characteristic after maintenance actions  
Puc. 12 – Требуемые характеристики фильтра после проведения мероприятий по техническому обслуживанию



Sprovedena istraživanja, realizovana poređenjem funkcija pouzdanosti uređaja i sastavnih modula, sa prikazanim laboratorijskim merenjima i iskustvima iz održavanja ove vrste uređaja i otkaza koji su postojali zbog modula A19, opravdavaju razmišljanje da u budućem periodu istraživanja treba usmeriti ka modernizaciji modula A19. Prilog ovim istraživanjima dodatno opravdava i činjenica da je proizvođač uređaja „*Elbit System Tadiran*” započeo serijsku proizvodnju i ima u ponudi prodaju ove vrste uređaja novije generacije sa novim rešenjem modula A19, realizovanim kao digitalni filter, kojem je frekventni opseg rada do 900 MHz.

Postojeće rešenje modula filtera A19 i predlog modernizacije prikazani su u nastavku rada.

## Postojeće rešenje RF filtra

Većina filtera u radio-relejnjoj tehnici realizuju se kao filteri sa rezonantnim šupljinama, s obzirom na zahtevanu izlaznu snagu i na korišćeni frekvencijski opseg. Filteri sa rezonantnim šupljinama karakterišu relativno stabilne amplitudske i fazne karakteristike na visokim učestanostima, relativno uske prelazne zone i slabo izraženi prelazni procesi.

Ono što predstavlja najveći nedostatak kod ove vrste filtera je: upravljanje njihovim radom u okviru softverski upravljanim radom celog uređaja, spora komunikacija sa centralnom procesorskom jedinicom, spor odziv na upravljački signal, primena elektromotora u pozicioniranju filtera na zadanu frekvenciju, nepovoljne karakteristike pogodnosti za održavanje u smislu nemogućnosti agregatne zamene bez dodatnih postupaka kalibracije i podešavanja sa dodatnom specijalnom opremom, a održavanje je moguće samo u organizaciji najvišeg nivoa održavanja uz dugo vreme za korektivno održavanje. Analizom sa aspekta održavanja uočeno je da defektacija uređaja predviđenom tehnološkom procedurom i opremom na najnižem nivou održavanja nije pouzdana, jer se greške u radu modula mogu defektirati samo tehnologijom i opremom na srednjem i najvišem nivou održavanja, te se tako ne obezbeđuje pouzdanost u radu uređaja.

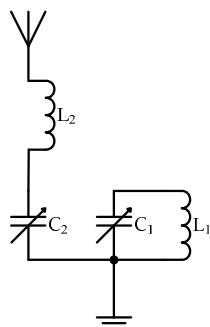
Električna šema filtera za rezonantnim šupljinama predstavljena je na slici 13. Modul filtra A19 predstavlja LC filter kod kojeg se podešavanje vrši mehanički, promenom zazora između zavrtnjeva i tela kutije filtra (promenom dimenzija rezonatora), čime se menjaju kapacitivnosti kondenzatora C1 i C2 (slika 13).

Upravljanje radom i podešavanje filtera A19 na radnu frekvenciju vrši se pomoću koračnih step-motora, koji podatke neophodne za pozicioniranje filtera dobijaju iz memorije koja se nalazi unutar filtera, a upravljačke signale iz modula A13.

Intenzitet otkaza, proračunat na osnovu sastavnih elemenata modula A19, iznosi  $\lambda = 9.55 \times 10^{-6} [h^{-1}]$ . Fabrička vrednost novona-

bavljenog modula A19, ne računajući uvozne dažbine, iznosi 9885 \$, što je 35% vrednosti celog uređaja. Kao što se vidi, RF filter ima značajan novčani udeo u celokupnom iznosu novčane vrednosti celog uređaja.

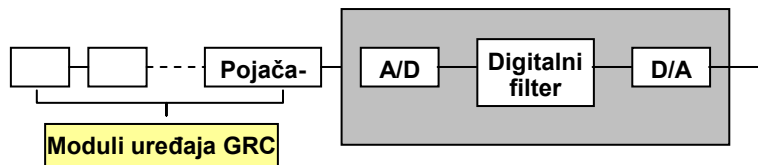
U nastavku rada sprovedena su istraživanja i dat predlog moguće modernizacije modula A19 u smislu digitalizacije filtera, kao jedno od mogućih rešenja na polju poboljšanja i komercijalizacije modula A19.



Slika 13 – Konstrukcija filtera sa rezonantnim šupljinama  
 Figure 13 – Design of the filters with resonant cavities  
 Рис. 13 – Конструкция фильтра с резонаторами

## Predlog modernizacije RF filtera

Na slici 14 prikazana je blok-šema sa predlogom moguće modernizacije postojećeg analognog RF filtera.

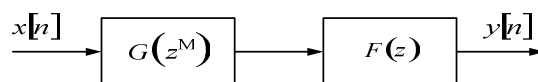


Slika 14 – Blok-šema modernizacionog modula RF filtera  
 Figure 14 – Block diagram of the RF filter module after modernization  
 Рис. 14 – Блок-схема модернизированного модуля RF-фильтра

Sa slike 14 se vidi da modernizacioni set (modul), koji bi se implementirao umesto modula A19 (RF filtra), čini A/D konvertor, digitalni filter i D/A konvertor. Konvertori su komercijalne izvedbe i nisu predmet sprovedenih istraživanja.

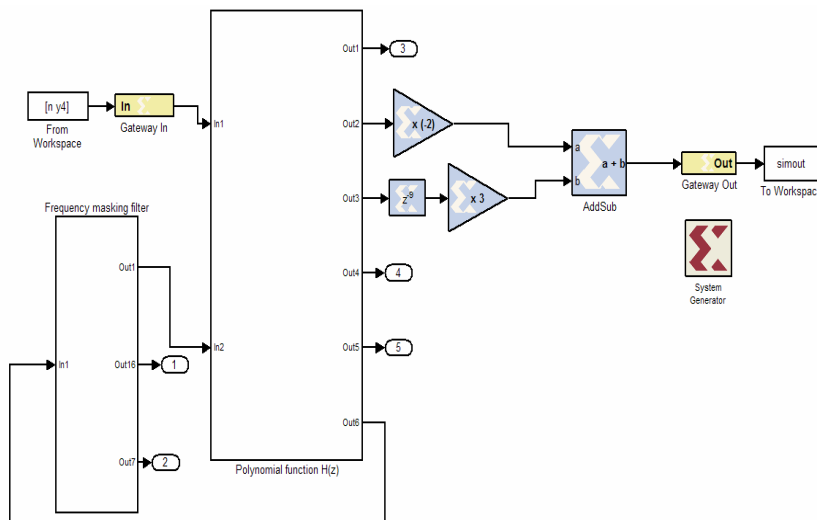
Alati za projektovanje digitalnih struktura koje proizvođači programabilnog hardvera daju korisnicima u novije vreme postaju sve potpuniji i nude sve više slobode pri projektovanju. Korisniku je pružena mogućnost da, prilikom projektovanja, bira da li će da koristi neko od gotovih rešenja, originalnim alatom proizvođača ili nekim standardnim alatom (uključujući i Matlab).

U sprovedenim istraživanjima modelovanje digitalnog filtera realizovano je korišćenjem *Xilinx*-ovog softvera System Generator, koji daje vezu sa Matlab-om i omogućava snimanje amplitudske karakteristike filtera. Pri tome je korišćena najnovija generacija FPGA čipova (*Xilinx*-ov Virtex 7) koja omogućava znatno uvećanje maksimalne frekvencije odabiranja (<http://www.xilinx.com>). Filter je modernizovan na principu frekvencijskog maskiranja (Frequency-response masking tehnique). Uskopojasni filter izveden je kao kaskadna veza periodičnog model filtera  $G(z^M)$  i maskirajućeg filtera  $F(z)$ , kako je to prikazano na slici 15.



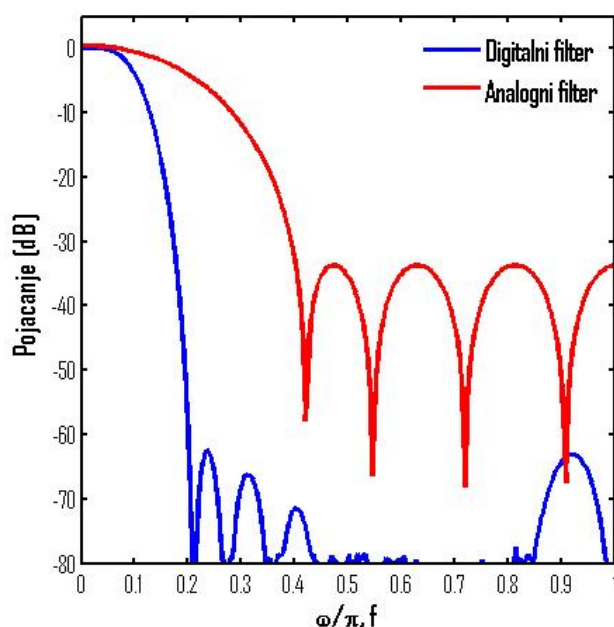
Slika 15 – Kaskadna veza periodičnog modela filtera i maskirajućeg filtera  
 Figure 15 – Cascaded connection of the periodic filter and the masking filter  
 Рис. 15 – Каскадное подключение периодического фильтра и маски фильтра

Predlog realizacije digitalnog filtera prikazan je na slici 16 (Kaiser, et al, 2009), (Poucki et al, 2010), a na slici 17 vidi se uporedni prikaz dobijene amplitudske karakteristike predloženog digitalnog filtera i postojećeg rešenja analognog filtera sa rezonatnim šupljinama. Kao što se vidi, dobijena karakteristika digitalnog filtera je sa strmom prelaznom zonom, a odstupanja na karakteristici su posledica načina snimanja amplitudske karakteristike (po principu odbirak po odbirak).



Slika 16 – Predlog realizacija digitalnog filtera modelovanjem *Xilinx*-ovim softverskim alatom System Generator  
 Figure 16 – Proposal for the implementation of digital filters by using System Generator, *Xilinx*'s software tools  
 Рис. 16 – Предложение по устройству цифрового фильтра путем моделирования System Generator с использованием программного обеспечения *Xilinx*

Na osnovu dostupne literature o fabričkim karakteristikama delova modernizacionog seta (<http://www.buyaltera.com/scripts/partsearch.dll>, <http://www.analog.com/en/digital-to-analog-converters/high-speed-da-converters/products/index.html>) moguće je proračunati intenzitet otkaza predloženog modernizacionog seta, koji se sastoji iz digitalnog filtra i konvertora signala. Tako proračunata vrednost intenziteta otkaza predloženog modernizacionog seta iznosi:  $\lambda = 0.96 \cdot 10^{-6} h^{-1}$ . Novčana vrednost modernizacionog seta orijentaciono je 650\$, što je, u odnosu na novčanu vrednost analognih filtera (9885\$), mnogo manja vrednost.



Slika 17 – Uporedni prikaz amplitudskih karakteristika realizovanog digitalnog filtera i postojećeg analognog filtera

Figure 17 – Comparative review of the amplitude characteristics of the realized digital filter and the existing analog filter

Рис. 17 – Сравнительный обзор амплитудных характеристик цифрового фильтра и существующего аналогового фильтра

Ograničavajući faktor za primenu predložene modernizacije jeste da se u budućem periodu stvore hardverski uslovi koji će omogućiti rad digitalnog filtera na frekvencijama, na kojima radi predmetni uređaj specijalne namene. S obzirom na napredak tehnologije izrade VLSI (VeryLarge-Scale/Integration) komponenti, može se očekivati da će komponente *novije generacije* u VLSI tehnologiji vrlo brzo imati primenu na višim frekvencijama.

## Zaključak

U radu je sprovedena sveobuhvatna analiza i poređenje karakteristika pouzdanosti uređaja specijalne namene. Na osnovu rezultata analize i iskustva iz održavanja, zaključuje se da je modernizacija modula RF filtra korisna radi poboljšanja karakteristika pouzdanosti i održavanja. U tom smislu predložena je modernizacija postojećeg analognog RF filtra. Modernizacija je modelovana odgovarajućim softverskim alatima za projektovanje digitalnih filtera, a dobijeni rezultati opravdavaju sprovedena istraživanja.

Na osnovu dobijenih rezultata modelovanja digitalnog filtera i sagledavanja mogućnosti njegove primene u uređaju GRC 408E, donose se sledeći zaključci:

- intenzitet otkaza modernizacionog seta  $\lambda = 0.96 \cdot 10^{-6} h^{-1}$  manji je u odnosu na dosadašnju vrednost intenziteta otkaza modula A19 koja iznosi  $\lambda = 9.55 \cdot 10^{-6} h^{-1}$ ,
- jako uska prelazna zona, čime se postiže oštra amplitudska karakteristika,
- cena modernizacionog seta je mnogo manja od cene analognog RF filtra,
- težina i gabariti su mnogo manji, što čini da je uređaj lakši za rad i transport,
- omogućeno je održavanje u smislu agregatne zamene modernizacionog seta novim ili prebacivanjem sa drugog uređaja, što nije moguće u trenutnoj izvedbi filtera bez kalibracije i dodatnih podešavanja, koji se moraju izvesti u laboratorijskim uslovima,
- agregatna zamena modernizacionog seta omogućava da se korektivno održavanje realizuje na srednjem nivou održavanja,
- korektivno održavanje je jednostavno i svodi se na zamenu komponente, FPGA čipa ili DSP procesora,
- vreme korektivnog održavanja je mnogo kraće nego kod analognih mehaničkih filtera sa rezonantnim šupljinama, te su poboljšane karakteristike pogodnosti za održavanje,
- omogućena je pouzdana dijagnostika ispravnosti modernizacionog seta na svim nivoima održavanja,
- upravljanje radom digitalnog filtera od strane centralne procesorske jedinice je olakšano i pouzdano, a brzina odziva filtera na promenu frekvencije je trenutna.

Sprovedena istraživanja daju doprinos u oblasti održavanja ove vrste uređaja, jer se na osnovu dobijenih rezultata zaključuje da će u budućnosti biti moguća zamena postojećeg analognog filtera novim digitalnim filterom i da je predložena modernizacija opravdana sa svih aspekata održavanja.

## Literatura

- Adamović, Ž., Stanković, N., & Savić, B., 2011. Pouzdanost mašina i postrojenja, StylosArt, Novi Sad.
- Čatić, D. 2005. Razvoj i primena metoda teorije pouzdanosti, Mašinski fakultet Kragujevac.
- Ivanović, G. & Stanivuković, D.. 1988. Pouzdanost-analiza i projektovanje, Savezni sekretarijat za narodnu odbranu Tehnička uprava, Beograd.
- Kaiser, F.J.,& Hamming, R.W. 1977. Sharpening the response of a symmetric non-recursive filter by multiple use of the same filter., IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol.ASSP-25, pp.415-422.
- Poucki, V.M., Ženuva, A., Lutovac, M.D., & Karcnik, T. 2010, Elliptic IIR filter sharpening implemented on FPGA., Digital Signal Processing 20 (2010), pp.13-22.
- Radonjić, V., Jovanović, D.,& Ćirić, M. 2014. Optimalni model koncepta održavanja radio-relejnih uređaja. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 3/2014.
- Radonjić, V., Jovanović, D., & Milojević, I. 2013a. Proračun parametara pouzdanosti kod uspostavljanja organizacije održavanja radio-relejnih uređaja, 16. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću", ICDQM., str.471-476.
- Radonjić, V., Jovanović, D., & Milojević, I. 2013b. Tehnološka procedura srednjeg nivoa održavanja savremenih radio-relejnih uređaja., 16. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću", ICDQM. , str.465-470.
- Ramović, R. 2005. Pouzdanost sistema elektronskih, telekomunikacionih i informacionih, Elektrotehnički fakultet Beograd Katedra za mikroelektroniku i tehničku fiziku, Beograd.
- <http://www.xilinx.com>
- <http://www.buyaltera.com/scripts/partsearch.dll>
- <http://www.analog.com/en/digital-to-analog-converters/high-speed-da-converters/products/index.html>

## УПРОЩЕНИЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ УСТРОЙСТВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ АНАЛОГОВОГО ФИЛЬТРА

ОБЛАСТЬ: поддержка технологических систем  
 ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья  
 ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

### Резюме:

*В работе проведен анализ и сравнение показателей надежности двух типов специальных устройств, которые используются в радиорелейных системах.*

*Основываясь на результатах проведенного анализа, опыта, накопленного при эксплуатации устройств при обеспечении поддержки доменов верхнего уровня, предложен способ модернизации, путем замены существующего аналогового радио-частотного фильтра на соответствующий цифровой фильтр. Предлагаемый способ модернизации упрощает технологические процессы по обслуживанию устройств, облегчает ремонтпригодность, увеличивает надежность, значительно снижая затраты при эксплуатации.*

Ключевые слова: *надежность, поддержка, модернизация, фильтр.*

## IMPROVEMENTS OF THE MAINTENANCE OF SPECIAL PURPOSE DEVICES BY ANALOG FILTER MODERNIZATION

FIELD: Maintenance of technical systems  
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper  
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

### Summary:

*This paper deals with an analysis and a comparison of the reliability of two types of special-purpose devices used in radio-relay systems.*

*Based on the results of the analysis and the experience in top-level domains device maintenance, this paper proposes a modernization method of the existing analog radio-frequency filter with an appropriate digital filter. The proposed modernization of the technological process improves the characteristics of maintainability, increases reliability in performance while dramatically reducing the cost of equipment maintenance.*

### Introduction

*All technical devices during their lifetime pass various stages, from construction, development and production, through operation and maintenance to the end of their life cycle. This paper conducted research and an analysis on the GRC 408E special purpose device which did not pass the phases of construction, development and production in national institutions.*

*An optimal model of the concept of maintenance and maintenance organization of this type of device is presented in the available literature. Taking into account that, during the system lifetime, equipment modernization can be implemented, this paper deals with a comprehensive study aimed at finding the weaknesses of the device and proposes its modernization. The device modernization by a modernizing set was modeled by an appropriate software design tool and the modernization costs were then approximated.*

*The conducted research is based on:*

- 1. determining the reliability function of the RRU-9B device and its component modules,*
- 2. determining the reliability function of the GRC 408E device and its component modules,*
- 3. analysis and mutual comparison of the reliability function of the two types of devices and their component modules,*
- 4. laboratory measurements,*
- 5. experience from the highest level of the GRC 408E equipment maintenance*

### Conditions for the research realization

*The research faced a number of difficulties since there is not enough data from the exploitation of the GRC 408E special purpose device that can be used as reliability indicators. Therefore, the analysis and re-*

search directed towards the reliability function were carried out in two ways:

- for the RRU-9B device, the research was based on the patterns of failure time in the period from 2006 to 2013,
- for the GRC 408E device, the research was based on the calculated failure intensity of the integral components of individual modules.

#### *Determining the reliability function of the RRU-9B device*

*The reliability function was determined by determining the law of distribution of work time to failure on a sample of 50 devices. Based on the data on work time to failure, the empirical distribution function of the time to failure is determined. After that, the appropriate method is applied for an approximation of the empirical distribution with the corresponding theoretical distribution, followed by the approximation verification by appropriate testing. This paper also deals with the empirical (estimated) reliability function approximation by theoretical distributions: Weibull, exponential and normal. The testing of the obtained approximations is carried out using the following tests: Kolmogorov-Smirnov, Pearson and Romanovskogo.*

#### *Approximation of the empirical distribution by the Weibull distribution*

*Figure 2 shows the approximation of the empirical distribution by the Weibull distribution. After the completion of the testing, it is concluded that the approximation satisfies all three types of tests.*

#### *Approximation of the empirical distribution by the exponential distribution*

*Figure 3 shows the approximation of the empirical distribution by the exponential distribution. After the completion of the test, it is concluded that the approximation does not satisfy the Kolmogorov-Smirnov test, while it satisfies the Pearson and Romanovskogo tests.*

#### *Approximation of the empirical distribution by the normal distribution*

*Figure 4 shows the approximation of the empirical distribution by the normal distribution. After the completion of the testing, it is concluded that the approximation satisfies all three types of tests.*

*Grouping the number of failures per time intervals results in losing the accuracy of statistical measures. The commands in the MATLAB are used to calculate the cumulative probability distribution function, i.e. a function of uncertainty based on a sample of 50 devices.*

*Based on these results, it is concluded that the Weibull distribution best approximates the empirical distribution. The Weibull distribution with corresponding parameters is accepted and the function of reliability for the RRU-9B device has the form as in formula (1).*

*Determining the reliability function of the RRU-9B device modulesData on the reliability functions of the RRU-9B components is*



necessary for the further analysis in order to compare these functions to the reliability functions of the components of the GRC 408E special purpose device. The calculation of the reliability function is performed by a suitable method for a small sample.

Estimated values of the amplifier module reliability

Figure 5 shows the graphical values of the reliability and unreliability functions of the amplifier module. The estimated values of the reliability function are approximated by the corresponding theoretical distribution functions as follows: Weibull, exponential and normal distribution. Based on the analysis and the corresponding testing, it is concluded that only the Weibull distribution satisfies the test. Therefore, the Weibull distribution is adopted as an approximate distribution of the empirical distribution function according to formula (5).

Figure 6 shows the deviation of the Weibull distribution from the empirical distribution for the case of the amplifier module.

The analysis has also been applied to other RRU-9B components and the same test results have been obtained as shown in Table 3.

Determination of the reliability function of the GRC 408E special purpose device

Table 4 presents the data on the intensity of failure of particular modules as well as of the entire GRC 408E device. The reliability function of the modules and the device is calculated based on formula (6). Figure 7 shows a comparison of the reliability functions of two devices from which it is concluded explicitly that the GRC device is more reliable in operation.

A comparison of the reliability functions of modules of two devices has been carried out in a similar way. Only the RRU-9B filter module has higher values of the reliability function.

These results are expected because the two filters are structurally similar, the only difference being in the GRC filter which is upgraded with stepper motors for filter control. This upgrade increased the intensity of filter module failure so the value of the reliability function is lower.

The conducted analysis leads to the conclusion that if we want to increase the level of reliability of the filter modules, their construction must be modernized, which will increase the whole device reliability value. The analysis will be extended to the experience gained during the device maintenance.

The experience during the maintenance of the filter module of the GRC device

This section explains the most common cases of malfunctions caused by the filter module. Figure 11 shows the filter characteristics of the defective device, while Figure 12 gives the filter characteristics after corrective maintenance actions at the highest level of maintenance.

*Based on the experience of special-purpose device maintenance, it can be concluded that in the future the filter should be modernized in order to increase the reliability of the whole unit.*

#### Existing solution of the RF filter

*Figure 13 shows the existing solution of the analog filter. The filter control and adjustment is done by using stepper motors which obtain the data on positioning to the operating frequency from the A13 official channel module. The filter default value is 35% of the entire device value.*

#### Proposal for an RF filter modernization

*Figure 14 shows the block diagram of the proposed modernization of the existing analog RF filters. The modernizing set to be included instead of the filter module consists of: A/D converter, digital filter, and D/A converter. Converters are of commercial performance and are not a subject of research. Using appropriate software tools to design digital filters led to the structure of the digital filter implemented using Xilinx's System Generator software which provides a link with Matlab and captures the amplitude characteristic. The latest generation of FPGA circuits (Xilinx's Virtex 7) is used, which allows a significant increase in the maximum sampling rate. The filter is realized on the basis of frequency masking (Frequency-response masking technique).*

*A proposal for the implementation of digital filters is shown in Figure 16, while Figure 17 shows a comparison of the obtained amplitude characteristic of the proposed digital filter and the analog filter existing solution. Based on the available literature, the failure intensity of the modernization set has been calculated, where the value is several times lower than in the existing solutions. The modernization set value expressed in hard currency is approximately \$ 650, which is much less than the price of an analog filter.*

*The limiting factor for the implementation of the proposed modernization is creating future hardware conditions that will allow the operation of a digital filter at frequencies at which the given special-purpose device operates. Having in mind the development in the technology of VLSI (VeryLargeScaleIntegration) components, it is expected that the new generation components in VLSI technology will soon be applied at higher frequencies.*

#### Conclusion

*This paper carried out a comprehensive analysis and a comparison of the reliability characteristics of the existing equipment and its component modules with a newly acquired special-purpose device. Based on the analysis and the experience of maintenance, it is concluded that the modernization of the RF filter module is useful in order to improve the reliability and maintenance. In this sense, a modernization of the existing analog RF filter is proposed. The*

modernization is modeled by appropriate software tools for digital filter design, and the obtained results justify the conducted research.

Based on the results of the digital filter modeling and the examination of the possibilities of its application in the GRC 408E device, it can be concluded:

– failure intensity of the modernization set  $\lambda = 0.96 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$  is lower than the current value of the failure intensity of the A19 module which is  $\lambda = 9.55 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$ ,

– transition zone is narrow (sharp amplitude characteristic), resulting in better frequency resolution,

– cost of the modernization set is much lower than the cost of the analog RF filter,

– weight and dimensions are much smaller which makes the device easier to operate and transport,

– maintenance is possible in terms of the aggregate replacement of the modernization set by a new one or by transferring it from another device, which is not possible in the current structure of the filter without additional calibration and adjustment which must be carried out in the laboratory,

– aggregate replacement of the modernization set enables corrective maintenance to be implemented at the intermediate level of maintenance,

– corrective maintenance is simple and involves the replacement of a component, FPGA or DSP processors,

– corrective maintenance period is much shorter than in the case of mechanical analog filters with resonant cavities, resulting in the improved characteristics of maintainability,

– a reliable diagnostics of the modernization set accuracy is provided at all levels of maintenance,

– digital filter operation control through the central processing unit is easy and reliable, and the filter response to frequency change is instantaneous.

The conducted research contributes to the maintenance of this type of devices, since, on the basis of the obtained results, it is concluded that in the future it will be possible to substitute existing analog filters with new digital ones and that the proposed modernization is justified from all aspects of maintenance.

Key words: reliability, maintenance, modernization, filters.

Datum prijema članka / Paper received on / Дата получения работы: 27. 01. 2014.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Manuscript corrections submitted on /

Дата получения исправленной версии работы: 16. 03. 2014.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Paper accepted for publishing on /

Дата окончательного согласования работы: 18. 03. 2014.