

Погодност за одржавање и расположивост

Поред поузданости, код система са обнављањем (оправљивих система) је веома значајно узети у обзир још две мере перформансе: погодност за одржавање $M(t)$, и расположивост $A(t)$ [1].

Погодност за одржавање

Одржавање обухвата све радње (осим рутинског сервисирања у току рада као што је замена горива или сличне мање активности) чији је циљ да се систем задржи у оперативном стању или врати у оперативно стање ако је отказао. Постоје два основна типа одржавања: превентивно одржавање (планиране активности чији је циљ продужење животног века система) и корективно одржавање (акције које се предузимају када систем откаже да би се вратио у оперативно стање) [2].

Погодност за одржавање (*Maintainability*) је вероватноћа да ће компонента која је отказала бити поправљена и враћена у задовољавајуће радно стање у датом временском периоду када се поступак исправке обавља по прописаној процедури [3].

Заједнички циљ поузданости и погодности за одржавање је да осигурају да систем буде у исправном стању да би могао да извршава своје функције онда када је потребно, да је у стању да ефективно извршава функције за које је предвиђен и да задовољава све захтеване карактеристике везане за одржавање у току свог животног циклуса. Погодност за одржавање је карактеристика уграђена у производ (систем) која обезбеђује да његово одржавање захтева што мање: трошкове, ниво вештине (лако за одржавање), захтевану опрему и алате за одржавање [4].

Неке од типичних мера погодности за одржавање су: средње време исправке, средње време корективног одржавања, максимално време корективног одржавања, средње време превентивног одржавања, вероватноћа завршетка исправке у датом временском интервалу.

У анализи погодности за одржавање, потребно је правити разлику између два најчешће коришћена појма: време отказа (Mean Down Time – MDT) и средње време исправке (Mean Time To Repair - MTTR). MDT је укупни период у коме је систем у стању отказа. То време укључује, поред саме исправке система, сва административна кашњења, транспорт до радионице или од радионице до система, логистичка чекања услед недостатка слободних радника или недостатка резервних делова итд [1]. MTTR је време које укључује следеће активности: време приступа неисправној компоненти (отварање поклопаца, читање дисплеја, повезивање компоненти на опрему за тестирање квара итд.), време дијагностификовања квара, време обезбеђивања резервног дела (из донетих кутија са алатом или скидањем редувантне компоненте са система који се поправља или неког система који садржи одговарајућу компоненту), време замене компоненте, време провере исправности система, време усаглашавања рада система (уколико је потребно када се убације нова компонента), логистичко време (уколико је систем ношен до радионице на поправку) итд [3].

Да би могло да се у потпуности процени колика је расположивост неког система, поред MTBF, мера која се најчешће користи је MTTR. Једино ако се узимају у обзир обе мере, могуће је проценити расположивост система. Расподеле којима најчешће подлеже време исправке су: експоненцијална, лог-нормална и нормална. У пракси се најчешће користи експоненцијална расподела [4].

Погодност за одржавање система се може исказати и интензитетом исправке μ , чија је јединица мере: број исправки у временској јединици. Када време исправке подлеже експоненцијалној расподели, $\mu = \frac{1}{MTTR}$.

Пример 1: У периоду од 25. октобра 2012. до 24. октобра 2013. године, праћен је рад трафостанице. Утврђено је да је у том периоду 6 пута дошло до квара:

Утврђен квар	Отклоњен квар
27. новембра у 11 часова	27. новембра у 20 часова
12. јануара у 03 часа	14. јануара у 14 часова
2. марта у 21 час	3. марта у 05 часова
17. маја у 14 часова	17. маја у 18 часова
28. јула у 09 часова	3. августа у 05 часова
01. септембра у 24 часа	3. септембра у 01 час

Одредити укупно време отказа (*down-time*), MTTR и интензитет исправке трафостанице μ .

Периоди рада и нерада трафостанице се могу приказати као у следећој табели:

од 25.10. 00h	од 27.11. 11h	од 27.11. 20h	од 12.01. 03h	од 14.01. 14h	од 02.03. 21h	од 03.03. 05h	од 17.05. 14h	од 17.05. 18h	од 28.07. 09h	од 03.08. 05h	од 01.09. 24h	од 03.09. 01h
до 27.11. 11h	до 27.11. 20h	до 12.01. 03h	до 14.01. 14h	до 02.03. 21h	до 03.03. 05h	до 17.05. 14h	до 17.05. 18h	до 28.07. 09h	до 03.08. 05h	до 01.09. 24h	до 03.09. 01h	до 24.10. 24h
803	9	1087	59	1135	8	1809	4	1719	140	715	25	1247

Време рада = 8515 сати

Време нерада = 245 сати

MTTR= Време нерада/број отказа=245/6=40,833 сати

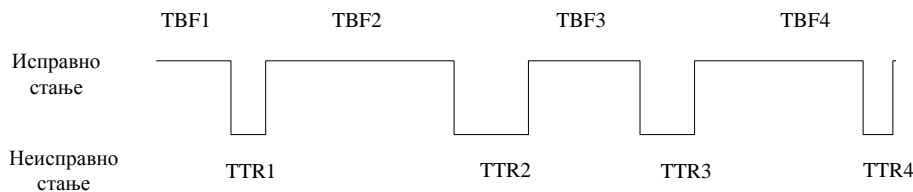
$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}} = 0,0245 \frac{\text{отказа}}{\text{сат}}$$

Расположивост система

Расположивост (*Availability*) је вероватноћа да ће систем функционисати у било ком тренутку када ради под задатим условима, при чему укупно време које се посматра обухвата време рада, време активне исправке и административно време [5].

Могу се посматрати две врсте расположивости система: инхерентна расположивост, у оквиру које се приликом одређивања времена неисправности система не узима у обзир обезбеђивање услова за спровођење исправке већ само MTTR, и оперативна расположивост, када се као исправно стање система посматра само оперативно стање а као неисправно стање све што спада у MDT.

Без обзира како се посматра расположивост система, његово функционисање се може приказати као на слици:



У току одређеног временског периода, систем је наизменично у исправним и неисправним стањима (у којима се врши његова исправка). Распоживост система представља однос укупног времена у коме је систем у исправном стању и укупног времена посматрања система (укуно време исправног и укупно време неисправног стања).

$$A = \frac{\text{укупно време у исправном стању}}{\text{укупно време у исправном стању} + \text{укупно време у неисправном стању}} \quad (A = \frac{\text{up-time}}{\text{up-time} + \text{down-time}})$$

Пример 2: Одредити расположивост трафостанице из примера 1 на основу укупног времена рада и нерада.

Време рада = 8515 сати

Време нерада = 245 сати

$$A = \frac{8515}{8515 + 245} = 0,972$$

Расположивост система се може одредити и на следећи начин:

$$A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

Пример 3. Распоживост трафостанице из примера 1 се може одредити и на следећи начин:

MTTR= Време нерада/број отказа=245/6=40,833 сати

Време рада = 8515 сати, MTBF = Време рада/број отказа=8515/6=1419,167 сати

$$A = \frac{1419,167}{1419,167 + 40,833} = 0,972$$

У случају када постоје само два стања система, исправан и неисправан, а време између два отказа и време отклањања неисправности су случајне величине које подлежу експоненцијалној расподели са параметрима MTBF и MTTR, расположивост система је [1]:

$$A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} = \frac{\frac{1}{\lambda}}{\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}} = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

Пример 4. За трафостаницу из примера 1, одредити интензитете отказа и оправке а, затим, на основу њих, расположивост трафостанице.

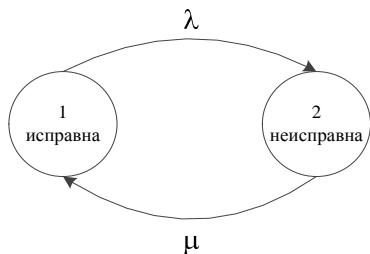
$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} = 0,0007 \frac{\text{отказа}}{\text{сат}}, \quad \mu = \frac{1}{\text{MTTR}} = 0,0245 \frac{\text{отказа}}{\text{сат}}, \quad A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = 0,972$$

Поред расположивости, функционисање система се може описати и помоћу нерасположивости UA (Unavailability), која се може изразити на један од следећих начина:

$$UA = 1 - A = \frac{\text{down-time}}{\text{up-time} + \text{down-time}} = \frac{\text{MTTR}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$$

Ланци Маркова

Расположивост компоненте и система се може одредити помоћу ланца Маркова. На слици је приказан дијаграм стања за компоненту К. Компонента може бити у стању исправности (1) или у стању неисправности (2), при чему стање неисправности подразумева да је компонента на поправци. Интензитет отказа компоненте је $\lambda = 4$ отказа на сат а интензитет оправке компоненте је $\mu = 12$ отказа на сат. Потребно је одредити расположивост компоненте.



Тражена расположивост је вероватноћа да је компонента исправна у тренутку t , односно вероватноћа да се компонента налази у стању 1. Означимо тражену вероватноћу са P_1 а вероватноћу да је компонента неисправна, односно у стању 2, са P_2 . Сада се на основу дијаграма стања са слике, могу написати једначине равнотеже.

Стање 1 (исправна) $\mu \cdot P_2 = \lambda \cdot P_1$, односно $12 \cdot P_2 = 4 \cdot P_1$

Стање 2 (неисправна) $\lambda \cdot P_1 = \mu \cdot P_2$, односно $4 \cdot P_1 = 12 \cdot P_2$.

Пошто е компонента може наћи само у једном од два наведена стања, важи и да је: $P_1 + P_2 = 1$.

Решавањем система:
$$\begin{cases} 4 \cdot P_1 - 12 \cdot P_2 = 0 \\ P_1 + P_2 = 1 \end{cases}$$
 добија се решење $P_1 = 0,75$, $P_2 = 0,25$. Дакле, расположивост компоненте је 0,75.

На основу добијене расположивости могуће је одредити *down time* компоненте. Нерасположивост P_2 је 0,25, што значи да 25% времена компонента није у функцији, односно: 6 сати дневно, 180 сати, тј. 7,5 дана месечно итд.

Тражена расположивост је, пошто је у питању једна компонента, могла да се одреди и помоћу формуле:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}, \text{ где } MTTR \text{ (Mean Time To Repair) представља средње време оправке компоненте и}$$

$$\text{једнако је } \frac{1}{\mu}. \text{ Дакле: } MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{4} \text{ сата, } MTTR = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{12} \text{ сати. } A = \frac{1/4}{1/4 + 1/12} = 0,75.$$

Пример: Компанија XXX продаје своје производе преко велепродајне мреже и директном продајом (*on-line* путем свог веб сајта). Како су трошкови директне продаје далеко мањи од трговине путем посредника, компанија разматра могућност да комплетну продају обавља преко веб сајта. Да би такав начин пословања био ефикасан, неопходно је да време нефункционалности (*down time*) веб сајта буде највише 15 минута дневно.

Праћењем рада веб сајта, утврђено је да он у просеку једном у два дана постане недоступан. При томе је у 90% случајева одмах утврђен разлог и проблем отклоњен у просеку за 10 минута. У 10% случајева разлог недоступности веб сајта није могао бити одмах утврђен и за његово откривање је било у просеку потребно по сат времена, након чега се приступало отклањању утврђеног проблема.

На основу уочених карактеристика веб сајта, утврдити да ли компанија може одмах да се преусмери на директну продају или је потребно да побољша перформансе веб сајта.

Решење: Постављени услов да време нефункционалности сајта буде највише 15 минута дневно, своди се на захтев да сајт буде расположив 1425 минута дневно (24·60-15), односно да расположивост сајта буде бар 0,989583 (1425/(24·60)). Дакле, потребно је одредити расположивост веб сајта.

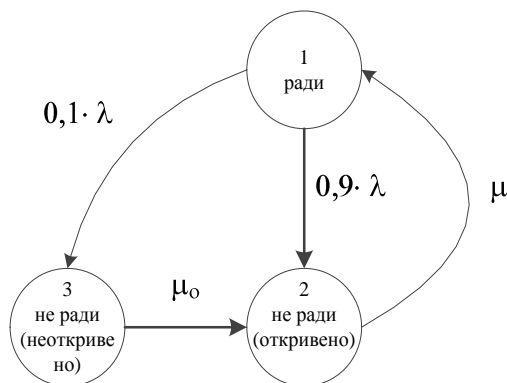
Веб сајт се може наћи у једном од три стања:

Стање 1 - исправан (функционалан).

Стање 2 – неисправан на оправци, уклања се проблем који је утврђен и

Стање 3 – неисправан из још неутврђеног разлога, открива се разлог неисправности.

Дијаграм стања веб сајта приказан је на слици.



Стање 1. У овом стању веб сат се налази са вероватноћом P_1 која представља расположивост система. Сајт отказује са интензитетом λ . Како сајт отказује једном у два дана, следи да је $\lambda=0,5$ отказа на дан. У 90% случајева се одмах зна узрок отказа, односно веб сајт у 90% случајева прелази у стање 2, тако да је интензитет тог преласка $0,9 \cdot \lambda$. У 10% случајева се не зна одмах узрок отказа већ се он мора прво утврдити. То значи да сајт прелази у стање 3 са интензитетом преласка $0,1 \cdot \lambda$. Веб сајт се враћа у стање исправности (1) само из стања 2, односно након отклањања отказа. Вероватноћа да ће се сајт наћи у стању 2 је P_1 а интензитет оправке, односно враћања у стање 1 је μ . Како је у просеку потребно 10 минута за оправку, следи да је $\mu=144$ отказа на дан (1/10 минута * 60 * 24). Једначина равнотеже која одговара стању 1 је:

$$\mu \cdot P_2 = 0,1 \cdot \lambda \cdot P_1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot P_1, \text{ односно } 144 \cdot P_2 = 0,1 \cdot 0,5 \cdot P_1 + 0,9 \cdot 0,5 \cdot P_1$$

Стање 2. У овом стању веб сат се налази са вероватноћом P_2 . Као што је већ поменуто, из стања 2 се може прећи само у стање 1. Сајт се може наћи у стању оправке из исправног стања 1 или из стања 3. Прелазак из стања 1 је већ разматран. У стању 3 сајт се налази са вероватноћом P_3 а из њега прелази у стање 2 ако је претходно проведено неко време у утврђивању узрока отказа. Интензитет утврђивања отказа је μ_0 а како је потребно у просеку сат времена да се утврди узрок отказа, следи да је $\mu_0 = 24$ отказа на дан. Једначина равнотеже која одговара стању 2 је:

$$0,9 \cdot \lambda \cdot P_1 + \mu_0 \cdot P_3 = \mu \cdot P_2, \text{ односно } 0,9 \cdot 0,5 \cdot P_1 + 24 \cdot P_3 = 144 \cdot P_2$$

Стање 3. У овом стању веб сат се налази са вероватноћом P_3 . Из стања 3 се може прећи само у стање 2, када је утврђен узрок отказа, са интензитетом $\mu_0 = 24$. У стање 3 се може доћи само из стања 1 на начин који је претходно описан, са интензитетом преласка $0,1 \cdot \lambda$. Једначина равнотеже која одговара стању 3 је:

$$\mu_0 \cdot P_3 = 0,1 \cdot \lambda \cdot P_1, \text{ односно } 24 \cdot P_3 = 0,1 \cdot 0,5 \cdot P_1$$

Поред наведених једначина равнотеже, важи и $P_1 + P_2 + P_3 = 1$, пошто се веб сајт може наћи само у једном од три посматрана стања.

Добијене једначине равнотеже и суме вероватноћа чине систем са три непознате P_1 , P_2 и P_3 . Како су једначине равнотеже зависне, биће издвојене две од три једначине. Нека су то, нпр. Једначине за стање 1 и стање 3. Добијени систем је:

$$144 \cdot P_2 = 0,1 \cdot 0,5 \cdot P_1 + 0,9 \cdot 0,5 \cdot P_1$$

$$24 \cdot P_3 = 0,1 \cdot 0,5 \cdot P_1$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1$$

Сређивањем једначина добија се систем:

$$0,5 \cdot P_1 - 144 \cdot P_2 = 0$$

$$0,05 \cdot P_1 - 24 \cdot P_3 = 0$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1$$

Решавањем система добија се решење: $P_1 = 0,994475$, $P_2 = 0,003453$ и $P_3 = 0,002072$. Дакле, расположивост веб сајта је већа од захтеване, тако да компанија може одмах да се преусмери на директну продају.

На основу расположивости, може се одредити *down time* веб сајта. Нерасположивост веб сајта је $1 - P_1 = 0,005525$, што значи да компонента није у функцији $0,005525 \cdot 1440 = 7,956 \approx 8$ минута дневно (захтевано је највише 15 минута дневно).