Journal of the Technical University of Gabrovo, Vol. 54’2017 (65-68)

ИЗВЕСТИЯ
на Технически университет
Габрово

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА ГЛАВНА СТАНЦИЯ ЗА КАБЕЛНА ТЕЛЕВИЗИЯ ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА МАРКОВСКИ ПРОЦЕСИ

INVESTIGATION OF THE RELIABILITY OF THE CABLE TELEVISION HEADEND USING A MARKOV PROCESSES

Станимир Садинов *
Технически университет - Габрово

Красен Ангелов**
Технически университет - Габрово

Панайотис Когиас
Технологичен институт – Кавала, Гърция

Статията е постъпила на 15 януари 2017 г.; след ревизия на 15 февруари 2017 г., приета за отпечатване на 16 февруари 2017 г.

Abstract

The security of a communication system is the system's ability to resist the external destabilizing factors and impacts, as well as the internal changes that can lead to emergency operation. The security according to the European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) is normally integrated under the conditions of reliability. The reliability of various kinds of objects (components, systems, devices, products, etc.) is investigated by applying established in the science and practice approaches, methods and means. They differ depending on what mathematical approach for modeling and processing of results is used, on what kind of object they are addressed (analog, digital or mixed), how the faults are defined, only the safety assessment after failure is evaluated or just the reliability etc. The main objective of this study is the modeling of reliability of the cable TV headend, which is system with capability for performance recovery after failure. The method of Markov chains is used for this purpose.

Keywords: Head Station (HS) for cable television broadcasting, Markov processes, reliability and probability of states.

ВЪВЕДЕНИЕ

Влиянието на отказите в една главна станция (ГС) може да се установи, ако отделните блокове бъдат свързани помежду си чрез подходящи структурни схеми по надеждност [1,6,7]. Както е известно, системата притежава последователна структурна схема по надеждност и когато се появи отказ на който и да е компонент от нея, то той ще предизвиква отказ на цялата система. Математическият модел, описващ на компонентите, свързани последователно в структурната схема, се основава на теорията за умножение на вероятностите за безотказна работа – т.н. теорема на Бернули [3,5]. Според нея, ако отказите са независими и потокът на отказите в системата е стационарен, ординатен и без последствия, вероятността за безотказна работа $P(t)$ на системата се оценява чрез произведението от вероятностите за безотказна работа $P_i(t)$ на изграждащите я компоненти.

$$P(t)=P_1(t).P_2(t)\ \dots\ P_i(t). \tag{1}$$

При изследването на главни станции (ГС) съществува отклонение от метода на Бернули поради наличието на взаимно свързани откази [4]. Затова при анализа на надеждността не могат да се разглеждат само първичните откази и да се пренебрегват отказите, които се явяват „следствия”. Това променя структурната схема по надеждност и прави невъзможно да се прилагат традиционните методи за статистическо моделиране, какъвто е например симулационният метод на Монте-Карло.

Видът на работоспособност на една главна станция се характеризира с това, че при нея протичат т.нар. Марковски процеси [2-4]. Последните се характеризират с това, че бъдещото състояние на обекта на изследване не зависи от неговите предишни състояния, а само от състоянието, в което той се намира в момента. Текущият момент определя вероятността да се премине от едно към друго състояние.

Функционирането на много обекти представлява последователност от преходи от едно състояние в друго. Когато преходите се извършват под въздействието на случайни фактори се счита, че в обекта протича случаен процес. Случайният процес се нарича Марковски (или процес без последействие), ако бъдещото му развитие зависи единствено от текущото му положение и не зависи от предисторията на процеса. Методът на Марковските процеси се използва главно в случаите, когато се извършва моделиране на надеждността на обекти и най-вече на системи с възстановяване на работоспособността. Изследването на Марковска верига може да се извърши чрез аналитичното ѝ моделиране или чрез симулация на нейното поведение. При аналитичното моделиране се използва такова формално описание на Марковските вериги, което позволява явно решение на уравнения и системи от уравнения за определяне на вероятностите на състоянията им по време на преходни процеси и за стационарни режими [4,6,7].

* *Тел.: +359888447712; e-mail: sadinov.tc@abv.bg*
** *Тел.: +359899450707; e-mail: kkangelov@tugab.bg*

ISSN 1310-6686© 2017 Известия на Технически университет Габрово

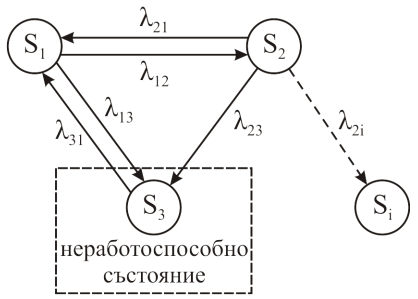
МОДЕЛИРАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА ГЛАВНА СТАНЦИЯ ЗА КАБЕЛНО ТЕЛЕВИЗИОННО РАЗПРЪСКВАНЕ

Веригите на Марков се използват за моделиране на последователните случайни събития, чието реализиране зависи от предишните настъпили събития. Ако имаме една физическа главна станция, която има n на брой състояния и във всеки един момент тя се намира само в едно от тези състояния. Главната станция преминава от едно състояние в друго по случаен начин. В n-тия момент на наблюдение на главната станция, тя се намира в състояние, което зависи от редицата предишни състояния на станцията. Ако се предположи, че състоянието в n-тия момент зависи само от това в кое състояние е била системата в предишния $n-1$ момент, то такава последователност от събития ще образува Марковска верига. Основната задача ще се сведе до това да се определят какви са възможните състояния на главната станция и да се определят вероятностите за преход между тези състояния.

Начинът за описание на марковските процеси е базиран на ориентираните графи, на които върхове са състоянията $S_1, S_2, \ldots S_n$, а ребра – преходите между $S_i - S_j$, които стават с честота λ_{ij} (фиг. 1). Тъй като преходите са насочени от едно към друго състояние, то отделните графи са ориентирани.

Основната задача на математическия модел на марковските процеси е да се намерят вероятностите за пребиваване на обекта във всяко от състоянията S_i и тяхното изменение във времето $P_i(t)$ при известни:

- граф на преходите от състояние S_i в състояние $S_i - S_j$;
- начално състояние при $t = 0$ и вероятност $P_i(0)$, където $i = 1 - n$;
- интензивността λ_{ij} на преходите $S_i - S_j$, където $i, j \in \{1, 2, \ldots, n\}$.



Фиг. 1. Ориентиран граф за описание на марковски процес

На практика главна станция може да се намира в следните три състояния:

1) работоспособно състояние S_1, когато за главната станция се удовлетворяват всички изисквания на БДС (или CENELEC) по отношение на посочените в документацията параметри;
2) състояние S_2, когато стойностите на един или няколко от посочените параметри не съответстват на изискванията на БДС;
3) неработоспособно състояние на главната станция S_3, която е изключила по някаква причина.

Следва да се определят интензивностите на преход между дефинираните състояния. В теорията за надеждност на апаратурата в основата се разглежда средния период, в който интензивността на отказите е постоянна.

Потокът събития, който привежда главната станция от състояние S_1 в състояние S_2 (фиг. 1), се явява поток от частични откази, при които частично се нарушава качеството на телевизионното изображение. Интензивността на този поток събития е равен на $\lambda_{12} = T_1^{-1}$,където T_1 е средното време на частични откази.

Главната станция може да премине от състояние S_2 в състояние S_1 през състояние S_3 след изключване на ГС и отстраняване на причините за частични откази. Интензивността на този преход е означена с λ_{21}.

Потокът от събития, в резултат на което ГС преминава от състояние S_2 в състояние S_3 с интензивност λ_{23}, се явява поток, свързан с изключване на ГС при частични нарушения на параметрите от самата апаратура или обслужващия персонал. Интензивността на този преход е равен на $\lambda_{23} = T_2^{-1}$, където T_2 е средното време от момента на възникване на частичен срив на параметрите до момента на изключване на ГС. По този начин преходът от състояние S_3 в състояние S_2 е невъзможен. От състояние S_3 е възможен само преход в състояние S_1 с интензивност $\lambda_{13} = T_3^{-1}$, където T_3 е средното време за отстраняване на пълните откази.

Преходът от състояние S_1 в състояние S_3 е в резултат на настъпването на пълни откази, свързани с нарушаването на технологичния цикъл (напр. изключване на захранването, прекъсване на магистрален кабел). Интензивността на този преход е $\lambda_{13} = T_4^{-1}$, където T_4 е средното време на този пълен отказ. Пълен отказ е всеки, който е достигнал до потребителя – от неговото възприемане до преустановяване на неговото въздействие след откриването му и превключване на системата чрез средствата за контрол и превключване (СКП).

На базата на графа с n състояния може да се състави система с n уравнения, известна като система диференциални уравнения на Колмогоров. В основата на тази система лежи доказателството, че разликата между честотата на влизане H_{in} и излизане H_{out} от кое да е състояние е равна на първата производна по времето на вероятността за пребиваване в това състояние

$$\frac{dP(t)}{dt} = H_{in}\, i - H_{out}\, i\,. \qquad (2)$$

Като се замести, се получава диференциално уравнение в обобщен вид за n-то състояние

$$\frac{dP_n(t)}{dt} = \lambda_{1n}P_1(t) + \lambda_{2n}P_2(t) + \ldots\left(-\sum_{i=1}^{n}\lambda_{ni}\right)P_n(t) \qquad (3)$$

Тъй като всяко уравнение в (3) е следствие от другите, то конкретната система може да се реши, ако към нея се добави уравнението

$$P_1(t) + P_2(t) + \ldots P_n(t) = 1\,. \qquad (4)$$

При $\lambda_{13} \neq const$ процесът може да се представи съгласно модела на Джелински-Моранда. В този случай той се описва с полумарковски процес. В интервалите между отстраняване на обективните грешки е налице хомогенен Марковски процес. Когато грешките не са отстранени, а във входното пространство се подаде нов вектор (т.е. точка), но при него грешката не е активна, системата с голяма вероятност може да премине в ново, коректно състояние.

Прилагането на модела за надеждност на Дженински-Моранда се свежда до съставянето на система уравнения. Най-важното условие за прилагане на този модел на практика се явява съответствието между резултатите от тестване и приетите допускания за интензивността на грешките. Този модел изисква да се направят няколко допускания. Първото допускане е, че всички откази са еднакво важни. Второто допускане е, че отказът се отстранява незабавно или главната станция няма да се използва докато дадения отказ не бъде отстранен. Третото допускане е, че всяко отстраняване на отказ не може да доведе до нов отказ.

За различните времеви интервали в модела на Дженински-Моранда, крайният резултат може да се получи като Марковският процес се моделира със система линейни диференциални уравнения, известни като диференциалните уравнения на Колмогоров за трите състояния, която ще има вида:

$$\left|\begin{aligned} &\frac{dP_1}{dt} = -(\lambda_{13}+\lambda_{12})P_1(t) + \lambda_{21}P_2(t) + \lambda_{31}P_3(t) \\ &\frac{dP_2}{dt} = -(\lambda_{23}+\lambda_{21})P_2(t) + \lambda_{12}P_1(t) \\ &\frac{dP_3}{dt} = \lambda_{13}P_1(t) + \lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{31}P_3(t) \end{aligned}\right. . \qquad (5)$$

При отчитане на (4) и чрез трансформацията на Лаплас от решението на (5), вероятностите $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ се получават като функция на интензивността на преходите λ_{ij} и корените на характеристичните уравнения от преобразованието r_1 и r_2.

Граничните стойности на съответните вероятности се получават:

$$\left|\begin{aligned} &P_1 = \frac{\lambda_{31}(\lambda_{23}+\lambda_{21})}{\lambda_{31}(\lambda_{23}+\lambda_{21}) + \lambda_{31}\lambda_{12} + (\lambda_{23}+\lambda_{21})\lambda_{12} + (\lambda_{23}+\lambda_{21})\lambda_{13}} \\ &P_2 = \frac{\lambda_{31}\lambda_{12}}{\lambda_{31}(\lambda_{23}+\lambda_{21}) + (\lambda_{23}+\lambda_{21})\lambda_{12} + \lambda_{31}\lambda_{12} + (\lambda_{23}+\lambda_{21})\lambda_{13}} \\ &P_3 = \frac{(\lambda_{23}+\lambda_{21})(\lambda_{12}+\lambda_{13})}{\lambda_{31}(\lambda_{23}+\lambda_{21}) + (\lambda_{23}+\lambda_{21})\lambda_{12} + \lambda_{31}\lambda_{12} + (\lambda_{23}+\lambda_{21})\lambda_{13}} \end{aligned}\right. . \qquad (6)$$

В Таблица 1 са дадени изчислените стойности на вероятностите P_1, P_2, P_3 за пребиваване съответно в състоянията S_1, S_2, S_3 за съответните стойности на интензивност на потока събития (т.е. средното време на частични откази) и интензивността λ_{31} (средно време за отстраняване на пълните откази). Времето за функциониране на системата е избрано от 10 h до една година (приблизително 9000 h).

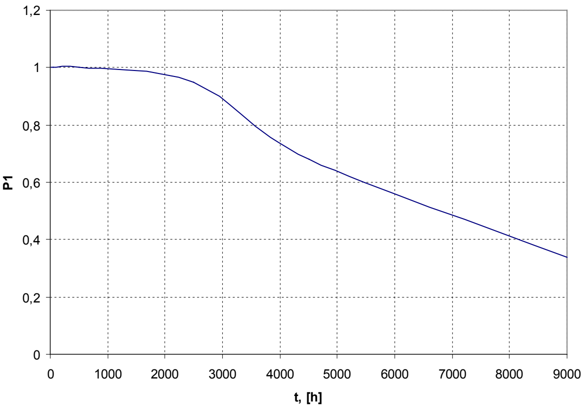
На фиг. 2, 3 и 4 са показани съответно графики на вероятностите за безотказна работа P_1, вероятността за опасен отказ P_2 и вероятността в защитено състояние P_3 при различни времеви интервали.

Когато процесът е установен, системата (4) придобива следния опростен вид при начални условия $P_1(0) = 1$, $P_2(0) = P_3(0) = 0$:

$$\left|\begin{aligned} &-(\lambda_{13}+\lambda_{12})P_1 + \lambda_{12}P_2 + \lambda_{31}P_3 = 0 \\ &-(\lambda_{23}+\lambda_{21})P_2 + \lambda_{12}P_1 = 0 \\ &\lambda_{13}P_1 + \lambda_{23}P_2 - \lambda_{31}P_3 = 0 \\ &P_1 + P_2 + P_3 = 1 \end{aligned}\right. . \qquad (7)$$

Вероятността главната станция да се намира в условия на опасно неработоспособно състояние S_2 се определя от израза

$$P_2 = \frac{\lambda_{31}\lambda_{12}}{(\lambda_{13}+\lambda_{31})(\lambda_{23}+\lambda_{21}) + (\lambda_{23}+\lambda_{31})\lambda_{12}} . \qquad (8)$$

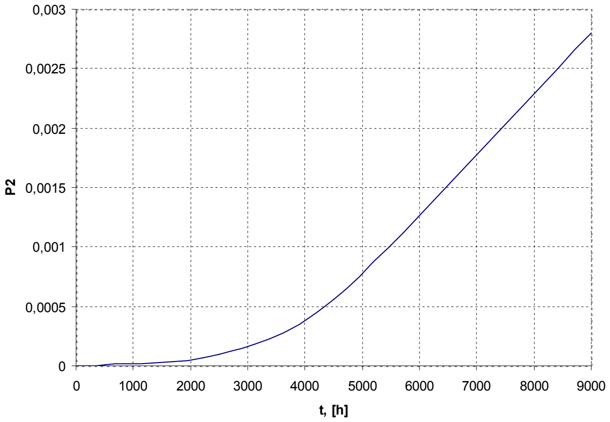


Фиг. 2. Зависимост на вероятността $P_1 = f(t)$

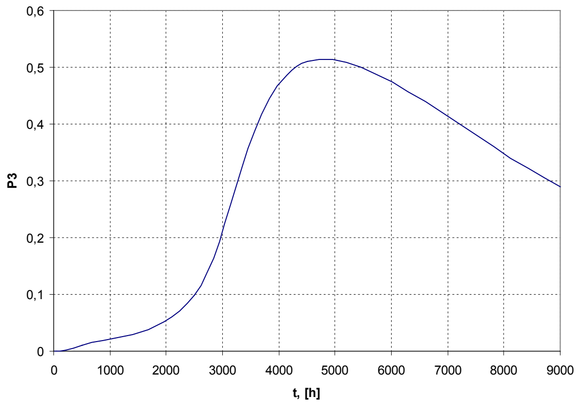
Табл. 1. Изчислени стойности на вероятностите P_1, P_2 и P_3 за пребиваване съответно в състоянията S_1, S_2 и S_3

Параметър	1	2	3	4	5	6
t, h	10	50	500	2500	4500	9000
$\lambda(t)$; 1/T	1.10^{-8}	1.10^{-6}	1.10^{-4}	1.10^{-3}	1.10^{-2}	1.10^{-1}
λ_{31}; 1/T	1.10^{-2}	1.10^{-1}	1	10	1.10^{2}	1.10^{3}
P_1	1	1	1	0,95	0,68	0,34
P_2	1.10^{-9}	1.10^{-7}	1.10^{-5}	1.10^{-4}	$0,56.10^{-3}$	$0,28.10^{-2}$
P_3	1.10^{-7}	$0,99.10^{-5}$	$0,98.10^{-3}$	$0,99.10^{-2}$	$5,1.10^{-2}$	$2,9.10^{-2}$

От графиките се вижда, че вероятността стойностите на един или няколко от посочените параметри на работа на главната станция да не съответстват на изискванията на БДС е ниска в началния период на експлоатация, след което започва да нараства линейно (фиг. 3). Това води до снижаване във вероятността главната станция да е в работоспособно състояние, която след 2/3 от експлоатационния и период, започва да пада под 50 % (фиг. 2).



Фиг. 3. Зависимост на вероятността $P_2 = f(t)$



Фиг. 4. Зависимост на вероятността $P_3 = f(t)$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на изведените теоретични зависимости и изследваните модели на надеждност на Главна станция на кабелна телевизионна мрежа, могат да се формулират следните по-важни изводи:

1. Вероятностите на пребиваване на системата в опасно състояние $P_2(t)$ и защитено състояние $P_3(t)$ имат еднакъв характер на изменение. Готовността на системата да бъде в работоспособно състояние $P_1(t)$ има минимум при критическо изработено време, за което вероятността за опасна работа е минимална.

2. Най-ниската безопасност на главната станция за кабелна телевизия не е задължително да бъде в края на живота на системата.

Това може да стане при голям брой откази, които в края на срока на експлоатация на системата могат да бъдат отстранени. Затова в инженерната практика при експлоатацията на подобни системи, за тяхната безопасна работа е целесъобразно да се осъществяват мероприятия по максимално премахване на причините за възникване на повреди още в началните периоди на експлоатация или на етапа на нейното модернизиране.

3. Вероятността главната станция да се намира в опасно неработоспособно състояние най-съществено зависи от отношението $\lambda_{12}/\lambda_{23}$ в (8). Тази зависимост позволява са се установи допустимото нормативно ниво за безотказност на експлоатираните съоръжения по отношение на частичните откази в зависимост от ефективността на техническите средства за откриване на възникнали откази.

4. Представените изследвания могат да бъдат приложени при обучението на студенти и докторанти, чрез решаване на оптимизационни задачи при проектирането и експлоатацията на главна станция за кабелна телевизионна мрежа.

БЛАГОДАРНОСТИ

Тази публикация и изследванията в нея са реализирани по проект „Създаване на иновативни информационно - базирани образователни модули за обучение по комуникационна техника и технологии”, договор Д1612Е/2016 г. към УЦНИТ при ТУ-Габрово.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Влияние на различни дестабилизиращи фактори върху надеждностните параметри на микропроцесорна техника. Институт по управление на системни изследвания – БАН САИ, 2008.
[2] Георгиев Г. Моделиране на марковски вериги с MS Excel, Научни трудове на Русенския университет, том 47, серия 3.2, стр.117-121, 2008.
[3] Димитров Б., Н. Янев. Теория на вероятностите и математическа статистика. София: Наука и изкуство, 1990.
[4] Зейфман А. И., В. Е. Бенинг, И. А. Соколов, Марковские цепи и модели с непрерывным временем. М. ЭЛЕКС-КМ, 2008.
[5] Огарков М. А., Методи статистического оценивания параметров случайных процесов. М. Энергоатомиздат, 1990.
[6] Stavroulakis P., Reliability, survivability and quality of large scale telecommunication systems, John Wiley & Sons, Ltd., ISBN 047084770 0, 2003.
[7] Trstensky D., L. Schwartz, V. Hottmar, Structural Reliability of Interactive Cable Television, AiMT, Vol. 5, No. 1, June 2010, pp.5-12.