

НАДЕЖДНОСТЕН АНАЛИЗ НА АВТОНОМНА СИСТЕМА ЗА УСВОЯВАНЕ ЕНЕРГИЯТА НА ВЯТЪРА И СЛЪНЦЕТО

гл. ас. д-р Антон Славчев Георгиев гл. ас. д-р Нели Генчева Георгиева

Технически Университет - Варна

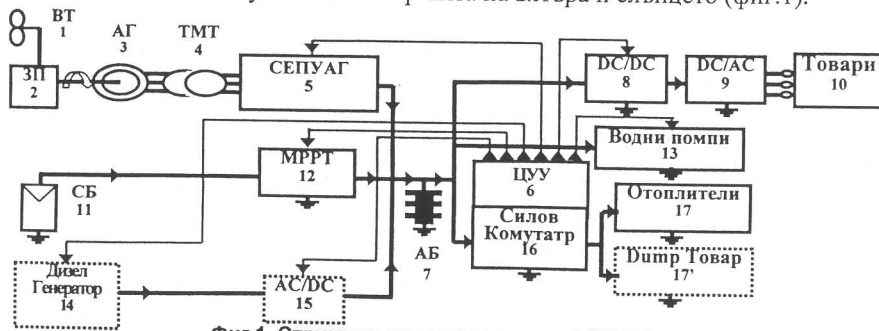
Abstract: In the presented paper the reliability of an Autonomous Hybrid Solar-Wind Energy Conversion System (AHSWECS) is defined. The proposed reliability analysis is based on probability modeling by Markov's methods. Using the Markov's models, the possible system states have been defined from the system workability point of view. The possibilities for transients between the different system states have been analyzed. The major blocks reliability criteria of the AHSWECS have been estimated. The proposed analysis of the system reliability is based on the derived statistic values of the reliability of the major system blocks and the values of the system maintenance. Based on the derived results, recommendations for increasing of the system reliability have been proposed.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Днес изкопаемите горива се изчерпват 100 000 пъти по-бързо отколкото са били формирана, а оставащото количество се оценява да бъде изчерпано за по-малко от 170 години [2]. Индустриализирането на третият свят също води до бързото нарастване нуждите от енергия. Към 2025 година се предвижда добивът на горива да нарасне със 30%, а нуждите от електричество – със 265% [1].

Очевидна е необходимостта от разработването и използването на съвременни нетрадиционни форми за получаване на енергия. Направените литературни проучвания показаха, че все още няма достатъчно изследвания за възможностите и перспективите пред алтернативните източници на енергия, а на проблемите, свързани с надеждността на автономните системи за усвояване енергията на вятъра и слънцето все още не е отредено подобаващото им място.

В настоящата статия е изследвана надеждността на разработената в [3] автономна система за усвояване енергията на вятъра и слънцето (фиг.1).



Фиг.1. Структура на предложената АСУЕВС.

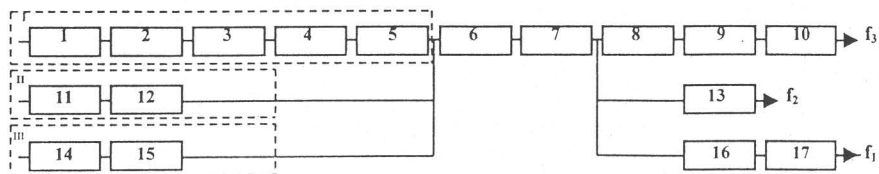
1-вятърна турбина, 2-зъбна предавка, 3-асинхронен генератор, 4-трифазен мрежов трансформатор, 5-силов електронен преобразовател на асинхронния генератор (шест последователно свързани по отношение на надеждността IGBT елемента), 6-централно управляващо микропроцесорно устройство, 7-оловно-цинкова акумулаторна батерия 120V/1000Ah (АБ), 8-постояннотоков повишаващ конвертор (DC/DC преобразовател), 9-изходен DC/AC, 11-слънчева батерия, 12-електронен преобразовател за поддържане на максимален пренос на мощност, 14-дизелов генератор, 15-изправител на напрежение АС/DC, 16-силов комутатор, 10,13, 17 и 17'-товари.

Надеждността на системата се основава на методите за вероятностно моделиране чрез марковските процеси. С помощта на марковски модели са описани възможните състояния на трите източника за преобразуване на енергия в системата от гледна точка на тяхната работоспособност. Оценени са основните надеждности показатели на блоковете и възлите на разработената система за алтернативно електрозахранване. Изследването на потенциалната надеждност на създадената система се основава както на направените статистически точкови оценки на показателите за безотказност на нейните основни блокове и възли така и на статистическите точкови оценки на показателите за ремонтпригодност на системата като цяло [4].

II. МАРКОВСКИ МОДЕЛ НА РАЗРАБОТЕНАТА АВТОНОМНА СИСТЕМА ЗА УСВОЯВАНЕ ЕНЕРГИЯТА НА ВЯТЪРА И СЛЪНЦЕТО.

При системите без резервиране, намаляването на времето за откриване на отказа и възстановяване на системата повишава коефициента на готовност на системата, но практически не влияе на нейната безотказност. При системите със структурно резервиране (системите с паралелно и смесено свързване на елементите по отношение на надеждността [4]), снижаването на времето за откриване на отказа и възстановяване на системата повишава както коефициента на готовност на системата, така и нейната безотказност. Чрез дублиране на възстановимите елементи в изследваната АСУЕВС и намаляване на времето за възстановяване може да се достигне желаното ниво на надеждност.

В конвенционалните енергетични системи резервиране с възстановяване се използва в случаите, когато прекъсвания в захранването са недопустими. Поради специфичните условия на експлоатация и по-ниската себестойност на необходимите модули, резервирането с възстановяване при АСУЕВС се използва много по често и не се ограничава само в случаите, когато прекъсвания в захранването са недопустими. Изследваната система притежава резервиране от вида, показан чрез структурната схема по надеждност с отсъствие на откази на АСУЕВС (фиг.2).



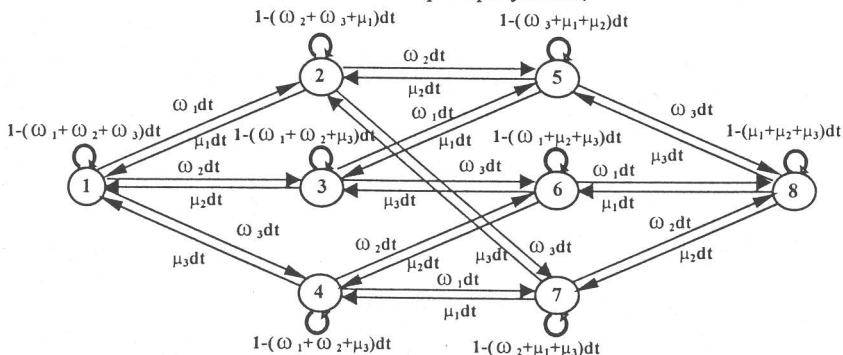
фиг.2 Структурна схема по надеждност на АСУЕВС

Надеждността на системата с резервиране на елементи изисква оценяване на вероятността за непрекъсната безотказна работа, средното време за безотказна работа (средното време до отказ), параметъра на потока на отказите и коефициента на готовност (или коефициента на престой). За целта е необходимо да бъдат изследвани надеждностните връзки между трите преобразувателя на енергия (I, II и III, фиг.2) в системата и влиянието на отказите във

всеки от тях върху системната надеждност.

Използваме обстоятелството, че процеса на отказване и възстановяване на системата притежава свойствата и характеристиките на марковски случаен процес – процесът, протичащ в изследваната система е непрекъснат във времето и притежава краен брой състояния. Потокът на отказите в системата е ординарен, прост, без последствие и неизместен, параметъра на потока на отказите и интензивността на възстановяванията имат постоянни във времето стойности ($\omega = \text{const}$, $\mu = \text{const}$), а разпределението на времената между отказите и разпределението на времената за възстановяване се описва чрез експоненциален закон. Всичко това дава възможност процеса на изменение на надеждността на системата във времето да се опише с диференциални уравнения, в които неизестни се явяват вероятностите за пребиваване на системата в дадено състояние. Вероятностите за пребиваване на преобразувателите на енергия в системата, във всяко от осемте възможни състояния са съответно $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$, ... $P_8(t)$ (фиг.3). Възможните състояния на системата са:

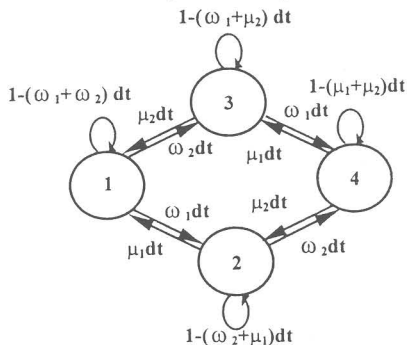
- 1-трите преобразувателя на енергия са изправни;
- 2-настъпил е отказ в $\Gamma^{\text{вн}}$ преобразувател на енергия, а останалите два са изправни;
- 3-настъпил е отказ в $\Pi^{\text{вн}}$ преобразувател на енергия, а останалите два са изправни;
- 4-настъпил е отказ в $\text{III}^{\text{вн}}$ преобразувател на енергия, а останалите два са изправни;
- 5-настъпили са откази в $\Gamma^{\text{вн}}$ и $\Pi^{\text{вн}}$ преобразувател, а $\text{III}^{\text{вн}}$ е изправен;
- 6-настъпили са откази в $\Pi^{\text{вн}}$ и $\text{III}^{\text{вн}}$ преобразувател, а $\Gamma^{\text{вн}}$ е изправен;
- 7-настъпили са откази в $\Gamma^{\text{вн}}$ и $\text{III}^{\text{вн}}$ преобразувател, а $\Pi^{\text{вн}}$ е изправен;
- 8-настъпили са откази в $\Gamma^{\text{вн}}$, $\Pi^{\text{вн}}$ и $\text{III}^{\text{вн}}$ преобразувател;



фиг.3 Марковски модел на разработената АСУЕВС

Времето за отстраняване на откази, настъпили само в $\Gamma^{\text{вн}}$ или само във $\Pi^{\text{вн}}$ преобразувател (състояние 2 и 3) е съизмеримо с допустимото време за работа на останалия в изправност един от тези два преобразувателя. Това налага въвеждане на ограничения във времето за възстановяване на всеки от тези преобразуватели. При превишаване на допустимото време за самостоятелна работа на който и да е от тези преобразуватели, системата изисква включване в действие на дизел генератора ($\text{III}^{\text{вн}}$ преобразувател), т.е. системата се държи, като че ли притежава два резервирани преобразувателя. За да се избегне въвеждането на допълнителни условия и ограничения при марковското моделиране предлагаме

трансформиране на модела с осем състояния (фиг.3) в модел с четири състояния (фиг.4). Счита се за практически невъзможно съвпадението на моментите на настъпване на две и повече различни събития (например преход от състояние 2 в състояние 3 е неосъществим поради минималната вероятност за отказ на преобразувателя III точно в момента на завършване на ремонта на преобразуватели I и II)



фиг.4 Марковски модел с четири състояния на АСУЕВС.

Вероятностите за пребиваване на системата, в зависимост от изправността на преобразувателите на енергия, във всяко от четирите състояния са съответно $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ и $P_4(t)$ (фиг.4). Възможните състояния на системата са:

- 1-трите преобразувателя на енергия са изправни;
- 2-настъпил е отказ в $\Gamma^{ви}$ или във $\Pi^{ри}$ преобразувател на енергия (или и в двата едновременно), а $\text{III}^{ти}$ е изправен;
- 3-настъпил е отказ в $\text{III}^{ти}$ преобразувател на енергия, а останалите два са изправни;
- 4-отказали са или $\Gamma^{ви}$, $\Pi^{ри}$ и $\text{III}^{ти}$ или $\Gamma^{ви}$ и $\text{III}^{ти}$ или $\Pi^{ри}$ и $\text{III}^{ти}$ преобразувател;

За марковския модел на АСУЕВС с четири състояния, системата от диференциални уравнения, описваща вероятностите на състоянията във времето има вида:

$$\begin{cases} P_1'(t) = -(\omega_1 + \omega_2)P_1(t) + \mu_1P_2(t) + \mu_2P_3(t) \\ P_2'(t) = -(\omega_2 + \mu_1)P_2(t) + \omega_1P_1(t) + \mu_2P_4(t) \\ P_3'(t) = -(\omega_1 + \mu_2)P_3(t) + \omega_2P_1(t) + \mu_1P_4(t) \\ P_4'(t) = -(\mu_1 + \mu_2)P_4(t) + \omega_1P_3(t) + \omega_2P_2(t) \end{cases} \quad (1)$$

Решенията на система (1) имат вида:

$$\begin{cases} P_1(t) = \frac{1}{[(\omega_1 + \mu_1)(\omega_2 + \mu_2)]} (\mu_1\mu_2 + ae^{-(\omega_1 + \omega_2 + \mu_1 + \mu_2)t} + \mu_2be^{-(\omega_1 + \mu_1)t} + \mu_1ce^{-(\omega_2 + \mu_2)t}) \\ P_2(t) = \frac{1}{[(\omega_1 + \mu_1)(\omega_2 + \mu_2)]} (\omega_1\mu_2 - ae^{-(\omega_1 + \omega_2 + \mu_1 + \mu_2)t} + \mu_2be^{-(\omega_1 + \mu_1)t} + \omega_1ce^{-(\omega_2 + \mu_2)t}) \\ P_3(t) = \frac{1}{[(\omega_1 + \mu_1)(\omega_2 + \mu_2)]} (\omega_2\mu_1 - ae^{-(\omega_1 + \omega_2 + \mu_1 + \mu_2)t} + \omega_2be^{-(\omega_1 + \mu_1)t} - \mu_1ce^{-(\omega_2 + \mu_2)t}) \\ P_4(t) = \frac{1}{[(\omega_1 + \mu_1)(\omega_2 + \mu_2)]} (\omega_1\omega_2 + ae^{-(\omega_1 + \omega_2 + \mu_1 + \mu_2)t} - \omega_2be^{-(\omega_1 + \mu_1)t} - \omega_1ce^{-(\omega_2 + \mu_2)t}) \end{cases} \quad (2)$$

където:

$$a = \omega_2[\omega_1 p_1(0) - \mu_1 p_2(0)] - \mu_2[\omega_1 p_3(0) - \mu_1 p_4(0)]$$

$$b = \omega_1[p_1(0) + p_3(0)] - \mu_1[p_2(0) + p_4(0)];$$

$$c = \omega_2[p_1(0) + p_2(0)] - \mu_2[p_3(0) + p_4(0)];$$

Коефициента на готовност и коефициента на принудителен престой на изследваната система са:

$$K_r(t) = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) \quad (3)$$

$$K_{п}(t) = 1 - K_r(t) = 1 - [P_1(t) + P_2(t) + P_3(t)] = P_4(t) \quad (4)$$

В случая, когато средното време между отказите T_{cp} превишава многократно средното време за възстановяване на всеки от трите преобразувателя $T_{в1}$, $T_{вII}$ и $T_{вIII}$, стационарните коефициенти (при $t \rightarrow \infty$) на готовност и на принудителен престой на изследваната АСУЕВС са:

$$K_r = P_1 + P_2 + P_3 \quad (5)$$

$$K_{п} = 1 - K_r = 1 - (P_1 + P_2 + P_3) = P_4 \approx \omega_{I,II} \cdot T_{вI,II} \cdot \omega_{III} \cdot T_{вIII} \quad (6)$$

където:

$$\left\{ \begin{aligned} P_1 &= \frac{\mu_1 \mu_2}{(\omega_1 + \mu_1)(\omega_2 + \mu_2)} = \frac{T_{cpI,II}}{T_{cpI,II} + T_{вI,II}} \cdot \frac{T_{cpIII}}{T_{cpIII} + T_{вIII}} = K_{rI,II} \cdot K_{rIII}; \\ P_2 &= \frac{\omega_1 \mu_2}{(\omega_1 + \mu_1)(\omega_2 + \mu_2)} = \frac{T_{вI,II}}{T_{cpI,II} + T_{вI,II}} \cdot \frac{T_{cpIII}}{T_{cpIII} + T_{вIII}} = K_{пI,II} \cdot K_{rIII}; \\ P_3 &= \frac{\mu_1 \omega_2}{(\omega_1 + \mu_1)(\omega_2 + \mu_2)} = \frac{T_{cpI,II}}{T_{cpI,II} + T_{вI,II}} \cdot \frac{T_{вIII}}{T_{cpIII} + T_{вIII}} = K_{rI,II} \cdot K_{пIII}; \\ P_4 &= \frac{\omega_1 \omega_2}{(\omega_1 + \mu_1)(\omega_2 + \mu_2)} = \frac{T_{вI,II}}{T_{cpI,II} + T_{вI,II}} \cdot \frac{T_{вIII}}{T_{cpIII} + T_{вIII}} = K_{пI,II} \cdot K_{пIII}; \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Изразът (6) се получава след прилагане на теоремата за умножаване на вероятностите за настъпване на независими събития. Полученият израз е в съответствие със закона за разпределение на времената за безотказна работа и закона за разпределение на времената за възстановяване.

При начални условия $P_1(0) = 0$, $P_2(0) = 0$, $P_3(0) = 0$ и $P_4(0) = 1$, в съответствие с (2) и (7), вероятността АСУЕВС да е в състояние на отказ е:

$$P_4(t) = K_{пI,II} \cdot K_{пIII} + K_{rI,II} \cdot K_{rIII} e^{-(\omega_1 + \omega_2 + \mu_1 + \mu_2)t} - K_{rI,II} \cdot K_{пIII} e^{-(\omega_1 + \mu_1)t} - K_{пI,II} \cdot K_{rIII} e^{-(\omega_2 + \mu_2)t} \quad (8)$$

При изследването на надеждността на системата бе установено, че $T_{cp} \gg T_{вi}$, което означава, че $\omega \ll \mu$, а уравнение (8) може да бъде записано във вида:

$$P_4(t) \approx K_{пI,II} \cdot K_{пIII} + K_{rI,II} \cdot K_{rIII} e^{-(\mu_1 + \mu_2)t} - K_{rI,II} \cdot K_{пIII} e^{-\mu_1 t} - K_{пI,II} \cdot K_{rIII} e^{-\mu_2 t} \quad (9)$$

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

За елементите на изследваната система отношението ω/μ е в границите $5.10^{-3} \div 10^{-5}$, поради което еквивалентната стойност на интензивността на възстановяванията е:

$$\mu_{\text{екв}} \approx \mu_{I,II} + \mu_{III}. \quad (10)$$

По отношение на възстановяванията не са въведени ограничения, което ни дава възможност на базата на израз (10) да запишем за средното време за възстановяване на системата T_B изрза:

$$T_B = \frac{T_{B,I,II} \cdot T_{B,III}}{T_{B,I,II} + T_{B,III}} \quad (11)$$

Известно е [4], че при $T_{CP} \gg T_B$ (каквто е случаят с изследваната система), коефициента на принудителен престой се определя от изрза:

$$K_{II} = \frac{T_B}{T_B + T_{CP}} \approx \frac{T_B}{T_{CP}} = \omega \cdot T_B \quad (12)$$

Изразяваме параметъра на потока на отказите в изследваната резервирана част от системата с помощта на израз (12):

$$\omega = \frac{K_{II}}{T_B} = \frac{\omega_{I,II} T_{B,I,II} \cdot \omega_{III} T_{B,III} (T_{B,I,II} + T_{B,III})}{T_{B,I,II} \cdot T_{B,III}} = \omega_{I,II} K_{II,III} + \omega_{III} K_{II,I,II} \quad (13)$$

Изразът (13) дава възможност за определяне на параметъра на потока на отказите на резервираната част от системата – преобразувателите на енергия. За изразяване на пълната стойност на параметъра на потока на отказите в системата отчитаме обстоятелството, че блоковете 6, 7, 8, и 16 (фиг.1) са последователно свързани по отношение на надеждността [5] (по отношение на надеждността на захранването на съответните товари, включени към системата). Изразът за пълната стойност на параметъра на потока на отказите може да се запише във вида:

$$\omega_{ACУEBC} = \omega + \omega_6 + \omega_7 + \omega_8 + \omega_{16} = \omega_{I,II} K_{II,III} + \omega_{III} K_{II,I,II} + \omega_6 + \omega_7 + \omega_8 + \omega_{16} \quad (14)$$

Електронните блокове 6, 7, 8, и 16 притежават висока надеждност [5]. Методи за повишаване безотказността на тези блокове трябва да се търсят едва тогава, когато надеждностните показатели на дизеловия генератор, вятърната турбина и зъбната предавка добият стойности, съизмерими с тези на електронните блокове.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Davis G. R., "Energy for planet earth", *Sci. Amer.*, vol. 263, No 5, pp. 21-27, September 1990.
- [2] Freris L., "Renewable energy", *Power Engineering Journal*, No 4, pp. 159-163, August 1995. и надежности. М.1989.
- [3] Вълчев В.Ц. Автономна система за усвояване енергията на вятъра и слънцето.
- [4] Гиндев Е. Г. Изчислителна надеждност в радиоелектрониката. С., Техника, 1979.
- [5] Георгиев А.С., В.Ц.Вълчев, Д.Д.Юдов. Структурен модел на надеждността на автономна система за усвояване енергията на вятъра и слънцето. Осма национална научно-приложна конференция "Електронна техника – ЕТ'99" Созопол, 23-25.09.1999.