

Výpočet charakteristik dynamické spolehlivosti elektrárenského bloku

Aleš Hromádka

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

aleshrom@rice.zcu.cz

The Calculation of Reliability Characteristics of a Power Plant Unit

Abstract – This paper describes the most important reliability characteristics of the power plant unit. These reliability characteristics are calculated for the repairable unit. The results are specific equations for the characteristics of the power plant unit, i.e. the probability of failure-free operation and the mean time of operation. Thanks to the results, we are able to create a model of dynamic reliability for prediction of future states. It is useful for improving the current situation of the unit as well as for creating the optimal plan of maintenance and thus have an impact on the overall economics of the operation of the power plant unit.

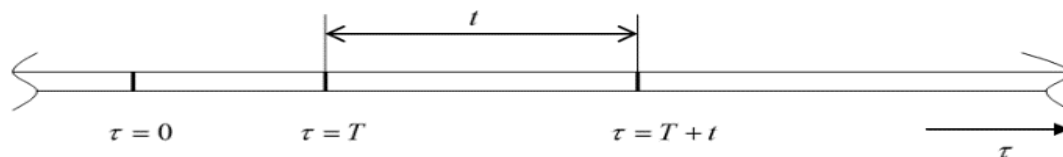
Keywords – Reliability Characteristics; Mean Time of Operation; Probability of Failure-free Operation; Optimal Plan of Maintenance; Power Plant Unit.

I. ÚVOD

Pojem „spolehlivost“ je důležitý aspekt technického vývoje v současnosti a budoucnosti. Určením spolehlivosti jsme schopni dosáhnout trvalé udržitelnosti. Všechny oblasti elektrotechniky mají určitou spojitost se spolehlivostí. Charakteristické parametry pro spolehlivost jsou pravděpodobnost bezporuchového provozu a střední doby do provozu. Těmito charakteristickými parametry a jejich určením se budeme dále v této práci zabývat. Tyto parametry budou aproximovány Weibullovým rozdělením. Aproximace Weibullovým rozdělení respektuje dynamiku bloku. Rovnice pro zmíněné parametry slouží jako optimalizační nástroj. Následná optimalizace snižuje celkové udržovací náklady a náklady spojené s výpadky a selháními. [1], [4]

II. SPOLEHLIVOSTNÍ CHARAKTERISTIKY BLOKU

A. Definice stavu v čase ($t + T$)



Obrázek I. Doba v provozu určitého systému na časové ose [2]

Kde okamžik $\tau = 0$ reprezentuje konec doby do opravy. Interval $\tau = 0$ až $\tau = T$ reprezentuje čas v provozu. Interval $\tau = T$ až $\tau = T + t$ reprezentuje predikci budoucího stavu systému. [2]

B. Odvození pravděpodobnosti bezporuchového provozu

Pro výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu je využito rovnice podmíněné pravděpodobnosti viz rovnice (1). [2]

$$P_{B(A)} = \frac{P_{(A \cap B)}}{P_{(B)}} \quad (1)$$

Rovnice (1) určuje pravděpodobnost jevu A při úspěchu jevu B. Jev A reprezentuje pravděpodobnost poruchy v intervalu T až (T + t). Jev B určuje pravděpodobnost bezporuchového provozu v intervalu 0 až T. Sjednocení těchto jevů $A \cap B$ reprezentuje oba jevy zároveň.

C. Odvození střední doby provozu

Spolehlivostní funkce $p(t)$ popisuje pravděpodobnost, zda určitý systém pracuje v bezporuchovém stavu v čase t, který je delší než provozní čas T. Provozní čas každého systému je určitý časový údaj, kdy je spolehlivost výrobku garantovaná výrobcem. [3]

$$p(t) = P\{T < t\} \quad (2)$$

Funkce pravděpodobnosti poruchy $q(t)$ naopak popisuje pravděpodobnost, zda se u daného systému vyskytne jedna nebo více poruch v čase t, který byl definován v předchozím odstavci.

$$q(t) = 1 - p(t) \quad (3)$$

Potom distribuční funkce poruchy v čase t vypadá následovně.

$$F(t) = P\{T < t\} = q(t) \quad (4)$$

Z distribuční funkce lze dopočítat výše zmíněnou hustotu pravděpodobnosti bezporuchového provozu v čase t, kterou získáme pomocí derivace podle času.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1 - p(t))}{dt} \quad (5)$$

Na základě funkce hustoty pravděpodobnosti je možné určit vztah pro střední dobu provozu pomocí integrace podle času od 0 do ∞ viz vzorec (6). [2]

$$m_s = \int_0^{\infty} t p(t) dt \quad (6)$$

D. Pravděpodobnosti bezporuchového provozu v (t + T) a $\lambda \neq konst.$

Řeckým písmenem λ se značí intenzita poruch bloku. Toto odvození je zaměřeno na systém s nekonstantní intenzitou, tzn. respektuje dynamiku stárnutí. Zároveň je žádoucí ho udržovat a opravovat z ekonomických důvodů. Stav takového systému musí být popsán vhodným rozdělením. V následující kapitole je pro aproximaci použito Weibullovo rozdělení, protože je pro výpočet takového systému ideální. Je nezbytné určit pravděpodobnost bezporuchového provozu $P_{(B)W}$ Weibullova rozdělení. [2]

$$P_{(B)W} = 1 - \int_0^T f(t) dt \quad (7)$$

Potom dostaneme výsledný vztah podmíněné pravděpodobnosti ve vzorci (8).

$$P_{B(A)} = \frac{\int_T^{T+t} f(t) dt}{1 - \int_0^T f(t) dt} \quad (8)$$

Dále musí být určena hustota pravděpodobnosti, která je dána zápisem dvouparametrického Weibullova rozdělení. β je parametr tvaru a η je parametr měřítka. [2]

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (9)$$

Pravděpodobnosti bezporuchového provozu $P_{B(A)}$ je dosažení do rovnice (1).

$$P_{B(A)} = \frac{\left[e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \right]_T^{T+t}}{1 - \left[e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \right]_0^T} = 1 - e^{\left[\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta - \left(\frac{T+t}{\eta}\right)^\beta\right]} \quad (10)$$

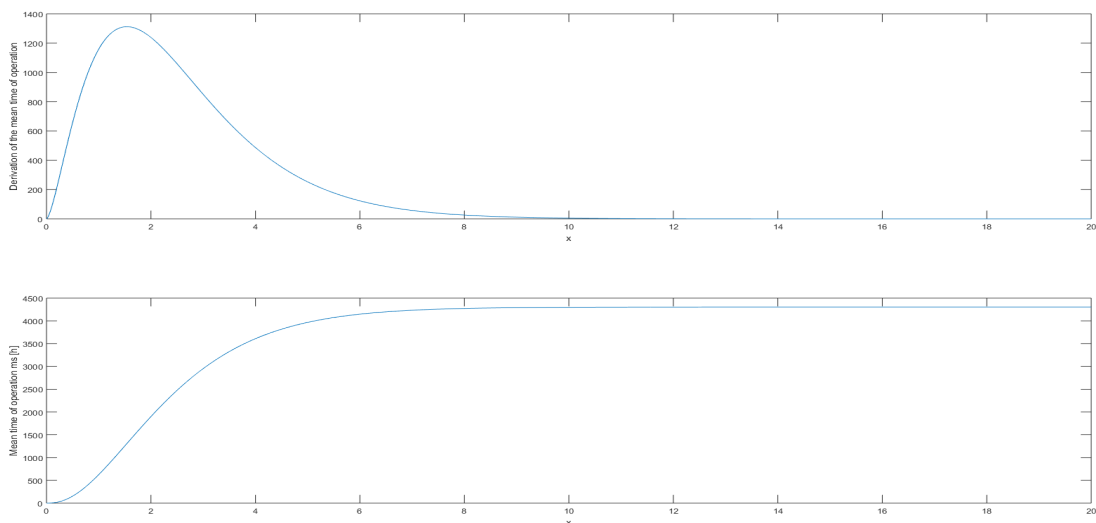
E. Střední doby provozu v $(t + T)$ a $\lambda \neq konst.$

Známost pravděpodobnost bezporuchového provozu integrujeme podle času a vynásobíme časem $t + T$ pro určení střední doby do poruchy podle rovnice (6). Touto úpravou dostáváme tříparametrické Weibullovo rozdělení. Provozní čas (T) je roven parametru umístění γ . Určení střední doby provozu v čase $T + t$ je ukázáno v rovnici (11).

$$m_s = \int_0^\infty (t + T) \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t + T}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta - \left(\frac{t+T}{\eta}\right)^\beta} dt \quad (11)$$

F. Výpočet spolehlivostních charakteristik elektrárenského bloku

Byl vytvořen skript v programu Matlab s parametry $\beta = 0,65$ a $\eta = 3150$. Tento skript využívá numerické integrace k výpočtu charakteristik spolehlivosti. [2]

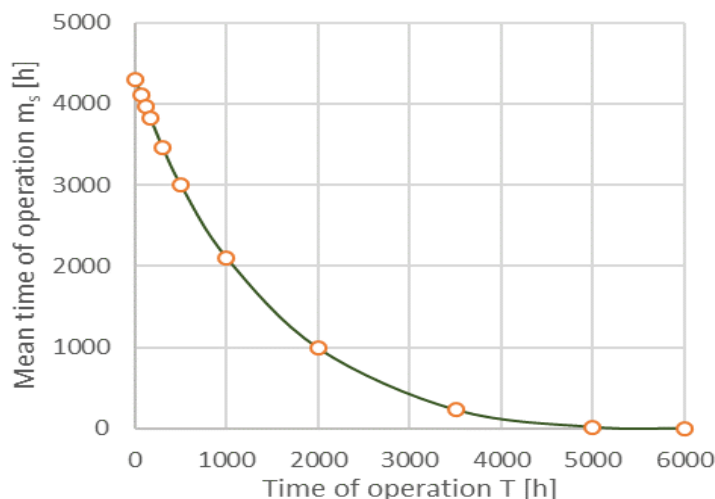


Obrázek II. Grafy po a před integrací pro čas $T(1)$ [2]

Výsledky jsou uvedeny v tabulce TABULKA I. a jejich grafické znázornění je na obrázku III.

TABULKA I. ZÁVISLOST STŘEDNÍ DOBY PROVOZU A PROVOZNÍHO ČASU

T[h]	0	72	120	168	300	500	1000	2000	3500	5000	6000
m _s [h]	4304	4113	3964	3821	3465	2999	2102	987	229	17	0,02



Obrázek III. Grafická závislost střední doby provozu a provozního času [2]

III. ZÁVĚR

Tento článek popisuje charakteristiky spolehlivosti obnovovaného elektrárenského bloku, jako jsou pravděpodobnost bezporuchového provozu a střední doba provozu. Konečné rovnice v pomyslném čase ($T + t$) predikují pravděpodobnost budoucího stavu. Tyto vzorce jsou aplikovatelné na jiné obnovované elektrárenské bloky. Samozřejmě je nezbytné znát klíčové parametry daného bloku.

Spočítané střední doby provozu jsou ukázány v tabulce TABULKA I. a obrázku Obrázek III. S rostoucím časem provozu dochází k hyperbolickému snižování střední doby provozu. Tyto výsledky jsou využitelné pro zlepšení současné situace bloku a pro vytvoření optimálního plánu údržby.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK1-2017-008, projektu SGS-2015-031 a projektu EPSILON TH02020798.

LITERATURA

- [1] MENTLÍK, V., TRNKA, P., TRNKOVVÁ, M., & ŠAŠEK, L. *Spolehlivostní aspekty elektrotechnologie*. Praha: BEN - technická literatura. (2011)
- [2] MARTINEK, Z., HROMADKA, A., and HAMMERBAUER, J. "Reliability Characteristics of Power Plants." *Advances in Electrical and Electronic Engineering* 15, no. 1 (2017). doi:10.15598/aeec.v15i1.2043.
- [3] TŮMA, J., MARTÍNEK, Z., TESAŘOVÁ, M., & CHEMIŠINEC, I. *Security, quality and reliability of electrical energy*. Praha: Conte. (2007)
- [4] ŠKVARKA, P., *Spol'ahlivost' v jadrovej energetike*. Bratislava: Alfa, 1990. 270 s. ISBN 80-05-00095-2.