

KRITERIJI ZA IZBIRO KAKOVOSTNIH IN ZANESLJIVIH UPS-OV V BOLNIŠNICAH

ŽIGA BOBEK & VOJKO MATKO

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2000 Maribor, Slovenija, e-pošta: ziga.bobek@gmail.com, vojko.matko@um.si

Povzetek Management upravljanja z UPS-i (Uninterruptible Power Supply) je eden od pomembnih dejavnikov v bolnišnicah. S pomočjo UPS-ov ključne in kritične električne naprave (še posebej v operacijskih sobah in oddelkih za intenzivno nego), v primeru izpada glavnega vira, ne ostanejo brez napajanja. Zato je pri izbiri teh naprav pomembno, da bodo delovale zanesljivo in da bodo imele čim daljšo obdobje delovanja. Članek opisuje pomembne kriterije pri izbiri UPS naprav, ki vplivajo na zanesljivost delovanja, kar je še posebej pomembno pri posodobitvah opreme. Predstavljeni so pomembnejši standardi in metode vrednotenja zanesljivosti delovanja in izračun MTBF (Mean Time Between Failures - povprečni čas med okvarami) na primeru UPS-a, ki nakazujejo, kdaj je potrebno opremo zamenjati. Rezultati prikazujejo zanesljivostne funkcije UPS-a pri treh temperaturah delovanja. Izračunali smo tudi vrednosti zanesljivostne funkcije, kjer smo preverjali različne kakovosti vgrajenih elementov pri dveh različnih temperaturah delovanja.

Ključne besede:

UPS,
MTBF;
MIL
HDB
217,
zanesljivost

CRITERIA FOR SELECTING QUALITY AND RELIABLE UPSes IN HOSPITALS

ŽIGA BOBEK & VOJKO MATKO

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2000 Maribor, Slovenija, e-pošta: ziga.bobek@gmail.com, vojko.matko@um.si

Abstract Uninterruptible Power Supply (UPS) management is one of the important factors in hospitals. With the help of UPSes, vital and critical electrical devices (especially in operating rooms and intensive care units) are not left without power in the event of a power outage. Therefore, when choosing these devices, it is important that they work reliably and that they have the longest possible period of operation. The article describes important criteria in the selection of UPS devices that affect the reliability of operation, which is especially important when updating equipment. The most important standards and methods for evaluating the reliability of operation and the calculation of MTBF (Mean Time Between Failures) in the case of UPS are presented, which indicate when the equipment needs to be replaced. As a result, the reliable functions of the UPS at three operating temperatures are given. We also calculated the values of the reliability function, where we checked the different qualities of the installed elements at two different operating temperatures.

Keywords:

UPS,
MTBF;
MIL
HDB
217,
reliability.



1 Uvod

V bolnišnicah je zelo pomembno, da imajo ključne in kritične električne naprave električno napajanje tudi ob izpadu glavnega vira. Temu je namenjen UPS, ki je v osnovi sestavljen iz polnilca, inverterja in elementa, kjer je shranjena energija *ref(Strods, Battish, Amir, Belej)*. Kdaj se bo pri UPS-u prvič pojavila napaka je odvisno od njegove zanesljivosti, ki jo lahko ocenimo z izračunom *ref(Kececioglu)*. Pomembni so tudi varnostni standardi, ki jih mora UPS izpolnjevati. Eden izmed njih je IEC 60601-1 *ref(Lorenz)*, katerega temeljna zahteva je učinkovita in zanesljiva izolacija med enosmernim izhodom, notranjimi stopnjami in električnim omrežjem. Proizvajalci UPS-ov morajo imeti tudi certifikat vodenja kakovosti ISO 9001, ki dokazuje, da proizvajalec določene zahteve (meri in spremlja kakovost izdelave) dosega sedaj in jih bo tudi v prihodnosti.

Metoda MIL-HDBK-217 *ref(Wilde, Quanterion, Harms)* je ena izmed bolj prepoznavnih mednarodno priznanih metod uporabljenih v komercialni in predvsem vojaški industriji. Sestavljena je iz dveh delov; metode štetja delov in metode obremenitve delov. Prva metoda predpostavlja, da sistem deluje pod normalnimi pogoji delovanja kot so normalna temperatura, električna napetost, ki je v mejah dovoljenega, normalno okolje, ... Te pogoje imenujejo referenčni pogoji. Drugi del metode pa zajema delovanje pod stresnimi pogoji, zato se pogostost odpovedi razlikuje od izračunane pod referenčnimi pogoji. Dodatno so upoštevani: povišana temperatura, povečana obremenitev, različna kvaliteta, prilagoditev, itn. Ko je EPSMA (European Power Supply Manufacturers Association) leta 2005 opazovala uporabljene metode za izračun zanesljivosti v različnih podjetjih in podala njihove slabosti ter prednosti, je bila metoda MIL-HDBK-217 še vedno najbolj razširjena v opazovanih podjetjih. Druge uporabljene metode so Bellcore TR332 / Telcordia SR32, Siemens SN2500, British Telecom in Prism, ki se prav tako sklicujejo na MIL-HDBK-217 bazo. Vsaka izmed teh metod pa ima svoje prednosti in omejitve, zaradi katerih so določene metode bolj uporabne za točno določene aplikacije *ref(EPSMA)*.

2 Eksperimentalni rezultati

Za izračune in grafični prikaz rezultatov smo uporabili okolje Mathcad, ki je namenjeno matematičnim izračunom v različnih vejah inženirstva. Za primerjavo smo izbrali vezje pasivnega UPS-a *ref(Swagatam)* (<https://www.homemade-circuits.com/how-to-make-mini-homemade/>). Pogostost odpovedi posameznih elementov smo izračunali s pomočjo priročnika MIL HDBK 217. Za izračun zanesljivosti celotnega sistema smo uporabili enačbo 1, za izračun MTBF pa enačbi 2 in 3 *ref(MIL-HDBK-338B, Kececioglu, Crowe)*.

$$R(t) = e^{-\lambda_a t} + \frac{\lambda_a}{\lambda_b - \lambda_a} (e^{-\lambda_b t} - e^{-\lambda_a t}) \quad (1)$$

$$MTBF = \frac{\lambda_a + \lambda_b}{\lambda_a \cdot \lambda_b} \quad (2)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

Tu je:

$R(t)$ – funkcija zanesljivosti

λ – skupna pogostost odpovedi

λ_a – skupna pogostost odpovedi sistema a (polnilca)

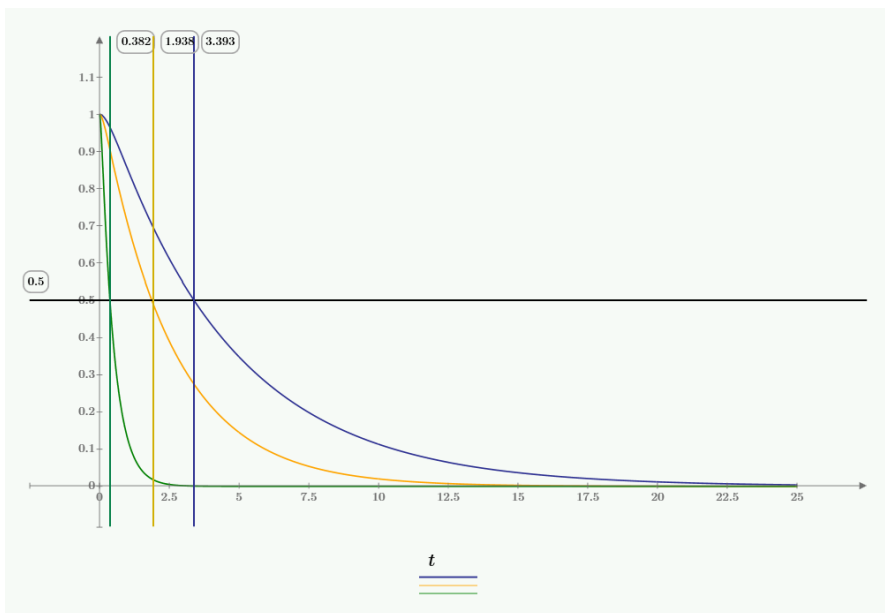
λ_b – skupna pogostost odpovedi sistema b (inverterja)

t – skupen čas delovanja

$MTBF$ – povprečni čas med okvarami

2.1 Primerjava zanesljivosti pri treh različnih temperaturah delovanja

Prva spremenljivka je bila delovna temperatura okolja, pri kateri dulejejo elementi pri 20°C, 50°C in 80°C, ko so obremenjeni. Predpostavili smo, da bo sistem deloval dlje pri nižji oziroma optimalni temperaturi kot pa pri višji. Na Slika 1 **Error! Reference source not found.**, kjer y os predstavlja zanesljivost (1 = 100%), x os pa čas delovanja, so grafično prikazane razlike v delovanju pri različnih temperaturah. Krivulja modre barve predstavlja delovanje pri 20°C, rumena delovanje pri 50°C in zelena delovanje pri 80°C notranje temperature UPS-a.



Slika 1: Funkcije zanesljivosti pri različnih temperaturah

Vrednosti časa, kjer bo sistem samo še 50% zanesljiv so prikazane v Tabela 1.

Tabela 1: 50% zanesljivost UPS-a pri različnih temperaturah

	20°C	50°C	80°C
čas t pri $R(t) = 50\%$	$3,393 \cdot 10^6$ ur	$1,938 \cdot 10^6$ ur	$0,382 \cdot 10^6$ ur

Iz rezultatov lahko vidimo, da bo sistem deloval bolje, če bo delovna temperatura nižja. Večja vrednost na osi x (čas t) (Slika 1) pomeni daljši čas, pri katerem bo sistem še vedno imel teoretično zanesljivost (glede na kriterij 50%) na osi y. Rezultati kažejo, da mora imeti sistem dobro hladilno napravo, ki zelo dobro odvaja odvečno toploto, saj lahko s tem podaljšamo zanesljivost sistema. MTBF ima pri različnih temperaturah vrednosti, ki so prikazane v Tabela 2. Rezultat smo dobili s pomočjo enačb (Enačba 2 in Enačba 3).

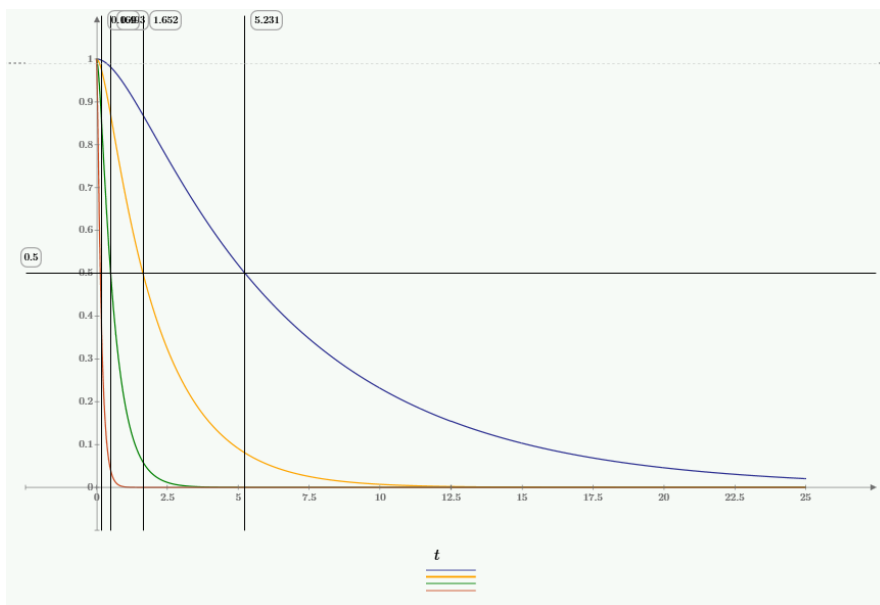
Tabela 2: MTBF pri različnih temperaturah

		20°C	50°C	80°C
MTBF	z	541,8 let	302,2 let	58,7 let
enačbo 2				
MTBF	z	31,8 let	13,4 let	5,1 leta
enačbo 3				

V obeh primerih je razvidno, da bo sistem hitreje odpovedal, če bo deloval pri višji temperaturi.

2.2 Kako vpliva kakovost elementov na zanesljivost delovanja UPS (dve različni kakovosti)

Druga spremenljivka, ki smo jo spreminjali, je bila kvaliteta elementov. Primerjali smo zanesljivost sistema z višjo (dobro) in nižjo (slabšo) kvaliteto elementov pri 20°C in 80°C. Predpostavili smo, da bo sistem z višjo kvaliteto elementov deloval dlje pri obeh temperaturah. Na Slika 2 je prikazana funkcija zanesljivosti pri 20°C in 80°C ter različnih kakovostih elementov. Modra krivulja prikazuje funkcijo zanesljivosti pri 20°C in višji kakovosti elementov. Rumena krivulja prikazuje funkcijo zanesljivosti pri 20°C in nižji kakovosti elementov. Zelena krivulja prikazuje funkcijo zanesljivosti pri 80°C in višji kakovosti elementov. Rjava krivulja prikazuje funkcijo zanesljivosti pri 80°C in nižji kakovosti elementov.



Slika 2: Funkcije zanesljivosti pri različnih temperaturah in kakovosti elementov

Vrednosti, kjer bo sistem samo še 50% zanesljiv, so prikazane v Tabela 3.

Tabela 4: 50% zanesljivost pri različnih temperaturah in kakovosti elementov

	20°C, nižja kakovost	20°C, višja kakovost	80°C, nižja kakovost	80°C, višja kakovost
Čas t pri $R(t) = 50\%$	$1,670 \cdot 10^6$ ur	$5,248 \cdot 10^6$ ur	$0,142 \cdot 10^6$ ur	$0,503 \cdot 10^6$ ur

Iz rezultatov lahko sklepamo, da bo sistem deloval najdlje pri temperaturi 20°C in višji kvaliteti elementov. Sledi 20°C in nižja kvaliteta elementov, nato 80°C z višjo kvaliteto elementov. Na zadnjem mestu pa je sistem z 80°C in nižjo kvaliteto elementov. Kot smo ugotovili že pri primerjavi med različnimi temperaturami, je hlajenje sistema zelo pomembno in tudi pri tej primerjavi lahko potrdimo, da odločilno pripomore k daljšemu optimalnemu delovanju sistema. Pomembno vlogo ima tudi izbira kvalitetnih elementov, saj sistem z višjo kvaliteto deluje znatno dlje kot pa sistem z nižjo. Opazimo lahko tudi razliko v funkciji zanesljivosti med rezultati iz Tabela 1, kjer je povprečna kvaliteta elementov, in rezultati iz Tabela 3, kjer prikazujemo delovanje z višjo in nižjo kvaliteto elementov pri 20°C in 80°C.

Kvaliteta elementov zelo vpliva na optimalno delovanje sistema in podaljšanje delovanje UPS-ov brez napak. MTBF ima pri različni kvaliteti elementov in temperaturi delovanja vrednosti, ki so prikazane v Tabela 4. Izračunane vrednosti smo dobili s pomočjo enačb (Enačba 2 in Enačba 3).

Tabela 4: MTBF pri različnih temperaturah in kakovosti elementov

	20°C, višja kakovost	20°C, nižja kakovost	80°C, višja kakovost	80°C, nižja kakovost
MTBF z enačbo 2	806,7 let	254.3 let	74,8 let	20,6 let
MTBF z enačbo 3	89,4 let	26,1 let	11,5 let	3,3 leta

V obeh primerih je razvidno, da sistem prej odpove, če deluje pri višji temperaturi in nižji kvaliteti elementov.

3 Zaključek

Iz pridobljenih rezultatov lahko sklepamo, da bo UPS zanesljivo deloval dlje časa, v kolikor bo zagotovljeno boljše hlajenje celotnega sistema in kadar bo sestavljen iz bolj kvalitetnih elementov ter ne bo obremenjen z več kot 50 % močnostno obremenitvijo. Razlika med izračuni MTBF z različnima enačbama je velika, saj je pri prvem izračunu upoštevano, da polnilce deluje od časa 0 do časa t_1 , inverter pa potem od časa t_1 do časa T . Ker pa je λ inverterja veliko manjša kot λ polnilca, bo sistem deloval dlje, če inverter deluje dalj časa.

Kot je razvidno iz primerjalnih simulacij so kriteriji za izbiro UPS –ov sledeči: kvaliteta vgrajenih elementov, ki mora biti višjega ali visokega kakovostnega ranga; dobro hlajenje z dodatnimi hladilnimi elementi; močnostne obremenitve UPS -ov v območju do 50%, saj pri tej obremenitvi še ne prihaja do prevelikega segrevanja elementov.

Literatura

- Strods, G. and A. Pecka, UNINTERRUPTED POWER SUPPLY BATTERY LIFE CYCLE SYSTEM DEVELOPMENT. Engineering for Rural Development - International Scientific Conference, 2018: p. 1521-1525.
- Battish, R. and K.A. Jennings, The Basics of Uninterruptible Power Supplies. EC&M Electrical Construction & Maintenance, 2016. 115(1): p. 10-16.
- Aamir, M., K. Ahmed Kalwar, and S. Mekhilef, Review: Uninterruptible Power Supply (UPS) system. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016. 58: p. 1395-1410.
- Belej, K., NAČTROVANJE SISTEMA REZERVNEGA NAPAJANJA, in Fakulteta za elektrotehniko. 2015, Univerza v Ljubljani: Ljubljana.
- Wilde. MIL-217, Bellcore/Telcordia & Other Reliability Prediction Methods for Electronic Products. [cited 2021 02 Januar]; Available from: <https://wildeanalysis.co.uk/resource/mil-217-bellcoretelcordia-reliability-prediction-methods-electronic-products/>.
- Quanterion. Reliability Predictions: Parts Count, Part Stress, Pseudo Stress and Dormant. 2004 [cited 2020 21 December]; Available from: <https://www.quanterion.com/reliability-predictions-parts-count-part-stress-pseudo-stress-and-dormant/>.
- Harms, W., J., Revision of MIL-HDBK-217, Reliability Prediction of Electronic Equipment. 2010: Europe, Europe.
- Swagatam. 4 Simple Uninterruptible Power Supply (UPS) Circuits Explored. [cited 2020 10.11.]; Available from: <https://www.homemade-circuits.com/how-to-make-mini-homemade/>.
- MIL-HDBK-338B, MILITARY HANDBOOK: ELECTRONIC RELIABILITY DESIGN HANDBOOK. 1998: p. 1046.
- Kececioglu, D., Reliability Engineering Handbook. 1991. p. 541.
- Crowe, D., Feinberg, A., Design for Reliability. 2001: CRC Press.
- Lorenz, A., Glaser, A., Napajalniki za medicinsko rabo – na kaj je treba paziti pri načrtovanju. 2017 [cited 2021 03.01.]; Available from: <https://svet-el.si/revija/predstavljamo/2017-258-17/>.
- EPSMA, RELIABILITY, Guidelines to Understanding Reliability Prediction. 2005: p.29
- J. Jones and J. Hayes, "A comparison of electronic-reliability prediction models," in IEEE Transactions on Reliability, vol. 48, no. 2, pp. 127-134, June 1999, doi: 10.1109/24.784270.
- C. T. Leonard & M. Pecht, "How failure prediction methodology affect electronic equipment design", Quality and Reliability Engineering International, Vol. 6, 1990.pp 243-249

- D. S. Campbell & J. A. Hayes, "The organisation of a study of the field failure of electronic components", *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 3, , 1987, pp 251-258.
- D. S. Campbell, J. A. Hayes, J. A. Jones & A. P. Schwarzenberger, "Reliability Behaviour of Electronic Components As a Function of Time", *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 8, , 1992, pp 161-166.