



RELIABILITY ASSESSMENT OF POWER THYRISTORS USED IN POWER SUPPLIES FOR INDUCTION HEATING TECHNOLOGIES

Prodan Prodanov*, Dobroslav Dankov

Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 October 2019

Accepted 21 November 2019

Keywords:

reliability, failure rates, power supply, induction heating, thermal resistance

ABSTRACT

Determining the reliability of power sources for induction technology is a complex task given the diversity of schemes solutions, technology applications and operating conditions. Trustworthy results for the dependability of power supplies for induction technologies are obtained by the using of operational reliability. For its determination has needed to create a database for electrical and thermal operating by specific environment conditions. Most important parameter is a temperature in cooling system of the power semiconductors. In this paper is considered reliability of power semiconductors in dependency of thermal resistance of heat sink and water flow through it. The results indicate the probability of failure of the power semiconductors in dependency of water flow through the aluminium or copper heat sink.

© 2019 Journal of the Technical University of Gabrovo. All rights reserved.

ВЪВЕДЕНИЕ

Експлоатационната надеждност е понятие от теорията за надеждност на електронна апаратура и определя с най-висока достоверност количествените показатели и характеристики на надеждността [3, 4 и 6]. За анализа по надеждност и получаване на количествените показатели по надеждност се използва статистическа информация или база данни за видове откази на еднотипни производствени партии, които много често са в хиляди бройки в еднакви експлоатационни условия. При захранващите източници за индукционни технологии този похват не е приложим в повечето случаи, тъй като захранващите източници работят с различни производствени режими и товари, с различни експлоатационни режими в зависимост от конкретната индукционна технология [5].

Влиянието на всички фактори на околна среда, на охлаждащи системи, на производствения цикъл и на електрическите режими определя надеждността на тези сложни системи.

Като цел на доклада се поставя:

Изследване влиянието на охлаждащите системи върху надеждността на тиристорите в захранващи източници за индукционни технологии.

За постигане на целта е необходимо да се направи анализ на топлинното съпротивление на охлаждащите радиатори и анализ на интензивността на отказите на мощни тиристорите.

ИЗЛОЖЕНИЕ

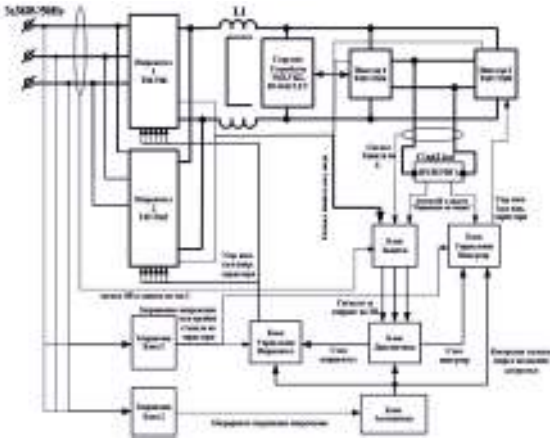
При прилагане на теорията по надеждност е необходимо да бъдат взети под внимание следните няколко особености влияещи върху надеждността на подобен тип преобразуватели. Първата особеност е избора на

методика за изчисление на интензивността на отказите на използваните електронни елементи, определяне на техните електрически и топлинни режими, производствения цикъл на съответното производство, конструктивните особености на охлаждащите системи, както и влиянието смущаващите фактори на околната среда. Методиката с най-добра приложимост за изчисляване на интензивността на отказите на тиристорите в такъв тип захранващи източници е MIL-HDBK-217F [1, 2 и 6]. Важен аспект е влиянието на охлаждащите системи върху надеждността на мощните силови елементи. Тъй като влиянието на температурата на охлаждащата среда влияе върху температурата на кристала на тези елементи, а от там и върху корекционния коефициент по температурен режим на тиристора, то ще има промяна на интензивността на отказите на тиристорите, а от там и върху общата надеждност на захранващия източник.

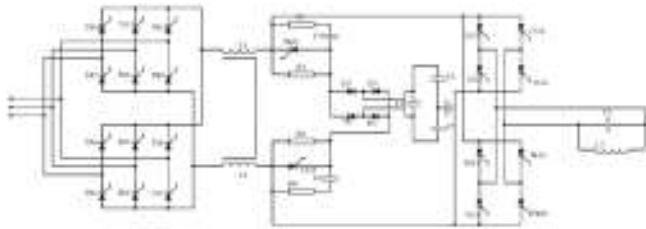
Обект на изследване на настоящия доклад е серия тиристорни захранващи източници за обемно нагряване на стоманени детайли, свързан с ковшко-пресово производство. Обект на изследване е силовия блок на ЗИ тип SMK UB 2F2 630/1.5/0.6-R. Основните параметри на ЗИ са: захранващо напрежение $U_{set} = 3 \times 380V/50Hz$; номинална мощност $P_{nom} = 630kVA$; работно напрежение върху товара $U_{out} = 600V$; работна честота $f = (600 - 1500)Hz$; Температура на охлаждащата вода $T_C = 250C$.

Блоквата схема на захранващия е представена на фиг. 1, а силовата схема на захранващия източник е представена на фиг. 2.

* Corresponding author. E-mail: piprom@abv.bg



Фиг. 1. Блокова схема на изследвания захранващ източник



Фиг. 2. Силова схема на изследвания захранващ източник

Захранващия източник се състои от следните функционални блокове: два паралелни изправителя, работещи по схема „Ларионов“, изглаждащ дросел, стартово устройство, два инвертора на ток по мостова схема, които захранват машина за обемно нагряване за стоманени детайли ИТО 631/1-A-L/. Машината за обемно нагряване се състои от индуктор и кондензаторна батерия, съставена от 24 бр. кондензатори с общ капацитет от $C1=2,28\text{mF}$.

За анализа по надеждност на тиристорния ЗИ се определят електрическите и топлинни режими на елементите от силовия блок [8].

Данните за електрически режими са дадени в таблица 1 и таблица 2 съответно за инверторните и изправителните тиристори.

Табл. 1 Електрически режими на тиристори Th13 – Th20

Тип индуктор	D, mm	F_{LOAD} , Hz	$U_{I(A)}$, V	$I_{I_{Th}}$, A	$P_{DISS_{I}}$, W
R – ИТО	80	1050	600	225	460.69
80 – 100	90	1000	600	230	471.55
R – ИТО	105	950	620	212.5	468.73
100 – 120	100	960	600	237.5	490.21

Табл. 2 Електрически режими на тиристори Th1 – Th12

Тип индуктор	D, mm	F, Hz	$U_{R(A)}$, V	$I_{R_{Th}}$, A	$P_{DISS_{R}}$, W
R – ИТО	80	50	550	259.8	295.83
80 – 100	90	50	550	274.2	318.79
R – ИТО	105	50	550	173.2	194.96
100 – 120	100	50	550	210.7	225.42

D – диаметър на нагрявания детайл, F – работна честота; $U_{I(A)}$, $U_{R(A)}$ – обратно напрежение на изправителни и инверторни тиристори; $I_{R_{Th}}$, $I_{I_{Th}}$ – ток в права посока на изправителни и инверторни тиристори, P_{DISS} – загуби в инверторните и изправителните тиристори.

В таблица 3 и таблица 4 са представени данните за корекционните коефициенти по надеждност на тиристорите

тори Th1–Th20. Данните са пресметнати при температура на охлаждащата вода $T_C = 28^{\circ}\text{C}$ и работните електрически режими дадени в таблица 1 и 2.

Табл. 3 Корекционни коефициенти по надеждност на тиристори Th13 – Th20

Тип индуктор	D, mm	λ_0	π_T	π_V	π_I	π_Q	π_E
R – ИТО	80	22	2.32	0.27	8.73	5.5	6.96
80 – 100	90	22	2.36	0.27	8.8	5.5	6.96
R – ИТО	105	22	2.35	0.29	8.53	5.5	6.96
100 – 120	100	22	2.43	0.27	8.92	5.5	6.96

Табл. 4 Корекционни коефициенти по надеждност на тиристори Th1 – Th12

Тип индуктор	D, mm	λ_0	π_T	π_V	π_I	π_Q	π_E
R – ИТО	80	22	1.76	0.05	9.24	5.5	6.96
80 – 100	90	22	1.83	0.05	9.45	5.5	6.96
R – ИТО	105	22	1.46	0.05	7.86	5.5	6.96
100 – 120	100	22	1.55	0.05	8.50	5.5	6.96

Условията на експлоатация на ЗИ в конкретния ковашко-пресов производствен участък, според протоколи на контролни органи са констатирани: максимална температура на околната среда – $T_A = 28^{\circ}\text{C}$; относителна влажност на въздуха – 61,7%; 3,1 mg/m^3 ниво на запрашеност, вибрационни 0,75 grms и до 1.25 grms механични въздействия.

В таблица 5 са дадени стойностите на интензивността на отказите на инверторните тиристори като функция на температурата на охлаждащата вода. В таблица 6 са дадени стойностите на интензивността на отказите на инверторните блокове, като функция от температурата на охлаждащата вода. В таблица 7 са дадени стойностите на вероятността за безотказна работа на инверторните блокове.

Табл. 5 Интензивност на отказите на тиристори Th1 – Th12

Тип индуктор	D, mm	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 15	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 20	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 25	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 30	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 35	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 40	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 45
R – ИТО	80	3308	3895	4563	5320	6174	7134	8208
80 – 100	90	3402	4004	4688	5463	6336	7318	8416
R – ИТО	105	3491	4108	4811	5607	6505	7513	8641
100 – 120	100	3563	4188	4899	5703	6610	7627	8763

Табл. 6 Интензивност на отказите на инверторен блок

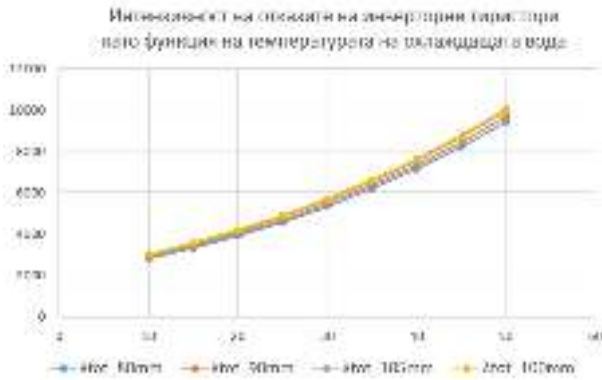
Тип индуктор	D, mm	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 15	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 20	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 25	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 30	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 35	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 40	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 45
R – ИТО	80	26462	31158	36504	42560	49393	57070	65664
80 – 100	90	27219	32031	37504	43702	50692	58542	67324
R – ИТО	105	27925	32867	38489	44856	52037	60103	69129
100 – 120	100	28502	33506	39193	45627	52876	61012	70108

Табл. 7 Вероятност за безотказна работа на инверторен блок

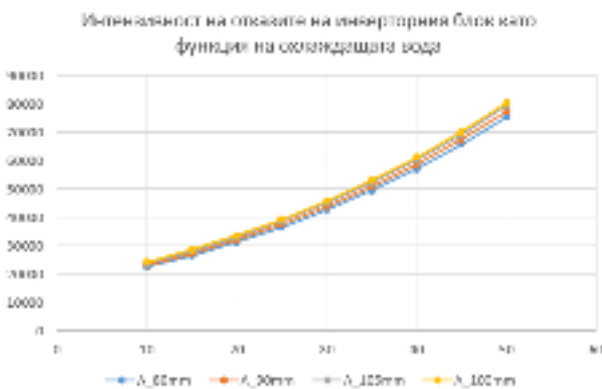
Тип индуктор	D, mm	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 15	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 20	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 25	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 30	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 35	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 40	$T_A, ^{\circ}\text{C}$ 45
R – ИТО	80	0.858	0.835	0.809	0.781	0.751	0.718	0.683
80 – 100	90	0.854	0.830	0.805	0.776	0.745	0.712	0.677
R – ИТО	105	0.850	0.826	0.800	0.771	0.739	0.706	0.670
100 – 120	100	0.848	0.823	0.797	0.767	0.736	0.702	0.666

Резултатите са представени графично на фиг. 3, фиг. 4. и фиг. 5. От тези графики може да се направи извода, че има нарастване на интензивността на отказите на

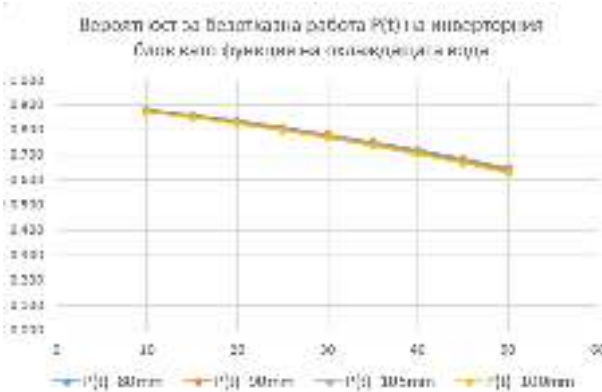
инверторните тиристори и на инверторния блок по нелинеен закон като функция на температурата.



Фиг. 3. Интензивност на отказите на инверторните тиристори в зависимост от температурата на охлаждащата вода



Фиг. 4. Интензивност на отказите на инверторния блок в зависимост от температурата на охлаждащата вода



Фиг. 5. Вероятност за безотказна на инверторния блок в зависимост от температурата на охлаждащата вода

От трите графики се виждат близките стойности на показателите по надеждност на инверторния блок при работа с различните индуктори и товари. Извода, който може да се направи е, че в по-голяма степен определяща е температурата на охлаждащата вода и нейния дебит през охлаждащата система за надеждността на този блок.

В табл. 8, 9 и 10 са представени идентични изследвания, които се отнасят за изправителните тиристори.

Табл. 8 Интензивност на отказите на тиристори Th1 – Th12

Тип индуктор	D, mm	T _A , °C 15	T _A , °C 20	T _A , °C 25	T _A , °C 30	T _A , °C 35	T _A , °C 40	T _A , °C 45
R – ITO	80	443	526	622	731	855	996	1154
80 – 100	90	473	561	662	777	908	1057	1223
R – ITO	105	309	369	439	519	611	715	833
100 – 120	100	355	423	502	593	697	814	947

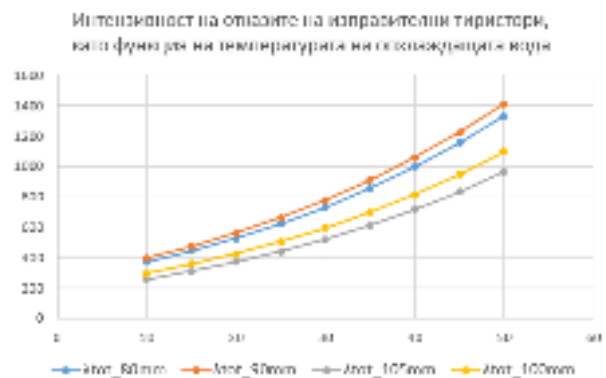
Табл. 9 Интензивност на отказите на инверторен блок

Тип индуктор	D, mm	T _A , °C 15	T _A , °C 20	T _A , °C 25	T _A , °C 30	T _A , °C 35	T _A , °C 40	T _A , °C 45
R – ITO	80	5310	6311	7460	8772	10262	11949	13850
80 – 100	90	5671	6731	7945	9330	10902	12679	14680
R – ITO	105	3703	4429	5267	6230	7329	8579	9994
100 – 120	100	4255	5080	6030	7119	8361	9771	11365

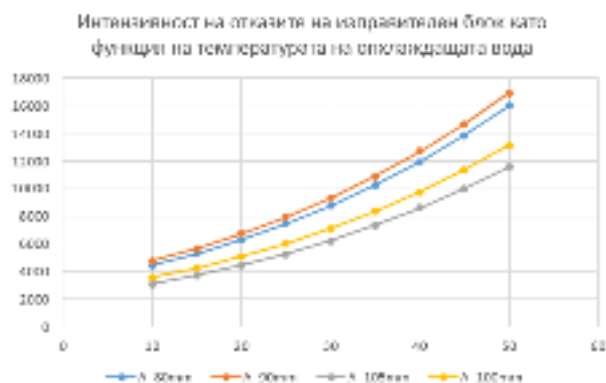
Табл. 10 Вероятност за безотказна работа на инверторен блок

Тип индуктор	D, mm	T _A , °C 15	T _A , °C 20	T _A , °C 25	T _A , °C 30	T _A , °C 35	T _A , °C 40	T _A , °C 45
R – ITO	80	0.970	0.964	0.958	0.950	0.942	0.9330	0.923
80 – 100	90	0.968	0.962	0.955	0.947	0.939	0.9291	0.918
R – ITO	105	0.979	0.975	0.970	0.965	0.958	0.9515	0.944
100 – 120	100	0.976	0.971	0.966	0.960	0.953	0.9449	0.936

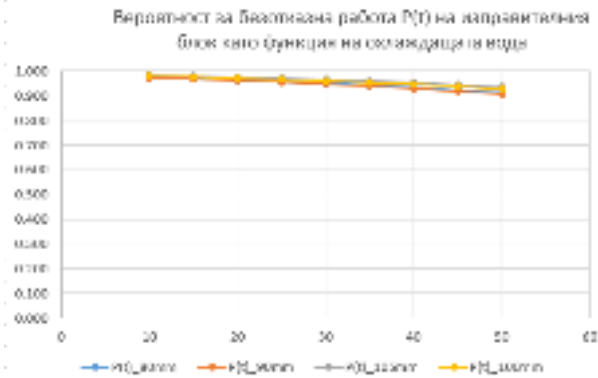
Резултатите са представени графично на фиг. 6, фиг. 7 и фиг. 8. От тези графики може да се направи извода, че има нарастване на интензивността на отказите на изправителните тиристори и на изправителния блок по нелинеен закон като функция на температурата, както при инверторните тиристори.



Фиг. 6. Интензивност на отказите на изправителни тиристори в зависимост от температурата на охлаждащата вода



Фиг. 7. Интензивност на отказите на изправителен блок в зависимост от температурата на охлаждащата вода



Фиг. 8. Вероятност за безотказна работа $P(t)$ на изправителен блок като функция на охлаждащата вода

Извода, който може да се направи е, че при изправителните тиристори не се наблюдават толкова близки стойности на интензивността на отказите за да могат да се пренебрегнат работните електрически режими на товара и съответно работата с различни индуктори и детайли.

Вероятността за безотказна работа $P(t)$ на изправителния блок е висока – над 0,9 за целия диапазон на изменение на температурата, като в този случай тази висока надеждност показва, че дебита и температурата на охлаждащата вода не оказват съществено влияние върху този блок. При разглеждане на вероятността за безотказна работа на инверторния блок (фиг. 5), може да се направи извода за силното влияние на температурата и дебита на охлаждащата вода върху този блок. Ако се зададе ниво на надеждност от $P(t) = 0.75$, то температурата на охлаждащата вода не би трябвало да надвишава 35°C .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследван е по надеждност захранващ източник за индукционно нагряване на стоманени детайли. Направена е оценка на надеждността на силовите полупроводникови елементи – тиристори и съответните изправителен и инверторен блок. Тези силови блокове са определящи със своята надеждност за общата надеждност на захранващия източник и е важно да се опре-

делят техните показатели по надеждност. Важен параметър е температурата на охлаждащата вода и нейното влияние върху показателите на надеждност. Получените резултати показват това влияние и по представения анализ е възможно да бъдат определени количествено показателите по надеждност и съответно количествено да се установи влиянието на температурата на охлаждащата вода. По силно влияние този параметър има върху инверторните тиристори, предвид, че имат по-голямо електрическо натоварване и по-големи загуби на мощност в тях. Установено е, при тези параметри, до каква температура на охлаждащата вода могат да се експлоатират и за целите на превантивната профилактика е възможно да бъдат определени мерки за недопускането на повишаването на тази температура.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите изказват своята благодарност на всички рецензенти за техните съвети и предложения за подобряване на настоящия доклад. Авторите изразяват благодарността си към Технически Университет - Габрово за финансирането на това изследване, по договор № 1912E.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] FIDES GUIDE 2004, Issue A, Reliability methodology for electronic system, Fides Group, France, 2004.
- [2] MIL – HDBK – 217F, Notice 2. Reliability prediction of electronic components. US DoD, 2003.
- [3] Pecht G. M., Franklin R. N., Predicting the reliability of electronic equipment, IEEE Trans. On reliability vol. 82 No.7 July 1994 pp. 992 – 1004.
- [4] Pham H., Handbook of reliability engineering, Springer – Verlag, London, 2003, ISBN 1852334533.
- [5] Simeonov, M. V., Prodanov P., Operational reliability of the power supplies for induction technologies. Monthly scientific and technical magazine ELEKTROTECHNICA & ELEKTRONICA, vol. 45, No 5-6. pp. 27-35, Sofia 2010.
- [6] Simeonov M., Prodanov P., Reliability of power supplies for induction heating technologies, Ex-Press, Gabrovo 2011. ISBN 978-954-490-208-7.