

ЕНЕРГЕТИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ЗАВАРЪЧНИ РЕГУЛАТОРИ НА ТОК

Даниела Марева
Бургаски свободен университет

ENERGY CHARACTERISTICS IN WELDING CURRENT REGULATORS

Daniela MAREVA
Burgas Free University
e-mail: d_mareva@abv.bg

Абстракт: Заваръчните регулатори на ток се прилагат при многопостови заваръчни агрегати, които се използват в роботизирани комплекси за заваряване, например при заваряване на статорни пакети на ел. двигатели, или големи газо-проводни тръби, при които едновременно се заварява с 2-4 горелки.

Бързото развитие и внедряване на инверторните източници за заваряване стана възможно след разработването на подходящи силови транзистори (JGBT) и транзисторни модули.

Многопостовите източници на заваряване са с по-голяма мощност в сравнение с обикновените източници за заваряване. Това поставя по-високи изисквания към техните енергетични характеристики, което налага много прецизно проектиране и избор на елементна база.

Целта на настоящата статия е да се изследват енергетичните показатели на транзисторни заваръчни регулатори на ток за получаване на добри енергетически характеристики.

Ключови думи: многопостови заваръчни агрегати, енергетични характеристики, регулатори на ток

Abstract: Welding current regulators are used in multi-station welding units, which are used in robotic welding complexes, for example when welding stator packages of electric motors, or large gas pipes in which it is simultaneously welded with 2-4 burners.

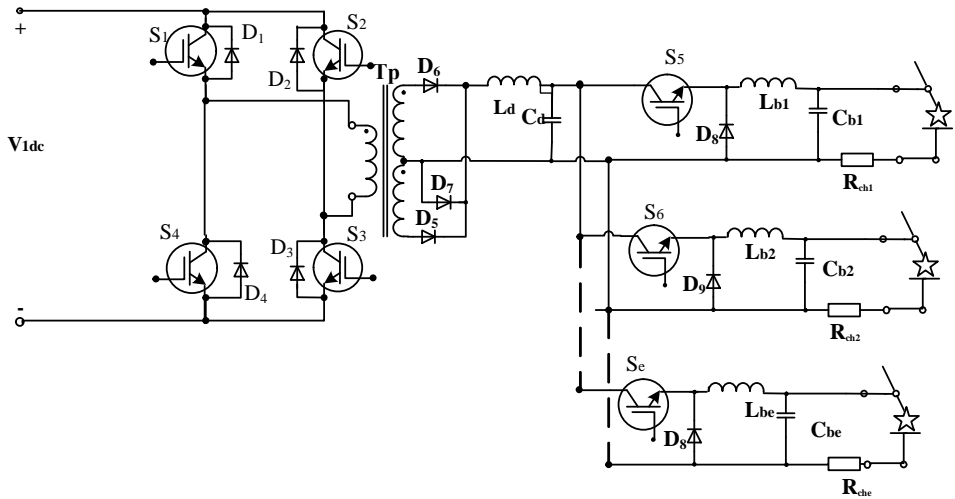
The rapid development and implementation of inverter welding sources became possible after the development of suitable power transistors (JGBTs) and transistor modules.

Multi-station welding sources have more power than conventional welding sources. This places higher demands on their energy performance, which requires very precise design and selection of the element base.

The purpose of this article is to study the energy performance of transistor welding current regulators to obtain good energy performance.

Keywords: control, Inverter supply, pulse arc welding, multi-station welding units

На фиг.1 е показана схема на многопостов източник за заваряване.

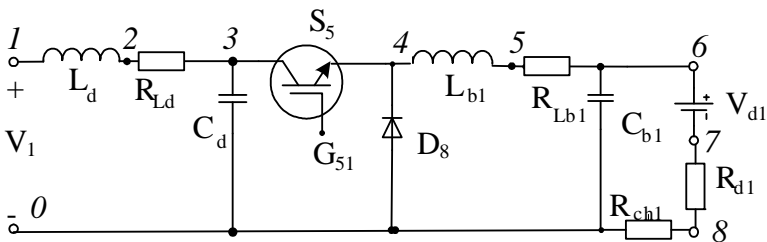


Фиг. 1. Принципна схема на многопостов инвертен източник за заваряване

Многопостовият източник за заваряване се състои от инвертен източник (S_1, S_2, S_3, S_4) с изходен трансформатор (Tr), токоизправител (D_5, D_6), филтър (L_d, C_d) и заваръчни регулатори на ток (S_5, S_6, S_e).

Обектът на изследването е заваръчен регулатор на ток.

Изследванията се реализират с компютърна симулация. PSPICE моделът на един заваръчен регулатор на ток има вида (фиг.2).



Фиг. 2. PSPICE модел на заваръчен регулатор на ток

На фиг. 2 са поставени допълнително резисторите R_{Ld} , R_{d1} , които отразяват активното съпротивление на бобините, съединителните проводници и дъгата. Резисторът R_{ch1} е шунт и служи за измерване и подаване на сигнал за стабилизация при зададен заваръчен ток.

В многопостовите заваръчни агрегати регулаторите на ток (PT) са 2 и повече на брой и всеки поотделно може да регулира стойността на заваръчния ток от 20A до 250A.

Изследването на показаната схема се реализира чрез PSPICE модел на еквивалентната заместваща схема на инверторния източник за заваряване (фиг.2), като допълнително в PSPICE модела се отчитат активните загуби в реактивните елементи. Стойностите на градивните елементи в PSPICE модела са:

$$V_{dc} = 50V, L_a = 1.78\mu H, C_a = 0.56\mu F, L_d = 20\mu H, C_d = 100\mu F$$

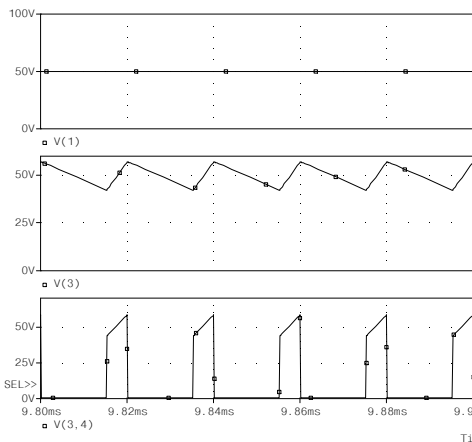
За регулатора на ток: $L_{b1} = 15\mu H, C_{b1} = 10\mu F, R_{b1} = 0.2, R_{ch1} = 0.002, V_{d1} = 19V$.

Заваръчната дъга е заменена с еквивалентно съпротивление ($R_{b1} = 0.2$) и противо е.д.н. ($V_{d1} = 19V$). Тази еквивалентна замяна следва от зависимостта на напрежението на дъгата (U_g) от тока на дъгата (I_d):

$$U_g = 19 + 0,04 \cdot I_d$$

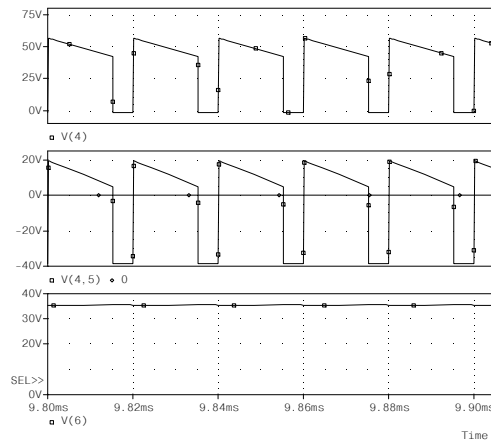
Избраният режим за изследване е при максимален заваръчен ток, както и при изменение на заваръчния ток в широки граници.

На следващите фигури (фиг. 3 и фиг. 4) са показани времедиаграми, които потвърждават работоспособността на изследвания модел.



Фиг. 3.

Захранващо (V1), входно напрежение (V3) и напрежение върху транзистор S₁ (V3,4)

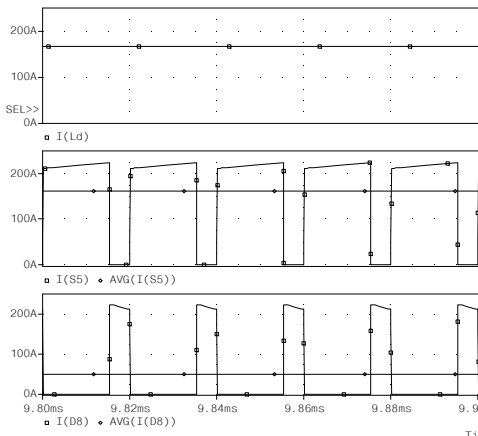


Фиг. 4.

Напрежение след транзистора V(4), върху изглаждащата бобина V(4,5) и на дъгата V(6)

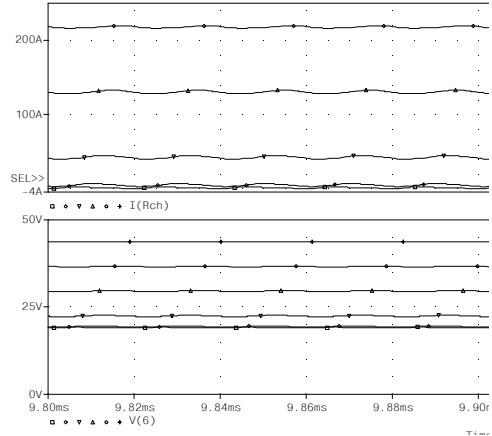
На регулатора се подава постоянно напрежение от изхода на инвертора, което в случая се симулира чрез захранващо напрежение (V₁) и последователно включен филтър L_d, R_{Ld} . Напрежението (V₃) се явява входно захранващо напрежение за регулатора на ток. Напрежението върху силовия транзистор S₅ е близко до правоъгълно и не се различава по стойност от напрежението (V₃).

Токовете натоварвания на изправителните диоди и обратния диод са показани на фиг.5.



Фиг. 5.а.

Входен ток $I(L_d)$, токът през транзистора $I(S_5)$ и токът през обратния диод $I(D_8)$



Фиг. 5.б.

Заваръчен ток $I(R_{ch})$, напрежение на дъгата $V(6)$

Дадените времедиаграми показват нормална работа на регулатора на ток. Напрежението върху запущения транзистор е равно на стойността на захранващото напрежение, което означава наличие на много добър коефициент по напрежение на транзистора.

Следващите изследвания показват енергетичните показатели на регулатора на ток в различни режими на работа, което съответства при заваряване с различен заваръчен ток. Изследванията се извършват при регулиране за заваръчния ток чрез промяна на широчината на управляващия импулс на транзистор S_5 със стойности $t_u = 3ms; 6ms; 9ms; 12ms; 15ms; 18ms$, при период $T=20ms$ и захранващо напрежение на регулатора $V_1=50V$.

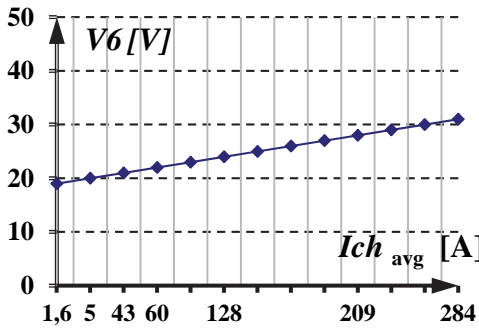
На фиг.6 са показани: изменението на тока на заваряване (I_{ch1}) и напрежението на дъгата (V_6), при промяна на коефициента на модулация (δ), за $\delta = t_u / T = 0,15; 0,3; 0,45; 0,6; 0,75; 0,9$.

Това са изходната $V_6 = f(I_{ch})$ и регулировъчната $I_{ch} = f(\delta)$ характеристики на регулатора.

При всички изследвания токовете се отчитат с техните средни стойности (AVG), а напреженията се отчитат с техните моментни стойности.

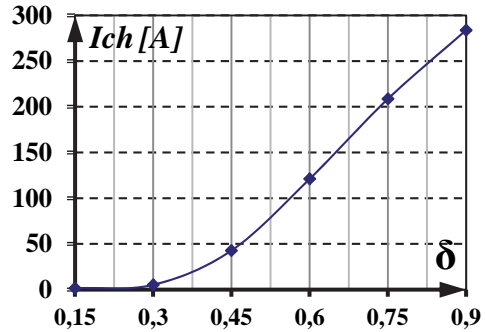
Таблица 1

δ		0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9
I_{ch}	A	1,62	5,3	42,75	128,2	208,7	283,9
U_6	V	19,008	19,077	20,675	24,33	27,8	31,06



Фиг. 6а.

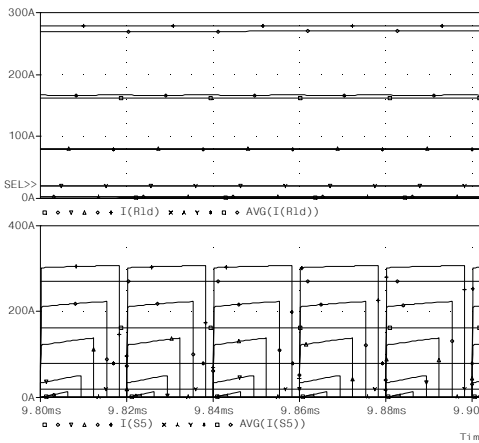
Графика на напрежението върху товара $V(6)$ при различни стойности на коефициента δ



Фиг. 6б.

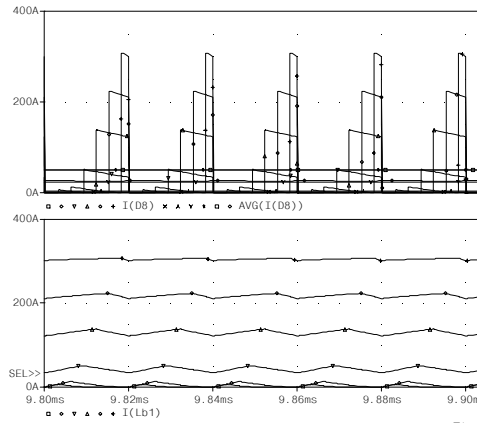
Графика на заваръчния ток I_{ch} през дъгата при различни стойности на коефициента δ

На фиг. 7 са показани токовете натоварвания на елементите на регулатора



Фиг. 7а.

Входният ток $I(L_d)$, токът през транзистора $I(S_5)$



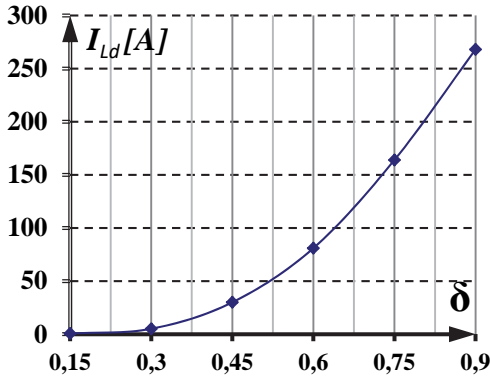
Фиг. 7б.

Токът през обратния диод $I(D_8)$ и токът през бобината $I(L_b)$

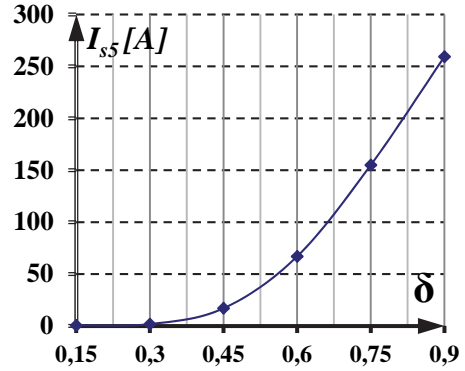
В табл. 2 са дадени: входният ток на регулатора I_{Ld} , токът през транзистора S_5 , токът през диода (D_8) и токът през бобината L_{b1} , а на фиг. 8 съответните графики.

Таблица 2

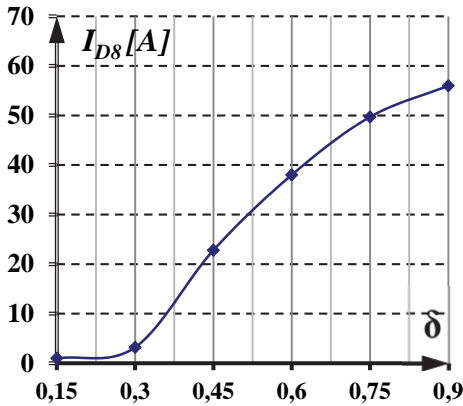
δ		0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9
$I_{Ld\ avr}$	A	0,6	2,1	20	81	164	268
$I_{S5\ avr}$	A	0,6	1,8	17	67	155	259,3
$I_{D8\ avr}$	A	0,98	3,2	22,8	38	49,7	56
$I_{Ld1\ avr}$	A	0,6	7,2	46	130	220	300
V_3	V	49,998	49,991	49,95	49,8	49,58	49,31



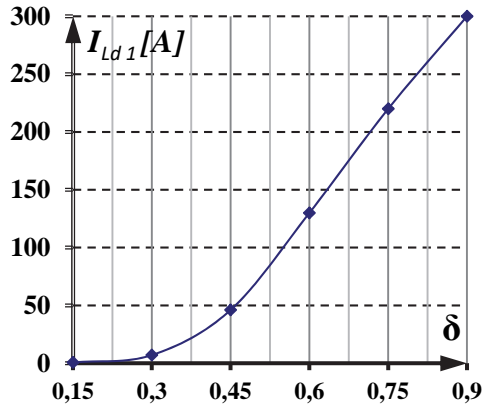
Фиг. 8а. Графика на тока през бобината $I(L_{b1})$ при различни стойности на коефициента δ



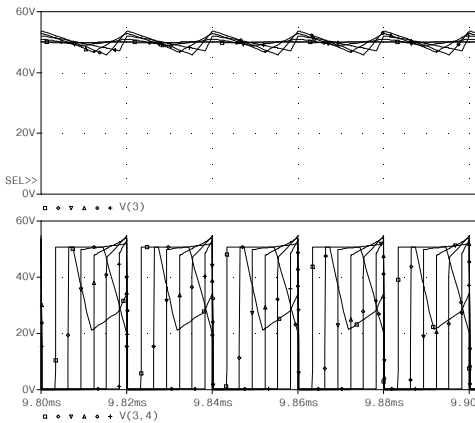
Фиг. 8б. Графика на тока през транзистора $I(S_5)$ при различни стойности на коефициента δ



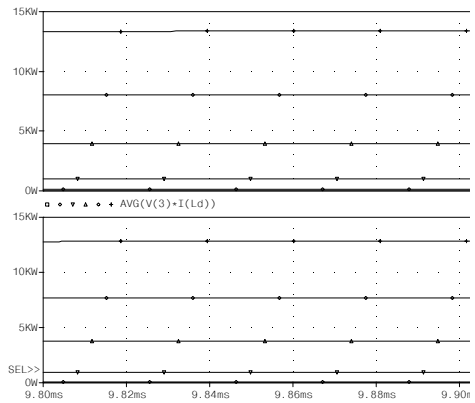
Фиг. 8в. Графика на тока през обратния диод $I(D_8)$ при различни стойности на коефициента δ



Фиг. 8г. Графика на тока през бобината $I(L_{b1})$ при различни стойности на коефициента δ



Фиг. 9а. Входното $V(3)$ и напрежението на транзистора $V(3,4)$



Фиг. 9б. Входна P_i и изходна P_o мощност на регулатора при различни стойности на коефициента δ

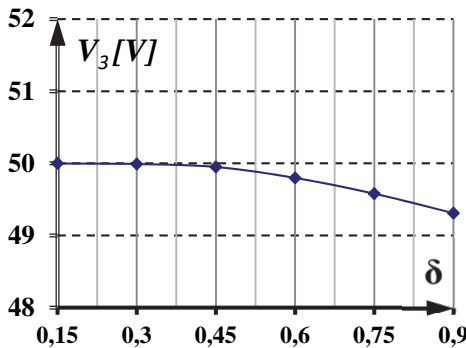
Вижда се, че максималното напрежение върху транзистора е около захранващото напрежение $V(1)$, а токът е с правоъгълна форма и средната му стойност се изменя в големи граници.

На фиг.9 и фиг.10 са дадени входната и изходната мощности на регулатора при $V_1=50\text{ V}$ и оптимизация на гравивните елементи с минимални активни съпротивления при отпушен транзистор или диод. В графиката това е обозначено като режим 1. Входната и изходната мощности на регулатора за $V_1=50\text{ V}$ при гравивните елементи с нормални активни съпротивления при отпушен транзистор или диод и бобините е обозначено като режим 2. А с режим 3 е обозначена входната и изходната мощности на регулатора при $V_1=40\text{V}$ при оптимизация на гравивните елементи с минимални активни съпротивления при отпушен транзистор или диод.

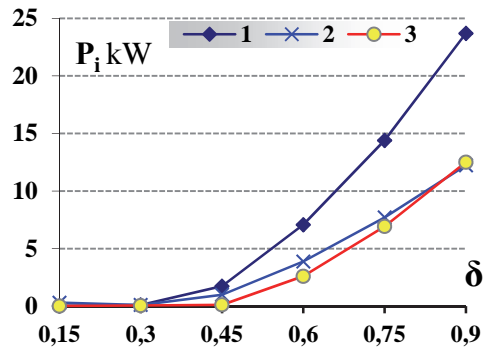
В табл. 3 са дадени стойностите на входната мощност от коефициента на модулация за трите режима на работа.

Таблица 3

δ		0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9
P_i [kW]	режим1	0,031	0,106	1,74	7,08	14,4	23,7
	режим2	0,31	0,105	0,995	3,884	7,707	12,23
	режим3	0,017	0,058	0,123	2,604	6,929	12,51



Фиг. 10.а. Графика на входното напрежение $V(3)$ при различни стойности на коефициента δ



Фиг. 10.б. Входната P_i мощност на регулатора при различни стойности на коефициента δ

В табл. 4 са дадени стойностите на изходната мощност от коефициента на модулация за трите режима на работа.

Таблица 4

δ		0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9
P_o [kW]	режим1	0,032	0,105	1,65	7,05	13,41	21,95
	режим2	0,031	0,102,1	0,888	3,12	5,78	8,75
	режим3	0,016	0,058	0,12	2,48	6,55	11,73

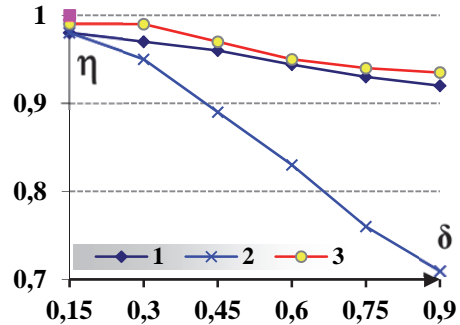
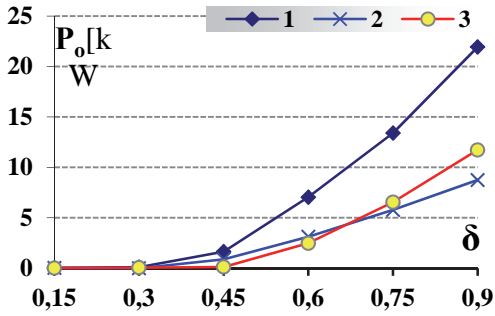
В табл. 5 е даден коефициентът на полезно действие на регулатора на базата на измерените входна и изходна мощност на регулатора.

$$\delta = \frac{t_u}{T} \quad P_i = \text{avg}(V_1 \cdot I_{Ld}) \quad P_o = \text{avg}(V_6 \cdot I_{Rch})$$



Таблица 5

δ	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	
η	режим1	0,98	0,97	0,96	0,944	0,93
	режим2	0,98	0,95	0,89	0,83	0,76
	режим3	0,99	0,99	0,97	0,95	0,94



Фиг.11а. Графика на изходната P_o мощност на регулатора Фиг. 11б. КПД на регулатора при различни стойности на коефициента δ за три режима на работа

От направените изследвания могат да се направят следните изводи:

1. Регулаторът на заваръчен ток, реализиран със силови транзистори позволява да се реализира многопостов заваръчен агрегат.
2. Предложената схема има много добра управляемост на заваръчния ток .
3. При по-големи заваръчни токове е необходимо гравивните елементи – транзистори, диоди, бобини да бъдат с малко съпротивление в права посока.

Литература:

- [1] V. Valchev, D. Mareva, and D. D. Yudov, "Inverter current source for pulse arc welding with improved parameters," MIPRO-2017, May 22-26, 2017, Opatija, Croatia, pp.139-143
- [2] Dimitar Yudov, Georgi Todorinov, Daniela Mareva „INVERTER SUPPLY FOR PULSE ARC WELDING” 2006, BFU
- [3] A. Van den Bossche and V. C. Valchev. *Inductors and transformers for power electronics*, Boca Raton: CRC press, 2005.
- [4] Garipova, J., Georgiev, A., Papanchev, T., Nikolov, N., Zlatev, D. Operational reliability assessment of systems containing electronic elements. Springer International Publishing AG 2018. International Conference on Intelligent 2nd Information Technologies for Industry IITI 2017, vol. 680, pp. 340-348. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2018.
- [5] Kanchev, H.C., Hinov, N.L., Arnaudov, D.D. and Hranov, T.H., Current fed inverter application as a controllable DC load, XXV International Scientific Conference Electronics (ET), 12-14 Sept. 2016, Bourgas, Bulgaria.