

СИНХРОНЕН ЕДНОФАЗЕН ТОКОИЗПРАВИТЕЛ – ЧАСТ-2

доц. д-р Даниела Марева
Бургаски свободен университет, ЦИТН

SYNCHRONOUS SINGLE-PHASE RECTIFIER – PART-2

Assoc. Prof. Daniela Mareva, PhD
Burgas Free University, Department CITN
e-mail: d_mareva@abv.bg

Абстракт: *Токоизправителите със синхронно изправяне е техника за подобряване на ефективността на преобразувателите в силовата електроника. Състои се от паралелно еднопосочно свързване на диод и транзистор (обикновено мощен MOSFET). По този начин се получава по-малък спад на напрежението в права посока в сравнение при работа само на диод. Така се намаляват загубите в силовите ключове и респективно се повишава коефициентът на полезно действие на токоизправителя и от там на цялото устройство.*

Целта на настоящата статия е да се изследват и сравнят енергетичните характеристики на синхронен мостов токоизправител, използван в AC/DC преобразуватели.

Ключови думи: *мостов токоизправител, синхронен мостов токоизправител, енергетични характеристики.*

Abstract: *Synchronous straightening is a technique for improving the efficiency of power converters in power electronics. It consists of a parallel connection of a diode and a transistor (usually a powerful MOSFET). In this way, a rectifier characteristic is obtained, without a significant voltage drop in the forward direction associated with the diodes in the on state. As a result, power supplies run cooler and more reliably and save significant energy costs. The design of converters at high power shows that the use of synchronous rectifier gives a significant improvement in the efficiency of the whole device.*

The aim of this article is to study and compare the energy characteristics of bridge and synchronous bridge rectifiers used in AC / DC converters.

Key words: *bridge rectifier, synchronous bridge rectifier, energy characteristics.*

Тази статия описва MOSFET синхронен изправител, подходящ за използване в AC-DC преобразуватели.

Схемата и PSPICE модела на заваръчния токоизточник са същите, както на част 1 и се използват, за да се получат енергетичните зависимости.

За да се сравнят и оценят енергетичните характеристики на диодния токоизправител (D) и синхронния токоизправител (SR) са получени характеристиките на мощността и коефициентът на полезно действие на двата токоизправителя при промяна на товара и коефициента на проводимост на диодите и транзисторите.



Загубната мощност (P_z) може да се изрази с:

$$P_z = I_d^2 \cdot \left(2 \cdot \frac{R_{FD} \cdot t_{uD}}{T} + \frac{R_{FQ} \cdot t_{uQ}}{T} \right) \text{ [kW]}$$

където: R_{FD}, R_{FQ} - съпротивлението на диода и на транзистора в отпушено състояние.

$T = 1/f$ - период на захранващото напрежение

t_{uD}, t_{uQ} - времето на проводимост, съответно на диода и транзистора.

I_d - средната стойност на тока през товара.

За обикновен диоден токоизправител времето на проводимост на диода е $t_{uD} = 0,5T$.
В случая $t_{uD} = 10ms$

$$P_z = I_d^2 \cdot R_{FD} \cdot 0,5 \text{ [kW]}$$

От направените изследвания изходната мощност се определя от тока през товара и напрежението върху товара:

$$P_A = \text{RMS}(I(R_d)) \cdot V_{(4,9)} \text{ [kW]}$$

Консумираната от захранващия източник мощност (P_1) е:

$$P_1 = \text{RMS}(I(R_1)) \cdot V_{(1,2)}$$

Коефициентът $\eta = \frac{P_A}{P_1}$ – коефициент на полезно действие на устройството и е отношение на изходната към входната мощност.

$$\eta = \text{RMS}(I(R_d) \cdot V_{(4,9)}) / \text{RMS}(I(R_1) \cdot V_{(1,2)})$$

Първите изследвания са при активен товар (R), който се изменя в границите $R_d = 0,3 \div 0,9 \Omega$ за:

1. Диоден токоизправител „Грец“, $t_{uD} = 10ms$

Таблица 1.

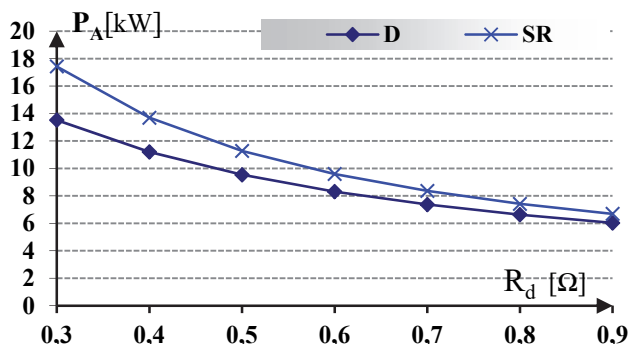
R_d	Ω	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
P_A	kW	13,52	11,2	9,54	8,31	7,37	6,63	6,03
η		0,782	0,824	0,85	0,868	0,881	0,891	0,899

2. Синхронен токоизправител, $t_{uD} = 2ms$ $t_{uQ} = 6ms$

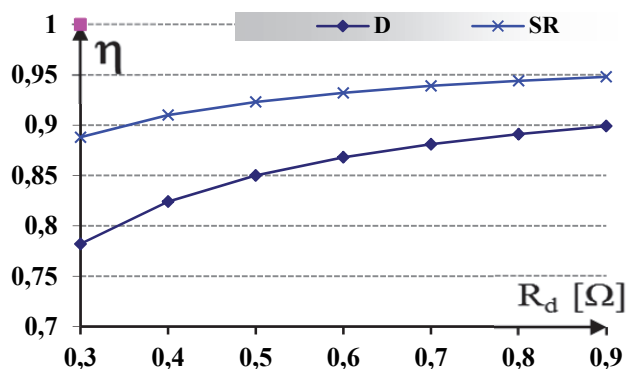
Таблица 2.

R_d	Ω	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
P_A	kW	35,9	23,82	17,43	13,69	11,27	9,59	8,36	7,42	6,69	6,1
η		0,75	0,846	0,888	0,91	0,923	0,932	0,939	0,944	0,948	0,95

На фиг.10 са дадени графики на зависимостта на изходната мощност от товарното съпротивление на диодния и синхронния изправители



Фиг. 10. Графики на зависимостта на изходната мощност P_A от товарното съпротивление R_d на диодния и синхронния токоизправители



Фиг. 11. Графики на зависимостта на коефициента на полезно действие от товарното съпротивление R_d на диодния и синхронния токоизправители

Синхронният токоизправител при еднакви условия (захранващо напрежение и съпротивление на товара) повишава стойността на изходната мощност и коефициента на полезно действие.

Изследването на енергетичните характеристики на синхронния токоизправител са при промяна на времето на проводимост на диодите и тиристорите – t_{uD} , t_{uQ} или времето на проводимост на транзисторите и диодите.

Загубите в диодите и транзисторите в синхронен изправител при R и RLтовар са показани с изразите:

$$P_{zD} = RMS \left(2 \cdot \frac{I_D \cdot V_{(3-4)} \cdot t_{uD}}{T} \right)$$

$$P_{zQ} = RMS \left(\frac{I_{Rk1} \cdot V_{(5-3)} \cdot t_{uQ}}{T} \right)$$

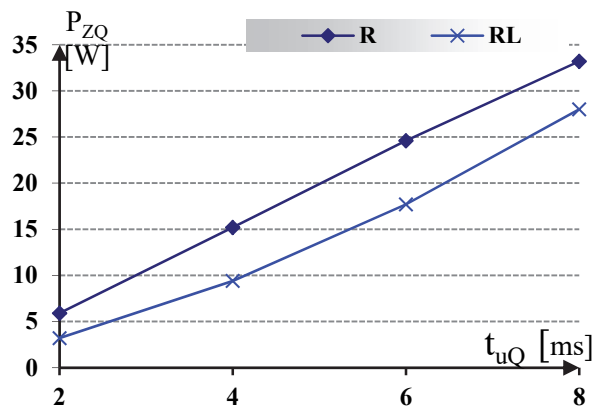


На фиг.12 и 13 са показани графики на зависимостите на загубната мощност в транзисторите P_{ZQ} и диодите P_{ZD} през времето на проводимост t_{uQ} съответно t_{uD} , съответно на транзистора и диода при диодния и синхронния изправители.

Таблица 3.

t_{uQ}	ms	2	4	6	8	товар
P_{zQ}	W	5,9	15,2	24,6	33,2	R
P_{zQ}	W	3,2	9,4	17,7	28	RL

$R_d=0,2\Omega$

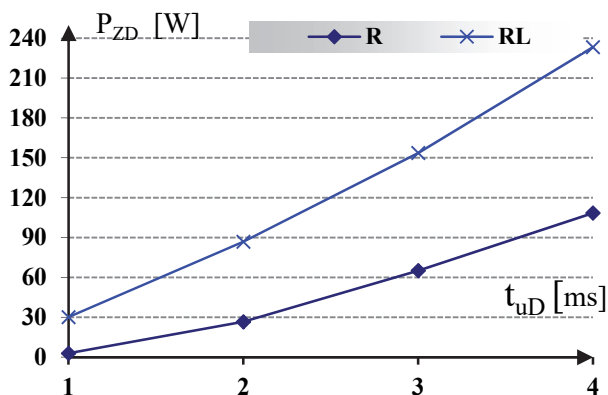


Фиг.12. Графики на зависимостта на загубната мощност в транзисторите P_{ZQ} времето на проводимост t_{uQ} , на транзистора при синхронния токоизправител при R и RL

Таблица 4.

t_{uD}	ms	1	2	3	4	товар
P_{zD}	W	2,9	26,6	95,1	108,4	R
P_{zD}	W	30,1	86,8	153,6	233,2	RL

$R_d=0,2\Omega$



Фиг. 13. Графики на зависимостта на загубната мощност в диодите P_{ZD} от времето на проводимост t_{uD} на диода на синхронния изправител при R и RL

Очевидно е, че при еднакъв коефициент на запълване и при еднакъв товар загубите в диодния токоизправител са значително по-големи.

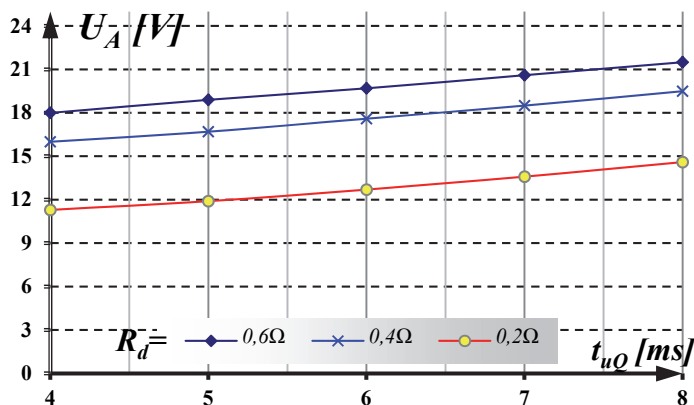
На фигурите 14÷17 са показани резултатите от изследването на изменението на стойностите на изходното напрежение U_a , изходния ток I_a , изходната мощност P_A и коефициента на полезно действие при изменение на времето на проводимост на диодите t_{uD} и транзисторите t_{uQ} , като се спазва условието при различни товари:

$$T=2t_{uQ}+ 4t_{uD} \text{ при } T=20\text{mS}$$

Таблица 5.

t_{uQ}	ms	4	5	6	7	8	Rd
t_{uD}	ms	3	2,5	2	1,5	1	
U_{A1}	V	18	18,9	19,7	20,6	21,5	0,6Ω
U_{A2}	V	16	16,7	17,6	18,5	19,5	0,4Ω
U_{A3}	V	11,3	11,9	12,7	13,6	14,6	0,2Ω

SR при RL товар

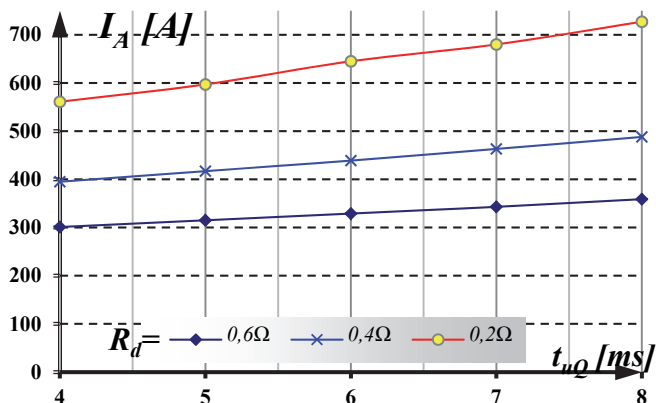


Фиг.14. Графики на зависимостта на изходното напрежение U_a върху товара от времето на проводимост $t_{uD}|t_{uQ}$, на синхронния изправител при различни стойности на RL товар

Таблица 6.

t_{uQ}	ms	4	5	6	7	8	Rd
t_{uD}	ms	3	2,5	2	1,5	1	
I_{A1}	A	301	315	329	343	359	0,6Ω
I_{A2}	A	395	417	439	463	488	0,4Ω
I_{A3}	A	561	597	645	680	727	0,2Ω

SR при RL товар

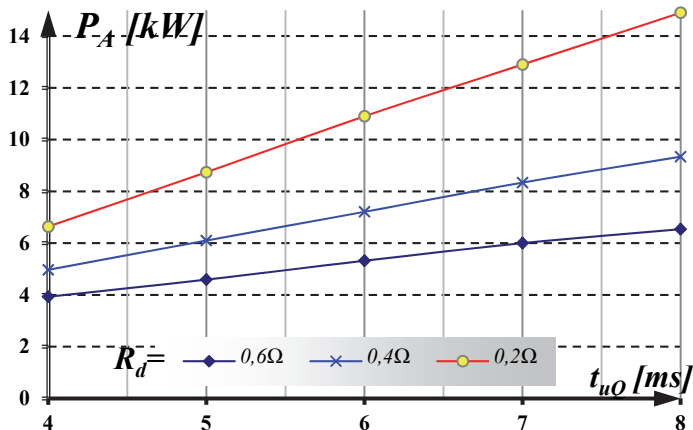


Фиг. 15. Графики на зависимостта на изходния ток I_A през товара от времето на проводимост $t_{uD}|t_{uQ}$, на синхронния изправител при различни стойности на RL товар

Таблица 7 .

t_{uQ}	ms	4	5	6	7	8	Rd
t_{uD}	ms	3	2,5	2	1,5	1	
P_{A1}	kW	3,93	4,59	5,32	6	6,54	0,6Ω
P_{A2}	kW	4,97	6,1	7,21	8,34	9,34	0,4Ω
P_{A3}	kW	6,64	8,74	10,9	12,9	14,9	0,2Ω

SR при RL товар

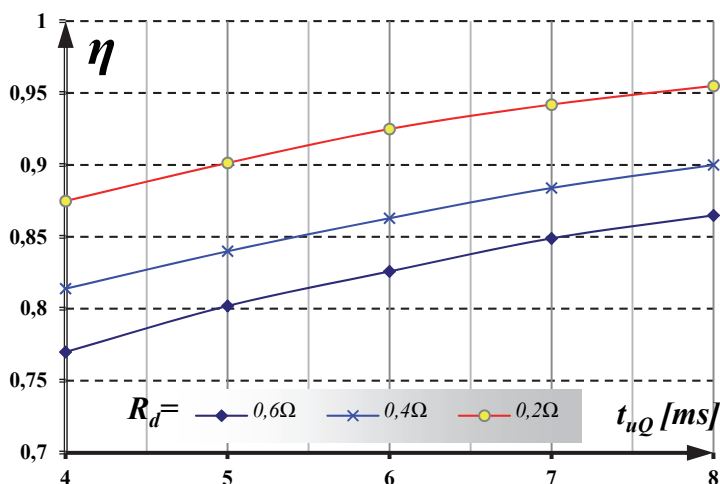


Фиг. 16. Графики на зависимостта на изходната мощност P_A в товара от времето на проводимост $t_{uD}|t_{uQ}$, на синхронния изправител при различни стойности на RL товар

Таблица 8.

t_{uQ}	ms	4	5	6	7	8	Rd
t_{uD}	ms	3	2,5	2	1,5	1	
η_1		0,77	0,829	0,856	0,822	0,765	0,6Ω
η_2		0,824	0,89	0,934	0,9	0,842	0,4Ω
η_3		0,901	0,96	0,985	0,982	0,975	0,2Ω

SR при RL товар



Фиг. 17. Графики на зависимостта на коефициента на полезно действие от времето на проводимост $t_{uD}|t_{uQ}$, на синхронния изправител при различни стойности на товара

Зависимостта на изходната мощност и коефициента на полезно действие от коефициента на запълване е значимо (>10%).

Заклучение

1. Синхронният токоизправител притежава определени преимущества пред обикновения диоден или транзисторен токоизправител.
2. Енергетичните показатели, като мощност и коефициент на полезно действие на устройството са по-добри при синхронния токоизправител.
3. Отсъстват взаимно-комутационни претоварвания и стресови, пикови натоварвания при транзисторите.
4. Синхронният изправител не влошава дефазирането на входния ток и входното напрежение.



Литература:

- 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.
- Камен Д. Сейменлийски, Ц.Т.Цанев, Г.С. Тянова, Ограничаване на неблагоприятното влияние на преобразователни устройства върху качеството на електрическата енергия, Списание „Електротехника и Електроника“, бр. 3-4/1994 г.; ISSN: 0861-4717, 1994 г., Издание на „СЕЕС“, с. 22 – 26
- A. Van den Bossche and V. C. Valchev. *Inductors and transformers for power electronics*, Boca Raton: CRC press, 2005.
- Kamen Seymenliyski, Silviya Letskovska, Radoslav Simionov, Eldar Zaerov, *Modern Technological Solutions in Electricity Supply*, Годишник БСУ, 2018, с. 78 – 83, ISSN: 1311-221-X, Печатница „ЕКС-ПРЕС“ ООД – Габрово
- А.В. Кобзев, В.Д. Семенов, „Формирователь импульсов сварочного тока на основе двухтрансформаторного комбинированного преобразователя“ ТУСУРа, 2 часть 1, декабрь 2011 УДК 621.314, 621.791
- А.Ф. Князьков, С.А. Князьков, А.Н. Мусин Оптимизация формы импульсов тока для управления переносом электродного металла при сварке в защитной среде аргона Томский ПУ
- Verdelho P., M Pio Silva, E. Margato, „An Electronic Welder Control Circuit“ IEEE, 0-7803-4503-7/98.