



---

---

## ЕНЕРГЕТИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕЛЕКТРОНЕН ТРАНСФОРМАТОР

Даниела Марева  
Бургаски свободен университет

## ENERGY CHARACTERISTICS OF ELECTRONIC TRANSFORMER

Daniela Mareva  
Burgas Free University  
e-mail: d\_mareva@abv.bg

**Абстракт:** Понякога се налага, да се работи с променливо напрежение, чиято стойност е различна от мрежовото напрежение.

Трансформаторите и автотрансформаторите обаче са тежки и скъпи съоръжения. По тази причина те се заменят с електронни трансформатори на променливо напрежение. Функцията на електронните трансформатори на променливо напрежение е да осигурят изходно напрежение с форма, близка до синусоидалната, и с честота, равна на входната. Освен това тези устройства осигуряват плавно регулиране на изходното напрежение, нулева консумация в режим на празен ход и следователно висок к.п.д., малко тегло и габарити, възможност за защита по ток и др.

Целта на настоящата статия е да се изследват енергетичните характеристики на тиристорен АС/АС електронен трансформатор.

**Ключови думи:** електронен трансформатор, енергетични характеристики.

**Abstract:** Sometimes it is necessary to work with alternating voltage, the value of which is different from the mains voltage. However, transformers and autotransformers are heavy and expensive equipment. For this reason, they are being replaced by electronic AC transformers. The function of electronic AC transformers is to provide an output voltage with a shape close to sinusoidal and with a frequency equal to the input voltage. In addition, these devices provide smooth regulation of the output voltage, zero consumption in idle mode and therefore high efficiency, low weight and dimensions, the possibility of current protection and more.

The purpose of this article is to investigate the energy characteristics of a thyristor AC / AC electronic transformer.

**Keywords.** electronic transformer, energy characteristics

Конвенционалните токозахранващи устройства са изградени на базата на нискочестотни трансформатори и нискочестотно управление, а това довежда до големи размери и съответно тегло на самите захранващите устройства и голяма материалоемкост на вече скъпи метали. Последните нововъведения в областта на силовата електроника позволяват да се създадат нови преобразователни токозахранващи уст-

**Съвременни управленски практики XI – БСУ, 2021**  
**ИНТЕЛИГЕНТНА СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ В ДЕСЕТИЛЕТИЕТО**  
**НА СВЪРЗАНОСТТА И АВТОМАТИЗАЦИЯТА**

---

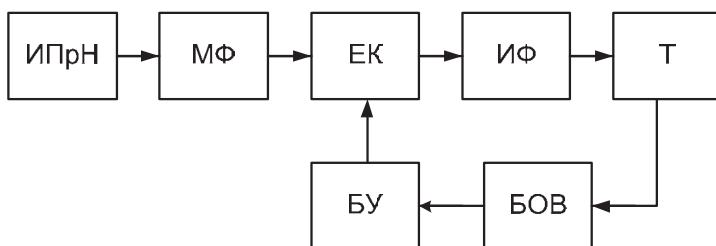
---

ройства с междинно преобразуване, които използват по-високи работни честоти и високочестотни трансформатори.

Изисквания към електронния трансформатор:

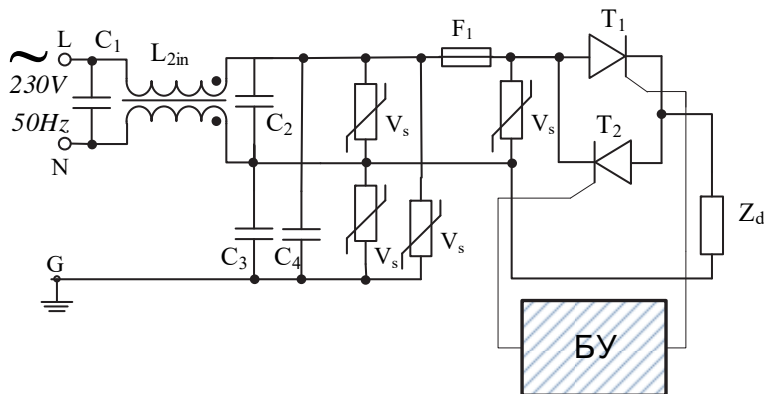
- Да притежава високо к.п.д.;
- Да осигурява необходимата форма на изходното напрежение;
- Да не влошава съществено  $\cos\phi$  – PFC;
- Да осигурява необходимите стойности на тока и напрежението към товара.

Блоковата схема на един такъв тип електронен трансформатор е показана на фиг.1. Състои се от източник на променливо напрежение, което е захранващата мрежа 230V/ 50Hz, мрежови филтър, имащ задачата да предпази захранващата мрежа от смущения, идващи от устройството, електронен комутатор на основата на два тиристора, изглаждащ филтър и товар. Товарът е RLтип, тъй като е най-използван. Устройството се обхваща с обратна връзка, която следи изходните параметри и се контролира блокът за управление, който от своя страна управлява тиристорите.



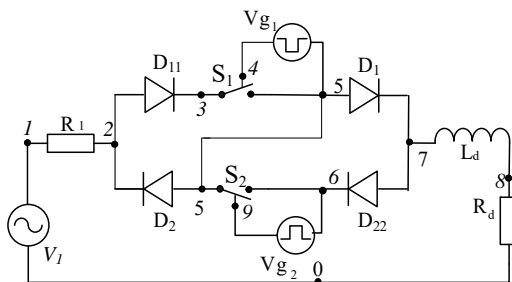
Фиг. 1. Блокова схема на електронен трансформатор

Най-опростено схемата на електронния трансформатор изглежда по следния начин, показан на фиг.2.



Фиг. 2. Тиристорен нестабилизиран електронен трансформатор

PSPICE моделът на електронния трансформатор има вида показан на фиг.3.



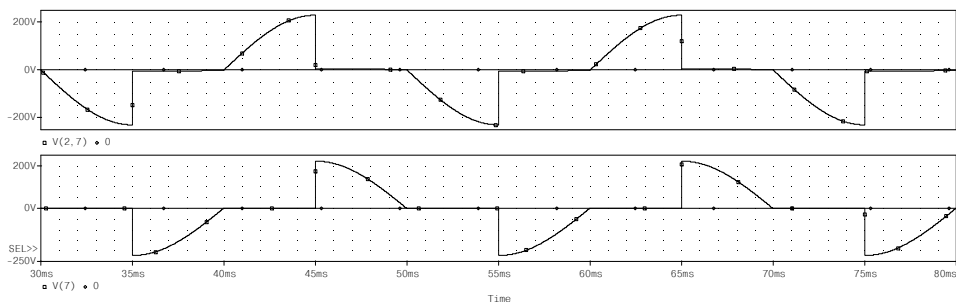
Фиг. 3. PSPICE модел на електронен трансформатор

Отчетени са активните загуби в схемата чрез резистора  $R_1$ . Управляващите импулси се осигуряват от генераторите  $V_{g1}$  и  $V_{g2}$ , работещи противотактно. С бобината  $L_d$  и резистора  $R_d$  се реализира работа на електронния трансформатор при активно-индуктивен режим.

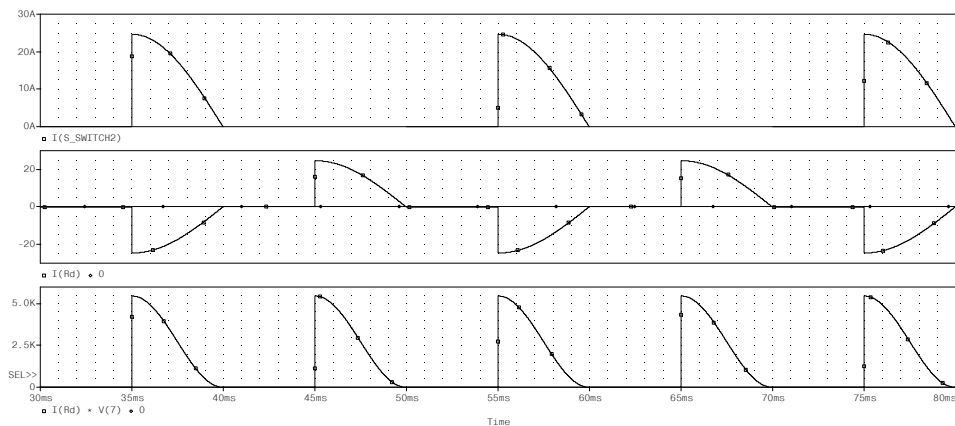
Стойностите на гравидните елементи в PSPICE модела са:

$$V_i = 230\text{V}; f = 50\text{Hz}; R_1 = 0,1\Omega; R_d = 9\Omega; L_d = 13\text{mH};$$

Изследването на функционалността на електронния трансформатор е показана в следващите времедиаграми:



Фиг. 4. Времедиаграми на напрежението върху тиристор  $T_1$  и напрежението върху товара при  $R$  товар

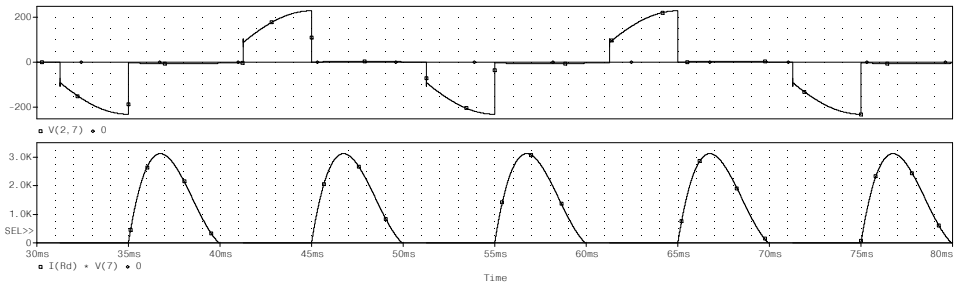


Фиг. 5. Времедиаграми на тока през тиристор  $T_2$ , на консумирания ток  $I_{Rd}$  от източника, както консумираната мощност  $P_o$  от товара при  $R$  товар

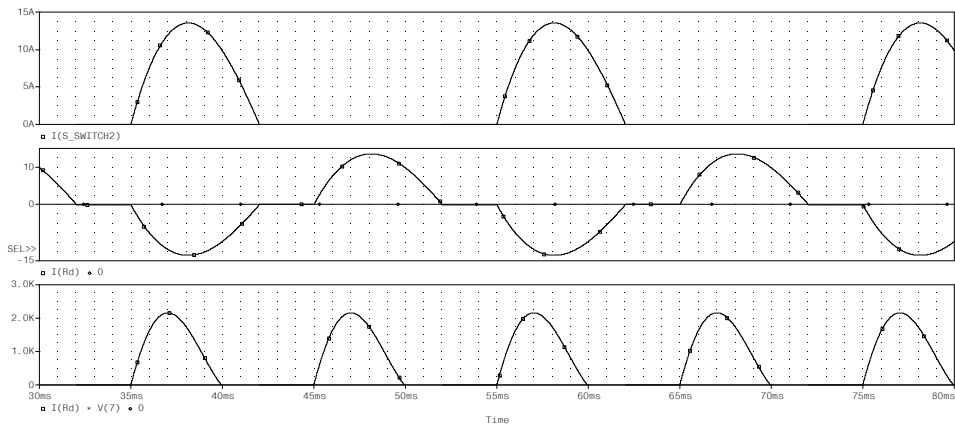
**Съвременни управленски практики XI - БСУ, 2021**  
**ИНТЕЛИГЕНТНА СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ В ДЕСЕТИЛЕТИЕТО**  
**НА СВЪРЗАНОСТТА И АВТОМАТИЗАЦИЯТА**

Наличието на индуктивност в товара води до поява на пренапрежение върху тиристора от порядъка на много киловолти. Токът в тиристора вече е с леко закръглена форма. Получава се намаляване скоростта на нарастване на тока в тиристорите и товара, а също така и много големи пренапрежения в момент на комутация на тиристорите при ненулев ток.  $(e_L = -L \frac{di_d}{dt})$

Работоспособността на схемата на електронния трансформатор с активно-индуктивен товар е показана на следните времедиаграми:



*Фиг. 6. Времедиаграми на напрежението върху тиристор  $T_1$  и напрежението върху товара при RL товар*



*Фиг. 7. Времедиаграми на тока през тиристор  $T_2$ , на консумирания ток  $I_{Rd}$  от източника, както консумираната мощност  $P_o$  от товара при RL товар*

Напрежението върху тиристора няма пикови пренапрежения, което би било опасно за работоспособността на тиристорите. Могат да се появят пикови нараствания на тока в тиристора в момент на включване на схемата към захранването.

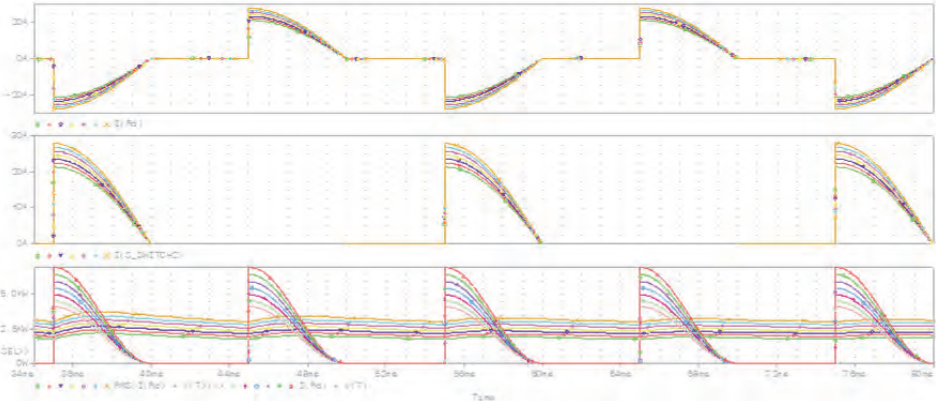
Изследване на чувствителността на електронния трансформатор

Захранващото напрежение ( $U_i$ ) може да се изменя  $\pm 20\%$ , а изходното напрежение трябва да се изменя само  $\pm 2\%$ . Това означава да се стабилизира изходното напрежение, което може да се реализира с изменение на ъгъла на регулиране  $\alpha$ .

Целта на тази част от изследването е, да се покаже, че при промяна на захранващото напрежение ( $U_i$ ) с  $\pm 20\%$ , може да се измени ъгъл  $\alpha$ , вследствие на което изходното напрежение не се променя.

**1. Изследване при промяна на захранващото напрежение**

- Изследването при промяна на захранващото напрежение ( $U_i$ ) с  $\pm 20\%$  с ъгъл на регулиране  $\alpha=90^\circ$  при  $R$  товар.



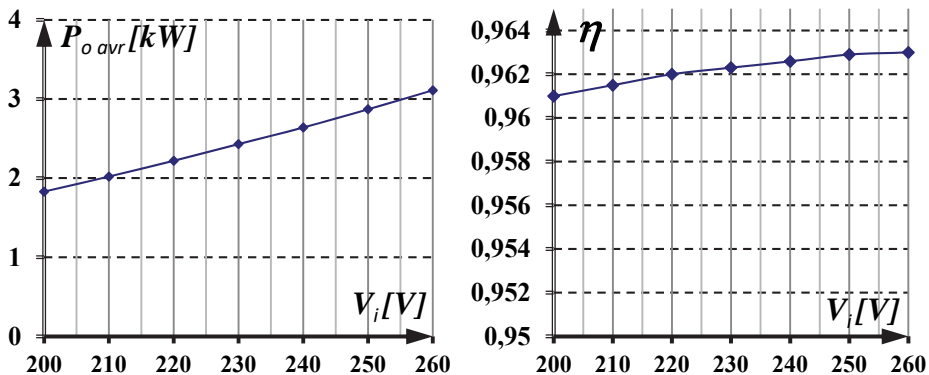
Фиг. 8. Времедиаграми на тока през товара, токът през тиристор  $T_2$ , изходната мощност и нейната средна стойност при промяна на входното напрежение при  $R$  товар

На времедиаграмите от фиг. 8 са показани моментната и средна стойност на тока през тиристора. Моментната стойност на изходното напрежение и ефективната му стойност. Видно е, че ефективната стойност в допустимите граници на изменение на входното напрежение се изменя недопустимо.

$U_i$	V	200	210	220	230	240	250	260
$U_o$	V	98	104	112	117	124	128	132
$I_d$	A	21	22	24	25	26	27	28
$P_o$	kW	4,09	4,52	4,96	5,43	5,91	6,42	6,95
$P_{o\text{ avg}}$	kW	1,83	2,02	2,22	2,43	2,64	2,87	3,11
$I_{s2}$	A	21,4	22,4	23,5	24,6	25,7	26,8	27,8
$\eta$		0,961	0,961	0,962	0,962	0,963	0,963	0,963

таблица 1

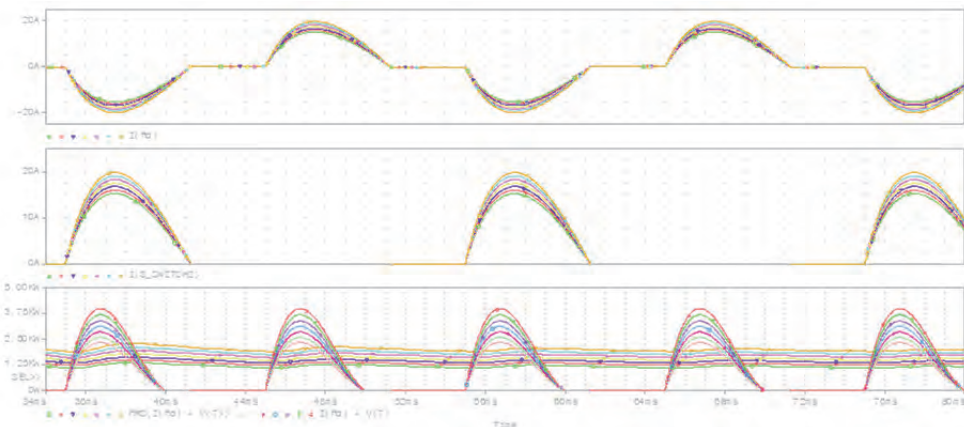
Графиките на долните фигури изобразяват получените стойности от зависимостите, които са нанесени в таблица 1.



Фиг. 9. Графики на средната стойност на изходната мощност и к.п.д на схемата при промяна на захранващото напрежение при  $R$  товар.

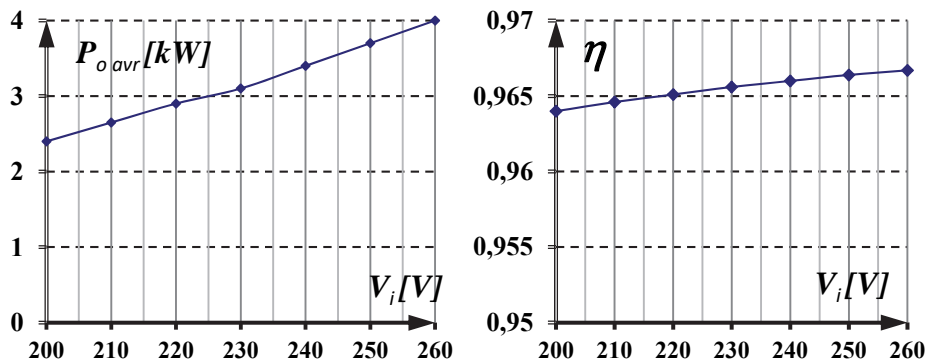
**Съвременни управленски практики XI - БСУ, 2021  
ИНТЕЛИГЕНТНА СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ В ДЕСЕТИЛЕТИЕТО  
НА СВЪРЗАНОСТТА И АВТОМАТИЗАЦИЯТА**

- Изследване на същите енергийни величини на електронния трансформатор при RL товар и промяна на захранващото напрежение.



Фиг. 10. Времедиаграми на тока през товара, токът през тиристор  $T_2$ , изходната мощност и нейната средна стойност при промяна на входното напрежение при RL товар

$U_i$	V	200	210	220	230	240	250	260	
$U_o$	V	108	116	119	127	138	149	158	
$I_a$	A	15,1	16	16,8	17,5	18,3	19,1	19,8	
$P_o$	kW	2,4	2,6	2,9	3,1	3,4	3,7	4	
$P_o \text{ avg}$	kW	1,25	1,38	1,51	1,66	1,81	1,96	2,12	
$I_{s2}$	A	15	15,9	16,8	17,5	18,3	19,1	19,8	
$\eta$		0,964	0,9646	0,9651	0,9656	0,966	0,966	0,967	таблица 2



Фиг. 11. Графики на средната стойност на изходната мощност и к.п.д на схемата при промяна на захранващото напрежение при RL товар.

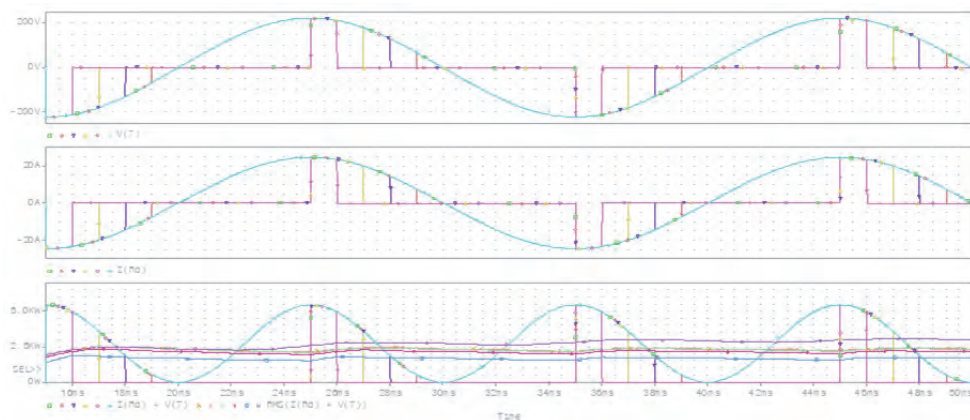
От резултатите в таблица 2 са направени графиките на зависимостите, които показват изменението на ефективната стойност на изходното напрежение  $U_o$  при промяна



на на максималната стойност на входното напрежение  $U_i$ . Вижда се, че изменението на изходното напрежение линейно следва изменението на входното напрежение. Чрез автоматично регулиране на ъгъл  $\alpha$  може да се получи стабилизация на изходното напрежение.

## 2. Изследване на работата на електронния трансформатор при промяна на регулиращия ъгъл $\alpha$ , подаван от управляващия блок към тиристорите

На времедиagramата от фиг. 12 са изобразени енергийни характеристики на електронния трансформатор при промяна на ъгъла на управление  $\alpha$  на двата тиристора в диапазона от 0 до  $90^\circ$ .



Фиг. 12. Времедиagramи на изходното напрежение, токът през товара, изходната мощност и нейната средна стойност при промяна на ъгъла на регулиране  $\alpha$  при  $RL$  товар

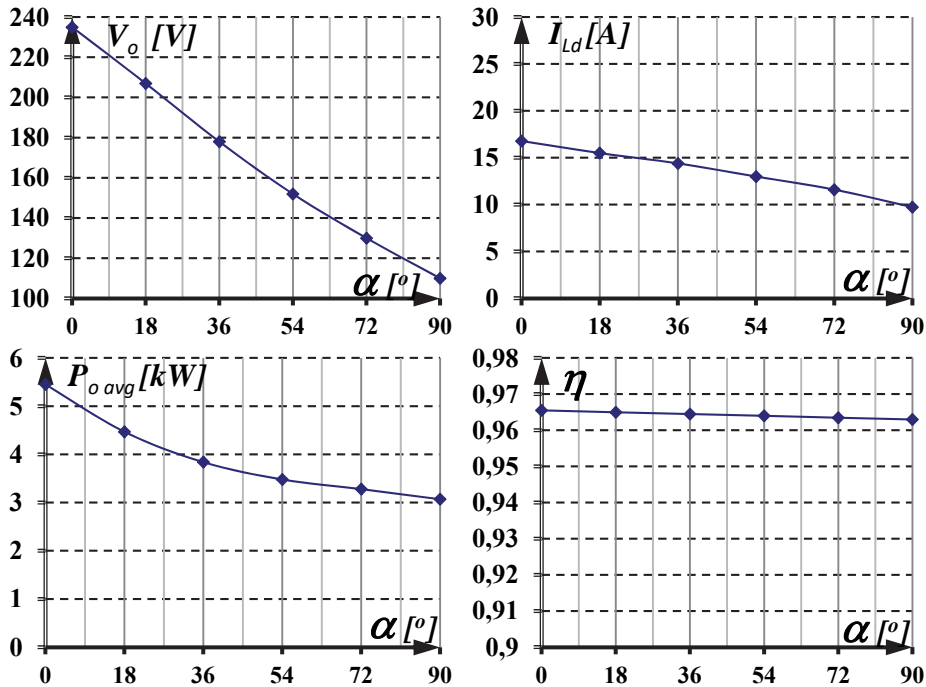
- Изследване на предложената схема при  $R$  товар

$\alpha$	$\sigma$	0	18	36	54	72	90
$U_o$	V	235	207	178	152	130	110
$I_d$ rms	A	16,79	15,5	14,4	13	11,6	9,73
$P_o$	kW	5,45	4,47	3,84	3,48	3,28	3,07
$P_o$ avg	kW						
$\eta$		0,966	0,965	0,9645	0,964	0,9635	0,963

таблица 3

На фиг. 13 са показани графиките на средната стойност на изходното напрежение, токът през товара, средната стойност на изходната мощност и к.п.д на изследвания електронен трансформатор при активен товар при промяна на ъгъла на регулиране  $\alpha$  от 0 до  $90^\circ$ .

**Съвременни управленски практики XI - БСУ, 2021  
ИНТЕЛИГЕНТНА СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ В ДЕСЕТИЛЕТИЕТО  
НА СВЪРЗАНОСТТА И АВТОМАТИЗАЦИЯТА**



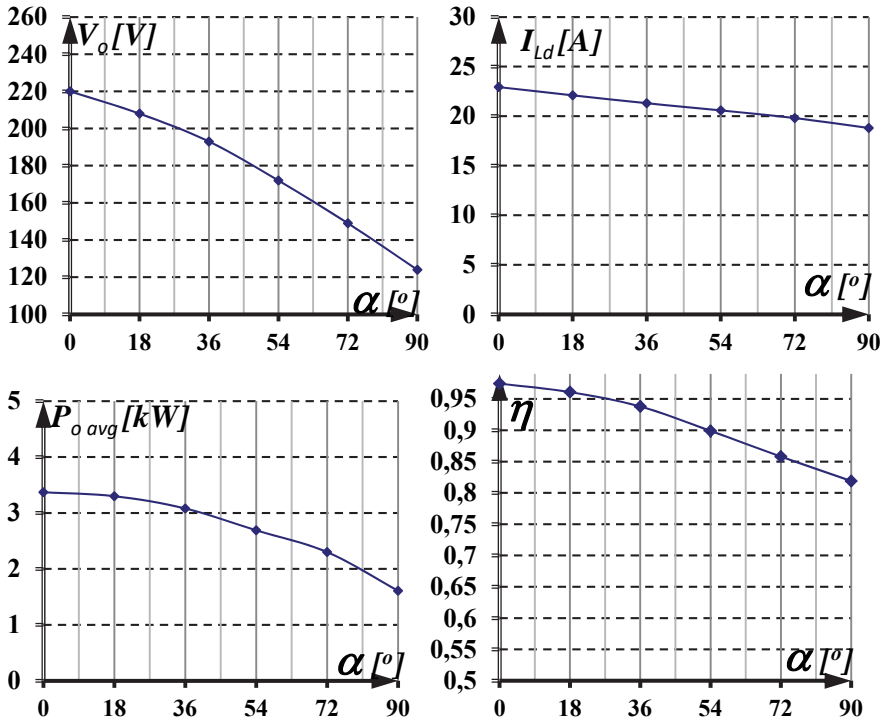
Фиг. 13. Графики на изходното напрежение, токът в тиристора, средната стойност на изходната мощност и к.п.д на схемата при  $\alpha=0$  до  $90^\circ$ .

- Изследване на предложената схема при  $RL$  товар

$\alpha$	$\alpha$	0	18	36	54	72	90
$U_o$	V	220	208	193	172	149	124
$I_d$	A	24,1	22,1	21,3	20,58	19,8	18,8
$P_{o\ avg}$	kW	3,37	3,3	3,08	2,69	2,3	1,61
$\eta$		0,975	0,961	0,938	0,899	0,858	0,819

таблица 4

На фиг.14 са показани графиките на средната стойност на изходното напрежение, токът през товара, средната стойност на изходната мощност и к.п.д на изследвания електронен трансформатор при активно-индуктивен товар при промяна на ъгъла на регулиране  $\alpha$  от 0 до  $90^\circ$ .

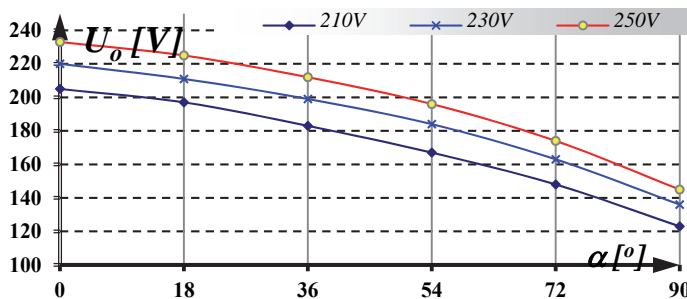


Фиг. 14. Графики на изходното напрежение, токът в тиристора, средната стойност на изходната мощност и к.п.д на схемата при  $\alpha=0$  до  $90^\circ$ .

В таблица 5 са дадени измененията на изходното напрежение при изменение на входното напрежение  $\pm 20\%$  и ъгъл  $\alpha$  от 0 до  $90^\circ$ .

$U_i / \alpha$ ( $^\circ$ )	0	18	36	54	72	90
210V	209	197	183	167	148	123
230V	229	211	199	184	163	136
250V	250	225	212	196	174	145

таблица 5



Фиг. 15. Графики на изходното напрежение при изменение на ъгъл  $\alpha$  за три стойности на входното напрежение

Вижда се, че желаната стойност на изходното напрежение може да се получи при стойност на входното напрежение  $U_i$  в определен диапазон и ъгъл на регулиране  $\alpha$  от

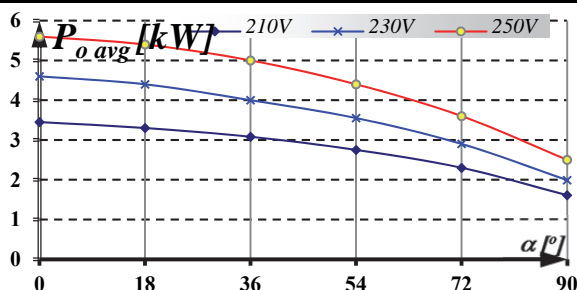
**Съвременни управленски практики XI – БСУ, 2021**  
**ИНТЕЛИГЕНТНА СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ В ДЕСЕТИЛЕТИЕТО**  
**НА СВЪРЗАНОСТТА И АВТОМАТИЗАЦИЯТА**

0 до 90 градуса. Това се реализира плавно по параболичен закон. За трите входни напрежения графиките са почти паралелни.

В таблица 6 са дадени измененията на изходната мощност при изменение на входното напрежение  $\pm 20\%$  и ъгъл  $\alpha$  от 0 до 90°.

$U_i / \alpha (^{\circ})$	0	18	36	54	72	90
210V	3,45	3,3	3,08	2,75	2,3	1,61
230V	4,6	4,4	4	3,55	2,9	1,99
250V	5,6	5,4	5	4,4	3,6	2,5

таблица 6



Фиг. 16. Графики на средната стойност на изходната мощност при ъгъл  $\alpha$  при изменение за три стойности на входното напрежение

Необходимата стойност на изходната мощност може да се осигури при входното напрежение  $U_i$  и ъгъл на регулиране  $\alpha$  от 0 до 90 градуса. Реализира плавно по параболичен закон. Така се осигурява стабилна мощност към товара с регулиране на ъгъла на управление, който компенсира промените в захранващото напрежение.

### Заклучение

1. *Остаряващата захранваща разпределителна мрежа, добавянето на нови жилищни мощности (климатици и др.), лошата и недостатъчна профилактика и поддържане, постоянното колебание на мрежовото напрежение изострят все повече вниманието ни относно този проблем. Разработеният преобразувател е особено подходящ за осигуряване независимо напрежение към товара там, където захранващата мрежа е значително нестабилна.*

2. *Чрез промяна на ъгъла на регулиране може да се постигне постоянно изходно напрежение и мощност, независимо от промените на напрежението, идващо от захранващата мрежа.*

### Литература:

1. 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.
2. Камен Д. Сейменлийски, Ц.Т.Цанев, Г.С. Тянова, *Ограничаване на неблагоприятното влияние на преобразувателни 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
3. Van den Bossche and V. C. Valchev. *Inductors and transformers for power electronics*, Boca Raton: CRC press, 2005.
4. 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