

Redresorul comandat

În cadrul acestui laborator se va studia principiul de funcționare a convertoarelor de putere cu comutație naturală (de la rețea). Se va determina experimental caracteristica de comandă a unui convertor static de putere monofazic, în punte complet comandată, având conectată la borne: (1) o sarcină rezistivă și (2) o sarcină activă (motor electric de curent continuu).

1. Introducere teoretică

Convertoarele electrice transformă energia electrică caracterizată prin anumite valori ale tensiunii și/sau frecvenței tot în energie electrice dar cu alte valori ale tensiunii și/sau frecvenței.

Convertoarele electrice care transformă doar amplitudinea tensiunii electrice, frecvența rămâne nemodificată, se numesc **transformatoare electrice**. Transformatoarele electrice se includ în clasa mașinilor electrice. Convertoarele electrice care transformă energia electrică având tensiunea sinusoidală cu amplitudinea și frecvența fixate, în energie electrică cu tensiunea constantă (frecvența egală cu zero) se numesc **redresoare electrice**. Convertoarele care realizează transformarea inversă, respectiv transformă energia electrică cu tensiune constantă în energie electrică cu tensiunea variabilă sinusoidală cu amplitudine și frecvență reglabile se numesc **invertoare electrice**. Convertoarele electrice care transformă energia electrică cu tensiune sinusoidală cu amplitudine și frecvența date, în energie electrică cu tensiune sinusoidală cu valori reglabile ale amplitudinii și frecvenței se numesc **convertoare de frecvență**. Convertoarele care transformă energia electrică cu tensiunea continuă având o valoare dată a tensiunii, în energie electrică cu valoare reglabilă a tensiunii, se numesc convertoare DC-DC sau **choppere**.

Convertoarele electrice realizate cu dispozitive electronice de comutație - numite și ventile semiconductoare - se numesc **convertoare statice**.

Ventilele semiconductoare pot fi clasificate în funcție de modul în care poate fi realizată comutația în (1) ventile semiconductoare necomandate și (2) ventile semiconductoare comandate. Grupa ventilelor semiconductoare necomandate cuprinde un singur dispozitiv și anume dioda semiconductoare. Grupa ventilelor comandate cuprinde două subgrupe. (a) dispozitive la care se poate comanda doar trecerea în conducție, blocarea dispozitivului se face din exteriorul dispozitivului fie prin reversarea naturală a sensului tensiunii la borne fie la trecerea prin zero a curentului prin dispozitiv. În această subgrupă se includ următoarele dispozitive: tiristorul și triacul. (b) dispozitive la care se poate comanda atât trecerea în conducție cât și blocarea, independent de valoarea actuală a tensiunii la borne. În această subgrupă se includ următoarele dispozitive semiconductoare: tiristorul GTO (Gate Turn-Off Thyristor) și tranzistoarele în regim de comutație. Tranzistoarele din compunerea convertoarelor statice de putere medie și mare pot fi tranzistoare realizate în tehnologia MOS-FET (Field-Effect-Transistor) sau tranzistoare bipolare de tip IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor).

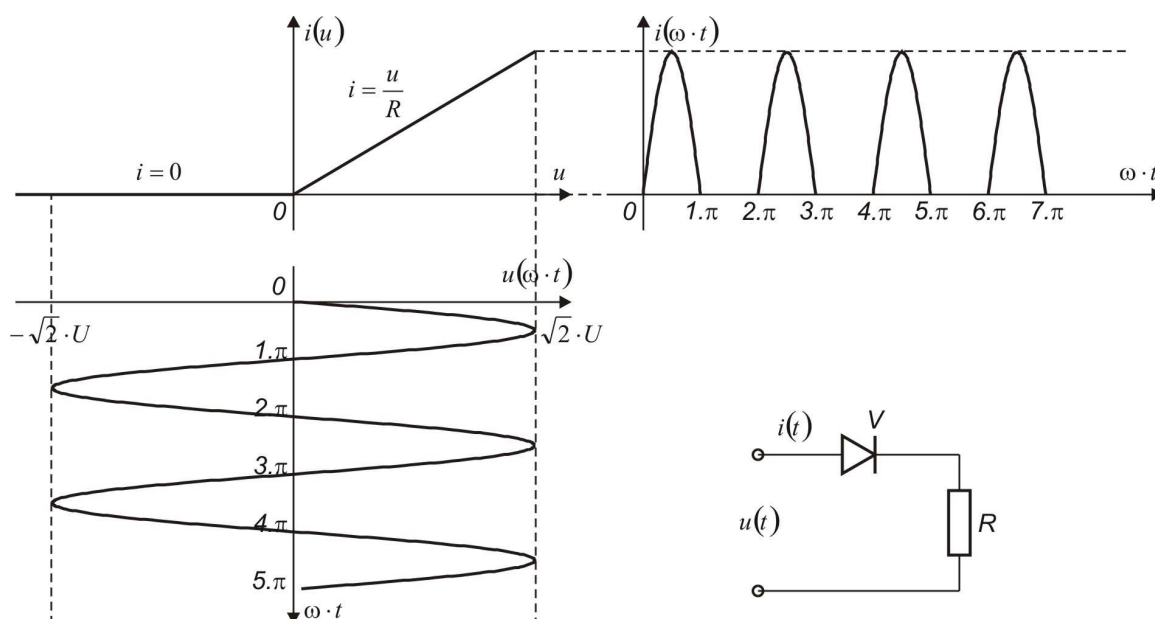


Fig. 5.1. Schema electrică de principiu a redresorului monofazic, monoalternanță, necomandat - dreapta jos și formele de undă ale tensiunii și curentului de sarcină.

Redresorul monofazic

În figurile 5.1 și 5.2 se prezintă schemele electrice ale redresorului monofazic, monoalternanță, necomandat, cu diodă respectiv redresorului monofazic, monoalternanță, comandat, cu tiristor. În aceeași figură sunt reprezentate formele de undă ale tensiunii și curentului prin cele două circuite pentru cazul în care sarcina este pur rezistivă.

Redresorul monofazic, monoalternanță, necomandat

Fiind dată valoarea instantanee a tensiunii de alimentare dată de relația:

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t); \quad (5.1)$$

Rezultă pentru valoarea instantanee a curentului electric prin circuit expresia:

$$i(t) = \begin{cases} \sqrt{2} \cdot \frac{U}{R} \cdot \sin(\omega \cdot t) & 0 < \omega \cdot t < \pi \\ 0 & \pi < \omega \cdot t < 2 \cdot \pi \end{cases}, \quad (5.2)$$

respectiv, valoarea instantanee a tensiunii la bornele sarcinii:

$$u_s(t) = R \cdot i(t), \quad (5.3)$$

Valoarea medie a tensiunii redresate la bornele rezistenței de sarcină se obține după cum urmează.

$$\begin{aligned} U_{s,med} &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_0^{2\pi} u(t) d(\omega \cdot t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{2} \cdot U \cdot \int_0^{\pi} \sin(\omega \cdot t) d(\omega \cdot t) \\ &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{2} \cdot U \cdot \underbrace{[-\cos(\omega \cdot t)]_0^{\pi}}_{=2} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot U \cong 0,45 \cdot U \end{aligned} \quad (5.4)$$

Valoarea efectivă a tensiunii redresate la bornele rezistenței de sarcină se calculează cu relația care urmează:

$$U_{s,ef} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_0^{2\pi} u^2(t) d(\omega \cdot t)} = U \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_0^{\pi} \sin^2(\omega \cdot t) d(\omega \cdot t)} = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{2} \cong 0,707 \cdot U. \quad (5.5)$$

Se definește, factorul de formă a tensiunii sarcinii:

$$k_{f,u} = \frac{U_{s,ef}}{U_{s,med}} = \frac{\pi}{2} \cong 1,571. \quad (5.6)$$

Redresorul monofazic, monoalternanță, comandat

Fiind dată aceeași expresie, pentru valoarea instantanee a tensiunii de alimentare, relația (5.1), expresia valorii instantanee a curentului electric prin circuit este dată de relația:

$$i(t) = \begin{cases} \sqrt{2} \cdot \frac{U}{R} \cdot \sin(\omega \cdot t) & \alpha < \omega \cdot t < \pi \\ 0 & \pi < \omega \cdot t < 2 \cdot \pi \end{cases}, \quad (5.7)$$

În care α reprezintă unghiul de comandă al tiristorului. Valoarea instantanee a tensiunii la bornele sarcinii este dată tot de expresia (5.3). Valoarea medie a tensiunii redresate la bornele rezistenței de sarcină se obține după cum urmează.

$$\begin{aligned} U_{s,med} &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_0^{2 \cdot \pi} u(t) d(\omega \cdot t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{2} \cdot U \cdot \int_{\alpha}^{\pi} \sin(\omega \cdot t) d(\omega \cdot t) \\ &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{2} \cdot U \cdot \underbrace{[-\cos(\omega \cdot t)]_{\alpha}^{\pi}}_{=1+\cos \alpha} = \frac{\sqrt{2}}{2 \cdot \pi} \cdot U \cdot (1 + \cos \alpha) \end{aligned} \quad (5.8)$$

Valoarea efectivă a tensiunii redresate la bornele rezistenței de sarcină se calculează cu relația:

$$\begin{aligned} U_{s,ef} &= \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{\alpha}^{2 \cdot \pi} u^2(t) d(\omega \cdot t)} = U \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega \cdot t) d(\omega \cdot t)} \\ &= \frac{\sqrt{2} \cdot U}{2} \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2 \cdot \alpha)}{2 \cdot \pi}} \end{aligned} \quad (5.9)$$

Rezultă, pentru factorul de formă a tensiunii sarcinii, expresia:

$$k_{f,u} = \frac{U_{s,ef}}{U_{s,med}} = \frac{\pi}{1 + \cos(\alpha)} \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2 \cdot \alpha)}{2 \cdot \pi}}. \quad (5.10)$$

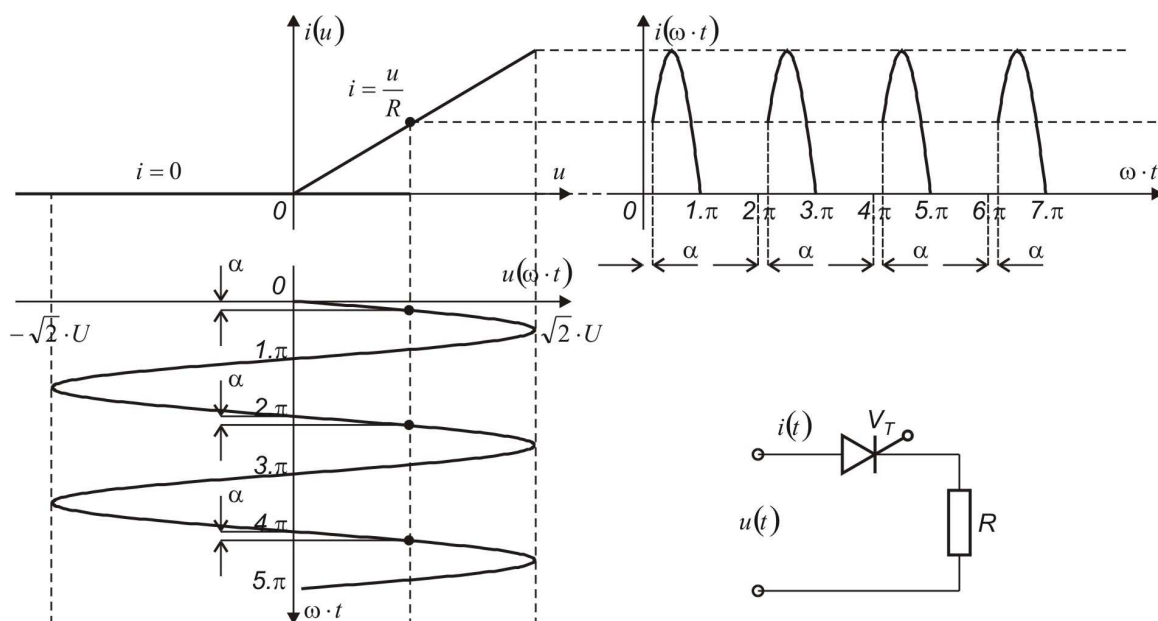


Fig. 5.2. Schema electrică de principiu a redresorului monofazic, monoalternanță, comandat - dreapta jos și formele de undă ale tensiunii și curentului de sarcină.

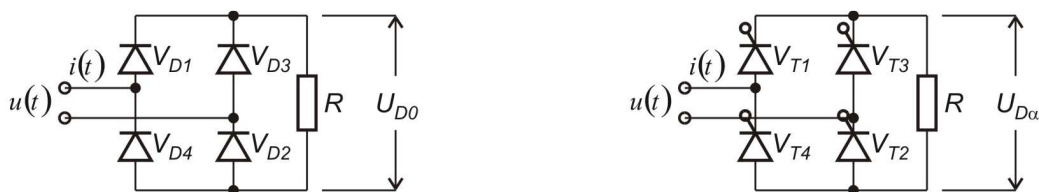


Fig. 5.3. Schema electrică de principiu a redresorului monofazic, dublă-alternanță, necomandat - stânga și comandat - dreapta.

Redresorul monofazic, dublă alternanță, complet comandat

Redresorul complet comandat, monofazic, dublă alternanță, Figura 5.3 permite alimentarea sarcinilor pasive la tensiune continuă reglabilă. Dacă la bornele de ieșire ale redresorului este conectată o sarcină activă (de exemplu o mașină electrică de curent continuu având cuplată la arbore o sarcină mecanică de tip potențial) atunci redresorul poate funcționa și în regim de inverter (convertor de două cadrane).

Formele de undă ale tensiunii și curentului pentru cazul în care sarcina este de tip inductiv sunt prezentate în Figura 5.4.

Expresia tensiunii medii redresate pentru acest regim de funcționare este:

$$U_{D,\alpha} = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} u(t) d(\omega \cdot t) = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{2} \cdot U \cdot \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sin(\omega \cdot t) d(\omega \cdot t) \\ = \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{2} \cdot U \cdot \cos(\alpha) \quad (5.11)$$

Valoarea maximă a tensiunii medii redresate se obține pentru $\alpha = 0$:

$$U_{D,0} = \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{2} \cdot U \quad (5.12)$$

Caracteristica de comandă a redresorului reprezintă dependența dintre valoarea tensiunii de comandă a redresorului și unghiul de comandă al tiristoarelor. Pentru cazul redresorului analizat, caracteristica de comandă este reprezentată de funcția:

$$U_{D,\alpha} = U_{D,0} \cdot \cos(\alpha) \quad (5.9)$$

2. Mersul lucrării

1. Traductorul de curent se conectează în serie cu rezistența de sarcină.
2. Se conectează traductorul de tensiune și rezistența de sarcină la bornele de ieșire ale convertorului static.

ATENȚIE: înainte de executarea operațiilor descrise la punctele 1 și 2 se va verifica debransarea convertorului de la rețeaua de alimentare!

3. Se conectează un canal al osciloscopului la bornele de măsurare ale traductorului de tensiune.
4. Se conectează celălalt canal al osciloscopului la bornele de măsurare ale traductorului de curent.
5. Tot la bornele de măsurare ale traductorului de tensiune se conectează voltmetrul digital.
6. Se poziționează domeniul de măsurare al voltmetrului digital pe poziția 0 - 10 V.

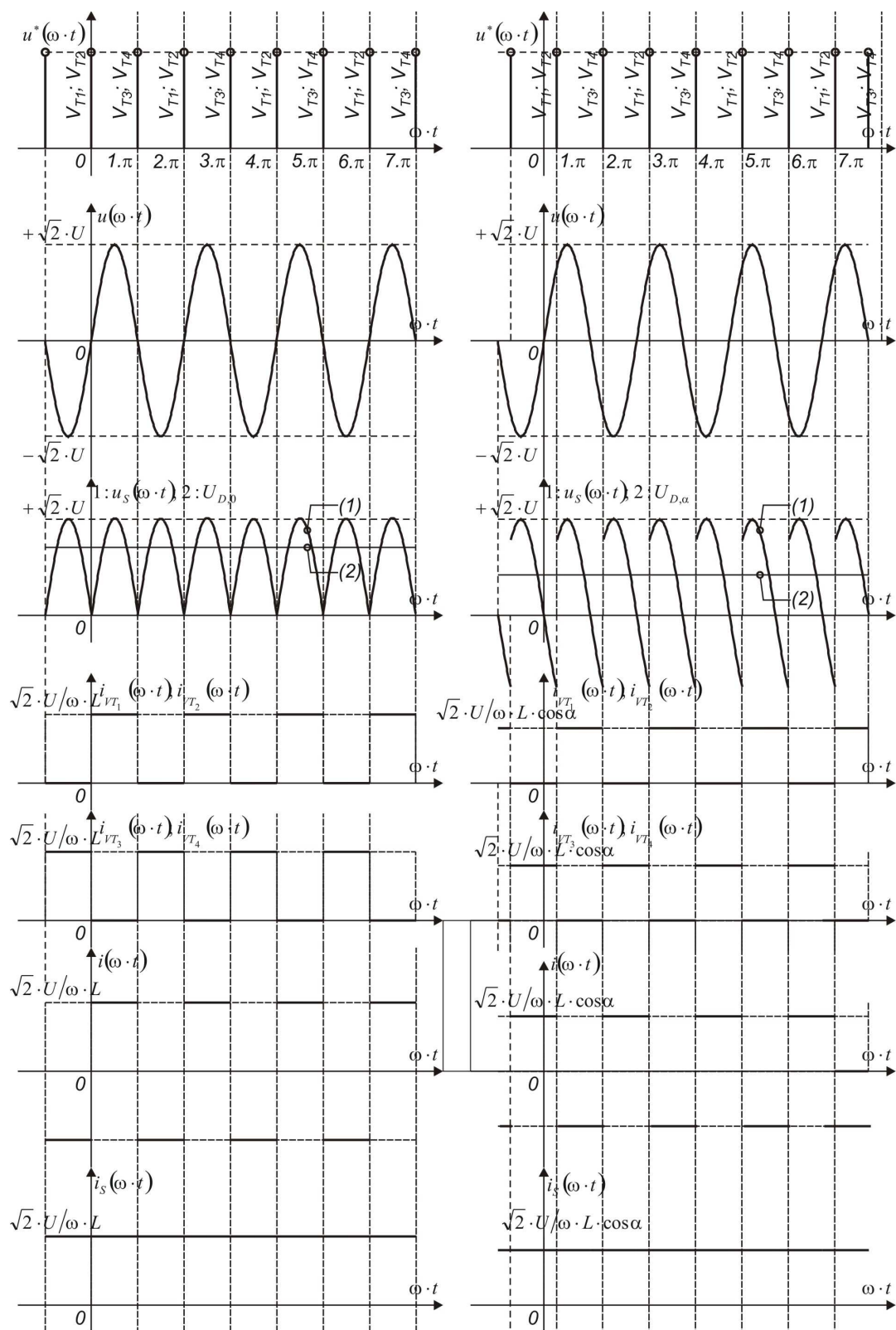


Fig. 5.4. Formele de undă ale tensiunii și curentului la funcționarea redresorului monofazic, dublă alternanță, complet comandat; stânga - unghiul de comandă zero grade, dreapta unghiul de comandă diferit de zero grade.

7. Se alege baza de timp a osciloscopului 2 ms/div și domeniul de măsurare a tensiunii 0 - 2 V/div.

8. Se verifică corectitudinea conexiunilor.
9. Se poziționează cursorul potențiometrului de reglare a tensiunii redresorului comandat la poziția zero.
10. Se conectează redresorul comandat la rețeaua de alimentare.
11. Se manevrează potențiometrul de reglare a tensiunii pentru a regla în sens crescător valoarea tensiunii medii redresate la bornele la valorile indicate în tabelul nr.1.
12. Pentru fiecare valoare a tensiunii medii redresate se măsoară unghiul de comandă al tiristoarelor. Valorile măsurate se trec în tabelul nr. 1.
13. După completarea tabelului nr. 1 cu valorile rezultate din măsurători, se deconectează redresorul comandat de la rețeaua de alimentare.
14. Se efectuează calculele indicate în tabel și se reprezintă grafic caracteristica de comandă a redresorului comandat.
15. Se deconectează traductoarele de măsurare și instrumentele de la bornele redresorului .

ATENȚIE: înainte de executarea operațiilor descrise la punctul 15 se va verifica debransarea convertorului de la rețeaua de alimentare!

3. Referat 5 EP

Redresorul comandat

Nume	Grupa	Data

Exerciții pregătitoare

1. Fiind date $U = 230\text{ V}$ și $\omega = 100 \cdot \pi \text{ rad/s}$. (a) să se calculeze valoarea tensiunii medii redresată, $U_{S,med}$ la bornele de ieșire ale unui redresor monofazic, monoalternanță, comandat, dacă unghiul de comandă al tiristoarelor are valoarea $\alpha = \pi/6$.

(b) pentru aceeași valoare a unghiului de comandă, să se calculeze factorul de formă a tensiunii pe sarcină $k_{f,u}$.

Răspuns:

(a) $U_{S,med} =$

(b) $k_{f,u} =$

2. Fie un redresor monofazic, dublă alternanță, complet comandat. Tensiunea la bornele de intrare este $U = 230\text{ V}$ și pulsația este $\omega = 100 \cdot \pi \text{ rad/s}$. (a) Dacă sarcina este pasivă, de tip inductiv, să se calculeze valoarea tensiunii medii redresate la bornele sarcinii pentru valoarea $\alpha = \pi/2$ a unghiului de comandă a tiristoarelor. (b) să se deducă expresia tensiunii medii redresate pentru cazul în care sarcina redresorului este pasivă, de tip rezistiv; să se calculeze valoarea tensiunii medii redresate pentru aceeași valoare a unghiului de comandă a tiristoarelor $\alpha = \pi/2$. (c) Ce concluzie se poate trage prin compararea celor două rezultate?

Răspuns:

(a) $U_{D,\alpha}|_{\alpha=\pi/2} =$

(b) $U_{D,\alpha} =$

(c)

Rezultate experimentale

Caracteristicile tehnice ale dispozitivelor și aparatelor utilizate în cadrul experimentului.

Redresorul comandat:

Tipul redresorului	
Tensiunea nominală de alimentare	
Curentul nominal	
Tensiunea medie redresată	

Reostat:

Rezistența maximă	
Puterea maximă disipată	

Osciloscop cu memorie:

Tipul osciloscopului	
Frecvența maximă	
Baza de timp	
Număr de canale de măsurare	
Domeniul de tensiuni	

Traductor de tensiune:

Tipul traductorului	
Tensiunea nominală	
Tensiunea maximă	
Clasa de exactitate	
Tensiunea de alimentare	

Traductor de curent:

Tipul traductorului	
Tensiunea nominală	
Tensiunea maximă	
Clasa de exactitate	
Tensiunea de alimentare	

Voltmetru digital:

Tipul voltmetrului	
Tensiunea nominală	
Clasa de exactitate	

Tabelul nr. 1. Rezultate experimentale.

Nr. crt	$U_{D,\alpha}$	T_α	α	Observații
-	V	s	rad	-
1	20			
2	40			
3	60			
4	80			
5	100			
6	120			

Concluzii:

4. Conținutul referatului

1. Numele, prenumele, grupa, data.
2. Soluțiile exercițiilor pregătitoare;
3. Tabelele cu valorile punctelor determinate experimental pe curba caracteristicii de comandă a redresorului comandat;
4. Reprezentarea grafică a caracteristicii de comandă a redresorului monofazic, dublă alternanță, complet comandat comandat.
5. Concluzii.