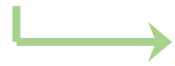
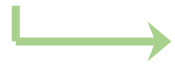


# ЈЕДНОФАЗНИ ИСПРАВЉАЧИ

- *Подела исправљача према врсти оптерећења:*



- са капацитивним оптерећењем –  
остварује излазни напон мале таласности,  $\Delta U_{IZ} \ll U_{IZ}$



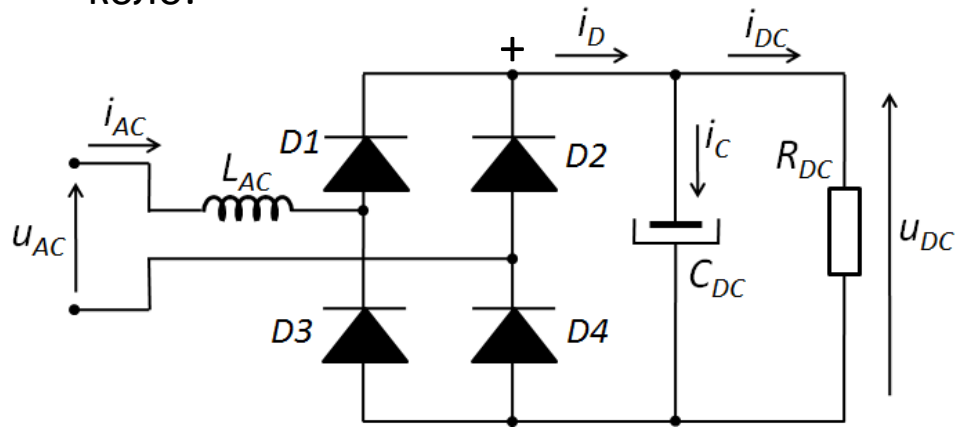
- са индуктивним оптерећењем –  
остварује излазну струју мале таласности,  $\Delta I_{IZ} \ll I_{IZ}$

Једносмерна или наизменична величина?

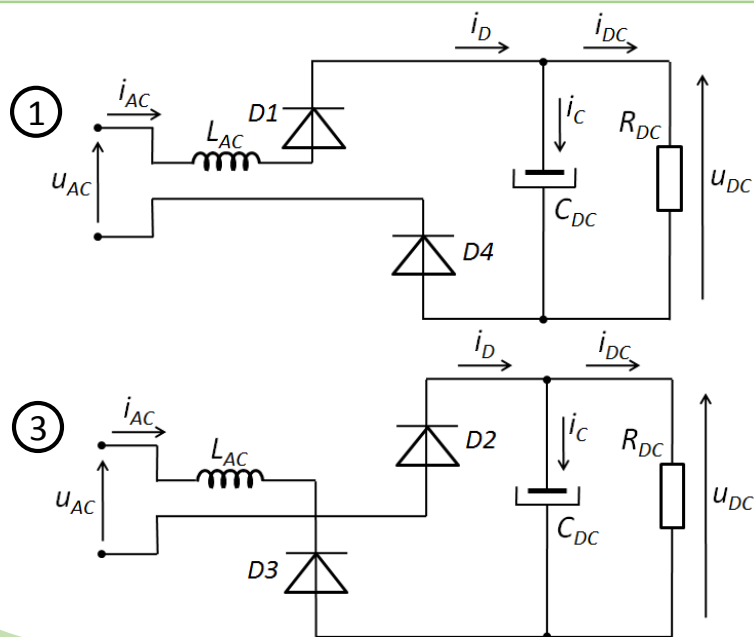
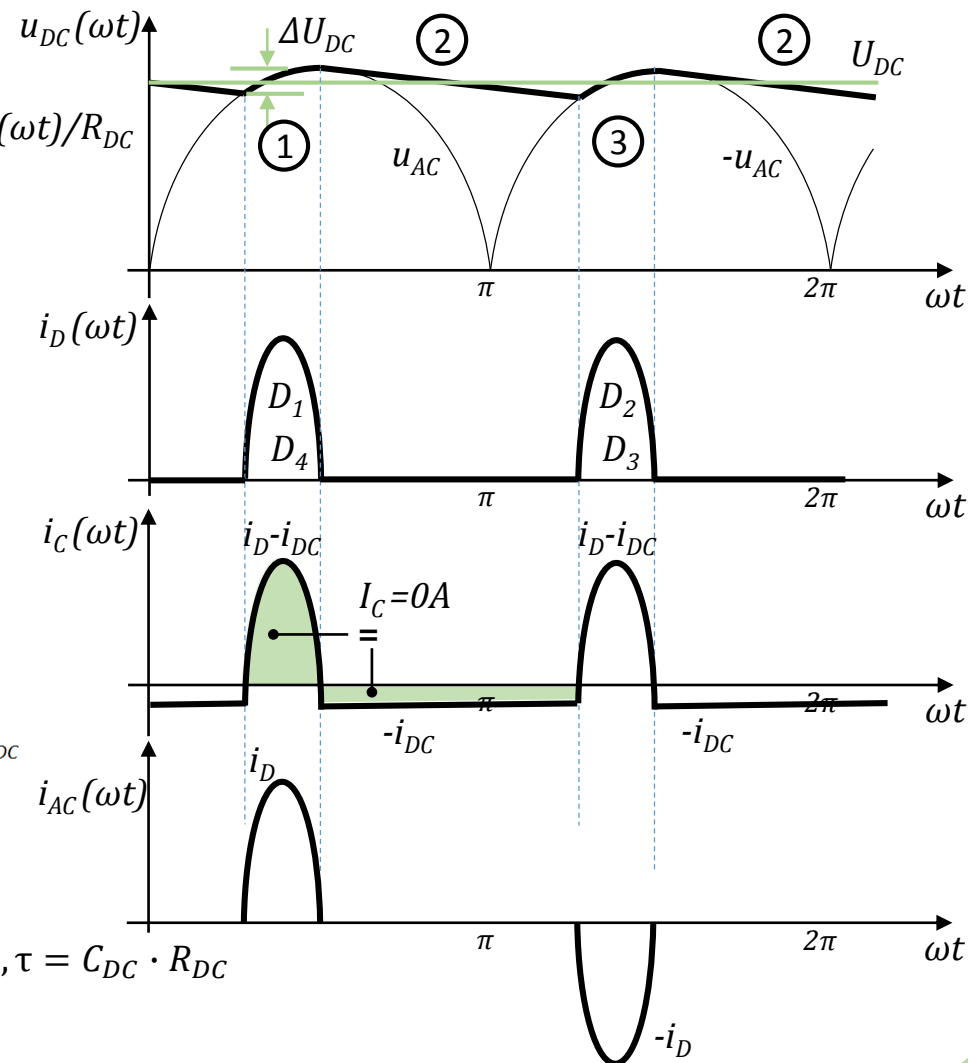
Једносмерна величина има, у општем случају, ненулту средњу вредност, док наизменична величина има нулту средњу вредност.

## ЈЕДНОФАЗНИ ДИОДНИ ИСПРАВЉАЧ СА КАПАЦИТИВНИМ ОПТЕРЕЋЕЊЕМ - неуправљив

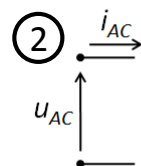
### КОЛО:



Због мале таласности излазног напона,  $\Delta U_{DC} \ll U_{DC}$ , самим тиме и струје,  $i_{DC} \approx U_{DC} / R_{DC}$ , потрошач било ког типа (RL, RLE, RC) делује као отпорни потрошач.



$$\begin{aligned} u_{DC} &= u_{AC} - 2 \cdot V_D, \\ U_{DCmax} &= \sqrt{2} \cdot U_{AC} - 2 \cdot V_D \\ i_C &= i_D - i_{DC} \\ i_{AC} &= i_D \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} u_{DC} &= -u_{AC} - 2 \cdot V_D \\ i_C &= i_D - i_{DC} \\ i_{AC} &= -i_D \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{DC} &\approx U_{DCmax} \cdot e^{-\frac{\omega t - \frac{\pi}{2}}{\omega \cdot \tau}}, \tau = C_{DC} \cdot R_{DC} \\ i_C &= -i_{DC} \\ i_{AC} &= i_D = 0A \end{aligned}$$

- прорачун елемената кола:

- упрошћења:

ако је задовољено  $\Delta U_{DC} \ll U_{DC} \Rightarrow$

1.  $i_{DC} \approx I_{DC}$

2. период ② траје  $\approx \pi \text{ rad } (10\text{ms})$

- прорачун  $\Delta U_{DC}$ ,  $C_{DC}$ :

$$\Delta U_{DCmax} = \frac{Q}{C_{DC}} = \frac{I_{DC} \cdot 10\text{ms}}{C_{DC}} \quad \text{или} \quad C_{DC} = \frac{I_{DC} \cdot 10\text{ms}}{\Delta U_{DC}}$$

Пример:  $U_{AC} = 230\text{V}/50\text{Hz}$ ,  $R_{DC} = 150\Omega$ ,  $C_{DC} = 470\mu\text{F}$

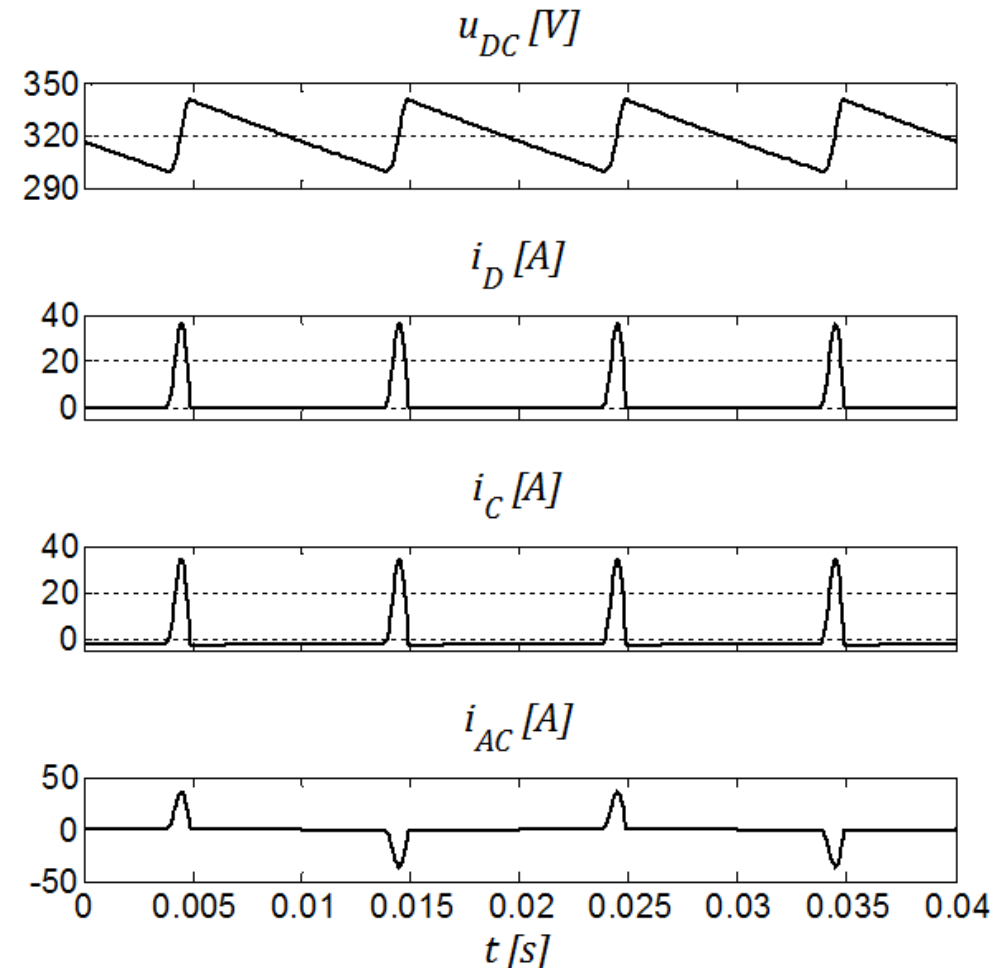
$$U_{DCmax} = \sqrt{2} \cdot 230\text{V} = 325\text{V}$$

$$I_{DC} \approx \frac{U_{DCmax}}{R_{DC}} = \frac{325\text{V}}{150\Omega} = 2,17\text{A},$$

$$\Delta U_{DC} = \frac{2,17 \cdot 10\text{m}}{470\mu} = 46\text{V}$$

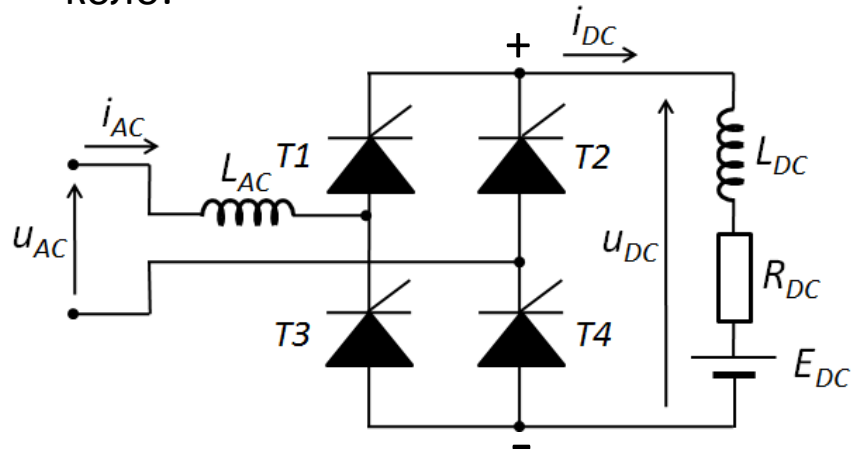
- резултати моделовања:

вредности у колу:  $C_{DC} = 470\mu\text{F}$ ,  $R_{DC} = 150\Omega$ ,  $L_{AC} = 0,1\text{mH}$ ,  
 $U_{AC} = 230\text{V}/50\text{Hz}$



## ЈЕДНОФАЗНИ ТИРИСТОРСКИ ИСПРАВЉАЧ СА ИНДУКТИВНИМ ОПТЕРЕЋЕЊЕМ - пуноуправљив

### КОЛО:

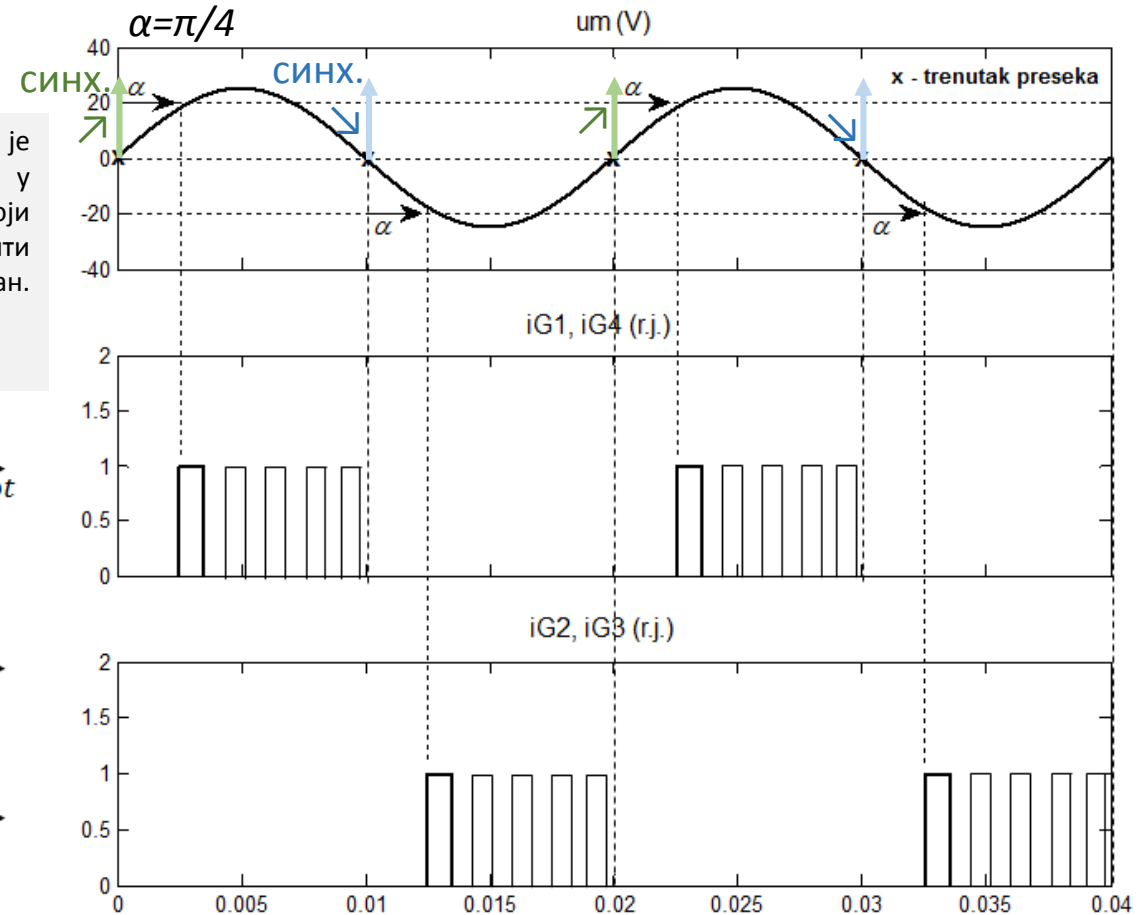
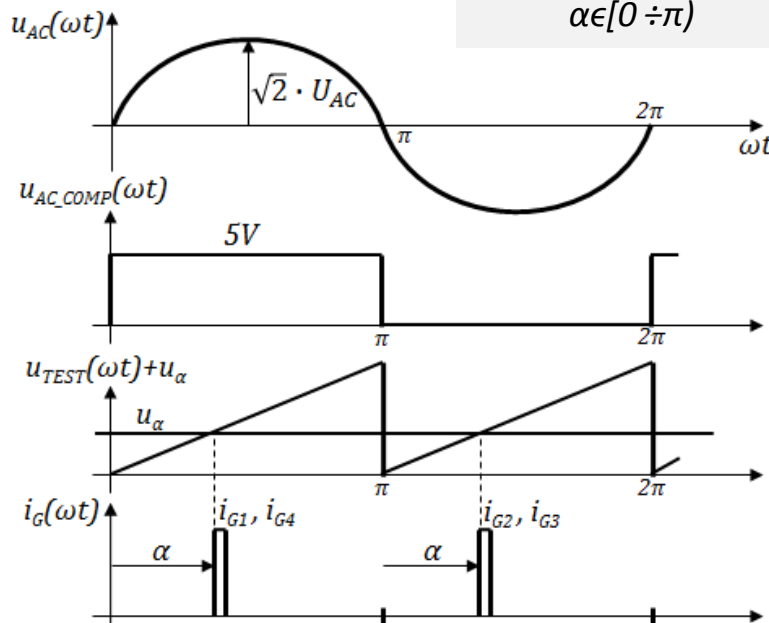


- управљање: синхронизација са мрежним напоном + мерење угла укључења  $\alpha$

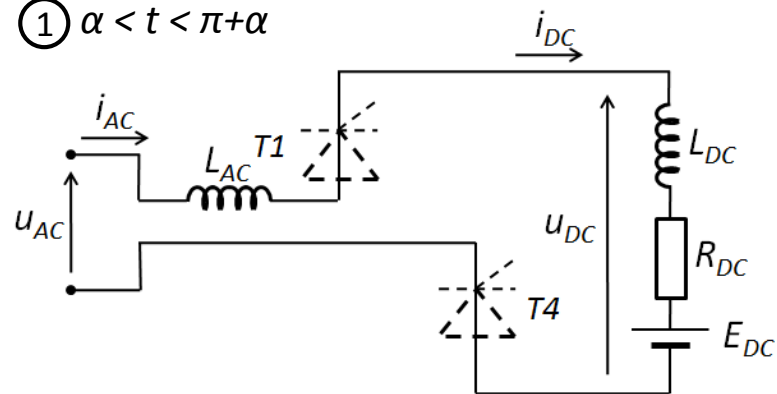
Опсег промене  $\alpha$  је одређен временом у ком је тиристор који треба укључити позитивно поларисан. Овде:

$$\alpha \in [0 \div \pi)$$

- Мерење напона мреже;
- Пропуштање мереног напона кроз компаратор;
- а) Добијање тестерастог напона  $u_{TEST}$  синхронизованог на межу: пражњење генератора растућег сигнала или пражњење бројача ( $\mu\text{C}$ ) када  $u_{AC\_COMP}$  промени ниво; б) Остваривање константног управљачког напона:  $u_\alpha$ ;
- Поређење  $u_\alpha$  и  $u_{TEST}$ : у тренуцима пресека се производи импулс за пар тиристора одређен са  $u_{AC\_COMP}$ .



①  $\alpha < t < \pi + \alpha$

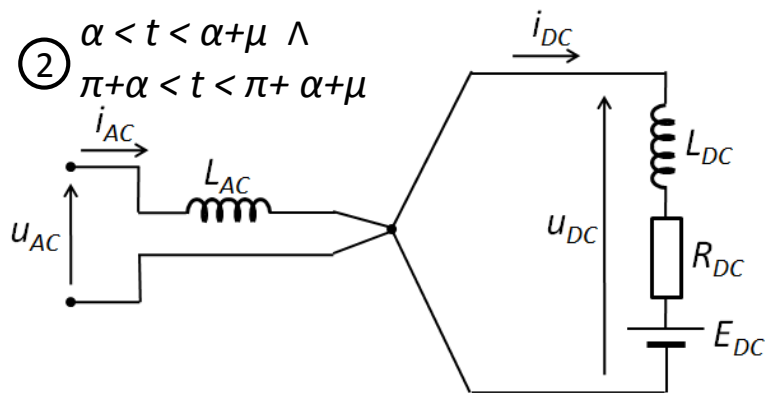


• континуалан рад

$$L_{DC} \gg L_{AC} \Rightarrow u_{LAC} \ll u_{DC} \approx u_{AC}$$

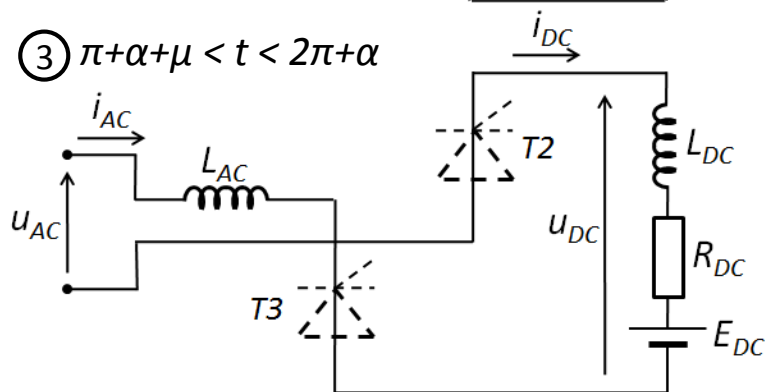
$$i_{AC} = i_{DC}$$

②  $\alpha < t < \alpha + \mu$   $\wedge$   $\pi + \alpha < t < \pi + \alpha + \mu$



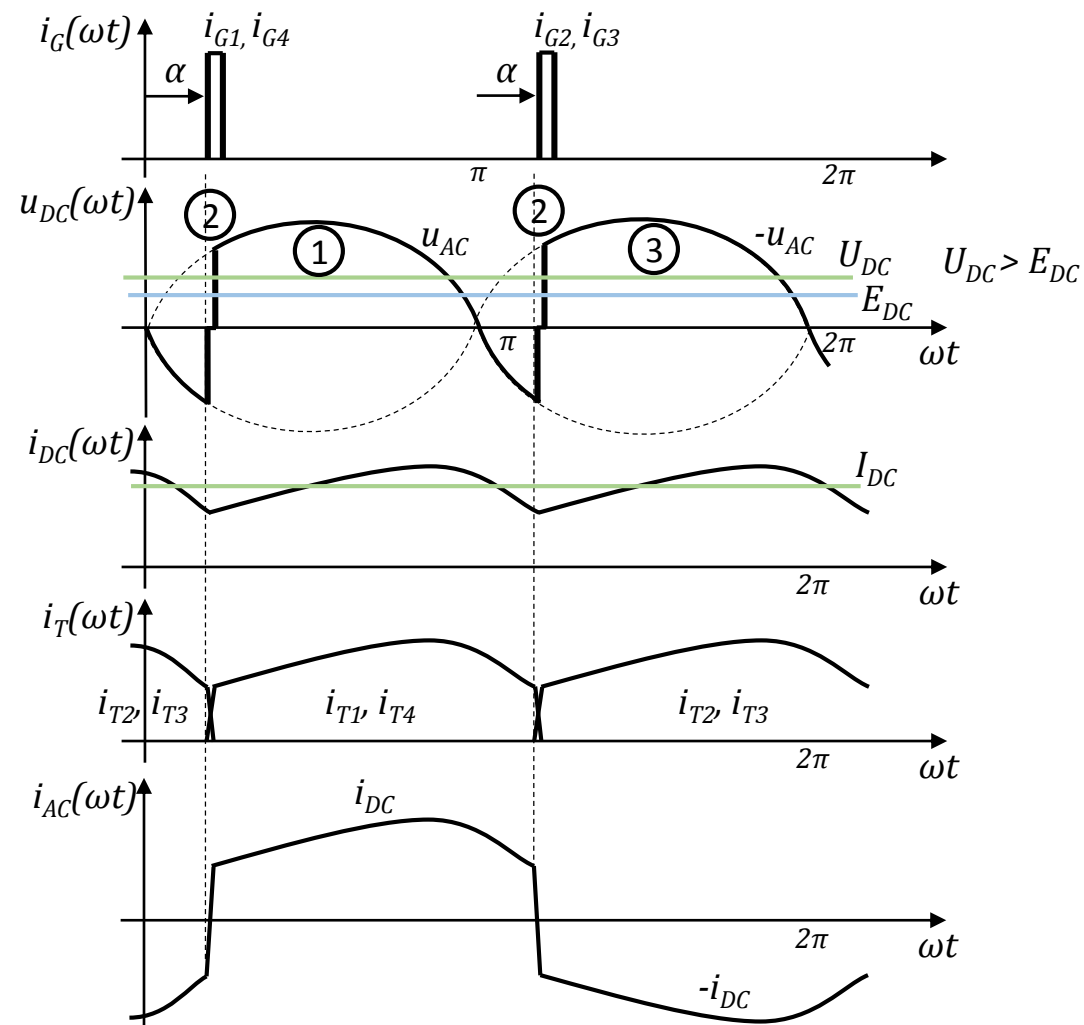
$$u_{DC} = 0V$$

③  $\pi + \alpha + \mu < t < 2\pi + \alpha$



$$u_{DC} \approx -u_{AC}$$

$$i_{AC} = -i_{DC}$$

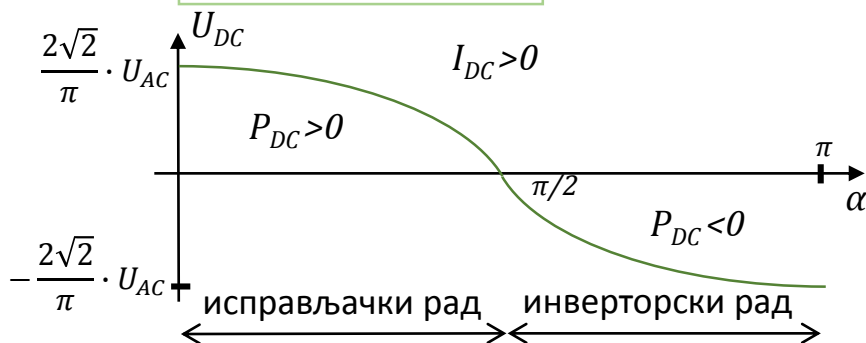


- континуалан рад

- средња вредност  $u_{DC}$ :

$$U_{DC} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2} \cdot U_{AC} \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{AC}}{\pi} \cdot \cos \alpha =$$

$$= \frac{2\sqrt{2} \cdot U_{AC}}{\pi} \cdot \cos \alpha$$

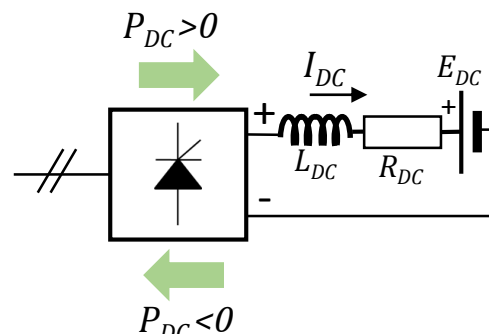


- средња вредност  $i_{DC}$ :

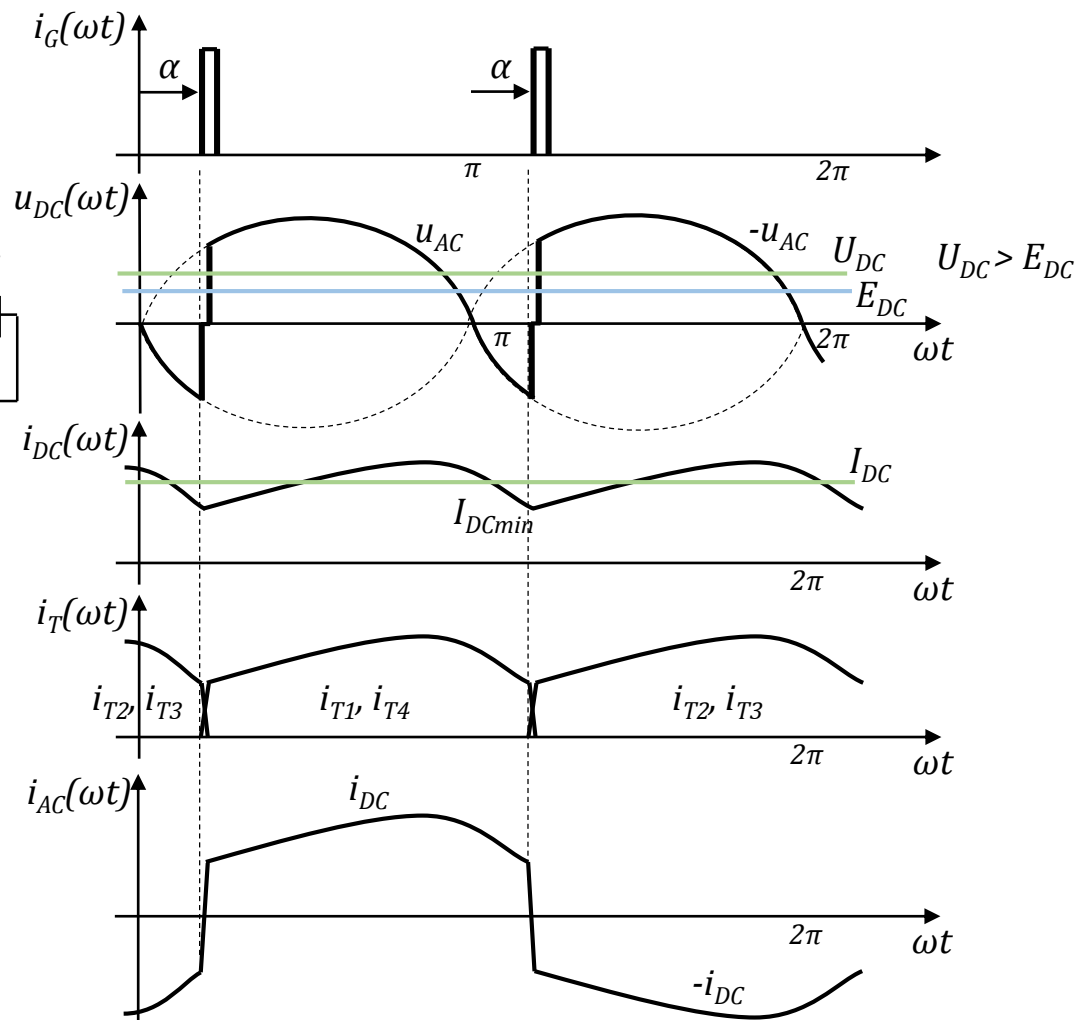
$$u_{DC} = u_{Rdc} + u_{Ldc} + E_{DC} \Rightarrow U_{DC} = U_{Rdc} + U_{Ldc} + E_{DC},$$

$$U_{Ldc} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} L_{DC} \frac{di_{DC}}{dt} \cdot d(\omega t) = \frac{\omega \cdot L_{DC}}{\pi} \int_{I_{DCmin}}^{I_{DCmin}} di_{DC} = 0 \Rightarrow$$

$$U_{DC} = R_{DC} \cdot I_{DC} + E_{DC} \Rightarrow I_{DC} = \frac{U_{DC} - E_{DC}}{R_{DC}}$$



Тиристорски исправљач је пуноуправљиви претварач



- континуалан рад

- пример прорачуна:

подаци о колу:

$$U_{AC}=230V, f=50Hz, E_{DC}=129,3V, R_{DC}=5\Omega, L_{DC}=100mH$$

управљање:  $\alpha=\pi/6$

$$U_{DC} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{AC} \cdot \cos\alpha = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot 230 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) = 179,3V$$

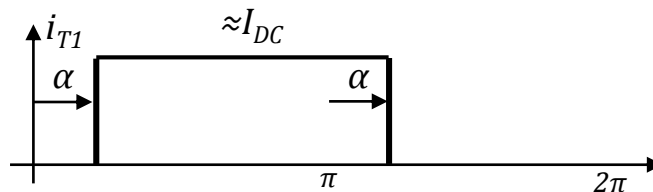
$$I_{DC} = \frac{U_{DC} - E_{DC}}{R_{DC}} = \frac{179,3 - 129,3}{5} = 10A$$

- оптерећење тиристора:

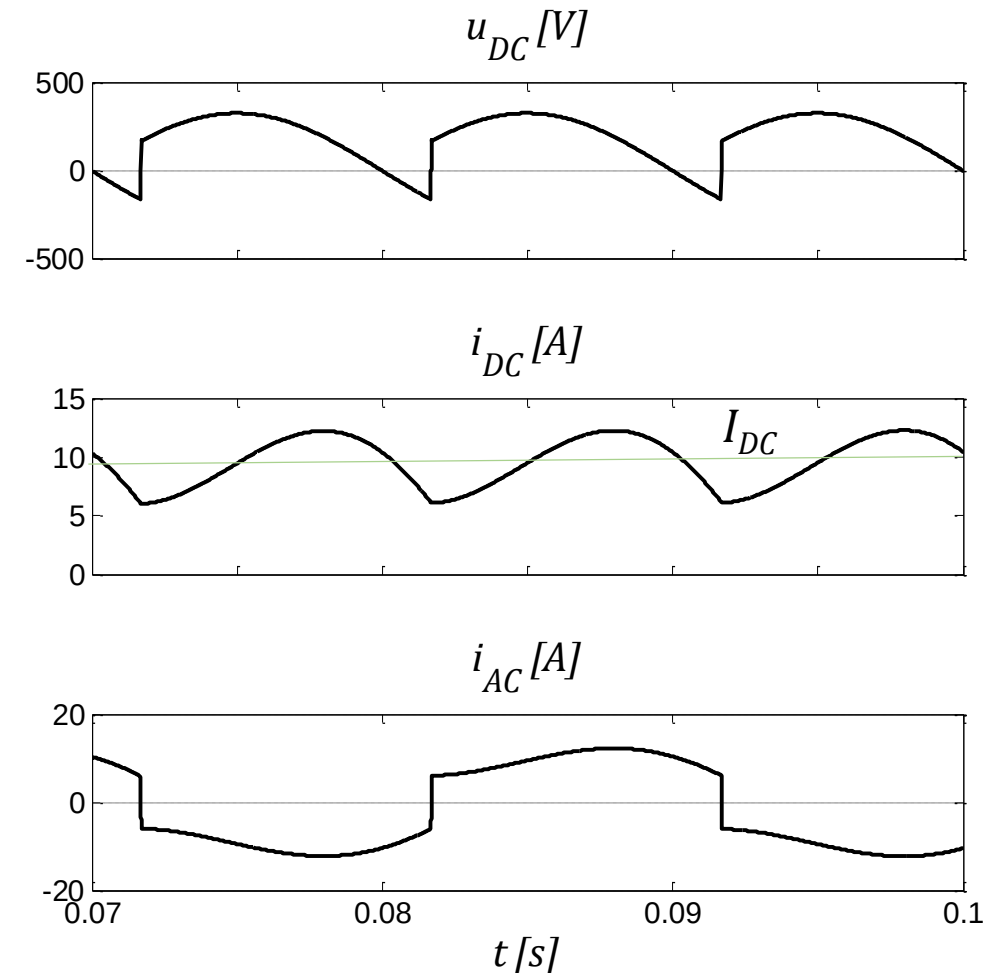
$$U_{TPmax} = U_{TNmax} = \sqrt{2} \cdot U_{ACmax}$$

$$I_{T(sr)} = I_{DC}/2$$

$$I_{T(ef)} = I_{DC}/\sqrt{2}$$



- резултати моделовања:

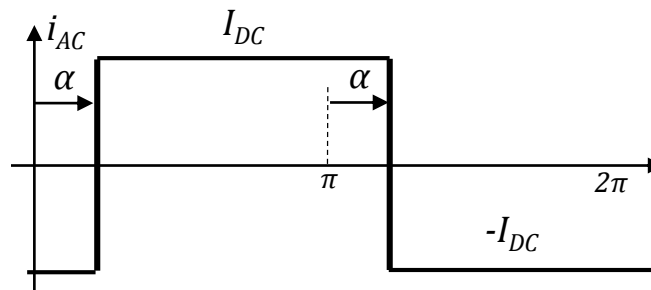




- континуалан рад

- струја мреже  $i_{AC}$ :

$$I_{AC(ef)} = I_{DC}$$

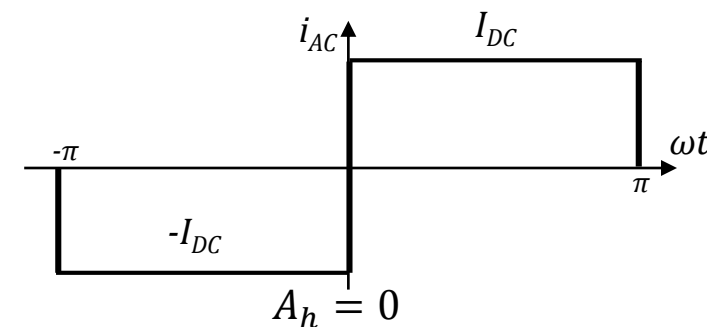


- хармонијски спектар струје мреже  $i_{AC}$ :

$$\text{деф.: } i_{AC} = \frac{A_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} [A_h \cdot \cos(h\omega t) + B_h \cdot \sin(h\omega t)]$$

$$A_h = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i_{AC}(\omega t) \cdot \cos(h\omega t) \cdot d(\omega t), \quad B_h = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i_{AC}(\omega t) \cdot \sin(h\omega t) \cdot d(\omega t).$$

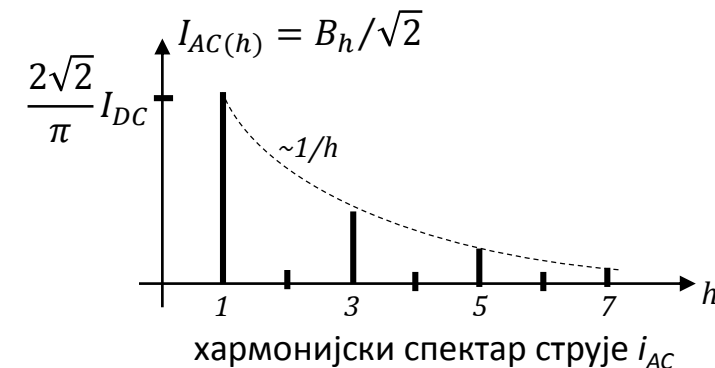
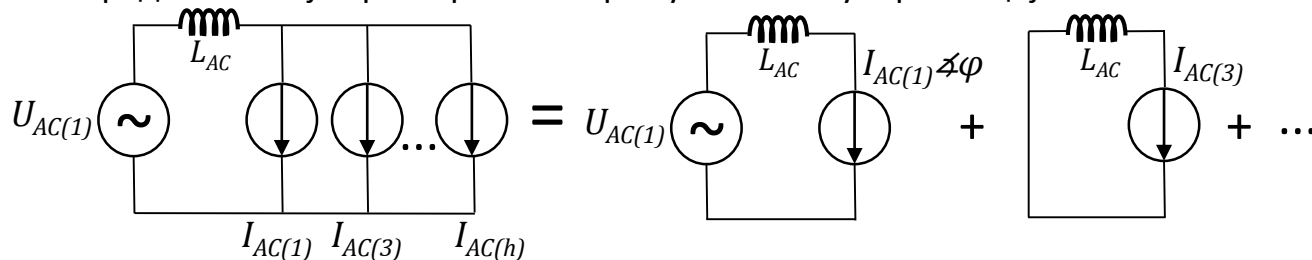
$$B_h = \frac{1}{\pi} \left[ \int_{-\pi}^0 -I_{DC} \cdot \sin(h\omega t) \cdot d(\omega t) + \int_0^{\pi} I_{DC} \cdot \sin(h\omega t) \cdot d(\omega t) \right] = \frac{2 \cdot I_{DC}}{\pi \cdot h} \cdot (1 - \cos(\pi \cdot h))$$



- тиристорски исправљач је извор виших хармоника струје у мрежи:

заменска представа споја претварача на мрежу

суперпозиција



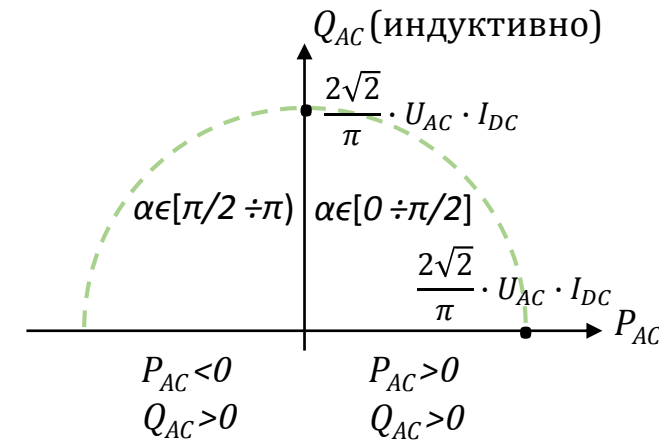
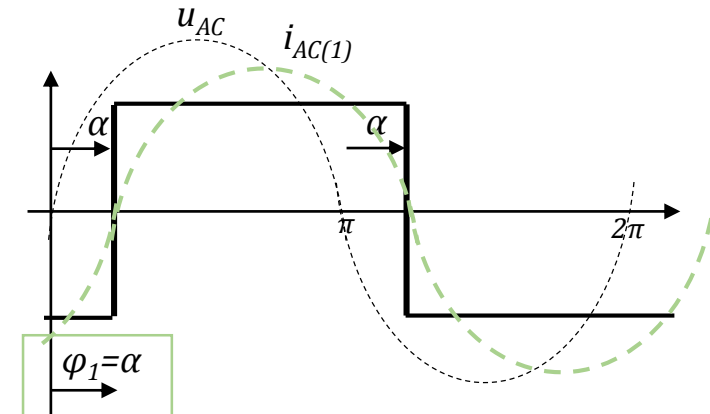
- континуалан рад

- активна снага претварача:

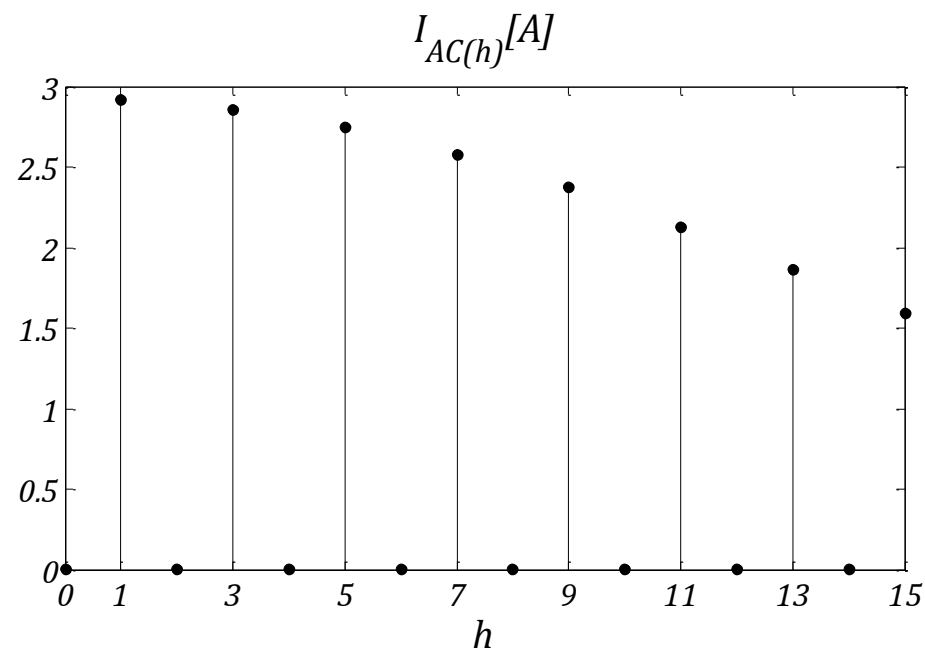
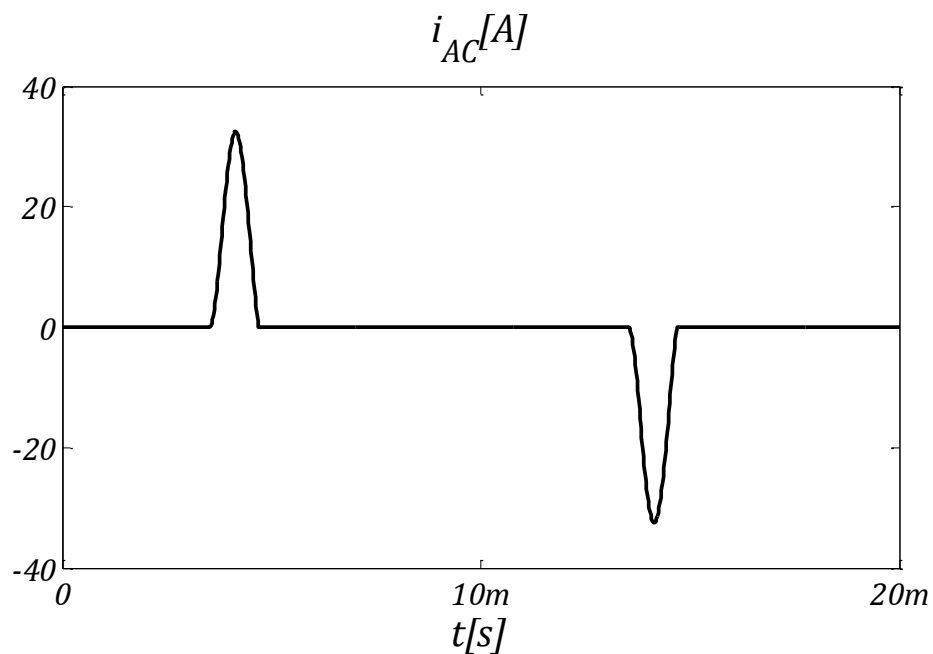
$$\begin{aligned} \text{деф.: } P_{AC} &= \sum_h U_{AC(h)} \cdot I_{AC(h)} \cdot \cos \varphi_h \\ \xrightarrow{U_{AC(1)} \neq 0} P_{AC} &= U_{AC} \cdot I_{AC(1)} \cdot \cos \varphi_1 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{AC} \cdot I_{DC} \cdot \cos \alpha \\ &= P_{DC} = U_{DC} \cdot I_{DC} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{AC} \cdot I_{DC} \cdot \cos \alpha \end{aligned}$$

- реактивна снага претварача:

$$\begin{aligned} \text{деф.: } Q_{AC} &= \sum_h U_{AC(h)} \cdot I_{AC(h)} \cdot \sin \varphi_h \\ \xrightarrow{U_{AC(1)} \neq 0} Q_{AC} &= U_{AC} \cdot I_{AC(1)} \cdot \sin \varphi_1 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{AC} \cdot I_{DC} \cdot \sin \alpha \end{aligned}$$



- виших хармоници струје мреже диодног исправљача са капацитивним оптерећењем:

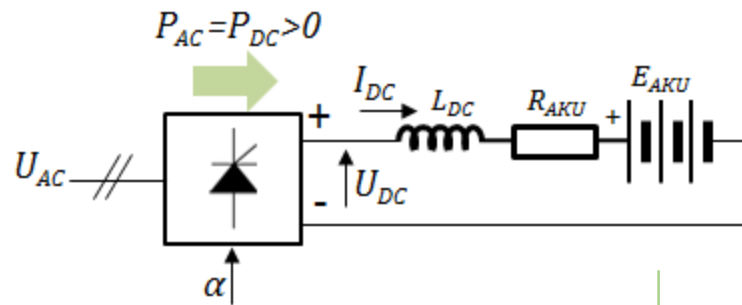


вредности у колу:  $C_{DC}=470\mu F$ ,  $R_{DC}=150\Omega$ ,  $L_{AC}=0,1mH$ ,  $U_{AC}=230V/50Hz$

Задатак: потврдити приближну једнакост улазне и излазне снаге исправљача у овом примеру.

- пример управљивости:

пуњач акумулатора:



$$U_{DC} = E_{AKU} + R_{AKU} \cdot I_{DC} =$$

$$U_{DC} = 12 + 0,1 \cdot 10 = 13V$$

$$P_{DC} = U_{DC} \cdot I_{DC} = 130W$$

ако је  $U_{AC} = 15V$

$$\Rightarrow \alpha = \arccos \frac{\pi \cdot U_{DC}}{2\sqrt{2} \cdot U_{AC}} = 15,7^\circ$$

подаци о акумулатору:

$$E_{AKU}=12V, R_{AKU}=0,1\Omega,$$

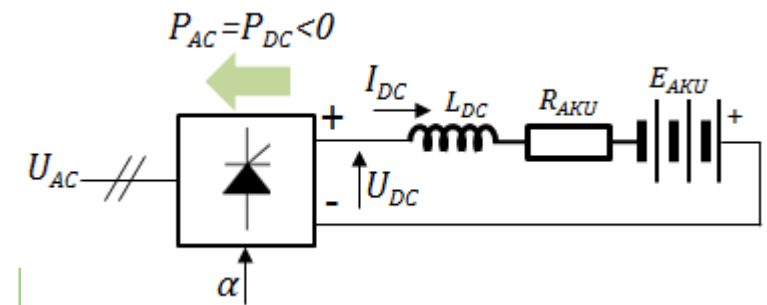
филтар струје акумулатора:  $L_{DC} \gg$

називна струја акумулатора  $=_{EU} C [Ah]/10h$

$=_{USA} C [Ah]/6h$

$$C=100Ah \Rightarrow I_{AKU}=10A$$

празњач акумулатора:



$$U_{DC} = -E_{AKU} + R_{AKU} \cdot I_{DC} =$$

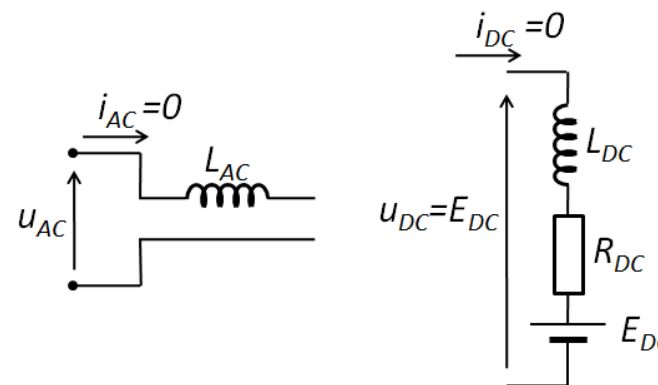
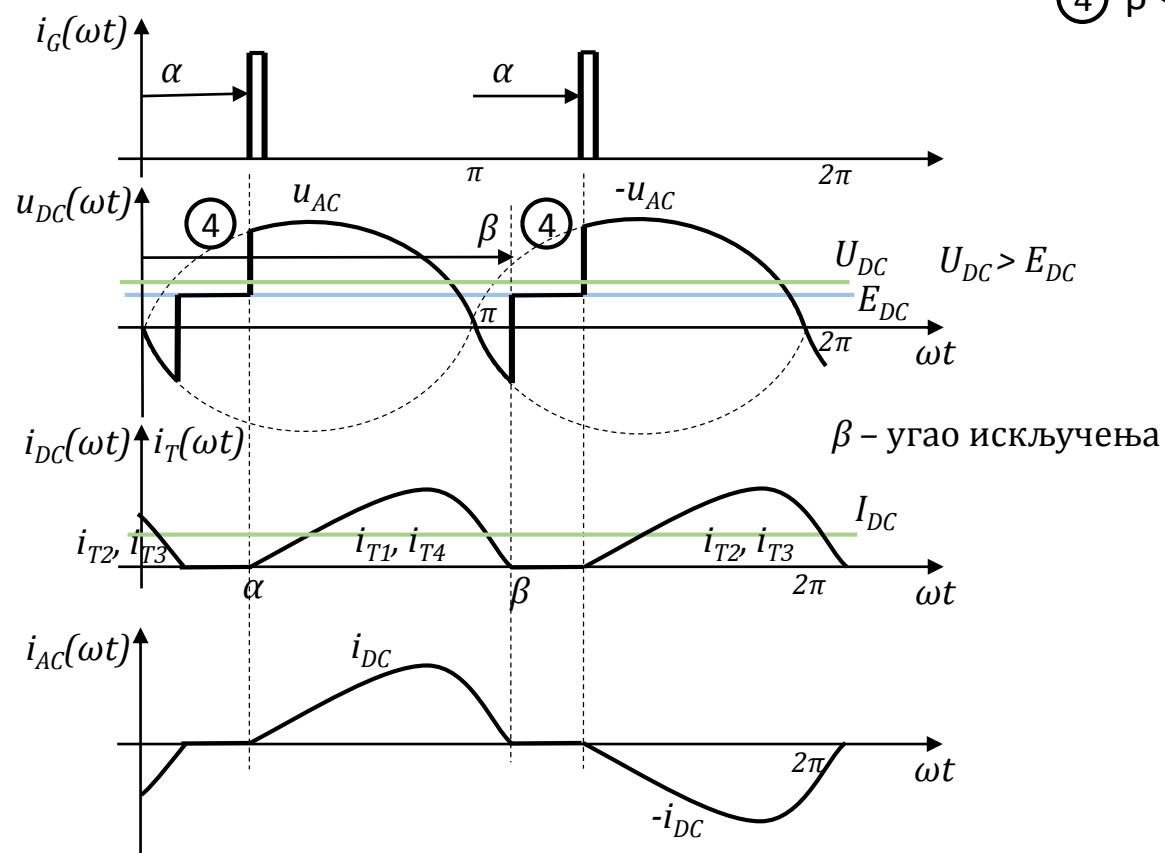
$$U_{DC} = -12 + 0,1 \cdot 10 = -11V$$

$$P_{DC} = U_{DC} \cdot I_{DC} = -110W$$

ако је  $U_{AC} = 15V$

$$\Rightarrow \alpha = \arccos \frac{\pi \cdot U_{DC}}{2\sqrt{2} \cdot U_{AC}} = 144,5^\circ$$

- дисконтинуалан рад



$$U_{DC} = \frac{1}{\pi} \left[ \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{2} \cdot U_{AC} \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) + \int_{\beta}^{\pi+\alpha} E_{DC} \cdot d(\omega t) \right]$$

$$= \frac{\sqrt{2} \cdot U_{AC}}{\pi} \cdot [\cos \alpha - \cos \beta] + E_{DC} \cdot \left( 1 + \frac{\alpha - \beta}{\pi} \right)$$

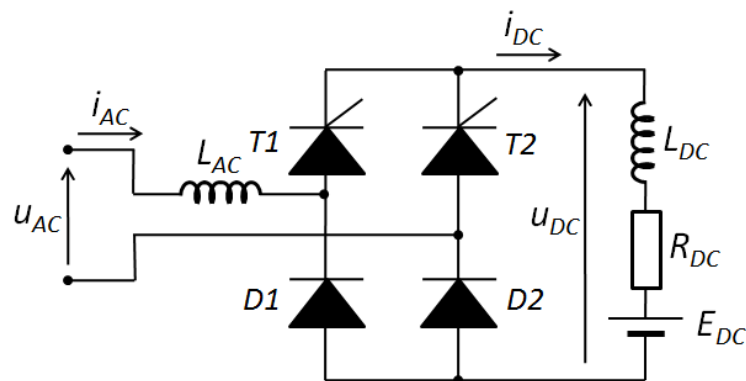
$$i_{DC} = A \cdot \sin(\omega t - \varphi) + B \cdot e^{-\frac{\omega t - \alpha}{\omega \tau}} + C$$

$$i_{DC}(\beta) = 0 \Rightarrow 0 = A \cdot \sin(\beta - \varphi) + B \cdot e^{-\frac{\beta - \alpha}{\omega \tau}} + C$$

$\Rightarrow \beta$  – решиво нумерички

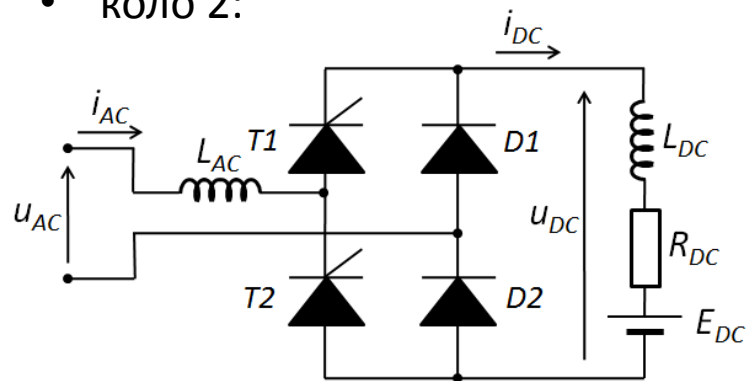
## ПОЛУУПРАВЉИВИ ИСПРАВЉАЧ СА ИНДУКТИВНИМ ОПТЕРЕЋЕЊЕМ

## • коло 1:



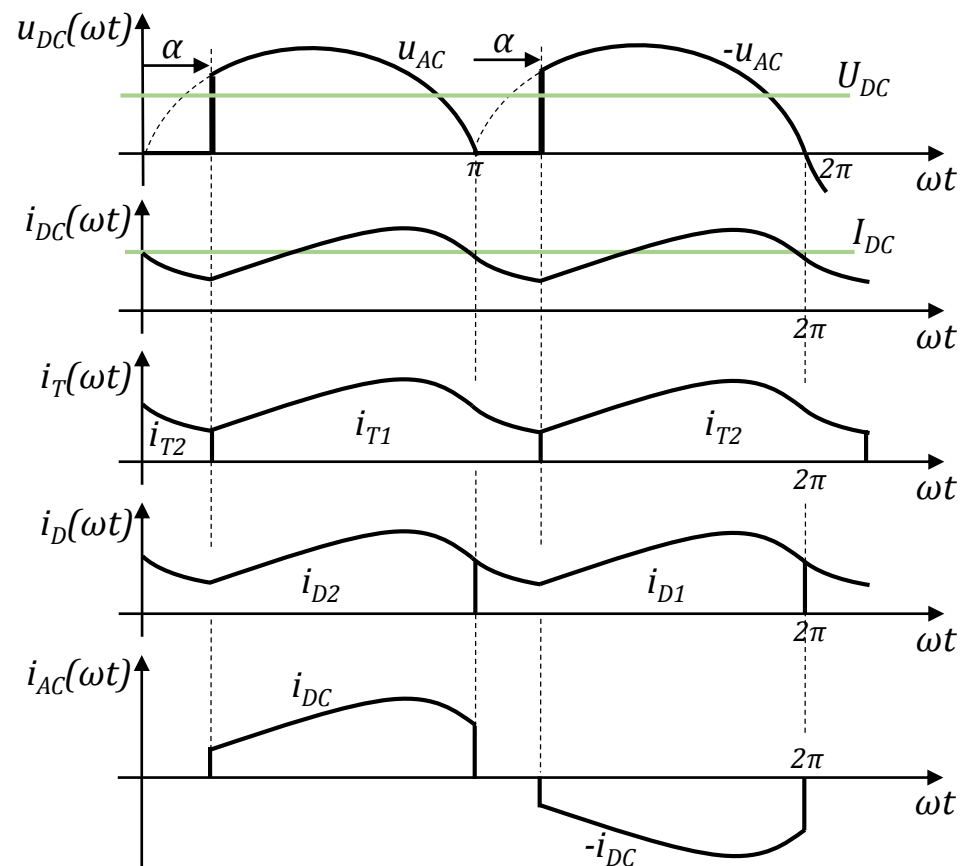
У колу 1: Тиристи се међусобно преклапају (комутују) у тренуцима  $\alpha$ ,  $\pi + \alpha$ , ... . Тиристи проводе  $\pi \text{ rad}$ .

## • коло 2:



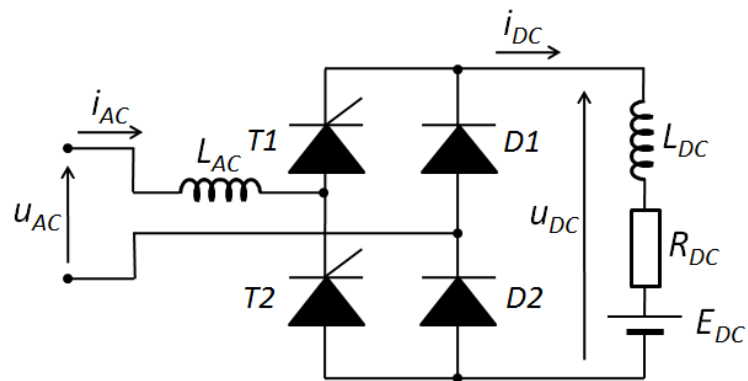
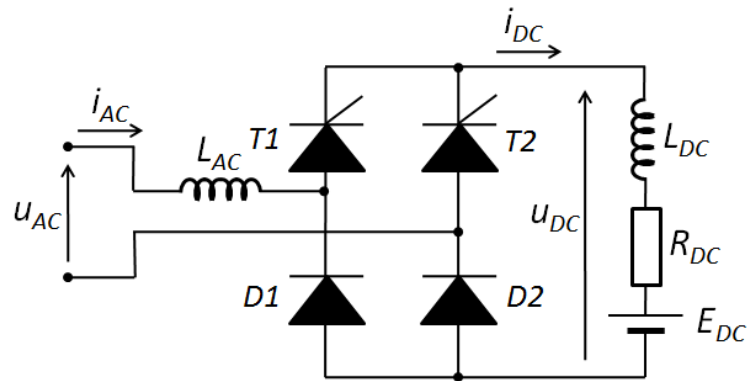
У колу 2: Диоде преклапају тиристоре у тренуцима  $0, \pi, 2\pi, \dots$ , а тиристи преклапају диоде у  $\alpha, \pi + \alpha, \dots$ . Тиристи проводе  $\pi - \alpha \text{ rad}$ .

## • одзиви у колу 1:



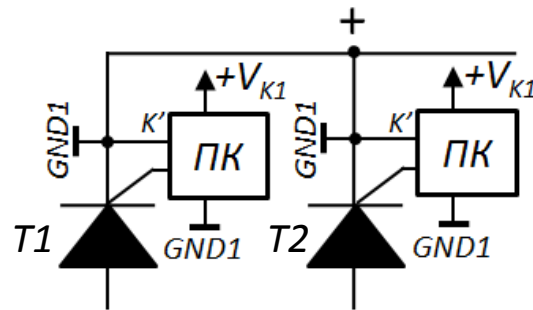
## ПОЛУУПРАВЉИВИ ИСПРАВЉАЧ СА ИНДУКТИВНИМ ОПТЕРЕЋЕЊЕМ

- којем колу дати предност?



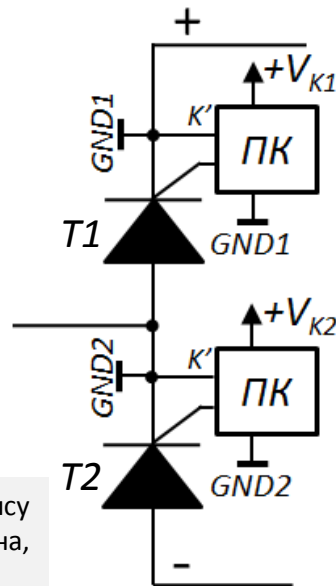
Тиристори чије катодe нису повезане захтевају засебна, галвански одвојена напајања.

- повезивање побудног кола:

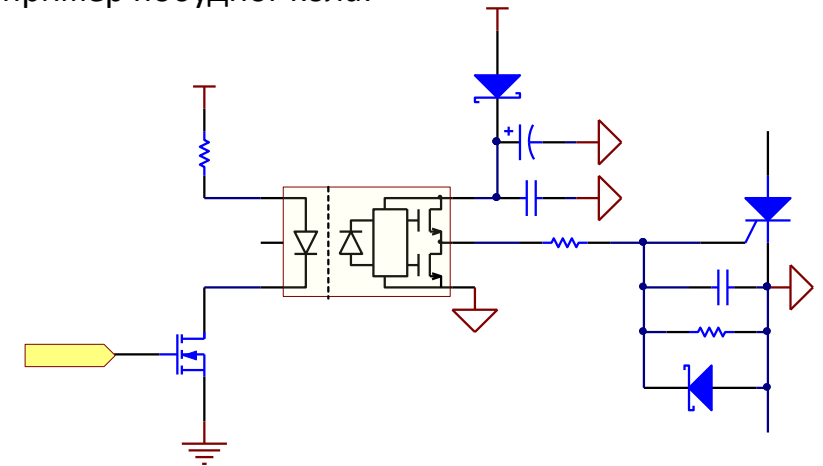


Потенцијал катодe је референтна тачка у односу на коју се напаја побудно коло ПК.

За пар тиристора чије су катодe повезане управљачка кола могу имати заједничко напајање  $V_{K1}$ .



пример побудног кола:



Задатак: колико је потребно имати галвански одвојених напајања за побудна кола тиристора код пуноуправљивог исправљача.