

Насочувачи и стабилизатори

Проф. д-р Јосиф Ќосев
Доц. д-р Томислав Карталов

(во соработка со проф. д-р Методија Камиловски)

Електроника, ЗФЕИТ053018

Општо - електронски склопови

Поделба

- Склопови за обработка на енергија (моќност)
 - AC→DC насочувачи
 - DC→DC еднонасочни (прекинувачки) преобразувачи
 - DC→AC инвертори
 - AC→AC циклоконвертори ($f_1 \rightarrow f_2$)
- Склопови за обработка и генерирање на сигнали
 - Аналогни (линеарни, нелинеарни, импулсни)
 - Засилувачи
 - Осцилатори
 - Модулатори
 - Филтри
 - Аналогни калкулатори (компјутери) ...
 - Дигитални
 - Логички кола, конечни автомати
 - Компјутери
 - A/D и D/A конвертори

Електроника, ЗФЕИТ053018

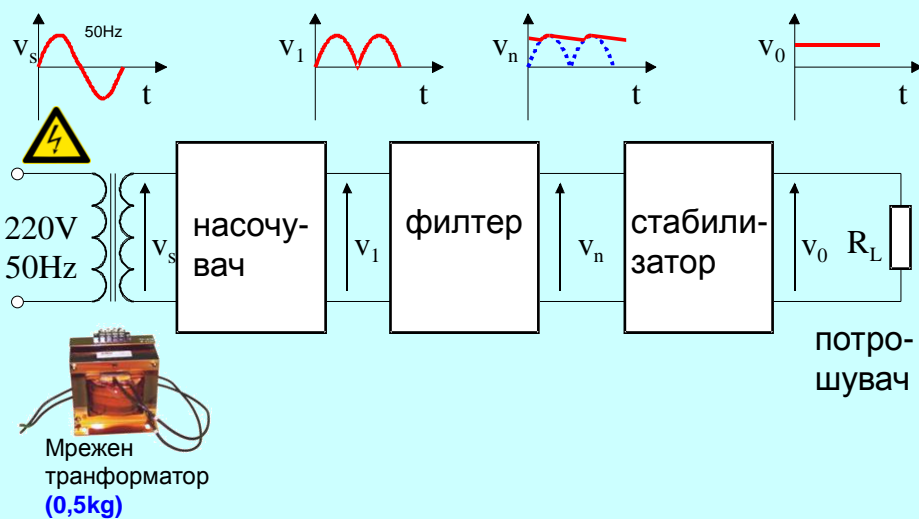
ИЗВОРИ НА ЕДНОНАСОЧЕН НАПОН

- Преносните електронски уреди се напојуваат од батерии или акумулатори со **константен напон**.
- Стационарните електронски уреди користат енергија од електричната мрежа.
- Изворот за напојување го преобразува мрежниот наизменичен напон во еднонасочен (**AC/DC**).
- За добивање константен напон потребни се додатни склопови (**филтер и стабилизатор**).
- За насочување се користи насочувачкото дејство на диодите.
- За диодите ќе го примениме моделот на **идеален прекинувач**.

Електроника, 3ФЕИТ053018

3

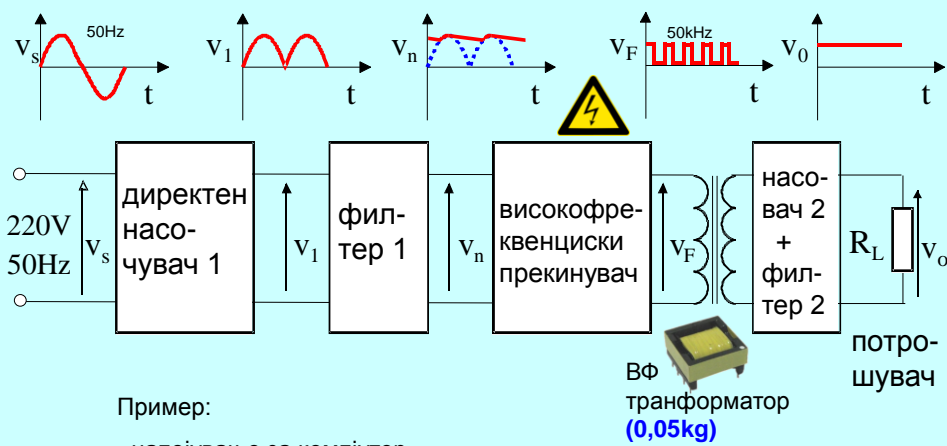
Блок-шема на класичен извор за напојување



Електроника, 3ФЕИТ053018

4

Блок-схема на прекинувачки извор за напојување

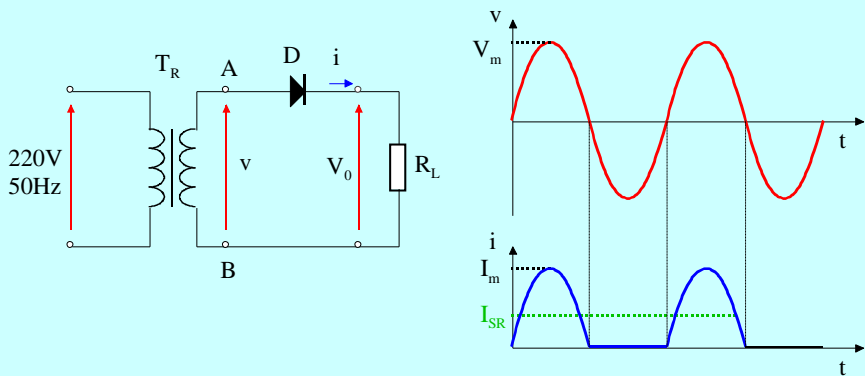


- Пример:
- напојување за компјутер
 - полнач за телефон

Електроника, ЗФЕИТ053018

5

Полубранов насочувач



Електроника, ЗФЕИТ053018

6

- Нè интересира средната вредност:

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt \qquad I_0 = \frac{I_m}{\pi}$$

- Но исто така и ефективната вредност:

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \qquad I_{eff} = \frac{I_m}{2}$$

- I_m – амплитуда на струјата,
- ω - кружна фреквенција (на мрежниот напон)
- I_0 - еднонасочна струја (низ потрошувачот)
- Обликот на струјата може да се претстави во **Фуриев ред**:

$$i(t) = I_m \left[\frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \sin \omega t - \frac{2}{\pi} \sum_{k=2,4,6,\dots} \frac{\cos k\omega t}{(k+1)(k-1)} \right]$$

- Членот со фреквенција ω се нарекува **основен хармоник**
- Членовите со фреквенции $k\omega$ ($k=2,3,\dots$) се нарекуваат **виши хармоници**

$$i(t) = I_0 + \sqrt{2}I_1 \sin \omega t + \sum_{k=2}^{\infty} \sqrt{2}I_k \sin(k\omega t + \phi_k)$$

- I_k ($k=1,2,\dots$) – ефективни вредности на хармониците
- ϕ_k ($k=1,2,\dots$) – фази на хармониците

- Квалитетот на насочувачот се оценува со:
- **r - фактор на брановитост** = количник меѓу ефективната вредност на променливата компонента на струјата (или напонот) на потрошувачот (т.е. на сите хармоници вкупно) и константната компонента на струјата (или напонот) на потрошувачот (I_0).

- Парсевал доказал дека за редот важи:

$$I_{eff}^2 = \sum_{k=0}^{\infty} I_k^2$$

- Оттука:

$$r = \frac{I_{effac}}{I_{dc}} = \frac{\sqrt{I_{eff}^2 - I_0^2}}{I_0} = \sqrt{\frac{I_{eff}^2}{I_0^2} - 1} = \sqrt{\frac{U_{eff}^2}{U_0^2} - 1}$$

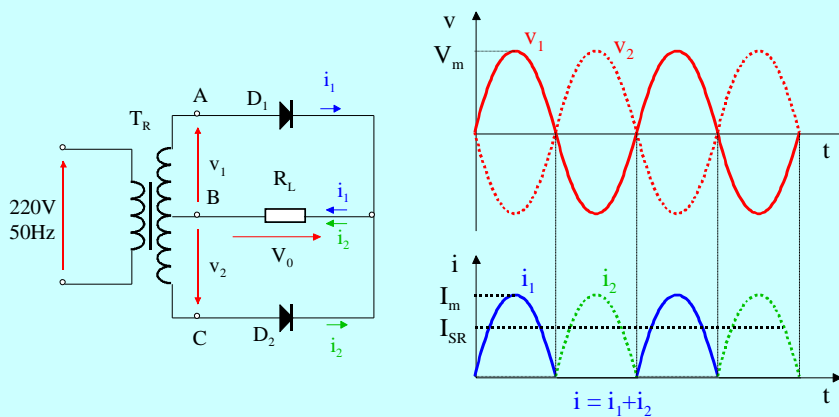
Недостатоци на полубрановиот насочувач

$$r = \sqrt{\frac{\pi^2}{2^2} - 1} = 1,21$$

- **$r > 1$!** Ова е многу голема брановитост.
- Низ трансформаторот тече **еднонасочна** струја го **премагнетизира** магнетното јадро, кое може да отиде во заситување. (-)
- Потребни карактеристики на диодата:
 - **$I_D > I_0$**
 - **$U_{PR} > U_m$**

- Насочувачот претставува напонски генератор со ЕМС V_m/π и внатрешна отпорност R .
- R – од секундарниот калем на T_r и од D .
- Примена: кај склопови за кои не е важен обликот на еднонасочната струја (на пр. за галванизација)

Целобранов насочувач - со среден извод на секундарната намотка



- Со директна пресметка:

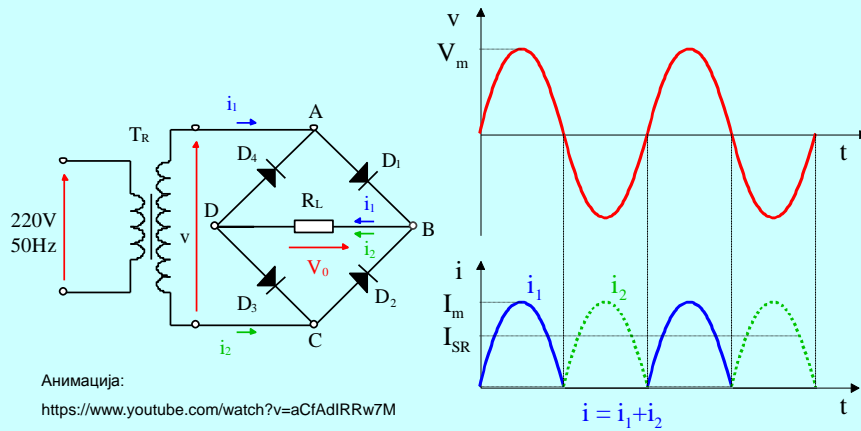
$$I_0 = \frac{2I_m}{\pi} \quad I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$r = \sqrt{\frac{\pi^2}{8}} - 1 = 0.482$$

Целобранов **vs.** полубранов нас.

- Предност: $I_0 \gg I_1, I_2, \dots \Rightarrow r < 1$,
- Низ **Tr** тече **AC** струја (не се премагнетизира).
- Недостаток: **Tr** со среден извод и
- $U_{Dmax} > 2U_m$.
- Обликот на i_D (пр. i_1) останува ист па $I_{0D} = \frac{I_m}{\pi}$
- $I_D > I_0/2$

Целобранов мостен насочувач (Грецов спој)



Електроника, 3ФЕИТ053018

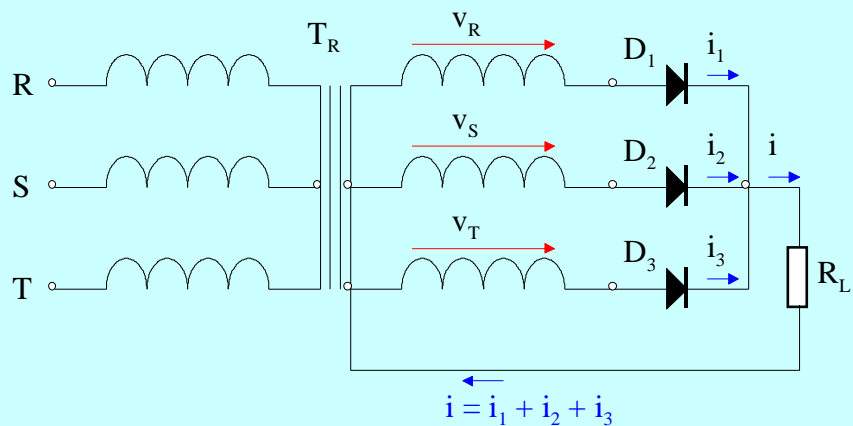
17

- Предност: **Tr** без среден извод,
- **$U_{Dmax} > U_m$** .
- **$I_D > I_0/2$** .
- Недостаток (?): ни требаат четири диоди.

Електроника, 3ФЕИТ053018

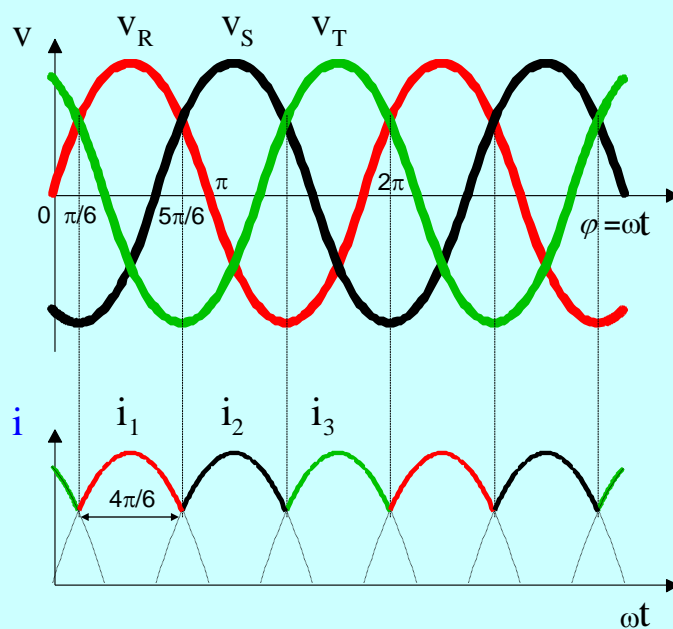
18

Трифазен полубранов насочувач во свезда (информативно)



Електроника, 3ФЕИТ053018

19



Електроника, 3ФЕИТ053018

20

$$I_0 = \frac{1}{4\pi/6} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} I_m \sin(\varphi) d(\varphi) \quad \varphi = \omega t$$

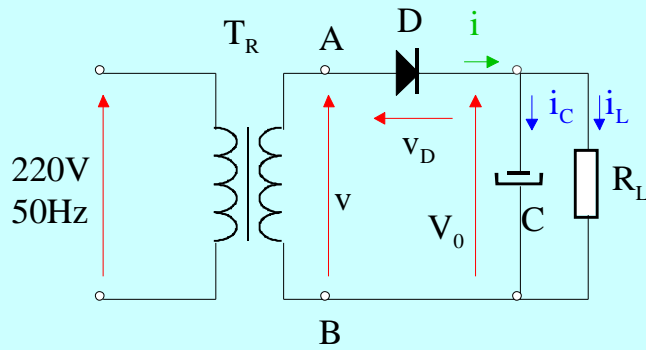
$$I_0 = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} I_m$$

$$r = \sqrt{\frac{\left[\frac{1}{2}\left(1 + \frac{3\sqrt{3}}{4}\right)\right]^2}{\left(\frac{3\sqrt{3}}{2\pi}\right)^2}} - 1 = 0.1827$$

Електрични филтри за насочувачи

- Филтерот ги намалува повисоките хармоници во V_0 (ја намалува брановитоста).
- Филтрите се состојат од **C** (и **L**), кои имаат особина да **складираат енергија**.
- Резултатот е еднонасочен ”испеглан” или ”измазнет” напон со брановитост помала и од $r = 10^{-3}$.

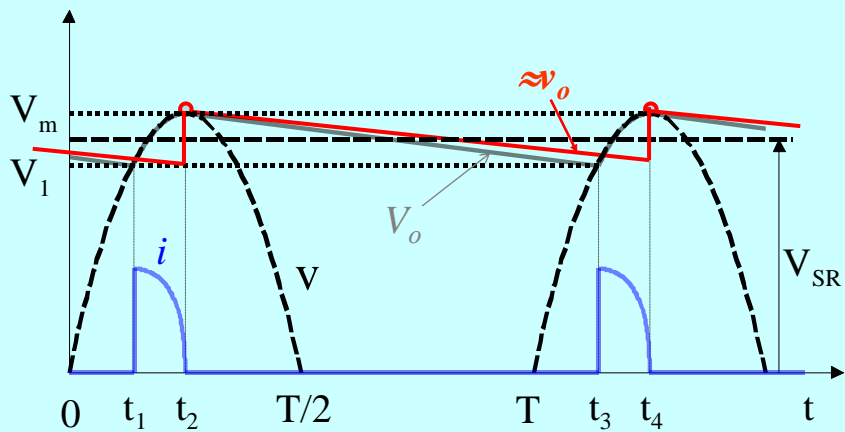
Капацитивен филтер



23

Електроника, 3ФЕИТ053018

Излезниот напон го апроксимираме со пилест облик v_o :



24

Електроника, 3ФЕИТ053018

Појдовна релација – баланс на полнежот во кондензаторот:

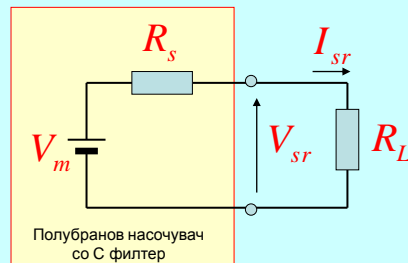
$$\Delta Q = (\text{полнење}) C \Delta U_0 = (\text{празнење}) = I_{sr} \Delta t$$

$$\Delta U_0 = 2(V_m - V_{sr}) \quad \Delta t = T \quad I_{sr} = \frac{V_{sr}}{R}$$

- Со решавање по V_{sr} :

$$V_{sr} = V_m - \frac{1}{2fC} I_{sr}$$

$$R_s = \frac{1}{2fC}$$



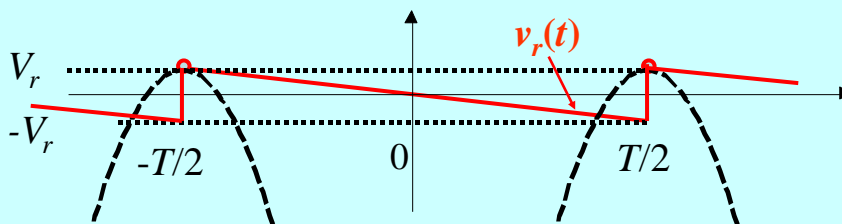
Тевененова еквивалентна шема за константната компонента (!)

25

Електроника, 3ФЕИТ053018

Ефективната вредност на напонот на „брмчење“ (ripple voltage) ја одредуваме директно:

- Го отстрануваме константниот дел и пилестиот дел го поместуваме во точка на симетрија (заради полесна пресметка):



$$v_r(t) = -\frac{(V_r - (-V_r))}{T} t = -\frac{2V_r}{T} t$$

$$V_r = V_m - V_{sr} = \frac{V_{sr}}{2fC}$$

$$V_{reff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \left(-\frac{2V_r}{T} t \right)^2 dt} = \dots$$

$$r = \frac{V_{reff}}{V_{sr}}$$

26

Електроника, 3ФЕИТ053018

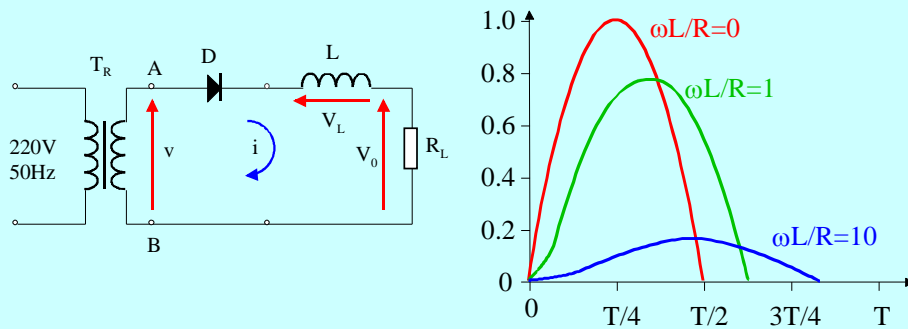
$$r = \frac{1}{2\sqrt{3}fCR_L} = \frac{1}{2\sqrt{3}f\tau_c} \quad V_{sr} = V_m - \frac{I_{sr}}{2fC}$$

- За **целобранов насочувач** $\Delta t = T/2$ па соодветно внатрешната отпорност и факторот на брановитост се два пати помали:

$$V_{sr} = V_m - \frac{I_{sr}}{4fC} \quad r = \frac{1}{4\sqrt{3}fCR_L}$$

- Капацитивниот филтер редовно се користи во електронските извори за напојување бидејќи е едноставен и ефективен.

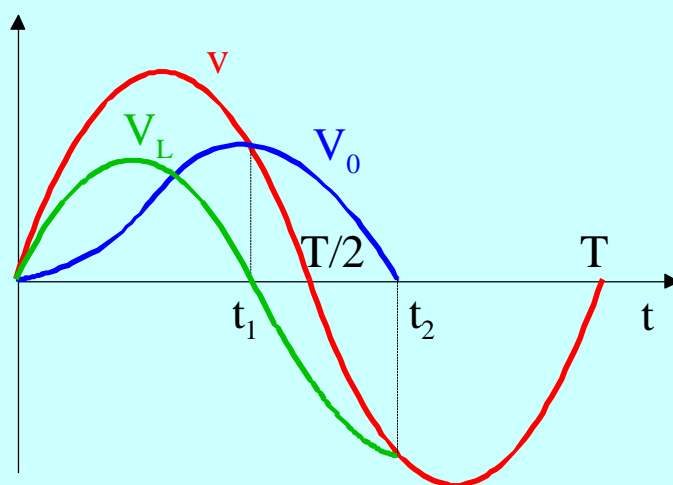
Индуктивен филтер (информативно)



Електроника, 3ФЕИТ053018

29

(информативно)



Електроника, 3ФЕИТ053018

30

(информативно)

- r - е пресметан за вториот хармоник.

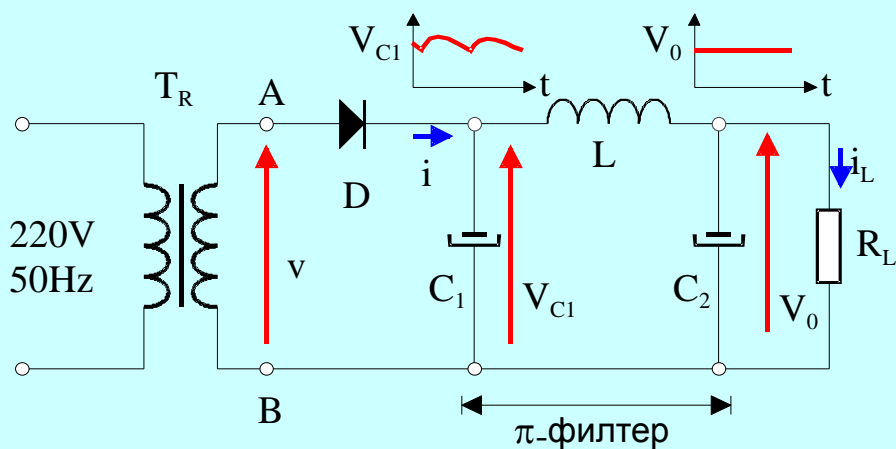
$$V_{sr} = \frac{2U_m}{\pi} - I_{sr}R$$

$$r = \frac{2}{3\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4\omega^2 L^2}{R_L^2}}} = \frac{R_L}{3\sqrt{2}\omega\tau_L} = \frac{1}{3\sqrt{2}\omega\tau_L}$$

Електроника, ЗФЕИТ053018

31

π - филтер



Електроника, ЗФЕИТ053018

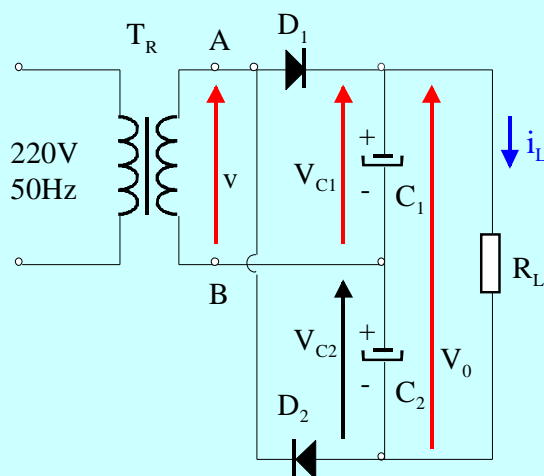
32

(информативно)

- Импедантниот делител L - C_2 додатно ги слабеет (филтрира) хармониците.
- Ако се занемарат хармониците над првиот хармоник:

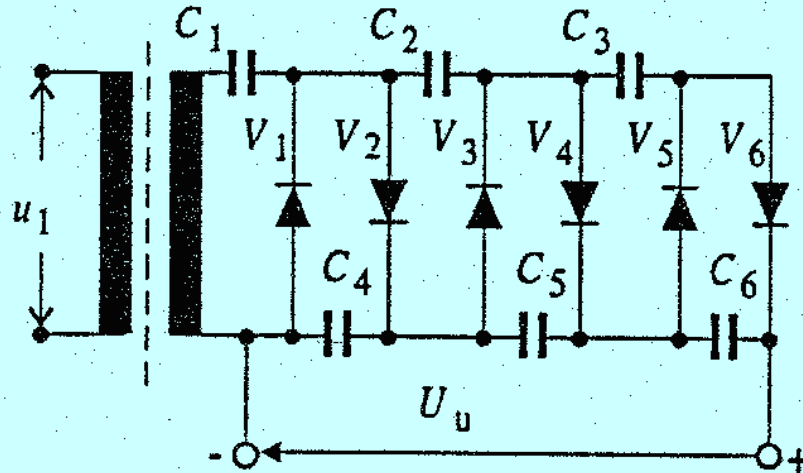
$$r = \frac{1}{4\sqrt{2}\omega^3 C_1 C_2 L R_L}$$

Насочувач за удвојување на напонот



Мультипликатор на напон (charge pump) информативно

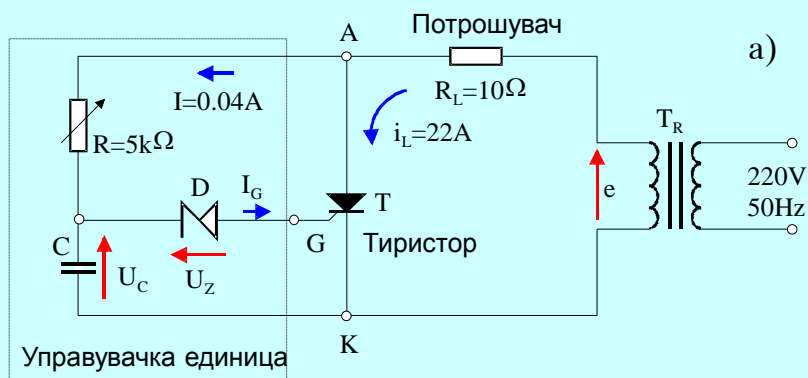
(„каскада“ кај CRT, биојонизатори, јонски мотори кај сателитите)



Електроника, 3ФЕИТ053018

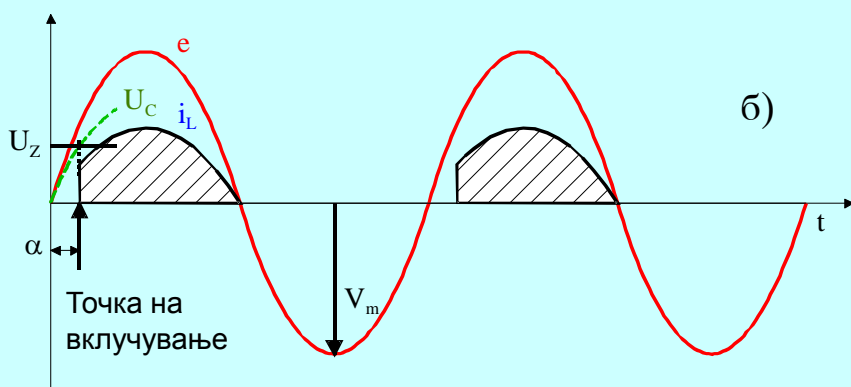
35

(ФАЗНО) УПРАВУВАНИ ИЗВОРИ ЗА НАПОЈУВАЊЕ



Електроника, 3ФЕИТ053018

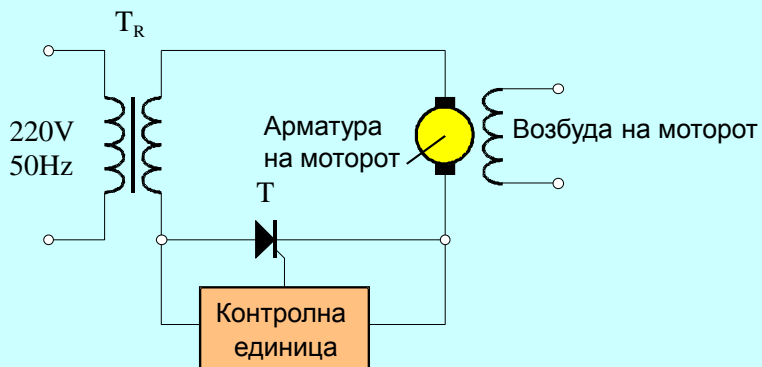
Управувањето се состои во „отсекување“ дел од полупериодата на наизменичниот напон.



Електроника, 3ФЕИТ053018

37

Управување (со брзината) на DC мотор



Електроника, 3ФЕИТ053018

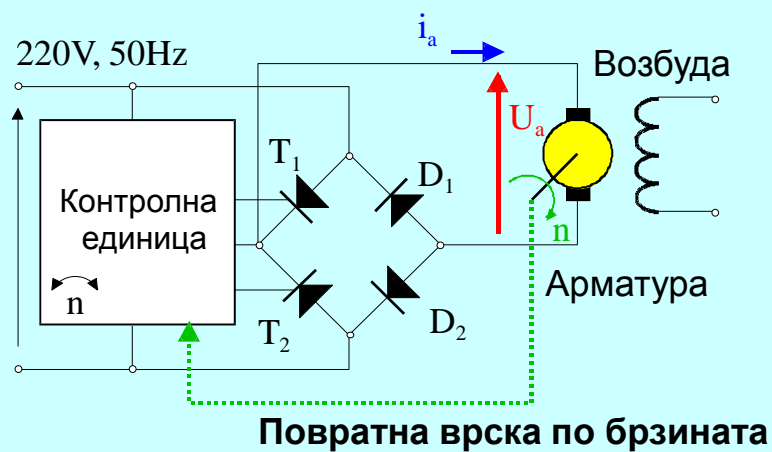
38

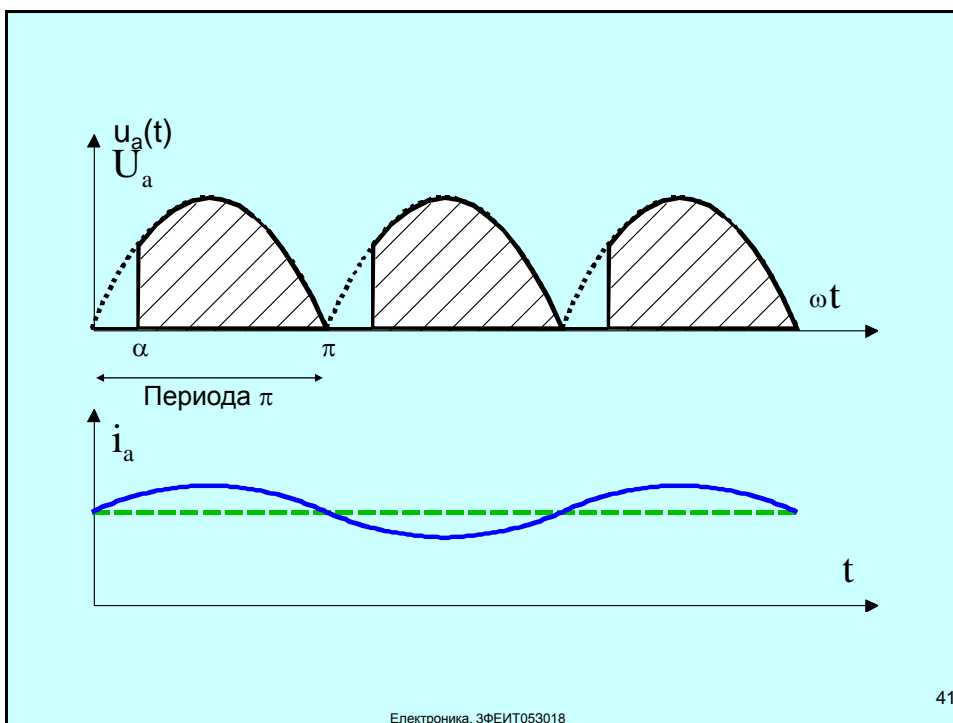
Кај управување во една полупериода:

$$U_{a,sr} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin(\omega t) d(\omega t) \quad I = \frac{U_{a,sr}}{R}$$

$$I = \frac{V_m}{2\pi R} (1 + \cos \alpha)$$

Управување во двете полупериоди:





Кај управување во две полупериоди:

$$U_{a,sr} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin(\omega t) d(\omega t) \quad I = \frac{U_{a,sr}}{R}$$

$$I = \frac{V_m}{\pi R} (1 + \cos \alpha)$$

42

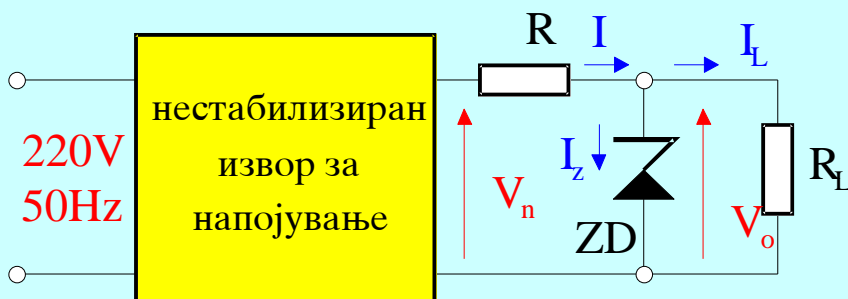
Електроника, ЗФЕИТ053018

СТАБИЛИЗАТОРИ НА ЕДНОНАСОЧЕН НАПОН ЗА НАПОЈУВАЊЕ

Електроника, 3ФЕИТ053018

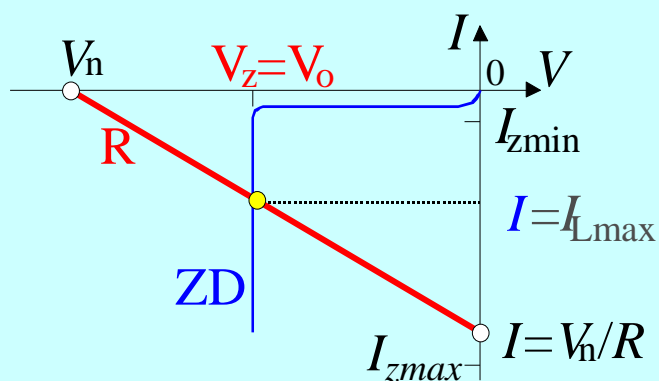
Стабилизација на напон со зенерова диода

- Диодата работи во режим на пробив
- Услов: $V_{nmin} > V_Z$ и $I > I_{Lmax} \Rightarrow (V_{nmin} - V_Z)/R > V_Z/R_{Lmin}$



Електроника, 3ФЕИТ053018

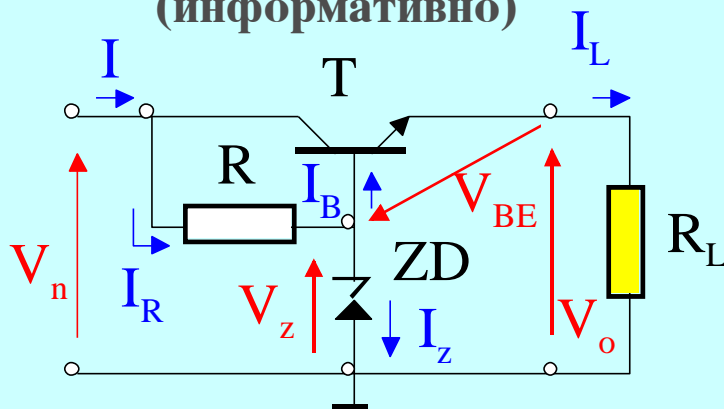
Графичко одредување на I:



Мана: $I_L < \text{од стотина mA}$.

Електроника, 3ФЕИТ053018

Сериски стабилизатор со транзистор (информативно)



$$V_o = V_z - V_{BE}$$

•Предност: R_o мало, I_L големо.

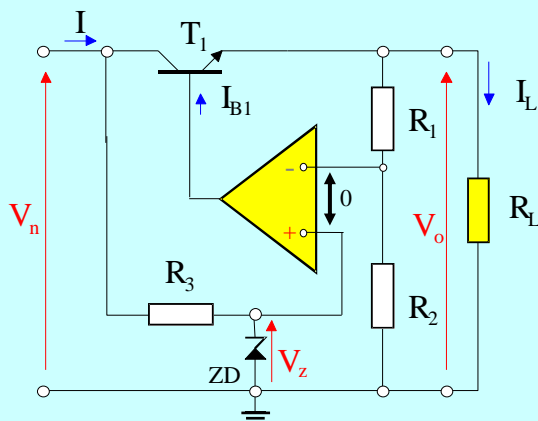
Електроника, 3ФЕИТ053018

Сериски стабилизатор со повратна врска (со О.З.)

- Ако излезот е низок инвертирачкиот влез е понизок од V_Z па излезот оди нагоре, го вклучува транзисторот и преку В-Е спојот воспоставува НПВ.
- Од виртуелната нула следи:

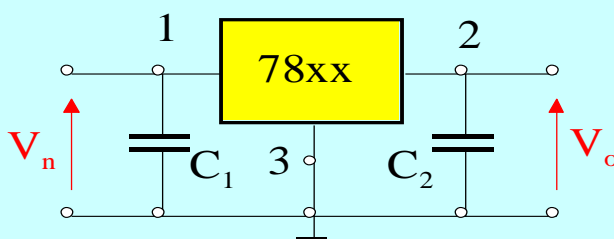
$$V_o \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V_Z \Rightarrow$$

$$V_o = V_Z \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$



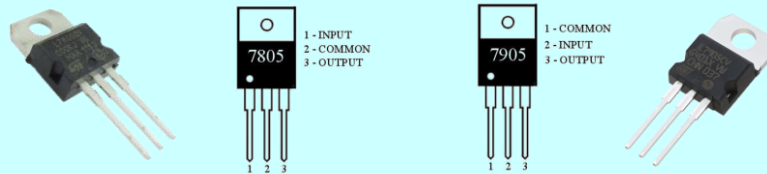
Електроника, 3ФЕИТ053018

Интегрирани стабилизатори на напон со три приклучоци



Интегрирано ја реализираат структурата на стабилизатор со повратна врска.

Електроника, 3ФЕИТ053018



- Тие се произведуваат за **стандардни напони** од 5, 6, 8, 12, 15, 18 и 24V и за струи до 1A (1,5A).
- За негативни напони се користи серијата 79xx
- Интегрираниот стабилизатор на напон има коло за **заштита од куса врска**.
- C_1 и C_2 го **штитат** колото од појава на **осцилации** поради постоењето на индуктивности во проводниците за приклучување.
- Повеќе за интегрираните стабилизатори на аудиториски вежби.