

## ДЕМОНСТРАЦИОНЕН ПРИМЕР – МОДУЛ 5

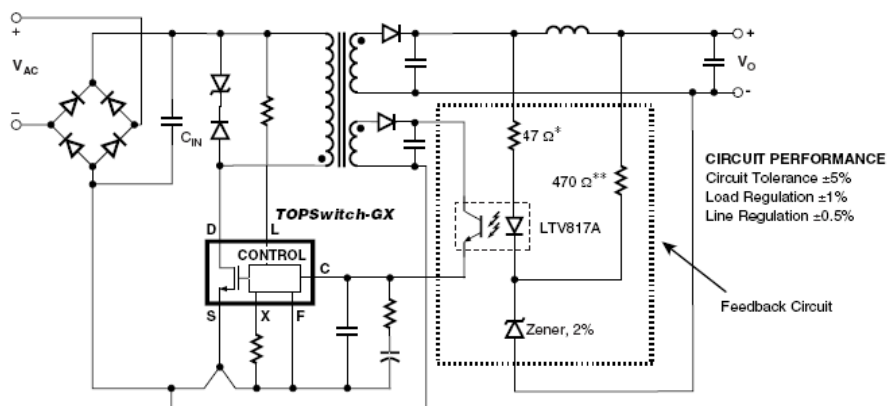
### Проектиране на силовата схема на ключов стабилизатор (обратен преобразувател с галванично разделяне)

#### Стъпка 1. Задание:

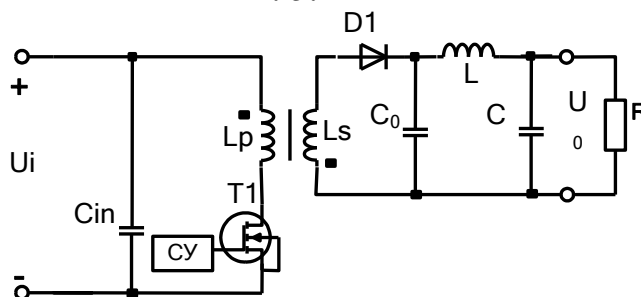
Да се проектира силовата схема на обратен преобразувател с галванично разделяне със следните данни:

- входно напрежение на преобразувателя, получено от еднофазен мостов токоизправител, захранен от променливотоковата захранваща мрежа с ефективна стойност на напрежението  $U_{AC}=230V \pm 10\%$ ;
- постоянно изходно напрежение  $U_0=20V$ ;
- товарен ток  $I_0=2A$ ;
- работна честота на преобразувателя  $f=66kHz$ ;
- пулсации на изходното напрежение  $\Delta u_0=1\%$ , пулсации на входното напрежение  $\Delta u_i=10\%$ .

Схемата на преобразувателя е показана на фиг. 5.1. За проектирането се използва анализа на работата на ключовия стабилизатор и методиката дадена в [1]. В примера ще бъде оразмерена само силовата схема на ключовия стабилизатор, показана на фиг.5.2.



Фиг. 5.1



Фиг.5.2.



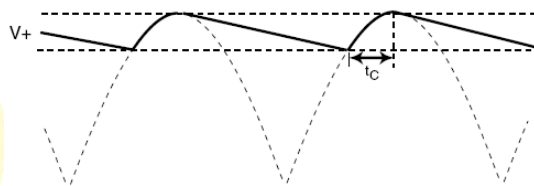
**Стъпка 2:** Определяне на изходните параметри за проектирането:  $U_{ACMAX}$ ,  $U_{ACMIN}$ ,  $f_L$ ,  $U_0$ ,  $P_0$ ,  $\eta$ ,  $Z$ .

- Минимално входно променливо напрежение  $U_{ACMIN}=U_{AC}\cdot 0.9=207V$ ;
- Максимално входно променливо напрежение  $U_{ACMAX}=U_{AC}\cdot 1.1=253V$ ;
- Честота на напрежението на захранващата мрежа  $f_L=50Hz$ ;
- Коефициент на полезно действие  $\eta=0.8$ ;
- Коефициент на разпределяне на загубите в намотките на трансформатора  $Z=0.5$ .

**Стъпка 3:** Определя се минималното и максималното изправено напрежение на входа на стабилизатора  $U_{min}$ ,  $U_{max}$  и капацитета на филтровия кондензатор  $C_{in}$ . Използва се [1] приблизителната зависимост  $C_{IN}\approx[\mu F/W \text{ от } P_0]$ .

Следователно  $C_{IN}=40\mu F$ . Избираме стандарна стойност на капацитета на кондензатора  $C_{IN}=47\mu F/400V$

**Стъпка 4:** Задава се коефициентът  $tc$ , според препоръчания в литература [1],  $tc=3ms$ .

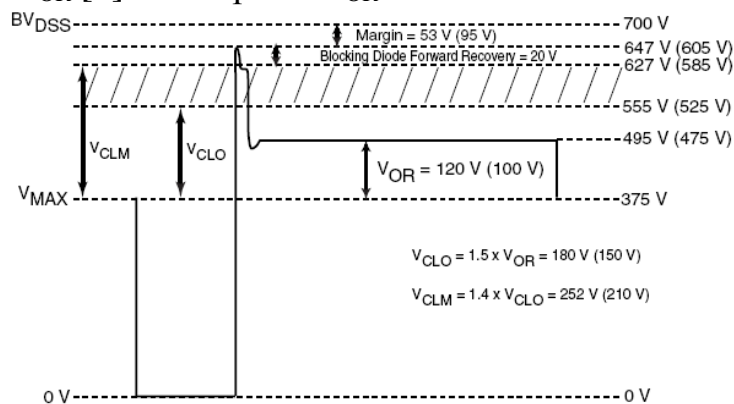


**Стъпка 5:** Изчислява се минималното и максималното входно напрежение  $U_{min}$  и  $U_{max}$ , прилагано на входа на стабилизатора.

$$U_{min} = \sqrt{(2 \cdot U_{ACmin}^2) - \frac{2 \cdot P_0 \left( \frac{1}{2 \cdot f_L} - tc \right)}{\eta \cdot C_{IN}}} = 261V,$$

$$U_{max} = \sqrt{(2 \cdot U_{ACMAX}^2)} = 1,41 \cdot 253 = 358V.$$

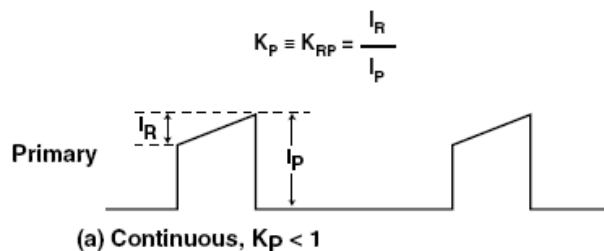
**Стъпка 6:** Определяме правото напрежение върху транзистора, и напрежението  $U_{OR}$  [1]. Избираме  $U_{OR}=120V$ .



Фиг.5.3.



**Стъпка 7:** Задаваме параметъра  $K_p$ . За постигане режим на непрекъснат ток и малки пулсации на тока, изберем  $K_p=0,6$ .



**Стъпка 8:** Определяме максималния коефициент на запълване  $D_{max}$  от  $U_{min}$  и  $U_{OR}$ .

$$D_{max} = \frac{U_{OR}}{(U_{min} - U_{DS}) + U_{OR}} = \frac{120}{(261 - 1) + 120} = 0,32.$$

**Стъпка 9:** Изчисляваме средната  $I_{AVG}$  и максималната  $I_P$  стойност на ток през първичната намотка и транзистора :

$$I_{AVG} = \frac{P_0}{(1 - \frac{K_p}{2})D_{max}} = \frac{40}{(1 - \frac{0,6}{2}) \cdot 0,32} = 0,191A,$$

$$I_P = \frac{I_{AVG}}{(1 - \frac{K_p}{2})D_{max}} = \frac{0,191}{0,7 \cdot 0,32} = 0,76A.$$

**Стъпка 10:** Изчисляваме ефективната стойност на тока на първичната намотка  $I_{RMS}$ :

$$I_{RMS} = I_P \sqrt{D_{max} \left( \frac{K_p^2}{3} - K_p + 1 \right)} = 0,76 \sqrt{0,32 \left( \frac{0,6^2}{3} - 0,6 + 1 \right)} = 0,344A.$$

**Стъпка 11:** Изчисляваме индуктивността на първичната намотка,  $L_p$ :

$$L_p = \frac{10^6 \cdot P_0}{I_P^2 \cdot K_p \cdot (1 - \frac{K_p}{2}) \cdot f_s} \cdot \frac{Z \cdot (1 - \eta) + \eta}{\eta} = \frac{10^6 \cdot 40}{0,76^2 \cdot 0,6 \cdot (1 - \frac{0,6}{2}) \cdot 66 \cdot 10^3} \cdot \frac{0,5 \cdot (1 - 0,8) + 0,8}{0,8} = 3,7mH$$

**Стъпка 12:** Определяме брой навивки на вторичната намотка  $N_s$ :

- Определяме броя слоеве на намотката  $L=2$ ;

При коефициент 0,6 навивки/волт се определя броя на навивките  $N_s$

-  $N_s=0,6 \cdot U_o=0,6 \cdot 20V=12$  навивки

**Стъпка 13:** Изчисляваме броя навивки на първичната намотка  $N_p$ , където  $U_d$  е пад на напрежението върху диода,  $U_d=0,6 V$



$$N_p = N_s \frac{U_{OR}}{U_o + U_d} = 12 \frac{120}{20 + 0,6} = 69,9.$$

**Стъпка 14:** След като сме изчислили  $N_p$  и  $N_s$  можем да определим коефициента на трансформация  $K_{tr}$

$$K_{tr} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{69,9}{12} = 5,82$$

**Стъпка 15:** Пресмятаме индуктивността на вторичната намотка,  $L_s$ :

$$L_s = \frac{L_p}{k_{tr}} = \frac{3,7 \cdot 10^3}{5,82^2} = 109,2 \mu$$

**Стъпка 16:** Пресмятаме максималния ток през вторичната намотка  $I_{SP}$ :

$$I_{SP} = I_p \frac{N_p}{N_s} = \frac{0,76 \cdot 69,9}{12} = 4,42 A$$

**Стъпка 17:** Пресмятаме ефективна (RMS) стойност на тока на вторичната намотка  $I_{SRMS}$ :

$$I_{SRMS} = I_{SP} \sqrt{(1 - D_{max}) \left( \frac{Kp^2}{3} - Kp + 1 \right)} = 4,42 \sqrt{(1 - 0,32) \left( \frac{0,6^2}{3} - 0,6 + 1 \right)} = 2,9 A$$

**Стъпка 18:** Пресмятаме ефективната стойност на тока през изходния кондензатор  $I_{RIPPLE}$ :

$$I_{RIPPLE} = \sqrt{I_{SRMS}^2 - I_0^2} = \sqrt{2,9^2 - 2^2} = 2,1 A$$

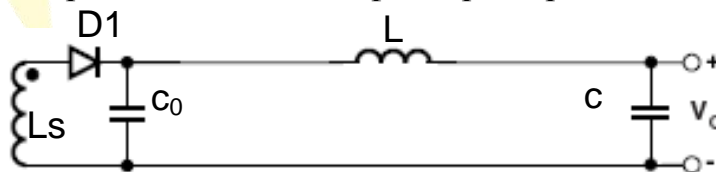
**Стъпка 19:** Избираме диод D1 по изчислените данни за токовете и напреженията SB540 със параметри:

- Обратно напрежение  $V_B = 40 V$
- Ток през диода  $I_D = 5 A$

**Стъпка 20:** Избираме изходен кондензатор  $C_0$ :

- $C_0 = 330 \mu F / 35 V$ .

**Стъпка 21:** Избираме  $L$ ,  $C$  изходен филтър според [1].



- Индуктивност  $L : 2,2 \mu H$
- Кондензатор  $C : 100 \mu F / 35 v$

**Стъпка 22.** Проверка чрез симулации на правилността на оразмеряване на силовата схема на стабилизатора. За провеждане на симулацията се използва софтуерният продукт LTSPICE IV.

На фиг.5.4 е показана схемата на симулираното устройство, като източникът V1 симулира източника на входно напрежение  $U_i$ . Източникът V2 симулира системата за управление, като при входно напрежение 243V,



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

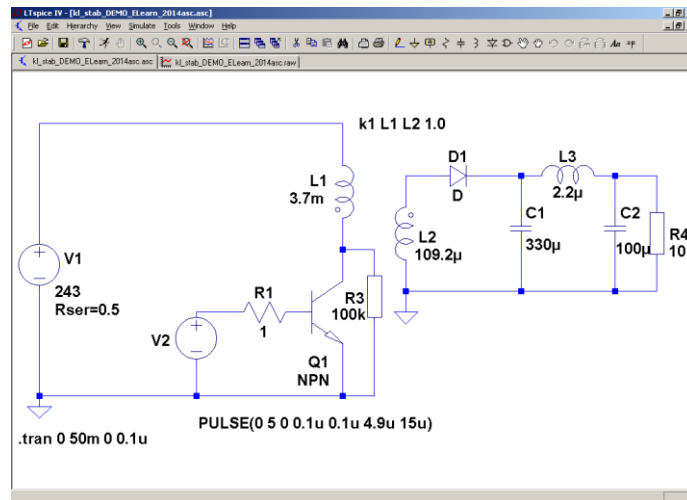
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

**Инвестира във вашето бъдеще!**

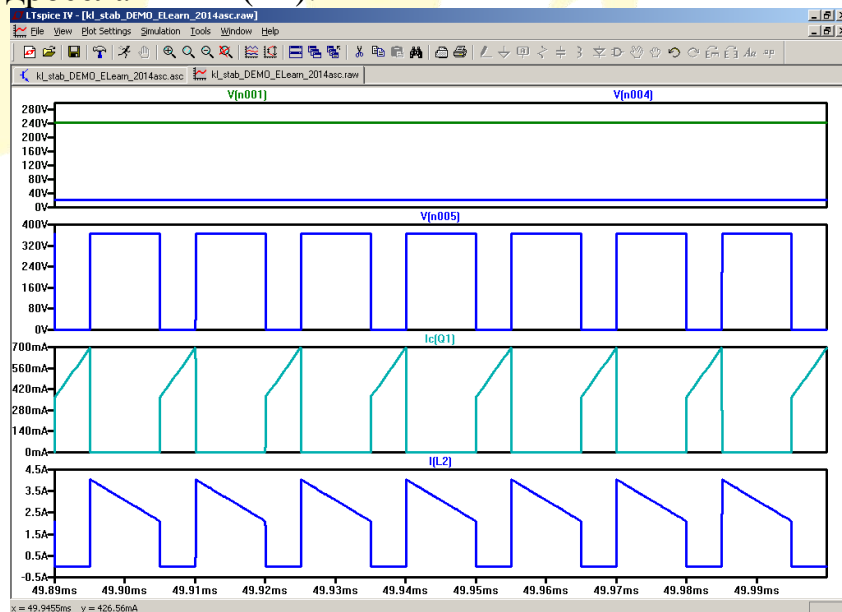


$\delta_{\min}=0,32$  т.е. продължителността на импулса управляващ транзистора е  $t_H = 0,322.15\mu s = 4,83\mu s$ . За да се получи товарен ток 2А, товарното съпротивление е 10 $\Omega$ .



Фиг.5.4

- На фиг.5.5 са показани в установен режим времедиаграмите на:
- напрежението в изхода на стабилизатора (върху товара) - (Vn004);
  - напрежението на входа на стабилизатора - (Vn001);
  - напрежението върху транзистора Q1 (Vn005);
  - тока през транзистора Ic(Q1);
  - тока през дросела L2 – I(L2).



Фиг. 5.5

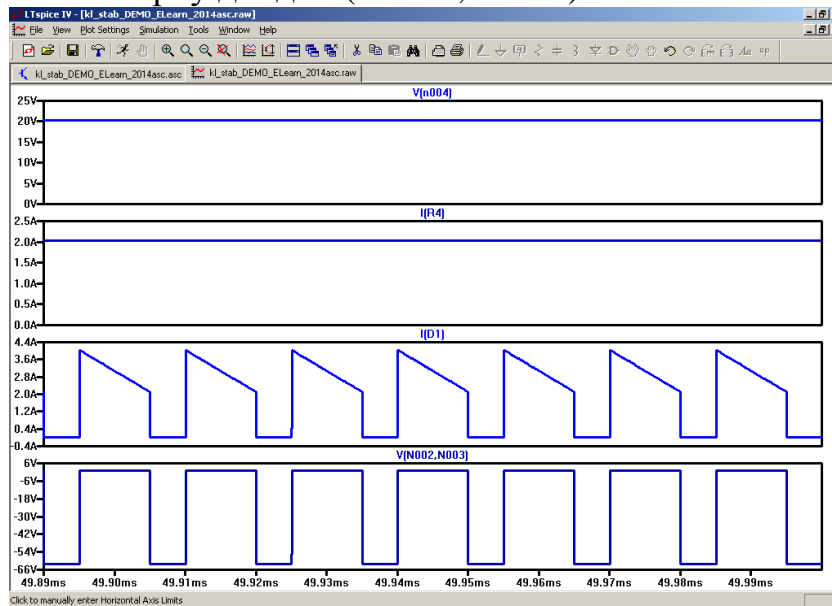
- На фиг.5.6 са показани в установен режим времедиаграмите на:
- напрежението в изхода на стабилизатора (върху товара) - (Vn004);
  - тока през товара R4 – I(L1).



**ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042**  
**„Организационна и технологична инфраструктура за учене през**  
**целия живот и развитие на компетенции”**  
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
**Инвестира във вашето бъдеще!**



- тока през диода D1 –  $I(D1)$ ;
- напрежението в върху диода - ( $V_{n002}, V_{n003}$ ).



Фиг.5.6

### Обобщение и изводи:

В представения пример за проектиране са изчислени всички необходими параметри за избор на елементите от силовата схема на ключовия стабилизатор на напрежение.

Със симулационното изследване на преобразувателя се потвърждава правилността на направените теоретични разсъждения и са представени съответните времедиаграми, от които могат да се отчетат и сравнят изчислените с измерените стойности.

### ОСНОВНА ЛИТЕРАТУРА

1. [www.powerint.com/TOPSwitch-GX](http://www.powerint.com/TOPSwitch-GX) Flyback Design Methodology Application Note AN-32
2. Стефанов Н., “Токозахранващи устройства”, Техника, С., 2005.
3. [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com) “Switch Mode Power Supply” – Reference manual 2002.
4. [www.linear.com](http://www.linear.com)



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*

*Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
**Инвестира във вашето бъдеще!***

