

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МЭИ»

ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

ТИПОВОЙ РАСЧЕТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ:
ЭЛЕКТРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
РЭС

Группа: ЭР-15-15
ФИО студента: ПОТРИКЕЕВА А.А.
Вариант: 6

ФИО преподавателя: ЖАБИН А.С.

Дата: _____
Подпись: _____

2018

Вариант 6. Спроектировать источник вторичного электропитания на основе понижающего сетевого трансформатора до 27В, двухтактного двухполупериодного выпрямителя переменного напряжения с емкостным фильтром и импульсным стабилизатором напряжения.

Исходные данные: входное напряжение $U_{вх} = \sim 110$ В, частота сети 400 Гц, выходное напряжение $U_{вых} = 15$ В, максимальная мощность в нагрузке $P_{нагр.макс} = 2$ Вт, максимальная амплитуда пульсаций на выходе $\Delta U_{п} = 0.05$ В.

В рамках расчета необходимо:

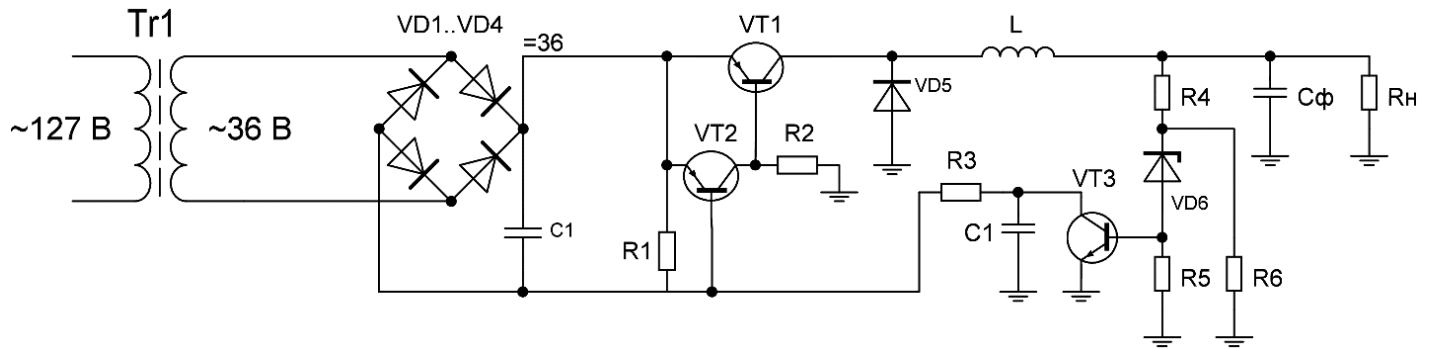
1. Обоснованно (путем анализа исходных данных) выбрать электрическую схему стабилизатора напряжения;
2. Изобразить полную электрическую схему устройства, на которой должны быть обозначены все элементы и все используемые в дальнейшем расчете токи и напряжения;
3. Обоснованно (путем анализа исходных данных) выбрать с использованием справочников типы используемых элементов (диоды, транзисторы, стабилитроны). Выписать значения всех используемых в расчете параметров элементов с указанием источника, из которого эти параметры были взяты;
4. Выполнить расчет номиналов элементов схемы, а также режимов работы используемых полупроводниковых приборов. Проверить, не превышены ли максимальные значения допустимых токов и напряжений;
5. Выполнить расчет конструктивных параметров трансформатора (тип сердечника, количество витков в обмотках);
6. Рассчитать КПД устройства в целом;
7. Сделать выводы по проделанной работе.

Пояснительная записка должна содержать все перечисленные этапы расчета.
Рекомендованная литература:

1. Костиков В.Г., Е.М.Парфенов, В.А.Шахнов. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: Учебник для вузов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2001. - 344с.
2. Коптев Г.И. Электропреобразовательные устройства и элементы электромеханики. Выпрямители, стабилизаторы, электродвигатели переменного тока: учебное пособие. –М.: Изд. Дом «МЭИ», 2007. – 140 с.
3. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005 – 632 с.
4. Хныков А.В. Теория и расчет трансформаторов. М.: Солон-Пресс, 2004.
5. Сидоров И.Н. Малогабаритные магнитопроводы и сердечники. Справочник. – М.: Радио и связь, 1989.
6. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: справочник. Под ред. А.В.Голомедова. – М.: Радио и связь, 1988.

7. Петухов В.М. Транзисторы и их зарубежные аналоги. Маломощные транзисторы. Справочник в 4 томах. Т. 1. Издание 2-е, исправленное. – М.: ИП Радиософт, 2000.
8. Петухов В.М. Транзисторы и их зарубежные аналоги. Биполярные транзисторы средней и большой мощности низкочастотные. Справочник в 4 томах. Т. 2. Издание 2-е, исправленное. – М.: ИП Радиософт, 2000.

Схема электропреобразующего устройства выглядит следующим образом:



Исходные данные:

$$U_{BX} = 110 \text{ В};$$

$$U_{ВЫХ} = 15 \text{ В};$$

$$P_{\text{нагр.макс}} = 2 \text{ Вт};$$

$$\Delta U_{\Pi} = 0,05 \text{ В};$$

$$f_{\text{сети}} = 400 \text{ Гц};$$

Выбор типов используемых элементов:

Транзисторы должны удовлетворять условиям:

$$I_{k.max} > \Delta I + I_{п.max};$$

$$U_{ke.max} > U_{BX} + E_{sm};$$

Вычислим ток в нагрузке:

$$I_{n.max} = \frac{P_{\text{нагр.макс}}}{U_{ВЫХ}} = \frac{2}{15} = 0.1334 \text{ А};$$

$$I_{k.max} > 0.1334 \text{ А};$$

$$U_{ke.max} > 137 \text{ В};$$

В качестве VT1 возьмем кремниевый P-N-P транзистор КТ896А. Его характеристики:

$$I_{k.maxVT1} = 20 \text{ А};$$

$$U_{ke.maxVT1} = 90 \text{ В};$$

$$h_{21VT1} = 750;$$

$$U_{ke.насVT1} = 2 \text{ В};$$

$$U_{eb.насVT1} = 1.4 \text{ В};$$

В качестве VT2 возьмем кремниевый P-N-P транзистор КТ3107А. Его характеристики:

$$I_{k.maxVT2} = 0.1 \text{ А};$$

$$U_{ke.maxVT2} = 45 \text{ В};$$

$$h_{21VT2} = 70;$$

$$U_{ke.насVT2} = 0.5 \text{ В};$$

$$U_{eb.насVT2} = 0.7 \text{ В};$$

В качестве VT3 возьмем кремниевый N-P-N транзистор КТ815А. Его характеристики:

$$I_{k.maxVT3} = 1.5 \text{ А};$$

$$U_{ke.maxVT3} = 40 \text{ В};$$

$$h_{21VT3} = 40;$$

$$U_{ke.насVT3} = 0.6 \text{ В};$$

$$U_{be.насVT3} = 0.7 \text{ В};$$

Диоды должны удовлетворять условиям:

$$I_{\text{прям}.max} > \frac{\Delta I}{2} + I_{п.max};$$

$$U_{обр.max} > 2U_{вх};$$

В качестве VD1-VD4 возьмем диоды КД206А. Их характеристики:

$$I_{\text{прям}.maxVD4} = 10 \text{ А};$$

$$I_{\text{прям} VD4} = 1 \text{ А};$$

$$U_{\text{прям VD4}} = 1.2 \text{ В};$$

$$U_{\text{обр.maxVD4}} = 400 \text{ В};$$

$$I_{\text{имп.maxVD4}} = 100 \text{ А};$$

В качестве VD5 возьмем диод 2Д215. Его характеристики:

$$I_{\text{прям.maxVD5}} = 10 \text{ А};$$

$$U_{\text{обр.maxVD5}} = 200 \text{ В};$$

В качестве VD6 возьмем диод КС213Ж. Его характеристики:

$$I_{\text{st.nom}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ А};$$

$$U_{\text{st.nom}} = 13 \text{ В};$$

Расчет номиналов элементов схемы:

Расчет стабилизатора:

Выбираем рабочую частоту преобразователя:

$$f_{\text{преобр}} = 10^5 \text{ Гц};$$

$$U_{\text{вх.тр}} = 27 \text{ В};$$

$$D = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх.тр}}} = \frac{15}{27} = 0.556;$$

$$L_{\text{min}} = \frac{U_{\text{вых}}(1 - D)}{2f_{\text{преобр}}I_{\text{n.max}}} = \frac{15(1 - 0.556)}{2 \cdot 10^5 \cdot 0.1334} = 24.963 \text{ мкГн};$$

$$\begin{aligned} C_{f2,\text{min}} &= \frac{U_{\text{вх.тр}} \sin(\pi D)}{2\pi^3 f_{\text{преобр}}^2 L_{\text{min}} \Delta U_{\text{п}}} = \frac{27 \sin(3.14 \cdot 0.556)}{2 \cdot 3.14^3 \cdot (10^5)^2 \cdot 24.963 \cdot 10^{-6} \cdot 0.05} = \\ &= \frac{0.823}{77.2833 \cdot 10^4} = 1.065 \text{ мкФ}; \end{aligned}$$

Найдем номиналы резистора R1:

$$I_{R1} = \frac{I_{n.max}}{h_{21VT1}} = \frac{0.1334}{750} = 0.178 \text{ мА};$$

$$R1 = \frac{U_{вх.тр} - U_{eb.насVT1}}{I_{R1}} = \frac{27 - 1.4}{0.178 \cdot 10^{-3}} = 143.82 \text{ кОм}$$

Найдем номиналы резистора R2:

$$I_{bVT2} = \frac{I_{R1}}{h_{21VT2}} = \frac{0.178 \cdot 10^{-3}}{70} = 2.543 \text{ мкА};$$

$$R2 = \frac{U_{eb.насVT2}}{I_{bVT2}} = \frac{0.7}{2.543 \cdot 10^{-6}} = 275,265 \text{ кОм}$$

Найдем номиналы резистора C1:

$$T = \frac{1}{f_{\text{преобр}}} = 2.3\tau; \text{ где } \tau = R_3 C_1;$$

Выберем номинал $R_3 = 5 \text{ кОм};$

Тогда

$$C_1 = \frac{1}{2.3 R_3 f_{\text{преобр}}} = \frac{1}{2.3 \cdot 5000 \cdot 10^5} = 869,56 \text{ пФ};$$

Найдем номиналы R_4, R_5, R_6 :

$$I_{bVT3} \geq 10 I_{bVT2};$$

Тогда:

$$I_{bVT3} = 10 I_{bVT2} = 10 \cdot 2.543 \cdot 10^{-6} = 25,43 \text{ мкА};$$

$$U_{R5} = U_{be.насVT3} = 0,7 \text{ В};$$

$$I_0 = I_{st.nom} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$R_5 = \frac{U_{R5}}{I_0} = \frac{0,7}{3 \cdot 10^{-3}} = 233.334 \text{ Ом};$$

Тогда:

$$U_{R4} = U_{\text{вых}} - U_{R5} - U_{st.nom} = 15 - 0,7 - 13 = 1,3 \text{ В};$$

$$R_4 = \frac{U_{R4}}{I_{st.nom}} = \frac{1,3}{3 \cdot 10^{-3}} = 433.334 \text{ Ом};$$

Проверка:

$$u = U_{st.nom} + I_{st.nom}(R_4 + R_5) = 15 \text{ В};$$

$$R_6 = \frac{(U_{be.насVT3} + U_{st.nom})}{I_{st.nom}} = \frac{0,7 + 13}{3 \cdot 10^{-3}} = 4,5667 \text{ кОм}$$

Расчет выпрямителя:

$$U_{\text{вх.тр}} = 27 \text{ В};$$

$$f_{\text{сети}} = 400 \text{ Гц};$$

Крутизна ВАХ диодов VD1-VD4:

$$S_{VD1_4} = \frac{I_{\text{прям VD4}}}{U_{\text{прям VD4}} - 0,6} = \frac{1}{1,2 - 0,6} = 1,667 \text{ См};$$

$$R_{n.v} = \frac{U_{\text{вх.тр}}}{I_{n.max}} = \frac{27}{0,1334} = 202.399 \text{ Ом};$$

Найдем:

$$\gamma_0 = \frac{2U_{\text{вх.тр}}}{R_{n.v}S_{VD1_4}U_{\text{вх.тр}}} = \frac{2 \cdot 27}{202.399 \cdot 1,667 \cdot 27} = 0,00593$$

$$\gamma_0(\theta) = \frac{1}{\pi}(\sin\theta - \theta\cos\theta)$$

Выбрав начальное приближение $\theta_0 = 0,1$, тогда с помощью функции root пакета matcad найдем угол отсечки:

$$\theta = 0,384;$$

$$\cos\theta = 0,927;$$

Тогда:

$$I_{VD1_4} = \frac{S_{VD1_4}}{2} U_{\text{вх.тр}} (1 - \cos \theta) = \frac{1.667}{2} 27 (1 - 0.927) = 1.643 \text{ A};$$

Обратное напряжение :

$$U_{\text{обр}} = \frac{(U_{\text{вх.тр}} + U_{\text{вх.тр}})}{2} = 27 \text{ В};$$

Так как:

$$\gamma_n(\theta, n) = \frac{2 (\sin n\theta \cos \theta - n \sin \theta \cos n\theta)}{\pi n(n^2 - 1)};$$

При n = 2:

$$\gamma_n(\theta, 2) = 0.011$$

Тогда:

$$C_{f1} = \frac{S_{VD1_4}}{4} * \frac{U_{\text{вх.тр}} \gamma_n(\theta, 2)}{\Delta U_{\pi} \pi f_{\text{сети}}} = \frac{1.667}{4} * \frac{27 \cdot 0.011}{0.05 \cdot 3.14 \cdot 400} = 1.971 \text{ мФ};$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{\pi} * (\theta - \sin \theta \cos \theta) = 0.012;$$

$$P_{n.tr} = \frac{S_{VD1_4} U_{\text{вх.тр}}^2 \gamma_1}{4} = \frac{1.667 \cdot 27^2 \cdot 0.012}{4} = 7.2915 \text{ Вт};$$

$$\eta_{\text{вып}} = \frac{P_{\text{нагр.макс}}}{P_{\text{нагр.макс}} + P_{n.tr}} = \frac{2}{2 + 7.2915} = 0.2153 = 21.53\%$$

Расчет трансформатора:

Пусть КПД трансформатора равно: $\eta_{\text{транс}} = 97\%$

Выбираем броневого Ш-образный сердечник, с параметрами:

$$y = -0.12$$

$$B_m = 1.2 \text{ Тл}$$

$$K_j = 366 \frac{\text{А}}{\text{см}^2} = 0.0366 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

$$K_u = 0.4$$

$$P_{\text{тр.сумм.}} = P_{n.tr} \left(1 + \frac{1}{\eta_{\text{транс}}} \right) = 7,2915 \left(1 + \frac{1}{0,97} \right) = 14,809 \text{ Вт}$$

$$S_{\text{сумм.}} = \left(\frac{P_{\text{тр.сумм.}}}{\sqrt{2} \pi B_m f_{\text{сети}} K_j K_u} \right)^{\frac{1}{1+y}} = \left(\frac{14.809}{\sqrt{2} \cdot 3.14 \cdot 1.2 \cdot 400 \cdot 0.0366 \cdot 0.4} \right)^{1.1364} =$$

$$S_{\text{сумм.}} = 12,21 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2$$

Выбираем сердечник:

Тип ШП 17х17 с параметрами:

$$S_c = 2,87 \text{ см}^2; S_o = 3,97 \text{ см}^2;$$

$$S_c \cdot S_o = 11,394;$$

$$I_{\text{ср}} = 12.4 \text{ см}; I_{\text{витка}} = 10,51 \text{ см};$$

Если

$$U_{1д} = 115 \text{ В};$$

Число витков в первичной обмотке:

$$W_1 = \frac{U_{1д}}{\sqrt{2} \pi B_m f_{\text{сети}} S_c \cdot 10^{-4}} = \frac{115}{\sqrt{2} \cdot 3.14 \cdot 1.2 \cdot 400 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4}} = 469.97 ;$$

$$I_{1д} = \frac{P_{n.tr}}{U_{1д} \eta_{\text{транс}}} = \frac{7.2915}{115 \cdot 0.97} = 0.065 \text{ А};$$

Сечение провода первичной обмотки:

$$j = K_j(S_c \cdot S_o)^y = 366(11,394)^{-0.12} = 273.325 \frac{\text{А}}{\text{см}^2}$$

$$S_{M1} = \frac{I_{1д}}{j10^{-2}} = \frac{0.065}{273.325 \cdot 10^{-2}} = 0.024 \text{ мм}^2;$$

Выбираем провод:

$$D = \sqrt{\frac{4S_{M1}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.024}{3.14}} = 0.175 \text{ мм}$$

В соответствии с этим выбираем провод 0,07 мм.

Количество витков во второй обмотке:

$$\text{т. к. } U_{2д} = U_{1д} \cdot \frac{W_2}{W_1} = 27 \text{ В};$$

Тогда:

$$W_2 = U_{2д} \frac{W_1}{U_{1д}} = 36 \frac{469,97}{115} = 110,14;$$

$$I_{2д} = \frac{1}{2} S_{VD1-4} U_{\text{вх.тр}} \gamma_1 = 0,5 \cdot 1,667 \cdot 27 \cdot 0,012 = 0,27 \text{ А};$$

Выбираем сечение провода вторичной обмотки:

$$S_{M2} = \frac{I_{2д}}{j10^{-2}} = \frac{0.27}{273.325 \cdot 10^{-2}} = 0.099 \text{ мм}^2;$$

$$D = \sqrt{\frac{4S_{M2}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.099}{3.14}} = 0.355 \text{ мм}$$

В соответствии с этим выбираем провод 0,5 мм.

Общий КПД схемы:

$$\eta = \eta_{\text{транс}} \eta_{\text{вып}} = 0,97 \cdot 0,2153 = 20,9 \%$$

Вывод: в ходе проведения расчета было установлено

- 1) вторичный источник электропитания обеспечивает стабилизацию: напряжение, ток и другие параметры на выходе источника питания должны лежать в определенных пределах, в зависимости от его назначения при влиянии большого количества дестабилизирующих факторов, таких как изменение напряжения на входе, изменения тока нагрузки и т.д.;
- 2) источник питания обеспечивает передачу заданной мощности с некоторыми потерями и соблюдением заданных характеристик на выходе;
- 3) осуществляется преобразование переменного напряжения промышленной частоты в постоянное.