

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Институт электроники и телекоммуникаций

Высшая школа прикладной физики и космических технологий

КУРСОВАЯ РАБОТА

«Источник вторичного электропитания»

по дисциплине «Основы компьютерного проектирования и моделирования
радиоэлектронных средств»

направление 11.03.02 — «Инфокоммуникационные технологии и системы
связи»

Вариант 23

Выполнил

студент гр. 4931102/20101

Попов А. А.

Преподаватель

Ассистент *ВШПФuКТ*:

Н.В. Куликов

«___» _____ 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

Оглавление

Техническое задание	3
Вариант 23.	3
Структурная схема	4
Принципиальная схема	5
Моделирование каждого блока в среде micro-cap.....	8
Напряжения на входе и выходе каждого блока.....	8
Проверка соответствия техническому заданию выходного напряжения.....	13
Токи на входе и выходе каждого блока.....	15
Расчет КПД.....	17

Техническое задание

Разработать и смоделировать источник вторичного электропитания (ИВЭП) с бестрансформаторным входом.

Блок питания должен работать от заданного входного напряжения $\pm 20\%$.

Значение выходного напряжения 24 В. Максимальный
выходной ток 2 А

Выходное напряжения должно меняться не более 4% от номинального во всем диапазоне значений выходного тока и входного напряжения.

Коэффициент пульсаций выходного напряжения должен быть не более 0.03

Вход и выход ИВЭП должны быть гальванически развязаны.

Структурная схема блока питания может содержать:

- инвертор
- импульсный трансформатор
- выпрямители
- сглаживающие фильтры
- схему стабилизации

Вариант 23.

Входное напряжение: напряжение переменного тока (АС). Действующее значение 36 В.
Частота 50 Гц.

Структурная схема

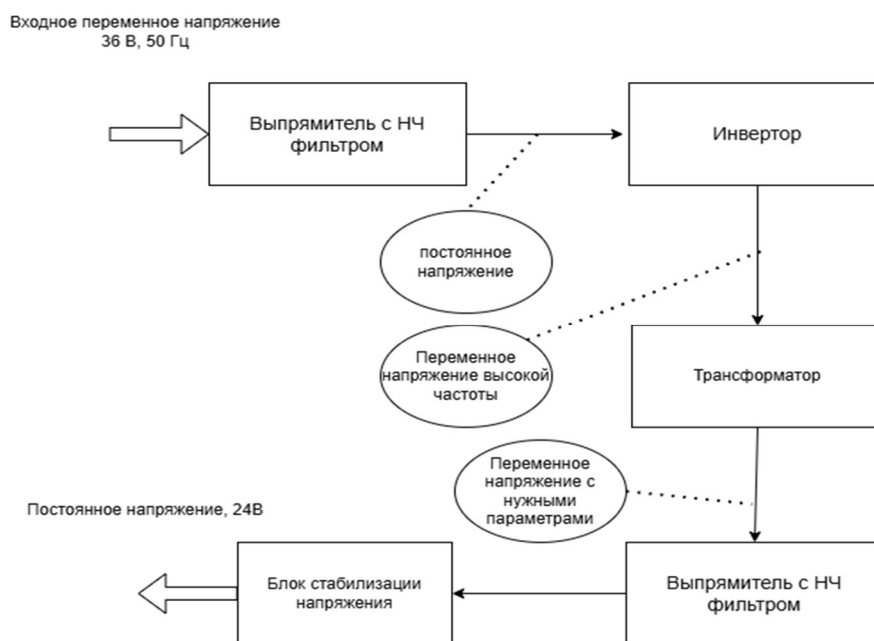


Рис. 1 Структурная схема устройства

Согласно ТЗ, необходимо разработать импульсный блок питания (ИБП) с безтрансформаторным входом и гальванической развязкой входа и выхода.

Для выполнения последнего условия трансформатор необходим, но он будет находиться после инвертора, на выходе которого будет импульсное напряжение высокой частоты, в результате чего повысится его эффективность и снизятся массогабаритные параметры.

Для работы инвертора необходимо постоянное напряжение, поэтому входной выпрямитель преобразует переменное синусоидальное напряжение сети в постоянное. LC Фильтр на его выходе позволяет снизить коэффициент пульсаций.

После трансформатора переменное напряжение нужной амплитуды необходимо снова выпрямить, для чего опять же был использован выпрямитель со сглаживающим фильтром, чтобы уменьшить шум на выходе устройства.

Одним из пунктов технического задания является максимальное отклонение выходного напряжения (4%) от номинального во всем диапазоне значений выходного тока, а также работа устройства от заданного входного напряжения $\pm 20\%$. Чтобы обеспечить эти условия были использованы два параллельных линейных стабилизатора напряжения.

Принципиальная схема

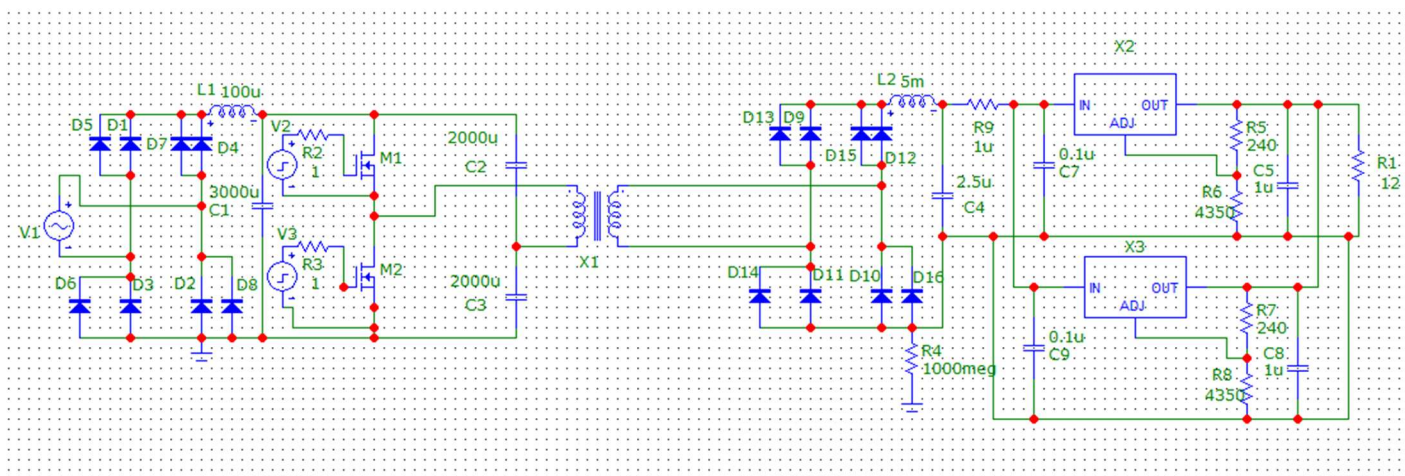


Рис. 2 Принципиальная электрическая схема

Источник питания Voltage Source генерирует синусоидальное напряжение, частотой 50 Гц и амплитудой примерно 51 В.

В качестве выпрямителя выбрана мостовая схема Греча, так как она обеспечивает небольшой коэффициент пульсаций, кроме того, благодаря тому, что частота возрастает в 2 раза, пульсации легче сгладить. Выбраны выпрямительные диоды SF 25 из библиотеки Micro-Cap. Они обладают большим обратным напряжением пробоя (300В), чего более, чем достаточно для проектируемого устройства. Для работы с большими токами их стоит сразу по 2. В сглаживающем LC фильтре емкость снижает пульсации напряжения, а катушка не позволяет развиваться большим токам на конденсаторе во время подключения устройства к сети.

Выпрямитель и сглаживающий фильтр представлены на рис. 3

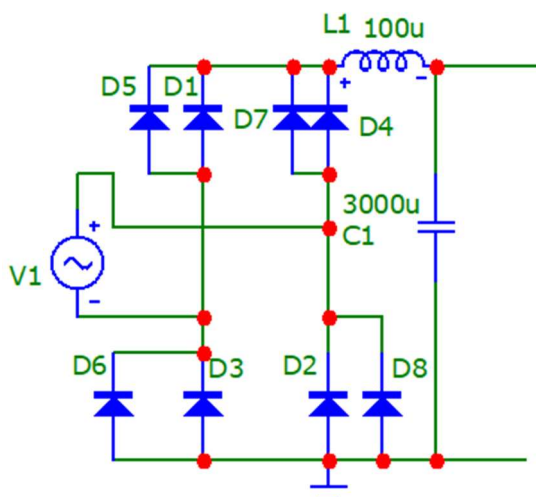


Рис. 3 Выпрямитель и сглаживающий фильтр

В качестве инвертора была выбрана полумостовая схема на силовых транзисторах, так как она оптимальна для относительно маломощных (до 500 Вт) схем, благодаря своей простоте и надежности. Были выбраны транзисторы

N-канальные полевые транзисторы 2N6756, так как они подходят для работы с напряжением в достаточно большом диапазоне напряжения и тока (предельно допустимое напряжение сток-исток 100В, максимальный ток сток-исток 14 А).

Управляющие импульсы подаются с частотой 10 кГц.

Конденсаторы C2 и C3 предназначены для предотвращения насыщения трансформатора, который следует далее по схеме.

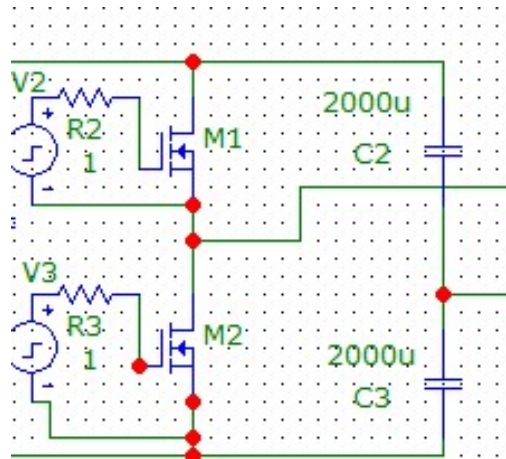


Рис. 4 Схема инвертора

Был выбран идеальный трансформатор второго типа из библиотеки Micro-Cap, у которого единственным параметром является коэффициент магнитосвязи, что облегчает его настройку.

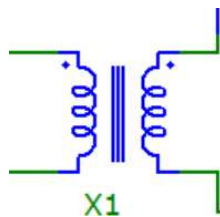


Рис. 5 Схема трансформатора

Выходной блок выпрямителя и сглаживающего фильтра такой же, как и входной, за исключением LC – параметров, индуктивность составляет 5мГн, емкость 2.5 мкФ. Резистор 1000 МОм был добавлен для корректной работы программы, представляет собой сопротивление изоляции.

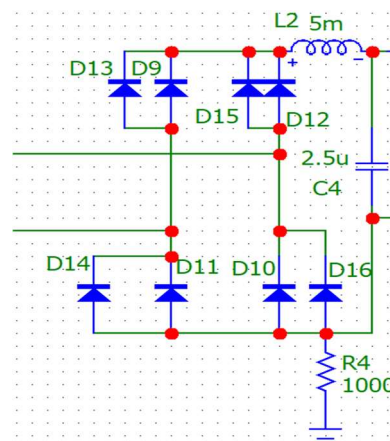


Рис. 6 Схема выходного блока выпрямителя и фильтра

Наконец для стабилизации выходного напряжения была использована схема на двух параллельных линейных стабилизаторах (так как максимальный выходной ток ИВЭП по ТЗ составляет 2 А, а у используемого линейного стабилизатора максимальных выходной ток 1.5 А), состоящая из пар резисторов, ограничивающих конденсаторов и линейных стабилизаторов (LM117). Были подобраны параметры, обеспечивающие стабилизацию выходного напряжения согласно ТЗ.

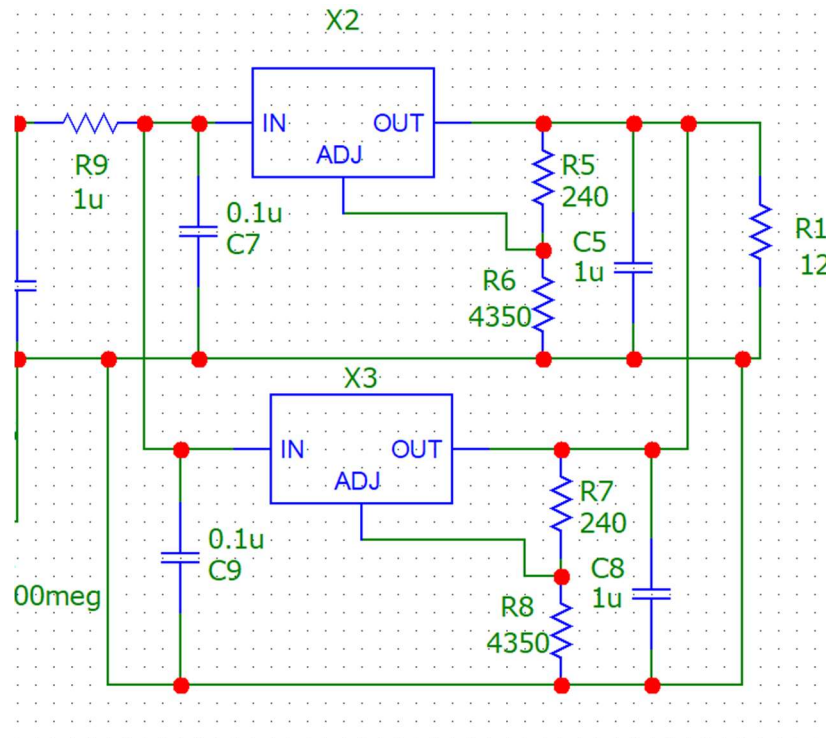


Рис. 7 Схема линейной стабилизации напряжения

Моделирование каждого блока в среде micro-sap

Напряжения на входе и выходе каждого блока

1) Сетевой выпрямитель и сглаживающий фильтр

Напряжения на входе (красная) и выходе(зеленая) выпрямителя и фильтра во временной и частотной области:

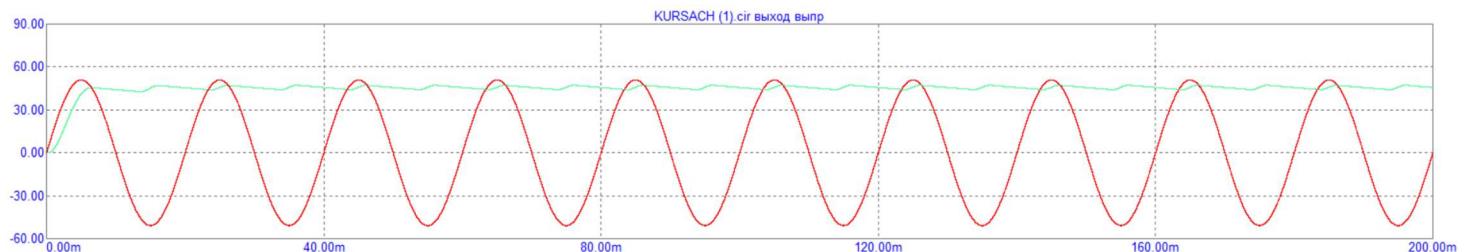


Рис. 8 Напряжения на входе и выходе выпрямителя и фильтра во временной области

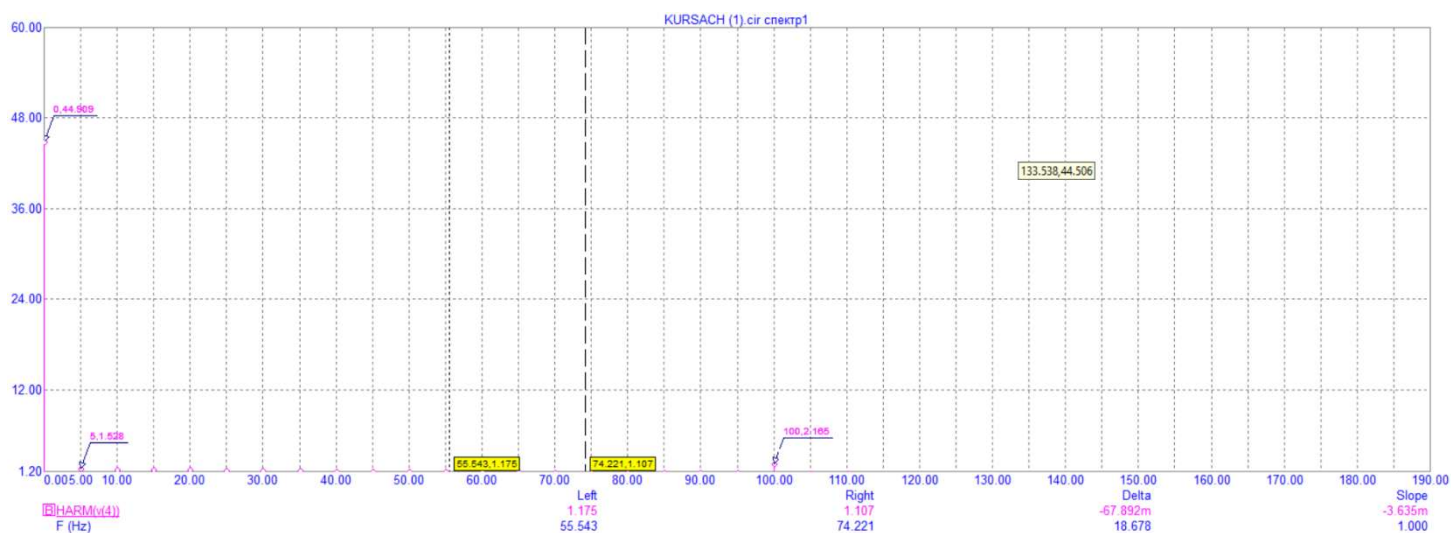


Рис. 9 Напряжения на выходе сетевого выпрямителя и фильтра в частотной области

Напряжения на входе сетевого выпрямителя и фильтра в частотной области:

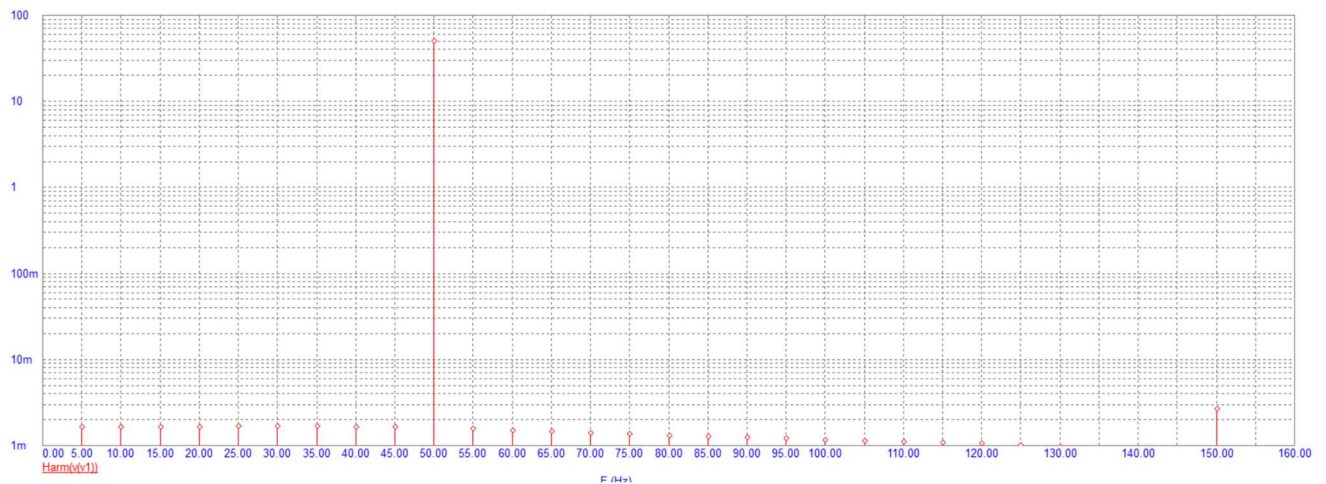


Рис. 10 Напряжения на входе сетевого выпрямителя и фильтра в частотной области

Из полученных зависимостей видно, что после этого блока напряжение выпрямлено и имеет небольшие пульсации с частотой 100 Гц, так как выпрямитель удваивает частоту переменного напряжения.

2) Инвертор

Напряжение на входе инвертора соответствует напряжению на выходе сглаживающего фильтра.

Напряжение на выходе инвертора:

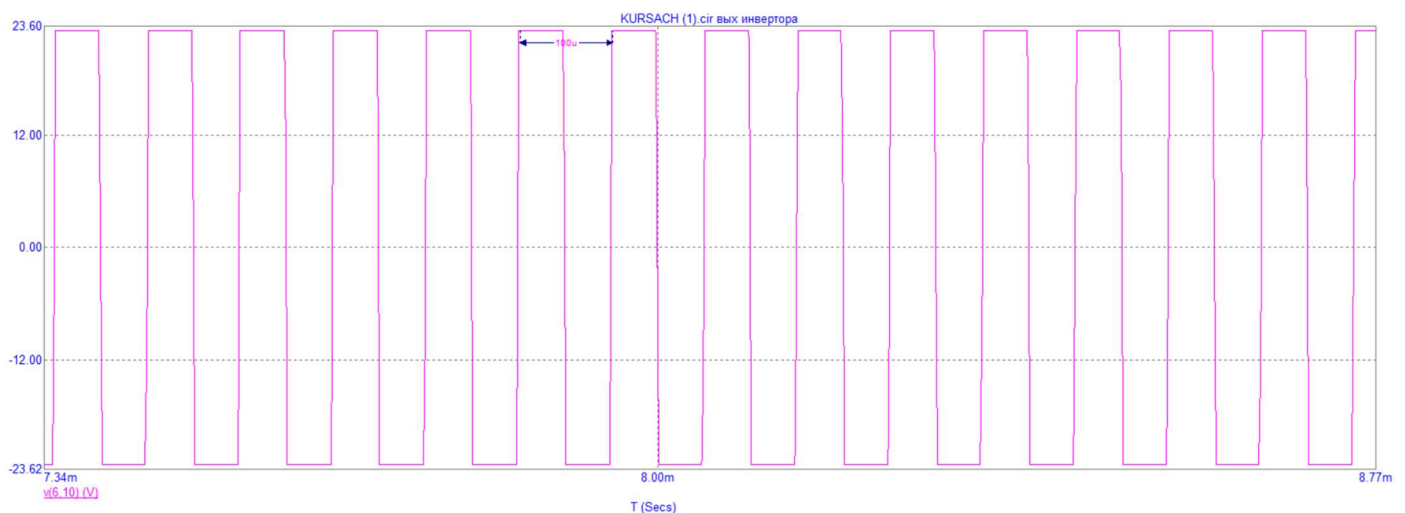


Рис. 11 Напряжение на выходе инвертора

На выходе инвертора получили практически идеальные прямоугольные импульсы с частотой 10 кГц.

Напряжение на выходе инвертора в частотной области:

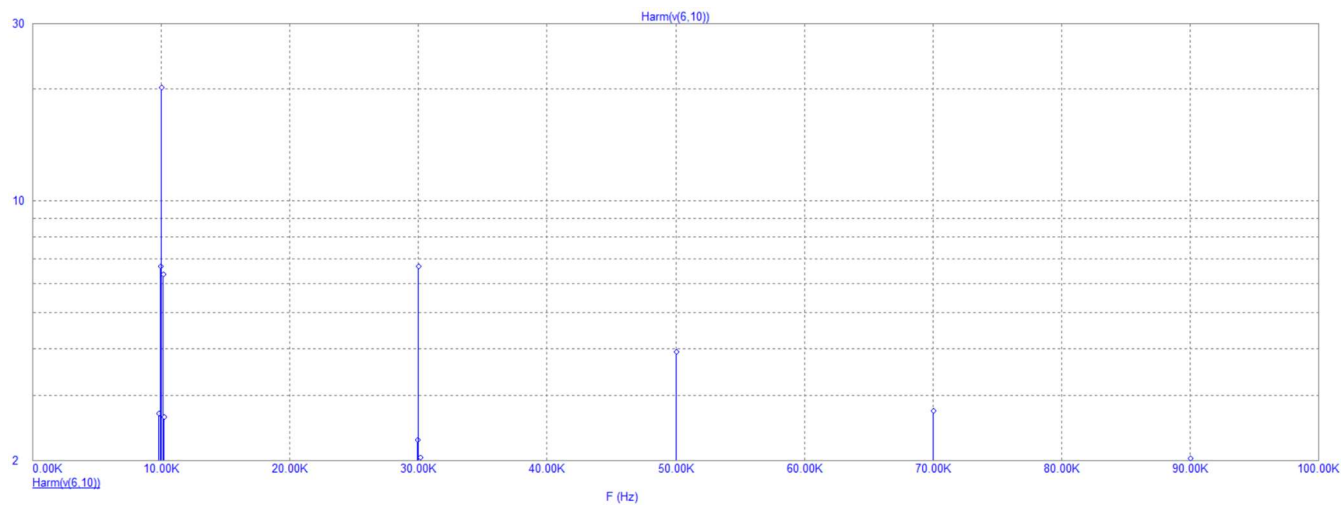


Рис. 12 Напряжение на выходе инвертора в частотной области

Присутствует основная гармоника на частоте 10 кГц.

3) Трансформатор

Напряжение на входе трансформатора соответствует напряжению на выходе инвертора, но увеличилась амплитуда.

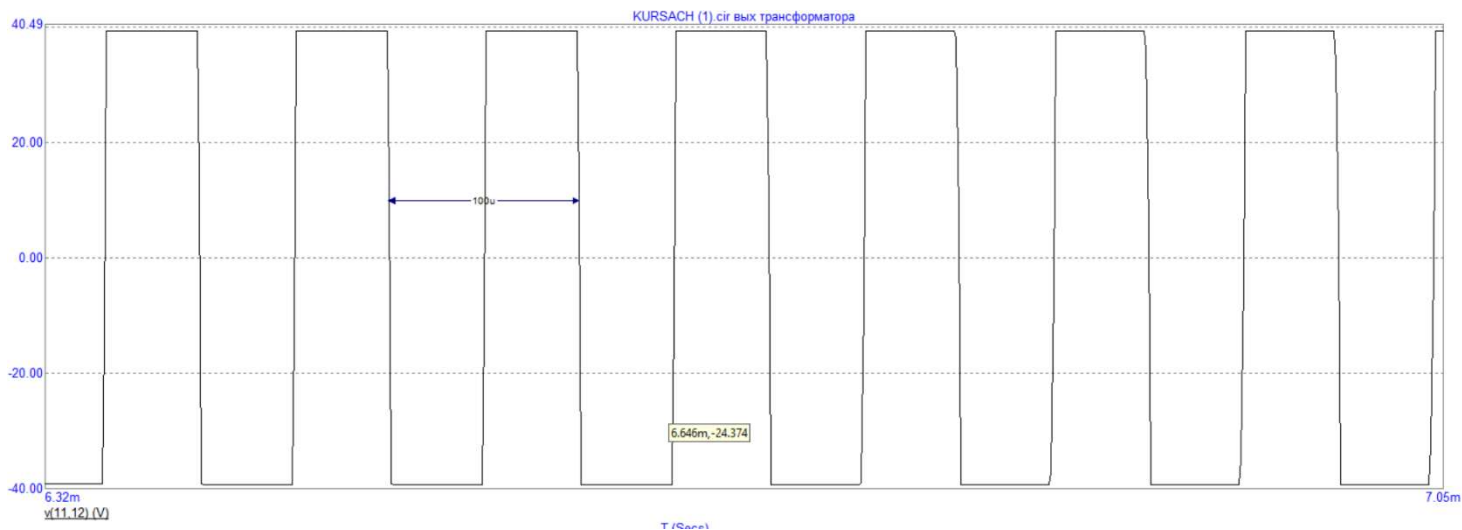


Рис. 13 Напряжение на входе и выходе трансформатор

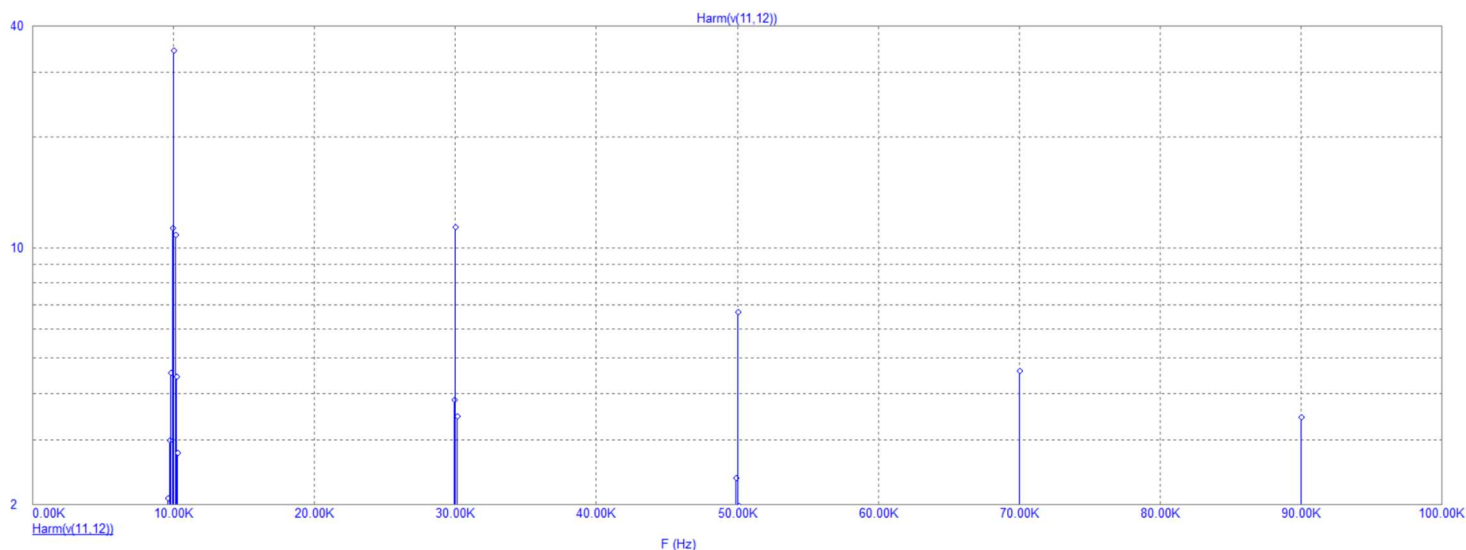


Рис. 14 Напряжение на выходе трансформатора в частотной области

Видно, изменилась амплитуда напряжения, согласно заданному коэффициенту трансформации.

4) Выходные выпрямитель и сглаживающий фильтр

Напряжение на входе этого блока соответствует напряжению на выходе трансформатора.

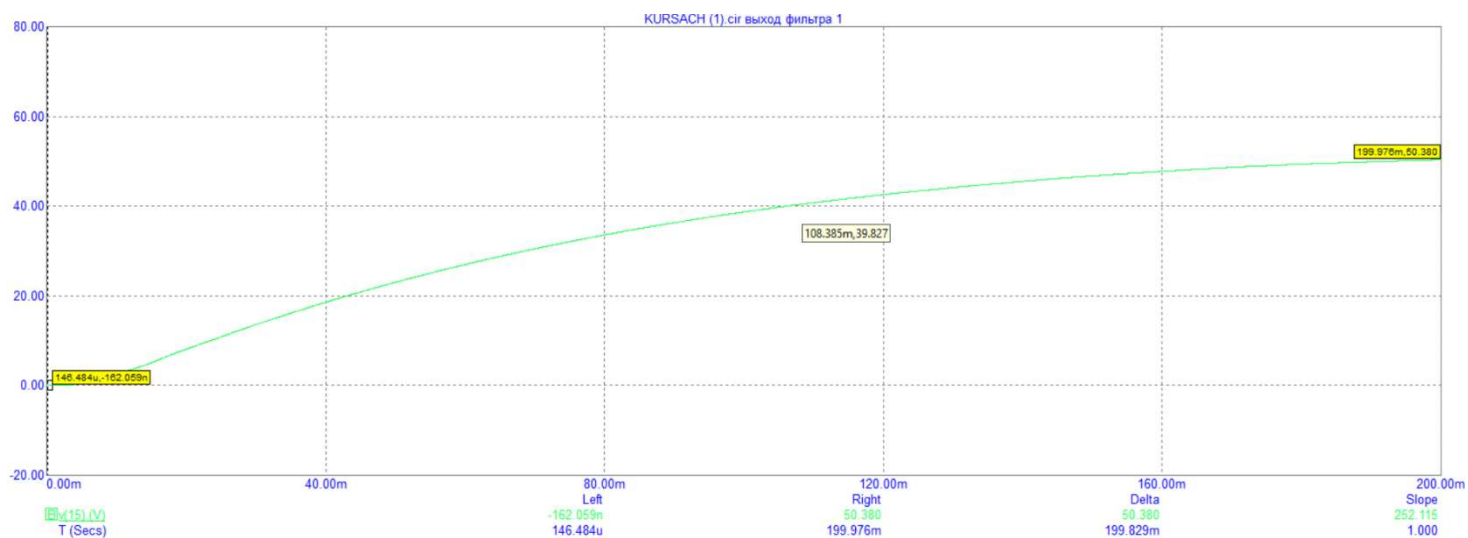


Рис. 15 Напряжение на выходе выпрямителя и сглаживающего фильтра

Напряжение на выходе выпрямителя в частотной области:

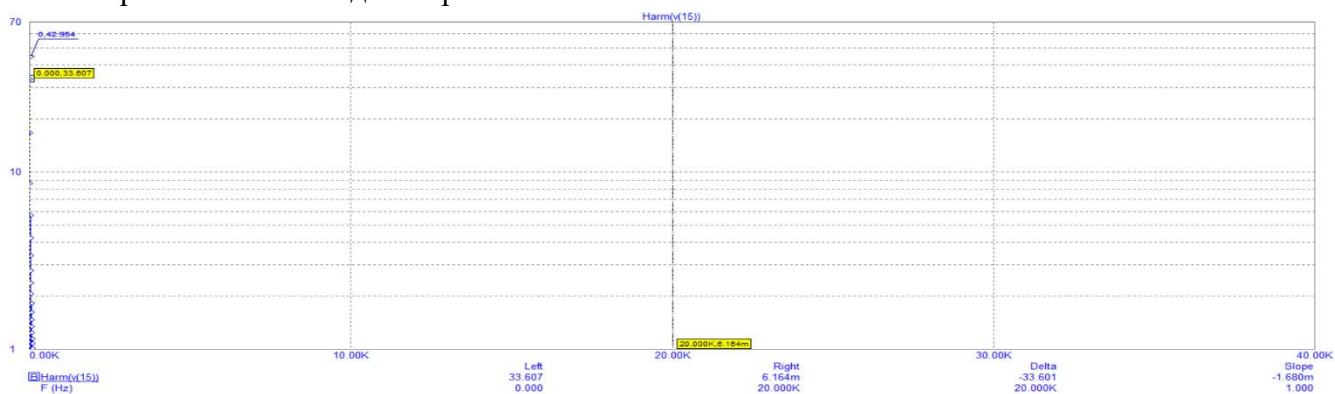


Рис. 16 Напряжение на выходе выпрямителя и сглаживающего фильтра

5) Линейный стабилизатор

Напряжение на входе линейного стабилизатора соответствует напряжению на выходе сглаживающего фильтра.

Напряжение на выходе стабилизатора является напряжением на нагрузке.



Рис. 17 Напряжение на выходе линейного стабилизатора



Рис. 18 Напряжение на выходе линейного стабилизатора в частотной области

Расчет коэффициента пульсаций:

$$k_{\text{п}} = \frac{U_{m1}}{U_{m0}} = \frac{5,891 * 10^{-3}}{23,452} = 2,5 * 10^{-4}$$

Это соответствует техническому заданию.

Проверка соответствия техническому заданию выходного напряжения

Для того, чтобы проверить соответствует ли выходное напряжение заданному в ТЗ диапазону при изменении входного напряжения на 20%, поставим минимальную нагрузку равную 12 Ом и рассмотрим крайние случаи изменения входного напряжения. Так как выходное напряжения должно меняться не более 4% от номинального во всем диапазоне значений выходного тока и входного напряжения, то диапазон выходного напряжения: [23.04, 24.96] В

- $U_{BX\ m} = 50.91 - 20\% = 40.73\ (В)$

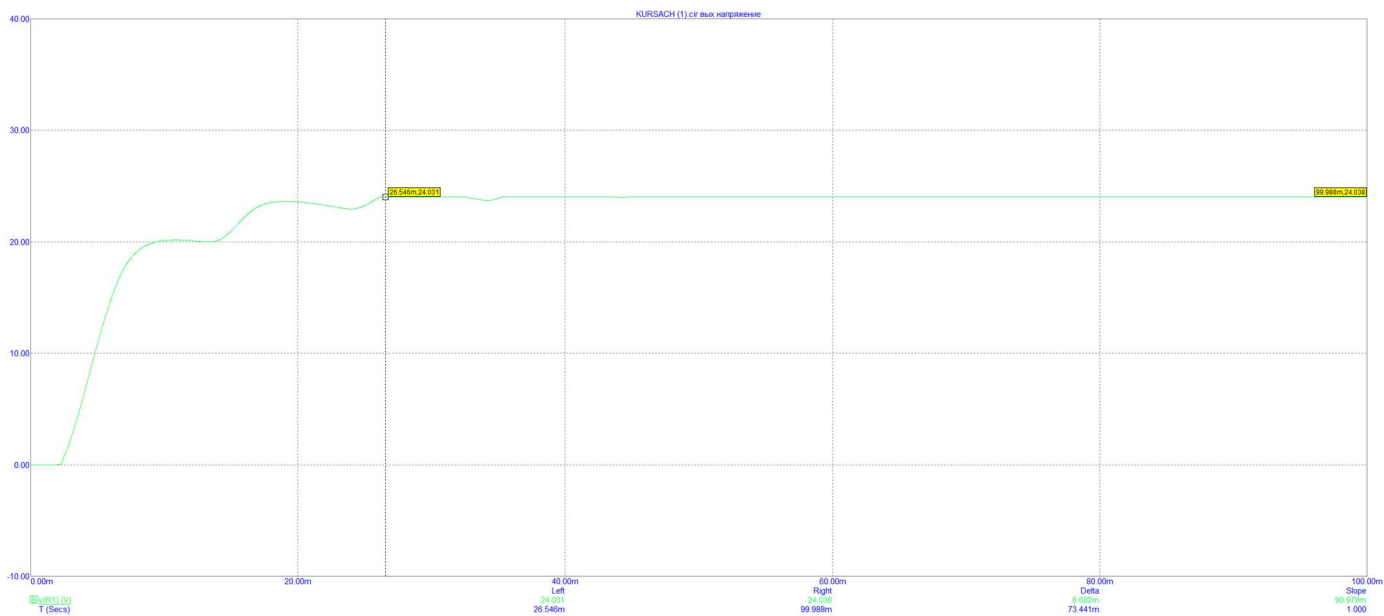


Рис. 19 Напряжение на выходе при минимальном допустимом входном напряжении

$U_{ВЫХ} = 24.038\ В$, что входит в необходимый диапазон

- $U_{BX} = 50.91 + 20\% = 61.09\ (В)$



Рис. 20 Напряжение на выходе при максимальном допустимом входном напряжении

$U_{ВЫХ} = 24.108\ В$, что так же входит в необходимый диапазон.

Чтобы проверить соответствие выходного напряжения диапазону, заданному в ТЗ во всем диапазоне выходных токов необходимо зафиксировать входное напряжение на номинальном и менять сопротивление нагрузки. Минимально сопротивление нагрузки 12 Ом, максимальный ток 2 А.

- $R_H = 12 \text{ Ом}$



Рис. 21 Напряжение и ток на выходе при максимальном допустим ом выходном токе

$U_{\text{вых}} = 24 \text{ В}$. Максимальный выходной ток равен 2.006 А, что соответствует ТЗ.

- $R_H = 1000 \text{ МОм}$

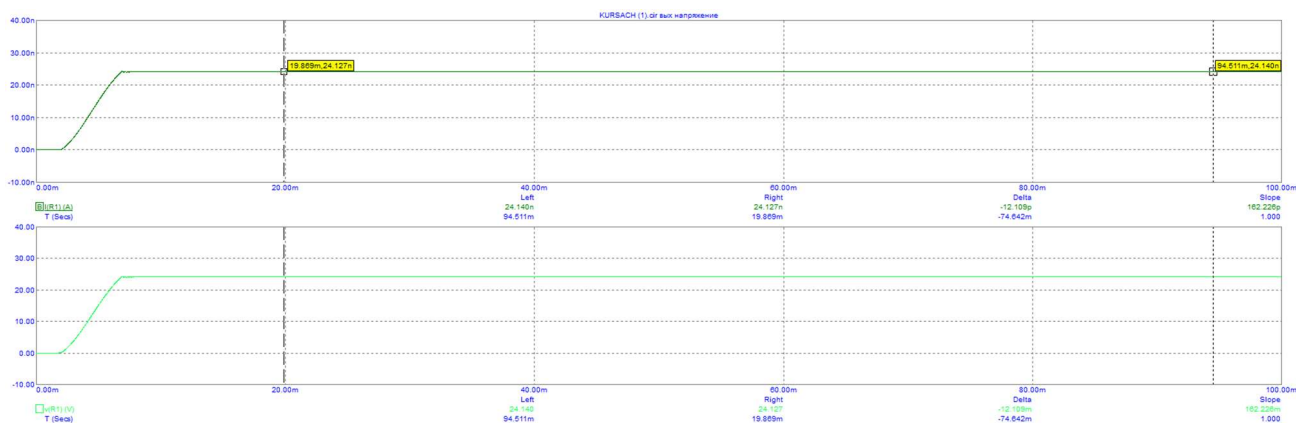


Рис. 22 Напряжение на выходе при максимальном допустим входном токе

$U_{\text{вых}} = 24.127 \text{ В}$, $I_{\text{вых}} = 24.140 \text{ нА}$

Полученные напряжения попадают в допустимы диапазон, значит ТЗ выполнено.

Токи на входе и выходе каждого блока

1) Сетевой выпрямитель и сглаживающий фильтр Верхний

график – ток на входе, нижний – ток на выходе.

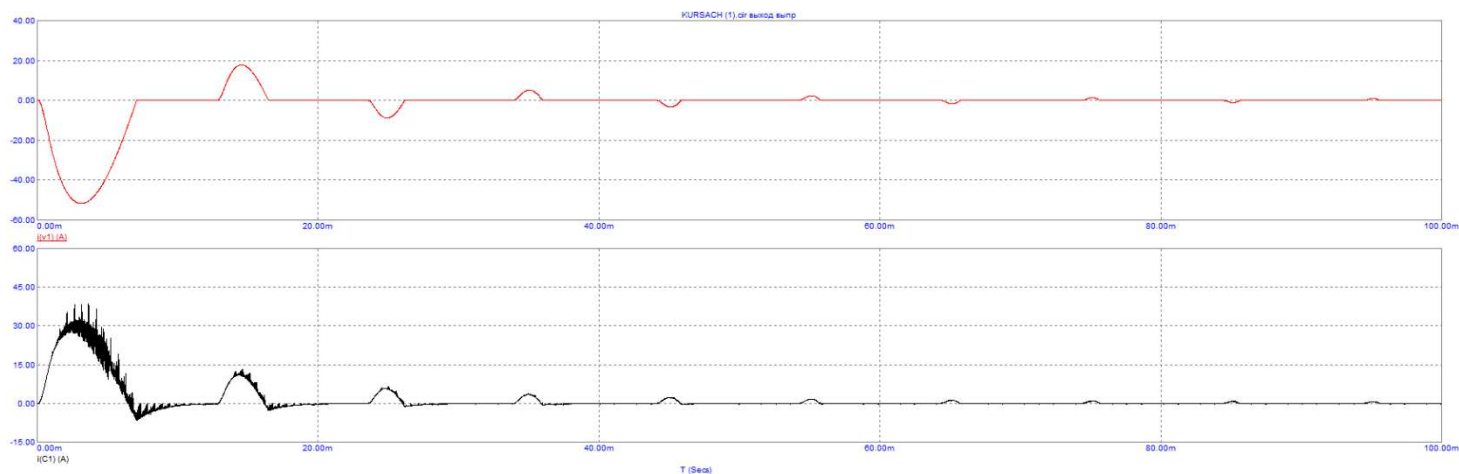


Рис. 23 Токи на входе и выходе выпрямителя и фильтра

2) Инвертор

Ток на входе инвертора соответствует току на выходе предыдущего блока.



Рис. 24 Ток на выходе инвертора

3) Трансформатор

Ток на входе трансформатора соответствует току на выходе инвертора.

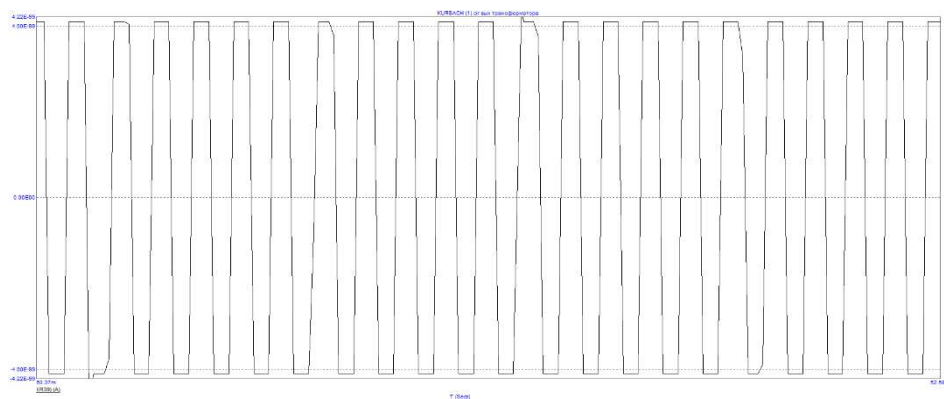


Рис. 25 Ток на выходе трансформатора

4) Выходные выпрямитель и сглаживающий фильтр

Ток на входе этого блока соответствует току на выходе трансформатора.

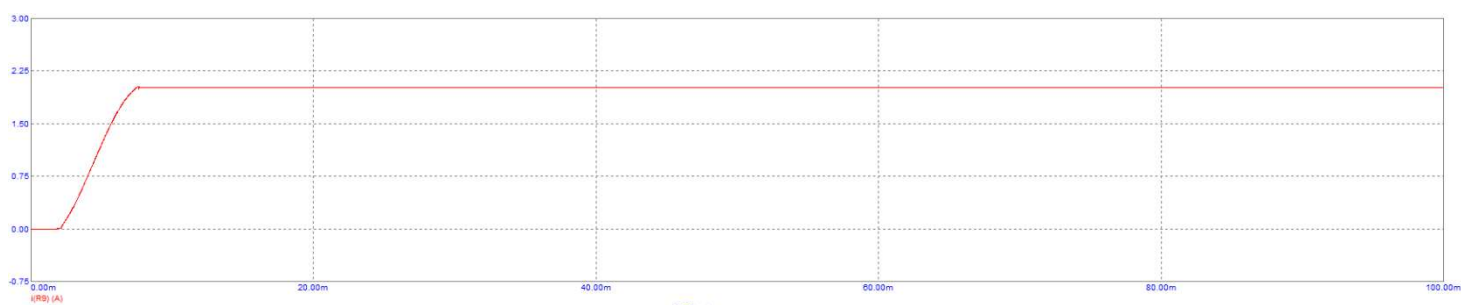


Рис. 26 Ток на выходе блока выходного выпрямителя и фильтра

5) Линейный стабилизатор

Ток на входе линейного стабилизатора соответствует току на выходе сглаживающего фильтра. Ток на выходе стабилизатора является током нагрузки.

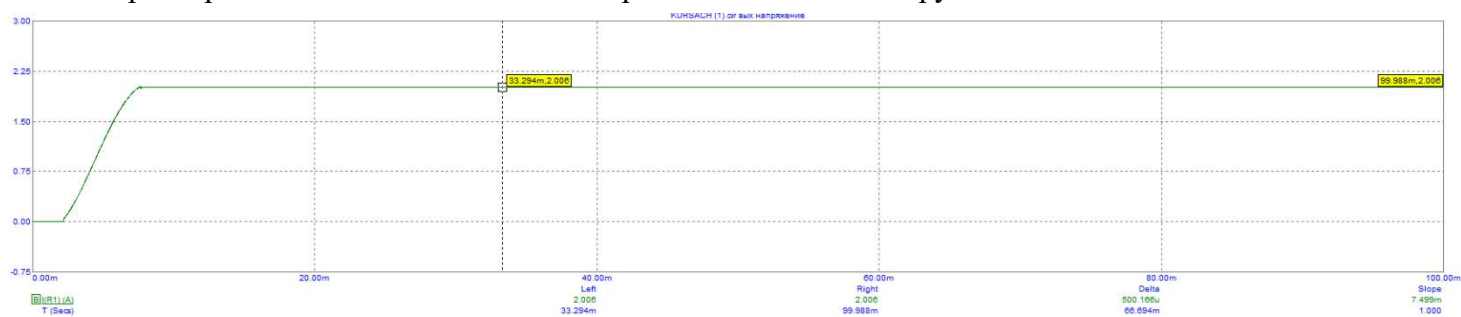


Рис. 27 Ток на выходе линейного стабилизатора

Максимальный выходной ток равен 2.006 А, что соответствует ТЗ.

Сигналы управления ключами инвертора Частота переключения инвертора равна 10 кГц. Ширина управляющих импульсов 46 мкс.

Сигналы управления ключами инвертора:

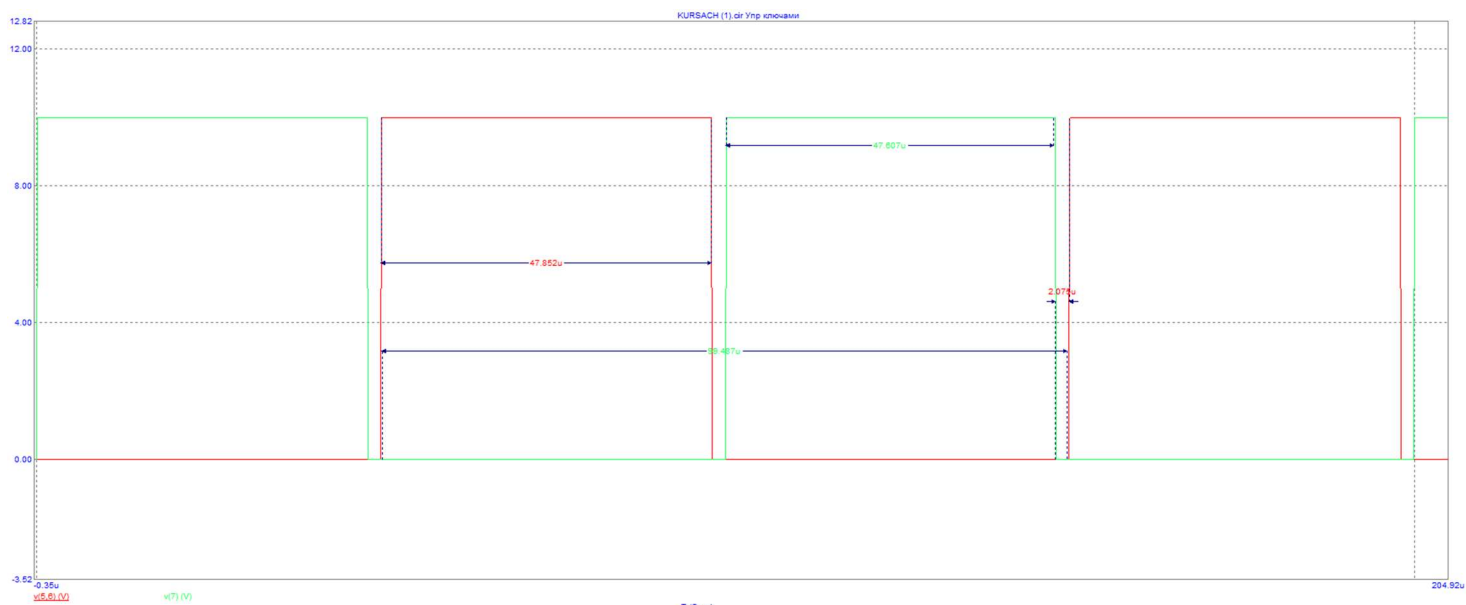


Рис. 28 Сигналы управления ключами инвертора

Расчет КПД

1) Сетевой выпрямитель и сглаживающий фильтр



Рис. 29 Мощности на входе и выходе первого блока

$$\eta = \frac{110.693}{139.382} = 80\%;$$

Рассеивается 28.6 Вт

2) Инвертор

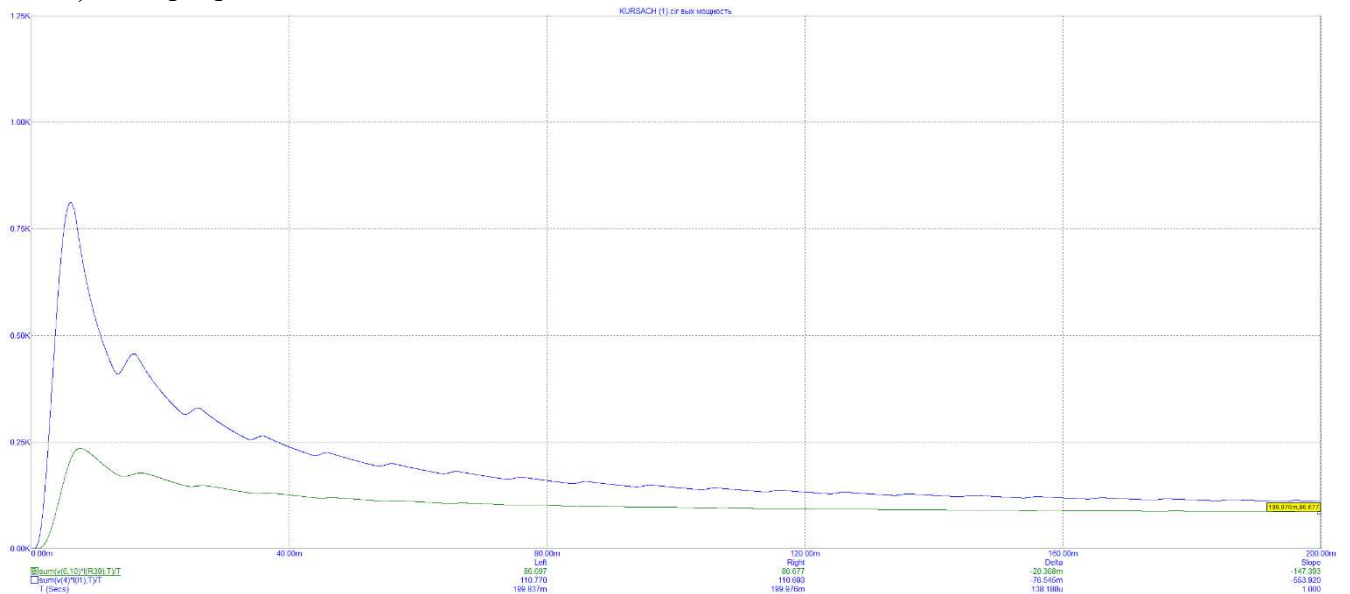


Рис. 30 Мощности на входе и выходе инвертора

$$\eta = \frac{86.697}{110.770} = 78\%;$$

Рассеивается 24 Вт

3) Трансформатор

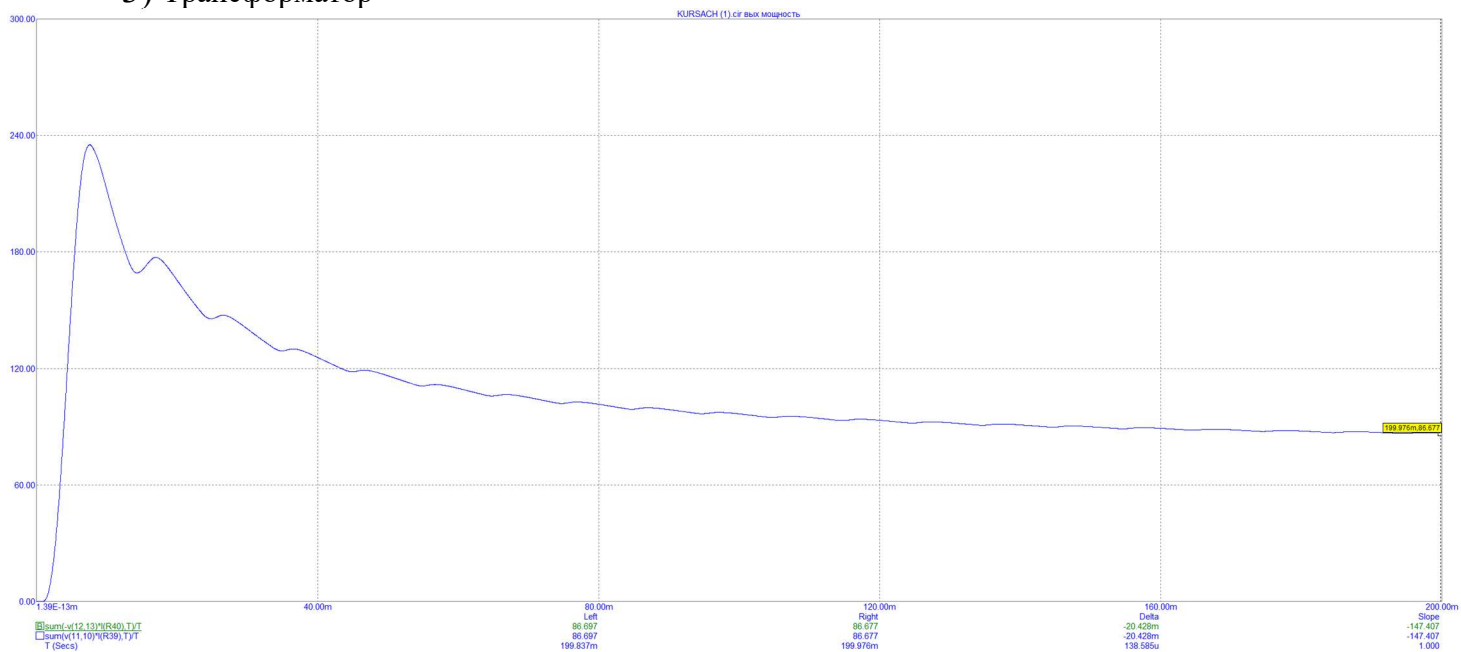


Рис. 31 Мощности на входе и выходе трансформатора

$$\eta = \frac{86.697}{86.698} = 99\%;$$

Рассеивается 0,001 Вт

4) Выходные выпрямитель и сглаживающий фильтр

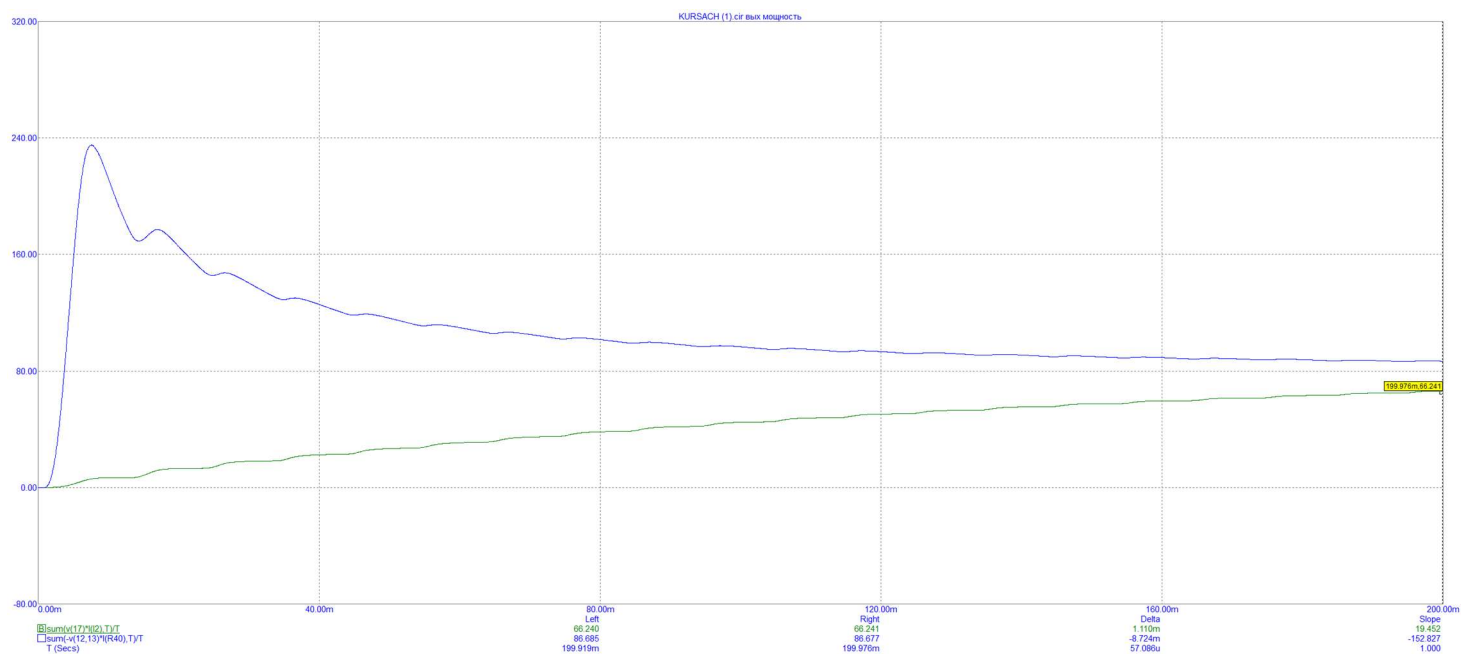


Рис. 32 Мощности на входе и выходе выпрямителя и фильтра

$$\eta = \frac{66.240}{86.685} = 76\%;$$

Рассеивается 20,4 Вт

5) Линейный стабилизатор

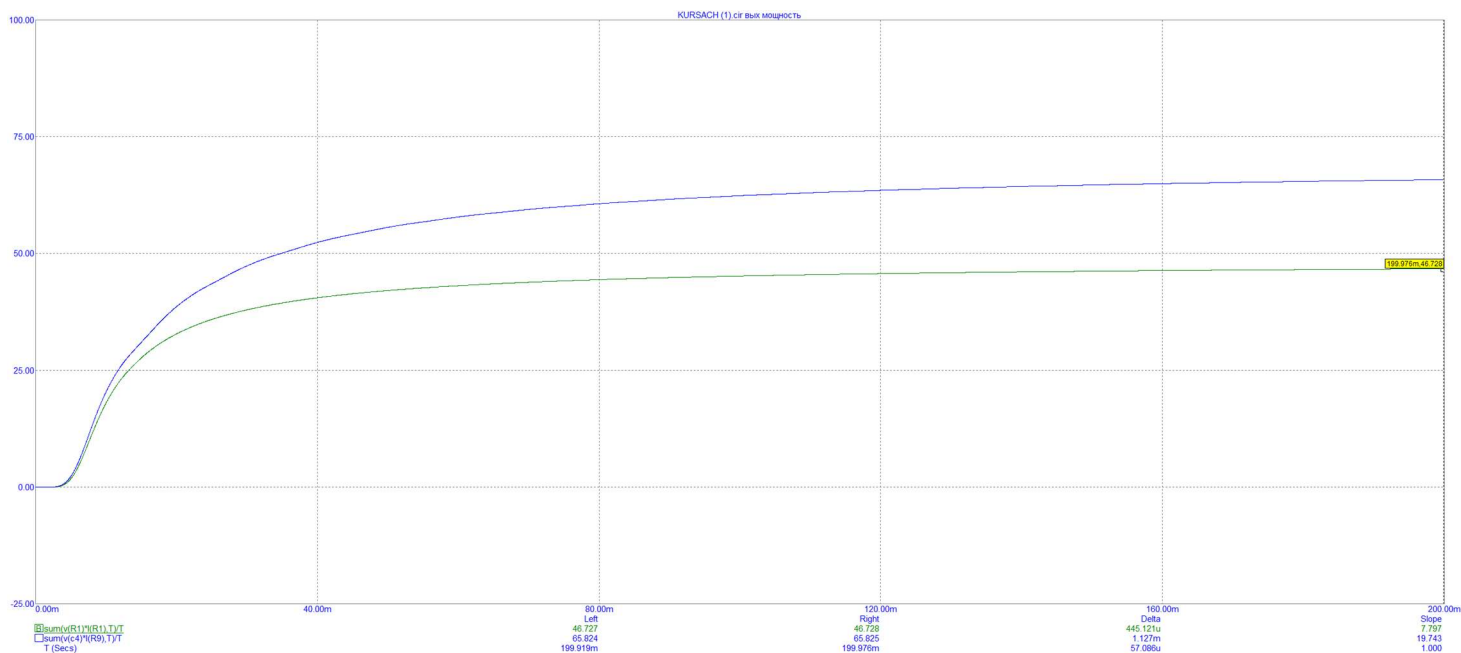


Рис. 33 Мощности на входе и выходе стабилизатора

$$\eta = \frac{46.727}{65.82} = 71\%;$$

Рассеивается 19.1 Вт

6) Полная схема

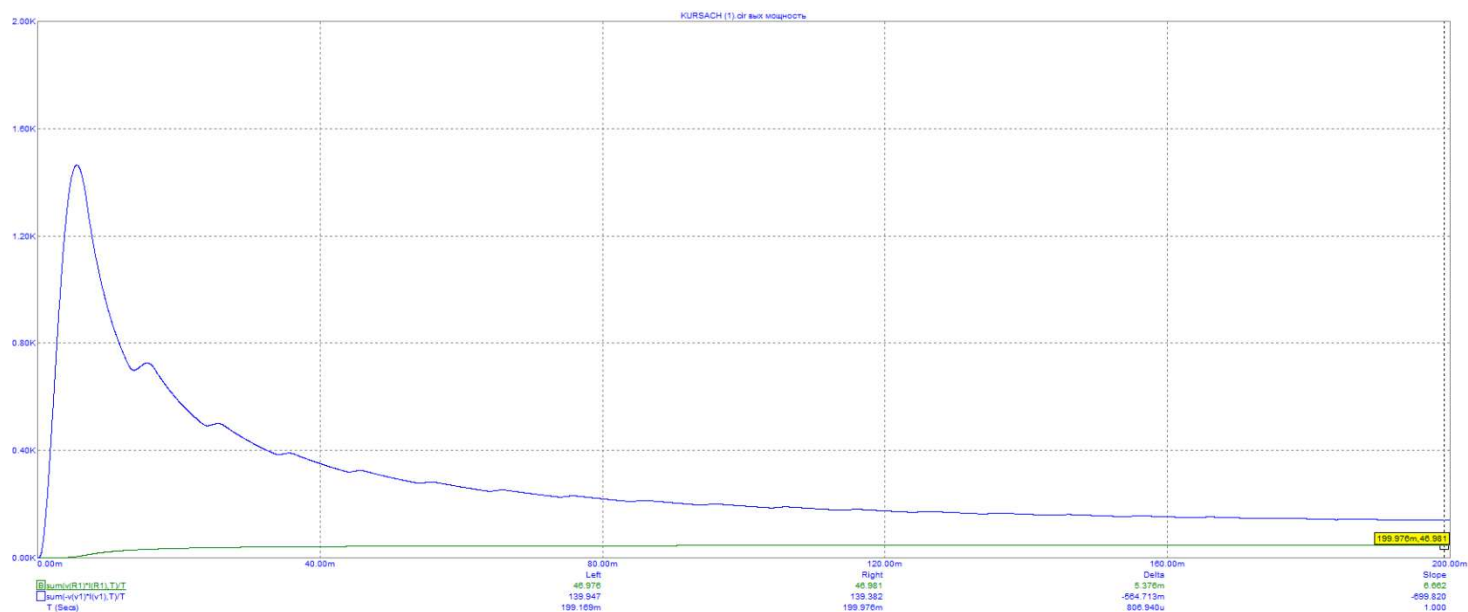


Рис. 34 Мощности на входе и выходе всей схемы

$$\eta = \frac{46.976}{139.947} = 34\%;$$

Рассеивается 93 Вт